

## Progetto CELAVIE: la stazione agrometeorologica

S. Di Cristofalo\*, e-mail: [salvatore.dicristofalo@cnr.it](mailto:salvatore.dicristofalo@cnr.it)

\* Istituto di Bioscienze e BioRisorse - Consiglio Nazionale delle Ricerche - UOS di Palermo

### Abstract

Scopo del presente report tecnico è la presentazione della stazione agrometeorologica allestita nell'ambito del progetto CELAVIE, programma di Cooperazione transfrontaliera Italia-Tunisia e ubicata presso il centro di sperimentazione della "cellula per la vita". La stazione acquisisce dati utili allo studio dell'ambiente esterno, del terreno circostante e dell'ambiente interno alla cellula.

Oltre alcune informazioni tecniche della strumentazione e le coordinate geografiche è descritta la configurazione scelta, le caratteristiche dei sensori delle grandezze misurate e i parametri derivati dagli stessi.



## SOMMARIO

Abstract

- 1. Premessa**
- 2. Introduzione**
- 3. Caratteristiche della stazione agrometeorologica**
  - 3.1. Anemometro
  - 3.2. Pluviometro
  - 3.3. Temperatura e umidità dell'aria in schermo solare passivo
  - 3.4. Umidità fogliare
  - 3.5. Umidità del suolo
  - 3.6. Temperatura del suolo
  - 3.7. Piranometro
  - 3.8. Unità wireless per l'umidità delle foglie e del suolo/temperatura
  - 3.9. Data logger meteobridge
- 4. Parametri agrometeorologici derivati**
  - 4.1. pressione barometrica
  - 4.2. punto di rugiada
  - 4.3. evapotraspirazione (et)
  - 4.4. wind chill
  - 4.5. indice di calore
- 5. Installazione della stazione**
- 6. Configurazione e fruizione dati**
- 7. Conclusioni**
- 8. Ringraziamenti**
- 9. Bibliografia**
- 10. Sitografia**

**APPENDICE: ubicazione della stazione agrometeorologica**

## 1. Premessa

Il progetto CELAVIE fa parte del programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Tunisia

L'obiettivo principale del progetto CELAVIE è quello di creare una rete sostenibile di collaborazione tra organizzazioni di ricerca che operano in Sicilia e Tunisia.

Il progetto ha previsto la realizzazione di un impianto, una Cellula Vitale, composta da due sistemi di produzione integrata, per mettere in sinergia l'aspetto della riproduzione delle specie animali acquatiche e quella delle piante, l'ottimizzazione delle risorse idriche e il riutilizzo dei metaboliti prodotti dagli animali per fornire nutrienti alle piante.

Il progetto mette in cooperazione 4 istituti di ricerca e innovazione per la fabbricazione di unità sperimentali di produzione di piantine e avannotti e coinvolge 6 altri organismi di sostegno agli investimenti (associazioni padronali, ONG, società civile) che beneficeranno del sostegno del programma per promuovere il prodotto di questa cooperazione con le imprese.

## 2. Introduzione

La crescente pressione esercitata dal cambiamento climatico, dall'urbanizzazione, dall'industrializzazione e dalla crescita della popolazione pone nuove importanti sfide per il settore agricolo. Per contenere le perdite idriche e lo sfruttamento intensivo del suolo, la ricerca sta sperimentando dei sistemi produttivi alternativi tra cui l'acquaponica si sta dimostrando uno dei più promettenti.

L'acquaponica è un sistema produttivo a struttura circolare che combina l'allevamento ittico alla produzione di colture agricole fuori suolo. L'elemento che fa da gancio tra i due sistemi è l'acqua che, dopo essere stata impiegata per l'allevamento dei pesci, viene riciclata come soluzione nutritiva per la coltivazione di specie orticole in idroponica. La simbiosi tra i due sistemi apporta un vantaggio anche in termini ambientali, poiché si riduce l'ammontare di acque reflue immesse nell'ambiente e si contiene l'impiego di sostanze chimiche per la nutrizione delle piante.

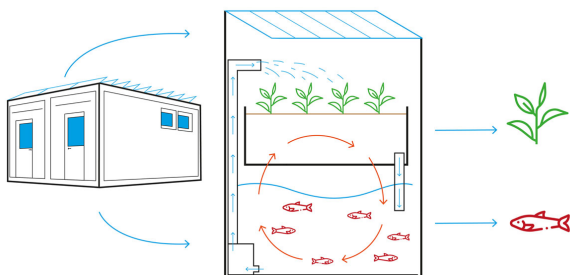


Figura 1

## 3. Caratteristiche della stazioni agrometeorologica

Al sistema sperimentale è stato affiancato un sistema di monitoraggio per l'acquisizione dei parametri

chimico-fisici sia dell'ambiente interno aria-acqua, sia per l'esterno.

Per questo ultimo fine si è installata una stazione agrometeorologica che sarà presentata in questo report tecnico.

La scelta è ricaduta sulla stazione della società Davis modello Vantage. In esterno, il blocco sensori integrato collegato alla consolle interna tramite wireless, include:

- Anemometro
- Pluviometro
- Termo-igrometro (in schermo solare passivo)
- Radiazione solare
- Sensore di bagnatura fogliare E- Leaf
- Temperatura e umidità del terreno

I sensori interni alla cellula, sono:

- Temperatura e umidità
- Pressione Atmosferica

La stazione è di tipo wireless e include un Integrated Sensor Suite (ISS) che ospita e gestisce la serie di sensori esterni. L'ISS wireless comunica tramite un trasmettitore e un ricevitore FHSS (spread-spectrum frequency-hopping) certificati FCC e privi di licenza. I codici ID dei trasmettitori sono stati opportunamente selezionati, per evitare eventuali conflitti di indirizzo con altre stazioni nella stessa area geografica. La tecnologia di salto di frequenza a spettro diffuso garantisce una maggiore forza di comunicazione su distanze più lunghe e in aree con una ricezione più debole. L'ISS include anche un sensore di radiazione solare per fornire calcoli accurati sull'evapotraspirazione.

La figura 2 mostra il blocco dei sensori integrato (ISS).



Figura 2

Di seguito la scheda tecnica.

**General**

Operating Temperature	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Non-operating Temperature	-40° to +159°F (-40° to +70°C)
Wireless	
Current Draw (ISS SIM only)	0.14 mA (average), 30 mA (peak) at 4 to 6 VDC
Solar Power Panel	0.5 Watts (ISS SIM)
Battery (ISS SIM)	CR-123 3-Volt Lithium cell
Battery Life (3-Volt Lithium cell)	8 months without sunlight - greater than 2 years depending on solar charging
Cabled	
Current Draw (ISS SIM only)	5 mA (average) at 4 to 6 VDC
Connectors, Sensor	Modular RJ-11
Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Cable Length, Anemometer	40 feet (12 m) (included) 240 feet (73 m) (maximum recommended)

Note: Maximum displayable wind decreases as the length of cable increases. At 140' (42 m) of cable, the maximum wind speed displayed is 135 mph (60 m/s); at 240' (73 m), the maximum wind speed displayed is 100 mph (34 m/s).

Wind Speed Sensor	Solid state magnetic sensor
Wind Direction Sensor	Wind vane with potentiometer
Rain Collector Type	Tipping bucket, 0.01" per tip (0.2 mm with metric rain adapter), 33.2 in <sup>2</sup> (214 cm <sup>2</sup> ) collection area
Temperature Sensor Type	PN Junction Silicon Diode
Relative Humidity Sensor Type	Film capacitor element
Housing Material	UV-resistant ABS
ISS Dimensions (not including anemometer or bird spikes)	14.3" x 9.7" x 14.5" (363 mm x 246 mm x 368 mm)

**Sensors**

**Relative Humidity (Outside)**

Resolution	1%
Range	1 to 100% RH
Accuracy	±2%
Drift	<0.25% per year

**Rainfall**

Resolution	0.01" or 0.2 mm (user-selectable) (1 mm at totals > 2000 mm)
Daily/Storm Rainfall Range	0 to 99.99" (0 to 999.8 mm)
Monthly/Yearly/Total Rainfall Range	0 to 199.99" (0 to 6553 mm)
Accuracy	±1% for rain rates up to 4"/hr (100 mm/hr); ±4% of total or ± one tip of the bucket (0.01"/0.2mm), whichever is greater.
Update Interval	20 to 24 seconds

**Rain Rate**

Resolution and Units	0.01" or 0.1 mm (user-selectable) at typical rates (see Fig. 2 and 3)
Range	0 to 0.04"/hr (1 mm/hr) to 96"/hr (0 to 2438 mm/hr)
Accuracy	±5% for rates less than 5" per hour (127 mm/hr)
Update Interval	20 to 24 seconds

**Solar Radiation**

Resolution and Units	1 W/m <sup>2</sup>
Range	0 to 1800 W/m <sup>2</sup>
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Eppley PSP at 1000 W/m <sup>2</sup> )
Drift	up to ±2% per year
Cosine Response	±3% for angle of incidence from 0° to 75°
Temperature Coefficient	-0.067% per °F (-0.12% per °C); reference temperature = 77°F (25 °C)
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)

**Temperature (Outside)**

Resolution	0.1°F or 1°F or 0.1°C or 1°C nominal
Range	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Sensor Accuracy	±0.5°F (±0.3°C) See Fig. 1
Radiation Induced Error (Passive Shield)	±4°F (2°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed < 2 mph (1 m/s) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Radiation Induced Error (Fan-Aspirated Shield)	±0.6°F (0.3°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed < 2 mph (1 m/s) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Update Interval	10 to 12 seconds

**Wind**

Wind Direction	
Range	0 - 360°
Display Resolution	16 points (22.5°) on compass rose, 1° in numeric display
Accuracy	±3°
Update Interval	2.5 to 3 seconds
Wind Speed	
Resolution and Units	1 mph, 1 km/h, 0.4 m/s, or 1 knot (user-selectable). Measured in mph, other units are converted from mph and rounded to nearest 1 km/hr, 0.1 m/s, or 1 knot.
Range	0 to 200 mph, 0 to 173 knots, 0 to 89 m/s, 0 to 322 km/h
Update Interval	Instant Reading: 2.5 to 3 seconds, 10-minute Average: 1 minute
Accuracy	±1 mph (1 kts, 1.5 km/h, 0.5 m/s) or ±5%, whichever is greater
Maximum Cable Length	240 feet (73 m) (See note on page 1)

**Wireless Communications (wireless versions only)**

Transmit/Receive Frequency	
US Models	902 - 928 MHz FHSS
EU Models	868.0 - 868.6 MHz FHSS
Japan Models	928.15 - 929.65 MHz FHSS
NZ Models	921 - 928 MHz FHSS
India Models	865.0 - 867.0 MHz FHSS
ID Codes Available	8
Output Power	
US Models	902 - 928 MHz FHSS: FCC-certified low power, less than 8 mW, no license required
EU Models	868.0 - 868.6 MHz FHSS: CE-certified, less than 8 mW, no license required.
Japan Models	928.15 - 929.65 MHz FHSS, less than 1 mW, no license required.
NZ Models	921 - 928 MHz FHSS, less than 10mW, no license required.
India Models	865.0 - 867.0 MHz, less than 10mW, no license required.
Range: All models except Japan	
Line of Sight	up to 1000 feet (300 m)
Through Walls	200 to 400 feet (60 to 120 m)
Range: Japan models	
Line of Sight	up to 300 feet (100 m)
Through Walls	50 to 200 feet (15 to 60m)
Sensor Inputs	
RF Filtering	RC low-pass filter on each signal line

**Sensor Charts**

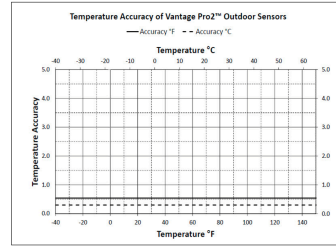


Figure 1: Temperature Accuracy of GroWeather Sensor

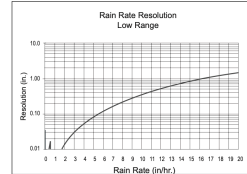


Figure 2: Low Range Rain Rate Resolution

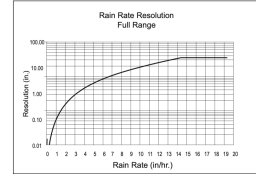


Figure 3: Full Range Rain Rate Resolution

**Anemometro.** L'anemometro usato è costituito da un magnete a stato solido che gira su cuscinetti sigillati, mentre per la direzione è usata una banderuola a potenziometro, dotata di tre coppette e banderuola con punta in ottone per una misura più accurata della direzione. I componenti sono robusti, resistenti a elevate intensità di vento, ma allo stesso tempo sensibili alle brezze leggere.

La banderuola misura la direzione del vento suddividendo in 16 parti (22,5°) la rosa dei venti. La misura della velocità ha una risoluzione di 0,1m/sec con un range operativo di 0.5 to 89 m/s, mostrato in figura 3.



Figure 3

Di seguito la scheda tecnica.

Wind Direction	
Range	0 - 360°
Display Resolution	16 points (22.5°) on compass rose, 1° in numeric display
Accuracy	±3°
Update Interval	2.5 to 3 seconds
Current Graph Data	Instant Reading (user adjustable); 10-min. Dominant, Hourly, Daily, Monthly Dominant
Historical Graph Data	Past 6 10-min. Dominants on compass rose only, Hourly, Daily, Monthly Dominants
Wind Speed	
Resolution and Units	1 mph, 1 km/h, 0.5 m/s, or 1 knot (user-selectable) Measured in mph; other units are converted from mph and rounded to nearest 1 km/hr, 0.1 m/s, or 1 knot.
Range	2 to 180 mph, 2 to 156 knots, 1 to 80 m/s, 3 to 290 km/h
Update Interval	Instant Reading: 2.5 to 3 seconds, 10-minute Average: 1 minute
Accuracy	±2 mph (2 kts, 3 km/h, 1 m/s) or ±5%, whichever is greater
Maximum Cable Length	540' (165 m) (Note that maximum wind speed reading decreases as length of cable from anemometer to ISS increases.)
Current Display Data	Instant
Current Graph Data	Instant Reading; 10-minute and Hourly Average; Hourly High; Daily, Monthly and Yearly High with Direction of High
Historical Graph Data	10-min. and Hourly Averages; Hourly High; Daily, Monthly and Yearly Highs with Direction of Highs
Alarms	High Thresholds from Instant Reading and 10-minute Average

**Pluviometro.** Il pluviometro adottato soddisfa le linee guida del World Meteorological Organization (WMO). La pioggia entra nel cono di raccolta, passa attraverso un filtro detriti in un cucchiaio a ribalta posto del recipiente di ribaltamento.



La misura avviene con chiusura di un contatto elettrico al momento in cui vi è un incremento di 0,2 mm sul totale raccolto. L'acqua piovana drena poi attraverso gli scarichi sulla base del collettore. Di seguito la figura e la scheda tecnica.

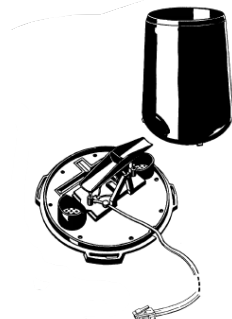


Figura 4

Resolution and Units	0.01" or 0.2 mm (user-selectable) (1 mm at totals $\geq$ 2000 mm)
Daily/Storm Rainfall Range	0 to 99.99" (0 to 999.8 mm)
Monthly/Yearly/Total Rainfall Range	0 to 199.99" (0 to 6553 mm)
Rain Rate	0 to 96" (0 to 2438 mm)
Accuracy	For rain rates up to 2"/hr (50 mm/hr): $\pm$ 3% of total or $\pm$ 0.01" (0.25 mm) (0.01" = one tip of the bucket), whichever is greater For rain rates from 2"/hr (50 mm/hr) to 4"/hr (100 mm/hr): $\pm$ 3% of total or $\pm$ 0.01" (0.25 mm) (0.01" = one tip of the bucket), whichever is greater
Update Interval	20 to 24 seconds
Storm Determination Method	0.02" (0.5 mm) begins a storm event, 24 hours without further accumulation ends a storm event
Current Display Data	Totals for Past 15-min
Current Graph Data	Totals for Past 15-min, Past 24-hour, Daily, Monthly, Yearly (start date user-selectable) and Storm (with begin date). Umbrella is displayed when 15-minute total exceeds zero
Historical Graph Data	Totals for 15-min, Daily, Monthly, Yearly (start date user-selectable) and Storm (with begin and end dates)
Alarms	High Threshold from Latest Flash Flood (15-min. total, default is 0.50", 12.7 mm), 24-Hour Total, Storm Total,
Range for Rain Alarms	0 to 99.99" (0 to 999.7 mm)

**Temperatura e umidità dell'aria in schermo solare passivo.** La temperatura e l'umidità relativa dell'aria esterna sono misurati tramite due sensori protetti da polvere, sporcizia e acqua da un filtro a membrana.

Il sensore di umidità è un condensatore a film sottile. Uno strato di dielettrico polimerico assorbe molecole di acqua dall'aria attraverso un elettrodo metallico sottile, che causa una variazione di capacità proporzionale all'umidità relativa. Il sensore di temperatura è invece un termistore di precisione a filo di platino che produce una variazione di resistenza proporzionale alla temperatura. Le letture di umidità relativa e di temperatura sono input per il calcolo del punto di rugiada. Per la protezione dei sensori dalla radiazione solare diretta e da altre fonti di calore irradiate e riflesse, viene usato uno schermo solare passivo, composto da una serie di 8 piatti per garantire il massimo flusso d'aria.

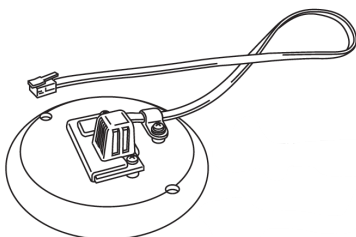


Figura 5

Di seguito la scheda tecnica.

Outside Temperature (sensor located in ISS)	Current Data: 0.1°F or 1°F or 0.1°C or 1°C (user-selectable) nominal °C is converted from °F rounded to nearest 1°C
Resolution and Units	Historical Data and Alarms: 1°F or 1°C (user-selectable)
Range	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Sensor Accuracy	$\pm$ 1°F ( $\pm$ 0.5°C) above 20°F (7°C), $\pm$ 2°F ( $\pm$ 1°C) under 20°F (7°C) (see Fig. 1)
Radiation Induced Error (Passive Shield)	+4°F (2°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed $\leq$ 2 mph (1 m/s)) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Radiation Induced Error (Fan-Aspirated Shield)	+0.6°F (0.3°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed $\leq$ 2 mph (1 m/s)) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Update Interval	10 to 12 seconds
Current Display Data	Instant (user-adjustable offset available)
Current Graph Data	Instant, Daily, Monthly, Yearly High and Low
Historical Graph Data	Hourly Readings; Daily, Monthly, Yearly Highs and Lows
Alarms	High and Low Thresholds from Instant Reading

**Umidità fogliare.** Il sensore di umidità fogliare rileva la presenza di umidità superficiale tramite resistenza elettrica di una foglia artificiale, in maniera distinta la bagnatura fogliare sulla pagina superiore ed inferiore della foglia e permette di apprezzare i fenomeni di interesse in funzione delle patologie fungine in osservazione. Il supporto su cui è realizzato il sensore è un materiale scelto per le sue caratteristiche termodinamiche simili alle foglie delle piante, in modo tale da riprodurre in modo più veritiero possibile le condizioni che portano alla formazione di condensa. Il sensore è stato posizionato rivolto verso Nord, a 45° rispetto alla verticale

È costituito da una griglia di rilevamento, da un circuito di eccitazione bipolare a bassa tensione e da un circuito di rilevamento della conduttività. Il data logger misura la conduttività attraverso la griglia e visualizza il risultato come livello di umidità, con una scala da 0 a 15. L'utente può selezionare il livello di soglia a cui si trova il sensore e, altresì, il livello di soglia al di sopra del quale vengono accumulati i totali delle ore di umidità.

La griglia di rilevamento è un circuito inciso placcato in oro su un substrato di vetro epossidico; i circuiti di eccitazione e di rilevamento sono incapsulati in epossidico nero. La staffa di montaggio in dotazione mantiene il sensore con un'angolazione di 45° per simulare la posizione tipica delle foglie e consentire il deflusso dell'umidità in eccesso; può essere montata su un palo verticale, un tubo o un picchetto, oppure sul braccio di montaggio del sensore.



Figura 6

Di seguito la scheda tecnica.

**General**

Sensor Type	Artificial leaf electrical resistance
Excitation	Bipolar (3V nominal) built-in
Time Constant	2 seconds
Attached Cable Length	40' (12 m)

Note: Increasing the cable length above the recommended maximum cable length causes measurement error in the form of lower I

Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular connector (RJ-11)
Recommended Maximum Cable Length (see Note 1)	200' (61 m) using 4-conductor 26 AWG cable
Material	
Substrate	Glass-reinforced, ceramic-filled laminate
Grid	1 oz. copper, nickel, and 50 µ inch gold plate
Mounting Bracket	White powder-coated aluminum
Dimensions (length x width x height)	
Leaf Wetness Sensor	4.00" x 2.25" x 2.25" (102 mm x 58 mm x 58 mm)
Sensor Area	4.4 in <sup>2</sup> (28 cm <sup>2</sup> )
Weight	13 oz. (.4 kg)

**Sensor Output**

Resolution	1
Range	0 to 15
Dry/Wet Threshold	User-selectable
Accuracy	±0.5
Update Interval	62.5 to 75 seconds

**Input/Output**

Supply Voltage and Current	100 µA (typical) @ 3 VDC
Output	2.5 to 3 VDC
Connections	
Yellow	3 VDC
Red	Ground
Green	Output

**Umidità del suolo.** Il sensore di umidità del suolo Watermark® prodotto della Irrometer Company, Inc. è un metodo indiretto e calibrato per misurare il contenuto idrico del suolo. Si tratta di un sensore a resistenza elettrica. La stazione di umidità/temperatura del suolo converte la lettura della resistenza elettrica del sensore in una lettura calibrata di centibar di aspirazione dell'acqua del suolo con un intervallo da 0 a 200 centibar. La sonda di temperatura multiuso è un termistore di precisione che produce una variazione di resistenza proporzionale alla temperatura. La sonda di temperatura viene utilizzata dalla stazione per fornire la compensazione della temperatura per la lettura dell'umidità del suolo associata.

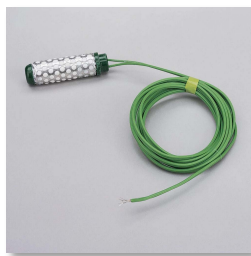


Figura 7

Di seguito la scheda tecnica.

**General**

Sensor Type	Electrical resistance
Attached Cable Length	15' (4.6 m)
Cable Type	Watermark standard, two-wire, wires stripped and tinned
Maximum Cable Length	1000' (300 m) (18 AWG UF recommended)
Housing Dimensions	7/8" diameter x 3" (22 mm diameter x 76 mm)
Weight	3.6 oz. (103 g)

**Sensor Output**

Resolution	1 cb
Range	0 to 200 cb
Update Interval	62.5 to 75 seconds

**Temperatura del suolo.** La sonda di temperatura multiuso si usa con la stazione wireless di umidità/temperatura del suolo. La sonda è progettata per

misurare la temperatura del suolo e fornire la compensazione della temperatura al sensore di umidità del suolo Watermark, in precedenza descritto.

Il sensore è un termistore di precisione a filo di platino che produce una variazione di resistenza proporzionale alla temperatura. È incapsulato con resina epossidica in un corpo in lega di acciaio inox 316 con scarico della trazione in vinile. Il cavo da 22 AWG a interrimento diretto è resistente ai danni causati da parassiti, umidità o raggi UV.

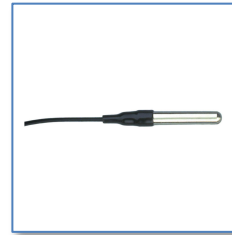


Figura 8

Di seguito la scheda tecnica.

**General**

Sensor Type (see Charts)	Platinum wire thermistor
Time Constant	
In Still Air	100 seconds
In Liquid	28 seconds
Attached Cable Length	15' (4.6 m)
Cable Type	22 AWG direct burial cable, wires stripped and tinned
Recommended Maximum Cable Length (see Note 1)	
24 AWG Shielded Cable	800' (242 m)
22 AWG Shielded Cable	1,200' (260 m)

Note: There is no absolute maximum cable length. Increasing the cable length above the recommended maximum length causes an increased measurement error at a rate of approximately +0.24°F (+0.13°C) per 100' (30 m) of 22 AWG cable.

Housing Material	316 alloy stainless steel housing with vinyl strain relief
Housing Dimensions	0.312" diameter x 2.5" long (8 mm diameter x 64 mm long)
Weight	4.5 oz. (128 g)

**Sensor Output**

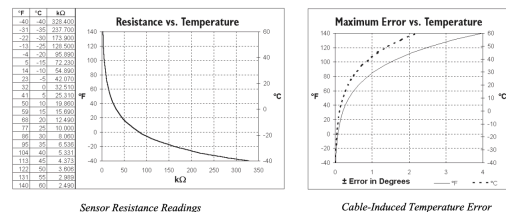
Resolution and Units	1°F or 1°C (user-selectable)
Historical Graph Data and Alarms	1°F or 1°C (user-selectable)
Range	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Sensor Accuracy	±1°F (±0.5°C) typical
Update Interval	62.5 to 75 seconds

**Input/Output Connections**

Black	Common
White	Temperature (variable resistance to common)

**Charts**

The chart and graph on the left show the resistance of the sensor. The chart on the right shows the cable-induced error of an un-calibrated sensor using 100' (30 m) of cable.



La profondità del sensore di umidità e quello per la temperatura del suolo dipende dalla profondità di radicamento del tipo di cultivar da tenere sotto controllo e dalla consistenza del suolo. In questo caso abbiamo considerato come delle orticole coltivate su suolo per confrontarle con le stesse all'interno della cellula fuori suolo.

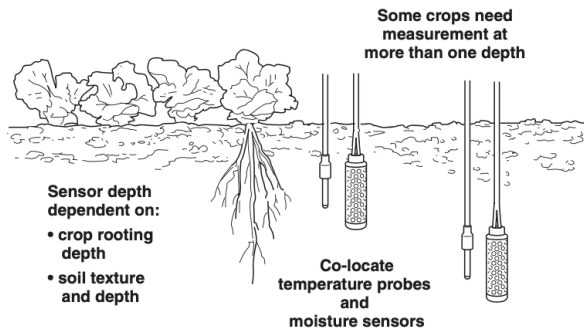


Figura 9

**Piranometro.** Il Sensore di radiazione solare, o piranometro solare, misura la radiazione globale come somma delle componenti diretta e diffusa sul piano orizzontale.

Il trasduttore del sensore che converte la radiazione incidente in corrente elettrica è un fotodiiodo al silicio con ampia risposta spettrale. Dalla tensione di uscita del sensore, la console calcola e visualizza l'irraggiamento solare, 1.67 mV per ogni W/m<sup>2</sup>.

Il sensore è mostrato in figura 10.



Figura 10

Di seguito la scheda tecnica.

Resolution and Units	1 W/m <sup>2</sup>
Range	0 to 1800 W/m <sup>2</sup>
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Eppley PSP at 1000 W/m <sup>2</sup> )
Drift	up to ±2% per year
Cosine Response	±3% for angle of incidence from 0° to 75°
Temperature Coefficient	-0.067% per °F (-0.12% per °C); reference temperature = 77°F (25 °C)
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)
Current Graph Data	Instant Reading and Hourly Average; Daily, Monthly High
Historical Graph Data	Hourly Average; Daily, Monthly Highs
Alarm	High Threshold from Instant Reading

**Unità wireless per l'umidità delle foglie e del suolo/temperatura.** La stazione wireless di umidità/temperatura delle foglie e del suolo è impiegata per la connessione con i sensori di umidità del suolo e di umidità fogliare. Possono collegarsi fino a quattro sensori di umidità del suolo compensati dalla temperatura e due sensori di umidità fogliare, che si trovano almeno nel raggio di trasmissione della console principale. La stazione comunica direttamente con la console/ricevitore wireless principale attraverso uno degli otto codici ID selezionabili dall'utente e ha una portata di trasmissione compresa tra 75-300 m. a seconda dell'ambiente. La stazione è alimentata a energia solare grazie ad un pannello fotovoltaico e comprende una batteria di backup.

Vedi figura 11.



Figura 11

Di seguito la scheda tecnica.

<b>General</b>	
Operating Temperature	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Storage Temperature	-50° to +158°F (-45° to +70°C)
Current Draw	0.14 mA (average), 30 mA (peak) (from external power source)
Battery	CR123A 3-Volt Lithium cell
Battery Life	8 months without sunlight - greater than 2 years depending on solar charging
Solar Panel	0.5 Watts
Housing Material	UV-resistant PVC plastic
Dimensions (length x width x height)	6.25" x 2.25" x 7.88" (158.75 mm x 57.15 mm x 200 mm)
Weight	1.08 lb. (.49 kg) (with battery, without sensors)

<b>Sensors</b>	
<b>Leaf Wetness Sensor (# 6420)</b>	
Sensor Type	Electrical resistance
Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular connector (RJ-11)
Maximum Cable Length	200' (61 m) using 4-conductor 26 AWG cable

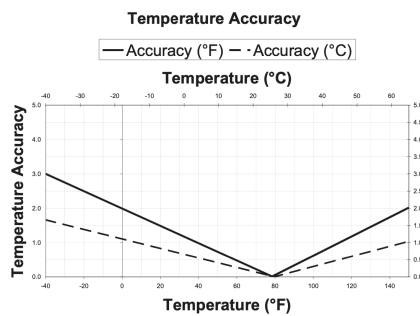
<b>Watermark Soil Moisture Sensor (# 6470)</b>	
Sensor Type	Electrical resistance
Standard Cable	15' (4.6 m) Watermark standard two-wire, stripped and tinned
Maximum Cable Length	18 AWG: 1000' (UF wire recommended)

<b>Multi-Purpose Temperature Probe (# 6470)</b>	
Sensor Type	Thermistor
Standard Cable	15' (4.6m) 22 AWG direct burial cable, stripped and tinned
Maximum Cable Length	24 AWG: 800' (244 m), 22 AWG: 1200' (365 m)

<b>Wireless Communications</b>	
Transmit/Receive Frequency	US Models: 902-928 MHz FHSS, Overseas Models: 868.0 - 868.6 MHz FHSS
ID Codes Available	8
Output Power	902-928 MHz FHSS: FCC-certified low power, less than 8 mW, no license required 868.0 - 868.6 MHz FHSS, CE-certified, less than 8 mW, no license required
Range	Line of Sight up to 1000 feet (300 m) Through Walls 200 to 400 feet (75 to 150 m)

<b>Sensor Output</b>	
<b>Leaf Wetness</b>	
Resolution	1
Range	0 to 15
Dry/Wet Threshold	User-selectable
Accuracy	±0.5
Update Interval	15 to 18 seconds
<b>Soil Moisture (Watermark Soil Moisture Sensor)</b>	
Resolution	1 cb (centibar)
Range	0 to 200 cb
Update Interval	62.5 to 75 seconds
<b>Temperature</b>	
Resolution and Units	1°F or 1°C, Celsius is converted from Fahrenheit and rounded to the nearest 1°C
Range	-40° to +150°F (-40° to +65° C)
Sensor Accuracy	±1°F (±0.5°C) typical (See Chart)
Sensor Accuracy	±1°F (±0.5°C) up to 110°F (43°C), ±2°F (±1°C) over 110°F (43°C) (see Fig. 1)
Update Interval	62.5 to 75 seconds

## Temperature Accuracy Chart



**Data logger meteobridge.** Meteobridge consiste in un software e in un hardware appositamente progettati, per divenire un Personal Weather Server. Meteobridge PRO si presenta di dimensioni ridotte, con una potenza di 1-2 Watt, una memoria dati interna di 1 GB, funzionalità LAN e WiFi, un display grafico OLED, 2 porte USB esterne e capacità RF integrata per ricevere direttamente i dati dai sensori Davis Instruments (ISS).



Figura 12

Il data logger è gestito direttamente con il browser, quindi non è necessario installare nulla sul PC e si può utilizzare con qualsiasi desktop, laptop, tablet. Inizialmente si configura con il browser, per poi funzionare in modo totalmente indipendente dal PC; in questo modo non vi è l'onere di avere un PC sempre acceso per monitorare i dati meteo. È una soluzione autonoma e a basso consumo che si occupa dei dati della stazione agrometeorologiche della cellula acquaponica.

Collegato alla stazioni Davis di cui sopra, tramite canale RF, è possibile far caricare su Internet i dati su alcuni delle più note reti meteorologiche, dove è possibile esaminare i dati attuali e storici.

L'immagine sottostante mostra come la stazione meteorologica viene collegata alle reti meteorologiche, a Meteoplug Cloud Graphing e/o ad applicazioni individuali con l'aiuto di Meteobridge, che fa letteralmente da ponte tra la stazione meteorologica e Internet.

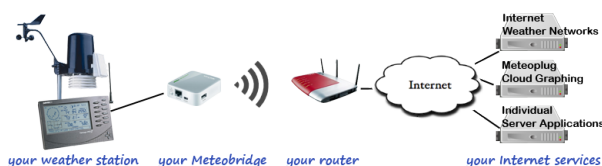


Figura 13

Meteobridge consente, altresì, di inviare i dati meteorologici a brevi intervalli di tempo al proprio

server in Internet. Questo può essere fatto tramite FTP, SFTP, HTTP, HTTPS o anche tramite richieste MySQL. È anche possibile inviare i dati meteorologici via e-mail o inviare i dati via Twitter, scegliere quali dati inviare e a quali intervalli.

Meteobridge è in grado di alimentare i modelli di pagine web più diffusi ("Leuven", "Saratoga", "Home Weather Station", "Meteotemplate" e "WD-Live") e consente di configurare facilmente la propria pagina web meteo su Internet.

In base ai dati provenienti dai sensori, è possibile avviare una qualsiasi delle azioni sopra menzionate (come l'invio di e-mail) quando i dati del sensore corrispondono alle condizioni definite dall'utente. L

Può, altresì, essere raggiunto da Internet con una URL. Non sono necessarie modifiche al firewall e al router. Questa funzione è estremamente utile quando si è in viaggio o il Meteobridge si trova in una località remota e si desidera controllare o modificare le impostazioni.

Meteobridge dispone di un display bianco/nero da 128x64 pixel sulla parte anteriore, che viene utilizzato durante l'avvio per mostrare l'avanzamento della configurazione e l'indirizzo IP assegnato dal router. Questo display è programmabile dall'utente e può essere utilizzato anche per visualizzare i dati dei sensori della stazione. È possibile definire pagine distinte da visualizzare sul display. Queste pagine possono contenere testo in vari caratteri e dimensioni e in genere mostrano i dati dei sensori. È possibile organizzare queste pagine in un flusso, in modo che le informazioni da visualizzare cambino con una frequenza definita dall'utente.

I dati della stazione meteorologica possono essere memorizzati su un database interno per una capacità fino a 1 GB, consentendo di conservare dati per oltre un decennio. I dati possono essere controllati, modificati e cancellati tramite l'interfaccia web di Meteobridge, che fornisce anche una panoramica grafica dei dati di un determinato sensore in un intervallo di tempo di un anno, un mese o un giorno, consentendo pure l'esportazione in formato CSV.

Con questo data logger è possibile monitorare la misura della tensione di alimentazione, il consumo di energia proprio e di tutti i dispositivi USB collegati. Questo è estremamente utile quando Meteobridge funziona in un ambiente alimentato a batteria, in quanto può monitorare e persino agire sulle condizioni di alimentazione.

Meteobridge può inviare SMS a intervalli regolari o in seguito a eventi definiti in precedenza.

Meteobridge può mostrare grafici interattivi a linee dei dati meteorologici registrati, espandendo o riducendo il periodo di tempo da visualizzare. È possibile visualizzare diversi tipi di informazioni in pannelli impilati verticalmente che condividono la stessa linea temporale. È possibile esaminare i grafici



dall'interfaccia web di Meteobridge o caricarli via FTP sul proprio server web. L'integrazione nella home page è molto semplice, in quanto i grafici sono autosufficienti e non è necessario installare librerie aggiuntive sul server web. Inoltre, se si è abilitato l'accesso remoto, è possibile accedere ai grafici del Meteobridge anche da internet.

Di seguito la scheda tecnica.

### Hardware Specification

- Size: 57mm x 27mm x 95mm (width x height x depth) without antennas
- weight: 130g (with antennas)
- operating temperatures: 0 - 40°C, non-condensing
- 100/10 Mbit Ethernet port
- WiFi 2.4 GHz, 802.11g/n (right SMA male connector on back panel)
- RF-Sensor reception in 868-915 MHz band (left SMA female connector on back panel)
- external power supply (incl. plugs for US, EU, UK) with micro USB connector
- full size USB female connector on front panel
- micro USB female connector on back panel
- black/white OLED with 128 x 64 pixels to display status information and user defined data
- reset pin hole
- 4 LEDs on front panel, indicating
  - RF sensor reception (red / orange)
  - system operational (red)
  - network traffic (yellow)
  - sensor data stored (green)
- internal components
  - Carambola 2 computing module (AR9331 SoC, 16 MB Flash, 64 MB RAM)
  - 4 port USB hub
  - voltage / power monitoring IC (INA220)
  - barometer IC (BMP180)
  - temperature / humidity IC (SHT21)
  - low volume signaling buzzer
  - 1 GB USB connected permanent storage (industrial grade ATP SLC NANODURA USB stick)

## 4. Parametri agrometeorologici derivati

Con i parametri misurati dai sensori installati, con opportuni algoritmi, è possibile estrarre alcune grandezze da essi derivati.

**Pressione barometrica.** il barometro interno consente di ottenere anche il trend della pressione atmosferica. Il peso dell'aria di cui è composta la nostra atmosfera esercita una pressione sulla superficie della terra. Questa pressione è nota come pressione atmosferica. Generalmente, più aria si trova al di sopra di una superficie, maggiore è la pressione atmosferica, ovvero la pressione atmosferica cambia con l'altitudine: la pressione atmosferica è maggiore a livello del mare che sulla cima di una montagna. Al fine di facilitare un confronto tra località a differenti altitudini, la pressione atmosferica è generalmente riportata alla pressione a livello del mare equivalente, nota come pressione barometrica. Le stazioni misurano la pressione atmosferica ma, introducendo l'altitudine dei siti di

ubicazione il software di configurazione calcola i fattori di correzione necessari per tradurre la pressione atmosferica in pressione barometrica sul livello del mare. Poiché la pressione barometrica cambia anche in funzione delle condizioni meteo locali, diventa utile strumento per le previsioni meteorologiche: alta pressione è generalmente associata a bel tempo, mentre bassa pressione è generalmente associata a tempo cattivo. In generale si preferisce analizzare il trend della pressione barometrica: pressione in aumento indica il miglioramento delle condizioni meteorologiche, mentre caduta di pressione indica un peggioramento delle stesse. La formula seguente ci restituisce la pressione atmosferica riportata a livello del mare.

$^1PSL = PS * (R)$ , dove:

- PSL è la pressione a livello del mare,
- PS è la lettura non corretta rilevata dal barometro della stazione
- R è il rapporto di riduzione, che viene determinato come segue:

$$R = 10^{[Z/(122.8943111*(T + 460 + L + C))]}.$$

Dove,

Z è l'altitudine del sito

T è la media tra l'attuale temperatura esterna e la temperatura delle precedenti 12 ore,

L è il gradiente tipico, o diminuzione della temperatura con altezza (della "colonna fittizia d'aria"), calcolato  $L = 11 Z/8000$ ,  
C dipende dal punto di rugiada e dall'altitudine della stazione.

Di seguito la scheda tecnica.

Resolution and Units .....	0.01° Hg, 0.1 mm Hg, 0.1 hPa/mb (user-selectable)
Range .....	16.00" to 32.50" Hg, 410 to 820 mm Hg, 540 to 1100 hPa/mb
Elevation Range .....	-999' to +15,000' (-600 m to 4570 m) (Note that console screen limits entry of lower elevation to -999' when using feet as elevation unit.)
Uncorrected Reading Accuracy .....	±0.03° Hg (±0.8 mm Hg, ±1.0 hPa/mb) (at room temperature)
Sea-Level Reduction Equation Used .....	United States Method employed prior to use of current "R Factor"
	method
Equation Source .....	Smithsonian Meteorological Tables
Equation Accuracy .....	±0.01° Hg (±0.3 mm Hg, ±0.3 hPa/mb)
Elevation Accuracy Required .....	±10' (3m) to meet equation accuracy specification
Overall Accuracy .....	±0.03° Hg (±0.8 mm Hg, ±1.0 hPa/mb)
Trend (change in 3 hours) .....	Change 0.06" (2 hPa/mb, 1.5 mm Hg) = Rapidly Change 0.02" (.7hPa/mb, .5 mm Hg) = Slowly
Trend Indication .....	5 position arrow: Rising (rapidly or slowly), Steady, or Falling (rapidly or slowly)
Update Interval .....	1 minute or when console BAR key is pressed twice
Current Display Data .....	Instant
Current Graph Data .....	Instant, 15-min., and Hourly Reading; Daily, Monthly, High and Low
Historical Graph Data .....	15-min. and Hourly Reading; Daily, Monthly Highs and Lows
Alarms .....	High Threshold from Current Trend for Storm Clearing (Rising Trend) Low Threshold from Current Trend for Storm Warning (Falling Trend)
Range for Rising and Falling Trend Alarms .....	0.01 to 0.25° Hg (0.1 to 6.4 mm Hg, 0.1 to 8.5 hPa/mb)

**Punto di rugiada.** Tramite i sensori a bordo la stazione meteorologica permette l'acquisizione diretta della temperatura e umidità dell'area esterna calcolando da questi la temperatura del punto di rugiada.

<sup>1</sup> "Smithsonian Meteorological Tables". Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 4th Ed.1968.

"Federal Standard Algorithms for Automated Weather Observing Systems used for Aviation Purposes". Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research, Washington, DC, 1988

Il punto di rugiada è la temperatura alla quale occorre raffreddare l'aria affinché saturi il vapore in essa contenuta. È un parametro importante per prevedere la formazione di rugiada, brina e nebbia. Per esempio, in giornate fredde, nelle ore dopo il tramonto, quando il valore del punto di rugiada e della temperatura sono vicini tra loro è molto probabile la formazione di nebbia durante la notte. Il punto di rugiada è anche un buon indicatore del contenuto di vapore acqueo effettivo dell'aria, a differenza di umidità relativa, che prende come riferimento la temperatura dell'aria. Un alto valore del punto di rugiada indica elevato contenuto di vapore con la maggiore possibilità di pioggia e forti temporali e, all'opposto, basso valore del punto di rugiada indica basso contenuto di vapore. Per calcolare il punto di rugiada si può usare la formula semplificata di Goff&Gratch, usata dal World Meteorological Organization per la saturazione del contenuto di vapore nell'aria.

$^2T_d = (243.12 * (\ln A) - 440.) / (19.43 - \ln A)$ , dove:

$$- A = RH * 0.01 * 6.112 * \exp [(17.62 * T) / (T + 243.12)]$$

e dove:

- T è la temperatura dell'aria in °C;
- RH è l'umidità relativa.

**Evapotraspirazione.** Nella sezione precipitazioni è prevista la registrazione del totale giornaliero, mensile e annuale oltre l'evapotraspirazione (ET). Consiste nella quantità d'acqua (riferita all'unità di tempo) che dal terreno passa nell'aria allo stato di vapore per effetto congiunto della traspirazione, attraverso le piante, e dell'evaporazione, direttamente dal terreno. L'evapotraspirazione è una variabile o grandezza fisica usata in agrometeorologia importante per i monitoraggi tecnici della crescita delle piante e l'utilizzo di acqua per l'irrigazione. Il concetto ingloba due processi nettamente differenti, in quanto l'evaporazione esulerebbe a rigore dalla coltura, tuttavia non è possibile attualmente scorporare i due fenomeni e trattarli distintamente in modo attendibile. D'altra parte ai fini pratici interessa il consumo effettivo sia per evaporazione sia per traspirazione.

L'unità di misura è il mm (millimetro), inteso come altezza della massa d'acqua evaporata e traspirata, in tal modo, essendo un fenomeno climatico inverso a quello delle precipitazioni, per convenzione si usa il millimetro in modo da rendere la grandezza direttamente

comparabile con le precipitazioni. In ogni modo, tenuto conto che una massa liquida di 1 mm d'altezza, che si estende su una superficie di 1 ha occupa il volume di 10 m<sup>3</sup>, 1 mm di evapotraspirazione equivale ad un consumo di 10 m<sup>3</sup>/ha.

Questa variabile agrometeorologica torna utile sia come indice dei consumi idrici delle colture e, quindi, per la gestione razionalizzata dell'acqua irrigua, sia per la comparazione del potere evaporante dell'atmosfera in ambienti fisicamente diversi tra loro oppure nello stesso ambiente ma in periodi differenti oppure, altresì, nello stesso ambiente con colture differenti. E ancora può tornare utile per valutare la vocazione di un appezzamento di terreno ad ospitare una determinata coltura.

L'evapotraspirazione è la risultante del concorso di più fattori dipendenti dalla natura del terreno, dal clima, dalla specie agraria, dalla tecnica colturale. Questi fattori non possono essere considerati distintamente in quanto l'evapotraspirazione è la risultante complessa delle loro interrelazioni.

Per stabilire l'evapotraspirazione potenziale nelle varie parti del Mondo la FAO ha stabilito un ET standard di riferimento, ovvero ET<sub>0</sub>. La coltura di riferimento è il prato di Festuca arundinacea. L'adozione di queste condizioni standard fa in modo che l'evapotraspirazione dipenda esclusivamente dal potere evaporante dell'atmosfera in quanto tutti gli altri fattori sono stati normalizzati.

L'algoritmo calcola ET<sub>0</sub> utilizzando i dati archiviati di temperatura media, umidità, velocità del vento, radiazione solare e la pressione atmosferica finale. Inoltre, utilizza la latitudine, longitudine, e impostazioni di fuso orario impostati al momento della installazione e configurazione della stazione.

Le variabili che entrano a far parte del calcolo di ET<sub>0</sub> sono:

- T temperatura media dell'aria
- U velocità media del vento
- R<sub>n</sub> radiazione solare
- H umidità relativa
- P pressione atmosferica

Il calcolo di ET<sub>0</sub> si esegue tramite la formula:

$$^3 ET_0 = W * \frac{R_n}{\lambda} + (1 - W) * (e_a - e_d) * F$$

<sup>2</sup> "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation". World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 6th Ed. 1996. "Smithsonian Meteorological Tables". Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 4th Ed. 1968.

<sup>3</sup> General reference on ET

Jensen, M. E., Burman, R. D., Allen, R. G., Editors (1990) "Evapotranspiration and irrigation water requirements." ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 70.

Paper describing CIMIS' equations and methodology:

Snyder, R. L., Pruitt, W. O. (1992). "Evapotranspiration Data Management in California" Irrigation&Drainage Session Proceedings/Water Forum '92 EE, HY, IR, WR, div/ASCE

Paper describing net radiation:

in cui:

W = fattore di ponderazione che esprime il contributo relativo della componente radiazione

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma};$$

$$\Delta = \frac{e_a}{T_K} * \left( \frac{6790.4985}{T_K} - 5.02808 \right)$$

con  $T_K$  temperatura dell'aria in gradi °K

$\gamma$  = psychometric constant

$$\gamma = 0.000646 * (1 + 0.000946 * T_C) * P_kPa;$$

con  $T_C$  temperatura dell'aria in gradi °C

$\lambda$  = calore latente di vaporizzazione

$$\lambda = 694.5 * (1 - 0.000946 * T_C);$$

$R_n$  = radiazione solare media

$e_a$  pressione del vapore acqueo saturo, in kPa

$$e_a = 0.6108 * e^{\left( \frac{17.27 * T_C}{T_C + 237.3} \right)}$$

$e_d$  = vapore acqueo effettivamente presente

$$e_d = e_a * \frac{H}{100}$$

F = funzione del vento che indica il contributo dell'energia eolica a ET. Ci sono

due funzioni, una per giorno (radiazione > 0) e una per la notte.

$$R_n > 0 \quad F_d = 0.030 + 0.0576 * U_{m/s}$$

$$R_n = 0 \quad F_n = 0.125 + 0.0439 * U_{m/s}$$

Possono riscontrarsi differenze dei valori di ET<sub>0</sub> mostrati dalle stazioni installate con altre fonti a causa delle differenti misure dei sensori e dei valori di radiazione netta calcolata.

**Wind Chill.** Il Wind Chill è un indice che misura la temperatura che percepiamo sulla pelle per effetto del vento. Esprime, infatti, la capacità di togliere calore al corpo umano, perciò è una misura del tasso di calore perso dal corpo. La ventilazione rende più rapida l'evaporazione e, a sua volta, l'evaporazione è un

processo che assorbe calore (al contrario della condensazione).

Per un essere umano sono diversi i fattori che influenzano la sensibilità alla temperatura: età, corporatura, stato di salute, ecc. Tuttavia, per il meccanismo "intrinseco" appena spiegato, a differenza degli indici di calore questo indice descrive davvero la reale temperatura avvertita dal corpo in funzione della temperatura dell'aria e della velocità del vento. Il vento, accrescendo l'evaporazione, aumenta, di conseguenza, l'asportazione di calore corporeo e, alla presenza di basse temperature, crea condizioni di forte disagio da freddo.

Per il calcolo è impiegata un'equazione empirica che tiene conto della temperatura dell'aria e della velocità del vento secondo la "formula di Osczevski e Bluestein" rappresentata mediante la seguente equazione:

$${}^4WC = (13.12 + 0.6215 * T_a) - (11.37 * v^{0.16}) + (0.3965 * T_a * v^{0.16})$$

Qui la temperatura  $T_a$  è espressa in °C, mentre la velocità del vento  $v$  è espressa in km/h.

Quando vi sono condizioni di calma di vento e le temperature si aggirano su valori relativamente bassi, cioè intorno a 0°C, situazioni abbastanza frequenti nelle regioni italiane durante i mesi invernali, anche l'umidità gioca un ruolo molto importante sullo stato di benessere dell'uomo poiché produce un sottilissimo velo d'acqua sull'epidermide. La cute, essendo più calda, provoca l'evaporazione di questa pellicola d'acqua con un considerevole aumento del disagio da freddo. Tuttavia tale disagio non può essere valutato tramite questa equazione poiché essa è valida solo per velocità del vento superiori o uguali a 4.68 km/h.

I valori di windchill sono da interpretare secondo la seguente tabella:

Wind chill	Disagio
Da 4 a -6°C	<b>FREDDO</b> , impressione sgradevole;
Da -7°C a -17°C	<b>MOLTO FREDDO</b> , impressione molto sgradevole;
Da -18°C a -28°C	<b>GELIDO</b> , congelamento possibile. La pelle esposta può gelare in 5 minuti. Evitare l'attività all'aperto;
Da -29°C a -56°C	<b>ESTREMAMENTE FREDDO</b> , congelamento probabile. La pelle esposta può gelare in un minuto. L'attività all'aperto è pericolosa;
Oltre -56°C	<b>GELATO</b> , congelamento sicuro. La pelle esposta può gelare in 30 secondi.

Dong, A, Grattan, S. R., Carroll, J. J., Prashar, C. R. K. (1992). "Estimation of net radiation overwell-wateredgrass." J. of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 118, No. 3 ASCE  
 4 "Media Guide to NWS Products and Services", National Weather Service Forecast Office, Monterey, CA, 1995.  
 Steadman, R.G., 1979: The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. Journal of Applied Meteorology, July 1979



In basso la windchill chart così come riportato dal National Weather Service del National Oceanic and Atmospheric Administration in cui in ascisse vi sono le temperature in gradi °F e in ordinate la velocità del vento in mph.



		Temperature (°F)																		
		40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	
Wind (mph)	Calm	5	36	31	25	19	13	7	1	-5	-11	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-57	-63
	5	10	34	27	21	15	9	3	-4	-10	-16	-22	-28	-35	-41	-47	-53	-59	-66	-72
	10	15	32	25	19	13	6	0	-7	-13	-19	-26	-32	-39	-45	-51	-58	-64	-71	-77
	15	20	30	24	17	11	4	-2	-9	-15	-22	-29	-35	-42	-48	-55	-61	-68	-74	-81
	20	25	29	23	16	9	3	-4	-11	-17	-24	-31	-37	-44	-51	-58	-64	-71	-78	-84
	25	30	28	22	15	8	1	-5	-12	-19	-26	-33	-39	-46	-53	-60	-67	-73	-80	-87
	30	35	28	21	14	7	0	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	-82	-89
	35	40	27	20	13	6	-1	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78	-84	-91
	40	45	26	19	12	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79	-86	-93
	45	50	26	19	12	4	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81	-88	-95
	50	55	25	18	11	4	-3	-11	-18	-25	-32	-39	-46	-54	-61	-68	-75	-82	-89	-97
	55	60	25	17	10	3	-4	-11	-19	-26	-33	-40	-48	-55	-62	-69	-76	-84	-91	-98

Frostbite Times: 30 minutes (blue), 10 minutes (purple), 5 minutes (red)

Wind Chill =  $35.74 + 0.6215T - 35.75(V^{0.16}) + 0.4275T(V^{0.16})$   
 Where, T = Air Temperature (°F) V = Wind Speed (mph) Effective 11/01/01

Di seguito la scheda tecnica

Wind Chill (Calculated)	
Resolution and Units	1°F or 1°C (user-selectable)
Range	-110° to +135°F (-79° to +57°C)
Accuracy	±2°F (±1°C) (typical)
Update Interval	10 to 12 seconds
Source	United States National Weather Service (NWS)/NOAA
Equation Used	Osczeski (1995) (adopted by US NWS in 2001)
Variables Used	Instant Outside Temperature and 10-min. Avg. Wind Speed
Current Display Data	Instant Calculation
Current Graph Data	Instant Calculation; Hourly, Daily and Monthly Low
Historical Graph Data	Hourly, Daily and Monthly Lows
Alarm	Low Threshold from Instant Calculation

**Indice di calore.** L'Indice di Calore, chiamato anche "Heat Index" (HI) o "Apparent Temperature" (AT), è un indice biometeorologico calcolato in gradi Fahrenheit (°F) per stimare, come altri indici, il disagio fisiologico causato dalla presenza di alte temperature ed elevati tassi di umidità. Tanto più è alta l'umidità (relativa) tanto più l'organismo ha difficoltà nello smaltire il calore (perché è più difficoltosa l'evaporazione del sudore). Lo strato d'acqua che rimane sulla pelle ostruisce i pori e forma una specie di isolamento tra il corpo e l'ambiente e si può arrivare, nei casi più estremi, al colpo di calore.

$${}^5HI = -42.379 + (2.04901523 * T_a) + (10.14333127 * RH) - (0.22475541 * T_a * RH) - (0.00683783 * T_a^2) - (0.05481717 * RH^2) + (0.00122874 * T_a^2 * RH) + (0.00085282 * T_a * RH^2) - (0.00000199 * T_a^2 * RH^2)$$

Dove T<sub>a</sub> = temperatura dell'aria (°F) e UR = umidità relativa espressa in percentuale (%). I coefficienti numerici sono stati ottenuti da ulteriori calcoli che tengono conto di: pressione di vapore, velocità effettiva del vento, dimensioni di un uomo, temperatura interna del corpo, tasso di sudorazione.

La formula usa la temperatura in °F con un intervallo di applicabilità dell'Indice di Calore, valido solo per temperature >= 80 °F (27°C) ed umidità relativa >=

40%, senza tener conto della radiazione solare diretta, né del vento. Di solito si percepisce una gradevole sensazione in presenza di un vento leggero, ma non sempre si ha un effetto positivo. Per esempio d'estate i venti "migliori" sono quelli caldi e secchi piuttosto che caldi e umidi. Alcuni studi hanno mostrato un effetto benefico del vento fino a 33°C; oltre i 34°C, invece, la presenza del vento aumenta la sensazione di malessere.

Inoltre, con temperature > 42°C, non importa più il valore dell'umidità relativa: l'indice fornirà comunque una condizione di "elevato pericolo".

In basso la tabella di Heat index così come riportato dal National Weather Service del National Oceanic and Atmospheric Administration in cui nelle colonne sono riportati i valori di umidità e nelle righe vi sono le temperature in gradi °F. Valori di Heat index superiori a 105°F (41°C) possono risultare pericolosi.

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
125°	123	131	141												
120°	116	123	130	139	148										
115°	111	115	120	127	135	143	151								
110°	105	108	112	117	123	130	137	143	150						
105°	100	102	105	109	113	118	123	129	135	142	149				
100°	95	97	99	101	104	107	110	115	120	126	132	138	144		
95°	90	91	93	94	96	98	101	104	107	110	114	119	124	130	136
90°	85	86	87	88	90	91	93	95	96	98	100	102	106	109	113
85°	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	93	95	97
80°	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	83	85	86	86
75°	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78

Di seguito la scheda tecnica

Heat Index (calculated)	
Resolution and Units	1°F or 1°C (user-selectable) °C is converted from °F rounded to nearest 1°C
Range	-40° to +165°F (-40° to +74°C)
Accuracy	±3°F (±1.5°C) (typical)
Update Interval	10 to 12 seconds
Source	United States National Weather Service (NWS)/NOAA
Formulation Used	Steadman (1979) modified by US NWS/NOAA and Davis Instruments to increase range of use
Variables Used	Instant Outside Temperature and Instant Outside Relative Humidity
Current Display Data	Instant Calculation
Current Graph Data	Instant Calculation; Daily, Monthly High
Historical Graph Data	Hourly Calculations; Daily, Monthly Highs
Alarm	High Threshold from Instant Calculation

## 5. Installazione della stazione

Di seguito sono descritte le operazioni di installazione eseguite su campo.

La scelta del punto di installazione è stata la prima criticità da superare. Anche se il sistema si presenta versatile e flessibile nel posizionamento dell'unità di base, tuttavia è stato utile considerare attentamente alcuni vincoli per raggiungere un funzionamento ottimale del sistema.

L'alimentazione con pannello fotovoltaico ha previsto l'orientamento verso sud-est dello stesso e un angolo di tilt in modo da assicurare un irraggiamento diretto per almeno 2 ore al giorno.

<sup>5</sup> Steadman, R.G., 1979: The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. Journal of Applied Meteorology, July 1979  
 "Media Guide to NWS Products and Services", National Weather Service Forecast Office, Monterey, CA, 1995.  
 Quayle, R.G. and Steadman, R.G., 1998: The Steadman Wind Chill: An Improvement over Present Scales. Weather and Forecasting, December 1998

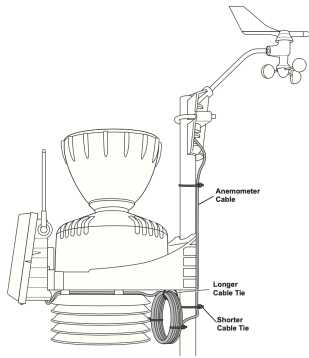


Figura 14

Il punto scelto è un compromesso tra esigenze di misura e limitazioni del sito. Il palo di sostegno lo si è posizionato in un vertice del container che ospita una delle due cellule per la vita. Fissato il palo anemometrico, si sono quindi collegate le coppe eoliche, spingendole sull'albero in acciaio inossidabile dell'anemometro, usando la chiave a brugola fornita per stringere saldamente la vite di fissaggio sul lato delle coppe eoliche. L'anemometro è stato orientato a NORD e fissato sul semi-palo verticale.

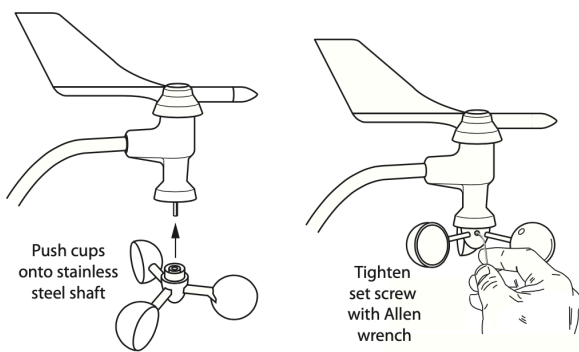


Figura 15

Controllati i collegamenti dell'interfaccia del sensore si è poi collegato il cavo dell'anemometro. I cavi del collettore di pioggia, del sensore di temperatura/umidità e del sensore di radiazione solare sono stati collegati alle prese etichettate rispettivamente RAIN, TEMP/HUM e SUN.

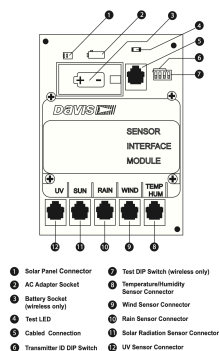


Figura 16

La bolla di livello sul sensore di radiazione solare ci ha permesso di verificare che il sensore sia a livello come in figura.

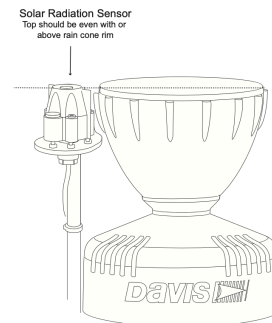


Figura 17

Il pluviometro è stato fissato sopra una estremità della staffa orizzontale, non prima aver rimosso i fermi delle vaschette oscillanti, come mostrato in figura.

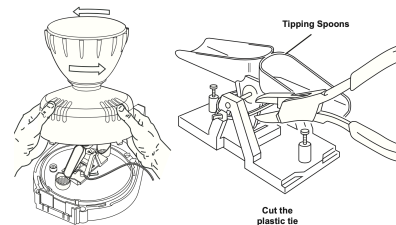


Figura 18

Il sensore di temperatura e umidità dell'aria con Solar Shield, già dotato di piastra di fissaggio, è stato assicurato al palo orizzontale.

Il sensore di bagnatura fogliare è stato fissato con le due viti a testa esagonale alla staffa di montaggio in dotazione che mantiene il sensore con un'angolazione di 45° per simulare la posizione tipica delle foglie e consentire il deflusso dell'umidità in eccesso.

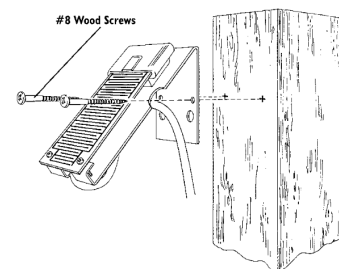


Figura 19

Verificata la captazione solare del pannello fotovoltaico esposto a SUD, considerato l'emisfero boreale e in modo da formare l'angolo di tilt ottimale rispetto al terreno per avere maggiore irraggiamento, è stata data alimentazione inserendo le estremità del cavo 4-conduttori nella presa modulare etichettata COMM e, quindi, verificata la comunicazione tra sensori e unità principale.

## 6. Configurazione e fruizione dati

Terminate le operazioni preliminari sui componenti la stazione si è configurato il sistema di acquisizione meteobridge. Collaudato prima in rete ethernet presso la sede dell'Istituto del CNR, è stato eseguito un reset di fabbrica per la configurazione a campo. Il tasto reset sullo strumento serve proprio per l'inserimento sulla rete WiFi in DHCP, rete che permette tutte le trasmissioni internet necessarie. L'access point di riferimento è denominato MB-C49300100C19 e si entra nel menù configurazione con l'indirizzo IP di default che è @192.168.1.1. Con ID e password si entra nel menu principale di configurazione mostrato in figura.

Figura 20

Nella pagina Network si è scelto il tipo connessione LAN e IP statico 192.168.1.111, con i corrispondenti gateway e DNS.

La pagina Station si è configurata con il set corrispondente ai componenti hardware impiegati nella stazione.

Figura 21

Mentre alla pagina Sistema, informazioni è possibile accedere alle informazioni tecniche del meteobridge (IP, MAC, ecc.).

Figura 22

I dati grezzi e i dati min-max sono presentati nella sezione Dati real-time mostrati nelle due figure sotto.

# Sensor	Signal	Metric Data	Imperial Data
0 Outdoor	14s -69db	20.3°C 65% (dew 13.5°C, heat 20.3°C)	68.5°F 65% (dew 56.3°F, heat 68.5°F)
0 Wind	1s -69db	0.9m/s (avg 1.0m/s) 344° NNW	2.0mph (avg 2.2mph) 344° NNW
0 Soil #13	12s -54db	0.0°C 0cbar	32.0°F 0cbar
0 Leaf #15	9s -57db	16.2°C 0wet	61.2°F 0wet
0 Rain	1s -69db	rate 0.0mm/h	rate 0.0in/h
0 Leaf #16	7s -55db	0.0°C 0wet	32.0°F 0wet
0 Soil #10	4s -56db	16.2°C 2cbar	61.2°F 2cbar
0 Solar	47s -69db	237W/m²	237W/m²
0 Soil #11	1s -55db	0.0°C 0cbar	32.0°F 0cbar
0 Soil #12	14s -54db	0.0°C 0cbar	32.0°F 0cbar
0 Outdoor #3	4s -26db	21.1°C 61% (dew 13.3°C, heat 21.1°C)	70.0°F 61% (dew 55.9°F, heat 70.0°F)
0 Indoor	25s	38.3°C 27% 1068.5hPa (1000.5hPa)	100.9°F 27% 31.55inHg (29.54inHg)
9 Data #10	1 sec	53% system load	53% system load
9 Data #11	1 sec	981.1h uptime	981.1h uptime
9 Data #12	1 sec	4% data store usage	4% data store usage
9 Data #13	1 sec	74% RAM usage	74% RAM usage
9 Data #15	1 sec	52 processes	52 processes
9 Data #16	1 sec	2sec. since last data	2sec. since last data
9 Data #14	1 sec	1.97W power	1.97W power
9 Data #17	1 sec	5.58V voltage	5.58V voltage
9 Data #18	1 sec	0.35A current	0.35A current
9 Data #19	1 sec	2636.7MB tx data	2636.7MB tx data
9 Data #20	1 sec	1294.1MB rx data	1294.1MB rx data
9 System #9	1 sec	45.9°C 18% 1066.1hPa (1000.2hPa)	114.6°F 18% 31.48inHg (29.54inHg)

Figura 23

# Sensor	Now 15.08	Today Thu 18	Month May	Year 2023	All
		min max	min max	min max	min max
0 indoor temperature	38.3°C	32.3°C 39.1°C	32.2°C 49.3°C	10.7°C 49.3°C	10.7°C 59.5°C
0 indoor humidity	27%	26% 35%	18% 37%	2%	1% 100%
0 indoor dew point	16.0°C	13.0°C 18.8°C	10.2°C 22.7°C	-21.0°C 28.7°C	-24.9°C 28.7°C
0 pressure	1000.4mb	999.1mb 1001.9mb	985.5mb 1006.7mb	984.2mb 1017.9mb	984.2mb 1019.6mb
0 sealevel pressure	1068.3mb	1067.1mb 1070.5mb	1052.9mb 1075.7mb	1049.9mb 1088.6mb	991.2mb 1088.6mb
0 system temperature	45.9°C	41.0°C 48.0°C	41.0°C 58.4°C	19.4°C 58.4°C	19.4°C 59.6°C
0 system humidity	18%	17% 21%	12% 23%	10% 72%	10% 72%
0 system dewpoint	15.9°C	12.8°C 18.7°C	10.4°C 22.4°C	6.5°C 27.9°C	6.5°C 28.2°C
0 system pressure	1000.2mb	998.9mb 1001.7mb	985.4mb 1006.5mb	983.9mb 1017.7mb	983.9mb 1019.3mb
0 system sealevel pressure	1066.1mb	1064.8mb 1067.6mb	1051.3mb 1072.4mb	1049.9mb 1083.6mb	990.9mb 1083.6mb
0 outdoor temperature	20.2°C	11.4°C 21.1°C	10.8°C 29.6°C	3.1°C 29.6°C	3.1°C 32.9°C
0 outdoor humidity	65%	62% 93%	35% 97%	19% 98%	19% 98%
0 outdoor dewpoint	13.4°C	9.7°C 14.2°C	6.5°C 17.1°C	-4.5°C 18.1°C	-4.5°C 23.3°C
0 outdoor heatindex	20.2°C	11.4°C 21.1°C	10.8°C 29.6°C	3.1°C 29.6°C	3.1°C 35.3°C
0 extra temperature #1	21.1°C	14.8°C 21.1°C	14.8°C 31.8°C	8.7°C 31.8°C	8.7°C 33.1°C
0 extra humidity #1	61%	61% 83%	36% 94%	29% 98%	29% 98%
0 extra dew point #1	13.3°C	10.3°C 14.6°C	7.7°C 20.4°C	0.6°C 21.3°C	0.6°C 21.6°C
0 ih013heatindex	21.1°C	14.8°C 21.1°C	14.8°C 32.0°C	8.7°C 32.0°C	8.7°C 35.4°C
0 soil temperature #0	16.2°C	15.0°C 16.2°C	14.7°C 19.8°C	6.5°C 23.4°C	6.5°C 32.5°C
0 soil moisture #0	2cbar	2cbar 3cbar	1cbar 50cbar	0cbar 52cbar	0cbar 200cbar
0 soil temperature #1	0.0°C	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C
0 soil moisture #1	0cbar	0cbar 0cbar	0cbar 0cbar	0cbar 0cbar	0cbar 0cbar
0 soil temperature #2	0.0°C	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C
0 soil moisture #2	0cbar	0cbar 0cbar	0cbar 0cbar	0cbar 0cbar	0cbar 0cbar
0 soil temperature #3	0.0°C	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C
0 soil moisture #3	0cbar	0cbar 0cbar	0cbar 0cbar	0cbar 0cbar	0cbar 0cbar
0 leaf temperature #0	16.2°C	15.0°C 16.2°C	14.7°C 19.8°C	6.5°C 23.4°C	6.5°C 32.5°C

Figura 24

Nella sezione grafici è invece possibile ottenere i grafici temporali dei parametri misurati. In basso la figura mostra un esempio di serie storica ricavabile.

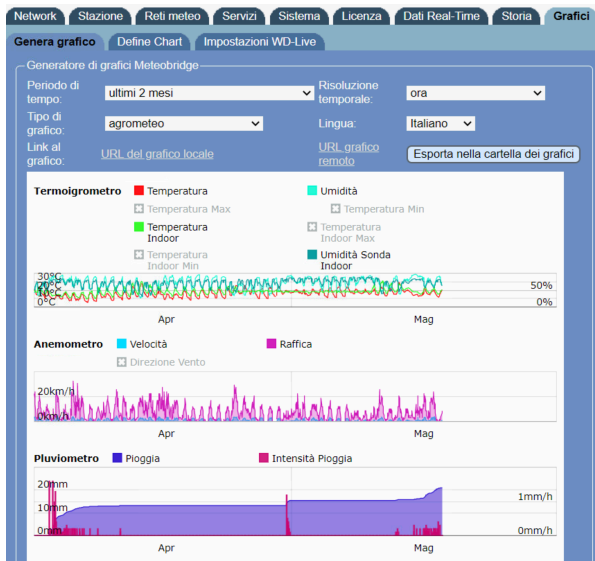


Figura 25

La stessa presentazione grafica è possibile raggiungerla all'indirizzo internet: <http://stazioni4.soluzionimeteo.it/cnrpalermo/grafici.html>.

Gli aggiornamenti sono continuamente introdotti in automatico, senza richiedere alcuna operazione manuale. I dati acquisiti dal sistema possono essere condivisi in modo da diagnosticare eventuali malfunzionamenti ed effettuare operazioni di manutenzione remota.

Tutti i dati storici sono archiviati in modo sicuro su cloud con un back-up continuo. La pagina template presenta i dati aggiornati con refresh ogni 60 secondi e i grafici relativi agli ultimi 2 giorni e 30 giorni. Altresì nell'Area download della stessa è possibile scaricare i dati dei parametri raggruppati mensilmente in formato HTML e in formato CSV.

Queste pagine sono mostrate nelle figure 26, 27, 28 e 29.

**Stazione agrometeo**

Dati aggiornati alle: 15:25 del 18/05/2023

CNR Palermo 38.10N ; 13.31E alt. 560 m

Refresh tra 30 secondi



Figura 26

**Stazione Agrometeo**

CNR Palermo 38.10N ; 13.31E alt. 560 m

Refresh tra 280 secondi

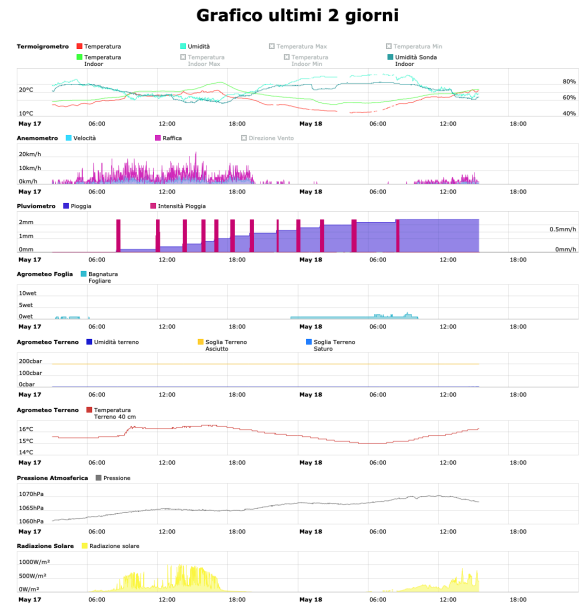


Figura 27

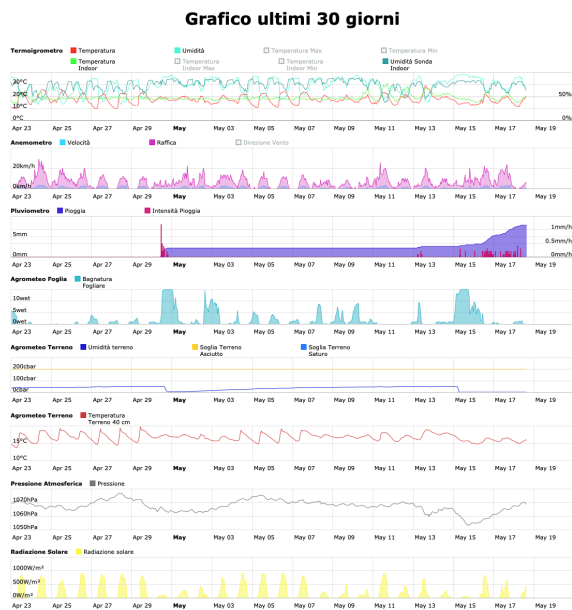


Figura 28

Area Download

export_dati_mensile_052023.csv	<a href="#">Download</a>
grafico_mensile_052023.html	<a href="#">Download</a>
export_dati_mensile_042023.csv	<a href="#">Download</a>
grafico_mensile_042023.html	<a href="#">Download</a>
export_dati_mensile_032023.csv	<a href="#">Download</a>
grafico_mensile_032023.html	<a href="#">Download</a>
export_dati_mensile_022023.csv	<a href="#">Download</a>
grafico_mensile_022023.html	<a href="#">Download</a>
export_dati_mensile_012023.csv	<a href="#">Download</a>
grafico_mensile_012023.html	<a href="#">Download</a>
export_dati_mensile_122022.csv	<a href="#">Download</a>
grafico_mensile_122022.html	<a href="#">Download</a>
export_dati_mensile_112022.csv	<a href="#">Download</a>
grafico_mensile_112022.html	<a href="#">Download</a>

Figura 29

### 7. Conclusioni

L'acquisizione dei dati agrometeorologici rappresenta sempre un punto fondamentale per ogni sperimentazione su campo agricolo. In particolare questa postazione ci darà indicazioni sul microclima interno alle cellule, che da progetto dovrebbe mantenersi stabile in tutte le stagioni e a differenti latitudini, sul microclima locale attraverso i parametri meteo standard e sulle condizioni del terreno attorno la cellula. Questo ultimo dato, insieme agli altri del sistema di monitoraggio aria-acquaponico, sarà utile al confronto della produzione della parte vegetale su suolo con quella idroponica prodotta nella cellula.

### 8. Ringraziamenti

Per questo lavoro si ringrazia il supporto tecnico della società fornitrice Soluzioni Meteo.

### 9. Bibliografia

- Progetto CNR energy+: il network delle stazioni meteo – S. Di Cristofalo – People ID355483/2016
- Derived variables in Davis weather products - Application note n. 28 Davis Instruments

- Steadman, R.G., 1979: The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. Journal of Applied Meteorology, July 1979
- Steadman, R.G., 1979: The Assessment of Sultriness, Part II: Effects of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature. Journal of Applied Meteorology, July 1979.
  - Davis Instruments DS6331\_6332, Rev. A, 3/29/19
  - Davis Instruments DS6345, 6345CS (Rev. C, 1/29/07)
  - Davis Instruments DS6420 (Rev. E, 1/5/07)
  - Davis Instruments DS6440 (Rev. E, 1/5/07)
  - Davis Instruments DS6470 (Rev. F, 1/5/07)
  - Davis Instruments DS6820 (Rev. A, 2/1/17)
  - Davis Instruments Part Number: 07395.267
  - Davis Instruments Document Number: 07395.359 Rev. A(2/11/19)
  - Davis Instruments Part Number: 7395.299
  - Document Part Number: 7395.289 Rev. B (4/13/17)
  - Davis Instruments Part Number: 07395.158C
  - Davis Instruments Part Number: 7395.110

### 10. Sitografia

- <https://www.projetcelavie.eu>
- <http://stazioni4.soluzionimeteo.it/cnrpaler/mo/grafici.html>.
- <https://www.meteobridge.com>
- <https://www.davisinstruments.com>
- <https://www.italietunisie.eu/it/progetti/i-progetti/celavie/>
- <www.facebook.com/ProjetCelavie>
- <www.instagram.com/projetcelavie>
- <www.youtube.com/channel/UCWI6ylchvqFVQ5U9eY4ndBg>



### APPENDICE: ubicazione della stazione agrometeorologica

La stazione agrometeorologica è posta presso il cantiere sperimentale del progetto CELAVIE, dove sono stati collocati i due container che ospitano la cellula per la vita con il sistema acquaponico. Di seguito le coordinate geografiche e alcune foto dell'installazione eseguita.

In figura 30 la vista del cantiere sperimentale cui corrispondono le coordinate geografiche: latitudine  $38^{\circ} 5'45.39''N$  longitudine  $13^{\circ}18'33.13''E$ .



Figura 30

Le foto sottostanti invece sono relative ai componenti costituenti la stazione parte sensori esterni (ISS), quelli di misura parametri sul terreno e la parte di quelle interni.



Figura 31

## Progetto CELAVIE: la stazione agrometeorologica

S. Di Cristofalo\*, e-mail: [salvatore.dicristofalo@cnr.it](mailto:salvatore.dicristofalo@cnr.it)

\* Istituto di Bioscienze e BioRisorse - Consiglio Nazionale delle Ricerche - UOS di Palermo

### Résumé

L'objectif de ce rapport technique est de présenter la station agrométéorologique mise en place dans le cadre du projet CELAVIE, un programme de coopération transfrontalière Italie-Tunisie, située dans le centre d'expérimentation "Cellule pour la vie". La station acquiert des données utiles à l'étude de l'environnement extérieur, du terrain environnant et de l'environnement à l'intérieur de la cellule.

Outre quelques informations techniques sur l'instrumentation et les coordonnées géographiques, la configuration choisie, les caractéristiques des capteurs des grandeurs mesurées et les paramètres qui en découlent sont décrits.





## SOMMAIRE

Résumé

- 1. Avant-propos**
- 2. Introduction**
- 3. Caractéristiques de la station agrométéorologique**
  - 3.1. Anémomètre
  - 3.2. Pluviomètre
  - 3.3. Température et humidité de l'air dans un écran solaire passif
  - 3.4. Humidité des feuilles
  - 3.5. Humidité du sol
  - 3.6. Température du sol
  - 3.7. Pyranomètre
  - 3.8. Unité sans fil de mesure de l'humidité et de la température des feuilles et du sol
  - 3.9. Enregistreur de données Meteobridge
- 4. Paramètres agrométéorologiques dérivés**
  - 4.1. pression barométrique
  - 4.2. point de rosée
  - 4.3. évapotranspiration (ET)
  - 4.4. refroidissement éolien
  - 4.5. indice de chaleur
- 5. Installation de la station**
- 6. Configuration et récupération des données**
- 7. Conclusions**
- 8. Remerciements**
- 9. Bibliographie**
- 10. Sitographie**

**ANNEXE : Localisation de la station agrométéorologique**

## 1. Avant-propos

Le projet CELAVIE fait partie du programme de coopération transfrontalière Italie-Tunisie.

L'objectif principal du projet CELAVIE est de créer un réseau durable de collaboration entre les organismes de recherche opérant en Sicile et en Tunisie.

Le projet comprenait la construction d'une usine, une cellule de vie, composée de deux systèmes de production intégrés, afin de combiner la reproduction d'espèces animales aquatiques et de plantes, l'optimisation des ressources en eau et la réutilisation des métabolites produits par les animaux pour fournir des nutriments aux plantes.

Le projet réunit 4 instituts de recherche et d'innovation pour la fabrication d'unités expérimentales de production de semis et d'alevins et implique 6 autres organismes de soutien à l'investissement (associations patronales, ONG, société civile) qui bénéficieront du soutien du programme pour promouvoir le produit de cette coopération auprès des entreprises.

## 2. Introduction

La pression croissante exercée par le changement climatique, l'urbanisation, l'industrialisation et la croissance démographique pose de nouveaux défis majeurs au secteur agricole. Pour limiter les pertes d'eau et l'utilisation intensive des terres, la recherche expérimente des systèmes de production alternatifs, dont l'aquaponie s'avère être l'un des plus prometteurs.

L'aquaponie est un système de production à structure circulaire qui combine l'élevage de poissons et la production de cultures agricoles en surface. L'élément de liaison entre les deux systèmes est l'eau qui, après avoir été utilisée pour la pisciculture, est recyclée comme solution nutritive pour la culture d'espèces horticoles en hydroponie. La symbiose entre les deux systèmes est également bénéfique pour l'environnement, car elle permet de réduire la quantité d'eaux usées rejetées dans la nature ainsi que l'utilisation de produits chimiques pour la nutrition des plantes.

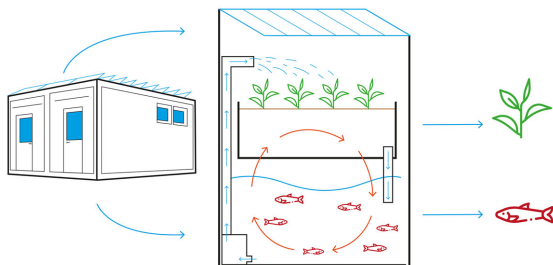


Figure 1

## 3. Caractéristiques des stations agrométéorologiques

Le système expérimental a été complété par un système de surveillance pour l'acquisition de paramètres chimiques et physiques de l'environnement air-eau intérieur et de l'environnement extérieur.

Pour ce faire, une station agrométéorologique a été installée, qui sera présentée dans ce rapport technique.

Le choix s'est porté sur la station modèle Vantage de la société Davis. A l'extérieur, le bloc de capteurs intégré, relié à la console intérieure par voie hertzienne, comprend :

- Anémomètre
- Pluviomètre
- Thermo-hygromètre (dans le bouclier solaire passif)
- Rayonnement solaire
- E- Capteur de mouillage des feuilles
- Température et humidité du sol

Les capteurs à l'intérieur de la cellule sont :

- Température et humidité
- Pression atmosphérique

La station est sans fil et comprend une suite de capteurs intégrée (ISS) qui héberge et gère le réseau de capteurs externes. L'ISS sans fil communique par l'intermédiaire d'un émetteur et d'un récepteur FHSS (saut de fréquence à spectre étalé) certifiés par la FCC et sans licence. Les codes d'identification des émetteurs ont été sélectionnés de manière appropriée afin d'éviter tout conflit d'adresse avec d'autres stations situées dans la même zone géographique. La technologie de saut de fréquence à spectre étalé garantit une plus grande force de communication sur de plus longues distances et dans des zones où la réception est plus faible. L'ISS comprend également un capteur de rayonnement solaire qui permet de calculer avec précision l'évapotranspiration.

La figure 2 montre le bloc capteur intégré (ISS).



Figure 2

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

## General

Operating Temperature	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Non-operating Temperature	-40° to +150°F (-40° to +70°C)
Wireless	
Current Draw (ISS SIM only)	0.14 mA (average), 30 mA (peak) at 4 to 6 VDC
Solar Power Panel	0.5 Watts (ISS SIM)
Battery (ISS SIM)	CR-123 3-Volt Lithium cell
Battery Life (3-Volt Lithium cell)	8 months without sunlight - greater than 2 years depending on solar charging
Cabled	
Current Draw (ISS SIM only)	5 mA (average) at 4 to 6 VDC
Connectors, Sensor	Modular RJ-11
Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Cable Length, Anemometer	40 feet (12 m) (included) 240 feet (73 m) (maximum recommended)

Note: Maximum displayable wind decreases as the length of cable increases. At 140' (42 m) of cable, the maximum wind speed displayed is 135 mph (60 m/s); at 240' (73 m), the maximum wind speed displayed is 100 mph (34 m/s).

Wind Speed Sensor	Solid state magnetic sensor
Wind Direction Sensor	Wind vane with potentiometer
Rain Collector Type	Tipping bucket, 0.01" per tip (0.2 mm with metric rain adapter), 33.2 in <sup>2</sup> (214 cm <sup>2</sup> ) collection area
Temperature Sensor Type	PN Junction Silicon Diode
Relative Humidity Sensor Type	Film capacitor element
Housing Material	UV-resistant ABS
ISS Dimensions (not including anemometer or bird spikes)	14.3" x 9.7" x 14.5" (363 mm x 246 mm x 368 mm)

## Sensors

### Relative Humidity (Outside)

Resolution	1%
Range	0 to 100% RH
Accuracy	±2%
Drift	<0.25% per year

### Rainfall

Resolution	0.01" or 0.2 mm (user-selectable) (1 mm at totals > 2000 mm)
Daily/Storm Rainfall Range	0 to 99.99" (0 to 999.8 mm)
Monthly/Yearly/Total Rainfall Range	0 to 199.99" (0 to 6553 mm)
Accuracy	±1% for rain rates up to 4"/hr (100 mm/hr); ±4% of total or ± one tip of the bucket (0.01"/0.2mm), whichever is greater.
Update Interval	20 to 24 seconds

### Rain Rate

Resolution and Units	0.01" or 0.1 mm (user-selectable) at typical rates (see Fig. 2 and 3)
Range	0 to 0.04"/hr (1 mm/hr) to 96"/hr (0 to 2438 mm/hr)
Accuracy	±5% for rates less than 5" per hour (127 mm/hr)
Update Interval	20 to 24 seconds

### Solar Radiation

Resolution and Units	1 W/m <sup>2</sup>
Range	0 to 1800 W/m <sup>2</sup>
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Eppley PSP at 1000 W/m <sup>2</sup> )
Drift	up to ±2% per year
Cosine Response	±3% for angle of incidence from 0° to 75°
Temperature Coefficient	-0.067% per °F (-0.12% per °C); reference temperature = 77°F (25 °C)
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)

### Temperature (Outside)

Resolution	0.1°F or 1°F or 0.1°C or 1°C nominal
Range	°C is converted from "F" rounded to the nearest 1°C -40° to +150°F (-40° to +65°C)
Sensor Accuracy	±0.5°F (±0.3°C) See Fig. 1
Radiation Induced Error (Passive Shield)	±4°F (2°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed < 2 mph (1 m/s) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Radiation Induced Error (Fan-Aspirated Shield)	±0.6°F (0.3°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed < 2 mph (1 m/s) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Update Interval	10 to 12 seconds

### Wind

Wind Direction	
Range	0 - 360°
Display Resolution	16 points (22.5°) on compass rose, 1° in numeric display
Accuracy	±3°
Update Interval	2.5 to 3 seconds
Wind Speed	
Resolution and Units	1 mph, 1 km/h, 0.4 m/s, or 1 knot (user-selectable). Measured in mph, other units are converted from mph and rounded to nearest 1 km/hr, 0.1 m/s, or 1 knot.
Range	0 to 200 mph, 0 to 173 knots, 0 to 89 m/s, 0 to 322 km/h
Update Interval	Instant Reading: 2.5 to 3 seconds, 10-minute Average: 1 minute
Accuracy	±1 mph (1 kts, 1.5 km/h, 0.5 m/s) or ±5%, whichever is greater
Maximum Cable Length	240 feet (73 m) (See note on page 1)

## Wireless Communications (wireless versions only)

Transmit/Receive Frequency	
US Models	902 - 928 MHz FHSS
EU Models	868.0 - 868.6 MHz FHSS
Japan Models	928.15 - 929.65 MHz FHSS
NZ Models	921 - 928 MHz FHSS
India Models	865.0 - 867.0 MHz FHSS
ID Codes Available	8
Output Power	
US Models	902 - 928 MHz FHSS: FCC-certified low power, less than 8 mW, no license required
EU Models	868.0 - 868.6 MHz FHSS: CE-certified, less than 8 mW, no license required.
Japan Models	928.15 - 929.65 MHz FHSS, less than 1 mW, no license required.
NZ Models	921 - 928 MHz FHSS, less than 10mW, no license required.
India Models	865.0 - 867.0 MHz, less than 10mW, no license required.
Range: All models except Japan	
Line of Sight	up to 1000 feet (300 m)
Through Walls	200 to 400 feet (60 to 120 m)
Range: Japan models	
Line of Sight	up to 300 feet (100 m)
Through Walls	50 to 200 feet (15 to 60m)
Sensor Inputs	
RF Filtering	RC low-pass filter on each signal line

## Sensor Charts

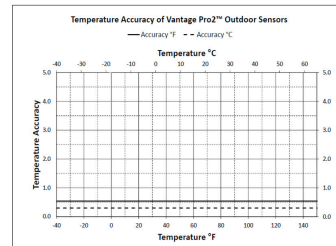


Figure 1: Temperature Accuracy of GroWeather Sensor

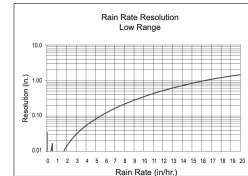


Figure 2: Low Range Rain Rate Resolution

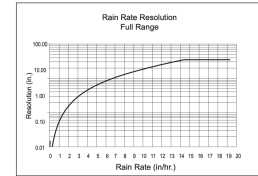


Figure 3: Full Range Rain Rate Resolution

**Anémomètre.** L'anémomètre utilisé se compose d'un aimant à semi-conducteurs tournant sur des roulements étanches, tandis qu'une girouette à potentiomètre est utilisée pour la direction, équipée de trois coupelles et d'une girouette à pointe en laiton pour une mesure plus précise de la direction. Les composants sont robustes, résistants aux vents violents, mais en même temps sensibles aux brises légères.

La girouette mesure la direction du vent en divisant la rose des vents en 16 parties (22,5°). La mesure de la vitesse a une résolution de 0,1 m/s avec une plage de fonctionnement de 0,5 à 89 m/s, comme le montre la figure 3.



Figure 3

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

Wind Direction	
Range	0 - 360°
Display Resolution	16 points (22.5°) on compass rose, 1° in numeric display
Accuracy	±3°
Update Interval	2.5 to 3 seconds
Current Graph Data	Instant Reading (user adjustable); 10-min. Dominant; Hourly, Daily, Monthly Dominant
Historical Graph Data	Past 6 10-min. Dominants on compass rose only; Hourly, Daily, Monthly Dominants
Wind Speed	
Resolution and Units	1 mph, 1 km/h, 0.5 m/s, or 1 knot (user-selectable) Measured in mph; other units are converted from mph and rounded to nearest 1 km/hr, 0.1 m/s, or 1 knot.
Range	2 to 180 mph, 2 to 156 knots, 1 to 80 m/s, 3 to 290 km/h
Update Interval	Instant Reading: 2.5 to 3 seconds, 10-minute Average: 1 minute
Accuracy	±2 mph (2 kts, 3 km/h, 1 m/s) or ±5%, whichever is greater
Maximum Cable Length	540' (165 m) (Note that maximum wind speed reading decreases as length of cable from anemometer to ISS increases.)
Current Display Data	Instant
Current Graph Data	Instant Reading; 10-minute and Hourly Average; Hourly High; Daily, Monthly and Yearly High with Direction of High
Historical Graph Data	10-min. and Hourly Averages; Hourly Highs; Daily, Monthly and Yearly Highs with Direction of Highs
Alarms	High Thresholds from Instant Reading and 10-minute Average

**Pluviomètre.** Le pluviomètre adopté est conforme aux directives de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Les précipitations pénètrent dans le cône de collecte, passent à travers un filtre à débris et aboutissent dans une cuillère de basculement située dans le récipient de basculement.

La mesure est effectuée en fermant un contact électrique au moment où il y a une augmentation de 0,2 mm sur le total collecté. L'eau de pluie s'écoule ensuite

par les drains situés à la base du collecteur. Ci-dessous la figure et la fiche technique.



Figure 4

Resolution and Units	0.01" or 0.2 mm (user-selectable) (1 mm at totals $\geq$ 2000 mm)
Daily/Storm Rainfall Range	0 to 99.99" (0 to 999.8 mm)
Monthly/Yearly/Total Rainfall Range	0 to 199.99" (0 to 6553 mm)
Rain Rate	0 to 96" (0 to 2438 mm)
Accuracy	For rain rates up to 2"/hr (50 mm/hr): $\pm$ 3% of total or +0.01" (0.25 mm) (0.01" = one tip of the bucket), whichever is greater For rain rates from 2"/hr (50 mm/hr) to 4"/hr (100 mm/hr): $\pm$ 3% of total or +0.01" (0.25 mm) (0.01" = one tip of the bucket), whichever is greater
Update Interval	20 to 24 seconds
Storm Determination Method	0.02" (0.5 mm) begins a storm event, 24 hours without further accumulation ends a storm event
Current Display Data	Totals for Past 15-min
Current Graph Data	Totals for Past 15-min, Past 24-hour, Daily, Monthly, Yearly (start date user-selectable) and Storm (with begin date). Umbrella is displayed when 15-minute total exceeds zero
Historical Graph Data	Totals for 15-min, Daily, Monthly, Yearly (start date user-selectable) and Storm (with begin and end dates)
Alarms	High Threshold from Latest Flash Flood (15-min. total, default is 0.50", 12.7 mm), 24-Hour Total, Storm Total,
Range for Rain Alarms	0 to 99.99" (0 to 999.7 mm)

**Température et humidité de l'air dans un écran solaire passif.** La température et l'humidité relative de l'air extérieur sont mesurées par deux capteurs protégés de la poussière, de la saleté et de l'eau par un filtre à membrane.

Le capteur d'humidité est un condensateur à couche mince. Une couche diélectrique en polymère absorbe les molécules d'eau de l'air à travers une fine électrode métallique, ce qui provoque une variation de capacité proportionnelle à l'humidité relative. Le capteur de température, quant à lui, est une thermistance de précision en fil de platine qui produit un changement de résistance proportionnel à la température. Les relevés d'humidité relative et de température sont utilisés pour le calcul du point de rosée. Pour protéger les capteurs du rayonnement solaire direct et d'autres sources de chaleur rayonnées et réfléchies, un bouclier solaire passif est utilisé, composé d'une série de 8 plaques pour assurer une circulation d'air maximale.

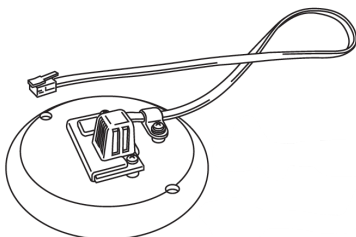


Figure 5

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

Outside Temperature (sensor located in ISS)	Current Data: 0.1°F or 1°F or 0.1°C or 1°C (user-selectable) nominal *C is converted from *F rounded to nearest 1°C
Resolution and Units	Historical Data and Alarms: 1°F or 1°C (user-selectable)
Range	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Sensor Accuracy	$\pm$ 1°F ( $\pm$ 0.5°C) above 20°F (-7°C), $\pm$ 2°F ( $\pm$ 1°C) under 20°F (-7°C) (see Fig. 1)
Radiation Induced Error (Passive Shield)	+4°F (2°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed $\leq$ 2 mph (1 m/s)) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Radiation Induced Error (Fan-Aspirated Shield)	+0.6°F (0.3°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed $\leq$ 2 mph (1 m/s)) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Update Interval	10 to 12 seconds
Current Display Data	Instant (user-adjustable offset available)
Current Graph Data	Instant; Daily, Monthly, Yearly High and Low
Historical Graph Data	Hourly Readings; Daily, Monthly, Yearly Highs and Lows
Alarms	High and Low Thresholds from Instant Reading

**Humidité de la feuille.** Le capteur d'humidité foliaire détecte la présence d'humidité superficielle au moyen de la résistance électrique d'une feuille artificielle, de manière distincte de l'humectation foliaire sur la page supérieure et inférieure de la feuille, et permet d'apprécier les phénomènes d'intérêt en fonction des maladies fongiques observées. Le substrat sur lequel est construit le capteur est un matériau choisi pour ses caractéristiques thermodynamiques proches des feuilles végétales, afin de reproduire le plus fidèlement possible les conditions qui conduisent à la formation de la condensation. Le capteur a été positionné face au nord, à 45° par rapport à la verticale

Il se compose d'une grille de détection, d'un circuit d'excitation bipolaire à basse tension et d'un circuit de détection de la conductivité. L'enregistreur de données mesure la conductivité à travers la grille et affiche le résultat sous forme de niveau d'humidité, avec une échelle de 0 à 15. L'utilisateur peut sélectionner le niveau de seuil auquel le capteur est situé ainsi que le niveau de seuil à partir duquel les totaux d'humidité sont accumulés.

La grille de détection est un circuit gravé plaqué or sur un substrat en verre époxy ; les circuits d'excitation et de détection sont encapsulés dans de l'époxy noir. Le support de montage fourni maintient le capteur à un angle de 45° pour simuler la position typique des feuilles et permettre à l'excès d'humidité de s'écouler ; il peut être monté sur un poteau vertical, un tuyau ou un piquet, ou sur le bras de montage du capteur.



Figure 6

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

**General**

Sensor Type	Artificial leaf electrical resistance
Excitation	Bipolar (3V nominal) built-in
Time Constant	2 seconds
Attached Cable Length	40' (12 m)

Note: Increasing the cable length above the recommended maximum cable length causes measurement error in the form of lower

Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular connector (RJ-11)
Recommended Maximum Cable Length (see Note 1)	200' (61 m) using 4-conductor 26 AWG cable
Material	
Substrate	Glass-reinforced, ceramic-filled laminate
Grid	1 oz. copper, nickel, and 50 µ inch gold plate
Mounting Bracket	White powder-coated aluminum
Dimensions (length x width x height)	
Leaf Wetness Sensor	4.00" x 2.25" x 2.25" (102 mm x 58 mm x 58 mm)
Sensor Area	4.4 in <sup>2</sup> (28 cm <sup>2</sup> )
Weight	13 oz. (.4 kg)

**Sensor Output**

Resolution	1
Range	0 to 15
Dry/Wet Threshold	User-selectable
Accuracy	±0.5
Update Interval	62.5 to 75 seconds

**Input/Output**

Supply Voltage and Current	100 µA (typical) @ 3 VDC
Output	2.5 to 3 VDC
Connections	
Yellow	3 VDC
Red	Ground
Green	Output

**Humidité du sol.** Le capteur d'humidité du sol Watermark® fabriqué par Irrometer Company, Inc. est une méthode indirecte et calibrée pour mesurer la teneur en eau du sol. Il s'agit d'un capteur à résistance électrique. La station d'humidité/température du sol convertit la lecture de la résistance électrique du capteur en une lecture centibar calibrée de la prise d'eau du sol avec une plage de 0 à 200 centibars. La sonde de température polyvalente est une thermistance de précision qui produit un changement de résistance proportionnel à la température. La sonde de température est utilisée par la station pour fournir une compensation de température pour la lecture de l'humidité du sol associée.

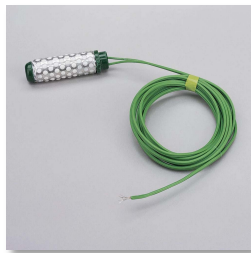


Figure 7

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

**General**

Sensor Type	Electrical resistance
Attached Cable Length	15' (4.6 m)
Cable Type	Watermark standard, two-wire, wires stripped and tinned
Maximum Cable Length	1000' (300 m) (18 AWG UF recommended)
Housing Dimensions	7/8" diameter x 3" (22 mm diameter x 76 mm)
Weight	3.6 oz. (103 g)

**Sensor Output**

Resolution	1 cb
Range	0 to 200 cb
Update Interval	62.5 to 75 seconds

**Température du sol.** La sonde de température polyvalente est utilisée avec la station sans fil de mesure de l'humidité et de la température du sol. La sonde est conçue pour mesurer la température du sol et fournir une compensation de température au capteur d'humidité du sol Watermark, décrit ci-dessus.

Le capteur est une thermistance de précision à fil de platine qui produit un changement de résistance proportionnel à la température. Il est encapsulé avec de la résine époxy dans un corps en alliage d'acier inoxydable 316 avec une décharge de traction en vinyle. Le câble 22 AWG à enfouissement direct résiste aux dommages causés par les parasites, l'humidité ou les rayons UV.

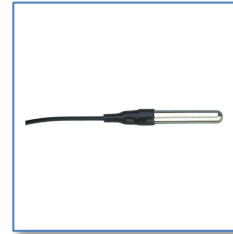


Figure 8

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

**General**

Sensor Type (see Charts)	Platinum wire thermistor
Time Constant	
In Still Air	100 seconds
In Liquid	28 seconds
Attached Cable Length	15' (4.6 m)
Cable Type	22 AWG direct burial cable, wires stripped and tinned
Recommended Maximum Cable Length (see Note 1)	
24 AWG Shielded Cable	800' (242 m)
22 AWG Shielded Cable	1,200' (260 m)

Note: There is no absolute maximum cable length. Increasing the cable length above the recommended maximum length causes an increased measurement error at a rate of approximately +0.24°F (+0.13°C) per 100' (30 m) of 22 AWG cable.

Housing Material	316 alloy stainless steel housing with vinyl strain relief
Housing Dimensions	0.312" diameter x 2.5" long (8 mm diameter x 64 mm long)
Weight	4.5 oz. (128 g)

**Sensor Output**

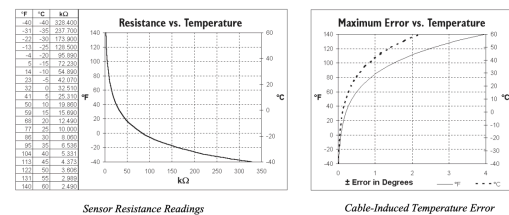
Resolution and Units	1°F or 1°C (user-selectable) Historical Graph Data and Alarms: 1°F or 1°C (user-selectable)
Range	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Sensor Accuracy	±1°F (±0.5°C) typical
Update Interval	62.5 to 75 seconds

**Input/Output Connections**

Black	Common
White	Temperature (variable resistance to common)

**Charts**

The chart and graph on the left show the resistance of the sensor. The chart on the right shows the cable-induced error of an un-calibrated sensor using 100' (30 m) of cable.



La profondeur de la sonde d'humidité et de la sonde de température du sol dépend de la profondeur d'enracinement du type de cultivar à surveiller et de la consistance du sol. Dans le cas présent, nous avons considéré des cultures horticoles cultivées dans le sol afin de les comparer avec les mêmes cultures dans la cellule aérienne.

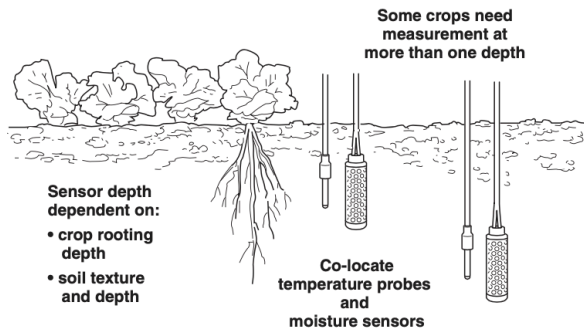


Figure 9

**Pyranomètre.** Le capteur de rayonnement solaire, ou pyranomètre solaire, mesure le rayonnement global comme la somme des composantes directe et diffuse dans le plan horizontal.

Le capteur transducteur qui convertit le rayonnement incident en courant électrique est une photodiode au silicium avec une large réponse spectrale. À partir de la tension de sortie du capteur, la console calcule et affiche l'irradiance solaire, soit 1,67 mV par W/m<sup>2</sup>.

Le capteur est illustré à la figure 10.



Figure 10

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

Resolution and Units	1 W/m <sup>2</sup>
Range	0 to 1800 W/m <sup>2</sup>
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Eppley PSP at 1000 W/m <sup>2</sup> )
Drift	up to ±2% per year
Cosine Response	±3% for angle of incidence from 0° to 75°
Temperature Coefficient	-0.067% per °F (-0.12% per °C); reference temperature = 77°F (25 °C)
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)
Current Graph Data	Instant Reading and Hourly Average; Daily, Monthly High
Historical Graph Data	Hourly Average, Daily, Monthly Highs
Alarm	High Threshold from Instant Reading

**Station sans fil de mesure de l'humidité et de la température des feuilles et du sol.** La station sans fil pour l'humidité et la température des feuilles et du sol permet de connecter des capteurs d'humidité du sol et des feuilles. Il est possible de connecter jusqu'à quatre capteurs d'humidité du sol et deux capteurs d'humidité des feuilles compensés en température, qui se trouvent au moins à portée de transmission de la console principale. La station communique directement avec la console principale sans fil/récepteur via l'un des huit codes d'identification sélectionnables par l'utilisateur et a une portée de transmission de 75 à 300 m, en fonction de l'environnement. La station est alimentée par un panneau photovoltaïque et comprend une batterie de secours.

Voir figure 11.



Figure 11

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

<b>General</b>	
Operating Temperature	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Storage Temperature	-50° to +158°F (-45° to +70°C)
Current Draw	0.14 mA (average), 30 mA (peak) (from external power source)
Battery	CR123A 3-Volt Lithium cell
Battery Life	8 months without sunlight - greater than 2 years depending on solar charging
Solar Panel	0.5 Watts
Housing Material	UV-resistant PVC plastic
Dimensions (length x width x height)	6.25" x 2.25" x 7.88" (158.75 mm x 57.15 mm x 200 mm)
Weight	1.08 lb. (49 kg) (with battery, without sensors)

<b>Sensors</b>	
<b>Leaf Wetness Sensor (# 6420)</b>	
Sensor Type	Electrical resistance
Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular connector (RJ-11)
Maximum Cable Length	200' (61 m) using 4-conductor 26 AWG cable

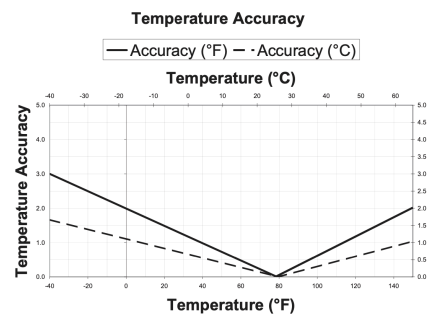
<b>Watermark Soil Moisture Sensor (# 6440)</b>	
Sensor Type	Electrical resistance
Standard Cable	15' (4.6 m) Watermark standard two-wire, stripped and tinned
Maximum Cable Length	18 AWG: 1000' (UF wire recommended)

<b>Multi-Purpose Temperature Probe (# 6470)</b>	
Sensor Type	Thermistor
Standard Cable	15' (4.6m) 22 AWG direct burial cable, stripped and tinned
Maximum Cable Length	24 AWG: 800' (244 m), 22 AWG: 1200' (365 m)

<b>Wireless Communications</b>	
Transmit/Receive Frequency	US Models: 902-928 MHz FHSS, Overseas Models: 868.0 - 868.6 MHz FHSS
ID Codes Available	8
Output Power	902-928 MHz FHSS: FCC-certified low power, less than 8 mW, no license required 868.0 - 868.6 MHz FHSS: CE-certified, less than 8 mW, no license required
Range	Line of Sight: up to 1000 feet (300 m) Through Walls: 200 to 400 feet (75 to 150 m)

<b>Sensor Output</b>	
<b>Leaf Wetness</b>	
Resolution	1
Range	0 to 15
Dry/Wet Threshold	User-selectable
Accuracy	±0.5
Update Interval	15 to 18 seconds
<b>Soil Moisture (Watermark Soil Moisture Sensor)</b>	
Resolution	1 cb (centibar)
Range	0 to 200 cb
Update Interval	62.5 to 75 seconds
<b>Temperature</b>	
Resolution and Units	1°F or 1°C. Celsius is converted from Fahrenheit and rounded to the nearest 1°C
Range	-40° to +150°F (-40° to +65° C)
Sensor Accuracy	±1°F (±0.5°C) typical (See Chart)
Sensor Accuracy	±1°F (±0.5°C) up to 110°F (43°C), ±2°F (±1°C) over 110°F (43°C) (see Fig. 1)
Update Interval	62.5 to 75 seconds

**Temperature Accuracy Chart**





### Enregistreur de données Meteobridge.

Meteobridge se compose d'un logiciel et d'un matériel spécialement conçus pour devenir un serveur météorologique personnel. Le Meteobridge PRO est de petite taille, avec une puissance de 1 à 2 Watts, une mémoire interne de 1 Go, des fonctionnalités LAN et WiFi, un écran graphique OLED, 2 ports USB externes et une capacité RF intégrée pour recevoir des données directement des capteurs Davis Instruments (ISS).



Figure 12

L'enregistreur de données fonctionne directement avec le navigateur, il n'est donc pas nécessaire d'installer quoi que ce soit sur le PC et il peut être utilisé avec n'importe quel ordinateur de bureau, portable ou tablette. Au départ, il est configuré avec le navigateur, puis il fonctionne de manière totalement indépendante du PC ; ainsi, il n'est pas nécessaire d'avoir un PC toujours allumé pour surveiller les données météorologiques. Il s'agit d'une solution autonome, à faible consommation d'énergie, qui prend en charge les données de la station agrométéorologique de la cellule aquaponique.

Connecté aux stations Davis ci-dessus, via le canal RF, il est possible de télécharger des données vers certains des réseaux météorologiques les plus connus sur Internet, où les données actuelles et historiques peuvent être examinées.

L'image ci-dessous montre comment la station météorologique est connectée aux réseaux météorologiques, à Meteoplug Cloud Graphing et/ou à des applications individuelles à l'aide de Meteobridge, qui agit littéralement comme un pont entre la station météorologique et l'Internet.



Figure 13

Meteobridge vous permet également d'envoyer des données météorologiques à intervalles rapprochés vers votre propre serveur sur Internet. Cela peut se faire via FTP, SFTP, HTTP, HTTPS ou même via des requêtes MySQL. Vous pouvez également envoyer des données météorologiques par e-mail ou via Twitter, et choisir les données à envoyer et les intervalles.

Meteobridge est capable d'alimenter les modèles de pages web les plus populaires ('Leuven', 'Saratoga', 'Home Weather Station', 'Meteotemplate' et 'WD-Live')

et vous permet de créer facilement votre propre page web météo sur Internet.

Sur la base des données fournies par les capteurs, l'une ou l'autre des actions susmentionnées (comme l'envoi de courriers électroniques) peut être lancée lorsque les données du capteur correspondent aux conditions définies par l'utilisateur. L

Il est également possible d'y accéder depuis l'internet à l'aide d'une URL. Aucune modification du pare-feu ou du routeur n'est nécessaire. Cette fonction est extrêmement utile lorsque vous êtes en voyage ou que le Meteobridge se trouve dans un endroit éloigné et que vous souhaitez vérifier ou modifier les paramètres.

Meteobridge dispose d'un écran noir/blanc de 128x64 pixels sur la face avant, qui est utilisé lors du démarrage pour afficher la progression de la configuration et l'adresse IP attribuée par le routeur. Cet écran est programmable par l'utilisateur et peut également être utilisé pour afficher les données des capteurs de la station. Il est possible de définir des pages distinctes à afficher sur l'écran. Ces pages peuvent contenir du texte dans différentes polices et tailles et afficher généralement les données des capteurs. Il est possible d'organiser ces pages en flux, de sorte que les informations à afficher changent à une fréquence définie par l'utilisateur.

Les données de la station météorologique peuvent être stockées dans une base de données interne d'une capacité allant jusqu'à 1 Go, ce qui permet de conserver les données pendant plus de dix ans. Les données peuvent être vérifiées, modifiées et supprimées via l'interface web de Meteobridge, qui fournit également un aperçu graphique des données d'un capteur donné sur un intervalle de temps d'un an, d'un mois ou d'un jour, et permet également l'exportation au format CSV.

Cet enregistreur de données vous permet de surveiller la mesure de la tension d'alimentation, votre propre consommation d'énergie et celle de tous les appareils USB connectés. Ceci est extrêmement utile lorsque Meteobridge fonctionne dans un environnement alimenté par batterie, car il peut surveiller et même agir sur les conditions d'alimentation.

Meteobridge peut envoyer des SMS à intervalles réguliers ou à la suite d'événements préalablement définis.

Meteobridge peut afficher des graphiques linéaires interactifs des données météorologiques enregistrées en élargissant ou en réduisant la période de temps à afficher. Vous pouvez afficher différents types d'informations dans des panneaux empilés verticalement qui partagent la même ligne de temps. Vous pouvez examiner les graphiques à partir de l'interface web de Meteobridge ou les télécharger via FTP sur votre propre serveur web. L'intégration dans la page d'accueil est très simple, car les graphiques sont autonomes et il n'est pas nécessaire d'installer des bibliothèques supplémentaires sur le serveur web. En outre, si vous avez activé l'accès



à distance, vous pouvez également accéder aux graphiques de Meteobridge à partir d'Internet.

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

### Hardware Specification

- Size: 57mm x 27mm x 95mm (width x height x depth) without antennas
- weight: 130g (with antennas)
- operating temperatures: 0 - 40°C, non-condensing
- 100/10 Mbit Ethernet port
- WiFi 2.4 GHz, 802.11g/n (right SMA male connector on back panel)
- RF-Sensor reception in 868-915 MHz band (left SMA female connector on back panel)
- external power supply (incl. plugs for US, EU, UK) with micro USB connector
- full size USB female connector on front panel
- micro USB female connector on back panel
- black/white OLED with 128 x 64 pixels to display status information and user defined data
- reset pin hole
- 4 LEDs on front panel, indicating
  - RF sensor reception (red / orange)
  - system operational (red)
  - network traffic (yellow)
  - sensor data stored (green)
- internal components
  - Carambola 2 computing module (AR9331 SoC, 16 MB Flash, 64 MB RAM)
  - 4 port USB hub
  - voltage / power monitoring IC (INA220)
  - barometer IC (BMP180)
  - temperature / humidity IC (SHT21)
  - low volume signaling buzzer
  - 1 GB USB connected permanent storage (industrial grade ATP SLC NANODURA USB stick)

### 4. Paramètres agrométéorologiques dérivés

Les paramètres mesurés par les capteurs installés permettent d'extraire certaines quantités à l'aide d'algorithmes appropriés.

**Pression barométrique.** Le baromètre d'intérieur permet également d'obtenir l'évolution de la pression atmosphérique. Le poids de l'air qui compose notre atmosphère exerce une pression sur la surface de la terre. Cette pression est appelée pression atmosphérique. En général, plus il y a d'air au-dessus d'une surface, plus la pression atmosphérique est élevée, c'est-à-dire que la pression atmosphérique varie avec l'altitude : la pression atmosphérique est plus élevée au niveau de la mer qu'au sommet d'une montagne. Afin de faciliter la comparaison entre des lieux situés à des altitudes différentes, la pression atmosphérique est généralement rapportée à la pression équivalente au niveau de la mer, connue sous le nom de pression barométrique. Les stations mesurent la pression atmosphérique, mais en introduisant l'altitude des sites, le logiciel de configuration calcule les facteurs de correction nécessaires pour traduire la pression atmosphérique en pression barométrique au niveau de la mer. Comme la pression barométrique varie également en fonction des

conditions météorologiques locales, elle devient un outil utile pour les prévisions météorologiques : une pression élevée est généralement associée à du beau temps, tandis qu'une pression faible est généralement associée à du mauvais temps. En général, il est préférable d'analyser la tendance de la pression barométrique : une hausse de la pression indique une amélioration des conditions météorologiques, tandis qu'une baisse de la pression indique une détérioration des conditions météorologiques. La formule suivante nous donne la pression atmosphérique rapportée au niveau de la mer.

$$^1PSL = PS * (R), \text{ où :}$$

- PSL est la pression au niveau de la mer,
- PS est la valeur incorrecte relevée par le baromètre de la station.
- R est le taux de réduction, qui est déterminé comme suit :

$$R = 10^{[Z/(122.8943111*(T + 460 + L + C))]}.$$

Où ?

Z est l'altitude du site

T est la moyenne entre la température extérieure actuelle et la température des 12 heures précédentes,

L est le gradient typique, ou la diminution de la température en fonction de la hauteur (de la "colonne d'air fictive"), calculé  $L = 11 Z/8000$ ,  
C dépend du point de rosée et de l'altitude de la station.

Vous trouverez ci-dessous la fiche technique.

Resolution and Units .....	0.01" Hg, 0.1 mm Hg, 0.1 hPa/mb (user-selectable)
Range .....	16.00" to 32.50" Hg, 410 to 820 mm Hg, 540 to 1100 hPa/mb
Elevation Range .....	-999' to +15,000' (-600 m to 4570 m) (Note that console screen limits entry of lower elevation to -999' when using feet as elevation unit.)
Uncorrected Reading Accuracy .....	±0.03" Hg (±0.8 mm Hg, ±1.0 hPa/mb) (at room temperature)
Sea-Level Reduction Equation Used .....	United States Method employed prior to use of current "R Factor"
	method
Equation Source .....	Smithsonian Meteorological Tables
Equation Accuracy .....	±0.01" Hg (±0.3 mm Hg, ±0.3 hPa/mb)
Elevation Accuracy Required .....	±10' (3m) to meet equation accuracy specification
Overall Accuracy .....	±0.03" Hg (±0.8 mm Hg, ±1.0 hPa/mb)
Trend (change in 3 hours) .....	Change 0.06" (2 hPa/mb, 1.5 mm Hg) = Rapidly Change 0.02" (7hPa/mb, 5 mm Hg) = Slowly
Trend Indication .....	5 position arrow: Rising (rapidly or slowly), Steady, or Falling (rapidly or slowly)
Update Interval .....	1 minute or when console BAR key is pressed twice
Current Display Data .....	Instant
Current Graph Data .....	Instant, 15-min., and Hourly Reading; Daily, Monthly, High and Low
Historical Graph Data .....	15-min. and Hourly Reading; Daily, Monthly Highs and Lows
Alarms .....	High Threshold from Current Trend for Storm Clearing (Rising Trend) Low Threshold from Current Trend for Storm Warning (Falling Trend)
Range for Rising and Falling Trend Alarms .....	0.01 to 0.25" Hg (0.1 to 6.4 mm Hg, 0.1 to 8.5 hPa/mb)

**Point de rosée.** Grâce aux capteurs embarqués, la station météorologique permet l'acquisition directe de la température et de l'humidité de l'espace extérieur et calcule la température du point de rosée à partir de celles-ci.

Le point de rosée est la température à laquelle l'air doit être refroidi pour que la vapeur qu'il contient se sature. C'est un paramètre important pour prévoir la formation de rosée, de givre et de brouillard. Par exemple, lors des journées froides, dans les heures qui suivent le coucher du soleil, lorsque la valeur du point de rosée et celle de la température sont proches, le brouillard a de fortes chances de se former pendant la

<sup>1</sup> "Smithsonian Meteorological Tables". Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 4th Ed.1968.

"Federal Standard Algorithms for Automated Weather Observing Systems used for Aviation Purposes". Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research, Washington, DC, 1988

nuit. Le point de rosée est également un bon indicateur de la teneur réelle en vapeur d'eau de l'air, contrairement à l'humidité relative, qui prend la température de l'air comme référence. Un point de rosée élevé indique une forte teneur en vapeur d'eau, avec le plus grand risque de pluie et d'orages violents, et inversement, un point de rosée bas indique une faible teneur en vapeur d'eau. Pour calculer le point de rosée, on peut utiliser la formule simplifiée de Goff&Gratch utilisée par l'Organisation météorologique mondiale pour la teneur en vapeur de l'air saturé.

$$^2T_d = (243,12 * (\ln A) - 440.) / (19,43 - \ln A), \text{ où :}$$

$$- A = RH * 0,01 * 6,112 * \exp [(17,62 * T) / (T + 243,12)].$$

et où :

- T est la température de l'air en °C ;
- RH est l'humidité relative.

**Evapotranspiration.** La section sur les précipitations comprend l'enregistrement des totaux quotidiens, mensuels et annuels ainsi que l'évapotranspiration (ET). Il s'agit de la quantité d'eau (par unité de temps) qui passe du sol dans l'air à l'état de vapeur sous l'effet combiné de la transpiration, à travers les plantes, et de l'évaporation, directement à partir du sol. L'évapotranspiration est une variable ou une grandeur physique utilisée en agrométéorologie, importante pour le suivi technique de la croissance des plantes et l'utilisation de l'eau pour l'irrigation. Le concept englobe deux processus distincts, car l'évaporation serait à proprement parler hors du champ de la culture, mais il n'est actuellement pas possible de séparer les deux phénomènes et de les traiter séparément de manière fiable. D'autre part, à des fins pratiques, la consommation réelle par évaporation et par transpiration est intéressante.

L'unité de mesure est le mm (millimètre), entendu comme la hauteur de la masse d'eau évaporée et transpirée. Ainsi, s'agissant d'un phénomène climatique inverse des précipitations, le millimètre est utilisé par convention pour rendre la quantité directement comparable aux précipitations. En tout état de cause, si l'on considère qu'une masse liquide de 1 mm de hauteur s'étendant sur une surface de 1 ha occupe un volume de 10 m<sup>3</sup>, 1 mm d'évapotranspiration équivaut à une consommation de 10 m<sup>3</sup>/ha.

Cette variable agrométéorologique est utile à la fois comme indice de la consommation d'eau des cultures et, par conséquent, pour la gestion rationnelle de l'eau

d'irrigation, et pour comparer le pouvoir évaporatoire de l'atmosphère dans des environnements physiquement différents ou dans le même environnement mais à des moments différents, ou encore dans le même environnement avec des cultures différentes. Il peut également être utile pour évaluer l'aptitude d'une parcelle à accueillir une culture particulière.

L'évapotranspiration est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs dépendant de la nature du sol, du climat, des espèces agricoles, de la technique de culture. Ces facteurs ne peuvent être considérés séparément car l'évapotranspiration est le résultat complexe de leurs interrelations.

Pour déterminer l'évapotranspiration potentielle dans différentes parties du monde, la FAO a établi un ET de référence standard, c'est-à-dire ET<sub>0</sub>. La culture de référence est la prairie de *Festuca arundinacea*. L'adoption de ces conditions standard signifie que l'évapotranspiration dépend uniquement du pouvoir d'évaporation de l'atmosphère, tous les autres facteurs ayant été normalisés.

L'algorithme calcule l'ET en utilisant les données archivées de température moyenne, d'humidité, de vitesse du vent, de rayonnement solaire et de pression atmosphérique finale. Il utilise également les paramètres de latitude, de longitude et de fuseau horaire définis lors de l'installation et de la configuration de la station.

Les variables qui entrent dans le calcul de l'ET<sub>0</sub> sont les suivantes :

- T Température moyenne de l'air
- U Vitesse moyenne du vent
- R<sub>n</sub> rayonnement solaire
- H Humidité relative
- P Pression atmosphérique

L'ET<sub>0</sub> est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$^3 ET_0 = W * \frac{R_n}{\lambda} + (1 - W) * (e_a - e_d) * F$$

dans lequel :

W = facteur de pondération exprimant la contribution relative de la composante de rayonnement

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} ;$$

<sup>2</sup> "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation". World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 6th Ed. 1996. "Smithsonian Meteorological Tables". Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 4th Ed. 1968.

<sup>3</sup> General reference on ET  
Jensen, M. E., Burman, R. D., Allen, R. G., Editors (1990) "Evapotranspiration and irrigation water requirements." ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 70.

Paper describing CIMIS' equations and methodology:

Snyder, R. L., Pruitt, W. O. (1992). "Evapotranspiration Data Management in California" Irrigation&Drainage Session Proceedings/Water Forum '92 EE, HY, IR, WR, div/ASCE

Paper describing net radiation Dong, A, Grattan, S. R., Carroll, J. J., Prashar, C. R. K. (1992). "Estimation of net radiation overwell-wateredgrass." J. of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 118, No. 3 ASCE

$$\Delta = \frac{e_a}{T_K} * \left( \frac{6790,4985}{T_K} - 5,02808 \right)$$

avec  $T_K$  température de l'air en degrés °K

$\gamma$  = constante psychométrique

$$\gamma = 0,000646 * (1 + 0,000946 * T_C) * P_kPa ;$$

avec  $T_C$  température de l'air en degrés °C

$\lambda$  = chaleur latente de vaporisation

$$\lambda = 694,5 * (1 - 0,000946 * T_C) ;$$

$R_n$  = rayonnement solaire moyen

$e_a$  pression de vapeur d'eau saturée, en kPa

$$e_a = 0,6108 * e^{\left( \frac{17,27 * T_C}{T_C + 237,3} \right)}$$

$e_d$  = vapeur d'eau effectivement présente

$$e_d = e_a * \frac{H}{100}$$

F = fonction éolienne indiquant la contribution de l'énergie éolienne à l'ET. Il y a

deux fonctions, l'une pour le jour (rayonnement > 0) et l'autre pour la nuit.

$$R_n > 0 \quad F_d = 0,030 + 0,0576 * U_{m/s}$$

$$R_n = 0 \quad F_n = 0,125 + 0,0439 * U_{m/s}$$

Il peut y avoir des différences dans les valeurs ET0 affichées par les stations installées avec d'autres sources en raison des différentes mesures des capteurs et des valeurs de rayonnement net calculées.

**Wind Chill.** Le refroidissement éolien (Wind Chill) est un indice qui mesure la température ressentie sur la peau sous l'effet du vent. Il exprime la capacité du corps à évacuer la chaleur, c'est-à-dire qu'il mesure la vitesse à laquelle le corps perd de la chaleur. Le refroidissement éolien accélère l'évaporation et, à son tour, l'évaporation est un processus d'absorption de la chaleur (par opposition à la condensation).

Pour un être humain, plusieurs facteurs influencent la sensibilité à la température : l'âge, la corpulence, l'état de santé, etc. Cependant, grâce au mécanisme "intrinsèque" que nous venons d'expliquer, cet indice, contrairement aux indices de chaleur, décrit réellement la température réelle ressentie par le corps en fonction de la température de l'air et de la vitesse du vent. Le vent,

en augmentant l'évaporation, augmente par conséquent l'évacuation de la chaleur corporelle et, en présence de basses températures, crée des conditions d'inconfort dues au froid.

Pour le calcul, on utilise une équation empirique qui prend en compte la température de l'air et la vitesse du vent selon la "formule d'Osczevski et Bluestein" représentée par l'équation suivante :

$$^4WC = (13,12 + 0,6215 * T_a) - (11,37 * v^{0,16}) + (0,3965 * T_a * v^{0,16})$$

Ici, la température  $T_a$  est exprimée en °C, tandis que la vitesse du vent  $v$  est exprimée en km/h.

Lorsque le vent est calme et que les températures oscillent autour de valeurs relativement basses, c'est-à-dire autour de 0°C, situations assez fréquentes dans les régions italiennes pendant les mois d'hiver, l'humidité joue également un rôle très important dans l'état de bien-être humain car elle produit une très fine pellicule d'eau sur l'épiderme. La peau étant plus chaude, cette pellicule d'eau s'évapore, ce qui augmente considérablement l'inconfort dû au froid. Cependant, cette gêne ne peut être évaluée à l'aide de cette équation car elle n'est valable que pour des vitesses de vent supérieures ou égales à 4,68 km/h.

Les valeurs de Windchill doivent être interprétées conformément au tableau suivant :

Wind chill	Malaise
4 à -6°C	FROID, impression désagréable ;
De -7°C à -17°C	TRÈS FROID, impression très désagréable ;
De -18°C à -28°C	Possibilité d'engelures. La peau exposée peut geler en 5 minutes. Éviter les activités en plein air ;
De -29°C à -56°C	FROID EXTRÊME, risque de gelures. La peau exposée peut geler en une minute. Les activités de plein air sont dangereuses ;
Plus de -56°C	CONGELER, congeler en toute sécurité. La peau exposée peut geler en 30 secondes.

Vous trouverez ci-dessous le tableau du refroidissement éolien tel que rapporté par le National Weather Service de la National Oceanic and Atmospheric Administration, où les abscisses représentent les températures en degrés °F et les ordonnées la vitesse du vent en mph.

<sup>4</sup> "Media Guide to NWS Products and Services", National Weather Service Forecast Office, Monterey, CA, 1995.

Steadman, R.G., 1979: The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. Journal of Applied Meteorology, July 1979



		Temperature (°F)																	
		40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
Wind (mph)	Calm	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
	5	36	31	25	19	13	7	1	-5	-11	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-57	-63
	10	34	27	21	15	9	3	-4	-10	-16	-22	-28	-35	-41	-47	-53	-59	-66	-72
	15	32	25	19	13	6	0	-7	-13	-19	-26	-32	-39	-45	-51	-58	-64	-71	-77
	20	30	24	17	11	4	-2	-9	-15	-22	-29	-35	-42	-48	-55	-61	-68	-74	-81
	25	29	23	16	9	3	-4	-11	-17	-24	-31	-37	-44	-51	-58	-64	-71	-78	-84
	30	28	22	15	8	1	-5	-12	-19	-26	-33	-39	-46	-53	-60	-67	-73	-80	-87
	35	28	21	14	7	0	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	-82	-89
	40	27	20	13	6	-1	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78	-84	-91
	45	26	19	12	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79	-86	-93
	50	26	19	12	4	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81	-88	-95
55	25	18	11	4	-3	-11	-18	-25	-32	-39	-46	-54	-61	-68	-75	-82	-89	-97	
60	25	17	10	3	-4	-11	-19	-26	-33	-40	-48	-55	-62	-69	-76	-84	-91	-98	

Frostbite Times: 30 minutes (blue), 10 minutes (light blue), 5 minutes (purple)

Wind Chill (°F) = 35.74 + 0.6215T - 35.75(V<sup>0.16</sup>) + 0.4275T(V<sup>0.16</sup>)  
 Where, T = Air Temperature (°F), V = Wind Speed (mph) Effective 11/01/01

Voici la fiche technique

Wind Chill (Calculated)	
Resolution and Units	1°F or 1°C (user-selectable)
Range	-110° to +135°F (-79° to +57°C)
Accuracy	±2°F (±1°C) (typical)
Update Interval	10 to 12 seconds
Source	United States National Weather Service (NWS)/NOAA
Equation Used	Oszcewski (1995) (adopted by US NWS in 2001)
Variables Used	Instant Outside Temperature and 10-min. Avg. Wind Speed
Current Display Data	Instant Calculation
Current Graph Data	Instant Calculation; Hourly, Daily and Monthly Low
Historical Graph Data	Hourly, Daily and Monthly Lows
Alarm	Low Threshold from Instant Calculation

**Indice de chaleur.** L'indice de chaleur, également appelé "indice de chaleur" (IC) ou "température apparente" (TA), est un indice biométéorologique calculé en degrés Fahrenheit (°F) pour estimer, comme d'autres indices, l'inconfort physiologique causé par des températures élevées et une forte humidité. Plus l'humidité (relative) est élevée, plus le corps a du mal à évacuer la chaleur (car la sueur s'évapore plus difficilement). La couche d'eau qui reste sur la peau obstrue les pores et forme une sorte d'isolation entre le corps et l'environnement, ce qui peut entraîner, dans les cas les plus extrêmes, un coup de chaleur.

$$\begin{aligned}
 HI = & -42.379 + (2.04901523 * T_a) + \\
 & (10.14333127 * RH) - (0.22475541 * T_a * RH) - \\
 & (0.00683783 * T_a^2) - (0.054817 * RH^2) + \\
 & (0.00122874 * T_a^2 * RH) + (0.00085282 * T_a * RH^2) - \\
 & (0.00000199 * T_a^2 * RH^2)
 \end{aligned}$$

Où T<sub>a</sub> = température de l'air (°F) et HR = humidité relative exprimée en pourcentage (%). Les coefficients numériques ont été obtenus à partir de calculs supplémentaires prenant en compte : la pression de vapeur, la vitesse effective du vent, la taille d'un homme, la température interne du corps, le taux de transpiration.

La formule utilise la température en °F avec une plage d'applicabilité de l'indice de chaleur, valable uniquement pour des températures ≥ 80 °F (27°C) et une humidité relative ≥ 40%, sans tenir compte du rayonnement solaire direct ni du vent. En général, une sensation agréable est perçue en présence d'un vent léger, mais celui-ci n'a pas toujours un effet positif. Par exemple, en été, les "meilleurs" vents sont chauds et secs plutôt que chauds et humides. Des études ont montré un

effet bénéfique du vent jusqu'à 33°C ; en revanche, au-delà de 34°C, la présence de vent augmente la sensation d'inconfort.

En outre, lorsque les températures sont supérieures à 42°C, la valeur de l'humidité relative n'a plus d'importance : l'indice indiquera toujours un "danger élevé".

Vous trouverez ci-dessous le tableau de l'indice de chaleur tel qu'il est rapporté par le National Weather Service de la National Oceanic and Atmospheric Administration. Dans les colonnes figurent les valeurs d'humidité et dans les lignes, les températures en degrés °F. Les valeurs de l'indice de chaleur supérieures à 41°C (105°F) peuvent être dangereuses.

		Heat Index Table																
		Relative Humidity (%) vs. Temperature (°F)																
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80		
125°	123	131	141															
120°	116	123	130	139	148													
115°	111	115	120	127	135	143	151											
110°	105	108	112	117	123	130	137	143	150									
105°	100	102	105	109	113	118	123	129	135	142	149							
100°	95	97	99	101	104	107	110	115	120	126	132	138	144					
95°	90	91	93	94	96	98	101	104	107	110	114	119	124	130	136			
90°	85	86	87	88	90	91	93	95	96	98	100	102	106	109	113			
85°	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	93	95	97			
80°	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	83	85	86	86			
75°	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78			

Voici la fiche technique

Heat Index (calculated)	
Resolution and Units	1°F or 1°C (user-selectable) °C is converted from °F rounded to nearest 1°C
Range	-40° to +165°F (-40° to +74°C)
Accuracy	±3°F (±1.5°C) (typical)
Update Interval	10 to 12 seconds
Source	United States National Weather Service (NWS)/NOAA
Formulation Used	Steadman (1979) modified by US NWS/NOAA and Davis Instruments to increase range of use
Variables Used	Instant Outside Temperature and Instant Outside Relative Humidity
Current Display Data	Instant Calculation
Current Graph Data	Instant Calculation; Daily, Monthly High
Historical Graph Data	Hourly Calculations; Daily, Monthly Highs
Alarm	High Threshold from Instant Calculation

## 5. Installation de la station

Les opérations d'installation effectuées sur le terrain sont décrites ci-dessous.

Le choix du point d'installation a été le premier problème critique à résoudre. Bien que le système soit polyvalent et flexible dans le positionnement de l'unité de base, il était utile d'examiner attentivement certaines contraintes afin d'obtenir un fonctionnement optimal du système.

Le panneau photovoltaïque a été orienté vers le sud-est et incliné de manière à assurer un ensoleillement direct pendant au moins deux heures par jour.

<sup>5</sup> Steadman, R.G., 1979: The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. Journal of Applied Meteorology, July 1979

"Media Guide to NWS Products and Services", National Weather Service Forecast Office, Monterey, CA, 1995.

Quayle, R.G. and Steadman, R.G., 1998: The Steadman Wind Chill: An Improvement over Present Scales. Weather and Forecasting, December 1998



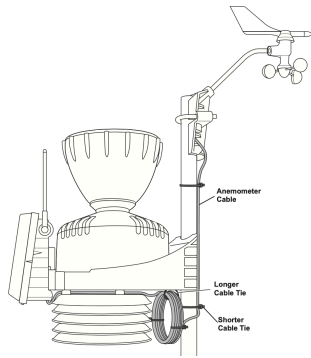


Figure 14

L'emplacement choisi est un compromis entre les exigences de mesure et les limitations du site. La perche de support a été positionnée à un sommet du conteneur abritant l'une des deux cellules de vie. Une fois le mât de l'anémomètre fixé, les coupelles à vent ont été connectées, en les poussant sur l'arbre en acier inoxydable de l'anémomètre, en utilisant la clé Allen fournie pour serrer la vis de fixation sur le côté des coupelles à vent. L'anémomètre a été orienté vers le NORD et fixé sur le demi-mât vertical.

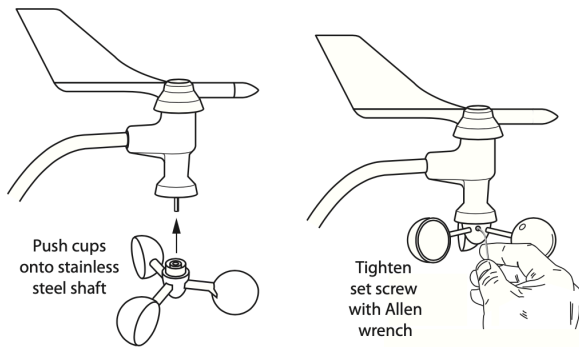


Figure 15

Après avoir vérifié les connexions de l'interface du capteur, le câble de l'anémomètre a été connecté. Les câbles du collecteur de pluie, du capteur de température/humidité et du capteur de rayonnement solaire ont été connectés aux prises étiquetées respectivement RAIN, TEMP/HUM et SUN.

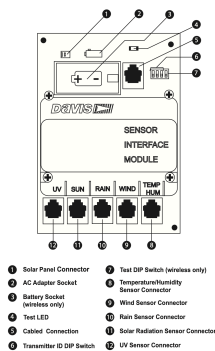


Figure 16

La bulle de niveau sur le capteur de rayonnement solaire nous a permis de vérifier que le capteur est de niveau comme sur la figure.

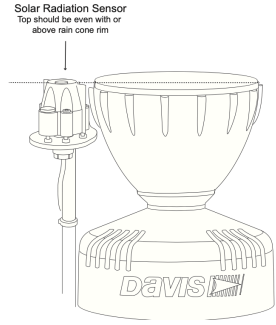


Figure 17

Le pluviomètre a été fixé au-dessus d'une extrémité du support horizontal, non sans avoir enlevé les butées des plateaux pivotants, comme le montre la figure.

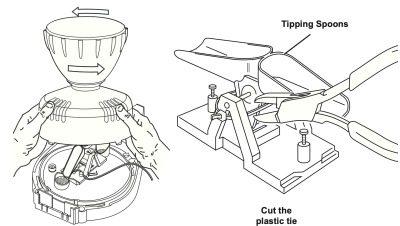


Figure 18

Le capteur de température et d'humidité avec bouclier solaire, déjà équipé d'une plaque de montage, a été fixé au poteau horizontal.

Le capteur d'humidité des feuilles a été fixé à l'aide des deux vis à tête hexagonale au support de montage fourni, qui maintient le capteur à un angle de 45° pour simuler la position typique des feuilles et permettre à l'excès d'humidité de s'écouler.

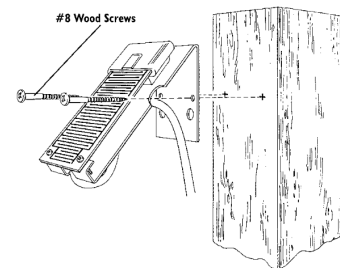


Figure 19

Après avoir vérifié l'absorption solaire du panneau photovoltaïque orienté vers le SUD, en tenant compte de l'hémisphère nord et afin de former l'angle d'inclinaison optimal par rapport au sol pour une meilleure irradiation, l'alimentation électrique a été assurée en insérant les extrémités du câble à 4 conducteurs dans la prise modulaire étiquetée COMM, puis en vérifiant la communication entre les capteurs et l'unité principale.

## 6. Configuration et utilisation des données

Après avoir effectué les opérations préliminaires sur les composants de la station, le système d'acquisition meteobridge a été configuré. D'abord testé sur le réseau Ethernet dans les locaux de l'Institut CNR, une réinitialisation d'usine a été effectuée pour la

configuration sur le terrain. Le bouton de réinitialisation de l'instrument est utilisé pour basculer sur le réseau WiFi en DHCP, réseau qui permet toutes les transmissions Internet nécessaires. Le point d'accès de référence est nommé MB-C49300100C19 et vous entrez dans le menu de configuration avec l'adresse IP par défaut, qui est @192.168.1.1. Avec l'ID et le mot de passe, vous entrez dans le menu de configuration principal illustré dans la figure.

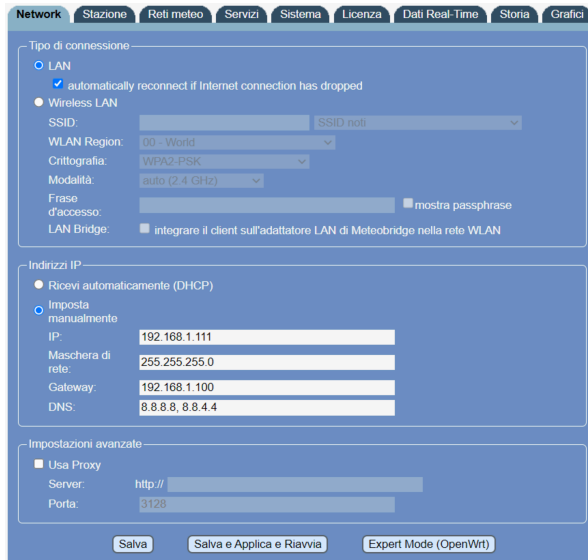


Figure 20

Sur la page Réseau, le type de connexion LAN et l'IP statique 192.168.1.111 ont été choisis, avec la passerelle et le DNS correspondants.

La page Station a été configurée avec l'ensemble correspondant aux composants matériels utilisés dans la station.

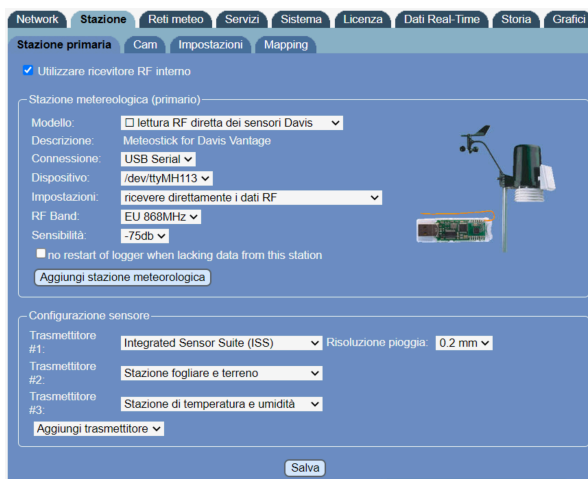


Figure 21

La page Système, Informations permet d'accéder aux informations techniques du meteobridge (IP, MAC, etc.).



Figure 22

Les données brutes et les données min-max sont présentées dans la section des données en temps réel illustrée dans les deux figures ci-dessous.

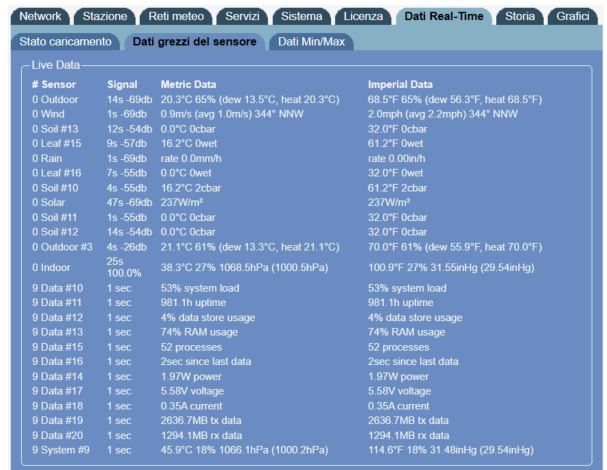


Figure 23

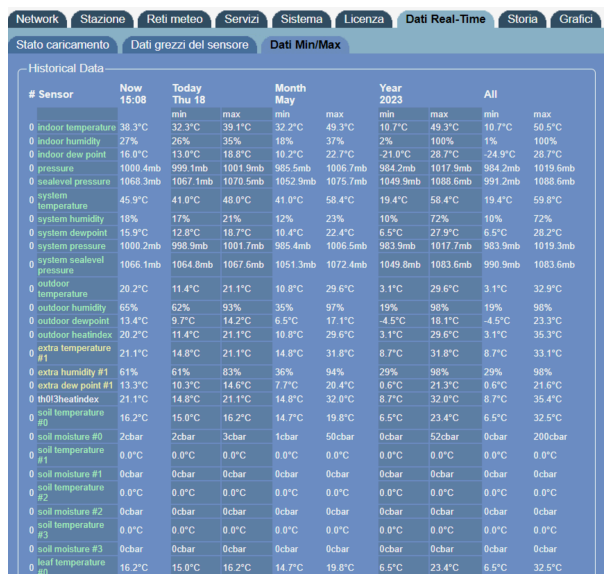


Figure 24

Dans la section graphique, il est toutefois possible d'obtenir des graphiques temporels des paramètres

mesurés. La figure ci-dessous montre un exemple de série temporelle qui peut être obtenue.

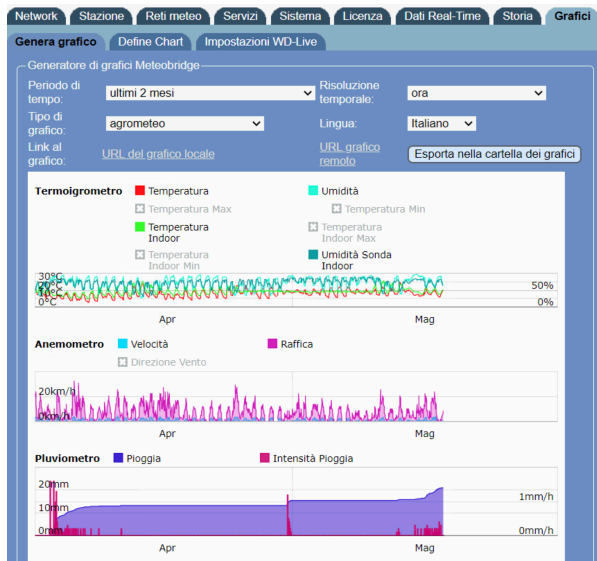


Figure 25

La même présentation graphique peut être consultée à l'adresse suivante <http://stazioni4.soluzionimeteo.it/cnrpalermo/grafici.html>.

Les mises à jour sont continuellement introduites de manière automatique, sans nécessiter d'opération manuelle. Les données acquises par le système peuvent être partagées afin de diagnostiquer d'éventuels dysfonctionnements et d'effectuer des opérations de maintenance à distance.

Toutes les données historiques sont stockées en toute sécurité dans le nuage et font l'objet d'une sauvegarde continue. La page du modèle présente des données actualisées toutes les 60 secondes et des graphiques pour les deux derniers jours et les 30 derniers jours. Dans la zone de téléchargement de la page du modèle, vous pouvez également télécharger les données mensuelles groupées en format HTML et CSV.

Ces pages sont présentées dans les figures 26, 27 et 29.

### Stazione agrometeo

Dati aggiornati alle: 15:25 del 18/05/2023

CNR Palermo 38.10N ; 13.31E alt. 560 m

Refresh tra 30 secondi



Figure 26

### Stazione Agrometeo

CNR Palermo 38.10N ; 13.31E alt. 560 m

Refresh tra 280 secondi

#### Grafico ultimi 2 giorni

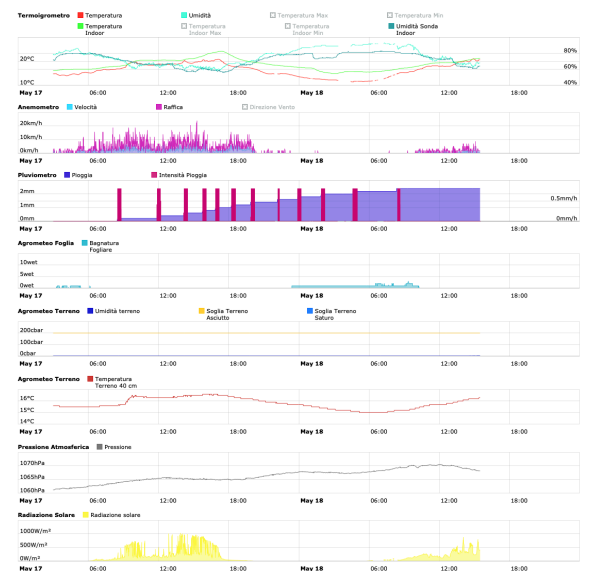


Figure 27



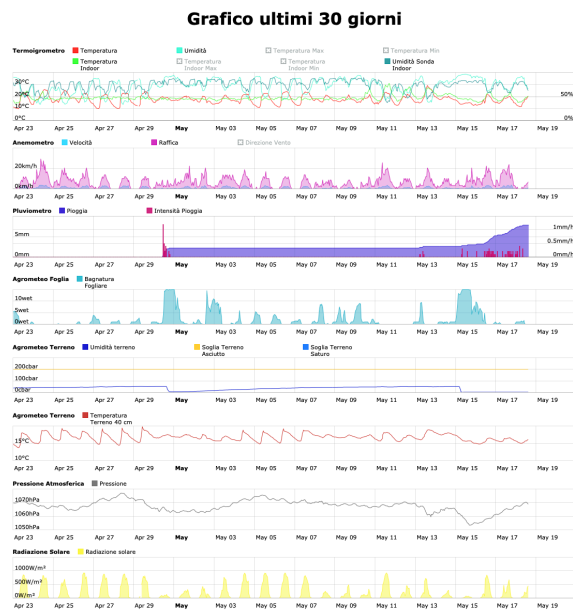


Figure 28

Area Download

<a href="#">export_dati_mensile_052023.csv</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">grafico_mensile_052023.html</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">export_dati_mensile_042023.csv</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">grafico_mensile_042023.html</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">export_dati_mensile_032023.csv</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">grafico_mensile_032023.html</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">export_dati_mensile_022023.csv</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">grafico_mensile_022023.html</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">export_dati_mensile_012023.csv</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">grafico_mensile_012023.html</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">export_dati_mensile_122022.csv</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">grafico_mensile_122022.html</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">export_dati_mensile_112022.csv</a>	<a href="#">Download</a>
<a href="#">grafico_mensile_112022.html</a>	<a href="#">Download</a>

Figure 29

## 7. Conclusions

L'acquisition de données agro-météorologiques est toujours un point fondamental pour toute expérience agricole sur le terrain. En particulier, cette station nous fournira des informations sur le microclimat à l'intérieur des cellules, qui, de par sa conception, devrait rester stable en toutes saisons et à différentes latitudes, sur le microclimat local grâce à des paramètres météorologiques standard, et sur les conditions du sol autour de la cellule. Cette dernière donnée, ainsi que les autres provenant du système de surveillance air-aquaponie, sera utile pour comparer la production de la partie végétale sur le sol avec la partie hydroponique produite dans la cellule.

## 8. Remerciements

Pour ce travail, nous remercions l'assistance technique du fournisseur Soluzioni Meteo.

## 9. Bibliographie

- Projet CNR energy+ : le réseau de stations météorologiques - S. Di Cristofalo - People ID355483/2016
- Variables dérivées dans les produits météorologiques Davis - Note d'application no. 28 Davis Instruments

- Steadman, R.G., 1979 : The Assessment of Sultriness, Part I : A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. Journal of Applied Meteorology, juillet 1979.
- Steadman, R.G., 1979 : The Assessment of Sultriness, Part II : Effects of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature. Journal of Applied Meteorology, juillet 1979.
- Davis Instruments DS6331\_6332, Rev. A, 3/29/19
- Davis Instruments DS6345, 6345CS (Rev. C, 1/29/07)
- Davis Instruments DS6420 (Rev. E, 1/5/07)
- Davis Instruments DS6440 (Rev. E, 1/5/07)
- Davis Instruments DS6470 (Rev. F, 1/5/07)
- Davis Instruments DS6820 (Rev. A, 2/1/17)
- Davis Instruments Part Number : 07395.267
- Davis Instruments Numéro de document : 07395.359 Rev. A(2/11/19)
- Davis Instruments Part Number : 7395.299
- Numéro de pièce du document : 7395.289 Rev. B (4/13/17)
- Davis Instruments Part Number : 07395.158C
- Davis Instruments Part Number : 7395.110

## 10. Sitographie

- <https://www.projetcelavie.eu>
- <http://stazioni4.soluzionimeteo.it/cnrpalermo/grafici.html>.
- <https://www.meteobridge.com>
- <https://www.davisinstruments.com>
- <https://www.italietunisie.eu/it/progetti/i-progetti/celavie/>
- [www.facebook.com/ProjetCelavie](http://www.facebook.com/ProjetCelavie)
- [www.facebook.com/ProjetCelavie](http://www.facebook.com/ProjetCelavie)
- [www.instagram.com/projetcelavie](http://www.instagram.com/projetcelavie)
- [www.youtube.com/channel/UCWl6ylchvqFVQ5U9eY4ndBg](http://www.youtube.com/channel/UCWl6ylchvqFVQ5U9eY4ndBg)

## ANNEXE : Localisation de la station agrométéorologique

La station agrométéorologique est située sur le site expérimental du projet CELAVIE, où ont été placés les deux conteneurs abritant la cellule de vie du système aquaponique. Vous trouverez ci-dessous les coordonnées géographiques et quelques photos de l'installation réalisée.

La figure 30 montre la vue du site expérimental auquel correspondent les coordonnées géographiques : latitude 38° 5'45.39 "N longitude 13°18'33.13 "E



Figura 32

Les photos ci-dessous montrent les éléments constitutifs de la station, la partie capteur externe (ISS), la partie capteur au sol et la partie capteur interne.



Figura 33