

FREE TOUCH

Touch less, do more.



La Pandemia che ci sta colpendo ha riportato l'attenzione sulle malattie che si trasmettono per via aerea e tramite contatto. Molte persone, nel tentativo di proteggersi, indossano guanti usa e getta quando devono entrare in contatto con oggetti toccati in precedenza da altri, aumentando la quantità già ingente di rifiuti non biodegradabili. Nella mia esperienza quotidiana ho potuto notare come al distributore dell'acqua comunale molte persone indossando guanti in lattice prima di toccare la tastiera, per poi gettarli nella spazzatura pochi minuti dopo. I tastierini sono ognigiorno molto diffusi, basti pensare agli ascensori, ai distributori di bevande e snack, bancomat e molti altri dispositivi di cui ci serviamo tutti i giorni.

Free Touch, il dispositivo proposto nella presente relazione, consente di trasformare un tradizionale tastierino, in un tastierino smart, che non necessita del tocco per essere utilizzato. Esso non si sostituisce alla tastiera già esistente ma bensì vi si sovrappone, rendendo minimo il costo ed il tempo utilizzato per l'installazione. Free Touch può essere adattato a qualsiasi topologia di tastierino: per configuralo è sufficiente scattare una foto alla tastiera su cui lo si desidera installare ed un algoritmo riconoscerà automaticamente i tasti e la loro posizione, così da poterli in seguito premere su richiesta dell'utente.

L'intenzione dell'utente di premere un tasto viene rilevata attraverso un particolare sensore a infrarossi montato sulla parte frontale di Free Touch, che si attiva a circa 2cm di distanza, oppure attraverso un'applicazione per smartphone, via Bluetooth. Una volta rilevata l'intenzione dell'utente di premere un determinato tasto, Free Touch si occupa di premerlo effettivamente.

FAQ

Quali sono i vantaggi rispetto alle tecnologia già esistenti?

Attualmente esistono molti sensori con cui è possibile interagire a distanza, senza la necessità di un contatto. Le nuove macchine potrebbero essere equipaggiate con questi sensori. Bisogna tenere però in considerazione che al mondo vi sono miliardi di dispositivi pubblici che basano l'interazione su tastiere o pulsanti tradizionali. Adattare questi dispositivi sostituendo la tastiera tradizionale con un sistema touch-less sarebbe un'operazione molto complessa e dispendiosa. Free Touch permette invece di adattare, in modo non invasivo, ogni topologia di tastiera o pulsante in pochi minuti, con un impatto minimo sul dispositivo che ne fa uso.

Perché due modi di interazione (app smartphone e sensore a infrarossi) ?

Sebbene siamo sempre più portati a credere di poter fare tutto attraverso lo smartphone, vi sono molte situazioni in cui esso potrebbe non essere disponibile. Controllare Free Touch (e quindi la tastiera del dispositivo su cui è montato) attraverso un'applicazione smartphone risulta essere molto comodo in situazioni in cui l'utilizzo del dispositivo è prolungato nel tempo, ad esempio quando dobbiamo riempire numerose bottiglie d'acqua al distributore comunale e dobbiamo premere i tasti numerose volte. Se però entriamo in un ascensore e abbiamo la necessità di premere immediatamente il tasto del piano desiderato, perderemmo molto tempo nell'estrarrre il telefono e collegarci a Free Touch tramite l'applicazione. In questa situazione, possiamo utilizzare

il sensore di prossimità semplicemente avvicinando il dito al tasto che desideriamo premere, così semplificando e velocizzando l'interazione.

Come ci si collega a Free Touch dallo smartphone?

Per collegarsi a Free Touch è sufficiente aprire l'applicazione e scannerizzare il codice QR ad esso associato, posto sulla parte frontale del dispositivo.

In che modo Free Touch si fissa al dispositivo da convertire?

Non è possibile prevedere un solo tipo di supporto dal momento che Free Touch potrebbe dover essere installato su diverse superfici, con caratteristiche completamente diverse l'una dall'altra. Free Touch è provvisto di quattro fori sul retro, in cui si avvitano i supporti, che possono essere intercambiati e adattati al caso specifico. I supporti possono essere ventose, calamite oppure dei supporti realizzati su misura. E' comunque possibile usare del comune adesivo ad alta resistenza.

E' possibile scalare le dimensioni di Free Touch?

Free Touch è un dispositivo altamente configurabile ed adattabile. Il sistema di movimentazione è costituito da due assi che permettono alla punta che preme i tasti di muoversi nelle due direzioni necessarie per raggiungere i tasti da premere. L'area coperta da Free Touch può essere adattata alle proprie necessità semplicemente aumentando o riducendo la lunghezza delle guide su cui scorrono gli assi.

Installazione, Configurazione e Utilizzo

Per analizzare il processo di installazione e di configurazione, osserviamo un esempio reale. Immaginiamo quindi di voler installare Free Touch sul simulatore di distributore di bevande di seguito mostrato.



OCCORRENTE:

- Free Touch (1)
- TAG (2)
- Applicazione smartphone (3)
- Alimentatore o batterie
- Codice QR per la configurazione



(1)



(2)



(3)

PROCESSO DI INSTALLAZIONE E CONFIGURAZIONE

- 1) Alimentare il dispositivo
- 2) Aprire l'applicazione e scannerizzare il codice QR di configurazione.

Free Touch è provvisto di 2 codice QR: il primo, posto sulla parte frontale, è il codice QR per gli utenti, grazie al quale è possibile solamente utilizzare il dispositivo. Il codice QR di configurazione, fornito separatamente, consente anche di modificare la configurazione di Free Touch.

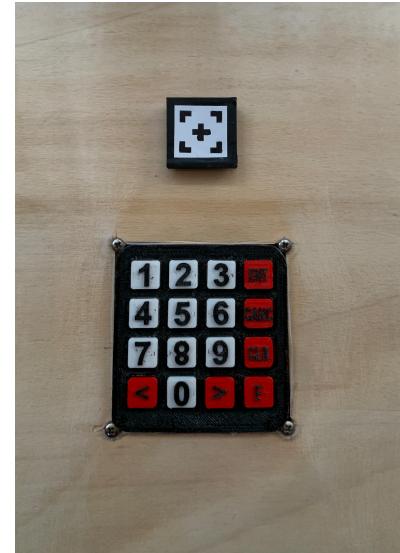
3) Installare il TAG vicino alla tastiera da configurare

Il TAG consente all'algoritmo di elaborazione dell'immagine di ricavare le informazioni riguardo alla prospettiva e alle dimensioni, necessarie per rilevare correttamente la posizione dei pulsanti.

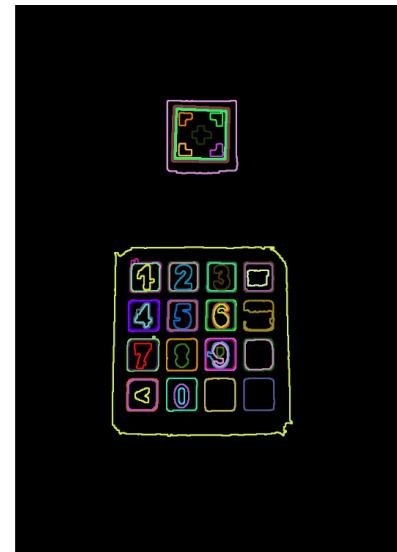
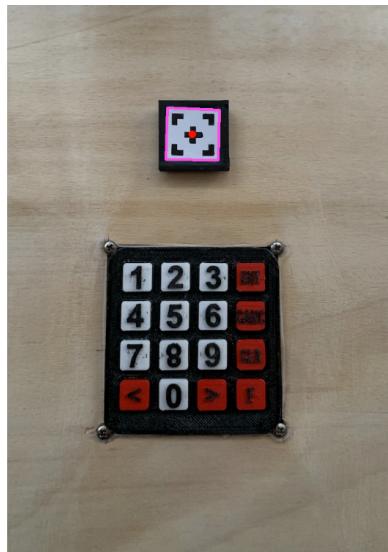


4) entrare nella sezione di configurazione dell'applicazione e scattare una foto alla tastiera e al tag.

Questo passaggio è di fondamentale importanza: per una corretta elaborazione dell'immagine è importante che la foto sia il più perpendicolare possibile alla tastiera



5) Dopo aver scattato la foto, l'algoritmo di elaborazione la analizza: in un primo momento ricercando il tag, e successivamente rilevando il contorno dei tasti.



6) Successivamente è possibile selezionare quali dei contorni dell'immagine siano effettivamente dei pulsanti. E' necessario quindi cliccare all'interno del contorno e questo si evidenzierà. Dopo aver selezionato il contorno, è richiesto di inserire il testo del pulsante ("1" per il pulsante 1, "ENT" per il pulsante ENT e così via)



7) Salvare la configurazione. Essa viene salvata permanentemente nella memoria di Free Touch.

8) E' dunque terminata la parte più complessa della configurazione. Con i passaggi precedenti abbiamo "insegnato" a Free Touch dove si trovano i pulsanti della tastiera che desideriamo adattare, così che sia in grado di raggiungerli e premerli per noi quando glielo chiederemo. Ora dobbiamo configurare il dispositivo fisico. E' quindi necessario inserire negli alloggiamenti frontali delle "tessere" che rappresentano i tasti della tastiera da adattare.



Free Touch prima della configurazione



Tessere utilizzate per configurare il sensore fisico



Free Touch a configurazione ultimata

9) Installare il dispositivo sopra alla tastiera.

Dal momento che il riferimento dell'immagine è il TAG, e che le posizioni dei tasti sono calcolate rispetto al centro di esso, è necessario allineare Free Touch al TAG. In particolare, la parte superiore di Free Touch deve essere allineata con il lato inferiore del TAG.



Installazione e configurazione terminata. E' possibile notare l'allineante di free touch con il lato inferiore del TAG

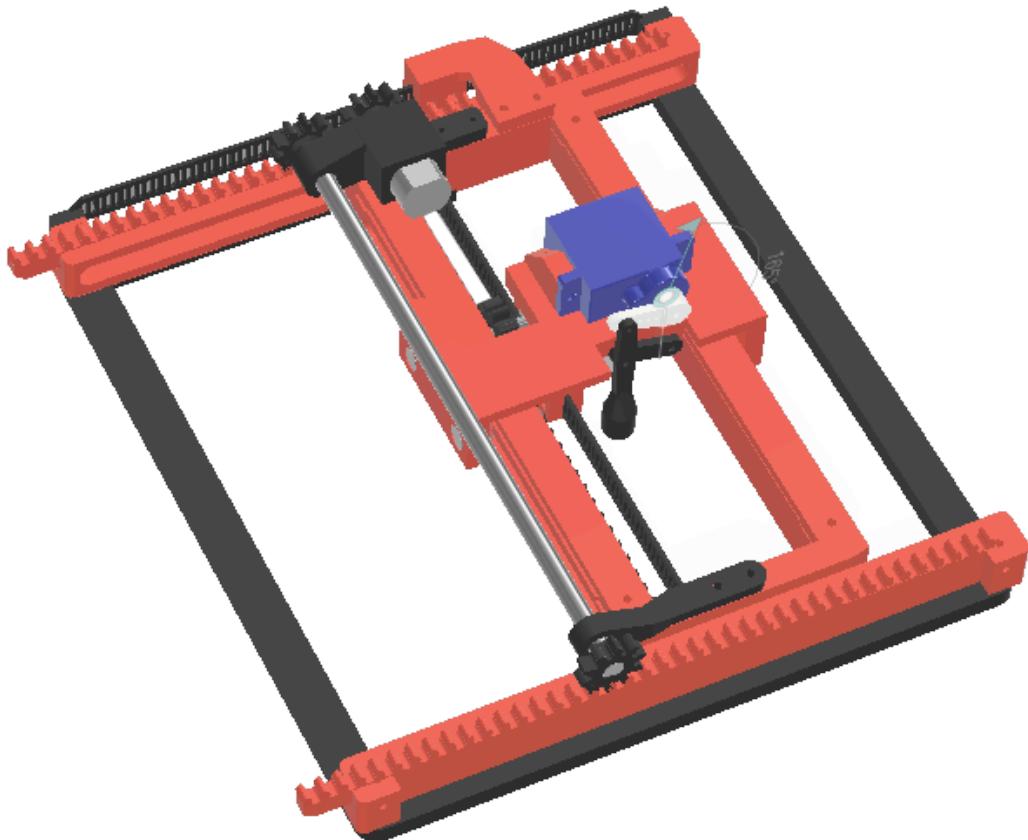
10) Congratulazioni! Il processo di configurazione è terminato ed è ora possibile utilizzare il dispositivo!

UTILIZZO

Per utilizzare Free Touch è sufficiente avvicinare il dito al tasto del sensore di prossimità che si desidera premere, è il dispositivo lo premerà effettivamente.

Se si desidera controllare Free Touch dallo smartphone, aprire l'applicazione e scannerizzare il codice QR sulla parte frontale del dispositivo. Dopo l'avvenuta connessione al dispositivo tramite Bluetooth, apparirà sullo schermo una copia della tastiera, ed è quindi possibile selezionare i tasti che si desidera premere.

Meccanica



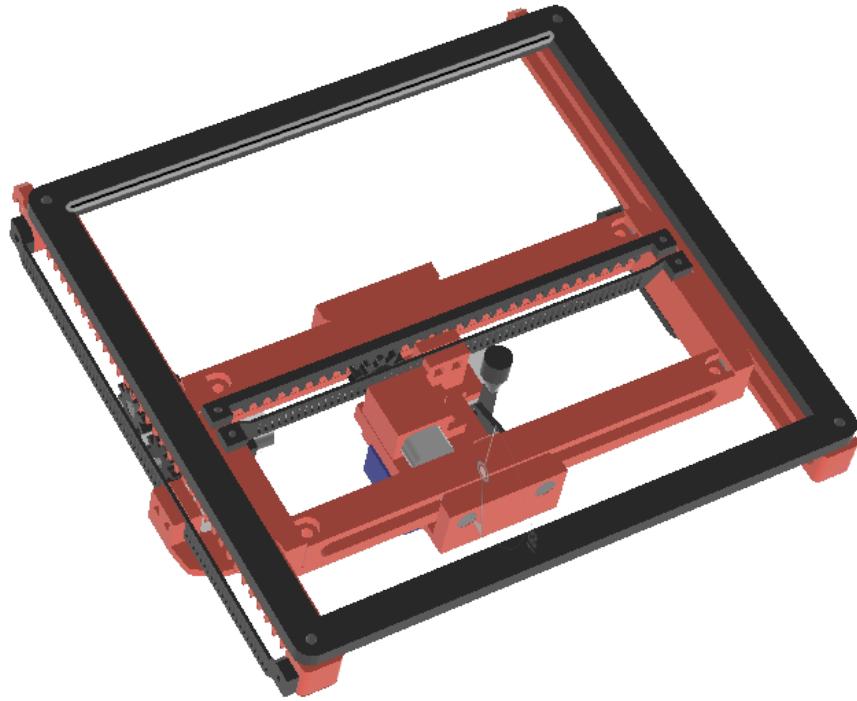
Vista da sopra senza guscio. E' possibile vedere la struttura e gli elementi che permettono il movimento dell'asse X e la fuoriuscita della punta.

La meccanica è costituita principalmente da una struttura composta da due assi che permettono ad una punta (quella che preme i pulsanti su richiesta dell'utente) di muoversi nelle due direzioni del piano. Un servomotore consente alla punta di fuoriuscire per premere effettivamente i pulsanti.

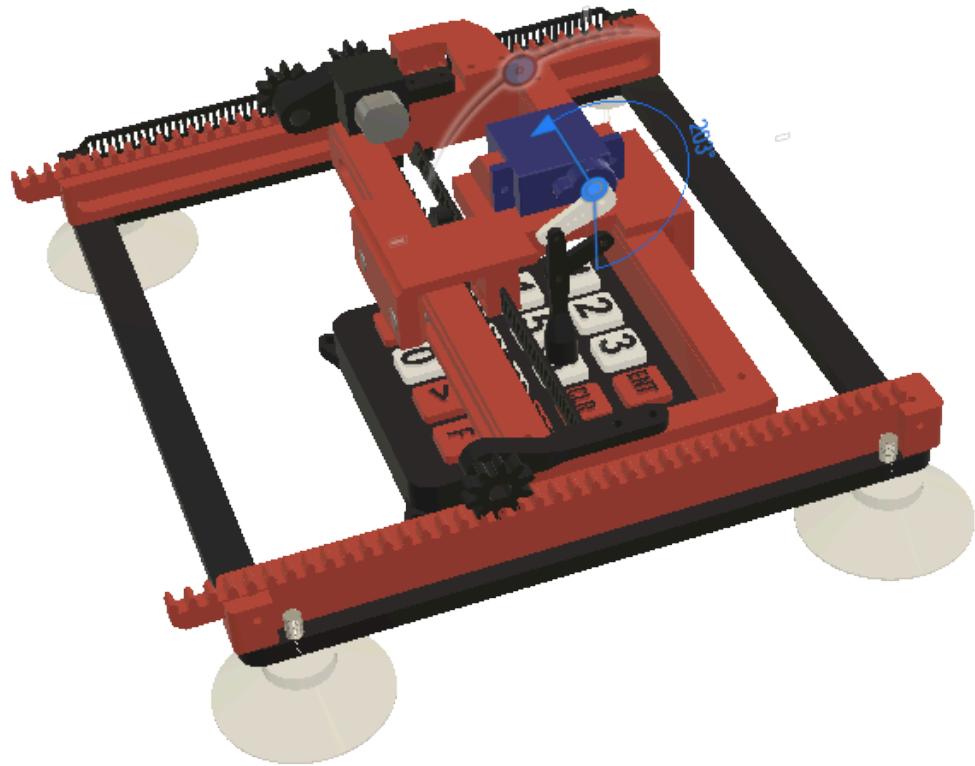
Il movimento degli assi avviene attraverso un meccanismo pignone - cremagliera, azionati da due micromotori con riduzione da 50 RPM.

Le parti di supporto di Free Touch e che devono conferire rigidità alla struttura sono state stampate con del PLA. Questo materiale è infatti molto rigido e permette alla struttura di non flettere eccessivamente, evento che potrebbe compromettere la funzionalità del meccanismo.

Per le guide e I carrelli che scorrono in esse è stato usato il PETG. Essendo quest'ultimo un materiale leggermente autolubrificante, gli attriti tra le parti in scorrimento risultano notevolmente ridotti, rendendo il movimento finale più fluido.



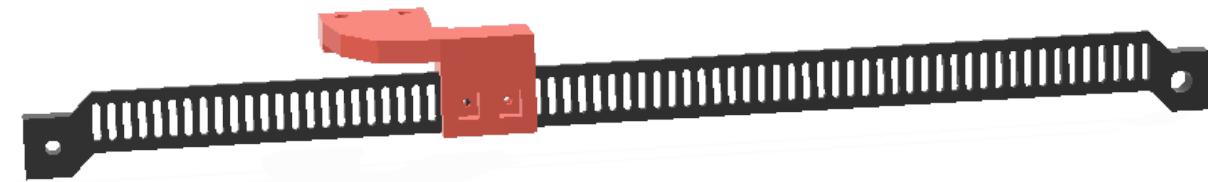
Vista da sotto. E' possibile vedere il posizionamento degli elementi che permettono il movimento dell'asse Y



Primo piano del meccanismo che consente alla punta di fuoriuscire e premere i pulsanti sottostanti

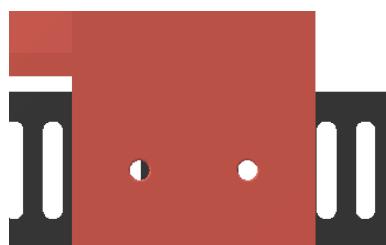
Monitoraggio della posizione: Encoder

La catena di controllo dei motori è chiusa da encoder lineari. Essendo gli encoder in commercio piuttosto costosi, Free Touch usa una versione di encoder ottici realizzata con emettitori e ricevitori ad infrarossi (gli stessi utilizzati per il sensore di prossimità) e parti stampate in 3D. L'idea fondamentale è quella di avere una barra forata ed un sensore che sia in grado di rilevare l'alternarsi dei fori e dei "pieni" durante il movimento.

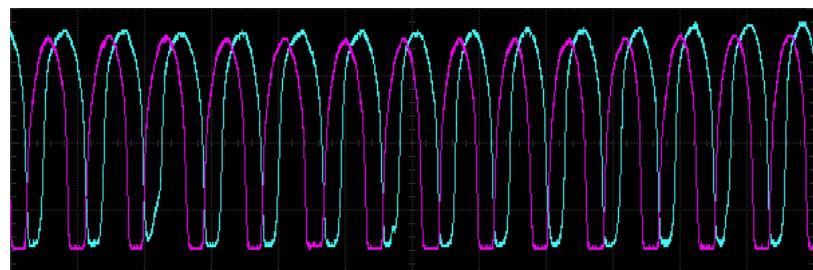


Particolare Encoder asse X

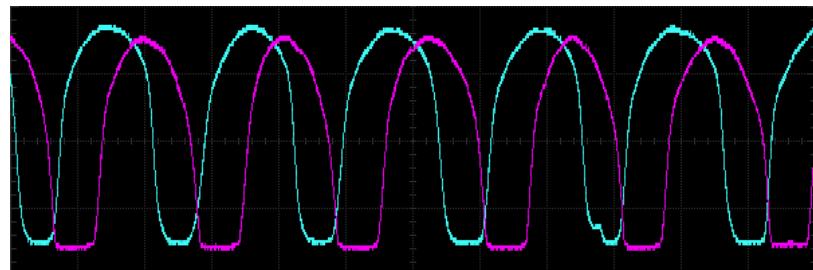
Il sensore (quello rosso nell'immagine) è fossato all'asse e si muove assieme ad esso, mentre la barra forata (quella nera) è fissata alla struttura. Sul sensore sono montate due coppie di emettitori - ricevitori IR (infrarossi), gli emettitori da una parte della barra forata e i ricevitori dall'altra (nell'immagine i LED IR non sono riportati per semplificare la vista del funzionamento dell'encoder). Quando in corrispondenza della coppia emettitore-ricevitore si trova un foro, il fascio di infrarossi raggiunge il ricevitore, attivandolo mentre in presenza di un " pieno " della barra gli infrarossi vengono bloccati, disattivando il ricevitore. Sebbene per rilevare il movimento sarebbe sufficiente una sola coppia di emettitore-ricevitore, utilizzando due coppie allineate in moto tale da risultare sfasate di 90 gradi (in quadratura), è possibile rilevare anche la direzione del movimento.



Particolare della sfasatura delle coppie di sensori. Come è possibile vedere, quando il passaggio tra emettitore e ricevitore di una coppia è completamente aperto, l'altro è aperto solamente a metà. Questo dà luogo ad uno sfasamento di 90° dei segnali in uscita.



Segnale in uscita dall'encoder con movimento a destra. Il fronte di salita del segnale rosa avviene prima del fronte di salita del segnale blu.



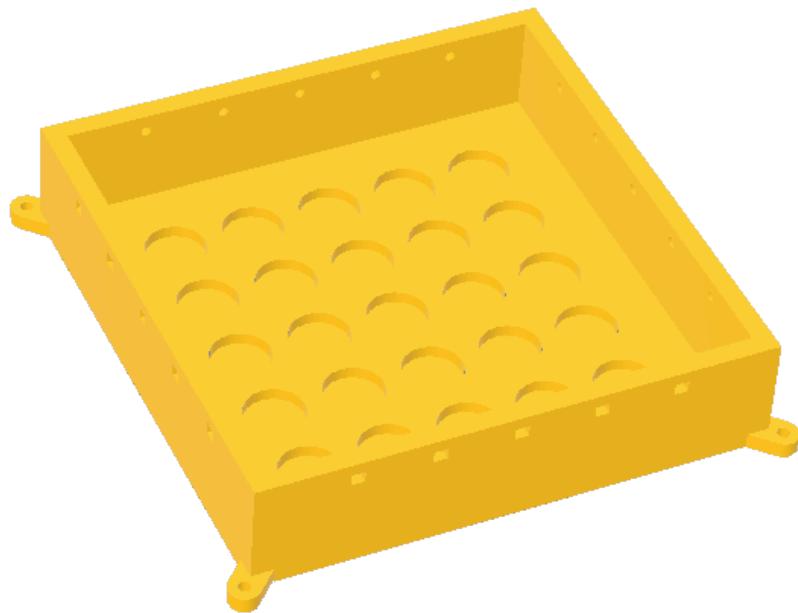
Segnale in uscita dall'encoder con movimento a sinistra. Il fronte di salita del segnale blu avviene prima del fronte di salita del segnale rosso.

ACCURATEZZA

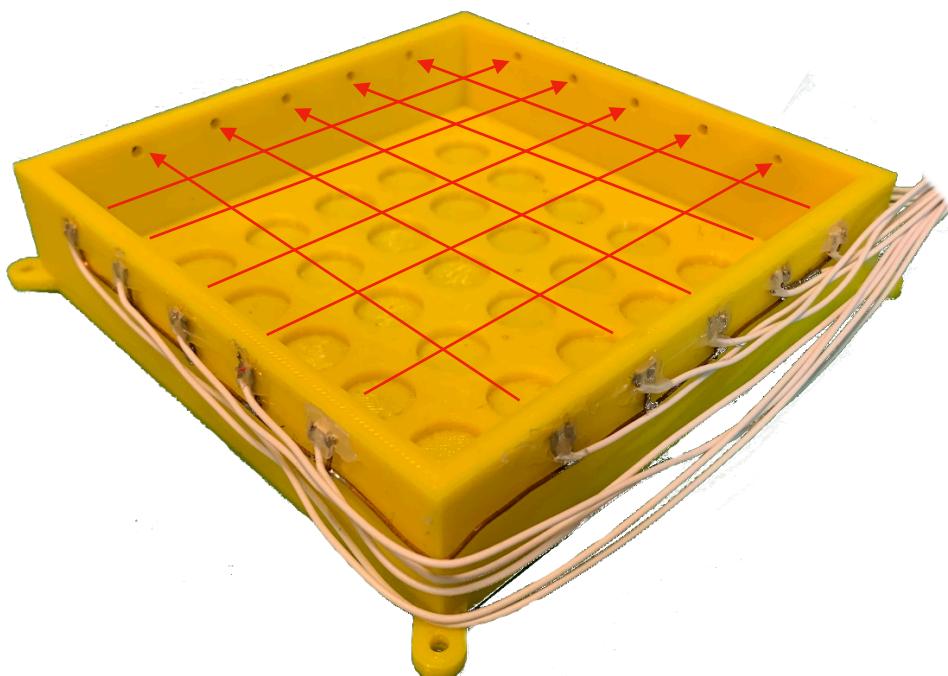
I fori della barra dell'encoder sono posti a distanza di 1mm. Dal momento che le coppie di sensori IR utilizzate sono due e sono poste in quadratura (sfasate di 90 gradi) ne consegue che è possibile rilevare anche spostamenti nell'ordine di 0.5mm. Tuttavia, nell'applicazione in cui questi encoder sono utilizzati (Free Touch) non è richiesto un grado di precisione così elevato. Il software è stato così implementato per ottenere una precisione di 1mm.

Sensore di Prossimità a Infrarossi

Il sensore di prossimità montato nella parte frontale di Free Touch permette di rilevare l'intenzione dell'utente di premere un tasto senza che quest'ultimo debba toccarlo. Il dito dell'utente viene rilevato ad una distanza di circa 2cm dal tasto da una matrice di sensori ad infrarossi. Una volta rilevato, Free Touch emette un suono (un semplice beep) come feedback per l'utente, cosa molto importante dal momento che con le tastiere tradizionali siamo abituati al "click" del tasto che ci comunica l'attivazione.



La struttura portante è costituita da un pezzo stampato in 3D con del PETG. Nelle fessure visibili nella parte superiore del sensore, si inseriscono gli emettitori IR da un lato, e i ricevitori su quello opposto. Essendo i sensori posti a matrice (righe e colonne), è possibile rilevare 25 tasti con soli 10 coppie di emettitore-ricevitore.



12 di 21

Tastiera realizzata fisicamente in cui è possibile vedere i LED ed i sensori a infrarossi e come essi formino una matrice

Durante la procedura di installazione, il sensore di prossimità deve essere configurato così da riprodurre i tasti della tastiera che deve rappresentare. E' quindi necessario inserire in ogni slot (le incisioni circolari visibili sul fondo del sensore) una tessera con riportato il numero o la lettera corrispondente al tasto della tastiera da adattare.

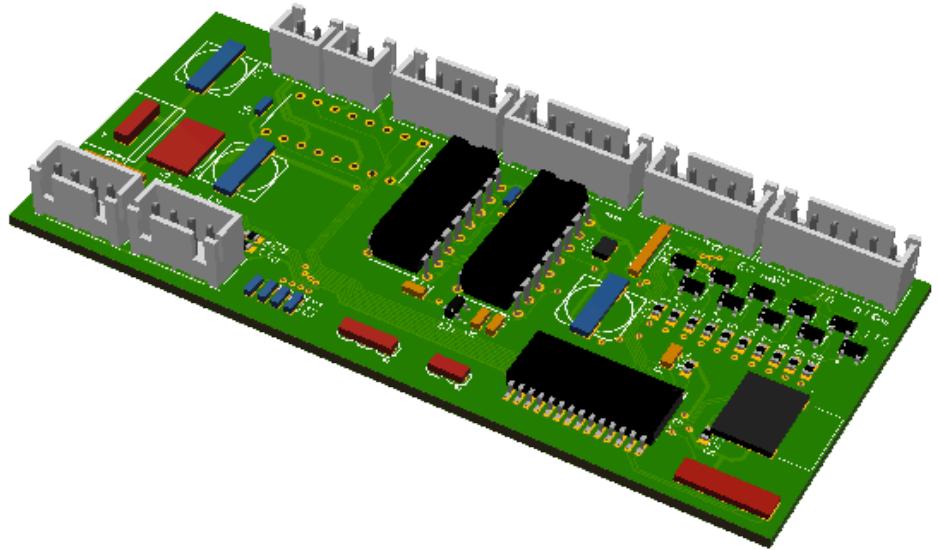


Tessere rappresentanti i pulsanti di una tastiera



Sensore configurato per una determinata combinazione di tasti

Elettronica



L'elettronica di controllo di Free Touch è basata sul microcontrollore della Microchip Technology PIC16LF18456. Questo microcontrollore offre un gran numero di periferiche sia analogiche che digitali, e un consumo molto ridotto. Il firmware del microcontrollore è stato sviluppato con l'IDE MPLABX.

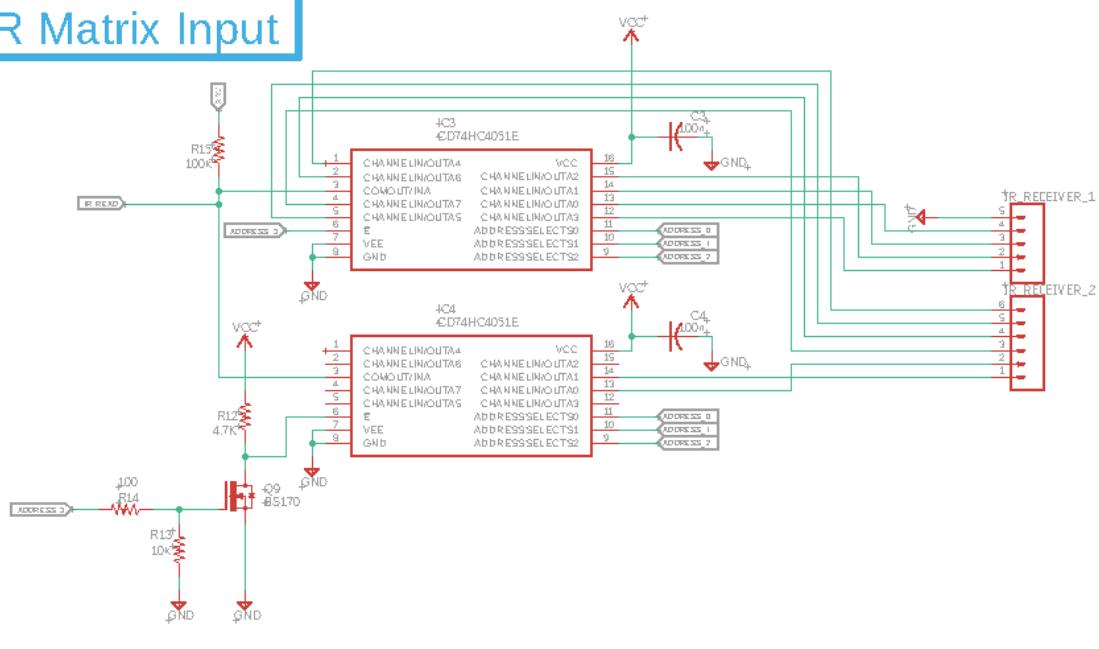
GESTIONE SENSORE DI PROSSIMITÀ

Dovendo controllare individualmente 10 coppie di emettitori-ricevitori IR, collegarli direttamente al microcontrollore risulterebbe in un inutile spreco di porte. Inoltre, alimentare costantemente 10 emettitori infrarossi porterebbe ad un considerevole consumo di corrente.

I sensori ad infrarossi vengono quindi controllati mediante multiplexer e demultiplexer, che consentono di alimentare uno alla volta gli emettitori, e di collegare solamente il rispettivo ricevitore al microcontrollore. Per il controllo del sensore di prossimità sono quindi sufficienti 4 porte per la selezione della coppia di emettitori-ricevitori IR (con 3 porte si potrebbero indirizzare solo 8 coppie mentre con 4 porte fino a 16) ed un ingresso analogico per leggere il segnale ricevuto dal ricevitore.

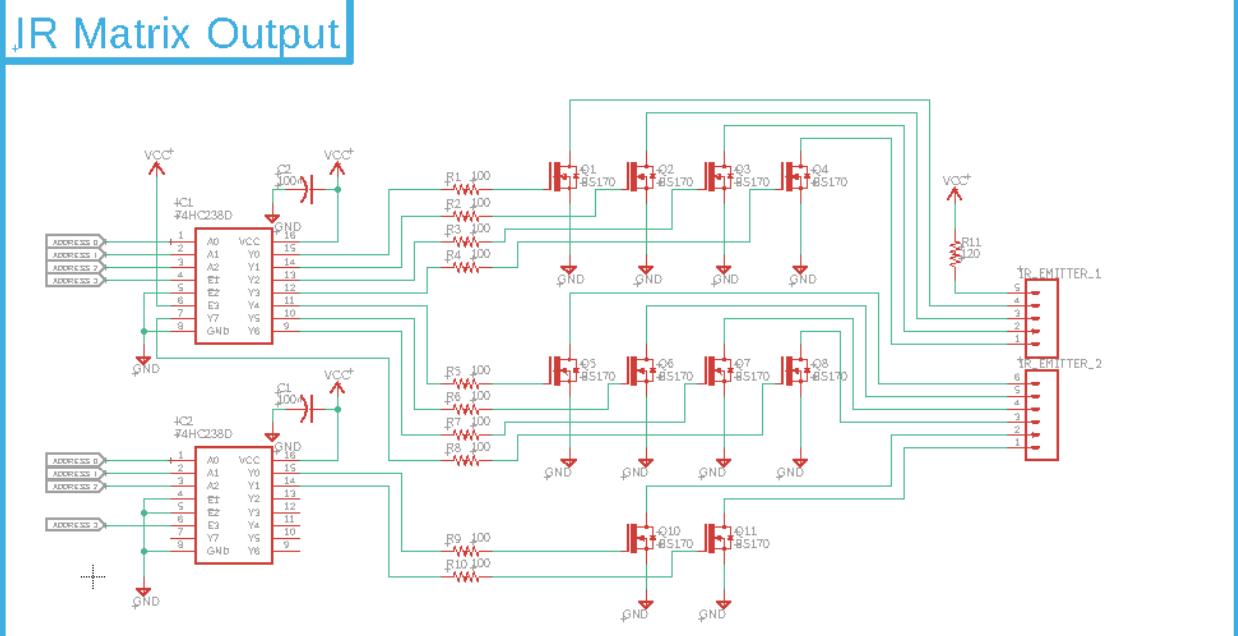
La tecnologia ad infrarossi presenta uno svantaggio: il sole, emettendo anch'esso infrarossi, potrebbe disturbare l'operazione del sensore portando a false attivazioni. Questo problema è stato risolto modulando opportunamente il segnale emesso dagli emettitori IR. Infatti gli infrarossi emessi dal sole possono essere considerati un segnale con una frequenza molto bassa e quindi assimilabile a DC. Questo significa che emettendo un fascio di infrarossi ad una frequenza molto più elevata (nel caso di Free Touch 1kHz), in ricezione è possibile filtrare con un filtro passa-alto con una frequenza di taglio superiore alla componente emessa dal sole ma più bassa di quella di modulazione degli impulsi, eliminando così il disturbo introdotto da quest'ultimo e conservando il segnale utile.

JR Matrix Input



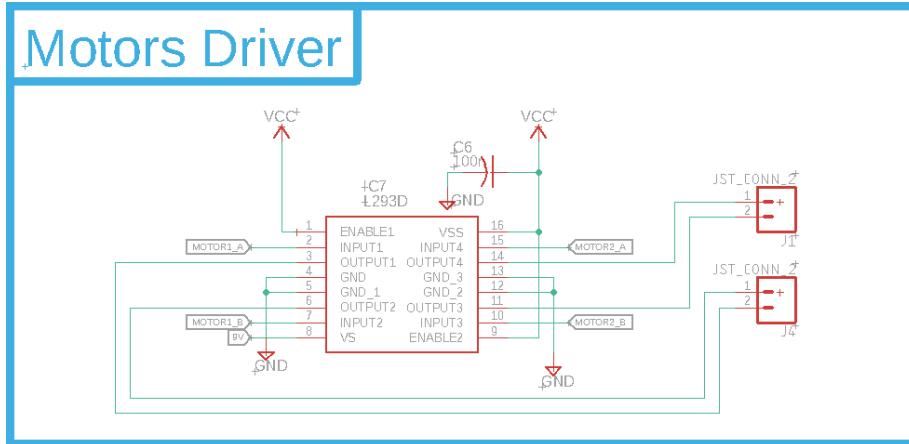
Controllo dei ricevitori infrarossi. Le 4 linee utilizzate per selezionare l'emettitore vengono utilizzate anche per selezionare il ricevitore, mediante una rete costituita da due demultiplexer analogici 74H4051

JR Matrix Output

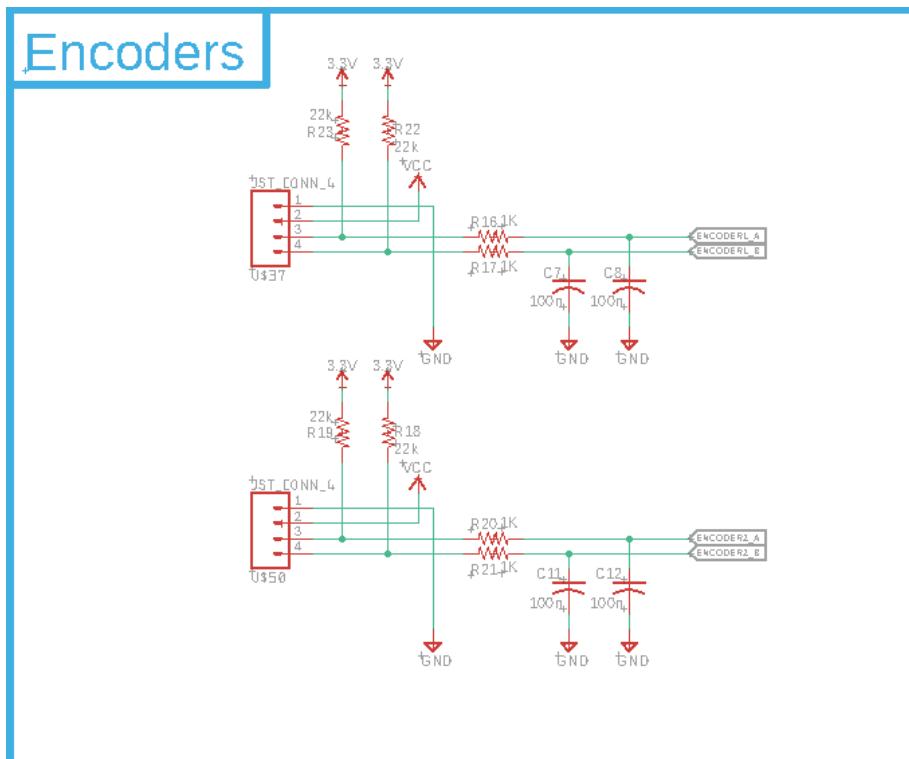


Controllo degli emettitori infrarossi. Con 4 segnali (address0-3) è possibile selezionare uno tra i 10 emettitori che si desidera attivare, attraverso un circuito composto da due 3-8 decoder 74hc238.

La movimentazione della struttura è gestita dal microcontrollore attraverso un ponte H, l'integrato L293D. I motori sono alimentati con la tensione di alimentazione del dispositivo (7-9V).



Il circuito per la gestione degli encoder è costituito fondamentalmente da un filtro passa-basso per ogni sensore dei due encoder. Questo permette di rimuovere eventuali glitch (disturbi indesiderati del segnale) che si potrebbero verificare durante la movimentazione. I segnali filtrati sono poi portati ai pin d'ingresso del microcontrollore.



BLUETOOTH

Il modulo bluetooth utilizzato è il RN4871, della Microchip Technology. Esso ha diverse caratteristiche che lo rendono appetibile e facile da utilizzare. In particolare:

- controllo tramite comandi ASCII attraverso protocollo UART
- Minima configurazione necessaria, molto facile da utilizzare
- Consumo di corrente molto ridotto, possibilità di attivare la modalità low-power da software (utile se Free Touch deve essere alimentato a batteria)



| Test Mode | Interval (ms) | Average Current Consumption |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Advertising ^(1,2,3) | 20 | 1.061 mA |
| | 50 | 505 µA |
| | 100 | 298 µA |
| | 500 | 113 µA |
| | 1000 | 89 µA |
| Connected ^(1,2,4) | 18.75 | 2.23 mA |
| | 50 | 2.13 mA |
| | 100 | 2.10 mA |
| | 500 | 83 µA |
| | 1000 | 80 µA |

Tabella del consumo di corrente nelle varie modalità operative. Da notare come il consumo massimo (2.23mA) sia contenuto.

Il database GATT del modulo è pre-configurato con un servizio e 3 caratteristiche che consentono di utilizzare il modulo come adattatore seriale - bluetooth. In questo progetto il bluetooth deve consentire di scrivere la configurazione della tastiera e di comunicare l'intenzione dell'utente di premere un tasto. A questo scopo sono stati implementati un servizio e due caratteristiche aggiuntive: una per scrivere la configurazione e una per scrivere il tasto che l'utente intende premere.

Servizio “Free Touch”
UUID 19B10000-E8F2-537E-4F6C-D104768A1214

Caratteristica “Configurazione”
UUID: 19B10001-E8F2-537E-4F6C-D104768A9183

Caratteristica “Utilizzo”
UUID: 19B10001-E8F2-537E-4F6C-D104768A1214

L'accoppiamento Bluetooth dell'applicazione con Free Touch avviene scannerizzando il codice QR riportato sul dispositivo stesso. Il processo di connessione è stato implementato nel seguente modo:

- Il Free Touch comunica la sua presenza inviando ai dispositivi bluetooth circostanti le sue informazioni (nome, modello, ecc.), più un campo dati personalizzato che contiene una stringa identificativa, la stessa generata dal codice QR quando scannerizzato;
- All'apertura l'applicazione esegue una scansione dei dispositivi bluetooth disponibili in rete, e salva le loro informazioni.
- Quando l'utente scannerizza il codice QR dall'applicazione, esso viene decodificato, generando così la stringa identificativa del Free Touch. Se tra le informazioni raccolte dai dispositivi bluetooth durante lo scan iniziale compare la stessa stringa, ciò significa che quel modulo bluetooth appartiene a Free Touch ed è quindi possibile iniziare il processo di connessione.

ALGORITMO DI ELABORAZIONE DELL'IMMAGINE: RICONOSCIMENTO TAG E PULSANTI

L'applicazione per smartphone permette all'utente di utilizzare la tastiera ma anche di configurarla, durante la fase di installazione. La configurazione della tastiera avviene elaborando un'immagine di essa, in cui sia presente anche il TAG. La presenza del TAG è elemento fondamentale in quanto esso fornisce all'algoritmo il riferimento necessario a calcolare la posizione e la dimensione dei pulsanti. Per l'elaborazione dell'immagine è stato utilizzato il framework openCV. L'algoritmo implementato funziona come di seguito descritto:

ELABORAZIONE PRELIMINARE

- 1) acquisizione dell'immagine da elaborare
- 2) Aumento del contrasto
- 3) Applicazione sfocatura gaussiana
- 4) Filtraggio con un filtro bilaterale
- 5) Rilevamento dei contorni con algoritmo di Canny

RILEVAMENTO DEL TAG

- 6) Rilevamento dei contorni chiusi con quattro lati. Il TAG è quadrato e non è necessario considerare altre forme
- 7) correzione della prospettiva del quadrilatero per riportarlo ad un quadrato
- 8) Confronto con il pattern del TAG.

RILEVAMENTO DEI TASTI

Vengono considerati validi (possibili contorni di tasti) tutti i contorni chiusi che abbiano un' area minima. Durante il riconoscimento dei contorni è infatti possibile che del rumore presente nell'immagine venga erroneamente rilevato dall'algoritmo come un contorno chiuso. Tuttavia, i contorni derivante dal disturbo tendono ad avere un'area trascurabile, ed è quindi possibile distinguerli ed ignorarli imponendo una soglia minima.

L'applicazione è stata sviluppata in Dart con il supporto di Flutter per renderla multiplattforma. L'algoritmo di elaborazione dell'immagine è stato sviluppato in C++, e successivamente integrato nell'applicazione come un plugin.

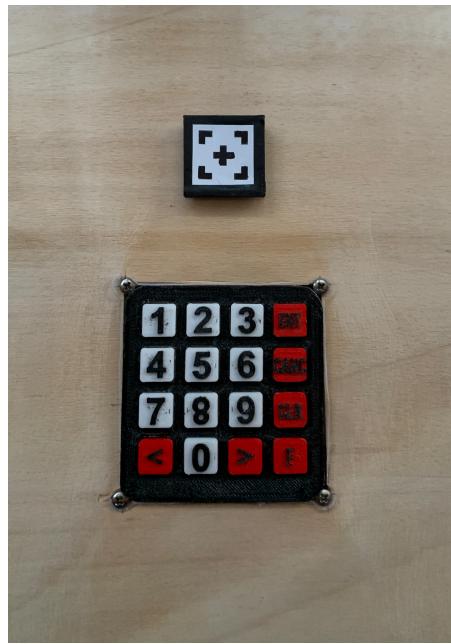


Immagine originale



Immagine con contrasto
aumentato

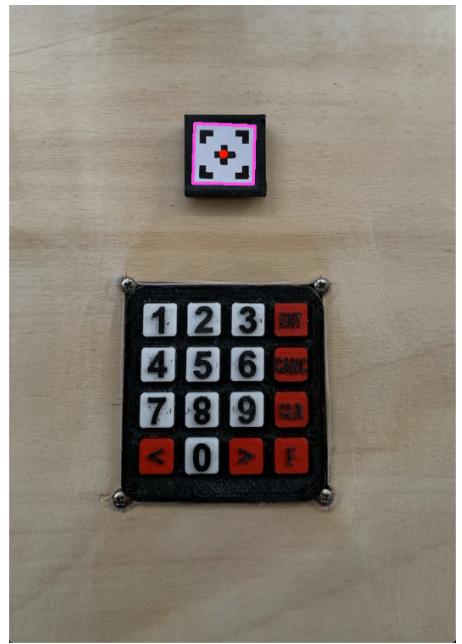
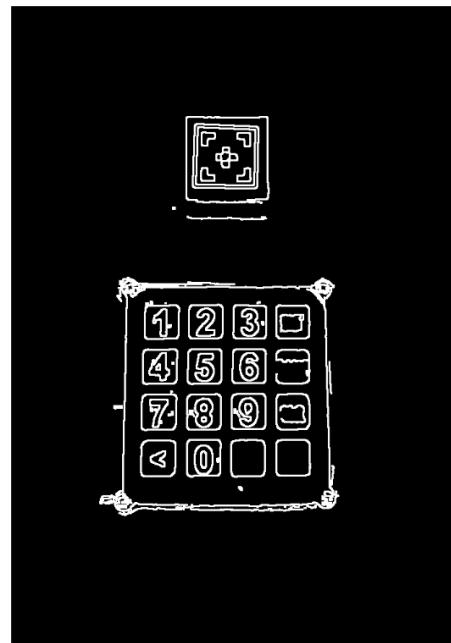
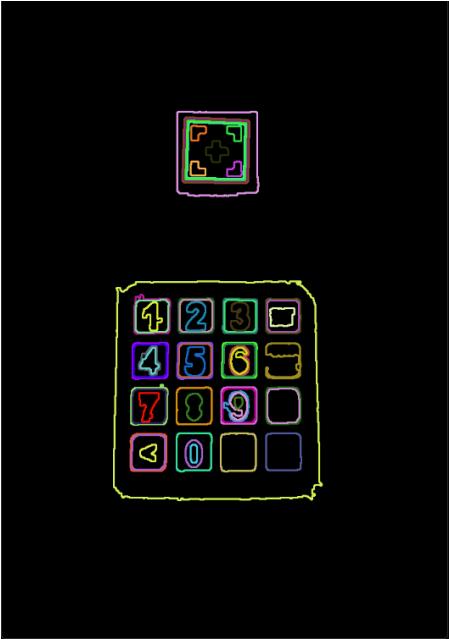


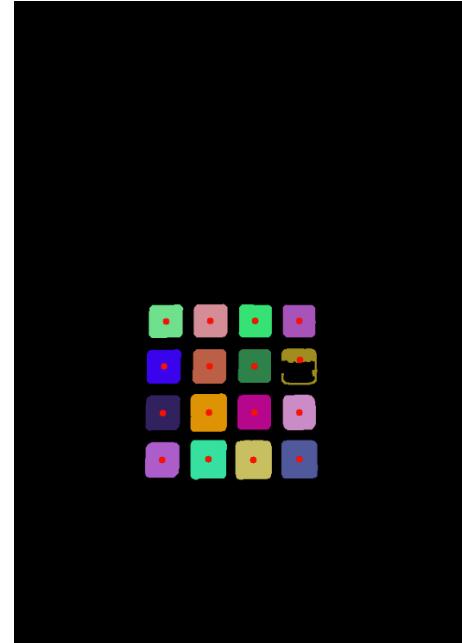
Immagine originale con TAG
evidenziato



Contorni rilevati con l'algoritmo di
Canny



Contorni che potrebbero essere
quelli dei tasti



Contorni selezionati dall'utente di
cui viene evidenziato il centro
(pallino rosso)

Conclusioni e Implementazioni Future

Free Touch è un dispositivo piuttosto complesso e di conseguenza molti aspetti possono essere migliorati. I punti che saranno oggetto di migliorie in futuro sono:

- Dimensioni

Attualmente Free Touch è un dispositivo ingombrante. Ciò deriva dal fatto che la maggior parte delle componenti sono realizzate con la stampante 3D, la quale impone limiti ad esempio sullo spessore minimo dei pezzi, perché resistano alle sollecitazioni a cui sono soggetti. Questo limite potrebbe essere superato adottando altre tecniche di produzione, come la stampa ad iniezione, notevolmente più costosa ma adatta alla produzione su grande scala.

- Algoritmo Riconoscimento dei Pulsanti

Attualmente l'algoritmo di riconoscimento dell'immagine implementato è in grado di rilevare solamente il contorno dei pulsanti. Una possibile miglioria consisterebbe nell'implementare un algoritmo di riconoscimento dei caratteri così da rilevare automaticamente il testo del pulsante, operazione attualmente richiesta all'utente.

Costi

Di seguito è riportato il costo approssimativo di produzione in piccole quantità (< 10 unità). Calcolare il costo su piccole unità risulta piuttosto complicato in quanto molte componenti (soprattutto i componenti elettronici) sono acquistabili soltanto in volumi medio-alti. Si è comunque tenuto conto del costo del singolo componente, come se fosse acquistabile in singole unità.

| PCB | |
|---------------------------------|--------|
| Scheda | 3 € |
| Componenti generici | 8 € |
| Modulo bluetooth | 6 € |
| Connettori | 2 € |
| | |
| Meccanica | |
| Pezzi stampati con stampante 3D | ~ 10 € |
| Micromotori 50 RPM (2x) | 12 € |
| Servomotore | 3 € |
| Viti e bulloni | ~ 2€ |
| TOTALE | 46 € |