
Gli strumenti di misura

Luca Laudi – Testo spa

Agenda

- Misure relative agli impianti di ventilazione: temperatura, umidità, pressione, velocità
- Misure ambientali: temperatura, umidità, CO₂



Quadro normativo

Le principali normative di riferimento dove si parla di misurazioni legate al comfort sono :

UNI EN 12599:2012

- Ventilazione per edifici – *Collaudo e presa in consegna*
- Definisce **procedure di misura in campo** (portata, velocità, T°, UR, pressione)
- Richiede **strumenti tarati** e procedure uniformi
- Scopo: verificare che l'impianto funzioni come progettato
- **misura i dati reali in campo (collaudo impianti)**

UNI EN ISO 7730:2006

- Ergonomia degli ambienti termici – *Comfort termico*
- Indici **PMV/PPD**, categorie di comfort (A, B, C)
- Parametri: T°, UR, velocità aria, isolamento vestiario, attività metabolica
- Scopo: valutare il comfort percepito dagli occupanti
- **interpreta i dati per il comfort termico (PMV/PPD)**

Quadro normativo

UNI EN 12599:2012

Cosa prescrive la norma per le misure

- **Velocità dell'aria, temperatura e umidità relativa** nella zona occupata.
- **Accuratezza e specifiche minime degli strumenti:**
 - Velocità: strumenti sensibili a basse correnti (campo 0,05–1 m/s).
 - Temperatura: accuratezza $\pm 0,5$ °C.
 - Umidità: accuratezza ± 3 % UR.
- **Modalità di misura:**
 - Punti ben definiti (zona occupata, 1,1–1,5 m da pavimento).
 - Evitare pareti, soffitti, bocchette dirette.
 - Strumenti tarati e certificati.
- La norma serve a garantire che le prestazioni dell'impianto corrispondano a quelle progettuali.

UNI EN ISO 7730:2006

Cosa stabilisce:

- Introduce gli indici **PMV (Predicted Mean Vote)** e **PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)**.
- Definisce **categorie di comfort** (A, B, C) in base a valori accettabili di PMV/PPD.
- Considera fattori:
 - **ambientali** → temperatura aria, temperatura radiante media, velocità aria, umidità relativa
 - **umani** → attività metabolica, isolamento termico del vestiario

Modalità di applicazione:

- Si calcolano PMV e PPD dai dati ambientali e personali.
- Si confrontano con i limiti delle categorie di comfort.
- Utilizzabile sia in fase di progettazione che in verifica post-occupazione.

Scopo finale:

Garantire condizioni termiche accettabili per la maggioranza degli occupanti, riducendo il rischio di disagio.

Quadro normativo

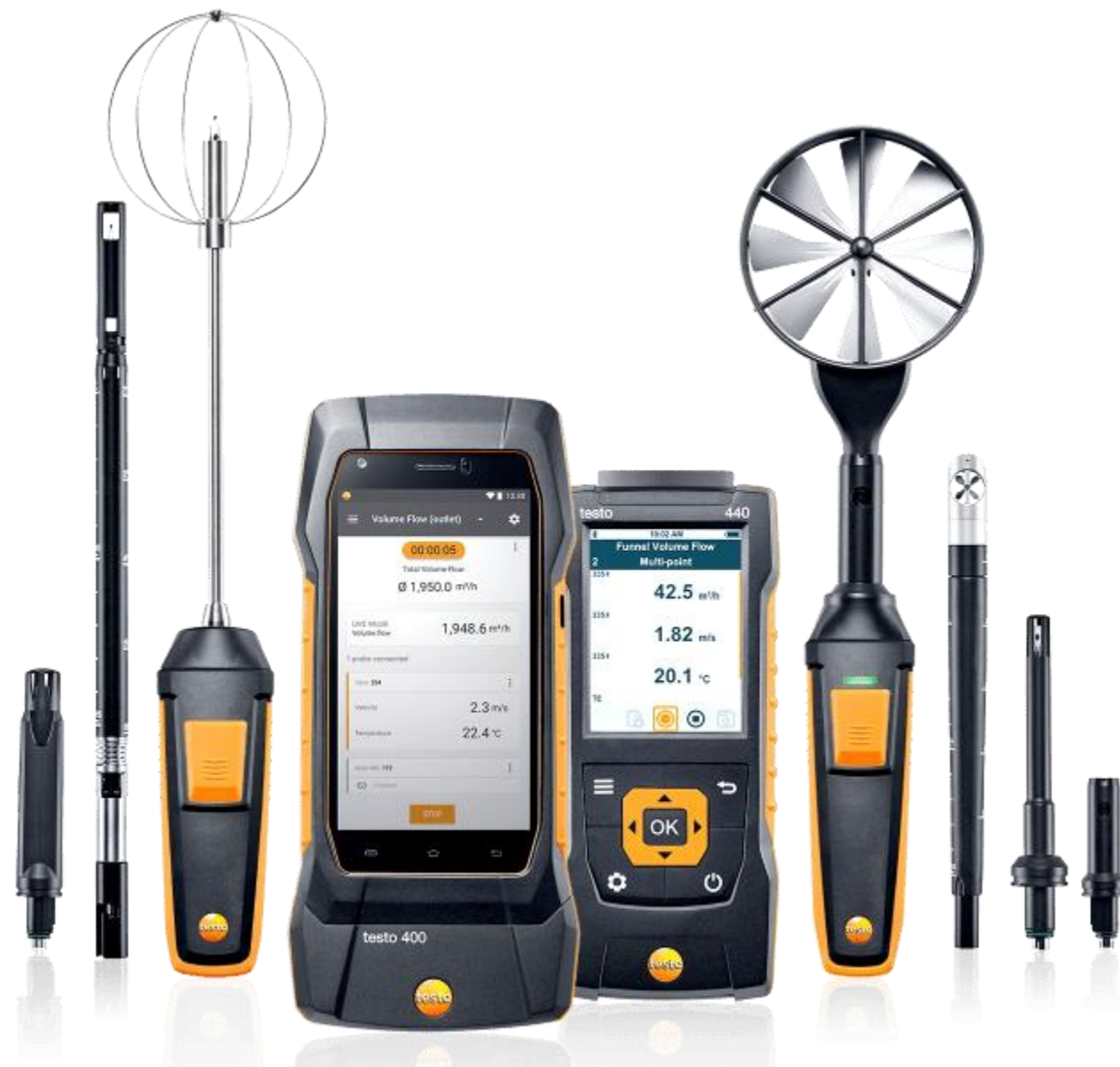
Parametro	Strumenti richiesti (UNI EN 12599:2012 + Testo)	Range di riferimento (ISO 7730 / EN 16798-1)
Temperatura dell'aria	- Termometri digitali - Sonde Pt100/Pt1000	- Inverno: 20 – 24 °C - Estate: 23 – 26 °C
Umidità relativa	- Termoigrometri elettronici - Psicrometri ventilati	- Accettabile: 30 – 70 % - Ottimale: 40 – 60 %
Velocità dell'aria (zona occupata)	- Anemometri a filo caldo (anche sferico) - Anemometri a elica (16 mm per misure in canale) - Anemometri a elica da 100 mm con coni di portata per misure su bocchette - Balometri	- Inverno: $\leq 0,15$ m/s - Estate: $\leq 0,25 - 0,30$ m/s

Gli strumenti di misura

I parametri principali:

- Temperatura → Termometri
- Umidità → Termoigrometri
- Velocità → Anemometri
- Pressione → Manometri

Altri parametri possono essere importanti per il comfort come la **CO₂**, questi vengono misurati da strumenti multifunzione, cioè strumenti che possono visualizzare diversi parametri



Termometri



Termometri

La precisione e il tipo di applicazione varia in base al tipo di sensore della sonda che viene utilizzata

Termocoppie (TC)

Principio: tensione elettrica generata da due metalli diversi.

Campo di misura: molto ampio ($-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ fino a $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ e oltre).

Vantaggi: robuste, veloci, economiche.

Uso tipico: forni, camini, alte temperature.

NTC (Negative Temperature Coefficient)

Principio: resistenza elettrica di un semiconduttore che cala al crescere della T.

Campo di misura: ristretto ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Vantaggi: molto sensibili, risposta rapida, economiche.

Uso tipico: climatizzazione, piccoli apparecchi, elettronica.

Pt100 (termoresistenza a platino)

Principio: resistenza elettrica del platino cresce linearmente con la T.

Campo di misura: $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vantaggi: alta precisione ($\pm 0,1\text{...}0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), stabilità nel tempo, ripetibilità..

Uso tipico: misure professionali di laboratorio e HVAC.



Sensori di temperatura

- Sonde per temperature dell'aria ambiente



- Sonde per temperature a immersione/penetrazione



- Sonde a contatto per stemperature sulle superfici



Termoigrometri



Termoigrometri

La combinazione di un sensore di temperatura NTC e un sensore ceramico capacitivo sono in grado di misurare con precisione temperatura ,umidità assoluta e relativa.

Misura della temperatura (NTC)

- Usa un **sensore NTC** (*Negative Temperature Coefficient*).
- È una piccola resistenza che **cambia valore quando la temperatura varia**.
- Più la temperatura sale, più la resistenza scende.
- È molto sensibile, precisa e veloce → ideale per comfort ambientale.

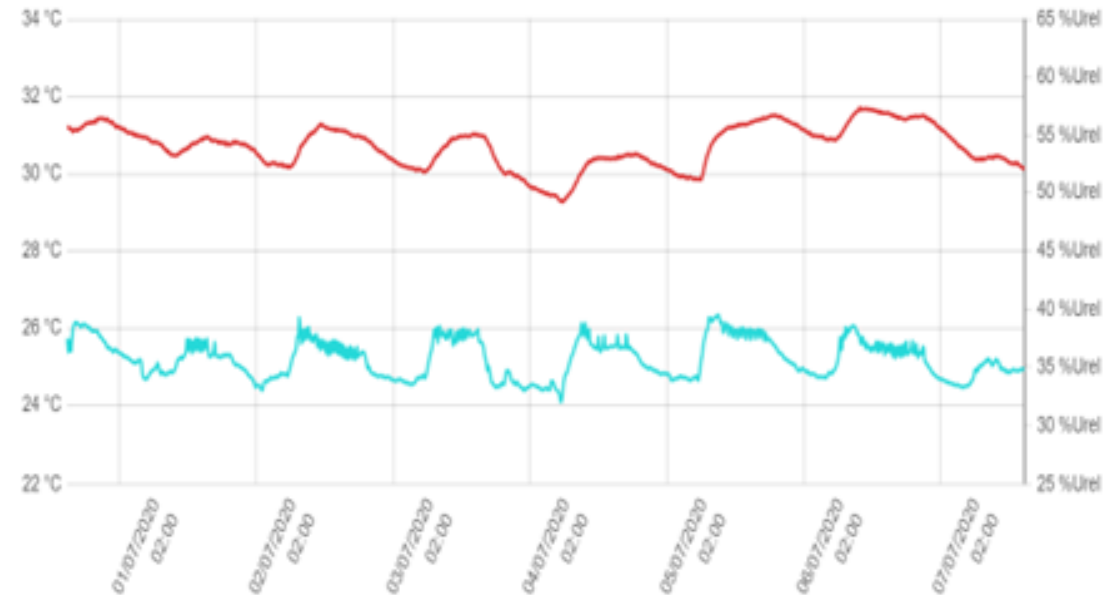
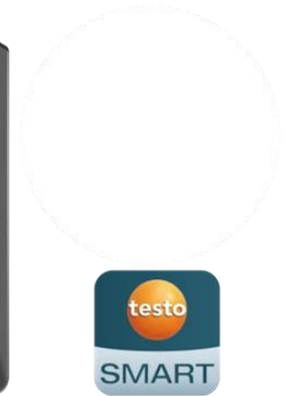
Misura dell'umidità (sensore ceramico capacitivo)

- Il cuore è un **sensore capacitivo** con un sottilissimo strato ceramico polimerico che **assorbe o rilascia molecole d'acqua**.
- Quando cambia l'umidità dell'aria, cambia la **capacità elettrica** del sensore.
- L'elettronica converte questa variazione in un valore di **umidità relativa (%)**.
- Robusto, stabile nel tempo e rapido nella risposta.

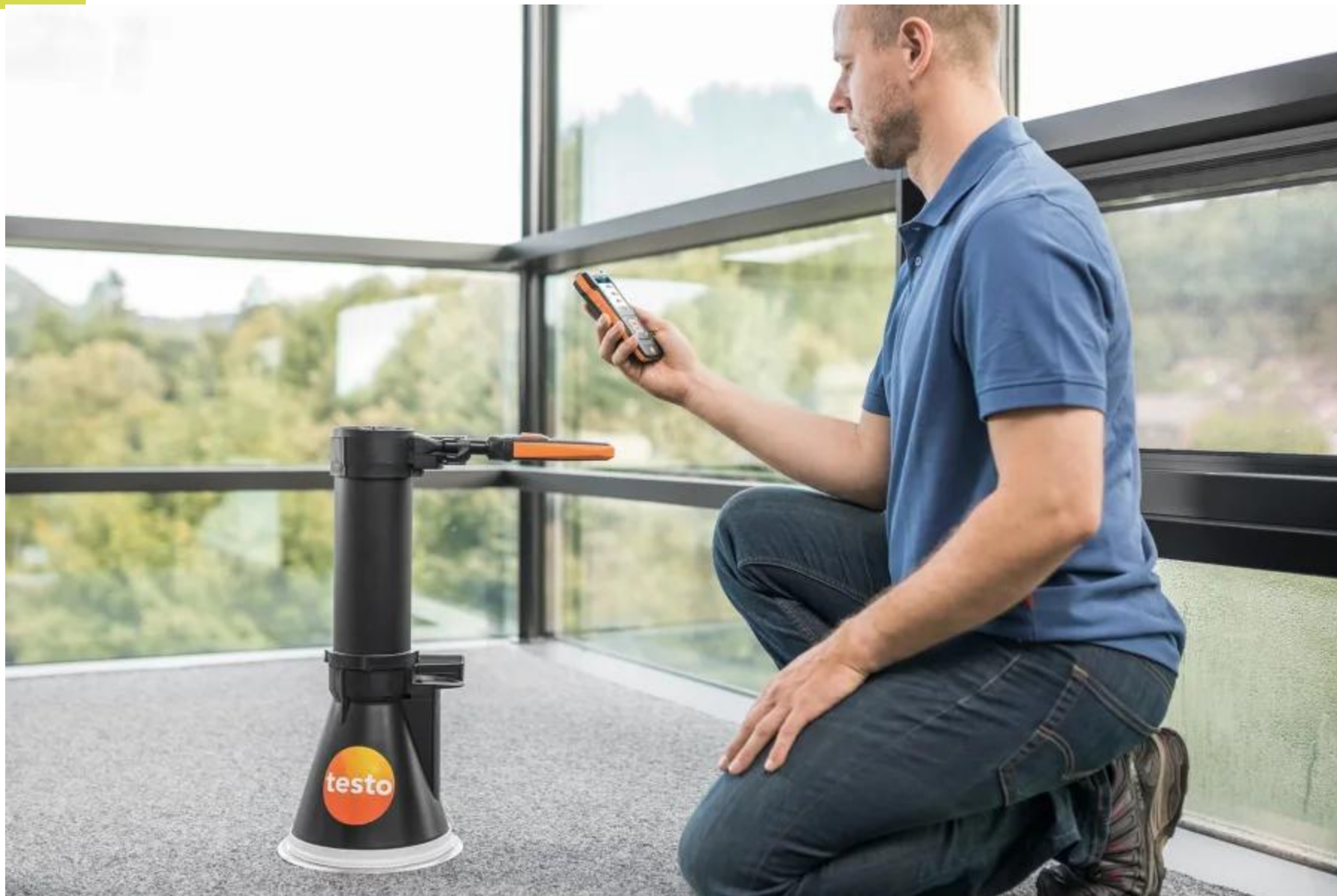


Data loggers di temperatura e umidità

Quando si ha necessità di monitoraggi nel tempo viene utilizzato il datalogger per rilevazioni della sola temperatura o temperatura e umidità



Anemometri



Misure da canale e misure esterne



Anemometri

Per misurare la velocità dell'aria e le portate esistono sonde con differenti sensori a seconda dell'applicazione

Anemometro a elica

- Una piccola **ventolina** (es. $\varnothing 16$ mm per canali, $\varnothing 100$ mm per bocchette).
- L'aria che passa fa girare l'elica $\rightarrow$ la velocità di rotazione è proporzionale alla velocità dell'aria.
- Robusto, intuitivo, ottimo per portate e canali.



Anemometro a filo caldo / sfera calda

- Un sottile filo o microsfera riscaldata elettricamente.
- Il flusso d'aria raffredda il sensore $\rightarrow$ più aria passa, più il filo si raffredda.
- L'elettronica misura quanta energia serve a mantenerlo caldo = **velocità dell'aria**.
- Molto sensibile anche a **correnti molto basse** (da 0,05 m/s).



Sonde di velocità dell'aria

Filo caldo	
Campo di misura	0 a 30 m/s
Precisione	$\pm(0,03 \text{ m/s} + 4 \% \text{ del v.m.})$ (0 a 20 m/s) $\pm(0,5 \text{ m/s} + 5 \% \text{ del v.m.})$ (20,01 a 30 m/s)
Risoluzione	0,01 m/s

Velocità del flusso	
Campo di misura	0,1 a 15 m/s
Precisione	$\pm(0,1 \text{ m/s} + 1,5 \% \text{ del v.m.})$
Risoluzione	0,01 m/s

Velocità del flusso	
Campo di misura	0,6 a 50 m/s
Precisione	$\pm(0,2 \text{ m/s} + 1 \% \text{ del v.m.})$ (0,6 a +40 m/s) $\pm(0,2 \text{ m/s} + 2 \% \text{ del v.m.})$ (40,1 a 50 m/s)
Risoluzione	0,1 m/s



70°C

10 m/s



70°C

15 m/s



70°C

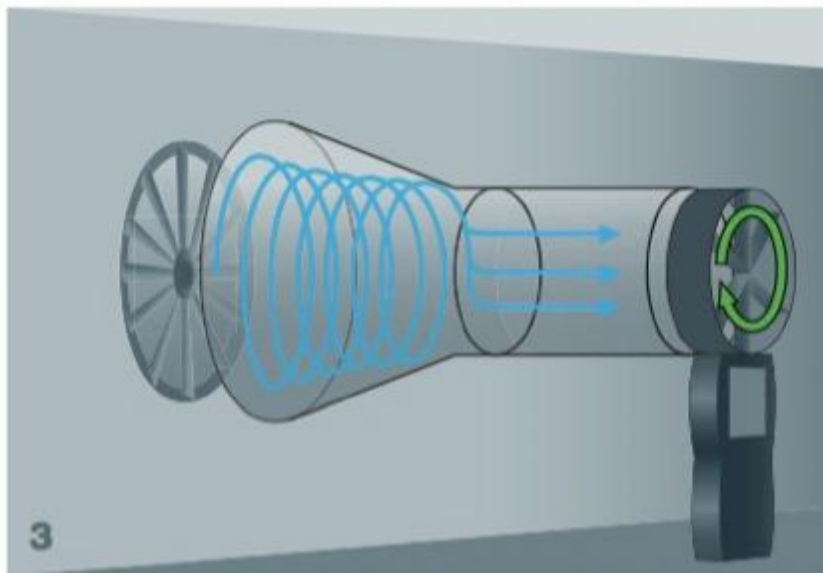
50 m/s



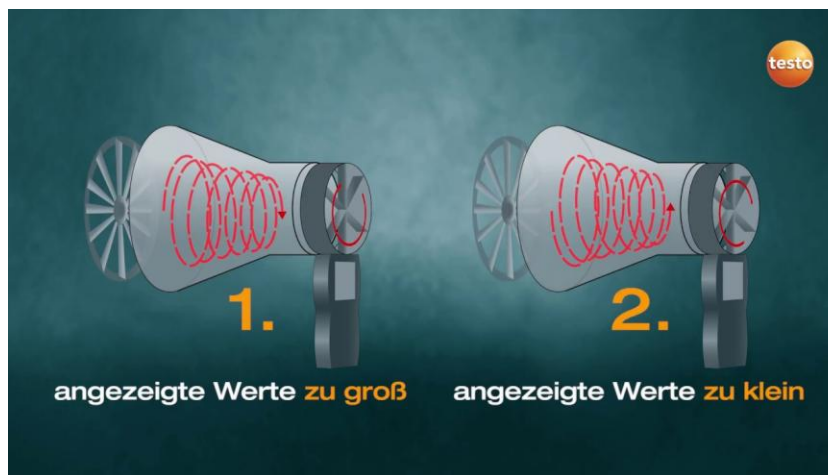
600°C

100 m/s

Coni di portata



The volume flow straightener testovent 417 subdues the swirl, ensuring more precise measurement results.



Balometro

Il principio di misura del testo 420 si basa sulla procedura di pressione dinamica. La velocità del flusso d'aria viene misurata dalla croce di pressione differenziale in 16 punti di misura, mentre la pressione statica viene registrata sul lato opposto. Lo strumento di misura calcola la portata volumetrica in base ai valori misurati: pressione differenziale, temperatura, umidità e pressione assente. L'azzeramento automatico del sensore di pressione offre una misurazione più precisa.

Raddrizzatore di flusso per una misura più precisa in corrispondenza dei flussi turbolenti



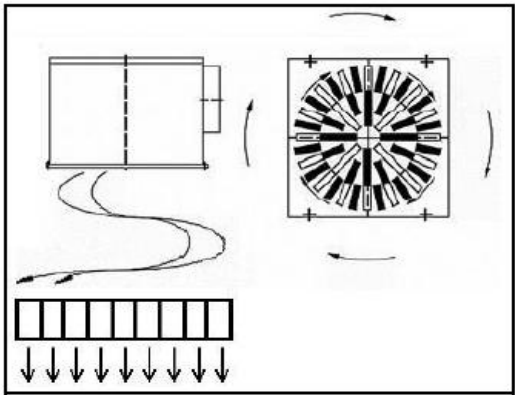
Strumento di misura rimovibile per altre applicazioni di misura della pressione



Misurazioni aggiuntive c temperatura e umidità relativa



Lo strumento misura la pressione differenziale, che viene poi convertita in portata volumetrica.



Titolo diapositiva

Applicazione principale: Determinazione di flussi volumetrici in entrata e uscita dell'aria di grandi dimensioni

Strutture pubbliche, ad esempio uffici, scuole, musei.



Settore industriale e commerciale, ad esempio magazzini, siti di produzione



Settore farmaceutico, ad esempio camere bianche, laboratori, autoclavi per materiali



Garantire la qualità dell'aria interna regolando il sistema VAC.



Garantire le condizioni di produzione regolando il sistema VAC.



Test del sistema VAC determinando la portata volumetrica totale e il tasso di ricambio dell'aria



Manometri

Per misurare la pressione assoluta e la pressione differenziale. Collegati a un tubo di Pitot possono misurare anche velocità dell'aria e portate.

Assoluta → confronto con il vuoto (0 Pa assoluto).

Differenziale → confronto tra due punti (es. interno vs esterno).

Velocità → misura la velocità all'interno di un canale

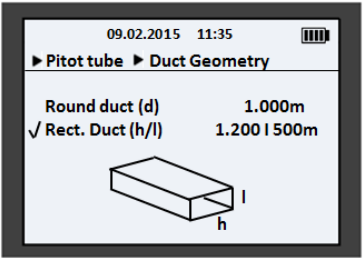
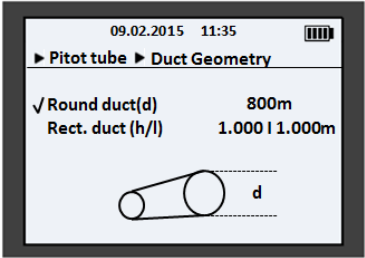


Applicazioni secondarie con pressione differenziale

Ulteriori applicazioni con il solo strumento di misura : Misurazione di tubi di Pitot in un condotto



La velocità dell'aria nel condotto viene determinata con l'aiuto di un tubo di Pitot. Nel programma di misura integrato può determinare la portata volumetrica attraverso una misura a più punti, o una misura a tempo, o una misura a tempo/multipunto. Inserendo semplicemente la geometria del condotto, la portata volumetrica viene visualizzata direttamente alla fine della misura.



Applicazione secondaria con il solo strumento di misura : Misurazione della pressione differenziale, ad es. su un filtro



I sistemi VAC sono dotati di filtri in modo che la contaminazione dell'aria esterna non possa entrare nell'aria interna. Il funzionamento di questi filtri deve essere controllato regolarmente. A questo scopo, la differenza di pressione viene misurata prima e dopo il filtro. Se la differenza di pressione è troppo elevata, è possibile che il filtro sia contaminato e deve essere sostituito.

Pressione differenziale	
Campo di misura	-120 a +120 Pa
Precisione	±2 % del v.m. + 0,5 Pa at +22 °C, 1013 hPa
Risoluzione	0,001 Pa
Tempo risposta	1 s (t90)

Strumento per la misura della CO₂

Caratteristiche principali

•Parametri misurati:

- Temperatura
- Umidità
- Pressione assoluta
- CO₂

Come funziona la misura della CO₂ a infrarossi

- Una lampadina a infrarossi manda luce attraverso l'aria.
- Le molecole di CO₂ **assorbono una parte specifica** di questa luce.
- Un sensore dall'altra parte misura **quanta luce manca**.
- Più luce viene assorbita = **maggiore concentrazione di CO₂**.



L'importanza della misura della CO2

La concentrazione di CO2 oscilla fra i 400 ppm in aree di aria pulita e 700 ppm nelle città. (425 ppm Osservatorio di Mauna Loa-Hawaii)

Il valore massimo raccomandato per gli interni è di 1.000 ppm e il valore limite per gli uffici è di 1.500 ppm. Bisogna avere molta precauzione dato che questo valore limite si raggiunge con una certa facilità. Per esempio, in un ufficio di 25 metri quadrati nel quale lavorano quattro adulti e che è stato recentemente ventilato, la concentrazione di diossido di carbonio sale a 2.000 ppm un'ora dopo aver chiuso le finestre isolanti.

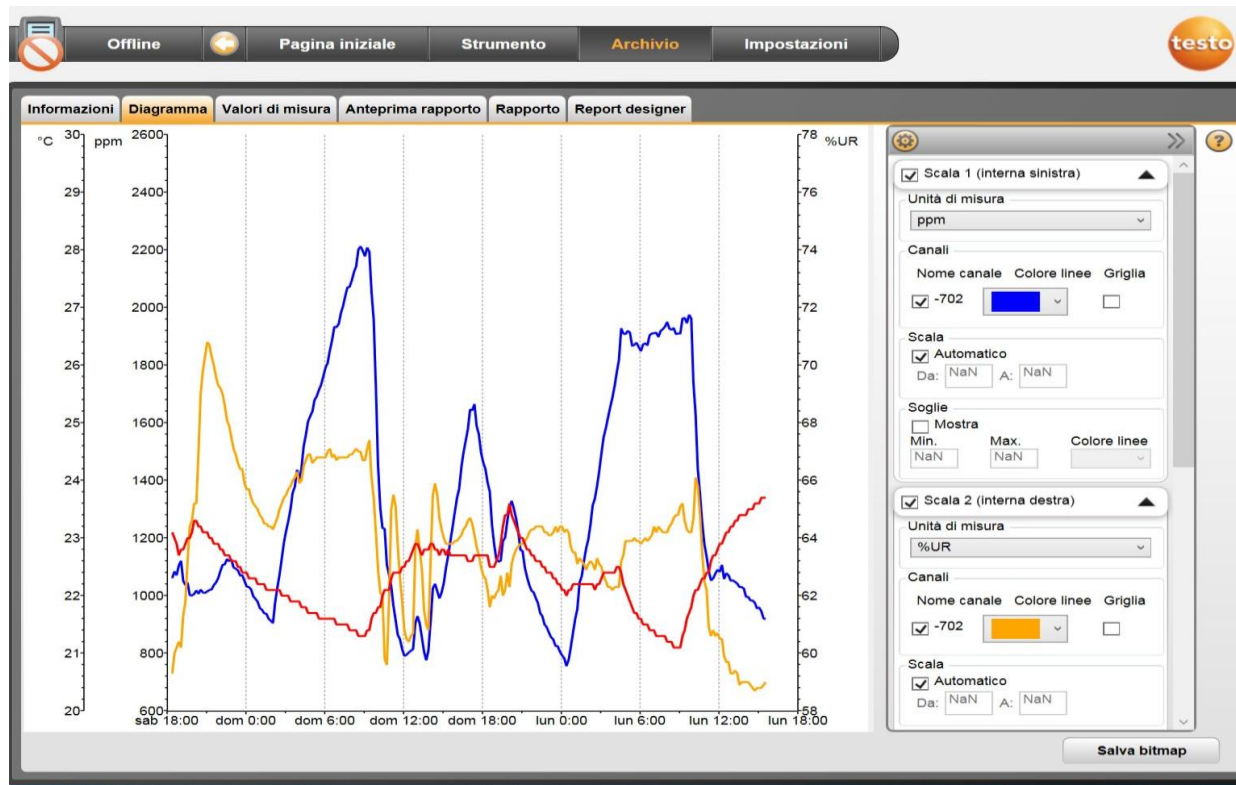
Valori alti di CO2 sono causa di un non benessere e possono causare sonnolenza, mal di testa, nausea, perdita di concentrazione e basso rendimento.



Esempi di monitoraggio CO2

Negli esempi possiamo vedere quali valori possono essere raggiunti in ambienti con scarsa ventilazione, nei due esempi porte e finestre sono state appositamente chiuse.

Camera da letto : 1 persona

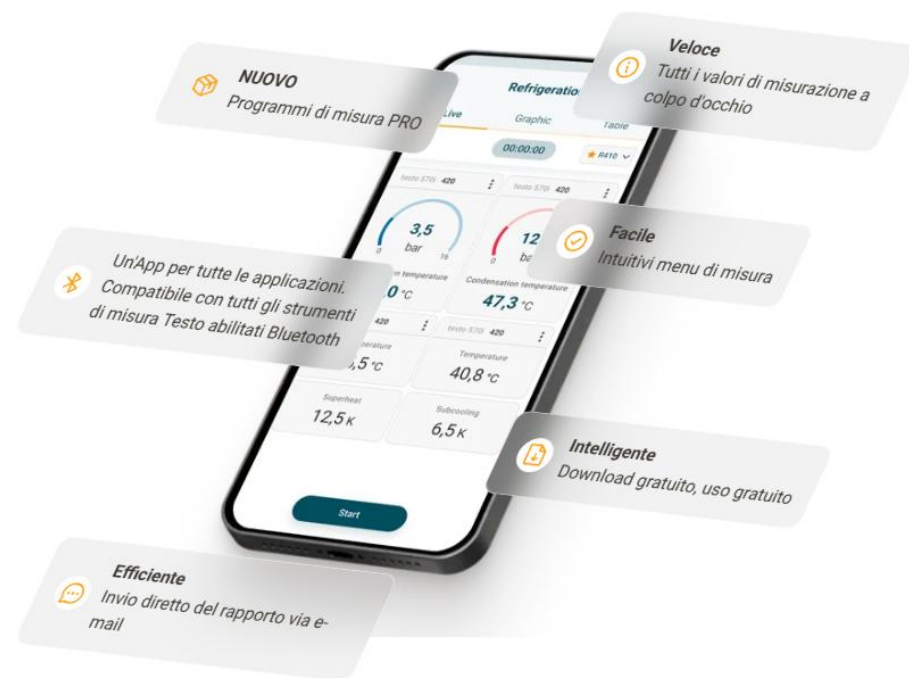


Camera da letto : 2 persone



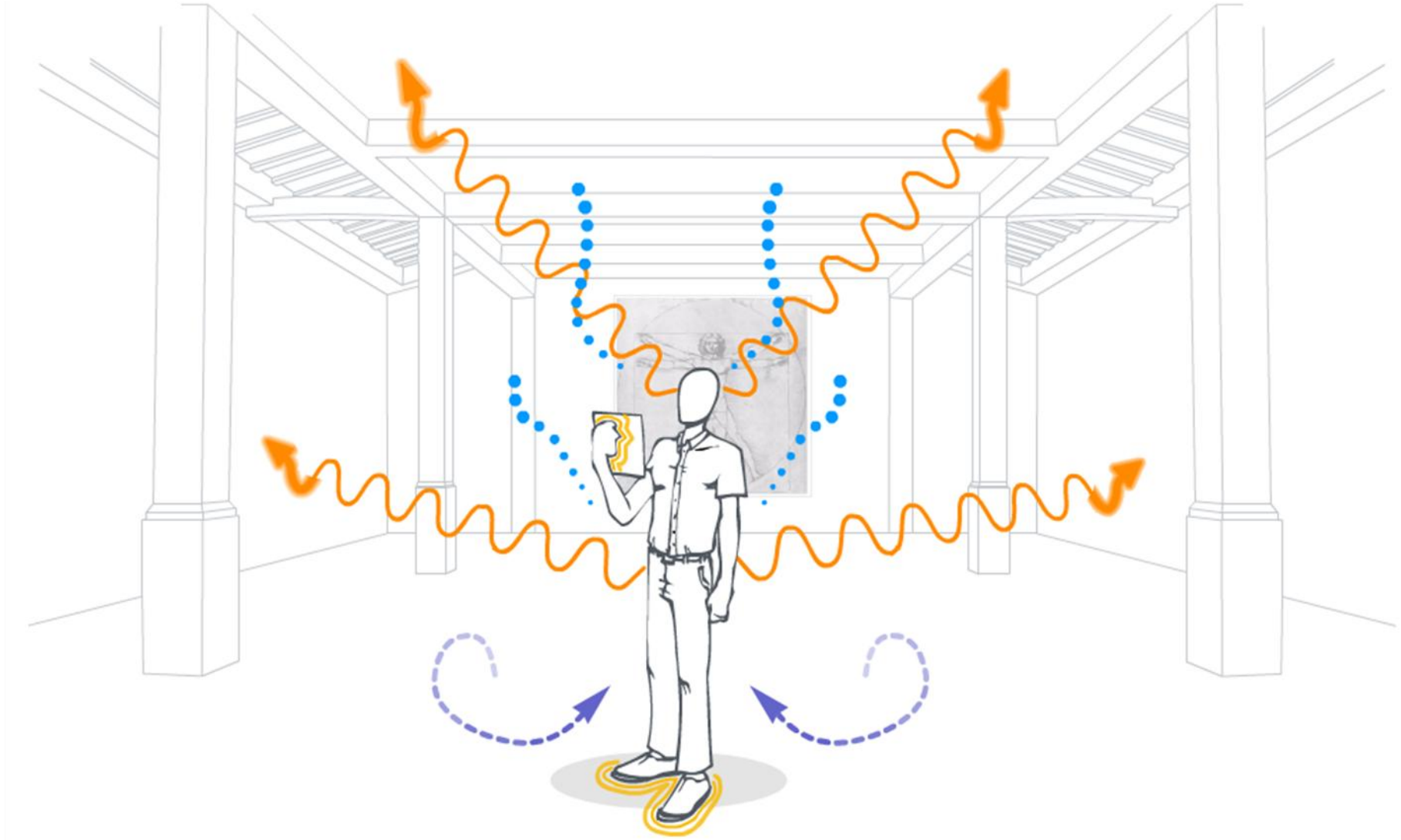
Misure ambientali

Possiamo quindi concludere che grazie alla combinazione di misure di **ventilazione** per tarare i sistemi di ventilazione e misure di **temperatura, umidità e CO2** per verificare i corretti ricambi d'aria



Inoltre le misure acquisite possono essere gestite dalla nostra APP Testo Smart e gestite in archivio su PC tramite software Testo Datacontrol,

Comfort ambientale



Gli scambi avvengono attraverso modalità fisiche CONDUZIONE, CONVEZIONE, IRRAGGIAMENTO e
Fisiologiche SUDORAZIONE

Strumento per misure di comfort

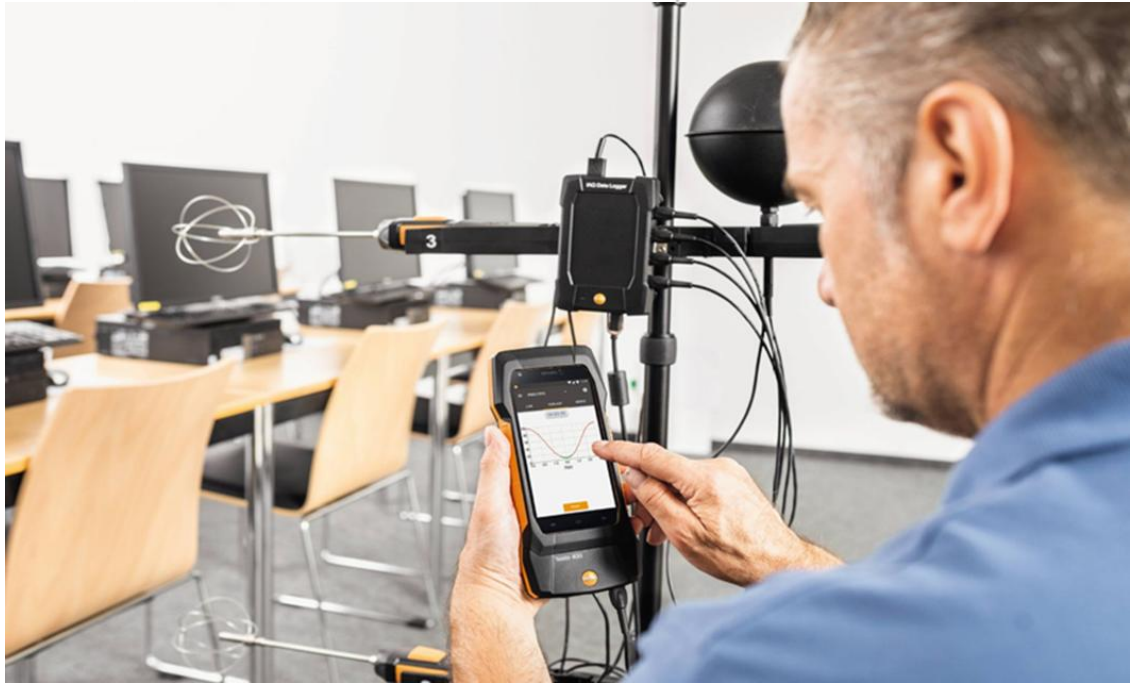
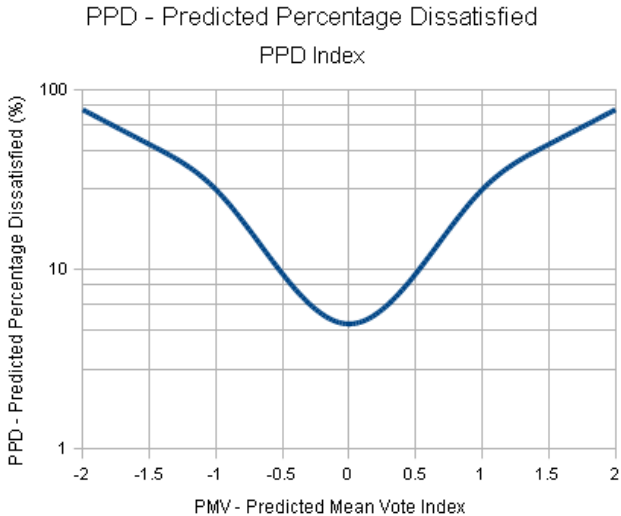
Applicazione: Il calcolo dei valori PMV e PPD fa parte della misurazione del livello di comfort secondo ISO 7730. Con il testo 400 si può misurare la capacità di comfort termico degli ambienti. Questo comfort termico è dato quando l'utente della stanza ha una buona sensazione soggettiva con l'ambiente.

PPD sta per **Percentuale prevista di insoddisfatti** e fornisce informazioni sul tasso di persone che non sono soddisfatte delle attuali condizioni climatiche. Il valore determinato in base al valore del PMV ed è indicato in percentuale

PMV sta per **Predicted Mean Vote** ed è una scala di valutazione soggettiva della persona che usa la stanza. Di conseguenza viene dato un valore che si riferisce all'ambiente ed è compreso tra "+3 - caldo e -3 - freddo".

Measurement Parameter	Measurement Range
Radiation Temperature	+10 .. +40 °C
Air Temperature	+10 .. +30 °C
Air Flow	0 .. +1 m/s
Relative Humidity	+30 .. +70 %RH

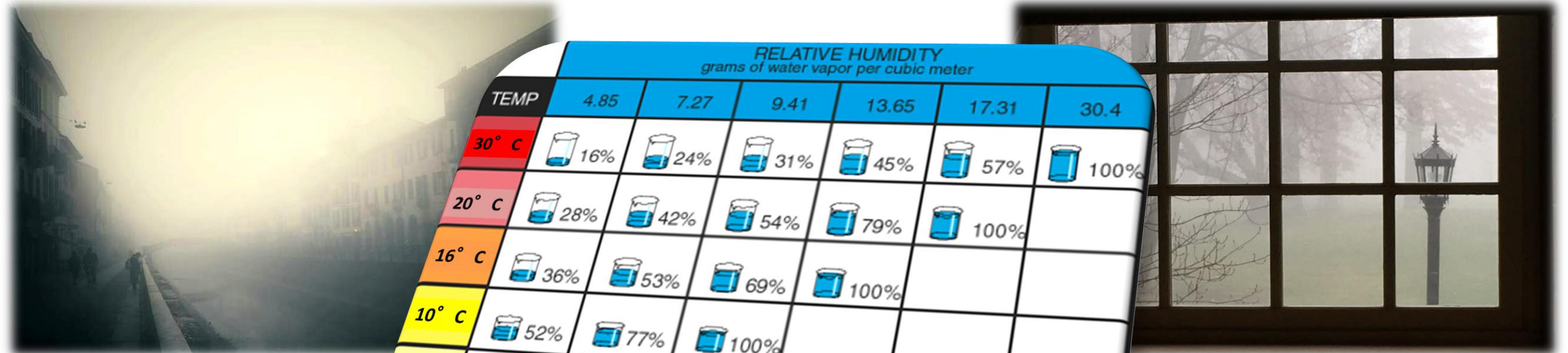
Measurement Parameter	Measurement Range
Clothing coefficient	0,1 .. +3,0 clo
Activity	0,1 .. +4,0 met



Umidità assoluta e umidità relativa

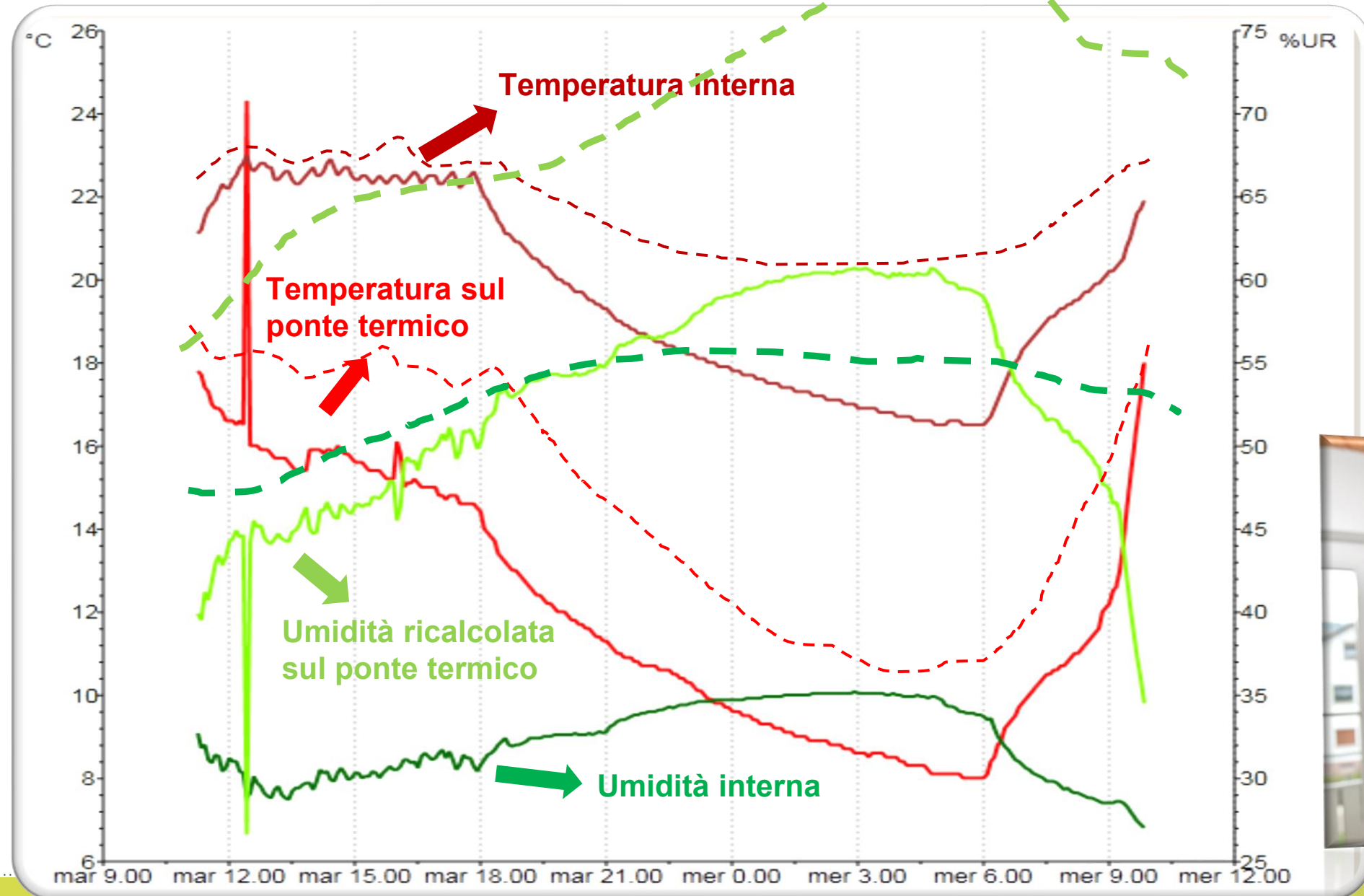
Umidità assoluta: è la quantità di vapore acqueo espressa in grammi contenuta in un m³ d'aria

Umidità relativa: è il rapporto fra la quantità di vapore acqueo contenuta in una massa d'aria e la quantità massima che può essere contenuta nelle stesse condizioni di temperatura e pressione



RELATIVE HUMIDITY grams of water vapor per cubic meter						
TEMP	4.85	7.27	9.41	13.65	17.31	30.4
30° C	 16%	 24%	 31%	 45%	 57%	 100%
20° C	 28%	 42%	 54%	 79%	 100%	
16° C	 36%	 53%	 69%	 100%		
10° C	 52%	 77%	 100%			
6° C	 67%	 100%				
0° C	 100%					

Esempio monitoraggio ponte termico

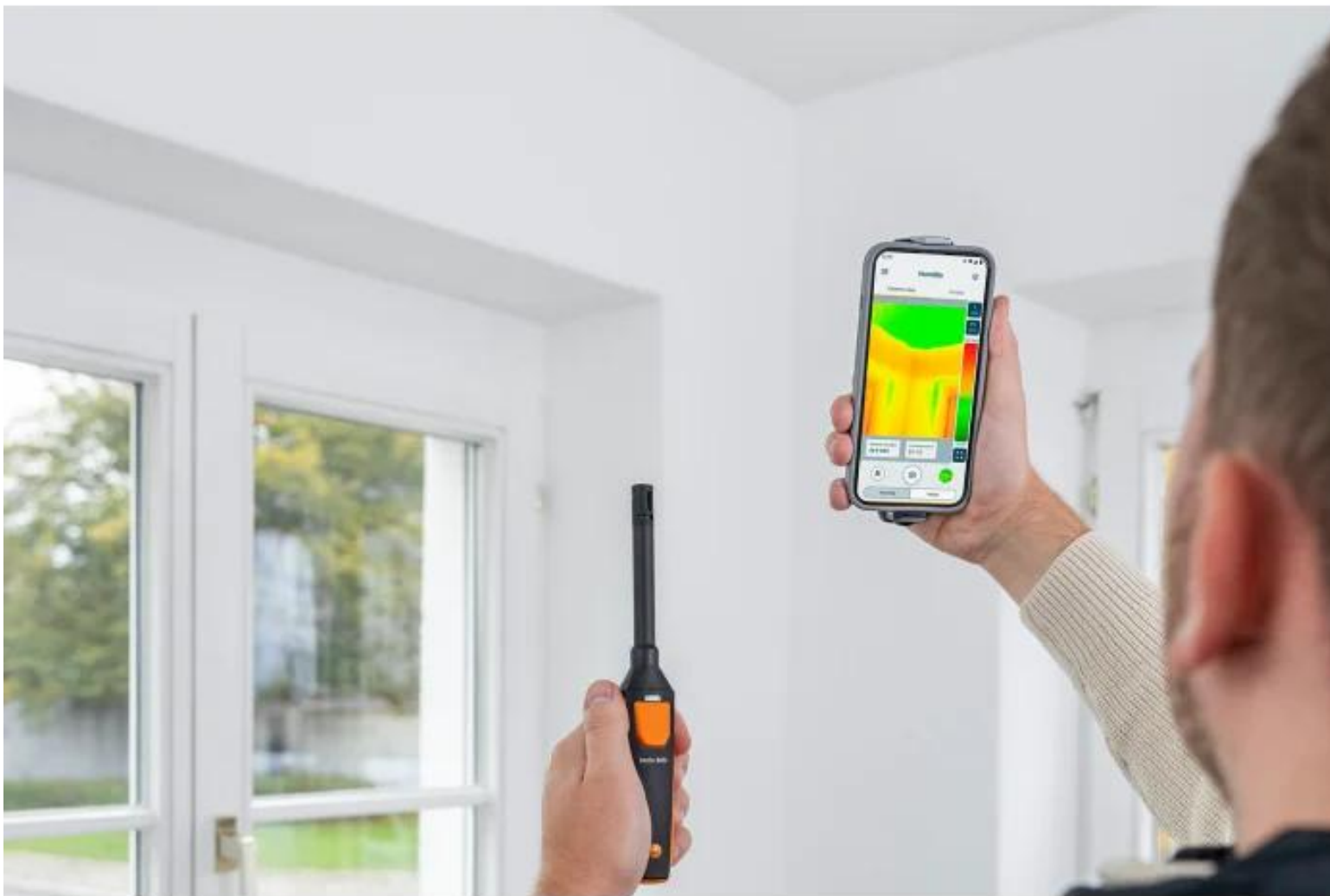


È importante controllare sia la temperatura sia l'umidità di un ambiente. Considerare la sola temperatura senza tenere conto degli equilibri di umidità mediante la ventilazione può risolvere un problema ma scatenarne un altro.



Ricerche termoigrometriche con termocamera

Per le ricerche di umidità superficiali l'utilizzo in combinazione di un termoigrometro e una termocamera oltre ai valori di temperatura e umidità possono darci una visualizzazione grafica dello sviluppo di condense.



CONTATTI

Product expert Luca Laudi

Sito web : www.testo.it

Telefono : 02 335191

Per richieste commerciali e tecniche : clima@testo.it

Canale youtube : <https://www.youtube.com/channel/UC9yRrEFniV4jGDOIWMGkOEg>

Facebook : <https://www.facebook.com/testospa>

Linkedin : <https://www.linkedin.com/company/testo-italia/>



Grazie per l'attenzione