



KHORD: Progettazione e Realizzazione di una Tastiera Stenografica Digitale

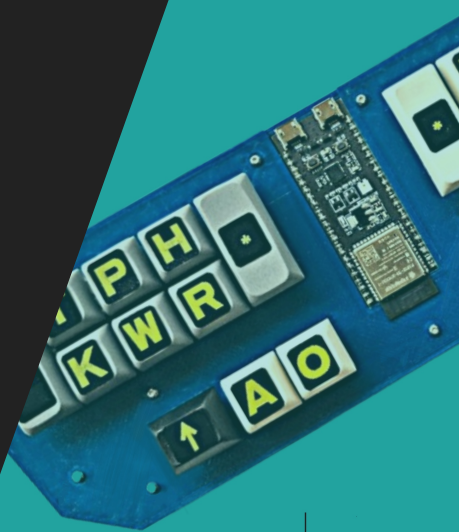
Dipartimento di Informatica "Giovanni degli Antoni", Università degli Studi di Milano

Valeria Stighezza e Marco Barbaro

Luglio 2025



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO





Indice

1 Introduzione

► **Introduzione**

► Progettazione Hardware

► Progettazione Software

► Analisi e Conclusioni

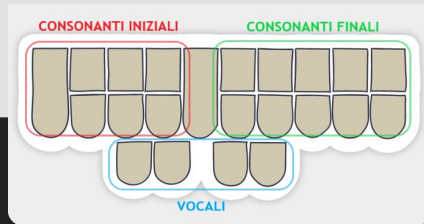


Stenografia e Tastiere Stenografiche

1 Introduzione

Le Tastiere Stenografiche

- Stenografia = trascrizione testuale in **tempo reale**
- Tastiera stenografica divisa in: **consonanti iniziali** / **vocali** / **consonanti finali**
- **Non tutte** le lettere sono **presenti** (es. C), alcune sono **ripetute** (es. T)
- Input **fonetico** tramite **accordi**: pressione simultanea di più tasti (**chords**)
- Accordi: **sillabe** o intere **parole**
- Esempi: "cat" → KAT, "chord" → KHORD
- Velocità: **200+ WPM** (al posto di 50-80)





Tastiere Meccaniche e Obiettivi del Progetto

1 Introduzione

Le Tastiere Meccaniche

- Interruttori meccanici individuali sotto a ogni tasto
- *Vantaggi:* durata, N-key rollover, anti-ghosting, personalizzazione (es. QMK), facile manutenzione

Obiettivi e Motivazioni del progetto

- Superare limiti di QMK su ESP32-S3 (non compatibile!!)
- Firmware *dedicato* + hardware *su misura*
- Tastiera a **basso costo** e **open-source** → **accessibile** e **replicabile**
- **Pensata per chiunque:** studenti, programmatori, scrittori, professionisti ...



Indice

2 Progettazione Hardware

► Introduzione

► **Progettazione Hardware**

► Progettazione Software

► Analisi e Conclusioni



Obiettivo: utilizzare componenti **affidabili**, **facilmente reperibili** e a **basso costo**.

Componentistica

- Scheda di sviluppo ESP32-S3-DevKitC-1-N8R8
- 25 switch meccanici Cherry MX brown
- 25 diodi 1N4148
- 22 copritasti DSA da 1u
- 3 copritasti DSA da 2u
- 3 stabilizzatori da 2u
- 13 viti M2x12 e 13 dadi

Scelta del MCU

- SoC ESP32-S3: dual-core 32 bit Xtensa[®] LX7, fino a 240 MHz
- Wi-Fi 2.4 GHz e Bluetooth 5 LE
- 8 MB Flash Quad-SPI, 8 MB PSRAM Octal-SPI
- Fino 45 GPIO, 2 porte USB, librerie Espressif

Through-Hole vs Surface Mount

- *THT*: saldatura manuale nei fori, facile da assemblare e riparare, più robusto
- *SMD*: in superficie con pasta e forni, più compatta ma servono strumenti avanzati



Gestione Affidabile dell'Input

2 Progettazione Hardware

Obiettivo: garantire l'affidabilità della tastiera anche con pressioni multiple simultanee.

Ghosting - senza Diodi

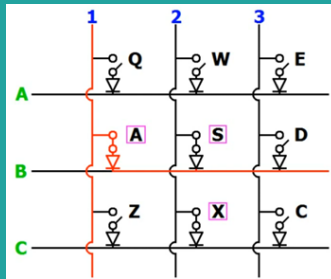
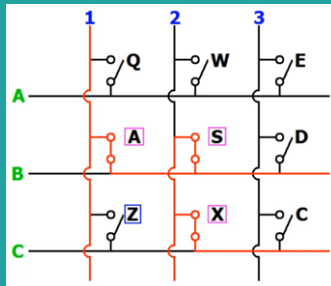
- Più tasti premuti → **percorsi elettrici indesiderati**
- Il microcontrollore registra tasti mai premuti (es. Z)

Blocking - con Diodi

- Ogni tasto ha un diodo in serie: corrente solo dalla colonna alla riga (**no percorsi inversi** → no ghosting)

N-Key Rollover

- Grazie ai diodi, ogni tasto è **indipendente** e rilevabile simultaneamente

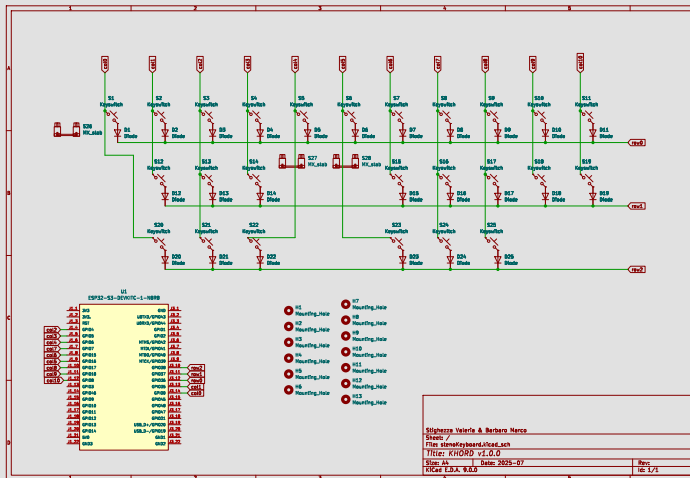




Progettazione Circuito Stampato - Schema Elettrico

2 Progettazione Hardware

- Con KiCad v.9.0
- Matrice 3x11
→ solo 14 GPIO
- Interruttori collegati verticalmente
- Diodi (in serie) collegati orizzontalmente
- ESP32, fori, stabilizzatori

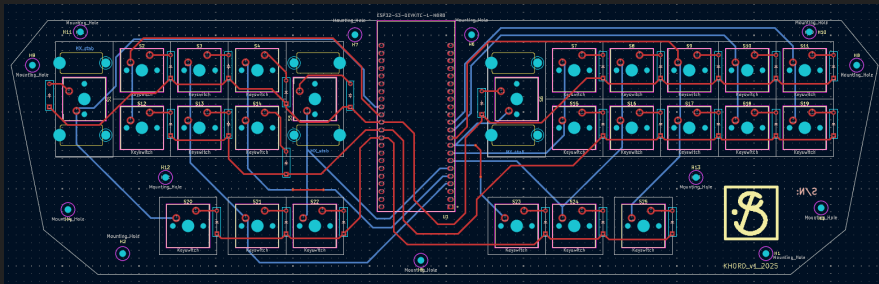




Progettazione Circuito Stampato - Layout

2 Progettazione Hardware

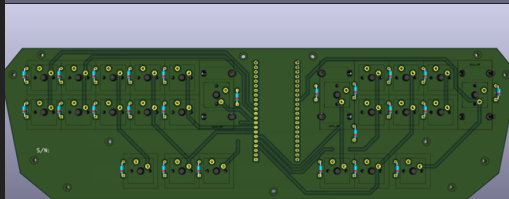
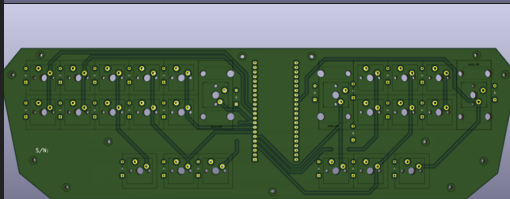
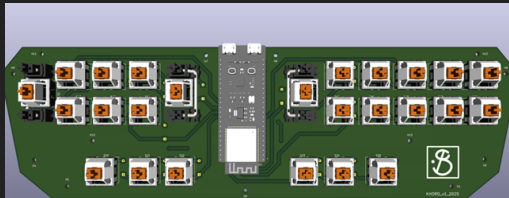
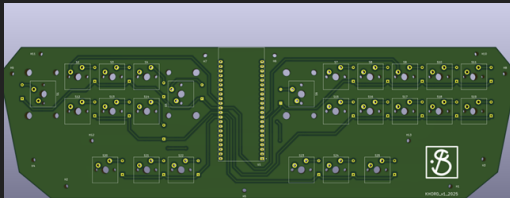
- Interruttori, ESP32 e stabilizzatori su *F.Cu*; diodi su *B.Cu*
- Routing: colonne su *B.Cu*, righe su *F.Cu*; **vias** usati per incroci, tracce da 0.5 mm (min. dist. 1 mm), angoli 90° evitati
- Serigrafia include logo personalizzato
- Zone di rame <no net>: migliorano dissipazione, isolamento e robustezza





Progettazione Circuito Stampato - Modello 3D

2 Progettazione Hardware

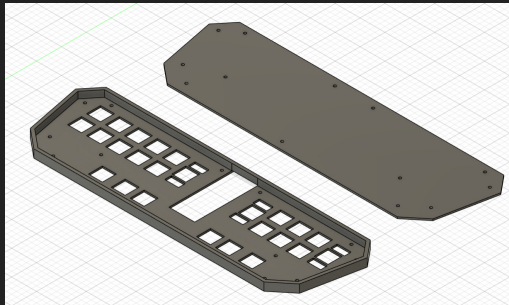
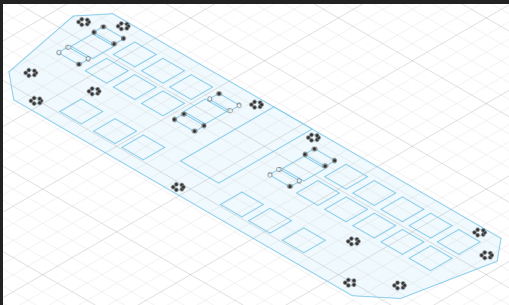




Produzione PCB e Case 3D

2 Progettazione Hardware

- PCB prodotto da **NextPCB** (file Gerber da KiCad).
- Case 3D stampato in PLA presso **ABprint3D**
 - KiCad: layout SVG → Inkscape v.1.4.2: DXF → Fusion 360 v.2602.1.25: STL





Saldatura dei Componenti (THT)

2 Progettazione Hardware

- Switch Cherry MX e ESP32 saldati su F.Cu con **saldatore a punta fine**
- Diodi 1N4148 saldati su B.Cu, **rispettando la polarità**
- Stabilizzatori avvitati sul lato frontale
- Verifiche con **multimetro** per garantire continuità e conduzione

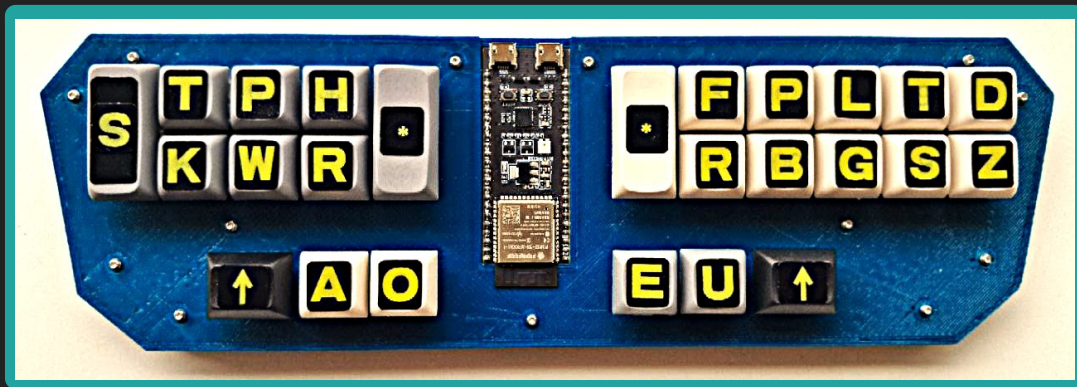




Montaggio Finale e Risultato

2 Progettazione Hardware

- Con viti M2 e dadi: top case con PCB + bottom case
- Test funzionali completati: **stabilità meccanica e circuitale**





Indice

3 Progettazione Software

► Introduzione

► Progettazione Hardware

► **Progettazione Software**

► Analisi e Conclusioni



Pipeline di Sviluppo Firmware

3 Progettazione Software

Linguaggio

C

Framework

ESP-IDF

Libererie

tinyUSB

IDE

Visual Studio Code

Compilazione e flashing

Con tools ESP "idf.py":

- `idf.py build`
- `idf.py flash -p COMx`

Monitoraggio e Debug

- `idf.py monitor`
- PuTTY
- Plover



Scansione della Matrice e Debouncing

3 Progettazione Software

- Matrice fisica 3x11 gestita via GPIO
 - Rappresentata come array di `uint16_t` dove ogni cella è una riga e ogni bit è una colonna
- Doppia matrice:
 - RAW: stato **diretto** della tastiera
 - FILTRATA: stato **stabile post-debounce**
- **Matrix Scan** ogni 3ms
 - Innescato da **interrupt HW GPTimer**
 - **Deferred work**: ISR minimale e gestione nel main
- **Debounce software timing-based** di 10ms



Protocollo di Chording e Plover

3 Progettazione Software

Rappresentazione logica secondo ordine: STKPWHRAO*EUFRPBLGTSDZ

Protocollo scelto: Gemini PR

- Mapping fino a 42 tasti
- Chord codificato in 6 bytes
 - MSB del 1° = 1
- Caratteri codificati tramite bitmasking

Codifica efficiente del pacchetto trasmessa via USB CDC-ACM

Plover

- Software **open-source** di trascrizione **stenografica**
- Interpreta i **chord** → in **testo**
- Configurazione
 - protocollo Gemini PR
 - COM port
 - baudrate 115200
- Funzionalità avanzate
 - Dizionari JSON custom (es. user.json)
 - Paper Tape live e Lookup Tool
 - Decodifica automatica su standard input



Indice

4 Analisi e Conclusioni

► Introduzione

► Progettazione Hardware

► Progettazione Software

► **Analisi e Conclusioni**



Potenza Dissipata

- **Inferiore a 0.1 W** anche in presenza di input ad alta intensità

Prestazioni (Tempi di Esecuzione)

- $T_{scan} = 99\mu s$, ogni 3 ms \rightarrow circa 2.9 ms liberi per le operazioni asincrone
- $T_{trasmissione} = 520\mu s \rightarrow$ reattività elevata anche con input intenso

Costo in €

- Costo Pezzi Utilizzati: **32.24 €**
- Costo Totale Acquisto in Blocco: 66.24 €
- + 40 € per il case (il prezzo dipende dalla disponibilità di una stampante 3D)



Conclusioni e Sviluppi Futuri

4 Analisi e Conclusioni

Obiettivi raggiunti: tastiera stenografica **open-source**, **economica** e **personalizzabile**
→ **facilmente replicabile da chiunque**

Sviluppi futuri:

- Versione **wireless** → batteria + isolamento antenna + modifiche sw
- Sistema di **visualizzazione** delle informazioni (display a 7 segmenti o LCD)
- Sistema di **retroilluminazione** a LED per migliorare visibilità e estetica
- Aggiunta di **layer** alternativi
- Gestione della **pressione di lunga durata**
- Introduzione di **macro**



KHORD: Progettazione e Realizzazione di una Tastiera Stenografica Digitale

Grazie dell'attenzione