

METODI DI MISURA DELLA TEMPERATURA

La termometria é un settore consolidato della metrologia, anche se l'innovazione tecnologica rende spesso disponibili sul mercato nuovi sensori e strumenti che possono trovare anche applicazione nel settore industriale (termoresistenze miniaturizzate, sensori a fibra ottica, termometri all'infrarosso). Nella pratica industriale prevale in genere l'uso di strumenti tradizionali poco sofisticati e soprattutto di non elevato costo. La scelta é per lo più limitata, vista la semplice trasducibilità elettrica dei relativi segnali, a termocoppie e termometri a resistenza.

Una prima suddivisione tra i differenti metodi di misura utilizzati nel controllo di processo e negli impianti civili ed industriali é quella che distingue tra:

- metodi basati su fenomenologie di tipo elettrico;
- metodi classici non elettrici.

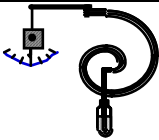
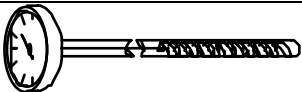
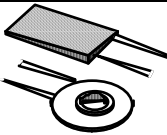
Una tale suddivisione, anche se netta, non consente di effettuare i necessari confronti applicativi. Per tale motivo è opportuno operare ulteriori differenziazioni tra i sensori sulla base dei singoli principi di misura e delle tecnologie utilizzate, individuando famiglie aventi caratteristiche metrologiche ed impiantistiche omogenee. Tutto ciò anche allo scopo di poter effettuare le considerazioni necessarie per la scelta ottimale del sensore più idoneo alle proprie esigenze.

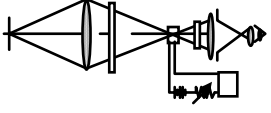
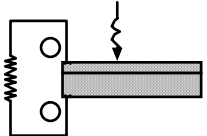
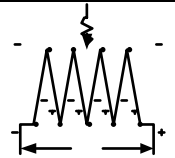
In Tab. IV.1 e IV.2 vengono riportati i principi di misura e le principali caratteristiche dei sensori di temperatura maggiormente utilizzati

Tab.IV.1 Principi di misura

TIPO	PRINCIPIO FISICO	GRANDEZZA TRASDOTTA	SENSORE	STRUMENTO ASSOCIATO
Termometro a liquido	dilatazione termica	spostamento del liquido	mercurio, toluene o alcool etilico, bulbo e capillare	capillare graduato
Termometro a gas	legge dei gas perfetti	pressione gas	gas in bulbo e capillare	manometro
Termometro a vapore	variazione della pressione del vapore saturo con la temperatura	tensione vapore	vapore saturo in bulbo metallico e capillare	manometro
Termometro bimetallico	differente dilatazione termica	differente dilatazione metalli	due placchette aderenti e avvolte a spirale o elica	amplificatore meccanico
Termometro a resistenza	variazione della resistenza dei conduttori	resistenza elettrica	fili di platino, rame, nickel, etc.	ponte in DC o AC, potenziometro, voltmetro comparatore
Termistore	variazione della resistenza dei semiconduttori	resistenza elettrica	semiconduttore	multimetro
Termocoppia	effetto Seebeck	f.e.m.	coppia termoelettrica	potenziometro, millivoltmetro
Termometro a radiazione monocromatico (automatico o manuale)	legge di Planck	f.e.m.	fotodiodo, fotomoltiplicatore occhio umano	ottica, lampada a filamento, filtro monocromatore, servo sistema aut. o man.
Termometro a radiazione ad infrarosso	legge di Planck	f.e.m.	fotodiodo o fotoconduttore	ottica, filtro ottico, millivoltmetro o potenziometro
Termometro a radiazione totale	legge di Stefan-Boltzmann	f.e.m.	termopila, bolometro o sensore piroelettrico	ottica, voltmetro o potenziometro
Termometro a radiazione bicolore	legge di Planck (rapporto delle radiazioni)	f.e.m.	fotodiodo o fotomoltiplicatore	ottica, filtri, voltmetro

Tab.IV.2- Caratteristiche dei sensori di temperatura

Sensori a Contatto		
Principio di misura	Caratteristiche	Vantaggi/ Svantaggi
 termometri a bulbo	<i>principio:</i> dilatazione liquido <i>campo:</i> $-50 \div 400^{\circ}\text{C}$ (in funzione del liquido) <i>incertezza:</i> $0.05-2^{\circ}\text{C}$ <i>uscita:</i> meccanica <i>norme</i> UNI 6893	<i>Vantaggi</i> - elevata stabilità <i>Svantaggi</i> - elevata costante di tempo - campo di misura ridotto
 termometri a riempimento	<i>principio:</i> variazione pressione di gas, vapore, liquido <i>campo:</i> $-50 \div 600^{\circ}\text{C}$ <i>incertezza:</i> $1-2^{\circ}\text{C}$ <i>uscita:</i> meccanica <i>norme</i> UNI- CTI 9010	<i>Vantaggi</i> - lettura a distanza <i>Svantaggi</i> - elevata costante di tempo - problematiche installazione
 termometri bimetallici	<i>principio:</i> dilatazione di solidi <i>campo:</i> $0 \div 600$ <i>incertezza:</i> $1-5^{\circ}\text{C}$ <i>uscita:</i> meccanica <i>norme</i> UNI- CTI 9010	<i>Vantaggi</i> - basso costo <i>Svantaggi</i> - scarsa precisione - non utilizzabili a distanza
 termometri a resistenza	<i>principio:</i> variazione resistenza elettrica di metalli <i>campo</i> $-250 \div 850^{\circ}\text{C}$ <i>incertezza:</i> $0.01-0.1^{\circ}\text{C}$ <i>uscita:</i> elettrica <i>norme</i> UNI-7937, IEC 751	<i>Vantaggi</i> - elevata affidabilità - linearità <i>Svantaggi</i> - elevato costo - elevata costante di tempo
 termistori	<i>principio:</i> variazione resistenza elettrica di semiconduttori <i>campo</i> $-100 \div 200^{\circ}\text{C}$ <i>incertezza:</i> $0.5-1^{\circ}\text{C}$ <i>uscita:</i> elettrica	<i>Vantaggi</i> - basso costo - elevata sensibilità <i>Svantaggi</i> - autoriscaldamento
 termocoppie	<i>principio:</i> effetto Seebeck <i>campo</i> $<350^{\circ}\text{C}$ (T) $<900^{\circ}\text{C}$ (E) <i>incertezza:</i> $0.5 \div 5^{\circ}\text{C}$ <i>uscita:</i> elettrica <i>norme</i> UNI-CTI 7938 IEC 584-1/2/3	<i>Vantaggi</i> - basso costo - piccola costante di tempo <i>Svantaggi</i> - non linearità - bassa sensibilità

Sensori a Distanza		
Principio di misura	Caratteristiche	Vantaggi/ Svantaggi
 termometri monocromatici	<i>principio</i> radiazione emessa nel visibile <i>campo</i> $-800 \div 5000^{\circ}\text{C}$ <i>incertezza</i> : $1-10^{\circ}\text{C}$ <i>uscita</i> : elettrica	<i>Vantaggi</i> - misure a distanza - piccole costanti di tempo <i>Svantaggi</i> - dip. emissività e elev. costo
 termometri all'infrarosso	<i>principio</i> radiazione emessa nell'infrarosso <i>campo</i> $-50 \div 3000^{\circ}\text{C}$ <i>incertezza</i> : $1-10^{\circ}\text{C}$ <i>uscita</i> : elettrica	<i>Vantaggi</i> - misure a distanza - piccole costanti di tempo <i>Svantaggi</i> - dip. emissività e elev. costo
 termometri a radiazione totale (sensore termico)	<i>principio</i> : radiazione totale <i>campo</i> : $0 \div 2000^{\circ}\text{C}$ <i>incertezza</i> : $1-10^{\circ}\text{C}$ <i>uscita</i> : elettrica	<i>Vantaggi</i> - misure a distanza - medio costo <i>Svantaggi</i> - elevate costanti di tempo - dipendenza propr. emissive

Sono di tipo *non elettrico* i sensori basati su:

- la variazione di pressione di un gas (a volume costante) al variare della temperatura.
- la variazione di volume di un liquido al variare della temperatura.
- la variazione della pressione di un vapore al variare della temperatura.
- la variazione delle dimensioni di un solido al variare della temperatura (Termometri bimetallici).

Sono invece di tipo *elettrico* i sensori basati su:

- la variazione della resistenza elettrica di un metallo e di un non metallo al variare della temperatura (Termometri a resistenza-Termistori).
- la variazione della f.e.m. ai capi di un circuito termoelettrico costituito da due metalli differenti al variare della temperatura (Termocoppie).
- la misura della temperatura di un corpo tramite la misura della radiazione emessa nel campo del visibile o dell'infrarosso (Pirometri ottici-Termometri all'infrarosso).

- la misura della temperatura di un corpo tramite la misura della radiazione totale emessa (termometri a radiazione totale).

Una seconda classificazione dei sensori di temperatura può essere effettuata sulla base del campo di applicazione consigliato per ciascun metodo. Ma la classificazione che sembra essere migliore è quella che divide tra loro:

- i metodi di misura per *contatto* (termometri a dilatazione di gas, liquidi e solidi, termocoppie, termometri a resistenza, termistori);
- i metodi di misura *a distanza* (termometri a radiazione ottici, termometri all'infrarosso, termometri a radiazione totale, termometri bicolore).

Questa classificazione è da considerarsi, insieme a quella basata sul campo di applicazione, la più utile per la scelta del tipo di strumento da adottare anche perché le due metodologie di misura per contatto ed a distanza sono affette da differenti incertezze che ne determinano una migliore o peggiore affidabilità a seconda del tipo di misura di temperatura che si va ad effettuare. Infatti la prima metodologia implica, per un corretto funzionamento, un "intimo contatto" del sensore con il solido, liquido (il contatto in questo caso è immersione) o gas di cui si vuole misurare la temperatura. Il sensore a contatto "sente sempre la sua temperatura" e sarà il modello termico del contatto sensore ambiente di misura (modello che coinvolge tutte le fenomenologie di scambio presenti) a caratterizzare lo scostamento tra valore letto e valore misurato.

Il sensore a distanza, invece, è sempre un sensore di radiazione e non di temperatura, per cui la temperatura letta dal sensore a distanza è legata a quella reale della superficie emittente da un complesso modello termico radiativo che descrive essenzialmente le proprietà emissive della superficie di misura e dell'ambiente che si interpone tra sensore e superficie in modo tale da consentire una valutazione dello scostamento tra ipotesi ideale (sensore puntato su un corpo nero con mezzo di propagazione completamente trasparente) e situazione reale (sensore puntato su corpo al più grigio e mezzo di propagazione non completamente trasparente) .

Nei capitoli seguenti sono esaminati nel dettaglio solo i sensori classificati di tipo elettrico, per la ovvia ragione che questi con la prepotente avanzata delle conoscenze nel campo dell'elettronica e le sempre maggiori esigenze di controllo automatico degli impianti, sono i metodi industrialmente più adottati e vanno via via sostituendo gli strumenti di tipo non elettrico che trovano ancora applicazione solo in laboratorio o in specifiche situazioni industriali in cui è richiesta solo una attività di verifica.