

In questa prima parte del progetto si è scelto di mantenere i valori acquisiti allo stato “grezzo”, cioè senza effettuare conversioni, creando un interfaccia nel software eKoView che mostrasse i valori misurati in tensione e trasformare i dati solo dopo averne acquisiti una quantità sufficiente e averli confrontati con gli altri sensori watermark, le sonde TDR e alcune letture manuali. Questo accorgimento permetterà di avere una verifica della affidabilità della curva di conversione e un eventuale miglioramento della accuratezza.

Nel confronto con gli altri tipi di sensori si è tenuto in considerazione che questa tipologia di tensiometro è facile da utilizzare e lavora bene nel range da 0 a 80 cb, ma in ogni caso necessita di controlli regolari per mantenere il livello di liquido necessario e per aspirare con la pompa eventuali bolle d'aria che si creano all'interno.

Inoltre si deve ricordare che, se il suolo diventa troppo asciutto, il tensiometro potrebbe perdere aderenza con il terreno, diventando inutilizzabile a meno di effettuare una nuova installazione.

## ***Sensori per il differenziale di temperatura foglia-aria***

Per valutare il differenziale tra la temperatura della foglia e la temperatura ambientale occorrono almeno due sensori di temperatura: uno per la temperatura ambientale, collocato in posizione elevata rispetto alla vegetazione e non esposto direttamente alla radiazione solare, e l'altro per la temperatura della foglia, a contatto con la foglia, non esposto alla radiazione solare e protetto dal calore proveniente dalla pacciamatura. Al contrario della misura della temperatura dell'aria, la misura della temperatura della foglia comporta notevoli problematiche dal punto di vista pratico in quanto richiede di interagire strettamente con i delicati equilibri della foglia. Per questa ragione è stato sviluppato un sensore custom (Figura I-18) a partire da un componente elettronico (Tabella I-8), poichè tra quelli disponibili in commercio nessuno aveva le dimensioni e il peso tali da consentire un alloggiamento a bordo della foglia.

La prima scelta è ricaduta nel componente LM35 della Analog Devices la cui affidabilità era già stata sperimentata in precedenti progetti di ricerca.

Questo componente presenta delle pregevoli qualità sia dal punto di vista delle prestazioni (risoluzione, range di funzionamento, consumi) che per quanto riguarda l'ingombro e il peso, ma ha un problema legato all'alimentazione; infatti nel manuale del componente LM35 viene riportata una tensione di alimentazione compresa tra 4 e 30 V, mentre il nodo EN2100 può fornire ai sensori una tensione massima di 3,7 V.

Sebbene sperimentalmente non sia stato riscontrato nessun malfunzionamento legato a questo scostamento nella tensione di alimentazione, degli effetti di non linearità tensione-temperatura non possono essere del tutto esclusi, perciò la scelta è stata orientata verso un altro tipo di componente.

Dopo un'ulteriore ricerca la scelta è ricaduta sul dispositivo TMP36 dell'Analog Devices (con package plastico TO-92), per il quale la tensione di alimentazione va da 2.7 V a 5.5 V. Il TMP36 è un sensore a bassa tensione per applicazioni di precisione; fornisce una tensione di uscita che è linearmente proporzionale alla temperatura (in gradi centigradi). Questo componente assorbe una bassa quantità di corrente (meno di 50  $\mu$ A) garantendo un livello molto basso di self-heating (meno di 0.1°C con aria ferma); è progettato per lavorare a partire da temperature di -40°C fino a 125°C, fornendo una tensione di 750 mV a 25°C. Durante la scelta del componente è stato valutata anche l'influenza del transitorio al momento dell'accensione sull'uscita del componente. Dal grafico dello start-up del componente ripostato nel manuale si può osservare che l'oscillazione dovuta al warm-up si smorza completamente dopo 30  $\mu$ s. Nel sistema eKo Pro Series per ridurre il consumo di energia, i nodi accendono il sensore solo nel momento della

lettura, ma con un periodo di campionamento di default molto più ampio (256  $\mu$ s), perciò non c'è alcun effetto negativo sul segnale di uscita come riscontrato attraverso test in laboratorio.

Naturalmente è stato necessario impermeabilizzare il dispositivo con termorestringente e silicone dato che il sensore deve lavorare in ambiente esterno; il risultato finale ha portato allo sviluppo di un sensore molto leggero e di dimensioni contenute (più piccolo di una moneta come si vede in Figura I-18).



Figura I-18: Sensore di temperatura realizzato dal DIEI

Sensore custom per il differenziale di Temperatura foglia-aria	
Tipo	Sensore custom
Modello e costruttore del sensore	DIEI – Utilizzando TMP36
Campo di misura	• Temperatura: -40 ÷ +125°C
Accuratezza	• Temperatura: +/-2°C nell'intero campo di misura, +/-1°C a 25°C
Lunghezza del cavo	5m
Connettore	Switchcraft a 6 poli
Dimensioni	15 x 6 mm □
Peso	3g

Tabella I-8: Specifiche del sensore custom per il differenziale di Temperatura foglia-aria



Sono stati fatti dei tentativi per fissare il sensore a contatto con la foglia con delle colle senza solventi o per mezzo di piccole pinzette, ma queste modalità non sono risultate efficaci, perché danneggiavano la foglia in maniera irreparabile (Figura I-19).



Figura I-19: Foglia di melone danneggiata dall'uso di colle per l'alloggiamento del sensore

Perciò si è scelto di fissare il sensore per mezzo di stringhe metalliche in maniera da appoggiare il sensore alla foglia (Figura I-20) ma senza rovinarne la delicata superficie; inoltre è stato posizionato sotto la foglia un sottile strato di PVC di colore bianco per evitare il riscaldamento dal basso dovuto ad assorbimento di radiazione solare della pacciamatura. Sebbene questa sia una soluzione funzionalmente corretta è già stato deciso in sede consultiva di approfondire la tematica riguardante l'alloggiamento del sensore durante la seconda parte del progetto al fine di trovare una soluzione più robusta e al tempo stesso più pratica.





Figura I-20: Installazione del sensore di temperatura

Per la rivelazione della temperatura dell'aria è stato utilizzato lo stesso sensore questa volta non a contatto con la vegetazione e non esposto a radiazione solare diretta.

Per collegare due sensori di temperatura ad un'unica porta è stata utilizzata la seguente tipologia di connessione (Figura I-21, Tabella I-9).

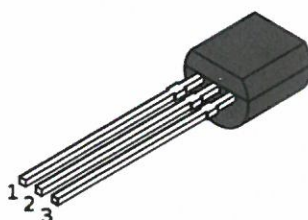


Figura I-21: Package TO-92

Pin	Colori standard	Collegamenti
1	Rosso	Pin 1 Sensore_1 Pin 1 Sensore_2
2	Arancione	Pin 2 Sensore_1
3	Giallo	Pin 2 Sensore_2
4	Verde	
5	Nero	Pin 3 Sensore_1 Pin 3 Sensore_2
6	Marrone	

Tabella I-9: Collegamenti dei sensori di temperatura al connettore Switchcraft a 6 vie

Come per i tensiometri si è scelto di mantenere i valori acquisiti allo stato “grezzo”, cioè senza effettuare conversioni, creando un interfaccia nel software eKoView che mostrasse i valori

misurati in tensione. Per convertire i valori in gradi centigradi occorre applicare la seguente formula:

$$T_{c} = \frac{(data_{mV} - 750)}{10} + 25^{\circ}C \quad (1)$$

### **Alimentazione e Package**

Per alimentare il sistema è stato utilizzato un pannello fotovoltaico da 70 W con uscita di 12 V. Per garantire il funzionamento anche nel periodo notturno è stata utilizzata una batteria collegata attraverso un regolatore Steca Solsum con il seguente schema (Figura I-22).

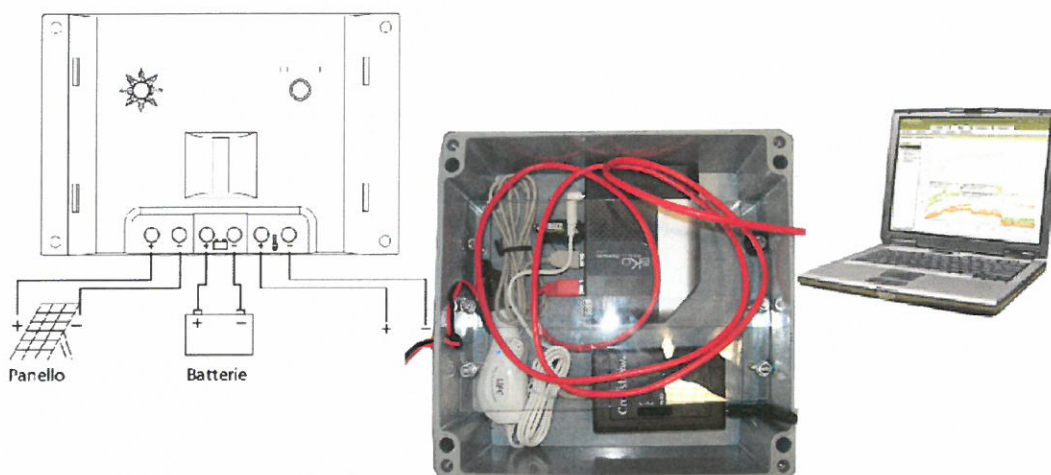


Figura I-22: Alimentazione e Package del sistema eKo Pro Series

La tensione di 12 V è stata trasformata a 5 V tramite un semplice convertitore. Il convertitore di tensione, il gateway EG2100, la base radio EB2110 e i relativi collegamenti sono stati racchiusi all'interno di un contenitore impermeabile per proteggerli da eventi atmosferici.

Nella Figura I-si può notare la connessione LAN tramite cavo incrociato (cavo rosso) da collegare direttamente al computer per poter visualizzare e scaricare i dati raccolti.

### **Monitoraggio del contenuto idrico del terreno con sonde TDR**

Sia i tensiometri che i sensori tipo Watermark permettono di rilevare il potenziale idrico del terreno, ma non danno informazioni sull'effettivo contenuto idrico volumetrico. Anche se la misura del potenziale è sufficiente per avere indicazioni sui tempi e sulle dosi degli interventi irrigui, è stato deciso per questo primo anno di sperimentazione di affiancare tali misure di potenziale con misure di contenuto idrico volumetrico ottenute per mezzo di una strumentazione basata sul principio della Time Domain Reflectometry (TDR). La misura contemporanea di potenziale e contenuto idrico volumetrico permetterà in primo luogo l'individuazione della curva di ritenzione del terreno dove avrà luogo la sperimentazione. In secondo luogo le misure di tipo

TDR, per la loro riconosciuta attendibilità, costituiscono un valido termine di confronto e validazione delle misure effettuate con le altre tipologie di strumenti.

La tecnica del TDR si basa sulla determinazione della costante dielettrica apparente ( $\epsilon_b$ ) del suolo ottenuta dalla misura della velocità di propagazione di un impulso elettromagnetico che viaggia lungo una linea di trasmissione (sonda TDR o guida d'onda) di lunghezza nota. La costante dielettrica  $\epsilon$  dipende dai costituenti del suolo, in particolare dal contenuto idrico nelle vicinanze della sonda, quindi la  $\epsilon$  può essere messa in relazione con il contenuto idrico volumetrico del suolo. In letteratura sono reperibili numerose relazioni che descrivono il legame funzionale tra contenuto idrico e  $\epsilon$ , la più nota delle quali è la funzione di calibrazione di Topp o "equazione universale". La curva di calibrazione di Topp et al. (1980) è stata sostanzialmente confermata in numerosi studi eseguiti su suoli con differente tessitura.

La strumentazione TDR (Figura I-23) utilizzata è il TRASE BE della SOIL MOISTURE, di proprietà del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale e consta dei seguenti dispositivi: 1) un'unità "base" in grado di inviare i segnali elettromagnetici lungo le guide d'onda e di memorizzare i segnali di ritorno, già convertiti in contenuto idrico volumetrico; 2) un'unità "multiplexer" che permette la gestione di più guide d'onda (fino a 31); 3) le guide d'onda, ovvero la parte sensoristica vera e propria. Ovviamente il sistema richiede uno specifico sistema di alimentazione che nel caso specifico è costituito dallo stesso pannello solare, batteria 12 V e regolatore di carica utilizzato per l'alimentazione del sistema eko Pro Series.

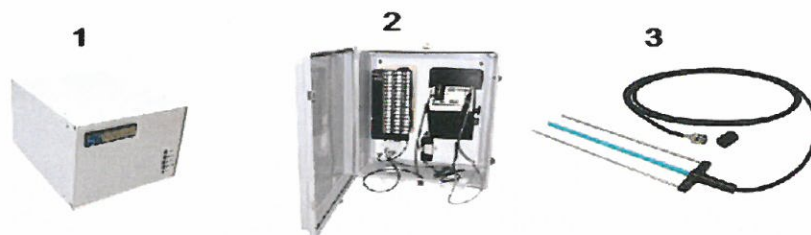


Figura I-23: Sistema TDR: Trase BE (1); Multiplexer (2); Guida d'onda (3)

Tra i vantaggi specifici della tecnica TDR si possono ricordare la sua capacità di misurare in tempo reale il contenuto idrico, di poter rilevare l'umidità in un ampio range di misura, di non richiedere una preliminare calibrazione. Per contro l'installazione delle guide d'onda deve avvenire in terreno indisturbato (ciò richiede la realizzazione di trincee per l'inserimento delle



guide a diverse profondità nel profilo di terreno indisturbato). Inoltre i costi e la complessità della strumentazione lo rendono un sistema più rivolto a finalità scientifiche che pratiche.

## Indagini preliminari alla sperimentazione

Maggio-Giugno 2010: in questo periodo sono state svolte le seguenti attività:

- Test di laboratorio sulle strumentazioni per la loro verifica e calibrazione
- Analisi delle condizioni colturali e ambientali per l'identificazione dei punti più idonei per il monitoraggio
- Analisi delle caratteristiche pedo-idrologiche dei suoli aziendali nelle aree interessate dalla sperimentazione. Il tipo di suolo è risultato prevalentemente di tipo franco-limoso-argilloso con contenuto idrico alla capacità di campo compreso tra 26% e 28% e contenuto idrico al punto di appassimento compreso tra il 15% e il 18%. I dettagli delle caratteristiche dei suoli rilevate sono riportati nella Tabella I-10 e Figura I-24.

CAMPIONE N.	GRANULOMETRIA DELLA TERRA FINE					CLASSE TESSITURALE	CAPACITA' DI CAMPO %	PUNTO DI APPASSIMENTO %
	SABBIA (%)		LIMO (%)		ARGILLA (%)			
	GROSSA (2-0,2 mm)	FINE (0,2-0,05 mm)	GROSSO (0,05-0,02 mm)	FINE (0,02-0,002 mm)				
P1 - 15	1,51	17,55	19,38	32,30	29,26	FLA	26,60	16,04
P1 - 30	1,38	17,49	17,45	34,10	29,58	FLA	26,52	15,02
P2 - 15	1,37	17,34	16,85	33,67	30,77	FLA	26,10	15,64
P2 - 30	1,58	16,66	17,33	34,81	29,62	FLA	27,45	15,99
P3 - 15	1,67	18,84	14,34	34,56	30,59	FA	27,62	16,24
P3 - 30	1,45	16,37	17,69	34,03	30,46	FLA	27,74	16,95
P4 - 15	1,31	16,87	17,74	36,47	27,61	FLA	28,23	18,54
P4 - 30	1,59	16,85	18,06	35,38	28,12	FLA	28,09	16,42

Tabella I-10: Tessitura e costanti idrologiche rilevate per alcuni punti di campionamento a 2 diverse profondità (-15 cm; -30 cm) in corrispondenza delle piante monitorate

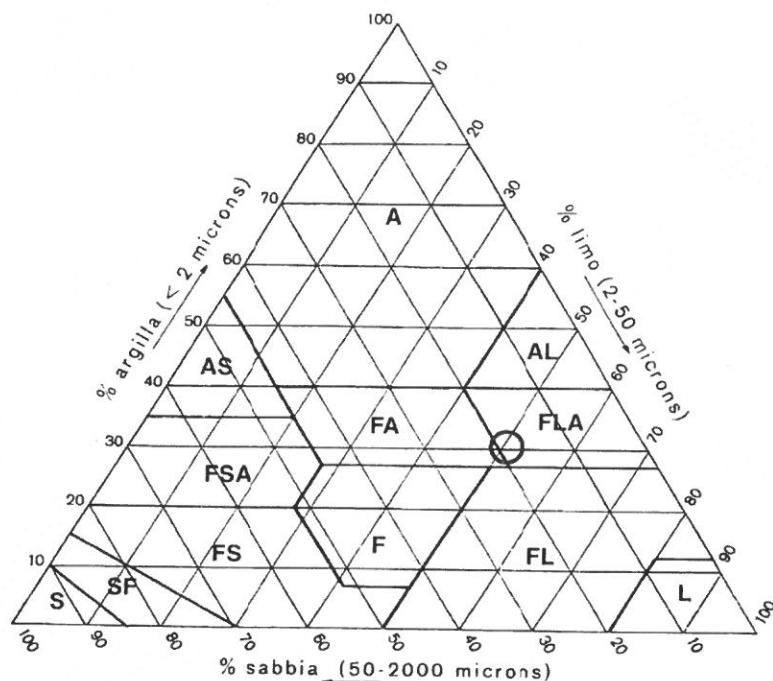


Figura I-24: Triangolo tessiturale per i suoli campionati

Una prima analisi delle caratteristiche del terreno evidenzia, anche a modeste distanze di prelievo dei campioni, una differenza nella tessitura del terreno e nelle costanti idrologiche più importanti come la capacità idrica di campo, il punto di appassimento e l'acqua facilmente utilizzabile (A.W.C.).

Tale variabilità nelle caratteristiche del terreno introduce delle incertezze nelle stime delle dosi irrigue da somministrare e determina una scarsa efficacia di criteri di gestione basati sul bilancio idrologico.

## Monitoraggio della coltura

Giugno- settembre 2010: in questo periodo è stato effettuato un costante monitoraggio nell'area oggetto di sperimentazione per il raggiungimento degli obiettivi di cui si è detto sopra. In particolare è stato rilevato lo stato idrico della pianta attraverso il monitoraggio in continuo della temperatura fogliare e ambientale. A tali rilevazioni sono state affiancate misure in continuo del potenziale idrico e dell'umidità del terreno. Sono state anche effettuate delle misure dirette di contenuto idrico relativo delle foglie di melone, eseguite con metodo ponderale su campioni di foglie prese direttamente in campo. Lo scopo di tale lavoro è quello di verificare l'effettiva relazione tra lo stato idrico delle foglie (e quindi della pianta) e la temperatura della stessa. La relazione poi dovrà essere modellizzata per dimostrare come lo stato idrico della pianta e la sua

temperatura siano fortemente correlate. È stato inoltre effettuato il monitoraggio della presenza e della durata della bagnatura fogliare.

### Monitoraggio di pieno campo

L'area di studio si trova nel comune di Deruta (PG). All'interno dell'unico corpo di circa 40 Ha di melone è stata individuata la parcella sperimentale dove sono state monitorate per i tre mesi della sperimentazione in pieno campo quattro piante (varietà "CLX MC 056"). La zona è stata segnalata con nastro onde evitare danni durante le operazioni colturali e la scelta delle piante da monitorare ha tenuto conto dell'effetto bordo.

Il monitoraggio delle quattro piante di melone è stato effettuato attraverso i seguenti sensori:

- Sensori di potenziale idrico: Watermark e Tensiometri
- Sensori di umidità del terreno: TDR
- Sensore di temperatura ambientale
- Sensore di bagnatura fogliare (foglia elettronica)
- Sensori di temperatura fogliare: nuovo sensore sperimentale

#### Schema di installazione

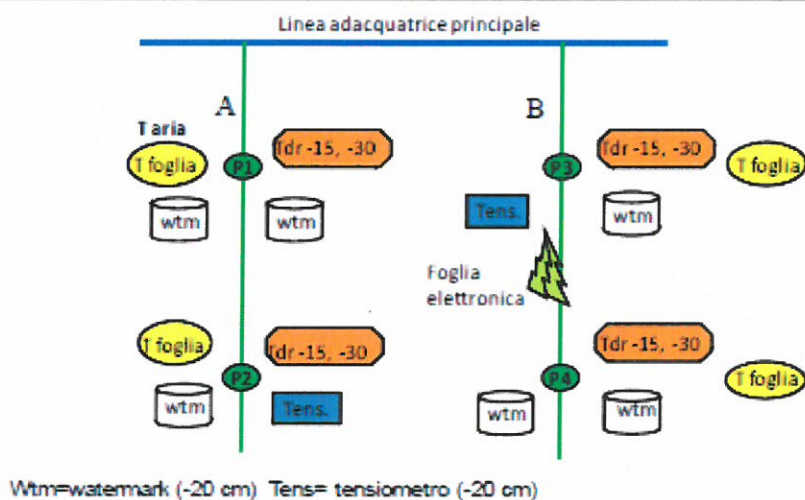


Figura I-25: Schema del monitoraggio in pieno campo

Per ogni pianta monitorata sono stati predisposti gli opportuni sensori secondo lo schema sopra riportato (Figura I-25) e precisamente (Tabella I-11):

	WATERMARK	TENSIOMETRI	TDR	Temp.foglia
PIANTA 1	2		2	1
PIANTA 2	1	1	2	1
PIANTA 3	1	1	2	1
PIANTA 4	2		2	1

Tabella I-11: Tipo di sensori installati alle varie piante monitorate



I sensori Watermark sono stati posizionati a 20 cm di profondità dal piano di campagna e a 20 cm di distanza dalla pianta calcolati lungo la fila e 20 cm di distanza dalla linea in direzione dello spazio interfila.

Le sonde TDR sono state installate a 15 cm e a 30 cm di profondità e stessa distanza dalla pianta dei sensori Watermark ma in posizione opposta rispetto a questi.

I tensiometri sono stati installati in due posizioni opposte della parcella sperimentale, rispettivamente in prossimità delle piante 2 e 3.

I sensori di temperatura fogliare, forniti dal Dipartimento di Ingegneria Elettronica e dell'Informazione sono stati progettati con peso e dimensioni compatibili con le foglie di melone: lo stesso tipo di sensore è stato utilizzato anche per il rilevamento della temperatura dell'aria.

Ad eccezione dei tensiometri, i cui dati prevedono sia lettura manuale che automatizzata, tutti gli altri dispositivi installati sono stati collegati a tre sensori nodali di tipologia eKo System. Ai fini di individuare in maniera più evidente la relazione tra la temperatura fogliare e lo stress idrico della pianta è stata realizzata una deviazione dell'irrigazione, creando con apposite valvole e tubazione un "by pass" sulla manichetta della fila contenente le piante 1 e 2. In tal modo dette piante si sono venute a trovare per un certo periodo in una condizione di non irrigazione, soggette quindi ad un maggiore stress idrico rispetto le piante 3 e 4.

### **Monitoraggio in coltura protetta**

Un ulteriore monitoraggio è stato effettuato in coltura protetta sfruttando un successivo trapianto tardivo di meloni in serra. In questo caso sono stati effettuati anche campionamenti fogliari per la determinazione del contenuto idrico relativo della foglia (RWC).

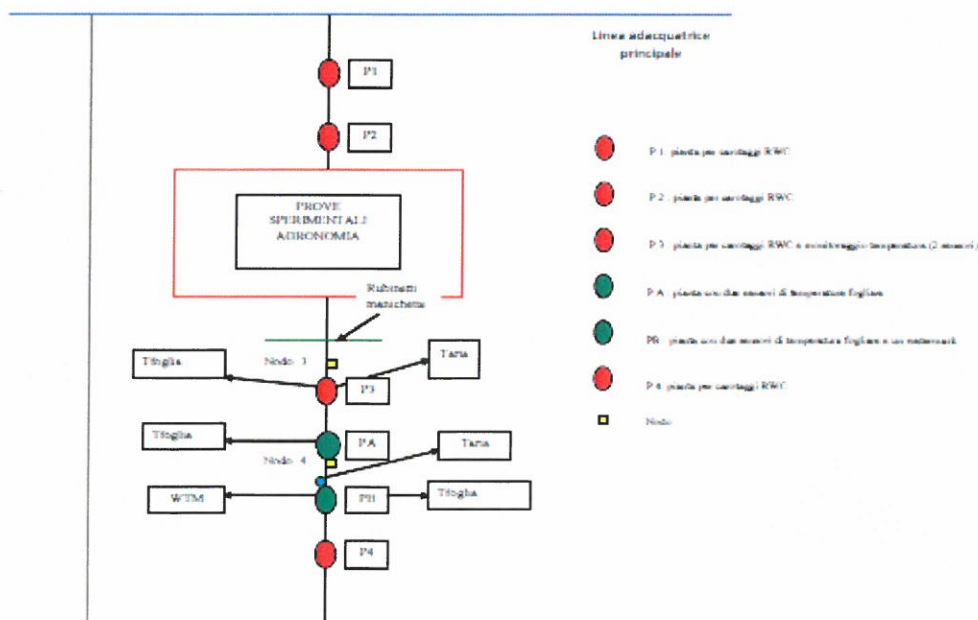


Figura I-26: Schema del monitoraggio in coltura protetta

Lo schema sperimentale è quello riportato in Figura I-26.

### **Modalità di scaricamento e gestione dei Dati**

Gli strumenti utilizzati per il monitoraggio immagazzinano i dati rilevati in appositi server, dai quali è possibile scaricarli attraverso dei personal computer portatili direttamente in campo. I dati relativi alle sonde TDR (strumenti che rilevano il potenziale idrico del terreno in maniera diretta, utilizzati nella nostra sperimentazione come controllo) sono stati scaricati a cadenza settimanale per osservare in maniera continuativa l'evoluzione dell'andamento dell'umidità del terreno. Tali dati venivano immagazzinati in un apposito server, chiamato "Trase", a cui il pc veniva connesso attraverso un cavo che veniva inserito nella porta seriale.

I dati relativi al sistema eKo Pro Series sono trasmessi in modalità wireless dai nodi al gateway dove vengono memorizzati, poi vengono trasferiti su computer portatile attraverso una connessione di tipo LAN.

Tutti i file erano scaricati in formato "CSV", ma ai fini di una migliore gestione è stato necessario trasformarli in file excel.

### **Creazione Database**

Con i dati scaricati periodicamente sono stati creati e aggiornati settimanalmente dei database che racchiudevano le varie registrazioni con la data e l'ora di rilevamento (Figura I-27). Sono state necessarie conversioni per le date e per le unità di misura con cui tali sensori registravano. Dall'aggiornamento continuo sono scaturiti dei database che racchiudono la serie storica di dati per strumento, dai primi di giugno fino al giorno 6 settembre. Dopo tale giorno si è provveduto a togliere la strumentazione in pieno campo e a trasferirne una parte in coltura protetta sotto tunnelone.

data_app_2	Node 2 :	Node 4 :	ef Node 3 :	Node 4 :	[lr
07/07/2010 12.00	41,97				
07/07/2010 12.00	43,25				
07/07/2010 12.00	43,14		41,66		
07/07/2010 12.00	43,46		41,87		
07/07/2010 12.00	43,25	40,93	41,97	41,34	
07/07/2010 12.00	43,35	41,08	41,97		
07/07/2010 12.00	43,35	40,7	42,39	41,55	
07/07/2010 12.00	43,68	40,64	42,29	41,55	
07/07/2010 13.00	43,9	40,65	42,39	41,76	
07/07/2010 13.00	43,68	40,67	42,5	41,76	
07/07/2010 13.00	44,12	41,16	42,6	41,76	

Figura I-27: Esempio di database con data, ora e registrazione dati per nodo e porta

Il passaggio successivo nell'elaborazione dei dati è stato quello di creare dei database con le registrazioni delle apparecchiature installate su ogni pianta partendo dai database per strumento sopra citati.

Tali file contengono le registrazioni delle ore più interessanti della giornata dal punto di vista dei dati di temperatura e umidità. Vi sono contenuti dati medi di tre ore in tre ore a partire dalle ore 9 di mattina fino alle ore 17 del pomeriggio.

Dall'elaborazione di questi dati è stato possibile creare dei grafici che espletano l'andamento della curva di ritenzione, il rapporto tra differenziale di temperatura (aria-pianta) e il potenziale idrico del terreno misurato tramite sonde TDR e watermark, l'andamento del differenziale di temperatura e dell'umidità del terreno.



## Dati raccolti nella stagione 2010 (pieno campo)

### Sonde TDR

Vengono in primo luogo illustrati i dati di contenuto idrico volumetrico ( $m^3/m^3$ ) ottenuti per mezzo delle 8 sonde TDR (2 per ognuna delle 4 piante) installate nella porzione di campo oggetto di sperimentazione.

Nel primo grafico (Figura I-28) viene riportato l'andamento delle umidità medie rilevate in corrispondenza di ciascuna pianta. Si può subito evidenziare che le dinamiche rappresentate risultano tutte in accordo tra loro e descrivono molto bene la corrispondente dinamica degli eventi piovosi (3 e 13 agosto) e degli interventi irrigui (12, 19, 23 luglio) verificatesi nel periodo di osservazione.

D'altra parte si evidenzia una notevole variabilità nelle misure assolute e negli scostamenti assoluti di contenuto idrico: in particolare le misure relative alla pianta 2 risultano alquanto differenti dalle altre, incluse quelle della pianta 1 che si trova poco distante lungo la stessa fila. Le piante 3 e 4, anche esse sulla stessa fila, evidenziano invece valori e scostamenti più simili tra loro.

Tali differenze, considerata l'affidabilità dello strumento TDR, sono senz'altro da attribuire ad un'effettiva variabilità del contenuto idrico presente in corrispondenza delle diverse piante. Ciò è da attribuire, oltre che all'errore sperimentale sempre presente in prove di questo tipo, a due possibili cause:

- 1) ad un effettiva diversità nelle caratteristiche idrauliche dei suoli (tabella 10)
- 2) a variazioni specifiche locali sia nella quantità di acqua erogata dai gocciolatori sia nella possibile presenza di fratture o crepe del terreno in grado di influenzare il movimento e la redistribuzione dell'acqua).
- 3)

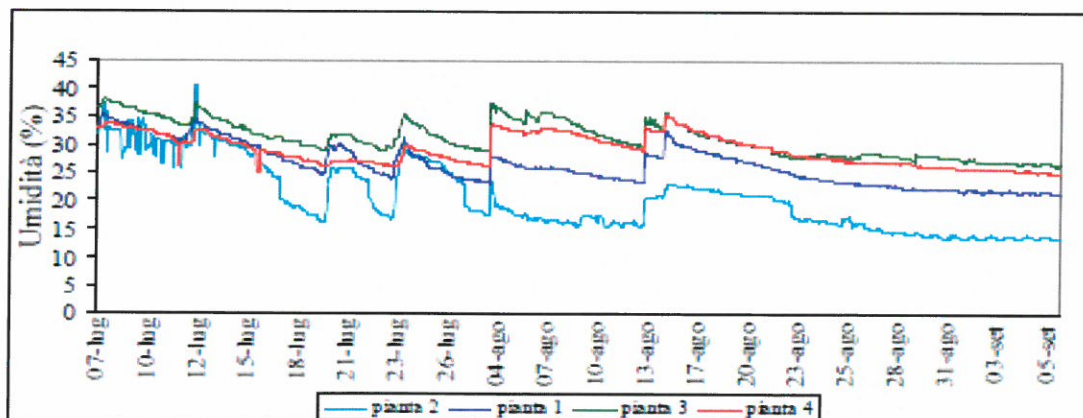


Figura I-28: Dinamica del contenuto idrico rilevato dalle sonde TDR (valori medi per pianta)

Il grafico di Figura I-29 mostra invece le dinamiche di contenuto idrico raggruppate per ala gocciolante (A e B vedi schema di figura25). Anche in questo caso ad una corrispondenza delle dinamiche corrisponde una forte variabilità dei valori assoluti di umidità. I valori medi particolarmente bassi della linea A sono imputabili alla presenza delle sonde istallate sulla pianta 2 (che hanno fornito i valori più bassi in assoluto). L'effetto dovuto alla chiusura dell'irrigazione sulla linea A a partire dal 27 luglio non è molto evidente, certamente a causa delle abbondanti precipitazioni verificatesi nel mese di Agosto.

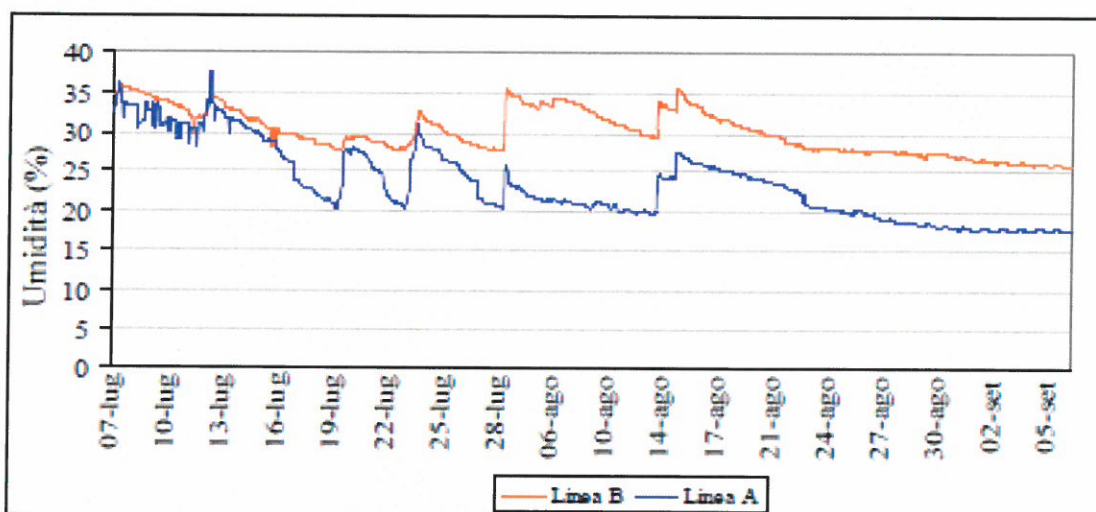


Figura I-29: Dinamica del contenuto idrico rilevato dalle sonde TDR (valori medi per le ciascuna ala gocciolante)

Il grafico di figura I-30 mostra infine la dinamica del contenuto idrico medio a parità di profondità di osservazione (15 e 30 cm). Come atteso l'umidità a 30 cm si mantiene sempre più elevata di quella a 15 cm. L'aspetto più interessante che si può osservare è che in corrispondenza degli interventi irrigui (12, 19, 23 luglio), l'umidità sale molto più evidentemente a 30 cm di quanto non faccia a 15. Questo si può attribuire alla distanza a cui sono state posizionate le sonde dal gocciolatore (20 cm sia lungo la linea che dalla linea) e al tipo di profilo bagnato che si crea attorno al punto di erogazione che tende ad allargarsi con la profondità. Per questo il terreno a 30 cm viene inumidito maggiormente di quello a 15. A conferma di ciò la suddetta differenza non si rileva per i bruschi innalzamenti di umidità che si sono registrati in corrispondenza degli eventi piovosi più intensi (3 e 13 agosto).

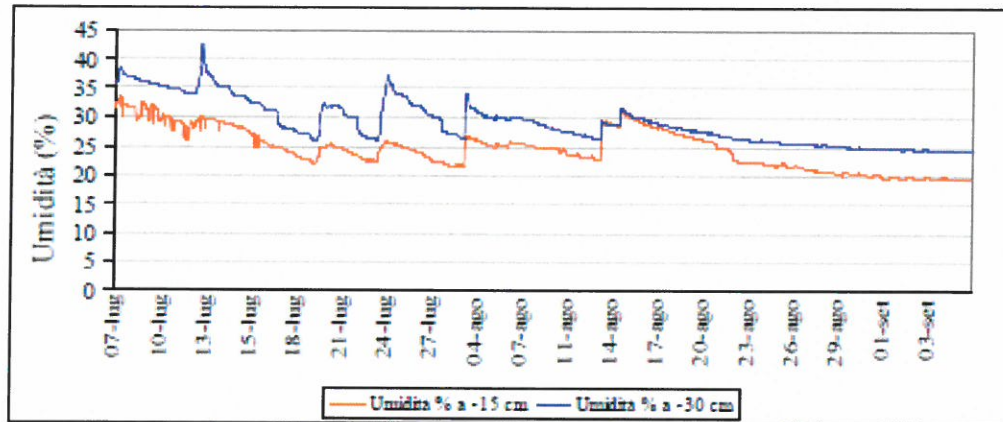


Figura I-30: Dinamica del contenuto idrico rilevato dalle sonde TDR (valori medi per le due profondità di osservazione)

### Sensori Watermark

Come si evince dallo schema di figura I-25, sono stati utilizzati 6 sensori di tipo Watermark per il monitoraggio del potenziale idrico. La profondità di installazione è di 20 cm e dato che il sensore ha una lunghezza di circa 8 cm, ne consegue che lo spessore di osservazione va da 12 a 20 cm (in media 16 cm) il che rende tali misurazioni comparabili con quelle ottenute dalle sonde TDR installate a 15 cm. Il grafico di Figura I-31 mostra gli andamenti del potenziale idrico per ciascuna pianta (per le piante 1 e 4 i valori riportati nel grafico sono le medie delle misure dei due sensori watermark installati su ciascuna pianta). Come per le sonde TDR, emerge immediatamente una forte variabilità nelle misure assolute del potenziale.

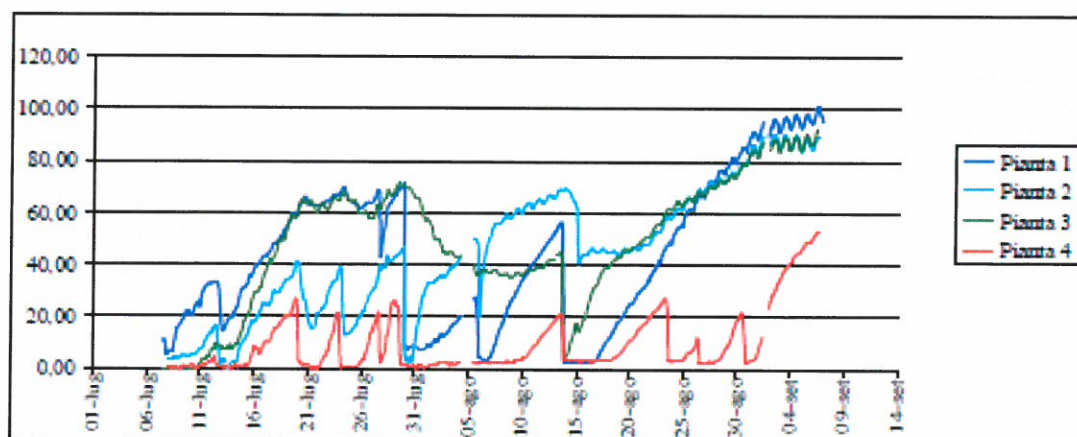


Figura I-31: Dinamica del potenziale idrico (cbar in valore assoluto) per ognuna delle piante monitorate.



## Tensiometri

Sono stati utilizzati 2 tensiometri per il monitoraggio del potenziale idrico in corrispondenza delle piante 3 e 2. Tale monitoraggio aveva l'obiettivo di raccogliere delle misure di potenziale con strumenti (i tensiometri) che per la loro semplicità di installazione e utilizzo sono da tempo largamente impiegati nella pratica irrigua. Inoltre, fra tutti gli strumenti utilizzati, il tensiometro è l'unico che può essere utilizzato anche in modo "manuale" leggendo la misura del potenziale direttamente dal manometro. Le misure raccolte con questi strumenti dovevano anche servire per una valutazione dei sensori di tipo watermark che, seppur ritenuti altamente affidabili, forniscono una misura indiretta del potenziale, come funzione della resistenza elettrica. In realtà si sono verificati alcuni inconvenienti tecnici che hanno determinato una scarsa continuità delle misure raccolte, in particolare per il tensiometro della pianta 3. Per entrambi i tensiometri è risultato molto impegnativo mantenere un adeguato livello del liquido all'interno del tensiometro (condizione necessaria per un suo corretto funzionamento). La causa di questo comportamento è da ricercare nell'elevato potenziale a cui si portava rapidamente il terreno nelle fasi di essiccamento (oltre i 60 cbar). Va ricordato infatti che il limite superiore del potenziale rilevabile dai tensiometri è di 80 cbar e che vicino a tale potenziale, il liquido del tensiometro viene perso molto rapidamente. Le ragioni possono essere dovute a condizioni particolari del terreno nei punti di installazione (tessitura grossolana, crepe) che causavano un'eccessiva perdita di liquido dalla capsula porosa, ma anche all'effettiva carenza idrica nel punto monitorato (i valori di potenziale elevati sono confermati anche dal watermark installato in posizione analoga sulla stessa pianta). Il grafico di figura I-32 mostra l'andamento del potenziale idrico rilevato dal tensiometro installato in corrispondenza della pianta 2. La dinamica risulta abbastanza in accordo con quella degli altri sensori. In particolare vengono ben rappresentati i bruschi abbassamenti di potenziale rilevati per due importanti eventi piovosi (29 luglio e 13 agosto).



Figura I-32: Dinamica del potenziale idrico(in valore assoluto) rilevato dal tensiometro installato in corrispondenza della pianta 2.



## **Temperatura fogliare e differenziale termico pianta-aria**

Dall'analisi dei dati raccolti è emerso che la temperatura fogliare ( $T_F$ ) segue un andamento che rimarca quello della temperatura dell'aria ( $T_A$ ). Si assiste cioè ad un andamento sinusoidale con picchi di temperatura nelle ore calde della giornata e minimi nelle ore notturne. In particolare, analizzando la dinamica del differenziale  $\Delta T$  ( $T_F - T_A$ ) si osserva che questo è in genere negativo (foglia più fresca dell'aria) nelle ore diurne e positivo (foglia più calda dell'aria) nelle ore notturne. Ne consegue che le indicazioni sullo stato idrico della pianta ricavabili dal differenziale  $\Delta T$  potranno essere ottenute solo in relazione alle ore diurne, quando cioè il processo fotosintetico e traspiratorio sono effettivamente presenti. Il grafico di Figura I-33 mostra l'andamento per tutto il periodo di osservazione delle temperature fogliari (media tra le ore 10 e 12) relative alle 4 piante monitorate. Come si può osservare esiste una certa variabilità tra le piante anche se gli andamenti sono tutti concordi. In particolare i bruschi abbassamenti che si rilevano (29 luglio, 4 agosto e 14 agosto) possono essere messi in relazione con eventi meteorologici di un certo rilievo. Nel grafico di Figura I-34 viene riportato l'andamento del differenziale termico (media giornaliera tra le ore 10 e 12) relativo alle piante monitorate. Gli andamenti non sono di immediata interpretazione: certamente tale variabile richiederà un'analisi più approfondita, che riguarderà in particolare l'individuazione di una relazione con il contenuto idrico del suolo rilevato per mezzo dei vari sensori. Il particolare andamento climatico del 2010, particolarmente piovoso, ha determinato senz'altro una difficoltà nel riuscire a interpretare il dato di temperatura fogliare in quanto risulta necessario valutare il suo comportamento in funzione di condizioni di stress idrico crescente. Si può comunque rilevare un certo incremento dei differenziali nell'ultimo periodo in cui non si sono avute precipitazioni ed è stata sospesa l'irrigazione.

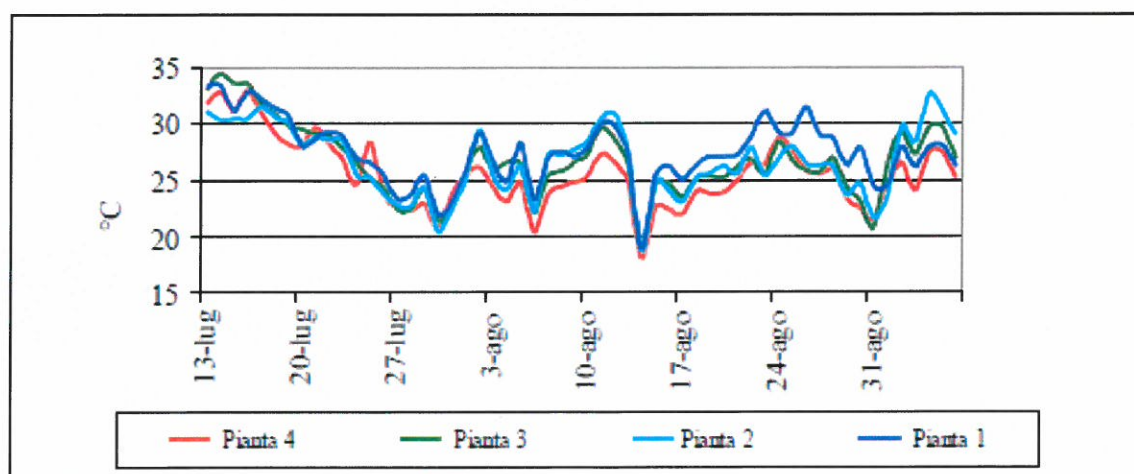


Figura I-33: Dinamica della temperatura fogliare (media tra le ore 10 e 12) rilevata per le piante monitorate.

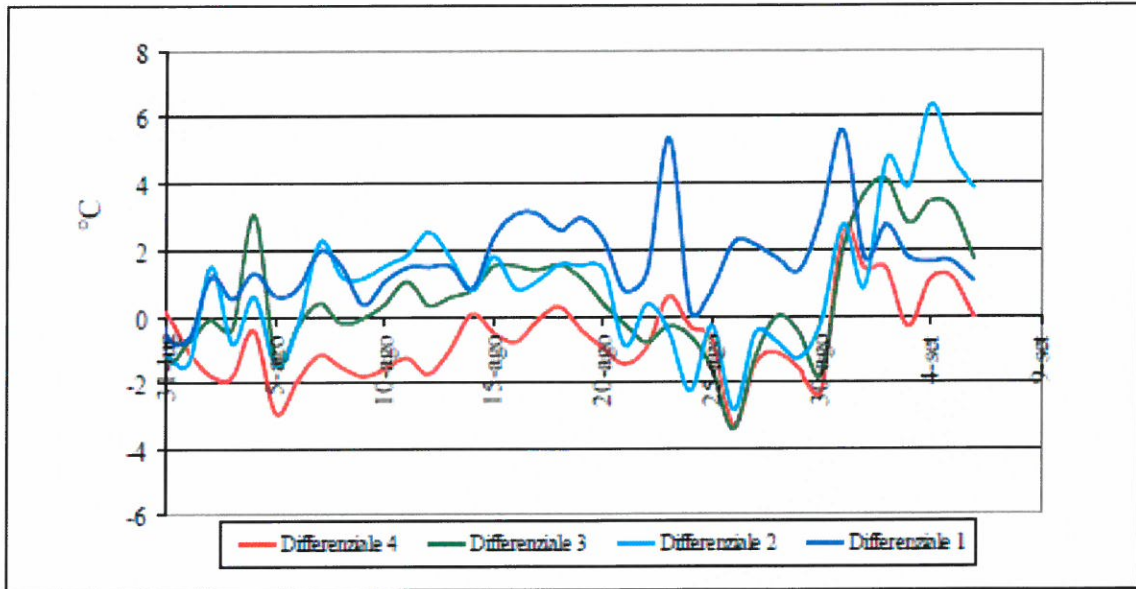


Figura I-34: Dinamica del differenziale termico,  $T_F - T_A$ , (media giornaliera tra le ore 10 e 12) per le 4 piante monitorate.

## **Bagnatura fogliare**

Nel grafico di Figura I-35 viene riportato l'andamento del bagnatura fogliare. Esso risulta ben correlato con gli eventi meteorici, in particolare anche con quelli di modesta entità che non hanno avuto nessun tipo di conseguenza nella variazione di contenuto idrico del terreno. Sono presenti anche piccolissime oscillazioni che coincidono con la presenza di rugiada nelle ore mattutine, indipendentemente dagli eventi meteorici. L'informazione raccolta dimostra senz'altro l'utilità del suddetto monitoraggio per la valutare le possibilità si attacchi fungini e la loro intensità.

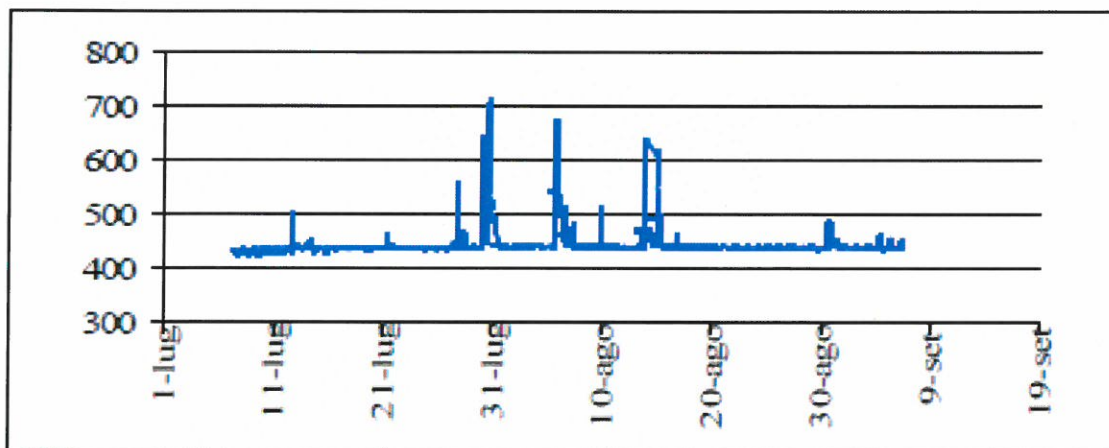


Figura I-35: Dinamica della bagnatura fogliare rilevata dalla foglia elettronica.

## Dati raccolti nella stagione 2010 (coltura protetta)

Il melone coltivato in coltura protetta tardiva (con trapianto verso la fine di agosto) ha permesso di prolungare l'attività di monitoraggio della temperatura fogliare e del potenziale idrico del terreno. Lo schema sperimentale (Figura I-26) prevedeva la possibilità di regolare, attraverso dei rubinetti, il volume irriguo erogato alle piante monitorate. Di fatto tale regolazione non si è resa necessaria poiché la coltura, dopo una prima abbondante irrigazione nella fase di trapianto è stata coltivata senza l'ausilio dell'irrigazione. Tale condizione ha determinato un essiccamento

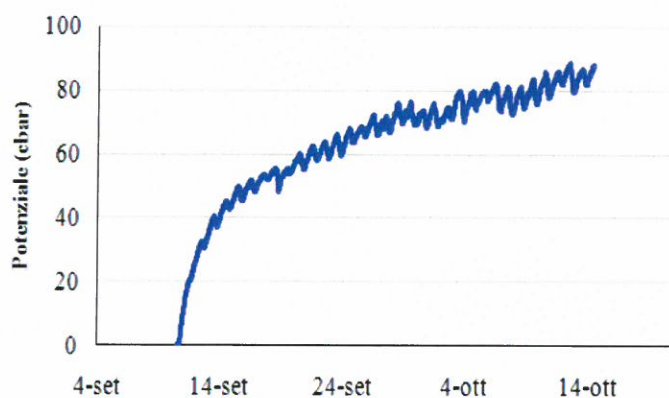


Figura I-36: Dinamica del potenziale idrico rilevata dal sensore Watermark installato in serra.

continuo del terreno come si vede dall'andamento del potenziale rilevato del watermark installato a 20 cm di profondità (Figura I-37).

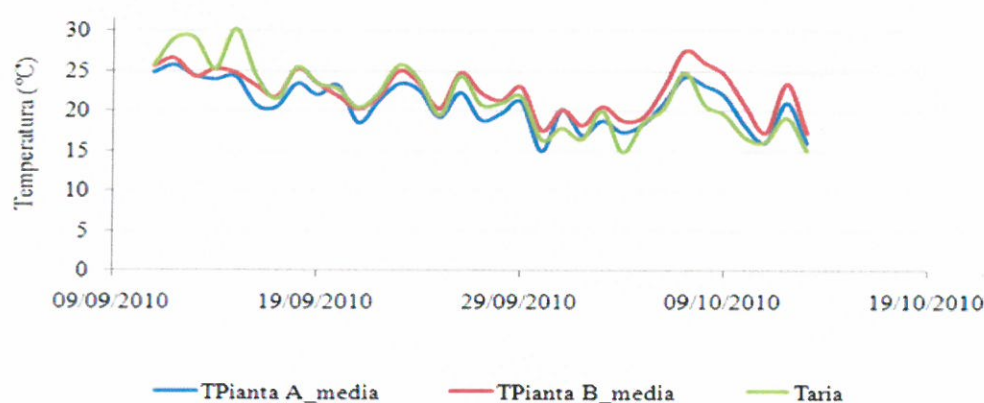


Figura I-37: Dinamica della temperatura rilevata per le piante A e B e per l'aria. Valori medi giornalieri riferiti all'intervallo orario 10:00-12:00.

Come nella prova di pieno campo sono state rilevate in continuo le temperature fogliari e dell'aria determinando l'andamento del differenziale  $T_F - T_A$ . Nel grafico di Figura I- viene



mostrato l'andamento delle temperature rilevate per le due piante monitorate (media dei due sensori installati su ciascuna pianta) e per l'aria.

Un primo esame qualitativo evidenzia come, in un primo periodo, la temperatura dell'aria si mantenga sempre su valori pari o superiori a quelli rilevati per le due piante, mentre nell'ultima fase si mantiene quasi sempre inferiore. Questo comportamento è in accordo con il probabile

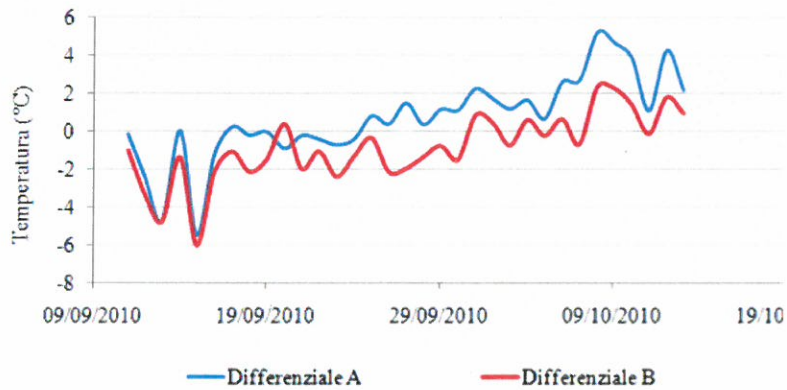


Figura I-38: Dinamica del differenziale termico foglia-aria rilevato per le piante A e B. Valori medi giornalieri riferiti all'intervallo orario 10:00-12:00.

stress idrico che ha sofferto la coltura a causa dell'eccessivo e continuo essiccamento del terreno (Figura I-37). Un'ulteriore conferma è data dalla dinamica del differenziale termico nello stesso periodo  $T_F - T_A$  (figura I-38), da cui si rileva il progressivo innalzamento del differenziale termico  $T_F - T_A$  per entrambe le piante monitorate. Dallo stesso grafico, si può rilevare che le due piante presentano andamenti del differenziale molto simili anche se in termini assoluti risulta spesso presente una consistente differenza.

## Analisi qualitativa dei dati raccolti nella stagione 2010

- È stata osservata una notevole variabilità nelle misure assolute di potenziale idrico del terreno ottenute per mezzo dei sensori comunemente utilizzati a questo scopo. Le cause di questa variabilità possono essere di varia natura:
  - impossibilità di installare i sensori in posizioni esattamente identiche in termini di profondità e distanza dal gocciolatore;
  - effettiva variabilità delle caratteristiche pedo-idrologiche del terreno;
  - disomogeneità della portata erogata dai gocciolatori;
  - differente sviluppo e densità degli apparati radicali.

Anche se le variazioni di contenuto idrico del terreno risultano abbastanza concordi nei vari punti monitorati, le differenze assolute rilevate, potrebbero complicare le possibilità pratiche di utilizzo del suddetto monitoraggio nella gestione degli interventi irrigui. Infatti il punto

monitorato potrebbe fornire informazioni poco attendibili sull'effettivo stato idrico del terreno e soprattutto della pianta, di cui si ha solo una stima indiretta. È presumibile che una buona parte della variabilità riscontrata potrebbe essere eliminata se venissero rilevate in maniera diretta le condizioni di rifornimento idrico della pianta (come appunto è possibile fare per mezzo di sensori fogliari).

L'utilizzo dei tensiometri, inoltre, richiede una manutenzione frequente per garantire misure attendibili.

- I dati raccolti con il monitoraggio, sia di pieno campo che in coltura protetta, sembrano essere promettenti per un efficace uso del differenziale  $T_F-T_A$  nel monitoraggio delle condizioni di stress idrico del melone e per una sua applicazione per la gestione degli interventi irrigui. Anche in questo caso è stata rilevata una notevole variabilità nelle misure raccolte, che potrà essere ridotta migliorando le caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati e sviluppando un apposito supporto che permetta di migliorare il contatto tra sensore e foglia.
- Il differenziale  $T_F-T_A$ , è risultato ben correlato con le misure di umidità del terreno ottenute per mezzo di vari sensori. Questa correlazione risulta migliore per la prova effettuata in serra poiché è stato possibile monitorare la pianta in condizioni di stress idrico crescente. Nella prova di pieno campo, a causa delle precipitazioni e delle irrigazioni, la coltura è risultata spesso in condizioni idriche ottimali o subottimali, ad eccezione dell'ultima fase del ciclo dove effettivamente si è evidenziata una buona correlazione con l'umidità del terreno.

#### **4.5.1.2 SECONDA PARTE ATTIVITÀ E RISULTATI 2011**

Anche nell'anno 2011, i partner DICA e DIEI hanno cooperato nell'ambito dell'Attività progettuale di realizzazione di una rete innovativa di sensori wireless per la gestione della risorsa idrica e degli interventi fitosanitari (attività 5). Più nello specifico, gli obiettivi a cui i due dipartimenti hanno lavorato congiuntamente e avvalendosi del supporto degli altri partner del progetto TOP MELON sono stati:

1. Messa a punto di un sistema di monitoraggio agroambientale tramite una rete di sensori disponibile in commercio e, ove non disponibile, tramite lo sviluppo di sensoristica ad hoc. In particolare sono stati oggetto del monitoraggio le seguenti variabili: temperatura fogliare, dell'aria, bagnatura fogliare, stato idrico del terreno.
2. Installazione del sistema per il monitoraggio continuo delle coltivazioni di melone.
3. Monitoraggio e analisi dei dati per tutto il processo di crescita della pianta fino alla sua raccolta.
4. Interpretazione delle misure di temperatura fogliare nel melone come indicatore di stress idrico.
5. Sviluppo di un sistema di irrigazione automatico basato sulla rilevazione della temperatura fogliare del melone mediante sensori wireless per il risparmio idrico.

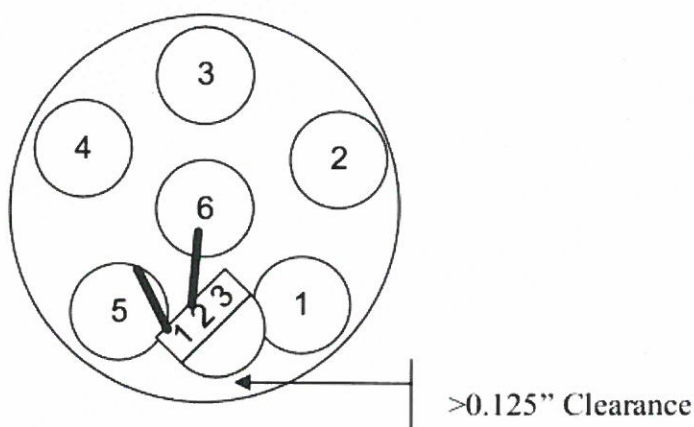
Il DIEI si è occupato in maniera più specifica delle attività 1 e 2, mentre il DICA delle attività 3, 4, 5, 6. Nelle prossime sezioni della presente relazione verranno illustrati le varie attività in maniera dettagliata.

## Interfaccia dei sensori di temperatura

Al fine di integrare in maniera armonica il sensore di temperatura fogliare con il sistema ekoview è stata creata un'interfaccia per convertire e visualizzare le misure direttamente in gradi Celsius invece che in tensione. Per fare ciò si è reso necessario procedere alla programmazione della Eeprom presente all'interno del connettore del sensore per poi passare alla creazione del file xml associato. La procedura seguita è ampiamente descritta nei paragrafi successivi.

### **Programmazione EEPROM**

All'interno del connettore Switchcraft EN3C6F c'è una memoria Maxim DS2431 EEPROM preprogrammata che contiene le informazioni di autoidentificazione del sensore. Quando il connettore del sensore viene inserito ad una porta del nodo EN2100, automaticamente il nodo va a leggere queste informazioni e le invia assieme ai dati acquisiti al gateway che, a seconda del tipo di sensore, esegue opportune operazioni di conversione (descritte nel file xml associato).



Accedere alla memoria EEPROM è indispensabile se si intende controllare dei parametri specifici (non accessibili attraverso il software eKoView), come il numero di sensori collegati



(1-2), il tipo di alimentazione , la frequenza di acquisizione dati, il tempo di warm-up e il power cycle. Allo stesso modo, nel caso in cui si stia utilizzando un sensore diverso da quelli presenti nel catalogo eKo, per poter associare successivamente un'interfaccia xml personalizzata, si dovrà obbligatoriamente accedere alla memoria EEPROM per assegnare un numero identificativo univoco. Tutte queste informazioni sono contenute nella struttura dati di identificazione del sensore (SIS).

## Sensor Identification Structur (SIS)

La struttura dati (SIS) è analizzata in dettaglio nella tabella seguente.

Campo	Bytes	Data Type	Obbligatorio (Y/N) se N allora =0	Descrizione
ByteTotal	1	Char	Y	Numero totale di bytes che seguono escludendo il CRC
<b>Header Block</b>				
BytesHdr	1	Char	Y	Numero di bytes nel header block
Version	1	Char	Y	Numero di versione della tabella
<b>Sensor Block</b>				
BytesSensor	1	Char	Y	Numero di bytes nel sensor (1)
SensorId	2	Unit	Y	Identificativo univoco del sensore
SN	6	Lint	N	Numero seriale
Lot Code	2	Uint	N	Codice di produzione
NOM	1	Char	Y	Numero di sensori connessi al nodo EN2100 (1 o 2 sensori)
<b>Measurement Block per il primo sensore (collegato ai pins 1, 2, 3)</b>				
BytesMeasure	1	Char	Y	Numero di bytes del blocco
SensorType	1	Char	Y	1: 2 fili, resistivo 2: digital 3: 3 fili (alimentato)
Boot-up Time (BT)	1	Char	Y	Tempo necessario al sensore per accendersi.
MeasureTime (MT)	1	Char	Y	Tempo necessario al sensore per fornire il segnale di uscita.
Interrupt	1	Char	Y	<b>Upper 4 bits</b> 0: no interrupt capability 1: interrupt on falling edge 2: interrupt on raising edge 3: interrupt on transition

**Lower 4 bits**

0: do nothing on interrupt  
 1: forward data on interrupt  
 2: forward data on interrupt, also at standard sampling interval  
 3: accumulate interrupt counts; transmit counts at sample interval, zero counts  
 4: accumulate interrupt counts until max value of xx and forward data, zero counts

Power Source            2            Char            Y

For Analog Sensor  
 0 : not used (2 wire, 10k ohm)  
 1 : GPIO (10 ma max @ 3.0V)  
 2: Battery (3.6V to 4.3V typical)  
 3: External  
 For Digital Sensors (smart)  
 0 : not used (2 wire, 10k ohm)  
 1: Battery (3.6V to 4.3V typical)  
 2 : GPIO (10 ma max @ 3.0V)  
 3: External

Power Cycle            2            Uint            Y

0 : turn on power to sensors only when making measurement  
 1...0xFFFFE : power on in msec  
 0xFFFF: always on

**Measurement Block for second sensor on connector (wired to pins 3,4,5)**

Stessa cosa che per il sensore #1

CRC                      2            Uint            Y

CRC di tutti i bytes nel SIS (eccetto il CRC)

Per definire il tempo di Boot-up e di Misura si utilizza il codice mostrato nella seguente tabella dove UN (Upper Nibble) specifica un numero di volte compreso tra 1 e 9 e il LN (Lower Nibble) è un moltiplicatore. Il tempo è basato su di un clock a 32 kHz con 1024 tics per msec; L'unità di misura è 1/8 msec o 128 clock ticks. Il massimo valore ammesso è UN=5 e LN=7 (512 sec).

Upper Nibble Values		Lower Nibble	
		Value (hex)	Multiplier
0	prima possibile	0	x1
1	x1	1	x5
2	x2	2	x10
3	x3	3	x50
4	x4	4	x100

5	x5	5	x500
6	x6	6	x1000
7	x7	7	x5000
8	x8	8	x10000
9	x9	9	x50000
A	0x10	A	x100000
B	N/A	B	x500000
C	N/A	C	x1000000
D	N/A	D	N/A
E	N/A	E	N/A
F	N/A	F	N/A

Esempi:

UN (hex)	LN (hex)	Boot Time o Measure Time (decimale)	Time
0	0	0	prima possibile
1	0	16	0,128 ms
2	0	32	0,256 ms
1	2	18	1,28 ms
1	4	20	12,8 ms
1	6	22	128 ms
1	8	24	1,28 s
1	A	26	12,8 s
1	C	28	128 s

### File SIS per il sensore di tensione ET162 eS9000

Campo	Bytes	Valore	Descrizione
ByteTotal	1	0	Calcolato da eKomake.exe
<b>Header Block</b>			
BytesHdr	1	1	Numero di bytes nel header block
Version	1	2	Numero di versione della tabella

**Sensor Block**

BytesSensor	1	11	Numero di bytes nel sensor (1)
SensorId	2	162	Identificativo univoco del sensore
SN	6	0	Numero seriale
Lot Code	2	0	Codice di produzione
NOM	1	1	Numero di sensori connessi al nodo EN2100 (1 o 2 sensori)

**Measurement Block per il primo sensore (collegato ai pins 1, 2, 3)**

BytesMeasure	1	7	Numero di bytes del blocco
SensorType	1	3	3 fili (alimentato)
Boot-up Time (BT)	1	0	Tempo necessario al sensore per accendersi.
MeasureTime (MT)	1	20	14 hex (12,8 ms)
Interrupt	1	0	N/A
Power Source	2	2	Battery (3.6V to 4.3V typical)
Power Cycle	2	0	turn on power to sensors only when making measurement

**Measurement Block for second sensor on connector (wired to pins 3,4,5)**

Stessa cosa che per il sensore #1

CRC	2	0	Calcolato da ekomake.exe
-----	---	---	--------------------------

**File SIS per il sensore Watermark eS1100**

Campo	Bytes	Valore	Descrizione
ByteTotal	1	0	Calcolato da eKomake.exe
<b>Header Block</b>			
BytesHdr	1	1	Numero di bytes nel header block
Version	1	2	Numero di versione della tabella
<b>Sensor Block</b>			
BytesSensor	1	11	Numero di bytes nel sensor (1)
SensorId	2	23	17 hex Identificativo univoco del sensore
SN	6	0	Numero seriale
Lot Code	2	0	Codice di produzione
NOM	1	1	Numero di sensori connessi al nodo EN2100 (1 o 2 sensori)



**Measurement Block per il primo sensore (collegato ai pins 1, 2, 3)**

BytesMeasure	1	7	Numero di bytes del blocco
SensorType	1	1	2 fili, 10 kohms
Boot-up Time (BT)	1	0	Tempo necessario al sensore per accendersi.
MeasureTime (MT)	1	16	10 hex (0,128 ms)
Interrupt	1	0	N/A
Power Source	2	0	non usata
Power Cycle	2	0	turn on power to sensors only when making measurement

**Measurement Block for second sensor on connector (wired to pins 3,4,5)**

Stessa cosa che per il sensore #1

CRC	2	0	Calcolato da ekomake.exe
-----	---	---	--------------------------

**File SIS per manometro di pressione ET163 Pressure Gauge**

Campo	Bytes	Valore	Descrizione
ByteTotal	1	0	Calcolato da eKomake.exe
<b>Header Block</b>			
BytesHdr	1	1	Numero di bytes nel header block
Version	1	2	Numero di versione della tabella
<b>Sensor Block</b>			
BytesSensor	1	11	Numero di bytes nel sensor (1)
SensorId	2	163	A3 hex Identificativo univoco del sensore
SN	6	0	Numero seriale
Lot Code	2	0	Codice di produzione
NOM	1	1	Numero di sensori connessi al nodo EN2100 (1 o 2 sensori)
<b>Measurement Block per il primo sensore (collegato ai pins 1, 2, 3)</b>			
BytesMeasure	1	7	Numero di bytes del blocco
SensorType	1	3	3 fili
Boot-up Time (BT)	1	0	Tempo necessario al sensore per accendersi.
MeasureTime (MT)	1	20	14 hex (12,8 ms)
Interrupt	1	0	N/A
Power Source	2	0	non usata

Power Cycle	2	0	turn on power to sensors only when making measurement
-------------	---	---	---

**Measurement Block for second sensor on connector (wired to pins 3,4,5)**

Stessa cosa che per il sensore #1

CRC	2	0	Calcolato da ekomake.exe
-----	---	---	--------------------------

Di seguito viene riportato il file SIS per il doppio sensore di temperatura, che d'ora in avanti verrà nominato ET155 Leaf Temperature Sensor.

**File SIS per il sensore di temperatura ET155**

Campo	Bytes	Valore	Descrizione
ByteTotal	1	0	Calcolato da eKomake.exe
<b>Header Block</b>			
BytesHdr	1	1	Numero di bytes nel header block
Version	1	2	Numero di versione della tabella
<b>Sensor Block</b>			
BytesSensor	1	11	Numero di bytes nel sensor (1)
SensorId	2	155	A3 hex Identificativo univoco del sensore
SN	6	0	Numero seriale
Lot Code	2	0	Codice di produzione
NOM	1	2	Numero di sensori connessi al nodo EN2100 (1 o 2 sensori)
<b>Measurement Block per il primo sensore (collegato ai pins 1, 2, 3)</b>			
BytesMeasure	1	7	Numero di bytes del blocco
SensorType	1	3	3 fili
Boot-up Time (BT)	1	0	Tempo necessario al sensore per accendersi.
MeasureTime (MT)	1	20	14 hex (12,8 ms)
Interrupt	1	0	N/A
Power Source	2	2	usata
Power Cycle	2	0	turn on power to sensors only when making measurement
<b>Measurement Block for second sensor on connector (wired to pins 3,4,5)</b>			
BytesMeasure	1	7	Numero di bytes del blocco
SensorType	1	3	3 fili
Boot-up Time (BT)	1	0	Tempo necessario al sensore per accendersi.

MeasureTime (MT)	1	20	14 hex (12,8 ms)
Interrupt	1	0	N/A
Power Source	2	2	usata
Power Cycle	2	0	turn on power to sensors only when making measurement
CRC	2	0	Calcolato da ekomake.exe

### **Conversione da SIS file a Bytes**

Dopo aver creato il file SIS, si può generare il file di uscita utilizzando l'utility DOS eKomake.exe attraverso il seguente comando:

“run ekomake infile.txt”

dove infile.txt rappresenta il file in ingresso contenente la struttura SIS.

In uscita otterremo un file infileout.txt contenete i bytes in formato esadecimale che andranno copiati sulla EEPROM.

### **Programmare la DS2431**

Per poter programmare la DS2431 è necessario la scheda Maxim DS9090K collegabile a PC tramite cavo USB.

Una volta installata la DS2431 nell'apposito socket o collegata tramite cavetto, si deve avviare il software OneWireViewer, selezionare DS2431 dalla lista dei dispositivi (Device List), selezionare “Memory “ e poi “Main Memory”.

Successivamente si deve copiare le linee di testo del file di output generate da ekomake.exe e copiarle alle voci Page 0 e Page 1.

Infine selezionare “Commit Changes” per programmare il dispositivo.

### **Creazione del File XML**

Di seguito viene riportato il codice xml per convertire e visualizzare le misure relative al sensore ET155 Leaf TemperatureSensor.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!DOCTYPE XServeConfig SYSTEM "./xserve_config.dtd">
<XServeConfig>
```



```

<XFieldExtractor name="eT155 Leaf Temperature Sensor v1" order="3">
  <XFields>

    <!-- Tos Hdr -->
      <XField name="amType" byteoffset="2" length="1" type="uint8"/>
      <XField name="group" byteoffset="3" length="1" type="uint8"/>

    <!-- XMesh Hdr -->
      <XField name="nodeId" byteoffset="7" length="2" type="uint16" specialtype="nodeid"/>
      <XField name="socketId" byteoffset="11" length="1" type="uint8"/>

    <!-- XSensor Hdr -->
      <XField name="boardId" byteoffset="12" length="1" type="uint8" specialtype="sensorboardid"/>
      <XField name="packetId" byteoffset="13" length="1" type="uint8"/>
      <XField name="ParentID" byteoffset="14" length="1" type="uint16"/>

    <!-- Raw Data -->
      <XField name="RefADC1" byteoffset="16" length="2" type="uint16"/>
    <!-- xcitation voltage -->
      <XField name="ExcV1" byteoffset="18" length="2" type="uint16">
        <XConversion function = "2*1225*x/y" returntype="float">
          <XConvParam variablename="x" fieldname="ExcV1" type="float"/>
          <XConvParam variablename="y" fieldname="RefADC1" type="float"/>
        </XConversion>
      </XField>

    <!-- Temperature Sensor 1 -->
      <XField name="Temperatura1" byteoffset="20" length="2" type="uint16">
        <XConversion function="25+((1225*x/z)-750)/10" returntype="float">
          <XConvParam variablename="x" fieldname="Temperatura1" type="float"/>
          <XConvParam variablename="z" fieldname="RefADC1" type="float"/>
        </XConversion>

```

```

    </XField>
<!-- Raw Data -->
    <XField name="RefADC2" byteoffset="22" length="2" type="uint16"/>
<!-- xcitation voltage -->
    <XField name="ExcV2" byteoffset="24" length="2" type="uint16">
        <XConversion function = "2*1225*x/y" returntype="float">
            <XConvParam variablename="x" fieldname="ExcV2" type="float"/>
            <XConvParam variablename="y" fieldname="RefADC2" type="float"/>
        </XConversion>
    </XField>
<!-- Temperature Sensor 2 -->
    <XField name="Temperatura2" byteoffset="26" length="2" type="uint16">
        <XConversion function="25+((1225*x/z)-750)/10" returntype="float">
            <XConvParam variablename="x" fieldname="Temperatura2" type="float"/>
            <XConvParam variablename="z" fieldname="RefADC2" type="float"/>
        </XConversion>
    </XField>

</XFields>
<XFilter>

<!-- LOGIC: SocketID==XSensorEko AND BoardID (SensorId) AND PacketID==0 -->
    <XCondAnd>
        <XCond name="IsEqual">
            <XFilterParam name="fieldname" value="socketId"/>
            <XFilterParam name="fieldvalue" value="0x34"/>
        </XCond>
        <XCond name="IsEqual">
            <XFilterParam name="fieldname" value="boardId"/>
            <XFilterParam name="fieldvalue" value="155"/>
        </XCond>
    </XCondAnd>

```

```

<XCond name="IsEqual">
  <XFilterParam name="fieldname" value="packetId"/>
  <XFilterParam name="fieldvalue" value="0x0"/>
</XCond>

</XCondAnd>

</XFilter>

<XDataSinks>
  <XDataSink name="Generic Print Datasink">
    <XDSPParam name="printstring" value="ET155 Leaf Temperature[%s:%s]:\n Parent:%s
PortID:%s \n Temperature1:%s C Temperature2:%s C RefADC1:%s"/>
    <XDSPParam name="printfields" value="boardId,packetId,ParentID,nodId,Temperature1,
Temperature2, RefADC1"/>
  </XDataSink>
  <XDataSink name="Generic File Datasink">
    <XDSPParam name="rawfilename" value="ET155_Leaf_Temperature_Raw.csv"/>
    <XDSPParam name="parsedfilename" value="ET155_Leaf_Temperature_Parsed.csv"/>
    <XDSPParam name="convertedfilename" value="ET155_Leaf_Temperature_Converted.csv"/>
    <XDSPParam name="delim" value=","/>
    <XDSPParam name="header" value="yes"/>
    <XDSPParam name="timestamp" value="%m-%d-%Y %H:%M:%S"/>
    <XDSPParam name="backup" value="yes"/>
  </XDataSink>
  <XDataSink name="Sensor Log Datasink">
    <XDSPParam name="sensorid" value="155"/>
    <XDSPParam name="tablename" value="ET155_sensor_results"/>
    <XDSPParam name="sensorname" value="ET155_Leaf_Temperature"/>
    <XDSPParam name="columninfo" value="fieldName = nodId, displayName = Node Id,
displayOrder = 1"/>
    <XDSPParam name="columninfo" value="fieldName = Temperatura1,displayName =
Temperature1, displayOrder = 2,displayGraphic=SensorBar,unitName = Celsius, unitShortName = C,
sensorType = Temperatura, sensorMinValue = -10, sensorMaxValue = 50"/>

```



```
<XDSPParam name="columninfo" value="fieldName = Temperatura2,displayName =  
Temperature2, displayOrder = 3,displayGraphic=SensorBar,unitName = Celsius, unitShortName = C,  
sensorType = Temperatura, sensorMinValue = -10, sensorMaxValue = 50"/>
```

```
</XDataSink>
```

```
</XDataSinks>
```

```
</XFieldExtractor>
```

```
</XserveConfig>
```

## Progettazione e realizzazione di un sensore pinza

Nella prima parte della sperimentazione sono state incontrate delle problematiche per quanto riguarda la misura della temperatura fogliare, in particolare la difficoltà maggiore è stata quella relativa al fissaggio del sensore a contatto con la superficie della foglia. In questa seconda fase del progetto è stato deciso di affrontare la tematica dell'alloggiamento del sensore di temperatura per cercare una soluzione più robusta, ma che al tempo stesso non danneggi la delicata superficie della foglia. Per conseguire tale risultato si è pensato di realizzare un PCB che oltre ad integrare il sensore TMP36 e fornire le necessarie connessioni, garantisse un fissaggio meccanico attraverso una particolare forma specifica. Sono state ipotizzate varie geometrie (figura II-1), ma alla fine si è scelto di utilizzare una forma molto simile a quella di un comune fermacarte, cercando di limitare al minimo la copertura della parte superiore della foglia per non ostacolare il naturale processo di fotosintesi.

Sensore di temperatura fogliare  
Possibili realizzazioni

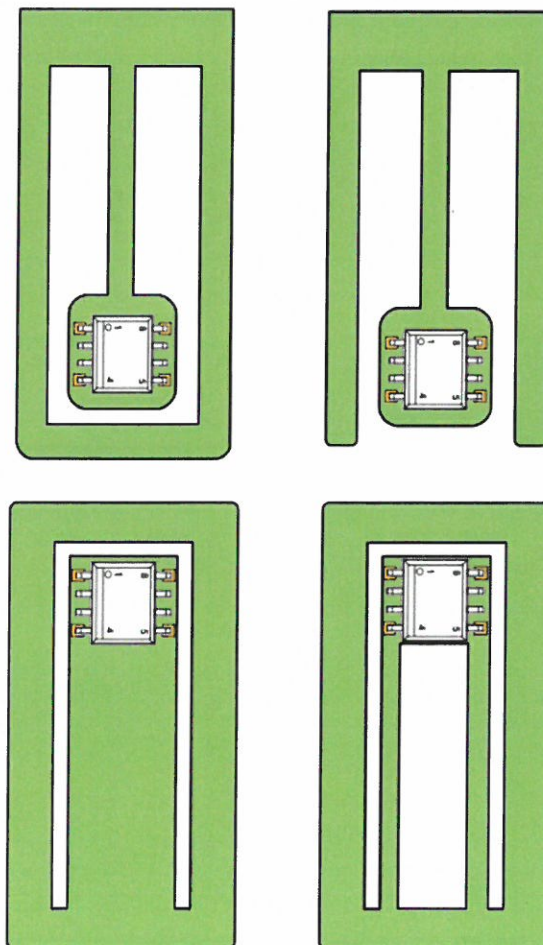


Figura II-1. Possibili realizzazioni del sensore pinza

Sono state realizzati dei prototipi (figure II-2-e II-3) per verificare che una tale forma garantisca

l'elasticità meccanica del substrato necessaria per evitare di rovinare la foglia e garantire opportuno fissaggio. Inoltre sono state fatte delle prove con vari tipi di substrato per valutare quale fosse il materiale dielettrico e lo spessore migliori per raggiungere le prestazioni meccaniche desiderate.

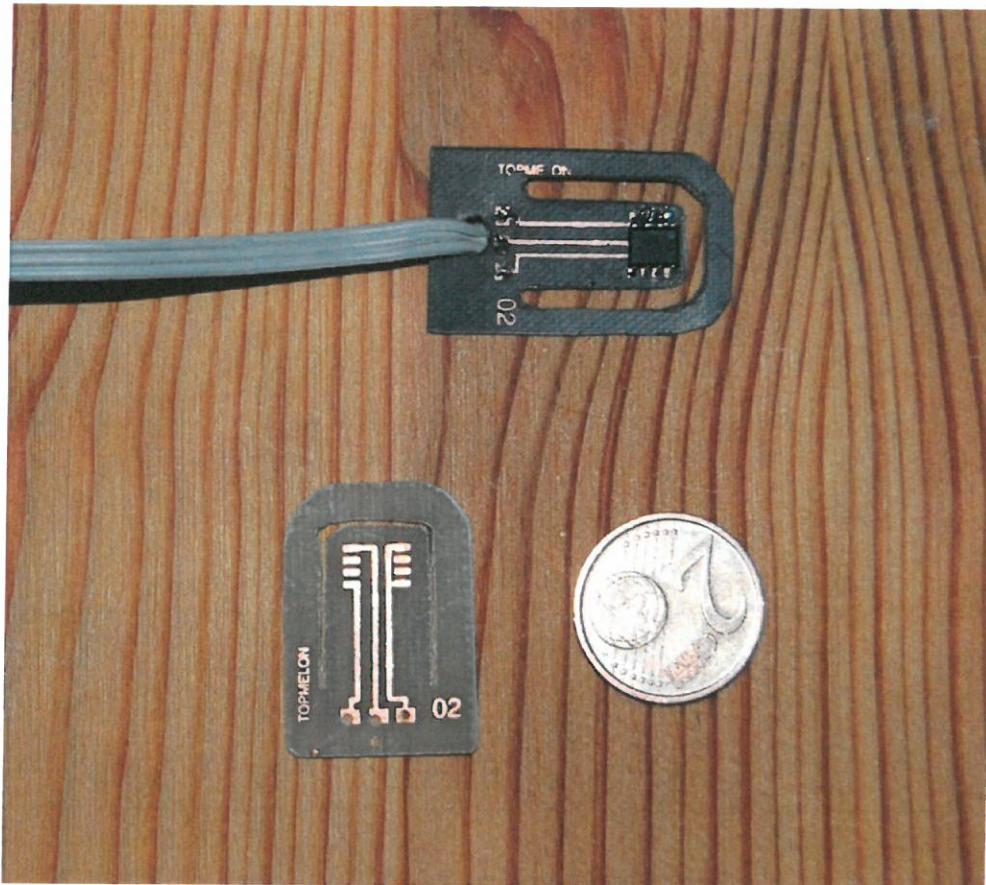


Figura II-2. Esempi di prototipi di sensori-pinza.



Figura II-3. Esempio di prototipo di sensore-pinza inserito sulla foglia di una pianta sempreverde

Dopo queste verifiche il disegno della forma della pinza ha subito ulteriori migliorie fino ad



ottenere il layout finale riportato in figura II-4.

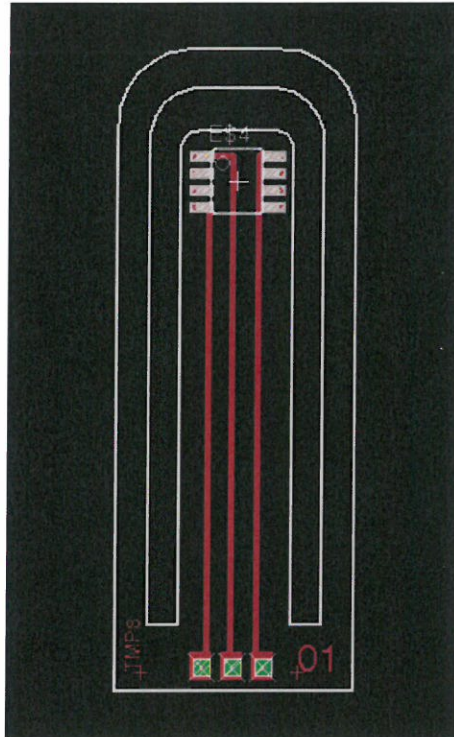


Figura II-4. Aspetto definitivo individuato per il sensore-pinza

Un'ulteriore modifica per ridurre ingombro e peso è stata apportata utilizzando lo stesso sensore ma con package diverso (RJ-5) come illustrato in figura II-5.



Figura II-5. Sensori-pinza ed esempio di installazione sulla foglia di melone

Per ottenere una misura della temperatura dell'aria non influenzata dalla radiazione solare è stato realizzato uno schermo (figura II-6) all'interno del quale è stato alloggiato il sensore eS1201.





Figura II-6. Schermo per la rilevazione della temperatura dell'aria

# Progettazione del wi-Pinza

## Introduzione

Lo sviluppo di un sensore di temperatura alloggiato in una PCB a forma di pinza, costituisce una soluzione semplice ma al tempo stesso innovativa, perchè una volta stabilite le dimensioni e il materiale dielettrico idonei a garantire le proprietà di elasticità meccaniche ricercate, permette di utilizzare lo spazio vuoto del layout per aggiungere altri dispositivi elettronici in grado di incrementare le potenzialità del circuito. Percorrendo questa strada si è cercato di progettare un circuito che alimentato da una piccola batteria al Litio integrasse degli elementi per condizionare il segnale ricevuto e tramettere i dati in modalità wireless, evitando il cablaggio attualmente indispensabile per collegare i sensori ai nodi eKo.

Per realizzare tali obiettivi è stato selezionato un chip disponibile in commercio prodotto dalla Texas Instruments: il CC2530 (Figura II-7).



Figura II-7. Chip CC2530

## CC2530

Il CC2530 è una vera soluzione system-on-chip per applicazioni IEEE802.15.4, Zigbee e RF4CE. Permette di costruire una robusta rete di nodi con un costo totale molto contenuto. Il CC2530 combina le performance eccellenti di un transceiver RF con il microcontrollore industriale 8051, incorpora una memoria flash (disponibile in quattro versioni con 32/64/128/256 KB di memoria flash) e tante altre utili caratteristiche. Ha quattro differenti modalità operative che lo rendono particolarmente utile nei sistemi in cui è richiesto un consumo di potenza molto basso. Inoltre piccole tempi di transizioni tra le varie modalità di lavoro garantiscono un basso consumo di energia. Di seguito è riportata una descrizione del circuito interno del chip tramite diagramma a blocchi. I moduli possono essere classificati in tre categorie:

- CPU e moduli relativi alla memoria
- moduli relativi alle periferiche, clocks e gestione dell'alimentazione
- moduli relativi alla trasmissione radio

## CPU e memoria

Il core della CPU 8051 (figura II-8) è usato nella famiglia di dispositivi CC253x ed è un core a

singolo ciclo 8051- compatibile. Ha tre differenti buses per l'accesso alla memoria (SFR, DATA e CODE/XDATA) con accesso a singolo ciclo a SFR, DATA e principale SRAM. Include anche un'interfaccia debug e un'unità interrupt a 18 ingressi.

Il **controllore Interrupt** serve un totale di 18 sorgenti di interrupt, divisi in sei gruppi, ognuno dei quali è associato con una delle quattro priorità. Ogni richiesta di interrupt è servita anche se il dispositivo è in stato di riposo, tornando in modalità attiva. Alcuni interrupts possono anche svegliare il dispositivo dalla modalità “sleep”.

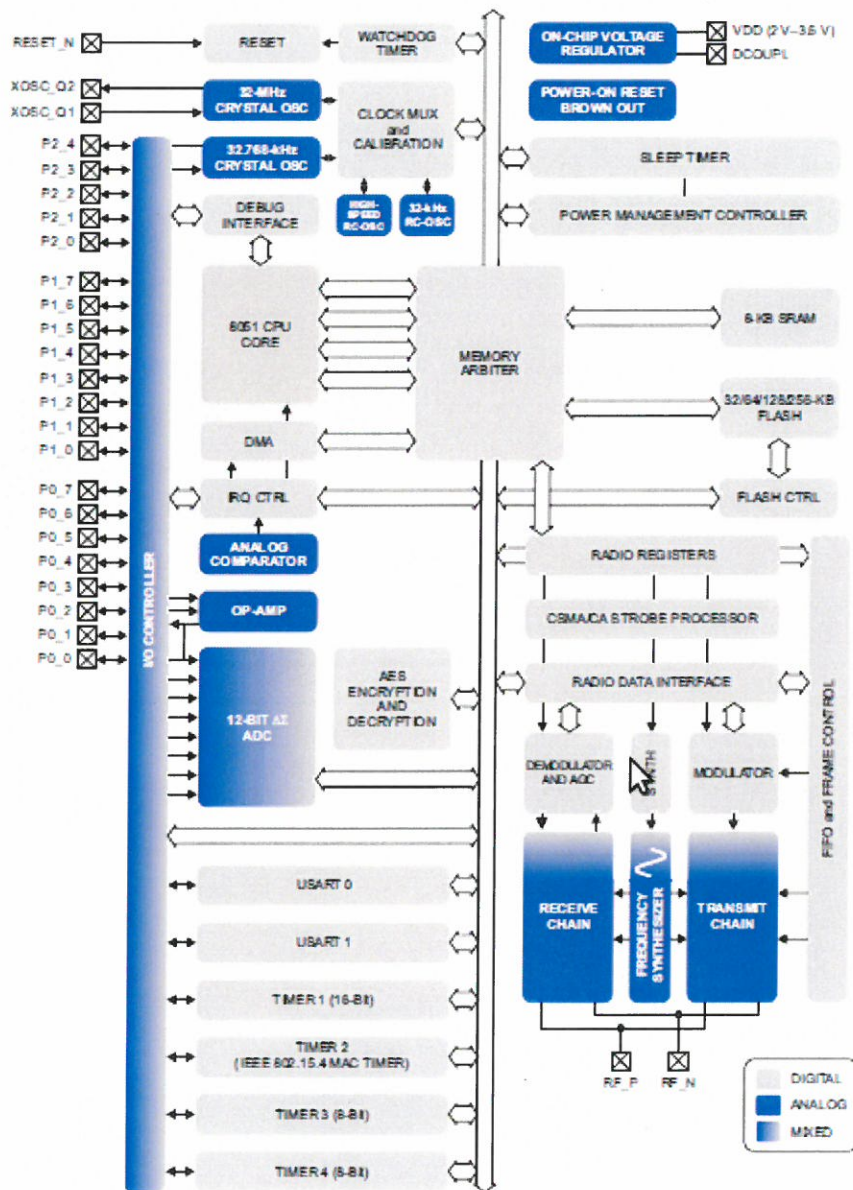


Figura II-8. Schema della CPU 8051

L'**arbitro di memoria** è il cuore del sistema, è connesso alla CPU e al controllore DMA con le memorie fisiche e a tutte le periferiche attraverso il bus SFR.

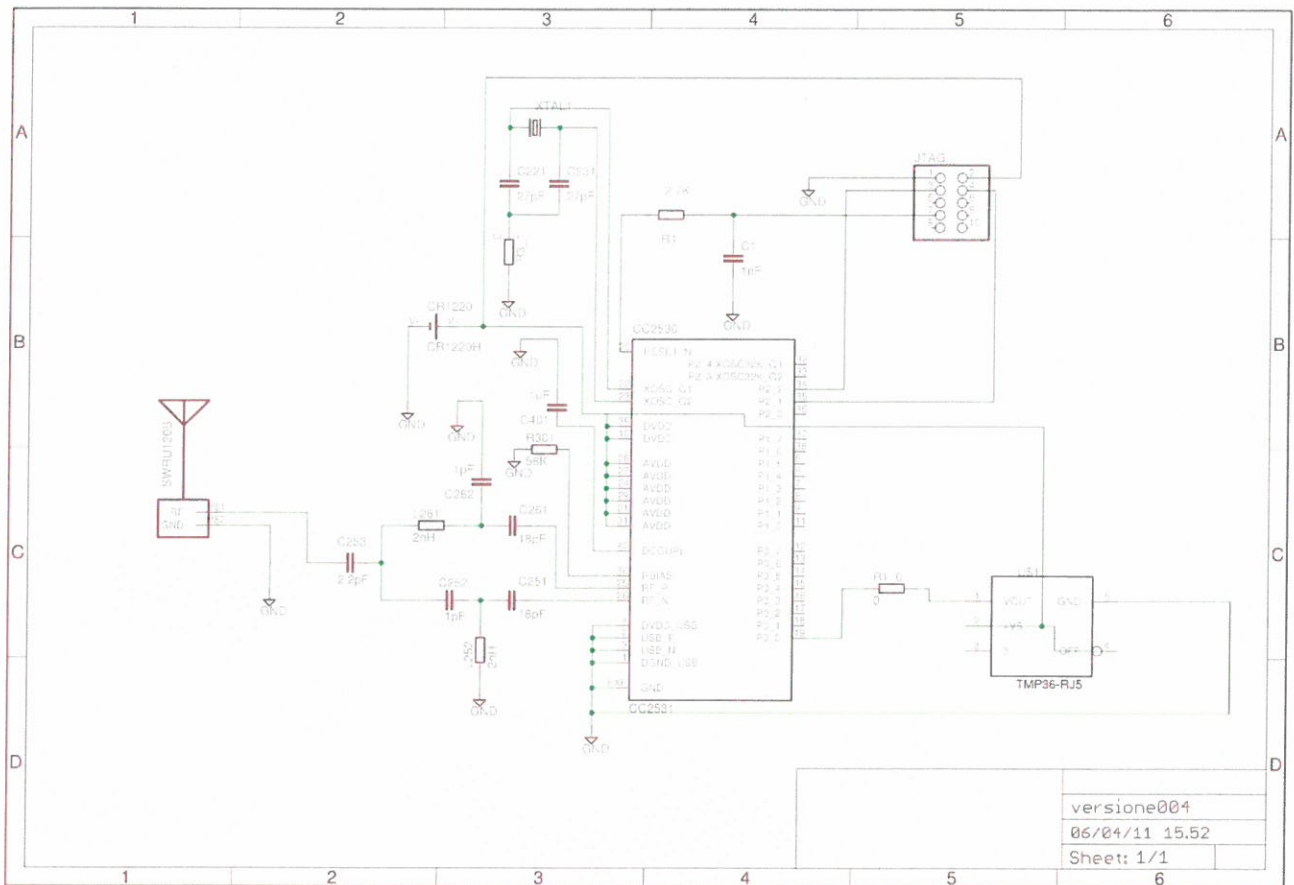
La **8-KB SRAM** è una memoria ultra power che mantiene il suo contenuto anche quando la parte digitale è spenta. Questa caratteristica è molto importante per applicazioni a basso

consumo.

Il blocco di memoria **flash 32/64/128/256 KB** fornisce una memoria non volatile programmabile “in-circuit” e mappa gli spazi di memoria CODE e XDATA. Inoltre permette di salvare i dati che devono essere preservati in modo che siano disponibili dopo il riavvio del dispositivo.



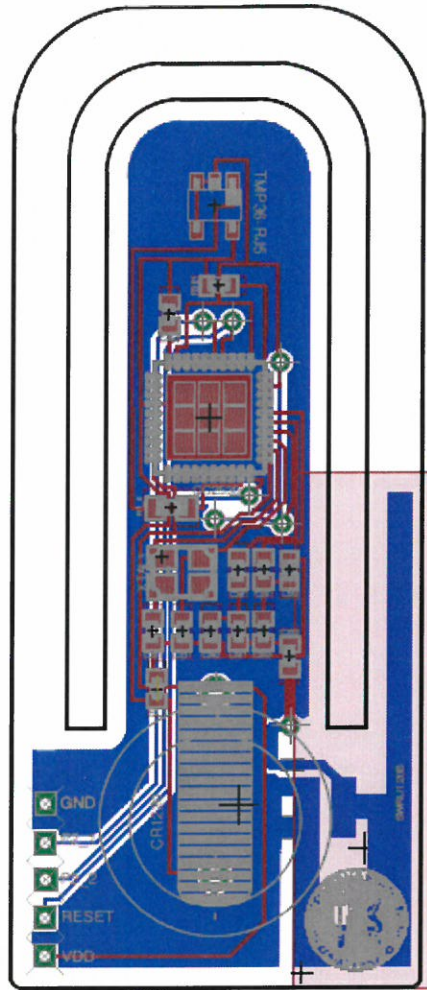
# Schematic



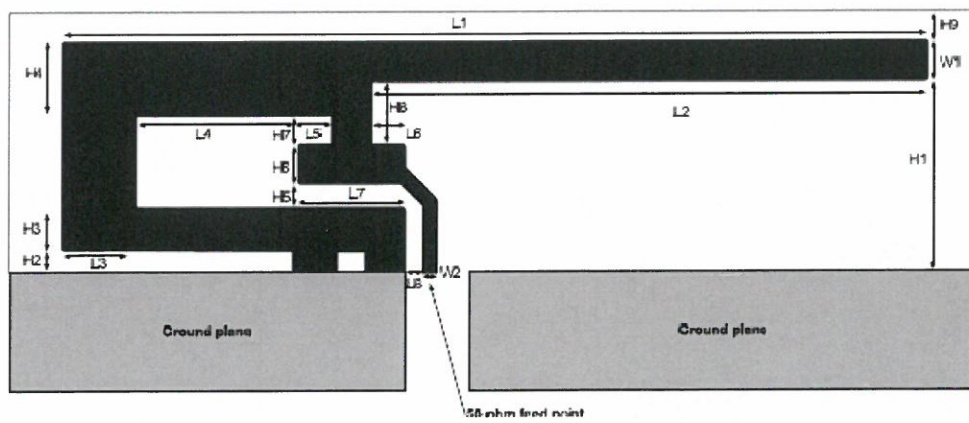
CC2530EM Partlist List 1.3.1

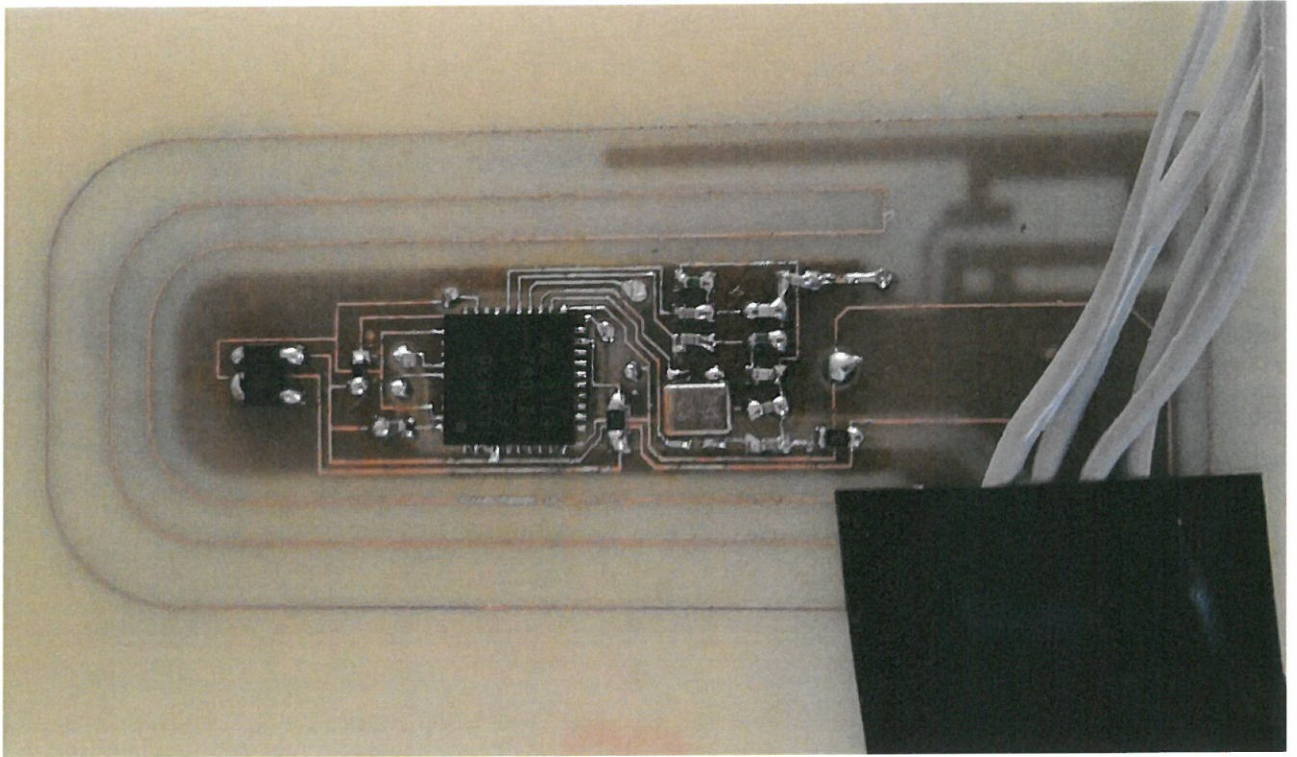
Ref.	Part name	qs/unit	Description	Manufacturer	Part number
C1	C_2U2_0402_X5R_M_4VDC	1	Capacitor, 2u2, 0402, X5R, +/-20%, 4V	Murata	GRM1555C1H2R2CD01
C101	C_100N_0402_X5R_K_10	1	Capacitor, 100n, 0402, X5R, 10%, 10V	Murata	GRM155R71A104KA01D
C211	C_100N_0402_X5R_K_10	1	Capacitor, 100n, 0402, X5R, 10%, 10V	Murata	GRM155R71A104KA01D
C221	C_27P_0402_NP0_J_50	1	Capacitor, 27p, 0402, NP0, 5%, 50V	Murata	GRM1555C1H270JZ01D
C231	C_27P_0402_NP0_J_50	1	Capacitor, 27p, 0402, NP0, 5%, 50V	Murata	GRM1555C1H270JZ01D
C241	C_100N_0402_X5R_K_10	1	Capacitor, 100n, 0402, X5R, 10%, 10V	Murata	GRM155R71A104KA01D
C251	C_18P_0402_NP0_J_50	1	Capacitor, 18p, 0402, NP0, 5% 25V	Murata	GRM1555C1H180JZ01D
C252	C_1P0_0402_NP0_C_50	1	Capacitor, 1p, 0402, NP0, +/-0.25pF 50V	Murata	GRM1555C1H1R0CZ01D
C253	C_0402	0	Capacitor, general, 0402; Do not mount		
C254	C_2P2_0402_NP0_C_50	1	Capacitor, 2p2, 0402, NP0, +/-0.25pF, 50V	Murata	GRM1555C1H2R2CZ01
C255	C_0402	0	Capacitor, general, 0402; Do not mount		
C261	C_18P_0402_NP0_J_50	1	Capacitor, 18p, 0402, NP0, 5% 25V	Murata	GRM1555C1H180JZ01D
C262	C_1P0_0402_NP0_C_50	1	Capacitor, 1p, 0402, NP0, +/-0.25pF 50V	Murata	GRM1555C1H1R0CZ01D
C271	C_100N_0402_X5R_K_10	1	Capacitor, 100n, 0402, X5R, 10%, 10V	Murata	GRM155R71A104KA01D
C272	C_220P_0402_NP0_J_50	1	Capacitor, 220p, 0402, NP0, 5%, 50V	Murata	GRM1555C1H221JA01D
C311	C_100N_0402_X5R_K_10	1	Capacitor, 100n, 0402, X5R, 10%, 10V	Murata	GRM155R71A104KA01D
C321	C_15P_0402_NP0_J_50	1	Capacitor, 15p, 0402, NP0, 5%, 50V	Murata	GRM1555C1H150JZ01D
C331	C_15P_0402_NP0_J_50	1	Capacitor, 15p, 0402, NP0, 5%, 50V	Murata	GRM1555C1H150JZ01D
C391	C_1U_0402_X5R_K_6P3	1	Capacitor 1uF, 0402, X5R, 10%, 6.3V	Murata	GRM155R60J105KE19D
C401	C_1U_0402_X5R_K_6P3	1	Capacitor 1uF, 0402, X5R, 10%, 6.3V	Murata	GRM155R60J105KE19D
L1	L_BEAD_102_0402	1	EMI filter bead	Murata	BLM15HG102SN1D
L251	L_0402	0	Inductor, general, 0402; Do not mount		
L252	L_2N0_0402_S	1	Inductor, 2n0, 0402, +/-0.3 nH	Murata	LQG15HS2N0S02D
L261	L_2N0_0402_S	1	Inductor, 2n0, 0402, +/-0.3 nH	Murata	LQG15HS2N0S02D
P1	SMD_SOCKET_2x10	1	SMD pinrow socket, .050 spacing, 2x10	Samtec	SFM-110-02-SM-D-A-K-TR
P2	SMD_SOCKET_2x10	1	SMD pinrow socket, .050 spacing, 2x10	Samtec	SFM-110-02-SM-D-A-K-TR
P3	SMA_SMD	1	SMA connector, straight SMD-mount	Hus-Tsan Group	SMA-10V21-TGG
P4	PINROW_1x2	0	Do not mount		
R301	R_56K_0402_F	1	Resistor, 56k ohms, 0402, ±1%	Koa	RK73H1ETTP5602F
U1	CC2530	1	Single-chip transceiver	Texas Instruments	CC2530
X1	X_32.000/10/15/30/16	1	Crystal, 32.000MHz, NX3225DA, 10/15ppm, 16 NDK		NX3225SA
X2	X_32.768/20/50/40/12	1	Crystal, 32.768 kHz, 12.5pF, 20/50 ppm, SMD p:Epson		MC-306
<b>Total number</b>		<b>28</b>			

## Board

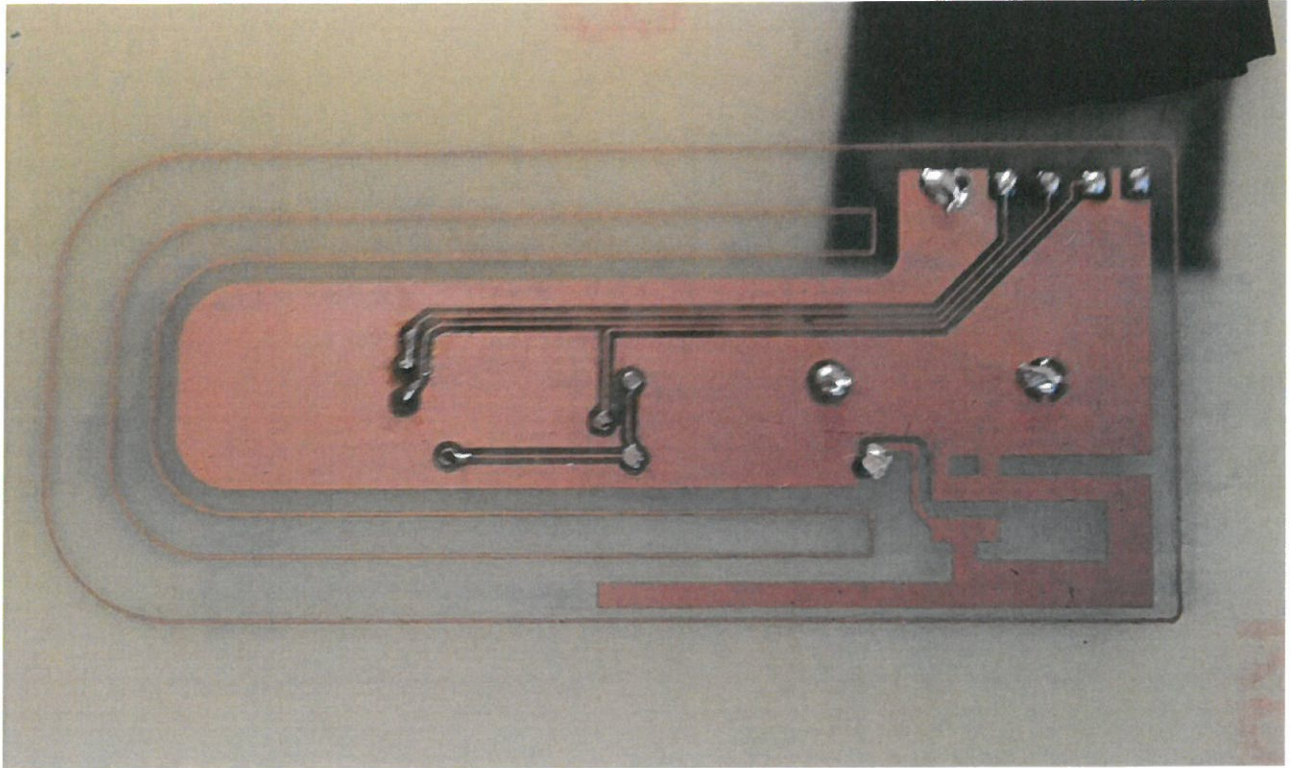


## Antenna: Swru120B









## Attività di campo dell'anno 2011

Le attività nella stagione 2011 si sono svolte in diversi appezzamenti e periodi. Anche le finalità sono state in genere diverse come descritto di seguito:

- 1) La prima attività si è svolta dal 12 maggio al 22 giugno presso Deruta ed ha avuto come obiettivo principale il monitoraggio del differenziale termico foglia-aria, dello stato idrico del suolo e della bagnatura fogliare. Tutte le grandezze rilevate sono state sottoposte ad un controllo qualitativo per valutare l'accuratezza dei diversi sensori impiegati. È stato inoltre sviluppato e testato un sistema per la gestione automatica degli interventi irrigui basato sui dati monitorati.
- 2) La seconda attività si è svolta dal 14 luglio al 14 agosto presso Collazzone (PG). È stato monitorato il differenziale termico foglia-aria e lo stato idrico del suolo. Inoltre è stata effettuata una campagna di misure dirette dello stato idrico delle piante.
- 3) La terza e ultima attività si è svolta dal 4 agosto al 21 settembre ancora presso Deruta, sfruttando un trapianto di melone successivo a quello realizzato in primavera-estate. In questo caso sono state predisposte due parcelle distinte:
  - a. In una parcella (settore irriguo) è stato installato e messo in funzione per alcune settimane il sistema d'irrigazione automatica basato sul monitoraggio del differenziale termico foglia-aria e sul potenziale idrico nel terreno.

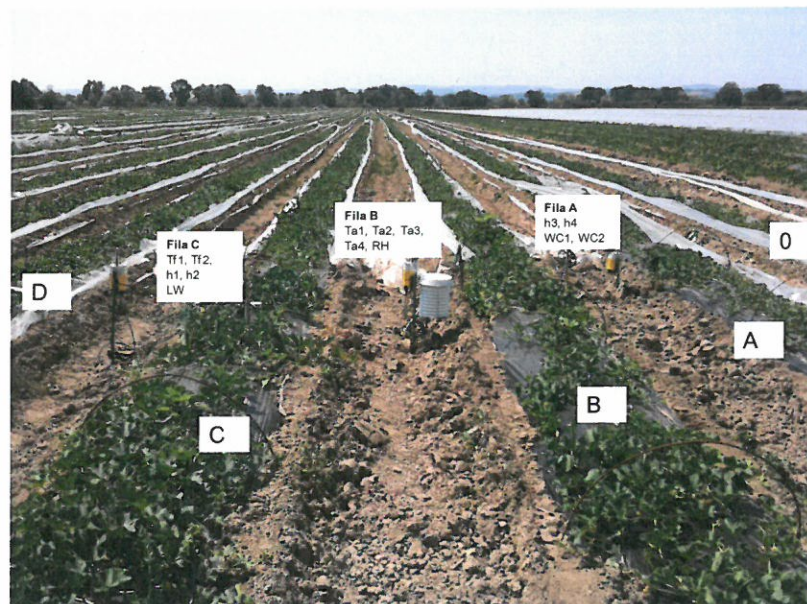
b. In una seconda parcella è stata ripetuta la campagna di misure dirette dello stato idrico della vegetazione (già effettuata a Collazzone con risultati non soddisfacenti). Anche in questo caso è stato monitorato il differenziale termico foglia-aria e lo stato idrico del suolo.

La possibilità di utilizzare proficuamente il sensore di temperatura fogliare nella gestione degli interventi irrigui del melone dipende sia dall'attendibilità dei dati raccolti, sia dalla corretta interpretazione degli stessi. Pertanto, nella stagione 2011, oltre allo sviluppo del sistema d'irrigazione automatica, è stato approfondito lo studio delle diverse variabili ripetendo in ogni prova di campo il monitoraggio di temperatura fogliare, dell'aria e dello stato idrico del suolo su cui si erano concentrate le attività del 2010.

### ***Deruta, 12 maggio- 22 giugno 2011***

La Figura illustra lo schema sperimentale impiegato a Deruta nel primo ciclo del melone. Sono state prese in considerazione 5 file (0, A, B, C, D). La temperatura fogliare è stata rilevata nella fila C mediante due sensori (Tf1 e Tf2). La legenda dettagliata dei diversi sensori installati e del loro posizionamento è riportata nella didascalia di figura II-9.

Le diverse variabili rilevate sono state in primo luogo sottoposte ad un controllo qualitativo per valutarne il campo di variazione e l'attendibilità. I risultati di questo studio vengono discussi nei paragrafi successivi per ogni tipologia di variabile.



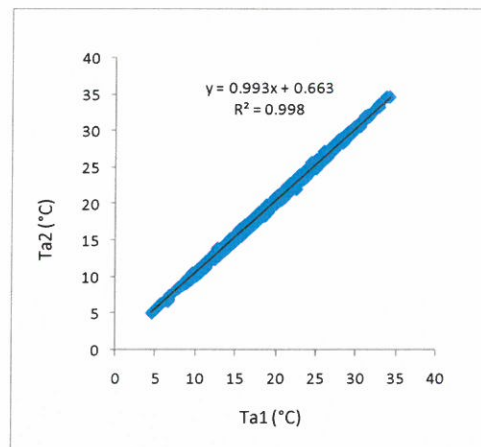
**Figura II-9. Schema sperimentale di Deruta (primo ciclo). Tf1 e Tf2: temperatura fogliare; h1, h2, h3, h4: potenziale idrico nel terreno a 20 cm; LW: bagnatura fogliare; Ta1 e Ta2: temperatura dell'aria schermata; Ta3 e Ta4: temperatura dell'aria non schermata; RH: umidità relativa dell'aria; WC1 e WC2: contenuto idrico volumetrico del terreno a 20cm.**



## Temperatura dell'aria

La temperatura dell'aria è stata rilevata in varie posizioni e con differenti strumenti. In primo luogo sono stati posizionati due sensori termici all'interno di uno schermo (visibile in figura II-9 tra le file B e C) : un sensore di temperatura "custom" realizzato dal DIEI (**Ta1**), del tutto analogo a quello utilizzato per la rilevazione della temperatura fogliare e il sensore previsto dal sistema eKo (**Ta2**) in grado di rilevare anche l'umidità e la temperatura di rugiada.

Il confronto tra queste due differenti rilevazioni a scala oraria (Figura II.) costituisce una sorta di validazione del sensore termico impiegato per la rilevazione della temperatura fogliare (anche se con diverso supporto). Le due misure sono molto vicine ( $r=0,999$ ;  $RMSE= 0,59^{\circ}C$ ;  $Ta1\_media=19,86^{\circ}C$ ;  $Ta2\_media=20,41^{\circ}C$ ). La differenza è sistematica e vale sia per le minime che le massime. In particolare il sensore custom fornisce circa  $0,6^{\circ}C$  meno dell'altro. La differenza tra medie è simile a  $RMSE$  (a conferma che l'errore è identico per minime e massime). La modesta differenza riscontrata può dipendere dalla collocazione dentro lo schermo (vicinanza alle pareti dello schermo o a terra).



**Figura II.10. Confronto tra le temperature dell'aria orarie rilevate per mezzo dei sensori schermati di tipo custom (Ta1) e commerciale (Ta2).**

La temperatura dell'aria è stata anche monitorata con due sensori non schermati (o schermati solo grossolanamente). Questi sono **Ta3** (bianco) e **Ta4** (blu). Il confronto tra i due sensori, mostrato in Figura limitatamente alle ore diurne, evidenzia una buona corrispondenza. Il monitoraggio è iniziato il 19 maggio. Assumendo Ta1 come termine di confronto, la correlazione tra Ta3 e Ta1 e Ta4 e Ta1 è elevata (rispettivamente 0,979 e 0,957). Nello stesso periodo la Ta1\_media è  $20,52^{\circ}C$  mentre Ta3\_media è  $21,46$  e Ta4\_media è  $21,90$ . Gli scostamenti nelle medie non sono elevati ma le escursioni termiche sono molto più ampie rispetto ai sensori schermati. Lo dimostrano gli elevati  $RMSE$ . Tra Ta1 e Ta3 è  $RMSE= 2,21^{\circ}C$ . Tra Ta1 e Ta4 è  $RMSE=3,03^{\circ}C$ . Il grafico di Figura (confronto tra Ta3 e Ta1) mette in evidenza le notevoli