

Data logger: l'alternativa efficiente ai termoigrografi.



Un po' di storia: i termoigrografi.

Per molti decenni i termoigrografi sono stati la prima scelta quando si trattava di documentare le condizioni climatiche all'interno dei musei. Semplici nella tecnica e facili da usare, non richiedevano molti studi per essere usati e mantenuti dal personale museale. Durante i periodici giri di controllo, bastava dare una veloce occhiata al tamburo per capire se le condizioni climatiche erano in ordine. Un vantaggio che può però trasformarsi rapidamente in uno svantaggio. Infatti, i termoigrografi sono relativamente grandi e quindi vistosi, motivo per cui in molti musei non di rado vengono scambiati per un'opera d'arte. Inoltre richiedono molta manutenzione. La carta del tamburo rotante deve essere regolarmente cambiata: a seconda delle impostazioni ogni giorno, ogni settimana o al massimo ogni mese. Inoltre anche le batterie del sistema a orologeria e del pennino devono essere periodicamente sostituite. Per una

documentazione a lungo termine, le singole cartine diagrammate del termoigrografo devono poi essere opportunamente archiviate.

A causa di questa periodica necessità di manutenzione e delle loro dimensioni, i termoigrografi non possono essere utilizzati ovunque. Ad es. non all'interno di una vetrina. E a causa della loro sensibilità agli urti e al cambiamento di posizione, non sono assolutamente indicati per il monitoraggio durante il trasporto. E infine sono svantaggiosi anche dal punto di vista dei costi. A causa della manutenzione che richiedono questi strumenti, i costi annuali per ciascun punto di misura sono piuttosto alti, anche se l'alto prezzo di acquisto può essere ammortizzato in più anni grazie alla loro lunga durata.



Fig. 1 – Termoigrografo

Requisiti dei data logger nei musei

Anche a causa degli evidenti svantaggi che portano con sé i termografi, dagli anni '90 vengono impiegati sempre più spesso i data logger per monitorare le condizioni climatiche nei musei. E dopo tutti questi anni si potrebbe pensare che nel frattempo sul mercato esista un'ampia scelta di perfetti data logger appositamente sviluppati per i musei. Ma purtroppo non è così. Da un lato, perché questi strumenti vengono di norma sviluppati avendo in mente applicazioni completamente diverse e quindi spesso utilizzati nei musei in modo "alternativo". Dall'altro, perché non esiste una tipica applicazione museale. Infatti, all'interno di un museo i requisiti posti a un data logger sono estremamente variabili.

Nelle sale di esposizione

Qui gli strumenti non devono dare nell'occhio, devono potersi fissare in modo sicuro e permettere, attraverso un display, un controllo permanente del clima dell'ambiente. Grazie a quest'ultima caratteristica assumono completamente la funzione di un termografo.

Quando le sale di esposizione rispondono a severi requisiti artistici e architettonici, in uno scenario ideale gli strumenti devono addirittura essere "invisibili". Da questo punto di vista, i data logger "alternativi" raggiungono i loro limiti: molti di essi non sono assolutamente adatti per integrarsi in un ambiente museale, a causa del loro design tecnico.



Fig. 2 – Soluzione pratica: sonda esterna che non dà nell'occhio integrata direttamente nella vetrina e data logger nascosto nello zoccolo

Nelle vetrine

In questo caso viene data la massima priorità alla discrezione. Inoltre le vetrine spesso non possono essere aperte neanche per svolgere i normali lavori di manutenzione sul data logger, come ad es. cambiare le batterie o leggere la memoria. Qui possono tuttavia essere utilizzate piccole sonde esterne montate all'interno della vetrina, mentre il data logger rimane "nascosto" nello zoccolo.

In alternativa, presupponendo una sufficiente autonomia delle batterie, il data logger può essere letto anche via radio.

Nel deposito

Per il monitoraggio dei depositi in cui sono immagazzinate le opere d'arte di norma i data logger non devono rispondere a speciali requisiti in materia di design, spesso però i depositi si trovano fuori mano e non sempre è presente qualcuno in grado di controllare le condizioni climatiche. Anche la lettura periodica della memoria dello strumento può rivelarsi piuttosto costosa. Per evitare inutili viaggi verso il deposito, la soluzione migliore sarebbe poter disporre di una lettura a distanza.

In uno scenario ideale, tutti questi requisiti estremamente variabili dovrebbero essere soddisfatti da un unico sistema. Così è garantita l'intercambiabilità degli strumenti tra le varie applicazioni, la complessità del sistema viene ridotta al minimo e i costi per la formazione del personale rimangono contenuti.

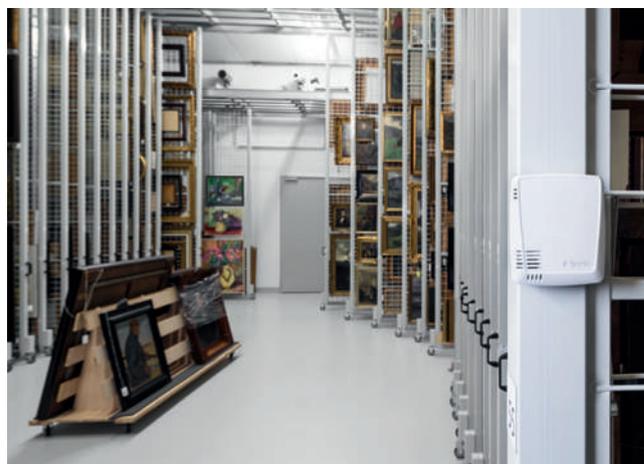


Fig. 3 – Data logger in un deposito

I data logger misurano in modo diverso: il digitale prende il posto dell'analogico

Se confrontato con un termografo, che mette bene in mostra tutta la sua tecnologia e il suo funzionamento, il data logger è prima di tutto una “scatola nera”. Proprio come lo strumento montato sugli aerei che, in casi di incidente, dovrebbe fornire utili informazioni sulle cause.

I data logger sono strumenti elettronici che, oltre ai sensori (per temperatura, umidità relativa, luce, ecc.), contengono un microprocessore il cui compito è quello di aggiungere a ciascun valore misurato un indicatore orario e di archiviare questi dati in una memoria. Attraverso varie interfacce, i dati possono poi essere trasferiti dalla memoria dello strumento al computer dell'utente. Essendo un dispositivo elettronico, il data logger ha necessariamente bisogno di un'alimentazione elettrica, che può essere garantita da batterie monouso, batterie ricaricabili o un alimentatore.

Esattamente come la scatola nera di un aereo, esistono data logger che rivelano il loro segreto solo dopo essere stati “recuperati” e collegati a un computer per la lettura. Alcuni strumenti mostrano i valori attuali su un display oppure informano tramite l'accensione di un LED se una soglia impostata è stata superata. Quando e di quanto è stata superata la soglia lo si può tuttavia scoprire solo dopo aver letto la memoria.

Dove trovo il valore attuale?

Il pennino di un termografo traccia costantemente la sua linea sul tamburo rotante. Il punto dove si trova attualmente il pennino è adesso. Questa continuità è sconosciuta al mondo digitale, dove i valori vengono misurati solo in discreti intervalli di tempo. Nei data logger questo intervallo di tempo viene solitamente chiamato intervallo di misura e di norma può essere impostato tramite software. Quando però non si conoscono bene le condizioni climatiche nel luogo di misura, nella scelta dell'intervallo di misura può anche nascondersi un pericolo: supponendo che l'impianto di condizionamento garantisca condizioni costanti e per risparmiare lo spazio in memoria, viene ad es. impostato un intervallo di misura di un'ora. In questo luogo di misura un termografo disegnerebbe un'onda a dente di sega sia per la temperatura che per l'umidità.

Tuttavia, il ciclo di misura del data logger è impostato in modo talmente sfavorevole che la curva di regolazione dell'impianto di condizionamento “scivola” lungo la griglia di misura, cioè visualizza oscillazioni climatiche molto più basse e lente.

È quindi molto importante selezionare un intervallo di misura idoneo, in modo da non perdere nessuna informazione. In caso di dubbio è meglio iniziare con un intervallo di misura più breve e poi, dopo aver valutato una sufficiente quantità di dati, adattarlo alla situazione.

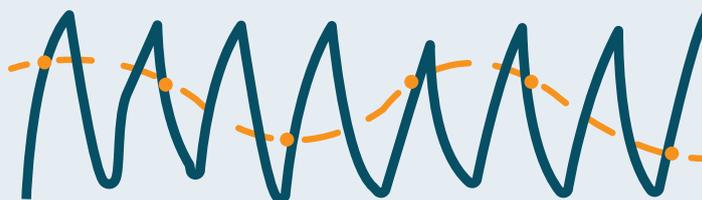


Fig. 4 – La curva di regolazione di un termografo (blu), e i punti di misura discreti di un data logger (arancione), che non riproducono l'intensità delle oscillazioni climatiche.
Fonte: <http://www.conservationphysics.org/datalog/datlog8.php>

I data logger misurano in modo diverso: precisione

In un termoigrografo, la deformazione meccanica di un bimetallo viene trasferita direttamente al braccio del pennino che traccia la temperatura. La “conversione” in valori di temperatura avviene tramite la scala della cartina diagrammata. Lo stesso vale per l’umidità relativa. In questo caso la variazione di lunghezza di un ciuffo di capelli artificiali o naturali viene trasferita, attraverso un sistema di leve meccaniche, al braccio del pennino che traccia l’umidità relativa.

In un data logger, i relativi sensori devono convertire il valore misurato in un segnale elettrico. Per la temperatura questa operazione è molto semplice e precisa, ad es. tramite la misura della resistenza. L’umidità dell’aria è invece un parametro relativamente più difficile da misurare. Per poterla convertire in un segnale elettrico, di norma viene misurata la capacità di un condensatore. Il dielettrico è costituito da un polimero il cui contenuto di acqua dipende dall’umidità ambientale. La sfida consiste nel rendere questo polimero stabile contro l’umidificazione diretta da parte dell’acqua (formazione di rugiada) e contro diverse sostanze chimiche. Proprio i solventi di qualsiasi tipo possono danneggiare un polimero e causare errori di misura. Un’ulteriore fonte di errore è rappresentata dall’invecchiamento del materiale, che è praticamente impossibile da evitare e che con il

passare degli anni causa una cosiddetta deriva del sensore. Un’altra particolarità che si riscontra quando si misura l’umidità relativa è la cosiddetta isteresi. In parole povere, la precisione della misura dipende dal lato da cui il sensore si avvicina al valore misurato “vero”. In uno scenario ideale, all’interno del polimero l’umidità si trova in evidente equilibrio con l’umidità relativa dell’aria atmosferica. Tuttavia, in realtà il polimero contiene sempre ancora tracce supplementari di umidità quando viene da un ambiente umido, oppure rimane un po’ più asciutto quando viene da un ambiente asciutto. In caso di una lenta variazione dell’umidità relativa questo effetto è poco importante, mentre lo è certamente in caso di brusche variazioni. Non c’è quindi da stupirsi se tra i sensori igrometrici esistono notevoli differenze qualitative. I sensori di alta qualità si riconoscono, tra le altre cose, dal fatto che per l’errore di misura il costruttore non indica un unico valore percentuale, ma specifica dettagliatamente con diversi valori l’entità dell’errore in funzione dell’umidità relativa. In uno strumento di qualità dovrebbero inoltre essere specificate sia la deriva prevista che l’isteresi. In determinate circostanze la somma di questi valori potrebbe sembrare più grande di un unico valore di correzione specificato in un prodotto economico. Ma questo unico valore è appunto solo una piccola parte della verità.



Fig. 5 – Uno specialista al lavoro in un laboratorio di taratura

Taratura. Ovvero: con quale precisione misura effettivamente un data logger?

Proprio nei confronti delle prestatrici d'opere è necessario chiarire senza alcun dubbio la precisione di un data logger. Le informazioni fornite dal costruttore nel prospetto non sono sufficienti. Il metodo più facile e sicuro per ottenere una risposta è quello di tarare il data logger. Questo servizio viene offerto dai più rinomati costruttori. Un certificato di taratura per lo strumento, emesso da un laboratorio specificatamente certificato, offre il necessario livello di sicurezza.

Invece di dover spedire periodicamente tutti i data logger per la taratura al costruttore, per un museo è sicuramente più conveniente acquistare un igrometro manuale tarato di

alta qualità con cui controllare i data logger a intervalli regolari. Nel caso in cui sorgessero scostamenti poco chiari o troppo grossi, i logger possono poi essere spediti al costruttore per la taratura.

Nel frattempo, per alcuni data logger sono disponibili sul mercato anche sonde digitali. Grazie ad esse non è più necessario smontare il data logger e spedirlo al costruttore: al suo posto viene semplicemente sostituito il sensore con uno nuovo. In questo caso non solo decade il tempo di attesa, che può eventualmente causare un buco nella serie di dati, ma spesso la sostituzione è molto più economica di una taratura in laboratorio.

I data logger possono fare di più: ulteriori parametri

Nel repertorio di un data logger trova sostanzialmente posto qualsiasi parametro immaginabile che può essere rappresentato sotto forma di segnale elettrico. E con l'aiuto dei dati di un sensore è addirittura possibile calcolare altre grandezze.

Intensità luminosa

In un museo, oltre alle condizioni climatiche sono particolarmente interessanti anche le condizioni di luminosità. In questi casi, un data logger munito di sensore luxmetrico può fornire informazioni dettagliate. Soprattutto quando si tratta della percentuale altamente variabile di luce del giorno, che non solo è soggetta a oscillazioni giornaliere dovute alla nuvolosità, ma che varia notevolmente anche a livello stagionale a causa della differente posizione del sole. Un simile data logger è inoltre in grado di determinare l'intera dose di luce di un giorno, di una settimana o di un'intera esposizione, sommando semplicemente i valori lux rilevati nell'intervallo di tempo desiderato. Se il data logger è munito di un sensore UV, può monitorare oltre alla luce visibile anche la radiazione ultravioletta molto più ricca di energia.

Anidride carbonica

Una maggiore concentrazione di CO₂ produce effetti diretti sul comfort dei visitatori. Proprio nelle sale di esposizione molto frequentate con limitate possibilità di ventilazione può quindi rivelarsi opportuno tenere sotto controllo la concentrazione di CO₂. Maggiori informazioni in merito si trovano nel nostro documento: **Monitoraggio della CO₂ e qualità dell'aria ambiente**.



Fig. 6 – Scheda tecnica: Monitoraggio della CO₂ e qualità dell'aria ambiente". Scarica subito: <https://www.testo.com/de/produkte/testo-160-laq-whitepaper-registration>

I data logger possono fare di più: allarmi



È una cosa del tutto normale che durante la configurazione di un data logger vengano specificate delle soglie minime e massime per i vari sensori che, quando vengono superate, fanno scattare un allarme. Ma in che modo vengono segnalati questi allarmi? Nella maggior parte dei data logger il superamento delle soglie impostate viene segnalato solo sul display o tramite un LED che lampeggia. Di conseguenza, ci si accorge della situazione di allarme solo quando si guarda il data logger.

Alcuni data logger mettono a disposizione dei contatti di allarme supplementari tramite i quali è possibile azionare sirene, lampeggiatori o sistemi telefonici. Grazie a questa

funzionalità, questi sistemi consentono di trasmettere l'allarme e di ampliare notevolmente il raggio di informazione, facilitando così enormemente l'avvio delle contromisure necessarie per risolvere il problema. Attraverso la stazione base (data logger radio) e internet (data logger WiFi), i relativi strumenti possono reagire ancora più facilmente e in tempo reale alle situazioni di allarme.

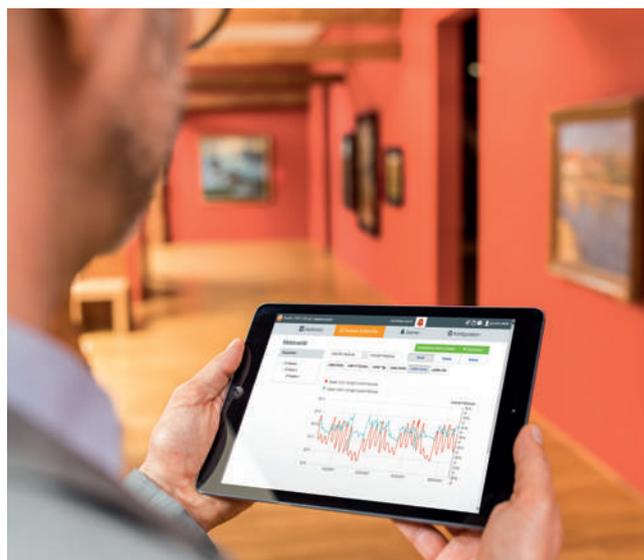
Inoltre, i sofisticati meccanismi di allarme a cascata e le complesse impostazioni degli allarmi via e-mail ed SMS garantiscono che il personale responsabile venga sempre informato.

Come faccio ad accedere ai dati?

Per poter accedere ai dati del data logger, quest'ultimo deve solitamente essere collegato, tramite un'opportuna interfaccia, a un computer. In questo caso l'utente ha la possibilità di portare il data logger al computer oppure di recarsi ad es. con un notebook da un data logger all'altro. A volte sono necessarie speciali stazioni di lettura, nei cui slot devono essere collegati i data logger. Altri data logger possono essere collegati direttamente al computer tramite un cavo USB. Esistono poi dei raccoglitori di dati che facilitano la raccolta dei dati da più data logger e la loro copia sul computer. Un simile raccoglitore di dati potrebbe anche essere una semplice scheda di memoria SD. Oppure uno smartphone. In questo caso i dati del data logger vengono copiati tramite una connessione Bluetooth. Un'app ad hoc permette anche di trasmettere i dati immediatamente allo smartphone.

Più facili da usare sono i **sistemi che funzionano via radio**, nei quali i data logger non devono più essere collegati direttamente a un computer. I dati vengono trasmessi a intervalli regolari via radio a una stazione base, che poi provvede a inoltrarli al computer dell'utente. In questo caso vengono utilizzati diversi standard e frequenze di trasmissione radio, che in parte si differenziano notevolmente dal punto di vista della portata del segnale. La caratteristica comune di questi sistemi è che la loro installazione è piuttosto complessa e quindi deve essere affidata a personale qualificato. Il grande vantaggio dei sistemi via radio è che la scomoda e dispendiosa lettura dei singoli data logger si svolge in modo automatico e tutti i dati possono essere archiviati e analizzati centralmente. Rispetto ai data logger che devono singolarmente essere collegati a un computer per essere letti, si tratta quindi di un enorme risparmio di tempo. Questa tecnologia permette

inoltre di far scattare automaticamente e in tempo reale un allarme quando i valori misurati raggiungono o superano soglie critiche. Una speciale tipologia di data logger radio utilizza nel frattempo lo standard Wireless Local Area Network (WiFi o WLAN) ormai molto diffuso a livello mondiale, grazie al quale tutti i computer, tablet o smartphon si collegano a internet. Questi data logger si spingono però ancora più in là e utilizzano la loro



connessione internet per archiviare tutti i dati centralmente su un server internet nel cosiddetto cloud. Ciò significa che possono essere gestiti nella massima semplicità addirittura i dati misurati in luoghi molto distanti. Ai vantaggi dei data logger radio già citati sopra, i data logger WiFi ne aggiungono un altro: dal momento che i dati vengono archiviati nel cloud, è possibile accedervi e analizzarli in qualsiasi momento e da qualsiasi parte del mondo, se si dispone dell'autorizzazione per accedere al relativo account.

Quali sistemi operativi e quali software devo avere?



Microsoft Windows è il sistema operativo più comune per il software della maggior parte dei data logger. Gli utenti del sistema operativo iOS di Apple troveranno dei prodotti da un unico costruttore americano. Per il momento non esiste ancora nessuno standard per il formato o l'analisi dei dati. Ciascun costruttore offre programmi proprietari per i suoi data logger. Purtroppo per alcune marche sono addirittura necessari diversi software per i vari modelli di data logger.

Per non dover installare diversi programmi software per i vari modelli di data logger, nel cui uso è naturalmente necessario prima impraticarsi, quando si scelgono i propri data logger è opportuno concentrarsi su un unico costruttore. Se dovesse essere inevitabile ricorrere a diversi costruttori, tutti i programmi dispongono comunque di una funzione di esportazione dei dati in formato CSV. Questi dati possono poi essere analizzati insieme con l'aiuto di un

programma di gestione di fogli elettronici come ad es. Excel. Estremamente comodi sono i data logger WiFi con funzione di archiviazione dei dati nel cloud. Infatti in questo caso non è più necessario installare nessun software sul proprio computer. L'accesso ai dati e la loro valutazione avviene in tutta comodità con un semplice browser internet, se necessario anche con l'aiuto di uno smartphone mentre si è in viaggio. In questo caso decade anche la necessità di essere legati a un sistema operativo specifico.

In questo contesto è particolarmente interessante la possibilità di concedere alla prestatrice l'accesso ai dati climatici della sua opera d'arte. Ciò le permette di tenere sempre sotto controllo l'attuale situazione della sua opera, senza dover studiare il rapporto al termine dell'esposizione, quando ormai non c'è più nessuna possibilità di intervenire.

Quanta memoria mi serve?

Le dimensioni della memoria vengono specificate dai costruttori in modo differente. A volta viene indicato il numero complessivo di tutti i valori misurati che possono essere archiviati, altre volte la memoria è già suddivisa per i canali di misura disponibili (ad es. temperatura e umidità) e quindi viene indicata la quantità di misure per ciascun canale. Per un confronto mirato dei differenti data logger, in questo caso è necessario leggere scrupolosamente i datasheet. Determinanti sono due domande:

- 1.** Quale intervallo di misura è necessario per poter localizzare eventuali oscillazioni? Più è breve questo intervallo, più dati devono essere archiviati ogni giorno.
- 2.** Con quale intervallo deve essere letto il data logger? Quando un data logger è in grado di archiviare oltre un

milione di dati, di norma questa memoria è sufficiente per diversi anni. Tuttavia, se si può aspettare tutto questo tempo per leggere e analizzare i valori misurati, c'è da domandarsi se le misure siano effettivamente necessarie. Per ottenere un'idea dell'ordine di grandezza, supponiamo un tipico intervallo di misura di 15 minuti: misurando contemporaneamente temperatura e umidità, risultano 192 valori al giorno, cioè circa 6000 al mese.

Con un sistema che funziona via radio, lo spazio di memoria passa in secondo piano. L'archiviazione vera e propria dei dati avviene sul proprio computer o nel cloud. La memoria del singolo data logger viene usata solo brevemente, per garantire che una temporanea interruzione della connessione radio non causi una perdita dei dati.

Quale autonomia raggiungono le batterie di un data logger?

Naturalmente si aspira sempre ad avere un data logger le cui batterie durino più a lungo possibile. Proprio le vetrine non possono essere continuamente essere aperte per cambiare le batterie e quindi in questi casi è auspicabile un'autonomia delle batterie di diversi anni, presupposto che i dati possano essere letti senza dover accedere direttamente al data logger. Anche qui si tratta di trovare un valido compromesso. Un breve intervallo di misura, un display, un allarme tramite LED, un sensore speciale o addirittura una trasmissione via radio aumentano il consumo di energia di un data logger e riducono così l'autonomia delle batterie. Naturalmente il costruttore può replicare con batterie più potenti, che tuttavia richiedono più spazio e rendono quindi gli strumenti troppo ingombranti per alcune applicazioni.

Anche se di norma i costruttori indicano un'autonomia di un anno, occorre controllare i dettagli relativi a questo dato, come ad es. condizioni climatiche, intervallo di misura, velocità di trasmissione, ecc. e confrontarli con le proprie

esigenze. A questo proposito è possibile collegare il cambio delle batterie con l'intervallo di lettura desiderato del data logger. L'intervallo può infatti essere regolarmente combinato con la sostituzione della batteria. In questo contesto è anche interessante chiedersi con quale facilità possono essere cambiate le batterie. Si tratta di batterie standard che possono essere sostituite senza bisogno di attrezzi o di (costose) batterie speciali che possono essere acquistate solo dal costruttore? Le batterie di alcuni data logger possono essere sostituite addirittura solo dal costruttore nell'ambito di una manutenzione.

Un caso particolare è rappresentato dai data logger che, oltre a funzionare a batteria, funzionano anche con un alimentatore collegato alla rete elettrica. Qui le batterie vengono utilizzate solo per superare un'eventuale interruzione dell'alimentazione elettrica. Se è in grado di trasmettere i suoi dati via radio, è possibile far funzionare un simile data logger per diversi anni all'interno di una vetrina chiusa.

La portata del segnale radio è sufficiente per il mio museo?

I sistemi che funzionano via radio offrono la massima libertà possibile nella scelta dei luoghi di misura. I data logger non devono essere regolarmente raggiungibili per la lettura e possono così essere sistemati all'interno di vetrine o punti difficilmente accessibili. Ma questa libertà non è illimitata. I sistemi che funzionano via radio secondo lo standard DECT, come i telefoni senza fili, hanno una portata di 300 metri in campo aperto. Se questa portata è sufficiente all'interno di un edificio, dipende notevolmente dalle caratteristiche architettoniche. Mentre nei vecchi edifici è possibile superare senza problemi diverse pareti, le moderne pareti in cemento armato rappresentano un grande ostacolo per via della loro armatura. In caso di dubbi occorre testare la portata del sistema direttamente sul posto. Con frequenze

radio più basse nel campo dei 400 Mhz è possibile raggiungere portate più alte (sino a 3000 m in campo aperto). Questi sistemi sono indicati per monitorare con un'unica stazione base anche musei di grandi dimensioni.

I data logger WiFi, per contro, non funzionano con una stazione base centrale e posso così sfruttare una rete di punti di accesso WiFi, come quella creata ad es. per un normale sistema di informazioni ai visitatori, per stabilire una connessione con il cloud. Usando componenti di rete standard possono così essere realizzate a basso costo reti molto complesse in grado di coprire completamente anche musei di grandi dimensioni.

Se anche voi siete interessati a utilizzare i data logger per monitorare le condizioni climatiche, date un'occhiata al nostro sito web: www.testo.com



2984-XXX4/af/01.2018

Con riserva di modifiche, anche a livello tecnico.