

LP PIRG 01

1 Introduzione

Il pirgeometro LP PIRG 01 è utilizzato per la misura della radiazione infrarossa lontana (FIR). Il suo utilizzo è prevalentemente in campo meteorologico. Le misure si riferiscono a radiazioni con lunghezza d'onda maggiore di $4.5 \mu\text{m}$.

La radiazione infrarossa lontana è derivata dalla misura del segnale di uscita della termopila e dalla conoscenza della temperatura dello strumento. La misura di temperatura è fatta per mezzo di un NTC da $10\text{k}\Omega$ inserito nel corpo del pirgeometro. Il pirgeometro può essere utilizzato anche per studi di bilancio energetico. In questo caso oltre ad un altro pirgeometro che misura l'irradiamento infrarosso verso l'alto del terreno occorre un albedometro (LP PYRA 05 o LP PYRA 06) per la misura dell'irradiamento a lunghezze d'onda corte ($<3\mu\text{m}$).

2 Principio di Funzionamento

Il pirgeometro LP PIRG 01 si basa su un sensore a termopila la cui superficie è coperta con vernice nera opaca che permette allo strumento di non essere selettivo alle varie lunghezze d'onda. Il sensore è coperto da una finestra in silicio che ha due scopi fondamentali:

- 1- proteggere la termopila dalle intemperie;
- 2- determinare il campo spettrale dello strumento: il silicio è trasparente per lunghezze d'onda maggiori di $1.1\mu\text{m}$ pertanto sulla parte interna della finestra è depositato un filtro per bloccare la radiazione sino a $4.5-5 \mu\text{m}$. La superficie esterna del silicio, che è esposta agli agenti atmosferici, è rivestita con un coating anti-graffio (DLC) per garantire resistenza e durata in tutte le condizioni di tempo. Il coating anti-graffio offre il vantaggio di poter pulire la superficie senza il pericolo di graffiare la finestra. La trasmissione della finestra in silicio al variare della lunghezza d'onda è riportata nel grafico 1:

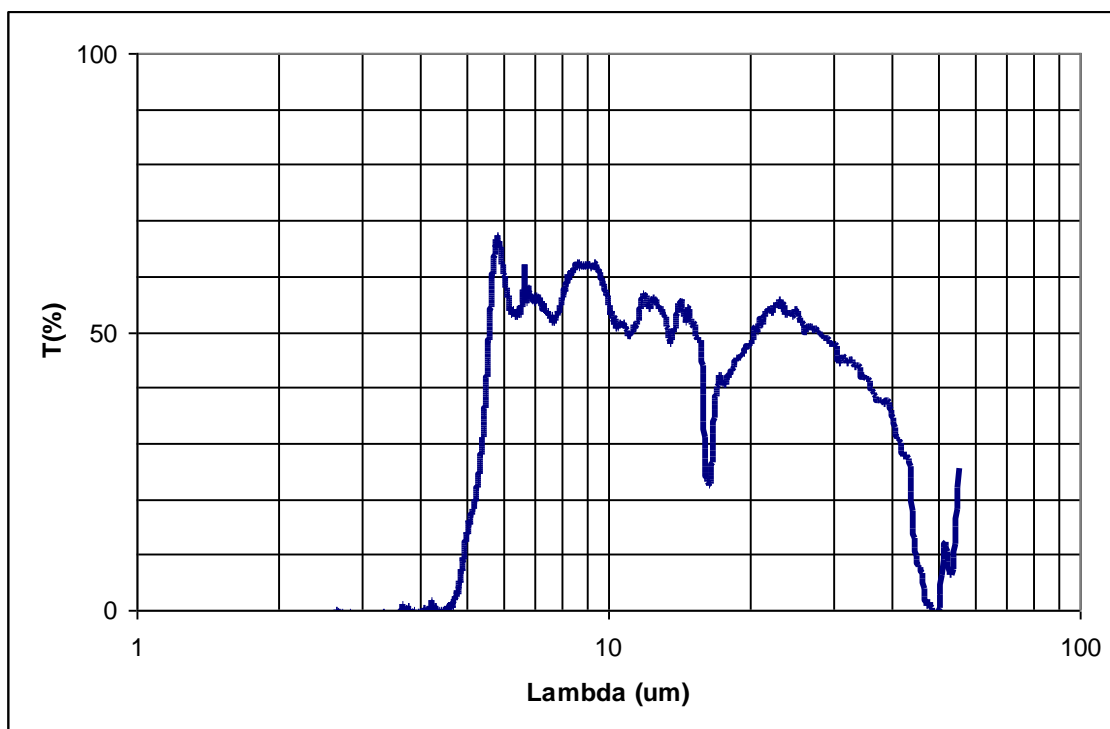


Grafico 1: Trasmissione della finestra in silicio.

L'energia radiante è assorbita/irradiata dalla superficie annerita della termopila, creando una differenza di temperatura tra il centro della termopila (giunto caldo) ed il corpo del pirgeometro (giunto freddo). La differenza di temperatura tra giunto caldo e giunto freddo è convertita in una Differenza di Potenziale grazie all'effetto Seebeck.

Se la temperatura del pirgeometro è maggiore della temperatura radiante della porzione di cielo inquadrata dal pirgeometro la termopila irraggerà energia ed il segnale di uscita sarà negativo (tipica situazione di cielo sereno) viceversa se la temperatura del pirgeometro è inferiore a quella della porzione di cielo inquadrata il segnale sarà positivo (tipica situazione di cielo nuvoloso).

Quindi per il calcolo dell'irradiazione infrarosso al suolo ($E_{FIR} \downarrow$), oltre il segnale di uscita della termopila è necessario conoscere la temperatura T del pirgeometro come riportato nella formula 1:

$$E_{FIR} \downarrow = E_{term} + \sigma T_B^4 \quad 1$$

Dove :

E_{term} = irradiazione netta (positivo o negativo) misurato con la termopila [$W m^{-2}$], il valore è calcolato dalla sensibilità dello strumento (C) [$\mu V / (W m^{-2})$] e dal segnale di uscita (U_{emf}) dalla formula 2 ;

$$E_{term} = \frac{U_{emf}}{C} \quad 2$$

σ = costante di Stefan-Boltzmann ($5.6704 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$);

T_B = temperatura del pirgeometro (K), ottenuta dalla lettura della resistenza dell'NTC ($10\text{k}\Omega$). Nel (Tabella 1) manuale è riportato il valore di resistenza in funzione della temperatura per valori compresi tra -25°C e $+55^\circ\text{C}$.

Il primo termine della formula 1 rappresenta l'irradiazione netta, cioè la differenza tra l'irradiazione al suolo infrarosso e l'emissione del pirgeometro, mentre il secondo termine è l'irradiazione emessa da un oggetto (assunto con emissività $\varepsilon=1$) a temperatura T_B .

3 Installazione e montaggio del pirgeometro per la misura della radiazione infrarossa:

Prima dell'installazione del pirgeometro si deve caricare la cartuccia che contiene i cristalli di silica-gel. Il silica gel ha la funzione di assorbire l'umidità all'interno dello strumento, umidità che in particolari condizioni climatiche può portare alla formazione di condensa sulla superficie interna della finestra in silicio. Durante il caricamento dei cristalli di silica-gel si deve evitare di bagnarlo o toccarlo con le mani. Le operazioni da eseguire in un luogo secco (per quanto possibile) sono:

- 1- svitare le tre viti che fissano lo schermo bianco
- 2- svitare la cartuccia porta silica-gel con una moneta
- 3- rimuovere il tappo forato della cartuccia
- 4- aprire la busta (in dotazione al pirgeometro) che contiene il silica-gel
- 5- riempire la cartuccia con i cristalli di silica-gel
- 6- richiudere la cartuccia con il proprio tappo, assicurandosi che l'O-ring di tenuta sia posizionato correttamente
- 7- avvitare la cartuccia al corpo del pirgeometro con una moneta
- 8- assicurarsi che la cartuccia sia ben avvitata (in caso contrario la durata dei cristalli di silica-gel si riduce)
- 9- posizionare lo schermo e avvitarlo con le viti
- 10- il pirgeometro è pronto per essere utilizzato

Nella figura 1 sono brevemente illustrate le operazioni necessarie al caricamento della cartuccia con i cristalli di silica-gel.

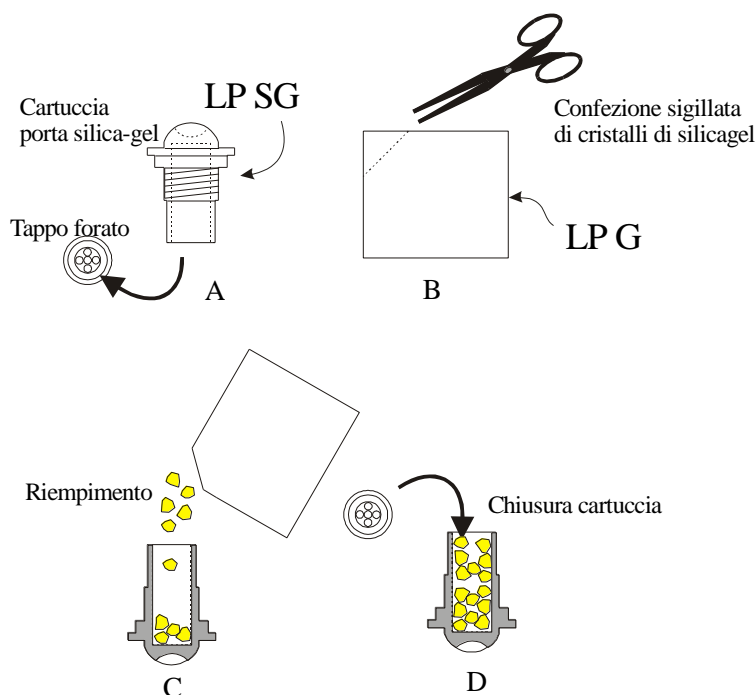


Fig. 1

- L'LP PIRG 01 va installato in una postazione facilmente raggiungibile per una periodica pulizia della finestra in silicio. Allo stesso tempo si dovrebbe evitare che costruzioni, alberi od ostacoli di qualsiasi tipo superino il piano orizzontale su cui giace il pirgeometro. Nel caso questo non sia possibile è raccomandabile scegliere una posizione in cui gli ostacoli presenti siano inferiori a 10° .
- E' usuale posizionare lo strumento in maniera che il cavo elettrico esca dalla parte del polo NORD, se lo si usa nell'emisfero NORD, dalla parte del polo SUD se lo si usa nell'emisfero SUD in accordo alla norma ISO TR9901 ed alle raccomandazioni dell'WMO. In ogni caso è preferibile attenersi a questa raccomandazione anche quando è utilizzato lo schermo.
- Per un accurato posizionamento orizzontale, il pirgeometro LP PIRG 01 è dotato di livella, la regolazione avviene mediante le due viti con ghiera di registrazione che permettono di variare l'inclinazione del pirgeometro. Il fissaggio su di un piano può essere eseguito utilizzando i due fori di diametro 6mm ed interasse di 65 mm. Per accedere ai fori rimuovere lo schermo e riposizionarlo a montaggio ultimato, si veda la figura 2.
- Il supporto LP S1 (figura 3), fornito a richiesta come accessorio, permette un facile montaggio del pirgeometro su un palo di sostegno. Il diametro massimo del palo a cui il supporto può essere fissato è di 50 mm. Per fissare il pirgeometro alla staffa di sostegno togliere lo schermo, svitando le tre viti, fissare il pirgeometro, completata l'installazione fissare nuovamente lo schermo bianco.

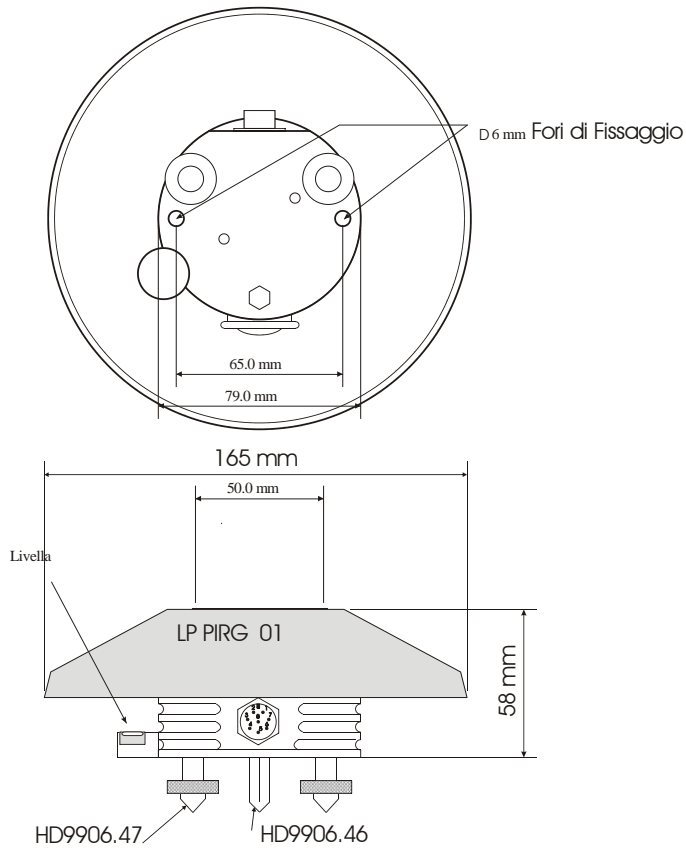


Figura 2

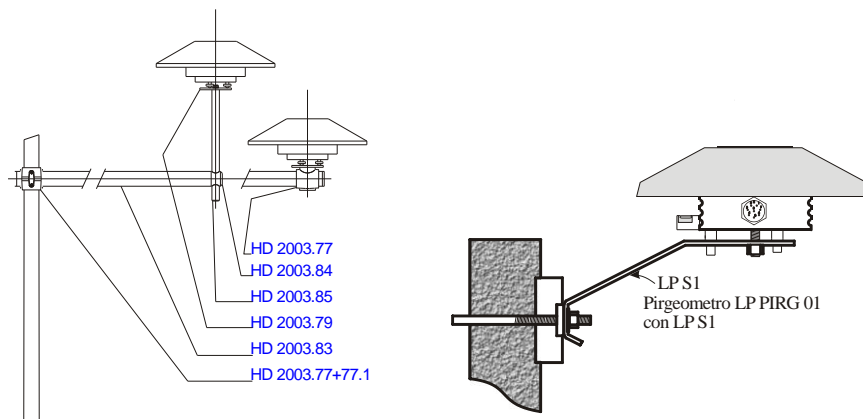


Figura 3

4 Connessioni Elettriche e requisiti dell'elettronica di lettura:

- Il pirgeometro LP PIRG 01 non necessita di alimentazione.
- Lo strumento è provvisto di connettore di uscita M12 a 8 poli
- Il cavo opzionale, terminato da una parte con il connettore, è in PTFE resistente agli UV, è provvisto di 7 fili più la calza (schermo), la corrispondenza tra i colori del cavo ed i poli del connettore è la seguente (figura 4):

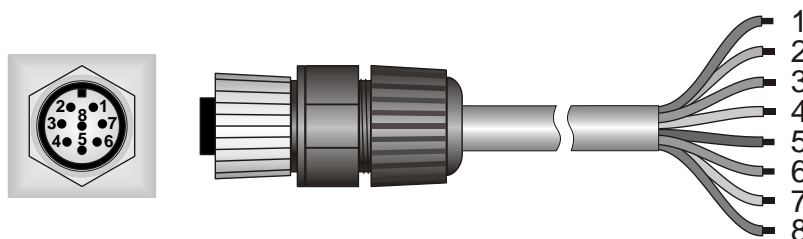


Figura 4

Connettore	Funzione	Colore
1	$V_{out} (+)$	Rosso
2	$V_{in} (-)$	Blu
3	Contenitore	Bianco
4	NTC	Verde
8		Nero
5	Schermo (\perp)	Marrone
6		
7	NON connessi	

Figura 4: corrispondenza pin-funzione

Per la misura del segnale in uscita dalla termopila (capi 1-2) il pirgeometro va connesso un millivoltmetro o ad un data-logger. Tipicamente il segnale in uscita dal pirgeometro $|U_{emf}| < 4$ mV. La risoluzione consigliata dello strumento di lettura, per poter sfruttare appieno le caratteristiche del pirgeometro, è di $1\mu V$.

E' inoltre necessario leggere la resistenza dell'NTC per poter determinare la temperatura del pirgeometro.

Nella figura 5 sono riportate le connessioni elettriche all'interno del pirgeometro.

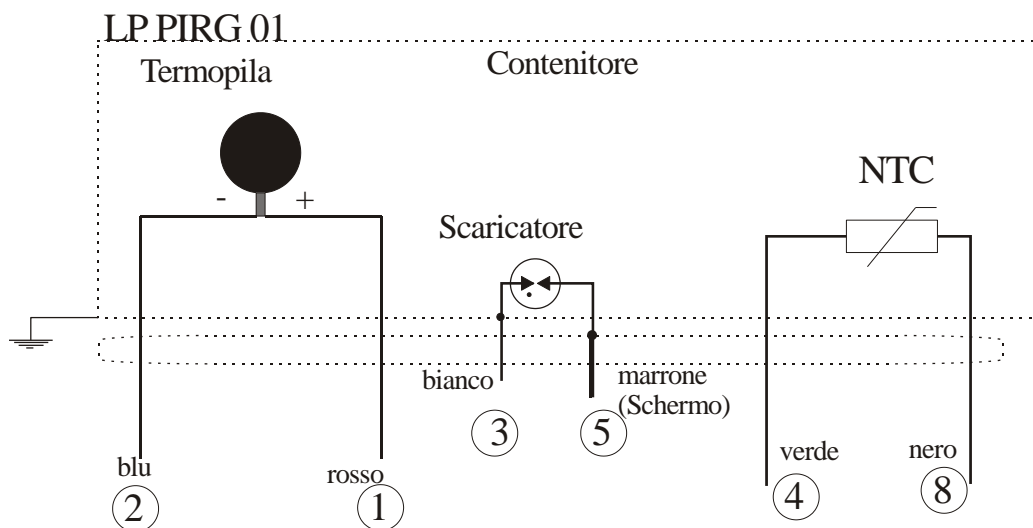


Figura 5

E nella figura 6 un tipico esempio di collegamento:

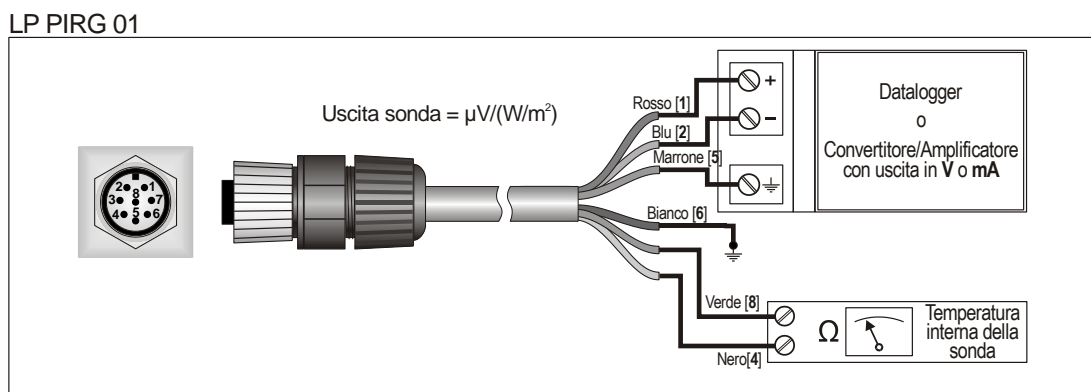


Figura 6: esempio di collegamento del pirgeometro

5 Manutenzione:

Al fine di garantire un'elevata precisione delle misure è necessario che la finestra in silicio sia mantenuta sempre pulita, pertanto maggiore sarà la frequenza di pulizia migliore sarà la precisione delle misure. La pulizia può essere eseguita con normali cartine per la pulizia di obiettivi fotografici e con acqua, se non fosse sufficiente usare Alcol ETILICO puro. Dopo la pulizia con l'alcol è necessario pulire nuovamente la finestra in silicio con solo acqua.

A causa degli elevati sbalzi termici tra il giorno e la notte è possibile che all'interno del pirgeometro (in particolare sulla finestra in silicio) si formi condensa, in questo caso la lettura eseguita è errata. Per minimizzare la formazione di condensa,

all'interno del pirgeometro è inserita un apposita cartuccia con materiale assorbente: Silica-gel. L'efficienza dei cristalli di Silica-gel diminuisce nel tempo con l'assorbimento di umidità. Quando i cristalli di silica-gel sono efficienti il colore è **giallo**, mentre man mano che perdono di efficienza il colore diventa **trasparente**, per sostituirli vedere le istruzioni al paragrafo **3**. Tipicamente la durata del silica-gel varia da 4 a 12 mesi a seconda delle condizioni ambientali in cui opera lo strumento. Grandine di particolare intensità/dimensione potrebbe danneggiare la finestra in silicio, è quindi consigliato dopo un fenomeno temporalesco intenso con grandine verificare lo stato della finestra.

6 Taratura ed esecuzione delle misure:

Dalla misura di resistenza R_{NTC} [ohm] dell'NTC è possibile risalire alla temperatura del pirgeometro (T_b) utilizzando la formula 3:

$$\frac{1}{T_b} = a + b \cdot \log(R_{NTC}) + c \cdot \log^2(R_{NTC}) \quad 3$$

Dove:

$$a = 10297.2 \times 10^{-7};$$

$$b = 2390.6 \times 10^{-7};$$

$$c = 1.5677 \times 10^{-7}.$$

La temperatura è espressa in gradi Kelvin.

N.B. Nella tabella 1 sono tabulati i valori tra -25°C e $+58^{\circ}\text{C}$, per ottenere il valore in gradi Kelvin è necessario sommare 273.15 al valore letto in gradi Celsius.

T [C]°	R_NTC [Ω]	T [C]°	R_NTC [Ω]	T [C]°	R_NTC [Ω]
-25	103700	3	25740	31	7880
-24	98240	4	24590	32	7579
-23	93110	5	23500	33	7291
-22	88280	6	22470	34	7016
-21	83730	7	21480	35	6752
-20	79440	8	20550	36	6499
-19	75390	9	19660	37	6258
-18	71580	10	18810	38	6026
-17	67970	11	18000	39	5804
-16	64570	12	17240	40	5592
-15	61360	13	16500	41	5388
-14	58320	14	15810	42	5193
-13	55450	15	15150	43	5006
-12	52740	16	14520	44	4827
-11	50180	17	13910	45	4655
-10	47750	18	13340	46	4489
-9	45460	19	12790	47	4331
-8	43290	20	12270	48	4179
-7	41230	21	11770	49	4033
-6	39290	22	11300	50	3893
-5	37440	23	10850	51	3758
-4	35690	24	10410	52	3629
-3	34040	25	10000	53	3505
-2	32470	26	9605	54	3386
-1	30980	27	9228	55	3386
0	29560	28	8868	56	3271
1	28220	29	8524	57	3161
2	26950	30	8195	58	3055

Tabella 1: valori di resistenza dell'NTC in funzione della temperatura.

Una volta nota la temperatura in gradi Kelvin del pirgeometro ed il segnale di uscita della termopila U_{emf} [μV], l'irradiamento $E_{FIR\downarrow}$ [W/m^2] è dato dalla formula 1:

$$E_{FIR\downarrow} = \frac{U_{emf}}{C} + \sigma \cdot T_B^4$$

Dove:

C = fattore di taratura [$\mu V / (W/m^2)$] del pirgeometro riportato sul rapporto di taratura;

σ = costante di Stefan-Boltzmann ($5.6704 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$).

Ogni pirgeometro è tarato singolarmente in fabbrica ed è contraddistinto dal proprio fattore di calibrazione.

La taratura del pirgeometro è eseguita in esterno, per confronto con un pirgeometro campione tarato presso il World Radiation Center (WRC).

I due strumenti sono tenuti all'aperto per almeno una notte in presenza di cielo chiaro. I dati acquisiti con un datalogger sono poi elaborati per ottenere il fattore di taratura.

Per poter sfruttare appieno le caratteristiche dell'LP PIRG 01 è consigliabile eseguire la verifica della taratura ogni uno, due anni (la scelta dell'intervallo di taratura dipende sia dalla precisione che si intende ottenere sia dal sito di installazione).

7 Caratteristiche tecniche:

Sensibilità' tipica:	5-10 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
Impedenza:	33 Ω ÷ 45 Ω
Campo di misura:	-300;+300 W/m^2
Campo di vista:	160°
Campo spettrale: (trasmissione della finestra in silicio)	5.5 μm ÷ 45 μm (50%)
Temperatura di lavoro:	-40 °C ÷ 80 °C
Dimensioni:	figura 1
Peso:	0.90 Kg

Caratteristiche Tecniche secondo ISO 9060

Tempo di risposta: (95%)	<28 sec
Off-set dello Zero (tipo B): risposta ad una cambiamento della temperatura ambiente di 5K/h:	< ±4 W/m ²
Instabilità a lungo termine: (1 anno)	< ±1.5 %
Non linearità:	< ±1 %
Selettività spettrale:	< ±5 %
Risposta in funzione: della temperatura	<3 %
Risposta in funzione del Tilt:	< ±2 %

8 Codici di ordinazione

CODICE DI ORDINAZIONE

LP PIRG 01	Pirgeometro. Completo di: protezione, cartuccia per i cristalli di silica-gel, 2 ricariche, livella per la messa in piano. Presa volante M12 a 8 poli e Rapporto di Taratura.
LP S1	Kit composto da staffa per il fissaggio del pirgeometro LP PIRG 01 ad un palo con diametro 50mm
LP SP1	Schermo di protezione in materiale plastico UV resistente. LURAN S777K della BASF
LP SG	Cartuccia per contenere i cristalli di silica-gel completa di OR e tappo
HD2003.77	Bussola per il posizionamento del pirgeometro su tubo da ϕ 40mm
HD2003.85K	Kit per il fissaggio, con altezza regolabile, pirgeometro su palo ϕ 40mm (HD2003.84 – HD2003.85 – HD2003.79)
LP G	Confezione da 5 ricariche di cristalli di silica-gel