

RELAZIONE TECNICA DI PROGETTO

CIRCUITO DI CONDIZIONAMENTO E TRASMISSIONE DATI PER STAZIONE METEO IOT

Bando voucher digitali I4.0 - anno 2021

A.G.E. S.R.L.

Via borgo di Gesso, 65

29013 Carpaneto Piacentino (PC)

P.IVA IT 01651970335

Sommario

CAPITOLATO	3
Anemometro	3
Sensore di radiazione solare.....	3
Pluviometro	4
Sensore di umidità e temperatura	5
CONTENUTI DELLE ATTIVITA' SVOLTE	6
GESTIONE BATTERIA, TIMER E BUCK-BOOST CONVERTER.....	7
Gestione batteria.....	7
Temporizzatore e power switch	9
Buck-Boost converter	9
RETE DI TIMING	10
MODULO TRASMETTITORE.....	11
CPU – MICROPROCESSORE.....	12
TRASMETTITORE WIFI.....	13
SENSORE DI VIBRAZIONI, MEMORIA E USB.....	13
CONNETTORI E CONTATORE	14
PROTOTIPO	15
RISULTATI OTTENUTI	17

CAPITOLATO

Il progetto presentato consiste nel circuito di acquisizione, condizionamento e trasmissione di parametri fisico-chimici provenienti da una centralina meteo equipaggiata dai sensori descritti di seguito.

Anemometro

Questo sensore misura la velocità del vento, che fornisce un treno di impulsi di frequenza direttamente proporzionale alla velocità del vento. Tali impulsi sono forniti da un sensore reed che chiude i contatti ogni volta che il rotore dell'anemometro compie un giro.

Un potenziometro lineare con escursione di 360° si occupa invece di indicare la direzione del vento. Il valore di uscita del partitore resistivo ottenuto collegando gli estremi di tale potenziometro tra l'alimentazione e la massa, e prelevando il segnale dal cursore (pin centrale), consente di stabilire univocamente la direzione del vento.



Figura 1 - A sinistra un sensore di direzione del vento, a destra un sensore di velocità del vento.

Sensore di radiazione solare

La misura della radiazione solare, o di irradianza solare, indica la quantità di potenza dei raggi solari, di lunghezza d'onda compresa tra i 400 ed i 1100 nm, irradiati sull'unità di superficie (l'unità di misura è infatti W/m^2). Il sensore dedicato è un fotodiiodo opportunamente amplificato, che fornisce alla circuiteria un segnale analogico direttamente proporzionale alla radiazione solare, ed è alimentato ad una tensione continua di 3,3V. In certi sensori di radiazione è presente anche un trasduttore specifico, centrato su

determinate lunghezze d'onda, che fornisce il livello di indice UV. Tutti sono generalmente dotati di bolla per il corretto posizionamento verticale, come si vede dalla figura sottostante.



Figura 2 - sensore di irradianza solare o di radiazione con relativa bolla di posizionamento.

Pluviometro

Il sensore di pioggia è costituito da un pluviometro a doppio cucchiaio basculante. Quando il primo cucchiaio si riempie, per effetto del peso dell'acqua il bilanciere si abbassa, svuotando questo cucchiaio ed alzando quello che prima era vuoto. Al riempimento di quest'ultimo il bilanciere si riporta nella posizione precedente ed il ciclo continua in questo modo. Ad ogni passaggio del bilanciere attraverso il proprio centro, viene chiuso un contatto reed grazie ad una piccola calamita posta sul bilanciere. In base al numero di conteggi effettuati ed alla quantità di acqua necessaria per riempire ogni cucchiaio, è possibile stabilire con esattezza i millimetri di acqua caduti durante la pioggia.



Figura 3 - Esempio di pluviometro a doppio cucchiaio basculante

Sensore di umidità e temperatura

Il sensore di umidità e temperatura è costituito da un modulo digitale integrato, autocalibrato, che fornisce i dati tramite protocollo I2C. Il sensore è alimentato ad una tensione di 3,3Vdc.

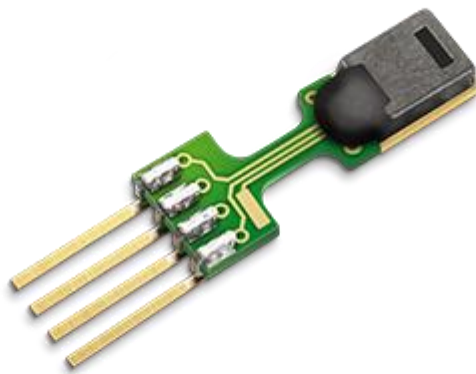


Figura 4 - sensore di temperatura e umidità.

CONTENUTI DELLE ATTIVITA' SVOLTE

Le attività svolte hanno riguardato in un primo step la progettazione e lo sviluppo di un sistema prototipale, composto da una PCB (printed circuit board), i cui componenti elettronici, prevalentemente SMD, sono stati montati manualmente attraverso l'ausilio di un visore stereoscopico. Tale attività è stata di fondamentale importanza, al fine di verificare l'effettiva fattibilità tecnologica, relativa all'ottimizzazione della durata della batteria rispetto ai dispositivi IOT disponibili oggi sul mercato.

Le tipologie di attività svolte sono state le seguenti:

- Fase di documentazione in merito allo stato dell'arte delle circuiterie in grado di trasmettere tramite protocollo LoRaWAN®;
- Studio di fattibilità di un sistema innovativo con maggiore efficienza e durata della batteria;
- Studio dei vari modelli di defibrillatori stazioni meteo;
- Studio dell'adeguata architettura a microprocessore
- Test dei prototipi e analisi dei risultati.

Nel dettaglio, è possibile riassumere il frutto delle ricerche e della progettazione descrivendo i singoli blocchi che hanno composto la scheda PCB prototipale.

Il vantaggio introdotto, rispetto alle tecnologie attuali, è che attraverso tale sistema è possibile ridurre i costi di infrastruttura ai mini termini, poiché il "Nodo Sensore" è l'unico dispositivo attualmente presente in commercio che ha la possibilità di essere integrato all'interno di una rete LoRaWAN che è già presente sul territorio presso le principali città italiane.

Un altro vantaggio è che è possibile installare il sistema all'interno di una rete LoRaWAN già presente sul territorio presso le principali città italiane, quindi senza costi di infrastruttura, con spese irrilevanti di installazione e di mantenimento.

GESTIONE BATTERIA, TIMER E BUCK-BOOST CONVERTER

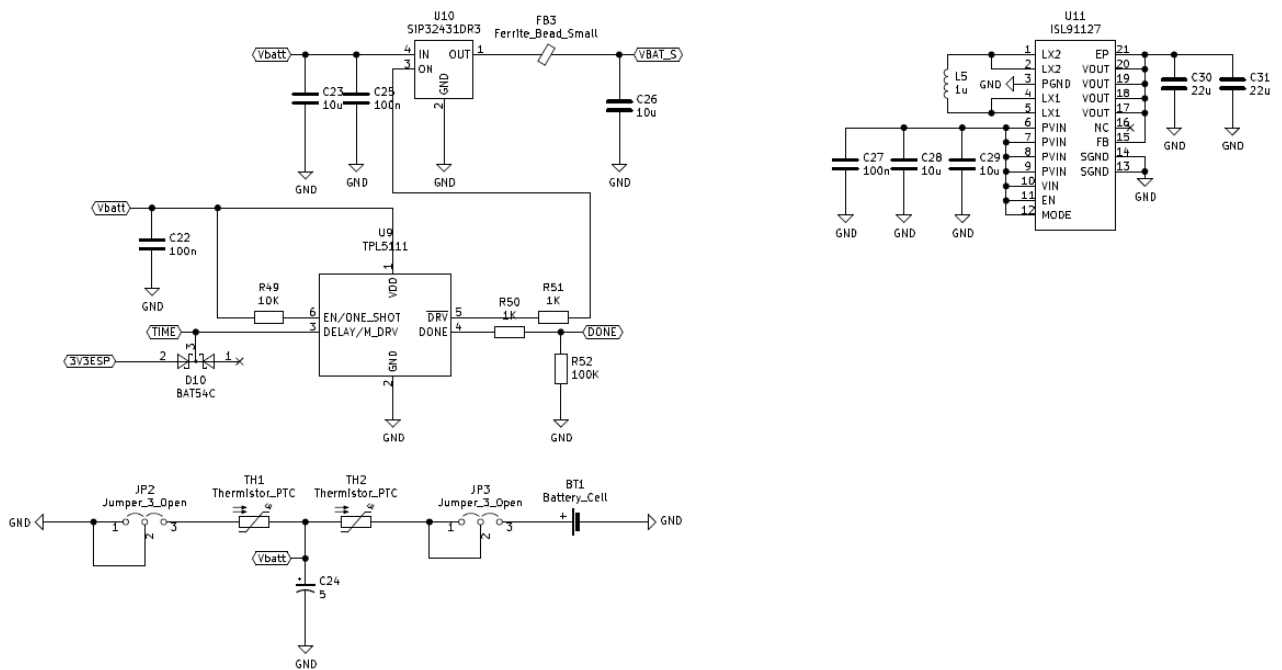


Figura 5 - circuito per la gestione della batteria (a destra) e timer (a sinistra)

Gestione batteria

Il tipo di batteria prevista per questo progetto è realizzata con cloruro tionile, precisamente la SAFT LSH20, in abbinamento con un super-condensatore da 5F, precaricato a 3,7V. In tale configurazione, in base ai calcoli previsti, nelle condizioni di lavoro di un invio mediamente ogni 20 minuti, il nodo sensore può avere un'autonomia da 2 a 5 anni. Di seguito vedremo la procedura per arrivare a tale stima.

Le prove di assorbimento effettuate con apposito logger su vari cicli ripetuti di trasmissioni con spread factor 7 (parametro che dipende dalla qualità di trasmissione) hanno consentito di ottenere il grafico seguente.

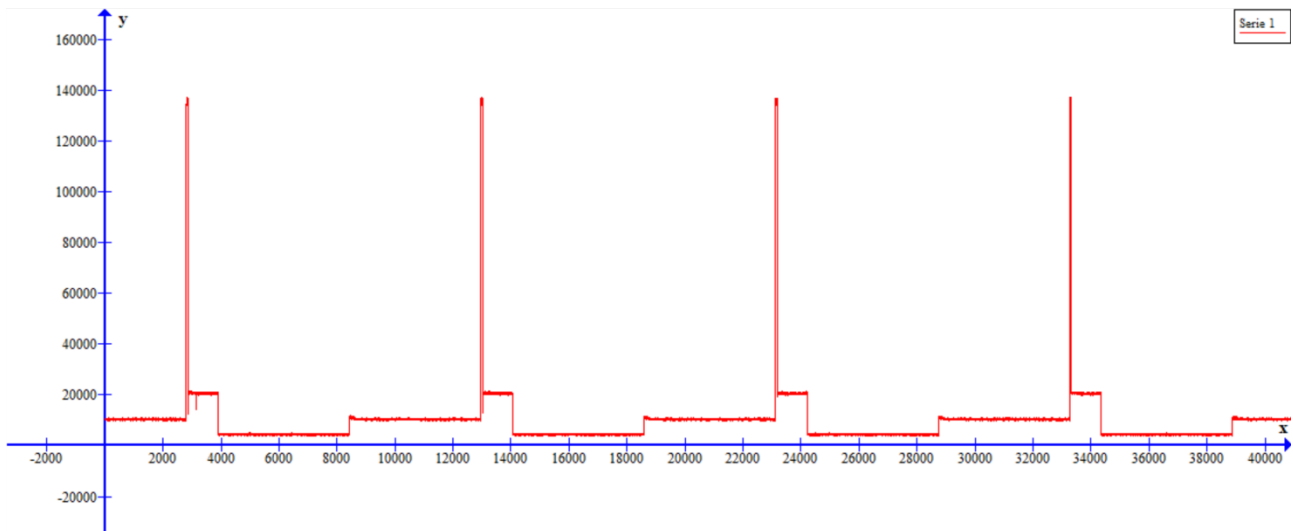


Figura 6 - Grafico dell'assorbimento (μA) rispetto al tempo (ms) su 4 cicli di trasmissione

Come da specifiche indicate nel datasheet del modulo radio trasmettitore, un ciclo di trasmissione assorbe circa 130mA per 100ms (a seconda del parametro spread factor, indicato in precedenza). La carica elettrica impiegata per elaborare un ciclo di trasmissione sarà pertanto l'integrale della corrente assorbita nel ciclo, ovvero l'area sottesa dal grafico indicato, in un periodo. Facendo uno zoom del grafico nella zona interessata da un ciclo è possibile ricavare un'area pari a circa $760\mu\text{C}$.

Il circuito progettato consente di avere una corrente di stand-by di 33nA (a differenza del circuito prototipale come si nota dal grafico). Supponendo di trasmettere ogni 20 minuti, si ha una quantità di carica in stand-by pari a $(20\text{min} \cdot 60 - 5,5\text{s}) \cdot 33\text{nA} = 39\mu\text{C}$.

In un'ora si avranno 3 cicli di trasmissione, quindi la carica utilizzata in un'ora sarà pari a:

$$C(1\text{h}) = 3 \cdot (760\mu\text{C} + 39\mu\text{C}) = 799\mu\text{C}.$$

Utilizzando una batteria con capacità pari a 20Ah , l'autonomia stimata sarà pari a $20\text{Ah} / 799\mu\text{C} = 25031$ ore, pari a 2,89 anni.

E' ragionevole, quindi, stimare una durata compresa tra 2 e 5 anni, a seconda della frequenza di invio che può variare da 2 a 6 all'ora.

Il super-condensatore posto in parallelo alla batteria, precaricato alla tensione nominale della batteria, serve per fornire la corrente necessaria alla trasmissione preservando la batteria, in quanto gli spike di assorbimento sono meglio tollerati dai condensatori piuttosto che dalle batterie. Si noti la presenza di PTC di protezione contro eventuali corto-circuiti, nelle veci di fusibili resettabili.

Temporizzatore e power switch

Il vantaggio del circuito progettato è quello di utilizzare un timer (TPL5111) con la caratteristica di alimentare tutto il circuito solamente per il periodo necessario all'acquisizione dei dati e alla trasmissione. Nel periodo di dormienza, il circuito assorbe 33nA.

Tramite una resistenza è possibile impostare il tempo di conteggio, allo scadere del quale viene alzato il pin di uscita, che a sua volta abilita un integrato power switch SIP3443 che svolge le veci di interruttore (statico), alimentando tutto il circuito. Al termine della trasmissione, la CPU invia un segnale (DONE) al contatore, riponendolo in dormienza e facendo partire un nuovo conteggio. Tale soluzione è parsa la migliore in termini di risparmio energetico, anche rispetto alla funzione deep sleep impostabile sulla CPU.

Buck-Boost converter

Questa sezione provvede a regolare l'alimentazione generale (3,3Vdc). E' stato impiegato un integrato switching ad alta efficienza (ISL91127), in grado di effettuare la regolazione in uscita sfruttando tutta la riserva della batteria, funzionando sia in Step-up, sia in Step-Down. La lettura della tensione della batteria è effettuata tramite un partitore resistivo.

RETE DI TIMING

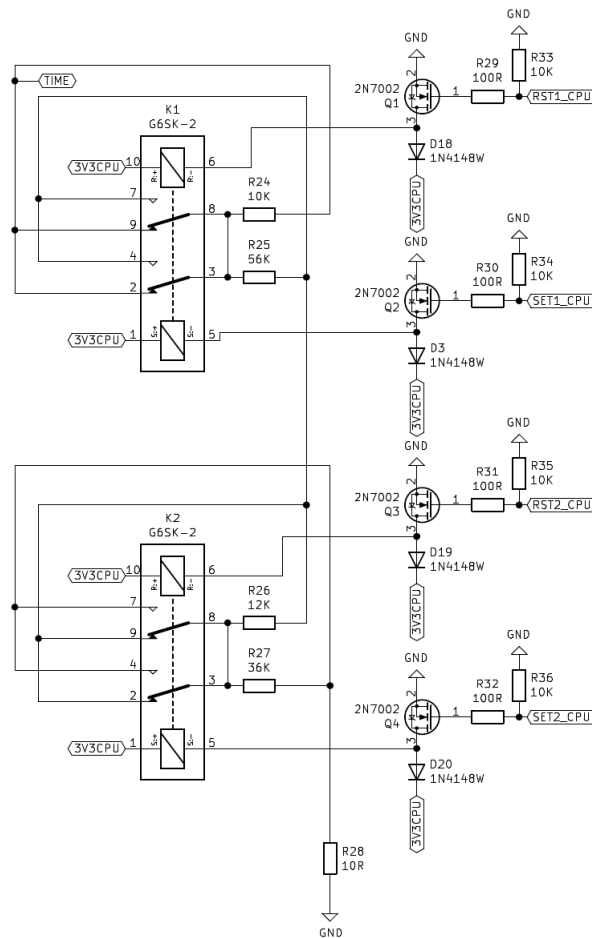


Figura 7 - Rete di timing

La rete di temporizzazione citata in precedenza, che assolve alla funzione di scadenzare la sequenza degli invii, è costituita da n. 5 resistenze opportunamente collegate ai contatti di 2 relè bistabili, i quali svolgono la funzione di “peso” algebrico. In base alle 4 configurazioni dei relè, sarà possibile impostare in tempo di intervallo di invio pari a 5, 15, 30, 60 minuti. I relè scelti, per motivi di risparmio energetico, sono di tipo bistabile. La soluzione con questo tipo di relè è stata impiegata a fronte dell’esigenza di non poter alimentare le bobine dei relè per un tempo indefinito, poiché richiederebbero un assorbimento incompatibile rispetto all’autonomia prefissata. In questo caso, basta un impulso di circa 10 ms sulla bobina di set per eccitare il relè, ed un altro (sulla bobina di reset) per diseccitarlo.

MODULO TRASMETTITORE

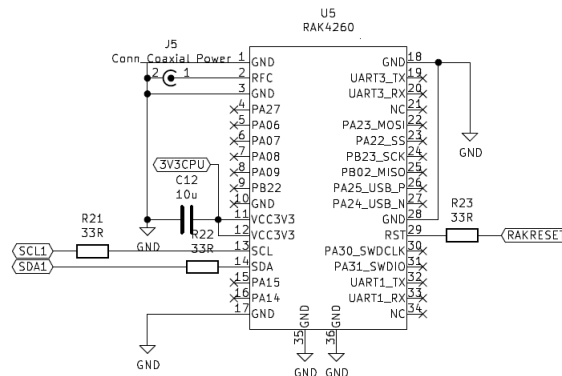


Figura 8 - Modulo trasmettitore

Il modulo trasmettitore scelto è il RAK 4260, basato su ATSAMR34J18B di Microchip. È un dispositivo SiP che integra un MCU ARM Cortex M0 + a 32 bit con un ricetrasmittitore LoRa in un contenitore compatto da 15 mm x 15 mm. Il chip SAMR fornisce una serie di periferiche altamente configurabili (configurabili come interfacce I2C / SPI / UART). Ci sono ADC a 12 bit in aggiunta a quanto sopra. Il RAK4260 può essere implementato in un'ampia varietà di scenari IoT che richiedono la connettività a lungo raggio e la grande durata della batteria fornita da LoRaWAN. Le caratteristiche principali sono le seguenti:

Il trasmettitore LoRa a più bassa potenza del settore

MCU ARM Cortex M0 + a 32 bit e ricetrasmittitore LoRa

Fattore di forma ridotto: pacchetto compatto da 15 mm x 15 mm

La Flash da 256 KB e la RAM da 40 KB per il codice dell'applicazione e lo stack

Copertura di frequenza da 862 a 1020 MHz completamente supportata

Sensibilità fino a -148 dBm

Potenza di trasmissione massima fino a 20 dBm

Bassa corrente RX di 17mA (tipica)

Tecnologia LoRa, (G) FSK, (G) MSK

CPU – MICROPROCESSORE

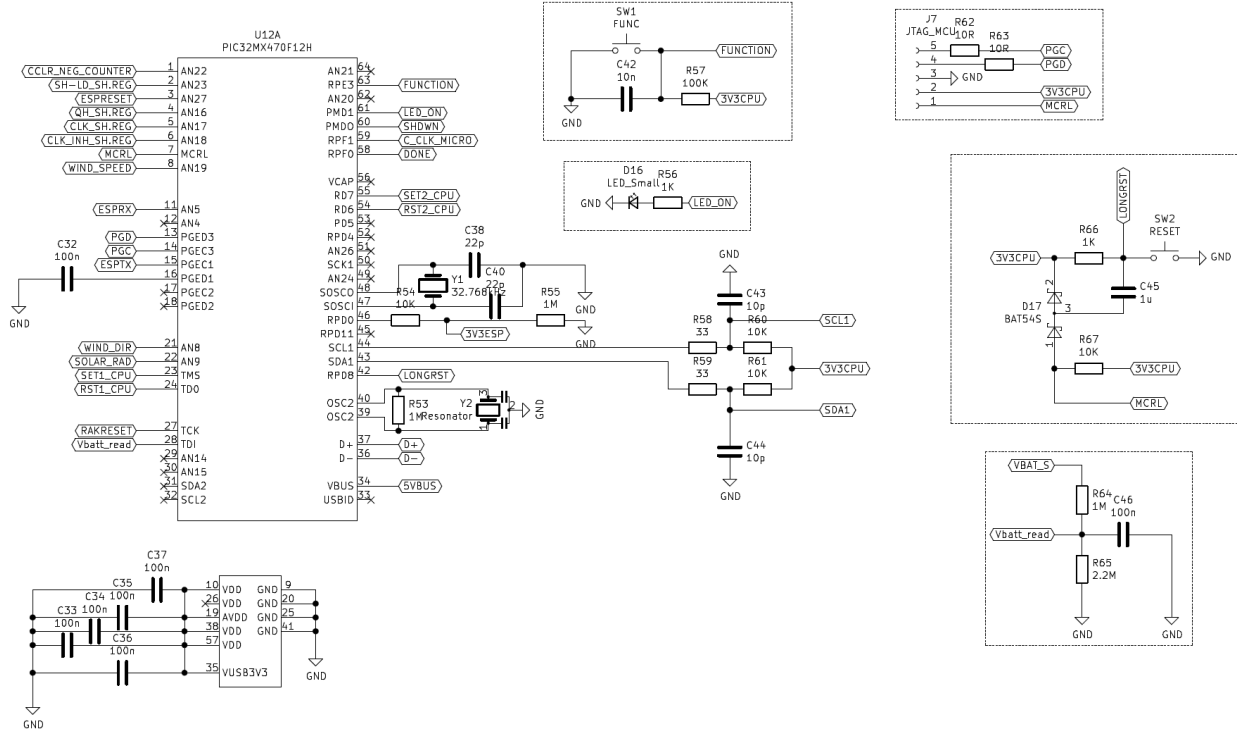


Figura 9 – Sezione CPU

La CPU scelta è il noto integrato PIC32MX470F512H-120L che, grazie alle proprie caratteristiche I/O ed alla quantità di pin disponibili, si rende adatto all'applicazione. È stato previsto un connettore JTAG di programmazione ed una sezione di reset. In questa sezione troviamo un tasto funzione, un LED di stato, il condizionamento della linea I2C Bus ed un partitore resistivo per la lettura del valore della batteria.

TRASMETTITORE WIFI

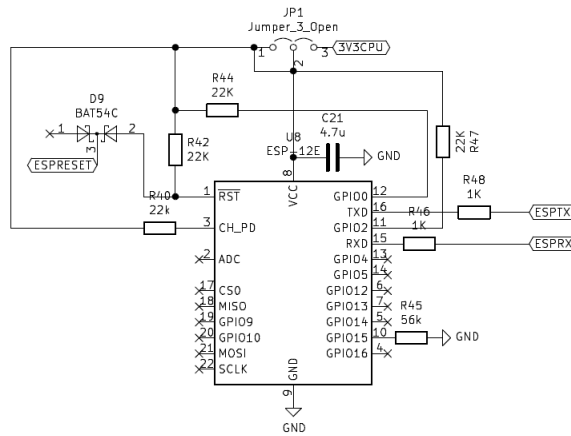


Figura 10 – Sezione WiFi

Il modulo utilizzato per la gestione del protocollo WiFi è il classico ESP12F, il quale monta l'integrato ESP8266. Nell'ottica del risparmio energetico, è stato previsto uno switch che svolge la funzione di alimentare il modulo solamente quando ve ne sia la necessità. Il modulo comunica con la CPU attraverso il protocollo seriale.

SENSORE DI VIBRAZIONI, MEMORIA E USB

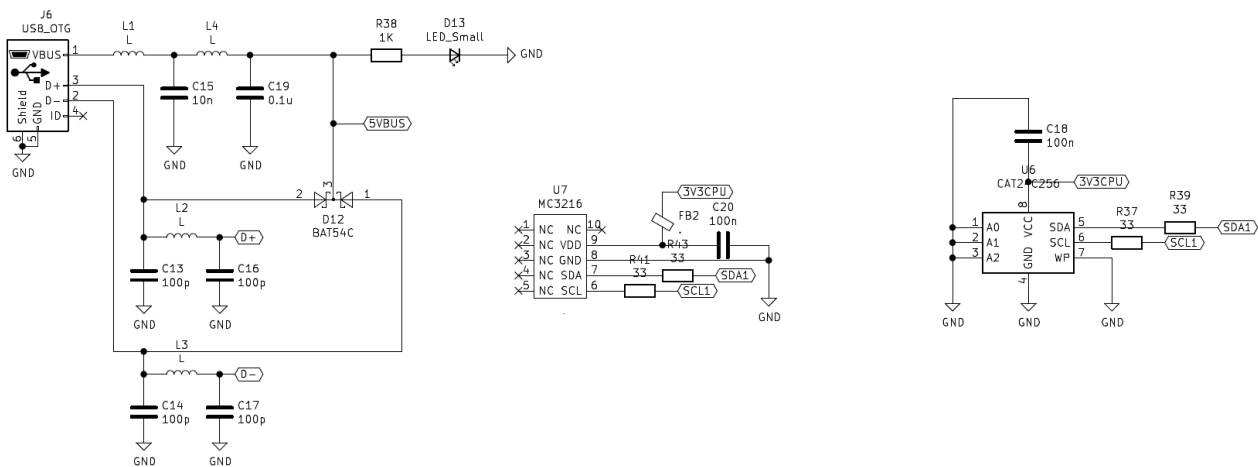


Figura 11 – Sensore di vibrazioni, memoria ed USB

È stato previsto un sensore di vibrazioni, implementato tramite un accelerometro triassiale, l'MC3216, il quale colloquia con la CPU tramite protocollo I2C. Questo sensore si rileva particolarmente utile per rilevare vibrazioni anomale, cadute o posizionamento scorretto da parte della stazione meteo o del circuito. E' stata prevista una memoria Flash EPROM per il salvataggio dei dati raccolti. Nel momento di eseguire l'invio, tali dati vengono letti dalla CPU, convertiti nel formato per il protocollo LORA (Payload), e quindi spediti. La porta USB è costituita da un connettore micro-usb che si collega direttamente alla CPU, dopo aver opportunamente filtrato l'alimentazione tramite perline di ferrite (induttanze di blocco) e condensatori verso massa, al fine di sottostare alle direttive per la compatibilità elettromagnetica (EMI). I valori e la disposizione di tali componenti di filtraggio sono indicati nell'applicazione note del microprocessore scelto.

CONNETTORI E CONTATORE

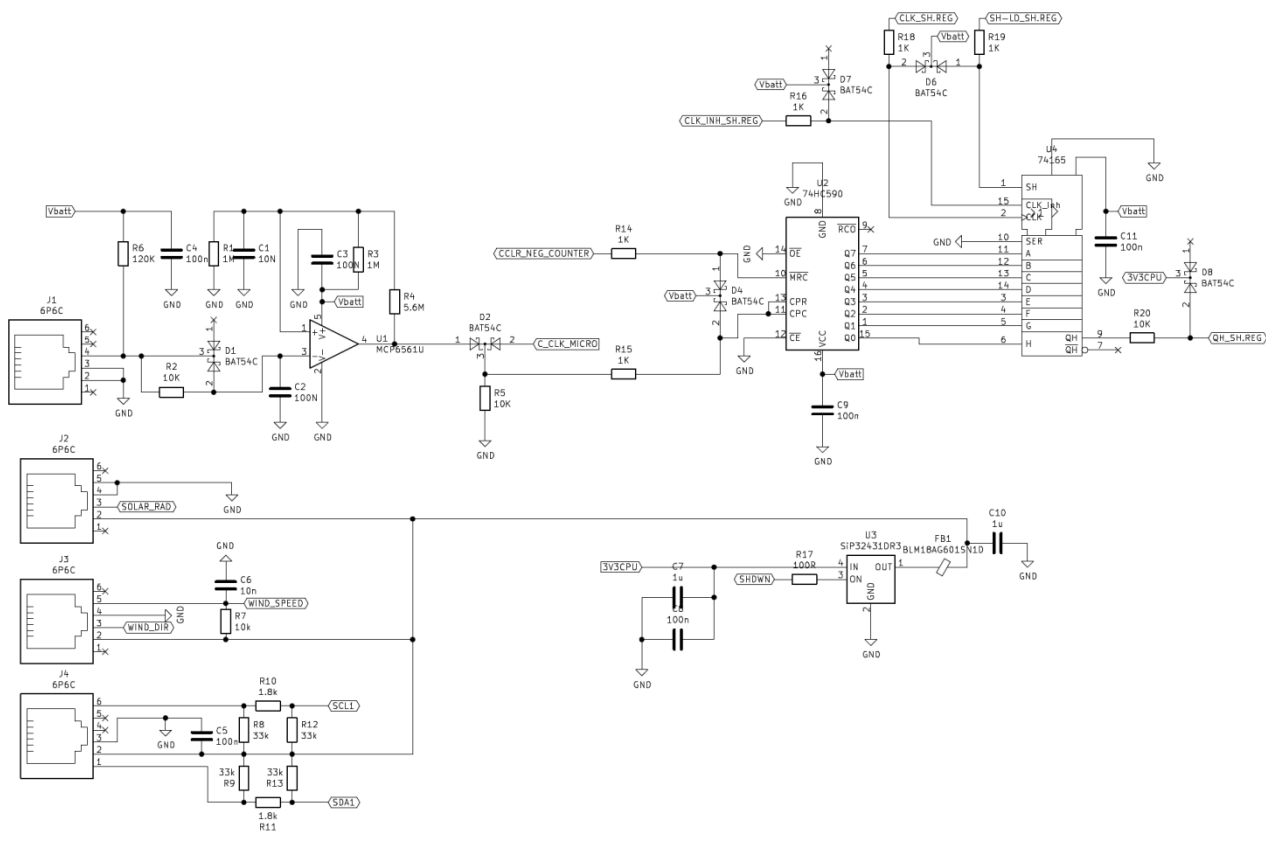


Figura 12 – connettori e contatore

Per consentire il collegamento tra il circuito realizzato ed i sensori posizionati a bordo della centralina meteo, è stato opportuno inserire dei connettori compatibili con la tipologia di terminazione dei cavetti di cui è dotata la stazione meteo, nella fattispecie i connettori RJ-11. Più precisamente, un connettore per il

senso della pioggia, un connettore per la radiazione solare, uno per la velocità e direzione del vento ed uno per il sensore di l'umidità e temperatura.

Il sensore di umidità e temperatura lavora col protocollo I2C, pertanto non necessita di circuiteria particolare prima di giungere al microprocessore. Il sensore della velocità del vento fornisce un treno di impulsi di frequenza proporzionale alla velocità del vento, quindi anche in questo caso è sufficiente una resistenza di pull-up, mentre per la direzione si ha la lettura analogica di un segnale proveniente da un potenziometro con rotazione a 360°. Anche il sensore di radiazione solare è un segnale analogico proporzionale alla pressione di radiazione. Nell'ottica del risparmio energetico, i sensori appena descritti verranno alimentati, tramite uno switch a stato solido (SIP32431), solamente nel momento in cui la CPU dovrà acquisire i dati.

Nel caso del pluviometro, invece, non è possibile alimentare il pluviometro solo quando si desidera effettuare la misura, in quanto è ovvio che si perderebbero tutti i conteggi precedenti al momento della misura. Per questo motivo si è pensato di realizzare un contatore a basso assorbimento (circa 1uA), sempre alimentato, il cui segnale di clock è costituito dall'impulso del sensore reed. Ad ogni colpo di clock, il contatore avanza il conteggio di una unità. Nel momento della lettura, il microprocessore provvede a prelevare il conteggio, inviandolo ad un registro a scorrimento, il quale a sua volta invierà tale dato alla CPU per via seriale (risparmiando così il numero di bit necessari alla lettura).

PROTOTIPO

Terminata la fase di documentazione e progettazione, è avvenuta la stesura dello schema elettrico tramite il plug-in ESCHEMA del software open-source KICAD. Dopo aver disegnato lo schema elettrico si è passati all'assegnazione delle impronte di ogni singolo componente, ovvero l'assegnazione del layout fisico. Per alcuni componenti è stato necessario disegnare tali impronte (footprint), in quanto non esistenti in libreria. Terminata la fase di assegnazione delle impronte è stato elaborato il part list tramite foglio elettronico. Il partlist, detto anche file BOOM, contiene l'elenco di tutti i componenti presenti nel circuito, ordinati in colonna per riferimento, dove in colonne adiacenti viene indicato il tipo di componente, il valore, il nome dell'impronta ed il codice del fornitore di componenti elettronici. Un estratto del file BOOM è riportato di seguito:

Riferimento	Contenitore	Quantità	Valore	Tipo di componente	codice Casteltech	MOUSER	price_m	tot_pm
B11	CUSTOM	1	LSM20	BATTERY		LNK	16,55	16,55
		1	BX0037	HOLDER		122-BX0037	4,55	4,55
B21	CUSTOM	1	PKMCS0909E4000-R1	BUZZER		81-PKMCS0909E4000-R1	0,97	0,97
C1,C2,C3,C5,C6,C7,C9,C13,C15,C21,C23,C25,C28,C30,C31,C33,C35,C37,C39,C41,C42,C43,C48,C49,C50,C51,C53,C54,C58,C61,C63,C64,C65,C66,C67,C76	C_0603	35	100NF 25V	MULTISTRATO		710-885012206071	0,04	1,4
C4,C8,C15,C16,C17,C22,C29,C32,C40,C46,C59	C_0805_2012Metric	11	10uF	MULTISTRATO		963-LMK212AB106KGHT	0,261	2,871
C10,C45,C47	C_0603_1608Metric	3	10nF	MULTISTRATO		710-885012206065	0,04	0,12
C11,C12,C14,C34	C_0603_1608Metric	4	100pF	MULTISTRATO		710-885012206003	0,04	0,16
C19	SUPERCAP	1	5F	ELETTROLITICO		598-DGH105Q5R5	2,07	2,07
C18,20	C_0805_2012Metric	2	22uF	SMD_CONDENSATORE ELETTROLITICO		963-LMK212B80J26MD-T	0,22	0,44
C24	C_0603_1608Metric	1	1uF	MULTISTRATO		710-885012206083	0,04	0,04
C26,C27	CP_Elec_6.3x5.4	2	47UF 25V	SMD_CONDENSATORE ELETTROLITICO		710-86508043007	0,24	0,48
C36,C38,C68	C_0603_1608Metric	3	10uF	MULTISTRATO		581-06032D10GKAT2A	0,133	0,399
C44	CP_Elec_6.3x5.4	1	220uF	SMD_CONDENSATORE ELETTROLITICO		710-865080143009	0,24	0,24
C52	C_0805_2012Metric	1	1uF	MULTISTRATO		80-C0805C105K4R7800	0,09	0,09
C60,C62,C69,C72	C_0603_1608Metric	4	10uF	MULTISTRATO		710-885012206073	0,09	0,36
C70,C71	C_0603_1608Metric	2	22pF	MULTISTRATO		710-885012006019	0,07	0,14
C73	C_0603_1608Metric	1	1uF	MULTISTRATO		603-CC603KRVS88B8105	0,09	0,09
C74,C75	C_0805_2012Metric	2	4.7uF	MULTISTRATO		791-0805X475M250CT	0,108	0,216
D1,D5-7,D20-28,D30,31,32,34,35,D37-42	D_SOD-123	24	BAT54_LTB	DIODE		863-BAT54TIG	0,173	4,152
D3	SMA	1	B360A-F	DIODE		621-B360A-F	0,129	0,129
D2,D19,D33	D_SOT-23_NKA1	3	BAT54C	DIODE		583-BAT54C	0,108	0,324
D4,D8	D_SOT-23_ANK	2	BZX84C3V3	ZENER		583-BZX84C3V3-T1	0,097	0,194
D9	D_SMA	1	SML4742A-E3/5A	ZENER		78-SML4742A-E3/5A	0,36	0,36
D10	D_PowerDi-123	1	DFLS220L	DIODE		621-DFLS220L-7	0,612	0,612
D11,D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D19	D_SOD-123	9	1N4148W	DIODE		833-1N4148W-TP	0,126	1,134
D36	D_SOT-23_NKA1	1	BAT54S	DIODE		863-BAT54S1TIG	0,126	0,126
F81,F82,F83,F86,F87,F88,F89,F90,F91,F92	F_0603_1608Metric	10	BLM18AG601SN1D	FERRITE BEAD		81-BLM18AG601S	0,056	0,56
J1	CP_Radial_DS.0mm_P2.50mm	1	VIBRO	TILT SENSOR		LNK	0,59	0,59
J2,J9,J10,J16	Socket_Strip_1x02_Pitch1,27mm	4	PRESENCE/REED NO/RAIN/LUX/WHITELED	PIN HEADER		855-M50-3530242	0,067	0,268
J3,J4,J12,J17,J19	Socket_Strip_1x04_Pitch1,27mm	5	SERIAL - I2C/SONAR_SR/VGA	PIN HEADER		855-M50-3530442	0,144	0,72

Figura 13 - Stralcio del part list.

E' stato infine elaborato il layout su PCB, dove si sono disposti i componenti e successivamente si sono collegati tra di loro tramite le piste di rame, disposte su 6 strati. Anche questa fase è stata realizzata tramite l'utilizzo dell'apposito plug-in PCBNEW incluso nel pacchetto del software KICAD.

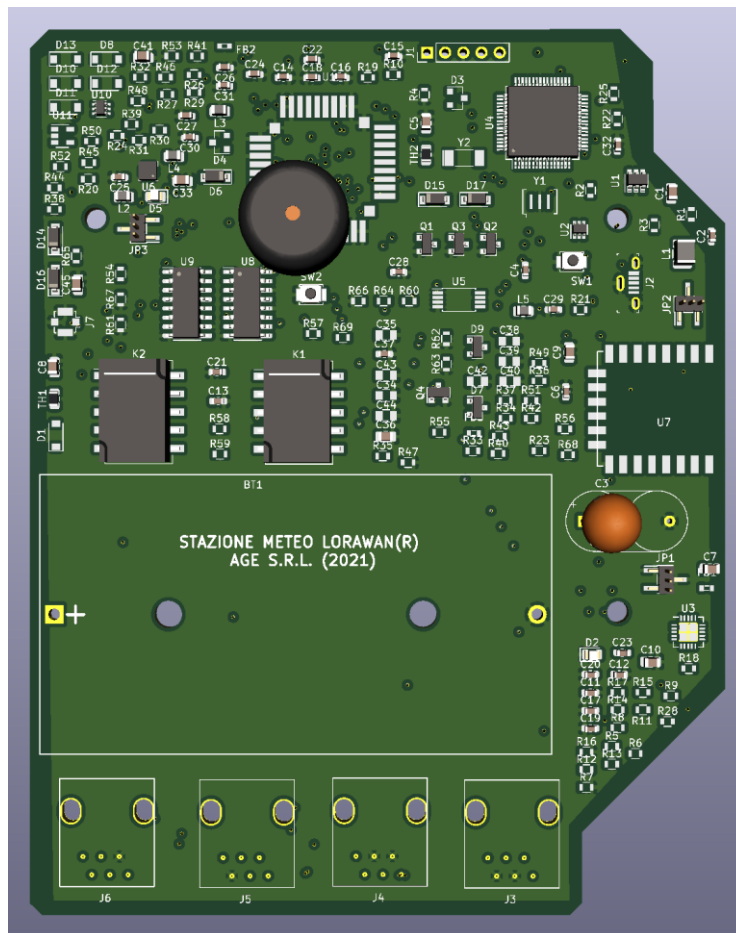


Figura 14 – Render della scheda PCB

Successivamente, i file gerber sono stati inviati digitalmente al produttore di PCB e contestualmente è stato effettuato l'ordine dei componenti sul sito del fornitore, che ha prodotto la seguente PCB, a fronte di successive revisioni volte ad ottimizzare il comportamento del circuito:

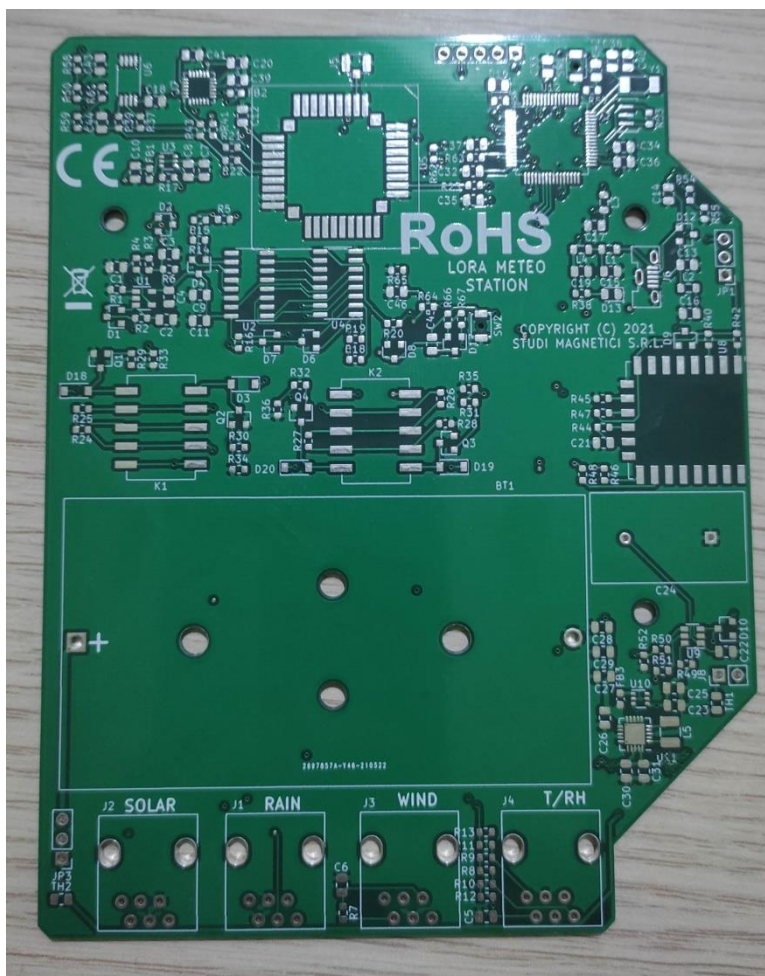


Figura 15 – PCB della stazione meteo

Successivamente, la scheda elettronica è stata collaudata dal punto di vista elettrico e poi consegnata al reparto programmazione per la realizzazione del firmware di gestione ed al collaudo funzionale.

RISULTATI OTTENUTI

Il lavoro relativo alla competenza di questo progetto ha riguardato la progettazione Hardware e Firmware e la realizzazione del prototipo. Dal punto di vista funzionale, i test eseguiti sono stati i seguenti:

- Verifica del funzionamento del timer;

- Verifica della presenza della tensione di alimentazione 3,3V;
- Verifica del funzionamento degli interruttori statici;
- Verifica del funzionamento del contatore per il pluviometro;
- Verifica degli assorbimenti.
- Verifica misurazione dei parametri e trasmissione

Ogni sezione è stata verificata con esito positivo, pertanto si considera l'attività proposta conclusa positivamente.