

Introduzione alla termometria

Edoardo Milotti
CdS Fisica A. A. 2007-8



L'invenzione del termometro

1596 – Galileo Galilei e il primo termoscopio. Galileo è spesso considerato l'inventore del termometro, ma in realtà ha inventato un termoscopio, uno strumento per indicare le differenze di temperatura, non dotato di una scala. Ovviamente passare da un termoscopio ad un termometro è un passo abbastanza breve.

1612 – Santorio Santorio e il primo termometro. Santorio Santorio (1561-1636) sembra sia stato il primo ad applicare una scala ad un termoscopio ad aria ed è quindi considerato l'inventore del termometro. Lo strumento di Santorio era un termometro ad aria, piuttosto poco accurato, visto che all'epoca non si conosceva l'influenza della pressione su un termometro di questo tipo

1654 – Il primo termometro sigillato del tipo liquido in vetro. Il termometro sigillato del tipo liquido in vetro che è quello più comune oggi, fu prodotto per la prima volta dal granduca di Toscana, Ferdinando II (1610-1670), ed era riempito con alcool. Benché questo fosse uno sviluppo significativo, il suo termometro era poco accurato e privo di una scala standardizzata.

1714 – il primo termometro a mercurio. Gabriel Fahrenheit (1686-1736) fu il primo a costruire un termometro a mercurio. La maggiore regolarità dell'espansione del mercurio e il miglioramento della tecnica di lavorazione del vetro permisero la costruzione di un termometro molto più accurato.



Il più alto termometro del mondo a Baker, California (non è altro che un termometro elettronico con una scala piuttosto grande)

Le scale di temperatura

Quando il termometro fu inventato si sapeva poco dei punti fissi.

Inoltre tutto era molto più confuso a causa delle difficoltà costruttive: era molto difficile realizzare un termometro con un diametro costante in tutta la sua lunghezza, e questo voleva dire che non esistevano due termometri uguali.

Solo quando alcune persone viaggiarono portando con sé lo stesso termometro fu possibile confermare che i punti di congelamento e di ebollizione dell'acqua erano gli stessi indipendentemente dalla località e si individuarono gli effetti dell'altezza e della pressione dell'aria.

I punti di congelamento e di ebollizione dell'acqua vennero scelti per la loro facile realizzabilità.

Scala Fahrenheit

Fu la prima ad essere introdotta, ed è ancora in uso, benché in misura sempre più ridotta. I punti fissi sono il punto di congelamento dell'acqua (32) e il punto di ebollizione dell'acqua (212).

Fahrenheit scelse 32 per la temperatura del punto di congelamento dell'acqua perché in questo modo anche le temperature più basse che riusciva a produrre in laboratorio restavano positive.

Scala Réaumur

Questa scala non è più in uso, ma il suo sviluppo fu significativo perché fu la prima scala ad utilizzare lo 0 per il punto di congelamento dell'acqua (la temperatura di ebollizione dell'acqua è fissata a 80)

Scala Celsius

È la scala più usata. I punti fissi sono sempre il punto di congelamento dell'acqua e quello di ebollizione dell'acqua. Venne introdotta dall'astronomo svedese Anders Celsius nel 1742. Celsius scelse lo 0 per la temperatura di ebollizione e 100 per la temperatura di congelamento. Un anno dopo il francese Jean Pierre Cristin invertì la scala Celsius per produrre la scala centigrada usata oggi (congelamento a 0, ebollizione a 100). In seguito ad un accordo internazionale nel 1948, la scala adattata da Cristin fu denominata Celsius ed è quella in uso oggi.

Scala Kelvin

La scala Kelvin è lo standard del Sistema Internazionale. I punti fissi sono il punto triplo dell'acqua (0) e il punto di ebollizione dell'acqua (100), e fu proposta nel 1848 da William Thomson (Lord Kelvin).

Punti fissi in uso oggi

La scala di temperature in uso oggi viene mantenuta dalla Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (Parigi). La scala di temperature più recente è stata definita nel 1990 ed è nota con il nome di International Temperature Scale (ITS-90).

ITS-90 è riferita a 16 punti fissi, che sono i punti di fusione, congelamento o punti tripli di varie sostanze: acqua, mercurio, gallio, indio, stagno, zinco, alluminio, argento, idrogeno, neon, ossigeno, argon, rame e oro.

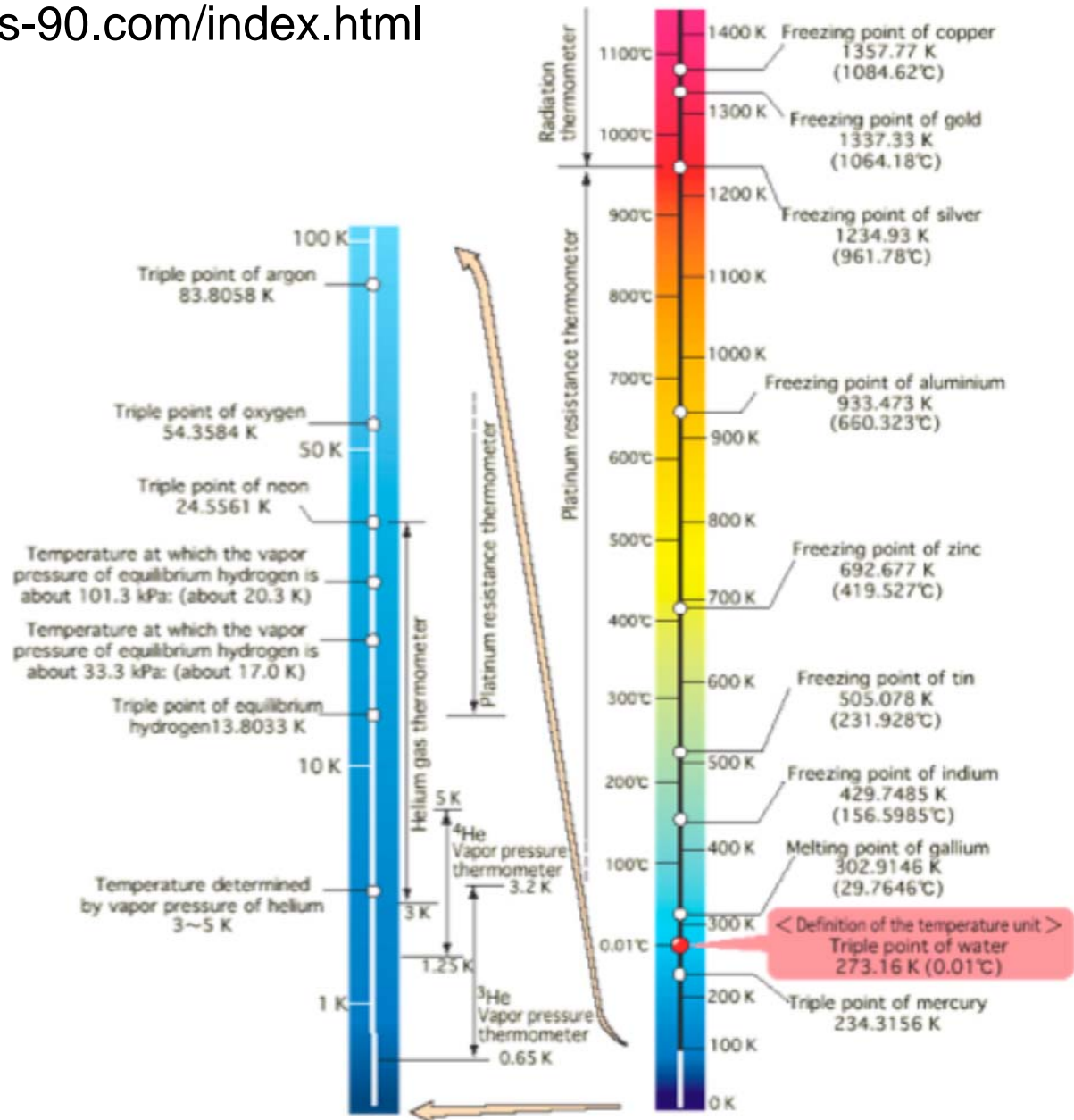
A parte l'acqua gli altri punti fissi si riferiscono tutti a sostanze elementari.

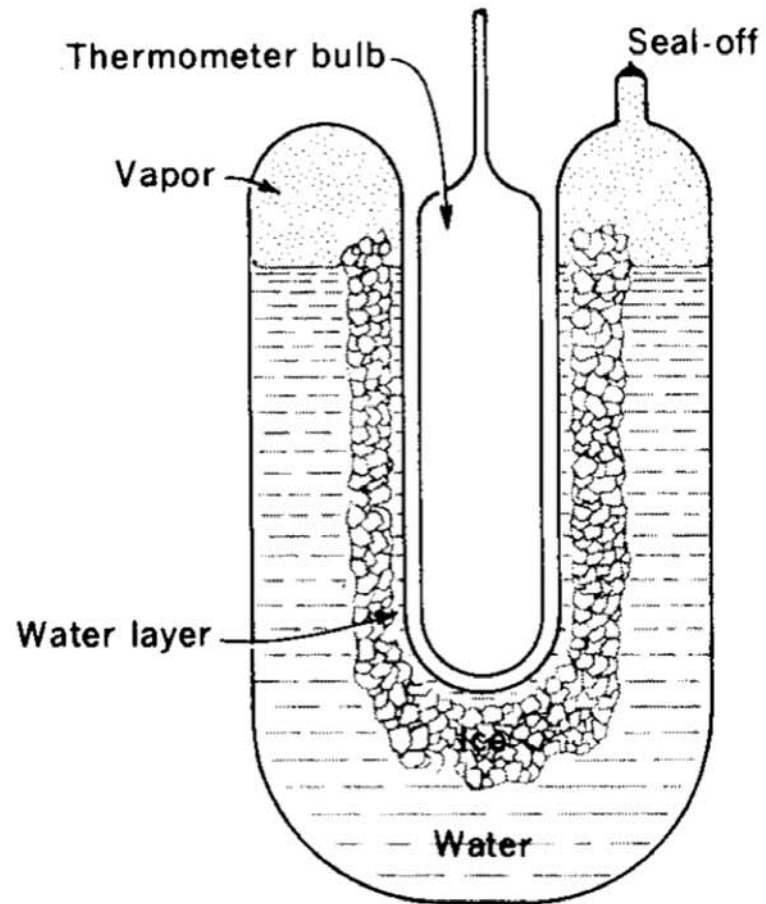
Questi punti fissi definiscono una gamma di temperature entro la quale un termometro può venire calibrato, ad esempio dal punto triplo dell'idrogeno a $-259.3467\text{ }^{\circ}\text{C}$ (13.8033 K) al punto di congelamento dell'oro a $1064.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1337.33 K).

Punti tripli

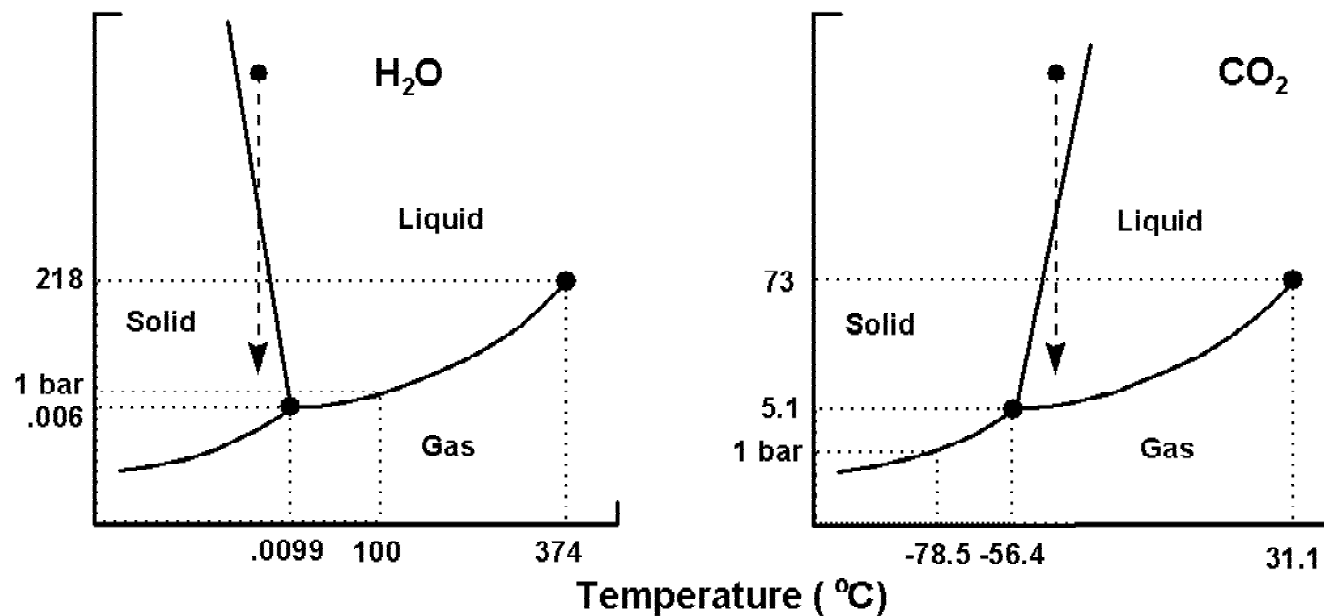
Una sostanza si trova al suo punto triplo quando lo stato gassoso, liquido e solido coesistono. Il punto triplo dell'acqua è il punto fisso più importante di ITS-90, perché è il solo punto fisso comune a ITS-90 e alla scala Kelvin.

<http://www.its-90.com/index.html>





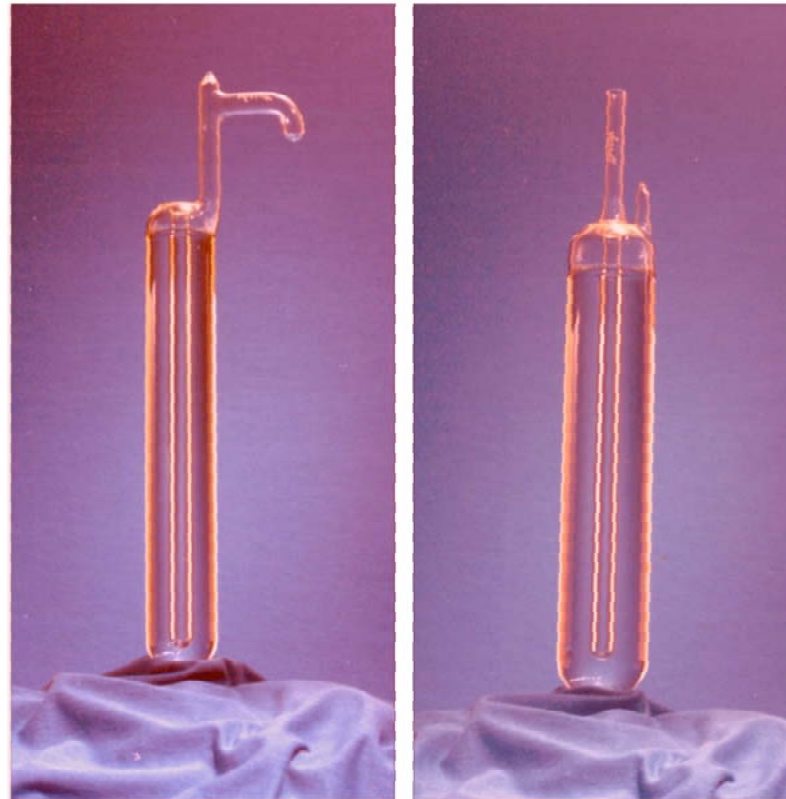
Cella per il punto triplo dell'acqua



La figura mostra i diagrammi di fase di acqua (a sinistra) e anidride carbonica (a destra). Il diagramma di fase dell'acqua è anomalo rispetto a quello di molte sostanze: una diminuzione di pressione come quella mostrata nella figura produce formazione di ghiaccio nel caso dell'acqua, mentre nel caso dell'anidride carbonica produce la liquefazione del ghiaccio secco.

Jarrett ISOTECH

Triple Point of Water Cells



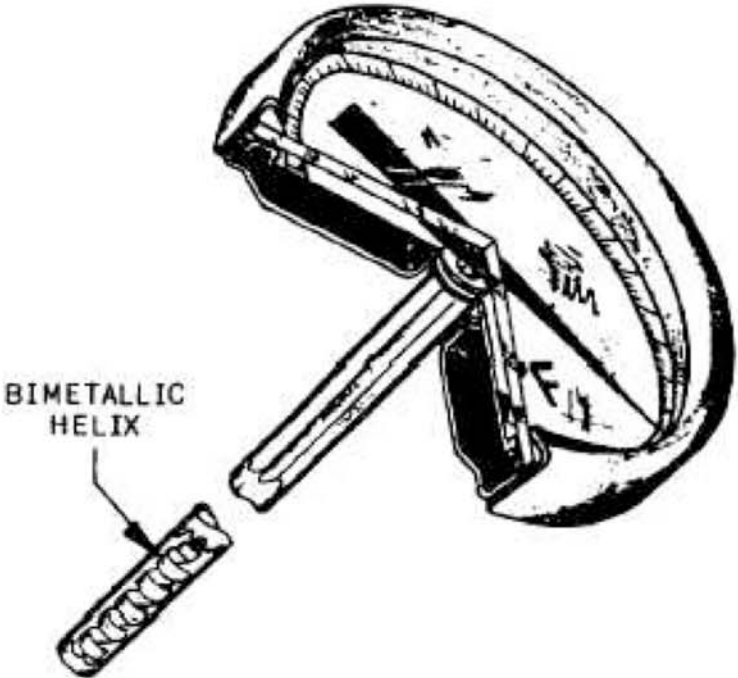
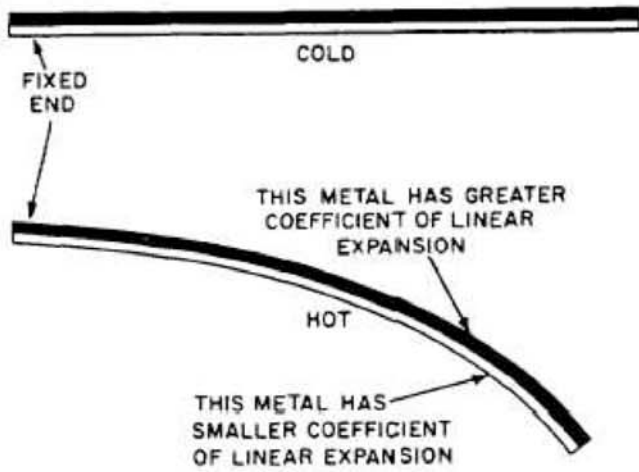
Tipi di termometri

- Termometro a mercurio



Termometro a mercurio di fine '700 costruito a Londra da J. Troughton (IMSS, Firenze)

- Termometro bimetallico



- Termometro a gas

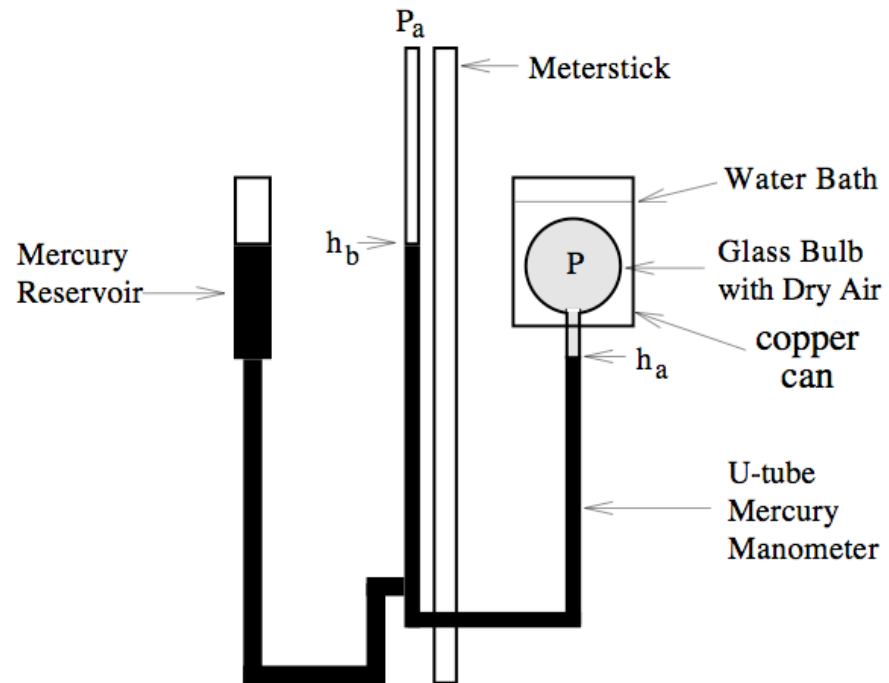


FIGURE 1: Constant Volume Gas Thermometer

$$T = \left(\frac{V}{nR} \right) P$$



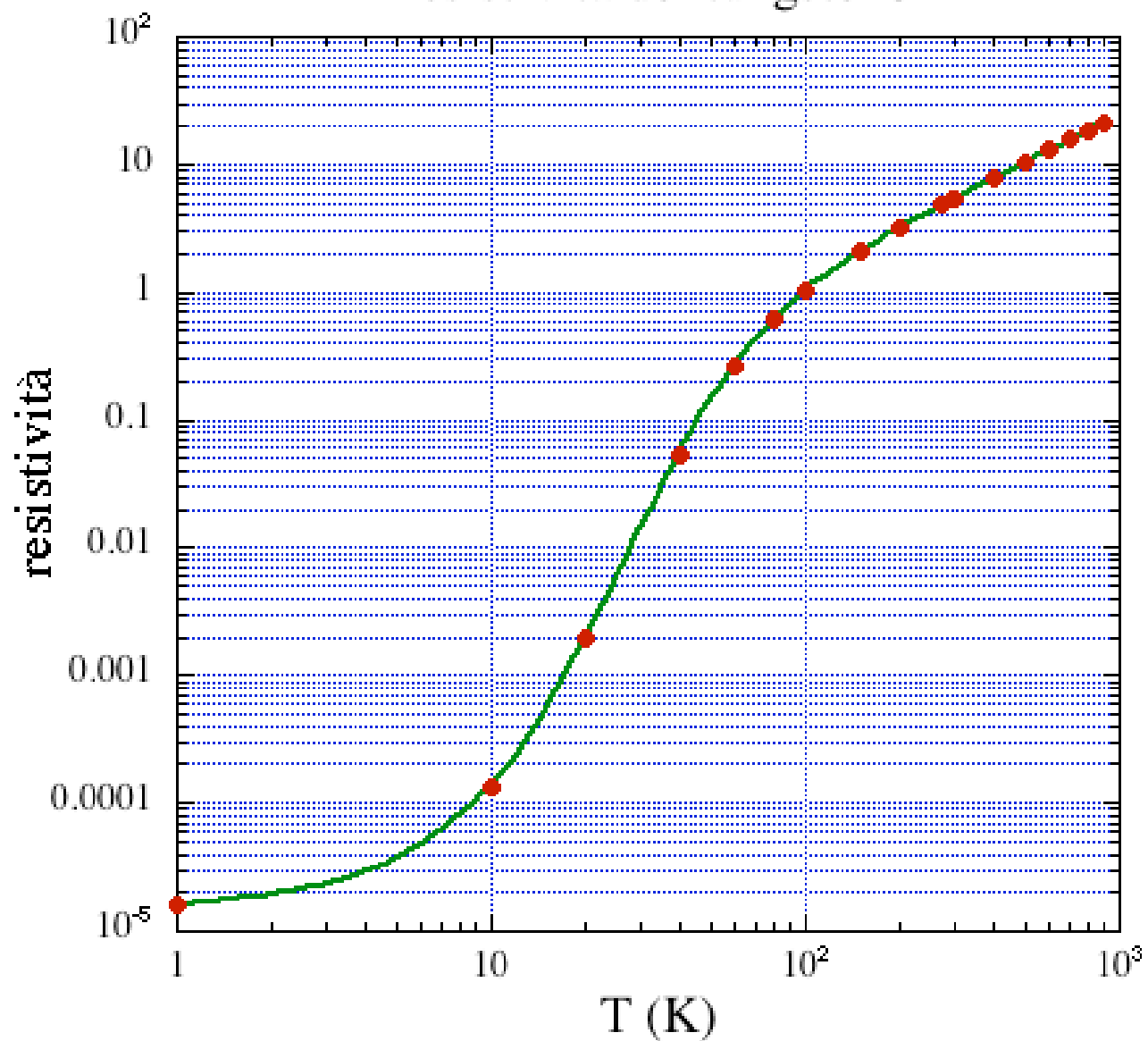
- Termometro resistivo

$$R = \left(\frac{L}{S} \right) \rho \qquad \frac{R(T)}{R(T_0)} = \frac{\rho(T)}{\rho(T_0)}$$

| T/K | Aluminum | Copper | Tungsten |
|------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 1 | 0.000100 | 0.00200 | 0.000016 |
| 10 | 0.000193 | 0.00202 | 0.000137 |
| 20 | 0.000755 | 0.00280 | 0.00196 |
| 40 | 0.0181 | 0.0239 | 0.0544 |
| 60 | 0.0959 | 0.0971 | 0.266 |
| 80 | 0.245 | 0.215 | 0.606 |
| 100 | 0.442 | 0.348 | 1.02 |
| 150 | 1.006 | 0.699 | 2.09 |
| 200 | 1.587 | 1.046 | 3.18 |
| 273 | 2.417 | 1.543 | 4.82 |
| 293 | 2.650 | 1.678 | 5.28 |
| 298 | 2.709 | 1.712 | 5.39 |
| 300 | 2.733 | 1.725 | 5.44 |
| 400 | 3.87 | 2.402 | 7.83 |
| 500 | 4.99 | 3.090 | 10.3 |
| 600 | 6.13 | 3.792 | 13.0 |
| 700 | 7.35 | 4.514 | 15.7 |
| 800 | 8.70 | 5.262 | 18.6 |
| 900 | 10.18 | 6.041 | 21.5 |

resistività in
unità di $10^{-8} \Omega \cdot m$

Resistività del tungsteno





PT-102



PT-103



PT-111

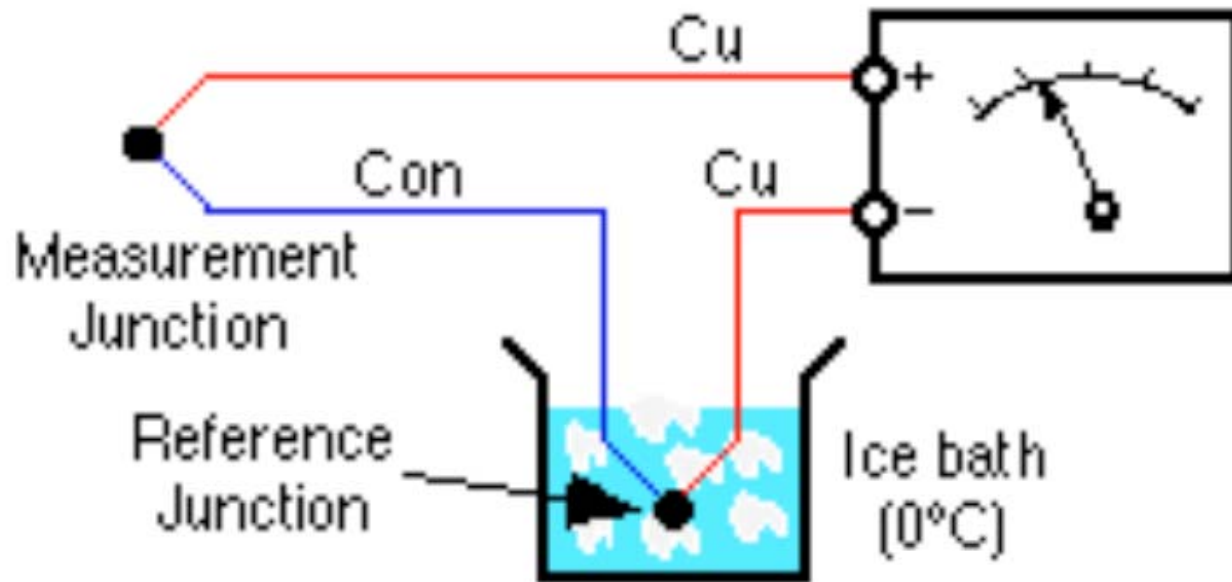
Resistenze di platino per la misura di temperature da 30 K a 873 K prodotte dalla LakeShore

- Termistori



Termistori prodotti dalla Dongguan Longkey Electronic Co.

- Termocoppie



Traditional Thermocouple Measurement

| Tipo di termocoppia (secondo lo standard ANSI) | Materiali | Intervallo di temperatura |
|---|--|----------------------------------|
| B | Platino 30% Rodio (+) Platino 6% Rodio (-) | 1370-1700°C |
| C | W5Re Tungsteno 5% Renio (+) W26Re Tungsteno 26% Renio (-) | 1650-2315°C |
| E | Chromel (+) Costantana (-) | 95-900°C |
| J | Ferro (+) Costantana (-) | 95-760°C |
| K | Chromel (+) Alumel (-) | 95-1260°C |
| N | Nicrosil (+) Nisil (-) | 650-1260°C |
| R | Platino 13% Rodio (+) Platino (-) | 870-1450°C |
| S | Platino 10% Rodio (+) Platino (-) | 980-1450°C |
| T | Rame (+) Costantana (-) | -200-350°C |

Chromel: 90% Ni, 10% Cr

Alumel: 95% Ni, 2% Mn, 2% Al, 1% Si

Nicrosil e Nisil: classe di leghe contenenti Ni, Cr, Si e altri elementi (Mn, Al, Co, Mg, Cu, Fe)

Costantana: 55% Cu, 45% Ni



Sealed Sheath



Sealed and Isolated from Sheath



Sealed and Grounded to Sheath



Exposed Fast Response



Exposed Bead

Thermocouple Sheath Options



Termometro della Sper Scientific, Ltd. che ha la possibilità di utilizzare diverse sonde, tra cui la termocoppia in basso a destra

- Termometri semiconduttori

$$I = I_0 \left(\exp(qV/kT) - 1 \right)$$

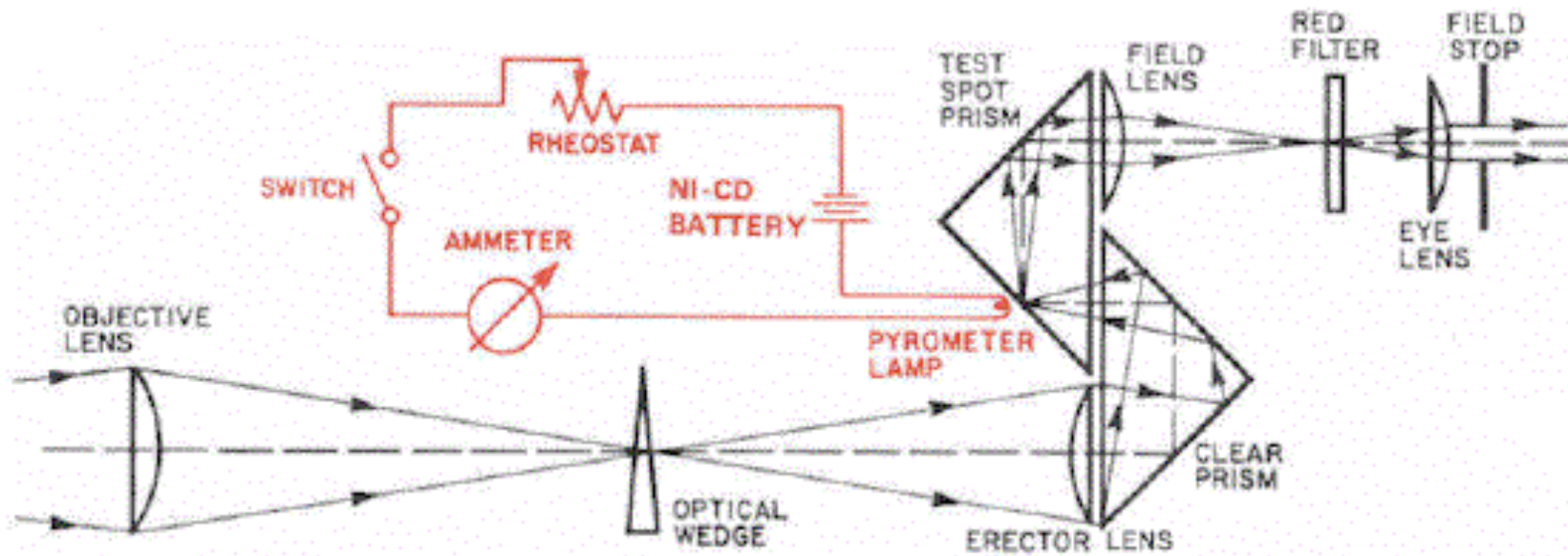
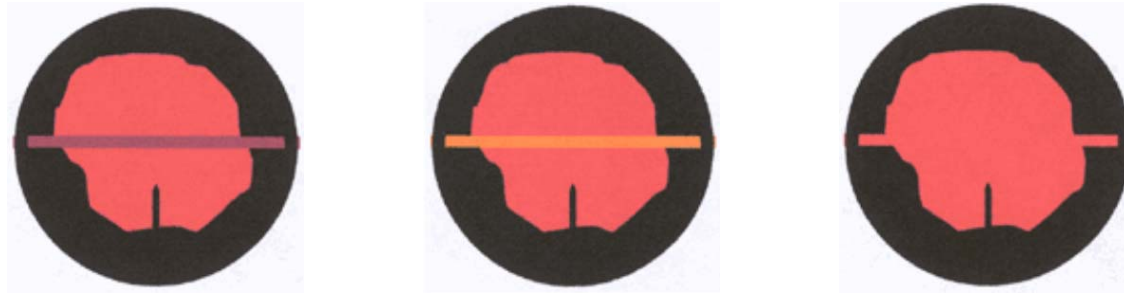
$$I \approx I_0 \exp(qV/kT) \quad \text{se} \quad qV \gg kT$$

allora:
$$T \approx \frac{q}{k \ln(I/I_0)} V$$



Un modello di diodo a silicio per la misura di temperature da 1.4 K a 500 K della LakeShore

- Pirometro ottico





Pirometro della Pyro



Pirometro della
Spectrodyne, Inc.

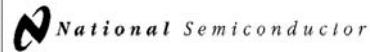
- Termometro a raggi infrarossi

Shown with HH-DM Option Installed



Un termometro Omegascope della ditta Omega Engineering

Termometri elettronici: il microcircuito LM56



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 1/2^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40 to $+110^\circ\text{C}$ range (-10 with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

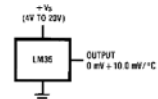
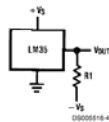


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)

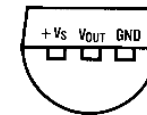


Choose $R_1 = -V_{OUT}/10\ \mu\text{A}$
 $V_{OUT} = +1.500\ \text{mV at } +150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV at } +25^\circ\text{C}$
 $= -350\ \text{mV at } -55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

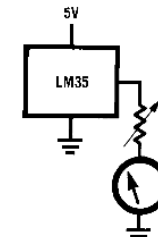
TO-92 Plastic Package



BOTTOM VIEW

DS005516-2

Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A



DS005516-11

FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)