

# ESP32 DEVBOARD

owner:THARTARUS



# Indice

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Introduzione</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Microcontrollore</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1       | ESP32-MODULE . . . . .   | 5         |
| 2.2       | Configurazione dei GPIO . . . . .                                | 6         |
| <b>3</b>  | <b>Sensori e componenti disponibile nella DEVBOARD</b>           | <b>7</b>  |
| 3.1       | LED generici . . . . .   | 7         |
| 3.2       | Pulsanti USER . . . . .  | 8         |
| 3.3       | ENCODER rotativo . . . . .                                       | 9         |
| 3.4       | BUZZER . . . . .   | 10        |
| 3.5       | POWER MOSFET . . . . .   | 11        |
| 3.6       | LUX SENSOR . . . . .   | 12        |
| 3.7       | Sensore di temperatura e umidità . . . . .                       | 13        |
| 3.8       | DISPLAY OLED . . . . .   | 14        |
| 3.9       | USB ed interfaccia seriale . . . . .                             | 15        |
| 3.10      | Batteria di backup . . . . .                                     | 16        |
| 3.11      | POWER SELECTION . . . . .  | 17        |
| 3.12      | POWER SUPPLY 3.3V . . . . .                                      | 18        |
| 3.13      | Porte di espansione . . . . .                                    | 19        |
| 3.14      | Segnalazione luminosa per la tensione di alimentazione . . . . . | 20        |
| <b>4</b>  | <b>Schematico e BOOM</b>   | <b>21</b> |
| <b>5</b>  | <b>LAYOUT</b>  | <b>25</b> |
| <b>6</b>  | <b>RENDERING</b>   | <b>26</b> |
| <b>7</b>  | <b>GERBER</b>  | <b>29</b> |
| <b>8</b>  | <b>Assemblaggio</b>  | <b>35</b> |
| <b>9</b>  | <b>Programmazione ed uso pratico</b>                             | <b>36</b> |
| <b>10</b> | <b>REFERENCE</b>   | <b>37</b> |

# 1 Introduzione

Durante il corso sono state introdotte delle nozioni "generali" per progettare un PCB rigido, perché la tecnologia flessibile e SEMI-FLEX richiedono delle nozioni, difficoltà di assemblaggio e costi maggiori di un normale circuito stampato rigido.

Se il corso si fosse sviluppato su tutto il mondo dei PCB partendo dal tipo di realizzazione (dai circuiti multistrato, passando per quelli con un substrato di alluminio, arrivando ai circuiti flessibili multistrato), sulla tecnologia dei PACKAGING dei componenti (da THT ai BGA) fino ad arrivare ai fenomeni fisici agenti/generati dalla scheda o dei suoi componenti (partendo da una simulazioni termiche, transitando per le simulazioni vibrazionali, fino a quelle elettromagnetiche) il corso sarebbe diventato un corso di laurea vero e proprio.

La scheda progettata è una DEVBOARD per i famosi moduli WI-FI/BLUETOOTH della famiglia ESP32 dotata di:

- 1 DCDC ad alta efficienza che accetta una tensione compresa tra i 6V e i 15V in ingresso (compatibili con le tensioni delle batterie LiPo in configurazione 2S e 3S o delle batterie Li-ion in formato 2S);
- 1 sensore ambientale I2C di luminosità (ADDRESS 0x10);
- 1 sensore ambientale I2C di temperatura ed umidità (ADDRESS 0x37);
- 2 pulsanti personalizzabili da 12mm;
- 6 diodi LED in configurazione complementare;
- 1 ENCODER digitale (scegliendo tra un modello con o senza albero);
- 1 BUZZER (in tecnologia SMD o THT, oppure sostituibile con uno SPEAKER);
- 1 P-MOSFET di potenza in configurazione OPEN DRAIN (per controllare carichi elevati);
- 1 batteria di BACKUP (con ricarica fino a 1A);
- 1 display OLED in I2C da 2.42" (ADDRESS 0x3C o 0x3D);
- 1 porta di espansione dei GPIO generica;
- 1 porta di espansione solamente di ingresso analogico;
- 1 porta di espansione I2C@5MHz<sub>max</sub> (con già tre indirizzi usati) e SPI @40Mhz<sub>max</sub> (in DMA);
- 1 un IC dedicato per il DEBUG (in seriale) e programmazione dell'ESP32;
- 1 porta USB TYPE-C (no PD=POWER DELIVERY);
- 1 porta I2C compatibile con l'ecosistema "QWIIC" e "STEMMA" (con già tre indirizzi usati).

## 2 Microcontrollore

### 2.1 ESP32-MODULE

La "ESPRESSIF" fornisce una vasta scelta di moduli WI-FI/BLUETOOTH dotati di  $\mu$ C integrato per poter usare i loro prodotti in modalità STAND-ALONE e per questo progetto la scelta è ricaduto sul modulo **ESP32-SOLO-1**.

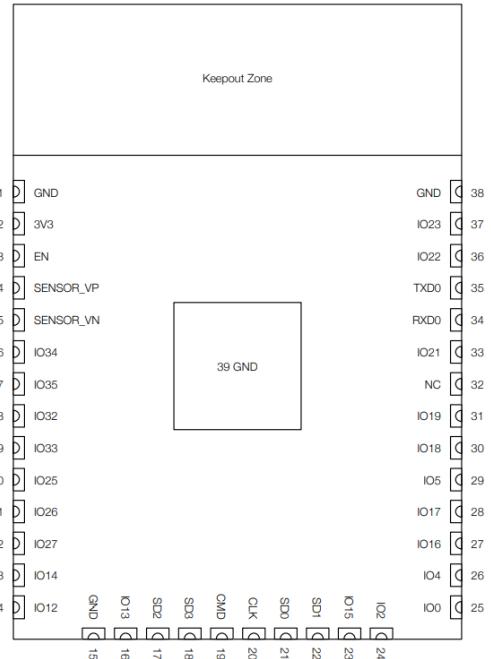
Questo modulo è provvisto di:

- MCU ESP32-S0WD, un  $\mu$ C da 32bit, 160Mhz di CLOCK;
- 4MB@40MHz di memoria flash interna (espandibile fino a 16MB usando una memoria flash esterna SPI);
- modem WIFI + BLUETOOTH 4.2 con antenna integrata
- 2 ADC SAR a 12bit con multiplexati su a 18 canali
- tensione di riferimento interna da 1.8V (oppure con VREF=VCC)
- ed altre svariate funzionalità elencate nel generico [DATASHEET](#) della serie ESP32.

Come tutti i moduli ESP una parte del PINOUT è in comune con la memoria SPI interna ed alte funzioni speciali che riducono il numero effettivo di I/O utilizzabili dall'utente.



(a) ESP32-SOLO-1



(b) PINOUT del modulo

Figura 1: Modulo ESP32-SOLO-1

## 2.2 Configurazione dei GPIO

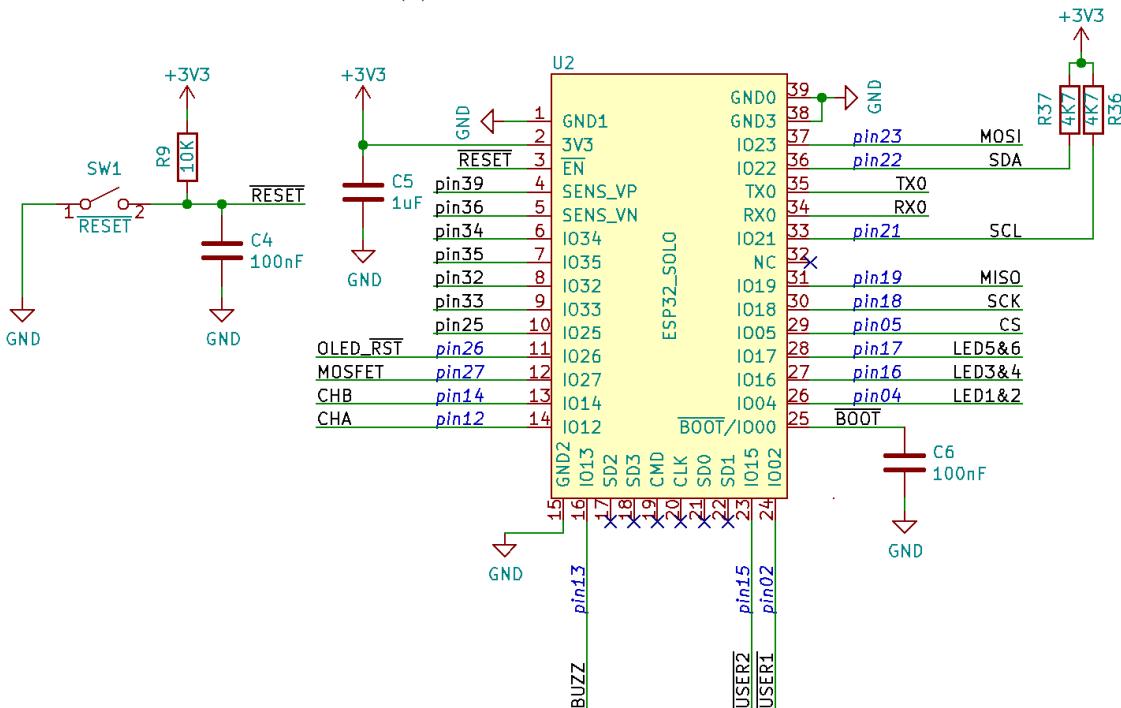
Nella DEVBOARD i PINOUT del modulo sono settati in questa maniera:

| ESP32-SOLO-1  |  |
|---------------|--|
| module PINOUT | on the board (*=DMA supported)               |
| IO00          | BOOT   |
| TXD0 /IO01    | TX0  |
| IO02          | USER1  |
| RXD0 /IO03    | RX0  |
| IO04          | LED control pin for 1° and 2° LED            |
| IO05          | HSPI Slave Select (SS)*                      |
| CLK/IO06      | NC (SCK dedicated for the external flash)    |
| SD0/IO07      | NC (DATA0, dedicated for the external flash) |
| SD1/IO08      | NC (DATA1, dedicated for the external flash) |
| SHD/IO09      | NC (DATA2, dedicated for the external flash) |
| SD3/IO10      | NC (DATA3, dedicated for the external flash) |
| CMD/IO11      | NC (CMD, dedicated for the external flash)   |
| IO12          | CHA  |
| IO13          | Buzzer                                       |
| IO14          | CHB  |

| ESP32-SOLO-1   |  |
|----------------|--|
| module PINOUT  | on the board (*=DMA supported)         |
| IO15           | USER2                                  |
| IO16           | LED control pin for 3° and 4° LED      |
| IO17           | LED control pin for 5° and 6° LED      |
| IO18           | HSPI Serial ClocK (SCK)*               |
| IO19           | HSPI Master Input Slave Output( MISO)* |
| IO21           | I2C Serial CLOCK (SCL)                 |
| IO22           | I2C Serial DATA (SDA)                  |
| IO23           | HSPI Master Output Slave input( MOSI)* |
| IO25           | expansion DIGITAL&ANALOG               |
| IO26           | OLED reset pin                         |
| IO27           | MOSFET                                 |
| IO32           | expansion DIGITAL&ANALOG               |
| IO33           | expansion DIGITAL&ANALOG               |
| IO34           | expansion DIGITAL&ANALOG               |
| SENSOR_VP/IO36 | expansion only Analog INPUT            |
| SENSOR_VN/IO39 | expansion only Analog INPUT            |

(a) connessioni della board



(b) schematico del modulo sulla DEVBOARD

Figura 2: MCU SCHEMATIC e PINOUT

### 3 Sensori e componenti disponibile nella DEVBOARD

#### 3.1 LED generici

In ogni scheda sperimentale che si rispetti possiede dei LED per utilizzarli con fonte luminosa di segnalazione e in questa scheda è stato impiegato l'utilizzo di tre GPIO del modulo ESP ( $I_{out,typ}=20mA$ ) per controllare sei LED in configurazione complementare.

I led montati sulla scheda sono dei LED rossi con formato 0603 che dal grafico "FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE" si può legge che con una corrente diretta di 10mA il LED richiede una tensione di  $\simeq 2V$  di caduta sul componente (in condizioni STANDARD).

Per questo la resistenza "R\*" deve valere:  $R = \frac{3.3V - 2V}{10 \cdot 10^{-3}A} = 130ohm$

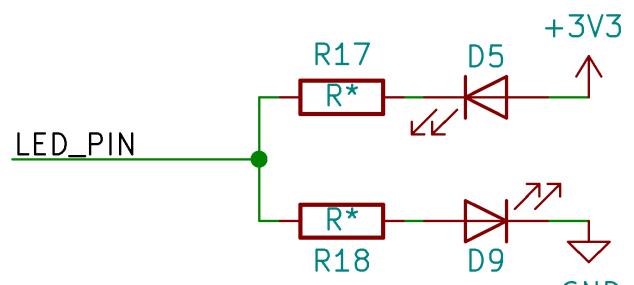
Poiché la resistività effettiva di "R\*" varia di +/-5% (nel caso peggiore  $R=123,5ohm$ ), le "coordinate di lavoro" possono traslare in una tensione diretta di 2.18V ed una corrente diretta di 18mA (nel caso peggiore del valore di "R\*"), ed imponendo così una corrente di 18mA che scorre nella resistenza (dissipando così  $P = R * I^2 \simeq 40mW \ll 0.1mW$  del PACKAGING 0603 )

Quando il PIN di controllo entra in alta impedenza (cioè portando l'IO in stato di ingresso) la tensione di caduta sui LED non è sufficiente per accenderli (condizioni minime=1.7V@1mA e quindi la tensione diretta sui due led deve essere superiore a  $V_f = 3.4V + 0.001A * 360ohm = 3.76V$  per poter accendere i due LED).

Questo permette di controllare due LED con solo un GPIO, ma questa configurazione non è direttamente utilizzabile con un controllo PWM per poter dimmerare i LED poiché questa configurazione risponde alla seguente tabella:

| PIN    |                | LEDs  |       |
|--------|----------------|-------|-------|
| STATE  | VOLTAGE STATE  | UPPER | LOWER |
| OUTPUT | LOW            | ON    | OFF   |
|        | HIGH           | OFF   | ON    |
| INPUT  | HIGH IMPEDANCE | OFF   | OFF   |

(a) stato dei LED



(b) configurazione dei LED

Figura 3: LED in contrapposizione

## 3.2 Pulsanti USER

Per poter dare libertà di sperimentazione con l'ENVIRONMENT della ESPRESSIF e nella navigazione delle TAB dell'OLED, sono stati montati 2 pulsanti da 12mm (con i CAPS facilmente stampabili in 3D).

I due pulsanti sono in configurazione PULL-UP, con un filtro RC sulla linea che va al  $\mu$ C per ridurre gli effetti di BOUNCING del contatto interno del pulsante tattile.

I valori delle due resistenze e la loro configurazione sono tali da:

- la resistenza di PULL-UP da 1Kohm (in serie con quella da 47Kohm) garantisce un  $DELAY(\simeq 6.68ms)$  inferiore ai 10ms durante il passaggio del segnale logicamente basso (causata dal cortocircuito del pulsante) alla soglia minima di HIGH-LEVEL INPUT ( $V_{IH} = 0.75 * V_{CC} = 0.75 * 3.3V \simeq 2.48V$ );
- filtrare il segnale con una frequenza di  $f_t = \frac{\omega_t}{2*\pi} = \frac{1/\tau}{2*\pi} = \frac{1}{2*\pi*R*C} \simeq 33.86HZ \rightarrow t_t = 1/f_t \simeq 10.82ms$ ;
- impedire la cortocircuitazione del condensatore attraverso il pulsante per ridurre il rumore ad alta frequenza generato durante il bouncing;
- la potenza dissipata dalle resistenze (max 10.89mW) non supera quella del formato 0402 ( $\frac{1}{16}W = 62.5mW$ ) riducendo così la BOM e il costo della scheda.

Per togliere "completamente" l'effetto di rimbalzo bisognerebbe usare un TRIGGER di SCHMITT per filtrare il segnale "USER", ma nella DEVBOARD è stato inserito questo componente e si suggerisce di usare un filtro software se il filtro presente non è abbastanza efficace.

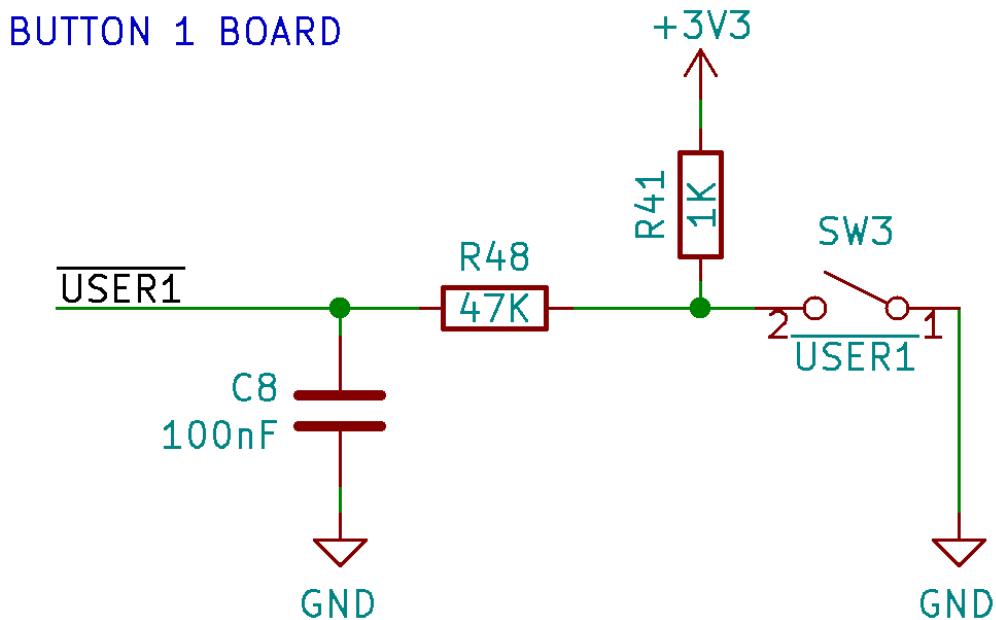


Figura 4: primo pulsante USER

### 3.3 ENCODER rotativo

L'ENCODER popolato nella scheda è un encoder rotativo composto da 2 canali sfasati che variano a seconda di un ruota dentata.

Genericamente questa versione economica (rispetto alla tecnologia magnetica o ottica) di ENCODER è schematizzato con due interruttori (SWITCH A e SWITCH B) e un polo in comune.

Come per i pulsanti sopra citati questo componente richiede una circuiteria di PULLUP e un filtraggio del BOUNCING (che in questo caso deve essere fatto sia sul fronte di salita che sul fronte di discesa del componente).

$$f_t = \frac{\omega_t}{2*\pi} = \frac{1/\tau}{2*\pi} = \frac{1}{2*\pi*R*C} \simeq 33.86\text{HZ} \rightarrow t_t = 1/f_t \simeq 11ms ;$$

Nel PCB sono presenti 2 ENCODER di due forme e aziende diverse (quello della **ALPS** è di tipo HOLLOW SHAFT e quello della **BOURNNS** è provvisto di un alberino da 6mm), ma solo uno può essere montato.

Le caratteristiche di BOUNCING massimo sono di 5ms per il modello della ALPS e 2ms per quello della BOURNS.

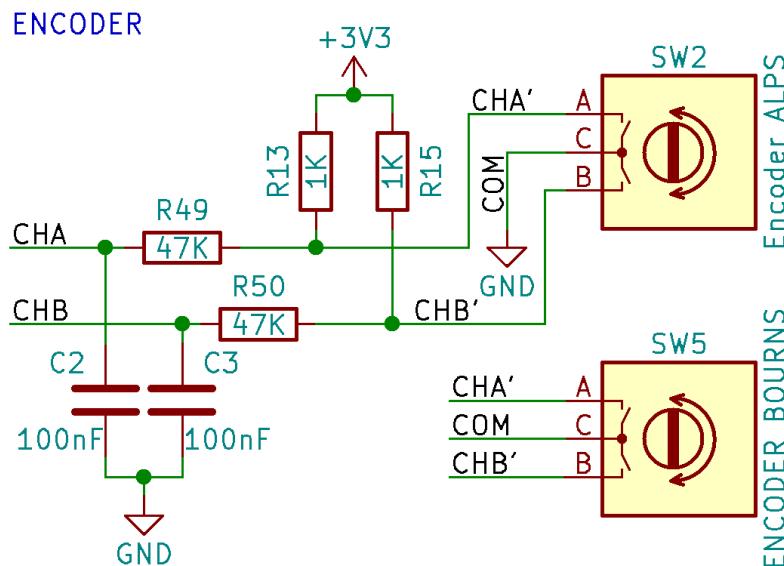


Figura 5: configurazione dell'ENCODER

### 3.4 BUZZER

Nella DEVBOARD è stato inserito un BUZZER per permettere la possibilità di generare dei segnali acustici modificabili attraverso un segnale PWM (a 13 bit).

Visto che la corrente di assorbimento del BUZZER ( $<30\text{mA}$ ) sono superiori a quelle erogabili dalle porta dall'IC a cui è collegato il componente, la soluzione più è ricaduta sull'utilizzo di un TRANSISTOR.

I TRANSISTOR BJT STANDARD hanno il difetto di generare un DROP di circa 0.7V, rendendo inutilizzabile il circuito per un BUZZER generico ( $3\text{V} < \text{VDC} < 7\text{V}$ ) da 12mm alimentato a 3.3V e per questo si utilizza un TRANSISTOR ad effetto di campo (MOSFET) di tipo N con una Ron di 80mohm  
 $V_{drop} = 0.08\text{ohm} * 0.03 = 2.4\text{mV}$ .

Nella "FIGURA 6" ci sono 2 buzzer e un connettore a 2 PIN perché è stata deciso di dare la possibilità di sostituire il buzzer THT con uno a tecnologia SMD, di usare BUZZER esterno o di usare uno SPEAKER (sostituendo la resistenza 0805 "R52" da 0 ohm con una da 1Kohm).

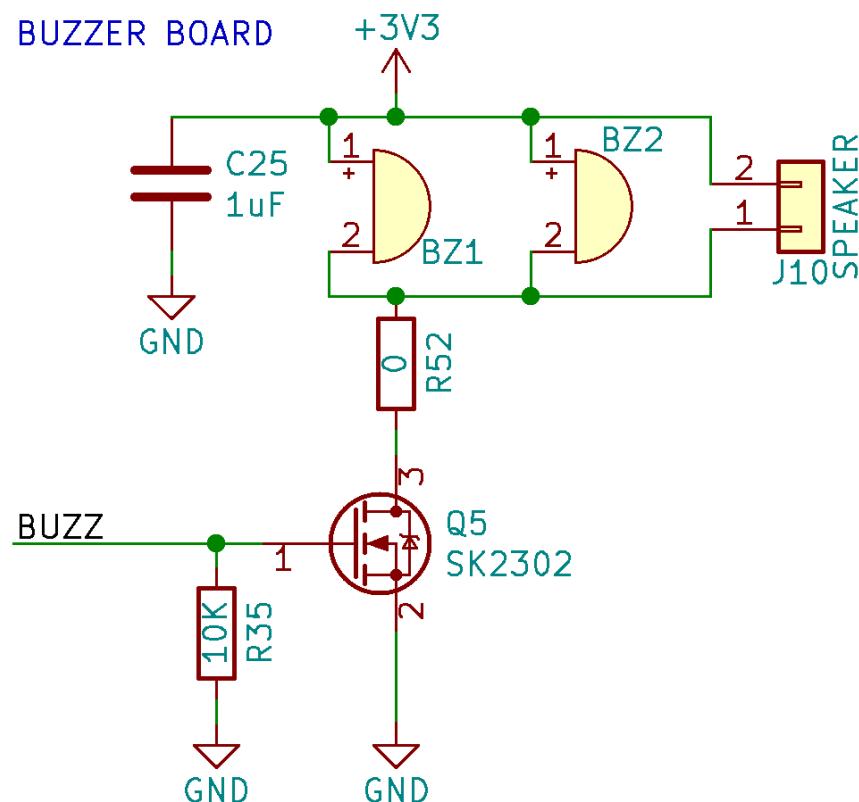


Figura 6: BUZZER controllato da un MOSFET

### 3.5 POWER MOSFET

La scheda è fornita un controllo di potenza per gestire carichi superiori a 3V3 e/o con correnti maggiori di 20mA.

Per controllare il MOSFET in modo che il carico segua l'andamento del GPIO di controllo e che il TRANSISTOR sia in completa saturazione, è stato inserito un circuito di LEVEL SHIFTER, fatto con un TRANSISTOR bipolare di tipo NPN.

La configurazione dei due TRANSISTOR e delle due resistenze da 100Kohm è tale da garantire due sicurezza:

- se la linea di comando "MOSFET" viene erroneamente usata/impostata come INPUT (=diventa un'alta impedenza), il BJT rimane spento grazie alla resistenza di PULL-DOWN collegata alla "base" del transistor;
- se il BJT si brucia, il "GATE" del MOSFET rimane collegato a "Vin" e va in interdizione (condizione di sicurezza), eliminando così la possibilità in cui il "GATE" non è collegato (altrimenti basterebbe una piccola corrente elettrostatica per accendere il TRANSISTOR ad effetto di campo e bruciarlo).

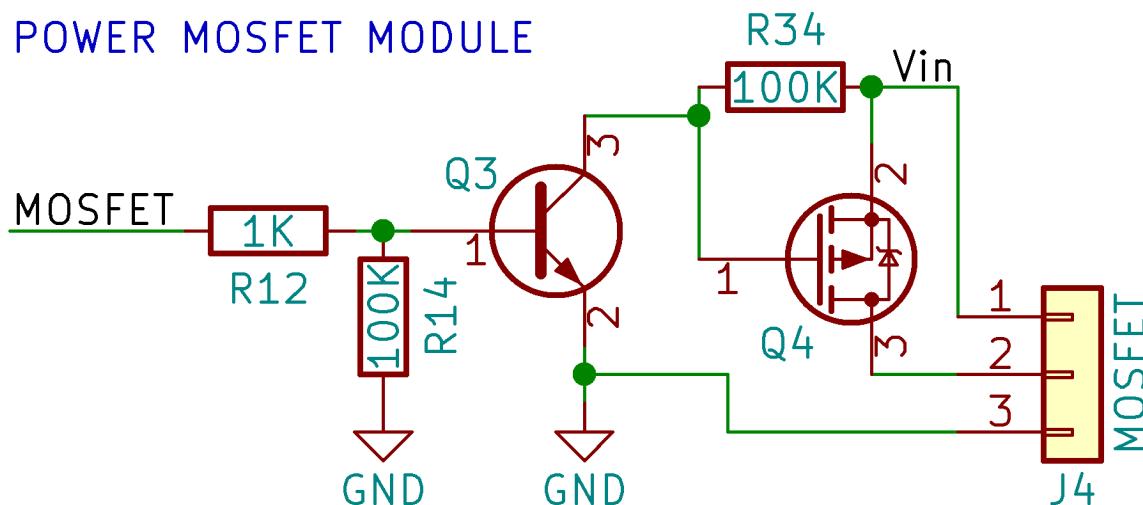


Figura 7: MOSFET circuit control

### 3.6 LUX SENSOR

Per poter regolare la luminosità del DISPLAY OLED o per fare altri progetti basati sulla lettura della luminosità ambientale, è stato montato sulla scheda un **VEML6030** (un sensore molto accurato di luminosità ambientale con interfaccia I2C).

Questo sensore permette di campionare un sensibilissimo fotodiodo con una risoluzione fino a 16bit, restituendo al MCU una misura "diretta" dell'intensità della luce bianca.

I valori scambiati nel BUS I2C sono già normalizzati lungo la scala LUX, con dei range e risoluzioni tabellate (la tabella si trova nelle "note applicative"):

| RESOLUTION AND MAXIMUM DETECTION RANGE |                    |        |          |          |
|--|--------------------|--------|----------|----------|
|  | GAIN 2             | GAIN 1 | GAIN 1/4 | GAIN 1/8 |
| IT (ms)                                | TYPICAL RESOLUTION |        |          |          |
| 800                                    | 0.0036             | 0.0072 | 0.0288   | 0.0576   |
| 400                                    | 0.0072             | 0.0144 | 0.0576   | 0.1152   |
| 200                                    | 0.0144             | 0.0288 | 0.1152   | 0.2304   |
| 100                                    | 0.0288             | 0.0576 | 0.2304   | 0.4608   |
| 50                                     | 0.0576             | 0.1152 | 0.4608   | 0.9216   |
| 25                                     | 0.1152             | 0.2304 | 0.9216   | 1.8432   |

| MAXIMUM POSSIBLE ILLUMINATION |        |        |          |          |
|-------------------------------|--------|--------|----------|----------|
|                               | GAIN 2 | GAIN 1 | GAIN 1/4 | GAIN 1/8 |
| 236                           | 472    | 1887   | 3775     | 7550     |
| 472                           | 944    | 3775   | 7550     | 15 099   |
| 944                           | 1887   | 7550   | 15 099   | 30 199   |
| 1887                          | 3775   | 7550   | 30 199   | 60 398   |
| 3775                          | 7550   | 15 099 | 60 398   | 120 796  |
| 7550                          | 15 099 | 60 398 | 120 796  |          |

Figura 8: risoluzioni e RANGE settabili nel VEML6030

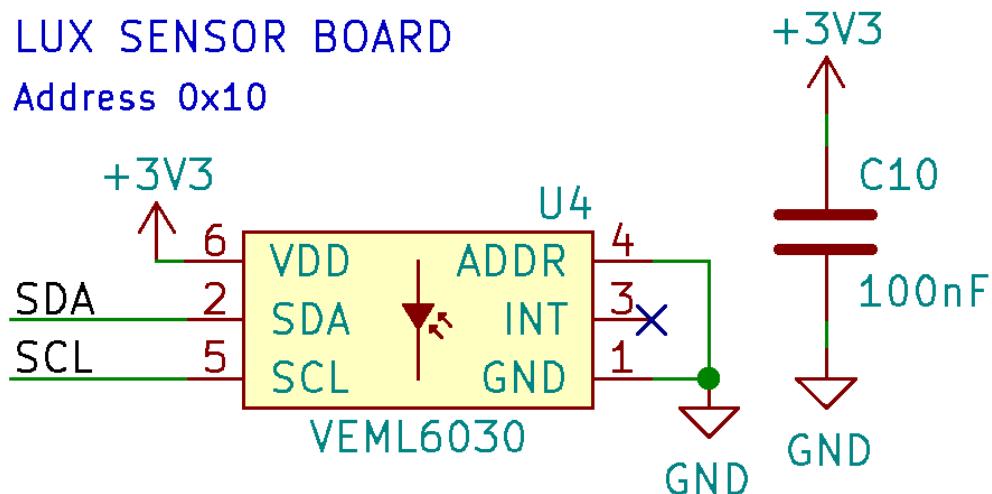


Figura 9: I2C LUX SENSOR

### 3.7 Sensore di temperatura e umidità

Il sensore **AHT20** è un sensore I2C di temperatura e umidità a basso costo con dimensioni e consumi ridotti rispetto ai classici DTH1/21/22.

Questo componente è dotato di una precalibrazione, una eccellente stabilità nel tempo, un RANGE di lettura della temperatura (-40°C÷85°C) e dell'umidità (0%÷100%) , e un consumo bassissimo (quasi trascurabile  $\simeq 60nA$ ).

Nel DATASHEET sono riportate (oltre alle caratteristiche del componente) anche le tecniche di posizionamento del CHIP per togliere dalle misure, gli effetti di disturbo quali la temperatura della scheda stessa o quella dei componenti presenti sul PCB.

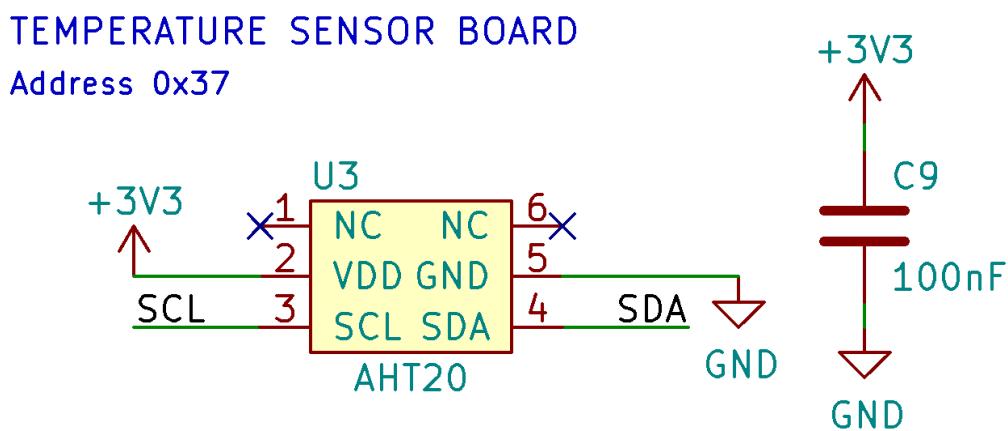


Figura 10: I2C TEMPERATURE & HUMIDITY SENSOR

### 3.8 DISPLAY OLED

Per garantire un interfaccia grafica apprezzabile, la DEVBOARD è provvista di un DISPLAY OLED da 2.42 pollici con una risoluzione di 128x64 PIXEL, dotato di driver [SSD1309](#) e configurato in I2C.

La tecnologia OLED permette di abbattere i consumi e di avere una buona resa cromatica (anche se quest'ultima non serve visto che la variante montato è MONOCOLOR)

Il modello usato supporta due tipi di interfaccia tra MCU e DISPLAY (SPI o I2C) ed esse possono essere scelte configurando le resistenze del modulo OLED (guide online).

Tramite il JUMPER (JP3) si può selezionare l'indirizzo I2C del DISPLAY tra 0x3C (la linea "ADDR" è a GND) e 0x3D (la linea "ADDR" è a VCC)

N.B. la linea "OLED\_RST" deve fare una transizione da 0V a VCC (con un delay di almeno 500ms) prima di avviare la comunicazione I2C per poter fare un completo RESET!

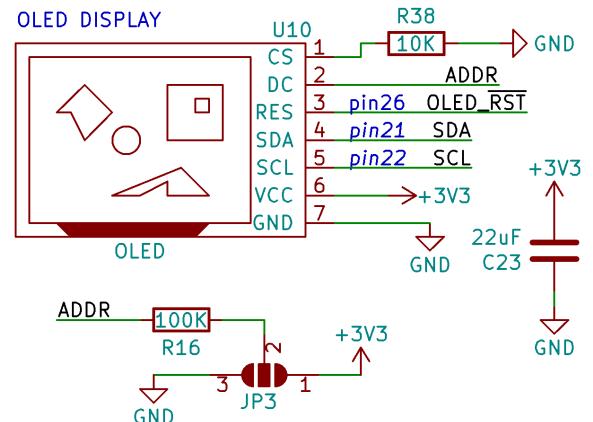
**Table 8-1 : MCU interface assignment under different bus interface mode**

| Pin Name<br>Bus Interface | Data/Command Interface |                    |    |                   |                       |         |     |         | Control Signal        |                       |     |      |
|---------------------------|------------------------|--------------------|----|-------------------|-----------------------|---------|-----|---------|-----------------------|-----------------------|-----|------|
|                           | D7                     | D6                 | D5 | D4                | D3                    | D2      | D1  | D0      | E                     | R/W#                  | CS# | D/C# |
| 8-bit 8080                | D[7:0]                 |                    |    |                   | RD# WR# CS# D/C# RES# |         |     |         | RD# WR# CS# D/C# RES# |                       |     |      |
| 8-bit 6800                | D[7:0]                 |                    |    |                   | E R/W# CS# D/C# RES#  |         |     |         | E R/W# CS# D/C# RES#  |                       |     |      |
| 3-wire SPI                | Tie LOW                | NC                 |    | SDIN              | SCLK                  | Tie LOW | CS# | Tie LOW | RES#                  | Tie LOW CS# D/C# RES# |     |      |
| 4-wire SPI                | Tie LOW                | NC                 |    | SDIN              | SCLK                  | Tie LOW | CS# | D/C#    | RES#                  | Tie LOW CS# D/C# RES# |     |      |
| I <sup>2</sup> C          | Tie LOW                | SDA <sub>OUT</sub> |    | SDA <sub>IN</sub> | SCL                   | Tie LOW | SA0 |         | RES#                  | Tie LOW SA0 RES#      |     |      |

(a) SSD1309 CONFIG

| modulo OLED 2,42 pollici |      |                          |
|--------------------------|------|--------------------------|
| PIN                      | I2C  | SPI                      |
| n°                       | nome | R3 (4K7), R5 & R7 (0ohm) |
| 1                        | GND  | GND                      |
| 2                        | VSS  | 3V3                      |
| 3                        | SCL  | SCK                      |
| 4                        | SDA  | MODI                     |
| 5                        | RES  | RESET                    |
| 6                        | DC   | ADDRESSS                 |
| 7                        | CS   | CS                       |

(b) OLED MODULE CONFIG



(c) schematico del DISPLAY nella BOARD

Figura 11: configurazione del DISPLAY OLED

### 3.9 USB ed interfaccia seriale

Negli ultimi anni la tecnologia USB ha subito molte variazioni fino ad arrivare all'attuale USB TYPE-C, una particolare tecnologia che ha permesso di introdurre molte novità, tra cui la reversibilità del connettore.

In questo progetto non è implementata la POWER DELIVERY (PD), cioè la negoziazione tra sorgente ed utilizzatore riguardo alla corrente e la tensione del BUS di alimentazione dell'USB .

Alcuni chip di PD , dopo essere stati istruiti (es [STUSB1700](#)), gestiscono in modo sicuro la negoziazione (anche indipendentemente) e quando il BUS dell'USB è alimentato, il CHIP è in grado di rilevare e proteggere l'HOST da cortocircuiti, assorbimento di corrente oltre il limite programmato, UNDERVOLTAGE, OVERVOLTAGE, condizioni di corrente e di tensione invertite.

Per il convertitore USB-UART ([CP2102N](#))è stato usato il modello consigliato dal modulo ESP-32 e configurato come nelle guide per poter creare un'interfaccia seriale di programmazione e DEBUGGING.

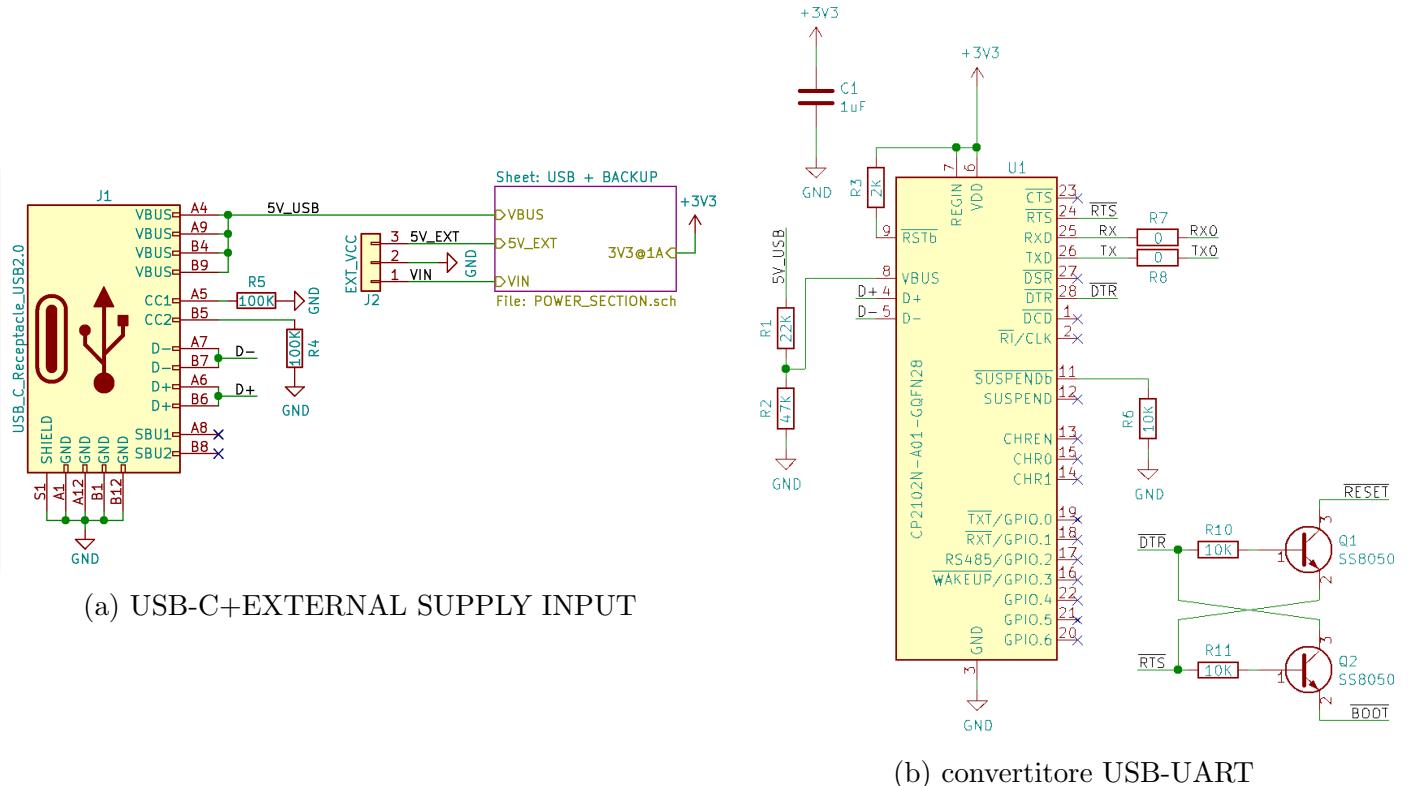


Figura 12: schematico della USB e del convertitore

### 3.10 Batteria di backup

Nella DEVBORAD è stato implementato un piccolo "POWERBANK" per poter creare dei progetti portatili STANDALONE, con la possibilità di saldare direttamente una batteria cilindrica con SOLDER TAGS in formato 18650 (o 21700) oppure usando una LiPo (protetta) con connettori standard JST-PH a due poli, usati anche dalla ADAFRUIT. (N.B. il TESTPOINT "TP1" serve per "sbloccare" "U7")

Il circuito è composto da:

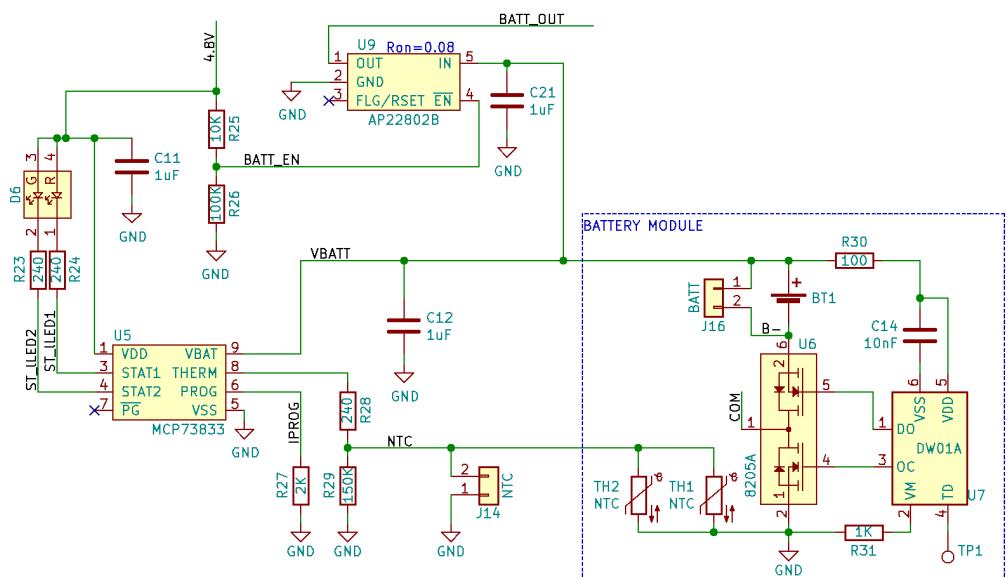
- un caricatore lineare ([MCP7833](#)) in formato DFN (per avere le migliori caratteristiche termiche);
- un chip di protezione ([DW01A](#)) per salvare le Li-ion da OVERCURRENT ed UNDERVOLTAGE; Affiancato da un DUAL N-MOSFET([8205A](#)) con i MOS in contrapposizione che durante la condizione di carico massimo introducono un drop  $\simeq V=150\text{mV}@(2\text{A}, V_{gs}=2.5\text{V}, T_{amb}=25^\circ\text{C})$ ;
- un diodo ideale ([AP22802B](#)), usato per ridurre il più possibile la caduta sul diodo di protezione;
- un [NTC](#) con un  $\beta$  di 3380K e una resistenza di 10K a  $T=25^\circ\text{C}$  (collegato ad un partitore che permette al CHARGER di capire se il sensore è rotto/disconnesso);
- una corrente di ricarica variabile e settabile solo tramite la sostituzione e di "R27" (vedi il DATA-SHEET del CHARGER per la scelta della resistenza).

Il chip di ricarica presenta la possibilità di utilizzare due LED per mostrare lo stato della carica e in questo caso è usato un BICOLOR che risponde alle seguenti condizioni della tabella in "Figura 13a".

TABLE 5-1: STATUS OUTPUTS

| Charge Cycle State    | STAT1 | STAT2 | PG   |
|-----------------------|-------|-------|------|
| Shutdown              | Hi-Z  | Hi-Z  | Hi-Z |
| Standby               | Hi-Z  | Hi-Z  | L    |
| Charge in Progress    | L     | Hi-Z  | L    |
| Charge Complete (EOC) | Hi-Z  | L     | L    |
| Temperature Fault     | Hi-Z  | Hi-Z  | L    |
| Timer Fault           | Hi-Z  | Hi-Z  | L    |
| System Test Mode      | L     | L     | L    |

(a) STAT1=LED GREEN,  
STAT2=LED RED



(b) circuito del "POWERBANK"

Figura 13: schematico della circuiteria dell'auto-alimentazione

### 3.11 POWER SELECTION

La DEVBOARD può essere alimentata da diverse sorgenti e quindi è stato progettato un circuito di selezione delle sorgenti di alimentazione.

Inizialmente bisogna scegliere tramite il JUMPER THT "J8" se alimentare la scheda dai 4.9V~5.1V della USB o da una alimentazione esterna da 5V.

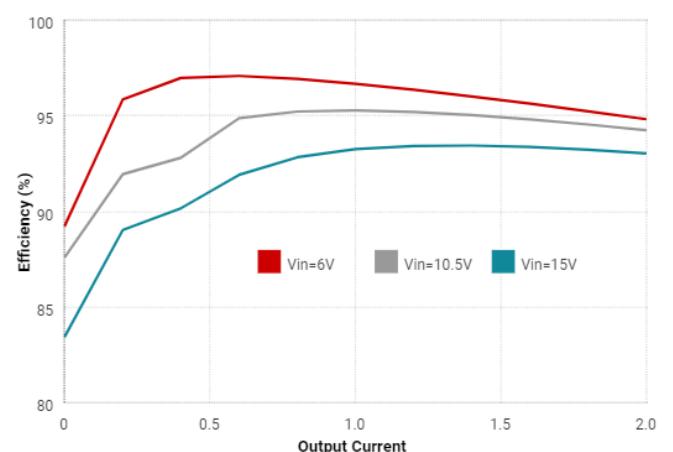
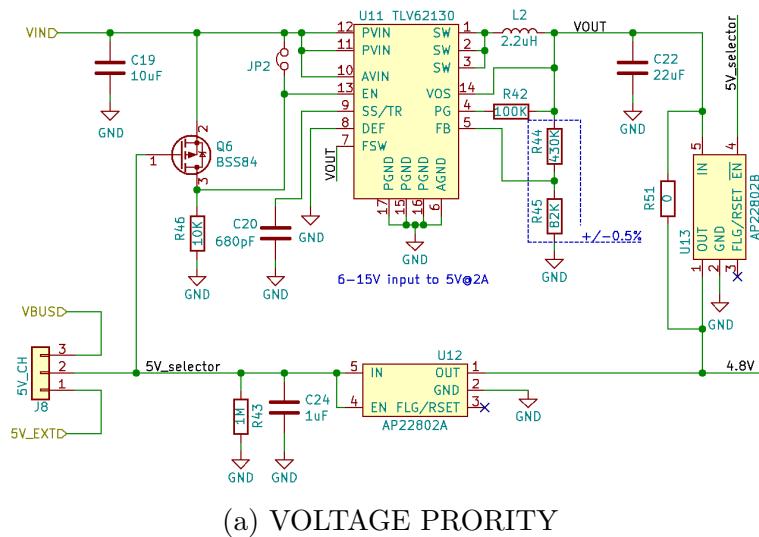
Succesivamente entra in funzione il circuito di prioritizzazione costruito con due diodi ideali della serie "AP22802" che lavorano in due logiche di ENABLE differenti (questi IC tolgoano di mezzo la classica ciruitiera costruita con MOSFET e diodi di protezione, per evitare i "conflitti di alimentazione").

I diodi ideali servono perché il caricatore richiede una alimentazione non inferiore a  $V_{BAT} + 0.3V = 4.25V + 0.3V \simeq 4.6V$  e con un carico massimo di 2A (1A per la carica della batteria e 1A di alimentazione della scheda) i diodi SCHOTTKY che possiedono una caduta inferiore a 0.3V@2A sono molto costosi, ingombranti e appena mi allontano dal curva 25°C del grafico "FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE" le caratteristiche divergono troppo.

L'IC "U13" potrebbe essere sostituito dalla resistenza "R51", ma bisogna rimuovere "JP2" ed popolare il MOSFET "Q6" per pilotare l'ENABLE del DCDC "U11" (ma questa parte del circuito è ancora da testare l'effettiva efficacia e i possibili problemi che possono nascere).

DCDC "U11" ([TLV62130](#)) è un convertitore SWITCHING ad alta efficienza che permette di avere un'elevato RANGE di tensione in ingresso (6V÷15V), permettendo così l'utilizzo di alimentazioni esterne da 12V o usando delle batterie LiPo in configurazione 2S o 3S.

L'efficienza crolla con carichi sotto i 100mA, abbassandosi attorno al 89%, mentre con un carico di 2A l'efficienza raggiunge anche valori superiori al 91%, ma attraverso dei conti in condizione STANDBY STATE il chip rimane sotto i 30°C nelle condizioni di carico più gravose;



(b) curva dell'efficienza del DCDC "U11"

Figura 14: schematico dell'alimentazione

### 3.12 POWER SUPPLY 3.3V

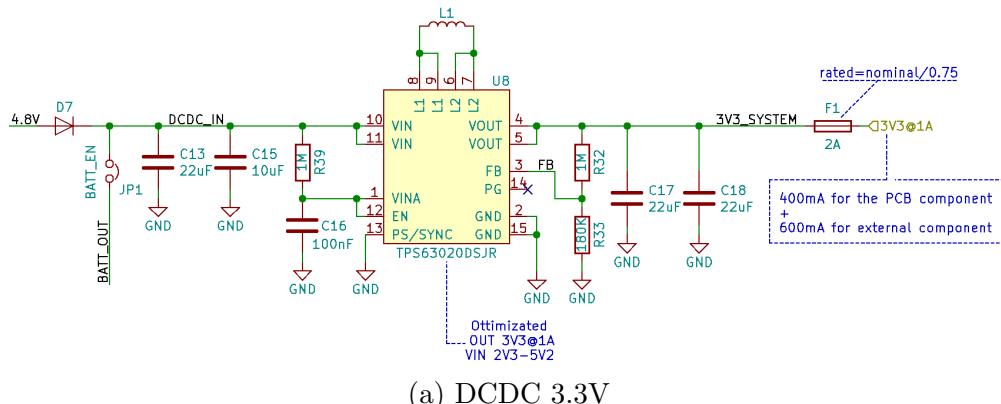
Per poter garantire una tensione costante a 3,3V sia con la batteria ( $2.35\text{VV} \div 4.12\text{V}$ ) che con l'alimentazione esterna ( $4.3\text{V} \div 4.5\text{V}$ ) è stato impiegato un BUCK-BOOST CONVERTER ([TPS63020](#)).

I " $4.3\text{V} \div 4.5\text{V}$ " sono ottenuti, quando la batteria è disabilitata dalla presenza una alimentazione esterna, che passando attraverso la "POWER SELECTION" subisce un DROP, che si somma a quello sul diodo "D7" ([DS34W](#)), che vale  $\simeq 0.5\text{V}$  quando è caricato con  $1\text{A}@T_{\text{amb}}=25^\circ\text{C}$ .

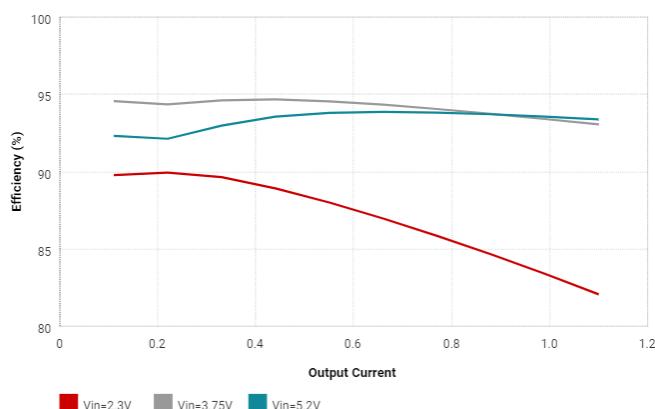
Mentre l'intervallo " $2.35\text{VV} \div 4.12\text{V}$ " è ottenuto quando la batteria ( $2.5\text{V} \div 4.2\text{V}$ ) è sotto carico e ho un drop massimo di  $150\text{mV}$  (vedi in sezione 3.10, "batteria di backup" sui MOSFET del circuito di protezione), a  $2.3\text{V}$  l'efficienza del DCDC si avvicina all'82% e per mantenere un OUT di  $3\text{V3}@1.1\text{A}$  il DCDC assorbe  $\simeq 2\text{A}$  di corrente dalla batteria (vedi "Figura 15b").

Un "PTC" ([MF-NSMF200](#)) protegge il DCDC da cortocircuiti causati durante l'utilizzo della scheda.

Per il calcolo del fusibile è stato calcolato il consumo massimo di tutta la scheda (componenti presenti e quelli delle possibili espansioni) ed il valore calcolato è stato usato nelle formule trovate nel file "[FUSEOLOGY](#)" della LITTLEFUSE per calcolare i valori da cercare per trovare il modello di PTC adatto alle mie condizioni di lavoro.



(a) DCDC 3.3V



(b) curva dell'efficienza del DCDC

Figura 15: schematico del DCDC con OUT a 3V3

### 3.13 Porte di espansione

Nella scheda sono presenti 4 porte di espansione:

- un'espansione con cinque I/O generici ("J3");
- due IO che possono solo essere usati come INPUT analogici ("J9");
- un'espansione contenente la porta SPI supportata dal DMA (richiamabile nei codici con il nome "VSPI") e la linea I2C usata dai 2 sensori e il DISPLAY montati sulla scheda (quindi 3 indirizzi sono già utilizzati) ("J5");
- un connettore a 4 poli della serie **JST-PH** ("J6") per usare l'I2C della famiglia "STEMMA e QWIIC" dell' **ADAFRUIT** e della **SPARKFUN** (=rendere più facile l'interazione tra la DEVBOARD e i sensori della famiglia STEMMA e della serie QWIIC);
- un'espansione di alimentazione a 3.3V per poter collegare fino a 3 dispositivi direttamente con la DEVBOARD ("J7").

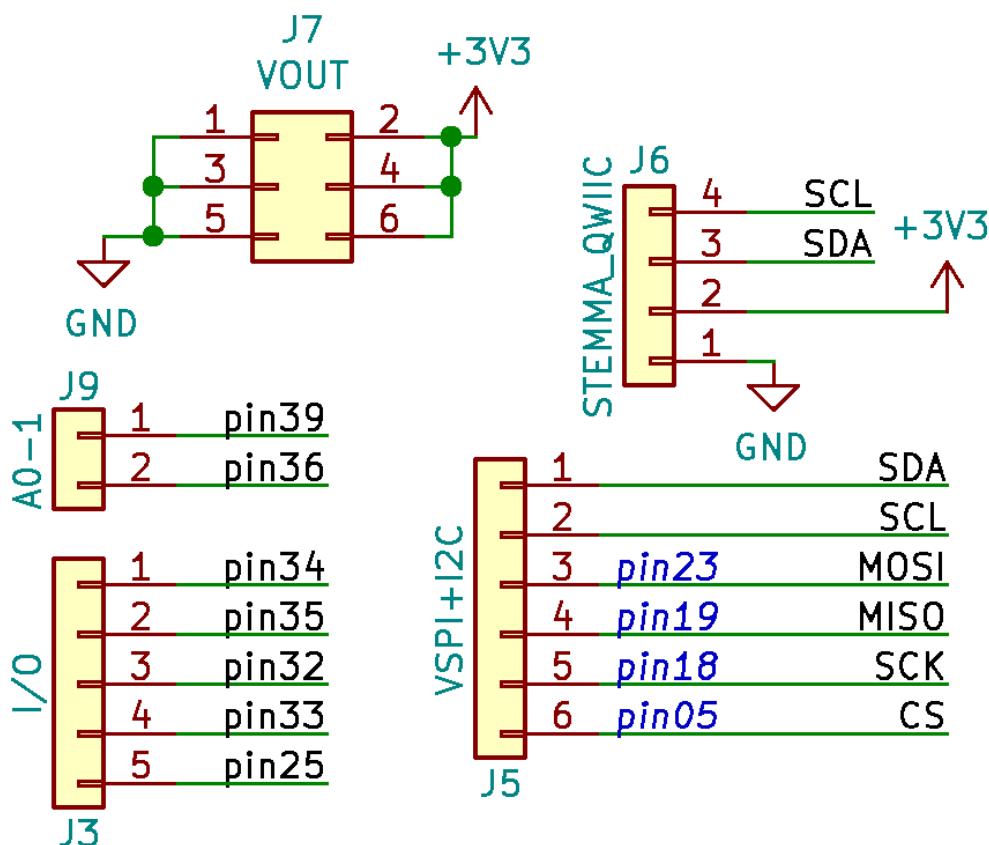


Figura 16: porte di espansione

### 3.14 Segnalazione luminosa per la tensione di alimentazione

Nella DEVBOARD sono presenti 4 diodi LED verdi (1.9V@5mA) e segnalano i seguenti stati:

- "D10" segnala la presenza di una tensione di alimentazione da 5V non proveniente dall'USB;
- "D11" segnala la presenza di una tensione di alimentazione da 5V proveniente dall'USB;
- "D12" segnala la presenza di una tensione dopo il circuito di selezione;
- "D13" segnala la presenza dei 3.3V nella DEVBOARD.

Le quattro resistenze sono calcolate in modo da mantenere la condizione  $V_{forward}$  di 1.9V e  $I_{forward}$  di 5mA dei LED verdi 0402 usati nel progetto.

I valori delle potenze dissipate per effetto JOULE sulle quattro resistenze sono massimi nei resistori "R55" e "R54", con un valore di  $\simeq 16\text{mW}$  (molto inferiore al limite del formato 0402, che è di 62.5mW).

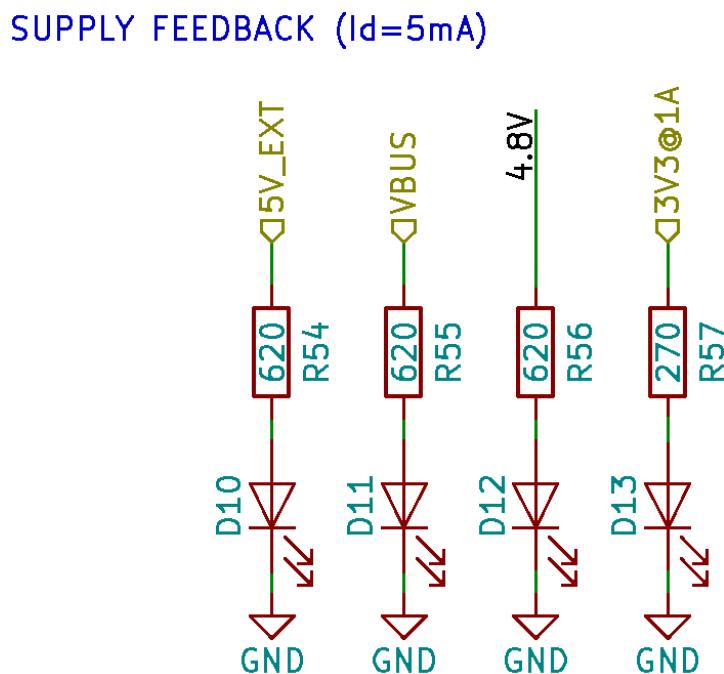


Figura 17: sezione dello schematico, dei diodi LED di segnalazione delle alimentazioni

## 4 Schematico e BOOM

Per il disegno della scheda è stato utilizzato il SOFTWARE gratuito e OPENSOURCE chiamato KiCAD.

Questo SOFTWARE che non ha tutte le FEATURES di EAGLE, ma dopo 2 anni di utilizzo di questo software gratuito ho deciso di abbandonare EAGLE (usato per uso personale per 5 anni e poi abbandonato due anni dopo che AUTODESk ha acquisito il SOFTWARE) per questioni di praticità di manipolazione delle librerie (molto intuitivo e facile), della presenza di facili SHORTCUTs e dei RENDER rapidi della scheda.

I simboli e le impronte non presenti nelle librerie di DEFAULT sono state inseriti (rispettivamente) nella libreria simboli "PSE\_LIB\_PRG" e nella libreria impronte "PSE\_package".

Nelle pagine successive sono riportati i schematici e la BOOM (di 137 componenti totali).

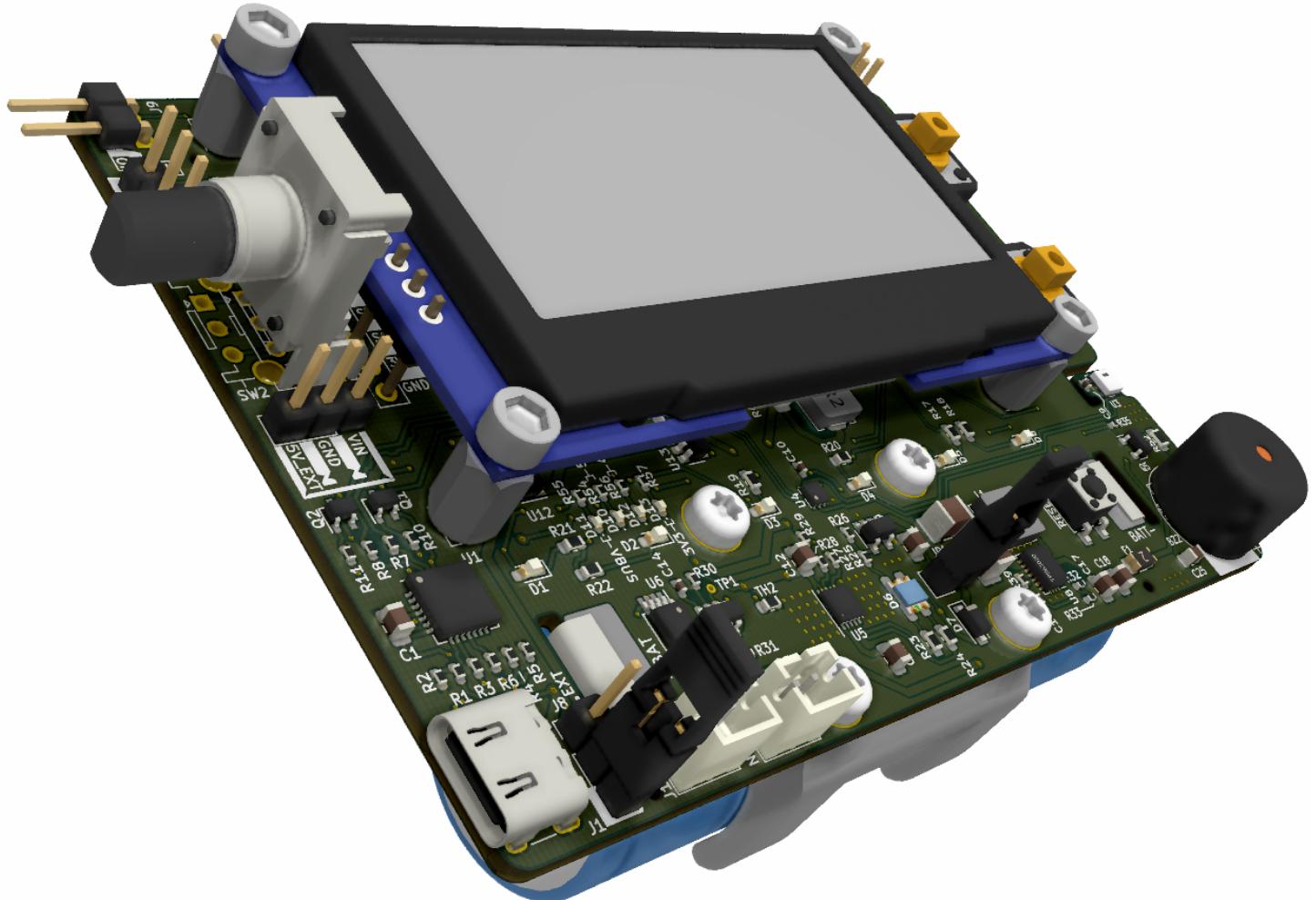
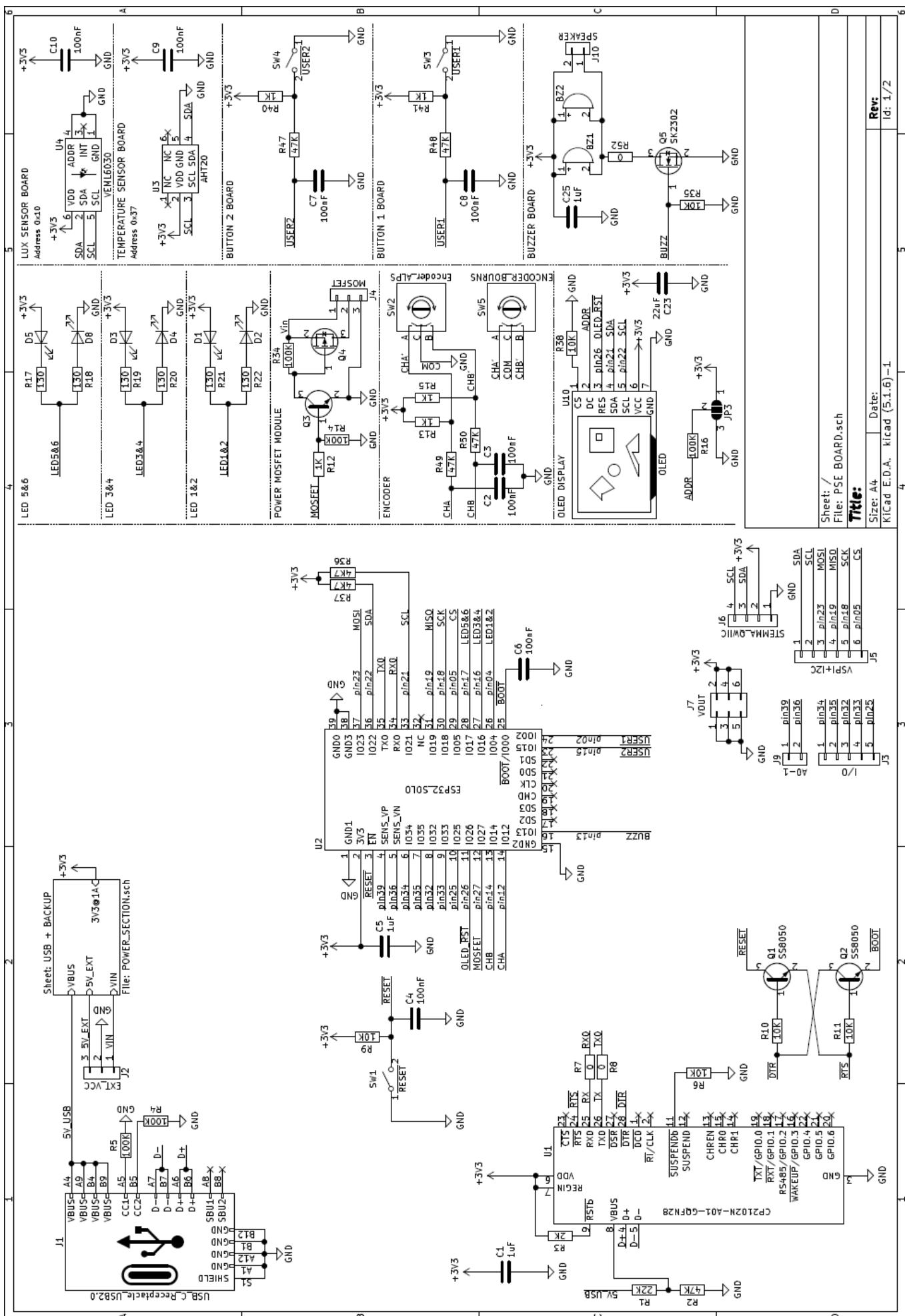
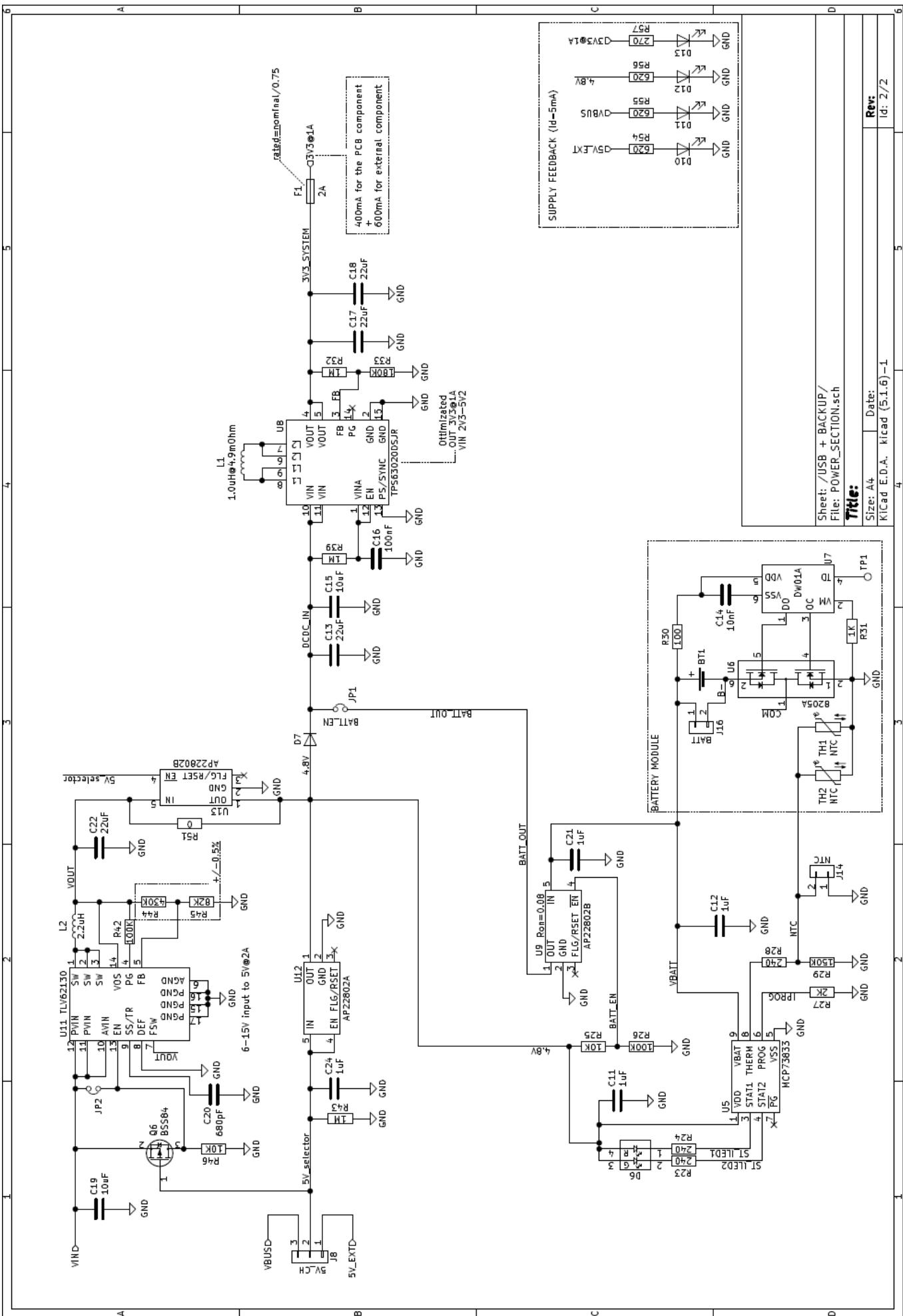


Figura 18: RENDER della DEVBOARD





| REFERENCE                       | VALUE                  | FOOTPRINT  | Qt |
|---------------------------------|------------------------|--|----|
| BT1                             | Battery_Cell           | PSE_package:BATT_18650_21700                                   | 1  |
| BZ1                             | Buzzer                 | Buzzer_Beeper:Buzzer_CUI_CPT-9019S-SMT                         | 1  |
| BZ2                             | Buzzer                 | Buzzer_Beeper:Buzzer_12x9.5RM7.6                               | 1  |
| C1, C5, C11, C12, C21, C24, C25 | 1uF                    | Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric                                | 7  |
| C2-C4, C6-C10, C16              | 100nF                  | Capacitor_SMD:C_0402_1005Metric                                | 9  |
| C14                             | 10nF                   | Capacitor_SMD:C_0402_1005Metric                                | 1  |
| C15                             | 10uF                   | Capacitor_SMD:C_1210_3225Metric                                | 1  |
| C17, C18                        | 22uF                   | Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric                                | 2  |
| C19                             | 10uF                   | Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric                                | 1  |
| C20                             | 680pF                  | Capacitor_SMD:C_0603_1608Metric                                | 1  |
| C22                             | 22uF                   | Capacitor_SMD:C_1206_3216Metric                                | 1  |
| C13, C23                        | 22uF                   | Capacitor_SMD:C_1210_3225Metric                                | 2  |
| D1-D5, D9                       | LED                    | LED_SMD:LED_0603_1608Metric_Castellated                        | 6  |
| D6                              | LED_DUAL_COLOR         | PSE_package:11-22_S0MD_LED_EVERLIGHT                           | 1  |
| D7                              | D                      | Diode_SMD:D_SOD-123F   | 1  |
| > D10-D13                       | LED                    | LED_SMD:LED_0402_1005Metric                                    | 4  |
| F1                              | 2A                     | Fuse:Fuse_1206_3216Metric                                      | 1  |
| J1                              | USB_C                  | Connector_USB:USB_C_Receptacle_HRO_TYPE-C-31-M-12              | 1  |
| J2, J4, J8                      | EXT_VCC, MOSFET, 5V_CH | Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x03_P2.54mm_Vertical     | 3  |
| J3                              | I/O                    | Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x05_P2.54mm_Vertical     | 1  |
| J5                              | VSPI+I2C               | Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x06_P2.54mm_Vertical     | 1  |
| J6                              | I2C_ADAFRUIT           | Connector_JST:JST_SH_SMO4B-SRSS-TB_1x04-1MP_P1.00mm_Horizontal | 1  |
| J7                              | VOUT                   | Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_2x03_P2.54mm_Vertical     | 1  |
| J9                              | A0-1                   | Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x02_P2.54mm_Vertical     | 1  |
| J10, J14, J16                   | SPEAKER, NTC, BATT     | Connector_JST:JST_PH_B2B-PH-K_1x02_P2.00mm_Vertical            | 1  |
| JP1                             | BATT_EN                | Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x02_P2.54mm_Vertical     | 1  |
| JP2                             | EN                     | PSE_package:JUMPER_0805_2012Metric                             | 1  |
| L1                              | 1.0uH                  | PSE_package:L_5.4x5.2x2.8mm                                    | 1  |
| L2                              | 2.2uH                  | PSE_package:L_5.4x5.2x2.8mm                                    | 1  |
| Q1, Q2                          | SS8050                 | Package_TO_SOT_SMD:SOT-323_SC-70                               | 2  |
| Q3                              | LMBT3904WT1G           | Package_TO_SOT_SMD:SOT-323_SC-70                               | 1  |
| Q4                              | SSM3J332R              | PSE_package:SOT-23F  | 1  |
| Q5                              | SK2302                 | Package_TO_SOT_SMD:SOT-23                                      | 1  |
| Q6                              | BSS84                  | Package_TO_SOT_SMD:SOT-23                                      | 1  |
| R1                              | 22K                    | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 1  |
| R2, R47-R50                     | 47K                    | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 5  |
| R3, R27                         | 2K                     | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 2  |
| R4, R5, R14, R16, R26, R34, R42 | 100K                   | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 7  |
| R6, R9-R11, R25, R35, R38, R46  | 10K                    | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 8  |
| R7, R8                          | 0                      | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 2  |
| R17-R22                         | 130                    | Resistor_SMD:R_0603_1608Metric                                 | 6  |
| R23, R24                        | 240                    | Resistor_SMD:R_0603_1608Metric                                 | 2  |
| R28                             | 240                    | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 1  |
| R29                             | 150K                   | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 1  |
| R30                             | 100                    | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 1  |
| R32, R39, R43                   | 1M                     | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 3  |
| R33                             | 180K                   | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 1  |
| R36, R37                        | 4K7                    | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 2  |
| R12, R13, R15, R31, R40, R41    | 1K                     | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 6  |
| R44                             | 430K                   | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 1  |
| R45                             | 82K                    | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 1  |
| R51, R52                        | 0                      | Resistor_SMD:R_0805_2012Metric                                 | 2  |
| R54, R55, R56                   | 620                    | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 3  |
| R57                             | 270                    | Resistor_SMD:R_0402_1005Metric                                 | 1  |
| SW1                             | ~RESET~                | PSE_package:SW_SPST_4.5mmx4.5mm                                | 1  |
| SW2                             | Encoder_ALPS           | PSE_package:RotaryEncoder_Alps_EC10E_HORIZONTAL                | 1  |
| SW3, SW4                        | ~USER1~, ~USER2~       | PSE_package:12x12mm_THT_OMRON_B3F                              | 2  |
| SW5                             | ENCODER_BOURNS         | PSE_package:PEC12R   | 1  |
| TH1, TH2                        | NTC                    | Resistor_SMD:R_0603_1608Metric                                 | 2  |
| U1                              | CP2102N-A01-GQFN28     | Package_DFN_QFN:QFN-28-1EP_5x5mm_P0.5mm_EP3.35x3.35mm          | 1  |
| U2                              | ESP32_SOLO             | RF_Module:ESP32-WROOM-32                                       | 1  |
| U3                              | AHT20                  | PSE_package:AHT20_package                                      | 1  |
| U4                              | VEML6030               | PSE_package:VEML6030_PACKAGE                                   | 1  |
| U5                              | MCP73833               | Package_DFN_QFN:DFN-10-1EP_3x3mm_EP1.65x2.38mm                 | 1  |
| U6                              | 8205A                  | Package_SO:TSOP-8_4.4x3mm_P0.65mm                              | 1  |
| U7                              | DW01A                  | Package_TO_SOT_SMD:SOT-23-6                                    | 1  |
| U8                              | TPS63020DSJR           | PSE_package:Texas_S-PWS0N-N14_ThermalVias                      | 1  |
| U9, U13                         | AP22802B               | Package_TO_SOT_SMD:SOT-23-5                                    | 2  |
| U10                             | OLED                   | PSE_package:OLED   | 1  |
| U11                             | TLV62130               | Package_DFN_QFN:QFN-16-1EP_3x3mm_EP1.68x1.68mm                 | 1  |
| U12                             | AP22802A               | Package_TO_SOT_SMD:SOT-23-5                                    | 1  |

Figura 19: BOOM del progetto

## 5 LAYOUT

Per il ROATING inizialmente è stata creata un'area di lavoro di 100mmx100mm e dopo qualche iterazione ed manipolazione del PCB le dimensioni sono state ridotte a 100x68,7mm, ma un'ulteriore riduzione del circuito essere effettuata tramite delle analisi sperimentali della scheda per gestire il calore generato dai DCDC ed rimuovendo i componenti non necessari, ma essendo una DEVBOARD le dimensioni attuali sono accettabili.

Il piano di massa analogica non è stato inserito nella scheda perché non sono stati utilizzati segnali analogici e il modulo ESP-32 non presenta PINOUT di alimentazione analogica (VCCA e AGND). Attorno ai DCDC e i componenti di potenza sono stati piazzati dei VIAs di aiuto per dissipare il calore generato da questi componenti.

Sfortunatamente KiCad non ha ancora implementato i TEARDPROPS (come ALTIUM) perciò i pad dei VIAS sono stati ampliati in modo da non esigere la presenza dei TEARDPROPS.

Durante il ROUTING le larghezze delle piste variano a seconda delle correnti in gioco (sfruttando lo STANDARD IPC2221 per validare le scelte) e ho usato la seguente tabella (creata con la formula dell'I-PC2221):

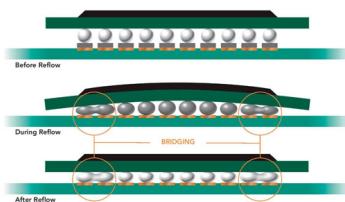
| WIDTH | NET                                    |  |  | VIAS |      |
|-------|--|--|--|------|------|
|       | $I_{MAX}$ WITH $\Delta T = 10^\circ C$ | $I_{MAX}$ WITH $\Delta T = 15^\circ C$ | $I_{MAX}$ WITH $\Delta T = 20^\circ C$ | PAD  | HOLE |
| 0,25  | 0,865                                  | 1,033                                  | 1,17                                   | 0,45 | 0,25 |
| 0,5   | 1,429                                  | 1,708                                  | 1,938                                  | 0,65 | 0,3  |
| 0,7   | 1,824                                  | 2,18                                   | 2,474                                  | 0,8  | 0,4  |

Alcuni componenti sono difficili da montare a con un saldatore a stilo ma richiede un fornelletto o una HOT AIR STATION perché per motivi di ROUTING e termici alcuni componenti hanno delle connessioni sprovvisti di THERMAL RELIEF o hanno troppo rame collegato su alcuni PIN.

I VIAS possono rompersi a causa di:

- scarsa qualità della scheda
- SHOCK termici
- sforzi meccanici sulla scheda
- vibrazioni

N.B la tecnologia BGA per la loro difficoltà di DEBUGGING per la qualità delle saldature.



## 6 RENDERING

Di seguite sono riportati tutti i RENDERING effettuati con KiCad e "RAY TRACING".

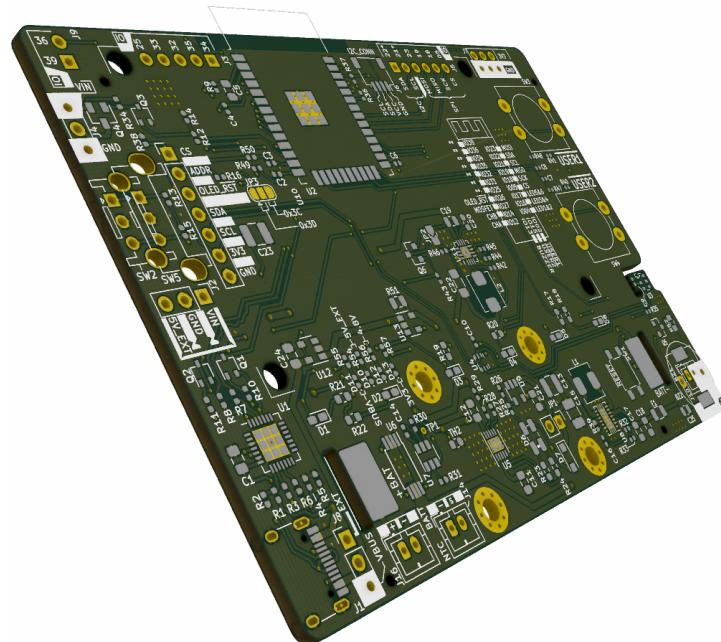


Figura 20: RENDERING del PCB senza componenti, fronte

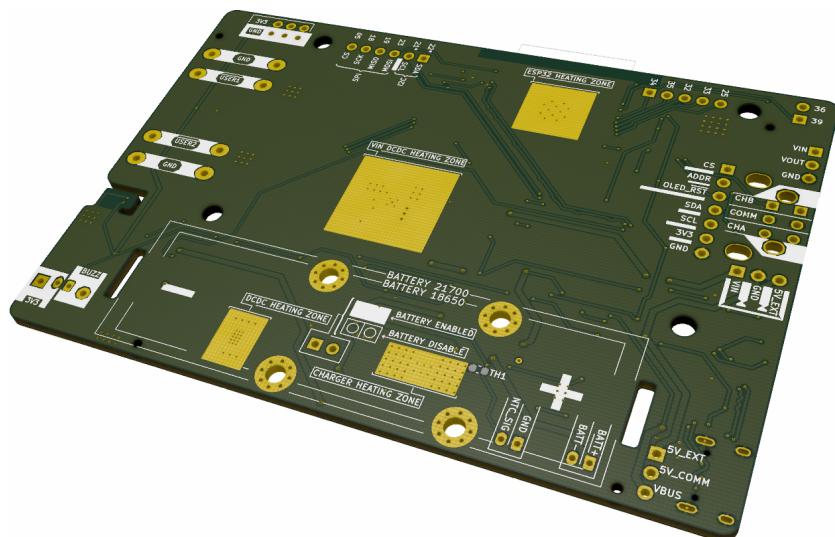


Figura 21: RENDERING del PCB senza componenti, retro

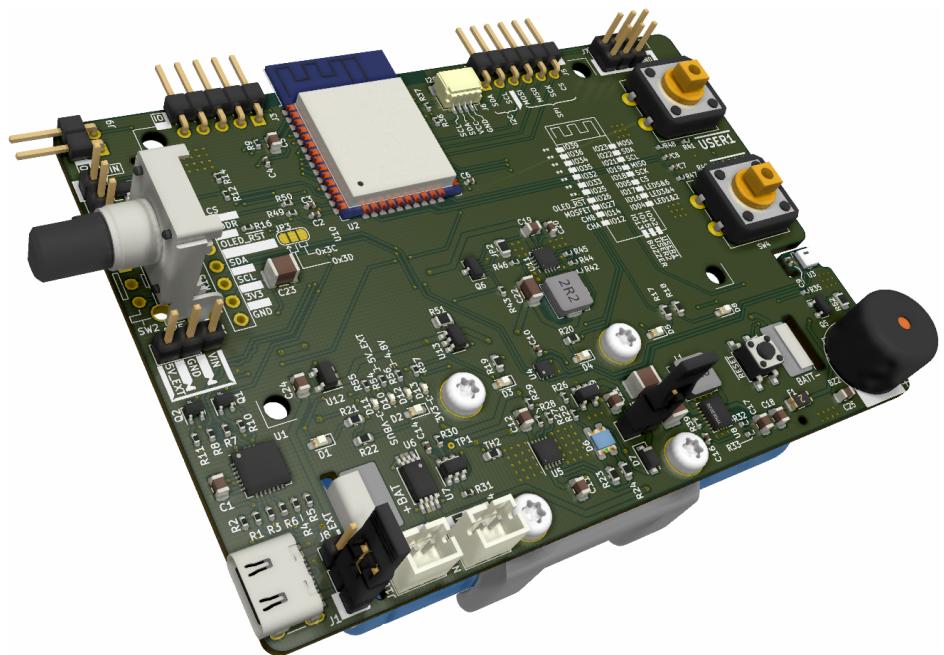


Figura 22: RENDERING del PCB con componenti, lato TOP e senza OLED

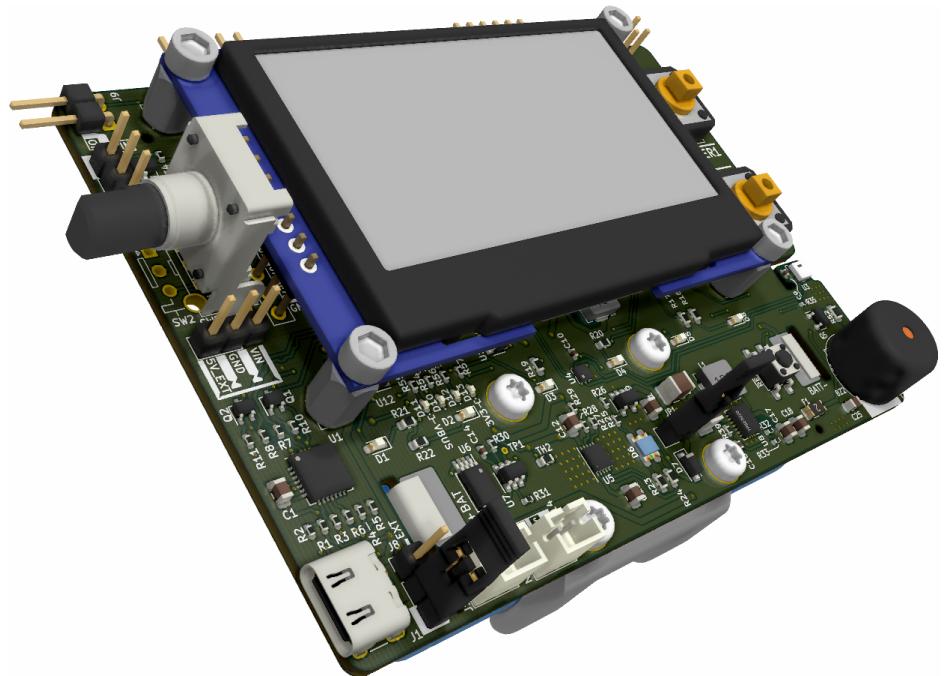


Figura 23: RENDERING del PCB con componenti, lato TOP e con OLED

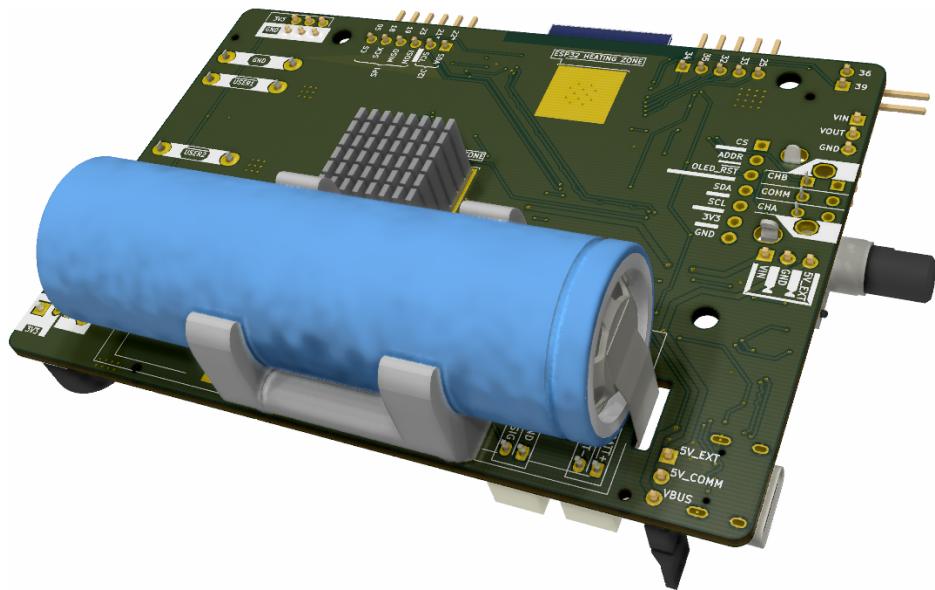


Figura 24: RENDERING del PCB con componenti, lato BOTTOM e senza supporto

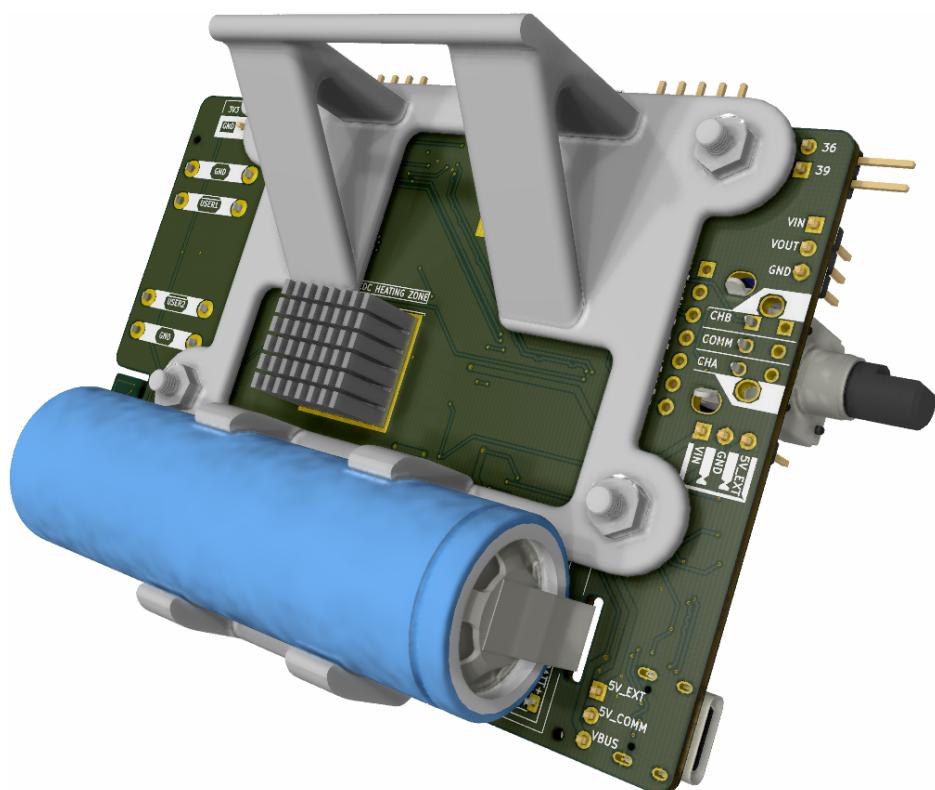


Figura 25: RENDERING del PCB con componenti, lato BOTTOM e con il supporto

## 7 GERBER

Successivamente sono riportati i GERBER (la cornice rettangolare attorno alle immagini è solo per rendere più leggibile le esportazioni dei file GERBER) e le immagini sono ordinate ordinati come:

- strato perimetrale della scheda;
- strato frontale del rame;
- strato della serigrafia frontale;
- strato frontale della SOLDER MASK;
- strato frontale della maschera della pasta saldante (usato anche per generare lo STENCIL frontale)
- strato inferiore del rame;
- strato della serigrafia inferiore;
- strato inferiore della SOLDER RESIST;
- strato inferiore della maschera per la pasta saldante (usato anche per generare lo STENCIL inferiore);
- strato dei fori metallizzati e leggermente stagnati;
- strato dei fori non metalizzati.

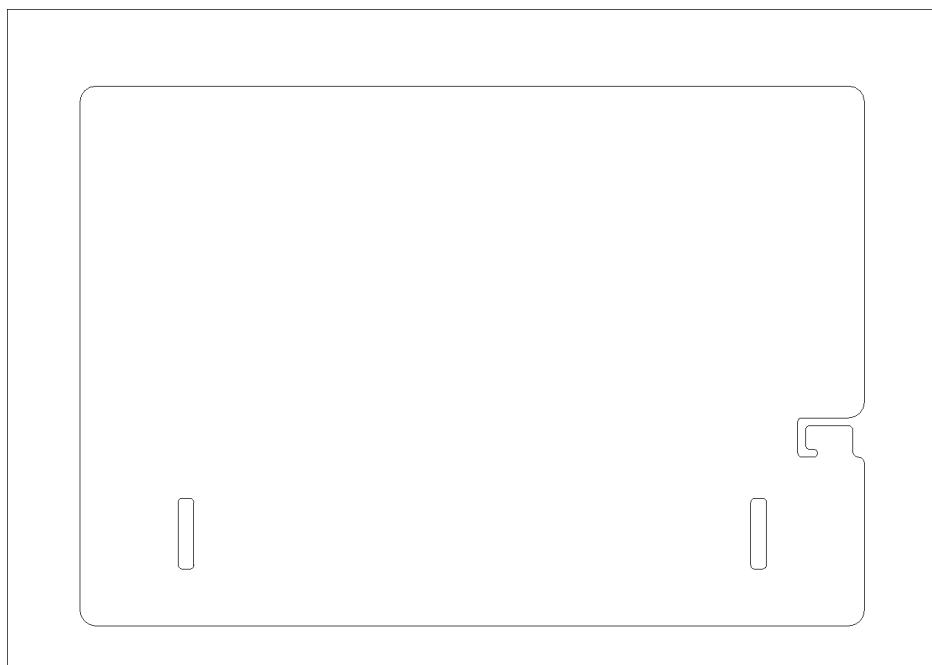


Figura 26: RENDERING del perimetro della scheda

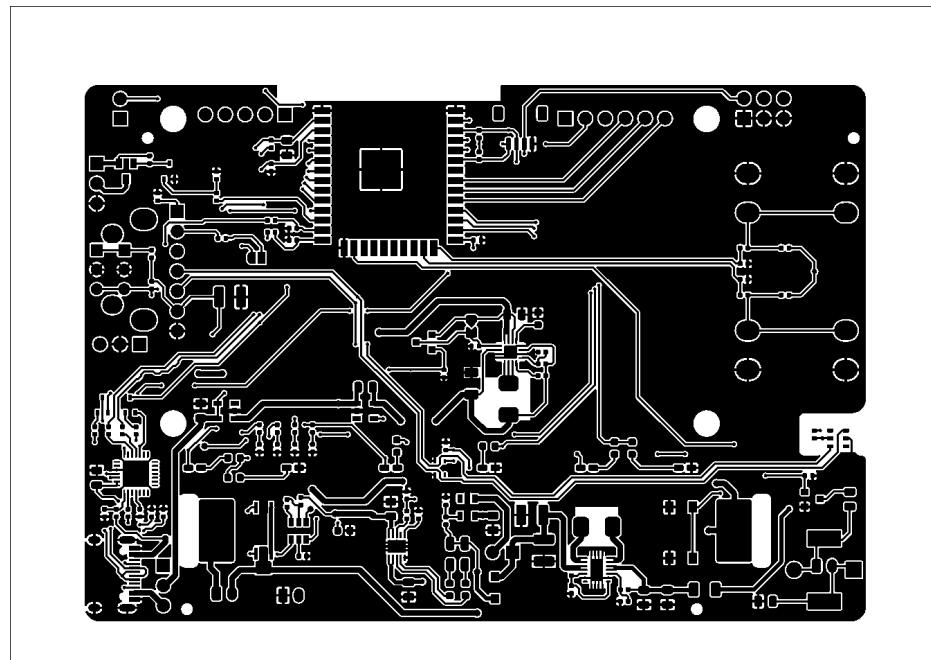


Figura 27: GERBER del COPPER LAYER sul lato TOP

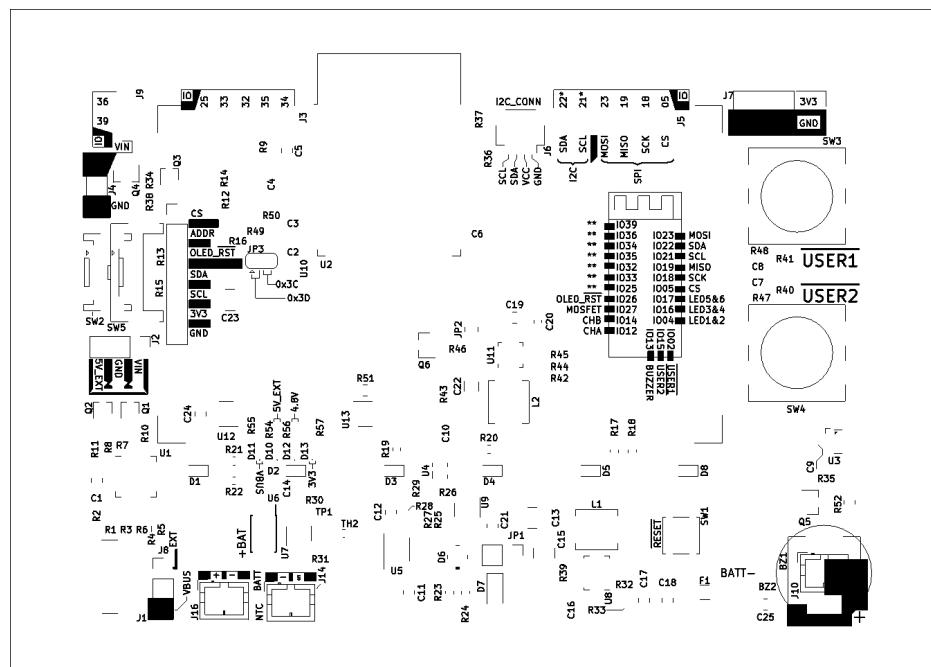


Figura 28: GERBER della SILKSCREEN sul lato TOP

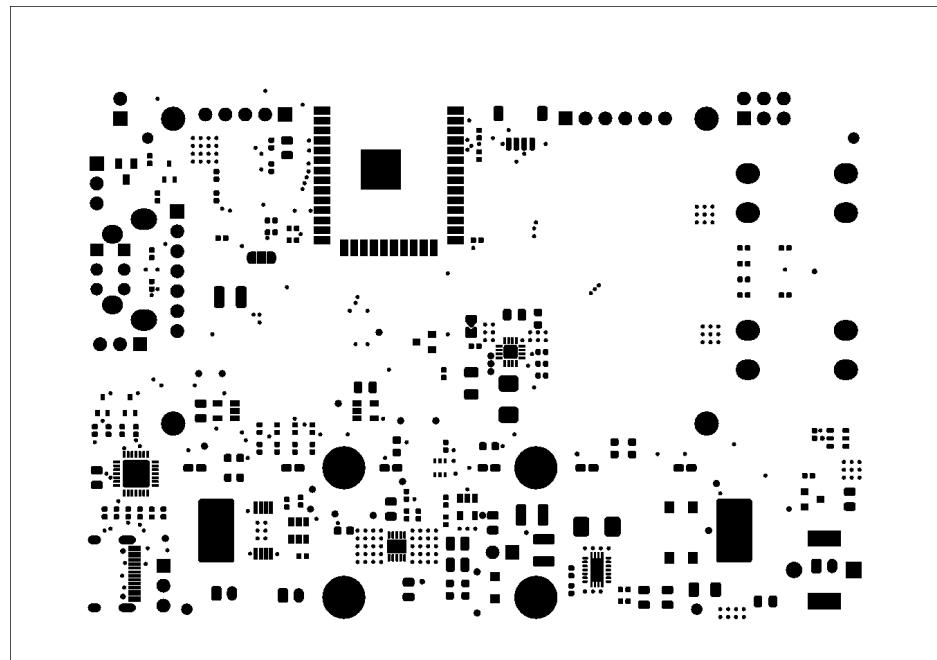


Figura 29: GERBER della SOLDER MASK sul lato TOP

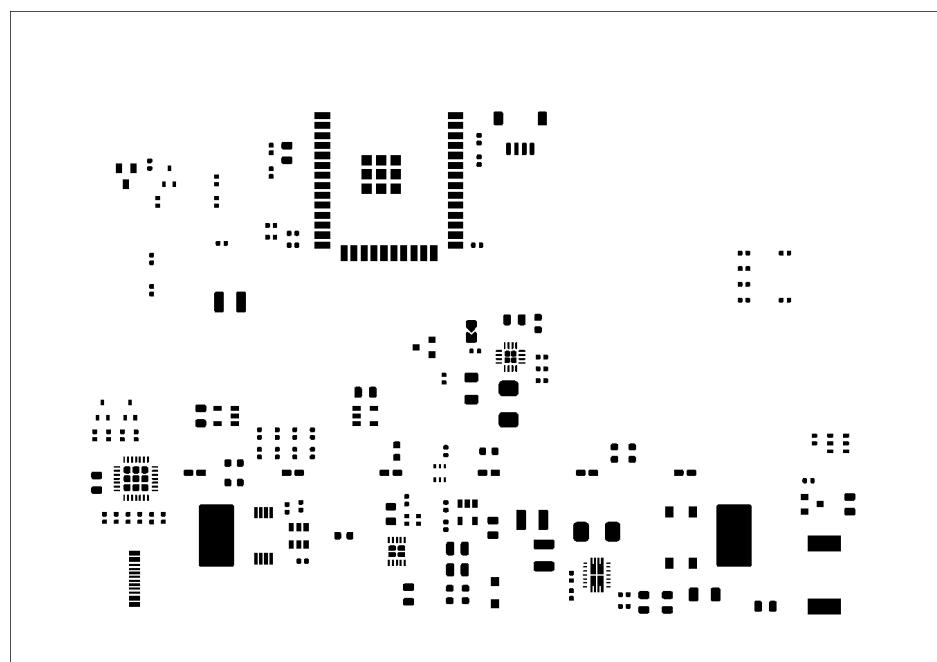


Figura 30: GERBER della SOLDER PASTE sul lato TOP

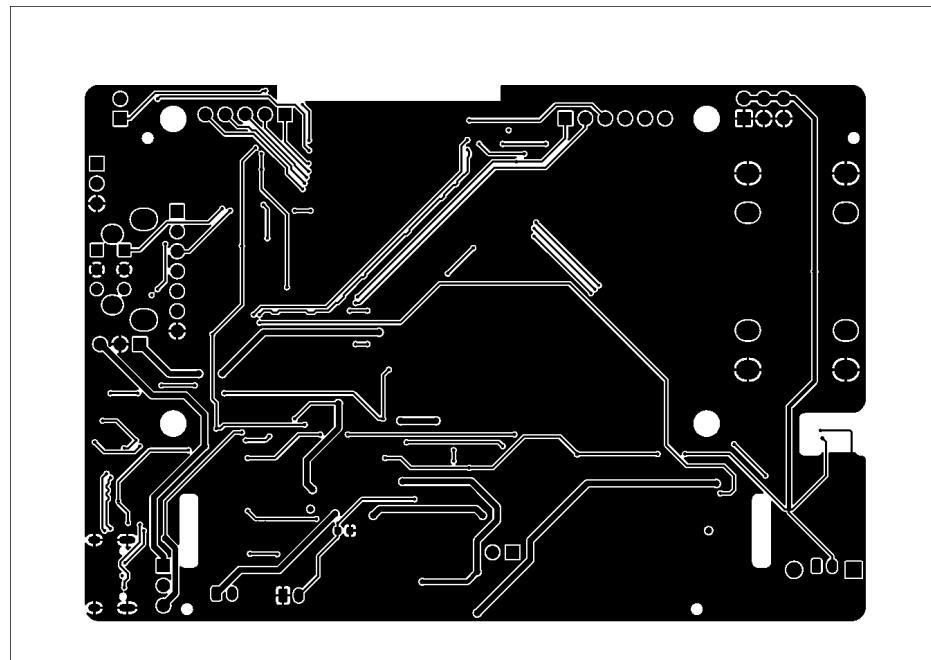


Figura 31: GERBER del COPPER LAYER sul lato BOTTOM

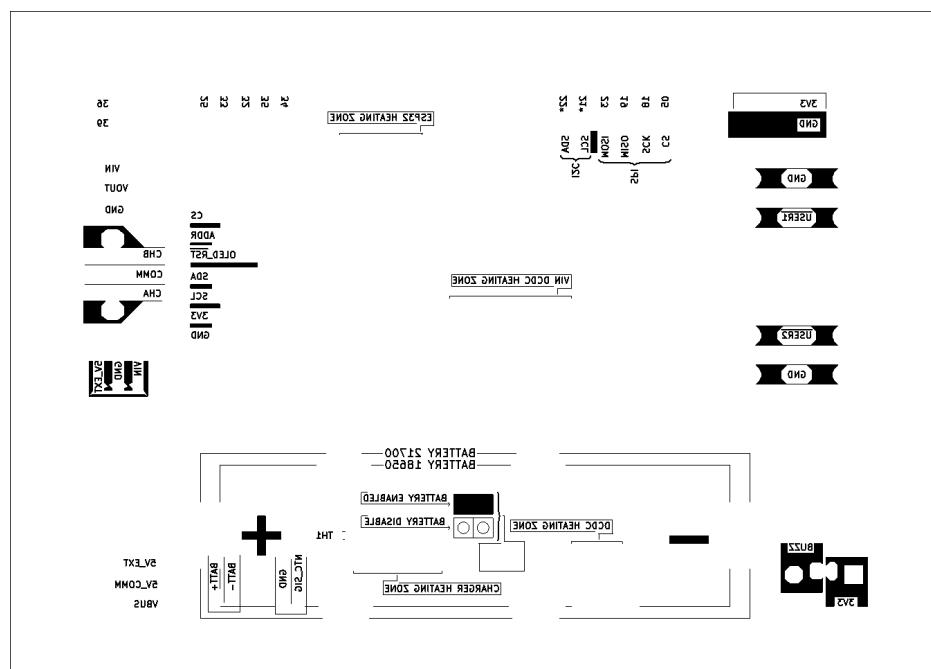


Figura 32: GERBER della SILKSCREEN sul lato BOTTOM

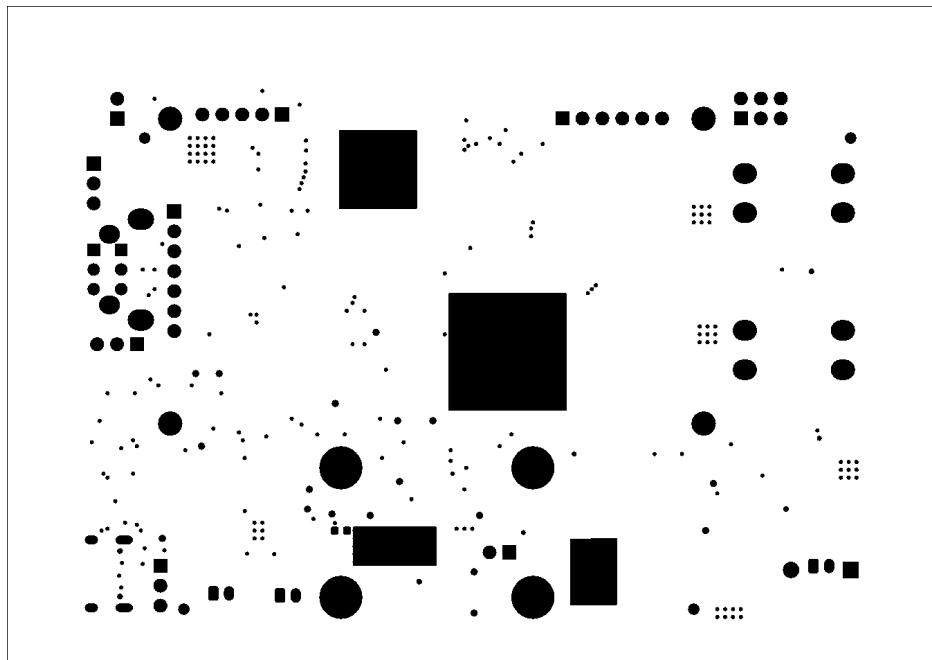


Figura 33: GERBER della SOLDER MASK sul lato BOTTOM

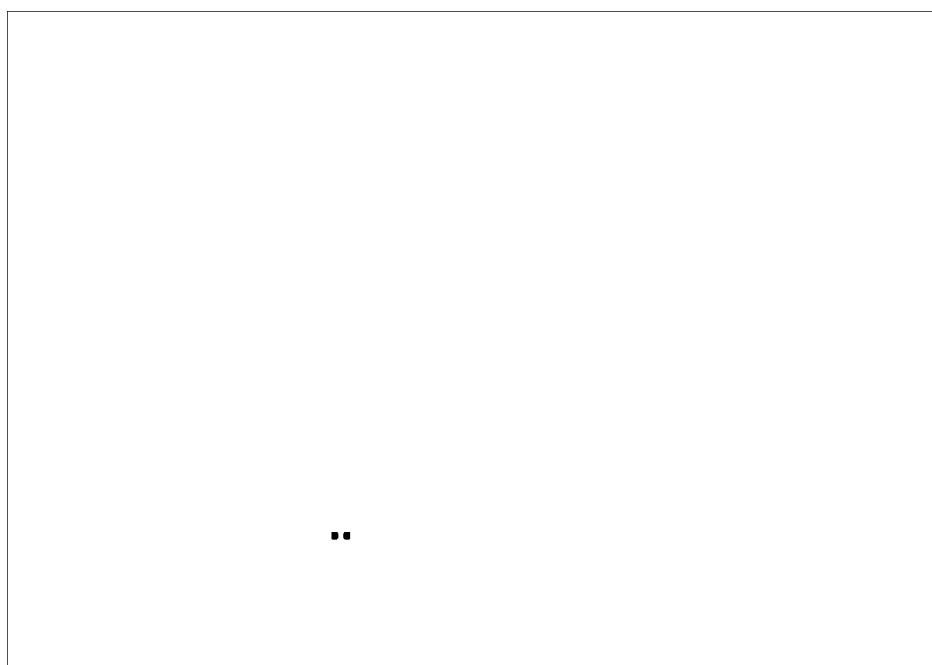


Figura 34: GERBER della SOLDER PASTE sul lato BOTTOM

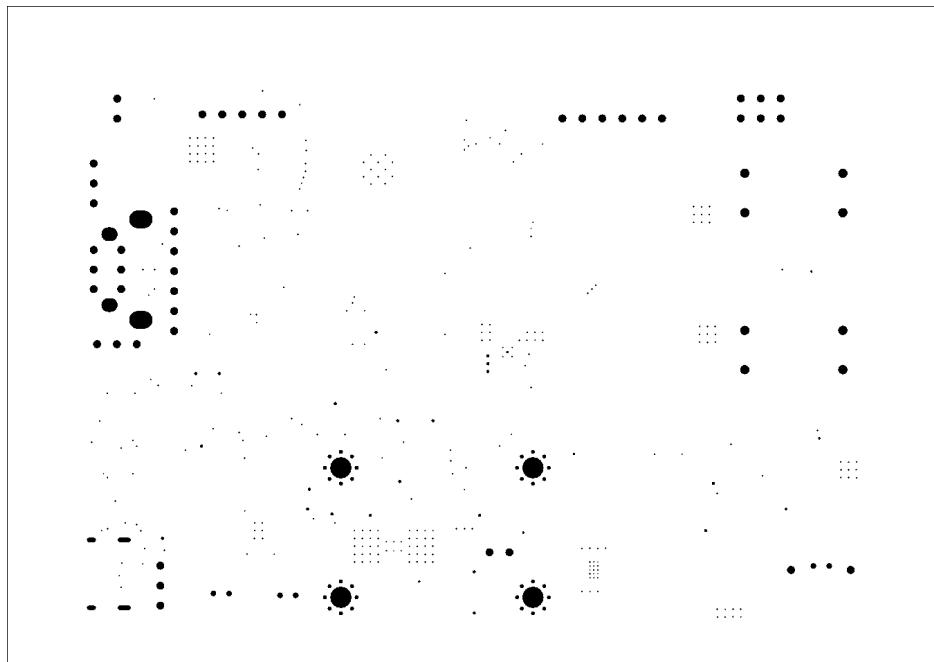


Figura 35: GERBER dei PLATED THROUGH-HOLE

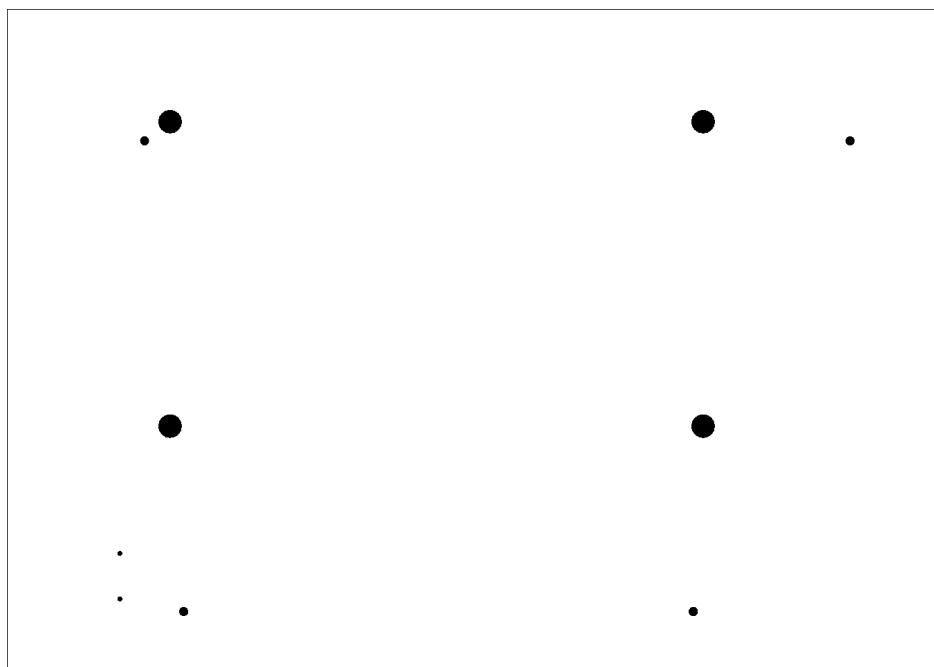


Figura 36: GERBER dei NOT PLATED THROUGH-HOLE

## 8 Assemblaggio

Per l'assemblaggio è stato deciso di usare il servizio integrato della JLCPCB per la popolazione di 2 schede della 5 che verranno prodotte dall'azienda per un costo totale di 20Euro per l'assemblaggio.

Il servizio di assemblaggio automatizzato fornito da questa azienda è molto economico (e per questo i loro attuali limiti sono la saldatura su un singolo lato e l'incapacità di lavorare con i formati "BGA"), ma per TEST simili a questa DEVBOARD sono più che sufficienti (anche se usiamo componenti non prodotte dalle grandi aziende note, come la YAGEO, BOURNS, KYOCERA, etc.).

Per poter usufruire il servizio, la scheda necessita di almeno tre FIDUCIAL di tipo THT non metallizzati da 1.152mm con una maschera anulare di 0.148mm .

Questi fori possono essere fatti dall'utente o a discriminazione dell'azienda, ma in questo progetto è stata usata la prima opzione creando una disposizione dei fori, usando una misura metrica (vedi "Figura 36").

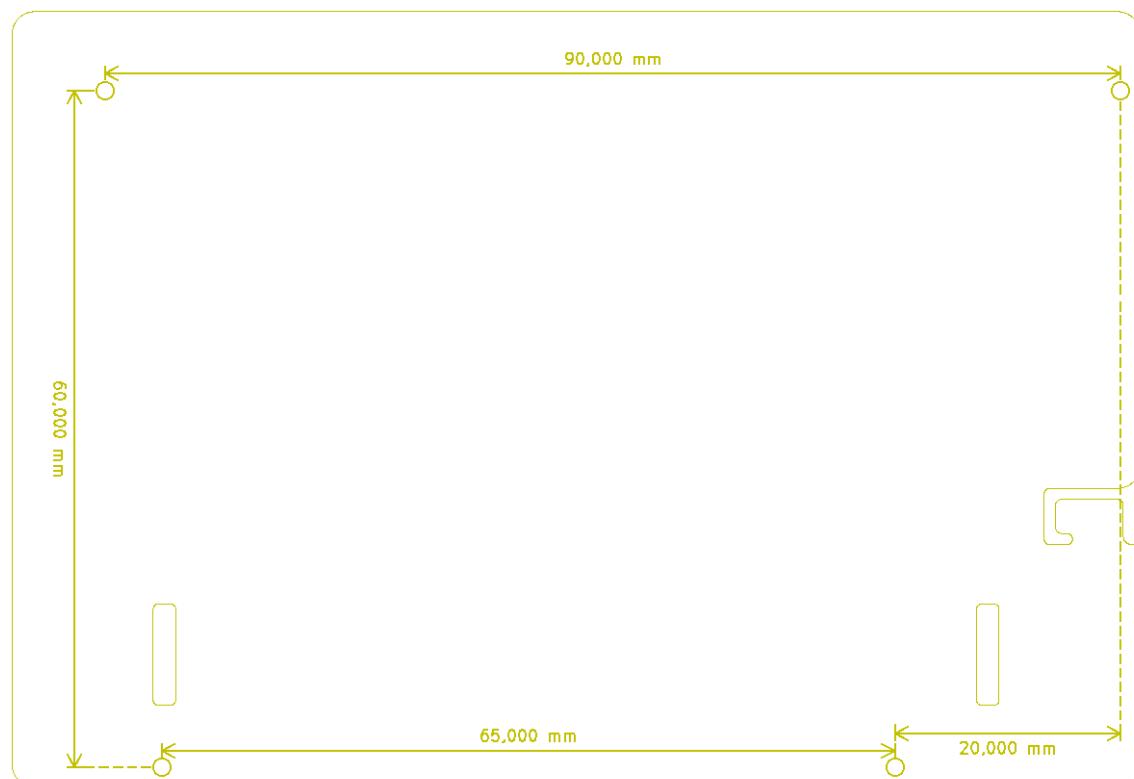


Figura 37: fori per l'assemblaggio

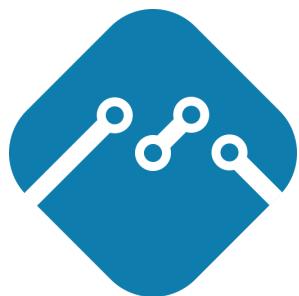
## 9 Programmazione ed uso pratico

La grande diffusione della "ESPRESSIF" con i modelli "ESP32" o della vecchia serie "ESP8266" è stata possibile grazie al gran numero di **IDE** utilizzabili per programmare i loro prodotti e per il limitato HARDWARE esterno per far funzionare i loro moduli.

Un'altra potenzialità è il loro "READY OUT OF BOX" per l'IOT con tanto di APP (compatibili con l'ecosistema APPLE) e tanto altro.

DEVELOPMENT ENVIRONMENTS utilizzabili:

- MONGOOSE OS
- MicroPython
- NodeMcu
- Arduino
- PLATFORMIO.ORG
- ZERYNTH



MicroPython



PLATFORMIO.ORG

ZERYNTH®  
Your Ideas. Embedded

## 10 REFERENCE

[REFERENCE](#) per programmare con l'ESP-32.

[JLCPCB](#) sito cinese per i PCB con buon rapporto qualità/prezzo, [capacità produttive](#) molto spinte per il prezzo proposto e possiede un reparto di vendita di [componenti](#) per poter fare anche l'assemblaggio direttamente con loro;

["FUSEOLOGY"](#) per scegliere i PTC;

["LINK"](#), sito usato per calcolare le tempistiche dei condensatori fra due intervalli di tensione;

["LINK"](#), guida della TEXAS INSTRUMENT per calcolare il surriscaldamento dei DCDC;

["LINK"](#), aiuto della TEXAS INSTRUMENT per le caratteristiche termiche dei PACKAGING ;

["LINK"](#), aiuto online per capire il motivo dei MOSFET in contrapposizione;

["LINK"](#), guida della TEXAS sui MOSFET in contrapposizione nelle batterie;

["LINK"](#), guida della TEXAS sui MUX di potenza;

["LINK"](#), aiuto di TOSHIBA per estrarre dai DATASHEET i fattori termici (se non sono specificati);

["LINK"](#), aiuto della TEXAS sulla validazione termica degli IC;

["LINK"](#), aiuto per le simulazioni LT SPICE;

["LINK"](#), calcolatore ONLINE per le NET;

["LINK"](#), spaziatura elettrica dell'IPC2221;

["LINK"](#), note sul CROSSTALKING;

["LINK"](#), considerazioni EASY sugli EMI;

["LINK"](#), pratiche per l'ELECTRICAL GROUNDING ;

["LINK"](#), aiuto per il calcolo del BENDING massimo dei FLEX;

["LINK"](#), aiuto generale per rifare mente locale sui componenti elettronici generici;

["LINK"](#), guida sul LOWPOWER della STM con i loro chip.