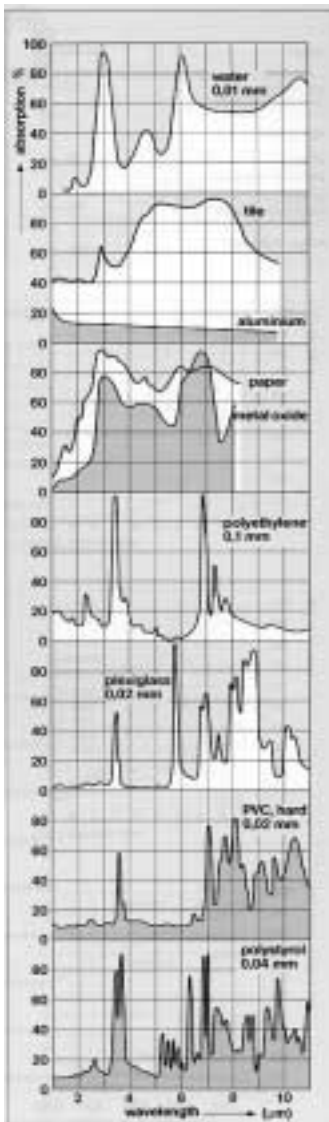
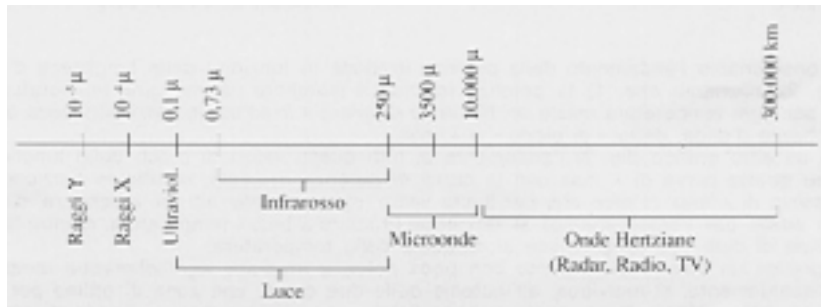


Cenni di teoria

Con queste note si intende dare qualche semplice nozione di teoria e qualche consiglio pratico sulla applicazione dei raggi infrarossi per uso industriale.

Possiamo dire che quello che consideriamo comunemente come "il calore" di un corpo è il risultato della agitazione degli atomi e delle molecole del corpo: un corpo aumenta la sua temperatura quando l'agitazione delle particelle interne aumenta e, per aumentare tale agitazione, è necessario un apporto di energia. Tale energia può essere trasferita al corpo in questione con diversi modi: a) per conduzione (quando l'energia termica viene trasmessa attraverso materiali solidi); b) per convezione (quando l'energia termica viene trasmessa attraverso un fluido); c) per irraggiamento (quando l'energia termica viene trasmessa attraverso onde elettromagnetiche). In particolare, per quanto riguarda l'irraggiamento, si è trovato che le onde elettromagnetiche di lunghezza d'onda da 0,73micron a 250micron hanno effetti termici, ossia si degradano in calore all'interno dei materiali che le assorbono. Tali onde elettromagnetiche sono allocate tra la luce visibile e le onde Hertziane e sono state perciò denominate "raggi infrarossi".



In pratica, qualunque corpo che ci circonda, essendo ad una certa temperatura maggiore dello zero assoluto, emette raggi infrarossi, ossia emette onde elettromagnetiche che, colpendo un altro corpo a minor temperatura, gli trasferiscono la loro energia e l'effetto che ne deriva è un aumento della temperatura di quest'ultimo corpo e un raffreddamento del primo.

Per realizzare un irradiatore infrarosso bisogna quindi disporre di un corpo caldo e il sistema più pratico per ottenere lo scopo è quello di utilizzare come fonte energetica la corrente elettrica la quale, per il noto effetto Joule, passando in un conduttore avente una data resistenza provoca una dissipazione di potenza proporzionale alla resistenza e al quadrato della corrente, ossia si trasforma in calore.

Esaminiamo, con le loro caratteristiche principali, i tipi di irradiatori infrarossi comunemente utilizzati nei processi industriali :

infrarossi ceramici:

Costruzione: un filamento resistivo viene annesso in una mescola ceramica che distribuisce la temperatura su tutta la superficie dell'irradiatore.

Caratteristiche principali:

- possibilità di distribuzione della irradiazione con grande uniformità
- lunghezza d'onda favorevole all'assorbimento da parte dei materiali
- temperature di irradiazione relativamente basse
- inerzia termica relativamente alta: permette una regolazione elettronica più facile
- robustezza e grande durata (il filamento resistivo non è in contatto con l'aria e quindi non subisce ossidazione nel tempo)
- montaggio in qualunque posizione

infrarossi al quarzo:

Costruzione: il filamento resistivo viene inserito in un tubo trasparente di quarzo (resistente alla temperatura)

Caratteristiche principali:

- temperature di irradiazione relativamente alte
- inerzia termica bassa: la velocità di risposta permette l'applicazione o esclusione della irradiazione in pochi secondi ed è per questo motivo che questi irradiatori vengono adottati nei processi non a ciclo continuo
- lunghezza d'onda corta (tuttavia è presente anche l'irradiazione secondaria del contenitore in quarzo che si riscalda ed irradia con lunghezza d'onda più lunga)
- svantaggi: fragilità, minore durata, impossibilità di montaggio in verticale, difficoltà di regolazione

infrarossi ad alogeni:

Costruzione e caratteristiche simili agli irradiatori al quarzo, con maggiore temperatura e maggiore velocità.

infrarossi metallici:

Costruzione: sono resistenze corazzate di varia forma, ormai poco utilizzate per la difficoltà di avere uniformità di irradiazione e per il tipo di montaggio poco industriale

Fig.1: diagrammi di assorbimento di avere uniformità di irradiazione e per il tipo di montaggio poco industriale. alcuni materiali in funzione della lunghezza d'onda

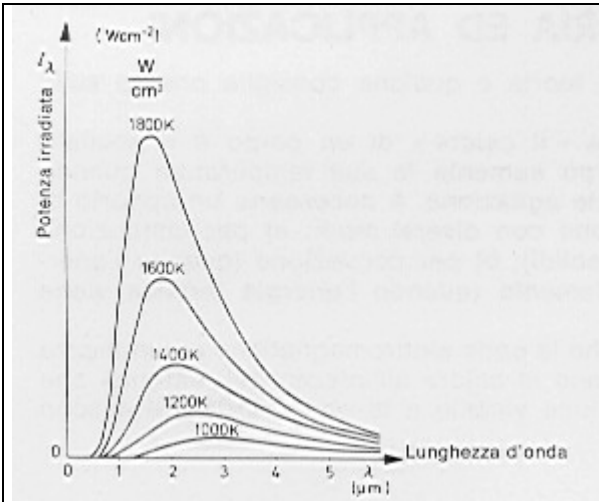


Fig.2: curve di irradiazione di Plank a diverse temperature. Rileviamo che:
 la potenza irradiata è maggiore per maggiori temperature del corpo irradiante
 per ogni temperatura esiste un massimo di energia irradiata in corrispondenza di un preciso valore di lunghezza d'onda, detto λ_{max}

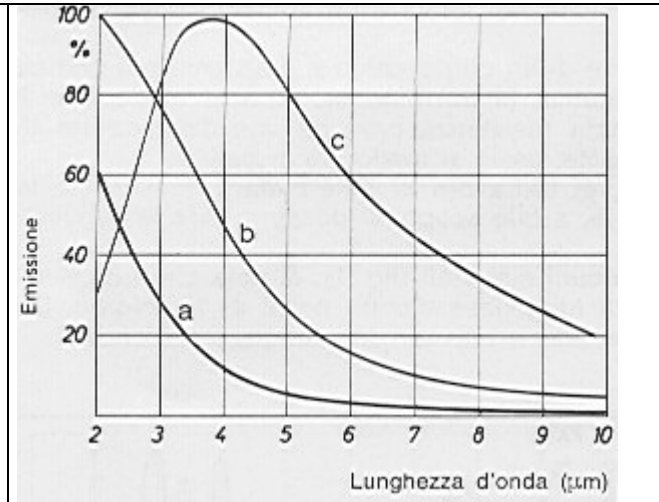


Fig.3: Spettri di emissione di diversi tipi di infrarossi. Curva a: 2100°C (infrarossi chiari); Curva b: 1100°C (infrarossi al quarzo); Curva c: 510 (Infrarossi ceramici); gamma di onde piu' favorevoli: da 3 a 10 micron

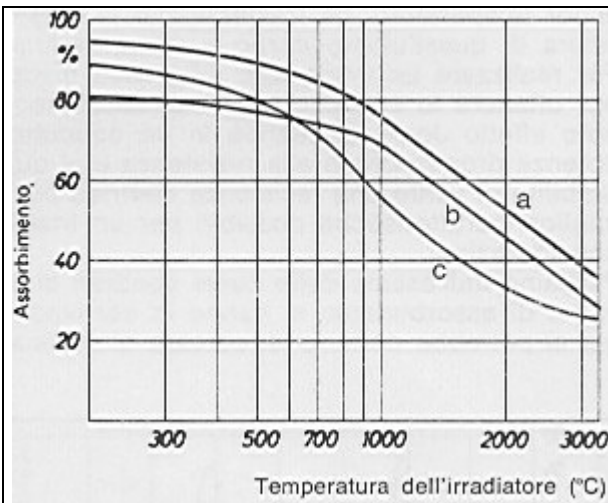


Fig.4: Assorbimento percentuale di diversi materiali: Curva a: vernici; Curva b: piastrelle ceramiche; Curva c: carta. Impiegando irradiatori aventi temperature da 300°C a 700°C (irradiatori ceramici), si ottiene il massimo assorbimento percentuale

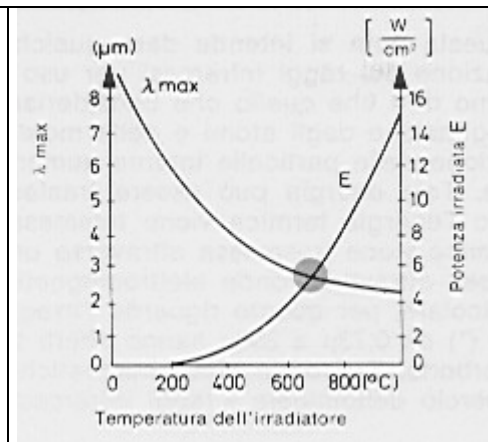


Fig.5: Relazione tra potenza irradiata E e λ_{max} in funzione della temperatura

Diagrammi

Premettiamo che i diagrammi sotto illustrati sono ricavati da prove di laboratorio e quindi sono da considerare indicativi per le applicazioni pratiche, applicazioni nelle quali compare un numero molto grande di variabili, delle quali difficilmente si potrà tenere conto completamente in sede di calcolo.

Diagrammi polari di distribuzione delle radiazioni

La curva di distribuzione delle irradiazioni dipende principalmente dalla forma dell'irradiatore e dalla presenza del riflettore. Irradiatori piatti o "a tegola" (come HTS o FSR rispettivamente) avranno una curva relativamente allargata con radiazioni più diffuse, mentre irradiatori lineari (come IRS) avranno una curva stretta e un fascio di raggi concentrato. Da qui, la scelta del tipo di irradiatore in funzione dell'impiego: gli irradiatori tipo HTS ed FSR sono adatti per impieghi a distanza ravvicinata e sono idonei a realizzare l'uniformità statica di temperatura su una superficie; gli irradiatori tubolari tipo IRS sono adatti per trattamenti a maggiori distanze e realizzano solo l'uniformità lineare, per cui sono indicati per materiali in movimento rispetto al forno. I diagrammi di Fig. 6 e 7 mostrano la diffusione delle irradiazioni di irradiatori tipo FSR ed IRS provvisti di riflettore posteriore: considerato pari al 100% il valore di irradiazione misurato sulla verticale dell'irradiatore a 1 metro di distanza, si possono ricavare i valori di irradiazione percentuale che si hanno spostandosi di un certo angolo rispetto alla verticale. Come conseguenza del diagramma di fig.6, si ha che per avere l'uniformità di temperatura su una superficie piana e ferma con gli irradiatori FSR, si deve osservare una certa geometria di disposizione, secondo quanto illustrato in fig. 8

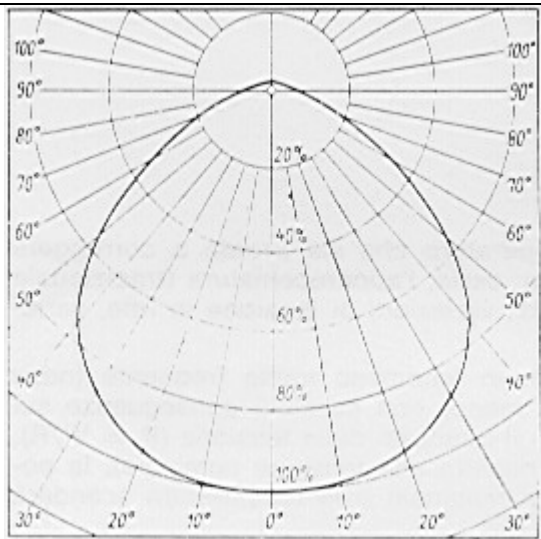


Fig.6 - Irradiatori a tegolino FSR

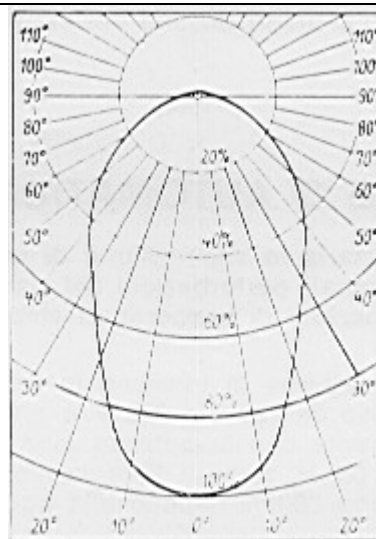


Fig.7 Irradiatori tubolari IRS

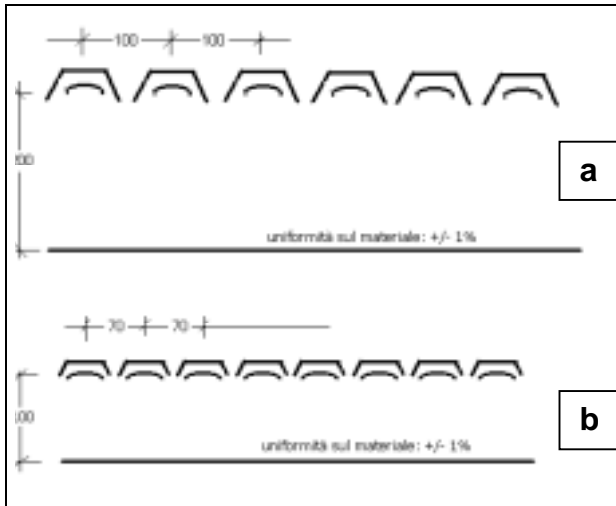


Fig.8 - Distribuzione irradiatori per avere la uniformità di irradiazione su una superficie ferma

Per avere l'uniformità di temperatura sul materiale ($\pm 1\%$) si deve realizzare una disposizione degli irradiatori come qui illustrato:
a) distribuzione normale (interasse 100mm), con distanza di applicazione 200 mm
b) potenza concentrata (interasse 70mm), con distanza di applicazione 100 mm. Nel caso di distanza inferiore dal materiale, per esempio 50 mm anziché 100 mm, si avrà una maggiore disuniformità di irradiazione (circa 5%)

Diagrammi dell'energia trasmessa al materiale da trattare

L'elevazione di temperatura del materiale irradiato è funzione delle sue caratteristiche fisiche e chimiche, del suo aspetto superficiale, del colore e soprattutto della quantità di energia assorbita. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, ci è di aiuto il diagramma di fig. 9 che ci permette di trovare l'irradiatore più adatto per una certa applicazione. Esso infatti indica i valori di densità di irradiazione (espressi in W/cm^2) misurati da una sonda posta verticalmente sotto l'irradiatore in relazione alla distanza di applicazione, per irradiatori tipo FSR di varia potenza, montati su riflettori.

Conoscendo il calore specifico del materiale, la temperatura del trattamento, il tempo di applicazione, si può risalire alla quantità di calore necessaria ed ai W/cm^2 relativi: dal diagramma poi si individua il tipo di irradiatore più adatto.

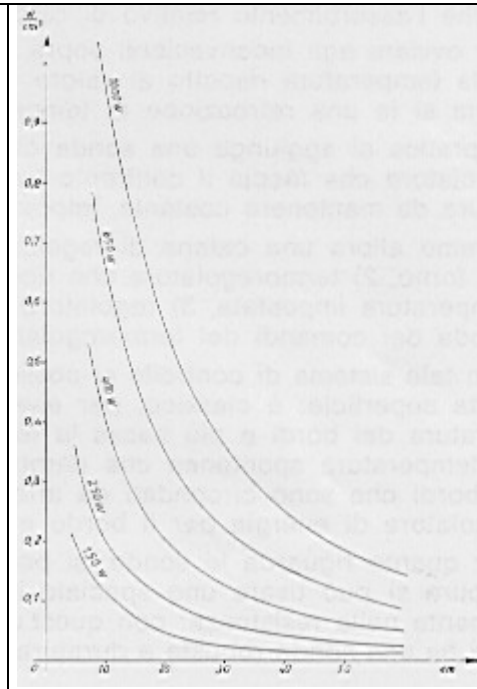


Fig.9

Dimensionamento di un impianto e problemi legati alle alte temperature

Si distinguono principalmente due casi: irraggiamento su superficie ferma (es. termoformatura) e irraggiamento su materiali in movimento (tutti i trattamenti che avvengono su nastro trasportatore).

1) **Irraggiamento su superficie ferma:** si deve di solito ottenere l'uniformità di irraggiamento su tutta la superficie da trattare. Ciò si ottiene disponendo gli irradiatori secondo una certa geometria dipendente dal tipo di irradiatore (v.fig.8). Si considera poi la superficie da irradiare e si dimensiona la piastra radiante, rispettando le esigenze geometriche sopra dette, in modo da ricoprire (con un margine di almeno qualche centimetro per lato) tutta la superficie da riscaldare. Si determina in tal modo la forma della piastra, ossia il numero totale di irradiatori infrarossi necessari.

2) **Irraggiamento su superficie in movimento:** è il caso di forni e linee che trattano materiali trasportati su nastro o tramite catena. Per avere un irraggiamento uniforme dei materiali basta avere l'uniformità in senso perpendicolare alla traslazione; il moto stesso poi provvede a dare lo stesso trattamento termico nell'altro senso.

L'impianto qui è concettualmente più semplice, in quanto basta montare i pannelli (che assicurano già l'uniformità nel senso della loro lunghezza) in numero sufficiente a garantire il tempo di irraggiamento necessario, tenuto conto della velocità di traslazione del materiale.

Si passa poi a determinare la potenza da assegnare agli irradiatori. Tale potenza dovrà essere scelta tenendo presente la temperatura richiesta sul materiale, lo spessore e il tipo di materiale, il tempo di irraggiamento, il tipo di forno (se aperto o coibentato), ecc.

La scelta della potenza è senz'altro problematica in quanto, tenuto conto delle variabili e degli imprevisti termici che si presentano in ogni singolo impianto, non si può procedere col calcolo, ma bisogna decidere in base alla pratica. In mancanza di esperienze di casi analoghi precedenti, si effettuano delle prove su campioni.

Tuttavia con l'avvento dei regolatori elettronici di temperatura (di cui si parla più avanti), questa scelta è diventata meno critica e, praticamente, basta non eccedere troppo con la potenza, potendo sempre regolare in meno.

Collegamenti elettrici: dato che i collegamenti elettrici degli irradiatori sono sistemati in parti soggette ad alte temperature, bisogna prevedere conduttori opportunamente costruiti. Occorre tenere presente che oltre i $200^{\circ}C$ il rame dei conduttori viene attaccato dall'ossigeno dell'aria e diventa fragile. Pertanto è opportuno prevedere cavi in rame nichelato in modo che la superficie di rame dei conduttori elementari risulti più protetta; con tale accorgimento, si arriva a temperature di $300-350^{\circ}C$.

Dal punto di vista dell'isolamento, i cavi rivestiti in silicone resistono fino a $200^{\circ}C$; quelli in Teflon fino a circa $250^{\circ}C$. Meglio prevedere cavi in rame nichelato con rivestimento di più strati di elettrovetro, che garantiscono resistenza fino a $300^{\circ}C$ con punte di breve durata a $350^{\circ}C$. I cavi con conduttori in Nichel garantiscono funzionamento anche a temperature superiori: tuttavia il Nichel ha una conduttività molto inferiore a quella del rame (circa $1/5$): pertanto si dovrebbero avere sezioni 5 volte superiori, con notevoli problemi di installazione e di costo.

Dove è possibile e per brevi percorsi è possibile utilizzare sbarrette in acciaio inox (con comportamento analogo al Nichel) montate su isolatori in porcellana.

Come il rame, anche l'ottone subisce l'attacco dell'ossigeno a temperature oltre i $200^{\circ}C$: attenzione quindi alle morsetterie e capicorda, che dovrebbero essere in nichel o acciaio inox.

Dilatazioni: gli irradiatori vengono montati su strutture metalliche che, a seconda della temperatura, sono soggette a dilatazioni.

Il coefficiente di dilatazione dell'alluminio è di $0,024 mm/^{\circ}C$ per ogni metro lineare; per l'acciaio $0,012 mm/^{\circ}C$ per metro lineare. Perciò per una variazione ad esempio di $100^{\circ}C$ avremo delle dilatazioni per ogni metro di lunghezza del pannello pari a $2,4 mm$ per l'alluminio e di $1,2 mm$ per l'acciaio.

Bisogna quindi lasciare alle strutture la possibilità di muoversi nel senso delle dilatazioni; generalmente si prevedono delle asole con dadi autobloccanti non serrati a fondo. Oppure si applicano dadi speciali di scorrimento che permettono il movimento nel senso delle dilatazioni. In ogni caso non si dovrebbe mai, almeno per strutture relativamente lunghe, bloccare un pannello da entrambe le parti.

Se si utilizzano dadi autobloccanti, questi devono essere resistenti alle temperature: in particolare, l'inserito di blocco non deve essere in plastica, ma in metallo

Dispersioni:

allo scopo di migliorare il rendimento del processo di irradiazione, si consiglia di rivestire le pareti del forno di materiale riflettente (lamiera cromata, acciaio inox), in modo da convogliare la maggior quantità possibile di irradiazioni sul materiale da trattare. Infatti può apparire strano che per trattare un materiale a 100°C si debba impiegare un irradiatore con temperatura superficiale di 600°C: Bisogna tenere presente che, delle radiazioni emesse dalla sorgente, solo una parte raggiungerà il bersaglio (cioè il materiale da riscaldare): infatti una parte delle radiazioni andrà a colpire le pareti del forno, un'altra parte verrà captata dal pulviscolo atmosferico interposto, un'altra parte ancora andrà a scaldare il riflettore posto sul retro dell'irradiatore e sarà tanto maggiore quanto più tale riflettore sarà sporco o comunque poco riflettente. Una parte di questo calore disperso in realtà è recuperabile sotto forma di calore di convezione, chiudendo il più possibile il forno.

Applicazioni

In generale gli irradiatori infrarossi vengono impiegati in quelle applicazioni industriali in cui si deve trasferire calore ad un materiale senza contatto oppure si devono accorciare i tempi di riscaldamento rispetto ai forni a convezione.

Applicazioni industriali tipiche:

- termoformatura
- essiccazione di vernici, colle e spalmati
- riscaldamento film plastici per confezionamento e accoppiamento
- riscaldamento materiali termoretraibili
- asciugatura materiali umidi

Impieghi speciali:

- riscaldamento civile
- uso zootecnico in allevamenti
- saune
- riscaldamento cibi

Certificazioni

Tutti i materiali elettrici forniti sono certificati CE.

I pannelli, costruiti come illustrato nelle descrizioni del presente catalogo, sono pure certificati CE.

In particolare, risultano in conformità con quanto previsto dalle seguenti Direttive Comunitarie, con la relativa legislazione nazionale di recepimento:

- Direttiva Bassa Tensione (73/23 - 93/68)
- Compatibilità elettromagnetica (89/336 - 92/31 -93/68)
- Direttiva Macchine (89/392) ove ritenuta applicabile

Sono state inoltre rispettate le seguenti Norme armonizzate:

EN 60 204 - 1	Sicurezza delle apparecchiature; componenti elettrici
EN 292/1 - EN 292/2	Sicurezza delle apparecchiature; principi generali per la progettazione
EN 60 335 - 1 e succ. varianti	Sicurezza degli apparecchi di uso domestico e similare - Norme Generali
EN 60 335 -2 -30	Sicurezza degli apparecchi elettrici di uso domestico e similare - Parte II: Norme particolari per gli apparecchi di riscaldamento dei locali

Anche i regolatori di temperatura RE ed i termoregolatori RT 88D sono certificati CE.

Costruzione

In generale, gli irradiatori infrarossi ceramici sono costituiti da un filamento resistivo a spirale in lega di nichel-cromo, incorporato in una speciale miscela ceramica glasata, che lo protegge dall'ossidazione, da vapori aggressivi e da spruzzi d'acqua.

Il rivestimento ceramico inoltre garantisce una lunghissima durata di funzionamento dell'irradiatore.

La costruzione normale è per irradiatori a 230V.

Come costruzioni speciali, si possono avere irradiatori per diverse tensioni fino ad un massimo di 400V.

Tenere presente che la tensione di alimentazione (V) è direttamente collegata alla potenza (P) erogata dall'irradiatore stesso ed al valore resistivo (R) dell'irradiatore, secondo la legge di Ohm:

$$P = V^2 / R$$

Da qui si deduce anche che una tensione di alimentazione diversa da 230V (in più o in meno) produce effetti quadratici sulla potenza erogata dalla resistenza. Ad esempio se la tensione di alimentazione fosse del 5% inferiore al valore nominale (cioè = $0,95 V_n$), la potenza corrispondente sarebbe $(0,95)^2 = 0,90 P_n$. Cioè la potenza erogata dall'irradiatore sarebbe del 10% inferiore a quella nominale.

Montaggio

<p>Ogni irradiatore per usi industriali viene fornito con molle di fissaggio che permettono il montaggio elastico dell'elemento su una lamiera riflettente.</p>	
---	--

<p>In figura sono illustrate le dime di foratura per il montaggio di irradiatori di diversi tipi</p>	
--	--

Marcature

Su ogni irradiatore sono stampati sul fronte: la marca, il tipo, la potenza e la tensione nominali, la temperatura massima. Sul retro il marchio CE ed il numero di fabbricazione.

Per quanto riguarda la temperatura massima, questa non è la temperatura di funzionamento, ma è la temperatura (superiore alla temperatura nominale) al di sopra della quale l'irradiatore subisce un invecchiamento precoce. Quindi è una temperatura da non superare. Il caso si può presentare quando l'irradiatore non è libero di dissipare la propria potenza, per esempio quando esso lavora in un sistema eccessivamente chiuso, senza sufficienti ricambi d'aria.

