

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Richieste del cliente</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Spunti</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Prestazioni e caratteristiche di interesse dei sensori</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Descrizione del progetto</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Specifiche iniziali</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Implementazione</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Misure e test</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>Nuova implementazione e imprevisti</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>Nuove misure</b>	<b>36</b>
<b>11</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>46</b>
<b>12</b>	<b>Appendice 1: ADC ad approssimazioni successive</b>	<b>47</b>
<b>13</b>	<b>Appendice 2: Il codice</b>	<b>48</b>
<b>14</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>52</b>

# 1 Introduzione

Una buona pratica del ‘fai da te’, che unisce attività fisica e mentale, potrebbe essere la coltivazione di un piccolo orto. Tra le varie attività di cui si deve tenere conto è che le piante da orto necessitano di essere annaffiate frequentemente. Come orari vanno bene indicativamente la mattina, prima che il sole sia troppo forte, e al tramonto o sera, quando la temperatura è scesa e scenderà ancora. In questo modo la pianta non subisce nessun tipo di stress: ha una buona dose d’acqua a intervalli regolari per non privare completamente il suolo dall’aria (necessaria per l’apporto di ossigeno alle radici). Inoltre durante le ore di luce più calde e intense non riceve acqua, in questo modo si evita stress alla pianta.

L’attività di innaffiare non comporta nessuno sforzo particolare ma richiede del tempo per assicurare acqua sufficiente a tutte le piante. Più l’orto è grande, più piante ci sono e il tempo necessario aumenta in proporzione. Esistono poi i trucchi del mestiere oltre che un certo numero di inconvenienti e variabili a cui fare attenzione, che sono acquisiti con l’esperienza e che potrebbero compromettere il raccolto.

Noi ci occuperemo di questo importante momento che è l’irrigazione.

**L’irrigazione a goccia** Nel caso in esame la zona coltivata è abbastanza grande, rapportato al numero di persone che ci lavorano e ne usufruiscono, quindi sono state sviluppate delle soluzioni ad hoc per gestire un numero di piante impossibile da irrigare manualmente. Tra i vari possibili metodi di irrigazione è stato scelto quella a goccia: l’acqua viene fatta scorrere lungo un tubo di gomma con dei fori equidistanti da cui fuoriesce una quantità di liquido costante e omogeneamente distribuita. Le tubazioni sono posizionate parallelamente ai filari, raccordate ad un unico tubo trasversale posizionato all’inizio dei filari stessi, a sua volta attaccato ad un secondo tubo per il collegamento con la rete idrica. In questo modo basta accendere l’impianto di irrigazione per dare acqua a tutte le piante. Le tubazioni lungo i filari e il tubo di raccordo trasversale richiedono una certa cura nell’essere spostati (non devono subire piegature troppo strette), mentre il tubo di allacciamento alla rete idrica è più robusto e versatile, oltre che più lungo, e può essere arrotolato e spostato facilmente. Grazie a vari raccordi l’area irrigata si è espansa per un’area di 1125 metri quadri (25 X 45), interamente coltivata con diversi tipi di ortaggi e verdure. Questa disposizione, nonostante la procedura di preparazione e manutenzione, ha diversi vantaggi:

- Le varie tubazioni si possono spostare in modo relativamente pratico durante la fase di aratura e concimazione del terreno, per essere posizionate nuovamente dopo la semina.
- Il montaggio è a moduli, nel senso che si possono attaccare altri tubi tramite i raccordi ed espandersi nella direzione desiderata.
- Sempre l’approccio a moduli permette di poter spostare le singole tubazioni appena finito il raccolto nel relativo filare, per poter essere usate in altre

aree.

- La tubazione non necessita di essere interrata, basta lasciarla posata vicino alla pianta e questa provvederà a bagnare il terreno lentamente. Viene rilasciata sufficiente acqua per bagnare tutta l'area radicale, ma non vi è dilavamento della parte superficiale del terreno. L'acqua percola nella terra arrivando a tutte le radici del vegetale. Il materiale di cui sono composte le tubazioni è abbastanza resistente alle variazioni di temperatura nel corso dell'anno.
- Ultimo vantaggio ma non meno importante, una quantità d'acqua relativamente omogenea distribuita in un'area così grande. Basta lasciare aperto il rubinetto fino a che non si ritiene che le piante abbiano ricevuto acqua sufficiente, e poi richiuderlo. In questo modo ci si può dedicare ad altre attività per la gestione e manutenzione dell'orto durante l'irrigazione.

L'unico accorgimento è non dare troppa acqua alle piante, è importante che il terreno abbia tempo di asciugarsi, in questo modo il terreno e le radici possano ossigenarsi, grazie all'aria che filtra dall'atmosfera. Senza questa quantità d'aria la pianta e il terreno soffrono a causa del danneggiamento del complicato ecosistema che si sviluppa nel sottosuolo, necessario alla buona riuscita di qualsiasi coltura.

**Il telo nero** Un altro accorgimento a cui occorre accennare, in quanto influenzerà le trattazioni future, è il posizionamento di un telo di plastica nera lungo alcuni filari. Questo viene steso prima della semina o del trapianto e viene forato dove crescerà la pianta. Le tubazioni per l'irrigazione vengono sistemate sotto di esso. I teli possono essere riutilizzati nel corso degli anni, richiedono sostituzione solo in caso di danneggiamento.

I vantaggi dell'applicazione del telo nero sono principalmente due. Il colore del telo non è scelto a caso: il sole riscalda velocemente i materiali di colore nero, il calore è trasmesso al terreno sottostante mantenendo le radici ad una temperatura ottimale per la raccolta d'acqua e di sostanze nutritive necessarie alle piante per svilupparsi. Questo vale soprattutto d'inverno, periodo in cui il terreno fa più fatica a scaldarsi. Ovviamente ciò non basta a garantire la sopravvivenza di specie estive durante i mesi di freddo più rigidi, ma permette una buona produzione delle verdure autunnali e invernali. Il secondo vantaggio è che la crescita di specie autoctone e non desiderate (le erbacce) è facilmente prevenuta. Nonostante queste riescano a farsi spazio anche nel più piccolo foro, sono più facilmente rimovibili rispetto ad un terreno lasciato libero. Graminacee locali, ortiche ed altre piante erbacee simili hanno ritmi di riproduzione e tassi di crescita tali da dover essere rimosse frequentemente. Oltre ad essere un motivo di ingombro nei movimenti umani non indifferente, sono anche di ostacolo per la crescita della pianta, in quanto le priva di luce ed acqua.

Purtroppo il telo fa sì che l'acqua piovana percola in minore quantità nel terreno, limitandosi alla zona immediatamente sottostante la pianta, salvo percolare comunque nei filari non coperti e garantendo comunque una buona espo-

sizione alle precipitazioni di tutta l'area coltivata. Questi svantaggi sono facilmente compensabili, comunque: alternando filari di vegetazione che necessit  il telo con vegetazione a cui non serve si ha un buon ricambio idrico dovuto alle precipitazioni. C'  da dire inoltre che sotto il telo l'acqua tende a fuoriuscire dal terreno principalmente per mezzo della traspirazione dei vegetali, una volta raccolta con le radici, limitando l'evaporazione diretta. Per il terreno direttamente esposto all'aria, d'altro canto, l'essiccazione   pi  rapida.

## 2 Richieste del cliente

L'azienda in questione chiede il posizionamento di alcuni sensori per monitorare l'umidità del terreno, uno sotto il telo nero ed uno allo scoperto. Inoltre è richiesto il posizionamento di altri sensori per meglio monitorare le condizioni in cui è possibile irrigare la vegetazione. Più in particolare abbiamo le seguenti richieste:

- monitorare l'andamento dell'umidità del terreno in almeno due punti del terreno: nella parte esposta e in quella sotto il telo. Eventualmente si chiede di monitorare l'umidità dell'aria.
- monitorare la temperatura ambientale, quella dell'aria, per evitare di bagnare le piante quando è troppo caldo. Eventualmente si chiede di posizionare un sensore di temperatura sotto il telo nero per misurare l'andamento di temperatura e registrare le massime d'estate e le minime d'inverno.
- monitorare la luminosità, i momenti salienti sono essenzialmente due: l'alba e il tramonto, ovvero i migliori per l'irrigazione. Eventualmente si richiede se sia possibile rilevare, tramite la luminosità o in qualsiasi altro modo, se il cielo presenta annuvolamenti più o meno massicci.
- rilevare le precipitazioni e, possibilmente, la loro intensità e durata.
- (opzionale) registrare la velocità e la direzione del vento.
- rilevare il corretto funzionamento dell'impianto di trasporto acqua, ovvero se arriva acqua in ogni zona dell'area irrigata. Il tubo si potrebbe rompere o intasarsi e ostruirsi in alcuni punti.

Successivamente si è aggiunta la richiesta, come ogni buon impianto automatico, di monitorare ed interagire il tutto anche a distanza da casa, tramite un computer portatile, un cellulare o qualsiasi altro dispositivo dotato di collegamento internet. Questo richiede una certa sicurezza, naturalmente, in modo che solo il possessore dell'impianto possa accedervi e controllarne i meccanismi.

Alcune di queste richieste, come un rilevatore di precipitazioni o di nuvolosità, sono da considerare in un'ottica di controllo a distanza dell'impianto di irrigazione, visto che sono facilmente verificabili per esperienza diretta in caso di presenza sul luogo. Diventano molto più interessanti se si pensa a voler registrare tramite un sensore la quantità di pioggia con un pluviometro.

Dopo un breve confronto su alcune problematiche si è deciso di scremare il progetto da ciò che richiede soluzioni non realizzabili nel breve periodo o per la mancanza di fondi già esigui. Pensare di interfacciare un sensore di umidità esterno, che comunichi dati a un computer è già una sfida interessante. I sensori di umidità servono ad evitare di bagnare le piante nel caso che l'umidità del suolo sia sufficiente. L'irrigazione a goccia fa sì che la pianta non sviluppi le radici in verticale, non dovendo cercare acqua in profondità nel terreno, ma punti alla formazione di peli radicali, ovvero quelli destinati alla raccolta di

acqua e sostanze nutritive. Va detto che il terreno in esame è poco permeabile, in prevalenza argilloso, questo causa una minore permeabilità e ristagni d'acqua più frequenti. Le piante annuali, comunque, generalmente non sviluppano le radici in profondità, ma puntano alla raccolta di sostanze nutritive in tempi relativamente brevi per compiere il ciclo di crescita e riproduttivo nel giro di una stagione.

Se il progetto funziona si può eventualmente ampliare: il passo successivo più logico sarebbe quello di affiancare i sensori di temperatura, per evitare di irrigare le piante durante i periodi più caldi della giornata, danneggiando l'apparato radicale.

Il problema dell'allacciamento dei sensori è cosa di non poco conto: sono sparsi in un'area molto grande, richiedono una circuiteria estesa che deve essere resa affidabile, senza contare il condizionamento del segnale e la loro degradazione e sostituzione. Occorre portare un segnale molto debole per una distanza relativamente grande, occorrono quindi dei circuiti di condizionamento o di alimentazione, rilevare una grandezza senza poterla comunicare risulterebbe inutile.

Ci si è interrogati sulla possibilità di effettuare rilevamenti con sensori che comunichino al terminale via wireless, per evitare di dover cablare un'area così grande. Purtroppo pensare a funzionalità wireless per questi sensori richiede alcuni accorgimenti di più difficile realizzazione: dall'alimentazione degli stessi, pensare ad un protocollo di trasmissione e a una stazione ricevente idonea.

### 3 Spunti

La progettazione di un impianto di irrigazione necessita di studi preliminari non indifferenti. Occorre tenere conto di numerose specifiche e variabili che, nel caso in esame, sono state ridotte. Per dare un'idea di massima della progettazione di un comune impianto di trasporto idrico si può suddividerlo in tre parti:

1. sensori
2. centralina
3. attuatori

Ci si occuperà essenzialmente dei sensori, o meglio di un sensore, e di come far leggere i dati che questo riceve ad un elaboratore.

La centralina di controllo potrà essere implementata successivamente grazie ad un elaboratore, come potrebbe esserlo un personal computer o un microcontrollore che funzioni 'stand alone' opportunamente programmato.

**Domotica** Come primo passo si ha una vasta gamma di idee, soluzioni e sviluppi guardando all'area della domotica, ovvero la disciplina che si occupa dell'automatizzazione dell'ambiente domestico per renderlo più confortevole, sicuro e senza sprechi; Qui si trovano infatti diverse realizzazioni di impianti di irrigazione automatici. Inoltre sono già state sviluppate apparecchiature per il controllo a distanza, ad esempio un piccolo server per poter monitorare l'attività dal proprio cellulare o portatile. Esiste già l'idea della modularità del progetto, ovvero espanderlo in aree differenti, indipendenti ed autonome. Avere una centralina di distribuzione dell'energia è essenziale per attivare o disattivare interi circuiti a favore del risparmio delle risorse. Necessario puntare alla sicurezza e all'affidabilità: garantire, in caso di guasto, un funzionamento minimo di emergenza introducendo eventualmente dei sistemi di controllo e diagnosi.

Tutto questo è già in commercio, a prezzi più o meno accessibili a seconda delle esigenze. Uno dei preconcetti della domotica è puntare ad un (relativamente) basso costo di realizzazione per renderla accessibile al maggior numero di persone, un modo nuovo e dinamico di vedere il marketing e la promozione dei propri prodotti: se il prodotto funziona, è facile da usare ed ha costi accessibili, è molto probabile che gli utilizzatori faranno pubblicità all'azienda parlando ad amici e parenti.

Prezzi e preventivi ce ne sono svariati, tanto che per informarsi occorre fare una certa cernita e verificarne l'attendibilità. Per questo si pare subito con un'analisi di quello che è esplicitamente richiesto, quello che è già disponibile come attrezzatura per l'azienda agricola e quello che deve essere ancora realizzato. Soprattutto, è importante identificare quello che non potrebbe essere implementato, ma che va comunque conteggiato nel progetto, simulato e testato, in modo da avere un'idea esauriente.

Il problema più evidente è l'elevato costo della centralina rispetto al resto della componentistica del progetto. Si può pensare ad una realizzazione: un

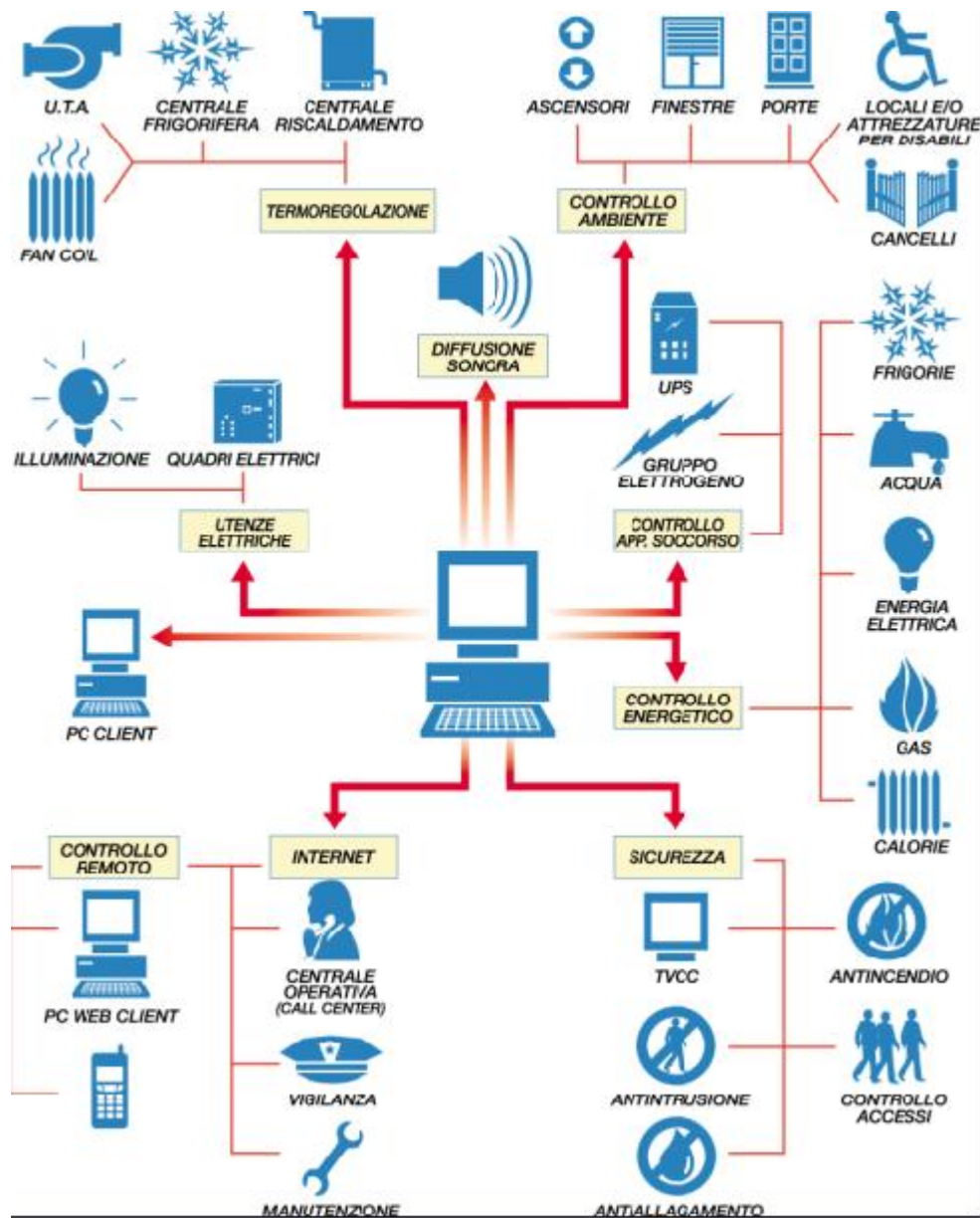


Figure 1: L'idea modulare della domotica consente di espandere le aree di controllo indipendentemente;



apparecchio che che amplifichi i segnali dei sensori per poterli elaborare, li converta tramite dei convertitori analogico-digitale in modo da poterli elaborare al computer. L'idea dei costi contenuti, ovviamente, è allettante, e si cercheranno soluzioni soprattutto da questo punto di vista, senza però perdere d'occhio la funzionalità.

**Garduino [5]** Numerosi spunti per l'implementazione di un impianto per l'irrigazione automatica dell'orto si possono da una breve guida per la costruzione di una piccola serra fatta in casa. Anche se il microcontrollore è diverso, tuttavia diversi elementi costitutivi sono simili. Le idee per la progettazione a basso costo non mancano, anche se il progetto è molto semplice.

Lo sviluppatore si chiede se sia possibile coltivare un piccolo orto fatto in casa nonostante il tempo da dedicare alle piante sia ristretto. Così è stato creato Garduino, un progetto a basso costo basato sul microcontrollore Arduino, con l'ausilio di alcuni semplici sensori. Il progetto prevede numerosi spunti aperti per l'espansione per impianti di più grandi dimensioni, quindi vale la pena di essere preso in considerazione.

Oltre alla scheda di controllo Arduino e la scheda millefori per il fissaggio dei componenti si prevede l'utilizzo di:

- un termistore per il controllo della temperatura
- una fotocellula a basso costo che semplicemente registra per quanto tempo la luce solare è stata assorbita dalle piante durante il giorno e ne eroga una quantità sufficiente a coprire il fabbisogno giornaliero (stimato sulle 16 ore per una buona crescita)
- due chiodi galvanizzati infilati nel terreno a poca distanza tra loro forniranno un'indicazione sommaria dell'umidità, tramite la lettura della resistenza elettrica del suolo (che aumenta al diminuire della presenza d'acqua)
- relè comandati dalla scheda di controllo per l'attivazione degli attuatori
- una piccola pompa per acquario fornirà l'acqua alle piante, verrà accesa dal relè non appena l'umidità sarà scesa sotto un determinato valore.
- tubi di gomma forati con i raccordi necessari a fornire un'irrigazione omogenea

La pompa sarà immersa in un secchio pieno d'acqua che verrà riempito quando la quantità d'acqua contenuta diventi troppo poca. L'acqua che serve ad innaffiare le piante in vaso, infatti è molto piccola rispetto a quella necessaria per riempire il secchio.



Figure 2: Un'idea di come appare l'impianto completo Garduino;

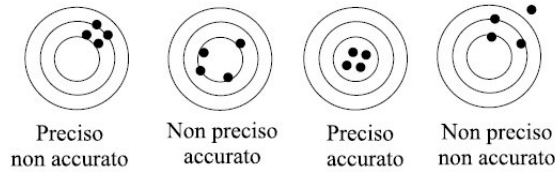


Figure 3: L'immagine evidenzia la differenza tra precisione e accuratezza

## 4 Prestazioni e caratteristiche di interesse dei sensori

Questa breve introduzione ai sensori permetterà una migliore comprensione del progetto e, soprattutto, delle specifiche.

Per prestazioni di un sensore si intende il funzionamento in base alle funzioni operative. Il funzionamento viene descritto in base alle caratteristiche del sensore, ovvero il suo comportamento in funzione dei suoi ingressi e delle uscite che fornisce.

**Caratteristiche statiche** La Caratteristica ingresso-uscita descrive il comportamento ideale del sensore. Il comportamento reale è in realtà molto diverso e deve tenere conto dell'errore del sensore, che è la differenza algebrica tra valore fornito e valore reale. Può essere espressa in percentuale dell'output di fondo scala, in percentuale del valore misurato o in valore assoluto (unità di misura uguale a quella del misurando). L'isteresi viene misurata come differenza tra le uscite per lo stesso valore di ingresso, misurate prima per valori crescenti e poi decrescenti del misurando. La ripetibilità rappresenta il grado di accordo di successive misurazioni, a fronte di una stessa grandezza. Non tiene conto di errori di origine sistematica, che spetta invece alla riproducibilità, che si occupa di osservare la coerenza dei dati con dispositivi di misurazione diversi. L'errore di linearità di un sensore rappresenta il suo scostamento da una linea retta immaginaria che collega gli estremi teorici. Meglio ancora se si parla di linearità indipendente, ovvero lo scostamento dalla 'migliore linea retta', cioè quella equidistante da tutte le linee rette che includono tutti i valori di uscita nella curva di calibrazione. La precisione è definita come il rapporto tra l'errore e l'uscita di fondo scala. Si parla di banda di errore come dell'insieme dei possibili valori che possono essere assunti all'uscita per un determinato ingresso ripetuto più volte. L'accuratezza misura lo spostamento tra l'uscita del sensore reale e quella di un sensore ideale (un sensore può essere accurato ma non preciso e viceversa, una caratteristica non implica l'altra).

La risoluzione è definita come la più piccola variazione del misurando apprezzabile dal sensore. Variazioni del misurando più piccole del valore di risoluzione non producono una variazione dell'uscita rilevabile. Viene spesso indicata come variazione minima dell'uscita rispetto al valore di fondo scala. La sensibilità in-

dica il rapporto tra il segnale di uscita (risposta) e la variazione del misurando. Un sensore molto sensibile avrà una variazione di uscita elevata a parità di variazione di ingresso. Indica pure la quantità minima apprezzabile intorno allo zero. Una elevata sensibilità non necessariamente implica né precisione né stabilità. E' normalmente definita come la massima variazione dell'uscita rapportata alla massima variazione dell'ingresso. La banda d'errore statico è la banda d'errore applicabile in condizioni standard di lavoro.

**Caratteristiche dinamiche** Molto dissimile dal funzionamento in regime stazionario, è come lavora il sensore a fronte di variazioni apprezzabili nel tempo del misurando, o regime dinamico. Per questo viene fornito un certo numero di specifiche che tengano conto del comportamento del sensore in queste condizioni di lavoro. La risposta in frequenza consiste nell'analisi del diagramma di guadagno e di fase: il guadagno mostra l'ampiezza di una sinusoide di uscita in risposta ad una di ingresso del misurando, a frequenza ed ampiezza costanti, il diagramma di fase mostra il loro sfasamento. Il tempo di risposta misura la velocità di risposta ad una variazione istantanea (a gradino) del misurando. Salvo diversamente specificato, si intende il tempo che ci impiega l'uscita a compiere dal 10% al 90% della variazione del valore finale. A questa caratteristica si può sostituire la costante di tempo, che rappresenta il tempo necessario a compiere il 63% della variazione. Nel caso siano diverse, possono essere indicati separatamente i tempi di salita o di discesa. Tra gli altri parametri associati a questo concetto ci sono la pendenza del fronte (o slew rate, generalmente espressa in volt al secondo), il tempo di assestamento (settling time) che intercorre affinché le eventuali oscillazioni (ringing) dopo la variazione siano trascurabili, e i valori di sovraelongazione (overshoot). Per variazioni continue del misurando si parla generalmente di risposta transitoria.

**Caratteristiche ambientali** Non appena si esce dall'ambito dell'analisi in condizioni ambientali standard o controllate, ci si accorge di una serie di disturbi a cui è soggetto il sensore. Le caratteristiche ambientali servono a dare un'idea del comportamento del sensore a fronte di tali disturbi e vengono individuate con speciali test (test di temperatura, pressione, vibrazione, . . .), ma devono tenere conto anche dell'usura, del tempo di utilizzo, eventuali errori di montaggio e altre variabili che inevitabilmente influenzano il funzionamento del sensore. Gli effetti della temperatura interessano tutti i sensori che devono operare in temperature più disparate (si prende in considerazione un range che va dai  $-50^{\circ}\text{C}$  ai  $250^{\circ}\text{C}$ ) e si manifestano come un cambiamento dello zero termico e un cambiamento della sensibilità termica che causano rispettivamente uno spostamento parallelo e un'a variazione di pendenza nella curva di calibrazione.

La conoscenza di questi errori può essere utile per correggere i risultati ottenuti, sempre che sia nota la temperatura operativa. Basti pensare a quali e quante grandezze ambientali possano influenzare il comportamento di un sensore per rendersi conto della difficoltà di prevenire e correggere tutte le variazioni. Si parla di sensitività incrociata, ovvero quella caratteristica che tiene conto

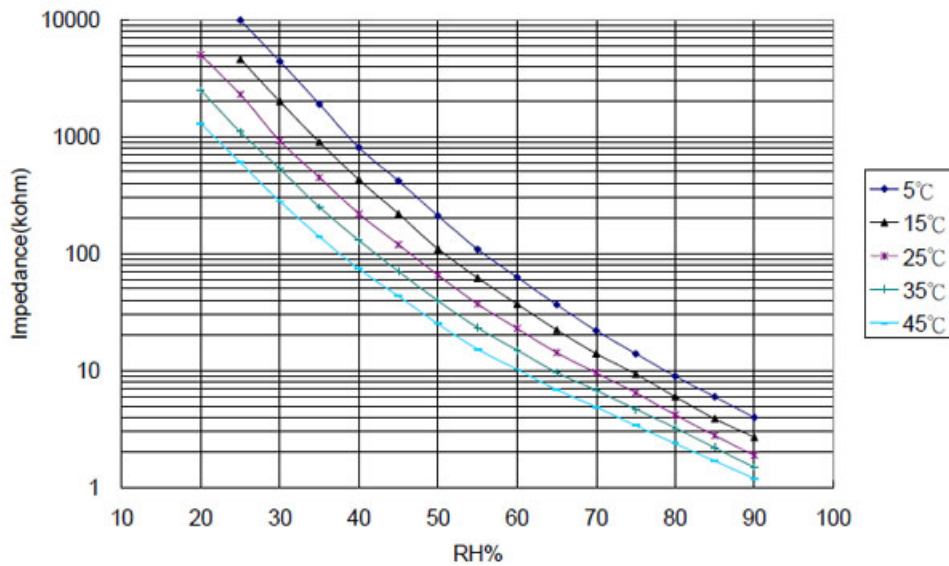


Figure 4: Curve di risposta di un sensore di umidità, si noti come la temperatura influenzi la misura;

(o meglio, cerca di tenere conto) dell'influenza di tutte quelle grandezze che influenzano il comportamento del sensore, condizionando l'uscita e quindi discostandola dal valore reale. La temperatura è solo un esempio di come una grandezza può modificare il comportamento del sensore.

**Affidabilità** Il sensore, come tutti i sistemi, non è tempo-invariante. L'affidabilità del sensore misura la ripetibilità dei risultati rispetto allo scorrere del tempo nel lungo periodo. Per intervalli di tempo molto lunghi, infatti, l'utilizzo prolungato può influenzare l'intero comportamento del sensore, a causa dell'usura dei materiali, ad esempio. Questo si traduce come uno spostamento (drift) dell'offset della variabile misurata o un cambiamento di sensibilità o guadagno.

Tutto questo senza contare l'effettiva rottura del sensore, dovuta a difetti di fabbricazione, ecc... Purtroppo l'affidabilità non è misurabile secondo criteri precisi e immutabili, vengono eseguiti dei test appositi per trovare dati statistici quali il tempo medio prima del guasto del dispositivo (MTBF, Mean Time Between Failure).

Un bilanciamento perfetto tra le varie caratteristiche non è possibile, ogni tipo di sensore ha i suoi punti di forza e di debolezza. Il compito del progettista è, come spesso accade, trovare il giusto compromesso in base alle applicazioni pratiche del progetto. [2, 3, 4]

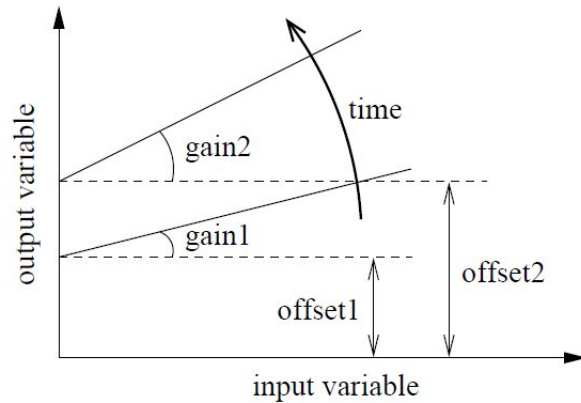


Figure 5: Il tempo influenza l'offset (e quindi anche l'intervallo di misura) e il guadagno del sensore

**Conclusioni** Alla luce di tutte queste caratteristiche si può già fare una cernita tra quelle più importanti richieste dal nostro progetto e stilare un ordine di importanza. Essendo costretti a lavorare in ambiente esterno, i sensori hanno bisogno di una maggiore attenzione sulle caratteristiche ambientali, soprattutto umidità e temperatura potrebbero influenzare il comportamento in modo non trascurabile. Resta inoltre da verificare la robustezza dei dispositivi per quanto riguarda l'usura: una esposizione a temperature sotto lo zero o ad umidità elevate (essendo circondati da campagna) potrebbero danneggiare i sensori. Le caratteristiche statiche saranno un ulteriore fattore importante, ma viste le condizioni operative si dispone di un buon range su cui lavorare. Con riferimento ai sensori di temperatura, ad esempio, e a una discussione in merito con i clienti a cui il progetto è destinato si sono individuato alcuni punti chiave: la risoluzione non è un fattore così stringente, la maggior parte dei sensori offrono prestazioni migliori rispetto al mezzo grado di temperatura richiesto, come l'umidità non deve andare per forza a misurare le variazioni minime: una pioggia leggera può bagnare il terreno, ma non lascia molta acqua alle piante se è di breve durata. Anche sensibilità, precisione ed accuratezza dei sensori in commercio vanno ben oltre le nostre esigenze, in quanto sono stati progettati per condizioni operative più esigenti. Per quanto riguarda le caratteristiche dinamiche il margine di lavoro è molto ampio: le variabili ambientali, soprattutto la temperatura, variano in modo tale che da non avere bisogno di tempi di risposta immediati, come le variazioni non dovrebbero provocare sovra-elongazioni eccessive. Per quanto riguarda la risposta in frequenza si può stare dunque tranquilli, durante lo scorrere della giornata le grandezze possono anche variare bruscamente, ma non influenzeranno il regolare sviluppo della vegetazione: se la terra è molto secca, ad esempio, conviene dare da bere anche in caso di una pioggia di bassa intensità e breve durata. Resta da prendere in considerazione l'affidabilità: lasciata per

ultima in quanto non è possibile classificarla nell'ordine di importanza, si possono però preventivare tempi di risoluzione dei problemi tecnici legati ai sensori, ad esempio con la sostituzione, sempre che non debba essere così frequente da comportare costi eccessivi per il mantenimento dell'intero impianto.

Si affronterà più in dettaglio questi aspetti nelle specifiche di progetto.



Figure 6: Pic32 Ethernet Starter Kit

## 5 Descrizione del progetto

Vista l'ampiezza del progetto e le diverse aree di competenza si dovrà cercare di ridurre la mole di lavoro e occupandosi di ciò in cui ci si è più preparati. L'allacciamento al sistema idrico, la correlazione tra fattori ambientali e crescita vegetativa sono tutte cose molto interessanti dal punto di vista manuale, ma riducendo all'essenziale, cioè alla componente elettronica, si trovano già numerose sfide interessanti.

Si tratta di implementare un sistema di sensori che comunichino con un processore centrale, applicato al campo dell'irrigazione automatizzata. Occorrerà quindi trovare un modo di misurare alcune grandezze di interesse, convertire e condizionare i segnali in modo che sia possibile recepirli da un elaboratore. Per fare questo si studierà la grandezza più rilevante di tutte nella crescita agricola: l'umidità del terreno.

Nel corso del progetto si troverà il modo di ricreare e simulare un ambiente agricolo e di cercare di misurare la grandezza di interesse. Per fare questo necessitiamo di uno strumento adatto a ricevere dei segnali, ma anche degli strumenti che svolgano il ruolo del sensore in sé.

**Strumentazione** Per quanto riguarda il dispositivo la maggior parte delle richieste potrà essere soddisfatta da un piccolo e versatile microcontrollore: il PIC32 Ethernet Starter Kit.

Un microcontrollore è uno strumento molto potente, facilmente programmabile in linguaggio C con numerosi esempi a disposizione e forum dedicati. Soprattutto dispone di un convertitore analogico/digitale a 10 bit che permetterà di elaborare i segnali provenienti dall'orto in miniatura che si andrà a simulare:





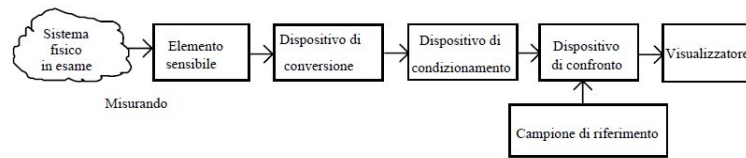


Figure 8: Schema sull'acquisizione di segnali tramite sensore/trasduttore

considera il trasduttore parte del sensore, altri ancora considerano il sensore il solo elemento sensibile e il trasduttore ciò che converte in segnale elettrico la variazione registrata nell'elemento sensibile...). Nel caso in esame non sarebbe appropriato parlare ne di sensore ne di trasduttore: l'umidità contenuta nel terreno modifica la sua resistività, si sfrutterà questa caratteristica inserendo dei chiodi opportunamente collegati a dei fili, il confine tra i vari elementi dello schema riportato sono abbastanza sfumati rispetto a quello su cui si sta andando a lavorare.

L'elemento sensibile potrebbe essere il suolo, visto che una sua proprietà, la resistività che si va a misurare indirettamente, cambia al variare della grandezza in esame, ma esso è anche il sistema fisico che si vuole andare ad analizzare. Dispositivi di conversione e condizionamento possono essere il circuito in se, ma anche la successiva elaborazione dei dati: quello che interessa è tradurre l'umidità del terreno in grandezza elettrica. Per ora si può considerare i dispositivi di conversione, condizionamento e confronto non ancora implementati (o meglio, tarati, programmati, ecc...), ed avere la pretesa di contribuire ad una loro realizzazione futura cercando di trovare una relazione tra le grandezze in esame. La resistività del terreno tra i chiodi, comunque, dipenderà da una miriade di fattori che andrebbero presi in esame: la distanza, la composizione del terreno,... per ora ci si limiterà a studiare solo alcuni aspetti, come il range su cui si va a lavorare, i valori che vengono forniti dall'elaborazione, gli errori di misura tramite il confronto con un multimetro, la velocità di variazione e una serie di caratteristiche dei sensori su cui ci si soffermerà più avanti.

Un chiodo riceverà l'alimentazione a 5 volt, l'altro sarà collegato ad una resistenza di 10 kΩ creando così un partitore di tensione. L'altro capo del resistore è collegato a massa, che è anche il riferimento dei comparatori dell'ADC, in questo modo il sistema sarà in grado di convertire il segnale analogico della tensione sul resistore in bit, ovvero un tipo di linguaggio con cui si riesce a comunicare con il processore del PIC32. In questo modo si potrà fargli eseguire delle operazioni che andranno dalla visualizzazione al confronto con altre grandezze. Soprattutto sarà possibile elaborare i dati forniti e cercare di trovare una correlazione tra l'umidità e i dati di ingresso.

Quest'ultimo punto è, essenzialmente, il motivo per cui serve un 'orto simulato': acquisire in modo controllato i dati in relazione all'umidità del terreno permetterà di capire come si comporta il sensore al variare di certe grandezze misurate. Verranno fornite quantità d'acqua misurabili al terreno e si cercherà

di trovare una correlazione tra i dati. Verranno eseguite prove con vasi di diverse dimensioni e tipi di terreno. Non si pretende certo di compilare una descrizione dettagliata di tutte le caratteristiche possibili del sensore, in quanto richiederebbe misurazioni molto più stringenti e più accurate. Ci si dedicherà a trovare una correlazione tra i dati rilevati e la quantità d'acqua in funzione della superficie da irrigare.

Cosa più importante di tutte è interessante capire se le variazioni sono sufficientemente grandi e misurabili per poter attivare degli eventuali meccanismi di controllo.

**Bilancio idrico del terreno** Per quel che concerne la misurazione di umidità del terreno, ci si riferisce ai millimetri d'acqua contenuti nel suolo (water content), o meglio nella parte superficiale di suolo in cui la pianta sviluppa il suo apparato radicale.

Per il bilancio idrico del terreno si fa riferimento alla formula per il bilancio idrico [6]:

$$WC(t_0 + t_1) = WC(t_0) + I + F + P - ET - R - Pr$$

dove tutti i valori sono misurati in millimetri per unità di tempo, ovvero la quantità di acqua che ha interessato una determinata regione di terreno, sia essa sottoforma di precipitazione, irrigazione,... I millimetri possono anche indicare la quantità di acqua presente nella fascia di terreno dove si sviluppa l'apparato radicale, che varia da coltura a coltura. I valori dell'equazione sono:

WC = Water Content (contenuto d'acqua) a tempo t

I = irrigazione

F = apporto di faglia

P = precipitazione

ET = evotraspirazione

R = ruscellamento

Pr = percolazione

Nel caso in esame il sistema è molto semplificato: si ha l'irrigazione e l'evotraspirazione. La percolazione, ovvero quando l'acqua esce dai fori del vaso, è il caso limite. Meglio ancora, per una idratazione ottimale del terreno non deve esserci. Versando successivamente piccole quantità d'acqua (10 ml) si arriva alla saturazione a 40 ml, ovvero quando rileviamo acqua nel sottovaso (molto poca a dire il vero, nel giro di mezz'ora si asciuga).

Si possono ricavare i millimetri di acqua dividendo il volume d'acqua versato per la sezione del vaso.

millilitri	$mm^3$	mm $H_2O$
10	10000	1,2739
20	20000	2,5478
30	30000	3,8217
40	40000	5,0955

Table 1: Calcolo dei diversi valori di umidità del terreno espressi in millimetri d'acqua;

## 6 Specifiche iniziali

Si richiede di verificare se sia possibile avere una stima abbastanza precisa sulla quantità d'acqua contenuta in un terreno utilizzando un partitore di tensione ed un convertitore analogico digitale. Viste tutte le caratteristiche dei sensori esistenti si cerca qualcosa che abbia una discreta accuratezza e precisione. L'intervallo di tensione è 5 volt e la resistenza del suolo è molto variabile a seconda che sia secco a bagnato. Si dispone di margini sufficientemente ampi su cui muoversi, basterà fare attenzione a diversi fattori che possono giocare ruoli determinanti: composizione del suolo, distanza dei chiodi che compongono lo strumento,...

**Specifiche sulle caratteristiche statiche e dinamiche** Si ha a disposizione due diversi tipi di suolo, uno argilloso, permeabile ma con tendenza a stagnare (proveniente proprio dall'orto dove andrà installato il sistema di irrigazione), l'altro più sabbioso, molto più permeabile. Non si conoscono le componenti precise dei due suoli, né che fattori giocano nella variazione di conduttività, per ora interessa trovare degli intervalli operativi che permettano di fissare una soglia sotto cui l'umidità non deve scendere. Una volta trovata la soglia per uno specifico tipo di terreno sarà possibile programmare il microcontrollore del fatto che le piante necessitano irrigazione.

Non ci si curerà di aspetti quali la non-linearità, la ripetibilità o l'isteresi, in quanto richiederebbero misure molto più specifiche. Ad esempio per l'isteresi una volta aggiunta l'acqua occorrerebbe misurare la curva di ritorno, ma per farlo occorrerebbe misurare il peso della terra (che asciugandosi diventa più leggera) ad intervalli regolari e riuscire a rilevare differenze minime: per innaffiare una pianta in un vaso con più di 100 grammi di terra bastano poche decine di grammi d'acqua, rilevare le differenze di peso per evaporazione è una sfida che non ci si propone di affrontare, per ora.

Per quanto riguarda le caratteristiche dinamiche non ci si aspetta niente di particolare: in un orto l'umidità del terreno varia lentamente nel tempo rispetto al tasso di conversione dell'ADC del microprocessore, quindi non si temono risposte al gradino troppo lente o veloci. Dalle prime misurazioni si nota subito che una volta versata l'acqua in un vaso, la resistenza del suolo tende ad assestarsi nel giro di qualche minuto, mentre l'irrigazione (soprattutto

quelle a basso spreco, tipo a goccia), nelle giornate molto secche può durare anche diverse decine di minuti.

Le sovraelongazioni, invece, potrebbero essere un problema se la conducibilità del suolo, una volta bagnato, tendesse a riassetarsi una volta raggiunto il picco (l'overshoot). Fortunatamente una volta versata una quantità d'acqua sulla terra (sempre che non sia eccessivamente permeabile) la conducibilità aumenta sempre più lentamente per poi assestarsi ad un valore finale. Sulle caratteristiche dinamiche, la cosa che più potrebbe preoccupare è il tempo di assestamento, ovvero quanto tempo ci impiega l'uscita a raggiungere il valore desiderato. Quest'ultimo punto della risposta dinamica potrebbe essere da sviluppare ulteriormente in un'ottica di risparmio idrico: la zona in cui si coltiva è ricca d'acqua, ma se ci si trovasse in condizioni più precarie dal punto di vista della disponibilità d'acqua allora potrebbe diventare un ulteriore punto di forza al progetto.

**Specifiche sulle caratteristiche ambientali** Per quanto riguarda le caratteristiche ambientali, verranno effettuate le letture con due tipi di terreni diversi per vedere su che range di valori si assesteranno le misure, si può ipotizzare che la conducibilità del suolo vari essenzialmente in base alla sua capacità di trattenere l'acqua tra gli interstizi, ma anche a seconda dei minerali contenuti in esso, quindi riusciremo a dare una stima di massima, ma senza una misura sistematica e adeguate attrezzature sarà impossibile.

Per quanto riguarda possibili errori di montaggio (anche se il termine potrebbe trarre in inganno) occorrerà tenere conto in futuro di altri fattori: la stagnatura dei chiodi e l'isolamento della giunzione, ad esempio, farlo manualmente è un conto, una produzione in serie con processo industriale consentirebbe una standardizzazione delle misure, sempre nel caso si volesse essere molto precisi. Un altro fattore che sicuramente influenza le misure è la distanza a cui si collocano i chiodi: nelle misure che verranno eseguite si ha poco spazio di manovra, ma non è da escludere che con distanze più grandi si potrebbero rilevare variazioni più piccole, aumentando così la risoluzione del sistema sensibile (un conto è parlare della risoluzione del convertitore, un conto è la risoluzione globale del sistema di misurazione).

**Nota sull'incertezza della misura** Nel caso in esame si sta lavorando con uno strumento in grado di rilevare (idealmente) differenze di tensione di 5 millivolt, quindi con una risoluzione eccessivamente elevata per il progetto: è sufficiente esercitare una leggera pressione su uno dei due chiodi per vedere oscillare il valore letto dall'ADC. Il multimetro a disposizione, ad esempio, ha a disposizione 2 cifre decimali, quindi nelle letture dell'ordine di un volt (quelle di cui ci si occuperà) non ci si aspetta una corrispondenza effettiva. C'è da dire inoltre che l'incertezza sulla misura è abbastanza elevata: versare una quantità d'acqua così ridotta, anche per vasi di piccole dimensioni, non si presenta come la soluzione più ottimale: la pioggia o l'irrigazione a goccia bagnano il terreno in modo uniforme, si cercherà di fare altrettanto, ma è necessario comprendere

che non si pretende una corrispondenza diretta tra le misure.

**Bilancio costi e prestazioni** Il tutto deve avere costi il più possibile contenuti, che non vuol dire sacrificare la qualità in nome del risparmio, ma trovare delle soluzioni bilanciate. Le grandezze su cui si opera hanno margini molto ampi e variano lentamente, quindi si ha un buon terreno su cui giocare. Di converso, l'affidabilità gioca un ruolo cardine nel lungo periodo: occorre trovare un modo duraturo (si parla di mesi, visto che durante il tempo in cui si sono eseguite le misure i chiodi sono ancora in ottimo stato) per misurare l'umidità tramite il sensore che andiamo ad utilizzare in quanto l'umidità e i sali contenuti nel terreno aggrediscono i materiali ferrosi molto rapidamente trasformandoli in ruggine, in altre parole rendendo il sensore inutilizzabile.

A disposizione si ha un microcontrollore, che ovviamente aumenterebbe moltissimo i costi di un eventuale prototipo funzionante. Si è scelto un microcontrollore perchè è uno strumento molto versatile e potente, con numerose possibilità di implementazione per lo studio di progetti futuri. Quello che interessa, per questo progetto, è semplicemente la conversione analogico digitale per l'elaborazione dei dati, non occorrerà dotare l'intero sistema di uno strumento così versatile.



Figure 9: Collegamento dei chiodi



Figure 10: Posizionamento dei chiodi

## 7 Implementazione

Due normali chiodi vengono stagnati a dei fili elettrici e infilati nel terreno di un vaso.

Si Posizionano i chiodi nel terreno, proteggendo la giunzione con del nastro isolante.

Misurando la resistenza tra i capi dei due fili con un semplice multimetro si legge il valore di  $17,8 \text{ k}\Omega$ . Dopo 24 ore il valore è salito a  $40,8 \text{ k}\Omega$ . Si può quindi ipotizzare che il suolo si comporti come una resistenza variabile il funzione dell'acqua contenuta in esso. Si tratta da verificare gli estremi dei valori e capire quale sarà la soglia sopra cui bisogna irrigare.

Si applica un capo di un filo una resistenza da  $10 \text{ k}\Omega$ , chiamata  $R_1$  come da esempio, per creare un partitore di tensione: leggendo la tensione ai capi della resistenza si avrà un'idea della variazione di umidità del suolo. Quando il suolo è sufficientemente secco si misura la resistenza, questa volta includendo anche  $R_1$ . Leggiamo il valore  $176 \text{ k}\Omega$ . Si dà acqua alla pianta e si ripete la misura:  $13 \text{ k}\Omega$ . Sempre da progetto, al chiodo senza resistenza arriverà una tensione di  $5\text{V}$  in corrente continua, mentre  $R_1$  è a massa. Nel caso peggiore, ovvero ipotizzando il suolo come un conduttore perfetto e avendo solo  $R_1$  nel circuito, si ha una



Figure 11: Prima lettura valore resistenza del terreno

corrente di 0,5 mA e un consumo di potenza di 2,5 mW.

Si tratta ora di leggere in modo automatico la tensione ai capi di  $R_1$ .

$V_1$  varia (teoricamente) tra 5V (che chiameremo  $V_{ref}$  in quanto viene usata come riferimento per l'errore tra ADC e multimetro), nel caso peggiore ( $R_s$  nulla), e scende a 0,2 V quando il terreno diventa troppo secco. Una buona soglia per far scattare l'irrigazione potrebbe essere 1 V. Questi valori sono di prova, comunque, occorrerebbe studiare se la pianta in questione (Noce pecan, *Carya illinoensis*) ha bisogno di acqua frequentemente o se necessita di brevi periodi di siccità per uno sviluppo ottimale. Ogni specie ha le sue esigenze, ma per ora ci si accontenta di un prototipo funzionante, i valori possono essere cambiati in seguito.

Collegiamo un cavo al capo della resistenza per misurare la partizione di tensione, l'altro capo viene collegato ad un'entrata analogica della I/O Expansion Board.

Si programma il microcontrollore per la lettura analogica della tensione ai capi di  $R_1$  (come massa usa lo stesso riferimento all'altro capo del resistore) e per la conversione analogico/digitale. Si chiede di visualizzare una lettura ogni 5 secondi.

Il convertitore analogico/digitale del microcontrollore ha 10 bit, quindi leggerà valori da 0 a 1023. L'intervallo di tensione da misurare sono 5 volt, quindi la risoluzione è 4,8828125 millivolt. Ad esempio, al valore 139 mostrato in figura corrispondono circa 0,68 V (0,678710937 volt, per l'esattezza).





Figure 12: Circuito



Figure 13: Primo cablaggio

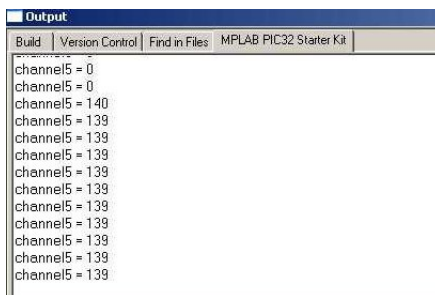


Figure 14: Prima prova di lettura

ADC	$V_{R_1}$ (ADC)	$V_{R_1}$ (voltmetro)	Scostamento
143	0,69813	0,46	0,23813
123	0,60049	0,40	0,20049
119	0,58096	0,38	0,20096
116	0,56631	0,37	0,19631
115	0,56143	0,37	0,19143

Table 2: Valori letti durante l'arco di una giornata

ADC	Conversione in Volt	$V_S$	$V_{ref} - V_s$	Scostamento
112	0,54678	4,60	0,40	0,14678
97	0,47355	4,60	0,40	0,07355
57	0,27827	4,77	0,23	0,04827
44	0,21481	4,80	0,20	0,01481
39	0,19040	4,83	0,17	0,02040

Table 3: Diversi valori per verificare la differenza di errore

## 8 Misure e test

Si programma il microcontrollore per la lettura analogica di un canale input della scheda di espansione, la conversione analogico digitale avviene tramite l'immagazzinamento dei dati su dei buffer. Si chiede che venga visualizzato il contenuto del buffer tramite output standard.

Si eseguono alcune letture. Output ADC 79; conversione in volt 0,38568; lettura voltmetro 0,25 volt; errore 0,13568. Stesso risultato si ottiene anche scollegando il microcontrollore e ricollegandolo, oppure spegnendolo e riaccendendolo, in modo da verificare che la lettura sia coerente.

Il multimetro si usa per la lettura della tensione sui chiodi, in modo da avere un'idea delle due cadute di tensione. C'è da dire che il multimetro ha un'incertezza nominale del  $\pm 0,5\%$ , anche se è stato verificato uno scostamento maggiore rispetto al valore dell'ADC. Le cause potrebbero essere molteplici, come la non uniformità delle stagnature eseguite, la resistenza dei fili elettrici...

Si collega il multimetro ai capi dei chiodi per misurare la tensione del suolo (chiamata  $V_S$ ) che fornirà un'idea dello scostamento (o errore) tra lettura diretta e conversione dell'ADC.

Il caso in esame presenta un piccolo vaso rotondo la cui imboccatura sono 10 cm, per un'area di  $78,5 \text{ cm}^2$ . Il peso a secco della terra contenuta nel vaso è di 150 grammi circa.



Figure 15: Postazione per la misura della tensione: il multimetro legge  $V_s$ , il microcontrollore legge  $V_{R_1}$ ;

Ora si cerca di eseguire alcune misure per trovare una correlazione tra la quantità d'acqua con cui si irriga la pianta e la lettura del microcontrollore. Ci si munisce di un misurino per l'acqua e si aggiungono progressivamente 10 millilitri d'acqua. Si aspetta ogni volta qualche minuto per lasciare il tempo all'acqua di distribuirsi tra gli interstizi del terreno, nel frattempo si può osservare la misura che si stabilizza. Una volta che il valore si è assestato lo si trascrive con il relativo scostamento dalla misura del multimetro.

Si fa un'ultima prova per verificare i valori ottenuti dal microcontrollore con il circuito aperto e con i chiodi a contatto.

L'intero apparato risulta comunque molto precario per quanto riguarda lo scopo ultimo dell'opera: presenta una circuiteria molto delicata, molti dei materiali non sono ottimali (come i chiodi, che tenderanno ad arruginirsi), le stag-

	mm $H_2O$	ADC	$V_{R_1}$	$V_s$	$V_{ref} - V_s$	Scostamento
Terra secca	-	39	0,19040	4,81	0,19	0,00040
10 ml H2O	1,2739	107	0,52237	4,61	0,39	0,13237
20 ml H2O	2,5478	249	1,21562	4,13	0,87	0,34562
30 ml H2O	3,8217	308	1,50366	3,90	1,10	0,40366
40 ml H2O	5,0955	379	1,85028	3,71	1,29	0,56028
Dopo 30 minuti	-	342	1,66964	3,84	1,16	0,50964

Table 4: Valori registrati dall'ADC per diversi gradi di umidità;

	ADC	$V_{R_1}$	$V_s$	$V_{ref} - V_s$	Scostamento
Aperto	3	0,01465	4,94	0,06	-0,04535
Chiuso (chiodi a contatto)	1023	4,99429	0,60	4,40	0,59429

Table 5: Valori di output ADC per il circuito aperto e chiuso

nature potrebbero essere fatte su una basetta millefori per rendere il circuito più presentabile.

Occorre tenere conto che il progetto trova la sua implementazione ultima per l'automazione di un impianto di irrigazione: che sia un orto o una serra, ci si troverà a lavorare in un ambiente molto umido, in alcuni casi a contatto con l'acqua, quindi il prototipo finale dovrà essere adeguatamente protetto da tali agenti esterni.



Figure 16: L'orto simulato

## 9 Nuova implementazione e imprevisti

Per avere delle misurazioni più complete ripetiamo l'esperimento, stavolta includendo altre piante. ci si procurato altri due vasi, uno con una pianta 'gemella' della prima, stessa specie anche se più grande, l'altro con alcuni germogli nati da bulbo (Scalogno di Romagna, *Allium ascalonicum*).

Le dimensioni dei vasi sono diverse, per avere un'idea dell'umidità occorrerà calcolare la sezione anche di questi. L'obiettivo è quello di trovare una migliore correlazione possibile tra umidità dei terreni e lettura dell'ADC, con i mezzi a disposizione. Si collegano altri chiodi ed altri fili ed, essendo che il microcontrollore campiona valori della resistenza a valle del circuito, non si può usare la stessa resistenza per tutte le piante. Alla fine si ottiene uno schema, come valori di prova sono stati inseriti alcuni valori per le resistenze trovati nella prima misurazione sul primo vaso, che da già un'idea del range di variazione della tensione che si andrà a misurare.

Il valore di resistenza  $R_{sA}$  più in alto deriva dalla prima misurazione, con un suolo con carenza d'acqua, mentre l'altro estremo  $R_{sC}$  è la misura di resistenza del suolo una volta bagnato. Finiti tutti i collegamenti necessari, il risultato non è ottimale dal punto di vista dell'ordine, ma è sufficiente per eseguire le misurazioni di cui abbiamo bisogno.

Si programma il microcontrollore, ma stavolta condividendo l'ADC tra tre ingressi diversi, con qualche piccolo accorgimento che evita effetti indesiderati: prima di far leggere all'ADC il campione, è sufficiente lasciare scorrere il tempo

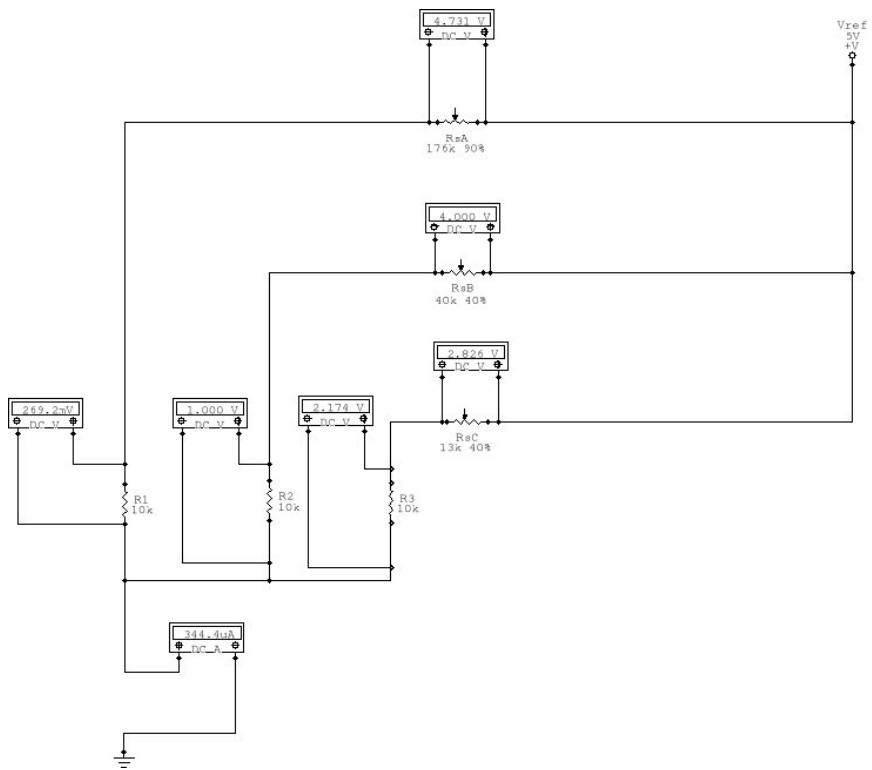


Figure 17: Schematica con tre piante

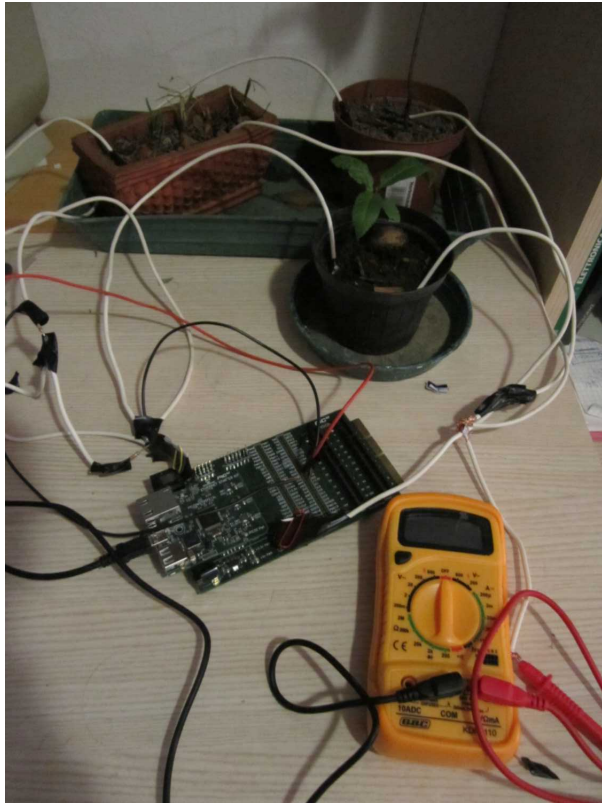


Figure 18: Cablaggio completo



```

Pianta A = 776
Pianta A = 776
Pianta A = 779
Pianta A = 776
Pianta A = 782
Pianta A = 783
Pianta A = 782
Pianta A = 782
Pianta A = 783
Pianta A = 783
Pianta A = 783
Pianta A = 783
Pianta A = 782
Pianta A = 783
Pianta A = 783
Pianta A = 783
Pianta A = 783
Pianta A = 776
Pianta A = 776
Pianta A = 776
Pianta A = 777

```

Figure 19: I valori evidenziati sono quelli affetti dalla misura con multimetro

```

Pianta A = 707
Pianta B = 135
Pianta C = 195
Pianta A = 708
Pianta B = 135
Pianta C = 195
Pianta A = 707
Pianta B = 135
Pianta C = 195
Pianta A = 707
Pianta B = 135
Pianta C = 195

```

Figure 20: Problemi legati alla misurazione simultanea di più piante

necessario affinché i buffer vengano popolati dai dati del nuovo canale, altrimenti la prima lettura della pianta B, ad esempio, ripete l'ultimo valore letto della pianta A.

Durante le prime misurazioni ci si accorge subito di alcune incertezze: dovendo spostare il puntale nero del multimetro da una resistenza all'altra (quello rosso rimane attaccato al nodo di alimentazione), si nota una leggera variazione dell'output. Per misurare la variazione effettiva si imposta un'uscita delle tre possibili con una frequenza di aggiornamento abbastanza alta (mezzo secondo) e osserviamo come si comporta con il contatto del puntale.

Lo scostamento rilevato è di circa 25 millivolt (la risoluzione dell'ADC è circa 5 millivolt). Non rilevante per gli scopi dell'esperimento, ma è sempre meglio tenere presente che qualsiasi misura influenza il sistema da misurare: meglio essere coscienti dell'entità del disturbo che si va a causare.

E' legittimo sperare che vada tutto per il verso giusto, ma inutile: notiamo subito una buona discrepanza tra i dati forniti dal microcontrollore e la lettura del multimetro.

La lettura sulla pianta A misura 707, che corrisponde a circa 3,5V, mentre il multimetro (che misura la tensione al capi dei chiodi) misura 2,4V. Anche

```
Pianta A = 14
La pianta A necessita acqua
Pianta B = 135
Pianta C = 195
```

Figure 21: Misurazione su pianta A con circuito aperto

```
Pianta A = 1023
Pianta B = 0
La pianta B necessita acqua
Pianta C = 76
La pianta C necessita acqua
```

Figure 22: Misurazione pianta A con cortocircuito

ricontrollando i vari contatti per verificare che non ce ne fossero di indesiderati, non risulta niente di fuori posto.

Si eseguono alcune prove per cercare di individuare il problema. Togliendo un chiodo dal suolo della pianta A, come era plausibile, il valore crolla bruscamente con tanto di avviso che il suolo è troppo secco e la pianta necessita acqua.

Il valore registrato è 14, circa 70 millivolt, anche se dovrebbe essere nullo. Con la precedente misurazione a circuito aperto si era registrato il valore 3, circa 15 millivolt (più vicino allo zero).

Si prova poi a mettere i chiodi della pianta A a contatto e si verifica subito che qualcosa non quadra.

Il valore della pianta B crolla a zero, mentre quello della pianta C si assesta intorno a 0,38 volt.

Le cause di questo comportamento possono essere molteplici e di non facile risoluzione:

- L'impedenza di ingresso dei contatti analogici non è molto alta, e potrebbero influenzarsi tra loro.
- Il riferimento a massa potrebbe non essere affidabile già per circuiti poco complessi, nonostante una lettura della resistenza tra i vari collegamenti a massa dia sempre un valore nullo. C'è da dire che i comparatori dell'ADC hanno come riferimento negativo la massa della scheda, questo potrebbe comportare alcuni problemi dovuti a tensioni parassite.

Comunque sia, questo era solo un esperimento per vedere se fosse possibile raccogliere dati più velocemente senza dover staccare e riattaccare i collegamenti per eseguire misure su vasi diversi. Ci potrebbero essere numerose soluzioni per ovviare al problema, Viene subito in mente alimentare il microcontrollore tramite la rete invece di via USB, in questo modo potremmo collegare i riferi-

menti a massa alla rete, il che probabilmente sarebbe un riferimento più affidabile.

Il progetto prevede una raccolta di dati sulla misurazione di un sensore di umidità, quindi si potrebbero raccogliere dati anche singolarmente e metterli in relazione tra loro, questo potrebbe avere il vantaggio di rendere le misurazioni più coerenti, usando sempre lo stesso ingresso.

	mm $H_2O$	ADC	$V_{R_1}$	$V_s$	$V_{ref} - V_s$	Scostamento
Terra secca	-	25	0,12205	4,88	0,12	0,00205
10 ml $H_2O$	0,9632	31	0,15134	4,84	0,16	-0,00866
20 ml $H_2O$	1,9264	118	0,57608	4,44	0,56	0,01608
30 ml $H_2O$	2,8896	206	1,00569	4,26	0,74	0,26569
40 ml $H_2O$	3,8528	404	1,97233	3,63	1,37	0,60233
50 ml $H_2O$	4,8160	502	2,45076	3,28	1,72	0,73076
60 ml $H_2O$	5,7792	570	2,78274	3,08	1,92	0,86274
70 ml $H_2O$	6,7424	608	2,96826	2,95	2,05	0,91826
80 ml $H_2O$	7,7056	636	3,10495	2,85	2,15	0,95495
90 ml $H_2O$	8,6688	647	3,15865	2,84	2,16	0,99865
100 ml $H_2O$	9,6321	652	3,18306	2,83	2,17	1,01306
Dopo 30 minuti	-	645	3,14889	2,85	2,15	0,99889

Table 6: Varie misure con ADC e voltmetro

	ADC	$V_{R_1}$	$V_s$	$V_{ref} - V_s$	Scostamento
Aperto	4	0,01953	4,95	0,05	-0,03047
Chiodi a contatto	1023	4,99429	0,06	4,94	0,05429

Table 7: Casi limite

## 10 Nuove misure

Si aggiungiamo due nuovi vasi all'esperimento: vaso B, rotondo, diametro 11,5 cm, area 103,82  $cm^2$  che in millimetri diventa 10382  $mm^2$ . L'altro vaso è rettangolare, di lati  $5 * 13,5 = 67,5 cm^2$  che in millimetri sono 6750  $mm^2$ .

Le misure seguiranno lo schema precedentemente esposto, con le misure in millimetri d'acqua.

Per quanto riguarda la prima misura ci si munisce di un vaso leggermente più grande, quindi ci si aspetta di avere più misure a nostra disposizione. Infatti prima di avere una percolazione fuori dal vaso occorre più acqua. Anche in questo caso verranno effettuate delle misure con la terra molto secca, ovvero acqua insufficiente per lo sviluppo della pianta.

Si eseguono anche due misure nei casi limite, ovvero con i chiodi a contatto (cortocircuito) e con i chiodi non posizionati nel terreno.

Si è potuto osservare molte più misure a causa del maggiore contenuto di terra del secondo vaso, anche se, nelle ultime versate d'acqua, il terreno in superficie è già saturo d'acqua e versarne ancora influenza di poco la misura.

Il grafico è a pendenza negativa perchè sono state convertite le misurazioni in tensioni complementari, ovvero  $V_{ref} - V_s$  che è la misura effettuata con il

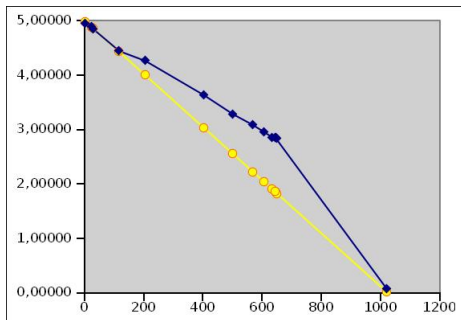


Figure 23: In blu: lettura dati con voltmetro; in giallo: conversione lettura ADC in volt;

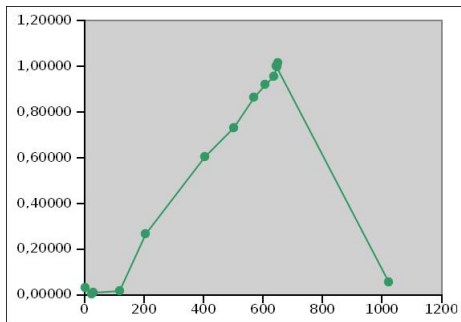


Figure 24: Scostamento tra lettura voltmetro e lettura ADC;

multimetro. In questo modo si ha già un'idea dello scostamento tra le due misure.

Evidenziando meglio lo scostamento (o errore) in valore assoluto, con una scala di valori che meglio evidenzia la sua entità, si può affermare che più le misure si protraggono più l'errore cresce, questo può essere dovuto a diversi fattori: il tempo di utilizzo dell'apparecchio, come una incertezza della misura sul valore, collegamenti non perfettamente consoni a misure di precisione... potrebbe essere, ipotesi da prendere in considerazione, che a sbagliare sia il multimetro, dopotutto è costato molto meno del nostro microcontrollore.

Anche in questo caso notiamo un progressivo errore, si nota molto bene un aumento maggiore dell'errore mentre cresce la quantità d'acqua del terreno. Può essere che il sensore sia poco preciso e necessiti un'adeguata compensazione. La compensazione dell'errore è una procedura a cui si può pensare, ma prima verrà eseguita la misura sulla pianta C per un ulteriore accorgimento: per ogni versata d'acqua si effettua la misurazione con il multimetro con e senza connessione al microcontrollore. Eseguire anche due misure con il microcontrollore (con e senza multimetro) potrebbe risultare superfluo in quanto abbiamo visto che influenza la misura di poco.

	mm $H_2O$	ADC	in volt
Terra secca		415	2,02603
10 ml H2O	1,4815	664	3,24165
20 ml H2O	2,9630	783	3,82261
30 ml H2O	4,4444	835	4,07647
40 ml H2O	5,9259	864	4,21805
50 ml H2O	7,4074	880	4,29616
Dopo 30 minuti		895	4,36939
Aperto		5	0,02441
Chiodi a contatto		1023	4,99429

Table 8: Lettura ADC con conversione valori in volt

Questa soluzione è venuta in mente in seguito al tentativo di misurare contemporaneamente tre valori: il risultati erano sballati e cambiavano a seconda dei collegamenti, è possibile che il microcontrollore influenzi la misura in modo molto invadente, a causa di una impedenza di ingresso non elevata.

Eseguiamo ora le misurazioni alla pianta C, con i nuovi accorgimenti.

La differenza del range dei valori è probabilmente dovuta ad un utilizzo di terreno diverso, più permeabile e più sabbioso: questo lascia scorrere meglio l'acqua verso il basso e conterrà sali minerali diversi. Si noti come, rispetto a prima, nonostante il terreno sia più permeabile, il valore dopo trenta minuti sia salito (cosa che non si verifica per il voltmetro), questa è un'ulteriore discrepanza: potrebbe essere che il sistema sensibile non sia così 'adatto' ad inseguire il valore effettivo, anche se nelle misure precedenti il comportamento era quello ipotizzato.

	in volt	Letture voltmetro senza ADC	$V_{ref} - V_s$	Scostamento
Terra secca	2,02603	2,41	2,59	-0,56
10 ml H2O	3,24165	1,65	3,35	-0,11
20 ml H2O	3,82261	1,45	3,55	0,27
30 ml H2O	4,07647	1,39	3,61	0,47
40 ml H2O	4,21805	1,33	3,67	0,55
50 ml H2O	4,29616	1,29	3,71	0,59
Dopo 30 minuti	4,36939	1,20	3,80	0,57
Aperto	0,02441	4,93	0,07	-0,05
Chiodi a contatto	4,99429	0,00	5,00	-0,01

Table 9: Confronto valori in volt dell'ADC con la lettura del multimetro (con lettura senza connessione all'ADC)

	in volt	Letture voltmetro con ADC	$V_{ref} - V_s$	Scostamento
Terra secca	2,02603	3,60	1,40	0,63
10 ml H2O	3,24165	2,84	2,16	1,08
20 ml H2O	3,82261	2,43	2,57	1,25
30 ml H2O	4,07647	2,34	2,66	1,42
40 ml H2O	4,21805	2,24	2,76	1,46
50 ml H2O	4,29616	2,09	2,91	1,39
Dopo 30 minuti	4,36939	2,03	2,97	1,40
Aperto	0,02441	4,96	0,04	-0,02
Chiodi a contatto	4,99429	0,31	4,69	0,30

Table 10: Confronto valori in volt dell'ADC con la lettura del multimetro (con connessione all'ADC)

	Letture voltmetro senza ADC	Letture voltmetro con ADC	Differenza letture voltmetro
Terra secca	2,41	3,6	1,19
10 ml H2O	1,65	2,84	1,19
20 ml H2O	1,45	2,43	0,98
30 ml H2O	1,39	2,34	0,95
40 ml H2O	1,33	2,24	0,91
50 ml H2O	1,29	2,09	0,80
Dopo 30 minuti	1,20	2,03	0,83
Aperto	4,93	4,96	0,03
Chiodi a contatto	0,00	0,31	0,31

Table 11: Confronto tra le letture del voltmetro con e senza connessione all'ADC

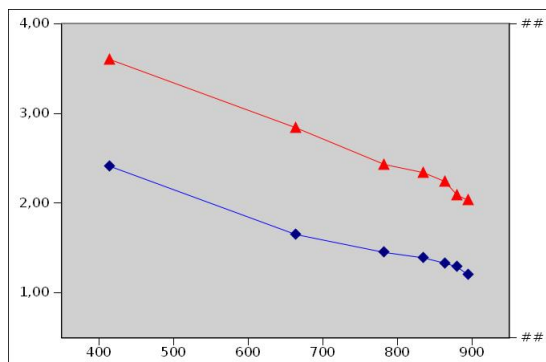


Figure 25: In rosso: lettura voltmetro con ADC; in blu: lettura voltmetro senza ADC;

Possiamo vedere come la lettura del multimetro sia affetta da un grande scostamento in presenza del collegamento al nostro sistema sensibile.

C'è da considerare la somiglianza dei profili tracciati dalle due letture del multimetro che dimostrano, senza voler prendere in considerazione la precisione, quantomeno una certa coerenza tra le misure. Ovviamente con gli strumenti a disposizione non è possibile raccogliere una quantità di dati tale da dare giudizi sulla precisione degli strumenti, però ci si può fare un'idea di massima.

A questa figura si affianca la lettura dell'ADC con relativa conversione: avendo scelto una corrispondenza lineare tra i valori dell'ADC e la rispettiva conversione in volt troviamo una linea retta.

Curioso notare come la lettura dell'ADC si scosti progressivamente da quello che potrebbe essere la fascia di valore coerente (quella compresa tra le due letture dei multimetri), potrebbe essere proprio un problema di compensazione:



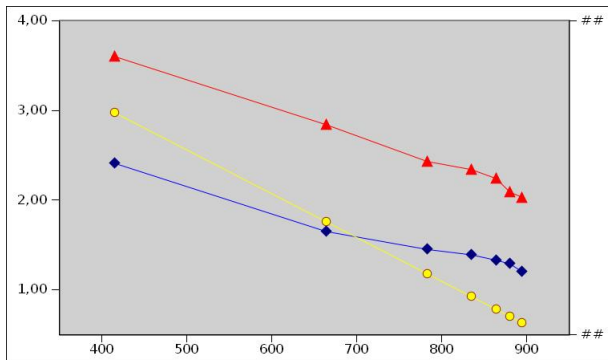


Figure 26: In rosso: lettura voltmetro con ADC; in blu: lettura voltmetro senza ADC; in giallo: conversione dati ADC in volt;

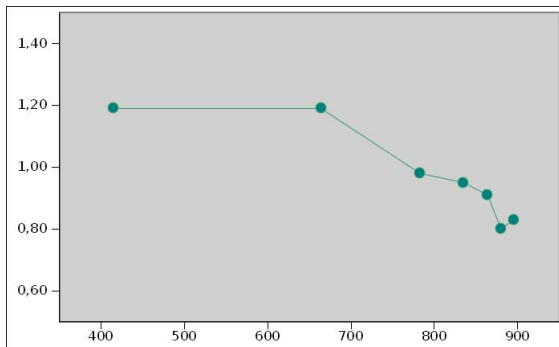


Figure 27: Differenza dei valori con e senza connessione all'ADC

eseguendo un numero sufficiente di letture tra i valori registrati dal microcontrollore e lo strumento di confronto, basterà poi trovare una funzione che converta i valori dell'ADC in un valore più possibile esatto.

In Figura 24 si può notare come il collegamento con la scheda influenzi la lettura del multimetro, per un minimo di quasi 0,8 volt, fino ad un massimo di 1,20 volt (per i valori più bassi, dove le letture sono più coerenti). Occorrerà tenere conto di questa di questa discrepanza.

Come prima considerazione, anche se i dati sono pochi, si può dire che il nostro sistema sensibile sia (di poco) più preciso rispetto alle discrepanze rilevate in precedenza: è vero che la lettura del multimetro si distacca molto dai dati raccolti collegando anche l'ADC, ma si trova una coerenza maggiore se sostituiamo letteralmente l'ADC al multimetro.

La domanda che sorge spontanea è se possiamo avere una stima di massima sull'impedenza di ingresso del nostro strumento di misura, anche se occorrerebbero diverse accurate misure che consentano di ricavare il valore indirettamente. Prima della realizzazione del progetto completo saranno necessari nuovi test alla

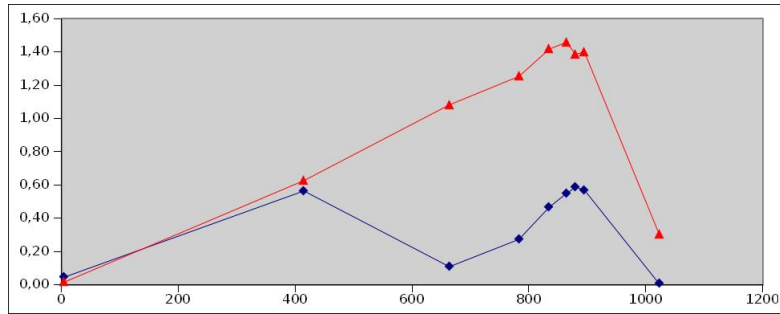


Figure 28: In rosso: errore con ADC; in blu: errore senza ADC;

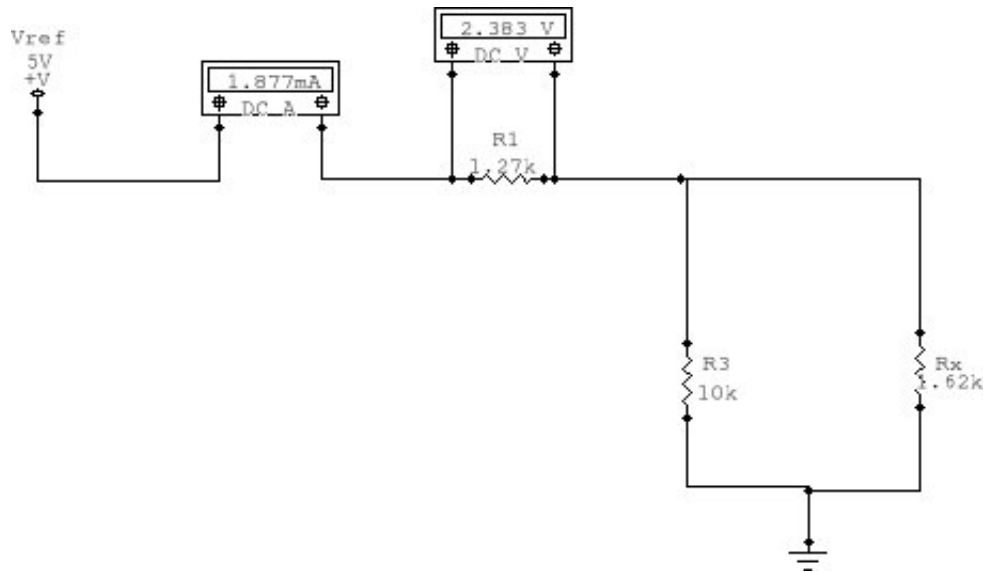


Figure 29: Simulazione del circuito per il calcolo dell'impedenza di ingresso

luce dei risultati qui emersi.

Si collega la scheda con il microcontrollore al capo di  $R_1$ , programmandolo per la lettura dei dati. Il multimetro ci servirà per la lettura della tensione sui chiodi e per la lettura della corrente che circola su  $R_s$ . Misuriamo 2,36V per la tensione sui chiodi, quindi sul parallelo tra  $R_1$  ed  $R_x$  (la resistenza d'ingresso incognita) ci sono 2,64V. Misuriando la corrente che scorre tra i chiodi e si trova il valore 1,85mA. Su  $R_1$  scorrono  $2,64/10 * 10^3 = 0,26mA$ . Su  $R_x$  quindi si hanno  $1,85 - 0,26 = 1,59mA$ . Si può finalmente avere una stima della resistenza di ingresso del sistema di misurazione.  $R_x = 2,64/1,59 * 10^{-3} = 1,66k\Omega$ .

Come prima stima, il risultato è deludente, ma si imparerà a farci i conti quando si avrà la possibilità di compiere misure più accurate. Per completezza si esegue una simulazione inserendo i valori trovati, a parte qualche imprecisione, il risultato è mostrato in figura 26.

Un'ulteriore considerazione tecnica riguarda lo scostamento tra i valori misurati con l'ADC tra la misura con il multimetro in serie per la misura della corrente: senza abbiamo una lettura a valore 791 che corrisponde a circa 3,95V. Inserendo il multimetro leggiamo il valore 403, che corrisponde a circa 2V, per una differenza di quasi 2V!

**Possibili soluzioni** Cercando soluzioni sulle guide e sui forum dedicati si possono trovare numerosi accorgimenti e consigli. Utilizzare dei riferimenti esterni di tensione, trovare una soluzione per l'impedenza di ingresso potrebbero essere soluzioni interessanti, come potrebbe esserlo lavorare a frequenze di conversione più basse, visto che la frequenza di acquisizione dati non è una specifica così stringente per quanto riguarda il sistema in esame.

Secondo i dati in possesso il problema risulta essenzialmente l'elevata corrente assorbita dall'ADC per frequenze di conversione molto spinte: nonostante la capacità del sample and hold amplifier sia molto piccola, operare a frequenze molto elevate comporta un assorbimento di carica abbastanza grande da influenzare l'acquisizione degli altri ingressi.

Si possono cercare delle possibili soluzioni senza dover cambiare il circuito.

Visto che la grandezza che andiamo a misurare ha delle variazioni molto lente si può pensare che non occorre campionare così frequentemente gli ingressi. Si adotta allora un accorgimento che potrebbe risolvere una parte dei problemi: riscrivendo il codice del microcontrollore in modo che l'ADC campioni per un periodo limitato di tempo un ingresso e poi venga chiuso, facendo lo stesso per gli altri due ingressi ed inserendo il tutto in un ciclo più grande. Come se non bastasse si abbassa la frequenza di campionamento: questo ci è permesso visto che la grandezza di riferimento varia lentamente nel tempo e non abbiamo bisogno di una acquisizione così spinta.

Il risultato lascia ben sperare, togliendo alternativamente un chiodo dal terreno a tutte e tre le piante si nota che la misura sulle altre due piante non è influenzata.

Si nota anche come dopo il reinserimento dei chiodi i valori sono cambiati: basta un leggero scostamento per far cambiare il valore alla rispettiva misura:

Pianta A = 756  
Pianta B = 712  
Pianta C = 73  
La pianta necessita acqua  
Pianta A = 754  
Pianta B = 0  
La pianta necessita acqua  
Pianta C = 73  
La pianta necessita acqua  
Pianta A = 755  
Pianta B = 689  
Pianta C = 0  
La pianta necessita acqua  
Pianta A = 754  
Pianta B = 684  
Pianta C = 0  
La pianta necessita acqua  
Pianta A = 752  
Pianta B = 682  
Pianta C = 67  
La pianta necessita acqua  
Pianta A = 688  
Pianta B = 680  
Pianta C = 67  
La pianta necessita acqua  
Pianta A = 0  
La pianta necessita acqua  
Pianta B = 679  
Pianta C = 67  
La pianta necessita acqua  
Pianta A = 809  
Pianta B = 680  
Pianta C = 67  
La pianta necessita acqua  
Pianta A = 784  
Pianta B = 678  
Pianta C = 67  
La pianta necessita acqua

Figure 30: Misure con il codice ottimizzato

```
Pianta A = 805
Pianta B = 672
Pianta C = 69
La pianta necessita acqua
Pianta A = 803
Pianta B = 671
Pianta C = 69
La pianta necessita acqua
Pianta A = 802
Pianta B = 670
Pianta C = 69
La pianta necessita acqua
Pianta A = 801
Pianta B = 669
Pianta C = 196
Pianta A = 799
Pianta B = 668
Pianta C = 211
Pianta A = 802
Pianta B = 668
Pianta C = 211
Pianta A = 799
```

Figure 31: Un ciclo di letture complete avviene in tre secondi, un secondo a pianta. Nel giro di 10 secondi il valore della pianta C si assesta;

prima che il valore della pianta A fosse zero il chiodo il chiodo non era completamente estratto ed è stato campionato un valore inferiore a quello precedente.

Una volta reinseriti tutti i chiodi si esegue l'ultima prova, visto che la pianta C necessita acqua. Si prova a bagnare il terreno e facendo attenzione se questo influenza le altre misure.

Nonsotante le consuete oscillazioni, e il tempo di assestamento subito dopo la versata d'acqua, si ha la conferma che i valori sono rimasti inalterati.

Quella su cui si è andati ad operare è solo una delle soluzioni possibili, la più facile da implementare. Probabilmente con una combinazione bilanciata di accorgimenti si potrebbero ottenere risultati più eleganti ed affidabili.

## 11 Conclusioni

Come considerazione finale si può affermare che il sistema di misura non è preciso per una prestazione professionale. Per una coltura fatta in casa potrebbe essere di grande aiuto, anche se occorrerà tenere conto del tipo di terreno e di quanta acqua necessitano le piante, quindi per qualsiasi installazione si volesse fare non esiste una regola generale. Ogni caso necessita di una soluzione adattata, frutto di misurazioni preliminari.

Si è verificato di avere uno strumento funzionale per questo scopo, in grado di rilevare una differenza molto grande di valori a seconda dell'apporto idrico necessario allo sviluppo della pianta, quindi è possibile eseguire ulteriori test per meglio sperare in un progetto che coinvolga l'utilizzo di più sensori, anche di tipo diverso, non solo di umidità.

Per quanto riguarda l'integrazione in un sistema di irrigazione automatica di giardinaggio, però, non si può certo lasciare una scheda così delicata alle intemperie, occorrerà pensare ad un sistema di alimentazione alternativo per dare tensione ai chiodi che saranno collocati all'esterno, mentre la lettura della tensione verrà misurata in un ambiente protetto dall'umidità e dalla pioggia.

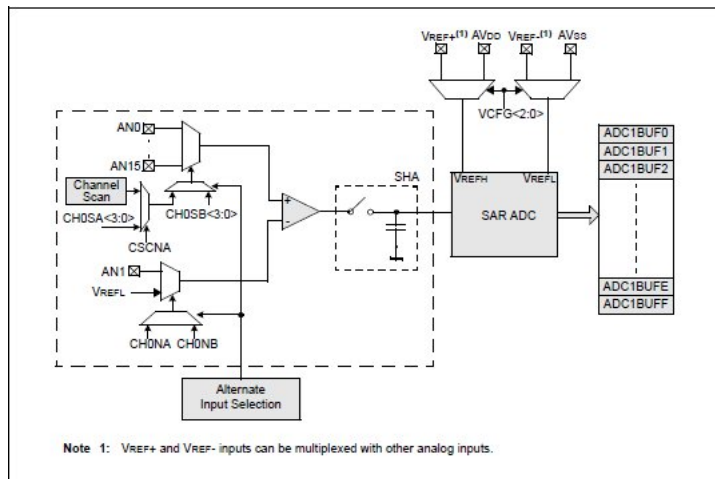


Figure 32: Schematica della conversione analogico-digitale del PIC32

## 12 Appendice 1: ADC ad approssimazioni successive

L'acquisizione dei dati viene pilotata dagli ingressi analogici fino al comparatore a valle del buffer tramite dei multiplexer, che si va a controllare tramite la definizione dei parametri. In questo caso si pilotano le tensioni di riferimento  $V_{refH} = V_{dd}$  e  $V_{refL} = V_{ss}$ , rispettivamente alimentazione e massa. Come riferimenti si poteva anche scegliere le tensioni da altri ingressi analogici. Allo SHA (Sample and Hold Amplifier) arrivano gli ingressi analogici AN3, AN4 e AN5, che erano i più comodi da collegare.

Il microcontrollore è dotato di un convertitore analogico digitale ad approssimazioni successive a 10 bit, che riesce a combinare con un buon equilibrio velocità di conversione e accuratezza, a fronte di un'elevata complessità circuitale.

Il funzionamento del convertitore prevede un continuo confronto con la tensione di riferimento: ad ogni ciclo di clock il registro del convertitore (SAR: Successive Approximation Register) invia al DAC una parola di ingresso sempre più vicina al valore  $V_{in}$ : supponendo che l'ingresso sia superiore di  $V_{ref}/2$ , al secondo ciclo l'uscita del DAC sarà pilotata dal SAR e si porterà al valore di  $3V_{ref}/4$  per essere confrontata dal comparatore. Nel frattempo il registro tiene conto dei bit memorizzati e, una volta riempito, invierà l'uscita ai buffer (EOC sta per End Of Conversion).

Lo svantaggio più grande di questo tipo di convertitore è che impiega un ciclo di clock per ogni bit, essendo che la parola è di 10 bit significa dieci cicli di clock. La frequenza di conversione è comunque molto elevata, si parla di un milione di campioni al secondo, un numero elevato per le attuali esigenze progettuali.

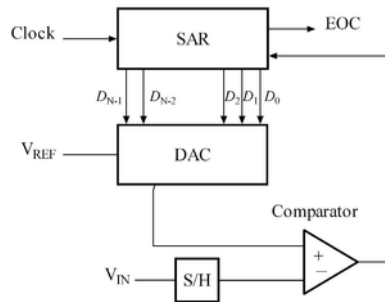


Figure 33: Schema ADC ad approssimazioni successive

## 13 Appendice 2: Il codice

```

#include <plib.h>
#include <stdio.h>

// Configuration Bits
#pragma config FNOSC = PRIPLL // Oscillator Selection
#pragma config FPLLIDIV = DIV_2 // PLL Input Divider (PIC32
// Starter Kit: use divide by 2 only)
#pragma config FPLLMUL = MUL_20 // PLL Multiplier
#pragma config FPLLODIV = DIV_1 // PLL Output Divider
#pragma config FPBDIV = DIV_1 // Peripheral Clock divisor
#pragma config FWDIEN = OFF // Watchdog Timer
#pragma config WDTPS = PS1 // Watchdog Timer Postscale
#pragma config FCKSM = CSDCMD // Clock Switching & Fail Safe

// Clock Monitor
#pragma config OSCIOFNC = OFF // CLKO Enable
#pragma config POSCMOD = XT // Primary Oscillator
#pragma config IESO = OFF // Internal/External Switch-over
#pragma config FSOSCEN = OFF // Secondary Oscillator Enable
#pragma config CP = OFF // Code Protect
#pragma config BWP = OFF // Boot Flash Write Protect
#pragma config PWP = OFF // Program Flash Write Protect
#pragma config ICSEL = ICS_PGx2 // ICE/ICD Comm Channel Select
#pragma config DEBUG = OFF // Debugger Disabled for Starter
// Kit

#define SYS_FREQ (8000000)

void DelayMs(unsigned int);
int i;

int main(void)
{
    // Configure the device for maximum performance but do not
    // change the PBDIV
    // Given the options, this function will change the flash wait
    // states and
    // enable prefetch cache but will not change the PBDIV. The
    // PBDIV value
    // is already set via the pragma FPBDIV option above..
    SYSTEMConfig(SYS_FREQ, SYS_CFG_WAIT_STATES | SYS_CFG_PCACHE);

    // Initialize I/O channels
    DBINIT();

```



```

CloseADC10(); // ensure the ADC is off before setting the
              configuration

// define setup parameters for OpenADC10
// Turn module on | output in integer | trigger mode auto |
// enable autosample
#define PARAM1 ADC_FORMAT_INTG | ADC_CLK_AUTO |
              ADC_AUTO_SAMPLING_ON

// define setup parameters for OpenADC10
// ADC ref external | disable offset test | disable scan mode |
// perform 8 samples | use dual buffers | use alternate mode
#define PARAM2 ADC_VREF_AVDD_AVSS | ADC_OFFSET_CAL_DISABLE |
              ADC_SCAN_OFF | ADC_SAMPLES_PER_INT_8 | ADC_ALT_BUF_ON |
              ADC_ALT_INPUT_OFF

// define setup parameters for OpenADC10
// use ADC PB clock | set sample time | auto
#define PARAM3 ADC_CONV_CLK_PB | ADC_SAMPLE_TIME_24 |
              ADC_CLK_AUTO

// define setup parameters for OpenADC10
// AN3, AN4, AN5 as analog inputs
#define PARAM4 ENABLE_AN3_ANA
#define PARAM5 ENABLE_AN4_ANA
#define PARAM6 ENABLE_AN5_ANA

// define setup parameters for OpenADC10
// do not assign channels to scan
#define PARAM7 SKIP_SCAN_ALL

AD1CON3bits.ADCS=0x01;

unsigned int channel5;

while (1) // infinite loop
{
    // configure ADC using the parameters defined above
    OpenADC10( PARAM1, PARAM2, PARAM3, PARAM4, PARAM7 );
    // use ground as neg ref for A, use AN3 for input B
    SetChanADC10( ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF |
                  ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN3 );
    EnableADC10(); // Enable the ADC

    while ( ! mAD1GetIntFlag() )
    {
        // wait for the first conversion to complete so
        // there will be valid data in ADC result registers
    }
    DelayMs(1000);

    // Reads the buffer that is not being populated
    if(AD1CON2bits.BUFS==1)
    {
        channel5=ReadADC10(0);
    }
    else
    {
        channel5=ReadADC10(8);
    }

    mAD1ClearIntFlag(); //Clear ADC interrupt flag
    printf("Pianta_A_c=%i\n", channel5);

    if(channel5 < 100)
    {
        DBPRINTF("La_pianta_necessita_acqua_\n");
    }
}

```

```

CloseADC10();
DelayMs(1000);

OpenADC10( PARAM1, PARAM2, PARAM3, PARAM5, PARAM7 );
// use ground as neg ref for A, use AN4 for input B
SetChanADC10( ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF |
              ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN4 );
EnableADC10();

while ( ! mAD1GetIntFlag() )
{
}

DelayMs(1000);

if(AD1CON2bits.BUFS==1)
{
    channel5=ReadADC10(0);
}
else
{
    channel5=ReadADC10(8);
}

mAD1ClearIntFlag();
printf("Pianta_B=%i\n", channel5);

if(channel5 < 100)
{
    DBPRINTF("La_pianta_necessita_acqua_\n");
}

CloseADC10();
DelayMs(1000);

OpenADC10( PARAM1, PARAM2, PARAM3, PARAM6, PARAM7 );
// use ground as neg ref for A, use AN5 for input B
SetChanADC10( ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF |
              ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN5 );
EnableADC10();

while ( ! mAD1GetIntFlag() )
{
}

DelayMs(1000);

if(AD1CON2bits.BUFS==1)
{
    channel5=ReadADC10(0);
}
else
{
    channel5=ReadADC10(8);
}

mAD1ClearIntFlag();
printf("Pianta_C=%i\n", channel5);

if(channel5 < 100)
{
    DBPRINTF("La_pianta_necessita_acqua_\n");
}

CloseADC10();
DelayMs(1000);

```

```
    }  
    return 0;  
}  
  
void DelayMs(unsigned int msec)  
{  
    unsigned int tWait, tStart;  
  
    tWait=(SYS_FREQ/2000)*msec;  
    tStart=ReadCoreTimer();  
    while((ReadCoreTimer()-tStart)<tWait);  
}
```

## 14 Bibliografia

Per la realizzazione del progetto sono state consultate le seguenti fonti bibliografiche:

- [1] La progettazione di un impianto di irrigazione - Sonia Pecchioli - Facoltà di Agraria - Università di Pisa - Gestione del verde urbano e del paesaggio  
<http://www.acqualibera.net/wp-content/uploads/2008/02/irrigazione-tesi.pdf>
- [2] Sensori e trasduttori di grandezze fisiche - Seconda Università degli Studi di Napoli  
<http://www.dii.unina2.it/LinkClick.aspx?fileticket=tfQSt6OWCJE%3D&tabid=453&language=it-IT>
- [3] Ingegneria e tecnologia dei sistemi di controllo - Ing. Marcello Bonfè - Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara  
<http://people.na.infn.it/~toglia/sitocosmici/data/sensori.pdf>
- [4] Corso di robotica, errori e compensazione - Tullio Facchinetti - Università degli Studi di Pavia  
[http://robot.unipv.it/toolleeo/courses/robotica2009/docs/20091222\\_errori-compensazione.pdf](http://robot.unipv.it/toolleeo/courses/robotica2009/docs/20091222_errori-compensazione.pdf)
- [5] The Garduino garden controller - Luke Iseman  
[http://cm.cdn.fm/fakeup/dow-make/cmweb/entry\\_assets/MAKE18\\_Garduino\\_brnd.pdf](http://cm.cdn.fm/fakeup/dow-make/cmweb/entry_assets/MAKE18_Garduino_brnd.pdf)
- [6] Il bilancio idrico - Francesca Ventura - DiSTA Università di Bologna  
<http://137.204.42.130/person/ventura/pdf/BILIDRO05.pdf>