

Quadricottero



A cura di
Francesca Cantoni 5^AEN
Anno scolastico: 2013-2014



ISTITUTO SUPERIORE "E. FERMI"

Istituto Tecnico Settore Tecnologico - Liceo Scientifico delle Scienze Applicate

Strada Spolverina, 5 Mantova - tel: 0376 262675 e-mail: mnis01100e@pec.istruzione.it

INDICE:

1	ABTRACT.....	pagina 3
2	INTRODUZIONE.....	pagina 4
3	SCHEMA DI FUNZIONAMENTO.....	pagina 6
4	COMPONENTI.....	pagina 7
5	COSTRUZIONE.....	pagina 16
6	SCHEMA DI CABLAGGIO.....	pagina 19
7	ASSEMBLAGGIO.....	pagina 21
8	APPROFONDIMENTO.....	pagina 24
9	COSTI SOSTENUTI.....	pagina 29
10	BIBLIOGRAFIA.....	pagina 30

1 ABSTRACT

Il mio lavoro consiste nella realizzazione e stabilizzazione di un tipo particolare di drone chiamato quadrirotore o quadricottero.

Il quadrirotore è un velivolo, di dimensioni ridotte, dotato di quattro braccia sulle cui estremità sono posizionati quattro motori, con le relative eliche, che ne permettono il volo.

L'idea di conseguire questo progetto è sorta in giovane età durante la quale desideravo creare "da zero" un oggetto radiocomandato, ma che per mancanza di conoscenze non ho mai potuto effettuare.

Ora, grazie alle competenze acquisite nei cinque anni scolastici, ho abbastanza strumenti per coniugare la teoria con la pratica.

La creazione di questo drone mi ha occupato molto tempo poiché mi sono dovuta documentare sull'argomento per poter creare un progetto semplice, realizzabile e che effettivamente potesse volare.

Durante la fase di assemblaggio, inoltre, ho avuto molte problematiche, soprattutto di ordine pratico, dovute all'inesperienza nel settore.

Alla fine, dopo tutti questi dubbi e timori, vedendo che la mia costruzione si è alzata veramente da terra e ha cominciato a volare , mi sono sentita particolarmente soddisfatta e realizzata.

2 INTRODUZIONE

Che cos'è un drone?

Un drone è un velivolo caratterizzato dall'assenza del pilota a bordo, quindi il suo volo è controllato da un computer situato su di esso, sotto il controllo remoto di un pilota, posto a terra. In questa categoria si può inserire il quadricottero da me costruito.

Utilizzi

Inizialmente nato per necessità militari, adesso sta avendo una rapida diffusione anche per far fronte a necessità in ambito civile.

Alcune delle principali applicazioni di un quadrirotore sono:

- Esplorazioni di un territorio ostico



- Necessità di prestare pronto intervento in uno scenario urbano dopo una catastrofe



- Nel campo dell'agricoltura per individuare, attraverso delle fotocamere a infrarossi, le piante affette da parassiti e per agire in modo tempestivo e specifico solo su queste



- Riprese aeree



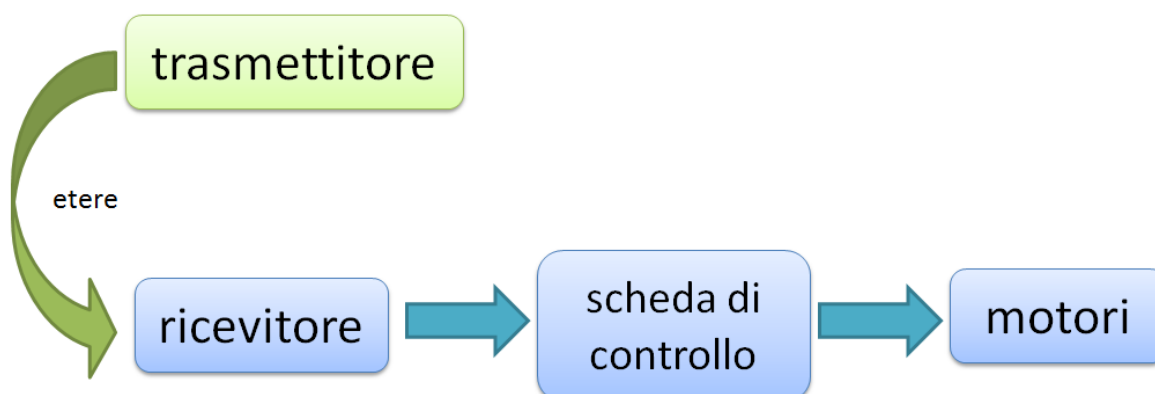
- Scopi giornalistici (in crescente aumento)



3 SCHEMA DI FUNZIONAMENTO

Schema complessivo

Nello schema a blocchi sono stati inseriti solamente le parti indispensabili, al fine di far comprendere meglio il funzionamento complessivo del quadricottero. I componenti mancanti verranno spiegati successivamente.



- **Trasmettitore** (o radiocomando)

Il trasmettitore è un dispositivo elettronico in grado di inviare segnali ad un ricevitore posto a distanza.

Questi segnali, opportunamente interpretati dalla scheda di controllo, permettono di controllare i movimenti del quadricottero.

- **Ricevitore**

Il ricevitore è un dispositivo elettronico che, attraverso l'antenna, capta i segnali del trasmettitore e ne estrae l'informazione.

- **Scheda di controllo**

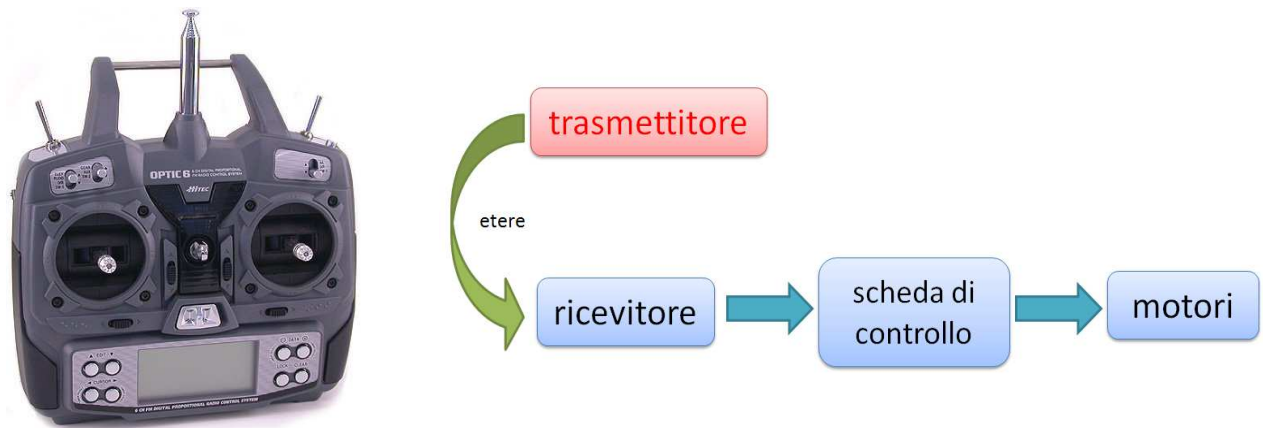
La scheda di controllo serve per elaborare le informazioni captate dal ricevitore e pilotare di conseguenza i motori.

- **Motori**

La rotazione congiunta di motori, a cui sono fissate le eliche, permette di creare la propulsione sufficiente per vincere la forza di gravità e far prendere quota al quadricottero.

4 COMPONENTI

- Trasmettitore (o radiocomando)



Caratteristiche:

Tipo di modulazione ^[3]	FM
Banda di trasmissione	2.4 GHz
Numero di canali ^[4]	4+2 opzionali
Trimmer	digitali

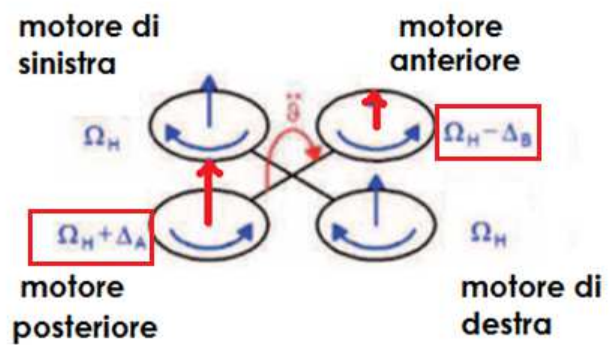
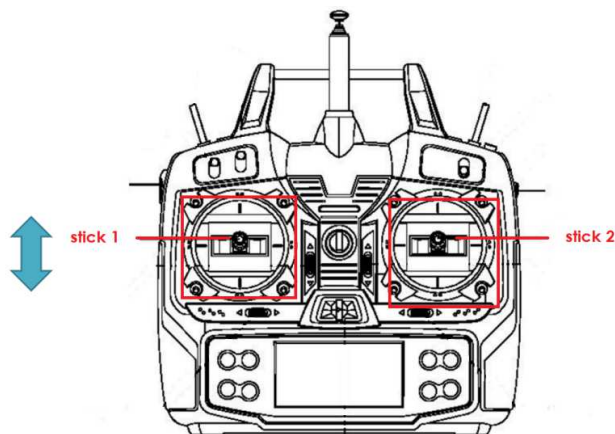
NOTE:

^[3] Si rimanda la spiegazione alla sezione approfondimenti

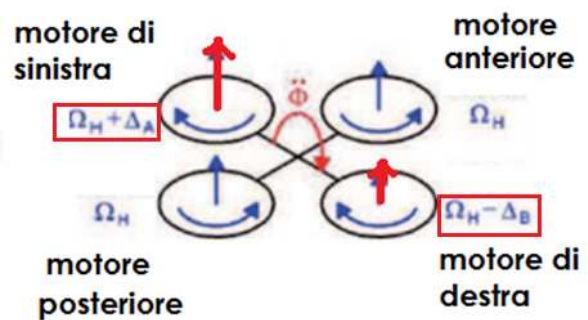
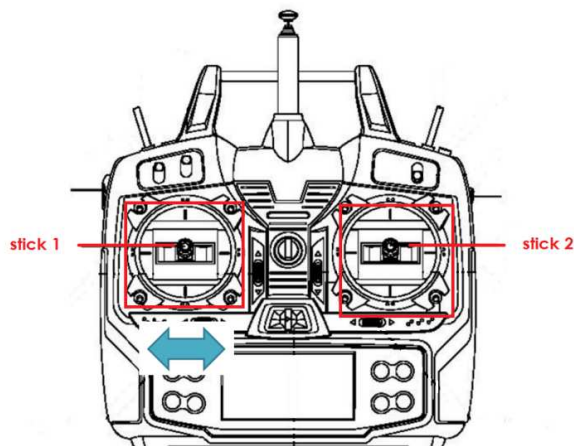
^[4] Si rimanda la spiegazione di questo parametro alla voce della componente: ricevente

Il radiocomando è provvisto di due stick che permettono di gestire i movimenti del quadricottero.

Stick 1

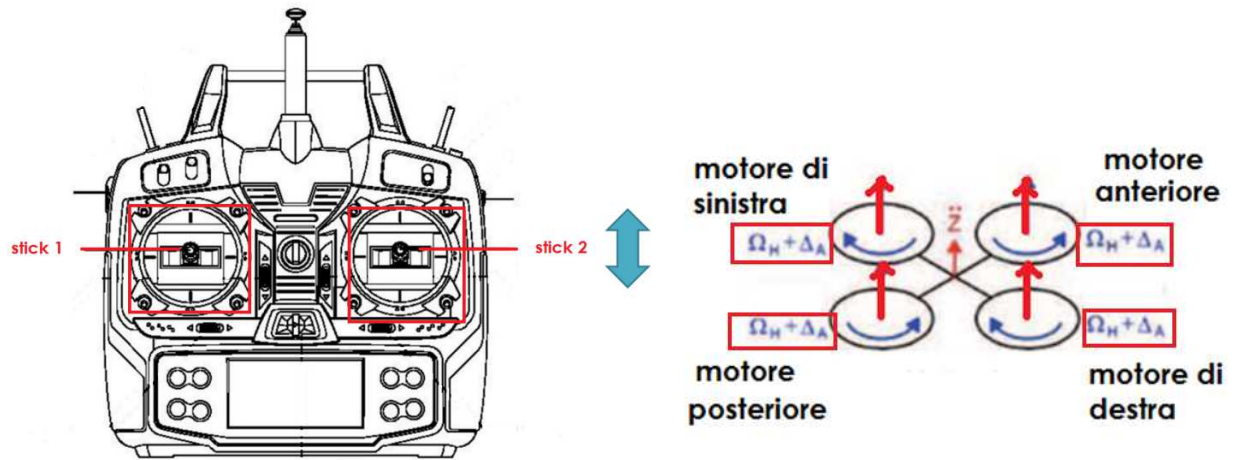


Muovendo verticalmente lo stick 1 il quadricottero si muove avanti o indietro.

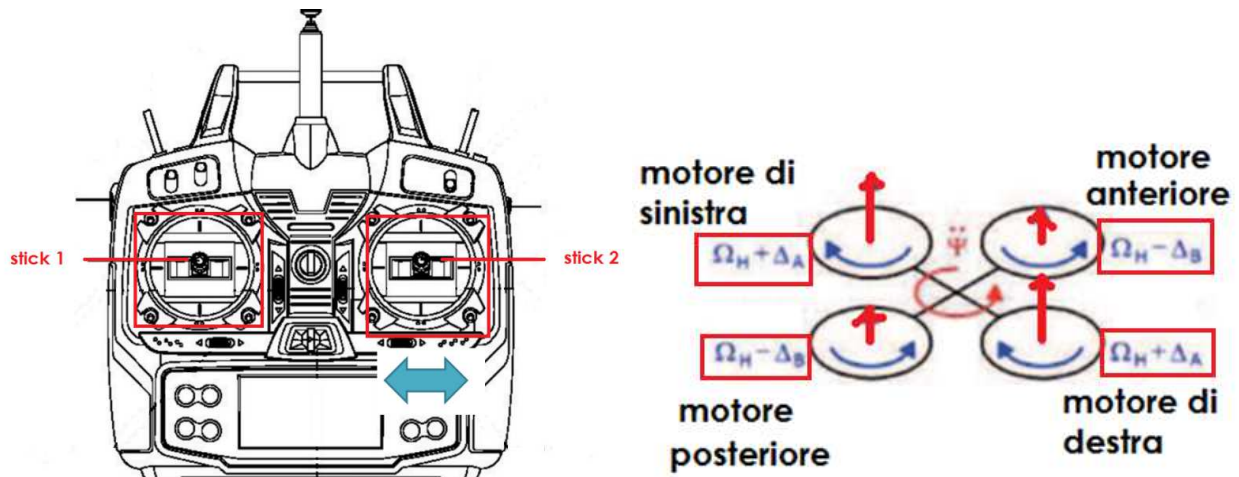


Muovendo orizzontalmente lo stick 1 il quadricottero compie una rotazione su se stesso.

Stick 2

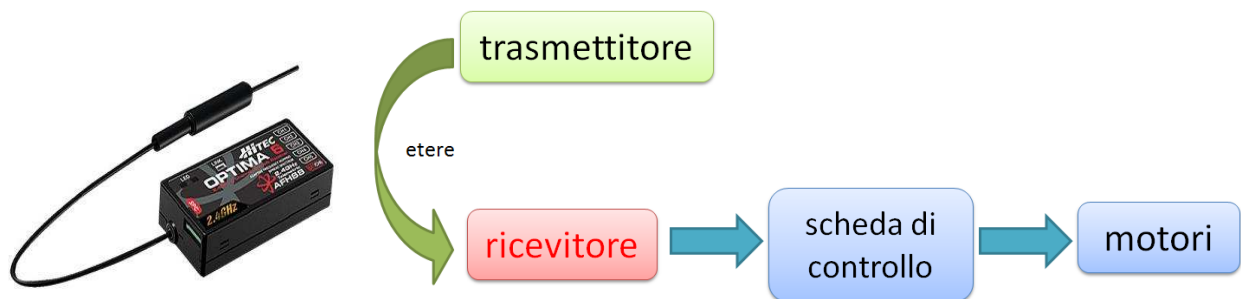


Muovendo verticalmente lo stick 2 si aumenta o si diminuisce il numero dei giri di tutti e quattro i motori.



Muovendo orizzontalmente lo stick 2 il quadricottero compie un volo laterale.

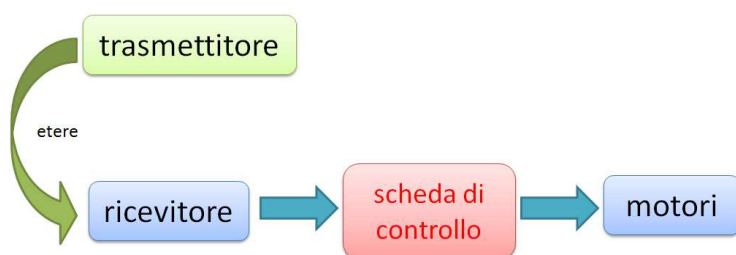
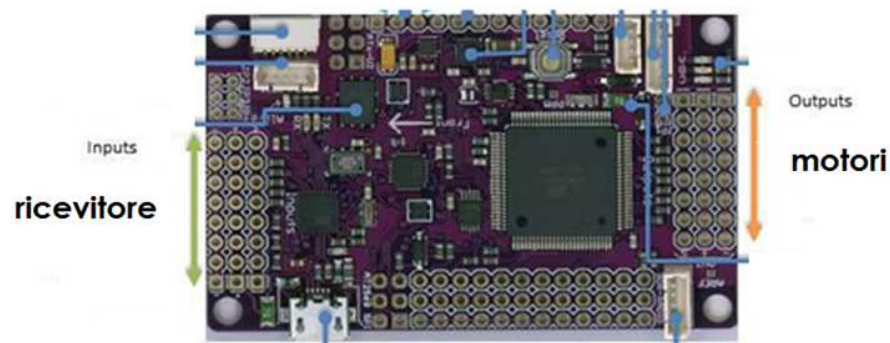
- Ricevitore



La ricevente è costituita da un'antenna, per captare i segnali, e da 4 canali di ricezione distinti (dato che il trasmettitore è in grado di inviare 4 segnali contemporaneamente).

In questo modo la ricevente permette alla scheda di controllo di analizzare singolarmente i segnali ricevuti.

- Scheda di controllo



Caratteristiche:

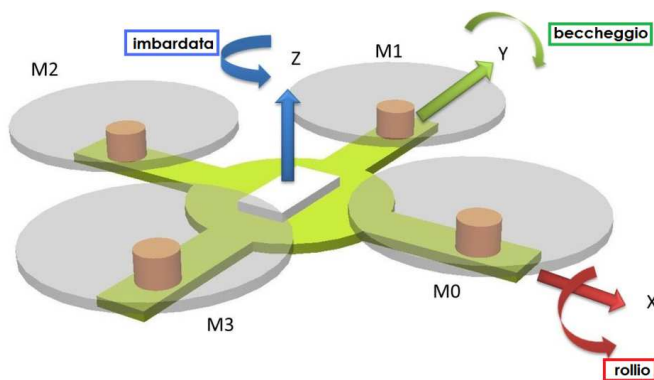
Scheda presa in esame	ardupilot
Microcontrollore	Atmel ATMEGA 2560
Sensori	Giroscopio a 3 assi Accelerometro Barometro Magnetometro
Data flash	4 Megabyte

Ardupilot è la scheda di pilota automatico per eccellenza perché è costituita da un microprocessore, già collegato ad una serie di sensori, che riceve in ingresso i segnali del radiocomando e in uscita regola la velocità dei motori.

Sensori della scheda

- Giroscopio

mantiene livellato il quadricottero rispetto al suolo auto-correggendo la rotazione sui tre assi di movimento indicati nello schema sottostante.



- Accelerometro

aiuta il giroscopio nella funzione di stabilizzazione del quadricottero, fornendo dati sulla direzione dell'accelerazione gravitazionale

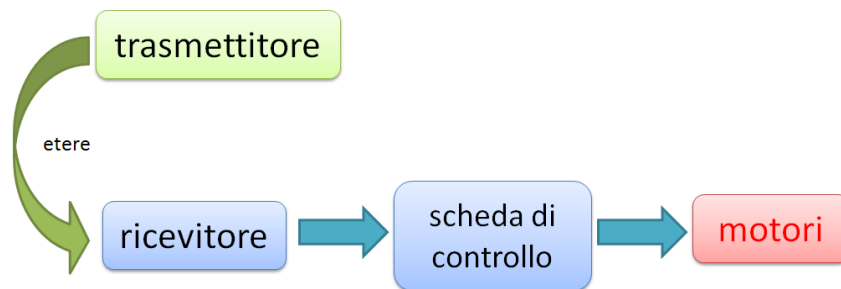
- Barometro

mantiene ad una quota costante il quadricottero

- Magnetometro

è una bussola che mantiene la direzione di avanzamento costante

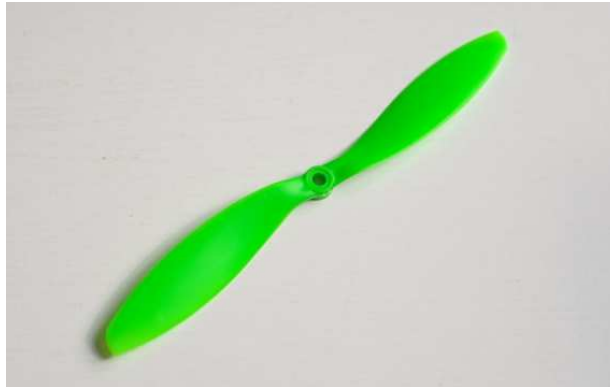
- **Motori Brushless**



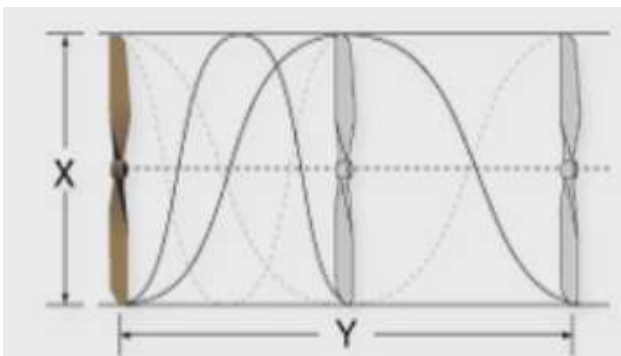
Il motore brushless è un motore elettrico ad eccitazione indipendente. A differenza di un motore a spazzole, non ha bisogno di contatti elettrici striscianti sull'albero motore per funzionare, in quanto i magneti permanenti interni seguono il campo magnetico creato dall'eccitazione delle spazzole esterne. La commutazione della corrente circolante negli avvolgimenti, infatti, non avviene più per via meccanica (tramite i contatti striscianti), ma tramite un banco di transistor di potenza comandati da un microcontrollore. Questa funzione è svolta dagli Electronic Speed Controller (ESC).

La mancanza di spazzole comporta una minore resistenza meccanica, elimina la possibilità che si formino scintille al crescere della velocità di rotazione e riduce notevolmente la necessità di manutenzione periodica del motore.

- **Eliche**



La dimensione delle eliche determina la propulsione creata dai motori: infatti all'aumentare del raggio dell'elica aumenta proporzionalmente la spinta creata. Il raggio delle eliche non può crescere a dismisura ma deve restare contenuto, per cui occorre trovare il giusto bilanciamento tra diametro (x) e passo dell'elica (y) perché con passi troppo alti si rischia lo stallo del quadricottero.



X = diametro dell'elica in pollici

Y = passo dell'elica in pollici (altezza della colonna d'aria avvitata in un giro d'elica)

- **Electronic Speed Controller (ESC):**

I regolatori di velocità (ESC) sono dei dispositivi elettronici che permettono di commutare la corrente negli avvolgimenti dei motori. Il loro compito non è solo quello di convertire la corrente da monofase a trifase, ma anche di erogare una quantità di corrente sufficiente ai motori.

- **Batteria Li-Po**

Tutta la parte di elettronica è stata alimentata da una batteria Li-Po.



La batteria ai polimeri di litio (Li-Po) permette delle prestazioni notevoli e, rispetto alle altre tipologie di batterie, ha numerosi pregi:

- Possibilità di carica a velocità considerevole
- Non presenta “effetto memoria”
- Ha un’elevata capacità di accumulo energetico
- Eroga grosse correnti di scarica
- E’ leggera e compatta

Struttura:

Una batteria è composta da più celle collegate in serie e/o parallelo a seconda delle esigenze. Ogni cella è composta da “fogli” polimerici di litio sovrapposti e ha un voltaggio nominale di 3.7 V. Presenta inoltre una certa capacità di accumulo espressa in mA e un potenziale di scarica espresso in C.

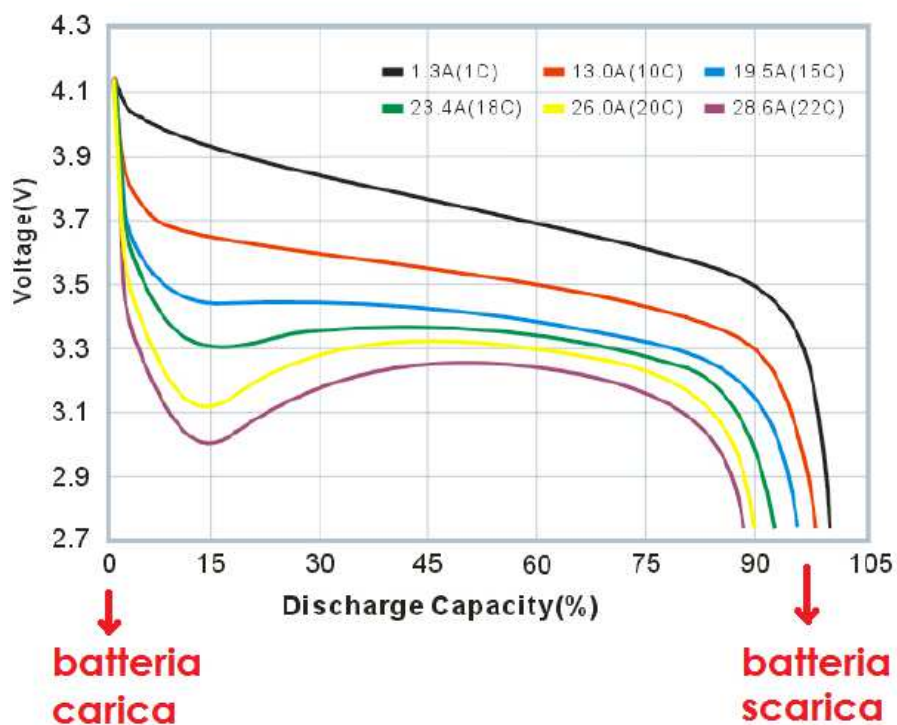
Parametri:

- Voltaggio: parametro che varia in base al numero di celle della batteria
- Capacità di accumulo: contenuto energetico della batteria ed è la quantità che determina l'autonomia di volo del velivolo
- Potenziale di scarica: massima corrente erogabile dalla batteria

Caratteristica di scarica:

Il principale pregio delle celle Li-Po consiste nella capacità di mantenere un valore pressoché costante della tensione durante la fase di scarica.

Bisogna, però, prestare attenzione ad utilizzare delle batterie con fattori di scarica troppo elevati poiché all'aumentare di questo parametro cresce l'instabilità della scarica.



5 COSTRUZIONE

Per effettuare la scelta dei singoli componenti, che avrebbero costituito il mio drone, sono partita dal presupposto di poterlo “arricchire”, in un futuro, con accessori che potessero ampliare le sue funzionalità, quali la telecamera e/o i sensori di telemetria. In base a questi presupposti ho agito in questo modo:

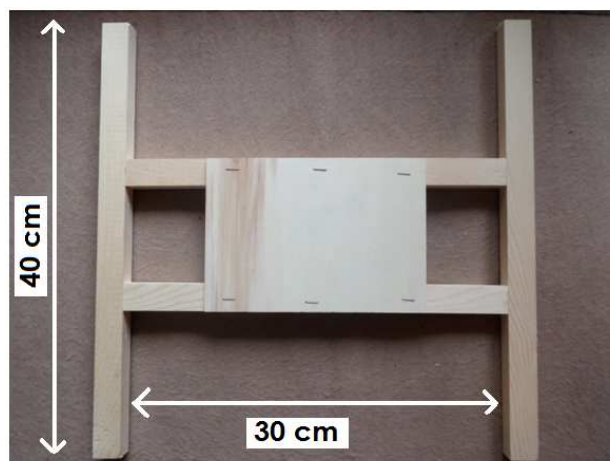
- Telaio

Nella costruzione sono partita ponendomi il problema del telaio da utilizzare.

Navigando in rete sono venuta a conoscenza che le configurazioni più utilizzate sono a forma di “X” o di “H”. Tra le due strutture ho scelto quella “H” che, garantendo la stessa stabilità, fornisce una maggior superficie d’appoggio, permettendo così di non preoccuparmi delle dimensioni della parte elettronica di cui necessita il drone.

Prefabbricato o costruito personalizzato?

Personalizzato: ho optato per realizzare un telaio, su misura, in legno di abete. Con questo materiale ho potuto convogliare tutte le mie necessità, ovvero: le dimensioni, la facilità di lavorazione, la leggerezza, i bassi costi e la resistenza del materiale. Importante è stata anche la scelta della lunghezza dei bracci poiché bracci corti danno maggior dinamicità al quadricottero però bracci lunghi gli conferiscono maggior stabilità. Da tenere in considerazione anche la distanza dei motori tra di loro che deve essere superiore al raggio delle eliche. Lo schema sottostante riporta la mia scelta.



- **Motori e eliche**

E' arrivato il momento di decidere la potenza dei motori e la dimensione delle eliche. Per la scelta dei motori è consigliato avere a disposizione una spinta complessiva doppia rispetto al peso finale stimato del quadricottero. In questo modo si evita il rischio di surriscaldare i motori, perché una spinta uguale al peso serve solo per vincere la forza di gravità, l'altra metà serve per poter volare in sicurezza.

La formula utilizzata per calcolare il peso che ogni singolo motore può sollevare è stata la seguente:

$$[(\text{peso stimato del quadricottero}) \times 2] / 4$$

Nel mio caso i valori erano i seguenti:

$$[(1000 \text{ g}) \times 2] / 4 = 500 \text{ g}$$

Considerato il fatto che i singoli motori necessari per sollevare il peso del mio telaio, e accessori, doveva essere necessariamente superiore ai 500 g, la scelta è ricaduta su dei motori di medio-alta potenza, ovvero da 970 KV. (dove KV indicano giri al minuto per volt).

tabella di carico di ogni singolo motore 970 KV			
CURRENT	Pull	Power	Battery/prop
A	g	W	
7.8	450	86.6	LiPox3/7x4E
15.4	810	170.9	LiPox3/8x4E
18.8	1100	208.7	LiPox3/9x6E
20.1	1230	223.1	LiPox3/10x5E

Questa decisione si rivelerà vantaggiosa anche se comporterà qualche cambiamento nella scelta delle eliche, che nel frattempo avevo già acquistato.

Vantaggiosa: poiché durante la fase della scelta dei componenti mi ha permesso di non essere limitata da problemi di peso derivanti dalle parti elettroniche e dei vari accessori.

Svantaggiosa: poiché a progetto finito sono stata costretta a cambiare dimensione delle eliche (da 10X5 a 8X4) per ottenere una maggiore stabilità e manovrabilità del velivolo.

- **Batteria**

CURRENT	Pull	Power	Battery/prop
A	g	W	
7.8	450	86.6	LiPox3/7x4E
15.4	810	170.9	LiPox3/8x4E
18.8	1100	208.7	LiPox3/9x6E
20.1	1230	223.1	LiPox3/10x5E
12.8	780	189.4	LiPox4/7x4E
25.2	1360	373.0	LiPox4/8x4E
29.7	1710	439.6	LiPox4/9x6E
32.2	1910	476.6	LiPox4/10x5E

Per la scelta della batteria bisogna consultare di nuovo la tabella tecnica dei motori nella quale possiamo notare che, a parità di eliche, con una batteria a 3 celle c'è un minor assorbimento di corrente (equivale a maggior durata di volo) e minor carico che può essere sollevato da ogni singolo motore (maggiore stabilità in volo).

La scelta quindi ricade sulla batteria a 3 celle per le motivazioni appena elencate.

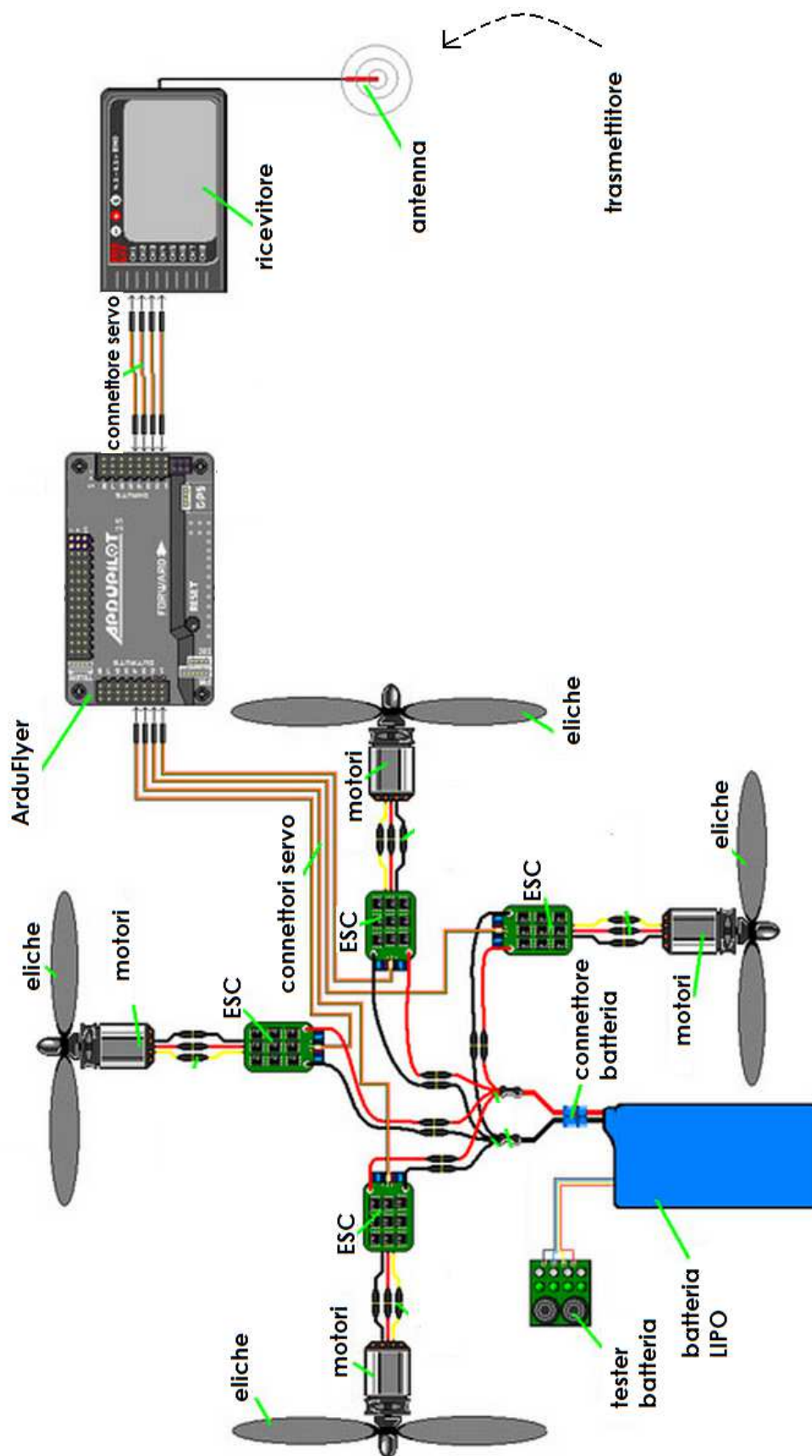
- **Scheda di controllo**

Per ultima, ma non certo per importanza, resta la scelta della scheda di controllo.

Ho deciso di acquistare Ardupilot, un tipo particolare di Arduino, sulla quale sono già implementati tutti i sensori.

Mediante un software di interfaccia e attraverso una procedura di inizializzazione e calibrazione dei sensori è stato possibile caricare sulla scheda tutti i dati necessari affinché il drone potesse volare.

6 SCHEMA DI CABLAGGIO



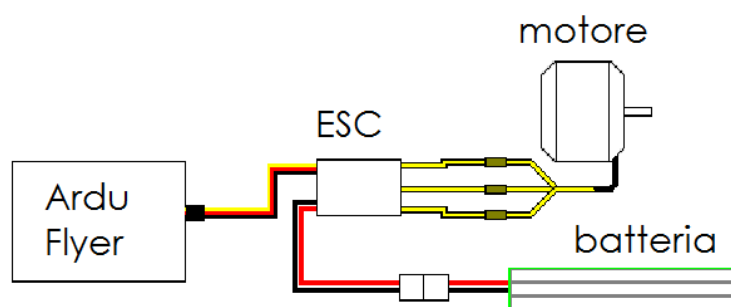
- Collegamento tra ricevitore e Ardupilot



- Collegamento tra Ardupilot e motori

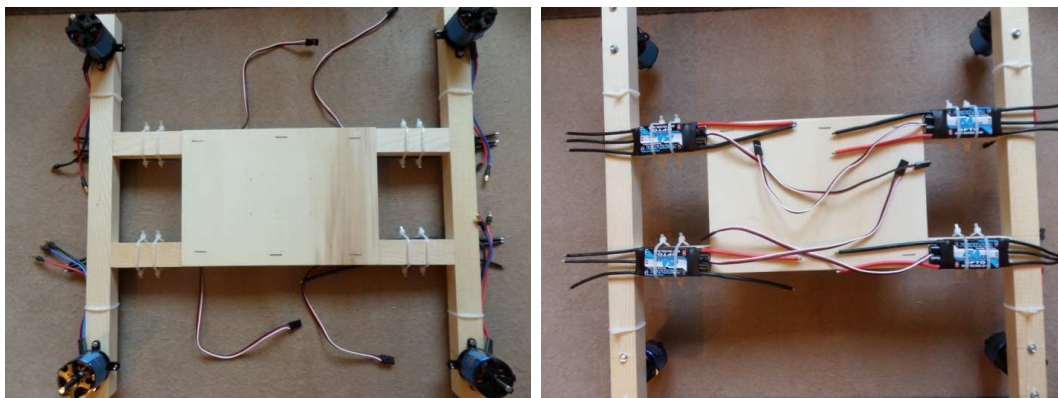


- Collegamento tra ESC e motori

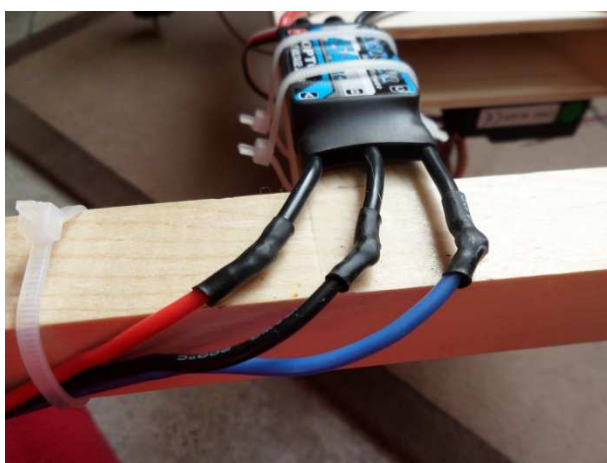


7 ASSEMBLAGGIO

A questo punto si è arrivati alla fase dell'assemblaggio, ovvero la parte pratica del progetto, che consiste principalmente nella ricerca della disposizione ottimale e collegamento tra i vari componenti.

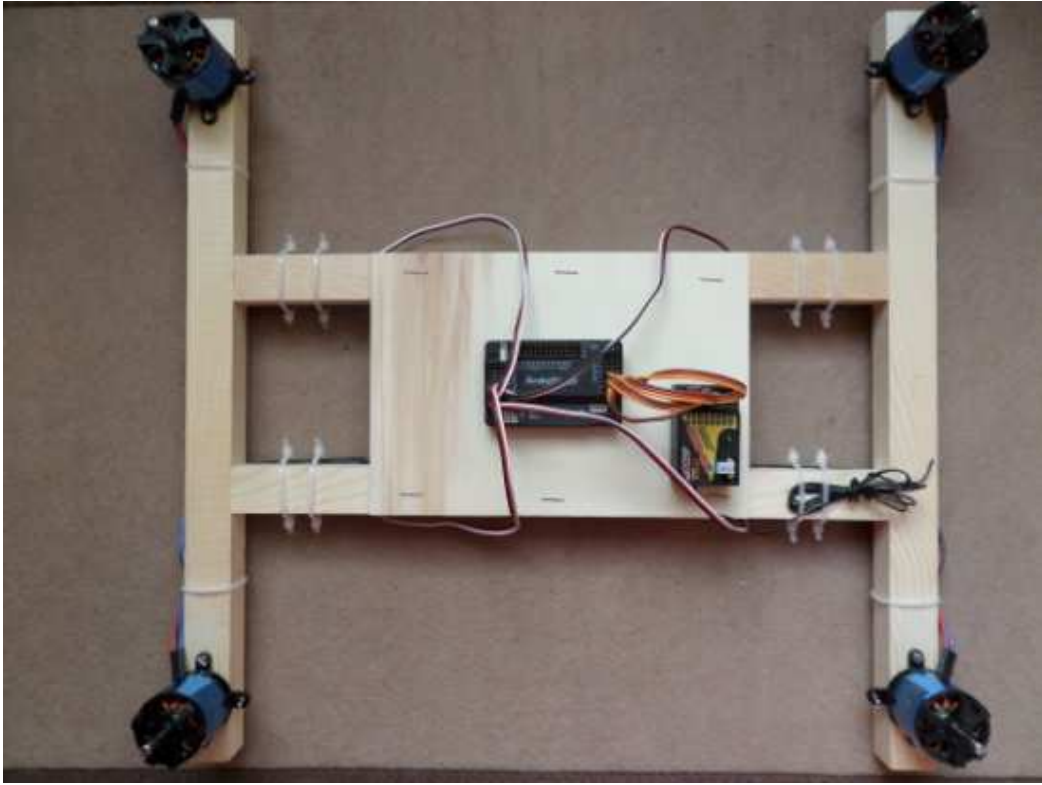


Per prima cosa ho fissato i motori sulla quattro estremità dei bracci del quadricottero. Questo punto è estremamente importante in quanto un fissaggio non preciso porta una vibrazione dei motori e ne consegue un mal funzionamento generale del quadricottero. Ho posizionato poi i regolatori (ESC) sulla parte posteriore del quadricottero.



Una fase che richiede particolare attenzione sono le saldature tra i vari componenti in quanto la corrente che circola è elevata (massimo 15.4 A).

Ho realizzato tutti i collegamenti seguendo lo schema di cablaggio.



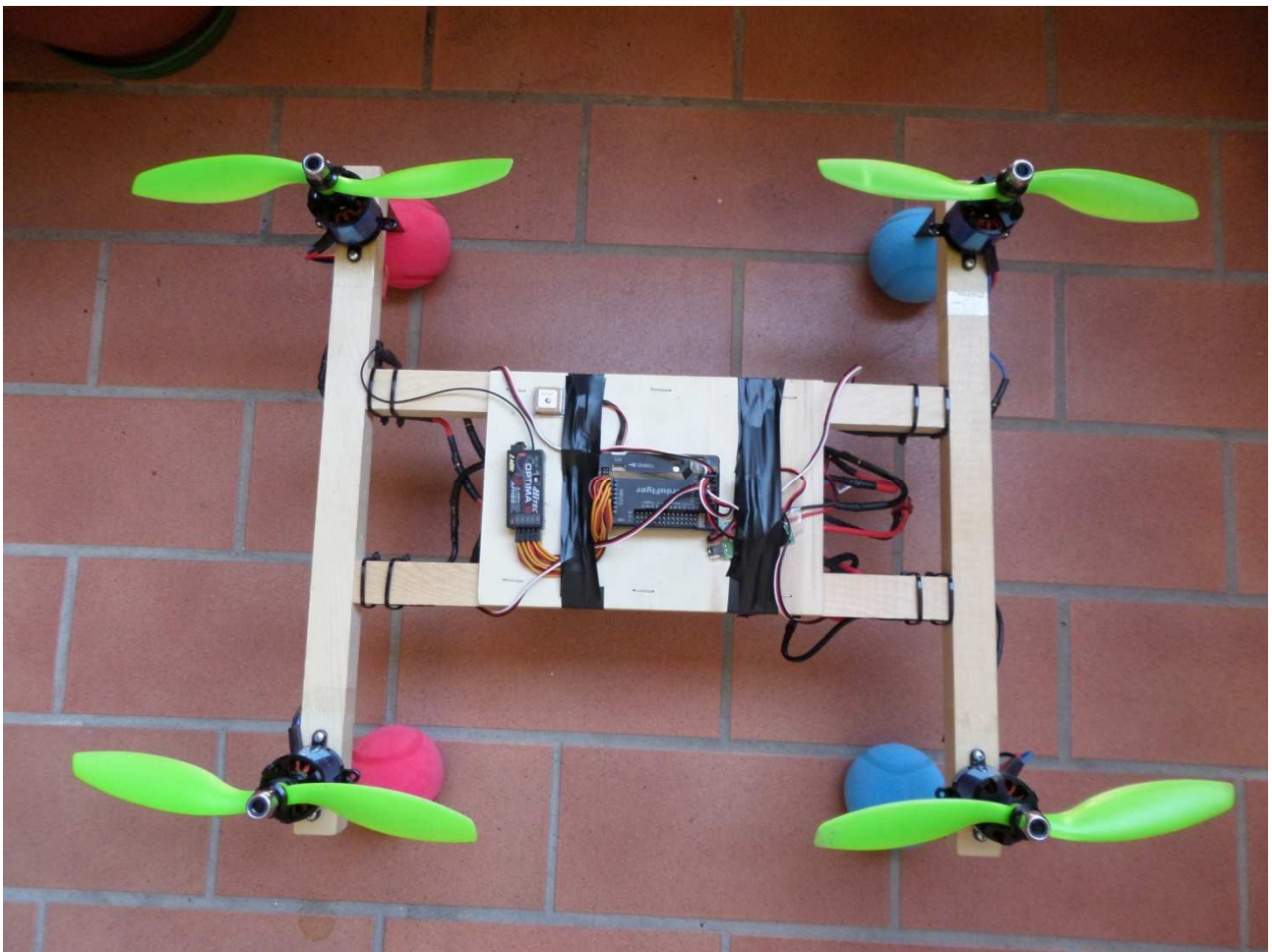
Ho posizionato le eliche sopra i motori.



E la batteria nella parte sottostante del telaio.



E questo è il prodotto finito.

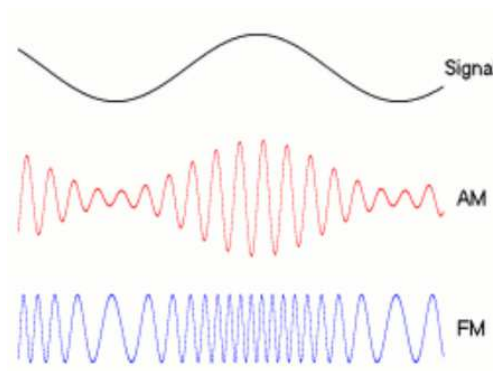


8 APPROFONDIMENTO

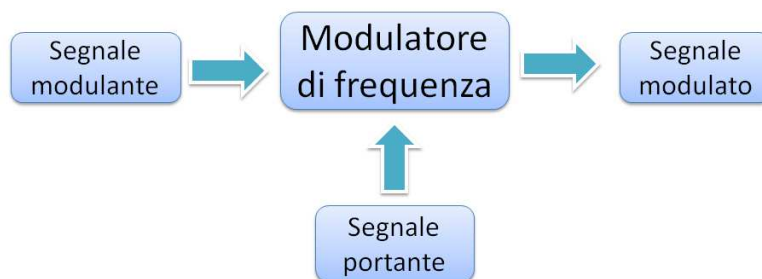
Modulazione FM

La modulazione FM (dall'inglese: frequency modulation) consiste nel modulare la frequenza del segnale portante in maniera proporzionale all'ampiezza del segnale modulante. Rispetto alla modulazione di ampiezza (nella quale il segnale portante varia in ampiezza a seconda del segnale modulante) ha il vantaggio di essere molto meno sensibile ai disturbi e permette una trasmissione di miglior qualità.

Differenza tra modulazione AM e FM:



Tecnica di modulazione FM



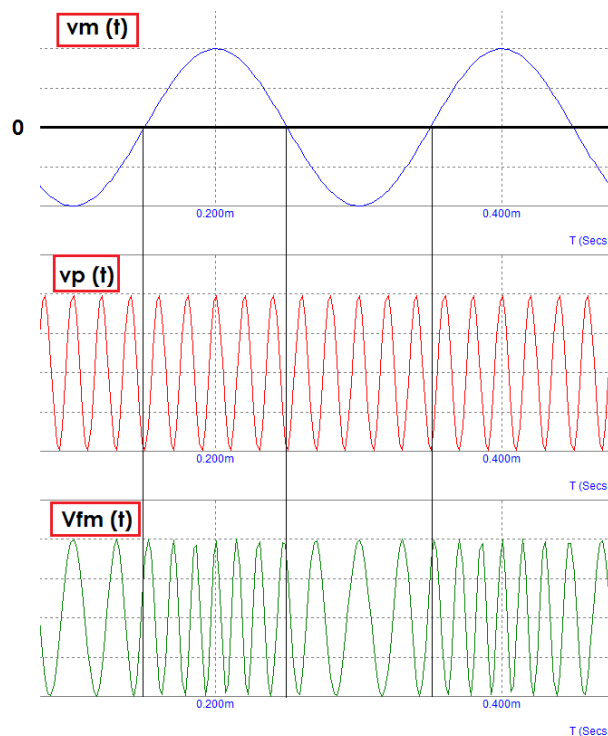
Segnale modulante: $v_m(t) = A_m \times \cos(2\pi \times f_m \times t)$ [V]

Segnale portante: $v_p(t) = A_p \times \sin(2\pi \times f_p \times t)$ [V]

Frequenza istantanea: $f_{FM}(t) = f_p + K \times A_m \times \cos(2\pi \times f_m \times t)$ [Hz]

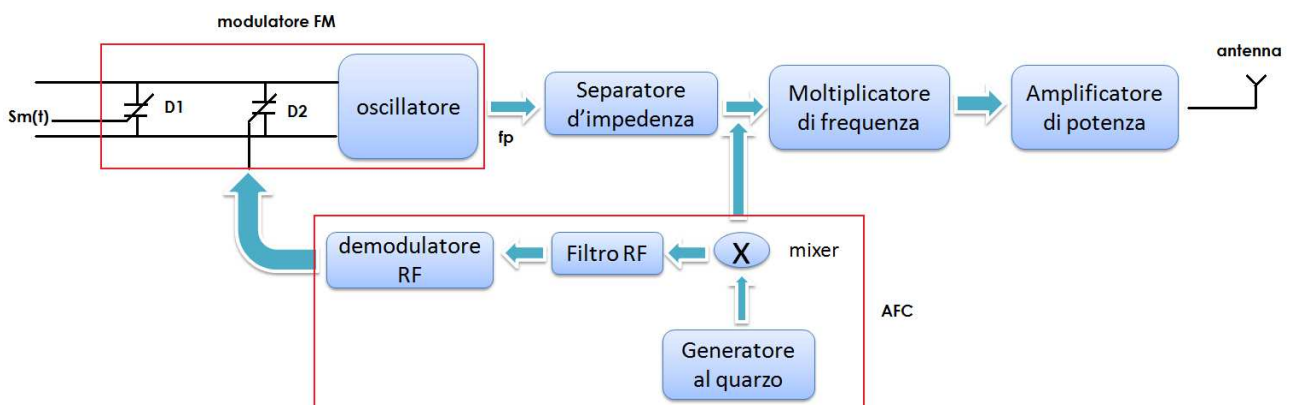
Dove K corrisponde a una costante del modulatore che indica la sua sensibilità in frequenza.

Analisi nel tempo



Dal grafico si può notare che quando il segnale modulante ha ampiezza massima, la frequenza del segnale modulato aumenta (diventando maggiore della f_p), mentre quando ha ampiezza minima, la frequenza del segnale modulato diminuisce.

Trasmittitore FM



La frequenza di oscillazione del trasmettitore è pari a:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_0 \times L_0}}$$

Analisi dei singoli blocchi

- D₁ (diodo varicap comandato in tensione)

genera la modulante in base al segnale $S_m(t)$ in ingresso

- D₂ (diodo varicap comandato in tensione)

corregge la variazione di frequenza riportata dalla retroazione AFC (dall'inglese automatic frequency control)

- Oscillatore comandato in tensione (VCO)

oscillatore che produce una portante di frequenza proporzionale alla tensione in ingresso

- Separatore d'impedenza

adatta l'impedenza del modulatore FM all'impedenza d'ingresso del moltiplicatore di frequenza

- Mixer

esegue il prodotto tra il segnale modulato e la frequenza generata dal quarzo

- Filtro passa basso RF

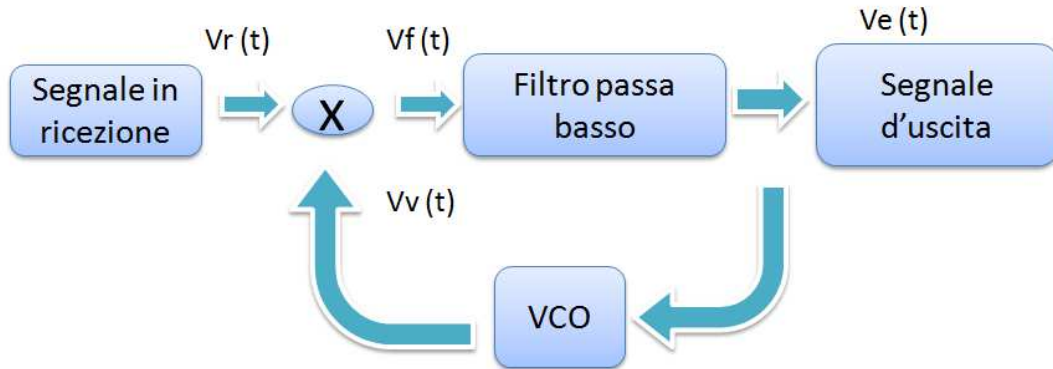
mantiene la banda inferiore al segnale modulato

- Demodulatore RF

produce una continua che tiene conto della variazione dell'oscillazione dovuta alle derive termiche e all'invecchiamento dei componenti

Ricevitore FM

Il ricevitore FM è costruito mediante l'utilizzo di un PLL (dall'inglese phase locked loop), ovvero aggancio ad anello di fase.



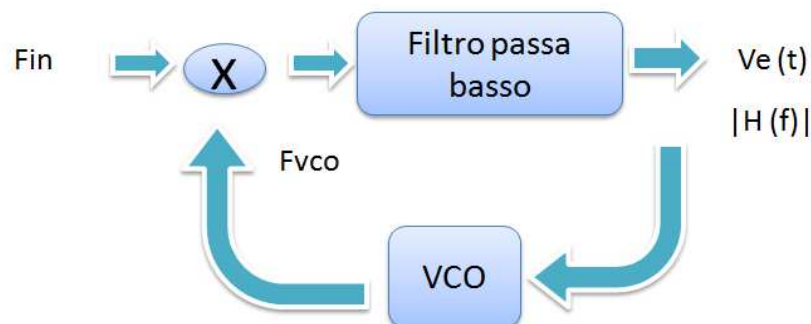
$$v_r(t) = A_m \times \cos(2\pi \times f_o \times t) \quad [V]$$

$$v_v(t) = A_v \times \cos(2\pi \times f_o \times t + \phi t) \quad [V]$$

$$v_p(t) = v_r(t) \times v_v(t) =$$

$$= \underbrace{(A_m \times A_v / 2) \times \cos(\phi t)}_{V_e(t)} + \underbrace{(A_m \times A_v / 2) \times \cos(2\pi \times f_p \times t + \phi t)}_{\text{eliminata dal filtro passa basso}} \quad [V]$$

Il PLL funziona secondo tre stati:



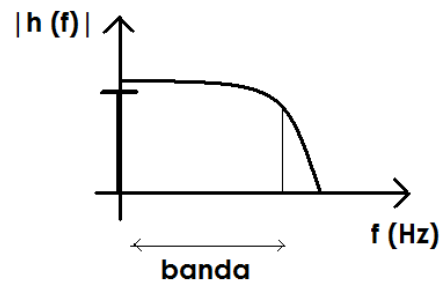
Per comprendere i tre stati bisogna analizzare la curva di risposta del filtro passa basso.

- Oscillazione libera

$$|f_{IN} - f_{VCO}| > B$$

$$V_e = 0$$

$$F_{VCO} = F_{OL} \text{ (frequenza di oscillazione libera)}$$

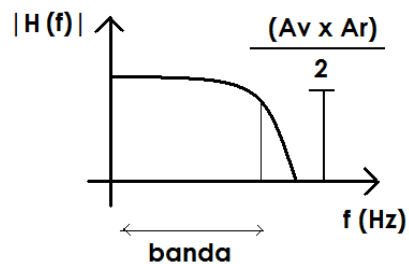


- Cattura

$$|f_{IN} - f_{VCO}| < B$$

V_e diverso da zero

F_{VCO} tende a F_{IN}

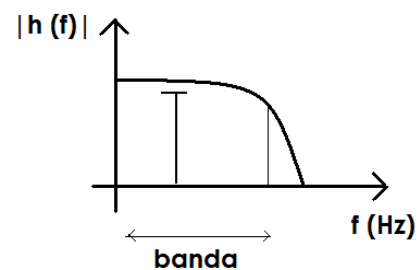


- Aggancio

$$|f_{IN} - f_{VCO}| < B$$

V_e circa uguale a $k \phi$

F_{VCO} coincide con F_{IN}



9 COSTI SOSTENUTI

QUANTITA'	COMPONENTE	FUNZIONE	COSTO
1	Ardupilot	Scheda di controllo del velivolo	69.99 \$
4 4	Motori brushless 970 KV Eliche 8X4	Facendo ruotare le eliche, i motori permettono di far volare il velivolo	102.32 \$
1	Radiocomando e ricevitore	Permette di inviare i segnali di controllo del velivolo che poi vengono captati dal ricevitore	Utilizzato quello fornito dalla scuola
1	Batteria Li-po 3 celle	Alimenta la parte elettronica	28.85 \$
4	ESC	Regolano la corrente massima assorbita dai motori	51.44 \$
1	Telaio in legno	Struttura portante del quadricottero	0 \$
1	Caricabatterie	Permette di ricaricare la batteria Lipo	Utilizzato quello fornito dalla scuola
1	Tester batteria Li-po	Avverte, con un segnale sonoro, quando la tensione della batteria va sotto la soglia impostata	1.99 \$
1	Case Ardupilot	Contenitore rigido della scheda di Ardupilot	3.68 \$
16	Termo restringenti	Permettono di coprire le saldatura di giunzione tra i componenti evitando di avere dei cortocircuiti	5 \$
12	Fascette, cavi e connettori	Permettono di fissare e collegare i componenti	17.76 \$

Totale : 308.03 \$ pari a 228 €

10 BIBLIOGRAFIA

- 1 <http://diydrones.com/>
- 2 <http://www.dronezine.it/>
- 3 <http://www.flitetest.com/>
- 4 <https://code.google.com/p/arducopter/wiki/ArduCopter>
- 5 www.baronerosso.it
- 6 <http://www.radiocomandati.altervista.org/index.html>
- 7 <http://www.anfarol.it/glossario.htm>
- 8 <http://www.mutiwii.it/guida-alla-scelta-della-configurazione-ottimale-by-crisiinvolo-del-baronerosso/>