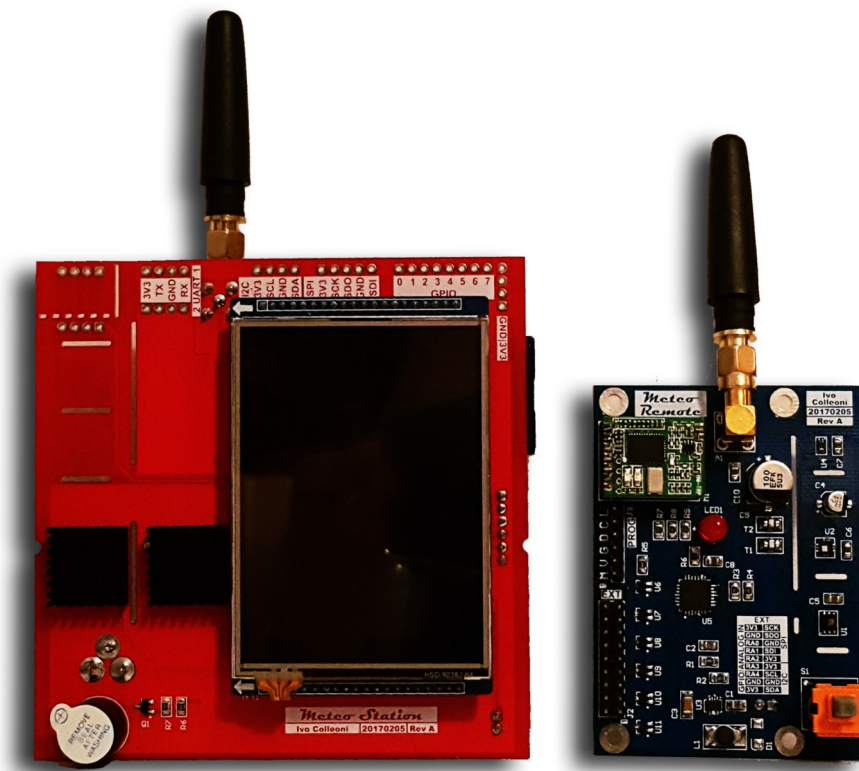


LaurTec

Stazione Meteo



Autore : *Ivo Colleoni*

ID: UP0014-IT

INFORMATIVA

Come prescritto dall'art. 1, comma 1, della legge 21 maggio 2004 n.128, l'autore avvisa di aver assolto, per la seguente opera dell'ingegno, a tutti gli obblighi della legge 22 Aprile del 1941 n. 633, sulla tutela del diritto d'autore.

Tutti i diritti di questa opera sono riservati. Ogni riproduzione ed ogni altra forma di diffusione al pubblico dell'opera, o parte di essa, senza un'autorizzazione scritta dell'autore, rappresenta una violazione della legge che tutela il diritto d'autore, in particolare non ne è consentito un utilizzo per trarne profitto.

La mancata osservanza della legge 22 Aprile del 1941 n. 633 è perseguibile con la reclusione o sanzione pecuniaria, come descritto al Titolo III, Capo III, Sezione II.

A norma dell'art. 70 è comunque consentito, per scopi di critica o discussione, il riassunto e la citazione, accompagnati dalla menzione del titolo dell'opera e dal nome dell'autore.

AVVERTENZE

I progetti presentati non hanno la marcatura CE, quindi non possono essere utilizzati per scopi commerciali nella Comunità Economica Europea.

Chiunque decida di far uso delle nozioni riportate nella seguente opera o decida di realizzare i circuiti proposti, è tenuto pertanto a prestare la massima attenzione in osservanza alle normative in vigore sulla sicurezza.

L'autore declina ogni responsabilità per eventuali danni causati a persone, animali o cose derivante dall'utilizzo diretto o indiretto del materiale, dei dispositivi o del software presentati nella seguente opera.

Si fa inoltre presente che quanto riportato viene fornito così com'è, a solo scopo didattico e formativo, senza garanzia alcuna della sua correttezza.

L'autore ringrazia anticipatamente per la segnalazione di ogni errore.

Tutti i marchi citati in quest'opera sono dei rispettivi proprietari.

Indice

Introduzione	5
Specifiche Tecniche	6
Stazione base.....	6
Modulo Remoto.....	7
Applicazioni	7
Analisi del progetto	7
Il segnale DCF77.....	8
Decodifica dei dati meteo.....	11
Il Display TFT.....	14
Il Touch Screen XPT2046.....	17
Il modulo HM-TRP.....	18
Il modulo ESP8266.....	19
I Sensori.....	21
HDC1080.....	21
LPS25HB.....	23
VEML6075.....	24
Il Real Time Clock Calendar - RTCC.....	26
Scheda SD e Libreria FatFs.....	28
Analisi dell'Hardware	29
Stazione Base.....	29
Sezione di alimentazione.....	29
Sezione sensori e I2C.....	30
Sezione DCF77 e Meteo.....	30
Sezione moduli di trasmissione.....	31
Sezione MCU e I/O.....	32
Sezione espansioni.....	34
Modulo remoto.....	35
Sezione alimentazione.....	35
Sezione moduli di trasmissione.....	35
Sezione MCU e I/O.....	36
Sezione espansioni.....	37
Realizzazione del Circuito	38
Lista Componenti	41
Stazione.....	41
Modulo Remoto.....	42
Collaudo e messa in funzione	42
Utilizzo del sistema	43
Avvio e Pagina principale.....	43
Impostazioni.....	46
Impostazione data e ora manuale.....	47
Impostazione fuso orario UTC.....	47
Impostazione regione meteo.....	48
Impostazioni sensori.....	48
Impostazioni WiFi.....	48
Impostazioni luminosità.....	49
Calibrazione Touch screen.....	49
Test Hardware.....	50
Loop Sensori.....	50
Test DCF77.....	50
LOG Sensori.....	51

Statistiche.....	52
Connessione Wi-Fi.....	52
Il Protocollo di comunicazione RF.....	55
Il programma per la connessione remota.....	57
Il Firmware.....	59
Stazione.....	59
Modulo remoto.....	60
Analisi dei costi.....	62
Prossimi aggiornamenti.....	63
Analisi finale.....	63
Allegati.....	63
Bibliografia.....	66
History.....	67

Introduzione

Il progetto, presenta una piccola stazione meteo con modulo remoto a trasmissione RF. La stazione e il modulo remoto sono dotati di rilevazione di temperatura, pressione assoluta, umidità e intensità di raggi UVA e UVB. Entrambi i moduli sono espandibili e ampiamente personalizzabili apportando le dovute modifiche al firmware. La stazione è dotata inoltre di un display TFT touch screen, sincronizzazione ora e meteo tramite segnale DCF77 e da una EEPROM da 1024Kb per il salvataggio dei valori rilevati.

In allegato al progetto sono fornite tutte le librerie per l'hardware utilizzato e relativa documentazione. Le librerie sono tutte scritte e testate da me, ogni consiglio/test/bug trovato sono ben accetti! Le uniche eccezioni sono la libreria Delay di Mauro Laurenti, e la libreria FatFs di ChaN per la gestione di supporti formattati in FAT [2] veramente ben fatta ed adattabile a qualsiasi dispositivo.

La vasta gamma di hardware integrato e l'alta espandibilità permettono di sfruttare il progetto anche come board di sviluppo per PIC18F67K22 e display TFT.

Il sistema completo, a montaggio ultimato, si presenta come in Figura 1.

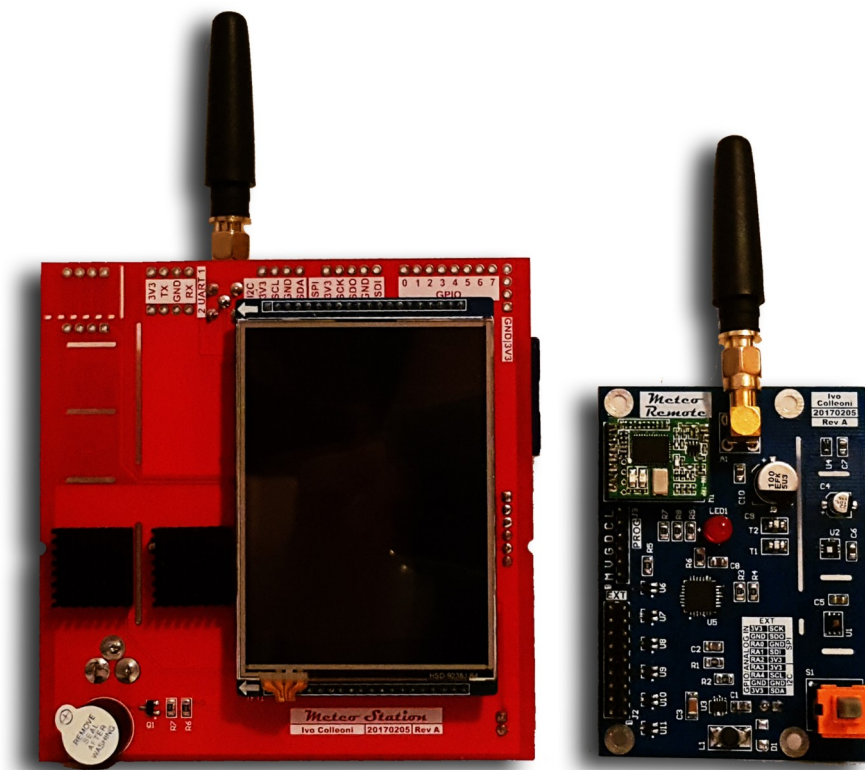


Figura 1: Sistema a montaggio ultimato.

Specifiche Tecniche

Le specifiche tecniche dei moduli sono rispettivamente:

Stazione base

CPU: PIC18F67K22 @64MHz

Time: RTCC PIC18F67K22 + predisposizione PCF8563 (clock out + allarme)

Time & Meteo: Ora e meteo radio controllati via segnale DCF77

Sensori:

- Temperatura e umidità: HDC1080 (-20°C~+80°C +-0.2°C, RH 0-100% +-1%)
- Pressione: LPS25HB (260~1260hPa +- 0.1hPa)
- UVA/UVB: VLEM6075

EEPROM: 1024 Kbit 24LC1025 per log dei sensori (4h ~ 60 giorni)

Protocollo RF:

- FSK RF 433MHz comunicazione con modulo remoto
- WiFi, ESP8266 per dati real time ed esportazione LOG

SD card: Storage immagini Display e LOG sensori e debug.

Display:

2.8" TFT 320x240px touch screen con visualizzazione:

- Data/ora
- Temperatura attuale, min, max (stazione + remoto)
- Umidità attuale, min, max (stazione + remoto)
- Pressione attuale, min, max (stazione + remoto)
- UVA UVB UVI attuale, min, max (stazione + remoto)
- Fasi lunari
- Meteo 3 giorni con previsioni meteo, temperature massime e minime, probabilità pioggia, direzione e forza vento e allarmi condizioni estreme
- Grafico log sensori

Espansioni:

- Bus I2C
- Bus SPI
- 2x UART (debug o altri moduli invio e ricezione)
- 8 GPIO (3 digitali, 5 digitali + analogici)
-

Alimentazione: 4VDC min. - 15VDC max. (consigliati 6V)

Assorbimento: 250mA max.

Modulo Remoto

CPU: PIC18F26K22 @1Mhz (@32KHz in sleep)

Sensori:

- Temperatura e umidità: HDC1080 (-20°C~+80°C +-0.2°C, RH 0-100% +-1%)
- Pressione: LPS25HB (260~1260hPa +- 0.1hPa)
- UVA/UVB: VLEM6075

Protocollo RF:

- FSK RF 433MHz

Espansioni:

- Bus I2C
- Bus SPI
- 5 GPIO (1 digitali, 4 digitali + analogici)

Alimentazione:1.2VDC min. - 6VDC max. (consigliati 3.0 V),

Assorbimento: 30mA in fase di trasmissione, <1mA in sleep (non misurabile).



Nota

Il circuito non è provvisto di protezioni, non andare oltre i 6V

Applicazioni

L'applicazione principale di questa stazione meteo è la visualizzazione e la raccolta dati dei principali fattori ambientali, sia interni alla casa che esterni.

La possibilità di visualizzazione da remoto via Wi-Fi e l'espandibilità, consentono un facile inserimento di altri sensori e la gestione di altri apparati come caldaie, motori per tende automatiche, ecc.

Snaturando completamente il progetto se ne possono utilizzare solo alcune parti per avere una cornice digitale con rappresentazione immagini su display oppure utilizzarlo solamente come scheda di sviluppo.

Analisi del progetto

Vista la complessità del sistema è bene dividere la sua analisi per parti e vedere separatamente i dettagli dei vari sensori, standard e funzioni utilizzate. Nei prossimi paragrafi verranno introdotti vari argomenti necessari per la comprensione del progetto nel suo insieme.

Il segnale DCF77

Il segnale DCF77 è un segnale basato su modulazione AM (Amplitude Modulation) con portante a 77.5Khz trasmesso da Francoforte. La trasmissione avviene a 1 bit per secondo e un dato completo viene trasmesso nell'arco di 1 minuto. Il dato ricevuto contiene le informazioni relative a:

- Data e ora corrente (del minuto successivo a quello in corso).
- Leap second.
- Avviso di cambio orario CET CEST imminente.
- Orario attivo (CET o CEST).
- Avviso di trasmissione anomala.
- Dati meteo (con considerazioni particolari trattate nel relativo paragrafo).

Il segnale ricevuto viene demodolato tramite apposito circuito che restituisce in uscita un'onda quadra con periodo pari ad 1 secondo. La durata dell'impulso (che può essere attivo alto o attivo basso a seconda del modulo utilizzato), come raffigurato in Figura 2.

In particolare il valore 1 e 0 sono identificati dall'ampiezza degli impulsi.

- Impulso 100ms: identifica uno 0 logico.
- Impulso 200ms: identifica un 1 logico.

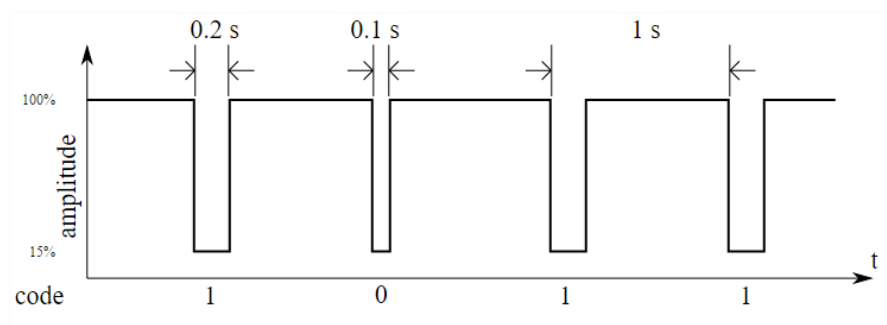


Figura 2: Segnale DCF77 demodolato.

Nell'arco di 58 secondi vengono ricevuti 58 bit come da Tabella 1. Durante il secondo 59 non viene trasmesso nessun impulso e identifica il "Minute Mark" ovvero l'avvio di una nuova stringa di dati, mentre il bit 0 sarà sempre 0 logico.

I dati sono inviati in formato BCD, 4 bit per le unità e 4 bit (o 3) per le decine. Per la ricezione e la demodulazione del segnale è stato utilizzato un modulo HKW EM6 DCF professionale che si è rivelato molto più preciso e affidabile dei classici moduli meno costosi reperibili in rete.

0	Inizio minuto, sempre 0	20	Inizio invio dati ora, sempre 1	40	Giorno (continua)
1	Dati Meteo	21	Minuti	41	
2		22		Giorno della settimana: 1=Lunedì, 7=Domenica	
3		23			
4		24			
5		25	Mese		
6		26			
7		27			
8		28		Bit parità dei minuti (bit 21-28)	
9		29	Ore	Anno da 00 a 99	
10		30			
11		31			
12		32			
13		33	Bit parità ore (bit 29-35)		
14		34			
15	35				
16	Avviso cambio CEST - CET time imminente a 1 un'ora prima del cambio orario	36	Giorno	56	
17	1 = Orario CEST in uso	37		57	
18	1 = Orario CET in uso	38		58	Bit parità data (bit 36-58)
19	Annuncio leap second	39		59	Minute Mark, nessun segnale

Tabella 1: Tabella di decodifica dei bit DCF.

Tale modulo è di semplice utilizzo e in Figura 3 sono indicate le connessioni necessarie

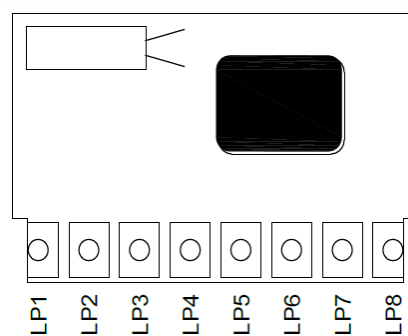


Figura 3: Modulo HKW EM6 DCF.

Legenda

- LP1: GND
- LP2: 3.3V
- LP3: Antenna 1
- LP4: Antenna 2
- LP5: Power ON (modulo attivo se connesso a GND)
- LP6: DCF Out idle alto, impulso a 0*
- LP7: DCF Out idle basso, impulso a 1*
- LP8: Non Connesso (NC)

**Nota**

Di default è attiva l'uscita LP6 con impulso a 0, per abilitare LP7 vanno modificate delle resistenze sul modulo in accordo con il data sheet.

La libreria sviluppata per la decodifica del dato può funzionare, oltre che con segnale attivo alto o attivo basso, in 2 modalità:

1. Modalità funzioni, il programma resta quindi bloccato nella funzione finché non viene ricevuto un dato (1~3 minuti).
2. Tramite interrupt in ingresso (RB0 per esempio) e tramite interrupt con timer dedicato. In questo caso il timer serve a verificare che l'interrupt in ingresso arrivi in una finestra di tempo valida e scarta eventuali impulsi anomali in anticipo o in ritardo rispetto al secondo. In questo modo il programma principale può proseguire senza problemi anche durante la ricezione dei dati DCF77.

A ricezione completa viene settata la variabile:

```
dcf77_data_ready.
```

In questo progetto si utilizza la ricezione tramite interrupt.

In entrambi i casi i dati ricevuti sono salvati nel buffer di ricezione

```
_dcf77_buffer[60]
```

e devono essere decodificati tramite la funzione:

```
DCF77_decode_data()
```

La funzione restituisce in una struct di variabili i dati decodificati.

Il ricevitore si è rilevato particolarmente sensibile ai disturbi elettromagnetici di TV, telefoni e display. Per questo non è stato possibile installare l'antenna sul PCB nella posizione scelta durante la progettazione ma va posizionata ad una distanza di circa 15cm dal circuito.

Per migliorare ulteriormente il segnale DCF77 il modulo HKW EM6 DCF è stato sostituito con un'antenna attiva HKW SF DCFn. Tale antenna si collega al circuito sui pin LP1, LP2 e LP6 che sono rispettivamente GND, 3,3V e segnale demodulato. L'antenna ha uscita open collector e per tale motivo è stata installata una resistenza di pull-up da 10K tra TP1 e VCC.

Decodifica dei dati meteo

Con il segnale DCF77 vengono trasmesse anche le previsioni meteo di 4 giorni per 60 regioni europee oppure di 2 giorni per altre 30 regioni. In questo progetto è possibile selezionare una qualsiasi delle 60 regioni con meteo a 4 giorni e visualizzare le informazioni meteo per il giorno corrente e per i 2 giorni successivi.

Le previsioni meteo trasmesse sono criptate e per decifrarle è necessario acquistare il chip di decodifica HKW581. Una volta decodificate le informazioni contengono: previsione tempo, temperatura, probabilità di pioggia, forza e direzione vento e avvisi di condizione meteo estreme.

I dati riguardanti le informazioni meteo sono trasmessi nei primi 14 secondi di ogni minuto e per avere un pacchetto di dati completo vanno raccolti i dati di 3 minuti consecutivi (partendo dal minuto 1 in poi). A ogni pacchetto di dati ricevuti in 3 minuti corrispondono le informazioni meteo di un determinato giorno e di una determinata zona. Ad esempio le informazioni meteo per Milano in regime di orario CET vengono trasmesse ai seguenti orari:

01:01-01:03: informazioni meteo correnti, temperature massime, probabilità pioggia
04:01-04:03: informazioni meteo correnti, temperature minime, forza e direzione vento.
07:01-07:03: informazioni meteo giorno 2, temperature massime, probabilità pioggia
10:01-10:03: informazioni meteo giorno 2, temperature minime, forza e direzione vento
13:01-13:03: informazioni meteo giorno 3, temperature massime, probabilità pioggia
16:01-16:03: informazioni meteo giorno 3, temperature minime, forza e direzione vento
19:01-19:03: informazioni meteo giorno 4, temperature massime, probabilità pioggia
22:01-22:03: giorno 4, forza e direzione vento (gli altri dati sono riservati al meteo per regione con previsione a 2 giorni).

Da notare che gli orari fanno riferimento al dato ricevuto che viene trasmesso durante il minuto precedente.

Durante i 3 minuti vengono raccolti quindi 42 bit relativi al meteo. A questi 42 bit vanno aggiunti i minuti (del secondo minuto relativo ai dati meteo, quindi per Milano sarà sempre 2), le ore, il giorno, il mese, il giorno settimana e l'anno per un totale di 82 bit. Questa stringa di bit va poi inviata al decoder in ordine di ricezione, per questo potrebbe essere necessario invertire l'ordine dei bit dei dati relativi all'ora e alla data.

La stringa di bit da mandare al decoder va formata in questo modo:

- 14 bit meteo minuto 1
- 14 bit meteo minuto 2
- 14 bit meteo minuto 3
- 8 bit minuto (del minuto 2)
- 8 bit ore
- 8 bit data giorno
- 5 bit mese
- 3 bit giorno della settimana
- 8 bit anno

Il chip decodificatore restituisce una stringa di 24 bit contenenti le informazioni meteo. Queste informazioni meteo sono tuttavia complesse da decodificare perché al variare di

alcuni bit altri cambiano completamente il loro significato. Purtroppo non esiste una documentazione ufficiale completa e dettagliata se non in tedesco, ma anche questa, in base a prove effettuate e ad alcune informazioni online, è risultata essere di difficile comprensione ed in alcuni punti addirittura errata.

Le informazioni di base sono comunque codificate come segue:

- **Bit 0-3:** informazioni meteo giorno.
- **Bit 4-7:** informazioni meteo notte.
- **Bit 8-11:** tempo estremo 24h (nelle trasmissioni con temperatura massima e con bit 15 a 0) direzione vento (nelle trasmissioni con temperatura minima).
- **Bit 12-14:** probabilità pioggia (nelle trasmissioni con temperatura massima) forza vento (nelle trasmissioni temperatura minima).
- **Bit 15:** Anomalia meteo cambia il significato dei bit 8-11.
- **Bit 16-21:** Temperatura (MAX o MIN a seconda delle trasmissioni).
- **Bit 22-23:** Status decoder.

In questo progetto vengono interpretate solamente le condizioni meteo estreme con extreme weather da 0 (nessuna anomalia) a 3 inserendo un flag di allerta sulla previsione. Non vengono interpretate le condizioni estreme maggiori di 4 e le anomalie meteo con bit 15 = 1 perché estremamente rare e non introdurrebbero particolari informazioni aggiuntive. Il chip decodificatore, HKW581, è facilmente reperibile in rete e acquistandolo si acquista anche la licenza alle informazioni meteo decodificate. Il chip è fornito in formato MSOP-8 e i PIN sono nominati come in figura 4.



Figura 4: Pinout HKW581.

Legenda

1. Vcc: 3.3, 5V
2. Data IN: bit in arrivo dall'MCU
3. Clock OUT: conferma dato ricevuto
4. Reset
5. Ready: statuo del chip
6. Data OUT: bit in uscita
7. Clock IN: clock generato dall'MCU
8. GND

La comunicazione tra MCU e HKW581 utilizza delle linee dedicate e il protocollo di comunicazione è il seguente:

1. MCU controlla la linea Ready, se è a 1 il chip non è pronto, se è a 0 il chip è pronto a ricevere dati (all'avvio e dopo ogni dato decodificato ci vogliono circa 40 secondi prima che il chip sia pronto)
2. MCU imposta il bit da inviare sulla linea Data IN
3. MCU imposta la linea Clock IN a 1
4. HKW851 imposta la linea Clock OUT a 1 ad indicare che ha letto il dato
5. MCU imposta la linea Clock IN a 0
6. HKW581 imposta la linea Clock OUT a 0
7. Si ripetono i passaggi sa 2 a 7 per tutti gli 82 bit da inviare

Quando tutti i bit sono inviati

1. HKW581 imposta la linea Clock Out a 1
2. MCU legge il bit sulla linea Data Out
3. MCU imposta la linea Clock In a 1
4. HKW581 imposta la linea Clock Out a 0
5. MCU imposta la linea Clock In a 0
6. Si ripetono i passaggi da 1 a 5 per tutti i 24 bit

Un piccolo esempio di raccolta e invio dati è riportato qui sotto:

Dati da inviare al Chip Decoder

- Meteo minuto 1: 00011000101011
- Meteo minuto 2: 10111010110001
- Meteo minuto 3: 11011101100101
- Minuto: 01000000 02
- Ora: 01000000 02
- Giorno: 00001100 30
- Mese: 11000 03
- Giorno sett.: 001 4
- Anno: 11101000 17

Stringa completa da inviare

```
000110001010111011101011000111011101100101010000000100000000001100110000011
1101000
```

Stringa decodificata ricevuta

```
1000100000000000011110110
```

Dati Decodificati

- Giorno: 0001 1: Sole
- Notte: 0001 1: Sereno
- Meteo estremo: 0000 0: No

- Probabilità pioggia:000 0: 0%
- Anomalia meteo: 0 0: No
- Temperatura: 101111 47: 25°C (47-22)
- Stato decoder: 01 1: OK

Infine la linea Reset disabilita il chip se impostata a 0.



Nota Il decoder HKW581 sembra essere un PIC12F509 appositamente programmato per lo scopo. Volendo si trovano anche dei file .hex da programmare sul PIC per decriptare il segnale meteo ma tecnicamente non è un'operazione legale oltre ad essere un'incognita sul corretto funzionamento.

Il Display TFT

Il display scelto per questo progetto è un TFT da 2.8" a 320x240 pixel e 262 mila colori con controller ILI9325. In particolare è stato selezionato il modello HAOYU Electronics HY28B che, oltre ad essere relativamente economico, si presta molto ad un primo approccio a tale tecnologia. Il display viene infatti venduto come modulo che integra anche un controller Touch Screen resistivo (con relativo controller XPT2046), ha la possibilità di essere alimentato sia a 3.3V che a 5V ed è personalizzabile per quanto riguarda le linee di comunicazione: modificando infatti le resistenze sul retro è possibile selezionare la modalità trasmissione dei dati tra SPI, parallela a 8bit e parallela 16 bit. Il controller ILI9325 in realtà è in grado di gestire anche segnali a 9bit, 18bit e RGB ma non sono previsti su questo modulo.

Per velocizzare al massimo la scrittura su display il progetto utilizza una comunicazione parallela ad 8 bit e una profondità di colori a 16 bit (limitando di fatto la tavolozza a 65536 colori ma risparmiando un ciclo di invio dati in più per pixel) ed il PIC viene fatto funzionare con un clock da 64MHZ (interno con PLL).

Tutti i registri interni sono a 16 bit quindi per scrivere un registro vanno eseguiti 4 invii di dati sul bus da 8 bit, 2 per l'indirizzo e 2 per il valore da assegnare al registro. La libreria proposta offre anche la possibilità di utilizzare un bus a 16 bit ma da prove effettuate il miglioramento di prestazioni non è così evidente da giustificare 8 I/O in più.

I collegamenti necessari per il funzionamento del display sono molti ma di facile comprensione in Figura 5 è rappresentato il pinout con descrizione delle connessioni necessarie.

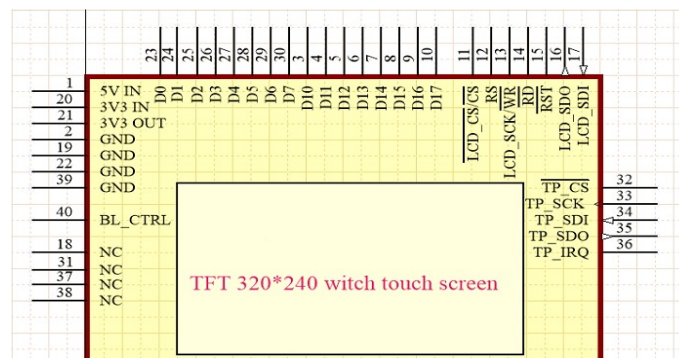


Figura 5: Pinout HY28B.

Alimentazione:

Pin 1 o 20 a seconda del voltaggio di alimentazione, pin 2-19-22-39 GND.

Dati:

In modalità 8 bit pin da 3 a 10 (D10~D17), i pin da 23 a 30 vanno collegati a GND

In modalità 16 bit pin da 3 a 10 e da 23 a 30 (D0~D17)

In modalità SPI pin 11(CS)-13(SCK)-16(SDO)-17(SDI)

Linee di controllo:

Pin11(CS)-12(RS)-13(WR)-14(RD)-15(RST)

Le linee di controllo sono necessarie per le modalità di comunicazione a 8 e 16 bit parallele e sono:

- Il pin 11 (CS) è attivo basso e va posto a 0 ogni volta che si va a scrivere o leggere qualsiasi dato dal controller.
- Il pin 12 (RS) va posto a 0 ogni volta che si invia un indirizzo di un registro a 1 invece per inviare dati da salvare nei registri.
- Il pin 13 (WR) è attivo basso e va posto a 0 ogni volta che si inviano dati da scrivere al controller, che siano indirizzi dei registri o valori da salvare nei registri.
- Il pin 14 (RD) è attivo basso e va posto a 0 ogni volta che si vuole leggere il valore di un registro. Se non sono utilizzate operazioni di lettura dal controller è possibile collegare il pin direttamente a VCC
- Il pin 15 (RST) è attivo basso ed è una linea di Reset. Con un impulso sulla linea il controller viene resettato. In Figura 6 è riportato un esempio di timing per la scrittura di un registro.

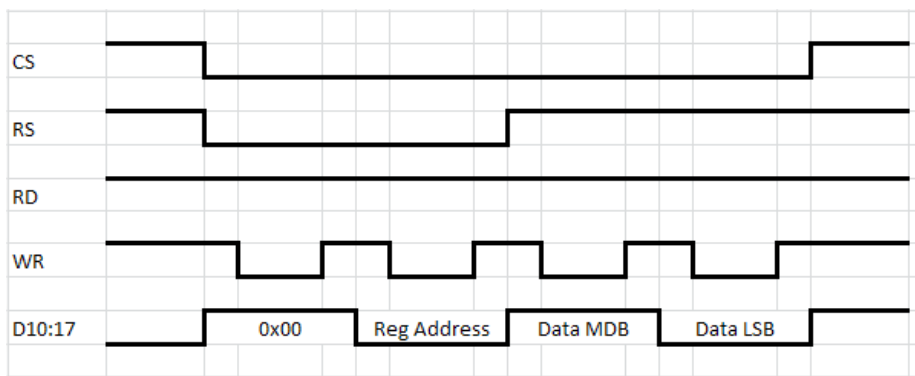


Figura 6: Timing scrittura con bus a 8 bit.

I registri del controller ILI9325 sono molti ed è inutile stare ad elencarli tutti. I più importanti sono:

- **0x01:** *Driver Output Control* - per impostare l'ordine di gestione dei pixel.
- **0x03:** *Enetry Mode* - per definire l'ordine di incremento dell'Address Counter in modalità Window e la modalità dei colori (16bit con 2 trasferimenti da 8 bit o 18bit con 3 trasferimenti da 8 bit).

- **0x20** e **0x21**: *GRAM Address* - identificano l'indirizzo GRAM orizzontale e verticale (cioè il pixel da scrivere), in modalità Window questi registri sono incrementati seguendo le impostazioni del registro Entry Mode.
- **0x22**: *Write data to GRAM* - identifica il colore da impostare sul pixel precedentemente puntato tramite i registri 0x20 e 0x21.
- **0x50 ~ 0x53**: *Horizontal and vertical RAM address* - definisce la finestra in modalità Window.

Per scrivere i valori nei registri si invia al controller l'indirizzo del registro che si vuole scrivere e poi il dato da scrivere nel registro, il tutto richiede 4 byte e quindi 4 invii sul bus a 8 bit: 2 per l'indirizzo del registro (anche se l'indirizzo dei registri è sempre 1 byte vanno comunque inviati 2 byte) e 2 per il dato da scrivere nel registro.

Per quanto riguarda la scrittura del pixel invece la procedura è più complessa e diversa in base alla modalità che si seleziona: scrittura diretta pixel per pixel o scrittura in modalità Window. Quest'ultima è una caratteristica fondamentale del controller ILI9325 e consente di impostare una finestra sul display (un rettangolo che potrebbe essere grande anche come tutto il display) ed inviare poi al controller solo il colore dei pixel, l'Address Counter (l'indirizzo dei pixel) viene incrementato automaticamente a seconda di come vengono impostati i relativi registri.

Nel primo caso bisogna puntare il pixel da scrivere e poi inviare il colore da scrivere nel seguente modo:

- Inviare l'indirizzo del registro 0x20 (GRAM horizontal address).
- Inviare la coordinata orizzontale del pixel.
- Inviare l'indirizzo del registro 0x21 (GRAM vertical address).
- Inviare la coordinata verticale del pixel.
- Inviare l'indirizzo del registro 0x22 (GRAM data).
- Inviare il colore del pixel da accendere.

Il tutto richiede 12 invii su bus ad 8 bit. Nel secondo caso invece bisogna prima creare la finestra e poi inviare in sequenza i colori dei vari pixel nel seguente modo:

- Inviare l'indirizzo del registro 0x20 (GRAM horizontal address).
- Inviare la coordinata orizzontale del primo pixel.
- Inviare l'indirizzo del registro 0x21 (GRAM vertical address).
- Inviare la coordinata verticale del primo pixel.
- Impostare la finestra tramite i registri 0x50 ~ 0x53: *Horizontal and vertical RAM address* per definire la finestra in modalità Window.
- Inviare l'indirizzo del registro 0x22 (GRAM data).
- Inviare in successione il colore dei pixel da accendere.

Questa seconda modalità richiede 20 invii di dati su bus ad 8 bit e i vantaggi si vedono soprattutto quando i pixel da accendere sono molti. Per esempio, se si volesse colorare tutto il display nel primo caso sono necessari 921600 invii di dati mentre nel secondo caso 153618 invii, che significa 1/6 rispetto alla scrittura con puntamento pixel per pixel. Tradotto in termini di tempo, con un clock a 64MHz e considerando che per inviare 8 bit sono necessari 10 cicli macchina, per colorare tutto il display con la scrittura pixel per pixel ci vogliono circa 600mS mentre con la scrittura in modalità Window ci vogliono 100mS. Ovviamente questo è un caso ottimale dove bisogna solamente accendere tutti i pixel con lo stesso colore, per

immagini o scritte i tempi purtroppo si allungano.

Le funzioni della libreria fanno uso di entrambe le modalità di scrittura a seconda di quello che si vuole scrivere sul display, la modalità Window è usata per esempio per la scrittura di rettangoli (compreso lo schermo intero), immagini e scritte con font impostabile. La libreria fornita con il progetto (TFT_ILI9325.c) è in grado di gestire:

- Funzioni geometriche di base (linee orizzontali, verticali, linee da punto a punto, linee con origine, angolo e lunghezza, rettangoli cerchi ecc.)
- Scritture di caratteri, stringhe, numeri interi e float
- Scrittura di immagini a colori da memoria programma (fortemente limitate dalla memoria programma disponibile)
- Scrittura di immagini monocromatiche da memoria programma.
- Scrittura di immagini BMP da scheda SD formattata in FAT (8-16-32), in abbinamento alla libreria FatFs
- Gestione di più font contemporaneamente con possibilità di installare font personalizzati.

Per ulteriori informazioni sulla libreria TFT_ILI9325.c fare riferimento alla documentazione dedicata.

Il Touch Screen XPT2046

Il controller XPT2046 (molto simile al più conosciuto ADS7843) è un controller per pannelli touch screen resistivi. Il funzionamento di base del pannello resistivo è molto semplice: il pannello è costituito da due pellicole trasparenti che hanno una resistenza elettrica, sovrapposte ma separate tra loro. Quando lo schermo viene toccato le due pellicole vengono in contatto e si crea un partitore di tensione fra le 2 resistenze. Ai capi del circuito si produce una tensione diversa a seconda del punto in cui è stato toccato lo schermo. Per leggere le coordinate X e Y vanno fatte 2 misurazioni con collegamenti diversi delle 2 pellicole. Prendendo come riferimento il circuito in Figura 7, dove le 2 resistenze rappresentano le 2 pellicole e il punto centrale rappresenta il punto dello schermo toccato, per misurare la coordinata X bisogna collegare i punti X+ e X- rispettivamente a VCC e GND e misurare la tensione su Y-; analogamente per misurare la coordinata Y bisogna collegare i punti Y+ e Y- rispettivamente a VCC e GND e misurare la tensione su X-.

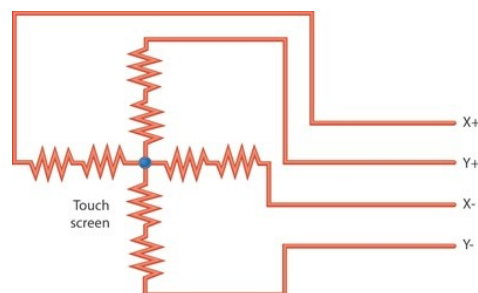


Figura 7: Schema semplificato di un pannello resistivo.

Il controller XPT2046, pilotato in maniera adeguata, non fa altro che effettuare queste misurazioni e convertire le tensioni lette in valori digitali inviati poi a richiesta via SPI alla

MCU. La conversione viene fatta in 12 bit. I risultati così ottenuti però non sono in scala con le dimensioni del display, le conversioni digitali sono a 12 bit, si avranno quindi dei valori di X e di Y che vanno da 0 a 4096 (12 bit). Per scalare i punti misurati alle dimensioni dei display ci sono diversi modi. La libreria presentata scala i punti in maniera lineare conoscendo i punti massimi di X e di Y, la risoluzione del display e il punto toccato si trova il punto toccato scalato alla risoluzione del display con le seguenti formule:

$$X_s = \frac{(X_t - X_{min}) * X_{res}}{X_{max} - X_{min}}$$

$$Y_s = \frac{(Y_t - Y_{min}) * Y_{res}}{Y_{max} - Y_{min}}$$

Dove X_s e Y_s identificano le coordinate del punto toccato scalate alla risoluzione del display, X_t e Y_t identificano le coordinate del punto toccato rilevate dal controller. X_{min} , Y_{min} , X_{max} e Y_{max} identificano le coordinate minime e massime rilevate dal controller in fase di calibrazione e X_{res} e Y_{res} identificano la risoluzione del display.

Il modulo HM-TRP

Il modulo HM-TRP è un modulo di trasmissione e ricezione dati UART “trasparente” a 433-868MHz (a seconda del modulo scelto) con modulazione FSK. Ciò significa che, interfacciato ad una porta UART tutto quello che viene inviato alla porta UART viene modulato e inviato dal modulo, allo stesso modo il modulo che riceve un segnale lo demodula e lo invia alla porta UART alla quale è collegato. Le caratteristiche principali di questo modulo sono:

- Potenza in uscita massima 100mW (impostabile).
- Consumo massimo in trasmissione 100mA.
- Consumo in sleep 0mA.
- Interfaccia UART TTL.

In Figura 8 sono riportate le connessioni del modulo

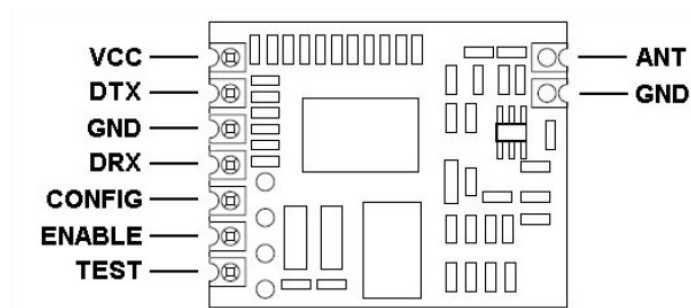


Figura 8: Pinout del modulo HM-TRP.

Legenda

- VCC: 2.4~3.6V
- DTX: dato da inviare all'MCU

- GND
- DRX: dato in arrivo dall'MCU
- CONFIG: 0 = configuration mode, 1 = funzionamento normale
- ENABLE: 0 = funzionamento normale, 1 = sleep
- ANT: Antenna

La libreria sviluppata per questo modulo implementa solamente le funzioni di sleep/funzionamento e di trasmissione/ricezione dei dati.

I dati vengono ricevuti via interrupt sulla porta UART selezionata e vengono salvati nel buffer di ricezione `hmtrp_buffer[]` la cui lunghezza è impostabile tramite definizione di una costante in fase di programmazione. Per praticità tutte le trasmissioni devono finire con 2 byte con valore rispettivamente 0x0A e 0x0D, a stringa completa viene settato il flag di stringa ricevuta `hmtrp_string_received`. Non è stata implementata la gestione delle configurazioni in quanto i moduli funzionano benissimo come impostati di fabbrica, se si volessero modificare dei parametri è possibile utilizzare il pratico programma fornito dalla casa produttrice e in allegato ai file del progetto.

Il modulo ESP8266

Il modulo ESP8266 è un modulo Wi-Fi a basso costo prodotto da Espressif Systems. Ne esistono di diversi tipi, quello utilizzato in questo progetto è l'ESP-01 con solamente 2 GPIO ma che non vengono comunque utilizzati. L'ESP8266 può essere utilizzato sostanzialmente in 2 modi:

- Via UART, inviando comandi AT da un Microcontrollore
- In maniera indipendente installando sul modulo ESP8266 stesso un firmware con un sistema operativo integrato.

Per questo progetto si utilizza il primo modo. Il modulo deve essere quindi programmato con il firmware adatto allo scopo che è ufficiale Espressif denominato NONOS_SDK non boot mode. Al momento della stesura di questo documento la release più aggiornata è la SDK 2.0.0 con comandi AT v.1.3. Il progetto e relativa libreria sono stati sviluppati con questa release del firmware. Futuri aggiornamenti dovrebbero rimanere comunque compatibili ma potrebbero anche richiedere delle modifiche. Questa release del firmware e le istruzioni per l'installazione sono allegati con i file del progetto. I collegamenti necessari sono illustrati in Figura 9.

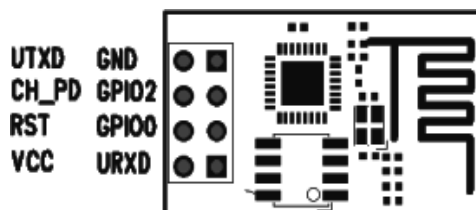


Figura 9: Pinout del modulo ESP8266-01.

Legenda

- UTXD: dato da inviare all'MCU
- CH_PD: 1 = funzionamento normale, 0 = aggiornamento
- RST: 1 = funzionamento normale, 0 = reset
- VCC: 3.3V
- GND
- GPIO: I/O generici, non usati
- URXD: dato ricevuto da MCU

L'utilizzo del modulo via comandi AT è molto semplice, basta inviare via UART il comando ed attendere una risposta. La libreria proposta codifica i comandi AT e interpreta le risposte in modo da consentirne l'utilizzo anche senza conoscere tutti i comandi. Il modulo può essere impostato in 3 modi diversi:

- In modalità Stazione (cioè il modulo si connette ad un access point Wi-Fi).
- In modalità Soft AP (cioè è il modulo a fare da access point ed eventuali stazioni si connettono al modulo attraverso SSID e Password precedentemente impostati sul modulo) creando una connessione diretta tra ESP8266 e PC/telefono.
- In modalità Stazione + Access Point.

Una volta connesso ad una rete Wi-Fi o in modalità Soft AP il modulo può essere impostato in uno dei seguenti modi:

- Come Client (si connette a siti internet o a Server TCP).
- Come Server TCP (browser o Client TCP esterni si connettono al modulo).

La libreria sviluppata per questo modulo implementa tutte le modalità di connessione e funzionamento anche se per il progetto in analisi ne vengono utilizzate solo una piccola parte.

In questo progetto il modulo si connette all'Access Point impostato, crea un server TCP e ne monitora le connessioni in ingresso. Alla ricezione di dati in ingresso invia i dati richiesti (dati real time o log dei sensori). Per fare questo sono necessarie solo poche funzioni:

```
ESP8266_set_mode(ESP8266_STATION_MODE, ESP8266_CURRENT_VALUE,  
ESP8266_DEF_TIMEOUT);  
  
ESP8266_join_ap("SSID", "password", ESP8266_CURRENT_VALUE, 16000);  
ESP8266_multiple_con(ON, ESP8266_DEF_TIMEOUT);  
ESP8266_create_server("80", ESP8266_DEF_TIMEOUT);  
ESP8266_check_incoming_data();  
  
ESP8266_send_data_over_con_1(_active_connection, "20", _data,  
ESP8266_SEND_TIMEOUT);
```

Le impostazioni del modulo, le modalità di connessione alla rete e i parametri impostabili sono molteplici, per ulteriori dettagli fare riferimento alla documentazione della libreria. Anche se sarebbe possibile sfruttare il modulo ESP8266 per sincronizzare l'ora e il meteo ho deciso evitare questa soluzione per fare in modo che il tutto funzioni anche senza rete Wi-Fi e connessione a internet.

I Sensori

I sensori integrati sulla stazione e sul modulo remoto sono 3 e si occupano di misurare temperatura, umidità relativa, pressione assoluta, intensità di raggi UVA e UVB. Tutti i sensori comunicano con il microcontrollore sul bus I2C.

HDC1080

L'HDC1080 è un sensore di temperatura e umidità relativa creato da Texas Instruments le cui caratteristiche principali sono:

- Precisione umidità relativa $\pm 2\%$.
- Precisione temperatura $\pm 0.2\%$.
- Risoluzione 14bit.
- 100nA di consumo in sleep.

Il footprint dell'HDC1080 è un PWSO a 6pin, ma solo 4 sono necessari al funzionamento, e misura solamente 3mm x 3mm.

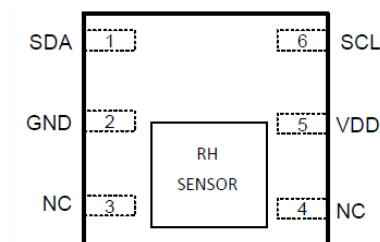


Figura 10: Pinout del sensore HDC1080.

Legenda

- 1: SDA dato protocollo I2C.
- 2: GND
- 3: NC
- 4: NC
- 5: VCC 2.7 ~ 5.5V
- 6: SCL: clock protocollo I2C.

A differenza di molti altri prodotti con protocollo di comunicazione I2C, questo sensore non ha la possibilità di impostare i 2 bit finali del Device Address che rimane sempre per tutti i dispositivi 0x80 rendendo di fatto impossibile utilizzare più HDC1080 nello stesso circuito.

Il sensore ha a 2 stati di funzionamento: Sleep o misura. Dopo l'avvio il sensore si trova in sleep ed attende i comandi via I2C, una volta ricevuti i comandi ed eseguita la conversione il sensore torna in sleep mode. I dati di temperatura e umidità possono essere acquisiti in 2 modi, singolo oppure in sequenza.

Nel primo modo solo la temperatura o solo l'umidità viene acquisita, convertita ed inviata via

I2C, nel secondo modo entrambe le misure vengono effettuate ed i dati vengono inviati in sequenza. I cicli di lettura nelle 2 modalità sono:

Modo singolo

- Impostare la risoluzione di acquisizione ed impostare la modalità di acquisizione singola nel registro di configurazione (0x02).
- Avviare l'acquisizione e la conversione della temperatura inviando l'indirizzo del registro della temperatura (0x00) o dell'umidità inviando l'indirizzo del registro dell'umidità (0x01).
- Attendere che la conversione venga completata
- Leggere il dato.

Modo sequenziale

- Impostare la risoluzione di acquisizione ed impostare la modalità di acquisizione in sequenza nel registro di configurazione (0x02).
- Avviare l'acquisizione e la conversione della temperatura inviando l'indirizzo del registro della temperatura (0x00).
- Attendere che la conversione venga completata
- Leggere il dato della temperatura e dell'umidità dai relativi registri.

La libreria sviluppata per questo sensore utilizza solo la prima modalità di acquisizione, temperatura e umidità sono sempre acquisiti ed inviati singolarmente.

I registri di configurazione e di lettura dei dati sono tutti a 16 bit mentre gli indirizzi degli stessi sono a 8 bit. Per scrivere o leggere un determinato registro si utilizza il protocollo I2C come per ogni altro dispositivo I2C: si invia l'indirizzo del registro via I2C e si invia (per operazioni di scrittura) o legge il dato del registro.

Un particolare accorgimento va fatto per la lettura dei registri di temperatura e umidità, infatti, dopo aver inviato l'indirizzo di uno dei 2 registri, viene avviata la conversione e prima di leggere il valore dal registro bisogna attendere il tempo di conversione che varia da 2.5ms a 6.5ms a seconda della risoluzione selezionata. I registri di questo sensore sono veramente pochi:

- 0x00: temperatura misurata.
- 0x01: umidità misurata.
- 0x02: registro di configurazione.
- 0xFB~0xFF: ID dispositivo, produttore e numero di serie del prodotto.

Una volta letti i dati questi sono "grezzi" e vanno convertiti in numeri reali tramite le formule seguenti

$$T = \left(\frac{\text{VALORE REGISTRO}}{2^{16}} \right) * 165 \text{ } ^\circ\text{C} - 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$RH = \left(\frac{\text{VALORE REGISTRO}}{2^{16}} \right) * 100 \text{ RH}$$

LPS25HB

Il sensore LPS25HB è un sensore di pressione assoluta piezoresistivo con modalità di comunicazione impostabile per supportare sia il protocollo SPI che I2C. Il chip è prodotto dalla ST microelectronics. Le caratteristiche principali di questo sensore sono:

- Elevato range di pressione assoluta rilevata (260~1260 hPa) con una protezione fino a 20 volte il fondo scala.
- Alta risoluzione (impostabile).
- FIFO selezionabile ed impostabile in 7 modalità.

Il package è un HLGA da 10 pin che misura solamente 2,5 x 2,5mm la cui piedinatura è mostrata in Figura 11.

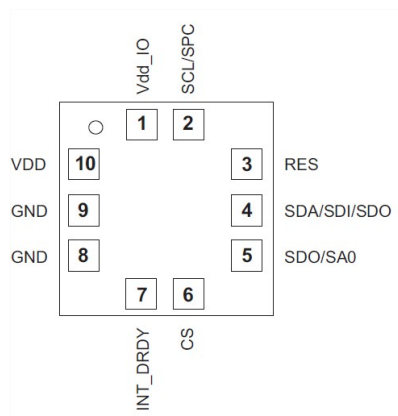


Figura 11: Pinout del sensore LPS25HB.

Legenda

- Pin1,10: VCC (1.7~3.6V)
- Pin2: Clock
- Pin3: Riservato, da connettere a GND
- Pin4: Linea dati
- Pin5: Bit indirizzo per protocollo i2C
- Pin6: Abilitazione protocollo I2C (connesso a Vcc).
- Pin 7: Interrupt.
- Pin 8, 9: GND

Anche questo sensore ha 2 stati di funzionamento: Power down o misura e quest'ultima può essere impostata in modalità One Shot (1 acquisizione) o continua. All'avvio il sensore si trova in Power down ed attende i comandi via I2C, a seconda della modalità selezionata effettuerà una o più acquisizioni di pressione.

L'LPS25HB ha molti registri di configurazione e molti modi di funzionamento attraverso il registro FIFO, oltre ad una complessa gestione e generazione degli interrupt. Anche se la libreria presentata implementa tutte le modalità di funzionamento del sensore non tutte sono utilizzate in questo progetto e quindi non saranno trattate. Il ciclo di lettura in modalità one shot si riassume in pochi passi:

- Si imposta il sensore in modalità one shot.
- Si avvia la conversione impostando a 1 il bit 0 del registro 0x21.
- Si attende il completamento della conversione, il bit 0 del registro 0x21 torna a 0.
- Si leggono i valori di pressione e temperatura dai relativi registri.

In modalità continua invece i registri di temperatura e pressione vengono aggiornati ad una frequenza selezionabile nei registri di controllo.

I registri del sensore utilizzati sono tutti a 8 bit con la particolarità che per alcuni valori sono necessari i valori contenuti in 2 o 3 registri, per cui è quindi necessaria una lettura in sequenza di più registri. I registri presenti nell'integrato sono:

- **0x10:** registro di impostazione della media di acquisizione dei sensori che può variare da 8 a 64 letture per la temperatura e da 8 a 512 letture per la pressione
- **0x20:** registro di impostazione del funzionamento del sensore, in particolare si può impostare la modalità di funzionamento (power down o conversione) .
- **0x20:** registro di impostazioni dell'acquisizione; in questo registro si possono impostare la modalità one shot il reset del sensore e l'abilitazione alle modalità FIFO.
- **0x28~0x2A:** registro contenente la pressione in complemento a 2.
- **0x2A, 0x2B:** registro contenente la temperatura in complemento a 2.
- **0x39, 0x3A:** registro contenente un offset della pressione programmabile, tale offset verrà sottratto dal risultato della conversione prima di essere salvato negli appositi registri (0x28~0x2A).

Una volta letti i dati, vanno convertiti in numeri reali tramite le formule seguenti

$$P = \left(\frac{\text{VALORE REGISTRO}}{4096} \right) \text{mBar}$$

$$T = \left(42.5 + \frac{\text{VALORE REGISTRO}}{480} \right) ^\circ\text{C}$$

VEML6075

Il sensore VEML6075, prodotto da VISHAI, è un sensore di raggi UVA e UVB con protocollo di comunicazione I2C. Il sensore viene venduto in formato OPLGA si soli 2 x 1,25mm e il pinout, visibile in Figura 12 è semplicissimo.

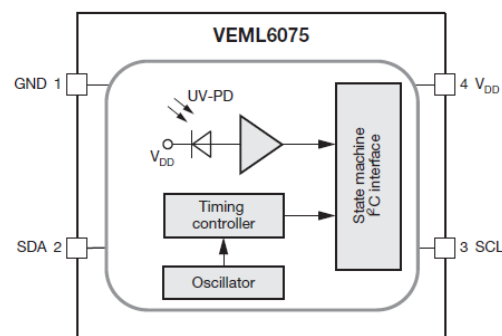


Figura 12: Pinout del sensore VEML6065.

Legenda

- Pin 1: GND
- Pin 2: Linea dati
- Pin 3: Clock
- Pin 4: VCC 1.7~3.6V

Il sensore funziona solamente in modalità One shot, una volta avviata la conversione il dato viene acquisito, convertito e salvato nei relativi registri. Per il resto del tempo il sensore è in sleep mode. Per leggere un dato basta

- Attivare il sensore
- Avviare l'acquisizione tramite settaggio del bit 3 del registro di configurazione
- Attendere il tempo di conversione
- Leggere i dati dall'apposito registro

I registri del sensore sono tutti a 16 bit e sono:

- **0x00**: registro di configurazione per settare il tempo di integrazione, la gamma dinamica e avviare la conversione.
- **0x07**: valore UVA
- **0x09**: valore UVB
- **0x0A**: valore UV COMP 1 (valore di compensazione luce visibile)
- **0x0B**: valore UV COMP 2 (valore di compensazione luce infra rossa)

Una volta letti i valori, questi vanno convertiti tramite apposite formule che contengono coefficienti specifici per ambiente e tempo di integrazione. In particolare per il calcolo dell'intensità dei raggi UVA e UVB si hanno a disposizione i relativi coefficienti:

$$UVA_{resp} = 0.93$$

$$UVB_{resp} = 2.1$$

Tali coefficienti, specificati sul data sheet, sono relativi ad un tempo di integrazione IT pari a 50ms. I coefficienti dimezzano al raddoppiare del tempo di integrazione. Per calcolare l'intensità dei raggi UVA e UVB si applicano le formule:

$$UVA = \text{Valore registro} * UVA_{resp}$$

$$UVB = \text{Valore registro} * UVB_{resp}$$

Il calcolo dell'indice UVI è più complesso e utilizza formule specifiche ed adattate a seconda dei fattori di utilizzo. Purtroppo per il calcolo UVI vengono forniti i coefficienti solo per IT = 50ms. Il sensore è quindi impostato per acquisire i dati con un tempo di integrazione di 50ms e con i coefficienti forniti sull'application note del 25/11/2016.

Le formula utilizzata per il calcolo dell'indice UVI, anch'esse indicate nell'application note sono:

$$UVA_{calc} = UVA - (a * UVcomp1) - (b * UVcomp2)$$

$$UVB_{calc} = UVB - (c * UVcomp1) - (d * UVcomp2)$$

$$UVIA = UVA_{calc} * K1 \times UVA_{resp}$$

$$UVIB = UVB_{calc} * K2 \times UVB_{resp}$$

$$UVI = \frac{UVIA + UVIB}{2}$$

Dove UVA , UVB , $UVcomp1$ e $UVcomp2$ sono i valori letti dai relativi registi. a , b , c , d , UVA_{resp} e UVB_{resp} sono coefficienti riportati nell'application note e valgono (per sensore esposto direttamente all'aria aperta e con $IT = 50ms$) rispettivamente 2.22, 1.33, 2.65, 1.74, 0.001461 e 0.002591

I sensori si sono rivelati molto precisi ed affidabili anche se le dimensioni ridotte rendono difficile la saldatura. L'unico difetto di questi sensori, soprattutto per quanto riguarda temperatura e umidità, è che oltre alla temperatura ambientale sono sensibili anche alla temperatura del PCB stesso. In particolar modo la temperatura rilevata dai sensori sul PCB della stazione risente del calore generato dagli LDO che si propaga via aria andando verso l'alto e nel PCB. Purtroppo gli slot di isolamento non riescono a fermare tutto il calore generato e la temperatura risulta leggermente maggiore rispetto a quella ambientale reale. Questo effetto si nota particolarmente per temperature inferiori ai 20°C. Per cercare di limitare questo difetto sono stati inseriti dei parametri di calibrazione nel programma, sono stati installati dei dissipatori sugli LDO e si fa uso di un alimentatore da 6V. Probabilmente una posizione diversa dei sensori sul PCB avrebbe limitato questi effetti.

Il Real Time Clock Calendar - RTCC

La stazione meteo fa uso di un RTCC per mantenere l'orario dopo che quest'ultimo è stato sincronizzato con il segnale DCF77. In particolare il segnale DCF77 è stato limitato solamente in determinati orari per sincronizzare l'ora e i dati meteo. I dati relativi alla data e all'orario vengono salvati all'interno del RTCC che si occupa di mantenere l'orario fino alla successiva sincronizzazione.

Il PCB è stato pensato per poter utilizzare sia il RTCC interno al PIC18F67K22 che il classico PCF8563 qualora il RTCC interno si fosse rivelato poco affidabile. Fortunatamente il RTCC interno è in grado di gestire in maniera ottimale l'orario e grazie al fatto di essere implementato direttamente all'interno del PIC è in grado di generare degli interrupt molto utili. Oltre che a interrupt per allarmi impostabili a determinate ore il RTCC genera alcuni interrupt impostabili per varie funzioni, per esempio nel progetto è stato utilizzato un interrupt generato dal RTCC che scatta ad ogni minuto per aggiornare l'orario sul display e svolgere alcune funzioni di controllo basate sull'orario corrente. In realtà l'interrupt non è effettivamente attivo ma viene controllato in polling il flag di interrupt nel ciclo main). Il RTCC interno per funzionare ha bisogno di un quarzo esterno da 32.768 KHz collegato sul circuito oscillatore secondario e 2 condensatori da 12pF come in Figura 13.

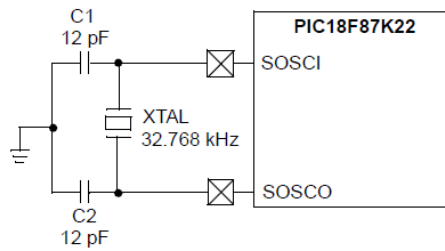


Figura 13: Configurazione e componenti esterni per utilizzare il modulo RTCC.

I registri utili per impostare ed utilizzare il modulo sono:

RTCCFG: che contiene alcuni parametri di impostazione:

- **RTCEN:** abilita o disabilita il modulo RTCC
- **RTCWREN:** abilita o disabilita la scrittura dei registri contenenti data e ora e la scrittura del bit RTCEN
- **HALFSEC:** è un bit in sola lettura che si imposta in automatico a 0 per la prima metà del secondo e a 1 per la seconda metà del secondo
- **RTCOE:** abilita o disabilita l'uscita sul pin dedicato (selezione di cosa mandare all'uscita tramite **RTSECSSEL**)
- **RTCPTR<1:0>:** puntatore a 2 bit dei registri del RTC.

RTCCAL: registro di calibrazione dell'oscillatore, permette di aggiustare la frequenza di oscillazione dell'oscillatore secondario

PADCFG1:

- **RTSECCSEL<1:0>:** imposta cosa mandare all'uscita dedicata, si può selezionare tra il clock che pilota il RTCC, l'impulso dei secondi oppure l'impulso generato dagli allarmi.

In aggiunta a questi registri sono presenti i registri che contengono i dati relativi al mese, giorno, ora, minuti, secondi e giorno settimana ma questi non sono direttamente accessibili per la lettura e la scrittura.

Per leggere un registro bisogna infatti impostare prima il puntatore al registro che si vuole leggere impostando i bit RTCPTR e poi leggere i valori dai registri di lettura e scrittura RTCVALH e RTCVALL. In particolare ad ogni indirizzo del puntatore vengono letti 2 valori il primo inserito nel registro RTCVALH e il secondo nel registro RTCVLL.

Per scrivere i valori all'interno dei registri invece bisogna prima abilitare la scrittura impostando i registri con una sequenza precisa, bisogna impostare EECON2 = 0x55, EECON2 = 0xAA e impostare a 1 il bit RTCWREN. Una volta abilitata la scrittura basta impostare il puntatore al registro che si vuole scrivere e scrivere i valori all'interno dei registri di passaggio RTCVALH e RTCVALL. È possibile scrivere solamente uno dei 2 registri in modo da andare a modificare singolarmente i valori.

Una particolarità interessante della scrittura/lettura dei valori RTCC tramite puntatore è che ogni volta che viene letto o scritto il valore all'interno di RTCVALH il valore del puntatore viene decrementato di 1, questo permette di impostare il puntatore a 11 e leggere/scrivere in sequenza RTCVALL e RTCVALH per 4 volte per leggere/scrivere tutti i valori del RTCC.

In aggiunta ai registri elencati sono presenti anche i registri per impostare gli allarmi. È

possibile impostare allarmi da ogni secondo a 1 volta all'anno. In particolare nel registro ALRMCFG si possono impostare i tipi di allarme tramite i bit AMASK (da secondi a anno) ed è possibile impostare la periodicità degli allarmi tramite il bit CHIME e il registro ALRMRPT. Quest'ultimo registro è un contatore che si decrementa ogni volta che viene attivato un allarme e quando arriva a 0 imposta a 0 il bit ALRMEN disabilitando di fatto gli allarmi, ma solo se il bit CHIME è a 0. Se il bit CHIME è a 1 il contatore torna a 0xFF quando arriva a 0 e gli allarmi non vengono disabilitati.

Anche per i dati di allarme sono presenti i registri che contengono i dati relativi al mese, giorno, ora, minuti, secondi e giorno settimana accessibili anch'essi tramite puntatore dedicato ALRMPTR. Ad ogni allarme viene in fine generato un interrupt interno.

Scheda SD e Libreria FatFs

Sul circuito della stazione è stato inserito uno slot per una scheda SD, anche se le schede SD possiedono un protocollo di comunicazione dedicato queste possono comunicare con l'MCU anche via SPI e possono essere utilizzate anche a clock con frequenza fino a 30MHz anche se la frequenza massima impostabile è legata al clock del PIC. In questo caso il PIC ha un clock di 64MHz e l'SPI può avere massimo un clock di 16MHz. La scheda SD può essere utilizzata come semplice memoria e per far questo basta conoscerne solamente la struttura ed inviare i comandi corretti via SPI. La situazione si complica invece se si vuole utilizzare la scheda SD per salvare immagini dal PC o salvare dei file per poi leggerli dal PC perché entrano in gioco le partizioni e i vari tipi di allocazione.

Per utilizzare la scheda SD in quest'ultimo modo viene utilizzata la libreria Fat-Fs di ChaN reperibile dal sito in Bibliografia [2].

La libreria si occupa di gestire in lettura e scrittura file su scheda SD formattata in FAT, in questo caso la libreria viene utilizzata per leggere dalla scheda SD le immagini e le icone da visualizzare sul display, per scrivere i file log di debug (se abilitati durante la programmazione) e i file con i log dei sensori quando vengono esportati.

Analisi dell'Hardware

Il progetto, pur essendo realizzato su 2 PCB, uno per la Stazione Base ed uno per il Modulo Remoto, può essere suddiviso in più blocchi come illustrato nei relativi schemi elettrici scaricabili tra gli allegati. I dettagli di ogni di ogni funzione sono mostrati e descritti nei paragrafi seguenti.

Stazione Base

Sezione di alimentazione

La sezione di alimentazione del circuito principale, come rappresentato in Figura 14, è divisa in 2 parti: la prima si occupa di fornire l'alimentazione per i moduli di trasmissione e i moduli RF mentre la seconda è dedicata alle alimentazioni dei moduli digitali: MCU, sensori e LCD.

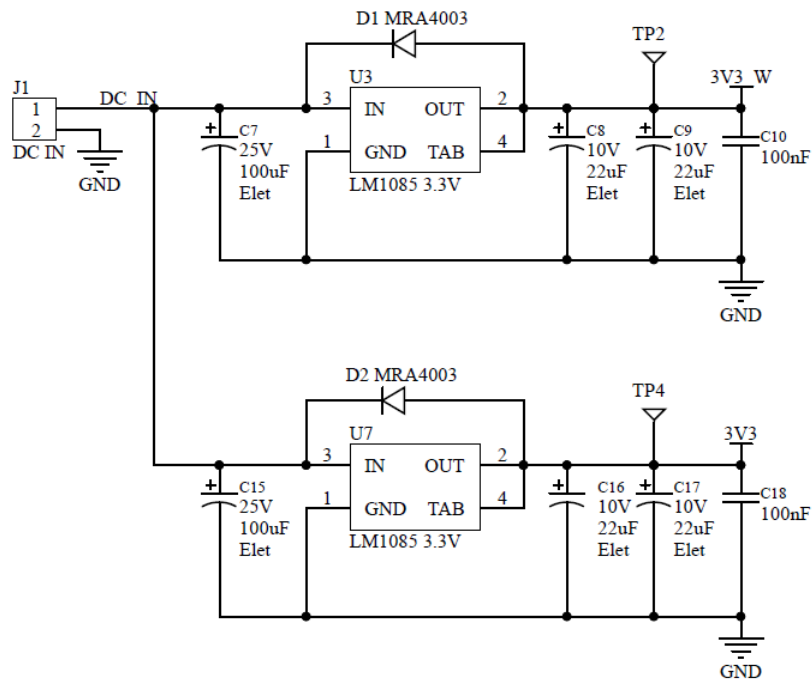


Figura 14: Schema elettrico della sezione di alimentazione.

Entrambe le alimentazioni sono regolate tramite un LDO LM1085 con uscita pari a 3.3V in grado di fornire 3A massimo in uscita. Completano la sezione i condensatori di filtro e il diodo di protezione.

Come si vedrà in seguito sull'alimentazione del PIC e dei moduli di trasmissione, sono stati inseriti dei filtri EMI per prevenire possibili disturbi provenienti dai vari moduli di trasmissione.

Anche se gli LDO utilizzati sono in grado di gestire fino a 27V in ingresso è meglio non eccedere per evitare surriscaldamenti che potrebbero incidere sui valori misurati dai sensori onboard. Per limitare questo tipo di interferenza è meglio alimentare il circuito con un alimentatore da 6V.

Sezione sensori e I2C

La sezione dei sensori e altri componenti I2C, come riportato in Figura 15, comprende il sensore di temperatura e umidità (HDC1080), il sensore di pressione (LPS25), il sensore di intensità UVA e UVB (VEML6075), la EEPROM da 1024 Kbit (24LC1025) ed il RTCC opzionale (PCF8563).

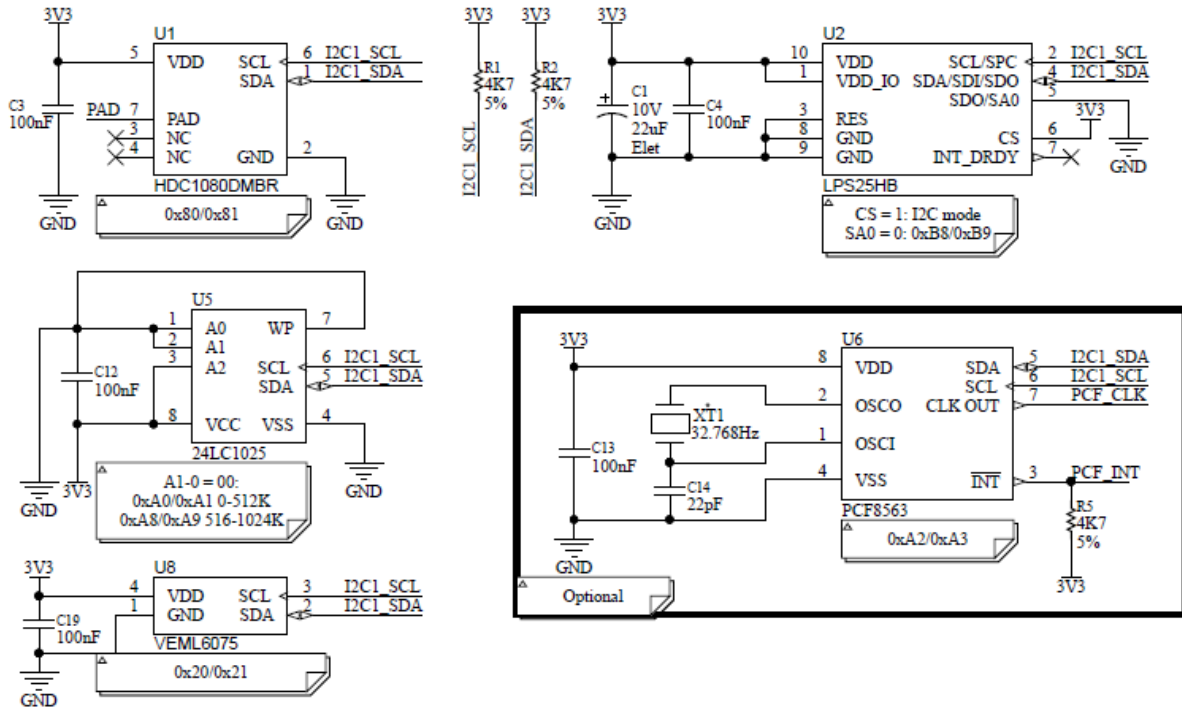


Figura 15: Schema elettrico della sezione I2C.

I componenti condividono lo stesso BUS I2C, per cui sono necessarie quindi solo 2 resistenze di pullup (R1 e R2). Completano la sezione i condensatori di bypass dedicati per ogni integrato.

Sezione DCF77 e Meteo

La sezione dedicata alla ricezione del segnale DCF77 è formata solamente del modulo di ricezione EM6DCF3V con relativi condensatori di bypass e dal decoder per le informazioni meteo HKW581. Come si vede dallo schema di Figura 16, il modulo di ricezione DCF77 è collegato alla MCU utilizzando l'uscita non invertita (idle a 1, segnale a 0). È previsto inoltre un condensatore sulla linea d'uscita per pulire il segnale da eventuali disturbi. Sempre per prevenire eventuali disturbi sulla linea di alimentazione è presente un filtro EMI a T con LC integrate (NFE31PT).

Il decoder meteo è collegato direttamente al PIC con 6 linee dedicate e necessita solamente di una resistenza di pull-up (R3) sulla linea di Reset.

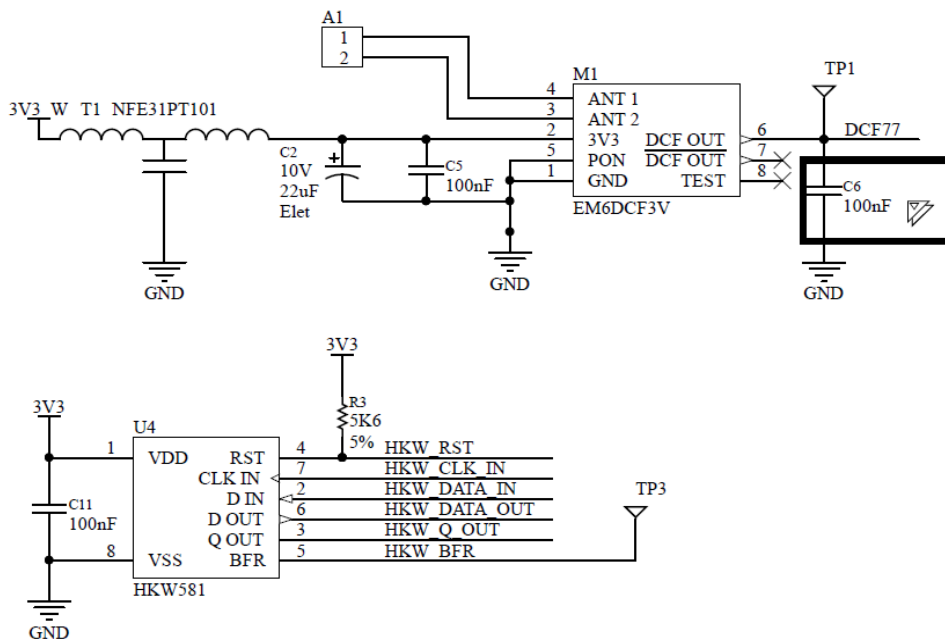


Figura 16: Schema elettrico della sezione DCF77 e meteo.

Sezione moduli di trasmissione

Nel circuito della stazione sono presenti 2 moduli di trasmissione rappresentati in Figura 17, il primo è un modulo Wi-Fi ESP8266 mentre il secondo è il modulo di trasmissione HM-TRP 433MHz utilizzato per la comunicazione con il modulo remoto. Entrambi i moduli comunicano con il microcontrollore via UART, nello specifico il modulo ESP8266 utilizza la UART1 mentre il modulo HM-TRP utilizza la UART2. In aggiunta alle linee UART ogni modulo ha 2 ulteriori linee di controllo. Per l'ESP8266 si tratta di una linea di RESET e una linea di POWER DOWN, mentre per l'HM-TRP sono una linea di abilitazione e una di configurazione, anche se quest'ultima non viene utilizzata in questa versione del firmware in quanto il modulo, una volta impostato via PC, non necessita di ulteriori impostazioni. Infine le linee di alimentazione sono protette con 2 filtri EMI.

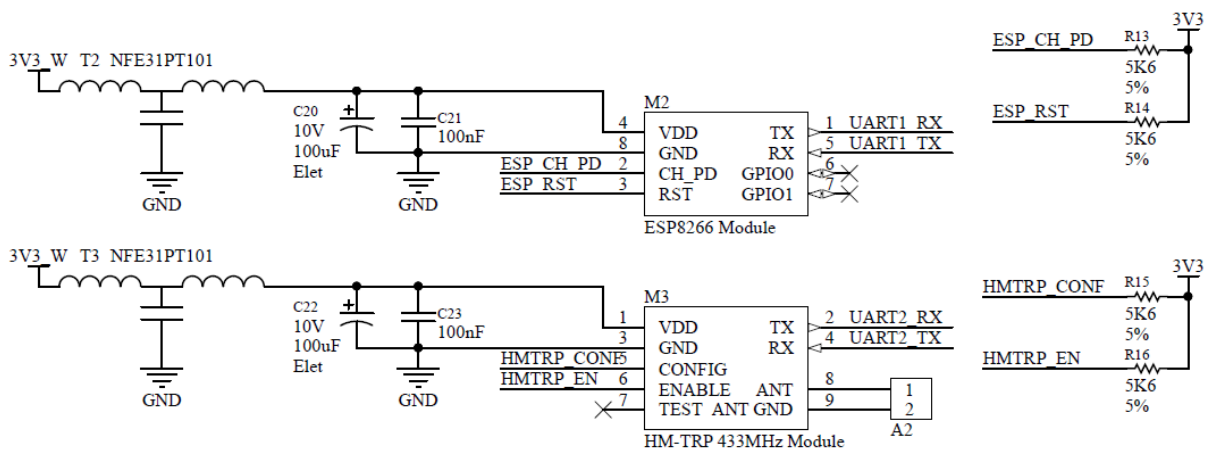


Figura 17: Schema elettrico dei moduli di trasmissione.

Sezione MCU e I/O

In Figura 18 è riportata la sezione dedicata alla MCU e a tutti gli I/O. In particolare il controllore principale è un PIC18F67K22 che si occupa di gestire i sensori i vari moduli, la visualizzazione su display TFT e i vari input. Una descrizione dettagliata degli I/O è riportata in Tabella 2.

Il PIC18F67K22 utilizza l'oscillatore interno a 16MHz con PLL a 4x che porta il clock fino a 64MHz. Il quarzo esterno è collegato al secondo oscillatore ed è utilizzato per il modulo RTCC interno al PIC.

Gli unici input utente avvengono attraverso il pannello touch screen comandato via SPI, la stessa linea SPI è utilizzata anche per la scheda SD anche se i 2 utilizzano parametri di configurazione diversi per ottimizzare la velocità di lettura e scrittura. Sul bus SPI sono state inserite 4 resistenze di pull-up anche se non strettamente necessarie mantengono i livelli corretti in fase di avvio ed inizializzazione. Chiude la sezione il modulo TFT con tutte le linee di comunicazione dedicate. Il modulo TFT HY28B integra un circuito di regolazione della retroilluminazione via PWM, basta perciò collegare una linea modulata in PWM dall'MCU per controllare la retroilluminazione.

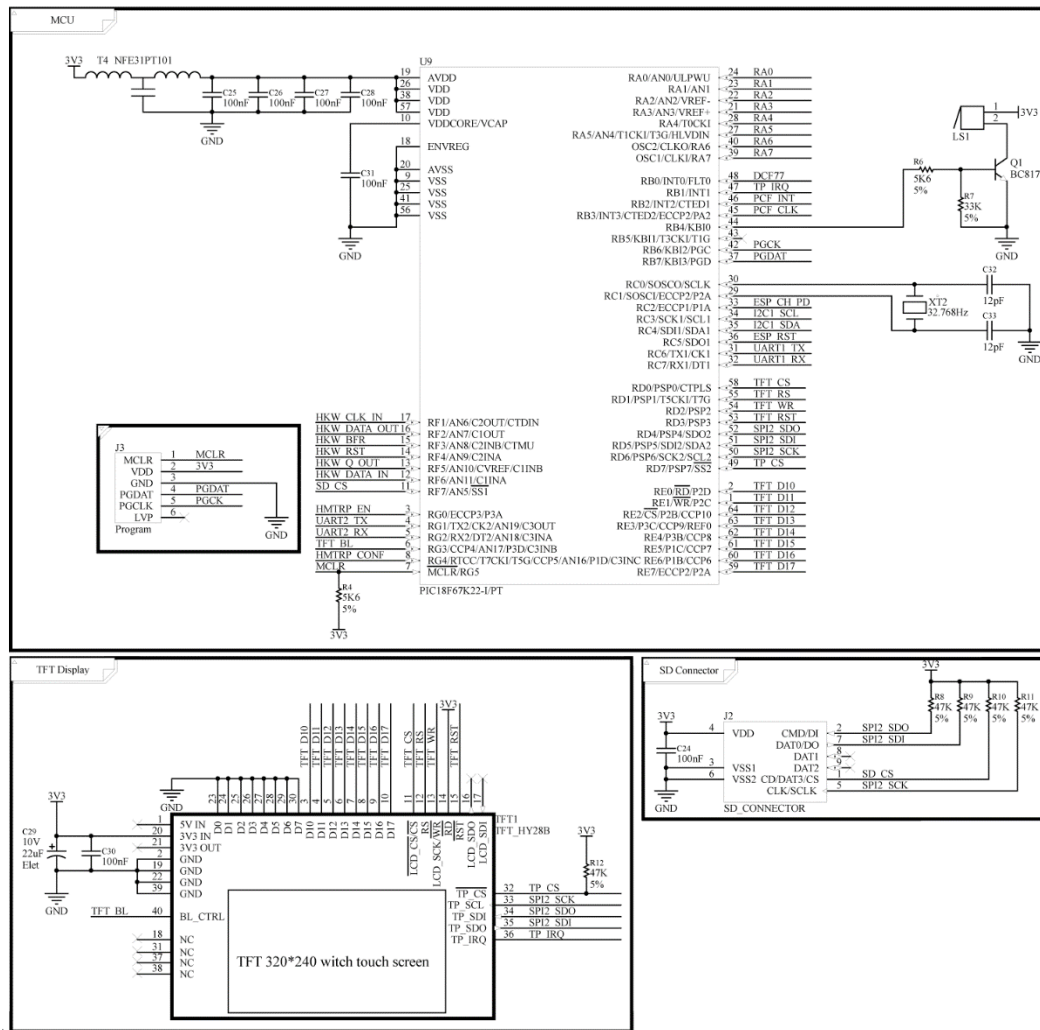


Figura 18: Schema elettrico della MCU e I/O.

Pin	Nome Pin	Direzione	Nome Linea	Funzione
1	RE1	Input/Output	TFT_D11	Linea dati display
2	RE0	Input/Output	TFT_D10	Linea dati display
3	RG0	Output	HMTRP_EN	Linea abilitazione modulo HM-TRP
4	RG1	Output	UART2_TX	Linea trasmissione per modulo HM-TRP
5	RG2	Input	UART2_RX	Linea ricezione per modulo HM-TRP
6	RG3	Ouput	TFT_BL	Uscita PWM per la retroilluminazione del display
7	MCLR		MCLR	
8	RG4	Ouput	HMTRP_CONF	Linea configurazione modulo HM-TRP
9	VSS			
10	VDDCORE			Condensatore per regolatore interno
11	RF7	Ouput	SD_CS	Chip select linea SPI scheda SD
12	RF6	Ouput	HKW_DATA_IN	Dati da MCU a HKW581
13	RF5	Input	HKW_Q_OUT	Conferma ricezione/invio da HKW581
14	RF4	Ouput	HKW_RST	Linea di reset HKW581
15	RF3	Input	HKW_BFR	Linea chip pronto HKW581
16	RF2	Input	HKW_DATA_OUT	Dati inviati da HKW581
17	RF1	Ouput	HKW_CLK_IN	Clock per invio e ricezione dati da/a HKW581
18	ENVREG		GND	Selezione regolatore interno o esterno
19	AVDD		3V3	3.3V alimentazione sezione analogica PIC18F67K22
20	AVSS		GND	GND sezione analogica del PIC18F67K22
21	RA3	Input/Output	RA3	GPIO 3
22	RA2	Input/Output	RA2	GPIO 2
23	RA1	Input/Output	RA1	GPIO 1
24	RA0	Input/Output	RA0	GPIO 0
25	VSS		GND	
26	VDD		3V3	
27	RA5	Input/Output	RA5	GPIO 5
28	RA4	Input/Output	RA4	GPIO 6
29	SOSCI			Circuito oscillatore secondario per RTCC
30	SOSCO			Circuito oscillatore secondario per RTCC
31	RC6	Output	UART1_TX	Linea trasmissione per modulo ESP8266
32	RC7	Input	UART1_RX	Linea ricezione per modulo ESP8266
33	RC2	Output	ESP_CH_PD	Linea Power per modulo ESP8266
34	RC3		I2C1_SCL	Clock bus I2C
35	RC4		I2C1_SDA	Linea dati bus I2C
36	RC5	Output	ESP_RST	Linea reset per modulo ESP8266
37	RB7		PCDAT	Lina dati programmazione ICSP
38	VDD		3V3	
39	RA7	Input/Output	RA4	GPIO 7
40	RA6	Input/Output	RA6	GPIO 6
41	VSS		GND	
42	RB6		PGCK	Linea clock programmazione ICSP
43	RB5		NC	
44	RB4			Buzzer
45	RB3	Input	PCF_CLK	Clock da RTCC esterno opzionale
46	RB2	Input	PCF_INT	Interrupt da RTCC esterno opzionale
47	RB1	Input	TP_IRQ	Interrupt da tocco display
48	RB0	Input	DCF77	Segnale DCF77
49	RD7	Input	TP_CS	Chip select linea SPI touch screen
50	RD6	Output	SPI2_SCK	Linea clock bus SPI
51	RD5	Input	SPI2_SDI	Linea dati in ingresso bus SPI
52	RD4	Output	SPI2_SDO	Linea dato in uscita bus SPI
53	RD3	Output	TFT_RST	Linea reset display
54	RD2	Output	TFT_WR	Linea WR display
55	RD1	Output	TFT_RS	Linea RS display
56	VSS		GND	
57	VDD		3V3	
58	RD0	Output	TFT_CS	Linea CS display
59	RE7	Input/Output	TFT_D17	Linea dati display
60	RE6	Input/Output	TFT_D16	Linea dati display
61	RE5	Input/Output	TFT_D15	Linea dati display
62	RE4	Input/Output	TFT_D14	Linea dati display
63	RE3	Input/Output	TFT_D13	Linea dati display
64	RE2	Input/Output	TFT_D12	Linea dati display

Tabella 2: Tabella I/O del PIC18F67K22.

Sezione espansioni

A completare il circuito sono presenti alcune espansioni che offrono la possibilità di integrare altri sensori o attuatori come allarmi, caldaie, tende motorizzate etc.

Come si vede in Figura 19 le espansioni prevedono:

- 8 GPIO di cui 5 analogiche (ingressi) o digitali e 3 solo digitali
- 1 bus I2C
- 1 bus SPI
- 2 bus UART

Tutte le linee sono dotate di protezioni ESD tramite chip Texas Instruments TPD2E007.

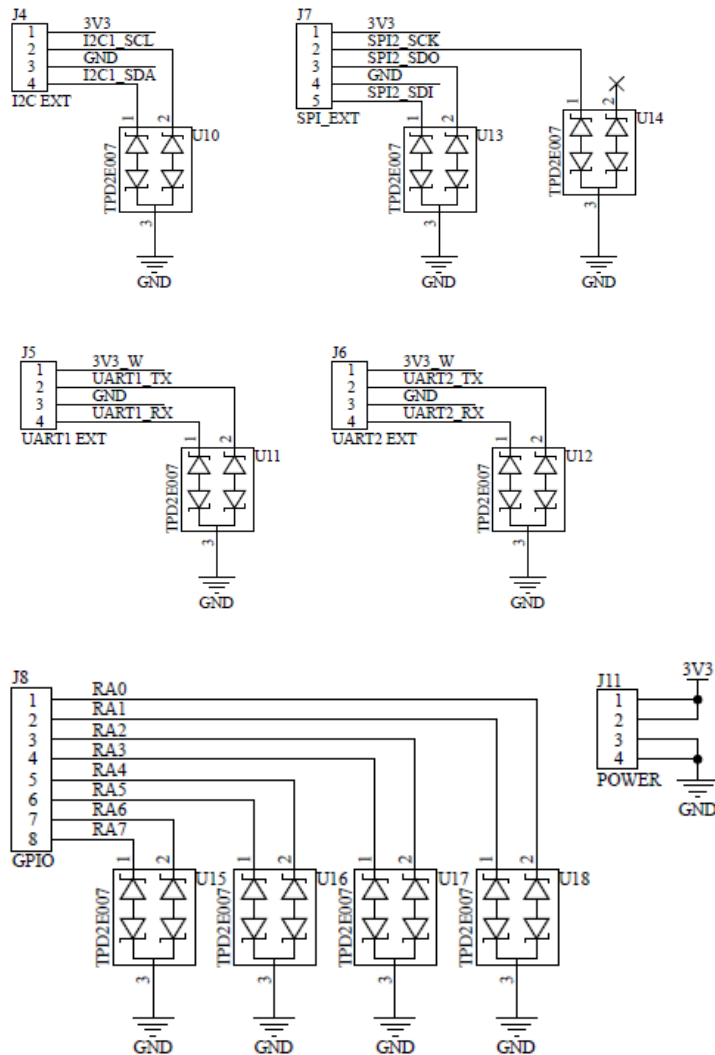


Figura 19: Schema elettrico espansioni stazione.

Modulo remoto

Sezione alimentazione

La sezione di alimentazione del modulo remoto, riportato in Figura 20, è stata ideata per funzionare in maniera ottimale anche a bassi voltaggi, per questo motivo al posto di un LDO lineare è stato utilizzato il convertitore Step-Up della Linear Technology LTC3528 in grado di fornire 3.3V a 200mA da una singola batteria AA oppure 400mA da 2 batterie AA ed è in grado di funzionare con tensioni in ingresso da 0.8V a 6V garantendo sempre il voltaggio selezionato in uscita. Il chip è in grado di generare qualsiasi voltaggio compreso tra 1.6 e 5.5V selezionando i valori adeguati delle resistenze R1 e R2. Da prove effettuate, 2 batterie AA garantiscono un funzionamento di diversi mesi con ciclo di invio ogni 10 minuti¹. La tensione di alimentazione viene inviata anche ad un ingresso analogico del microcontrollore per avere un'idea del livello delle batterie in tempo reale.

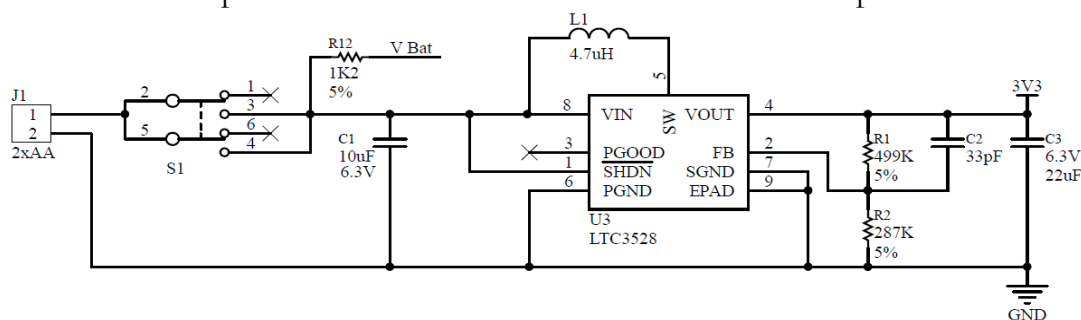


Figura 20: Schema elettrico sezione alimentazione modulo remoto.

Sezione moduli di trasmissione

In questa sezione, mostrata in Figura 21, troviamo solamente il modulo di trasmissione HM-TRP 433MHz che si occupa della comunicazione con la stazione. Come nel circuito principale il modulo comunica con l'MCU tramite il modulo UART e con una linea di abilitazione e una di configurazione. Anche in questo caso è stato inserito un filtro EMI sulla linea di alimentazione per evitare che il modulo di trasmissione possa creare interferenze.

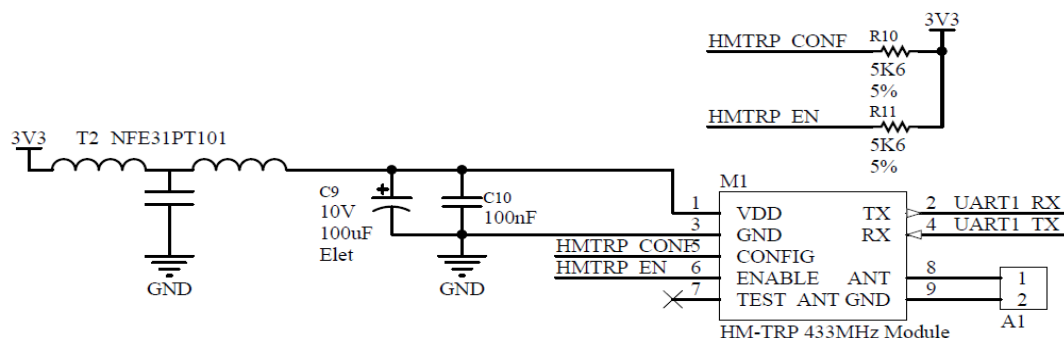
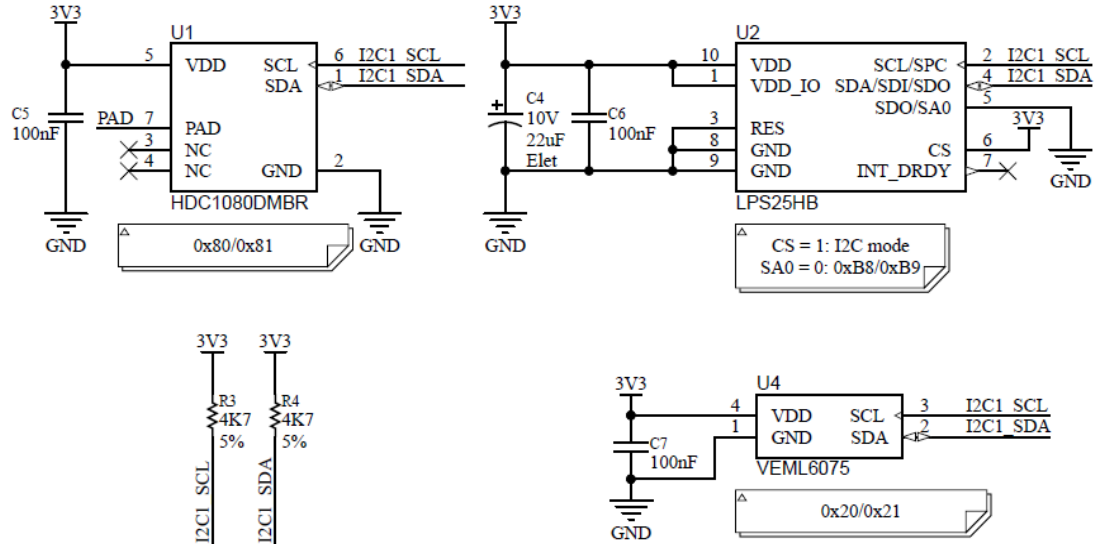


Figura 21: Schema elettrico sezione modulo di trasmissione.

¹ Non disponendo di adeguati strumenti di simulazione di scarica batterie, il test è in corso con batterie reali e non è ancora concluso. Ad oggi, dopo 8 mesi di funzionamento continuo, le batterie hanno un potenziale di 2,58V.

Sezione sensori e I2C

La sezione dei sensori I2C, come è possibile vedere in Figura 22, non ha nulla di diverso rispetto alla stessa sezione del circuito principale. Sono infatti presenti i sensori HDC1080, LPS25HB e VEML6075 con i relativi condensatori di bypass e resistenze di pull-up.



Sezione MCU e I/O

In Figura 23 è riportata la sezione dedicata alla MCU e tutti gli I/O. In particolare il controllore principale è un PIC18LF26K22 che si occupa di gestire i sensori e i vari moduli. Una descrizione dettagliata degli I/O è rappresentata in tabella 4. Il PIC18LF26K22 oltre ad essere ottimizzato per ridurre i consumi utilizza l'oscillatore interno da 1 MHz nelle fasi di lettura dei sensori ed invio dati, mentre scende a 32,25 KHz tra le letture dei sensori ed entra in SLEEP, disattivando tutti i moduli non necessari. Il tempo di lettura tra i sensori è impostabile direttamente dalla stazione meteo da 5 secondi a 30 minuti, in step fissi. Questo consente di ridurre di molto i consumi. L'unico output "utente" è il LED1 utilizzato per comunicare la ricezione dei comandi dalla stazione. Anche in questo caso l'alimentazione è filtrata con un filtro EMI NFE31PT.

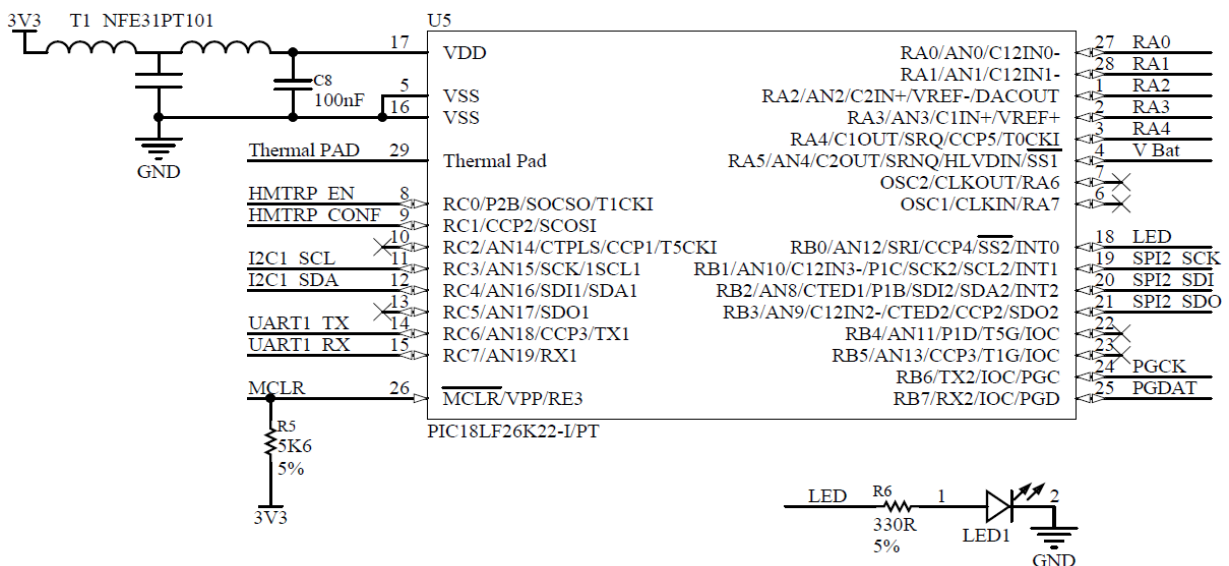


Figura 23: Schema elettrico sezione MCU – modulo remoto.

In Tabella 3 sono riassunti gli I/O del PIC18LF26K22.

Pin	Nome Pin	Direzione	Nome Linea	Funzione
1	RA2	Input/output	RA2	GPIO 2
2	RA3	Input/output	RA3	GPIO 3
3	RA4	Input/output	RA4	GPIO 4
4	RA5	Input/output	AN4	V Bat
5	VSS		GND	
6	RA7		NC	
7	RA6		NC	
8	RC0	Output	HMTRP_EN	Linea abilitazione modulo HM-TRP
9	RC1	Output	HMTRP_CONF	Linea configurazione modulo HM-TRP
10	RC2		NC	
11	RC3		I2C1_SCL	Clock bus I2C
12	RC4		I2C1_SDA	Linea dati bus I2C
13	RC5		NC	
14	RC6	Output	UART1_TX	Linea trasmissione per modulo HM-TRP
15	RC7	Input	UART1_RX	Linea ricezione per modulo HM-TRP
16	VSS		GND	
17	VDD		3V3	
18	RB0	Output	LED	Uscita LED1
19	RB1	Output	SPI2_SCK	Linea clock bus SPI
20	RB2	Input	SPI2_SDI	Linea dati in ingresso bus SPI
21	RB3	Output	SPI2_SDO	Linea dato in uscita bus SPI
22	RB4		NC	
23	RB5		NC	
24	RB6		PGCK	Linea clock programmazione ICSP
25	RB7		PCDAT	Linea dati programmazione ICSP
26	MCLR		MCLR	
27	RA0	Input/output	RA0	GPIO 0
28	RA1	Input/output	RA1	GPIO 1

Tabella 3: Tabella I/O del PIC18F67K22 – modulo remoto.

Sezione espansioni

Anche sul modulo remoto sono presenti alcune espansioni che offrono la possibilità espansione del modulo con nuovi sensori analogici e digitali. Come si vede in figura 25 le espansioni prevedono:

- 5 GPIO di 4 analogici (ingressi) o digitali e 1 solo digitale.
- Un bus I2C.
- Un bus SPI.

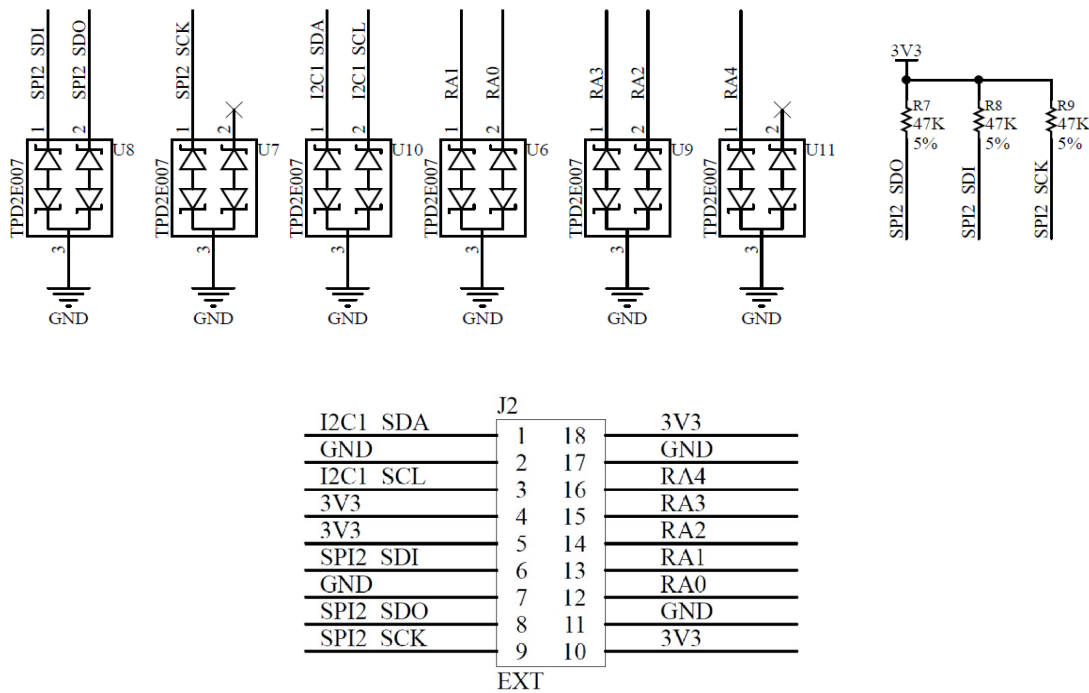


Figura 24: Schema elettrico sezione espansione – modulo remoto.

Tutte le linee sono dotate di protezioni ESD tramite chip Texas Instruments TPD2E007.

Realizzazione del Circuito

Il circuito è stato realizzato su una piastra doppia faccia per mezzo di una società di servizi PCB. La maggior parte dei componenti utilizzati sono SMD, alcuni con un passo decisamente piccolo ed ostico da saldare, per questo sono state utilizzate tecniche di saldatura differenti a seconda dei componenti. In particolare per i sensori e per il convertitore DC-DC è stata utilizzata della pasta saldante ed una stazione ad aria calda mentre per tutti gli altri componenti la saldatura è stata fatta a mano con stagno e saldatore. In questo caso un forno da saldatura avrebbe facilitato e velocizzato di molto il lavoro. Sul PCB della stazione è possibile staccare l'angolo con il sensore di raggi UVA e UVB per poterlo installare a 90° rispetto al PCB o spostare all'esterno tramite cavi.

In Figura 25 è mostrata la stazione meteo a montaggio ultimato. I dettagli sul PCB, gerber file e montaggio dei componenti, sono riportati nella relativa documentazione del PCB, scaricabile come file separato. In Figura 26 e 27 sono mostrati i modelli 3D delle schede, sviluppati durante la fase della progettazione del sistema. In particolare i modelli 3D risultano utili per avere un primo feedback sul posizionamento dei componenti e problematiche di tipo meccanico, associate agli stessi.

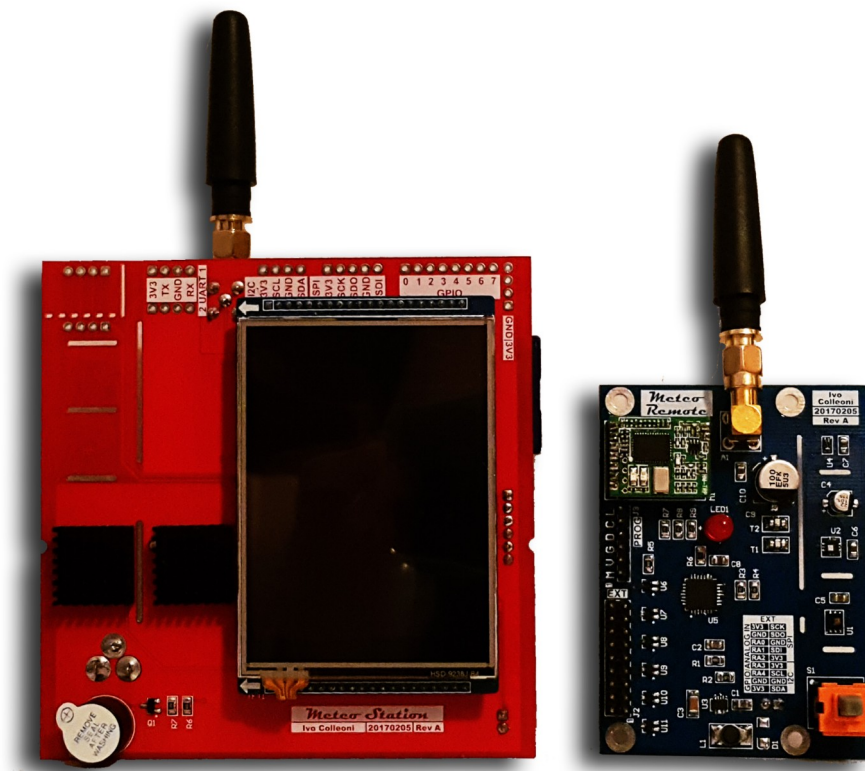


Figura 25: Stazione meteo a montaggio ultimato.

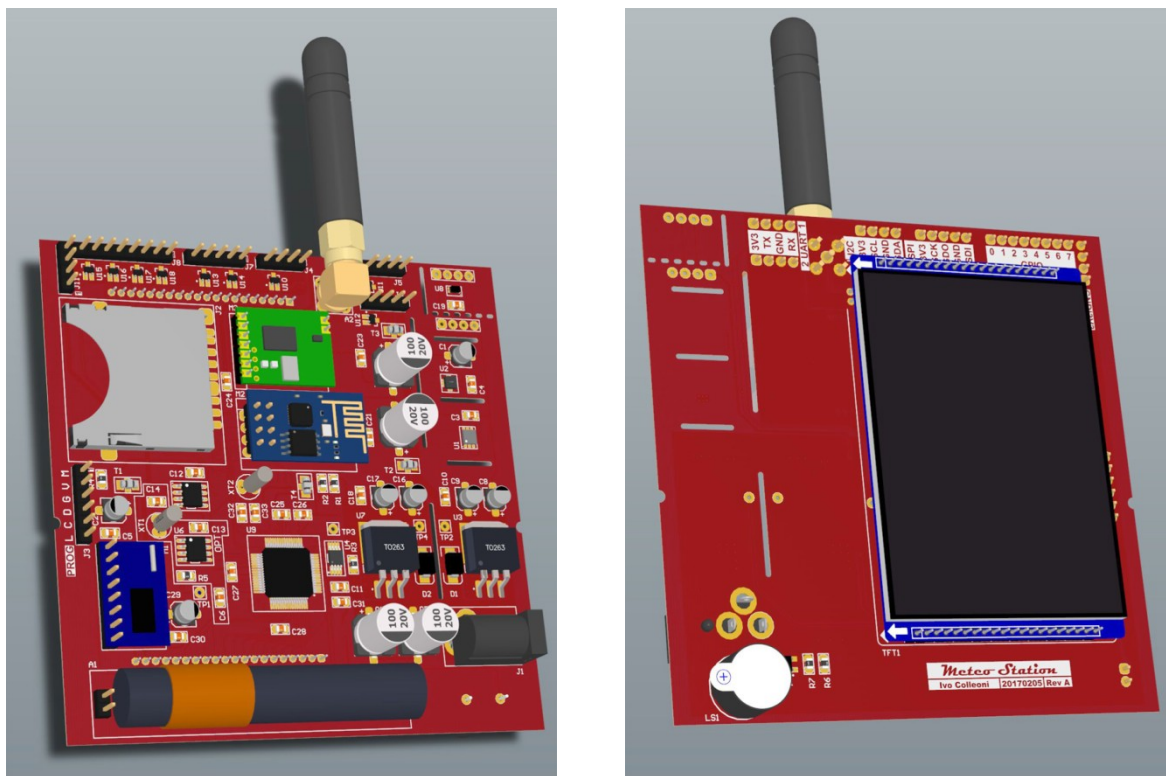


Figura 26: Modello 3D del modulo base.

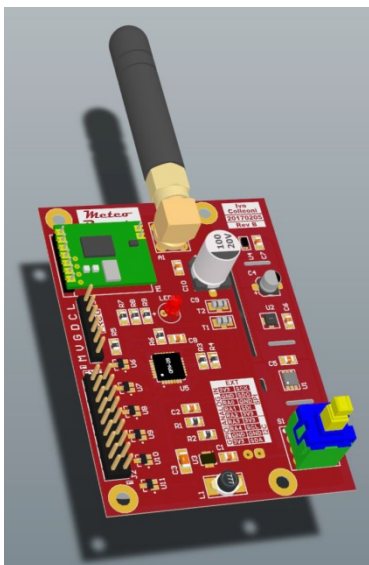


Figura 27: *Modello 3D del modulo remoto.*

**Nota**

Le immagini qui riportate non sono in scala 1:1, per le dimensioni corrette fare riferimento ai PDF allegati.

Lista Componenti

Nelle Tabella 4 e 5 è riportata la lista dei componenti per i 2 circuiti.

Stazione

Nome	Valore	Package
A1	77.5KHz Antenna	60mm
A2	868MHz Antenna	
C1, C2, C8, C9, C16, C17, C29	22uF 10V elettrolitico	SMD 4mm
C14	22pF multistrato	SMD 0805
C3, C4, C5, C6, C10, C11, C12, C13, C18, C19, C21, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C30, C31	100nF multistrato	SMD 0805
C32, C33	12pF multistrato	SMD 0805
C7, C15, C20, C22	100uF 25V elettrolitico	SMD 8mm
D1, D2	MRA4003	SMA
J1	DC IN	
J4, J5, J6, J11		Connettore 2,54mm 1x4
J2	SD_CONNECTOR	SD connector
J3	Program	Connettore 2,54mm 1x5
J7		Connettore 2,54mm 1x5
J8		Connettore 2,54mm 1x8
J9, J10	VEML_H	PAD
LS1	Buzzer	Buzzer 12mm
M1	EM6DCF3V	Connettore 2,54mm 1x8
M2	ESP8266	Connettore 2,54mm 2x4
M3	HM-TRP 433MHz Module	Connettore 2mm 1x9
Q1	BC817	SOT23
R1, R2, R5	4.7K Ω %5	SMD 0805
R3, R4, R6, R13, R14, R15, R16	5.6K Ω %5	SMD 0805
R7	33K Ω %5	SMD 0805
R8, R9, R10, R11, R12	47K Ω %5	SMD 0805
T1, T2, T3, T4	NFE31PT101	SMD T 1206
TFT1	TFT_HY28B	Connettore 2mm x40
U1	HDC1080DMBR	DMB0006A
U2	LPS25HB	HLGA-10L
U3, U7	LM1085 3.3V	TO263-3
U4	HKW581	MSOP8
U5	24LC1025	SOIC8
U6	PFC8563	SOIC8
U8	VEML6075	OPLGA4
U9	PIC18F67K22-I/PT	TQFP-64
U10, U11, U12, U13, U14, U15, U16, U17, U18	TPD2E007	SOT323
XT1, XT2	32.768Hz	Crystal cylinder ver

Tabella 4: Lista componenti stazione base.

Modulo Remoto

Nome	Valore	Package
A1	868MHz Antenna	
C1	10uF 6.3V multistrato	SMD 0805
C2	33pF multistrato	SMD 0805
C3	22uF 6.3V multistrato	SMD 1206
C4	22uF 10V elettrolitico	SMD 4mm
C5, C6, C7, C8, C10	100nF multistrato	SMD 0805
C9	100uF 25V elettrolitico	SMD 8mm
J1	2xAA	Connettore 2,54mm 1x2
J2	EXT	Connettore 2,54mm 9x2
J3	Program	Connettore 2,54mm 1x5
L1	4.7uH	DS1608C
LED1	LED	Led 3mm
M1	HM-TRP 433MHz Module	Connettore 2mm 1x9
R1	499K Ω %1	SMD 0805
R2	287K Ω %1	SMD 0805
R3, R4	4.7K Ω %5	SMD 0805
R5, R10, R11	5.6K Ω %5	SMD 0805
R6	330 Ω %5	SMD 0805
R7, R8, R9	47K Ω %5	SMD 0805
R12	1.2K Ω %5	SMD 0805
S1	ESB-30B102	
T1, T2	NFE31PT101	SMD T 1206
U1	HDC1080DMBR	DMB0006A
U2	LPS25HB	HLGA-10L
U3	LTC3528	DFN-8_DDB
U4	VEML6075	OPLGA4
U5	PIC18LF26K22-I/PT	QFN-28
U6, U7, U8, U9, U10, U11	TPD2E007	SOT323

Tabella 5: Lista componenti modulo remoto.

Collaudo e messa in funzione

Dal momento che il circuito fa uso di componenti a montaggio superficiale, prima di accendere il sistema è bene accertarsi che non sia presente alcun cortocircuito. Un semplice test potrebbe essere il controllo per mezzo di un tester, della presenza di cortocircuiti tra il terminale + e - sia prima che dopo il regolatore lineare. Dopo aver alimentato il circuito controllare che la tensione sui test point TP2 e TP4 sia di 3.3V. Ripetere le operazioni anche per il modulo remoto.

Se le alimentazioni sono verificate programmare i microcontrollori con i relativi Firmware e caricare nella directory principale della scheda sd (formattata in FAT32) i file allegati. Avviare il circuito principale (stazione).

Se tutto funziona correttamente dopo qualche secondo comparirà l'interfaccia di base, andare quindi in SETUP -> PAGINA 2 -> TEST HARDWARE per eseguire il test dell'hardware installato. In questa funzione viene verificato che tutti i sensori e tutti i moduli rispondano correttamente e si verrà guidati anche nel test di comunicazione del modulo remoto. Se la verifica hardware è andata a buon fine è possibile calibrare il touch screen tramite l'apposita funzione andando in SETUP -> PAGINA 2 -> Calibrazione Touch

Utilizzo del sistema

Avvio e Pagina principale

Dopo aver connesso la stazione ad una fonte di alimentazione sul display compare la pagina principale come mostrato in Figura 28 ed espone:

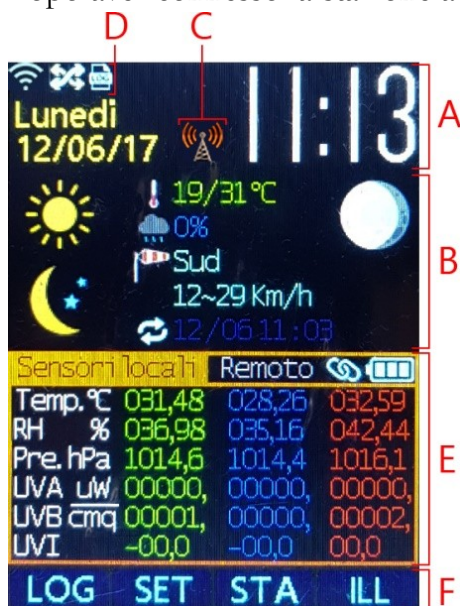


Figura 28: Pagina principale

- Data e Ora attuali (A)
- Sezione Meteo (B)
- Icona DCF77 (C)
- Icone di Stato (D)
- Sezione sensori (E)
- Pulsanti funzione (F)

All'avvio tutti i campi sono vuoti ad eccezione del meteo che potrebbe essere popolato in caso in cui siano salvate in memoria le previsioni meteo per il giorno corrente.

Lasciare sincronizzare l'orario e la data, a seconda della qualità del segnale potrebbero volerci dai 3 ai 6 minuti; in questa fase l'icona DCF77 (C) lampeggia ad ogni secondo ad

indicare la ricezione del segnale DCF77. Se l'icona non dovesse comparire, o il lampeggio non fosse regolare provare a spostare l'antenna. In alternativa è possibile impostare a mano l'orario come descritto nel paragrafo delle impostazioni. Il tempo necessario alla sincronizzazione deriva dal fatto che vengono raccolti i dati di 3 minuti e vengono confrontati in modo da estrapolare i dati corretti anche se durante la ricezione dovessero essere stati ricevuti dei dati errati.

Una volta sincronizzato l'orario per la prima volta, viene attivato il server per le connessioni via WiFi in ingresso e viene automaticamente chiuso e riaperto ogni volta che viene avviata la sincronizzazione dati via DCF77. Le previsioni meteo, come visto nel relativo paragrafo, arrivano a fasce orario prestabilite, se la ricezione è corretta viene aggiornato sia l'ora che la previsione meteo, in caso contrario invece né l'ora né la previsione meteo verranno aggiornate.

La sincronizzazione DCF77 viene automaticamente interrotta dopo 8 minuti senza aver ricevuto dati validi.

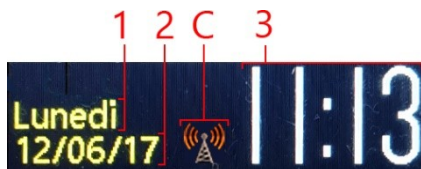


Figura 29: Sezione data e ora.

Nell'area dedicata all'ora e alla data, mostrata in Figura 29, vengono mostrati il giorno della settimana (1), la data (2) e l'ora attuale (3). Ogni volta che viene avviata la sincronizzazione con il segnale radio orario l'icona DCF77 (C) lampeggia.

Se la sincronizzazione con segnale DCF77 è disabilitata viene mostrata l'icona DCF77 (C) barrata mentre viene mostrata senza "segnale" se la ricezione è stata interrotta in automatico dopo 8 minuti di tentativi di sincronizzazione non andati a buon fine. Toccando l'ora è possibile riavviare la sincronizzazione dell'orario con il segnale radio.

Nella sezione meteo, Figura 30, vengono mostrate le previsioni meteo del giorno attuale con



Figura 30: Sezione meteo giorno attuale.

l'icona relativa alle previsioni diurne (4) e l'icona per le previsioni meteo notturne (5), le previsioni di temperatura minima e massima (6), la probabilità di precipitazioni (7), la direzione e la forza del vento (8) e la fase lunare (10). Lo stato di aggiornamento del meteo è visualizzabile dalla data di ultima sincronizzazione riuscita (9) e dai box di controllo giornalieri (11) i colori bianco, verde, rosso e giallo identificano rispettivamente una sincronizzazione non ancora avvenuta, valida, invalida e fermata per time out.

l'icona relativa alle previsioni diurne (4) e l'icona per le previsioni meteo notturne (5), le previsioni di temperatura minima e massima (6), la probabilità di precipitazioni (7), la direzione e la forza del vento (8) e la fase lunare (10). Lo stato di aggiornamento del meteo è visualizzabile dalla data di ultima sincronizzazione riuscita (9) e dai box di controllo giornalieri (11) i colori bianco, verde, rosso e giallo identificano rispettivamente una sincronizzazione non ancora avvenuta, valida, invalida e fermata per time out.

Toccano l'intera area dedicata al meteo è possibile passare dalla previsione meteo del giorno attuale a quella dei 2 giorni seguenti come mostrato in Figura 31. La nuova schermata mostra le icone delle previsioni meteo per il giorno e la notte (11), il giorno (12), le temperature minime e massime previste (13) e la probabilità di precipitazioni. In caso di condizioni meteo estreme viene visualizzata l'icona di allerta a fianco dell'icona delle previsioni meteo del giorno o della notte a seconda della previsione con allerta.



Figura 31: Sezione meteo giorni seguenti.

In Figura 32 sono indicate le possibili icone meteo e il relativo significato.

Per avere le informazioni meteo complete è necessario lasciare attivo il sistema almeno 1 giorno in modo da coprire tutte le fasce orarie necessarie per raccogliere i dati. Se dovesse saltare la corrente e fossero già stati ricevuti dei dati meteo questi verranno ripristinati al riavvio del sistema a condizione che siano stati ricevuti dati meteo validi per il giorno attuale. Alla mezzanotte i dati meteo vengono portati indietro di 1 giorno in attesa che le nuove previsioni vengano trasmesse.

Giorno	Notte	Descrizione	Giorno	Notte	Descrizione
		Soleggiato / Sereno			Nebbia
		Parzialmente nuvoloso			Nevischio
		Molto nuvoloso			Roveschi
		Coperto			Pioggia leggera
		Temporali			Roveschi di neve
		Pioggia			Temporali di calore
		Neve			Nubi a strati

Figura 32: Icone previsione meteo.

In Figura 33 sono rappresentate le fasi lunari in ordine da 1 a 8: luna nuova, luna crescente, primo quarto, gibbosa crescente, luna piena, gibbosa calante, ultimo quarto e luna calante.



Figura 33: Icone fasi lunari.

Sensori locali	Remoto	18	19	20
Temp. °C	031,48	028,26	032,59	
RH %	036,98	035,16	042,44	
Pre. hPa	1014,6	1014,4	1016,1	
UVA µW	00000	00000	00000	
UVB cmq	00001	00000	00002	
UVI	-00,0	-00,0	00,0	
	15	16	17	

Figura 34: Sezione sensori.

Nell'area riservata ai valori rilevati dai sensori, Figura 34, vengono mostrati i valori attuali (15) di temperatura, umidità relativa, intensità dei raggi UVA e UVB e indice UVI. Nelle due colonne a destra vengono visualizzati i valori minimi (16) e i valori massimi (17) registrati che vengono resettati alla mezzanotte di ogni giorno. Toccando l'intestazione della sezione dei sensori (18) è possibile visualizzare i dati ricevuti dai sensori locali o remoti. Nell'intestazione dei sensori del modulo remoto vengono inoltre mostrate l'icona di connessione con il modulo remoto (19) e

l'icona con il livello della batteria del modulo remoto (20). I valori vengono aggiornati in accordo con le impostazioni dedicate da un minimo di una scansione ogni 5 secondi a un massimo di 1 scansione ogni 30 minuti. I dati vengono aggiornati anche se non ci si trova nella pagina principale e verranno esposti una volta tornati in questa pagina.



Nell'area dedicata alle icone di stato (Figura 35) viene mostrato il segnale WiFi (21) la presenza di connessioni in ingresso (22) e lo stato della registrazione dei LOG (23).

Figura 35: *Icone di stato.*

L'area dedicata ai pulsanti è sempre mostrata sul display, ma i pulsanti cambiano funzione a seconda della pagina in cui ci si trova. Nella pagina principale i pulsanti sono:

- LOG: per avviare la registrazione dei dati rilevati dai sensori o per visualizzare e esportare i dati registrati
- SET: per accedere alle impostazioni di sistema
- STA: per accedere alle statistiche di sistema
- ILL: per spegnere o accendere la retroilluminazione del display.

Impostazioni

Toccano il pulsante SET si accede alle impostazioni, come mostrato in Figura 36 e Figura 37 le impostazioni sono divise in 2 pagine, per passare da una pagina all'altra basta toccare la scritta *pagina 2 ->* o *<- pagina 1*.



Per entrare nelle impostazioni toccare l'impostazione da modificare. In tutte le pagine delle impostazioni i colori delle scritte possono essere:

- BIANCO: valori fissi
- BLU: valori impostabili
- ROSSO: valore impostabile selezionato

È possibile tornare alla pagina principale toccando nuovamente il pulsante *SET*.

Figura 36: *Impostazione modulo - Pagina 1.*

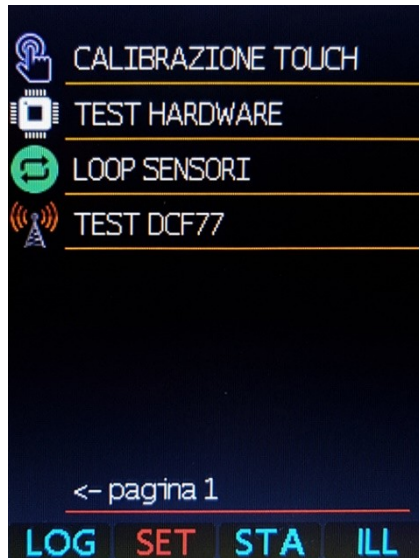


Figura 37: Impostazione modulo - Pagina 2.

Impostazione data e ora manuale

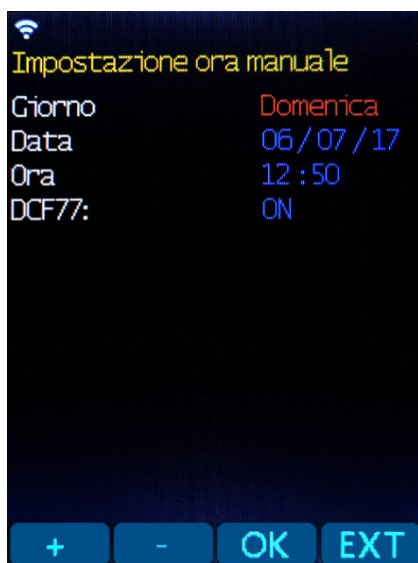


Figura 38: Impostazione data e ora manuale.

Impostazione fuso orario UTC



Figura 39: Impostazioni fuso orario.

per salvare le modifiche toccare il pulsante *OK*.

Per impostare la data e l'ora in modo manuale selezionare la riga *DATA/ORA MANUALE*, nella pagina dedicata, mostrata in Figura 38. Sulla schermata vengono riportati i valori attuali, toccare il valore da modificare e modificarlo toccando i pulsanti + e -. È possibile disabilitare completamente il modulo DCF77 selezionando la riga DCF77 e modificando il valore ON/OFF con i pulsanti + e -. In questo caso non verranno più ricevuti né i dati relativi all'orario né i dati relativi alle previsioni meteo. Per annullare le modifiche toccare il pulsante *EXT*, per salvare le modifiche toccare il pulsante *OK*.

Impostazione regione meteo



Figura 40: Impostazione regione meteo.

Per impostare la regione per le previsioni meteo selezionare la riga *REGIONE METEO*, utilizzare poi i pulsanti + e – per impostare la regione desiderata. In base alla regione selezionata verranno impostati gli orari di ricezione delle previsioni meteo. Per annullare le modifiche toccare il pulsante

EXT, per salvare le modifiche toccare il pulsante *OK*.

Impostazioni sensori



Figura 41: Impostazioni sensori.

Per accedere alle impostazioni dei sensori toccare la riga *SENSORI*. Come mostrato in Figura 41 è possibile impostare il tempo di scansione dei sensori locali e remoti (da 5 secondi a 30 minuti ad intervalli fissi), selezionare se visualizzare la pressione normalizzata al livello del mare o assoluta ed impostare l'altitudine della località attuale per il calcolo della pressione normalizzata (in metri).

Toccare il valore da modificare e modificarlo toccando i pulsanti + e –. Per annullare le modifiche toccare il pulsante *EXT*, per salvare le modifiche toccare il pulsante *OK*. Se è stato modificato il tempo di scansione del modulo remoto verrà chiesto di spegnere e riaccende il modulo per sincronizzare il nuovo parametro di configurazione.

Impostazioni WiFi



Figura 42: Informazioni connessione.

Selezionando la riga *WiFi* si accede alle impostazioni relative alla connessione di rete. In questa pagina, mostrata in Figura 42, vengono visualizzate le informazioni della connessione attuale tra cui il nome della rete (SSID), lo stato della connessione, l'indirizzo IP assegnato dall'access point in caso di connessione valida, lo stato del server e la porta dedicata alla connessione. Toccando la riga *Connessione WiFi* è possibile abilitare o disabilitare la connessione WiFi mentre toccando la scritta *Cerca rete* avrà inizio la procedura per cercare, selezionare e salvare una nuova rete WiFi. Dopo aver toccato la scritta *Cerca rete*, come mostrato in Figura 43 vengono elencate le reti nelle vicinanze, con la relativa intensità del segnale (24) e criptazione (25).



Figura 43: Selezione rete.

RSC oppure annullare la scansione toccando il pulsante *EXT*.

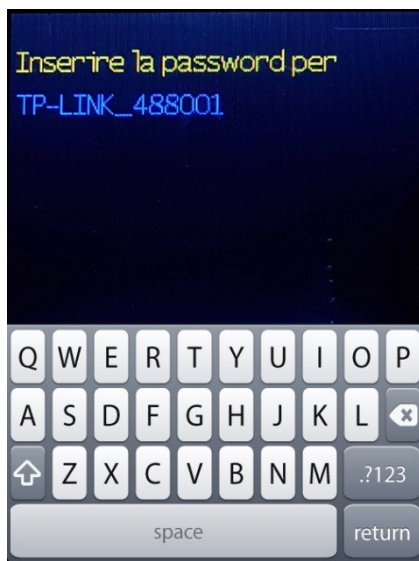


Figura 44: Immissione Password.

Impostazioni luminosità

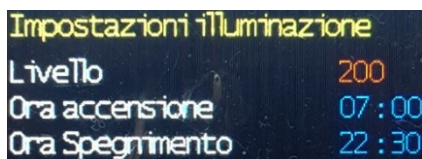


Figura 45: Impostazioni luminosità.

Toccando la riga *LUMINOSITA'* è possibile selezionare il livello della retroilluminazione del display ed impostare l'orario di accensione e spegnimento automatico della stessa (l'accensione e lo spegnimento della retroilluminazione funzionano solo se sul display è visualizzata la pagina principale).

Toccare il valore da modificare e modificarlo toccando i pulsanti + e -. Per annullare le modifiche toccare il pulsante *EXT*, per salvare le modifiche toccare il pulsante *OK*.

Calibrazione Touch screen

Toccando la riga *CALIBRAZIONE TOUCH* è possibile calibrare il touch screen, seguire le istruzioni riportate sul display.

Test Hardware

```

HARDWARE CHECK
HDC1080:  Trovato.
LPS25HB:  Trovato.
VEML6075: Trovato.
24LC1025 B1: Trovato.
24LC1025 B2: Trovato.
ESP8266:  Trovato.
HMTRP:    Fine.
REMOTO:   Trovato.
HDC1080:  Trovato.
LPS25HB:  Trovato.
VEML6075: Trovato.
DCF77:    Trovato.
HKw581:   Decodifica ok.
Buzzer:   OFF
TFT:      Tocca per iniz.

```

Toccando la riga *TEST HARDWARE* viene eseguito il test dell'hardware installato verificando che tutti i sensori e tutti i moduli rispondano correttamente e si verrà guidati anche nel test di comunicazione con il modulo remoto. Un esempio è riportato in Figura 46.

Figura 46: Test Hardware.

Loop Sensori

Toccando la riga *LOOP SENSORI* si entra in una modalità di esposizione continua dei valori rilevati dai sensori il cui tempo di scansione è regolato dal tempo di invio dei dati dal modulo remoto. Questa funzione è utile se si vogliono controllare che i valori dei sensori siano corretti ed in caso apportare delle modifiche ai valori di calibrazione all'interno del Firmware. Per uscire da questo ciclo basta toccare il display.

Test DCF77

Toccando la riga *TEST DCF77* viene visualizzato il segnale rilevato dal modulo di decodifica del segnale DCF77. È possibile utilizzare questa modalità per verificare che il segnale sia pulito ed eventualmente posizionare l'antenna in una posizione migliore in caso di segnale disturbato. Il grafico rappresenta il segnale ricevuto in tempo reale e vengono visualizzati 4 secondi, come visto nel relativo paragrafo il segnale DCF77 è formato da 1 impulso ogni secondo, un segnale pulito sarà quindi formato solamente da 4 impulsi mentre un segnale disturbato avrà più o meno impulsi. In Figura 47 è possibile vedere un esempio di segnale disturbato mentre in Figura 48 è rappresentato un segnale corretto.

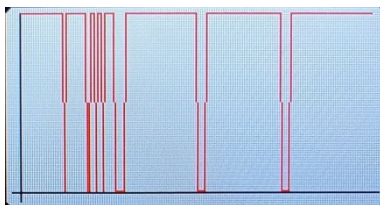


Figura 47: Segnale DCF77 disturbato.

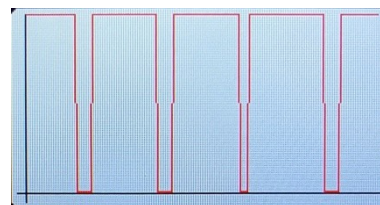


Figura48: Segnale DCF77 corretto.

Sotto al grafico verranno visualizzate le informazioni decodificate in tempo reale ad ogni minuto completo ricevuto

LOG Sensori

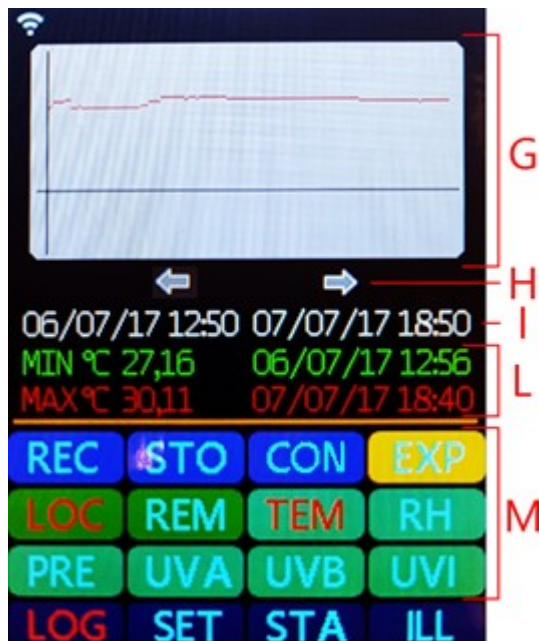


Figura 49: Pagina Log sensori.

dei sensori è legata alla frequenza di scansione dei sensori, locali e remoti, impostati nelle impostazioni dei sensori.

È possibile salvare in memoria fino a 2848 scansioni dei sensori complete di temperatura, umidità, pressione, raggi UVA, UVB ed UVI sia per i sensori remoti che per i sensori locali (totale 5698 record), che significa da 4 ore di registrazione dati ad una frequenza di scansione di 5 secondi ad un massimo di 59 giorni 8 ore e 30 minuti ad una frequenza di scansione di 30 minuti.

Per disegnare i grafici dei dati registrati durante l'ultima registrazione, o durante la registrazione in corso, se non è ancora stata fermata, premere i pulsanti *LOC* e *REM* per selezionare rispettivamente i dati dei sensori locali o remoti, e i pulsanti *TEM*, *RH*, *PRE*, *UVA*, *UVI*, *UVB* per disegnare il grafico nella parte alta del display rispettivamente di temperatura, umidità relativa, pressione, intensità dei raggi UVA, UVB e indice UVI.

Sotto al grafico vengono visualizzati la data di inizio e la data di fine dei valori mostrati (I), i valori minimi e massimi e quando sono stati rilevati (L).

Il grafico mostra solamente 200 campioni, se sono stati registrati più di 200 campioni compariranno 2 frecce (H) sotto al grafico per selezionare i dati successivi o precedenti, verranno aggiornati di conseguenza i valori minimi e massimi rilevati.

Con il pulsante *EXP* è possibile esportare sulla scheda SD i dati registrati durante l'ultima registrazione, o durante la registrazione in corso. I dati verranno salvati in un file CSV nominato *EXPORT.csv*, se il file esiste già sulla scheda SD questo verrà sovrascritto.



Il tempo necessario per esportare i dati potrebbe variare da qualche secondo a massimo 2 minuti a seconda di quanti dati sono stati registrati. Il pulsante *EXP* diventa rosso quando l'esportazione viene avviata e torna normale quando l'esportazione è stata completata.

Statistiche

Attivo da: 24 / 04 / 20 22:21		
DCF77 avv/val:	9	/7
DCF77 validi:	77	%
Meteo avv/val:	5	/5
Meteo validi:	100	%
Conn. avvenute:	22	
Invio RT:	21	
Invio LOG:	0	
Discon. remoto:	0	
LOG SET STA ILL		

Figura 50: Pagina statistiche di sistema.

Premendo il pulsante STA si accede alla visualizzazione delle statistiche di sistema (Figura 50), in particolare è possibile vedere:

- Data e ora di avvio del sistema (prima sincronizzazione).
- Numero di sincronizzazioni DCF77 avviate/valide.
- Percentuale di sincronizzazioni DCF77 valide.
- Numero di sincronizzazioni meteo avviate/valide.
- percentuale di sincronizzazioni meteo valide.
- Numero di connessioni in ingresso via WiFi avvenute.
- Numero di invio dati real time avvenuti via WiFi.
- Numero invio dati log avvenuti via WiFi.
- Numero disconnessioni del modulo remoto.

Connessione Wi-Fi

Per connettere la stazione ad una rete Wi-Fi seguire le istruzioni riportate nella sezione Impostazioni – Wi-Fi. Va precisato che l'access point o il router della rete devono avere il DHCP attivo e devono essere in grado di assegnare un indirizzo IP ai client connessi.

Quando la stazione è connessa ad una rete Wi-Fi questa viene monitorata ogni 30 secondi per verificare che l'access point sia ancora presente, l'icona di stato viene aggiornata di conseguenza. Una volta che la stazione si connette correttamente alla rete selezionata questa si riconnetterà automaticamente nel caso in cui l'access point venga spento e riacceso.

Nel caso in cui la connessione Wi-Fi sia attiva all'avvio, la stazione tenta di connettersi automaticamente all'ultima rete valida connessa. Se la stazione viene accesa quando la rete non è disponibile sarà necessario ricercare manualmente la rete tramite le impostazioni oppure riavviare la stazione quando la rete è disponibile.

In automatico viene creato un server che monitora le connessioni in ingresso, queste possono provenire da terminali telnet, da browser o dall'applicazione fornita con questo progetto. La stazione è in grado di gestire in contemporanea fino a 5 connessioni (limite del modulo ESP8266) rispondendo di volta in volta alla connessione che ha richiesto i dati. Durante la sincronizzazione con il segnale DCF77 il server viene momentaneamente chiuso per evitare connessioni in ingresso che potrebbero bloccare la sincronizzazione.

Per connettersi alla stazione è necessario conoscere l'indirizzo IP assegnato alla stazione; è possibile visualizzare l'indirizzo IP nella pagina delle impostazioni Wi-Fi oppure nelle impostazioni del router o dell'access point. Per avere lo stesso indirizzo IP ad ogni

connessione è possibile impostare il DHCP del router in modo che alla stazione venga assegnato sempre lo stesso indirizzo IP. Per evitare problemi con Firewall le comunicazioni avvengono sulla porta 80.

Se è presente almeno una connessione in ingresso viene visualizzata sul display la relativa icona. Le connessioni vengono chiuse in automatico dopo 3 minuti di inattività.

A connessione avvenuta la stazione si aspetta una richiesta da parte del client e risponde di conseguenza. Le trasmissioni avvengono su protocollo TCP quindi ad ogni invio di dati dalla stazione attraverso la funzione `ESP8266_send_data_over_con()` il client riceverà un pacchetto di dati TCP.

I comandi che la stazione è in grado di interpretare attualmente sono 7:

- Il client invia il comando 0x41 ('A'): la stazione prepara e invia una stringa di dati opportunamente formattati contenente le informazioni in Real Time di data, ora, previsioni meteo e dati rilevati dai sensori. Ad invio concluso la stazione chiude la connessione.
- Il client invia il comando 0x42 ('B'): la stazione invia il LOG dei dati registrati dai sensori installati sulla stazione, se presenti. Al termine della trasmissione chiude la connessione.
- Il client invia il comando 0x43 ('C'): la stazione invia il LOG dei dati registrati dai sensori remoti, se presenti. Al termine della trasmissione chiude la connessione.
- Il client invia il comando 0x44 ('D'): la stazione avvia o ferma la registrazione dei LOG e invia a sua volta il comando 0x44 ('D') ad indicare che il comando è stato ricevuto. In questo caso la connessione non viene chiusa perché ci si aspetta che il client richieda nuovamente la lettura dei dati Real Time per aggiornare l'icona nell'interfaccia grafica. In caso contrario la connessione va chiusa dal client. Ad ogni avvio i dati precedenti vengono cancellati.
- Il client invia il comando 0x45 ('E'): la stazione riprende la registrazione dei LOG senza cancellare i dati precedenti e invia a sua volta il comando 0x45 ('E') ad indicare che il comando è stato ricevuto. Anche in questo caso la connessione non viene chiusa.
- Il client invia il comando 0x46 ('F'): la stazione invia i dati contenuti nel file LOG.txt salvato su scheda SD. La connessione viene chiusa quando tutti i dati sono stati inviati.
- Il client invia il comando 0x47 ('G'): la stazione crea un nuovo file LOG.txt eliminando i vecchi dati e invia a sua volta il comando 0x47 ('G') ad indicare che il comando è stato ricevuto. La connessione viene poi chiusa.

Ad ogni richiesta di trasmissioni Real Time o LOG la stazione invia prima 6 trasmissioni contenenti i fattori di calibrazione e ad alcune impostazioni di funzionamento per permettere al client di effettuare i calcoli utilizzando sempre gli stessi parametri; queste trasmissioni sono indipendenti e il client le riceverà come 6 trasmissioni TCP distinte. A seguire vengono inviati i dati richiesti; per velocizzare l'invio dei dati questi sono inviati così come utilizzati nel Firmware della stazione: i dati di data e ora sono inviati in Packed BCD mentre i dati dei sensori sono inviati così come letti dai sensori (Raw), sarà compito del client decodificare i dati inviati e calcolare i valori da esporre con le formule adatte riportate nei relativi paragrafi.

In Tabella 6 sono riassunti i dati inviati sia per le trasmissioni Real Time che per le trasmissioni dei LOG, in Tabella 7 è rappresentato il pattern dei dati inviati in Real Time mentre in Tabella 8 è rappresentato il pattern dei dati inviati per i LOG. Da precisare che

L'invio dei dati LOG non ha lunghezza fissa, vengono inviati i dati a pacchetti come da pattern indicato, finché ci sono dati da inviare dopodiché la connessione viene chiusa.

Numero della trasmissione TCP	Numero di byte	Formato	Descrizione
1	6~8	Stringa	Fattore di calibrazione temperatura sensore HDC1080 stazione
2	6~8	Stringa	Fattore di calibrazione umidità sensore HDC1080 stazione
3	6~8	Stringa	Fattore di calibrazione temperatura sensore HDC1080 modulo remoto
4	6~8	Stringa	Fattore di calibrazione umidità sensore HDC1080 modulo remoto
5	3~5	Stringa	Altitudine impostata
6	4	Stringa	Byte 1: 0 = pressione assoluta, 1 = pressione normalizzata Byte 2: 0: modulo remoto disconnesso, 1 = modulo remoto connesso Byte 3: Livello batteria Modulo remoto, da 0 a 4 Byte 4: 0 = Registrazione log non attiva, 1 = registrazione log attiva
7			DATI RICHIESTI

Tabella 6: Comunicazione Stazione – Client Wi-Fi.

Numero del byte	Numero di byte	Formato	Valori	Descrizione
0	1	PBCD	0x01 ~ 0x31	Data: giorno
1	1	PBCD	0x01 ~ 0x12	Data: mese
2	1	PBCD	0x00 ~ 0x99	Data: anno
3	1	PBCD	0x00 ~ 0x23	Ora: ore
4	1	PBCD	0x00 ~ 0x59	Ora: minuti
5	1	PBCD	0x00 ~ 0x59	Ora: secondi
6	1	Unsigned char	0 ~ 6	Giorno della settimana (0 = Domenica)
7	1	Unsigned char	1 ~ 15	Previsione meteo giorno 1
8	1	Unsigned char	1 ~ 15	Previsione meteo note 1
9	1	Unsigned char	0 ~ 3	Meteo estremo giorno 1
10	1	Unsigned char	0 ~ 7	Previsione pioggia giorno 1
11	1	Unsigned char	0 ~ 1	Anomalia meteo giorno 1
12	1	Unsigned char	0 ~ 13	Direzione vento giorno 1
13	1	Unsigned char	0 ~ 7	Forza vento giorno 1
14	1	Signed Char	-127 ~ +127	Temperatura minima giorno 1
15	1	Signed Char	-127 ~ +127	Temperatura massima giorno 1
16	1	Unsigned char	1 ~ 15	Previsione meteo giorno 2
17	1	Unsigned char	1 ~ 15	Previsione meteo note 2
18	1	Unsigned char	0 ~ 3	Meteo estremo giorno 2
19	1	Unsigned char	0 ~ 7	Previsione pioggia giorno 2
20	1	Unsigned char	0 ~ 1	Anomalia meteo giorno 2
21	1	Unsigned char	0 ~ 13	Direzione vento giorno 2
22	1	Unsigned char	0 ~ 7	Forza vento giorno 2
23	1	Signed Char	-127 ~ +127	Temperatura minima giorno 2
24	1	Signed Char	-127 ~ +127	Temperatura massima giorno 2
25	1	Unsigned char	1 ~ 15	Previsione meteo giorno 3
26	1	Unsigned char	1 ~ 15	Previsione meteo note 3
27	1	Unsigned char	0 ~ 3	Meteo estremo giorno 3
28	1	Unsigned char	0 ~ 7	Previsione pioggia giorno 3
29	1	Unsigned char	0 ~ 1	Anomalia meteo giorno 3
30	1	Unsigned char	0 ~ 13	Direzione vento giorno 3
31	1	Unsigned char	0 ~ 7	Forza vento giorno 3
32	1	Signed Char	-127 ~ +127	Temperatura minima giorno 3
33	1	Signed Char	-127 ~ +127	Temperatura massima giorno 3
34	1	PBCD	0x01 ~ 0x31	Giorno aggiornamento meteo
35	1	PBCD	0x01 ~ 0x12	Mese aggiornamento meteo
36	1	PBCD	0x00 ~ 0x23	Ora aggiornamento meteo
37	1	PBCD	0x00 ~ 0x59	Minuti aggiornamento meteo
38	2	unsigned int		Temperatura Stazione (HDC1080 raw)

40	2	unsigned int		Umidità Stazione (HDC1080 raw)
42	4	unsigned long		Pressione Stazione (LPS25HB raw)
46	2	unsigned char		UVA Stazione (VEML6075 raw)
48	2	unsigned char		UVB Stazione (VEML6075 raw)
50	2	unsigned char		UVComp 1 Stazione (VEML6075 raw)
52	2	unsigned char		UVComp 2 Stazione (VEML6075 raw)
54	2	unsigned int		Temperatura Modulo remoto (HDC1080 raw)
56	2	unsigned int		Umidità Modulo remoto (HDC1080 raw)
58	4	unsigned long		Pressione Modulo remoto (LPS25HB raw)
62	2	unsigned char		UVA Modulo remoto (VEML6075 raw)
64	2	unsigned char		UVB Modulo remoto (VEML6075 raw)
66	2	unsigned char		UVComp 1 Modulo remoto (VEML6075 raw)
68	2	unsigned char		UVComp 2 Modulo remoto (VEML6075 raw)
70	8	unsigned char		Flag validità meteo 1-8 ognuno con validità da 0 a 3

Tabella 7: Pattern dati Real Time.

Numero del byte	Numero di byte	Formato	Valori	Descrizione
0	1	PBCD	0x01 ~ 0x31	Data: giorno
1	1	PBCD	0x01 ~ 0x12	Data: mese
2	1	PBCD	0x00 ~ 0x99	Data: anno
3	1	PBCD	0x00 ~ 0x23	Ora: ore
4	1	PBCD	0x00 ~ 0x59	Ora: minuti
5	1	PBCD	0x00 ~ 0x59	Ora: secondi
6	2	unsigned int		Temperatura (HDC1080 raw)
8	2	unsigned int		Umidità (HDC1080 raw)
10	4	unsigned long		Pressione (LPS25HB raw)
14	2	unsigned char		UVA (VEML6075 raw)
16	2	unsigned char		UVB (VEML6075 raw)
18	2	unsigned char		UVComp 1 (VEML6075 raw)
20	2	unsigned char		UVComp 2 (VEML6075 raw)

Tabella 8: Pattern dati LOG.

Il Protocollo di comunicazione RF

Come visto nei paragrafi precedenti la Stazione e il Modulo Remoto comunicano tra loro attraverso i moduli HM-TRP 433MHz in maniera trasparente, quindi ogni dato inviato via UART al modulo viene trasmesso al modulo ricevitore che lo invierà al microcontrollore via UART.

Per facilitare l'interpretazione del dato da parte del microcontrollore, ad ogni comando o stringa di dati inviati vengono aggiunti 2 byte costanti di chiusura 0x0D e 0x0A, in questo modo il microcontrollore, alla ricezione di questi 2 byte in sequenza sa che deve interpretare i dati ricevuti fino a quel momento.

Sia la stazione che il modulo remoto possono inviare e ricevere dati, ma il modulo remoto analizza i dati ricevuti solo in fase di avvio, per questo per impostare il tempo di scansione dei sensori e per eseguire il test dell'Hardware, il modulo va spento e acceso quando richiesto dalla stazione.

In questa fase il modulo remoto interpreta gli unici 2 comandi che può ricevere che sono 0xF1 per eseguire il test dell'hardware e 0xF4 per impostare il tempo di scansione dei sensori. Durante il funzionamento normale invece il modulo remoto invia il comando 0xFA

e i dati relativi ai sensori. Il protocollo di comunicazione è riassunto nella Tabella 9.

INVIO E RICEZIONE COMANDO HARDWARE CHECK	
Stazione	Modulo Remoto
Attende il modulo remoto	
	Invia 0xF0, 0x0D, 0x0A ciclicamente per 3 secondi
Interpreta il dato ricevuto e risponde con 0xF0, 0x0D, 0x0A	
Invia il comando 0xF1, 0x0D, 0x0A	
	Interpreta il comando 0xF1 ricevuto e invia i byte di risposta più i 2 byte di chiusura 0x0D, 0x0A
INVIO E RICEZIONE COMANDO SETUP TEMPO SCANSIONE	
Stazione	Modulo Remoto
Attende il modulo remoto	
	Invia 0xF0, 0x0D, 0x0A ciclicamente per 3 secondi
Interpreta il dato ricevuto e risponde con 0xF0, 0x0D, 0x0A	
Invia il comando 0xF4 più il byte di impostazione e i 2 byte di chiusura 0x0D, 0x0A	
	Interpreta il comando 0xF4 e salva il valore ricevuto
INVIO DATI RILEVATI DAI SENSORI	
Stazione	Modulo Remoto
	Invia 0xFA + i byte relativi ai valori dei sensori e i 2 byte di chiusura 0x0D, 0x0A
Interpreta il comando 0xFA e salva i valori ricevuti	

Tabella 9: Protocollo di comunicazione Stazione – Modulo Remoto.

Il programma per la connessione remota

Il programma fornito è un eseguibile per Windows, per avviarlo basta cliccare 2 volte sull'icona MSC.exe. All'apertura il programma tenta subito una connessione alla stazione e se trovata



Figura 51: Schermata Real Time connessione remota.

si presenta come in Figura 51, se la stazione non viene trovata verrà visualizzata la stessa schermata ma senza dati visualizzati, nella riga di stato verrà evidenziato che la stazione non è stata trovata. In questa finestra è possibile inserire l'indirizzo IP della stazione e la porta di comunicazione oltre che selezionare quali dati si vogliono visualizzare: premendo il pulsante *RT* verranno visualizzati i dati in Real Time, premendo il pulsante *VEDI LOG* verranno visualizzati i dati LOG registrati durante l'ultima registrazione mentre premendo il pulsante *ST LOG* è possibile avviare o fermare da remoto la registrazione dei log dei sensori. Con il pulsante *RIPRENDI*, è possibile riprendere la registrazione dei log senza cancellare i dati precedenti. Dopo la prima sincronizzazione dei dati Real Time (all'avvio o dopo aver premuto il relativo tasto) i dati verranno sincronizzati in automatico ogni 60 secondi.

I dati visualizzati in Real Time sono identici a quelli visualizzati sul display della stazione con alcune eccezioni:

- Vengono visualizzate contemporaneamente le informazioni meteo dei 3 giorni, con l'aggiunta di forza e direzione vento per i giorni 2 e 3 che sulla stazione non vengono visualizzati per limiti di spazio.
- Vengono visualizzati i valori dei sensori relativi all'ultima lettura fatta e non vengono visualizzati i minimi e i massimi giornalieri.
 - Le icone di sistema sono posizionate a sinistra dell'orologio e mostrano solamente lo stato di registrazione dei log, lo stato di connessione del modulo remoto la relativa carica della batteria.

Cliccando su *File* -> *Opzioni* è possibile visualizzare i parametri di configurazione della stazione come mostrato in Figura 52. Tali parametri vengono inviati dalla stazione ad ogni sincronizzazione dei dati e non sono, al momento, modificabili da remoto.



Figura 52: *Impostazioni.*

Cliccando su *File* -> *Leggi Log Debug* è possibile leggere il file LOG.txt salvato su scheda SD contenente gli eventi di Debug, come mostrato in Figura 53 è inoltre possibile esportare il file su PC oppure cancellarlo. Come già detto la funzione di

debug deve essere abilitata al momento della programmazione del microcontrollore.

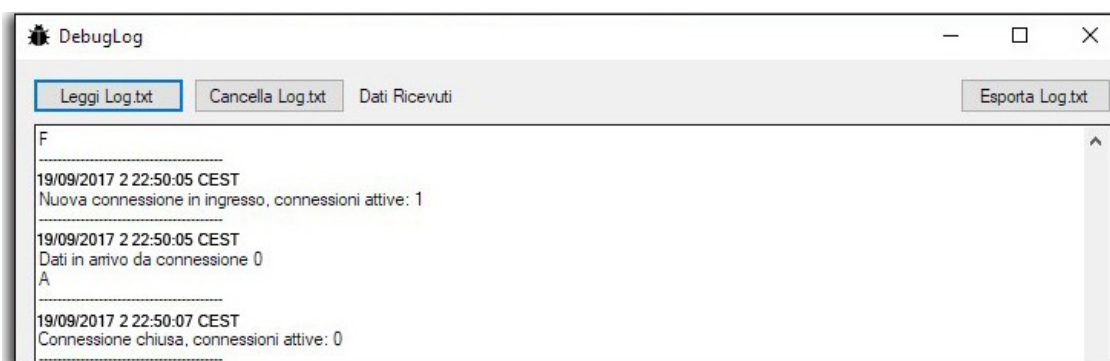


Figura 53: *Debug.*

Nella schermata LOG (Figura 54) è possibile scaricare i log registrati dalla stazione sia dei sensori locali che dei sensori remoti con i rispettivi pulsanti *STAZIONE* e *REMOTO*. Il tempo necessario a scaricare i dati dipende dalla quantità degli stessi, per scaricare l'intera memoria ci vogliono circa 4 minuti (durante questo periodo la stazione rimarrà bloccata per inviare i dati). I dati ricevuti vengono salvati in un file temporaneo e nella tabella vengono mostrati i primi 100 valori. È possibile scorrere i valori con i pulsanti *PAG. PREC.* e *PAG. SUCC.* oppure con il selettore della pagina; per visualizzare più o meno record modificare il campo *Record per pagina*. Contemporaneamente alla visualizzazione in tabella vengono creati i relativi grafici.

Infine cliccando su *File*->*Esporta* è possibile esportare in un file CSV i valori visualizzati oppure l'intero log scaricato.

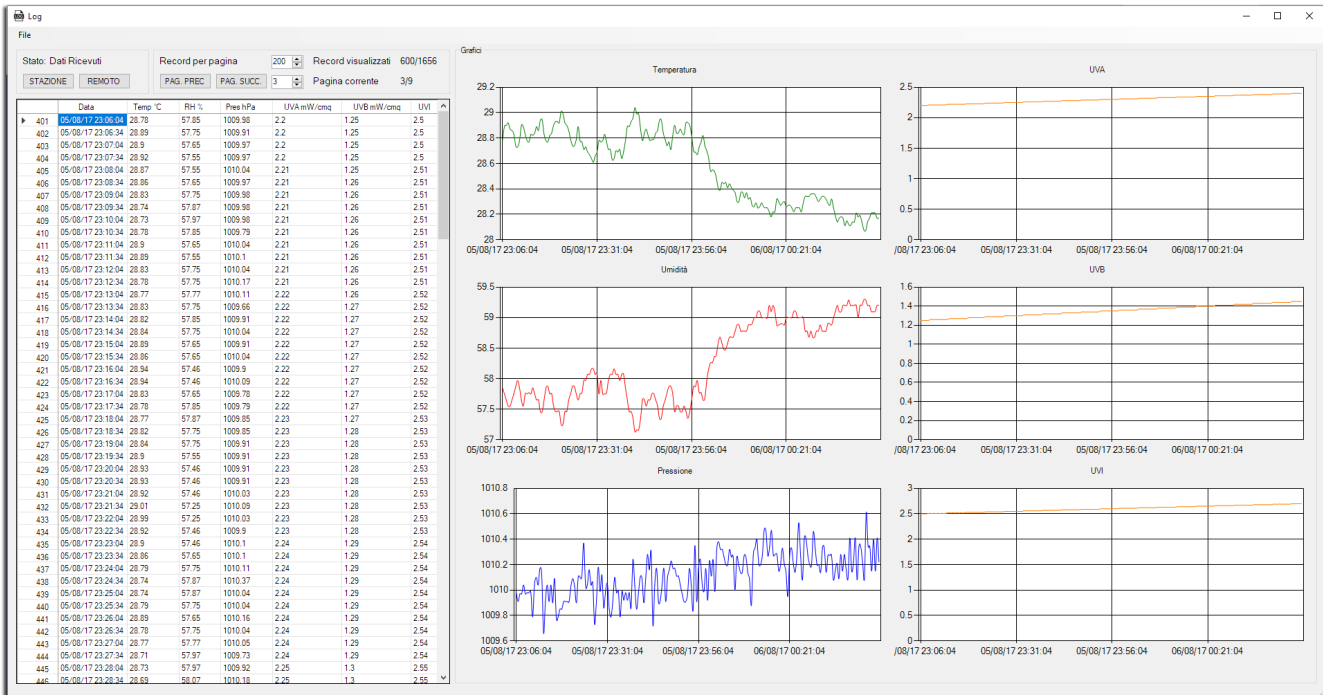


Figura 54: Finestra di visualizzazione LOG.

Per eseguire il programma è necessario avere installato Microsoft .NET 4.5 o successivo. Il programma è stato scritto in Visual C++ (progetto Form Windows) ma i sorgenti non sono allegati al progetto in quanto non sarebbero un buon esempio di programmazione visto che non ho le conoscenze adeguate per scrivere un programma di questo tipo nella maniera più corretta.

Il Firmware

Stazione

Il Firmware è stato scritto in C (XC8 v.2.10 C9x) ed il progetto allegato è stato creato con MPLAB X (v.5.35), l'ottimizzazione scelta privilegia la velocità di esecuzione penalizzando la dimensione del codice compilato, per rientrare nei limiti della memoria del PIC18F67K22 il progetto va compilato in modalità PRO con livello di ottimizzazione impostato su 'S'.

Il progetto utilizza librerie dedicate, a parte la libreria delay.c di Mauro Laurenti (con qualche modifica per adattarla allo stile di scrittura del progetto) e la libreria FatFs descritta al relativo paragrafo.

Per minimizzare gli errori di ricezione dei dati e per far sì che tutti i dati possano essere sempre ricevuti ed interpretati, i vari dati sono ricevuti via interrupt e sono salvati in buffer temporanei dedicati (DCF77, HM-TRP e ESP8266); il ciclo principale controlla in polling se i buffer sono pronti per essere letti indipendentemente dalla pagina visualizzata sul display. Per maggiori dettagli sul programma si può far riferimento ai diagrammi di flusso scaricabili con i file del progetto e al codice stesso.

Sorgenti

- Main.c: corpo principale del programma
- Main.h: configurazioni generali
- Prototipi.h: prototipi di funzioni

Librerie allegate

- DCF77.c: Gestione modulo DCF77
- Delay.c: Cicli di ritardo
- EEPROM.c: Lettura e scrittura EEPROM interna
- EEPROM_I2C.c: Gestione EEPROM I2C
- ESP8266.c: Gestione modulo ESP8266
- ff.c: Libreria FatFs
- HDC1080.c: Gestione sensore HDC1080
- HMTRP.c: Gestione modulo HMTRP
- HKW581.c: Decodifica meteo
- I2C_init.c: Gestione protocollo I2C
- LPS25HB.c: Gestione sensore LPS25HB
- RTCC_PIC18F6x_8x.c: Gestione RTCC interno
- SPI_init.c: Gestione protocollo SPI
- TFT_ILI9325.c: Gestione Display TFT
- USART_init.c: Gestione protocollo UART
- VEML6075.c: Gestione sensore VEML6075
- XPT2046.c: Gestione touch screen

Tutte le librerie sono formate da 3 file: il file xxx.c che contiene il codice delle funzioni, il file xxx.h che contiene i parametri standard di funzionamento, la documentazione e i prototipi delle funzioni e il file xxx_settings.h che contiene i parametri impostabili dall'utente specifici per il progetto.

All'interno del file Main.h si possono personalizzare i parametri di calibrazione dei sensori mentre nel file Graphics_def.h è possibile personalizzare le posizioni e i colori delle scritte su display.

Modulo remoto

Il Firmware è stato scritto in C (XC8 v.2.10 C9x) ed il progetto allegato è stato creato con MPLAB X (v.5.35). Per maggiori dettagli sul programma si può far riferimento ai diagrammi di flusso scaricabili con i file del progetto e al codice stesso.

Sorgenti

- Main.c: corpo principale del programma
- Main.h: configurazioni generali
- Prototipi.h: prototipi di funzioni

Librerie allegate

- Delay.c: Cicli di ritardo
- EEPROM.c: Lettura e scrittura EEPROM interna
- USART_init.c: Gestione protocollo UART
- I2C_init.c: Gestione protocollo I2C
- HMTRP.c: Gestione modulo HMTRP
- HDC1080.c: Gestione sensore HDC1080
- LPS25HB.c: Gestione sensore LPS25HB
- VEML6075.c: Gestione sensore VEML6075

Tutte le librerie sono fornite da 3 file: il file xxx.c che contiene il codice delle funzioni, il file xxx.h che contiene i parametri standard di funzionamento, la documentazione e i prototipi delle funzioni e il file xxx_settings.h che contiene i parametri impostabili dall'utente specifici per il progetto.

All'interno del file main.h si possono personalizzare alcuni parametri:

- I livelli di soglia (threshold) per il convertitore A/D che determinano i livelli della batteria tramite costanti VBAT_Lx.
- La calibrazione del sensore di pressione tramite costante LPS25HB_ONE_POINT_CAL.
- I secondi in cui il modulo invia il comando 0xF0 in attesa di una risposta dalla stazione tramite costante TIMEOUT_SETTINGS.

Analisi dei costi

Nella Tabelle sono riportati i costi dei componenti e dei PCB relativi alla stazione e modulo remoto. Da questi sono esclusi eventuali costi di spedizione che possono essere più o meno elevati a seconda della provenienza e materiali vari utilizzati durante lo sviluppo.

Costi Stazione	Q.tà	€
24LC1025	1	€ 3,87
77.5KHz antenna	1	€ 3,00
868MHz Antenna	1	€ 2,33
BC817	1	€ 0,15
Buzzer	1	€ 1,00
Condensatori	33	€ 3,02
Connettore Jack DC	1	€ 1,00
Connettore SD	1	€ 2,00
Connettore SMA Antenna 433MHz	1	€ 1,66
Connettori 2,54mm	10x4	€ 4,00
Connettori 2mm F	10x5	€ 6,95
Connettori 2mm M	10x2	€ 0,69
EM6DCF3V	1	€ 8,95
ESP8266 Module	1	€ 3,15
HDC1080DMBR	1	€ 6,50
HKW581	1	€ 10,00
HM-TRP 433	1	€ 7,62
LM1085 3.3V	2	€ 6,72
LPS25HB	1	€ 4,62
MRA4003	2	€ 0,15
NFE31PT101	4	€ 3,25
PIC18F67K22-I/PT	1	€ 5,48
Quarzo32.768Hz	1	€ 1,81
Resistenze	16	€ 0,41
TFT HY28B	1	€ 12,00
TPD2E007	9	€ 5,62
VEML6075	1	€ 3,51
PCB		€ 10,00
TOTALE		€ 109,46

Costi Modulo remoto	Q.tà	€
868MHz Antenna	1	€ 2,33
Condensatori	9	€ 1,23
Connettore SMA Antenna 433MHz	1	€ 1,66
Connettori 2,54mm	3x10	€ 3,00
Connettori 2mm F	1x10	€ 1,39
Connettori 2mm M	1x10	€ 0,69
DS1608C 4,7 uH	1	€ 1,49
HDC1080DMBR	1	€ 6,50
HM-TRP 433	1	€ 7,62
Interruttore ESB-30B102	1	€ 0,96
LED	1	€ 0,30
LPS25HB	1	€ 4,62
LTC3528		€ 5,55
MRA4003	2	€ 0,15
NFE31PT101	2	€ 1,63
PIC18F26K22-I/PT	1	€ 3,75
Resistenze	11	€ 0,26
TPD2E007	6	€ 3,75
VEML6075	1	€ 3,51
PCB		€ 10,00
TOTALE		€ 58,06

Tabella 10: Tabella riassuntiva dei costi.

Prossimi aggiornamenti

I prossimi aggiornamenti Firmware prevedono:

- Gestione allarmi in base a giorni/orari prestabiliti.
- Esportazione LOG in CSV automatica giornaliera.
- Tutte le impostazioni della stazione gestibili da remoto tramite programma da PC.
- Varie idee...

Analisi finale

La scelta di componenti SMD ha permesso la realizzazione di un circuito compatto soprattutto per quanto riguarda il modulo remoto e grazie alla realizzazione del PCB in modo “industriale” anche le dimensioni delle piste e delle piazzole sono rimaste minime ma di ottima qualità.

La scelta del posizionamento dei sensori di temperatura sopra agli LDO non è stata ottimale, il calore prodotto dai regolatori infatti tende a propagarsi nel PCB e nell’aria andando verso l’alto e alzando un poco le temperature rilevate del sensore HDC1080. L’effetto è stato comunque contenuto riducendo il voltaggio in ingresso ed isolando il più possibile gli LDO inserendo un divisore di plastica nello slot sul PCB.

Il segnale DCF77 inoltre si è rivelato particolarmente “fragile” e soggetto ad interferenze esterne che ne potrebbero compromettere l’utilizzo; probabilmente se dovessi ripartire da capo eviterei questa tecnologia e affiderei la sincronizzazione di ora e meteo al modulo WiFi.

Per ridurre ulteriormente le dimensioni sarebbe possibile eliminare i moduli ESP8266 e HM-TRP e integrarne direttamente i componenti sul PCB.

Allegati

- PDF schemi e PCB
- File Gerber per produzione PCB (sono disponibili PCB su richiesta).
- File Hex firmware stazione V 1.3 e modulo remoto V 1.0.
- File da caricare su scheda SD (senza cartella)
- Progetti MPLAB X 3.65, XC8 1.43 e relativi sorgenti

Indice Alfabetico

2			
	24LC1025.....	30	
A			
	access point.....	20	
	ADS7843.....	17	
	ALRMCFG.....	28	
	ALRMEN.....	28	
	ALRMPTR.....	28	
	ALRMRPT.....	28	
	AM.....	8	
	AMASK.....	28	
	Amplitude Modulation.....	8	
	Annuncio leap second.....	9	
C			
	CHIME.....	28	
	comandi AT.....	19	
D			
	DCF77.....	11, 26, 30, 59 e seg.	
	delay.c.....	59	
	Device Address.....	21	
	Display.....	60	
E			
	EECON2.....	27	
	EEPROM.....	30, 60 e seg.	
	EM6DCF3V.....	30	
	EMI.....	30	
	ESP-01.....	19	
	ESP8266.....	19, 31, 59 e seg.	
	Esperssif Systems.....	19	
	extreme weather.....	12	
F			
	FatFs.....	59 e seg.	
	firmware.....		
	Address Counter.....	15	
	Driver Output Control.....	15	
	Entry Mode.....	15	
	Entry Mode.....	16	
	GRAM Address.....	16	
	Horizontal and vertical RAM address.....	16	
	TFT_ILI9325.c.....	17	
	Write data to GRAM.....	16	
	Firmware.....	59	
	formato BCD.....	8	
	Francoforte.....	8	
H			
	HALFSEC.....	27	
	HAOYU Electronics.....	14	
	HDC1080.....	21, 30, 60 e seg.	
	HKW EM6.....	8	
	HKW581.....	11 e seg., 30	
	HM-TRP.....	31, 59	
	HM-TRP 433MHz.....	31	
	HMTRP.....	60 e seg.	
	HY28B.....	14	
I			
	I2C.....	24, 60 e seg.	
	ILI9325.....	14, 60	
L			
	LPS25.....	30	
	LPS25HB.....	23, 60 e seg.	
M			
	Microsoft .NET 4.5.....	59	
	Minute Mark.....	8 e seg.	
	modulazione AM.....	8	
	MPLAB X.....	59 e seg.	
N			
	NFE31PT.....	30	
	NONOS_SDK.....	19	
O			
	OPLGA.....	24	
P			
	PADCFG1.....	27	
	Password.....	20	
	PCF8563.....	26, 30	
	PIC18F67K22.....	26, 59	
	POWER DOWN.....	31	
R			
	RTCC.....	26, 30, 60	
	RTCCAL.....	27	
	RTCCFG.....	27	
	RTCEN.....	27	
	RTCOE.....	27	
	RTCPtr.....	27	
	RTCVALH.....	27	
	RTCVALL.....	27	
	RTCWREN.....	27	
	RTSECCSEL.....	27	
S			
	Soft AP.....	20	
	SSID.....	20	
	ST microelectronics.....	23	
T			
	TFT.....	14, 60	
	Touch Screen.....	14	
U			
	UART.....	31, 61	
	UVA.....	24, 30	
	UVB.....	24, 30	

V			Wi-Fi.....19, 31
VEML6075.....24, 30, 60 e seg.	X		
VISHAI.....24		XC8.....59 e seg.	
Visual C++.....59		XPT2046.....14, 17	
W			

Bibliografia

- [1] www.LaurTec.it: sito ufficiale dove scaricare i file di progetto e software descritti nell'articolo.
- [2] http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html: Libreria FAT utilizzata nel progetto.

History

Data	Versione	Autore	Revisione	Descrizione Cambiamento
25/04/20	1.2	Ivo Colleoni	Mauro Laurenti	Aggiornamento FW versione 2.3, nuova pagina statistiche, nuovi indicatori di ricezione dati meteo validi.
11/03/18	1.1	Ivo Colleoni	Mauro Laurenti	Aggiornamento FW versione 1.5. Correzioni del testo.
01/02/18	1.0	Ivo Colleoni	Mauro Laurenti	Versione Originale.