

**ARW-LPNET14**



**ARW-LPNET14  
NETRADIOMETRO**

LPNET14 è un radiometro netto a 4 componenti per la misura della radiazione netta tra 0.3 µm e 45 µm.

Il radiometro netto è costituito da una coppia di piranometri (uno per la misura della radiazione globale  $E_{sw\downarrow}$  e l'altro per la radiazione riflessa  $E_{sw\uparrow}$ ) e da una coppia di pirgeometri (uno per la misura della radiazione infrarossa dall'alto  $E_{fir\downarrow}$  e l'altro per la radiazione infrarossa proveniente dalla terra  $E_{fir\uparrow}$ ).

LPNET14 è dotato di un sensore di temperatura (NTC). La misura di temperatura è necessaria per la misura con i due pirgeometri infatti la radiazione infrarossa lontana è derivata dalla misura del segnale di uscita della termopila e dalla conoscenza della temperatura dello strumento.

Il radiometro netto è adatto per uso esterno in tutte le condizioni climatiche e richiede poca manutenzione.

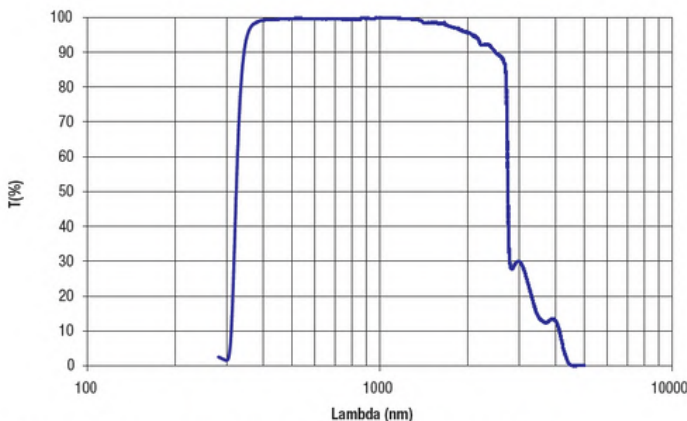


Grafico 1 - Risposta spettrale relativa del piranometro Delta OHM.

Caratteristiche Tecniche LPNET14	
Piranometro Spectrally Flat Classe C secondo ISO 9060:2018	
Sensibilità tipica	da 5 a 15 µV/(W/m²)
Impedenza	33 Ω ÷ 45 Ω
Range di misura	0 ÷ 2000 W/m²
Campo di vista	2π sr
Campo spettrale: (dtrasmissione della cupola)	300 nm ÷ 2800 nm (50%)
	335 nm ÷ 2200 nm (95%)
Temperatura di lavoro	-40 °C ÷ 80 °C
Pirgeometro	
Sensibilità tipica	5-10 µV/(W/m²)
Impedenza	33 Ω ÷ 45 Ω
Campo di misura	-300 ÷ +300 W/m²
Campo di vista	160°
Campo spettrale: (trasmissione finestra in silicio)	4.5 µm ÷ 45 µm (50%)
Temperatura di lavoro	-40 °C ÷ 80 °C

**Principio di funzionamento**

I piranometri che compongono l'LPNET14 misurano l'irradiazione per lunghezze d'onda comprese tra 0.3 µm e 3.0 µm mentre i pirgeometri misurano l'irradiazione nel campo spettrale compreso tra 5.5 µm e 45 µm. Il piranometro si basa su un sensore a termopila. La superficie sensibile della termopila è coperta con vernice nera opaca che permette al piranometro di non essere selettivo alle varie lunghezze d'onda. Il campo spettrale del piranometro è determinato dalla trasmissione della cupola in vetro tipo K5.

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

Anche i due pirgeometri si basano su un sensore a termopila. In questo caso per la protezione della termopila si utilizzano dischi in silicio. Il silicio è trasparente per lunghezze d'onda maggiori di 1.1 µm pertanto sulla parte interna della finestra è depositato un filtro per bloccare la radiazione sino a 4.5- 5 µm. 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 climatiche. 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 in figura 2:

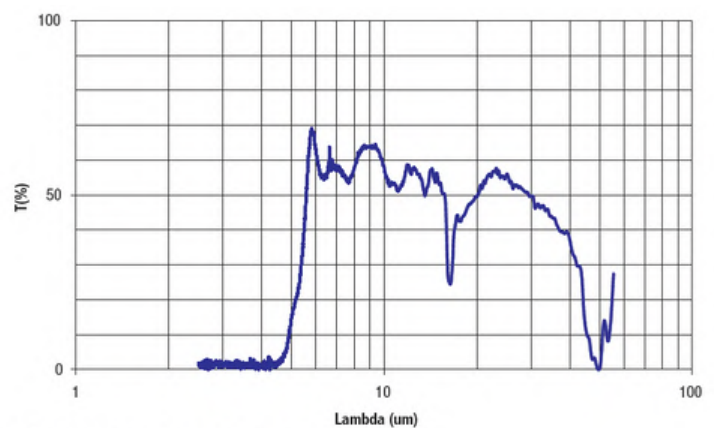


Grafico 2 -Trasmissione della finestra in silicio.

L'energia radiante è assorbita/irradiata dalla superficie annerita della termopila, creando così 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'irradiamento infrarosso al suolo ( $E_{FIR} \downarrow$ ), oltre al segnale di uscita della termopila è necessario conoscere la temperatura  $T$  del pirgeometro come riportato nella formula seguente:

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

Dove:

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

$$E_{term.} = \frac{U_{emf}}{C}$$

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

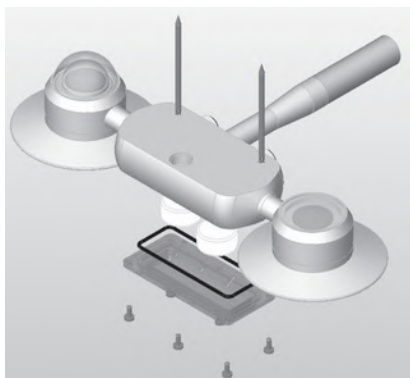
$T_B$  = temperatura del pirgeometro (K), ottenuta dalla lettura della resistenza dell'NTC ( $10k\Omega$ ). Nella tabella alla pagina seguente è riportato il valore di resistenza in funzione della temperatura per valore compresi tra  $-25^\circ C$  e  $+58^\circ C$ .

Il primo termine della formula 1 rappresenta l'irradiamento netto, cioè la differenza tra l'irradiamento infrarosso che raggiunge il piranometro e l'emissione del pirgeometro, mentre il secondo termine è l'irradiamento emesso da un oggetto (assunto con remissività  $\epsilon=1$ ) a temperatura  $T_B$ .

### Installazione e montaggio del netradiometro per la misura della radiazione infrarossa

Prima dell'installazione del net-radiometro si deve caricare il vano inferiore con due cartucce di sali essiccanti (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 delle finestre in silicio e delle cupole in vetro. Le operazioni da eseguire in un luogo secco (per quanto possibile) sono:

1. Svitare le 6 viti che fissano il tappo inferiore del net radiometro

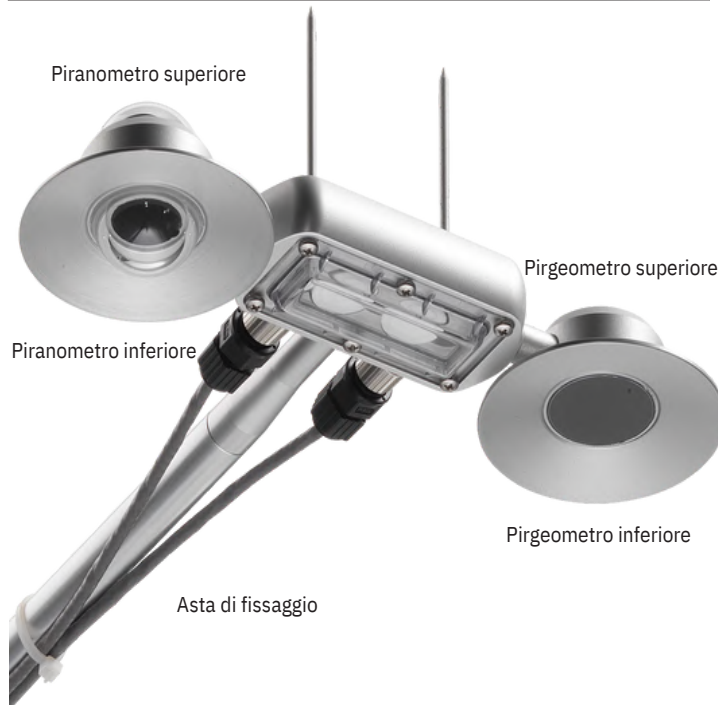
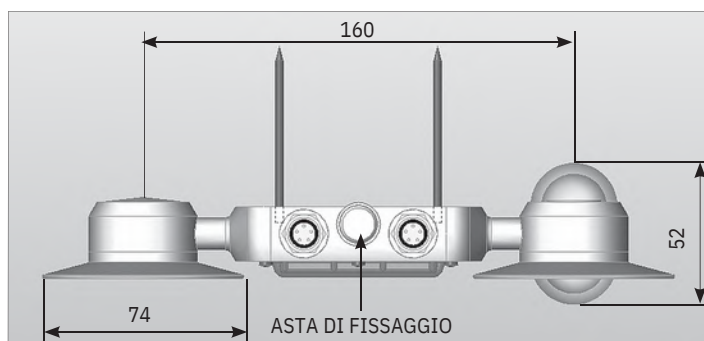


2. Togliere (se presenti) le vecchie cartucce di sali ed il marcatore
3. Aprire la busta che contiene le cartucce ed il marcatore, ritagliare il marcatore in corrispondenza dell'indicatore di U.R. 10% (assicurarsi che le dimensioni siano tali che possa entrare nel vano porta sali)
4. Inserire le cartucce nel vano portasali
5. Inserire il marcatore in maniera che sia facilmente ispezionabile senza la necessità di aprire il vano portasali
6. Avvitare le 6 viti del coperchio facendo attenzione che la guarnizione sia montata correttamente
7. Il net-radiometro è pronto per essere utilizzato

LPNET14 va installato in una postazione facilmente raggiungibile per una periodica pulizia delle cupole e delle finestre in silicio. Allo stesso tempo si dovrebbe evitare che costruzioni, alberi od ostacoli di qualsiasi tipo superino il piano orizzontale su cui giace lo strumento. Nel caso questo non sia possibile è raccomandabile scegliere una posizione in cui gli ostacoli presenti siano inferiori a  $10^\circ$ .

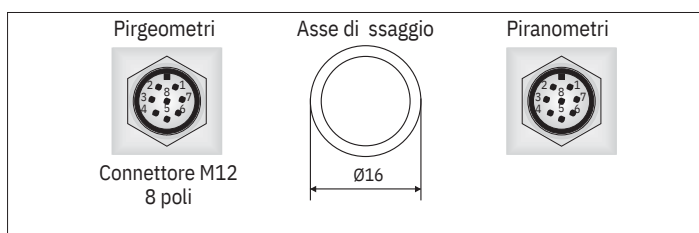
Nell'installazione su palo, l'orientamento preferito dovrebbe essere tale da non proiettare alcuna ombra sul sensore in qualsiasi momento della giornata. Nell'emisfero settentrionale, ciò implica che lo strumento deve essere montato a sud del palo, secondo lo standard ISO TR9901 e le raccomandazioni dei WMO. In ogni caso è preferibile attenersi a questa raccomandazione anche quando è utilizzato lo schermo.

Per un accurato posizionamento orizzontale, LPNET14 deve essere fissato ad un palo tramite l'asta di fissaggio.



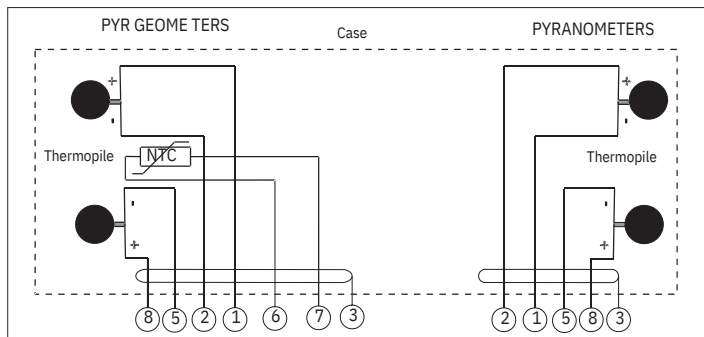
### Connessioni elettriche e requisiti dell'elettronica di lettura

- Il net-radiometro LPNET14 non necessita di alimentazione.
  - Lo strumento è provvisto di 2 connettori M12 a 8 poli.
  - I cavi opzionali, terminano da una parte con il connettore a 8 poli e dall'altra con i fili aperti. Il cavo è schermato e resistente agli UV.
- La corrispondenza tra i colori dei fili ed i poli dei connettori è la seguente.



Connettore	Funzione		Colore
	Pirgeometri	Piranometri	
1	$V_{out} (+) E_{FIR} \downarrow$	$V_{out} (+) E_{SW} \downarrow$	Rosso
2	$V_{in} (-) E_{FIR} \downarrow$	$V_{in} (-) E_{SW} \downarrow$	Blu
3	schermo (⊕)	schermo (⊕)	Schermo
4	NON CONNESSO		
5	$V_{out} (-) E_{FIR} \uparrow$	$V_{out} (-) E_{SW} \uparrow$	Marrone
8	$V_{in} (+) E_{FIR} \uparrow$	$V_{in} (+) E_{SW} \uparrow$	Verde
6	NTC	NON CONNESSO	Bianco
7	NTC	schermo (⊕)	Nero

Per ottenere una misura è necessario acquisire simultaneamente i segnali delle 4 termopile e dell'NTC.  
 Per la misura dei segnali dalle termopile è necessario collegare i 4 canali ad un millivoltmetro o ad un datalogger. La risoluzione consigliata dello strumento di lettura, per poter sfruttare appieno le caratteristiche del piranometro, è di 1 µV.  
 È inoltre necessario leggere la resistenza dell'NTC per poter determinare la temperatura dei due pirgeometri.  
 Nella figura sottostante sono riportate le connessioni elettriche necessarie per poter leggere i segnali delle 4 termopile e dell'NTC.



### Manutenzione

Al fine di garantire un'elevata precisione delle misure è necessario che le finestre in silicio e le cupole del net radiometro siano mantenute sempre pulite, pertanto maggiore sarà la frequenza di pulizia migliore sarà l'accuratezza 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 cupola con solo acqua.  
 A causa degli elevati sbalzi termici tra il giorno e la notte è possibile che all'interno dei piranometri e dei pirgeometri (in particolare sulla finestra in silicio) si formi condensa, in questo caso la lettura eseguita non è corretta. Per minimizzare la formazione di condensa, all'interno dello strumento sono inserite due cartucce con materiale assorbente: Silica-gel. L'efficienza dei cristalli di Silica-gel diminuisce nel tempo con l'assorbimento di umidità. Tipicamente la durata del silica-gel varia da 4 a 12 mesi a seconda delle condizioni ambientali in cui opera lo strumento. Per poter facilmente valutare lo stato di efficienza dei sali, all'interno di ogni ricarica è inserito un marcatore da posizionare nella parte bassa del vano portassali in modo da poter essere visto. Quando indica la presenza di umidità è necessario sostituire i sali.  
 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.

### Taratura ed esecuzione delle misure

Ciascun piranometro e pirgeometro che compone lo strumento è tarato individualmente. Il fattore di taratura  $S$  è dato in  $\mu V/(Wm^{-2})$ . Misurata la differenza di potenziale (DDP) ai capi della sonda l'irradiazione  $E_e$  si ottiene dalla seguente formula:  

$$E_e = DDP / S$$
 dove:  
 $E_e$  - è l'irradiazione espresso in  $W/m^2$ ,  
 DDP - è la differenza di potenziale espressa in  $\mu V$  misurata dal multimetro,  
 $S$  - è il fattore di calibrazione riportato sull'etichetta di ogni piranometro (e sul rapporto di taratura) in  $\mu V/(W/m^2)$

Ogni piranometro è tarato singolarmente in fabbrica ed è contraddistinto dal suo fattore di calibrazione.  
 La misura con i due pirgeometri deve essere eseguita come segue: dalla misura di resistenza  $R_{NTC}$  [ohm] dell'NTC è possibile risalire alla temperatura del pirgeometro ( $T_b$ ) utilizzando la formula:

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

Dove:  
 $a=10297.2 \times 10^{-7}$ ;  $b=2390.6 \times 10^{-7}$ ;  $c=1.5677 \times 10^{-7}$ .  
 La temperatura è espressa in Kelvin.  
 N.B. Nella tabella 2 sono tabulati i valori tra -25°C e +58°C, per ottenere il valore in Kelvin si deve utilizzare l'opportuna conversione.

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

Una volta nota la temperatura in Kelvin (=Temperatura in °C + 273.15) del pirgeometro ed il segnale di uscita della termopila  $U_{emf}$  [µV], l'irradiazione  $E_{FIR}$  [W/m²] è dato dalla formula:

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

Dove:  
 $C$  = fattore di taratura [ $\mu V/(W/m^2)$ ] del pirgeometro riportato sul rapporto di taratura;  
 $\sigma$  = 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 alcuni giorni e notti 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 della sonda LPNET14 è consigliabile eseguire la verifica della taratura ogni uno, due anni (la scelta dell'intervallo di taratura dipende dalla precisione che si intende ottenere e dal sito di installazione, presenza di inquinamento etc.)

### CODICI DI ORDINAZIONE

**LPNET14:** Net-radiometro completo di asta  $\varnothing=16$  mm lunga 400 mm, 2 dissuasori per volatili, 5 ricariche di materiale essicante (composte da 2 cartucce di silica-gel e un marker), livella per la messa in piano e Rapporto di Taratura. Le quattro uscite dei singoli sensori confluiscono su due connettori M12 a 8 poli maschio.

### ACCESSORI

**LPG2:** 5 ricariche di materiale essicante (ciascuna composta da 2 cartucce di silica-gel e un marker)  
**CPM12AA8N...**: Cavo con connettore M12 8 poli da un lato, fili aperti dall'altro. Lunghezze disponibili 2, 5 o 10 m.