

Misurazione di CO₂ negli incubatori - domande e risposte



Domande frequenti

1. Come funziona il sensore CARBOCAP®, NDIR (infrarossi non dispersivi), a raggio singolo e a doppia lunghezza d'onda?
2. In che modo la temperatura e la pressione influiscono sulla misurazione di CO₂?
3. Come è possibile correggere l'errore di temperatura e pressione quando si utilizzano i prodotti Vaisala per CO₂?
4. In che modo è possibile evitare la condensa durante il campionamento dagli incubatori?
5. Perché la lettura della concentrazione di CO₂ è maggiore del previsto quando si utilizza il metodo di campionamento della pompa con tubo di essiccazione?

Lo scopo del presente documento è di rispondere alle domande più frequenti spesso poste in merito ai prodotti e alla misura di CO₂.

1. Come funziona il sensore CARBOCAP®, NDIR (infrarossi non dispersivi), a raggio singolo e a doppia lunghezza d'onda?

Il sensore CARBOCAP® Vaisala presenta tre componenti principali: Una sorgente luminosa, un interferometro e un rivelatore IR. La sorgente luminosa è posizionata in modo da illuminare il rivelatore IR così che la luce viaggi a una distanza fissa dal rivelatore, dove viene misurata l'intensità della luce.

Un interferometro di Fabry-Perot (FPI) è posizionato proprio davanti al rivelatore IR. L'FPI è un filtro sintonizzabile che consente solo a determinate lunghezze d'onda della luce di passare attraverso il rivelatore.



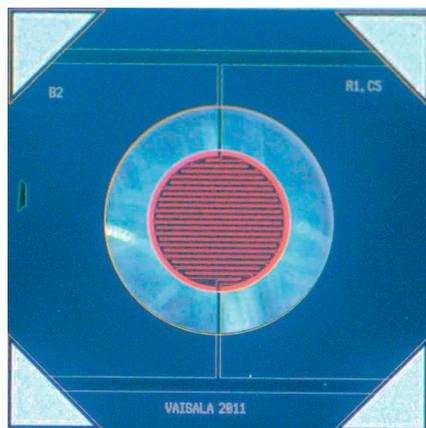
Alla lunghezza d'onda di assorbimento di CO₂ la luce viene assorbita dal biossido di carbonio presente nel gas. L'FPI si sintonizza su tutte le altre lunghezze d'onda, quindi l'intensità della luce che raggiunge il rivelatore IR varia in funzione della quantità di CO₂ all'interno del sensore.

Il biossido di carbonio assorbe determinate lunghezze d'onda della luce e non altre, quindi l'FPI è progettato per far passare la luce a una lunghezza d'onda di assorbimento di CO₂ (4,26µm) e una lunghezza d'onda vicina, non assorbente. Vedere l'illustrazione a destra.

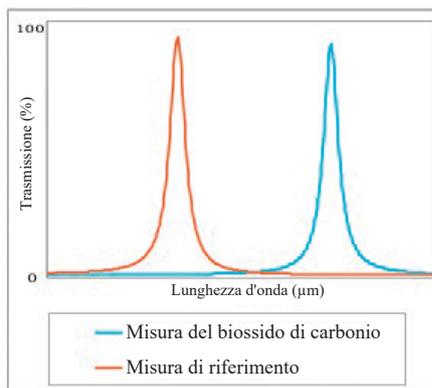
Quando il sensore è in funzione, l'FPI viene regolarmente sintonizzato avanti e indietro tra le due lunghezze d'onda. Alla lunghezza d'onda di assorbimento della CO₂, l'intensità della luce rilevata viene ridotta proporzionalmente alla concentrazione di CO₂ nel percorso ottico. L'intensità della luce misurata alla lunghezza d'onda non assorbente funge da riferimento per il confronto.

Al variare della concentrazione di CO₂, varia la differenza di intensità luminosa. L'esatta relazione tra l'intensità della luce IR e la concentrazione di volume di CO₂ viene determinata quando lo strumento viene calibrato utilizzando azoto puro (0 ppm di CO₂) e una concentrazione nota di CO₂.

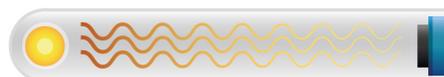
Il design del sensore CARBOCAP® è semplice e robusto, utilizza solo una sorgente luminosa e un rivelatore IR. Ciò elimina gli errori causati da lievi differenze nei molteplici componenti dei design dei sensori a raggio doppio. L'FPI utilizzato nel sensore CARBOCAP® è microlavorato in silicio e non presenta parti mobili, fornendo un'affidabilità molto più elevata rispetto ai modelli meccanici con design a "ruota a pale".



Tecnologia Microglow brevettata da Vaisala, una sorgente a infrarossi con emettitore MEMS al silicio.



Sia l'assorbimento che il riferimento sono misurati mediante il sensore CARBOCAP®.



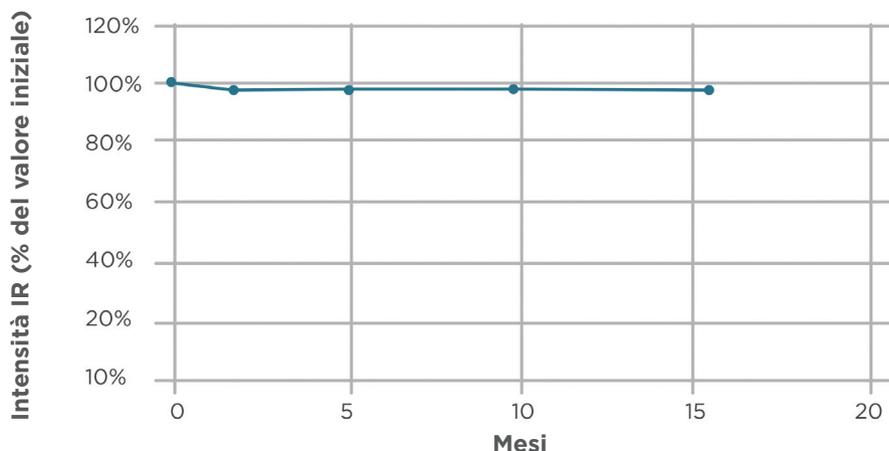
L'FPI è sintonizzato su una lunghezza d'onda di riferimento non assorbente vicina, dove il rilevatore IR misura l'intera intensità della luce, creando una linea di base per il confronto. Eventuali variazioni nelle prestazioni della sorgente luminosa, FPI o rivelatore IR, influiscono in egual modo su entrambe le misurazioni, preservando la differenza tra le due misurazioni e quindi la calibrazione del sensore. Si tratta di un fattore chiave per la stabilità a lungo termine del sensore.

Il sensore CARBOCAP incorpora anche la sorgente luminosa IR di ultima generazione con tecnologia Microglow. La tecnologia Microglow risolve molte delle sfide che incidono sulle sorgenti a infrarossi tradizionali. I principali vantaggi di questa tecnologia sono una maggiore stabilità, un consumo energetico ridotto e una durata operativa notevolmente estesa. La sostituzione della lampadina a incandescenza con la tecnologia Microglow aumenta la durata operativa del sensore del 50%,

mentre il consumo energetico è solo del 25% rispetto alle tradizionali sorgenti a infrarossi.

L'intensità della tecnologia Microglow rimane estremamente stabile per tutta la sua durata. Altri vantaggi includono tempi di risposta brevi e una producibilità superiore, poiché il chip può essere assemblato automaticamente direttamente sulla scheda del componente.

Maggiori informazioni sulla tecnologia Microglow sono disponibili all'indirizzo vaisala.com/microglow.



La stabilità a lungo termine superiore di Microglow.

2. In che modo la temperatura e la pressione influiscono sulla misurazione di CO₂?

Tutti gli strumenti a infrarossi non dispersivi misurano fondamentalmente la densità molare (il numero di molecole nel percorso del raggio). La maggior parte degli utenti preferisce l'output in percentuale del volume, quindi gli strumenti di CO₂ vengono regolati per visualizzarlo correlando il numero di molecole a una concentrazione in volume di CO₂.

Poiché i gas sono comprimibili, la loro densità molare cambia al variare della pressione atmosferica e della temperatura ambiente, il che significa che l'uscita dipende dalla temperatura e dalla pressione.

La misurazione di CO₂ deve essere compensata se le condizioni di misurazione si discostano in modo significativo dalle condizioni di calibrazione, che sono 1.013 hPa e 25°C. Fare riferimento alle tabelle 1 e 2 nella pagina successiva per vedere l'entità dell'effetto delle variazioni non compensate di pressione e temperatura secondo la legge dei gas perfetti.

Per una comprensione dettagliata della necessità di compensazione, è utile

avere qualche informazione circa il comportamento dei gas. In qualsiasi miscela di gas, la pressione totale del gas è la somma delle pressioni parziali dei gas componenti. Questa è la legge di Dalton ed è rappresentata come segue:

$$P_{\text{totale}} = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$

La quantità di qualsiasi gas in una miscela può essere espressa come pressione. Prendendo l'aria come esempio, i componenti principali sono azoto, ossigeno, biossido di carbonio e vapore acqueo, quindi la pressione atmosferica totale è composta dalle pressioni parziali di questi gas.

La pressione parziale di ciascun gas è il prodotto della sua concentrazione in volume e della pressione totale del sistema.

L'aria che respiriamo è composta da circa il 78% di azoto, il 21% di ossigeno, lo 0,9% di argon e circa lo 0,04% di biossido di carbonio. Queste percentuali rimangono all'incirca costanti in tutta l'atmosfera, indipendentemente dall'altitudine.

La pressione media dell'atmosfera al livello del mare è di circa 1.013 hPa, quindi la pressione parziale del

biossido di carbonio è 0,04% di 1.013 hPa (0,0004*1.013) o 0,405 hPa. Ad esempio a Denver, Colorado, USA, dove l'altitudine è di circa 5.280 piedi e la pressione atmosferica è di circa 834,3 hPa, lo stesso 0,04% di anidride carbonica ci dà una pressione parziale di 0,334 hPa contro 0,405 hPa.

Anche se la CO₂ costituisce ancora lo 0,04 % dell'atmosfera a questa altitudine più elevata, la pressione è inferiore e quando la pressione diminuisce, si riduce anche la densità molare. Poiché i sensori NDIR misurano fondamentalmente la densità molare, è necessario effettuare la compensazione quando è richiesta una lettura percentuale del volume o ppmv. La compensazione della temperatura è importante anche perché al diminuire della temperatura aumenta la densità molare.

La maggior parte dei trasmettitori di biossido di carbonio Vaisala ha un sensore di temperatura integrato, quando il dispositivo può compensare automaticamente le variazioni di temperatura nella misurazione. Inoltre, possono essere impostate anche le compensazioni di ossigeno e umidità relativa, ma questi parametri hanno un effetto minore sull'accuratezza della misurazione.

Tabella 1. Effetto delle variazioni di pressione non compensate delle letture di CO₂ in % in un sensore NDIR secondo la legge dei gas perfetti.

Strumenti calibrati a 25° C e 1.013 hPa					
Altitudine sul livello del mare		Pressione (hPa)	Concentrazione misurata (%CO ₂)	Concentrazione corretta (%CO ₂)	Differenza (%CO ₂)
piedi	metri				
0	0	1013	5.00	5.00	0.00
500	153	992.8	4.90	5.00	0.10
1000	305	979.1	4.83	5.00	0.17
1500	458	958.4	4.73	5.00	0.27
2000	610	937.7	4.63	5.00	0.37
2500	763	923.9	4.56	5.00	0.44
3000	915	903.2	4.46	5.00	0.54
3500	1068	889.4	4.39	5.00	0.61
4000	1220	868.7	4.29	5.00	0.71
4500	1373	854.9	4.22	5.00	0.78
5000	1526	834.3	4.12	5.00	0.88
5500	1679	820.5	4.05	5.00	0.95
6000	1831	806.7	3.98	5.00	1.02

Tabella 2. Effetto delle variazioni di temperatura non compensate sulle letture di CO₂ in % in un sensore NDIR secondo la legge dei gas perfetti.

Strumenti calibrati a 25° C e 1.013 hPa			
Temperatura (°C)	Concentrazione misurata (%CO ₂)	Concentrazione corretta (%CO ₂)	Differenza (%CO ₂)
25	5.00	5.00	0.00
26	4.98	5.00	0.02
27	4.97	5.00	0.03
28	4.95	5.00	0.05
29	4.93	5.00	0.07
30	4.92	5.00	0.08
31	4.90	5.00	0.10
32	4.89	5.00	0.11
33	4.87	5.00	0.13
34	4.85	5.00	0.15
35	4.84	5.00	0.16
36	4.82	5.00	0.18
37	4.81	5.00	0.19



Il GM70 Vaisala con la sonda di umidità insieme alla sonda per biossido di carbonio.

3. In che modo è possibile correggere gli errori di temperatura e pressione quando si utilizzano i prodotti Vaisala per la misurazione di CO₂?

Potrebbe essere necessario correggere le misurazioni del biossido di carbonio effettuate a temperature e pressioni diverse dalle condizioni di calibrazione per ottenere la precisione richiesta. La forma più semplice di correzione per una lettura percentuale del volume può essere eseguita utilizzando una formula secondo la legge dei gas perfetti:

$$C_{\text{corrected}}(\%/ppm) = \frac{C_{\text{misurato}}(\%/ppm) \cdot (1.013 \cdot (t(^{\circ}\text{C}) + 273))}{(298\text{K} \cdot p(\text{hPa}))}$$

Nel misuratore di biossido di carbonio portatile Vaisala CARBOCAP® GM70 la temperatura e la pressione dell'ambiente nel punto di misura possono essere facilmente impostate nel menu utente del GM70. Le compensazioni vengono

effettuate internamente e lo strumento visualizza la misura corretta. La correzione interna tiene conto anche delle dipendenze causate dalle leggi dei gas reali, nonché dai componenti elettronici e ottici dello strumento. La correzione interna è più accurata per il GM70 rispetto alla correzione della legge dei gas perfetti. Un altro modo per compensare la temperatura è collegare una sonda di umidità e temperatura HMP77B Vaisala HUMICAP® all'indicatore MI70 insieme alla sonda di CO₂. La temperatura misurata con la sonda può essere impostata per compensare automaticamente la lettura di CO₂.

Le sonde di biossido di carbonio Vaisala CARBOCAP® GMP231 e GMP251 hanno compensazioni di temperatura interne, quando la sonda misura e compensa la temperatura automaticamente. Anche le compensazioni dell'ossigeno e dell'umidità relativa possono essere impostate per ottenere la massima precisione.

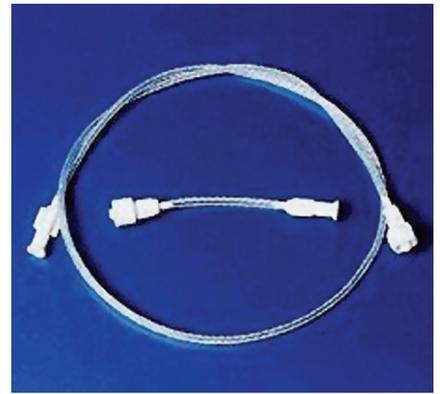
4. In che modo è possibile evitare la condensa durante il campionamento dagli incubatori?

Il GM70 ha due metodi di campionamento alternativi: campionamento a diffusione e campionamento con pompa aspirata. L'opzione con pompa aspirata è progettata per prelevare un campione da spazi in cui non è possibile la misurazione diretta basata sulla diffusione.

È necessario prestare attenzione quando si preleva un campione di gas da ambienti umidi, poiché le superfici ottiche del sensore NDIR all'interno della sonda e della camera di pompaggio devono essere protette dalla condensa.

Gli incubatori e le camere ambientali sono difficili da misurare, poiché il campione di gas viene solitamente prelevato da un ambiente con temperatura e umidità elevate in un ambiente a temperatura ambiente, con conseguente condensa.

La condensa all'interno del tubo e del sistema di campionamento può essere evitata utilizzando una provetta di campionamento realizzata in Nafion® (disponibile come accessorio, numero seriale Vaisala 212807GM).



Tubo in Nafion®, numero seriale Vaisala N. 212807GM.

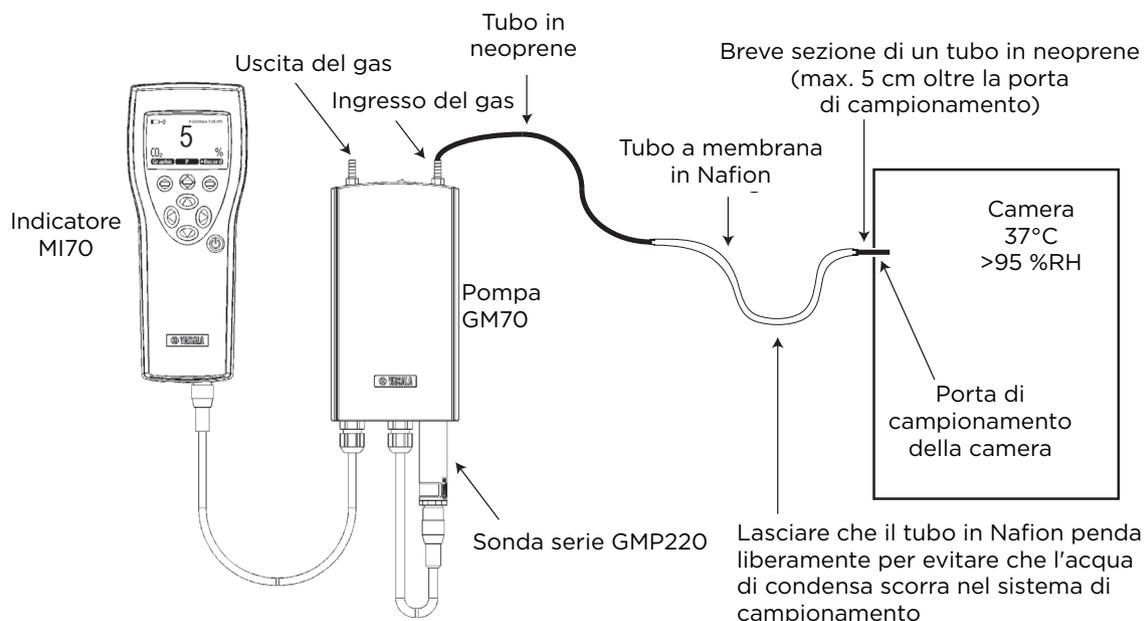


La tecnologia di base del tubo è il Nafion®, un materiale altamente selettivo nella rimozione dell'acqua. L'acqua si muove attraverso la parete della membrana ed evapora nell'aria circostante mediante un processo chiamato pervaporazione. Il Nafion® rimuove l'acqua per assorbimento che si verifica come reazione cinetica del primo ordine. Nelle applicazioni di essiccazione, lo scambiatore di umidità trasferisce il vapore acqueo da un flusso di gas umido nell'atmosfera circostante. L'essiccazione è completa quando il livello di umidità del campione corrisponde al livello di umidità ambientale. Poiché l'essiccazione procede come una reazione cinetica del primo ordine, questo livello può essere raggiunto in modo estremamente rapido, di solito entro 100-200 millisecondi. Questo comportamento rende il tubo ideale per applicazioni che prevedono l'introduzione di un campione molto umido a temperatura ambiente. L'umidità del campione di gas può essere ridotta solo con un tubo dalla lunghezza minore. Per ulteriori informazioni sui tubi, fare riferimento a www.permapure.com.

1 Il Nafion® è un copolimero costituito da tetrafluoroetilene (Teflon) e acido perfluoro-3,6-diossa-4-metil-7-ottene-solfonico sviluppato dalla società Dupont.

Quando si utilizza la pompa GM70 per eseguire il campionamento da un incubatore, utilizzare il tubo in Nafion® per eliminare la possibilità di condensazione dell'umidità nel sistema di campionamento. Si raccomandano le linee guida seguenti:

- È opportuno disporre del tubo di campionamento in Nafion® nel punto di transizione tra l'incubatore e l'ambiente circostante. 20 cm di Nafion® nell'ambiente sono sufficienti per trasferire il vapore acqueo dal campione estratto all'ambiente. La lunghezza restante del tubo di campionamento può essere in neoprene o altro materiale. Collegare il tubo utilizzando raccordi portagomma o altri metodi per evitare perdite di aria ambiente nel campione. Assicurarsi che la lunghezza della linea di campionamento complessiva sia il più breve possibile.
- Se il campionamento avviene attraverso la porta dell'incubatore, inserire il tubo in Nafion® nell'incubatore e chiudere delicatamente il relativo sportello, controllando che la guarnizione dello sportello non danneggi il tubo e assicuri una chiusura a tenuta corretta attorno ad esso.
- Quando si preleva un campione di gas da una camera, è necessario posizionare alcuni centimetri della linea di campionamento all'interno della camera. Se è presente il rischio di condensazione all'interno della camera in cui viene prelevato il campione, prestare particolare attenzione affinché la condensa non scorra nel tubo.
- Per verificare che la condensa non abbia raggiunto la sonda, è possibile estrarre la sonda di CO₂ dalla pompa GM70. Durante il reinserimento della sonda, evitare di spingerla fino in fondo. Collegare i due anelli di tenuta alla superficie liscia della sonda per ottenere una connessione salda.
- Se il campionamento avviene attraverso un foro o un'altra porta nell'incubatore, inserire il tubo in Nafion® nell'incubatore e assicurare una perfetta tenuta attorno ad esso.
- Se si esegue il campionamento attraverso un raccordo portagomma/porta di campionamento, utilizzare un tubo in neoprene molto corto per collegare il raccordo del tubo in Nafion al raccordo dell'incubatore. Utilizzare il neoprene come "connettore" per tenere il tubo in Nafion® il più vicino possibile al portagomma. Non è opportuno che il gas campione viaggi attraverso il neoprene, poiché potrebbe formarsi condensa all'interno di esso.
- Per precauzione, mantenere la pompa GM70 al di sopra del livello della porta di campionamento della camera. Se si verifica condensa nella linea di campionamento, ciò impedirà all'acqua liquida di danneggiare il sensore di CO₂.



5. Perché la lettura della concentrazione di CO₂ è maggiore del previsto quando si utilizza il metodo di campionamento della pompa con tubo di essiccazione?

Quando si utilizza il tubo in Nafion® per essicare il campione, la concentrazione di CO₂ del campione secco sarà leggermente superiore a quella del campione umido.

Ciò è dovuto a un fenomeno chiamato diluizione. La densità di CO₂ è "diluata" nell'incubatore del volume che occupa il vapore acqueo. Se il vapore acqueo viene rimosso dal campione, le frazioni occupate da altri gas, compresa la CO₂, aumenteranno di conseguenza.

La tabella 3 contiene i coefficienti di diluizione per la concentrazione di gas durante l'essiccazione di un campione di gas. Il punto di rugiada

(a 1013 hPa) del campione di gas nell'incubatore viene scelto sull'asse orizzontale e il punto di rugiada del campione di gas nel punto di misurazione viene scelto sull'asse verticale. Il punto di rugiada del campione di gas nel punto di misura può essere determinato con una sonda di umidità (HMP75B, HMP76B o HMP77B).

Tabella 3. Coefficienti di diluizione

Td (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
-60	0.9999	0.9996	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-50	0.9999	0.9997	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-40	1.0000	0.9998	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-30		1.0000	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.928	0.879	0.804
-20			1.000	0.998	0.995	0.989	0.978	0.959	0.928	0.879	0.804
-10				1.000	0.997	0.990	0.979	0.961	0.930	0.881	0.806
0					1.000	0.994	0.983	0.964	0.933	0.884	0.809
10						1.000	0.989	0.970	0.939	0.890	0.815
20							1.000	0.981	0.950	0.901	0.826
30								1.000	0.969	0.920	0.845
40									1.000	0.951	0.876
50										1.000	0.925
60											1.000

Come esempio: un campione di gas viene prelevato da un ambiente a 40°C (Td) e introdotto in un ambiente a 10°C (Td), dove la concentrazione di gas misurata è del 5,32%. Nell'ambiente a 40°C (Td) ciò corrisponde al 5% di CO₂ ($5,32\% \times 0,939 = 5,00\%$) poiché il maggiore contenuto di acqua ha portato alla diluizione del campione.

VAISALA

Contattaci su
www.vaisala.it/contactus



Per ulteriori informazioni, eseguire la scansione del codice

Rif. B210826IT-D ©Vaisala 2022

Questo materiale è soggetto alle leggi sul copyright e i diritti di copyright sono detenuti da Vaisala e dai singoli partner. Tutti i diritti riservati. Eventuali loghi e nomi di prodotti sono marchi commerciali di proprietà di Vaisala e dei singoli partner. È vietata la riproduzione, il trasferimento, la distribuzione o la conservazione delle informazioni contenute nella presente brochure senza previo consenso scritto di Vaisala. Tutte le specifiche, incluse quelle tecniche, sono soggette a modifica senza preavviso.

www.vaisala.it