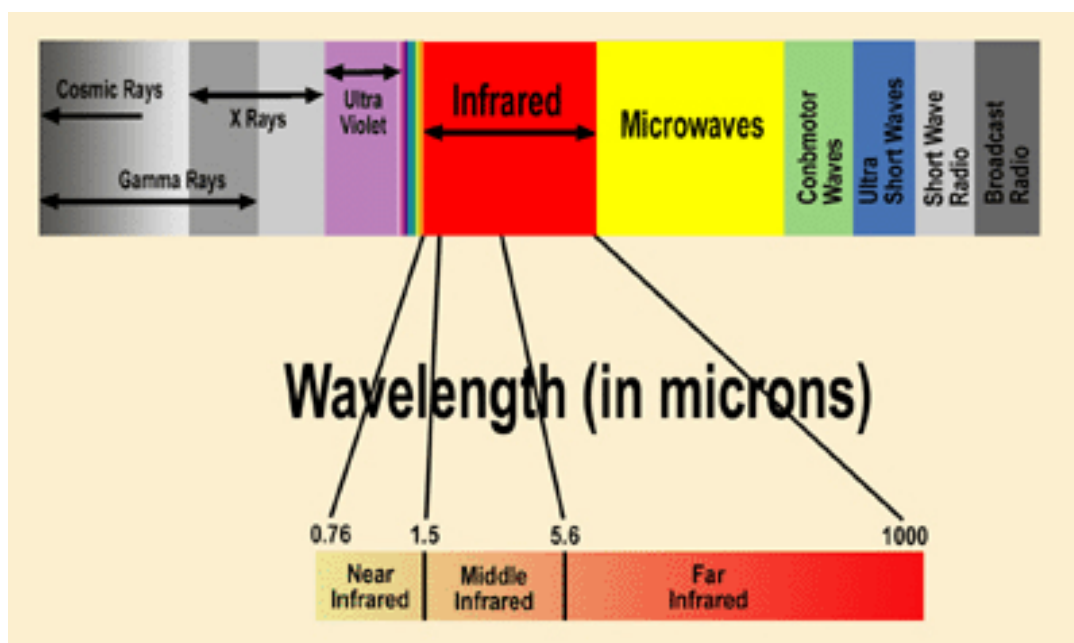


# Collana Quaderni Tecnici

## Appunti sulle Tecniche di Misura di Temperatura Senza Contatto Mediante la radiazione Infrarossa



### Application Notes

Cod. CEAM-Infra-1\_IT\_N1

Lingua Italiana

Rev: 3.0 - 2011

Copyright © CEAM Group

**Tipologia Documento: Pubblicazione tecnica gratuita**

**Data Pubblicazione: 04-2011**

**Autore: Simone Campinoti**

**Copyright © CEAM Group**

# Indice Generale:

## Prefazione

### **1 – Cosa è un Pirometro Ottico a Radiazione**

1.1 Come è Composto un Termometro Ottico Infrarosso

### **2 – Fisica della Misura di Temperatura Mediante la Radiazione**

2.1 Termini Tecnici

2.2 Fisica della Radiazione Elettromagnetica

### **3 – Emissività**

3.1 Sistema di Determinazione della Corretta Emissività di una Superficie

3.2 Correzione Emissività

3.2.1 Verniciatura della Superficie

3.2.2 Corpo Nero Virtuale Semisferico

### **4 – Riflessione**

4.1 Esempio: Oggetto Caldo in Ambiente Più Freddo

4.2 Esempio: Oggetto Caldo in Ambiente alla Stessa Temperatura

4.3 Esempio: Oggetto Caldo in Ambiente più Caldo del Corpo



## Prefazione

Le tecniche di misura della temperatura è un campo molto vasto, in questo “Quaderno di appunti” ne tratteremo solo una piccola parte che riguarda le tecniche di misura senza contatto, che sfruttano la radiazione infrarossa emessa da ogni corpo e che non è visibile all’occhio umano se non in piccolissima parte ed in determinate condizioni operative.

Questi quaderni non hanno la pretesa di essere dei veri e propri trattati di fisica approfondita, per questo non entrano mai nei dettagli delle questioni affrontate, e nelle varie spiegazioni viene usato un linguaggio più semplice possibile per tentare di rendere più comprensibile possibile l’argomento, in genere tratto molto tecnicamente, ma poco comprensibilmente, anche se questo modo di esporre le cose potrà in qualche caso fare arricciare il naso dei puristi tecnici.

Lo scopo di questi documenti è quello di dare una minima formazione tecnica basilare a tutti coloro che intendono usare questa tipologia di strumenti, che nel caso specifico richiedono necessariamente una conoscenza della materia per poter affrontare misure di buona qualità, diversamente il risultato sarà scadente, anche se lo strumento è di buona qualità, e la colpa potrebbe essere riconducibile ad un errata impostazione oppure anche ad un errato strumento per quell’applicazione.

Il documento tratta l’argomento in modo generale e le informazioni contenute riguardano sia strumenti portatili che per installazione fissa.

Simone Campinoti  
Presidente Ceam Group

## 1 – Cosa è un Pirometro Ottico o Termometro a Radiazione

Iniziamo a descrivere cosa è un Termometro a Radiazione Infrarossa chiamato anche più comunemente pirometro ottico, per poi passare a spiegare con maggiore dettaglio ma senza esagerare e più semplicemente possibile, la fisica sulla quale è basato il funzionamento.

Un Pirometro Ottico o Termometro a radiazione o ancora a raggi infrarossi è uno strumento che serve per misurare la temperatura, ma senza nessun contatto fisico con il corpo o la superficie da misurare, e può essere sia di tipo portatile, che in genere somiglia ad una pistola più o meno grande e dotato di ottiche più o meno sofisticata e display locale sul quale visualizza sia la temperatura direttamente, che eventuali allarmi.

Oppure può essere uno strumento progettato per essere impiegato in applicazioni dette “FISSE” adatti per essere installati ad esempio su impianti industriali e poi connessi a sistemi di acquisizione e/o regolazione automatica, di questa tipologia ne esistono di varie forme e varianti tecniche, ad esempio con ottica diretta oppure per applicazioni molto gravose dotati di fibra ottica che posizionata nella zona di processo, trasporta anche per metri il segnale infrarosso fino all’elettronica che può essere posizionata in zona più accessibile.

Nel caso di alcuni portatili, specie per basse temperature e molto più raramente i Fissi, possono essere dotati di puntatori laser che servono esclusivamente per facilitare l’identificazione dell’area di misura. Ma questo raggio, essendo visibile rispetto all’infrarosso invisibile, trae in inganno operatori che non conoscono la tecnologia e inducendoli erroneamente a pensare che sia appunto il LASER a fare la misura. Ma non è affatto così, ed a causa di questo grossolano errore non è raro sentire chiamare questi strumenti anche Termometri LASER.

Comunque siano Portatili che Fissi, in questi strumenti, la misura avviene esattamente nello stesso identico modo, ovvero mediante il rilevamento della radiazione infrarossa che ogni corpo emette.

Quindi un Pirometro Ottico Infrarosso è uno strumento “Passivo” che non emette nessun tipo di raggio, o almeno non lo emette per effettuare realmente le misure, ma è in grado di “captare” la radiazione infrarossa a determinate frequenze specifiche dette anche raggi infrarossi, in gran parte invisibili all’occhio umano, e mediante speciali algoritmi matematici riesce a trasformare questo segnale in una misura di temperatura. Che se effettuata nel modo corretto e con lo strumento giusto è anche molto precisa affidabile.

In ogni caso va detto che la misura di temperatura mediante un termometro ottico all’infrarosso, è comunque una misura più complessa e difficile rispetto alle misure effettuate con termometri tradizionali con sonda. Per questa ragione verrebbe da chiedersi: ma se le misure con questo sistema sono così complesse, perché utilizzarlo?

La risposta è molto semplice, il motivo sta nel fatto che alcune misure non sono effettuabili diversamente se no senza contatto, ed in alcuni casi, anche se potrebbero essere affrontate in modo alternativo, anche se sulla carta un sistema tradizionale sembra promettere bene, alla fine considerando tutto, e non ultimo punto anche ad esempio il deterioramento precoce dei sensori, il risultato globale dell’alternativa non è poi così affidabile o conveniente, quindi la misura Infrarossa è più che consigliabile.

Un esempio pratico della convenienza della misura senza contatto è rappresentato dalla misura della temperatura di parti rotanti o in movimento, situazioni spesso incompatibili con cavi e collegamenti vari nel mezzo. In questi casi l’alternativa al termometro ottico sono sonde a pattino che “strisciano” sulla superficie da misurare, ma che se non sono costruite nella maniera corretta, producono attrito e questo attrito auto-generando calore può rendere la misura inaffidabile.

Un altro esempio può essere rappresentato dalla misura in ambienti molto critici e corrosivi, nei quali i sensori tradizionali subiscono deterioramenti rapidi tanto da rendere la misura antieconomica.

Infine ci possono essere anche motivazioni tecnologiche che giustificano l’utilizzo di termometri ottici, come per esempio la misura di manufatti in cottura in forni, nei quali il trattamento in genere è pilotato dal sensore tradizionale (Termocoppia) posto nell’ambiente interno del forno, ma se si desidera avere informazioni più precise sulla temperatura del manufatto, anche per capire se il prodotto risponde realmente al trattamento del forno, l’unico sistema è andare a misurare direttamente sul prodotto la temperatura, e pur essendo possibile farlo anche con sonde speciali a contattato, spesso è molto più facile effettuare questa misura con un apposito termometro infrarosso senza contatto, che lo può fare a distanza e senza cavi ed impedimenti.

Inoltre nonostante la maggiore difficoltà delle misure infrarosse, pur essendo effettivamente più complesse rispetto ad altri sistemi, alla fine questa difficoltà non è insormontabile. Ma per ottenere buoni risultati è sufficiente avere una minima base di conoscenza dell’argomento ed usare semplici regole e piccoli trucchi.

E questa è esattamente la ragione per cui abbiamo voluto scrivere questo documento.

## 1.1 Come è Composto un Termometro Ottico Infrarosso

Un termometro ottico infrarosso, sostanzialmente è composto dalle seguenti parti, a prescindere come premesso che esso sia portatile oppure fisso:

### A) Il SENSORE:

Una parte importante è sicuramente rappresentata dal sensore, che è un componente elettronico che funziona come un antenna, ed è in grado di "CAPTARE" la radiazione infrarossa che arriva allo strumento tramite la sua parte ottica trasformandola in un segnale elettrico ed inviandola al circuito di controllo che poi elabora il segnale e lo trasforma in un dato di temperatura leggibile ed utilizzabile effettivamente.

I principali sensori tradizionali per pirometri all'infrarosso possono essere riepilogati nella seguente tabella:

| Sensori        |                   | Banda Spettrale Tipica  |
|----------------|-------------------|-------------------------|
| Famiglia       | Tipo              |                         |
| Termici        | Termopila         | Secondo il Tipo         |
|                | Piroelettrico     | Secondo il Tipo         |
| Fotoelettrici  | Silicio           | 0.5 ÷ 1.1 µm            |
|                | Germanio          | 0.5 ÷ 1.8 µm            |
|                | Solfuro di Piombo | 0.5 ÷ 2.8 µm            |
|                | Combinati         |                         |
| Digitale Smart |                   | Selettivi Configurabili |

Anche se oggi con l'avvento della tecnologia digitale di ultima generazione, queste convenzioni classiche sono state in parte superate da sensori di nuova generazione, talvolta ibridati tra varie tecnologie, configurabili ed estremamente selettivi, grazie ai quali è possibile decidere con estrema precisione la gamma di frequenze a cui devono operare, senza dover fare attenzione se si tratta di un sensore in Germanio o Silicio come avveniva una volta con i sensori analogici che erano anche l'unica possibilità disponibile.

### B) LA PARTE ELETTRONICA:

Una volta i primissimi termometri ottici non erano elettronici ma semplicemente opto-elettrici, specialmente quelli portatili che hanno anticipato di anni gli strumenti fissi, erano strumenti "pionieristici" molto artigianali ed in genere molto costosi e critici. Erano composti da una prevalente parte meccanica che serviva per sostenere la fondamentale parte ottica, tuttora fondamentale anche negli strumenti più recenti.

Mentre la parte di misura era rappresentata solo dal sensore e poco altro, talvolta i circuiti, detti potenziometrici, alla fine erano veramente elementari, costituiti da una pila, una lampadina ed un potenziometro che era di fatto un banale varia-luce in grado di variare la corrente di alimentazione e di conseguenza l'intensità della luce emessa dalla lampada variando il colore del filamento.

Questo tipo di strumenti richiedevano una notevole collaborazione ed esperienza da parte degli operatori, che in alcuni casi dovevano girare ghiera e rotelle, infatti il principio di misura era basato su semplici lampadine la cui luce veniva affogata nel colore del "fuoco" ad esempio nel colore del vetro fuso, e dovevano ruotare il potenziometro fino quando l'incandescenza della lampada non era più distinguibile nella visione del vetro. A questo punto l'operatore poteva leggere la temperatura sull'apposita scala, ed è veramente oggi incredibilmente che con un po' di pratica questi strumenti arcaici non a caso chiamati a "Filo Scomparente" risultavano anche abbastanza precisi e affidabili.

Di fatto erano pirometri ottici, che operavano nella parte più bassa dell'infrarosso ovvero in quella gamma che a determinate temperature l'infrarosso riesce ad essere visibile anche all'occhio umano sotto forma di colore.

Un valido esempio è il ferro che oltre circa i 500 °C circa diviene rosso visibile.

Tornano ai giorni nostri la situazione è totalmente cambiata, ormai non esiste pirometro infrarosso che non sia totalmente elettronico ed in larga maggioranza sono digitali, dove il ruolo del circuito è fondamentale.

Grazie a queste evoluzioni tecnologiche, gli strumenti sono in grado di misurare, convertire, calcolare, e ritrasmettere segnali già processati e puliti per l'utilizzo, semplificando molto le misure, per questo oggi la parte elettronica di un pirometro può essere anche molto diversa secondo il tipo di pirometro, a prescindere che sia un termometro portatile o fisso.

### C) LA PARTE OTTICA:

La parte ottica è sempre stata di fondamentale importanza per un Termometro infrarosso, su questo punto poco è cambiato, lo è tuttora, essendo necessaria per catturare e concentrare la radiazione infrarossa emessa dal corpo che intendiamo misurare, fino a convogliarla sul sensore del termometro.

A seconda del tipo e dell'applicazione del Termometro, le ottiche possono essere diverse, in particolare possono permettere allo strumento di operare ad una distanza più o meno grande tra strumento e punto di misura, oppure possono permettere di effettuare una misura su una superficie più o meno ampia a parità di distanza.

Quindi ricapitolando, l'ottica serve solo per permettere al termometro di andare a prendere la radiazione quindi a poter effettuare la misura su di un'area più o meno piccola ad una distanza più o meno grande, tra il termometro e il corpo o la superficie da misurare.

Nel campo della pirometria ottica questo parametro, o meglio l'identificazione della prestazione dell'ottica viene detta RAPPORTO OTTICO e viene in genere espressa con due numeri e due punti, esempio 10:1 (Distanza: Diametro Target) che identificano il rapporto tra la distanza tra strumento e corpo da misurare detto TARGET ed il diametro dell'area di misura detta SPOT. Di seguito spiegheremo meglio il concetto di Target e SPOT.

In merito alle ottiche per pirometri va spiegato che non tutti i materiali sono trasparenti all'infrarosso, perché in funzione della specifica lunghezza d'onda (Frequenza) a cui opera il sensore del termometro, è necessario usare diversi materiali, che a loro volta possono essere più o meno trasparenti, ovvero possono lasciar passare tutta la radiazione se sono trasparenti a quella frequenza, oppure possono anche assorbirne una parte più o meno grande se il materiale a quella frequenza non risulta essere totalmente trasparente. Va sottolineato che una lente ottica che a vista appare perfettamente trasparente, potrebbe non esserlo sulla frequenza dell'infrarosso su cui stiamo effettuando le misure, quindi non è utilizzabile per modificare il campo visivo di un termometro a radiazione.

Il campo delle lenti è molto vasto ed esistono anche lenti particolari adeguatamente trattate, che oltre ad assorbire una quantità di energia (quindi operare da attenuatore) possono anche essere utilizzate da filtro ottico, lasciano passare solo una ben precisa banda di frequenze. In pratica operano come occhiali da sole dove le lenti scure per proteggere gli occhi, filtrano alcune radiazioni pericolose come ultravioletti ed anche infrarossi ma lasciano passare quelle visibili pur attenuandole, grazie a questo fenomeno riusciamo a vedere bene senza danneggiare gli occhi anche sotto il sole pieno. Le lenti per pirometri funzionano esattamente nello stesso modo.

Quando parliamo di lenti non intendiamo solo quelle che vengono usate sul pirometro, ma il concetto deve essere esteso anche a tutto quello che viene interposto tra strumento e corpo da misurare. Non è raro dover effettuare delle misure all'interno di macchine o anche dentro stanze attraverso delle finestrelle o oblo di protezione, in questo caso è sempre necessario verificare se lo strumento che stiamo usando è compatibile con il materiale della finestra che desideriamo attraversare.

Per essere più specifici, è necessario verificare sempre se alla frequenza alla quale stiamo effettuando le misure, ovvero la lunghezza d'onda del sensore del pirometro, la radiazione infrarossa può attraversare il materiale attraverso il quale stiamo effettuando le misure.

Ovvero ogni volta è necessario verificare se il vetro o comunque lo spioncino trasparente tramite il quale noi potremmo anche riuscire a vedere il materiale da misurare all'interno della macchina, è altrettanto trasparente anche alla lunghezza d'onda della misura, in quanto la cosa non è così scontata, anzi spesso difficilmente troviamo degli oblo che alla nostra vista appaiono trasparenti ma che non lo sono anche sulla lunghezza d'onda infrarossa sul quale stiamo effettuando le misure.

E frequentemente specie nell'utilizzo di pirometri all'infrarosso portatili vengono facilmente messi fuori strada dal puntatore Laser di cui sono dotati, perché il Laser riesce perfettamente a oltrepassare un vetro mostrando il puntino rosso sulla superficie da misurare, mentre la radiazione infrarossa non riesce affatto a passare la finestra. Quindi l'operatore è convinto di rilevare la temperatura della superficie sulla quale ha puntato il Laser mentre in realtà sta rilevando la temperatura superficiale del vetro della finestra, oppure potrebbe essere anche che tale materiale opera come filtro ottico e riesce a far passare solo una parte della radiazione, quindi la misura della temperatura è comune errata.

Talvolta potrebbe anche avvenire l'inverso, esistono infatti materiali che pur essendo non trasparenti alla vista umana, risultano poi trasparenti su alcune lunghezze d'onda dell'infrarosso.

E' il caso di alcuni materiali plastici, come ad esempio quelli utilizzati con per le lenti di Fresnel usate nei sensori degli allarmi antifurto, che sono fatte di plastiche bianche assolutamente opache sul visibile, ma risultano trasparenti sulle frequenze alte dell'infrarosso come ad esempio la gamma  $8 \div 14 \mu\text{m}$ .

Sulla stessa gamma una comune finestra di vetro che è trasparente alla vista e che lascia passare anche il laser, non è trasparente all'infrarosso, e la misura attraverso non è possibile.

Quindi in alcune applicazioni come materiale per le lenti o per gli spioncini è possibile utilizzare anche alcune plastiche, chiaramente sempre prima verificando la loro effettiva trasparenza e ovviamente se sono compatibili con le condizioni dell'applicazione.

La verifica della trasparenza e dell'attenuazione dei materiali è possibile anche per via sperimentale. Il metodo migliore è disporre di una sorgente infrarossa come i forni a corpo nero prodotti da CEAM, quindi scaldando il forno e stabilizzandolo alla temperatura operativa sulla quale si vuole operare e misurando il valore con il pirometro che si utilizza nell'applicazione industriale destinataria.

Poi una volta che il sistema è stabilizzato e lo strumento rileva la temperatura correttamente, si prova ad interporre tra strumento e forno il materiale da verificare, e se la temperatura rilevata non varia significa che il materiale è trasparente, mentre se lo strumento cessa di rilevare la temperatura del forno e misura la temperatura della lastra che sicuramente è ambiente, significa che il materiale non è trasparente e quindi non è adatto.

Esiste anche la possibilità che questo materiale sia solo parzialmente trasparente, in questo caso lo strumento misurerà una temperatura più bassa rispetto alla temperatura reale del Corpo Nero nel forno, in questo caso se si vuole usare questo materiale comunque sarà necessario tenere conto dell'attenuazione che produce compensandola elettronicamente anche solo variando il valore di Emissività.

Una prova empirica semplice che l'operatore può fare ogni volta per verificare se un determinato materiale è trasparente o opaco, è puntare il termometro sulla finestra, ed una volta che la misura è stabilizzata, mettere dall'altro lato del pirometro, una mano oppure una superficie calda, se la misura varia andando a misurare la mano o il corpo caldo, significa che lo strumento riesce a misurare oltre la finestra, se la misura rimane invariata significa che sta misurando solo la finestra e non riesce ad oltrepassarla.

Se si volesse anche valutare anche solo empiricamente se il materiale della finestra si comporta da filtro, quindi lascia passare la radiazione ma non totalmente, basta effettuare una misura differenziale, ovvero prima si misura direttamente la mano o il corpo caldo direttamente senza niente nel mezzo, e poi si effettua nuovamente la misura interponendo la finestra. Se la misura non cambia, la finestra è realmente trasparente anche sull'infrarosso su cui stiamo operando, mentre se la misura pur possibile avviene ma riducendo il valore misurato, significa che il materiale non è totalmente trasparente. E sulla base della riduzione di segnale potrebbe essere calcolato anche il fattore di correzione necessario.



Chiaro che se queste operazioni vengono effettuate come già spiegato sopra, in laboratorio e con le giuste attrezzature e procedure, impiegando un forno corpo nero stabilizzato dei vari prodotti da CEAM, i risultati saranno molto attendibili e precisi, mentre se queste prove vengono effettuate in campo utilizzando una sorgente di calore non stabilizzata o addirittura la mano, anche i risultati devono essere presi con beneficio d'inventario.

Nello specchietto sotto un esempio della diversa trasparenza del vetro a varie frequenze infrarosse:

| <b>Materiale</b> | <b>Banda Spettrale <math>\mu\text{m}</math></b> | <b>Trasparenza</b> |
|------------------|---|--------------------|
| <b>Vetro</b>     | 0 ÷ 0.4   | Opaco              |
|                  | 0.4 ÷ 2.8                                       | Trasparente        |
|                  | 2.8 ÷ 4.5                                       | Semi-Trasparente   |
|                  | oltre 4.5                                       | Opaco              |

Infatti una lastra di vetro alla temperatura di 600 °C sotto 4  $\mu\text{m}$  e sopra i 10  $\mu\text{m}$  emette pochissima energia quindi se si desidera utilizzare il vetro per creare degli obli trasparenti, onde poter effettuare attraverso delle misure di temperatura infrarosse, va tenuto presente che la lunghezza d'onda del termometro deve essere compresa tra 0.4 e 2.8  $\mu\text{m}$  con un'attenuazione trascurabile ed al massimo entro 4.5  $\mu\text{m}$  considerando un'attenuazione più consistente che potrebbe variare anche in funzione dello spessore del vetro ovviamente, per questa ragione se il vetro non è dotato di una documentazione tecnica che ne attesta le caratteristiche, e questo avviene molto raramente, conviene sempre verificare da soli questi parametri per via sperimentale.

Mentre se si deve affrontare la misura della temperatura della lastra, per lo stesso principio si deve utilizzare un termometro infrarosso in grado di operare su una frequenza di lavoro nella quale il vetro non deve essere tassativamente trasparente, ma bensì assolutamente opaco, quindi va bene un Pirometro operante a frequenze molto basse oppure oltre 4.5  $\mu\text{m}$  diversamente la temperatura misurata potrebbe non essere quella della lastra di vetro, ma totalmente o parzialmente quella della superficie sottostante, diverso il discorso per il vetro fuso.

Sotto pubblichiamo un piccolo specchietto riepilogativo indicativo dei principali materiali utilizzabili per la costruzione di lenti e finestre abbinabili a Pirometri Infrarossi operanti sulle varie frequenze:

| <b>Materiale</b>          | <b>Sigla</b>                   | <b>Frequenza <math>\mu\text{m}</math></b> | <b>Energia Assorbita</b> | <b>Note</b>                                       |
|---------------------------|--------------------------------|---|--------------------------|---|
| Vetro Ottico              |                                | 0.3 ÷ 2.7                                 | 4.00%                    | Usato come Lente                                  |
| Silicio (Silicon Dioxide) | SiO <sub>2</sub>               | 0.3 ÷ 3.5                                 | 3.50%                    | Usato come Oblo in Macchine Industriali           |
| Fluoruro di Calcio        | CaF <sub>2</sub>               | 0.15 ÷ 12.00                              | 3.00%                    |   |
| Germanio                  | Ge                             | 1.8 ÷ 20.00                               | 3 ÷ 36%                  | Opaco nel Visibile - Subisce il Riscaldamento     |
| Zaffiro                   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.2 ÷ 5.5                                 | 7%                       | Trasparente nel Visibile - Lavorabilità Difficile |
| Arsenico Trisolfato       | As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | 0.7 ÷ 12                                  | 15%                      | Opaco nel Visibile - Lavorabilità Buona           |
| Solfuro di Zinco          | ZnS                            | 0.4 ÷ 11.5                                | 15%                      | Trasparente nel Visibile                          |

Attenzione: Tutte le informazioni contenute in questo specchietto ed in generale in questo documento sono puramente indicative e sommarie.

La tabella sopra mostra in modo analitico i valori approssimativi di assorbimento di energia dei vari materiali causato

**ESEMPIO:** Per misurare la temperatura di una superficie con emissività 0.8 utilizzando una finestra di zaffiro l'emissività effettiva da utilizzare sarà il prodotto dell'emissività della superficie e quella della trasmissione dello zaffiro.

Ricordando che lo zaffiro assorbe il 7% per ogni superficie, il valore di trasmissione dello zaffiro sarà:

$$100\% - (7\% - 7\%) = 86\% \text{ quindi } = 0.86$$

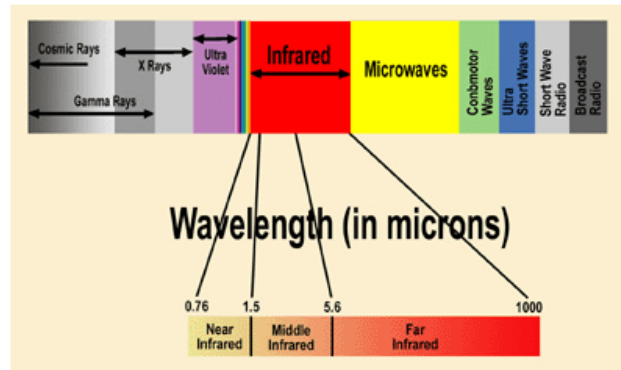
Pertanto l'emissività da utilizzare sul termometro sarà la seguente:

$$0.8 \times 0.86 = 0.688 \text{ per approssimazione } = 0.69$$

## 2 – Fisica della Misura di Temperatura Mediante la Radiazione

Ogni corpo emette radiazioni elettromagnetiche su una vasta gamma di frequenze, che vanno dai raggi Gamma, raggi X, Ultravioletti, radiazioni Visibili, compresa anche la radiazione Infrarossa che è quella che tratteremo in dettaglio in questo documento.

La parte relativa all'infrarosso è molto piccola rispetto a tutto lo spettro delle frequenze, sotto un semplice specchietto nel quale è evidenziata la gamma infrarossa:



Un termometro senza contatto riesce a misurare la temperatura di un corpo grazie alla radiazione elettromagnetica nella gamma dell'infrarosso emessa da questo corpo a qualunque sia la sua temperatura, solo una parte di questa radiazione è visibile, mentre per buona parte è invisibile all'occhio umano.

La gamma Infrarossa come si evince dallo specchietto sopra, si estende da circa 0,7  $\mu\text{m}$  (microns) fino ad arrivare all'infrarosso estremo, con una lunghezza d'onda di 1000  $\mu\text{m}$  (microns) circa.

Una parte di questa gamma di radiazione può essere impiegata per effettuare misure di temperatura senza contatto, grazie a sensori "ANTENNA" che riescono a rilevare queste radiazioni trasformandole in segnali leggibili elettronicamente da appositi strumenti come quelli prodotti da CEAM, oggi totalmente digitali, che a loro volta effettuando calcoli matematici con formule complesse, riescono a trasformare questi dati in temperature leggibili ed utilizzabili per gli scopi più diversi, che vanno dalla semplice misura per il monitoraggio fino anche alla regolazione automatica di un impianto, sostituendo i tradizionali sensori che in alcune applicazioni non sono utilizzabili per varie ragioni.

Per fare un esempio semplice e più comprensibile, un termometro ottico in parte funziona esattamente come una radio, entrambe sono in grado di captare onde elettromagnetiche, la radio le decodifica poi in musica e suoni vari, mentre il Termometro li riporta in temperatura.

Esattamente come per la radio musicale, che può essere sintonizzata su vari canali differenziati tra loro dalla frequenza anche per l'infrarosso esistono varie frequenze, e secondo le applicazioni e le temperature di lavoro, ogni applicazione pur emettendo radiazioni su tutta la gamma, ha poi una sua frequenza migliore per ottenere una misura di buona qualità. Per questa ragione ogni Termometro ha un suo particolare sensore che opera ad una determinata banda di frequenza, all'interno della quale riesce a rilevare la radiazione, oltre questa banda questo sensore non è in grado di rilevare nulla, ed in genere, salvo sensori speciali di ultima generazione e gli WIDE RANGE, migliore è la qualità del sensore e più selettiva è la banda in cui opera, di conseguenza migliore sarà anche la precisione dello strumento.

Come già enunciato sopra, la trasformazione della radiazione infrarossa in una temperatura leggibile richiede un'elaborazione matematica che si riferisce alla fisica specifica, in questo documento non tratteremo in dettaglio questi argomenti, soprattutto non li tratteremo in modo eccessivamente tecnico, ma ci limiteremo ad enunciare i principi, fornendo elementi sufficienti per comprendere la materia e soprattutto permettere ai lettori che sono all'oscuro di queste cose, di poter iniziare ad usare questi strumenti con la minima consapevolezza di quello che stanno facendo, in mancanza della quale i risultati di misura saranno sicuramente scadenti.

Chi desidera approfondire l'argomento, può verificare anche su internet direttamente varie fonti di informazioni sulla fisica e sulla teoria delle misure all'infrarosso.

### 2.1 Termini Tecnici

Trattando qualsiasi argomento tecnico, specie se si desidera farlo in modo più semplice e meno tecnico possibile, per poter essere effettivamente comprensibili, è necessario spiegare prima il significato dei termini base che sono inevitabili.

Inoltre entrando in questo argomento, tali parole diverranno in futuro sempre più ricorrenti, quindi vale la pena creare questo piccolo dizionario:

**MICRON:** Unità di misura con la quale viene definita la lunghezza d'onda della Radiazione, il Micron rappresenta 1/1.000.000 di un metro, in gergo viene usato volgarmente "Microns" in sostituzione del corretto termine  $\mu\text{m}$  (Micro-Metro)

**EMISSIVITA' ( $\epsilon$ ):** E' il coefficiente in genere indicato da 0.01 fino a 1.00 con cui viene definito il rapporto della radiazione emessa da un CORPO NERO soggetto alla stessa temperatura. L'EMISSIVITA' varia in funzione di diversi parametri i più importanti sono i seguenti:

A) Temperatura in cui si trova il corpo misurato

B) Lunghezza d'onda del Sensore Infrarosso di temperatura che stiamo impiegando

C) Orientamento e finitura della superficie che stiamo misurando, diverso è misurare una superficie liscia oppure una ruvida, anche a parità di materiale.

In ogni caso, ogni strumento viene in genere corredato di una tabella di Emissività tipiche per i più comuni materiali con i quali quello strumento verrà impiegato in campo, anche se ormai esistono delle convenzioni abbastanza standardizzate, ed anche procedure empiriche che permettono anche di valutare con buona precisione l'Emissività di un materiale specifico.

**RIFLESSIONE:** Definizione tecnica di quella parte di radiazione che investendo un corpo viene da esso riflessa, mentre la parte rimanente viene assorbita dal corpo. Anche la RIFLESSIONE come l' EMISSIVITA' viene fortemente influenzata dalla finitura superficiale del corpo, oltre che dalla sua natura, un corpo liscio specchiato avrà una maggiore Riflessione dello stesso corpo la cui superficie è ruvida.

**TRASMISSIONE:** Definizione di quella parte di energia che attraversa il corpo , e non viene ne riflessa e nemmeno assorbita. Il valore di TRASMISSIONE è tipico della trasparenza delle lenti.

**LUNGHEZZA D'ONDA:** Definizione alternativa di FREQUENZA operativa del detector, ovvero la frequenza nella quale il sensore infrarosso che funge da antenna riesce a rilevare l'energia che il corpo che intendiamo misurare emette.

**RISPOSTA SPETTRALE:** Definizione alternativa di LUNGHEZZA D'ONDA della radiazione

**CORPO NERO:** Definizione che identifica un corpo in grado idealmente di trasmettere la massima radiazione possibile su tutte le frequenze possibili, in relazione alla sua temperatura, senza alcuna riflessione, per questo la sua EMISSIVITA' è 1. Il nome non ha alcuna relazione al colore effettivo visibile del corpo, che in genere è effettivamente scuro, ma teoricamente potrebbe avere anche altro colore visibile all'occhio umano, questo per spiegare che non è detto che un corpo di colore nero sia sempre e comunque un CORPO NERO.

**CORPO GRIGIO:** Definizione che identifica un corpo simile al CORPO NERO, ma la cui EMISSIVITA' è inferiore ad 1, ma è costante a tutte le lunghezze d'onda nell'ambito della radiazione infrarossa. Anche in questo caso come per il CORPO NERO, il reale colore visibile del CORPO GRIGIO non ha alcuna relazione con il nome tecnico pure essendo tipicamente scuro, potrebbe apparire anche con altri colori.

**TERMOMETRO MONOCROMATICO:** Definizione che non ha nulla a che fare con il colore visibile, ma indica solo uno strumento che opera ad una FREQUENZA ben precisa oppure in una banda molto stretta. La stessa definizione può essere usata anche per un filtro ottico che lascia passare solo una ben precisa frequenza oppure una banda molto stretta.

**TERMOMETRO BICOLORE:** Definizione inversa del MONOCROMATICO, che indica un termometro che è dotato di uno o più sensori, che operano insieme su due frequenze diverse oppure su due gamme ben precise, e secondo la modalità di gestione può essere impiegato sia per garantire maggiore affidabilità della misura, o un Range maggiore, che per ottenere buona qualità richiede necessariamente frequenze diverse di lavoro.

**TARGET:** Si definisce TARGET oppure anche BERSAGLIO il punto esatto o l'area del corpo su cui volgiamo effettuare la misura di temperatura,

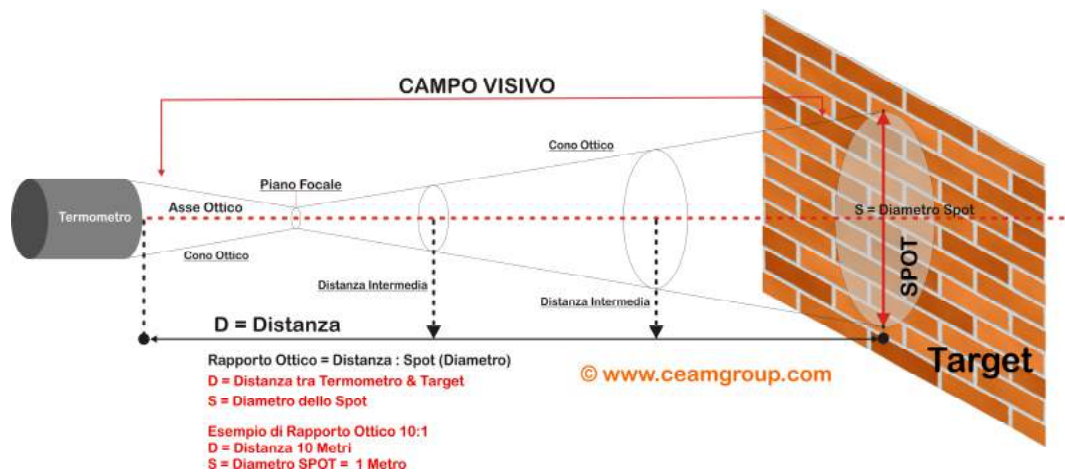
**SPOT :** Viene definito SPOT , l'area rotonda di diametro che varia in funzione della distanza tra Termometro e TARGET, all'interno della quale lo strumento rileva la radiazione infrarossa che gli permette poi di convertirla nella misura della temperatura media

Attenzione la forma dello Spot è rotonda quando lo strumento è posizionato verticale sul TARGET, ma nel caso lo strumento sia posizionato obliquo la forma dello Spot risulterà di conseguenza ellittica

**RAPPORTO OTTICO:** Questo parametro in genere definito da due cifre separate da due punti (Esempio 10:1) indica il rapporto tra Distanza del TARGET e Diametro dello SPOT che l'ottica di cui è dotato lo strumento permette. E' molto importante avere chiaro questo concetto per poter ottenere sempre misure affidabili ma soprattutto realmente rappresentative del Target.

Facciamo un esempio pratico: Un Rapporto Ottico 10:1 , significa che alla Distanza di 10 metri lo SPOT avrà un diametro di 1 metro, oppure alla distanza di 1 metro lo SPOT avrà un diametro di 0,1 metro (10 cm). Ovviamente calcolo vale anche per misure inferiori, intermedie o anche superiori ai valori citati come esempio.

**CAMPO VISIVO:** Con questo termine viene definito lo spazio coperto da due coni ottici che si toccano sulla punta tra loro. I coni sono in genere a base circolare solo perché normalmente le ottiche dei termometri sono circolari, qualora fossero di forma diversa anche il Campo Visivo assumerebbe la forma conseguente



Nella Figura: Esempio Ottico Completo di Termometro senza Contatto - © Copyright CEAM Group

**LASER:** Cosa è un Laser è abbastanza noto, è un raggio di luce concentrato in un punto, operante su una certa lunghezza d'onda, ed ha numerose applicazioni nei campi più disparati.

Nel caso dei Termometri Ottici all'infrarosso il LASER non viene assolutamente mai impiegato per effettuare la misura come talvolta viene creduto, ma viene usato per tracciare il punto di misura dello strumento, e questo avviene in vari modi, con raggio singolo, doppio, oppure anche con raggio multiplo, o con sistemi ottici ancora più complessi che permettono di generare cerchi colorati che dovrebbero delimitare l'area di misura, ovvero lo SPOT del termometro all'interno del quale effettuare la misura media della radiazione quindi della temperatura, ma non sempre il laser identifica realmente tutta l'area di misura ma solo il punto centrale o solo una parte, traendo in inganno gli operatori meno avveduti.

Va anche spiegato che essendo la lunghezza d'onda dei laser di puntamento molto diversa dalla frequenza di lavoro infrarossa di questi termometri, il fatto che il raggio fuoriesca dallo stesso ottica di misura e sia talvolta perfettamente collimato, non produce alcun disturbo alla misura infrarossa.

**CAMICIA di Protezione e/o di Raffreddamento:** Per camicia di protezione s'intende un dispositivo di protezione appositamente costruito per il pirometro destinatario che dovrà contenere.

E serve per proteggere da eccessiva temperatura o anche da polvere, umidità ed altri agenti ambientali il Termometro, che solo modelli particolari in genere non è progettato per subire direttamente queste condizioni.

Le CAMICIE di protezione secondo la loro costruzione possono essere raffreddate ad aria o anche ad acqua o con altri fluidi o gas per le applicazioni più spinte, e non è raro che possano richiedere sia aria per le funzioni di pulizia delle pareti ottiche che non devono essere schermate, che acqua che serve per il raffreddamento.

Qualsiasi fluido venga impiegato, dovrebbe essere trattato adeguatamente per poter essere compatibile con l'applicazione, ad esempio se si impiega acqua per il raffreddamento, sarebbe opportuno che fosse decalcificata per evitare la formazione di calcare all'interno dei condotti della camicia, che riduce il flusso ed essendo isolante riduce anche l'efficacia del raffreddamento, lo stesso discorso della massima attenzione vale anche per altri eventuali fluidi, non dimenticando nemmeno gli eventuali effetti galvanici che si possono verificare e che possono generare fenomeni di corrosione e disturbi elettrici insidiosi.

**PURGA D'ARIA di Pulizia:** La purga d'aria non è altro che un piccolo flusso d'aria o di altro gas, che viene fatta circolare in prossimità della parte frontale e dell'ottica del pirometro in particolare, e viene impiegata per mantenere pulite le lenti oltre a provvedere anche ad un blando effetto raffreddante quando serve. Anche se la principale funzionalità è la pulizia, per questo la purga deve rispettare determinate condizioni basiche che sono le seguenti:

L'aria deve essere trattata adeguatamente per garantire che sia assolutamente pulita ed essiccata, un'aria sporca specie di olio lubrificante, tipica dei circuiti non trattati che lasciano passare anche solo una minima nebulizzazione dei lubrificanti impiegati nei compressori, potrebbe produrre alla lunga uno sporco delle lenti tale da disturbare le misure. Per esperienza sul campo abbiamo notato che se un'aria molto sporca è facile da individuare in quanto risulta evidente immediatamente anche solo guardando le lenti, purtroppo molto più insidioso è il fenomeno quando è molto ridotto, in quanto la nebulizzazione si deposita sulle lenti che per effetto della ventilazione e del calore si essicano immediatamente fino ad arrivare a produrre una sorta di coating (verniciatura) della lente che produce un filtro ottico casuale, con effetti sconosciuti sulla misura, che viene spesso attenuata nel tempo. Ed essendo il fenomeno lento ma incrementale questo errore pian piano, da essere trascurabile può arrivare ad essere anche rilevante, e se il pirometro ottico è impiegato come Feedback nella regolazione automatica, il sistema tenderà ad equilibrarsi continuamente, e quando gli effetti si manifesteranno chiaramente sulla produzione potrebbero essere devastanti.

Anche sotto il profilo Umidità l'aria deve essere trattata, soprattutto deve essere efficacemente essiccata, in quanto essendo proiettata sullo strumento e sulle sue lenti, solo per il fatto che la sua temperatura può essere anche molto diversa, frequentemente si verificano fenomeni di condensazione all'interno delle ottiche, innescando un giro vizioso di vaporizzazione e riconsolidazione, che produce pericolosi effetti di sporco analoghi all'olio di lubrificazione trasportato dall'aria.

In alcuni casi per la pulizia delle lenti, non potendo disporre di aria, oppure per ragioni ad esempio di combustione che non permette di introdurre nei forni aria, possono essere impiegati gas inerti come azoto, argon o altro, in questo caso in genere essendo gas in bombola trattati sono gas molto puliti.

## 2.2 Fisica della Radiazione Elettromagnetica

Il livello di Radiazione di un Corpo può essere espresso con la seguente Formula matematica definita dal Fisico Tedesco Max Planck (Kiel 1858 – Gottingen 1947) , denominata anche Legge di PLANCK:

$$J_{\lambda T} \cdot d_{\lambda} = C1 \cdot \lambda^{-5} \left[ \text{EXP} \left( \frac{C2}{\lambda T} \right) - 1 \right]^{-1}$$

Dove:

| Fattori                           | Descrizione  |
|-----------------------------------|--|
| $J_{\lambda T} \cdot d_{\lambda}$ | È la radiazione di un Corpo Nero emessa alla temperatura T (Kelvin) all'interno delle Lunghezze d'onda $\lambda$ e $\lambda + d$ |
| <b>C1</b>                         | è la prima costante di PLANCK (= $3,74 \times 10^{-16} \text{ w m}^2$ )  |
| <b>C2</b>                         | È la seconda costante di PLANCK (= $1,4388 \times 10^{-2} \text{ w K}$ )   |

Successivamente la Legge di PLANCK viene semplificata eliminando il Fattore -1 ed ottenendo:

$$J_{\lambda T} \cdot d_{\lambda} = C1 \cdot \lambda^{-5} \left[ \text{EXP} \left( \frac{C2}{T} \right) \right]^{-1}$$

Quindi integrando la Legge di PLANCK su tutte le lunghezze d'onda si ottiene la Legge di Ludwig Eduard BOLTZMAN (Vienna 1844 – Duino 1906):

$$\omega = \sigma \cdot T^4$$

Dove:

| Fattori  | Descrizione   |
|----------|---|
| $\omega$ | È l'energia totale emessa da un Corpo Nero, su tutte le lunghezze d'onda, alla temperatura T (Kelvin) |
| $\sigma$ | È la costante di BOLTZMANN (= $5,67 \times 10^{-8} \text{ w m}^{-2} \text{ k}^{-4}$ )                 |

Da notare che la legge di BOLTZMANN è quasi irrilevante nelle misure di temperatura, in quanto applicabile ai termometri a radiazione Totale, oggi ormai abbandonati, grazie all'evoluzione degli strumenti digitali a frequenza selettiva, estremamente più precisi ed affidabili.

Una ulteriore elaborazione matematica della Legge di PLANCK è rappresentata dalla Legge di Wilhelm WIEN (Fischhausen 1864 – Monaco di Baviera 1928):

$$\lambda_m \cdot T = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ mk}$$

Dove:

| Fattori     | Descrizione  |
|-------------|--|
| $\lambda_m$ | È la lunghezza d'onda a cui corrisponde la massima energia emessa da un Corpo Nero alla Temperatura (Kelvin) |

Questa formula è molto semplice è tuttora molto usata nelle misure di Temperatura, in quanto permette di determinare rapidamente la lunghezza d'onda del punto di massima energia radiata, permettendo anche di individuare facilmente il tipo di strumento più adatto all'applicazione.

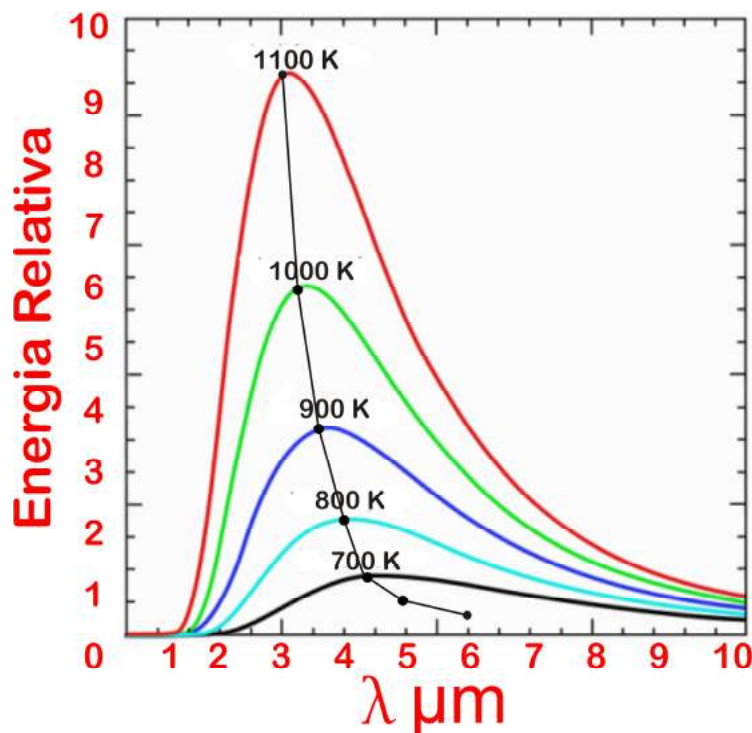
Facciamo un Esempio pratico ipotizzando di dover effettuare la misura di temperatura della Gomma intorno a 40 °C

$$\lambda_m = \frac{2898}{40 + 273} = \frac{2898}{313} = 9.25 \mu\text{m}$$

Quindi essendo il risultato 9,25, lo strumento più adatto per queste misure dovrebbe avere una lunghezza d'onda intorno a 10  $\mu\text{m}$ , pertanto un termometro che opera nella gamma 8÷14  $\mu\text{m}$  ad esempio i portatili della Serie IF300 CEAM sono perfetti.

Per una maggiore comprensione delle leggi di Planck e Wien inseriamo la figura sotto nella quale mostriamo le varie curve generate usando la legge di PLANCK appunto dove il valore di picco dell'energia di ogni curva è stato calcolato con la legge di spostamento di WIEN.

E' interessante notare come il valore di picco dell'energia si posti verso le lunghezze d'onda più lunghe al diminuire della temperatura del Target.



Nella Figura Rappresentazione Grafica Approssimativa della Legge di Planck e Wien

Una interessante ulteriore elaborazione della legge di WIEN è indicata nella seguente espressione:

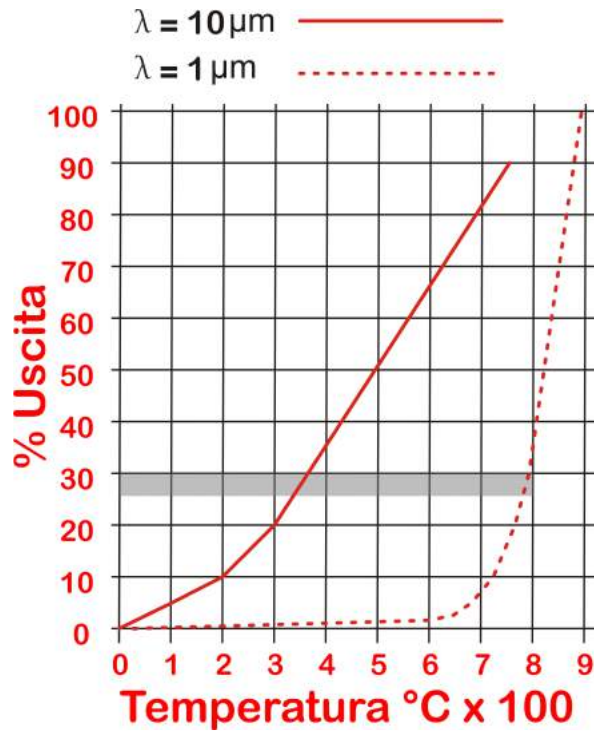
$$\Delta T = \frac{\lambda T^{-2}}{C2} \cdot \frac{\Delta V}{V}$$

Dove:

| Fattori              | Descrizione  |
|----------------------|--|
| $\Delta T$           | È l'errore di temperatura di un termometro che operi ad una lunghezza d'onda $\lambda$ |
| $\frac{\Delta V}{V}$ | È la frazione di errore in uscita del Termometro                                       |
| <b>C2</b>            | È la seconda costante di BOLTZMANN   |

Da questa formula si evince che per ridurre al minimo il fattore  $T$  l'errore alla temperatura  $T$ , essendo  $C2$  una costante. Si può minimizzare il fattore  $T$  con un uso accurato di un buon sistema di misura. Ma il fattore più importante per ottenere una buona precisione rimane  $\lambda$ , ovvero usare un termometro con la corretta lunghezza d'onda, ed in particolar modo è sempre buona norma usare il termometro con la lunghezza più corta possibile.

Usando questa accortezza pratica i vantaggi sono evidenti, esaminando il grafico nella figura sotto, si può vedere che una variazione di uscita del 10% risulta da una variazione termica di 60 °C operando sulla lunghezza d'onda di 10  $\mu\text{m}$ , mentre è di soli 6 °C se si opera su 1  $\mu\text{m}$ .



### 3 – EMISSIVITA' ( $\epsilon$ )

Partendo dal presupposto che realmente non esiste nella pratica un corpo che emette realmente il 100% della propria energia infrarossa, ma parte della radiazione di un corpo solido viene riflessa all'interno del corpo dalla sua superficie a causa del cambio dell'indice di rifrazione della superficie stessa. La parte restante viene emessa, e per questo possiamo sostenere la seguente semplice formula :

$$\text{Emissività} = 1 - \text{La Riflessione}$$

Quindi il coefficiente di Emissività è un numero puro sempre inferiore ad 1.00, fino ad arrivare anche a 0,05 nel caso ad esempio di superfici metalliche lucide e molto riflettenti, in particolare sulle alte frequenze.

Mentre per la maggior parte dei materiali non metallici in genere l'Emissività è in genere abbastanza alta, circa  $0.80 \div 0.90$  specie intorno alla frequenza di  $1 \mu\text{m}$ .

Quindi per riassumere, effettuando misure su un corpo qualsiasi, con un Termometro Infrarosso sul quale è impostata un Emissività = 1.00, che è la condizione teorica ideale del CORPO NERO, di fatto misurerà sempre una temperatura inferiore a quella reale in cui si trova il corpo che stiamo misurando.

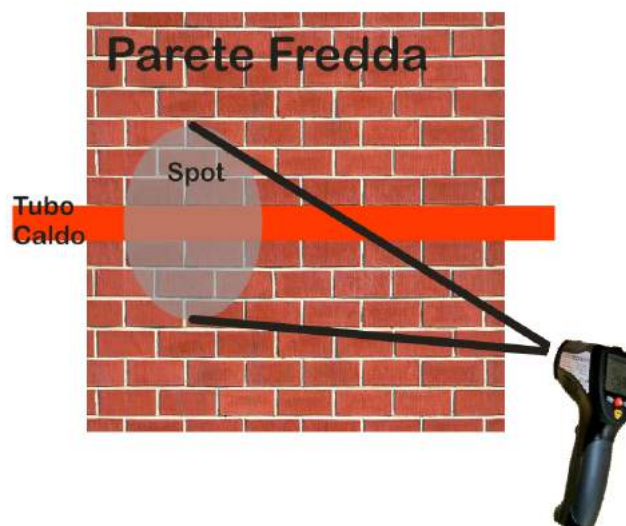
Solo impostando il valore corretto di Emissività sul Termometro sarà possibile ridurre questo errore fino anche ad arrivare a misure estremamente rispondenti alla realtà, ed è per questo che comprendere bene la funzione e la grande importanza dell'Emissività è di fondamentale rilevanza nelle misure di temperatura all'infrarosso.

A questo proposito riportiamo alcune osservazioni, partendo dal fatto che se nei primi anni le misure di temperatura senza contatto all'infrarosso, erano considerate misure di complessità superiore rispetto alle più tradizionali effettuate con sensori fisici, e questo faceva sì che le aziende che li producevano e li vendevano erano altamente specializzate ed anche i tecnici che affrontavano questi argomenti sul processo avevano una preparazione di base tale da garantire quasi sempre la minima conoscenza dell'argomento, che gli evitava di commettere clamorosi errori.

In tempi più recenti, la sempre maggiore diffusione di dispositivi elettronici di tutti i tipi, sempre più a buon mercato, ha da una parte permesso la diffusione anche della termometria senza contatto, ma al contempo non ha prodotto una diffusione equivalente della conoscenza di questa tecnologia e del suo corretto utilizzo, e tutto questo invece di permettere la reale diffusione con i vantaggi che ne potevano conseguire, ha prodotto purtroppo danni e diffidenza sul mercato, specie su coloro che fidandosi di "VENDITORI" improvvisati che non conoscono la materia, gente che si è trovata solo con un catalogo di termometri infrarossi fissi o portatili da vendere, dove l'infrarosso è accanto al termometro con sonda tradizionale, ed hanno trattato entrambe le tecnologie allo stesso modo, senza minimamente conoscere l'enorme differenza che passa e soprattutto le accortezze del rispettivo utilizzo, specie per le versioni senza contatto.

Il risultato è stato quello di vedere gente che ha comprato un termometro infrarosso senza contatto dal negozio di materiale elettrico, per poi renderlo come difettoso, perché puntandolo su un tubo zincato casomai a 10 metri di altezza e rilevando una temperatura fredda, poi si sono bruciati una mano quando hanno toccato il tubo in quanto realmente era rovente. Ovviamente incolpando di tutto questo il termometro come "DIFETTOSO" mentre forse, anche se il termometro non era di sicuro un campione di precisione, il reale problema era che nessuno aveva spiegato all'utilizzatore i concetti di base della termometria senza contatto, in particolare il concetto di Emissività, oppure il concetto di Target e Spot.

Infatti non è da escludere che pur essendo la misura su tubo zincato sia già di per sé molto difficile, in questo caso il problema maggiore della misura rilevata molto bassa e simile alla temperatura ambiente sia stata generata dalla media termica dello SPOT nel quale la superficie del tubo è irrilevante, ed ha prevalso sicuramente la temperatura della parete sottostante, che era alla temperatura ambiente.





Nella figura Esempio sopra, si vede chiaramente che lo SPOT nel quale il termometro effettua la misura della temperatura media che è di gran lunga più grande del tubo, questo a causa del rapporto ottico dello strumento, ovvero la distanza tra strumento e TARGET.

Quindi la misura effettivamente rilevata sarà una media, tra la superficie calda e la superficie fredda che in questo caso è veramente molto piccola, quasi da non influenzare se non marginalmente la misura.

Spesso l'utente viene tratto in inganno dal Laser di puntamento che hanno alcuni strumenti, specialmente quelli portatili.

Il Laser di un termometro ottico, del quale ne esistono vari versioni, in genere quello puntiforme, non rappresenta il punto di misura, ma bensì il centro dello SPOT, quindi tornando all'esempio sopra, anche se il puntino del laser è precisamente sul tubo, l'area di misura è ben maggiore.

IN merito al puntatore Laser, ne esistono appunto di vari tipi, singolo o multi punto, fino anche con designazione circolare che dovrebbe rappresentare esattamente l'area di misura, ma suggeriamo sempre di non fidarsi, e fare attenzione al rapporto ottico dello termometro che stiamo impiegando, in quanto non è il laser che effettua la misura, come erroneamente qualcuno crede, anche convinto da alcuni venditori improvvisati che chiamano erroneamente questi strumenti "TERMOMETRI LASER".

### 3.1 Sistema di Determinazione della Corretta Emissività di una Superficie

Per determinare il corretto valore di Emissività di un corpo o di una superficie esistono diversi metodi, ne descriveremo alcuni:

A) Il primo è più facile è quello di consultare sempre il manuale del Termometro per verificare nell'elenco dei materiali la corrispondenza del valore di Emissività, verificando che la tabella si riferisca a quello strumento specifico, quindi alla sua lunghezza d'onda, perché come già spiegato, l'Emissività risente della frequenza di lavoro del termometro, per questa ragione non esiste una tabella unica per tutti gli strumenti.

B) Il secondo metodo è quello di consultare il laboratorio CEAM, che grazie alle sue attrezzature è in grado di determinare con eccellente precisione l'Emissività di qualsiasi materiale, con un range operativo che va dalla temperatura ambiente fino a oltre 1600 °C

C) Il terzo metodo è empirico, usando in parallelo al termometro ottico un termometro a contatto con termocoppia, e applicando il sensore a termocoppia direttamente sul punto di misura sul quale stiamo facendo le misure all'infrarosso.

Una volta determinata con precisione la temperatura della superficie con il sistema a contatto, sarà possibile poi provare ad allineare la misura infrarossa, partendo dall'Emissività più alta per poi variarla scendendo a piccoli passi fino quanto la temperatura rilevata dal termometro infrarosso non arriverà a coincidere con il termometro a contatto. Una volta che le temperature coincidono, il valore di Emissività sarà stato trovato.

Sotto una semplice tabella nella quale evidenziamo sommariamente le variazioni di temperatura in vari punti da 1000 a 1100 °C in funzione della diversa remissività tra due valori, questa tabella si riferisce ad una lunghezza d'onda intorno a  $0,5 \div 1,1 \mu\text{m}$

| Tabella di Comparazione delle Variazioni di Misura in Funzione dell'Emissività |             |      |      |      |      |      |
|--|-------------|------|------|------|------|------|
| Emissività   | Temperatura |      |      |      |      |      |
| 1.0  | 1000        | 1020 | 1040 | 1060 | 1080 | 1100 |
| 0.8  | 976         | 996  | 1015 | 1034 | 1054 | 1073 |

Usando questo metodo, l'operatore deve sempre tenere presente che la misura Infrarossa è superficiale, e potrebbe essere influenzata da effetti che si verificano talvolta propri sulla superficie dei materiali, in determinate condizioni operative, a causa dei gas ambientali o anche solo per il riscaldamento. Per esempio è il caso di alcuni metalli che in alcune condizioni di riscaldamento o di fusione, producono ossidazioni superficiali che hanno temperature diverse dal corpo del metallo stesso. E se il termometro a contatto è in grado di rilevare la temperatura del corpo, superando l'ossidazione con l'azione meccanica che la sonda produce involontariamente, il termometro ottico misura la pellicola ossidata o la schiuma che si forma, che essendo isolante in molti casi, riduce la temperatura rilevata.

In questi casi, dovendo necessariamente impiegare termometri ottici senza contatto, dove non è possibile altrimenti, devono essere impiegati termometri particolari, ma soprattutto particolari sistemi e accessori che permettono di superare queste importanti problematiche, e CEAM ha una grande esperienza di applicazioni speciali, accumulata direttamente in campo grazie alle migliaia di applicazioni fatte in decine di anni che si occupa di questa tecnologia.

### 3.2 Correzione Emissività

Come abbiamo già spiegato, speriamo chiaramente, per poter leggere una corretta temperatura rilevata mediante termometri senza contatto operanti sulla gamma dell'infrarosso, l'impostazione dell'emissività ha un ruolo fondamentale, e se in passato non tutti gli strumenti erano dotati di un sistema di compensazione automatica, quindi era necessario compensarla esternamente con vari sistemi più o meno precisi. Oggi con l'avvento dell'elettronica digitale è veramente raro trovare un termometro che non abbia questa funzione direttamente, quindi è inutile accennare i vari metodi di compensazione. L'operatore dovrà solo ricordarsi di impostare e affinare l'impostazione di questo parametro con il sistema che il termometro permette.

Come abbiamo già accennato in precedenza, esistono dei particolari materiali o superfici che sono molto difficili da misurare con queste tecnologie, in particolare parliamo delle superfici riflettenti, cromate e simili, che richiederebbero valori di emissività molto bassi, fin anche ad arrivare intorno a 0,05, questo significa che il valore di energia che deve essere rilevato rispetto ad un CORPO NERO alla stessa temperatura, è veramente molto basso, quindi il fattore di moltiplicazione matematico del segnale è estremamente elevato, tanto che non solo il segnale ma anche gli eventuali disturbi diventano rilevanti, ed è per questa ragione che questo tipo di misure viene considerato difficile se no addirittura impossibile in alcuni casi.

Ma qualora sia necessario effettuare misure in queste condizioni con termometri all'infrarosso, è possibile usare alcuni piccoli trucchi che in genere aiutano a risolvere la situazione.

### 3.2.1 - Verniciatura della Superficie

Il più semplice dove è compatibile, è quello di ricoprire il punto di misura con un sottilissimo strato di vernice opaca, che permetta di rendere misurabile la superficie che originariamente era specchiata, in genere questo sistema è utilizzato su stampi e cilindri rotanti, tipicamente cromati o lucidati a specchio.

Quindi verniciando anche una piccola porzione del corpo da misurare, l'emissività non è più quella dell'originale superficie lucida, ma bensì sarà quella della vernice, che secondo la vernice usata, potrebbe anche essere molto simile ad un corpo Nero rendendo la misura molto semplice. Ma attenzione, in questi casi, la vernice deve essere scelta con grande perizia, rispondendo a vari requisiti, il primo è che sia compatibile con l'escursione termica del corpo sul quale si vuole applicare. Per esempio: una vernice che brucia a 200 °C, applicata a freddo su una porzione di rullo cromato che poi dovrà operare alla temperatura di 400 °C, brucerà e si sfoglierà o cambierà caratteristiche appena il rullo arriverà a regime, quindi non sarà più misurabile, oltre anche a generare pericolo d'incendio sulla macchina.

Inoltre un altro requisito necessario per la vernice è lo spessore che si otterrà una volta applicata, in quanto le vernici generalmente sono anche dei buoni isolanti termici, quindi in ogni caso la vernice falserà la misura, ma se con uno strato molto sottile questa variazione è trascurabile, con uno strato rilevante di vernice, questa variazione potrebbe anche divenire incompatibile con l'applicazione.

### 3.2.2 – Corpo Nero Virtuale Semisferico

Un altro sistema per facilitare le misure su corpi e superfici particolari, diversamente difficili se non impossibili da misurare, è rappresentato dall'utilizzo di un particolare accessorio semisferico, il cui interno dovrebbe essere perfettamente riflettente.

In pratica si tratta di una speciale semisfera in acciaio trattata internamente, sull'apice della quale, mediante un apposito foro centrale, deve essere posizionato il termometro.

Lo spazio che si crea, tra la cavità interna della semisfera riflettente e la superficie da misurare, diviene quanto di più simile ad CORPO NERO.

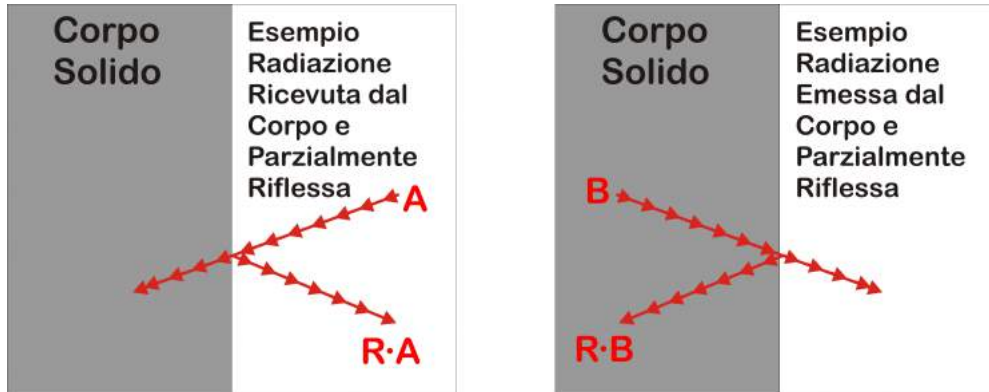
Quindi se la riflessione della semisfera interna fosse realmente totale come nell'esempio teorico sopra, la radiazione che il termometro riceverebbe, avrebbe un emissività equivalente ad 1.00 indipendentemente dalla reale emissività della superficie da misurata.

Ma la riflessione superficiale interna della semisfera non può essere totale, anche se grazie alla doratura lucidata potrà arrivare molto vicino a questa condizione puramente teorica. Per questo anche l'emissività che otterremo potrà essere considerata intorno a 0,95.

Con l'utilizzo di questa semisfera, è consigliabile l'abbinamento per basse temperature , entro 500÷600 °C con termometri Wide Range (Tipo Termopile 0,5 ÷ 14 μm ) mentre per misure a temperature più alte è consigliabile l'utilizzo di termometri più selettivi ( 0,5 ÷ 1 μm ) , anche se oggi con i termometri digitali di ultima generazione dotati di nuovi sensori configurabili, queste distinzioni hanno sempre meno senso.

## 4 – RIFLESSIONE

In linea con il concetto di Emissività di un corpo, come viene mostrato nei due esempi sotto, sia nel caso dell'esempio a destra, nel quale la radiazione B viene emessa dal corpo e una parte viene realmente emessa, ma una parte viene riflessa al suo interno, lo stesso discorso vale per l'esempio a sinistra (Radiazione Incidente), dove è il corpo a ricevere una radiazione esterna, che in parte viene effettivamente assorbita dal corpo ma una parte viene riflessa dalla sua superficie con lo stesso angolo di arrivo.



Quindi risulta evidente che la radiazione infrarossa che ogni corpo effettivamente trasmette, è la somma della Radiazione da lui Emessa naturalmente e di quella invece riflessa appunto con lo stesso angolo d'incidenza che possiamo anche considerare un disturbo più o meno rilevante della misura, specie se essa è alla stessa lunghezza d'onda sulla quale stiamo effettuando le misure.

Per queste ragioni, oggetti molto riflettenti nei quali la quantità di energia effettivamente emessa è molto bassa rispetto a quella trattenuta (riflessa internamente), mentre è rilevante la quantità di energia incidente riflessa, rispetto alla quantità di energia che riesce a trattenere.

Per far comprendere meglio i principi della riflessione, possiamo fare un semplice esempio pratico basandoci su due superficie identiche ma con finitura superficiale diversa, entrambe esposte al sole.

La prima con superficie a specchio, mentre la seconda con superficie scura ed opaca. Dopo qualche ora di esposizione al sole, la prima a specchio sarà ancora solo tiepida, se fosse perfettamente riflettente perfettamente sarebbe ancora più fredda e vicina alla temperatura ambiente, mentre la seconda scura ed opaca, risulterà molto più calda della temperatura ambiente, a dimostrare che la prima a specchio ha riflesso in ambiente buona parte della radiazione incidente del sole che ha ricevuto, mentre la seconda scura ed opaca, ha riflesso solo una piccola parte, trattenendo tutta l'altra energia, e per questo la sua temperatura si è elevata.

Tornando all'esempio nella figura, la quantità di radiazione emessa dal corpo dipende dalla temperatura del corpo stesso, mentre la radiazione incidente ricevuta e riflessa dipende dall'ambiente circostante.

Se questa energia irradiata si trova alla stessa lunghezza d'onda, il termometro infrarosso non può distinguere la differenza tra l'una e l'altra, quindi la qualità della misura dipenderà dal reale rapporto tra queste due energie che potremo anche considerare come segnale, l'energia effettivamente radiata dal corpo, e disturbo l'energia ambiente che colpisce il corpo e da esso viene riflessa.

Per chiarire meglio questo concetto, possiamo fare i seguenti tre esempio diversi:

### 4.1 Esempio: Oggetto Caldo in Ambiente Freddo

Quando la radiazione ambientale, ovvero il livello di disturbo è molto basso, può essere considerata trascurabile, ed ignorata, ma questo vale solo per termometri che operano a bassa lunghezza d'onda, mentre nel caso si utilizzino termometri a frequenza più alta la cosa potrebbe risultare rilevante come si vede dallo specchietto riepilogativo semplificato sotto mostrato:

| Tipo Sensore  | Temperatura °C |          | Emissività | Lunghezza d'onda del sensore | Errore |
|---------------|----------------|----------|------------|------------------------------|--------|
|               | Corpo          | Ambiente |            |                              |        |
| Silicio       | 1000 °C        | 400 °C   | 0.8        | 0,5 ÷ 1,1 μm                 | 0 °C   |
| Termopila     |                |          |            | 0,5 ÷ 1,1 μm                 | 5 °C   |
| Piroelettrico |                |          |            | 85 ÷ 14 μm                   | 52 °C  |

Quindi, pur rinnovando il concetto, che con le tecnologie digitali sempre più performanti ed i sensori di ultima generazione, sempre più selettivi dei precedenti, vengono ormai superati i tradizionali limiti dei vecchi sensori, nei quali vi erano rilevanti differenze in funzione della tecnologia di costruzione, oggi si potrebbe parlare solamente della lunghezza d'onda trascurando se si parla di un sensore al Silicio oppure di un Piroelettrico, ma per tradizione manteniamo questa distinzione, riconfermando che in genere dove possibile è sempre meglio utilizzare un termometro con una lunghezza d'onda più corta possibile.

#### 4.2 Esempio: Oggetto Caldo in Ambiente alla Stessa Temperatura

Questa è una delle condizioni abbastanza frequenti, ad esempio in forni di ricottura o trattamento, nei quali il corpo da misurare che può essere un manufatto qualsiasi, come mattoni oppure anche longarine di acciaio, hanno una temperatura simile se non uguale all'ambiente nel quale si trova immerse perché sono lì proprio per subire un particolare trattamento termico e devono necessariamente seguire il profilo termico del forno, che a sua volta può essere di tipo intermittente, nel quale il prodotto da trattare e la temperatura sale nel tempo, oppure di tipo continuo nel quale ogni zona ha una sua particolare temperatura indipendente, crescente e decrescente, ed è il prodotto che si muove dentro il forno con una certa velocità proporzionale alla capacità di assorbimento termico del prodotto. I pirometri ottici vengono in genere impiegati per verificare se il prodotto riesce a seguire effettivamente il trattamento termico che gli viene imposto dal forno, per questa ragione è importante che la misura sia più corretta possibile.

In questo caso, riferendosi all'esempio della figura dell'esempio doppio della "RIFLESSIONE", abbiamo il caso dove la radiazione A-B è definibile come segue:

$$(1-R) B + R B = B$$

In questo caso la misura può essere considerata come un Corpo Nero quindi non dovrebbe richiedere nessuna correzione ulteriore di emissività.

#### 4.3 Esempio: Oggetto Caldo in Ambiente più Caldo del Corpo

In questa condizione si possono commettere errori anche molto ampi se non si effettuano le dovute correzioni in relazione alla radiazione ambientale.

Questo è sicuramente il caso più complesso nel quale effettuare misure di temperatura all'infrarosso, e non esiste nemmeno una ricetta sempre valida, ma un eventuale soluzione deve essere valutata caso per caso, onde trovare il modo migliore per affrontare la problematica.

Un "Trucco" che si è sempre rivelato vincente in questi casi, è quello di schermare al massimo il termometro dalla radiazione ambiente. Permettendo al pirometro di essere più immune possibile.

Questo obiettivo si può ottenere impiegando speciali custodie raffreddate ad aria o addirittura ad acqua, che CEAM progetta e costruisce con successo da anni anche per altri produttori internazionali di termometri senza contatto, in genere sono custodie di forma e lunghezza che si deve adattare all'applicazione, quindi al forno destinatario, e possono arrivare ad essere anche molto grandi e lunghe come è stato necessario in alcuni casi limite, queste dimensioni si sono rese necessarie per poter ottenere una "Finestra" aperta sul prodotto a distanza ravvicinata, nonostante lo spazio tra la lamiera o la piastrina trattata, fosse in realtà a grande distanza (anche oltre un metro) dalla volta del forno, sulla quale era posizionato il pirometro ottico.

Lo spazio che rimaneva tra la superficie da misurare che era anche in movimento, e il gruppo pirometro-custodia era talmente limitato, in termini di pochi millimetri, che non permetteva la penetrazione di radiazioni esterne se non in piccolissima quantità assolutamente irrilevante per la misura in oggetto.

Questo tipo di costruzione è molto complessa e richiede un notevole KNOW-HOW pratico fatto oltre che teorico, CEAM ha accumulato negli anni grande esperienza in questo tipo di costruzioni e applicazioni, quindi sconsigliamo vivamente il "Fai da te" su queste problematiche, invitandovi a rivolgervi ai tecnici CEAM esponendo la vostra applicazione onde trovare una possibile soluzione anche "CUSTOM"

Per affrontare questo tipo di misura esistono anche altri metodi alternativi e più elettronici, li citeremo sommariamente tanto per la cronaca poi se deciderete di affrontare una di queste problematiche, suggeriamo di contattare il reparto tecnico CEAM.

Company With Quality System Certified

UNI EN ISO 9001:2008

Uno di questi metodi è quello di utilizzare un secondo pirometro ottico identico al primo, con il quale effettuare la misura della radiazione ambientale, facendo attenzione che sia effettivamente la misura ambientale e non venga influenzata dal materiale riscaldato, per poi utilizzare questo segnale "Ambientale" a compensazione della misura effettuata dal pirometro ottico principale puntato sul prodotto.

In alternativa all'utilizzo di un secondo pirometro ottico, un sistema di compensazione della radiazione ambiente (o meglio della temperatura) semplice ed efficace è quello di utilizzare una sonda tradizionale come una termocoppia (NDR: Che CEAM produce termocoppie e sensori tradizionali in genere sin dagli anni 60 e oggi sono disponibili in una vasta gamma di versioni) il cui segnale viene acquisito da un unità di calcolo (Esempio: il Paperless Recorder Grafico CEAM VR06-VR18), insieme al segnale del termometro ottico che misura il prodotto, usando un particolare algoritmo matematico per la compensazione della radiazione ambientale riflessa rilevata dalla sonda ausiliaria.



Figura Sopra: Unità di Acquisizione- Datalogger Paperless VR06-VR18 Molto utile anche nelle applicazioni di Pirometria Ottica

Un altro caso che vale la pena di essere citato anche se raramente può essere applicato, è rappresentato dalla condizione in cui la radiazione di disturbo è rappresentata dalle emissioni degli elementi riscaldanti all'infrarosso (Ad esempio le resistenze al quarzo) le cui emissioni hanno una lunghezza d'onda in genere nota, e si posiziona al di sotto dei  $5 \mu\text{m}$ , in questo caso la soluzione è quella di usare un Termometro Infrarosso selettivo che operi ad una frequenza superiore, e la misura non verrà minimamente influenzata dalla radiazione delle resistenze.





Company With Quality System Certified

**UNI EN ISO 9001:2008**



# CEAM Control Equipment srl

Headquarters:

Via Val D'Orme No. 291

50053 Empoli (Firenze) Italy

Tel. (+39) 0571 924082 - Fax. (+39) 0571 924505

 Skype Name: [ceam\\_info](#)

## Internet:

Portale Web Generale del Gruppo: [www.ceamgroup.com](http://www.ceamgroup.com)

Web Specifico del Settore: [www.ceamcontrolequipment.it](http://www.ceamcontrolequipment.it)

Web di supporto tecnico: [www.ceamsupport.it](http://www.ceamsupport.it)

## Indice servizi E.mail:

Informazioni Generali: [info@ceamgroup.it](mailto:info@ceamgroup.it)

Servizio Assistenza Vendite: [sales@ceamgroup.it](mailto:sales@ceamgroup.it)

Rivenditore di zona:

