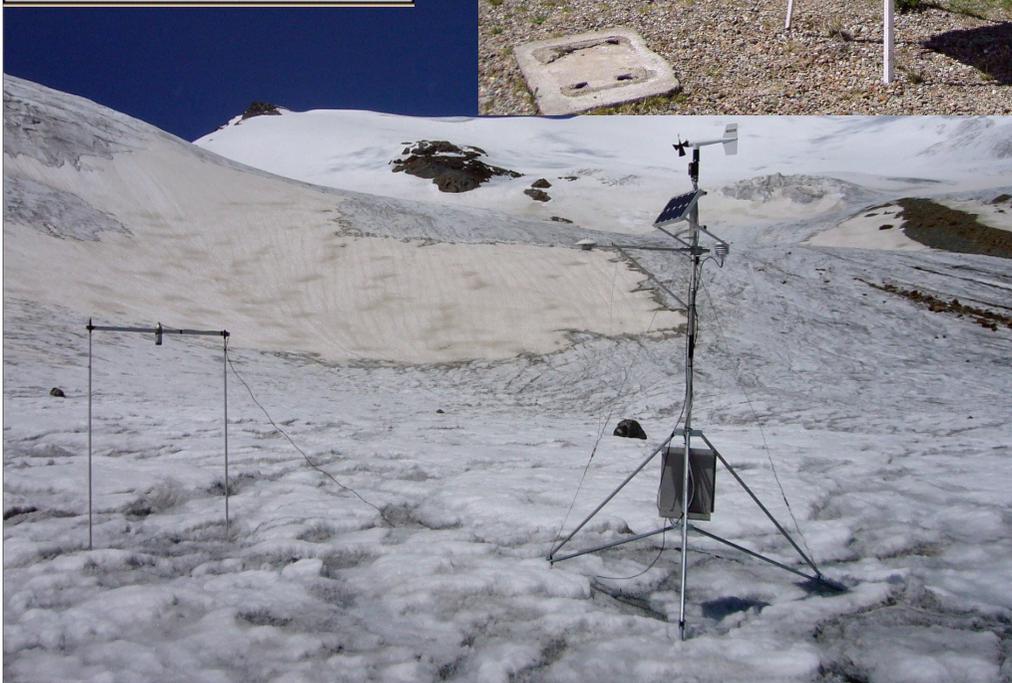
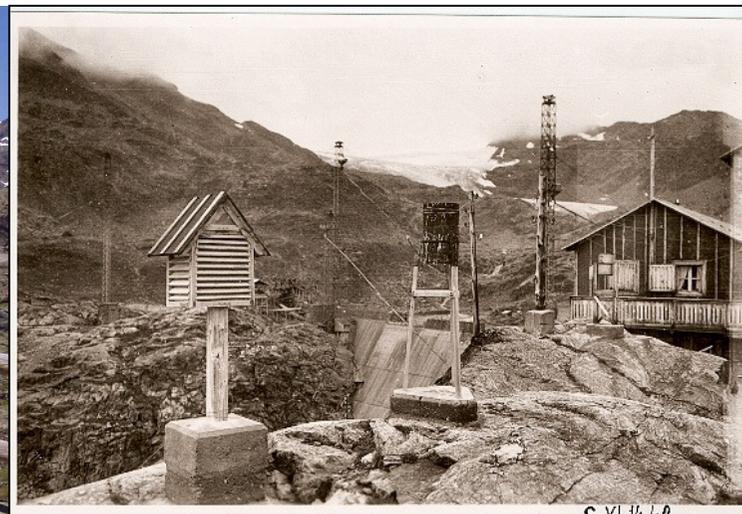


# INTRODUZIONE AI PRINCIPALI STRUMENTI METEOROLOGICI



# Contenuto della lezione

- Struttura dei sensori più comuni per la misura di:  
Precipitazione  
Temperatura  
Umidità  
Pressione  
Radiazione  
Intensità e direzione del vento
- Struttura di una stazione meteorologica



World Meteorological Organization  
Working together in weather, climate and water

## World Meteorological Organization (<http://www.wmo.int>)

### **W.M.O. = Organizzazione Meteorologica Mondiale**

E' un agenzia delle Nazioni Unite che si occupa dello stato e del comportamento dell'atmosfera terrestre, la sua interazione con gli oceani, il clima che produce e la conseguente distribuzione delle risorse idriche.

Tra gli altri compiti, **promuove la standardizzazione<sup>1</sup> delle osservazioni meteorologiche**, per assicurare una pubblicazione omogenea di dati e statistiche.

<sup>1</sup> standardizzazione: procedura con cui vengono fissate le caratteristiche degli strumenti di misura, per rendere confrontabili le misurazioni.

# Misura delle precipitazioni (u.m. mm)

**L'altezza di precipitazione<sup>1</sup>** si definisce come *l'altezza della lama d'acqua che coprirebbe una superficie orizzontale, qualora tutta l'acqua raccolta dalla superficie fosse trattenuta, così da formare uno strato di spessore uniforme.* Quando si parla di altezza di precipitazione è dunque necessario specificare sempre **l'intervallo di tempo** in cui la precipitazione è caduta.

Gli strumenti utilizzati per la misura delle precipitazioni raccolgono ovviamente soltanto l'acqua caduta su una superficie molto ridotta. La principale caratteristica delle misure di precipitazione tradizionali è quindi di essere **misure puntuali**.

Nota: 1 mm di lama d'acqua su 1 m<sup>2</sup> equivale ad 1 litro (1000 cm<sup>3</sup>).

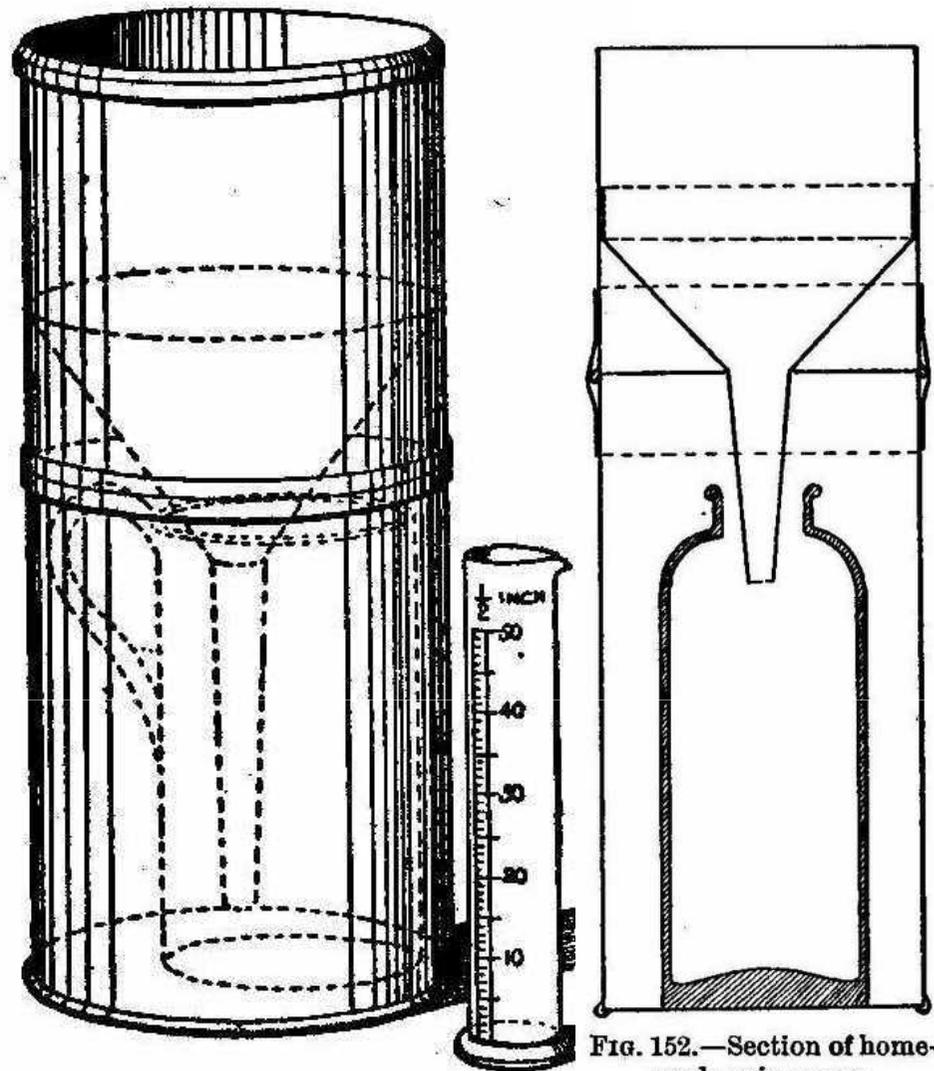
<sup>1</sup> con precipitazione si indicano gli afflussi meteorici sia liquidi (pioggia) che solidi (neve, nevischio, grandine).

# Misura delle precipitazioni

Un **pluviometro** è un recipiente cilindrico, nella cui bocca, disposta orizzontalmente<sup>1</sup>, è sistemato un imbuto raccoglitore.

Lo scopo dell'imbuto è quello di ridurre il più possibile le perdite per evaporazione.

$$\text{Volume} = \text{superficie} * \text{altezza}$$



**FIG. 151.—Standard rain-gauge.**

**FIG. 152.—Section of home-made rain-gauge.**

<sup>1</sup>gli strumenti devono essere dotati di bolla di livello per una facile e precisa messa in opera. Per studi idrologici particolari, tuttavia, si utilizza, a volte, un'apertura parallela alla pendenza del terreno.

# Standard strumentali

Il pluviometro viene installato ad **un'altezza dal suolo di 1.5 m** circa in **luogo aperto**, lontano da alberi e da fabbricati ( $D = 2 \cdot h$ ), in modo che la pioggia sia in ogni parte libera di cadere sul ricevitore del pluviometro.

Le altezze di precipitazione ai pluviometri sono generalmente misurate con la precisione di 0.2 mm.

Le altezze di precipitazione misurate dai pluviometri vengono lette normalmente una volta al giorno. Per misure relative ad intervalli di tempo minori si utilizzano strumenti detti **pluviografi**.



Per la misura dell'afflusso meteorico nel caso di precipitazioni solide, il pluviometro deve essere **riscaldato**.

Le figure rappresentano

← un pluviometro non riscaldato      →  
un pluviometro riscaldato

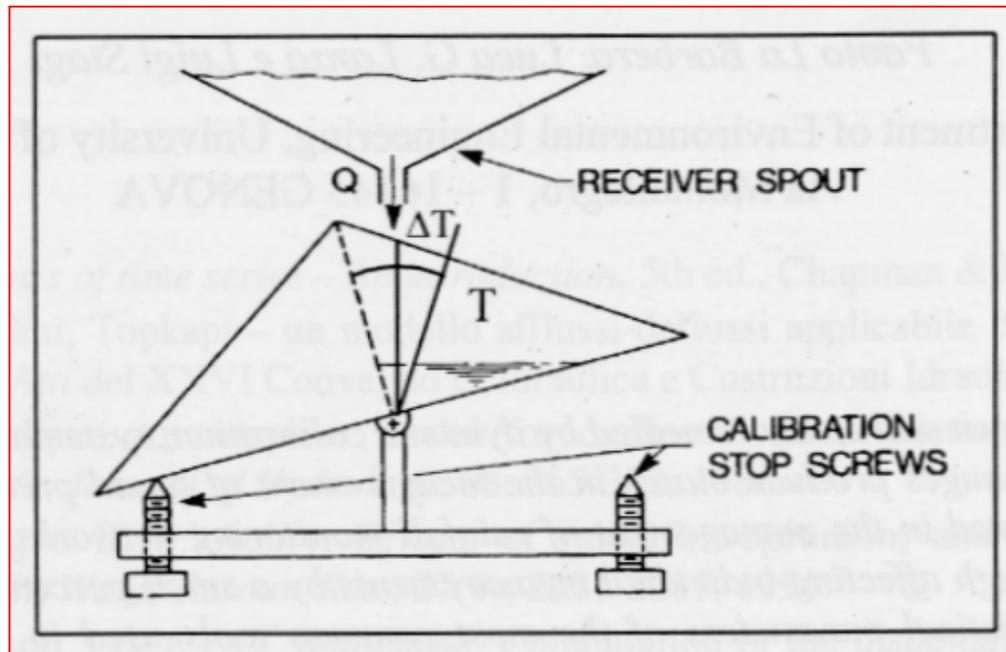


# Pluviografo a bascula

Descriviamo qui il **pluviografo a bascula** (in inglese: **tipping bucket**)

Nel pluviografo a bascula l'acqua proveniente dall'imbuto finisce ora nell'uno o nell'altro di una coppia di piccoli recipienti, solidali ad una base basculante attorno ad un perno.

Man mano che il recipiente si riempie il baricentro del sistema basculante si sposta. Una volta raggiunto un certo grado di riempimento il sistema si ribalta. Durante il moto del sistema si ha una perdita d'acqua, che in occasione di precipitazioni intense può raggiungere il 5%.

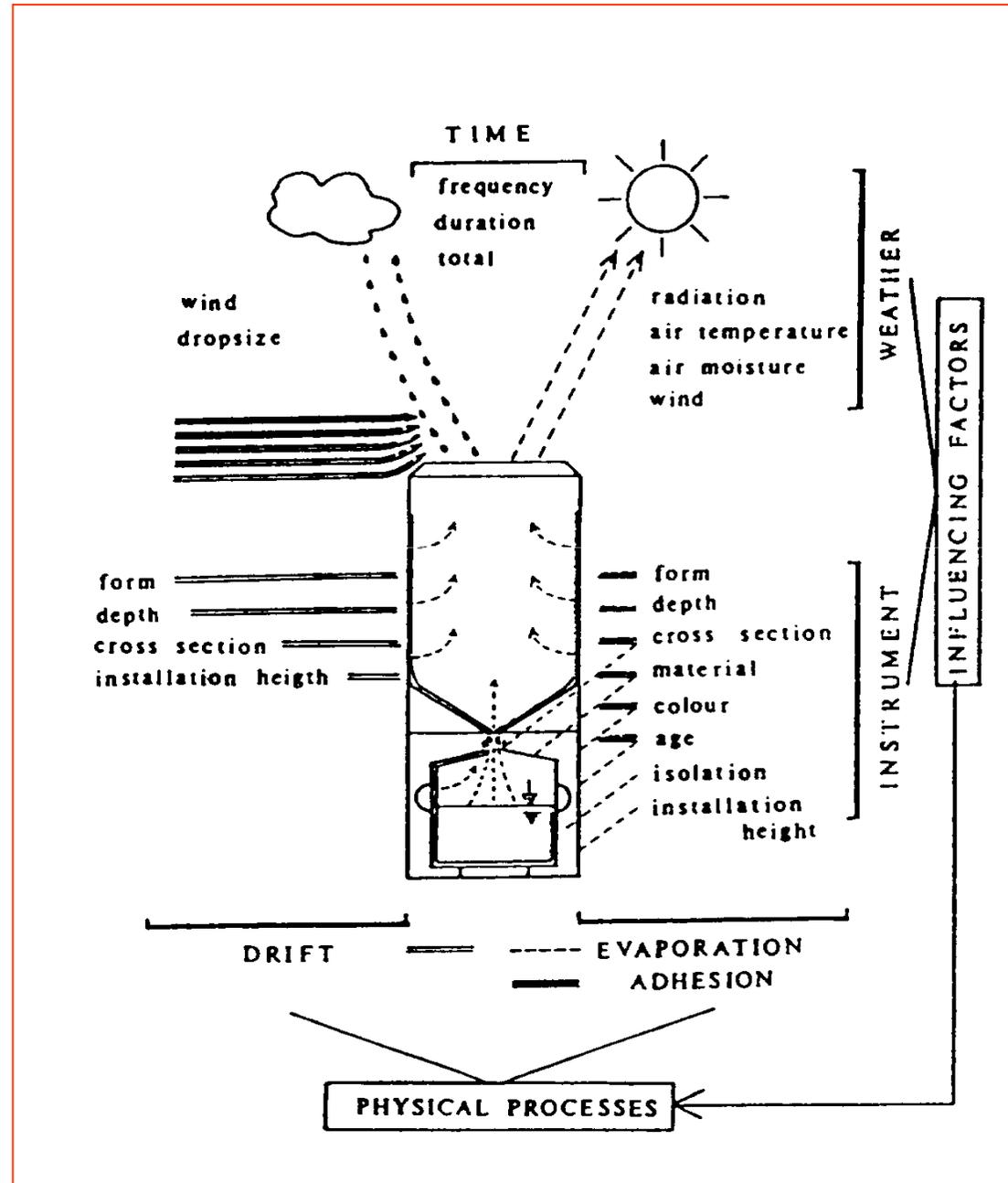


# Errori nella misura delle precipitazioni

Processi fisici che determinano gli errori sistematici di misura tramite pluviometro

Nella parte superiore della figura sono riportate **le variabili climatiche** più importanti, al centro le **variabili strumentali**, in basso i **processi fisici**, come la deformazione del campo di vento (a sinistra), l'evaporazione e l'adesione (a destra).

Ciascun processo è rappresentato tramite una legenda: la doppia linea continua vuota indica la deformazione del campo di vento, la linea tratteggiata l'evaporazione, la doppia linea continua piena indica l'adesione (bagnatura – wetting).



# Misura della temperatura dell'aria (u.m. °C) - Termometri

## Strumenti tradizionali:

- A gas
- A liquido
- A lamina bimetallica



Termometro  
Galileiano ad  
Aria  
(secolo XVII)

Galileo Galilei  
(1564-1642)



L'originario dispositivo galileiano, detto *termoscopio*, fu concepito prima del 1597 e consisteva in un una piccola fiaschetta con il collo lungo e sottile, piena d'aria, posto a testa in giù entro un recipiente pieno d'acqua.

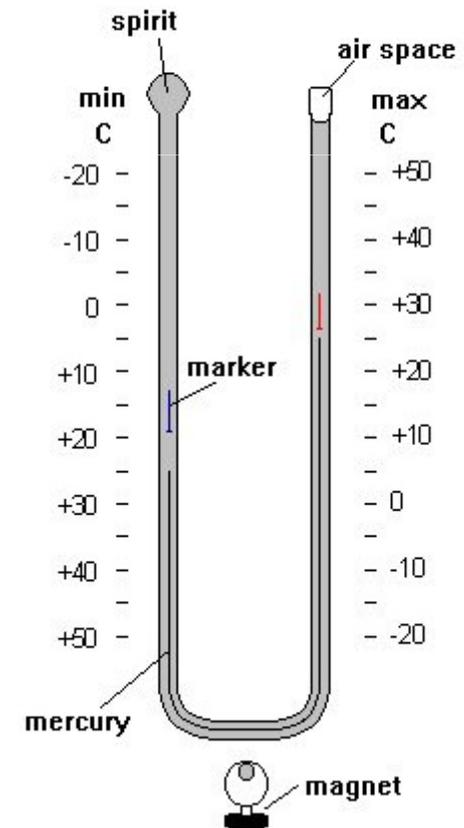
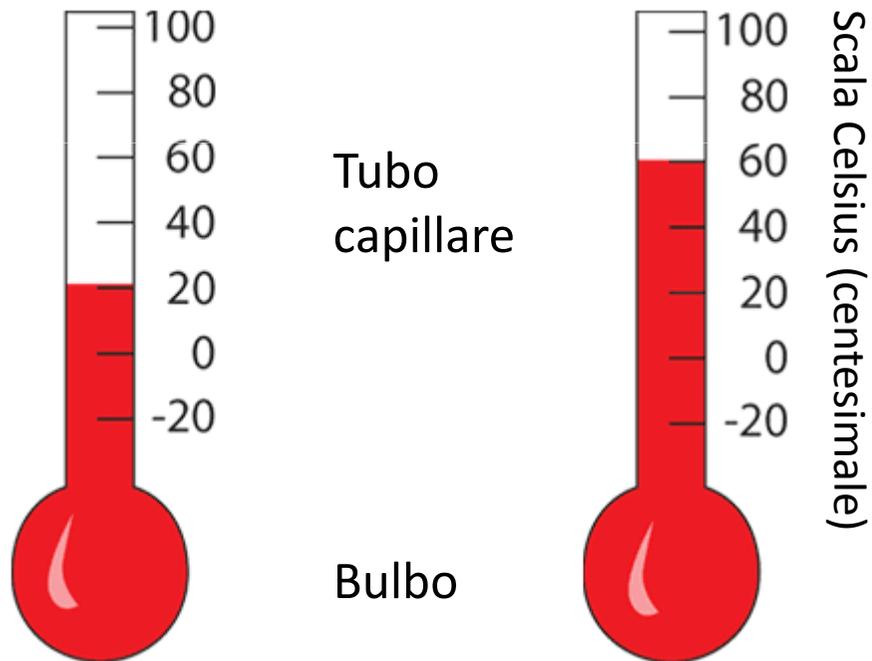
Quando la fiaschetta viene riscaldata, l'aria al suo interno si espande e il livello dell'acqua nel collo scende, mentre quando l'aria si raffredda, il suo volume decresce e l'acqua sale dalla vaschetta lungo il collo del fiasco.

# Strumenti tradizionali

## Termometri a liquido (mercurio, alcool)

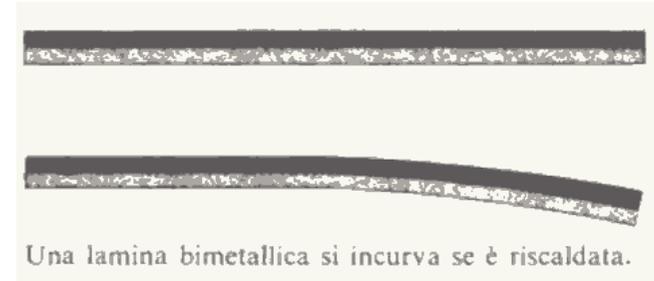


## Termometro a minima e massima



# Strumenti tradizionali

## Termometri a lamina bimetallica



**Termografo a lamina ad anello (produzione SIAP)**

Differenza tra la dilatazione termica di due nastri metallici di natura diversa, saldati tra loro e forgiati a anello, elica o a spirale: la differente dilatazione dei due metalli provoca una deformazione del nastro, che viene amplificata con un sistema di leve e trasmessa a un indice che si muove su una scala graduata

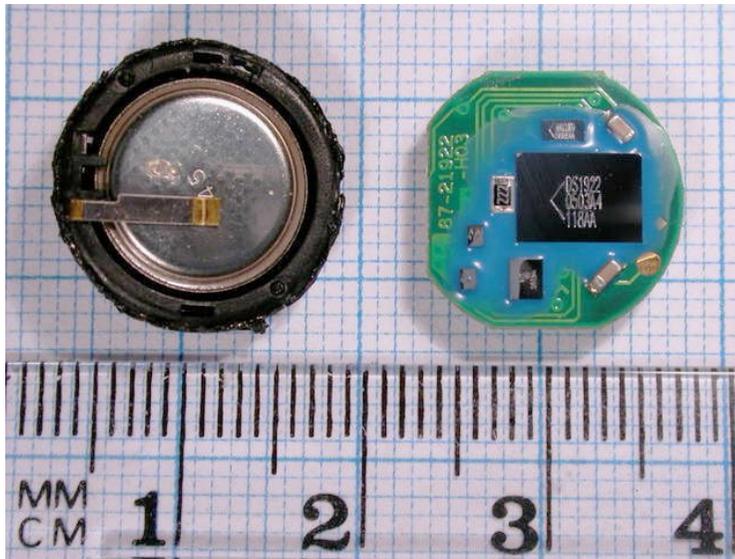
Le lamina deve presentare un basso coefficiente di ritardo e una buona resistenza ambientale

Termometri non molto precisi, con il vantaggio della robustezza e dell'utilizzo in un ampio intervallo di temperatura

# Sensori automatici

- Sono più precisi, semplici, affidabili e di dimensioni più contenute.
- Sono autonomi.
- Vanno collegati ad appositi strumenti per la lettura e archiviazione dei valori misurati (display, data-logger)

Si basano sulla misura di grandezze fisiche come la resistenza elettrica, che variano in funzione della temperatura



## Standard strumentali

I sensori devono essere collocati su terreno erboso, lontano da alberi, edifici e altri ostacoli, ad un'altezza da terra compresa tra 1.5 e 2 m

I sensori di temperatura devono avere un **campo di misura** compreso tra + 60 e -60 °C

Devono avere una **risoluzione** e una **precisione** di 0.1°C (0.5°C per gli strumenti a massima e minima)

I sensori devono essere alloggiati all'interno di appositi **schermi** che devono garantire al contempo un'adeguata ventilazione e protezione dalla radiazione solare incidente e riflessa.

# Sistemi di schermatura per sensori termo-igrometrici

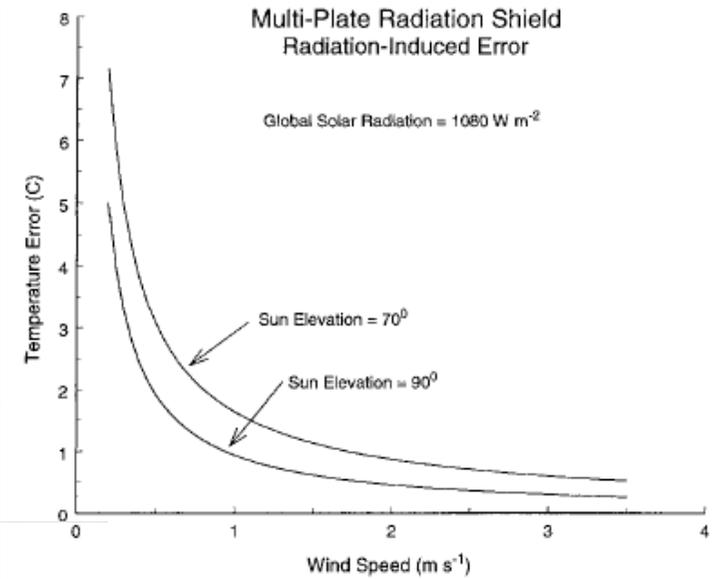
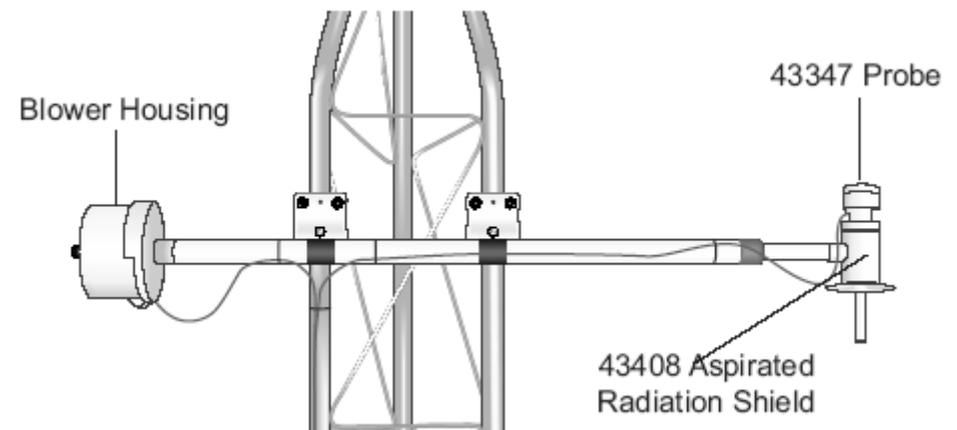


FIG. 2. Excess temperature error measured by G. C. Gill in a wind tunnel.

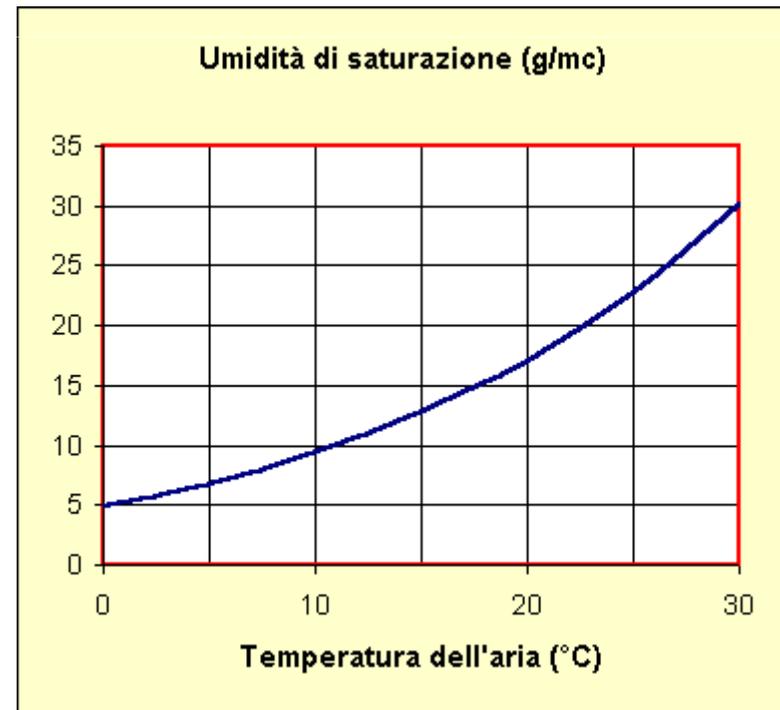


# Misura dell'umidità relativa dell'aria (u.m. %) - Igrometri

**Umidità atmosferica:** vapore acqueo contenuto nell'aria

**Umidità assoluta:** possiamo misurare l'umidità atmosferica pesando i grammi di acqua contenuta in un metro cubo d'aria. Questo valore si chiama umidità assoluta, ma ha poche possibilità di misurazione pratica

**Umidità relativa:** esprime il rapporto percentuale fra la quantità di vapore acqueo presente nell'aria e la quantità che, alla stessa temperatura e pressione, sarebbe necessaria perchè il vapore condensi in microscopiche goccioline d'acqua (condizioni di saturazione)

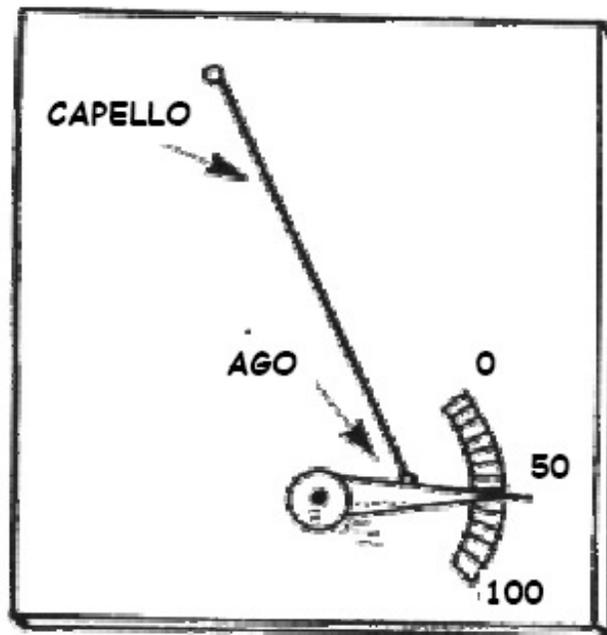


# Strumenti tradizionali

Igrometri:

- Ad assorbimento
- A deformazione

L'igrometro misura l'umidità dell'aria, generalmente in termini di quantità relativa rispetto alla saturazione. Per condurre tale misura si possono utilizzare diversi principi fisici. Leonardo da Vinci costruì un primo igrometro rudimentale nel '400 e nel 1450 un cardinale tedesco, Nicholas Decusa, usò una bilancia per pesare un pezzo di lana, il cui peso variava con l'umidità dell'aria, dando origine alle prime misure di umidità. Francesco Folli inventò poi uno strumento più utile alla pratica nel 1664 e intorno al 1670 Robert Hooke intuì per primo la possibilità di sfruttare la deformazione dei capelli umani al variare dell'umidità dell'aria.



Gli *igrometri a deformazione* utilizzano la proprietà di alcune fibre organiche (p.e., capelli, setole e budella) di variare la propria lunghezza quando diventano umidi, allungandosi all'aumentare dell'umidità dell'aria.

Horace-Benedict  
De Saussure  
(1740-1799)

# Sensori automatici

- Sono più precisi, semplici, affidabili e di dimensioni più contenute.
- Sono autonomi.
- Vanno collegati ad appositi strumenti per la lettura e archiviazione dei valori misurati (display, data-logger)

Si basano sulla misura di grandezze fisiche come la resistività elettrica, che variano in funzione dell'umidità relativa

Spesso sono integrati in sonde termoigrometriche, che combinano la misurazione di temperatura e umidità relativa.



Termoigrometro  
(produzione CAE)



Termoigrometro  
(produzione Vaisala)

## Standard strumentali

I sensori devono essere collocati su terreno erboso, lontano da alberi, edifici e altri ostacoli, ad un'altezza da terra compresa tra 1.5 e 2 m

I sensori di umidità relativa devono avere un **campo di misura** compreso tra il 5 e il 100%

Devono avere una **risoluzione** dell' 1% e una **precisione** del 3%

I sensori devono essere alloggiati all'interno di appositi **schermi** che devono garantire al contempo un'adeguata ventilazione e protezione dalla radiazione solare incidente e riflessa.

# Misura della pressione dell'aria (u.m. mbar) - barometri

Pressione standard = 1013.25 mbar (livello del mare, 45° Lat., 15°C)

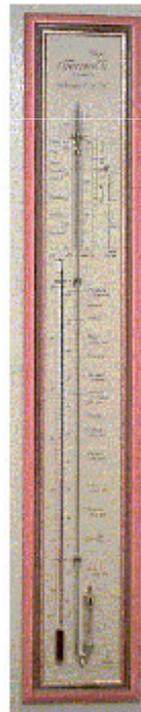
## Strumenti tradizionali:

- A liquido
- Metallici

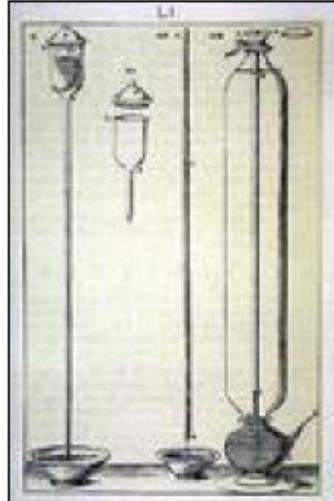


Evangelista  
Torricelli  
(1608-1647)

1643

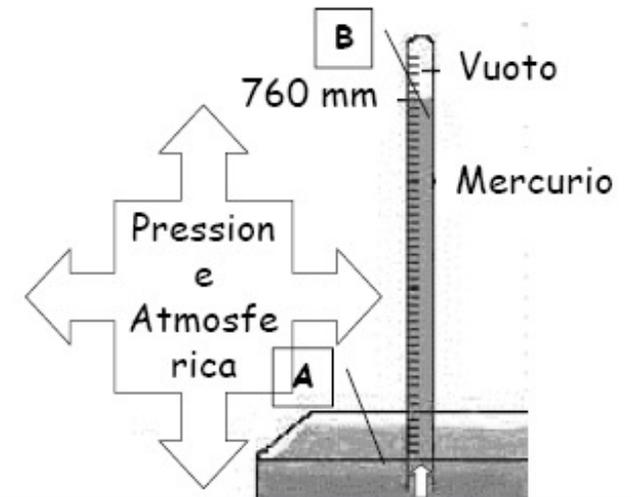


Barometro  
torricelliano  
a una  
colonna



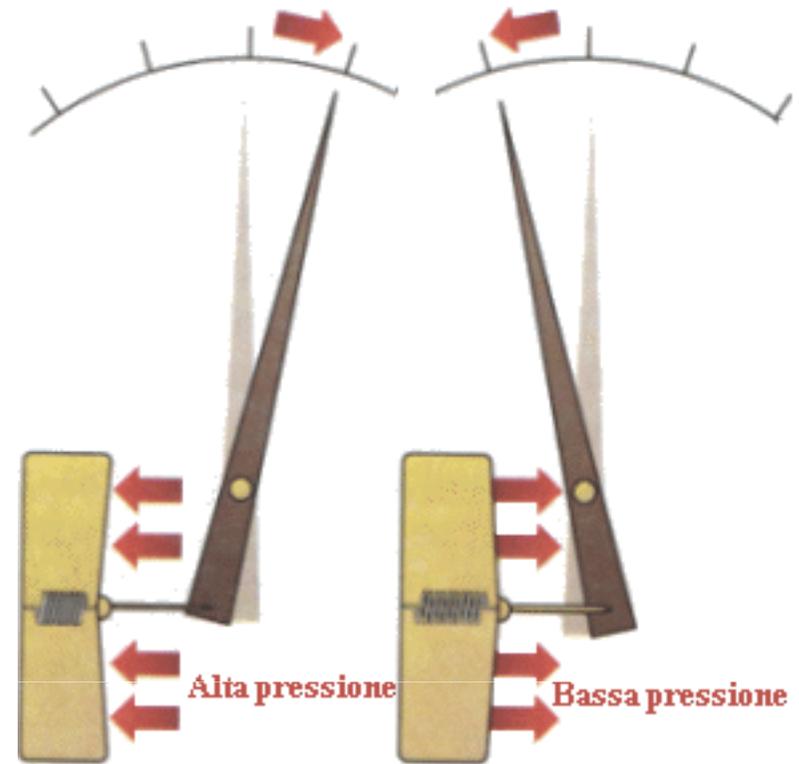
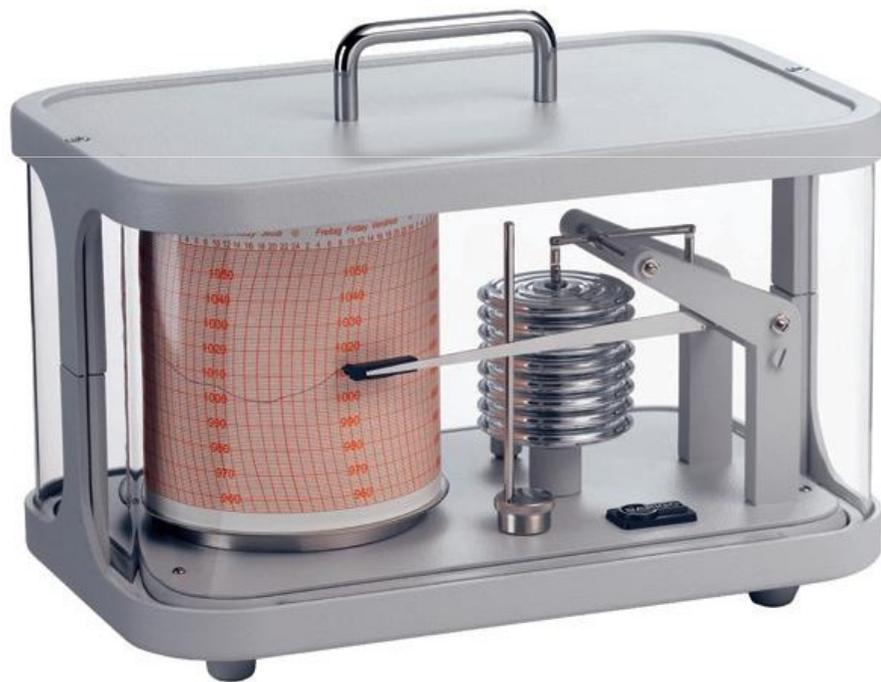
Barometro  
(Secolo XVII)

I tipi più semplici di barometro possono essere costituiti sia da un tubo e da una vaschetta (detto **barometro a vaschetta**) sia da un semplice tubo ricurvo (detto **barometro a sifone**).



# Strumenti tradizionali

Barometro aneroide (o metallico)



# Sensori automatici

Trasformano la pressione in un segnale elettrico (trasduttori).

Si basano sulla misurazione del segnale elettrico che varia a causa della deformazione provocata dalla pressione atmosferica sul trasduttore.

- Sono più precisi, semplici, affidabili e di dimensioni più contenute.
- Sono autonomi.
- Vanno collegati ad appositi strumenti per la lettura e archiviazione dei valori misurati (display, data-logger)



## Standard strumentali

I sensori di pressione devono avere un **campo di misura** compreso tra 600 e 1100 mbar

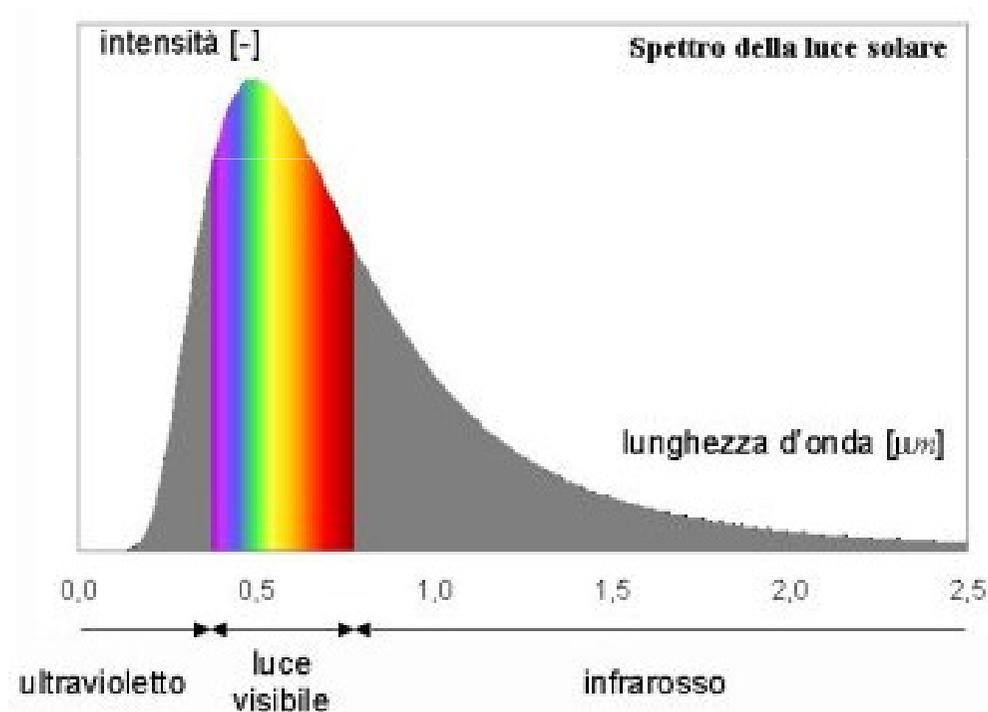
Devono avere una **risoluzione** di 1 mbar e una **precisione** di 0.1 mbar

I sensori devono essere alloggiati all'interno di contenitori in grado di proteggerli dalle precipitazioni e dalla radiazione solare.

Possono essere collocati anche all'interno delle abitazioni (non richiedono un'interazione diretta con l'ambiente esterno)

## Misura della radiazione solare (u.m. $W/m^2$ )

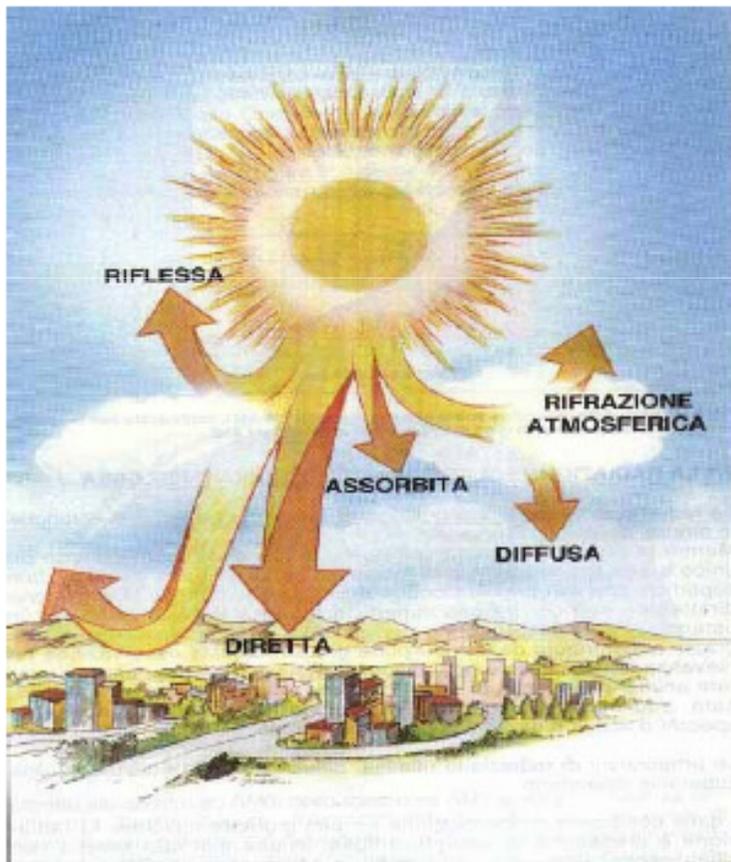
**Spettro solare:** l'intensità della radiazione solare varia in funzione della lunghezza d'onda. Per la misurazione sono richiesti strumenti con caratteristiche diverse



# Misura della radiazione solare

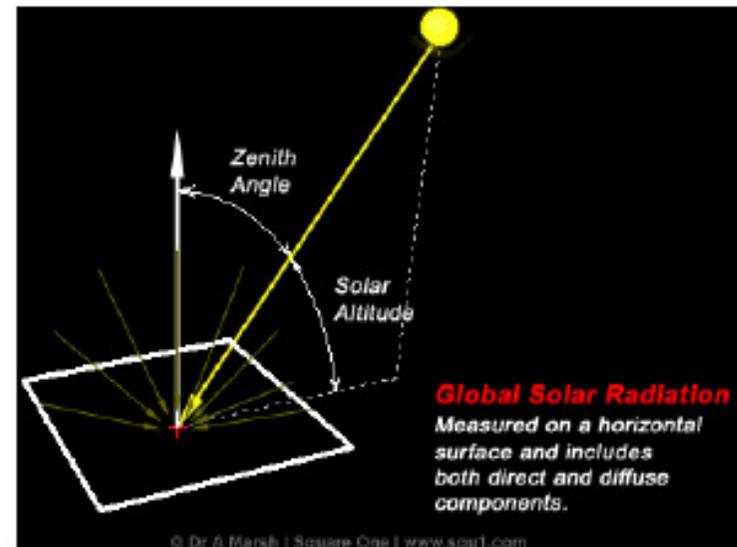
Esistono inoltre diverse componenti:

## *Radiazione Solare*



La radiazione solare si divide in tre componenti:

- **Diretta:** colpisce la superficie con un determinato angolo
- **Diffusa:** colpisce la superficie con angoli diversi
- **Riflessa:** radiazione riflessa dalle superfici circostanti



## ***Misura della radiazione solare***

### **SOLARIMETRI**

- **Classificazione in base alla componente misurata**
  - ⇒ PIRANOMETRO: misura la radiazione globale
  - ⇒ PIRANOMETRO CON BANDA OMBREGGIANTE: misura la componente diffusa (la banda ombreggiante elimina la diretta)
  - ⇒ PIRELIOMETRO: misura la sola radiazione diretta (tracking necessario)
- **Classificazione in base al principio di funzionamento**
  - ⇒ SOLARIMETRI A TERMOPILA: termocoppie in serie che generano una  $V$  di uscita  $\propto$  alla intensità della radiazione solare incidente.
  - ⇒ SOLARIMETRI AD EFFETTO FOTOVOLTAICO: sistema PV in silici cristallino.  $V \propto$  alla intensità della radiazione solare incidente.

# Piranometri



LP PYRA 02



LP PYRA 03



LP PYRA 12

Piranometro con banda  
ombreggiante (rad. diffusa)



Albedometro)



# Pirgeometro

Serve per la  
misurazione della  
radiazione ad onda  
lunga (infrarosso)



# Sensori combinati

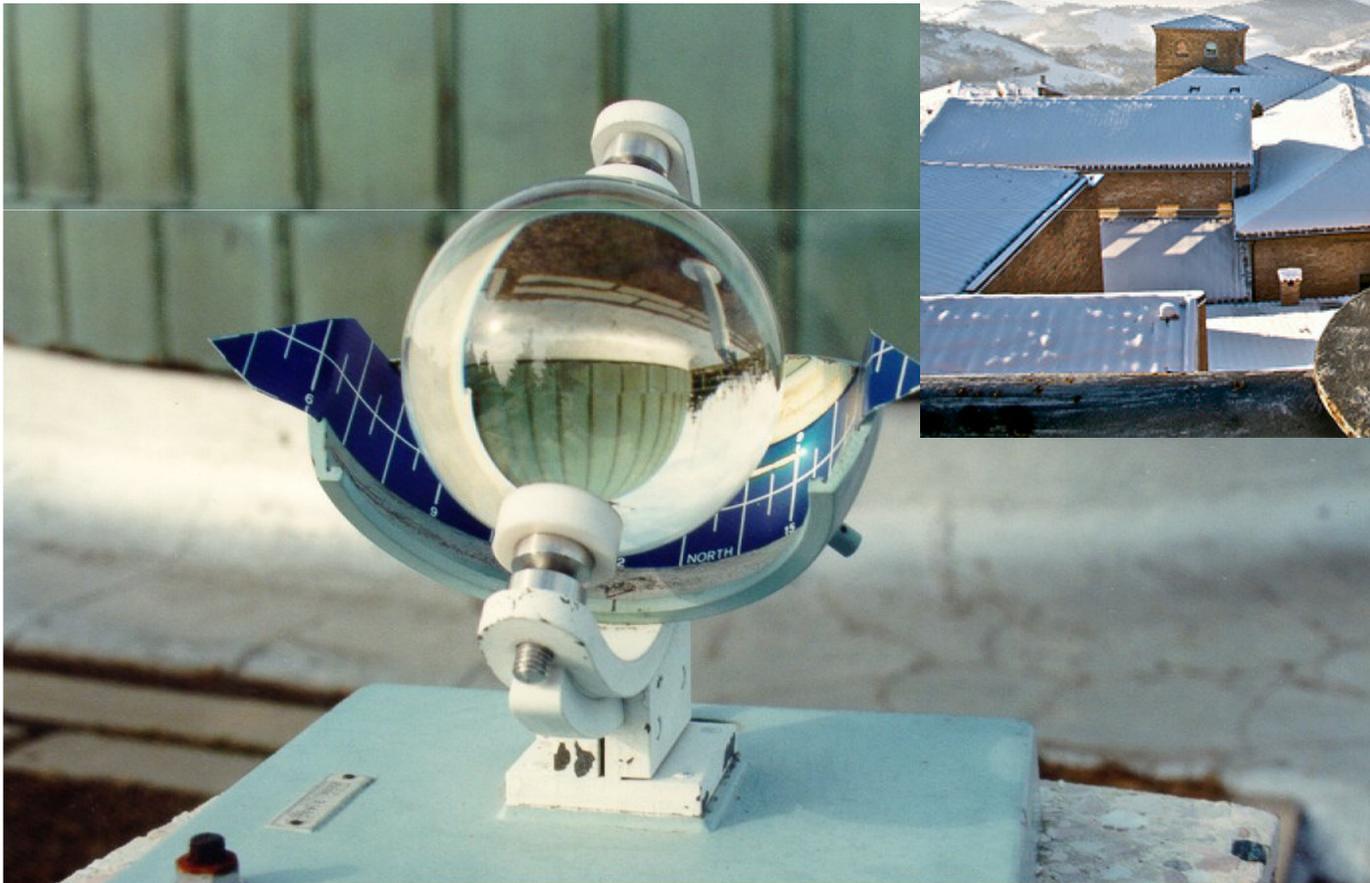
## Radiometro netto a 4 canali

Misura contemporaneamente la radiazione ad onde corte (incidente e riflessa) e la radiazione a onde lunghe (in entrata e in uscita).



# Eliofanografo

Eliofania: durata del soleggiamento

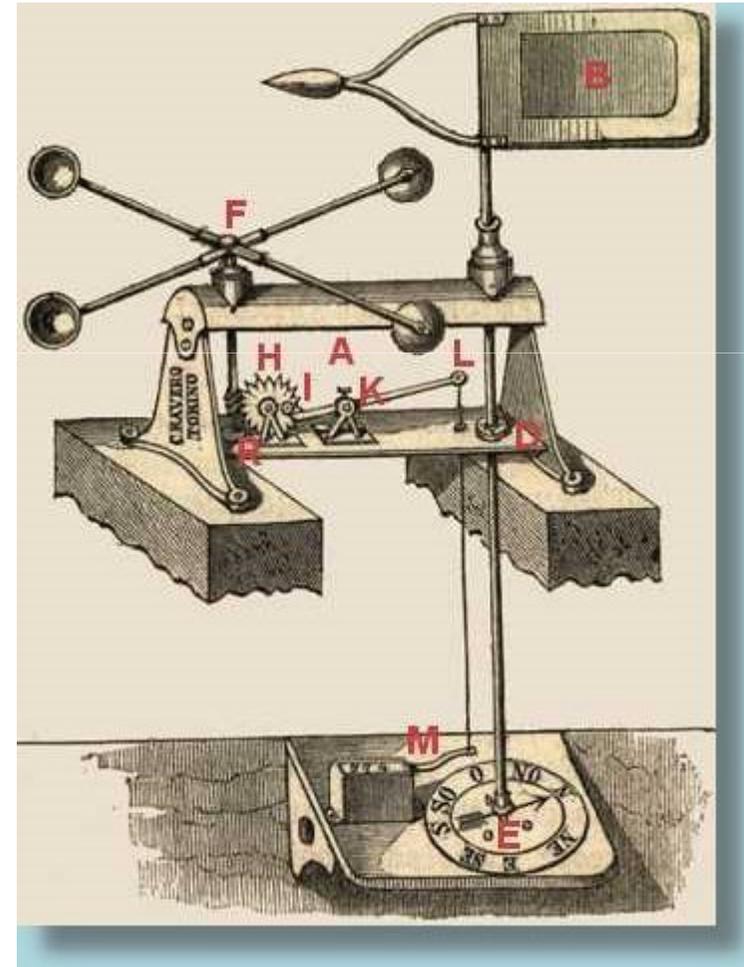


# Misura della velocità e della direzione del vento (u.m. m/s, nodi, km/h) - Anemometro

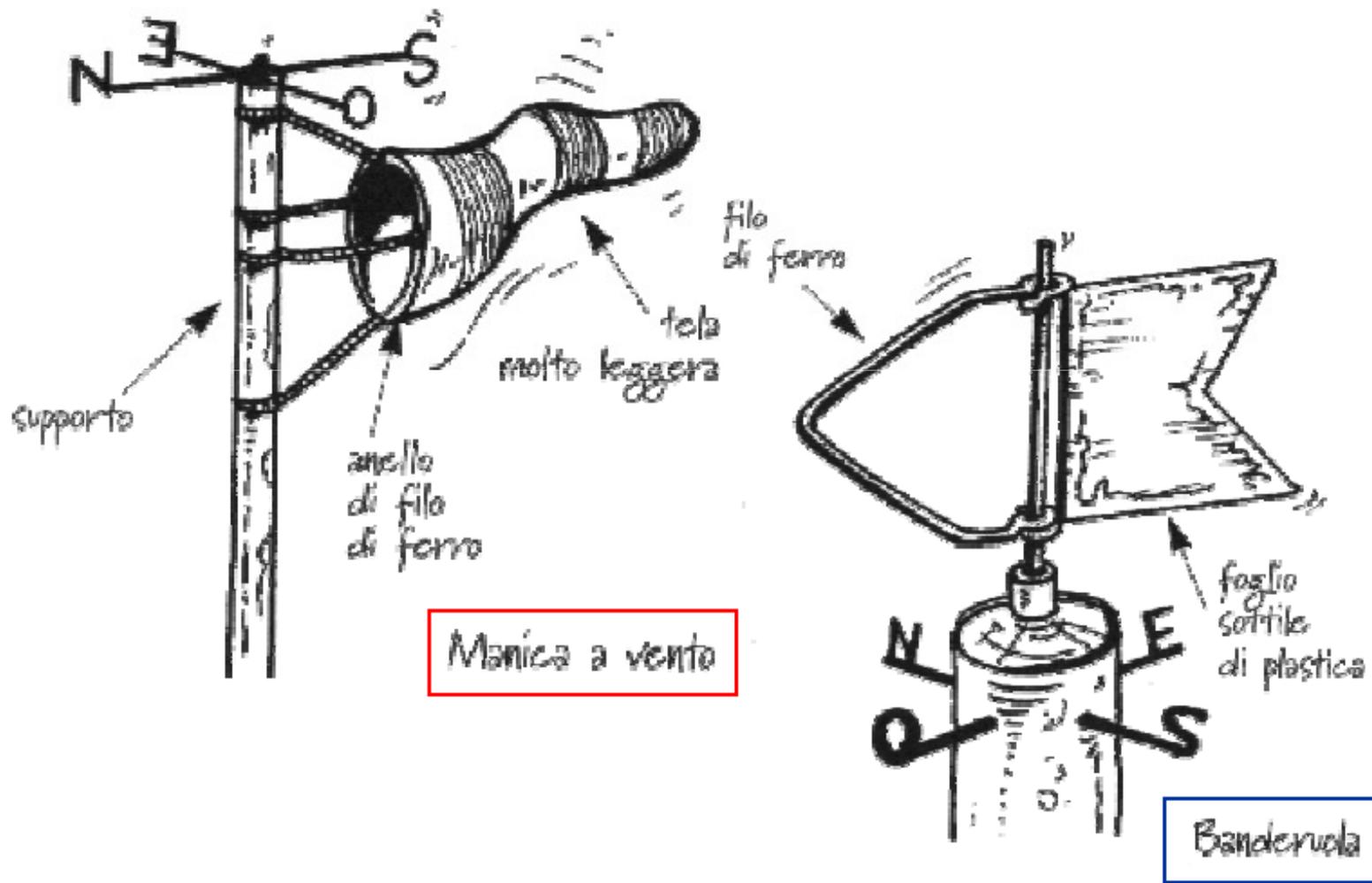
## Strumenti di tipo tradizionale:

Direzione: -Manica a vento  
-Banderuola

Velocità: -A gravità  
-A coppe



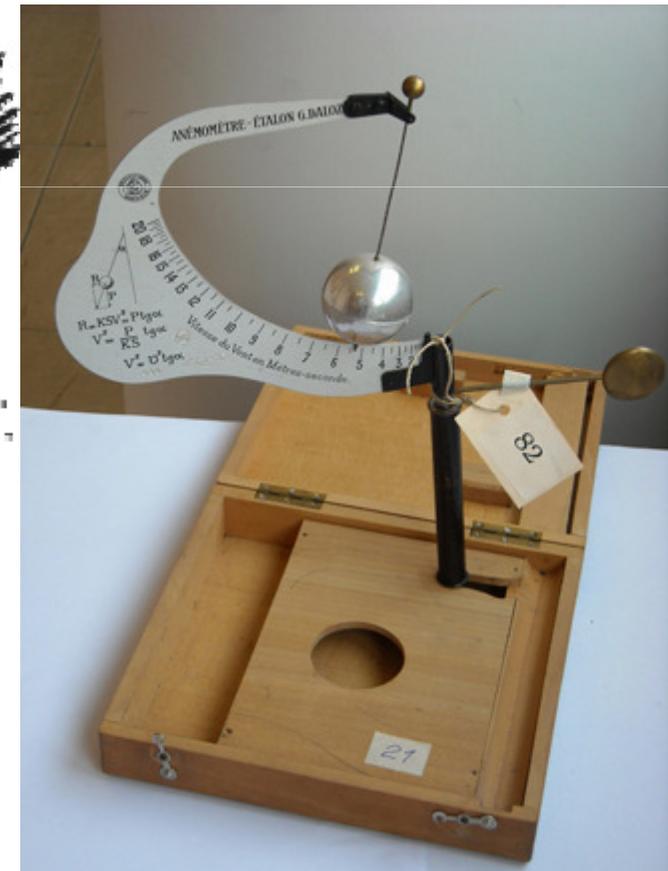
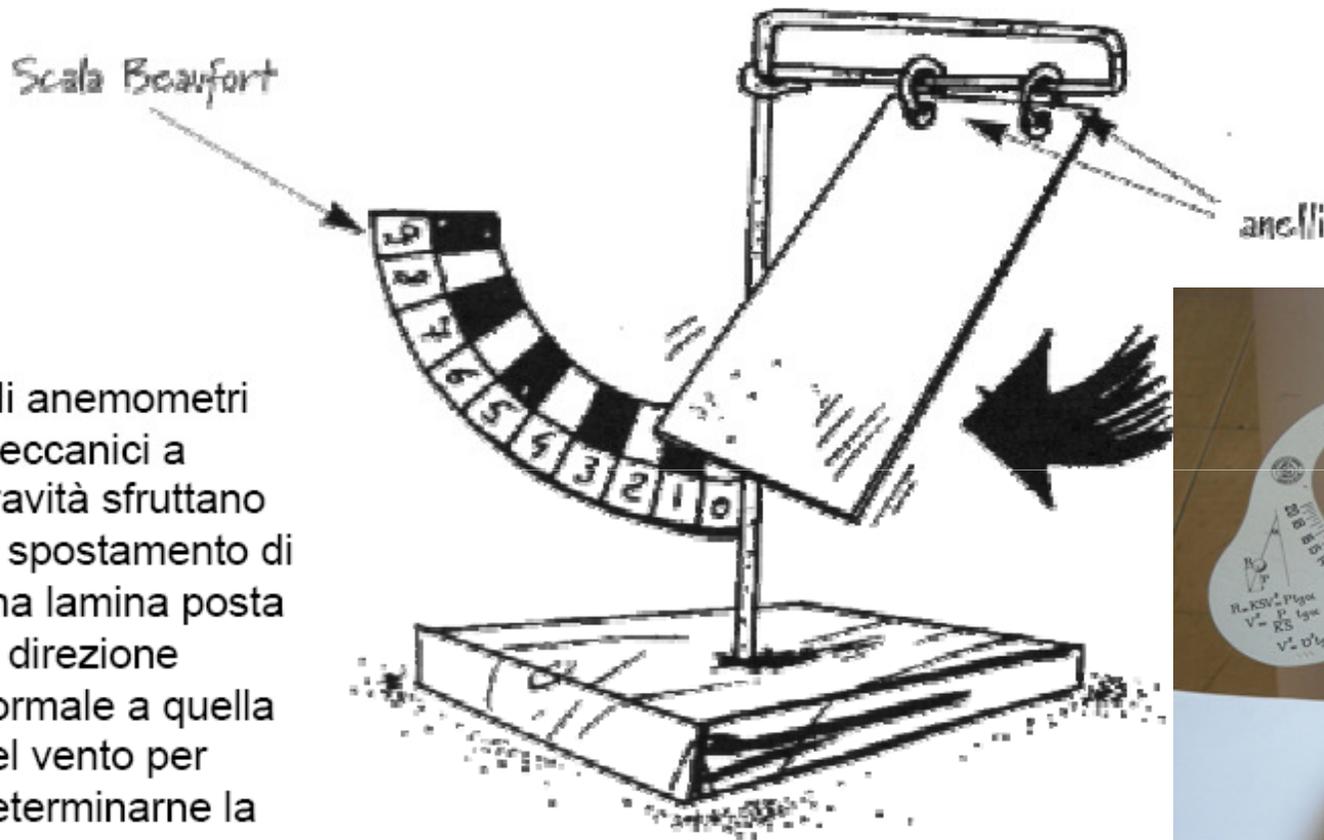
# Misura della direzione del vento



# Misura della velocità del vento

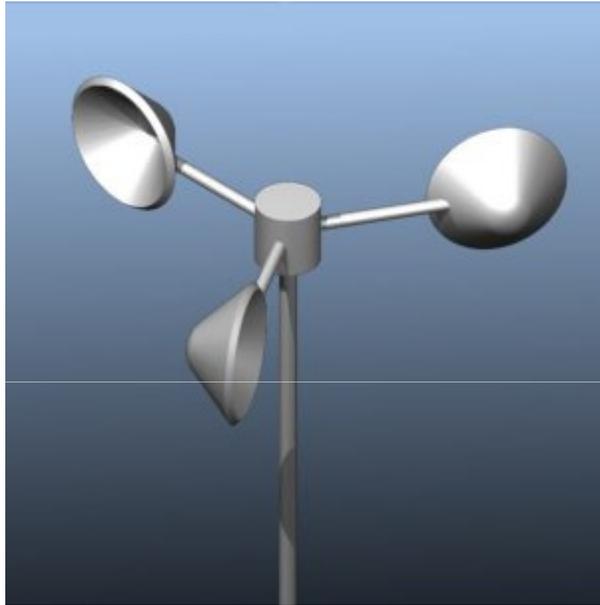
## Anemometro a gravità

Gli anemometri meccanici a gravità sfruttano lo spostamento di una lamina posta in direzione normale a quella del vento per determinarne la velocità

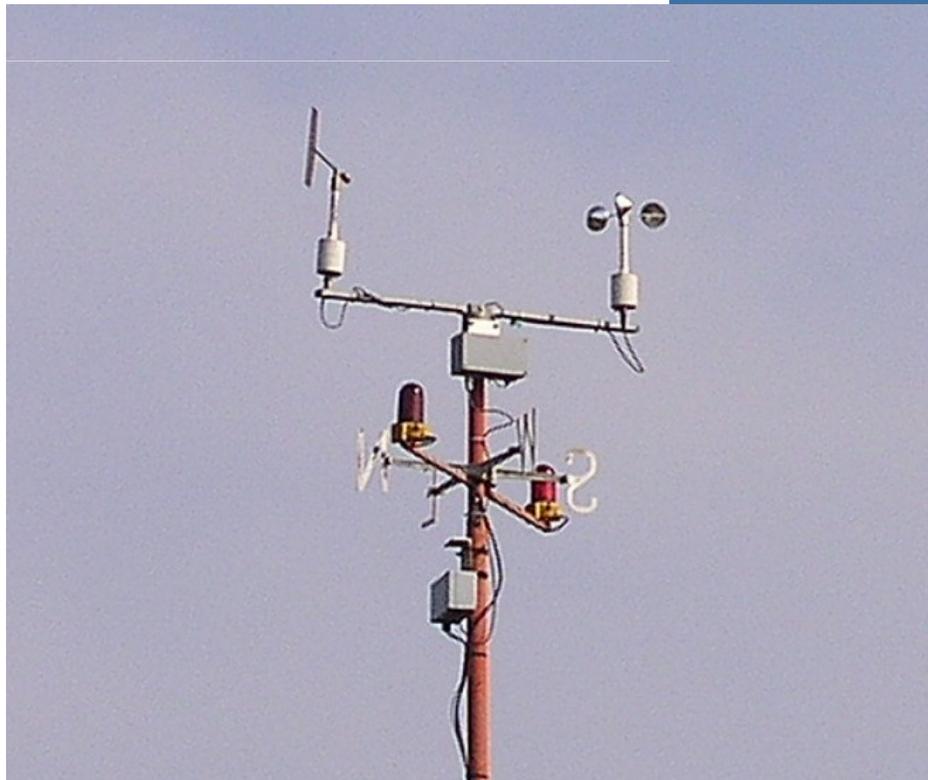
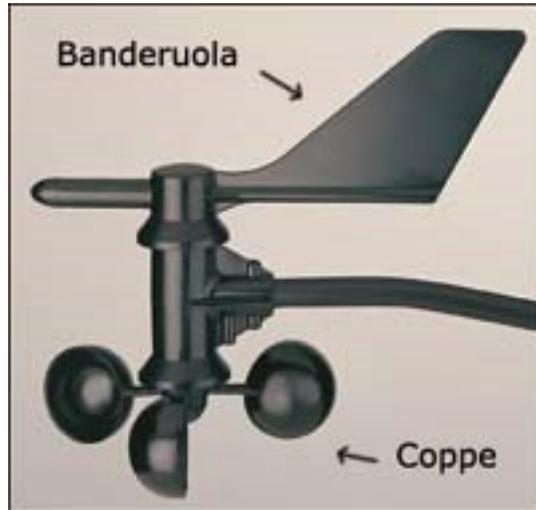


# Misura della velocità del vento

## Anemometro a coppe



# Sistemi combinati per la misura della velocità e direzione del vento



# Strumenti innovativi:

Direzione: -Anemometri a filo caldo

**Principio di funzionamento:** filo di nichel o platino riscaldato da una corrente elettrica. Per effetto del vento il filo si raffredda e di conseguenza variano la sua resistenza elettrica e la corrente che lo attraversa. Misurando queste variazioni si ottiene una misura molto precisa del vento, anche a basse velocità.



# Strumenti innovativi:

Direzione e velocità:

-Anemometri a ultrasuoni

**Principio di funzionamento:** si misura il tempo di transito tra un trasduttore e l'altro (in entrambe le direzioni, andata e ritorno), che varia in funzione della direzione e velocità del vento



## Standard strumentali

I sensori anemometrici devono avere un **campo di misura** compreso tra 0 e 75 m/s (0-360° per direzione)

Devono avere una **risoluzione** di 5 m/s (10° per direzione) e una **precisione** di 0.5 m/s (5% per direzione)

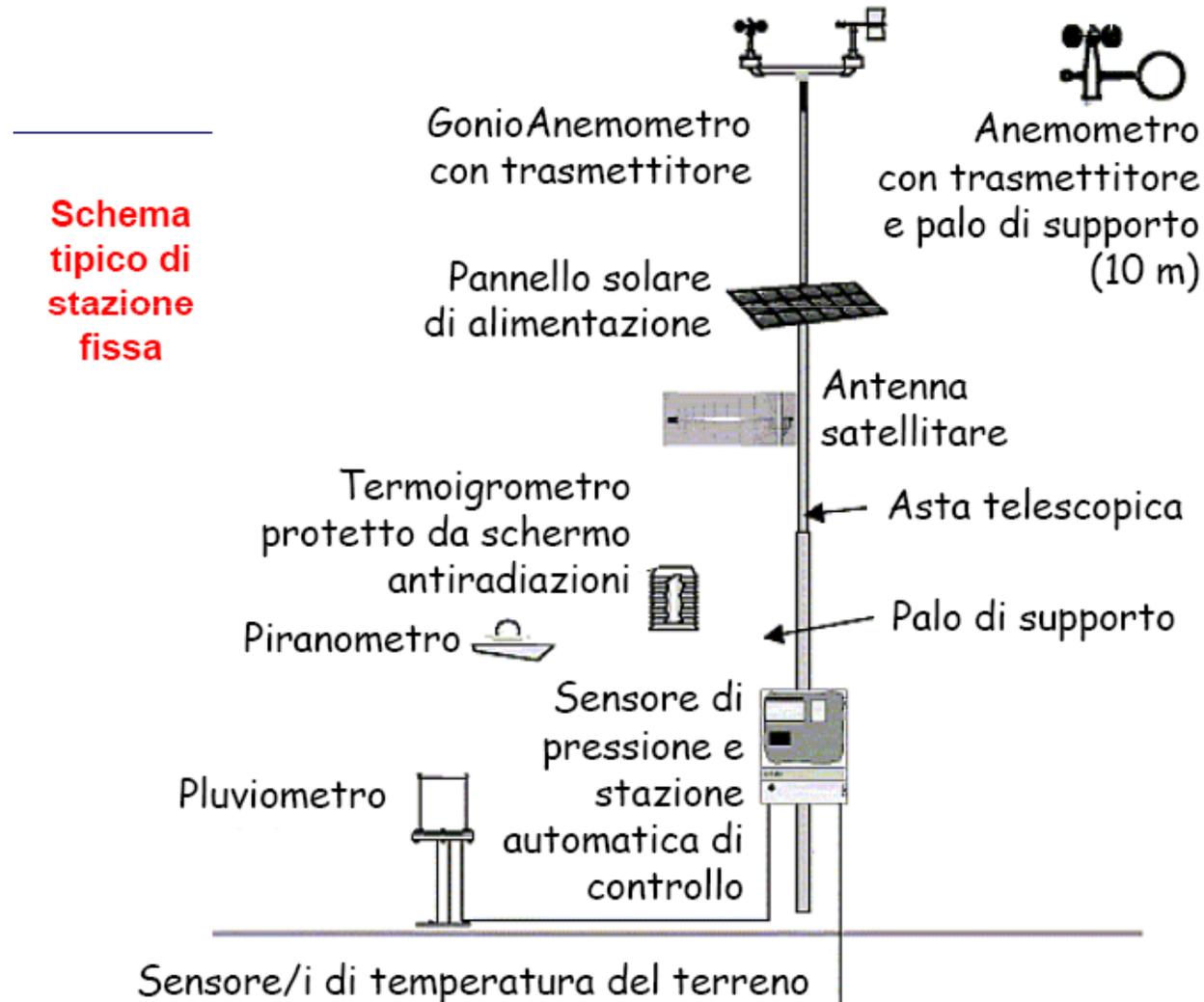
I sensori devono essere collocati a 2 o 10 m dal suolo

Devono essere sufficientemente lontani da ostacoli ( $d=10*h$ )

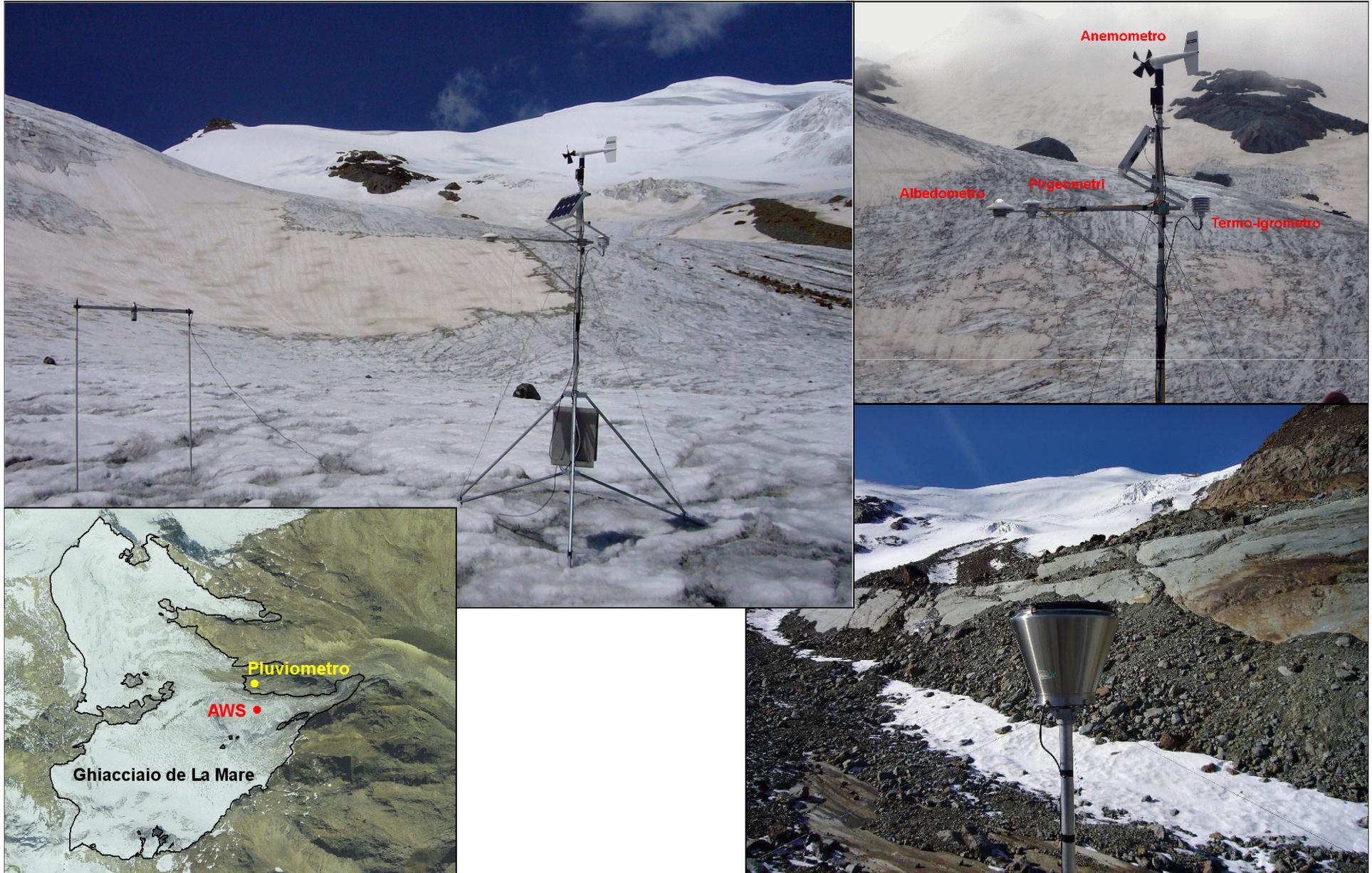
# Stazioni meteorologiche automatiche

Servono per il monitoraggio automatico (senza intervento umano) delle variabili meteorologiche.

Sono sistemi che combinano diversi sensori.



# Automatic Weather Station TeSAF – UNIPD ghiacciaio de La Mare (2990 m)





Stazione meteorologica automatica installata sull'Ortles a 3850 m di quota. Descrizione dei sensori: **1** = pannelli solari; **2** = radiazione solare incidente e riflessa (albedometro); **3** = velocità e direzione vento; **4** = altezza neve; **5** = radiazione infrarossa in entrata e in uscita; **6** = temperatura e umidità (schermo ventilato); **7** = temperatura (schermo a ventilazione naturale).