

Sezione 1

Studio e realizzazione di un dispositivo multi-touch

1 Studio e realizzazione di un dispositivo multi-touch

1.1 Le tecnologie touch

Uno schermo tattile è un display in grado di rilevare la presenza di un tocco sulla sua superficie. Questi schermi permettono quindi di interagire in maniera diretta con gli oggetti visualizzati al contrario del mouse che interfaccia il movimento della mano a quello del cursore.

In questo paragrafo inizieremo con l'introdurre i vari tipi di schermi tattili presenti sul mercato per passare poi agli schermi multi-tocco basati su tecnologia ottica.

I touch-screen possono essere realizzati tramite diverse tecnologie: quella resistiva, quella capacitiva, quella ad infrarossi, quella ad onde acustiche e quella piezoelettrica.

Tecnologia resistiva:

Il touchscreen di tipo resistivo reagisce alle pressioni esercitate sullo schermo con variazioni di conduttività che possono essere rilevate e comunicate al sistema operativo del terminale. Gli schermi di questo tipo sono costituiti da due strati di materiale plastico separati da uno spazio e nel momento in cui avviene una pressione si genera un contatto tra i due strati che porta ad una conduzione di elettricità dall'uno all'altro. La pressione provoca infatti una variazione di tensione proporzionale alla posizione sul piano del punto. Questa tecnologia è la più economica presente sul mercato e la più diffusa. Ha però problemi di condizionamento ambientale dove soprattutto all'esterno le riflessioni luminose ne rischiano di compromettere la visibilità. Il tocco è comunque relativamente preciso e possono essere utilizzati pennini di qualsiasi tipo. Vista la presenza del film conduttivo col passare del tempo sono però soggetti ad una perdita di reattività che può richiedere anche la ricalibrazione dello schermo.

Tecnologia capacitiva:

Gli schermi di tipo capacitivo sono composti da un pannello di vetro ricoperto da uno strato di ossido metallico a cui è applicata una tensione che genera un campo elettrico uniforme sulla superficie. Quando il dito tocca lo schermo il campo elettrico è modificato (essendo il dito carico elettrostaticamente) ed è possibile rilevare il punto toccato semplicemente misurando la caduta di tensione sulle quattro sorgenti poste agli angoli. Ovviamente non è in questo caso possibile utilizzare pennini o oggetti inanimati ma è fondamentale l'utilizzo delle dita. Lo schermo è comunque più trasparente e luminoso, non presenta le problematiche di riflessione della luce ambientale come nel caso resistivo e la precisione è ricondotta alla dimensione delle dita. Il loro costo alto li rende più adatti a prodotti di fascia alta e in particolare li si possono notare nei famosi prodotti apple come iPad, iPhone e iPod che permettono lato software la gestione del multitouch.

Tecnologia ad infrarossi:

Gli schermi o per meglio dire le cornici realizzate tramite tecnologia ad infrarossi sono costruite da una serie di led emettitori a infrarossi e una serie di fototransistor sul lato opposto. I led emettono sequenze di impulsi attivandosi sequenzialmente formando una matrice di raggi luminosi sulla superficie dello schermo. Quando la rete è interrotta da un oggetto il circuito invia le coordinate al sistema. Questa tecnologia è caratterizzata da migliore immunità a graffi e atti vandalici ma è più imprecisa e meno reattiva.

Tecnologia ad onde acustiche:

Gli schermi di questo tipo sono come nel caso della tecnologia a infrarossi cornici composte da emettitori e ricevitori di segnali e funzionano grazie alla copertura della traiettoria dei segnali trasmessi. In questo caso sono onde acustiche non udibili all'uomo (ultrasuoni) ad essere trasmesse, onde orizzontali e onde verticali che in presenza di un corpo sono assorbite e la loro variazione nel tempo è utile proprio a determinare la posizione di eventuali oggetti sulla superficie. Questa tecnologia permette la costruzione di cornici indipendenti dal display sottostante (come nel caso della tecnologia infrarossi) e una risoluzione alta. Pannelli di questo tipo non sono però adatti a posti esterni o al contatto con liquidi in quanto potrebbero interferire con la funzionalità del touch-screen.

Tecnologia piezoelettrica:

I touch-screen realizzati con sensori piezoelettrici sono realizzati da un pannello di vetro mobile fissato su quattro sensori piezoelettrici (che costituiscono un ponte) montanti agli angoli di tale pannello. Ogni variazione di pressione (provoca uno sbilanciamento del ponte) è registrata da tali sensori e riportata al sistema che è così in grado di calcolare la posizione. Ovviamente questa tecnologia offre schermi trasparenti e immuni a liquidi e abrasioni ma è un sistema relativamente costoso e impreciso anche per il fatto che richiede una pressione di tocco molto elevata.

Tecnologie ottiche:

La tecnologia ottica prevede l'utilizzo di un dispositivo sensibile a determinate bande di frequenza nello spettro luminoso per determinare i punti della superficie in cui sono presenti corpi.

Possiamo utilizzare sorgenti luminose ad infrarossi (tramite diverse modalità) per impressionare il sensore (di una camera digitale connessa ad un pc) sensibile alle variazioni di luce. L'output a schermo è gestito tramite un proiettore o uno schermo LCD.

Possiamo utilizzare una semplice fotocamera digitale per la rilevazione dei punti ma dobbiamo prima rimuovere il filtro blocca infrarossi che è posto sui dispositivi commercializzati.

Ovviamente più alta è la risoluzione della nostra fotocamera e più grande sarà la superficie touch che potremo realizzare o a parità di superficie tanto più fine sarà la nostra risoluzione. Anche il frame rate è decisivo, per rilevare in maniera fluida i movimenti non dovremmo scendere sotto i 30 fps.

Vediamo allora i diversi sistemi implementabili:

FTIR

La tecnologia sotto il nome di Frustrated Total Internal Reflection funziona secondo le modalità descritte nella pubblicazione di Jefferson Han nel 2005 e sfrutta il fenomeno ottico per cui, l'ingresso della luce in determinati materiali, ad un angolo di incidenza specifico (detto angolo critico, strettamente dipendente dall'indice di rifrazione del materiale di partenza e di quello di arrivo) non provoca rifrazione ed il fascio luminoso è riflesso dai bordi del materiale costituendo un cammino interno che porta la luce ad uscire dal lato opposto.

Tale principio è definito nella famosa legge di Snell per cui il passaggio dei raggi luminosi da un mezzo con indice di rifrazione n_1 ad un altro con indice di rifrazione n_2 con angolo di incidenza θ_1

e rifrazione θ_2 è caratterizzato dalla proprietà:
$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{n_2}{n_1}$$

dove la rifrazione è la deviazione subita da un onda nel passaggio in un mezzo fisico con diversa velocità di propagazione.

Questa proprietà è fondamentale in ottica per la costruzione delle lenti in quanto permette di calcolare il cambiamento di direzione e le modifiche di lunghezza d'onda e fase del segnale luminoso nel passaggio all'interno delle lenti.

L'onda incidente forma un angolo con la normale alla superficie detto angolo di incidenza ed è uguale a quello che si crea tra il segnale riflesso e la normale alla superficie. L'angolo del segnale rifratto (ovvero l'angolo del segnale che al contatto con la superficie viene respinto nella direzione di provenienza che è uguale all'angolo del segnale che è trasmesso nel corpo di indice n_2 rispetto la normale alla superficie) è legato al segnale incidente dalla relazione $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$.

La riflessione totale è un fenomeno che avviene quando l'angolo del raggio incidente supera un certo angolo detto angolo critico che è calcolabile con la relazione

$$\theta_{crit} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

In questo caso non esiste più onda rifratta e nemmeno trasmessa ma solo onda riflessa. Il segnale luminoso trasmesso è totalmente riflesso. Questa situazione si ha nel momento in cui l'angolo del segnale rifratto è di 90 gradi rispetto la normale alla superficie ovvero quando il segnale rifratto è parallelo alla superficie di contatto dei due materiali. Infatti se poniamo il seno dell'angolo del segnale rifratto (o trasmesso visto che è lo stesso) a 1 troviamo che l'arcoseno vale 90°.

Un altro fenomeno è quello della rifrazione totale (o trasmissione totale) in cui un segnale incidente su una superficie che separa due mezzi con diverso indice di rifrazione, viene completamente trasmesso (o rifratto) senza alcun fenomeno di riflessione.

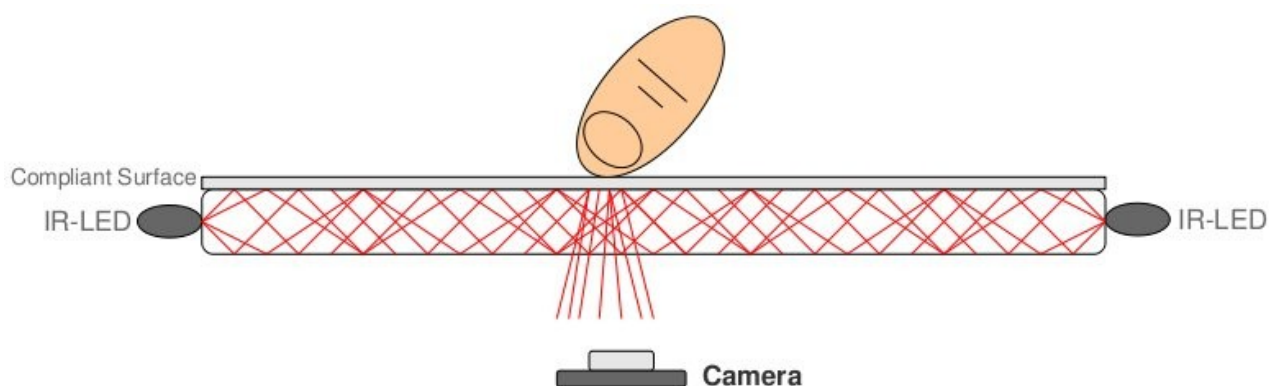
Nel caso della tecnica FTIR utilizzata nelle superfici multi-touch possiamo dire che il comportamento di trasmissione totale lo si ha nel momento in cui il led genera un segnale luminoso incidente e perpendicolare alla superficie (in realtà visto che non utilizziamo trasmettitori laser avremo un diagramma di radiazione più aperto e quindi componenti con apertura diversa la colpiranno), in questo caso il segnale entrante è deviato e si sposta all'interno del materiale senza poterne uscire completamente visto il fenomeno della riflessione interna totale (dovuto al fatto del maggiore indice di rifrazione del plexiglass rispetto l'aria).

Al contatto con le dita la luce non si comporta più come nel passaggio da plexiglass ad aria (che ne provoca la riflessione totale) ma è influenzata dal diverso indice di rifrazione del corpo umano (ovvero si dice sia "frustrata") e questo interrompe il fenomeno della riflessione interna totale tanto che la luce è in grado di attraversare il punto di contatto plexiglass-pelle fino ad essere deviata divenendo visibile da un apparecchio sensibile ai segnali infrarossi.

Secondo il documento di Han per sfruttare la FTIR per la costruzione di multi-touch screen si dovrebbe utilizzare un piano di acrilico dello spessore di almeno 6 mm. Maggiore è lo spessore e maggiore è il numero di modi interni seguiti dal fascio luminoso (e quindi maggiore è la copertura del piano). La possibilità di rilevare una pressione è strettamente dipendente dalla superficie premuta, per questo motivo quando si hanno le dita umide si ha un contatto migliore con la superficie ed è possibile ottenere forme più marcate. Questo non è un vero problema per quanto riguarda i clic in quanto essi possono essere comunque rilevati, seppure con pressioni abbastanza forti. Al contrario quando dobbiamo eseguire spostamenti la pressione esercitata risulta minore e diviene più difficile tracciare i punti coinvolti. Altra aggravante è apportata dall'uso di pannelli per la retroproiezione (se posti sotto la superficie) che possono limitare ulteriormente il passaggio dei già deboli raggi infrarossi.

La soluzione più diffusa fa uso di uno strato di gomma siliconica sopra la superficie dell'acrilico.

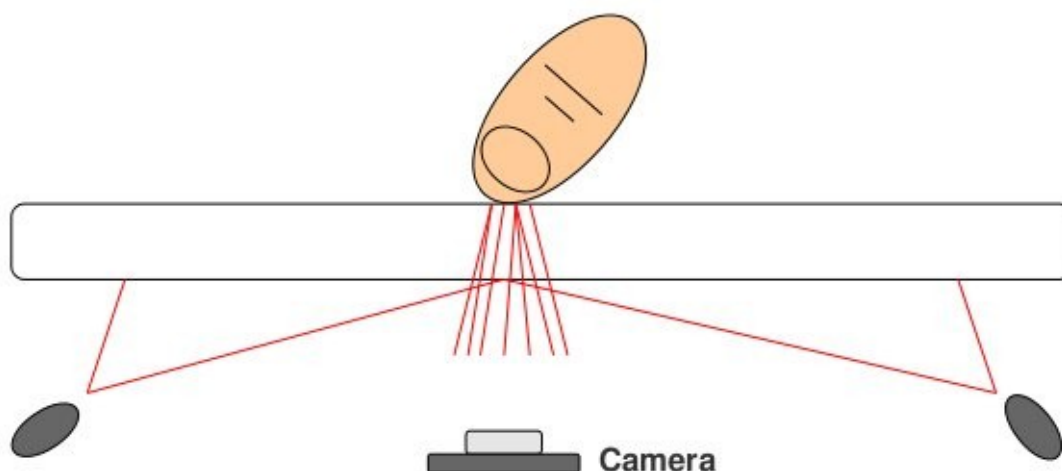
Un materiale di questo tipo mantiene l'indice di rifrazione del plexiglass ma si adatta in modo migliore all'acrilico rispetto alle dita e nel momento in cui è esercitata una pressione è possibile ottenere forme più pulite e marcate nonché proteggere il vetro da abrasioni e dall'inquinamento luminoso ambientale. Il difetto di una superficie di questo tipo è l'attrito presente che può comunque essere superato utilizzando gomme con indice di durezza (shore) più alto.



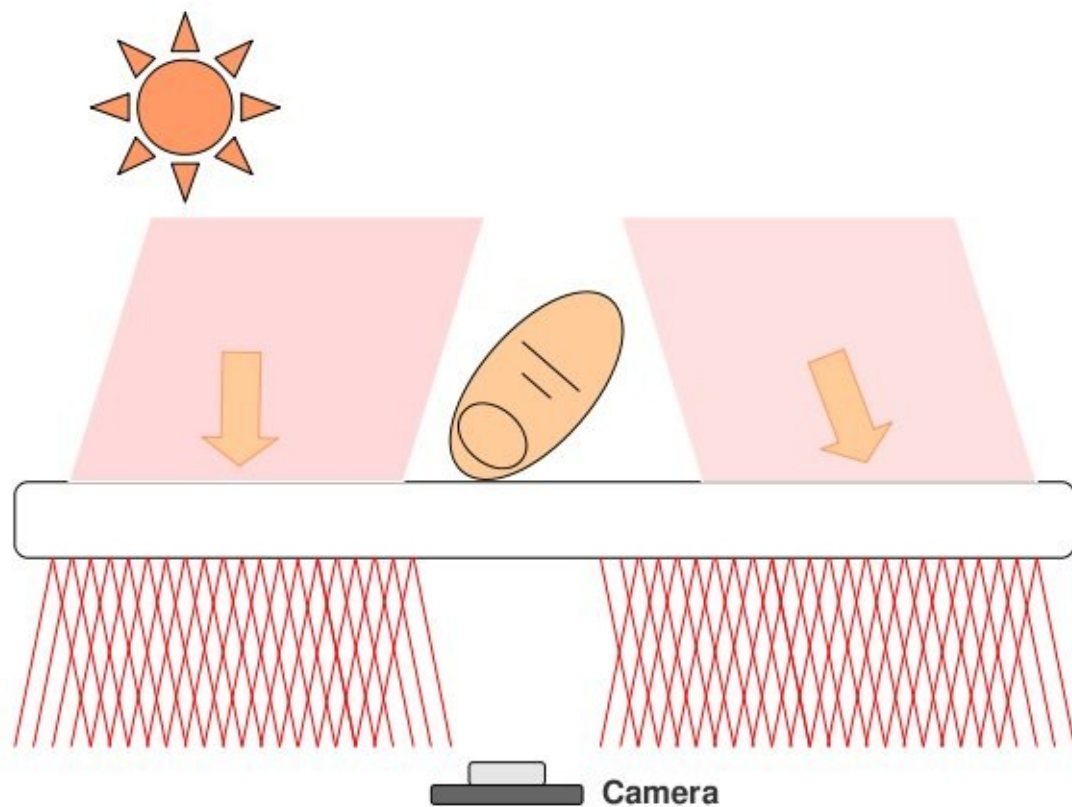
DI (Direct Illumination)

Questa tecnologia è basata sulla proiezione di fasci di luce infrarossa sulla superficie di acrilico. Tale illuminazione può provenire da appositi illuminatori o essere presente naturalmente nell'ambiente.

Possiamo quindi distinguere due diversi approcci complementari tra loro: il DI retro-illuminato ed il DI front-illuminato. Nel primo caso gli illuminatori irrorano il piano di fasci di luce infrarossa che è in grado di attraversare l'acrilico (anche il vetro è valido in questa tecnologia) e propagarsi nell'ambiente. Eventuali oggetti presenti sulla superficie deviano l'uscita della luce e parte di essa impressiona il sensore di una fotocamera posta sotto il piano.

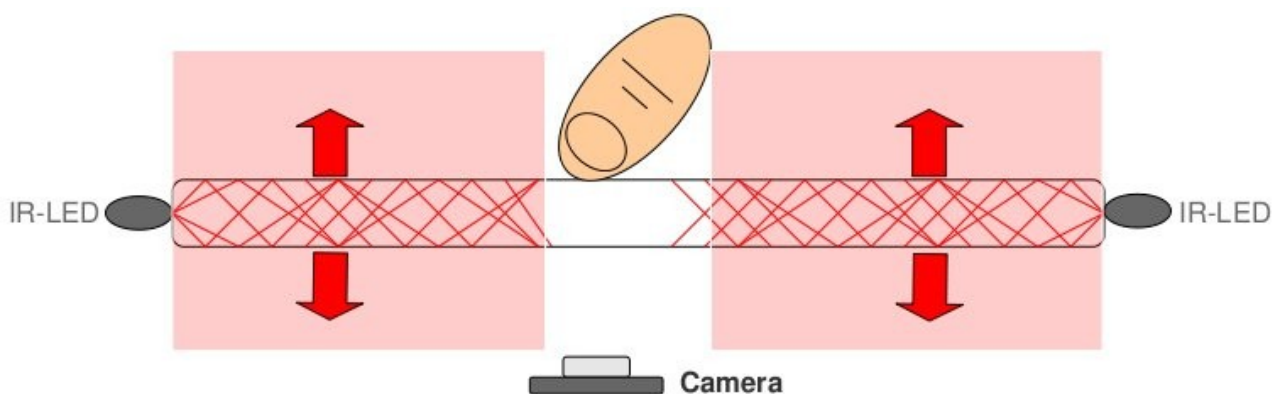


Al contrario il Front-DI è una tecnica passiva in quanto la luce infrarossa non è realizzata da illuminatori ma presente naturalmente nell'ambiente come componente della luce naturale solare. Questa luce impressiona in maniera naturale il sensore della fotocamera posta sotto al piano, eventuali oggetti presenti sopra di esso ne mascherano l'ingresso creando zone d'ombra rispetto al resto della superficie che risulta illuminato. E' quindi una tecnica adatta a luoghi luminosi anche se eventuali fonti luminose laterali potrebbero influenzarne il funzionamento.



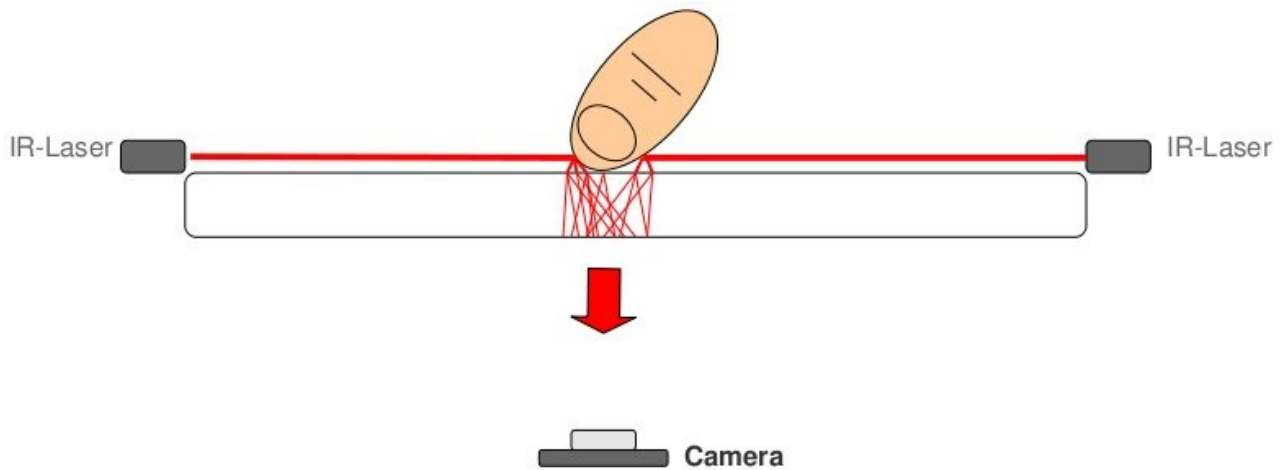
DSI (Diffused Surface Illumination)

E' un sistema simile alla FTIR ma il materiale del pannello è acrilico modificato in modo da riflettere la luce in arrivo verso la superficie. In questo modo abbiamo un effetto simile a quello della illuminazione diretta ma senza fare uso di scomodi illuminatori



LLP (Laser Light Plane)

Laser infrarossi sparano lungo la superficie del piano di acrilico fasci luminosi che sono deviati al contatto con gli oggetti. Il fascio luminoso deviato da tale contatto può quindi essere rilevato da una fotocamera.



1.2 Costruzione di un dispositivo multi-touch

Dopo l'analisi delle tecnologie messe a disposizione passiamo alla costruzione del dispositivo secondo la tecnologia FTIR.

Analisi dei costi

Materiale impiegato:

Componente	Quantità	Costo unitario (euro)
LED Infrarossi	50 pezzi	0,26
Piano Acrilico	60 x 40 cm	40 + 10 (lucidatura)
Cornice alluminio	64 * 44 cm	25
Gomma Siliconica Prochima Cristal	500 g	35
Stagno	2 rocchetti	1 € rocchetto
Colla a caldo	1 confezione da 10 tubi	1,99 confezione
Resistenze	10	0,02
Alimentatore computer	1	15
Carta lucida disegno	3 fogli	0,35
Webcam	1	12

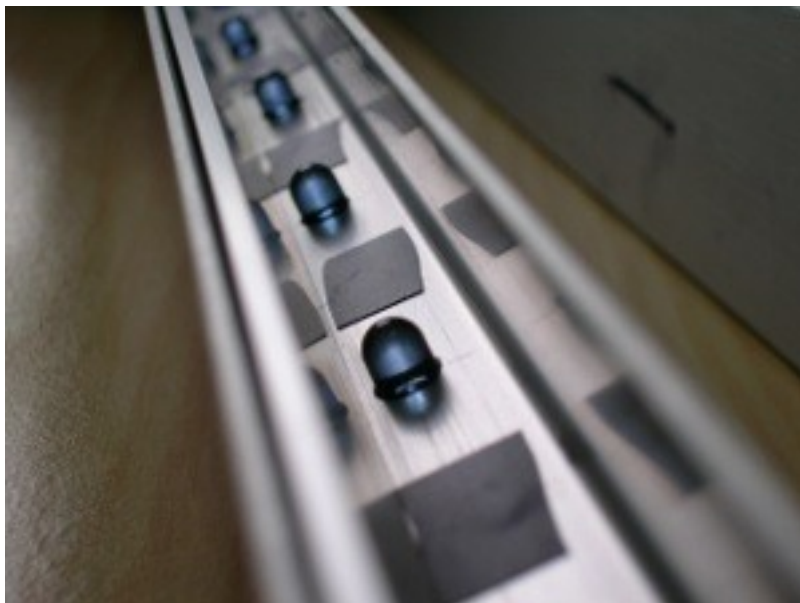
Risorse umane:

Attività	Costo in tempo lavoro (persona)
Ricerca acrilico	3 ore
Montaggio cornice alluminio	4 ore
Montaggio circuito	2 ore (primo tentativo) + 2 ore (secondo tentativo)
Montaggio carta lucida	10 minuti
Preparazione webcam e taratura	15 minuti
Sistemazione gomma siliconica	2 ore
Implementazione software	3 settimane

Personale impiegate: 3

Costruzione

- Lucidare i bordi del piano d'acrilico in modo da eliminare sbavature che potrebbero deviare il fascio luminoso
- preparare la cornice d'alluminio forandola per accogliere i led



Nella foto si nota come siano presenti porzioni di nastro isolante. L'utilizzo è dovuto al fatto che inizialmente le cornici erano state predisposte per il doppio dei led ma in seguito è stata decisa una diversa disposizione.

- inserire i led nella cornice e collegarli secondo il circuito definito



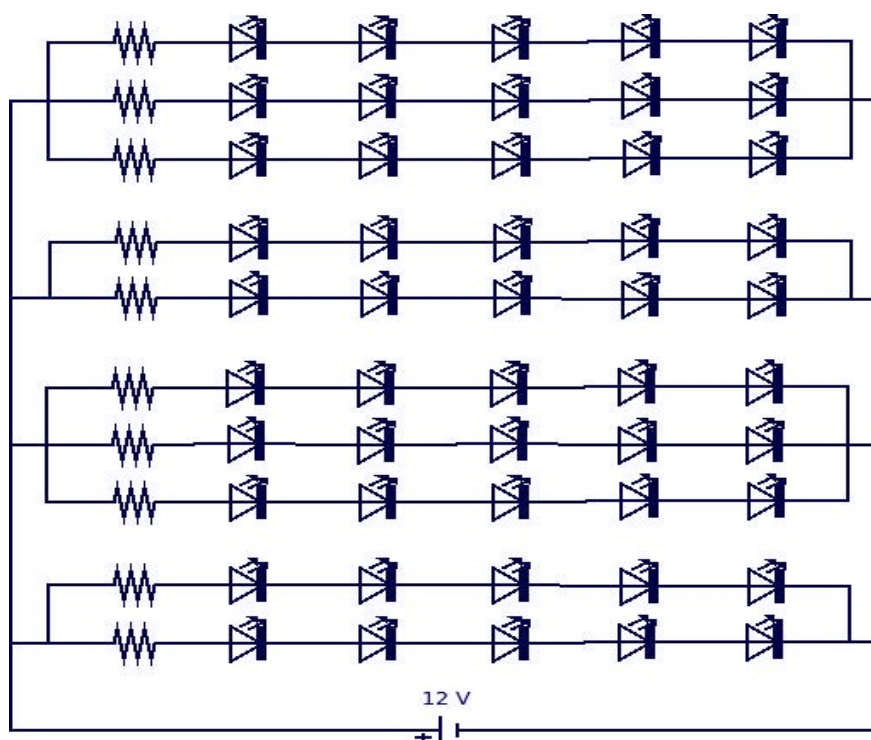
Visto che il dispositivo sarà gestito da un personal computer abbiamo deciso di alimentare il circuito di gestione degli IR-led con una tensione di 12 V.

Nella foto a sinistra si può notare come sia stato realizzato l'impianto.

La linea 12 V (rossa) e la massa (nero). Per assicurare una certa stabilità i diodi e i terminali dei connettori sono stati fissati con colla a caldo.

Posta la tensione di 12 V in ingresso e le specifiche dei diodi che definiscono una corrente di alimentazione tipica di 20mA e una tensione compresa tra 1,20 e 1,50 V abbiamo stabilito che:

- Debbono essere posizionati 10 IR-led su ogni lato corto e 15 IR-led su ogni lato lungo per un totale di 50 led.
- Per fornire 1,30V (scelta come valore medio nel range) a ogni led è necessaria una tensione di 12 V sul lato corto e 18 V sul lato lungo. Per ovviare al problema delle diverse tensioni è stata stabilita la dimensione del ramo a una serie di 5 Led per un totale di $(1,3 * 5 = 6,5)$ 6,5 V e 20mA che dovranno essere forniti a partire dai 12 V a disposizione impiegando una resistenza di $(12 - 6,5) / 20 \text{ mA} = 275 \text{ Ohm}$ che in commercio corrisponde alla resistenza da 270 Ohm. Vista la capacità dei diodi di essere alimentati da una corrente anche di 50 mA (massima) abbiamo deciso di effettuare alcune prove di sforzo del componente per trovare una configurazione tale da garantire alta illuminazione e longevità. Siamo scesi al valore minimo di 120 Ohm, in questo modo si forniva al ramo una corrente di $5,5 / 120 = 45 \text{ mA}$. I Led però sollecitati da tale corrente non garantivano la caratteristica di longevità che abbiamo ritenuto fondamentale per il dispositivo. Il fatto che dopo un certo tempo iniziavano a riscaldarsi ne era un segnale evidente. Per questo motivo dal valore di 120 Ohm siamo passati a quello di 150 Ohm (corrispondente ad una corrente di 36mA sul circuito) fino a scegliere quello di 180 Ohm come giusto compromesso tra i 270 consigliati e i 100/120 minimi. Tale valore garantisce illuminazione diffusa su tutta la superficie per una corrente di 30 mA.



In un lato minore (2 rami) la corrente vale 60 mA mentre in un lato maggiore (3 rami) a 90 mA che in totale ammonta a $(60\text{mA} * 2) + (90\text{mA} * 2) = 300 \text{ mA} = 0,3 \text{ A}$.

La corrente fornita dall'alimentatore da laboratorio a disposizione è di 330 mA molto vicina al valore calcolato (se si considera la tolleranza intorno al 5% dei resistori).

- stendere la colla siliconica sulla superficie del piano acrilico (lato A)



- stendere la carta lucida sulla superficie del piano acrilico (lato B)



- eliminare l'eventuale filtro infrarosso dalla webcam sostituendolo con un filtro fotografico passa banda infrarosso o in alternativa utilizzare più fogli negativi di rullini sviluppati.



Testing

In questo paragrafo tenteremo di testare l'apparato costruito.

- verifica della corretta alimentazione dei led



- verifica della rilevazione dei blob in corrispondenza dei punti premuti

