



PROGETTO DI TESI

-

REALIZZAZIONE DI UN INSEGUITORE SOLARE A DOPPIO ASSE

DARPIN MATTEO 2033467

MARCON RICCARDO 2004606

VISENTIN LORENZO 2034968

VESENTINI FRANCESCO 2035290

ZENNARO JACOPO 1191246

CARRARO MARCO 2005444

LEVORATO GIOVANNI 1220279

SCOPO DEL PROGETTO

Il progetto consiste nella creazione di un inseguitore solare cioè un supporto motorizzato che segue il movimento del sole per massimizzare la luce incidente.

Sarà integrato in un reattore chimico solare con lo scopo di produrre anti malarico, per i paesi in via di sviluppo, in collaborazione con il dipartimento di Chimica dell'Università di Padova.

Il dispositivo ruoterà su due assi grazie a due servomotori e sarà controllato da un microcontrollore (ARDUINO) con sensore di luminosità per l'individuazione del punto di massima luminosità; avrà anche un'interfaccia utente a display OLED per l'utilizzo delle diverse funzionalità selezionabili tramite encoder.

SUDDIVISIONE PROGETTO

- ◇ PROGETTAZIONE E PROTOTIPAZIONE STRUTTURA
- ◇ PROGETTAZIONE E PROTOTIPAZIONE QUADRO DI CONTROLLO
- ◇ REALIZZAZIONE
- ◇ CONTROLLO DISPOSITIVO
- ◇ SCHEMA DI MONTAGGIO
- ◇ INTERFACCIA GRAFICA

PROGETTAZIONE E PROTOTIPAZIONE MECCANISMO PAN/TILT

- ◇ DEFINIZIONE DEI PUNTI PRINCIPALI
- ◇ PROGETTAZIONE DI 2 PROPOSTE
- ◇ ESPOSIZIONE PROPOSTE E SCELTA FATTORE FORMA FINALE
- ◇ MESSA A PUNTO DEL MODELLO FINALE

DEFINIZIONE PUNTI PRINCIPALI

1. UTILIZZO DEI MOTORI SERVO SG92R

Sono quindi da rispettare determinati vincoli di ingombro e strutturali (come quelli sotto)

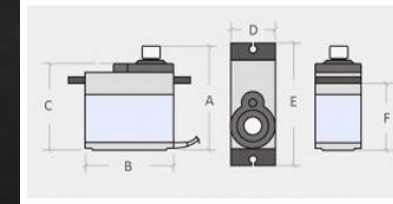


it.aliexpress.com

2. LEGGEREZZA DEGLI ORGANI MOBILI

Per evitare coppie troppo elevate, i motori non sono molto potenti
[COPPIA MAX = 2,5 kg/cm = 0,245 Nm].

Product Description:



Product Configure Table:

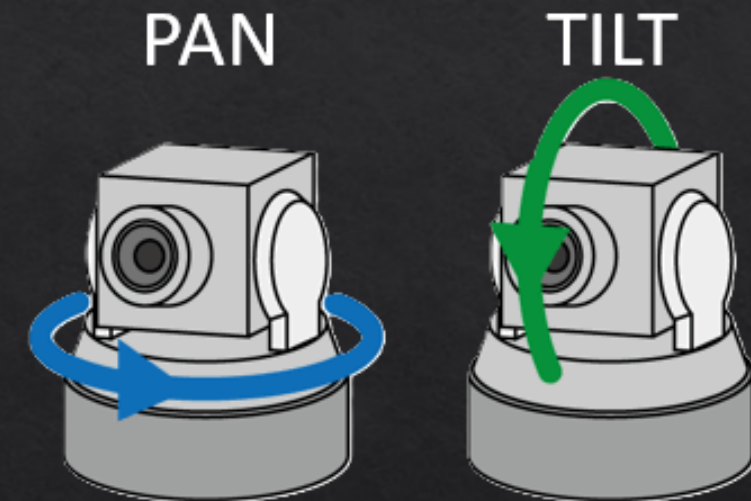
Weight(g)	12
Torque(kg)(4.8v)	2.5
Speed(sec/60deg)	0.1
A(mm)	34.5
B(mm)	22.8
C(mm)	26.7
D(mm)	12.6
E(mm)	32.5
F(mm)	16

DEFINIZIONE PUNTI PRINCIPALI

3. POSSIBILITÀ DI COMPIERE MOVIMENTI ANGOLARI SPECIFICI

La base deve poter muoversi di 180° (*PAN*) e l'organo superiore di un angolo maggiore di 180° (*TILT*).

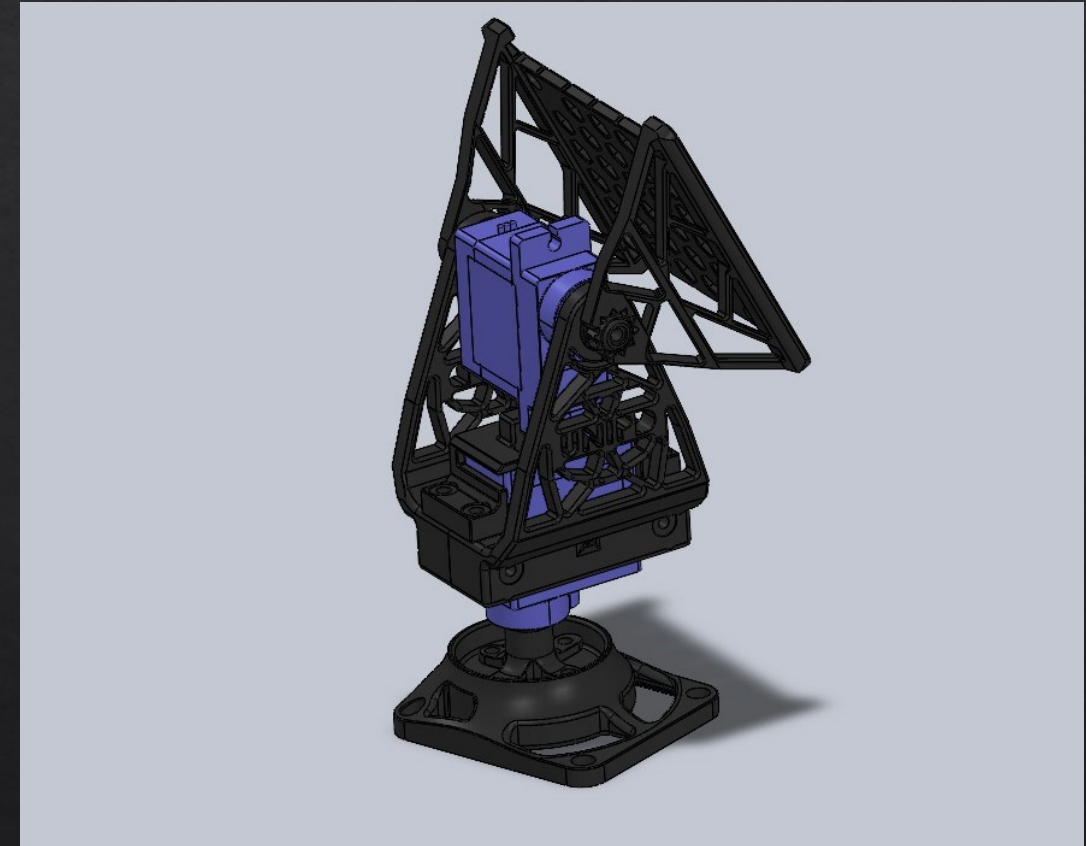
4. TENERE IN CONSIDERAZIONE IL PASSAGGIO DEI CAVI



courses.ece.cornell.edu

PROPOSTA 1

- ◇ STRUTTURA ALLEGGERITA
Peso parte superiore = 0,016 kg
Coppia richiesta = 0,0049 Nm
- ◇ RISPARMIO DI MATERIALE
- ◇ RISPARMIO DI ENERGIA
Pezzi piccoli, tempi di stampa
minori
- ◇ ANGOLI DI MOVIMENTO
Orizzontale (PAN): 360°
Verticale (TILT): circa 208°
- ◇ RCHIEDE VITI O COLLA PER IL
MONTAGGIO



Visualizza tipo Visualizzazione strato

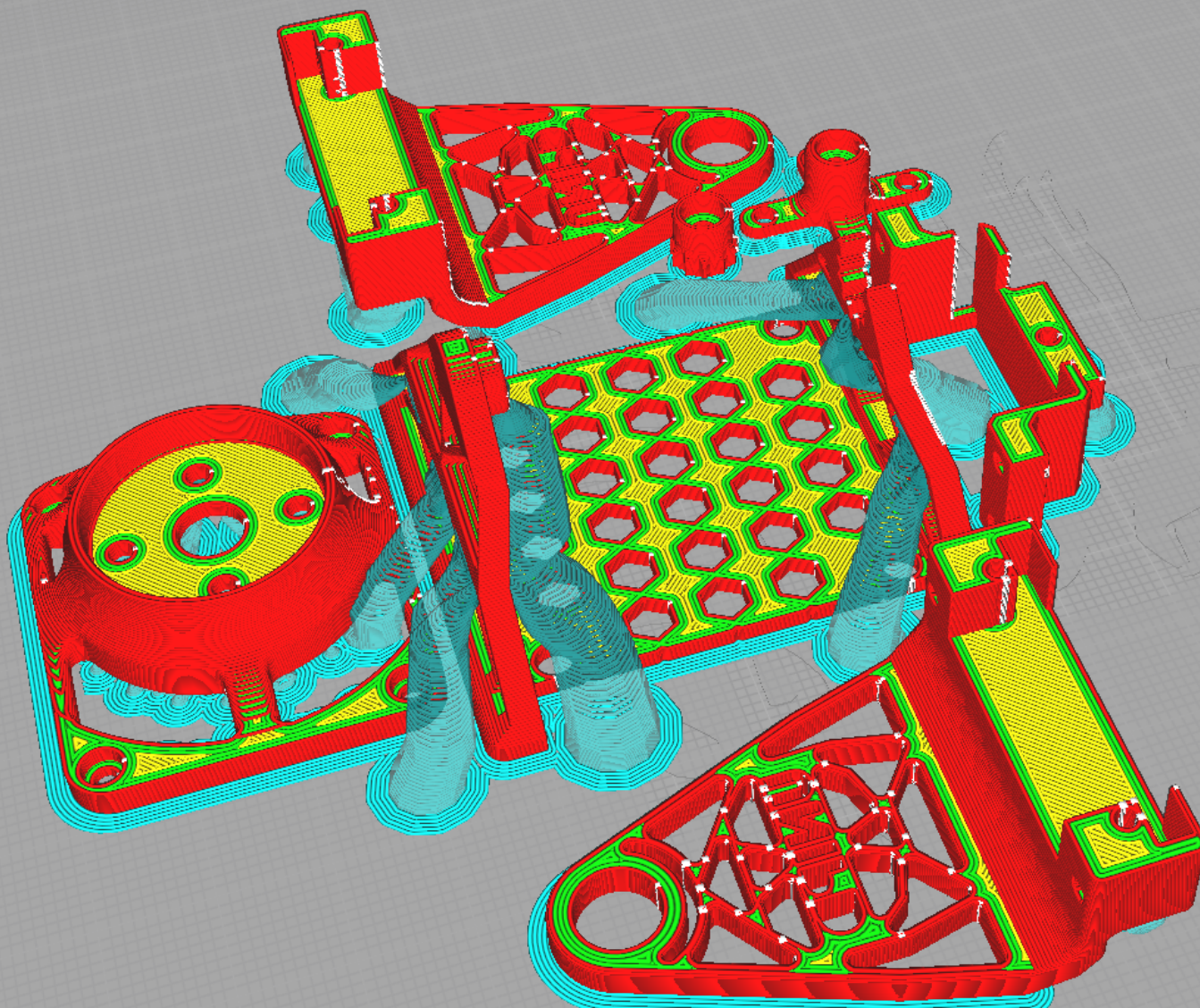
Schema colori Tipo di linea

PERSONALE -...ity - 0.2mm 2... Inserita Inserita

Schema colori

Tipo di linea

- Extruder 1 ■
- Spostamenti ■
- Helper ■
- Guscio ■
- Riempimento ■
- Avvia ■
- Superiore / Inferiore ■
- Parete interna ■



Impostazioni di stampa

Profili

Risoluzione

Super Quality - 0.12mm

⚠ Il profilo personalizzato PERSONALE sta sovrascrivendo alcune impostazioni. ↻

Impostazioni di stampa consigliate

Personalizzata

Resistenza

20%

Densità del riempimento 0 100

Configurazione di riempimento Cubic

Spessore guscio 1.2 mm 1.32 mm

Supporto



Tipo di supporto Tree

Posizionamento Touching Buildplate

Adesione



Elenco oggetti

CE3E3V2_PERNO_SERVO_BASE v2

125.0 x 101.6 x 27.0 mm

5 ore 16 minuti

25g - 8.26m

Upload to Creality Ender-3

PROPOSTA 2

ALTA AFFIDABILITÀ

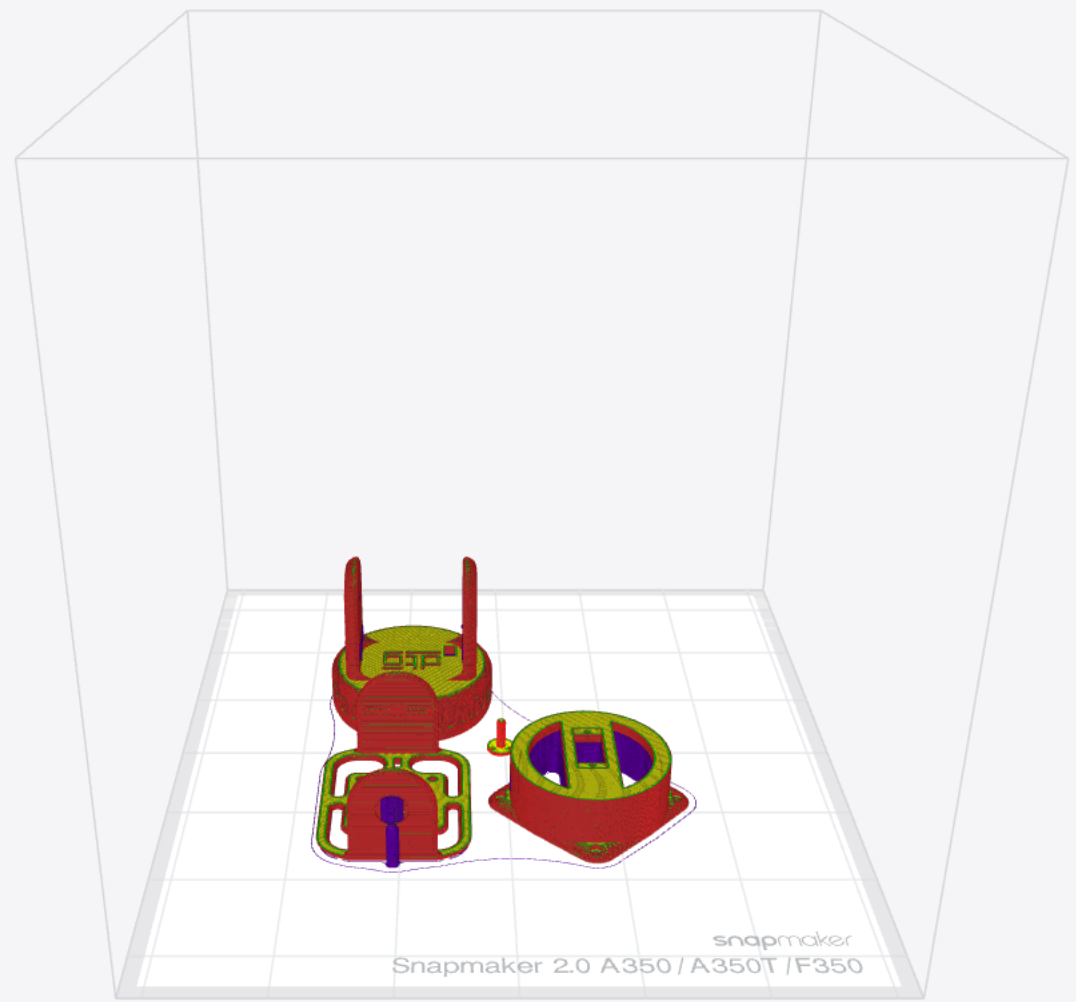
- ◇ Maggiore stabilità in caso di eventi atmosferici indesiderati
- ◇ Robustezza elevata derivante dal layout scelto:

Peso parte superiore = 0,037 kg
Coppia richiesta = 0,0128 Nm

ELEVATA POLIVALENZA

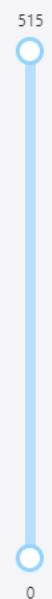
- ◇ Estrema semplicità nella sostituzione di elementi danneggiati o compromessi
- ◇ Versatilità in caso di modifiche progettuali per un ulteriore adattamento all'utilizzo desiderato
- ◇ ANGOLI DI MOVIMENTO
Orizzontale: 360°
Verticale: circa 180°





Tipo di linea

- Parete interna ■
- Parete esterna ■
- Pelle ■
- Aiutante ■
- Riempire ■
- Corsa ■
- Sconosciuto ■
- Modalità Raggi X ■



Default

Stampa Normale Stampa veloce Superficie Liscia Precise & Strong

Visualizzazione Parametri: Consigliato

Altezza layer: 0.16 mm
Fine Medio Grezzo

Speed: 50 mm/s
Slow Medio Fast

Struttura del modello: Normale
Debole Medio Forte

Supporti: Normale Nessuno

Tipo di adesione: Skirt Bordo Zattera

[Altre impostazioni >](#)

Elenco oggetti

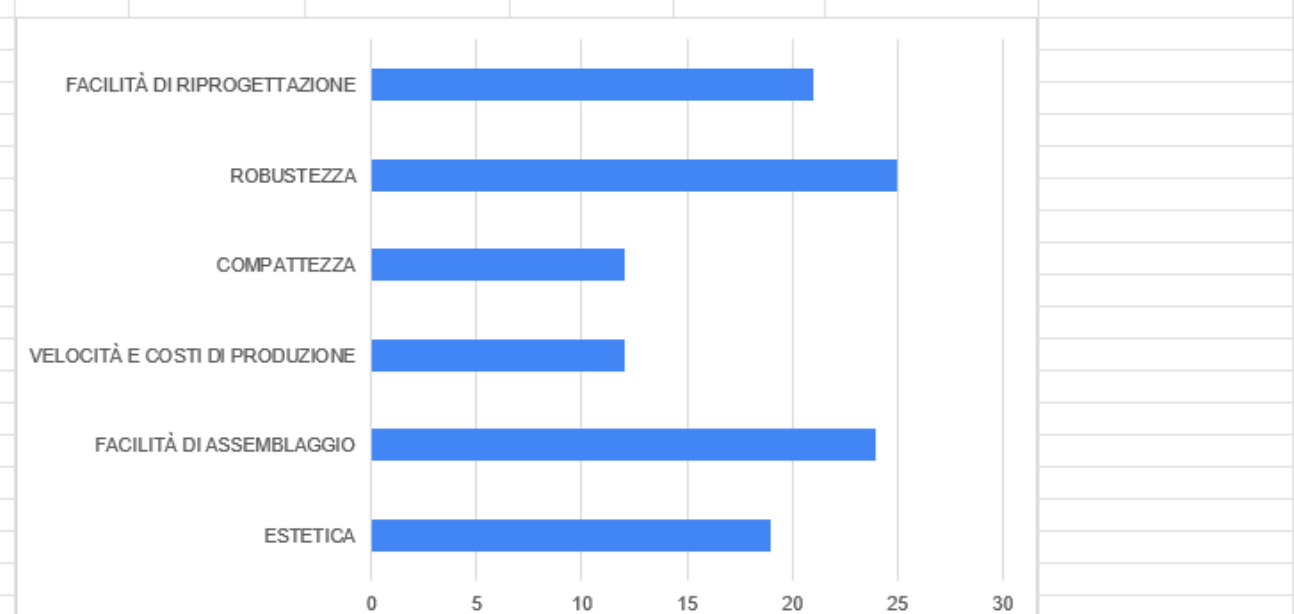
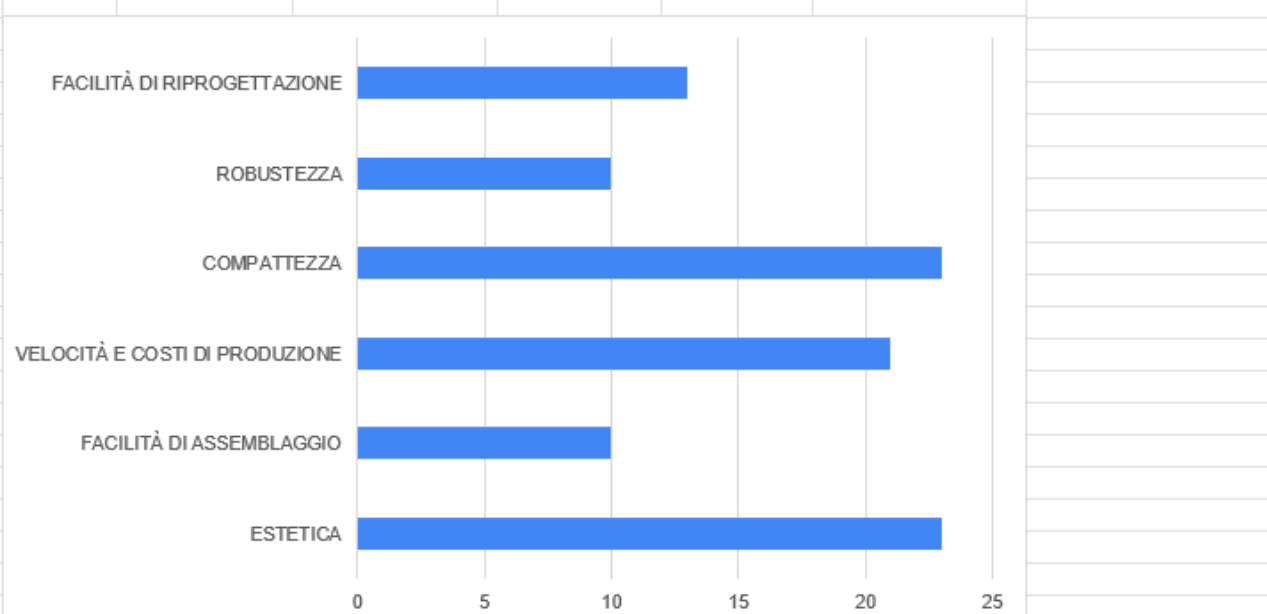
- pezzo mobil... v23.stl
- perno solar t... ker.stl
- base supportov1.stl
- pezzo mobil... v6.stl

Chiudi anteprima

Esporta

ESPOSIZIONE PROPOSTE E SCELTA FATTORE FORMA FINALE

PROPOSTA 1							PROPOSTA 2						
ESTETICA	FACILITÀ DI ASSEMBLAGGIO	VELOCITÀ E COSTI DI PRODUZIONE	COMPATTEZZA	ROBUSTEZZA	FACILITÀ DI RIPROGETTAZIONE	UTLERIORI ASPETTI DA PRENDERE IN ESAME	ESTETICA	FACILITÀ DI ASSEMBLAGGIO	VELOCITÀ E COSTI DI PRODUZIONE	COMPATTEZZA	ROBUSTEZZA	FACILITÀ DI RIPROGETTAZIONE	UTLERIORI ASPETTI DA PRENDERE IN ESAME
5	1	4	5	3	2		3	5	3	4	5	5	
3	2	5	5	2	2		5	5	2	3	5	4	
5	3	4	5	2	4		4	5	2	2	5	4	
5	3	4	4	1	2		4	4	4	2	5	4	
5	1	4	4	2	3	TOT	3	5	1	1	5	4	TOT
23	10	21	23	10	13	100	19	24	12	12	25	21	113



ASPETTI NEGATIVI EMERSI

PROPOSTA 1

- ◇ Resistenza bassa
- ◇ Troppo complesso per assemblaggio
- ◇ Complesso da riprogettare
- ◇ Richiede molte viti

PROPOSTA 2

- ◇ Tempistiche di stampa più elevate
- ◇ Consumi energetici di produzione maggiori
- ◇ Ingombri maggiori

MESSA A PUNTO DEL MODELLO FINALE

ELEMENTI CORRETTI/AGGIUNTI:

- ◆ ALLEGGERIMENTO:
 - massa iniziale: 0,118 kg
 - massa finale: 0,097 kg
 - Peso parte superiore = 0,032 kg
 - Coppia richiesta = 0,0108 Nm
- ◆ Aumento robustezza tramite raccordi su spigoli vivi
- ◆ Ridimensionamento layout complessivo
- ◆ Conseguente diminuzione delle tempistiche di stampa e costi energetici



MIGLIORAMENTI/UPGRADE POSSIBILI

- ◆ Divisione del componente centrale in 3 pezzi distinti per facilitare e velocizzare ulteriormente la stampa
- ◆ Divisione analoga per il componente mobile verticale per ottenere i medesimi vantaggi
- ◆ Eliminazione di lavorazioni superflue puramente estetiche (esagoni della base)



PROGETTAZIONE E PROTOTIPAZIONE QUADRO DI CONTROLLO

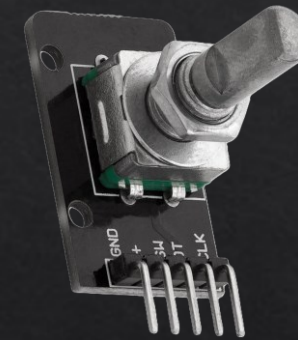
COMPONENTI DA INSERIRE NEL QUADRO

Schermo OLED [SSD1306]



[it.aliexpress.com](https://www.aliexpress.com)

Encoder [KY-040]



www.az-delivery.de

Arduino UNO R3

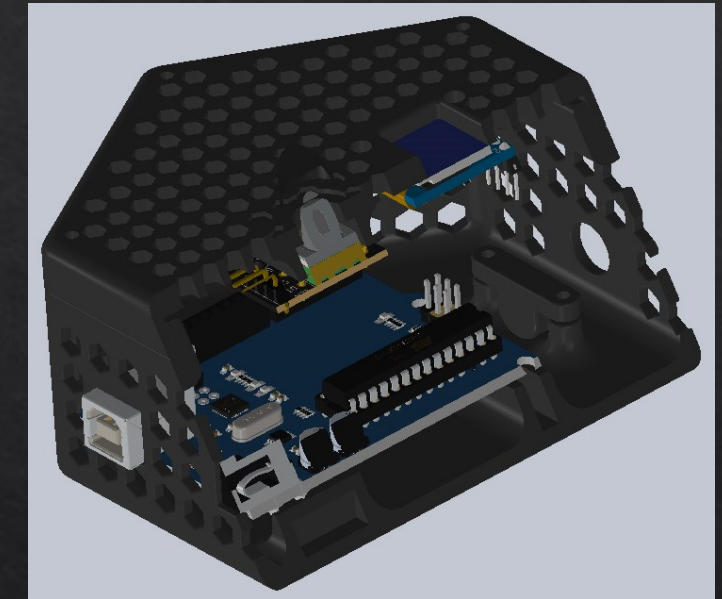
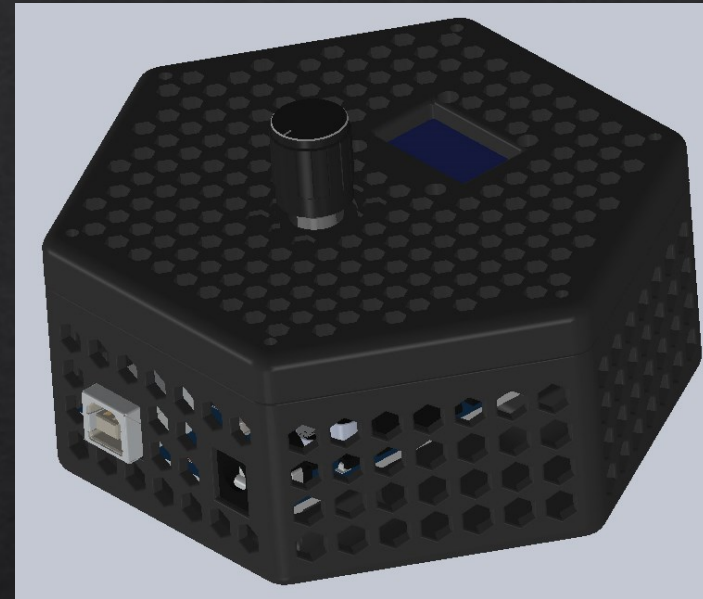


store.arduino.cc

PROGETTAZIONE E PROTOTIPAZIONE QUADRO DI CONTROLLO

PUNTI CHIAVE:

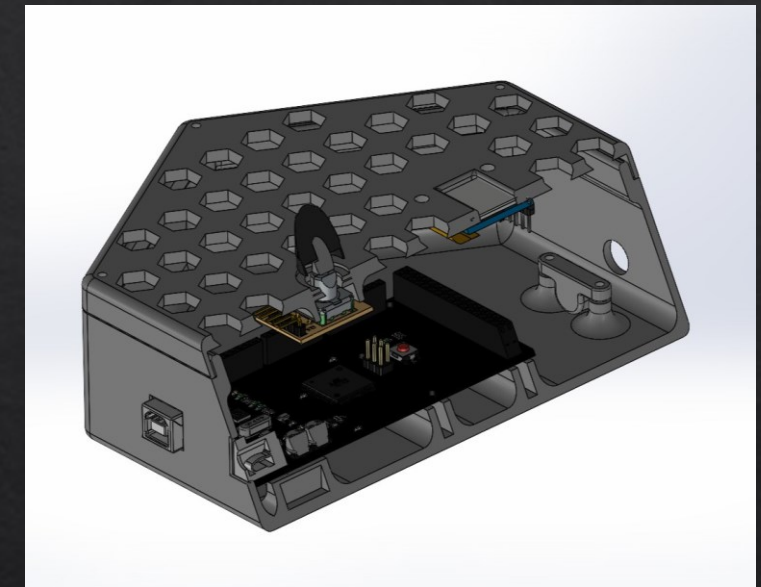
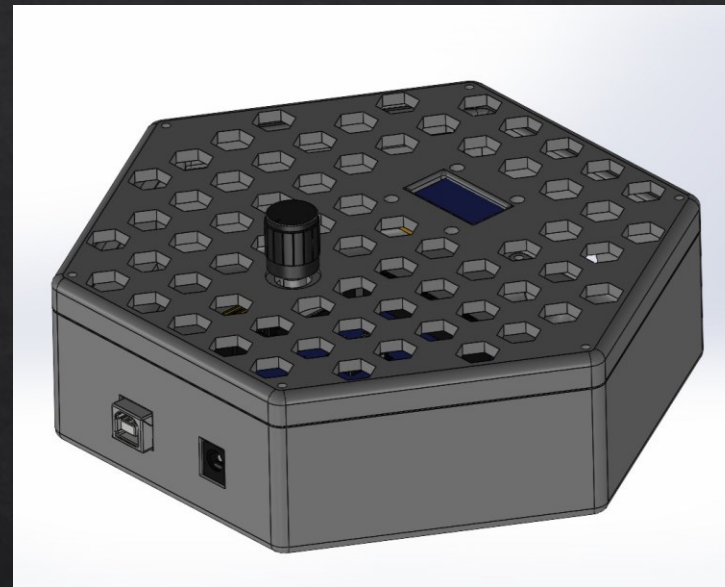
- ◇ FACILITÀ DI MONTAGGIO DEI COMPONENTI
- ◇ VENTILAZIONE DEI COMPONENTI INTERNI
- ◇ RESISTENZA AGLI URTI



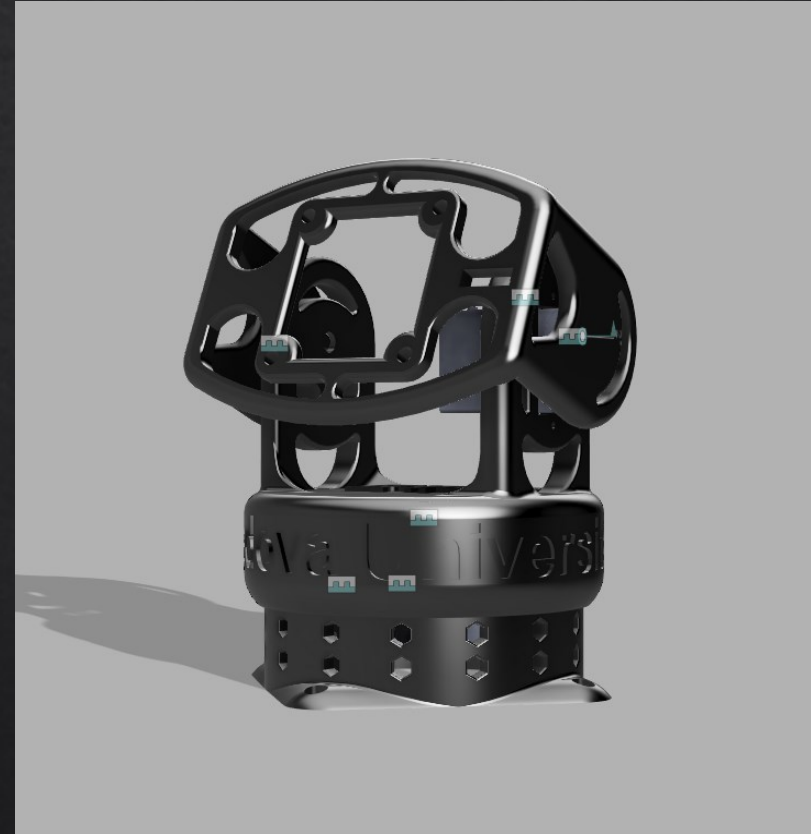
MIGLIORAMENTI/UPGRADE POSSIBILI

MIGLIORAMENTI:

- ◇ ELIMINAZIONE DI DETTAGLI ESTETICI DISPENDIOSI INUTILI
- ◇ AGGIUNTA DI PIEDINI PER LA VENTILAZIONE
- ◇ FORATURE PARTE INFERIORE



RENDERING



TECNICHE PROGETTUALI/DI STAMPA

- ◆ Disegnare tenendo in considerazione il diametro dell'ugello e multipli
- ◆ Posizionare i moduli sul piano di stampa in modo tale da avere i fori (o altre geometrie che sennò si svilupperebbero in altezza) paralleli al piano di stampa
- ◆ Suddivisione del prototipo in sotto parti per facilitare intercambiabilità dei componenti e ottimizzare le tempistiche di stampa in caso di rotture o difetti di progettazione
- ◆ Utilizzare componenti standard per la costruzione del prototipo
- ◆ Evitare geometrie troppo complesse puramente estetiche

POSSIBILITÀ DI REALIZZAZIONE

AUTOPRODUZIONE:

- ◇ MATERIALI FACILMENTE REPERIBILI
- ◇ TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE ECONOMICHE
- ◇ PRODUZIONE DEL SINGOLO
- ◇ NECESSITA DI FACILITARE IL SETTAGGIO DEI MACCHINARI PER UTENTI MENO ESPERTI

PRODUZIONE INDUSTRIALE:

- ◇ MATERIALI RESISTENTI
- ◇ TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE PIÙ COSTOSE
- ◇ PRODUZIONE DI MASSA
- ◇ È NECESSARIO CHE LE LAVORAZIONI SIANO EFFETTUABILI ANCHE DA MACCHINARI DIVERSI DALLE STAMPANTI 3D

AUTOPRODUZIONE - TECNOLOGIE

FMD: Fused Deposition Modeling



italian.alibaba.com

Stampanti 3D a resina



it.aliexpress.com

AUTOPRODUZIONE (FDM) – MATERIALI

ABS

◇ VANTAGGI:

- Basso costo
- Più resistente e duraturo del PLA
- Resistente agli agenti atmosferici
- Sopportazione maggiore del calore

◇ SVANTAGGI:

- Non biodegradabile
- Più complicato da stampare
- Tossico in fase di stampa

PLA

◇ VANTAGGI:

- Basso costo
- Non tossico in fase di stampa
- Facilmente stampabile
- Biodegradabile
- Ecosostenibile

◇ SVANTAGGI:

- Poco resistente
- Sensibile all'umidità
- Sensibilità ad alte temperature (superiori a 45 gradi)

AUTOPRODUZIONE (RESINA) – MATERIALI

◆ RESINA STANDARD

+qualità\prezzo

-fragilità, rigidità moderata

◆ RESINA RESISTENTE AGLI URTI

+bassa fragilità

-costosa

◆ RESINA AD ALTA DUREZZA

+molto resistente (compressione,
trazione)

-fragilità, costosa

◆ RESINE INGEGNERISTICHE

+durevole, resistente

-costosa

PRODUZIONE INDUSTRIALE - TECNOLOGIE

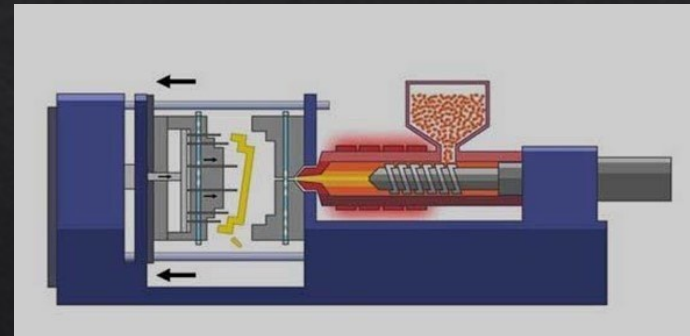
TIPOLOGIE DI MACCHIANRI

LAVORAZIONE CNC



www.machineseeker.it

STAMPAGGIO PER IGNEZIONE



hitopindustrial.com

STAMPA 3D



italian.alibaba.com

PRODUZIONE INDUSTRIALE - MATERIALI

◇ MATERIALI

Acciai:

Inossidabili:

AISI 316: ottima resistenza alla corrosione e alle alte temperature

AISI 304: buona resistenza e più economico

Resistenti agli agenti atmosferici:

Corten (A242/A588): estrema resistenza alle intemperie senza verniciatura

Ad alta resistenza:

AISI 4140: alta resistenza meccanica, buona tenacità e resistenza all'usura, buona resistenza alla corrosione se trattato termicamente

Plastiche: già descritte in precedenza

CONTROLLO DISPOSITIVO

◇ COMPONENTI:

- Sensore di luminosità BH1750
- Servomotori SG92R
- Matrice a LED
- Arduino MEGA

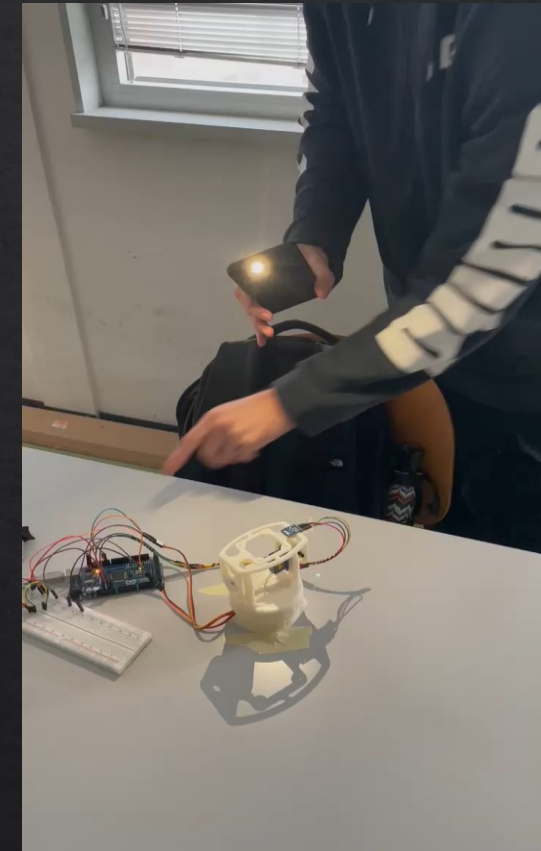
◇ Sviluppo di 2 metodi : P&O e ESC

CONTROLLO PERTURB & OBSERVE

- ◇ **Sensore di luminosità:** Il sensore di luminosità misura l'intensità della luce solare e fornisce un segnale al sistema di controllo;
- ◇ **Perturbazione:** Il sistema introduce una variazione nell'angolo di pan o di tilt;
- ◇ **Osservazione:** Si misura la variazione del sensore di luminosità in risposta alla perturbazione;
- ◇ **Decisione:** Se la luminosità aumenta, la perturbazione viene mantenuta nella stessa direzione, se la luminosità diminuisce, la direzione della perturbazione viene invertita.

Questo processo viene ripetuto continuamente per mantenere il pannello solare orientato verso la direzione di massima luminosità, massimizzando così l'energia raccolta.

CONTROLLO PERTURB & OBSERVE



CONTROLLO ESC

INTRODUZIONE TEORICA

◇ Cos'è?

- Controllo per l'ottimizzazione di un sistema

◇ Cosa mi serve?

- Mi serve poter perturbare il parametro da cui dipende la funzione oggetto

◇ Vantaggi?

- Non serve conoscere il modello del sistema che si studia

- È adattivo

CONTROLLO ESC

Implementazione Digitale:

◆ Applicazione della perturbazione

```
float ESC::perturb(float t, float A, float fase)
{
    |   return A * sin(w * t + fase);
}
```

◆ Filtraggio

```
float ESC::HPF(float input_0, float input, float output_0, float output, float dt)
{
    float a = ( 1 / Wt ) / (( 1 / Wt ) + dt );
    return a * (input - input_0 + output_0) ;
}
```

◆ Demodulazione e Integrazione

```
float ESC::update(float perturb, float output, float dt, float k)
{
    |   return k * perturb * output * dt;
}
```


FILTRAGGIO DEL SEGNALE

HIGH PASS FILTER

- ◆ FUNZIONE DI TRASFERIMENTO A TEMPO CONTINUO:

$$H(s) = \frac{s \cdot \tau}{1 + s \cdot \tau}$$

- ◆ DISCRETIZZAZIONE MEDIANTE EULERO INVERSO:

$$s \approx \frac{1 - z^{-1}}{T_s}$$

- ◆ EQUAZIONE ALLE DIFFERENZE D'USCITA:

$$y[k] = \alpha [x(k) - x(k - 1) + y(k - 1)]$$

CONSIDERAZIONI:

- ◆ IL PARAMETRO CONSIDERATO E':

$$\alpha = \frac{\tau}{T_s + \tau}$$

- ◆ IL FILTRO CONSIDERATO E' UN FILTRO DEL PRIMO ORDINE DEL TIPO IIR (Infinite Impulse Response)

CONTROLLO ESC

AFFINAMENTO DELL'ALGORITMO

◆ Scelta dei parametri:

- Guadagno, Ampiezza, Frequenza sinusoidi, Tempo di Campionamento

◆ Problemi riscontrati:

- Variabilità comportamento sistema a seconda della luminosità

- Continuo movimento anche dopo aver trovato il massimo

CONTROLLO ESC – AFFINAMENTO DELL'ALGORITMO

Risoluzione problemi:

- ◆ Implementazione di uno Switch Case che in base al valore di luminosità in ingresso andasse a modificare i valori di Ampiezza e Guadagno.
- ◆ Inserimento di un algoritmo che andasse a diminuire l'Ampiezza della perturbazione una volta trovato il massimo della luminosità (errore 'piccolo').

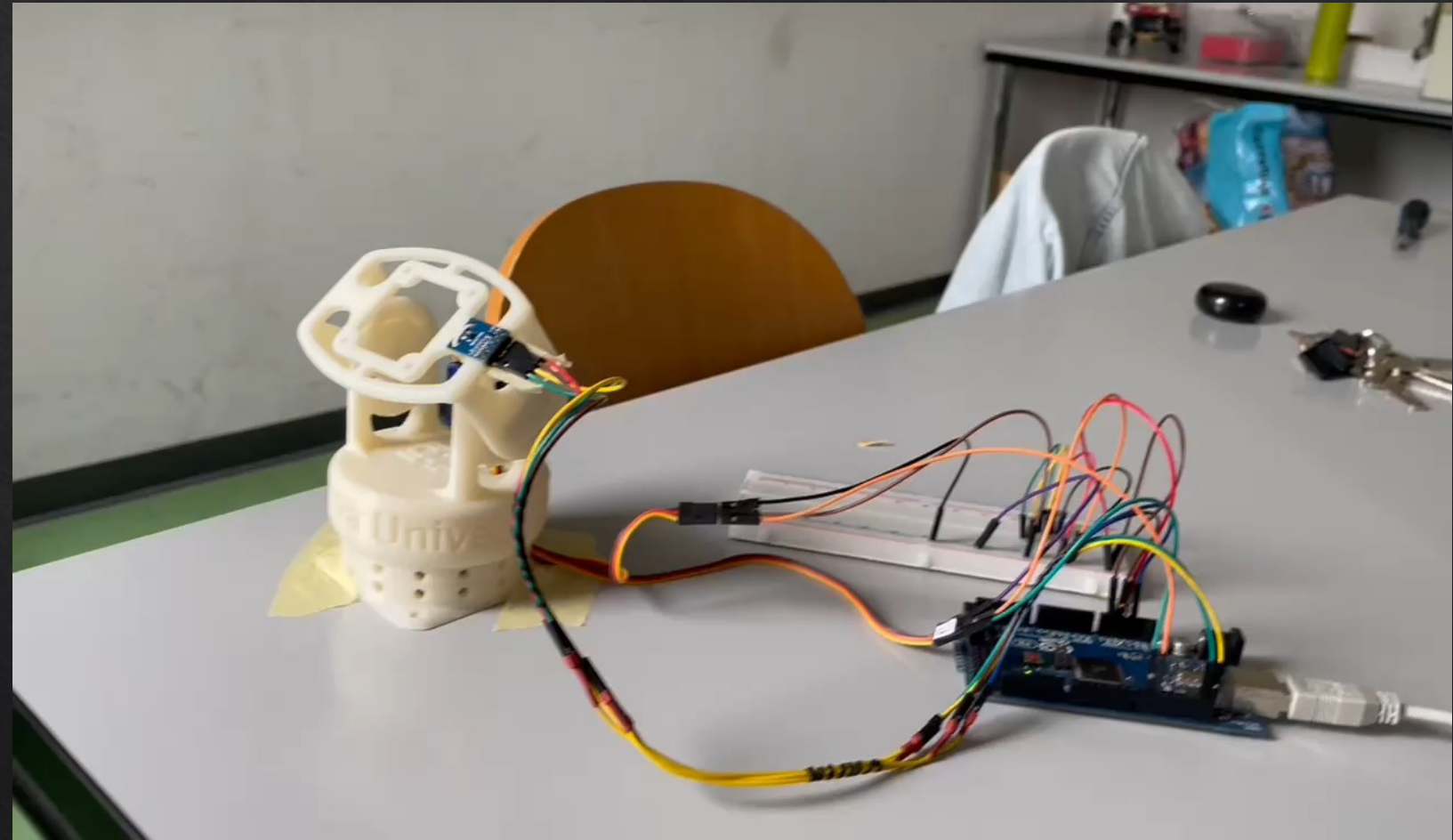
L'Ampiezza verrà però ridotta solo per un certo periodo per poi essere riportata al valore adatto (in base alla luminosità) per riprendere il controllo.

CONTROLLO ESC - VIDEO

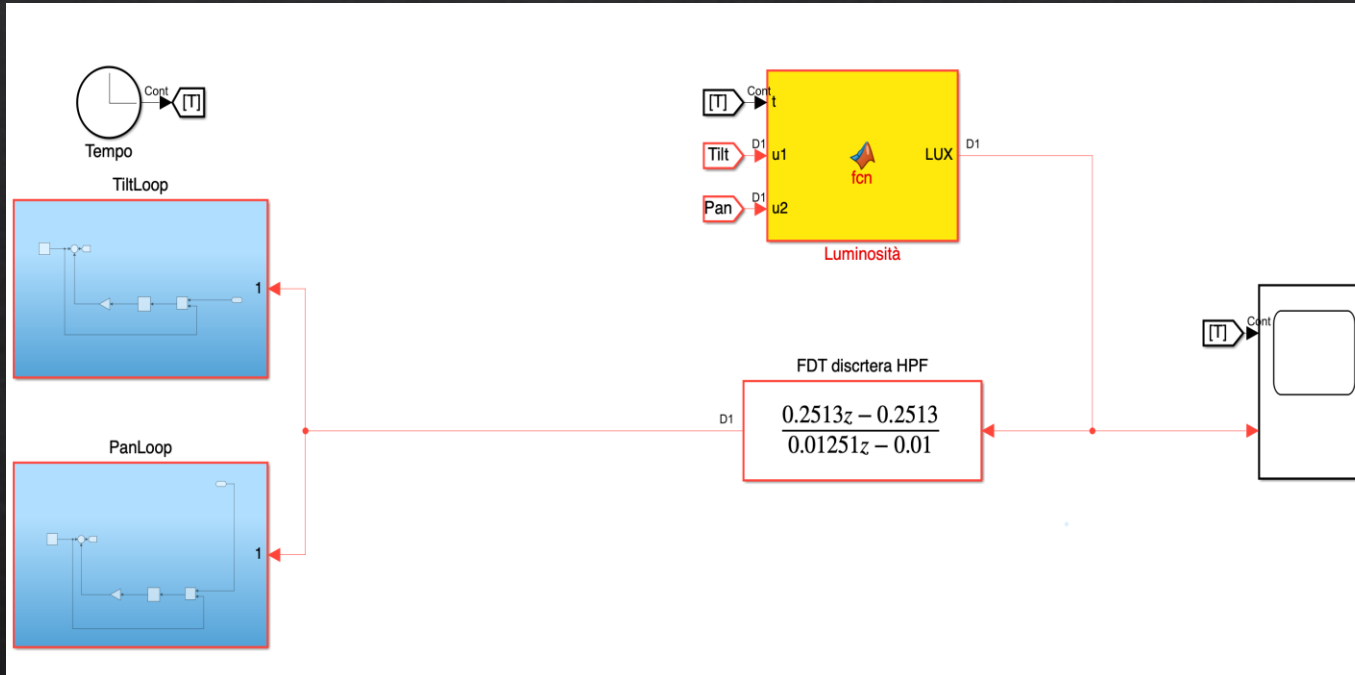
Bassa luminosità,
no diminuzione ampiezza



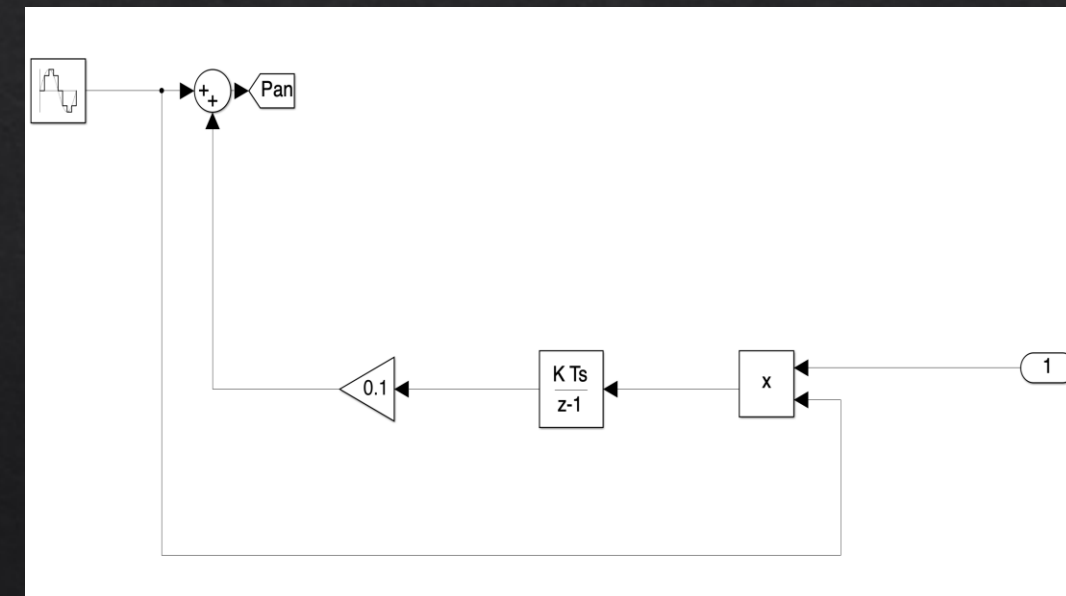
Media luminosità, controllo ultimato



SIMULAZIONE DEL SISTEMA

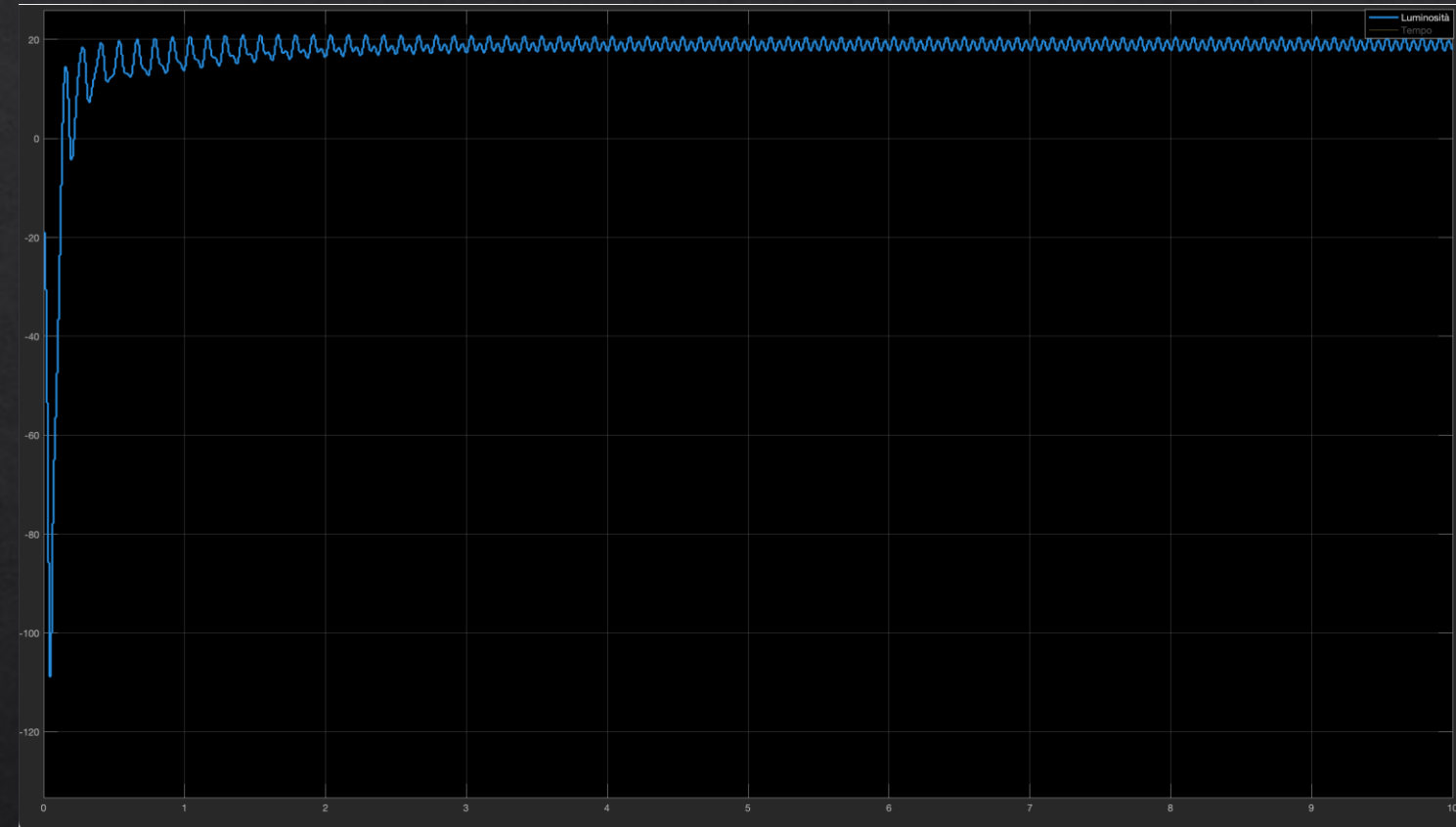
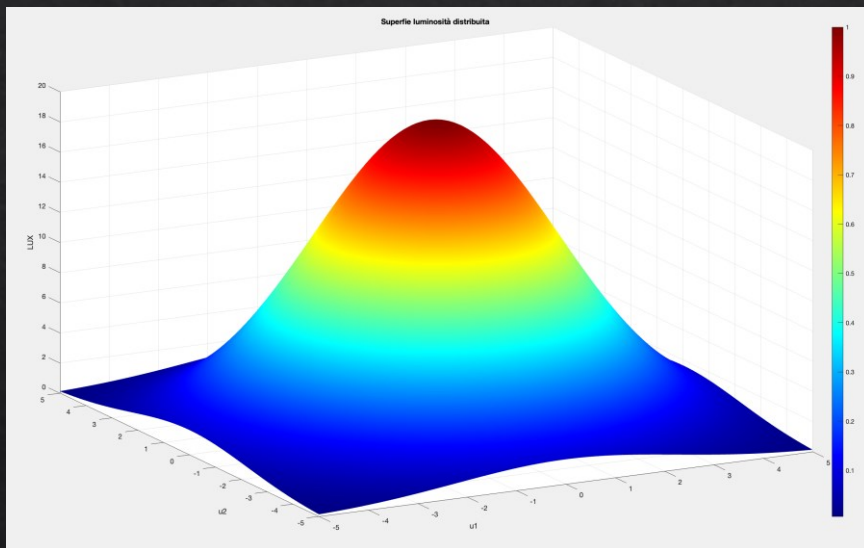


SOTTOSISTEMA ANELLO DI RETROAZIONE



SIMULAZIONE DEL SISTEMA

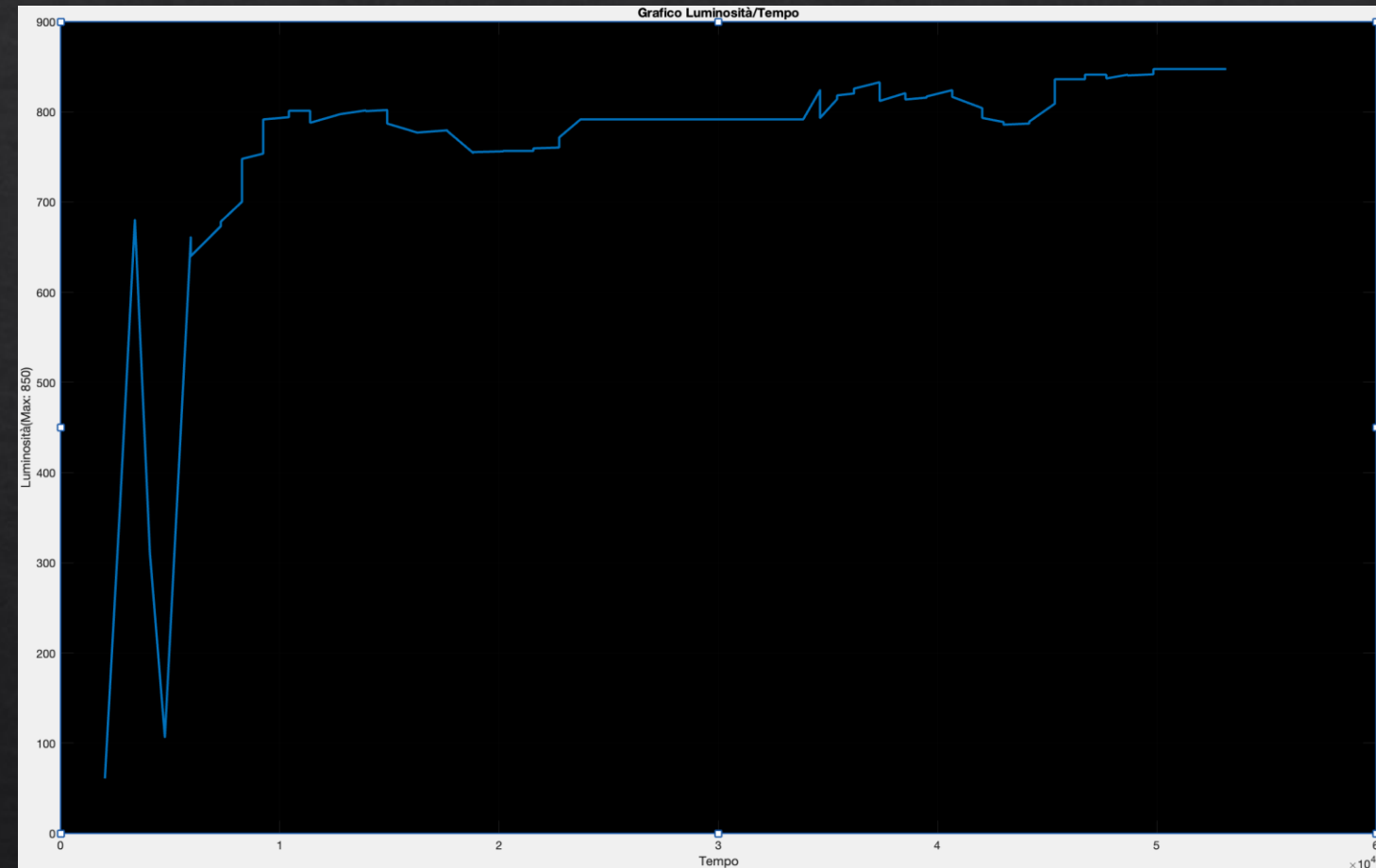
DISTRIBUZIONE SPAZIALE DI LUMINOSITA'



SIMULAZIONE

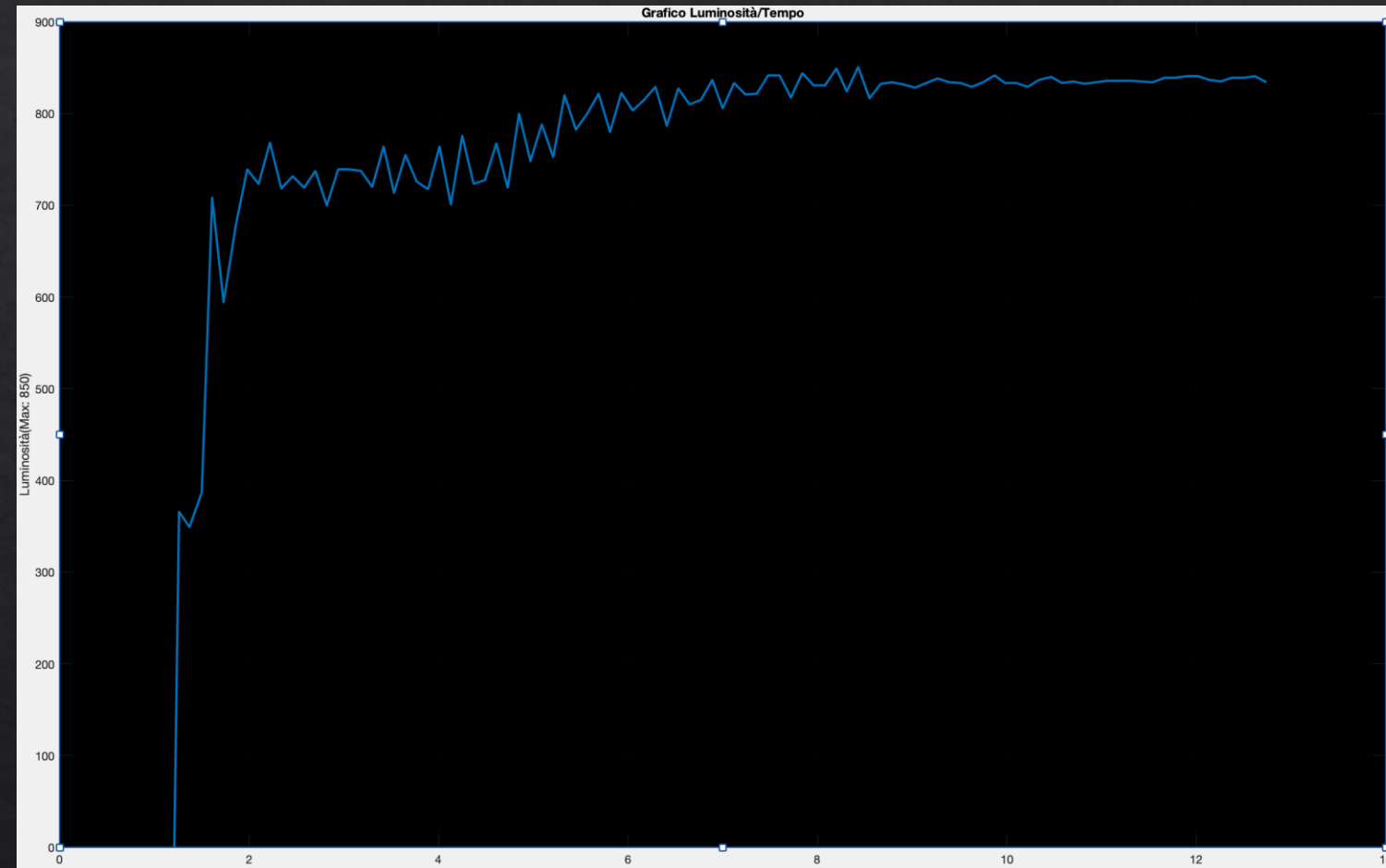
CONFRONTO SISTEMI

PERTURB
&
OBSERVE

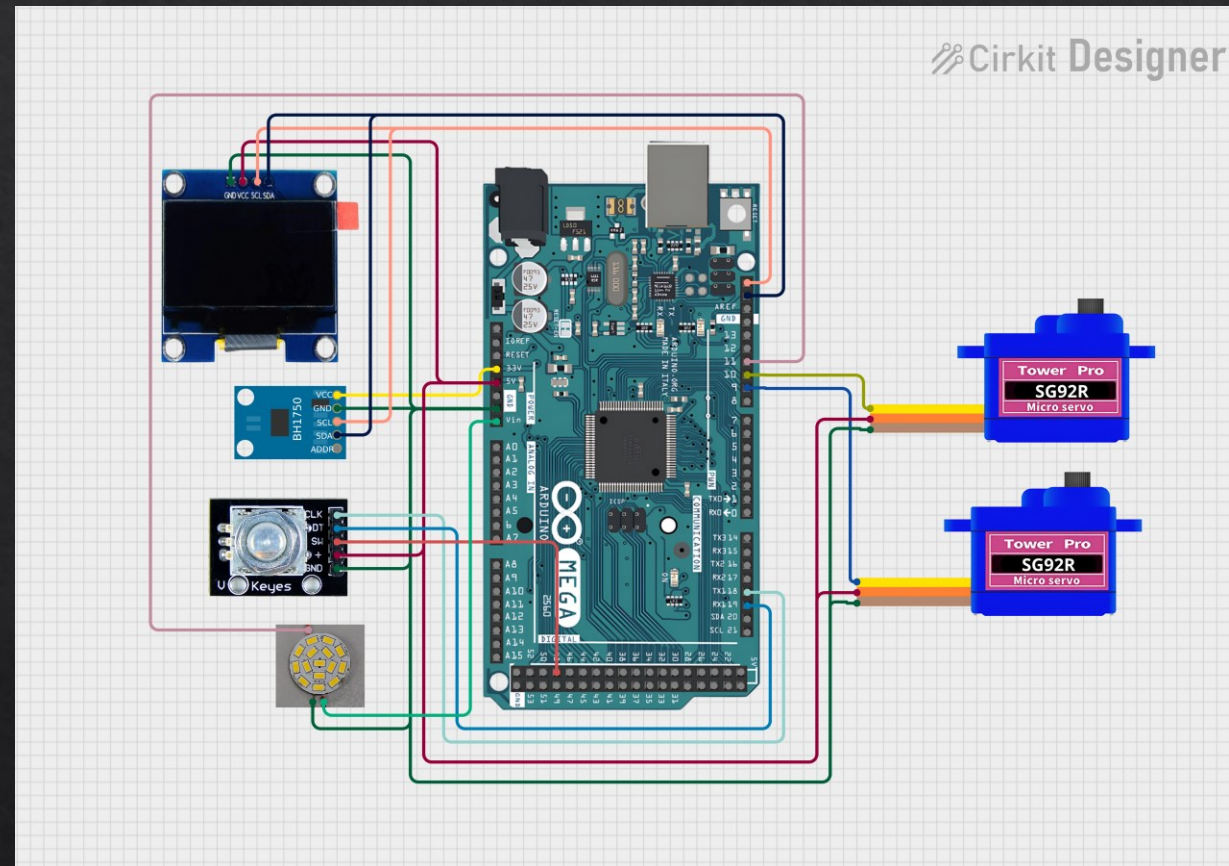


CONFRONTO SISTEMI

ESC REALE



SCHEMA DI MONTAGGIO



INTERFACCIA UTENTE

Formata da un encoder rotativo e un piccolo display oled permette all'utilizzatore di accedere alle diverse funzionalità dell'inseguitore, tra qui:

- ◇ Controllo manuale dell'intensità luminosa della matrice led
- ◇ Controllo manuale della posizione dei servomotori di pan e tilt
- ◇ Controllo automatico della matrice led da parte dell'algoritmo dedicato
- ◇ Controllo automatico della posizione dei motori, in base alla luminosità ambientale, da parte dell'algoritmo dedicato (basato su ESC).
- ◇ Controllo automatico della matrice led combinato al controllo della posizione dei servomotori da parte dell'algoritmo.

Protocollo IIC (i2c)

La comunicazione tra display, sensore di luminosità ed Arduino è di tipo seriale sincrona e si basa sul protocollo IIC (o i2c) quindi necessita di due soli segnali: clock (SCL) e dati (SDA).

Arduino ne consente l'utilizzo delle prime due modalità: quella originale a 100 Kbit/s e la fast mode a 400 Kbit/s. Nel bus viaggiano due tipi di messaggi: trame di bit contenenti indirizzi che il master invia agli slave e trame contenenti dati a 8 bit che possono transitare in entrambe le direzioni: dal master ad un particolare slave e viceversa.

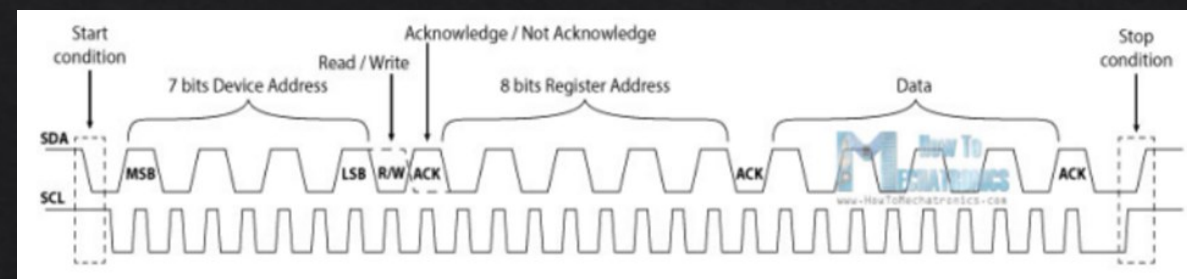
Quasi tutti i dispositivi i2c possiedono dei registri interni che permettono di configurarne il funzionamento o contengono dati.

La prima trama inviata contiene sempre l'indirizzo dello slave con cui il master vuole comunicare.

La seconda reca come dato l'indirizzo di un registro interno dello slave.

La terza trama contiene il dato che deve essere scritto dal master in quel particolare registro o che viene letto da quello stesso registro.

(figura tratta dal sito howtomechatronics.com)



Controllo del display

La parte grafica del display è stata realizzata utilizzando la libreria per display monografici "u8g2", essa permette una facile programmazione di numerosi display tramite l'uso di microcontrollori (o sistemi embedded), essa al suo interno contiene anche la libreria U8x8. Le loro caratteristiche (e differenze) sono:

U8g2

- ◆ Include tutte le procedure grafiche (disegno di linee, caselle e cerchi).
- ◆ Supporta molti font, con poche restrizioni sull'altezza dei caratteri.
- ◆ Richiede una certa quantità di memoria nel microcontrollore per il rendering del display (richiede un certo buffer).

U8x8

- ◆ Permette il rendering di solo testo, e nessun'altra entità grafica.
- ◆ Sono ammessi solo font con dimensioni fisse per carattere (8x8 pixel).
- ◆ Scrive direttamente sul display. Non è necessario alcun buffer nel microcontrollore.

La libreria U8g2 presenta diverse modalità di funzionamento:

- ◆ Full screen buffer mode
- ◆ Page mode
- ◆ U8x8, solo caratteri

Full screen buffer mode - pro e contro :

- ◆ Veloce
- ◆ Possibilità di utilizzare tutte le procedure grafiche
- ◆ Richiede molta RAM

Visto che per la creazione dell'interfaccia utente è stata utilizzata questa modalità se ne cita brevemente il principio di funzionamento in tre piccoli passi:

1. Si libera il buffer con `u8g2.clearBuffer()`.
2. Si disegna qualcosa con i consueti comandi di disegno.
3. Si invia il buffer al display con `u8g2.sendBuffer()`.

Page buffer mode (Picture Loop) - pro e contro

- ◇ Possibilità di utilizzare tutte le procedure grafiche
- ◇ Richiede un quantitativo ridotto di RAM
- ◇ Lenta

U8x8 character mode - pro e contro

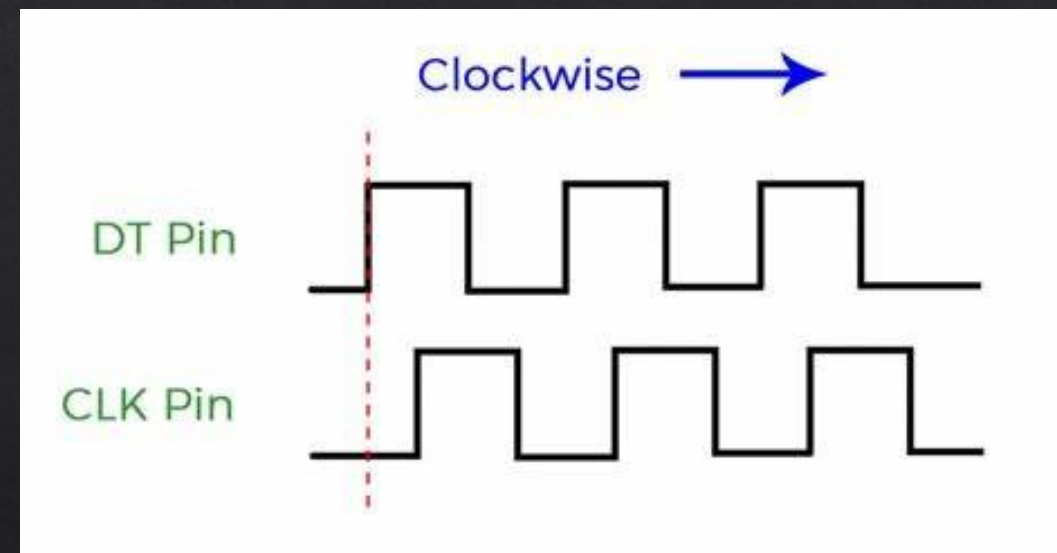
- ◇ Veloce
- ◇ Non richiede alcun quantitativo di RAM
- ◇ Non è possibile utilizzare le procedure grafiche
- ◇ Non è utilizzabile per tutti i display

Encoder rotativo

L'encoder rotativo è un encoder relativo, alimentandolo, in base al senso in cui viene fatta ruotare la sua manopola, restituisce nei piedini CLK e DT un segnale ad onda quadra, che interpretato dal microcontrollore permette di capire se l'utente sta girando in senso orario o antiorario la manopola, mediante l'incremento o decremento di una variabile di tipo intero *encoderPos*.

Per ottenere questo incremento/decremento ci si avvale di un interrupt.

(immagine di circuitbasics.com)



PROBLEMATICHE RISCONTRATE

I principali problemi si sono verificati nei seguenti rami:

- ◇ Utilizzo contemporaneo dello stesso timer
- ◇ Elevata occupazione della memoria dinamica
- ◇ Riavvio incontrollato del sistema
- ◇ Problemi di interferenza

Risoluzione delle problematica Timer

- ◇ Riguarda Arduino UNO.
- ◇ Le librerie “LuxCtrl.h” e “Servo.h” utilizzavano lo stesso timer, Timer1.
- ◇ Entrambe sono state pensate per avere una risoluzione a 16bit.

- ◇ Riscrittura delle librerie per il timer 2.
- ◇ Si è preferito mantenere il Timer 1 per la regolazione del pwm della matrice led per avere una maggiore precisione quando la si utilizza.

Risoluzione problematica memoria dinamica

- ◆ Riguarda Arduino UNO.
- ◆ La libreria per la parte grafica ne abusa. Solo metà parte grafica riempiva completamente la memoria dinamica, che è di soli 2kbyte.

- ◆ Risolto utilizzando un Arduino Mega che possiede 8kbyte di memoria dinamica.
- ◆ Si era pensato di utilizzare la memoria flash ma le immagini non venivano caricate correttamente.

Risoluzione problematica riavvio

- ◆ Riguarda principalmente l'Arduino Mega.
- ◆ Durante l'esecuzione del codice il sistema si bloccava e poi si riavviava.

```
ISR(TIMER1_OVF_vect)
{
    // Get lux measurement
    if(_lightMeter.measurementReady()) {
        sei();
        luxMeas = _lightMeter.readLightLevel();
        cli();
    }
}
```

- ◆ Problema causato dalla disabilitazione e riabilitazione degli interrupt all'interno dell'esecuzione dell'ISR per permettere la lettura della luminosità.
- ◆ Risolto facendo una funzione che richiama la funzione per la lettura al di fuori della ISR

```
void LuxCtrl::readLuxMeas(void)
{
    _luxMeas = _lightMeter.readLightLevel();
}
```

Risoluzione problema di interferenza

- ◇ Problemi legati vicinanza tra cavi di potenza e segnale.
- ◇ Utilizzo di cavi troppo fini e non schermati.

- ◇ Risolto parzialmente tramite una schermatura a massa
- ◇ Si consiglia utilizzo di cavi schermati.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE