



Università degli Studi di Trento

**Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Progettazione Sistemi Elettronici
Titolare del Corso: Ing. Michele Corrà**

RELAZIONE FINALE DEL CORSO

**Studente: Andrea Cardone
Matricola: 185096**

Anno Accademico 2019/2020

Indice

Introduzione	3
Descrizione PCB e componenti	4
Schema di flusso di progetto	6
Processo produttivo	8
Secifiche scheda prototipo	9
Progettazione CAD schematico	10
Progettazione CAD PCB layout	25
Assemblaggio in laboratorio	29
Programmazione firmware	30
Approfondimenti	31

INTRODUZIONE

In questa relazione verranno presentati gli argomenti trattati durante il corso.

Nella prima parte viene descritto in generale cos'è una PCB, seguita dalla descrizione delle varie tipologie di componenti. Verrà inoltre esposta la sequenza generale di progetto, infine la parte di post processing e le principali tecniche produttive.

Nella seconda parte verrà esposto tutto ciò che riguarda la scheda prototipo: la progettazione dello schematico, la realizzazione dei files Gerber, il montaggio dei componenti e l'importazione del firmware.

Infine verrà proposto un approfondimento riguardo la protezione di un circuito rispetto ai transitori di tensione e corrente potenzialmente dannosi.

DESCRIZIONE PCB E COMPONENTI

Il circuito stampato, detto PCB (Printed Circuit Board), è il supporto sul quale viene realizzato il sistema elettronico. Esso ha tre funzioni principali:

1. supporto meccanico per i componenti della scheda
2. garantire le connessioni elettriche tra i componenti
3. permettere la dissipazione del calore

Per questi motivi viene realizzato assemblando strati di materiale dielettrico isolante, solitamente in vetroresina (il più comune è FR4), che funge da supporto meccanico e che ha il compito di dissipare il calore, alternati a strati conduttori in rame. Su questi strati metallici verranno create le piste e le pad.

In base alle specifiche di progetto si possono scegliere substrati rigidi o flessibili e con le caratteristiche termiche adatte riguardo a dissipazione e temperatura d'esercizio dell'elettronica. Il numero di strati conduttori (layers) viene scelto anch'esso in base alle specifiche di progetto, in particolare in base alla complessità del circuito, dimensioni del PCB, costi...

Un PCB può essere:

- *single-layer*; se ha un solo strato conduttivo, spesso utilizzato per schede piuttosto semplici.
- *double-layer*; se presenta due layer, detti *top* e *bottom*.
- *multi-layer*; quando il PCB ha più di due strati conduttori, questi strati sono sempre di numero pari.

Elementi di un PCB

- **Pad**: sono delle “piazzole” nelle quali vengono saldati i pin e i reofori dei componenti alla scheda, hanno la funzione di garantire la connessione, fornire il supporto meccanico, inoltre sono coinvolti nella dissipazione del calore dovuto al riscaldamento del componente stesso. I pad possono essere di due tipi in base alla tecnologia del componente (SMD o TH). Inoltre, nel caso sia necessaria una migliore dissipazione del calore da parte del supporto, il pad può essere dotato di *thermal relief*, caratterizzato dalla connessione della piazzola al piano di massa. Questo accorgimento aumenta la trasmissione del calore tra il componente e il supporto, conseguenza negativa è una maggior difficoltà nel processo di saldatura.
- **Fori**: vengono praticati sul PCB e possono servire per ragioni meccaniche (montaggio), oppure per il montaggio di componenti TH, in questo caso i fori vengono metallizzati internamente tramite un processo di deposizione, ciò rende migliore la connessione tra i reofori e il pad.
- **Vias**: sono dei piccoli fori placcati che hanno lo scopo di collegare le piste giacenti su diversi layers del PCB, rendendo più agevole la disposizione dei componenti durante lo sbroglolio circuitale. Le vias possono essere di tre tipi: *pass-through*, se collegano i layers top

e bottom; *blind*, se collegano il top o il bottom ad un layer interno; *buried*, se collegano dei layers interni, a differenza delle precedenti quest'ultime non sono visibili dall'esterno.

- **Soldermask:** strato di vernice protettiva che viene applicata alla scheda, la quale ha il compito di proteggere il circuito stampato da graffi e dall'ambiente esterno.
- **Piste:** sono i collegamenti elettrici che connettono i componenti della scheda, in seguito verrà descritto come vengono create. Le piste possono presentare *teardrops*, i quali non sono altro che dei raccordi che hanno lo scopo di ridurre lo stress meccanico nel punto di contatto tra la pista e il pad o la via.

In base alla tecnologia dei componenti i PCB posso dividersi in:

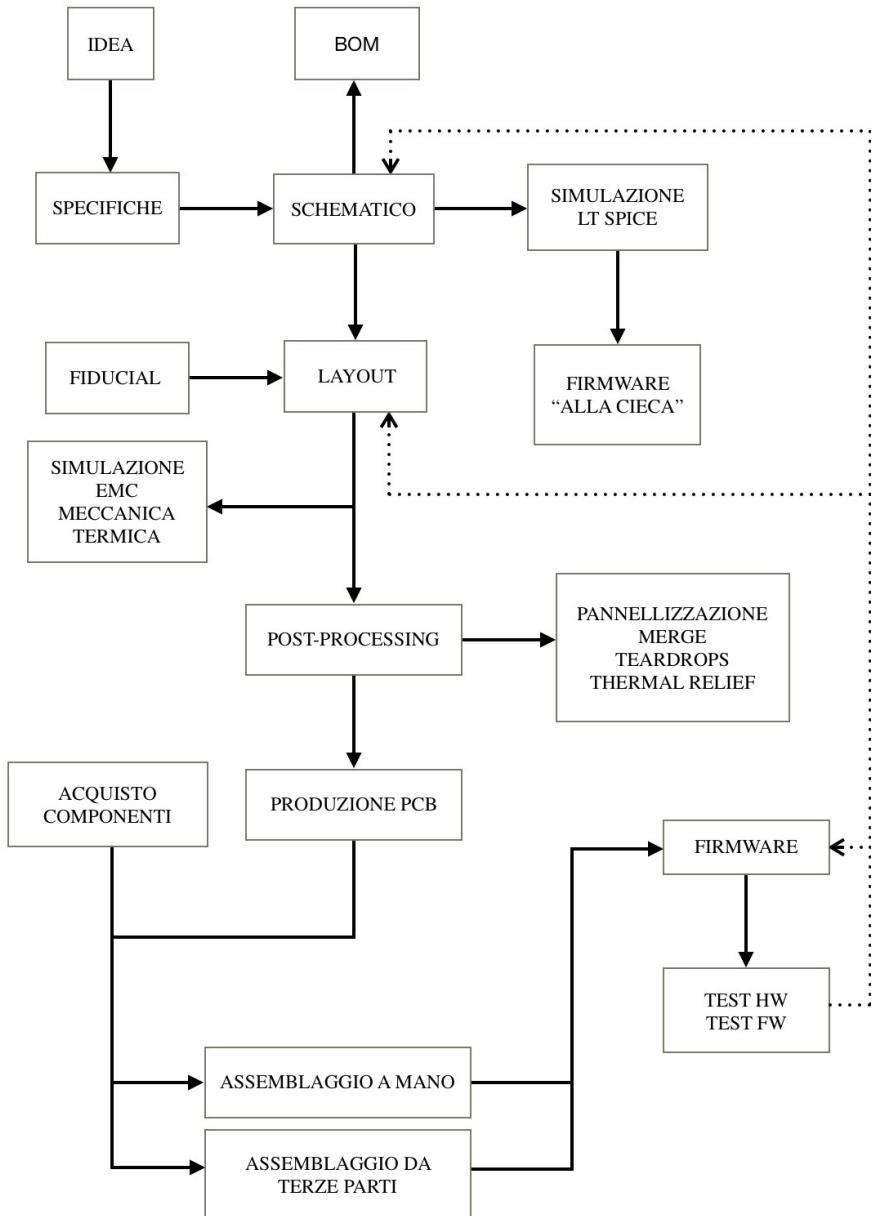
- **THT, Through-Hole Technology**, in queste schede i reofori e i pin dei componenti vengono inseriti in determinati fori e saldati dalla parte opposta della scheda.
- **SMT, Surface-Mount Technology**, con questa tecnologia i pin dei componenti chiamati SMD, *Surface-Mount Device*, vengono saldati dalla stessa parte dalla quale vengono posizionati gli stessi componenti.

I PCB possono presentare entrambe le tecnologie di componeti in base alle necessità di progetto.

I componenti di una scheda elettronica possono essere:

- **Through-Hole:** componenti tradizionali dove i reofori e i pin dei componenti vengono inseriti in determinati fori e saldati dalla parte opposta della scheda
- **Surface-Mount Device (SMD):** vengono saldati dalla stessa parte nella quale vengono posizionati gli stessi componenti. I principali vantaggi sono: la riduzione della dimensione dei componenti, la possibilità di montarli su entrambe le facce riducendo notevolmente le dimensioni della scheda e l'opportunità di una notevole automazione dei processi produttivi. Sono presenti diversi tipi di componenti a montaggio superficiale come i *Ball Grid Array (BGA)*, *Quad-Flat no-leads (QFN)*, *Land Grid Array (LGA)*

SCHEMA DEL FLUSSO DI PROGETTO



Partendo dall’idea si determinano le specifiche della scheda. Una volta fatto ciò si procede con la creazione dello schematico, quindi la progettazione del circuito e la scelta dei componenti. Da questo punto si può ottenere la BOM (Bill Of Materials), si può procedere con la simulazione del circuito e con la scrittura del firmware “alla cieca”, in quanto avverrà in contemporanea con la restante parte di progettazione. Quindi si può passare alla creazione del layout con l’inserimento di fiducial (necessari per la parte del montaggio automatizzato dei componenti) e alle simulazioni meccanica, termica e di compatibilità elettromagnetica (EMC). Segue la fase di post-processing, nella quale viene ultimata la progettazione della PCB prima della produzione. Una volta prodotta la PCB e acquistati i componenti si procede all’assemblaggio, a mano o automatizzato. Infine viene scritto il firmware, se non è già stato scritto, e vengono fatti i test hardware e software. Nel caso venissero riscontrati

malfunzionamenti, hardware o software, se ne individuerà la causa e si cercherà una soluzione, per poi verificare il corretto funzionamento.

Post-Processing

Una volta fatto il layout della scheda si procede con la parte di post-processing. Essa include l'elaborazione delle piste con teardrops, cioè con raccordi tra le tracce e pad o vias e l'inserimento dei thermal relief dei pad connessi ai piani di massa.

Inoltre può essere fatto il merge di varie schede in modo da ottimizzare il processo produttivo. La pannellizzazione o quadrottatura è simile al merge soltanto che viene riprodotta più volte la stessa scheda. Nella pannellizzazione è disponibile la fresatura a V (V-scoring) tra le schede, inoltre è presente una banda laterale, chiamata bandella tecnica, che serve per le macchine di montaggio: tramite la verifica ottica vengono montati i componenti sulle schede che hanno il pallino visibile sulla bandella. Nell'operazione di post-processing vengono inseriti anche i fiducial, cioè degli elementi grafici che servono alla macchina di pick-and-place per allinearsi alla scheda e conoscere il corretto orientamento, difatti i fiducial devono essere di interpretazione univoca. I fiducial possono essere anche posizionati nelle vicinanze di particolari componenti che richiedono una maggior precisione nel montaggio e quindi un riallineamento locale della macchina.

PROCESSO PRODUTTIVO

Un PCB viene solitamente prodotto attraverso diverse fasi che, al giorno d'oggi, possono essere completamente automatizzate. In seguito vengono riportati gli step che portano alla realizzazione di un PCB e il successivo assemblaggio dei componenti.

Produzione PCB

- Preparazione del materiale grezzo, generalmente FR4 ramato da entrambe le parti
- Realizzazione dei fori attraverso dispositivi laser o anche meccanici
- Deposizione del rame nei fori
- Posizionamento della pellicola fotosensibile che riproduce le zone conduttrive dei layers esterni, questi sono riprodotti al positivo, difatti le zone conduttrive sono ricoperte di inchiostro
- Illuminazione della pellicola con luce UV, vengono polimerizzate solo le zone non coperte da inchiostro
- Eliminazione della pellicola fotosensibile non polimerizzata con una soluzione alcalina
- Deposizione del rame attraverso un processo galvanoplastico con una successiva deposizione di stagno che servirà per proteggere il rame nel successivo step
- Rimozione del rame in eccesso tramite un bagno in soluzione acida
- Ispezione ottica per valutare la coerenza tra i files Gerber e l'immagine del circuito
- Applicazione della solder mask, cioè di una vernice che serve per proteggere il circuito
- Ulteriori trattamenti superficiali, come il placcaggio con oro o argento e il livellamento dei pad con aria calda
- Stampaggio della silkscreen sulla scheda
- Test di condutività elettrica delle tracce del PCB
- Fresatura a V (V-scoring) per poter togliere comodamente la scheda dal pannello

Ora il circuito stampato è pronto, per la realizzazione finale della scheda non resta che acquistare i componenti e assemblarli, questo procedimento può essere manuale o automatico. L'assemblaggio manuale verrà illustrato nella sezione riguardante l'esperienza in laboratorio.

Assemblaggio automatico

I componenti THD e SMD seguono procedure diverse per il processo di saldatura.

- I componenti THD possono essere saldati “ad onda” (wave-soldering): la scheda con i componenti montati viene fatta passare sopra la cresta di un’onda stazionaria di lega saldante fusa. Se non è possibile saldare dei componenti con questa tecnica il processo viene eseguito a mano.
- Per i componenti SMD la procedura di assemblaggio consiste nell'applicare la pasta saldante (solder paste) sui pad utilizzando uno stencil, in seguito sono posizionati i componenti sui relativi pad con le macchine pick-and-place, infine la scheda viene messa in particolari forni (reflow oven), dove avviene la saldatura dei componenti.

SPECIFICHE SCHEDA PROTOTIPO

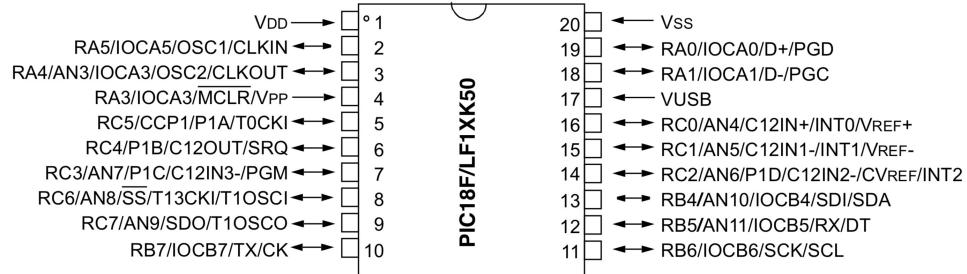
La scheda prototipo è stata pensata in modo da poter ricevere segnali di input da un encoder o da un potenziometro e da due pulsanti. Inoltre sono stati previsti un sensore di temperatura e di luce, quindi sarà necessario la conversione AD dei relativi segnali. Come output sulla scheda sono stati inseriti due led, uno verde e uno rosso, e un buzzer. In aggiunta si è pensato alla possibilità di aggiungere delle espansioni per la comunicazione UART e I²C per eventuali periferiche. Quindi è necessario un microcontrollore che possa gestire questi output e input. Per la sua programmazione, visto l'utilizzo come scheda prototipo, è stato aggiunto il connettore ICSP. Infine per l'alimentazione e il trasferimento dei dati si può utilizzare un connettore USB o Mini USB.

Nella seguente parte di progettazione dello schematico verranno analizzati questi componenti scelti per la scheda prototipo:

- Microcontrollore
- Sensore di temperatura
- Sensore di luce
- Pulsanti
- Led
- Buzzer
- Encoder
- Oscillatore
- Alimentazione Mini USB
- Connnettore ICSP
- Espansioni

PROGETTAZIONE CAD SCHEMATIC

MICROCONTROLLORE



Il microcontrollore utilizzato nella scheda è il PIC18F14K50 che presenta le seguenti caratteristiche principali:

Interfaccia USB V2.0

Architettura RISC: architettura ottimizzata per il compilatore C, 256 bytes EEPROM, memoria flash 16 kbytes

Struttura oscillatore: blocco oscillatore interno da 16 MHz, frequenze selezionabili via software da 31 kHz a 16 MHz, modalità a quattro cristalli (fino a 48 MHz), modalità clock esterno (fino a 48 MHz)

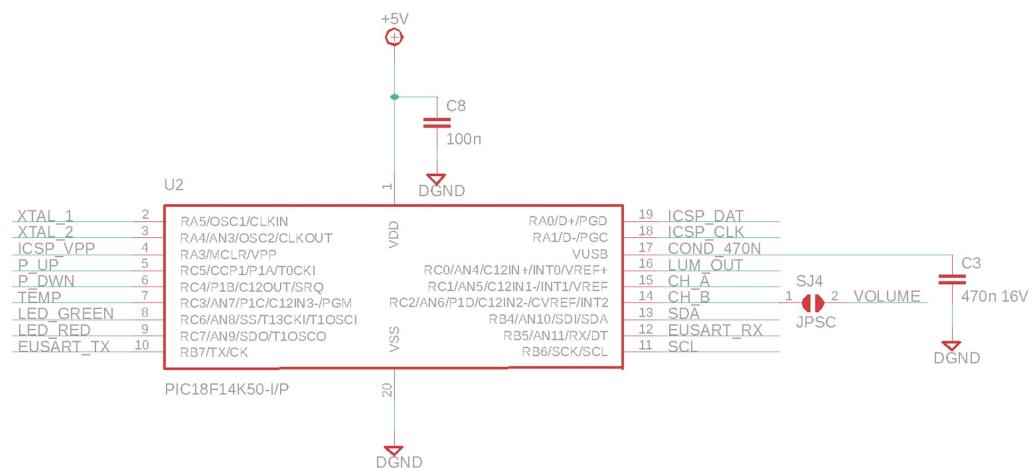
Caratteristiche speciali: operazioni a 5.5 V, Watchdog timer esteso (da 4 ms a 131s), Brown-out reset programmabile

Nano Watt XLP: sleep mode (24 nA), Watchdog timer (450 nA), oscillatore Timer1 (790 nA a 32 kHz)

Caratteristiche analogiche: ADC con risoluzione a 10 bit, conversione possibile durante sleep mode, canale interno FVR a 1.024 v, FVR programmabile (1.024 V, 2.048 V, 4.096 V)

Caratteristiche periferiche: 14 I/O pin e un input-only pin, alimentazione a 25 mA, modulo CCP, modulo MSSP (I²C), modulo EUSART

Schema circuitale

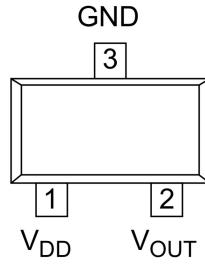


- sezione circuitale del microcontrollore

Di seguito vengono riportate le connessioni dei pin

- 1 Vdd connesso all'alimentazione di +5 V, connessione a massa con un condensatore di disaccoppiamento da 100 nF
- 2, 3 XTAL_1, XTAL_2: connessi all'oscillatore ceramico per il segnale di clock esterno
- 4, 18, 19 ICSP_VPP, ICSP_CLK, ICSP_DAT: collegati al connettore ICSP
- 5, 6 P_UP, P_DWN: collegati ai pulsanti
- 7 TEMP: collegato al sensore di temperatura (segnale analogico)
- 8, 9 LED_GREEN, LED_RED: connessi ai led
- 10, 12 EUSART_TX, EUSART_RX: connessi all'espansione UART
- 11, 13 SCL, SDA, linee seriali per l'espansione I²C
- 14, 15 CH_B, CH_A: connessi ai due canali dell'encoder o al potenziometro (CH_B)
- 16 LUM_OUT: collegato al sensore di luce (segnale analogico)
- 17 COND_470N: per connettere il condensatore esterno al regolatore di tensione interno
- 20 Vss, connesso alla massa digitale

SENSORE DI TEMPERATURA



Il sensore di temperatura utilizzato è il MCP9700A. Si tratta di un termistore lineare attivo integrato, che converte la temperatura in tensione analogica. A differenza dei sensori resistivi il MCP9700A non necessita di un circuito di condizionamento del segnale e può essere direttamente connesso all'ADC, nel nostro caso da 10 bit. Inoltre questa famiglia di sensori è immune agli effetti delle capacità parassite, ciò rende più flessibile il layout della PCB, con la possibilità di posizionare il sensore vicino al microcontrollore. Se si vuole misurare la temperatura dell'ambiente è consigliabile praticare dei fori sulla scheda attorno al sensore in modo che sia il meno possibile influenzato dalla temperatura della scheda. Avendo una tensione di alimentazione positiva il segnale analogico può essere solamente positivo, quindi la caratteristica statica del sensore ha un offset di 500 mV per permettere la misura di temperature negative. Considerando un applicazione in domotica si può ipotizzare di avere un intervallo di temperature tra -20 °C a 50 °C. Quindi si avrà all'output del sensore delle tensioni che vanno da 0.25 V a circa 1 V, di conseguenza la tensione di riferimento migliore per l'ADC risulta essere di 1.024 V.

Il componente è stato scelto in versione SMD con il package SOT23.

Caratteristiche principali

Tensione di alimentazione tra 2.3 a 5.5 V

6 uA di consumo di corrente

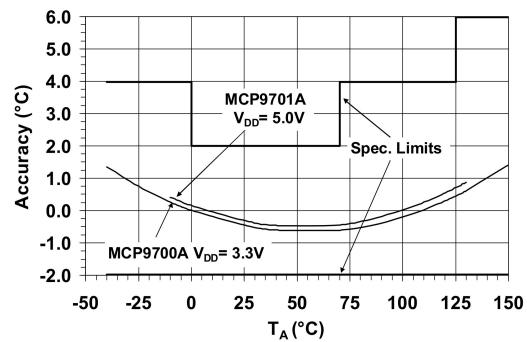
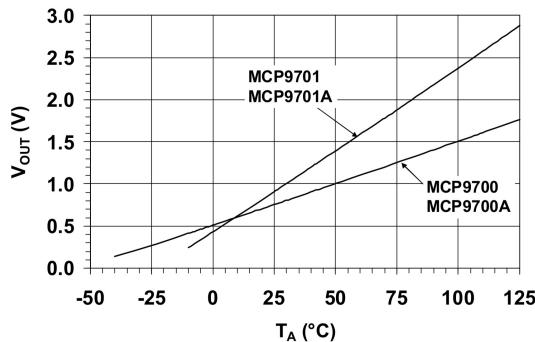
Range di temperatura misurata tra - 45 °C a 125 °C +- 1°C

Tensione di output a T = 0°C: 500 mV

Sensibilità del sensore di temperatura: 10 mV/°C

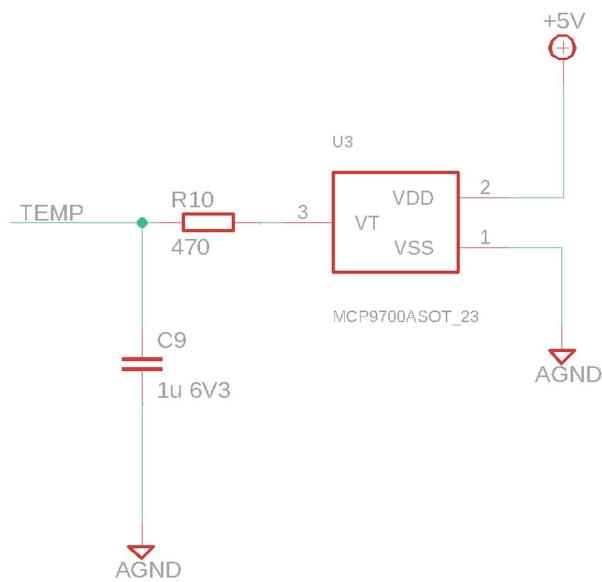
Resistenza termica: 308 °C/W

In seguito vengono riportati i grafici della caratteristica statica dell'uscita del sensore (a sinistra) e l'accuratezza in funzione della temperatura (a destra).



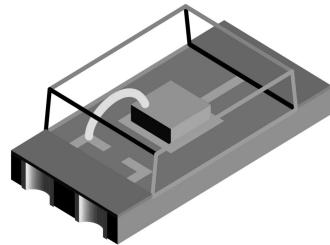
Schema circuitale

Il sensore di temperatura viene connesso all'alimentazione di +5 V e alla massa analogica. Il segnale in uscita viene filtrato da un filtro passivo passa-basso costituito da una resistenza da 470Ω e da un condensatore da $1 \mu\text{F}$, avente una frequenza di taglio di 338 Hz. Il sensore di temperatura è collegato al pin n° 7 del microcontrollore, dotato di ADC per la conversione del segnale.



- sezione circuitale del sensore di temperatura

SENSORE DI LUCE

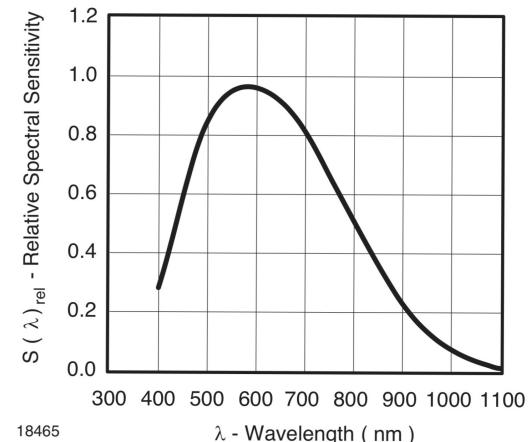
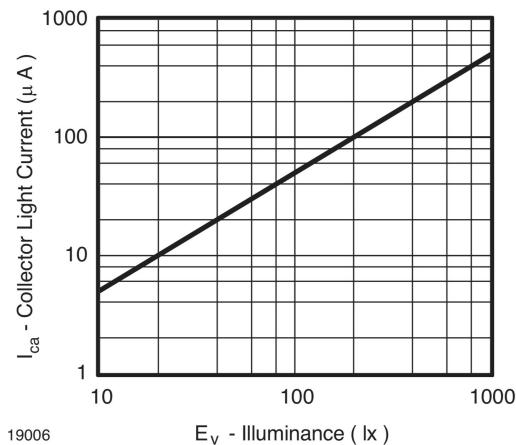


Il TEMT600 è un fototransistor NPN al silicio, contenuto in una matrice trasparente. Il componente è stato scelto con un package SMT.

Caratteristiche principali

- Il sensore è sensibile allo spettro del visibile
- Simula la responsività dell'occhio umano
- Angolo di sensitività $\phi = \pm 60^\circ$
- Intervallo di temperatura di esercizio: -40 / 85 °C

Di seguito vengono riportati i grafici della corrente indotta al collettore rispetto all'illuminamento (a sinistra) e la sensibilità allo spettro relativa rispetto alla lunghezza d'onda (a destra).

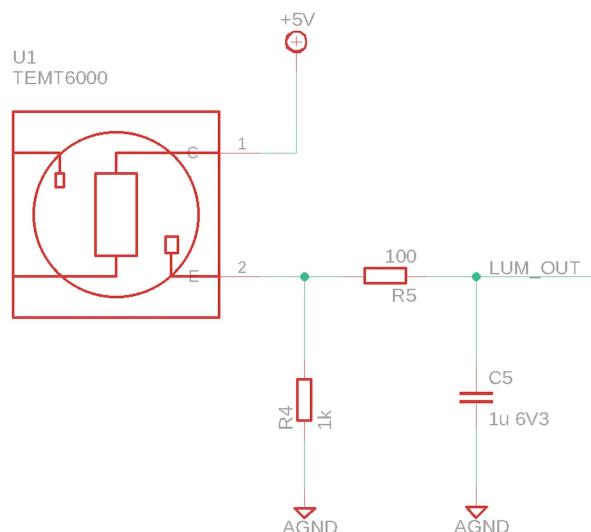


Schema circuitale

Il collettore del sensore di luce è connesso all'alimentazione +5 V, mentre all'emettitore è collegata una resistenza da $1\text{ k}\Omega$ in modo da avere una buona sensibilità del segnale perchè in questo modo il segnale di corrente viene trasformato in un segnale di tensione. Dal grafico “illuminance-collector light current” l'intervallo del segnale di corrente va da circa $4\text{ }\mu\text{A}$ a $600\text{ }\mu\text{A}$, quindi la caduta di tensione sul resistore sarà tra 4 mV e 0.6 V . Di conseguenza la miglior tensione di riferimento dell'ADC risulta essere di 1.024 V . Non bisogna inserire una resistenza con un valore troppo elevato altrimenti il fototransistor lavorerebbe in saturazione.

In seguito è presente un filtro passivo RC passa-basso, costituito da una resistenza da $100\text{ }\Omega$ e da un condensatore da $1\text{ }\mu\text{F}$, che presenta una frequenza di taglio di 1.59 khz . Dato che il tempo di salita dal sensore è abbastanza lento, R5 non deve avere un valore troppo alto, in modo da aumentare il valore della frequenza di taglio del filtro RC e rendere il segnale più stabile.

L'uscita del sensore di temperatura è connessa al pin n° 16 del microcontrollore per essere elaborato dall'ADC.



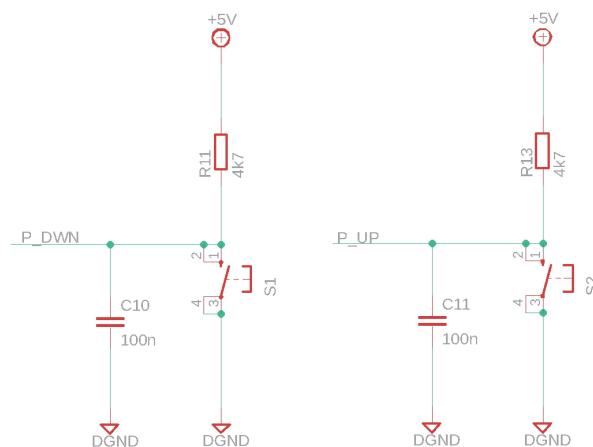
- sezione circuitale del sensore di luce

PULSANTI



Il pulsante è uno strumento simile all'interruttore, la differenza sostanziale sta nel fatto che una volta rilasciato il pulsante torna nella posizione iniziale. Il pulsante può avere due posizioni, cioè normalmente aperto e normalmente chiuso. Nel nostro caso se il pulsante non viene premuto il circuito rimane aperto e il microcontrollore riceve il valore alto di tensione, viceversa un valore basso se viene premuto. Nella scheda sono previsti due pulsanti, connessi al microcontrollore con le net P_UP e P_DWN, connesse relativamente ai pin 5 e 6.

Schema circuitale



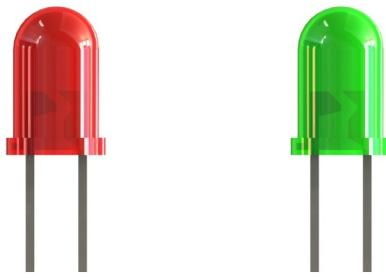
- sezione circuitale dei pulsanti

Nel ramo di alimentazione è stata posta una resistenza di pull-up da 4.7 kOhm per controllare la corrente che passa una volta che il pulsante viene premuto, la corrente sarà quindi di circa 1 mA. Per evitare il fenomeno di bouncing del segnale è stato inserito, tra il segnale e la massa, un condensatore detto appunto di debouncing, che agisce come filtro per le oscillazioni del segnale che si generano durante la commutazione.



- rappresentazione del fenomeno di bouncing

LED

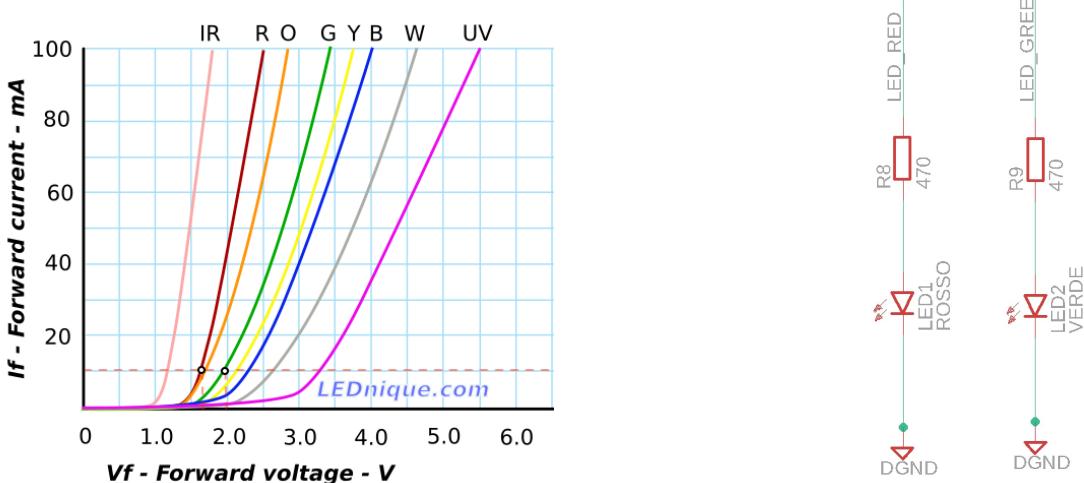


Sulla scheda sono stati montati due led da 5 mm, uno rosso e uno verde, connessi ai pin 8 e 9 attraverso le net LED_RED e LED_GREEN. In serie ai due led vengono messe due resistenze per limitare la corrente. Sapendo che la tensione di alimentazione è +5 V, che la corrente di esercizio per entrambi i led è stata pensata per essere sotto i 10 mA, data l'applicazione di led di segnalazione, e che ci deve essere una caduta di tensione rispettivamente di circa 1.5 V sul led rosso e di circa 2 V sul led verde si determina il valore delle resistenze.

$$R_{8,min} = \frac{V_{dd} - V_{led,r}}{I_{led}} = \frac{5 - 1.5}{10m} = 350 \Omega$$

$$R_{9,min} = \frac{5 - 2}{10m} = 300 \Omega$$

Per comodità realizzativa è stato scelto lo stesso valore di 470 Ω per entrambe le resistenze, visto che in altre sezioni circuitali è stato scelto questo valore di resistenza.



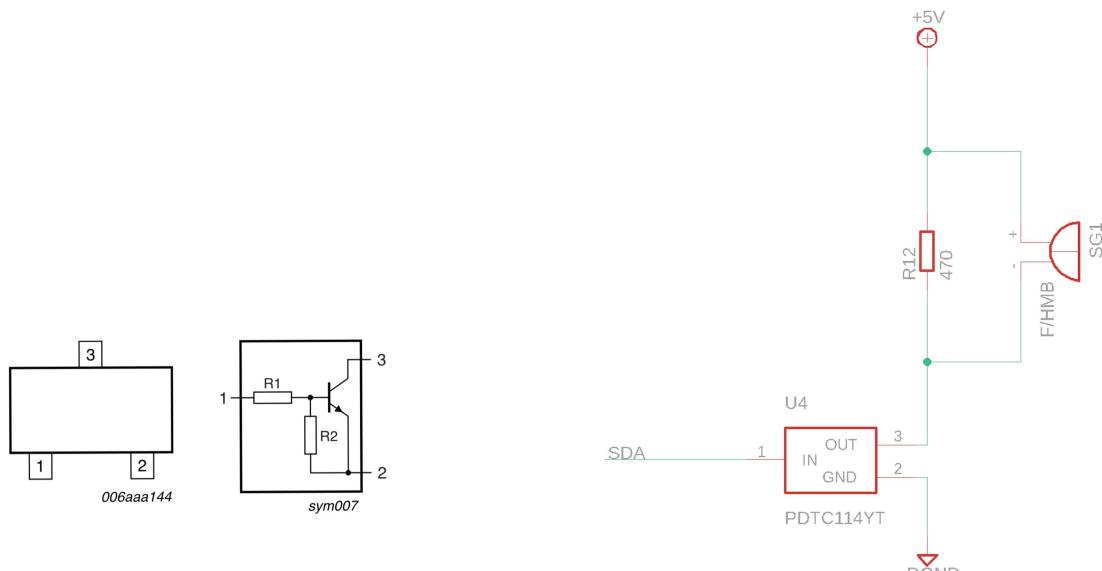
- caratteristica della corrente rispetto alla caduta di tensione e al colore

- sezione circuitale dei led

BUZZER



Nella scheda è stato inserito un buzzer piezoelettrico. Il buzzer viene pilotato da un transistor NPN, in particolare il componente utilizzato (U4) è un BRT (Bias Resistor built-in Transistor). Difatti nel componente sono integrate le resistenze del relativo circuito di polarizzazione, la resistenza R1 da 10 kOhm, per avere un segnale in corrente, e la resistenza R2 da 47 kOhm per il bypass della corrente, tra base ed emettitore, in modo da ridurre i disturbi che potrebbero accendere il transistor.



- dettaglio transistor BRT

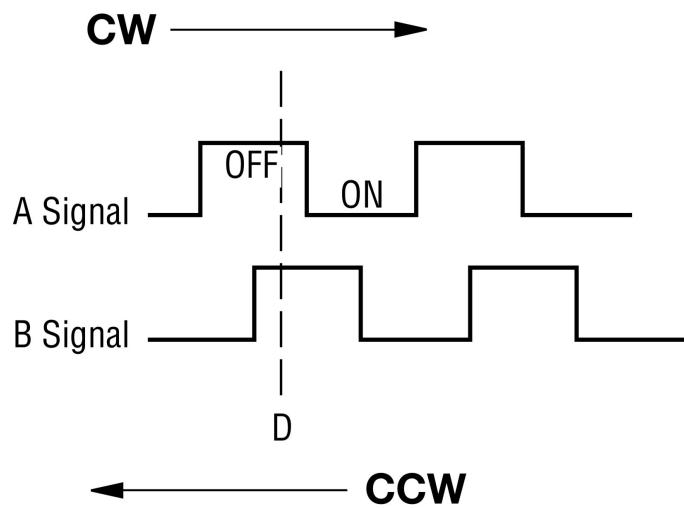
- sezione circuitale del buzzer

Il segnale consiste in un'onda quadra alla quale viene modificata la frequenza. Accendendo e spegnendo il transistor viene pilotato il buzzer che richiederebbe una potenza troppo elevata per essere pilotato dal microcontrollore. Quindi il terminale positivo del buzzer è collegato all'alimentazione di +5 V e quello negativo al collettore del transistor. La resistenza tra i due terminali serve per scaricare la tensione accumulata dal buzzer; infatti questo tipo di dispositivo può essere approssimato ad un condensatore, perciò è necessario il resistore per la scarica della tensione del buzzer produce il suono.

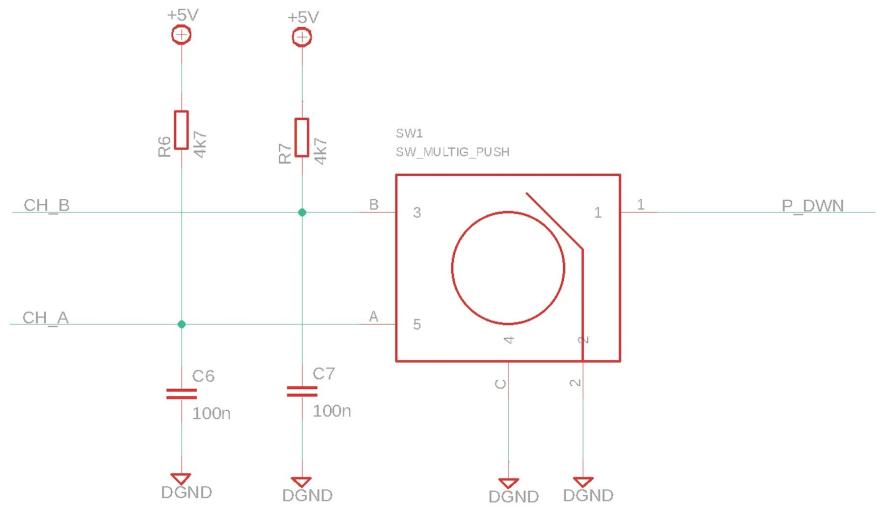
ENCODER ROTATIVO



L'encoder rotativo utilizzato è il PEC11R. Si tratta di un encoder meccanico, il segnale in uscita è costituito da due onde quadre. Il segnale viene generato per mezzo di contatti striscianti, quindi si ottiene circa +5 V quando il circuito del relativo canale è aperto e circa 0 V quando è chiuso. Dallo sfasamento dei due segnali si deduce il verso di rotazione. Contando i fronti di salita e conoscendo la risoluzione scelta (tra 12, 18 o 24 fronti di salita per una rotazione di 360°) si calcola lo spostamento relativo. Conoscendo anche l'intervallo di tempo, ad esempio utilizzando il segnale del clock, durante il quale avviene la rotazione, si può calcolare la velocità di rotazione. Il segnale in uscita è un segnale digitale e non ha bisogno di essere elaborato da un ADC.



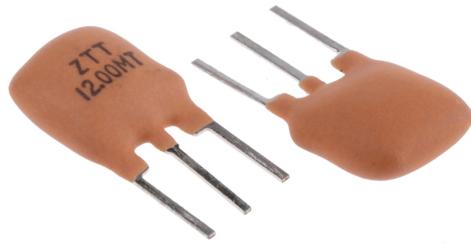
- segnale dell'encoder nel caso di rotazione oraria e antioraria



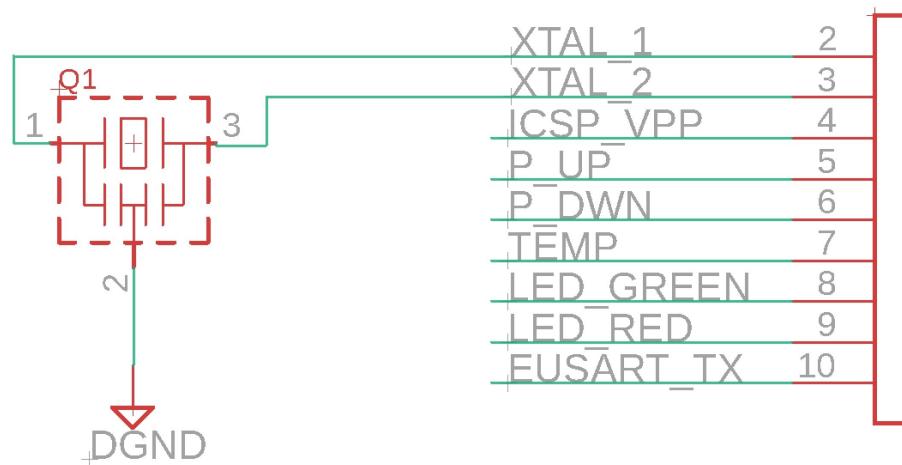
- sezione circuitale dell'encoder

I due canali dell'encoder rotativo (A e B) sono collegati ai pin 15 e 14 del microcontrollore attraverso le net CH_A e CH_B. Entrambi i canali hanno un resistore di pull-up da $4.7\text{ k}\Omega$ in modo da avere una corrente di circa 1mA quando il circuito è chiuso. Inoltre sono presenti dei condensatori da 100 nF per filtrare i disturbi sul canale e il fenomeno di bouncing causati dai contatti strisciante. L'encoder scelto ha la possibilità di essere connesso ad un pulsante attraverso i pin 1 e 2, quindi il è stato connesso uno dei due pulsanti all'encoder.

OSCILLATORE

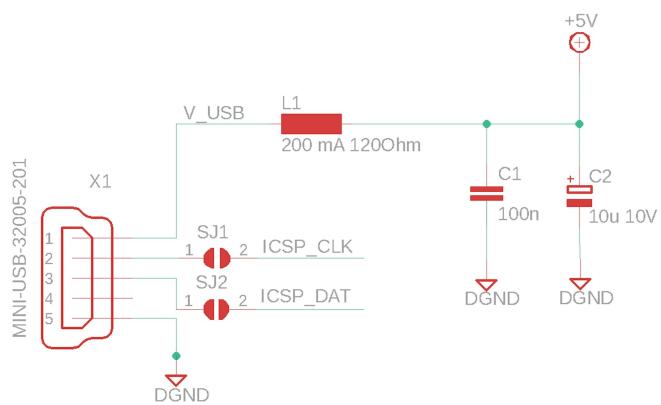


Nel circuito è stato inserito un risonatore ceramico da 12 Mhz che funge da clock esterno per il microcontrollore nel caso si voglia utilizzare la modalità full speed dell'USB. L'oscillatore è connesso ai pin 1 e 2 del microcontrollore attraverso le net XTAL_1 e XTAL_2.



- sezione circuitale oscillatore

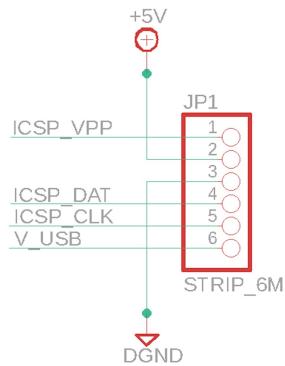
ALIMENTAZIONE



- sezione circuitale Mini USB

Per quanto riguarda l'alimentazione è stata montata sulla scheda la porta Mini USB. L'alimentazione è fornita dal canale VBUS che genera la tensione di +5 V per alimentare la scheda. All'uscita dell'alimentazione è posta un'induttanza e due condensatori connessi alla massa digitale. Un condensatore da 100 nF serve per eliminare rumori sulla linea di alimentazione, mentre il condensatore elettrolitico da 10 uF e l'induttanza servono per far fronte a sbilanciamenti di tensione e corrente di entità più importanti sulla linea di alimentazione.

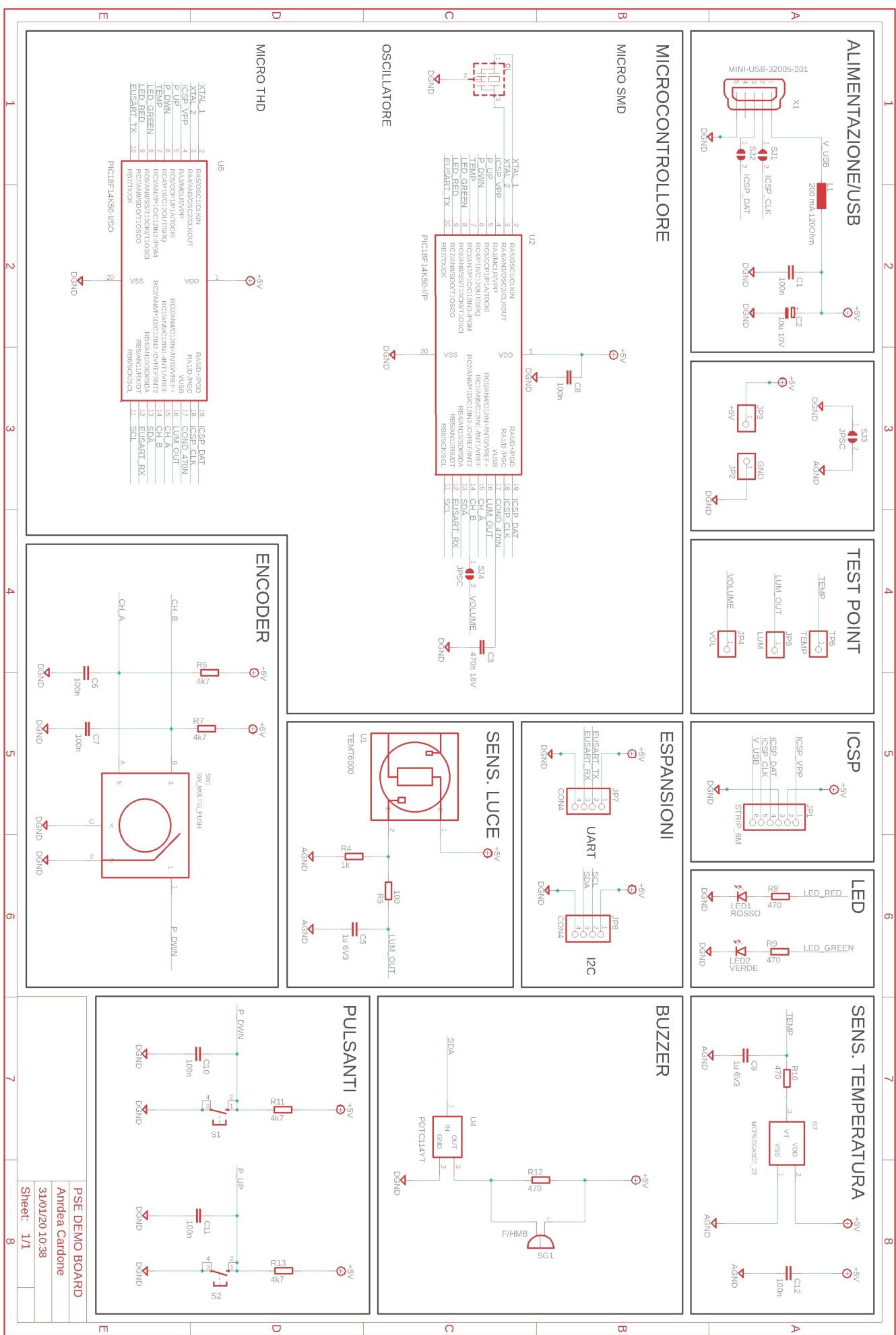
PROGRAMMAZIONE



- sezione ICSP

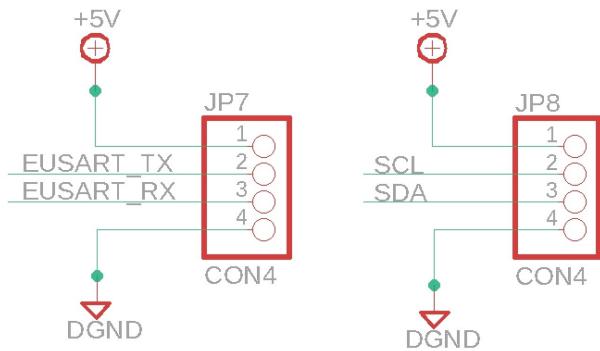
Per la programmazione del microchip è stato utilizzato il connettore ICSP dove sono collegati:

- ICSP_VPP pin per abilitare la modalità di programmazione
- ICSP_DAT pin per il trasferimento seriale dati
- ICSP_CLK pin del clock per il protocollo seriale
- V_USB pin per abilitare la modalità LVP (Low Voltage Programming)



Qty	Value	Device	Package	Parts	Description	Brand	RS Code	Price €
2	10-XX	B3F-10XX	CSTLA_T	S1, S2	SWITCH CERAMIC RESONATOR	Omron Interquip	682-1131 728-8478	0.646 0.191
1	100	R-EU_R0805	R0805	Q1, R5	RESISTOR	RS PRO	713-6850	0.006
7	100n	C-EUC0805	C0805	C1, C6, C7, C8, C10, C11, C12	CAPACITOR	KEMET	170-0041	0.03
1	10u 10V	CPOL-EUA/3216-18W	A/3216-18W	C2	POLARIZED CAPACITOR	Murata	846-7293	0.069
1	1k	R-EU_R0805	R0805	R4	RESISTOR	RS PRO	804-6449	0.003
2	1u 6V3	C-EUC0805	C0805	C5, C9	CAPACITOR	Wurth Elektronik	192-7657	0.096
1	200 mA	SM-NE45	SM-NE45	I11	INDUCTOR	Wurth Elektronik	124-1864	0.191
4	470	R-EU_R0805	R0805	R8, R9, R10, R12	RESISTOR	RS PRO	713-6910	0.005
1	470n 16V	C-EUC0805	C0805	C3	CAPACITOR	AVX	135-8612	0.07
4	4k7	R-EU_R0805	R0805	R6, R7, R11, R13	RESISTOR	Bourns	181-4394	0.007
2	CON4	P-TNHD-1X4	1X04	JP7, JP8	PIN HEADER	Molex	363-9954	1.976
1	F/HMB	F/HMB	SGL	BUZZER	RS PRO	535-8253	2.38	
1	MCP9700ASOT_23	MCP9700ASOT_23	SOT23	TEMPERATURE SENSOR	Microchip	738-7048	0.283	
1	MINI-USB-B-32005-201	MINI-USB-B-32005-201	32005-201	MINI_USB	Molex	666-1099	0.81	
1	PDTCL14YT	PDTCL14YT	SOT23	DIGITAL TRANSISTOR	Nexperia	518-2775	0.135	
1	PIC18F14K50-I/P	PIC18F14K50-I/P	SOIC	MICROCONTROLLER	Microchip	564-157	2.172	
1	PIC18F14K50-I/SO	PIC18F14K50-I/SO	PDIP	MICROCONTROLLER	Microchip	564-153	2.148	
1	ROSSO	LED5MM	LED5MM	LED	Kingbright	228-5988	0.488	
1	STRIP_6M	PINHD-1X6	1X06	PIN HEADER	Molex	363-9976	2.18	
1	SW_MULTIG_PUSH	PEC1IR-4K-S	SW1	ENCODER	Alps Alpine	252-3915	4.136	
1	TEM76000	TEM76000	UL	LIGHT SENSOR	Vishay	768-9354	1.252	
1	VERDE	LED5MM	LED2	LED	Kingbright	228-6004	0.418	
1	PCB	Produced by JLCPCB				3.55		
	Labour							
	Total cost							20.745

ESPANSIONI



- sezione espansioni EUSART e I²C

Sulla scheda sè stato previsto il connettore per l'espansione UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), collegati ai pin 10 e 12 del microcontrollore, relativamente con le net EUSART_TX (Trasmettitore) e EUSART_RX (Ricevitore).

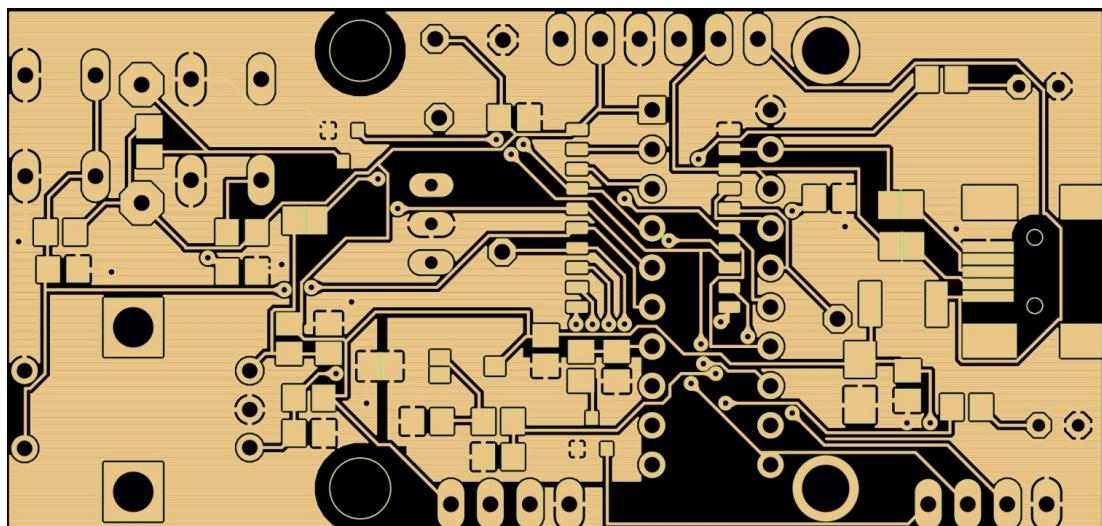
Inoltre è stato inserito anche il connettore per il sistema di comunicazione seriale sincrono I²C (Inter-Integrated Circuit), collegati ai pin 11 e 13 del microcontrollore, con le net SCL (linea del clock) e SDA (linea per il trasferimento dei dati).

PROGETTAZIONE CAD PCB LAYOUT

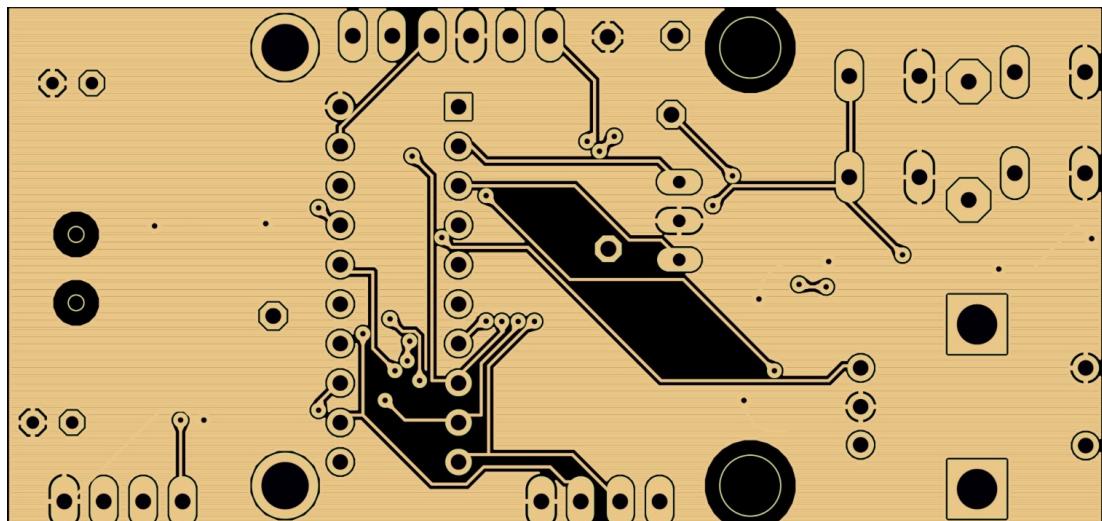
Il layout del PCB è stato fatto utilizzando il software Eagle. Prima di tutto, una volta decise le dimensioni della scheda, è stato eseguito lo sbroglio circuitale. Quindi sono stati: posizionati i componenti, realizzati i piani di massa (digitale sul top e bottom, analogico sul top), in seguito connessi i componenti. Nella scheda sono stati posizionati in un'unica zona i dispositivi che hanno un collegamento con il piano di massa analogica, in modo da ridurre il più possibile l'effetto dei disturbi analogici sulla parte digitale del circuito. Di seguito vengono corretti gli eventuali errori evidenziati grazie al tool DRC e infine aggiunto il teardrop.

In seguito sono riportati i Gerber della PCB

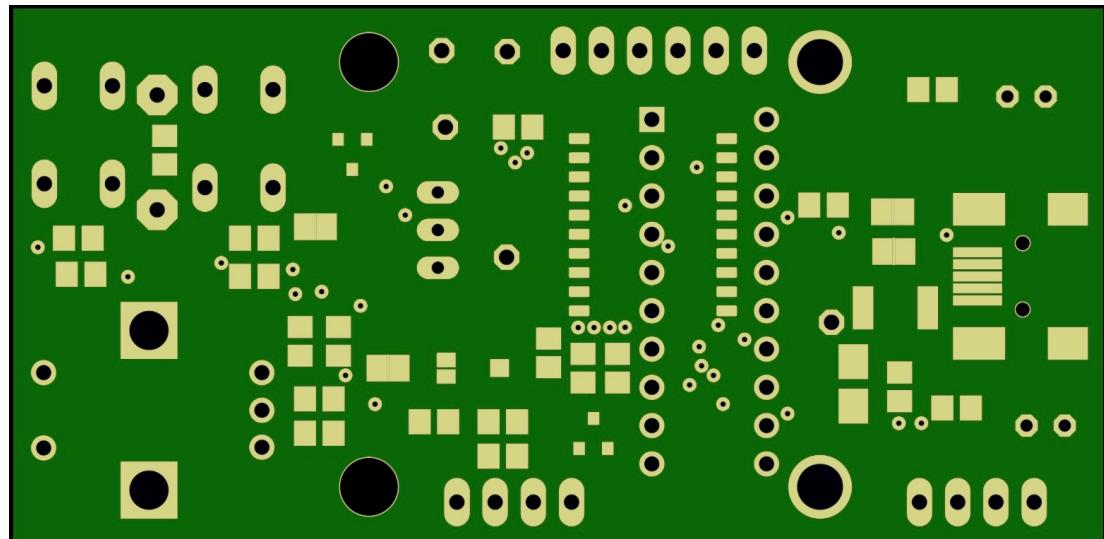
Copper Top



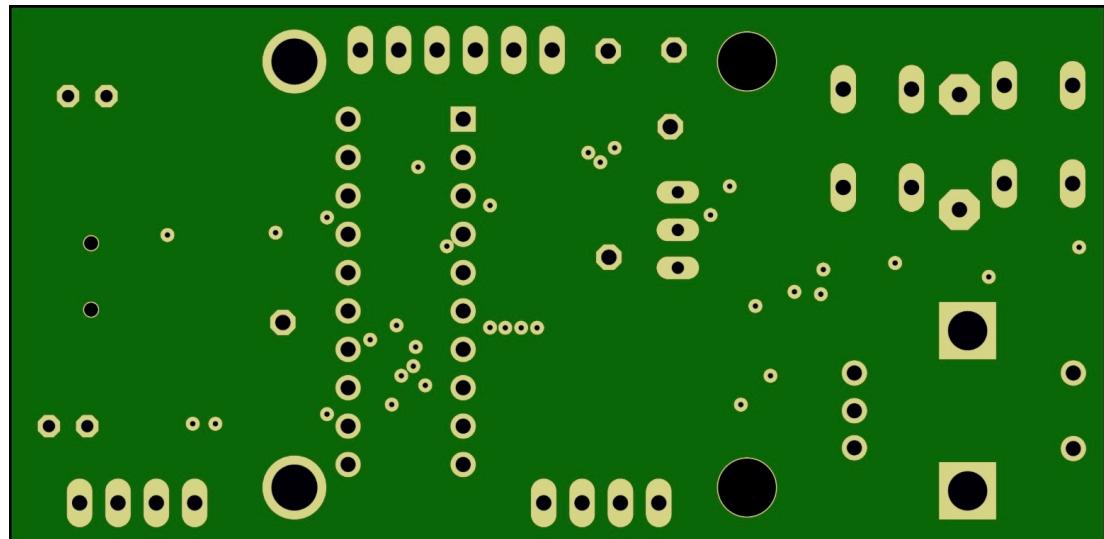
Copper Bottom



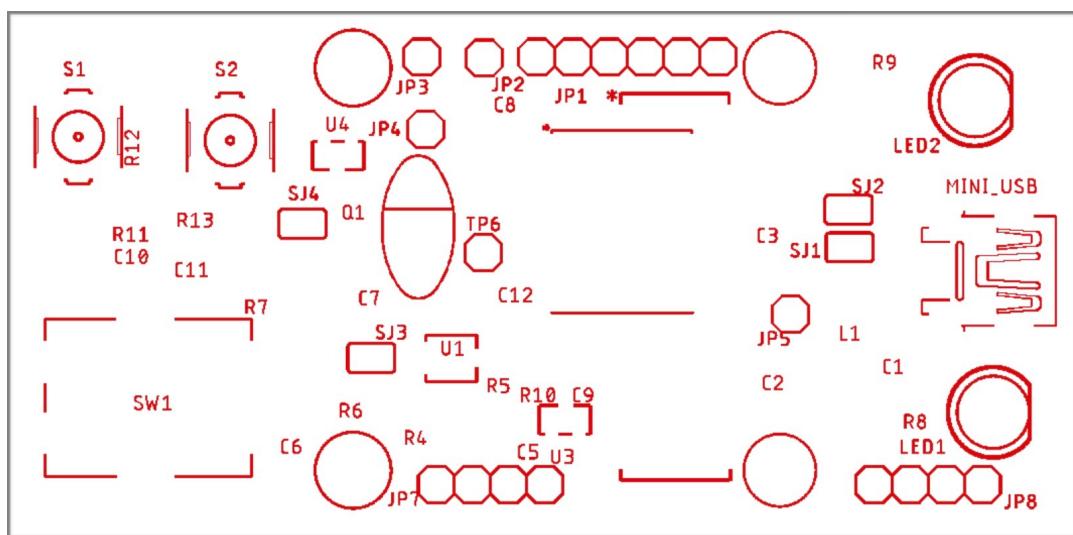
Solder Mask Top e Drill



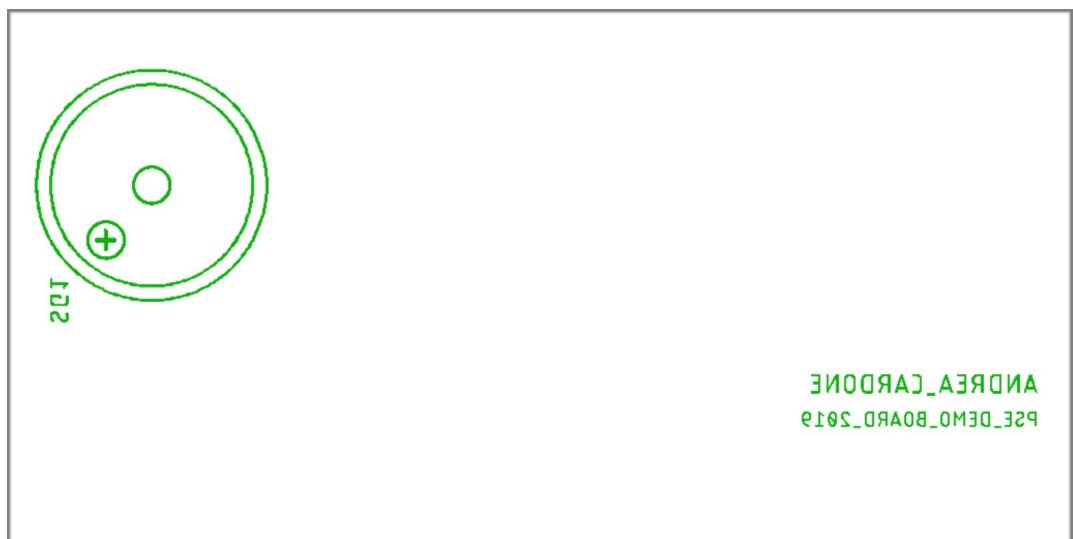
Solder Mask Bottom e Drill



Silkscreen Top

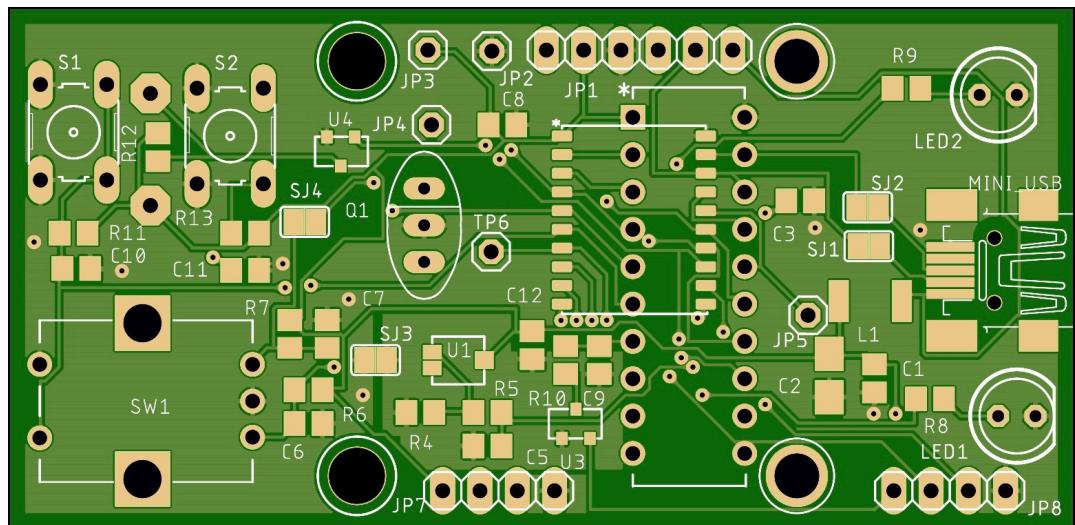


Silkscreen Bottom

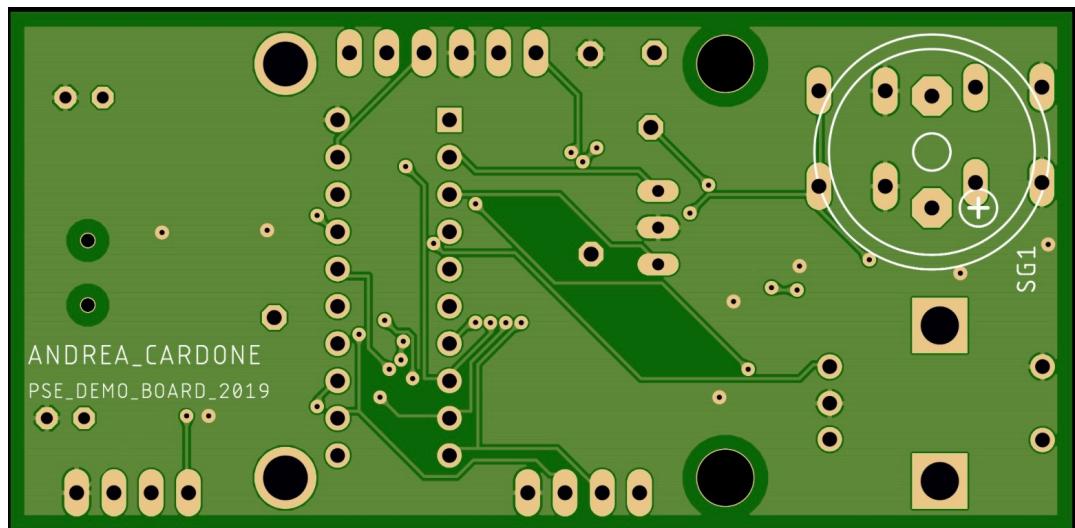


Circuito stampato completo

Top



Bottom



ASSEMBLAGGIO IN LABORATORIO

Una volta prodotta la PCB su cui montare i componenti si passa alla brasatura, cioè il collegamento tra due pezzi metallici per mezzo di un metallo d'apporto, in questo caso la lega SAC. Nella produzione di massa dei circuiti stampati i componenti vengono montati sulla scheda con macchine automatizzate che impiegano poco tempo e hanno un'elevata precisione. Nel nostro caso abbiamo montato manualmente alcuni componenti. Per il processo di posizionamento e brasatura sono stati utilizzati un saldatore, una pinzetta e il filo di lega SAC.

Quindi è stata seguita questa procedura:

- consultando lo schematico si sceglie il componente da saldare sulla scheda, partendo da quelli più piccoli, come le resistenze ed i condensatori, per non avere problemi di ingombro nel montare i componenti successivi
- se il componente è THT vengono inseriti i reofori nei relativi fori, poi vengono leggermente divaricati in modo che una volta girata la scheda non cadano. Poi si avvicina il saldatore al reoforo e si posiziona la punta del filo tra il reoforo e la punta dello stagnatore. Infine si taglia la parte in eccesso dei reofori
- se il componente è SMD viene messa una goccia di stagno su una delle pad, che non sia quella con il thermal relief, dato che renderebbe complicate le fasi successive del montaggio, a causa della rapida dissipazione del calore. Si posiziona il componente con la pinzetta e, con l'altra mano, si utilizza il saldatore per scaldare lo stagno sulla pad messo in precedenza, in modo da bloccare il componente. In seguito si procede con la brasatura degl'altri piedini. Infine si risalda la prima piazzola utilizzando del flussante

PROGRAMMAZIONE FIRMWARE

Un microcontrollore per poter essere programmato richiede un programmatore. Ciò vuol dire che ogni volta che si volesse caricare un diverso programma nel microcontrollore sarebbe necessario utilizzarlo. Ciò risulta essere un procedimento poco comodo a causa del tempo che richiederebbe la programmazione. Una soluzione a questo problema consiste nell'utilizzare un bootloader, cioè un programma che viene caricato nella memoria ROM del microcontrollore attraverso un apposito programmatore, permettendo in futuro di caricare un nuovo firmware quando si vuole senza dover utilizzare il programmatore. Il bootloader viene scritto in modo che la parte iniziale del codice sia salvata nelle prime locazioni della memoria e che la restante parte venga salvata alla fine dello spazio della memoria. In questo modo dopo il reset del microcontrollore si avvierà per primo il bootloader, rendendo poi possibile la scrittura del firmware nella memoria. Una volta caricato il firmware segue la fase di test. Nel caso si riscontrassero errori riguardanti il firmware oppure nel malfunzionamento di qualche componente hardware, è necessario procedere con l'individuazione e la risoluzione del bug. Questo procedimento viene chiamato debugging. Quindi, una volta trovato l'errore, se ne identifica la causa (ad esempio errore nel firmware o malfunzionamento di un componente), si progetta una soluzione che verrà poi implementata e testata.

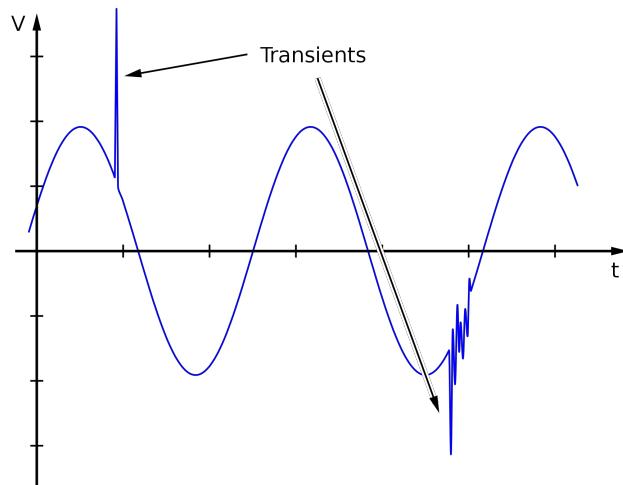
In aula è stato possibile assistere all'installazione di alcuni firmware e al funzionamento della scheda. Alcuni esempi sono:

- Controllo del volume del pc attraverso il potenziometro e i pulsanti
- Riproduzione di file audio in formato RTTTL
- Utilizzo del potenziometro per variare il valore di un cursore su un asse di riferimento (Joystik)
- Lettura dei segnali di temperatura e luce, conoscere lo stato dei pulsanti
- Accensione e spegnimento dei led

APPROFONDIMENTI

Protezione di un circuito

In un circuito può accadere che si verifichino transitori improvvisi, sotto forma di picchi di tensione e corrente che possono danneggiare i componenti del circuito a valle, soprattutto se molto sensibili. Ciò può avvenire ad esempio sulla rete di alimentazione di un dispositivo. Quindi è necessario proteggere il circuito a valle. Fenomeni di questo tipo possono essere spikes o surge, cioè picchi improvvisi di tensione o corrente.



- rappresentazioni di fenomeni transitori di tensione

Per fenomeni transitori di sovratensione si possono usare semplici circuiti con diodi, ma si possono utilizzare dispositivi più efficaci in base all'applicazione:

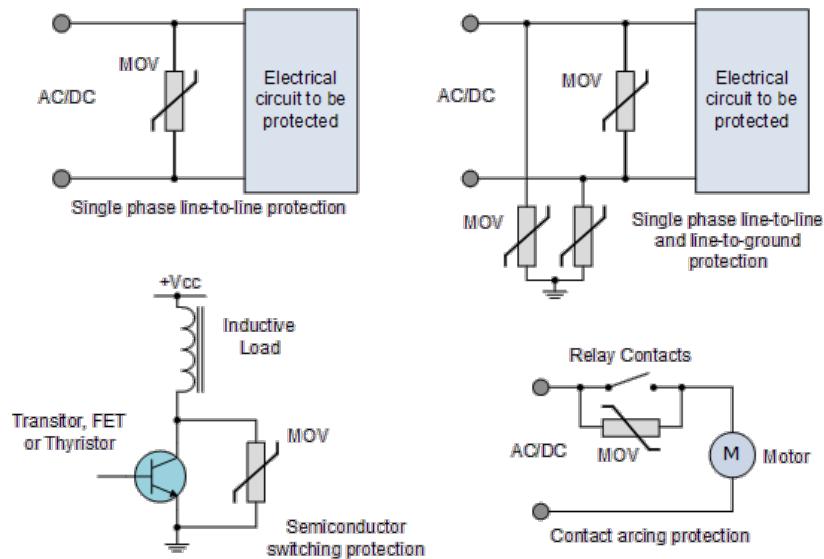
Varistori



- simboli circuitali del varistore

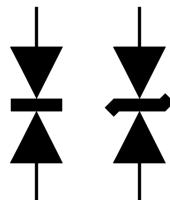
I varistori sono dei dispositivi che si comportano come dei resistori non lineari che, se la tensione ai loro capi supera una certa soglia, calano velocemente la propria resistenza in modo

da attenuare il disturbo e scaricare la corrente a terra, hanno un comportamento simile ai diodi zener. I varistori hanno un comportamento simmetrico, quindi lavorano sia con le tensioni positive che negative. Nel circuito va collegato in parallelo alla tensione di alimentazione, all'inizio del circuito. Per le sue caratteristiche il varistore risulta essere utile in situazioni dove è necessario scaricare una certa quantità di corrente, invece è meno efficace se serve una certa rapidità di attivazione.



- esempi di applicazione dei varistori

Transil



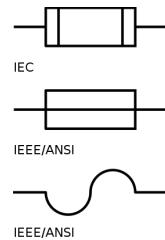
- simboli circuituali del transil monodirezionale (a sinistra) e bidirezionale a destra

Il transil è un dispositivo che, come il varistore, si attiva nel caso di sovratensioni per proteggere il circuito a valle. Le differenze con il varistore sono: la possibilità di essere monodirezionale, un minor tempo di attivazione e una minor corrente di dispersione. Dal punto di vista circuitale viene inserito in parallelo e prima del circuito elettrico da proteggere.

Questi sistemi di protezione da transitori di sovratensione possono non essere efficaci in quanto se passa una grande quantità di corrente, una volta che si sono attivati, rischiano di

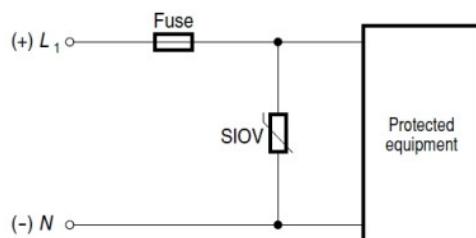
bruciarsi. Ciò significa che spesso, dopo essersi bruciati, si comporteranno come un circuito aperto, lasciando a rischio l'elettronica a valle. Quindi nel caso ci sia il rischio che questi dispositivi debbano dissipare una potenza troppo elevata, è necessario inserire nel circuito un fusibile.

Fusibile



- simboli fusibili

I fusibili non sono altro che dei dispositivi fatti in modo da comportarsi da circuito aperto nel caso passi una potenza troppo elevata attraverso i loro capi. Nel caso di applicazioni con correnti elevate, i fusibili sono costruiti in modo da impedire che si verifichi un arco elettrico tra i suoi terminali, rendendo così inutile il suo utilizzo. Sul mercato sono disponibili una grande quantità di tipologie di fusibili. I base all'applicazione i parametri di scelta dei fusibili sono: la portata in ampere, la tensione di utilizzo e la rapidità di intervento. Infatti per la protezione di impianti elettrici e linee di distribuzione si usano i fusibili veloci, per proteggere circuiti con transistor vengono utilizzati quelli ultrarapidi, mentre quelli ad effetto ritardato vengono utilizzati per applicazioni con motori elettrici.



- esempio di circuito con fusibile e varistore

Nel caso di situazioni particolari, dove avvengono frequentemente sovraccarichi, che possono essere considerati nella norma, per non dover continuare a sostituire il fusibile che si brucerebbe ogni volta, si possono usare i polyfuse. Questi dispositivi hanno lo stesso comportamento dei fusibili, a differenza che, una volta cessato il transitorio, tornano a comportarsi come cortocircuito. Il funzionamento si basa sull'incremento di resistenza dovuto all'aumento della temperatura, difatti questi dispositivi hanno normalmente una resistenza molto bassa, invece riscaldandosi innalzano notevolmente la loro resistenza limitando il

passaggio di corrente. Una volta raffreddati, la resistenza cala e non vanno più a limitare la corrente.

In conclusione è fondamentale conoscere quali fenomeni possono verificarsi ed essere dannosi per il circuito e di conseguenza generare malfunzionamenti che possono essere potenzialmente pericolosi per persone, animali e cose. Quindi un progettista dovrà sempre tenere in considerazione questi aspetti magari a volte sottovalutati, ma che possono rivelarsi di vitale importanza.