

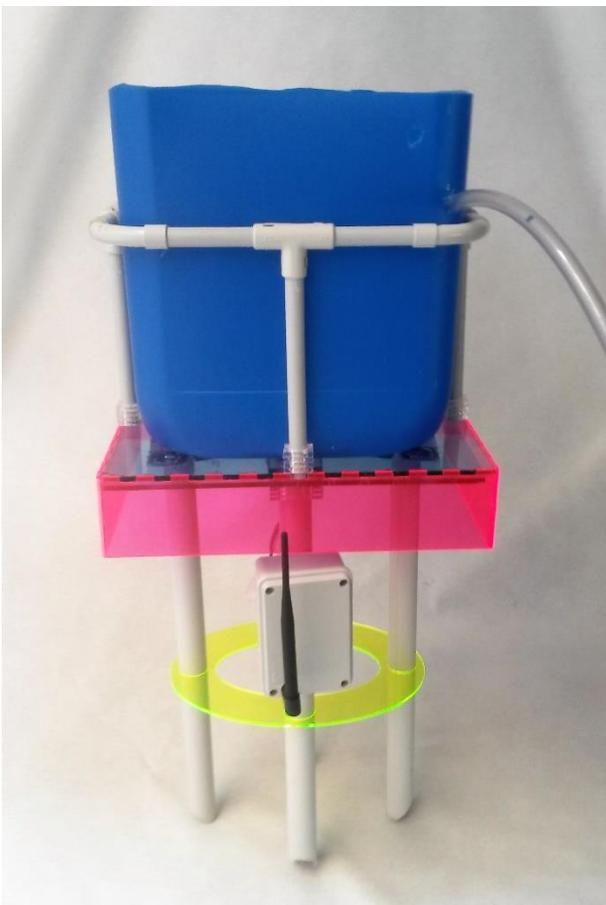
LoRaPluvio

Pluviometro gravimetrico con trasmissione dati LoRa

Paolo Bonelli

paolob087@gmail.com

Il presente documento è distribuito con licenza **Creative Commons BY-NC-SA**
This document is distributed with licence **Creative Commons BY-NC-SA**
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Come funziona un pluviometro?

Un pluviometro, in inglese “rain gauge”, è uno strumento che serve a misurare la precipitazioni acquose: pioggia, grandine o neve. L’unità di misura è il mm (millimetro) che corrisponde ad un volume di acqua liquida di un litro (dm^3) su una superficie di un metro quadrato. Nel caso della neve, il pluviometro è in grado di misurare l’equivalente in acqua, vale a dire i litri ottenuti dalla neve sciolta; non misura quindi l’altezza della neve in cm, che invece è stimata da altri strumenti. Per la grandine vale lo stesso discorso che per la neve.

Quello che interessa non è solo la quantità di pioggia totale in un lungo periodo di tempo, ma anche l’intensità della precipitazione, che è la quantità di acqua che cade in un’ora o meno. Questa misura è molto importante per distinguere le precipitazioni intense, che possono provocare esondazioni di fiumi, frane, allagamenti vari, da quelle deboli, più uniformi e continue nel tempo.

Un pluviometro quindi, per essere utile, deve misurare in continuo la quantità di acqua che arriva dal cielo, con

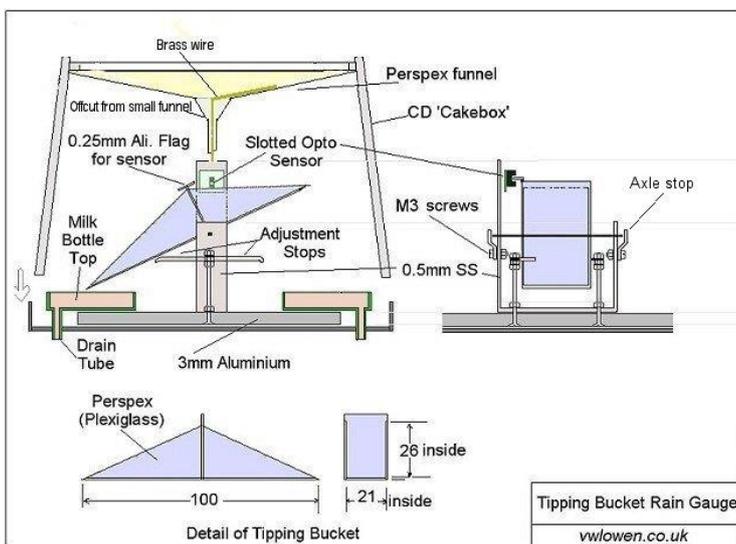
una risoluzione temporale dell’ordine dei minuti, mentre per i lunghi periodi, tra una pioggia e l’altra, non misurerà niente.

Il pluviometro più semplice in assoluto è costituito da un imbuto con diametro maggiore abbastanza grande, almeno 20 cm, sopra un recipiente di raccolta, il tutto posto in posizione orizzontale. Un operatore misura la quantità di acqua raccolta nel recipiente, con una bilancia o con un cilindro graduato (ricordo che un litro di acqua = $1 \text{ dm}^3 = \text{circa } 1 \text{ Kg}$), poi per ottenere i mm di pioggia, dovrà dividere i litri trovati per la superficie dell’imbuto espressa in m^2 . Questo metodo manuale è ovviamente impraticabile se si vuole un monitoraggio continuo ogni pochi minuti.

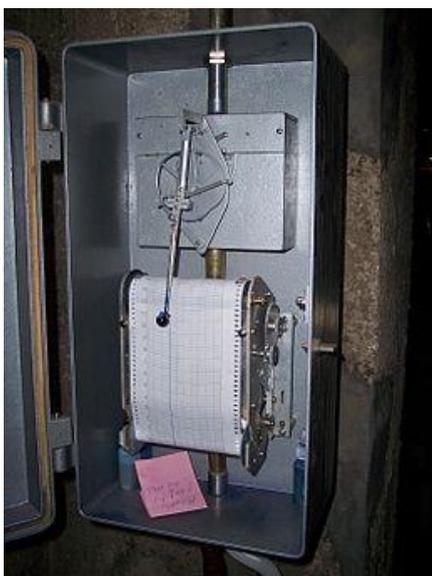
La necessità di avere misure continue senza l'intervento umano ha spinto i meteorologi ad ingegnarsi nel costruire pluviometri che registrino i mm di pioggia in modo completamente automatico. Dall'inizio del secolo scorso, la meteorologia mondiale ha intrapreso la registrazione sistematica e standardizzata dei fenomeni atmosferici, sono quindi apparsi strumenti precisi, veri e propri capolavori di meccanica.

Oggi la disponibilità di componenti elettronici compatti, a basso consumo energetico e a basso costo, ha permesso di costruire pluviometri registratori, riducendo al minimo la parte meccanica, che rimane però comunque indispensabile.

La parte meccanica di un pluviometro, quella essenziale che deve "sentire" la quantità di pioggia, può essere di due tipi. Il dispositivo più usato è costituito da una doppia vaschetta basculante: l'acqua raccolta dall'imbuto riempie una delle due vaschette fino a farla ribaltare. Nel ribaltamento, una vaschetta si svuota e l'altra sale ponendosi sotto l'imbuto (vedi disegno). La capacità della vaschetta e il diametro dell'imbuto sono tali da far sì che ogni ribaltamento corrisponda a 0,2 mm di precipitazione. Il conteggio dei basculamenti nel tempo è il dato che ci interessa e che viene raccolto, o da dispositivi meccanici di registrazione, o da dispositivi elettronici.



Meccanismo a bilancina usato in quasi tutti i pluviometri.



Registrazione meccanica della precipitazione: il pennino viene spostato in alto ogni scatto della bilancina, quando raggiunge il massimo, torna automaticamente alla posizione di partenza. Un timer meccanico fa girare il cilindro con la carta.

Nel caso di un pluviometro elettronico, i basculamenti sono contati da un reed relè, posto in mezzo alle due vaschette in posizione fissa, e da un magnete solidale alle due vaschette. Ogni volta che il magnete passa davanti al relè, lo fa chiudere provocando un impulso elettrico che deve poi essere contato da un circuito apposito. Il reed relè può essere sostituito da un più moderno sensore ad effetto Hall.

Il secondo dispositivo meccanico di misura, alternativo alle vaschette basculanti, è la bilancia. Infatti se il recipiente di raccolta della pioggia è posto su una bilancia e viene

costantemente pesato, gli incrementi di peso nel tempo ci possono dare la quantità di precipitazione caduta. Un pluviometro così fatto si chiama "gravimetrico".

Anche in questo caso, occorre un circuito elettronico che trasformi il peso del recipiente in segnali elettrici. Ultimamente sul mercato sono comparse bilance elettroniche molto precise e a basso costo, quelle usate in molte cucine e bagni casalinghi. Come avviene per tutti i prodotti elettronici di grande consumo, è possibile trovare sul mercato on-line i singoli componenti elettronici usati in questi prodotti. E' quindi facile costruirsi da soli e a basso costo una bilancia da usare per un pluviometro.

Una bilancia elettronica è costituita da una parte sensore, la cella di carico, capace di trasformare la forza di un peso posto sopra di essa in una variazione di resistenza elettrica. Pertanto se si misura questa piccola variazione, si è in grado di risalire alla forza che ha sollecitato la cella e quindi al peso del recipiente sopra le celle. Di solito un bilancia "a piatto" è costituita da 4 celle di carico.

Come si può notare in queste spiegazioni, si è volutamente separato il problema del sensore da quello dell'elaborazione della misura. Il sensore è quel dispositivo, meccanico nel caso del pluviometro, che trasforma la grandezza fisica in un segnale elettrico misurabile. L'elaborazione del segnale elettrico verrà poi fatta da un microcontrollore che lo trasforma in numeri corretti che ci danno l'informazione sulla precipitazione caduta.

Gravimetrico o a vaschette basculanti?

Se decidiamo di costruirci un pluviometro, la prima decisione da prendere è il tipo. Per un pluviometro gravimetrico dobbiamo affrontare la costruzione di una bilancia elettronica, mentre per quello a vaschette basculanti dovremo costruire questo pezzo. Le difficoltà di costruzione dell'uno e dell'altro saranno diverse a seconda dell'abilità del maker e della strumentazione a cui può accedere. Qui vorrei ragionare sui pro e i contro dei due tipi di pluviometro.

Parti meccaniche mobili. Gravimetrico 1 - Vaschette 0.

Uno strumento con parti meccaniche mobili di solito presenta criticità rispetto ad uno che non ce ne ha. Nel caso delle vaschette, è facile un loro blocco dovuto agli attriti del perno. Al contrario, le celle di carico hanno movimenti microscopici e senza attrito.

Intasamento dell'imbuto. Gravimetrico 1 - Vaschette 0.

Oggetti diversi dall'acqua possono cadere inevitabilmente nell'imbuto di raccolta, intasandolo. Nel pluviometro gravimetrico si può fare a meno dell'imbuto, basta una pentola o una tanica; gli eventuali oggetti caduti dentro danno luogo ad un aumento di peso sensibile ma abbastanza rapido che può essere intercettato dal software e rimosso dal conteggio vero dell'acqua.

Precipitazioni solide (neve e grandine). Gravimetrico 1 - Vaschette 0.

Il pluviometro a bilancia misura comunque il peso dell'acqua che entra, sia essa solida o liquida. Al contrario in quello a vaschette dove l'acqua deve essere liquida o eventualmente liquefatta con una sorgente di calore.

Precisione e sensibilità. Gravimetrico 0 - Vaschette 1.

Un pluviometro a vaschette raggiunge la precisione di 0,2 mm, come da raccomandazioni WMO (World Meteorological Organization), mentre quello a bilancia dovrebbe avere celle di carico molto precise per raggiungere quelle precisioni. Infatti, dato che 0,2 mm equivalgono a 200 g su m². Nel caso di un recipiente di accumulo con un diametro di 20 cm e altezza 30 cm, 0,2 mm corrisponderebbero a circa 6 g di acqua su un totale di accumulo massimo di circa 10 Kg, vale a dire che dovremmo avere una pesata con precisione del 0,06%.

Se ci accontentiamo di una risoluzione di 1 mm, un gravimetrico potrebbe essere fattibile con una precisione del 0,3% sulle celle di carico. Per confronto una bilancia da cucina da 5 Kg, può avere tranquillamente una precisione di 10 g, quindi 0,2%.

Trasmissione o registrazione in locale dei dati?

Un pluviometro che deve allertare qualcuno in caso di precipitazione intensa, deve possedere un sistema di trasmissione dati wireless. In postazioni remote, come in montagna o comunque fuori da aree urbanizzate, è possibile fare affidamento solo sulle reti GSM/GPRS (cellulari), dove però esistono e sono affidabili come continuità. Oltre a richiedere un canone di abbonamento per il loro uso, tali reti necessitano un hardware di trasmissione dati abbastanza energivoro; dovremo quindi provvedere ad una sorgente di energia esterna per il pluviometro, quale pannello solare o rete elettrica.

Recentemente si sono resi disponibili sistemi di trasmissione dati wireless a basso costo, basso consumo energetico e a lunga distanza. Tali sistemi, inoltre, non richiedono la presenza di reti esterne e possono essere usati per trasmissione punto a punto. Le frequenze usate sono attorno a 868 MHz che è la banda europea per le applicazioni ISM e può essere usata liberamente rispettando certi limiti di potenza e tempo di occupazione. La particolare tecnologia di modulazione è chiamata LoRa (Long Range). Sulla base di questa tecnologia sono state costruite reti (LoRaWAN) composte da "gateway" piccoli ed economici che consentono la ricezione di migliaia di nodi trasmettitori. Attualmente tali reti coprono solo alcune città europee, ma possono essere installate ovunque anche per pochi nodi, visti i bassi costi. Le reti LoRaWAN hanno però necessità che ogni gateway sia connesso ad Internet.

LoRa Pluvio

LoRaPluvio è un pluviometro gravimetrico, auto-costruito, che utilizza la tecnologia LoRa per la trasmissione dati. Può essere installato facilmente ovunque, con il ricevitore posto ad una distanza anche di 10 km, dipendente dagli ostacoli fisici interposti sulla linea retta. LoRa Pluvio è alimentato da una batteria ricaricabile LiPo della durata di alcuni mesi.

La tecnica LoRa usata, consiste in una trasmissione ad un senso di piccoli pacchetti di dati sulla frequenza ISM 868 MHz, libera in Europa.

Applicazione di LoRaPluvio è il monitoraggio degli eventi estremi di precipitazione che causano alluvioni, esondazioni, frane. La tempestività di invio dei dati ne fa un sistema ideale per invio di messaggi di allerta.

LoRaPluvio è un progetto open-source e può essere facilmente costruito da chiunque seguendo le istruzioni di questo documento. Non è esente da errori o da possibili miglioramenti, è quindi auspicabile che chi intraprende la sua costruzione, con eventuali varianti, condivida i suoi risultati con l'autore di questo documento e con gli altri interessati.

Componenti

LoRa Pluvio è composto da:

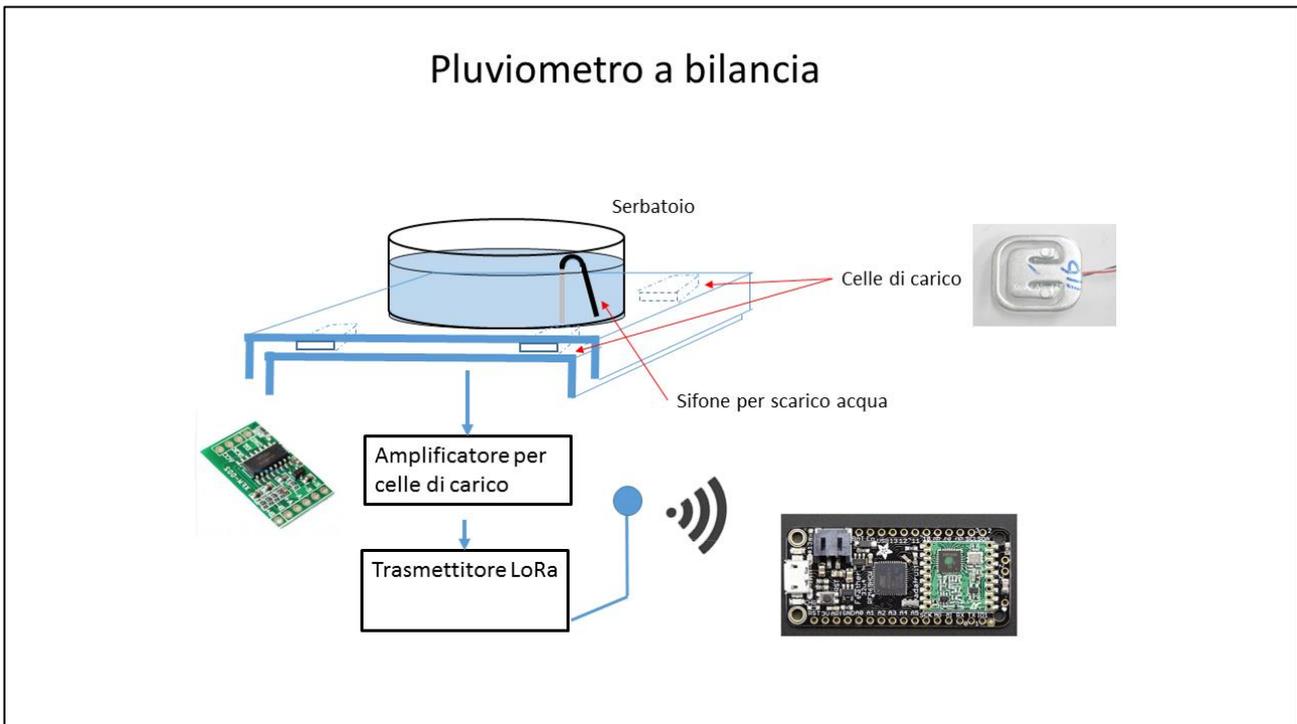
1. serbatoio dotato di sifone per l'auto-svuotamento;
2. piatto bilancia con 4 celle di carico;
3. sensore di pioggia;
4. sostegno;
5. scatola con le parti elettroniche.

Precisione

Le celle di carico adottate sono 4 e hanno un precisione di circa 1% con una portata massima di 50 Kg. Sono le celle più diffuse e meno costose perché usate per le bilance pesa-persone. Potrebbero essere usate celle da 5 Kg di portata, guadagnando una maggiore sensibilità, ma limitando la capacità massima del serbatoio a 20 Kg.

Quindi se S è la superficie dell'apertura del serbatoio, il peso dell'acqua raccolta è dato da P (Kg) = mm(pioggia) \times S (m^2).

Il serbatoio di LoRaPluvio ha $S = 0,066 m^2$, quindi per ogni mm di pioggia si pesano 66 g, quantità facilmente rilevabile dalle celle di carico usate.



L'intensità di precipitazione R in millimetri all'ora, sarà calcolata in questo modo:

$$R \text{ (mm/h)} = (P_2 - P_1) / (S * (t_2 - t_1))$$

Dove:

P_2, P_1 sono i pesi in Kg al tempo t_2 e t_1 (espressi in ore);

S è la superficie dell'imboccatura del serbatoio espressa in m^2 ;

Massima capacità del pluviometro prima dello svuotamento, dove P_s è la capacità del serbatoio al livello d'innescio del sifone:

$$R_x \text{ (mm)} = P_s \text{ (Kg)} / S \text{ (m}^2\text{)}$$

Costruzione di LoRaPluvio

Serbatoio

Il serbatoio può essere fatto di qualsiasi materiale purché sia aperto in alto e sia conosciuta la superficie S dell'apertura. Il fondo deve essere piatto. Il serbatoio ha un tubo che pesca sul fondo e esce fuori a qualche centimetro sotto il bordo dell'apertura. Questo tubo serve come sifone affinché il serbatoio si svuoti da solo quando il livello dell'acqua raggiunge la sommità del tubo.



Tanica trasformata in serbatoio con tubo per sifone.

Bilancia



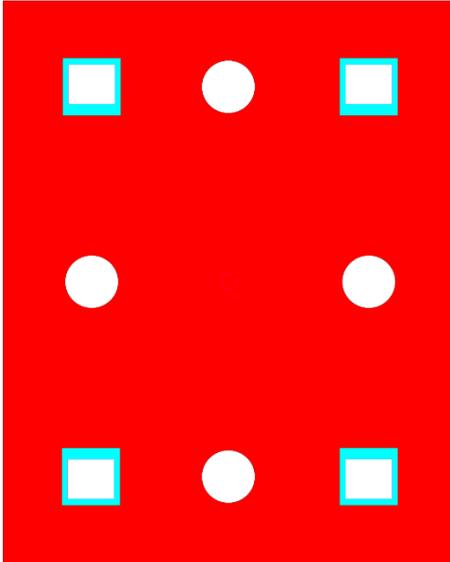
La bilancia è costruita con 4 celle di carico a tre fili di portata massima 50 kg ciascuna.

La figura riporta lo schema del partitore resistivo all'interno di ogni cella. E' composto da una resistenza fissa e una variabile con lo sforzo applicato alla cella

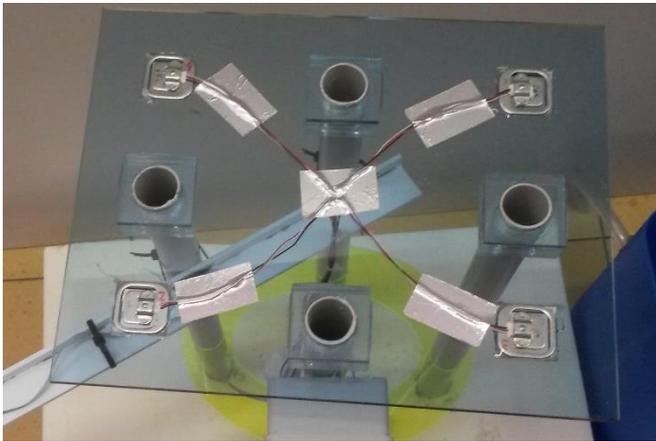


Celle di carico usate

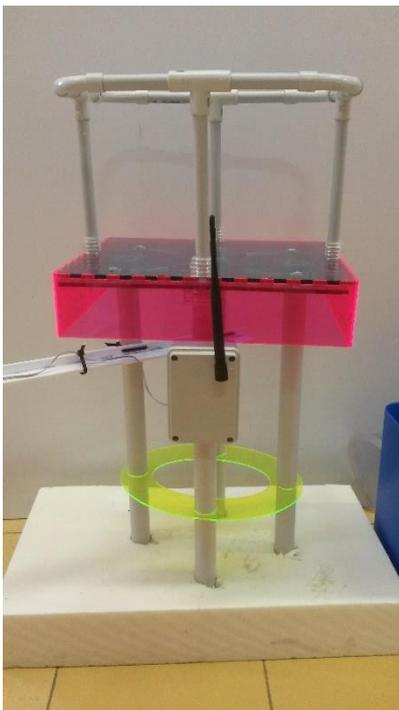
Il piatto della bilancia è costituito da due parti: la superficie su cui poggia il serbatoio e il supporto con le celle sottostante.



Piastra di supporto delle celle di carico in metacrilato, tagliato con la laser-cut. I buchi quadrati sono gli alloggiamenti per le celle, quelli tondi sono per i tubi in PVC. Le parti in azzurro sono scavate per la profondità di 1 mm circa con la tecnica dell'engrave.

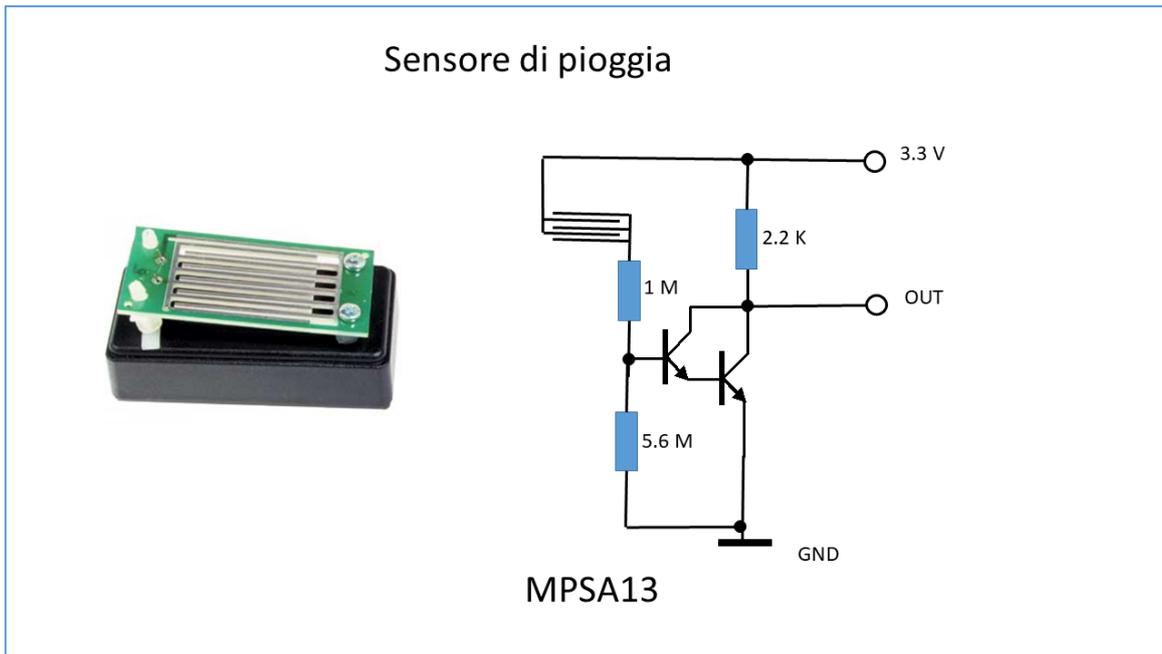


Piastra con le celle montate. I fili passano attraverso un foro al centro della piastra e vanno alla scatola dell'elettronica.



Piastra superiore, appoggiata alle celle di carico, con inserita la gabbia del serbatoio, realizzato in tubi di PVC da impianto elettrico. La piastra è circondata da bordi per proteggere la parte sottostante dalla pioggia.

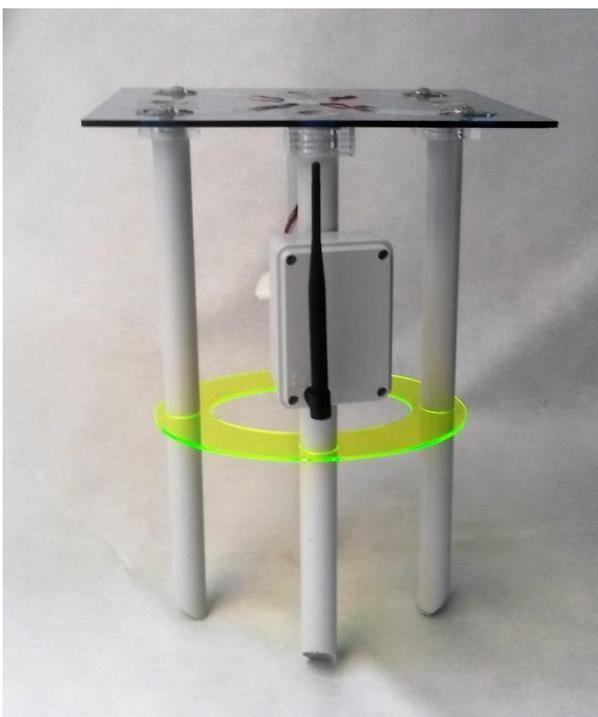
Sensore di pioggia



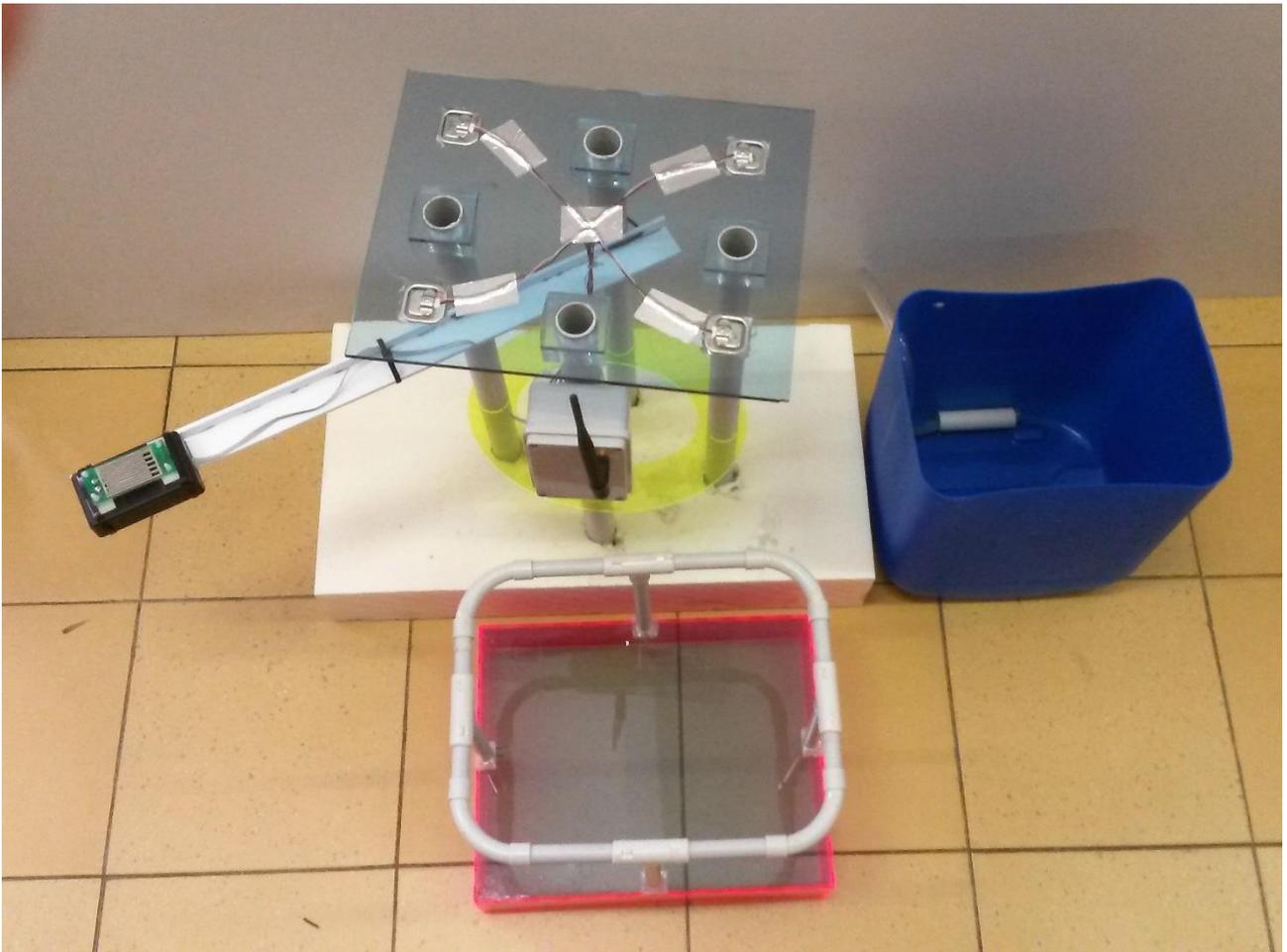
Il sensore di pioggia è necessario per dare il via alla lettura del peso. Infatti in assenza di pioggia, leggere continuamente il peso porterebbe ad un consumo eccessivo della batteria.

Il sensore è costituito da due “pettini” di materiale conduttore che offrono una resistenza infinita quando sono asciutti e una di qualche chilo-ohm quando una goccia bagna un punto qualsiasi della superficie. La variazione di resistenza viene amplificata da un circuito come nello schema in figura. La tensione sul morsetto “OUT” risulta più bassa di 3.3 V in caso di pioggia. L’alimentazione 3.3 V viene data dal piedino D5 del Feather. Assorbimento di circa 1 mA con sensore bagnato. Quasi niente col sensore secco.

Sostegno

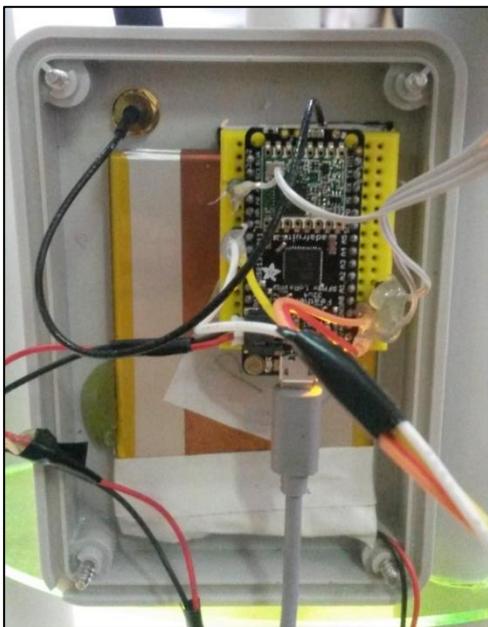


Nella foto sono visibili i 4 tubi in PVC di sostegno del pluviometro, l’anello di irrigidimento e la scatola contenente l’elettronica, con l’antenna.



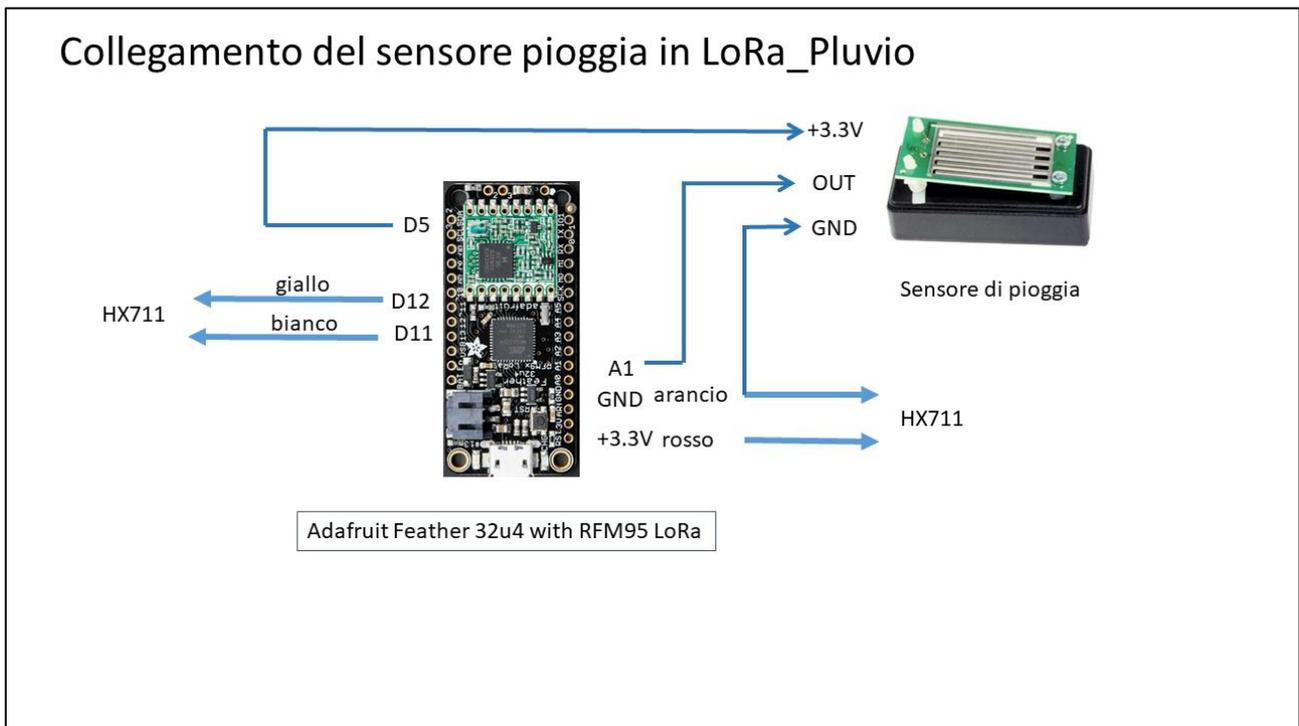
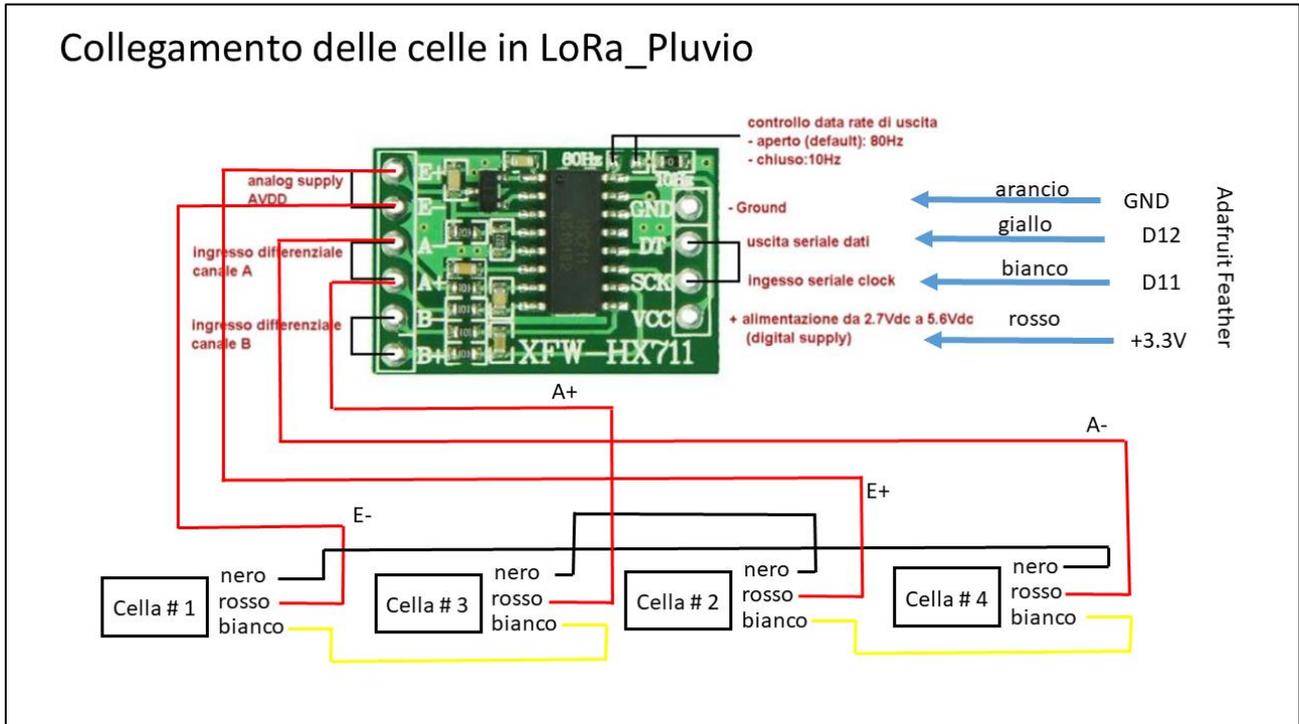
La foto mostra i pluviometro smontato. In basso è il piatto superiore della bilancia con la gabbia, a destra il serbatoio con il sifone, in alto la struttura con le celle di carico e il sensore di pioggia.

Scatola dell'elettronica



La scatola contiene nel coperchio, la batteria, la scheda Adafruit (vedi paragrafo dell'elettronica) e il connettore per l'antenna. Nel corpo è contenuta una millefori con i collegamenti tra le celle e il chip amplificatore. I collegamenti tra corpo della scatola e coperchio sono assicurati da due connettori JST.

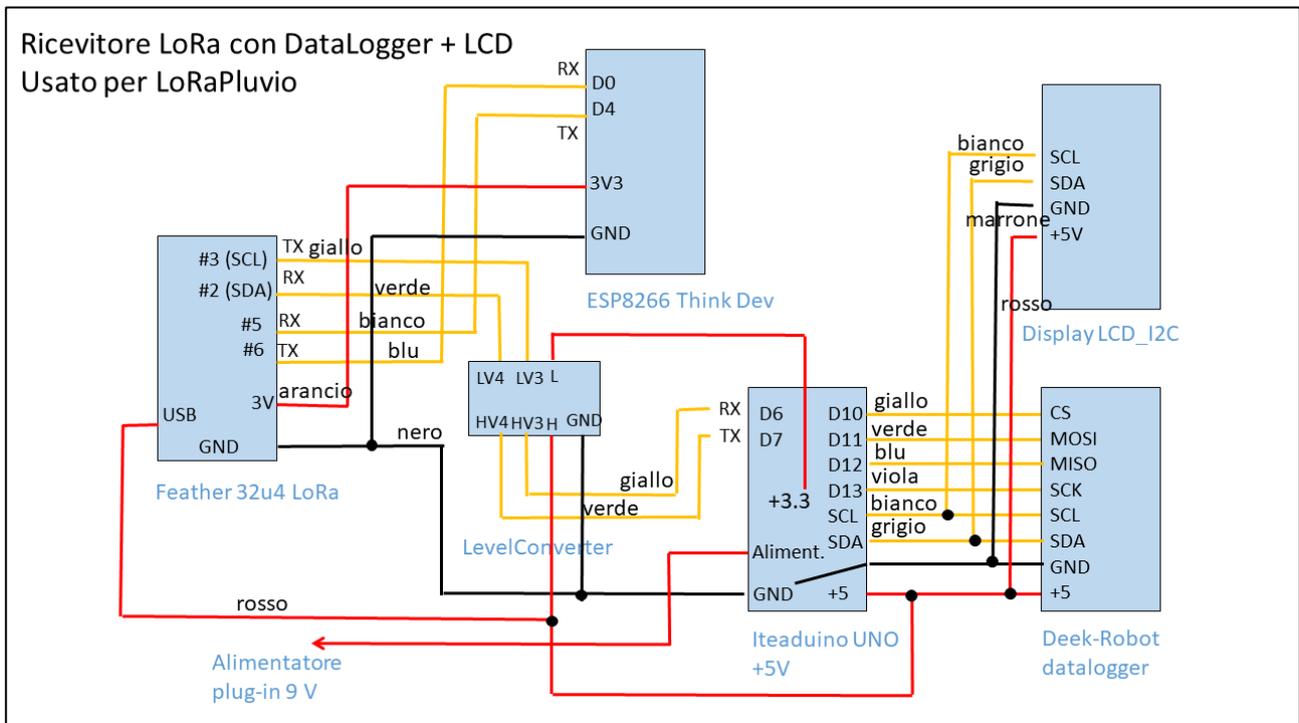
Elettronica: circuiti della bilancia e trasmettitore LoRa.

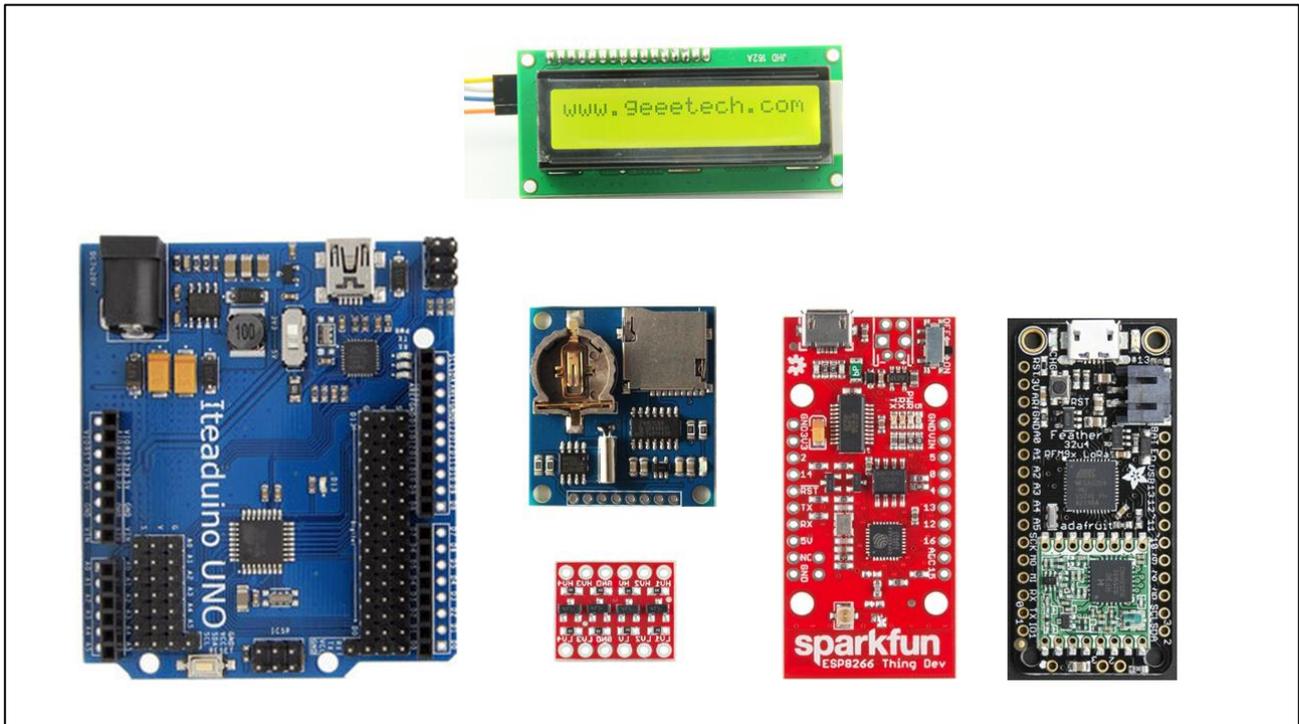


Elettronica: circuiti della stazione di ricezione



La stazione di ricezione ha lo scopo di ricevere i pacchetti di dati inviati dal pluviometro e di passarli, sia al data-logger per la loro registrazione con la data e l'ora su card SD, sia alla scheda ESP8266 che provvede ad inviarli, tramite una rete WiFi disponibile, al server prescelto. Nel caso in cui non si disponga di una rete WiFi, questa scheda può essere omessa. La stazione è dotata anche di un display LCD retroilluminato per la visualizzazione dei dati in locale.





Funzionamento del Trasmettitore

Numero di riconoscimento del trasmettitore: 47221

Ad ogni ciclo di loop, Feather controlla lo stato del sensore di pioggia se superiore (assenza di pioggia) o inferiore ad una soglia prefissata nel programma. Il ciclo termina con 4 comandi di sleep della durata totale di 32 s circa.

Dopo un certo numero fisso di loop con assenza di pioggia, viene trasmesso un pacchetto di dati. La periodicità in caso di assenza di pioggia è di circa 15 min.

Nel caso in cui il sensore di pioggia rilevi precipitazione, parte il ciclo di lettura del peso, si azzerano le celle e si prendono le letture ad ogni ciclo facendone la media mobile. Dopo un certo numero fisso di cicli della durata di circa 5 minuti si trasmette la pesata e la sua conversione in mm e si ricomincia.

Considerazioni sugli errori

Le celle di carico hanno una deriva che dipende da varie cause, una tra tutte la temperatura. L'errore di deriva può essere ridotto facendo la tara spesso, vale a dire che si legge il peso e si azzerano le celle. In questo modo bisogna trovare un giusto compromesso tra il periodo di campionamento, riduzione dell'errore di deriva e sensibilità delle celle. A parità di intensità di precipitazione, su tempi lunghi si misurano differenze di peso grandi con un errore relativo più piccolo, ma con il rischio che l'errore di deriva sia più grande. Inoltre se il campionamento dura tanto, la possibilità di avvisare la gente degli effetti di una precipitazione intensa si riduce.

Le celle di carico usate hanno una sensibilità di 20 g circa che corrisponde ad una precipitazione di $P(\text{kg})/S(\text{m}^2) = 0,02/0,066 = 0,3 \text{ mm}$.

Se facciamo una misura al minuto, durante il quale vengono giù ad esempio 0,3 mm di pioggia (18 mm/h), potremmo in un'ora rischiare di misurare una precipitazione compresa tra 0 e 36 mm/h (errore del 200%)

Se la misura avviene in 10 minuti (3 mm), in un'ora potremmo misurare una precipitazione compresa tra 16,2 e 19,8 (errore del 20%)

Agli errori su calcolati va aggiunto l'errore di deriva che di solito è più grande quanto più tempo passa tra due azzeramenti.

Con celle di carico di portata massima 5 kg, come quelle delle bilancette cinesi da 6 €, la precisione è tipicamente 2 g, pertanto l'errore corrisponde ad una precipitazione di $0,002/0,066 = 0,03 \text{ mm}$. Rifacendo i calcoli di prima con questo errore, tutti gli errori percentuali si riducono di un fattore 10. Bisogna considerare però che la portata massima della nostra tanica sarà di 5 kg e quindi di circa 76 mm.

Software

Caricato sul TX pluviometro:

D:\D\Arduino_doc\sorgenti101\CelleCarico\LoRa_Pluvio_V4.ino (fa la tara ogni volta che piove)

Periodicità: in caso di pioggia, manda un pacchetto ogni 5 minuti. In caso di assenza di pioggia, ogni 15 minuti circa

Caricato sulla Stazione di ricezione

Caricato sul RX Feather:

D:\D\Arduino_doc\sorgenti101\FEATHER_LORA\feather_RX_ESP_DataLogger_V3.ino

Caricato su ESP8266:

D:\D\Arduino_doc\sorgenti101\ESP8266\ESP_exosite_General_V4.ino

Caricato sul Iteaduino + datalogger + LCD:

D:\D\Arduino_doc\sorgenti101\DATALOGGER\DL_deekRobot_Feather_LCD_V3.ino

Configurazione per una rete WiFi

Nello sketch di ESP8266 prendere la cartella `ConfigWiFi.h` e modificare la parte tra virgolette

```
const char ssid[]      = "xxxxx";  
const char password[] = "xxxxxxxxx";
```

Caricare lo sketch sulla scheda ESP8266 impostando sul menù “Strumenti” della IDE il tipo di scheda “Sparkfun ESP8266 Think Dev” e porta. Prima di caricare lo sketch, disconnettere il collegamento tra Feather e ESP8266

Lettura dati del DataLogger

Spegnere il ricevitore, estrarre la SD card dalla scheda datalogger, leggere la SD card su un PC munito di lettore oppure su apposite chiavette USB. I file sono in formato .CSV e quindi leggibili con un programma Excel o analoghi.

DISPLAY LCD

Legenda:

#xxxx n. stazione trasmittente
Vxxxx tensione batteria in mV
Nxxxx numero pacchetto dati (max 9999)
Sxxxx digit sensore di pioggia
Mxxx mm di pioggia in 5 min
Cxxx numero cicli per misurare MM
Rxx RSSI

Prove in campo

18/10/2017 Installato nel giardino di Roby

- Con tempo nebbioso e pioviggine, il sensore di pioggia si attiva, probabilmente anche per la rugiada.
- Sarebbe da monitorare anche il suo valore sperando di trovare un valore discriminante migliore.
- Pioggia forte tra il 4/11 e il 7/11

08/11/2017 Cambiata batteria e sketch:

D:\D\Arduino_doc\sorgenti101\CelleCarico\LoRa_Pluvio_V4.ino

- E' stato cambiato il tempo di campionamento, portato da 1 m a 5 m, nella variabile MMcum è stato messo il valore di SensRain
- Misurata acqua nella tanica: 7,5 litri
- Estratti dati da Exosite

19/11/2017 Introdotta il fattore di taratura variabile in funzione del peso totale della tanica