

Tecniche di base del volo elettrico

1 - La corrente elettrica: Volt, Ampere, Watt ,Ohm

LA LEGGE DI OHM

Immaginate un lago di montagna (la nostra batteria ricaricabile) e il suo emissario, un fiume che esce verso valle (il filo elettrico) , una diga che regola il flusso (il regolatore di giri) e infine un mulino ad acqua per macinare il grano (il motore).

La quantità di acqua contenuta nel lago corrisponde alla capacità della batteria misurata in **Ah Ampere/ora** (Ampere/ora o anche i mAh - milli Ampere/ora).

Ma vediamo cosa accade all'acqua che esce dal lago (la corrente che percorre il nostro conduttore) :

- **La tensione** misurata in **Volt** (simbolo **V**) corrisponde alla pendenza del fiume quindi alla differenza di altezza tra il lago e il mulino a prescindere dalla larghezza del fiume stesso.

- **La corrente** misurata in **Ampere** (simbolo **A**) corrisponde alla dimensione del fiume a prescindere dalla sua pendenza .

- **La potenza** misurata in **Watt**, (simbolo **W**) corrisponde alla massa di acqua, ossia la quantità che scorre risultante dall'inclinazione del fiume (la tensione in **Volt**) per la sua dimensione (la corrente in **Ampere**) : **Volt x Ampere = Watt**

- **La resistenza** misurata in **Ohm** (simbolo Ω) rappresenta la resistenza, gli ostacoli nel fiume , massi e strettoie , quindi la resistenza che viene opposta allo scorrimento dell'acqua (in elettricità la facilità o meno del filo nel condurre corrente; la difficoltà è causata ad esempio, dalla sezione del cavo insufficiente, dalla scarsa conducibilità del materiale del conduttore , dalle saldature scadenti o cattivi contatti ecc.)

Se il fiume ha una forte pendenza (molti **Volt**) ma è di piccole dimensioni e può contenere poca acqua (pochi **Ampere**) l'acqua non riesce a far girare le pale.

Se il fiume di buone dimensioni e può contenere molta acqua, (molti **Ampere**) ma ha pochissima pendenza quindi un flusso lentissimo (**pochi Volt**) le pale del mulino non gireranno alla giusta velocità per macinare il grano o non gireranno affatto

Ma se il fiume ha la giusta pendenza (giusto valore di **Volt**) contiene la giusta quantità di acqua (sufficienti **Ampere**) se non ci saranno molti ostacoli (bassa resistenza pochi sassi e ostacoli , in elettricità conduttori di diametro adeguato saldature di buona qualità buoni contatti – quindi basso valore di **Ohm**) l'acqua che arriverà al mulino , la sua potenza (**i Watt quindi i Volt per gli Ampere**) sarà sufficiente a far girare le pale e finalmentemacinare il grano.

Infine se esce dal lago una grande quantità di acqua ma trova un fiume che poi si restringe o è pieno di ostacoli non potendo contenerla straripa.

in elettricità (la resistenza, gli Ohm) conduttori troppo piccoli o cattivi contatti creano una resistenza dannosa al passaggio della corrente fino a surriscaldarsi e anche fondersi.

La **legge di Ohm** è una semplice ma importante equazione che relaziona resistenza , tensione e corrente

$$R = \frac{V}{I}$$

dove :

R è la resistenza (simbolo Ω) (ricordate gli ostacoli del fiume?)

V i Volt (simbolo V) è la differenza di potenziale (ricordate la pendenza ossia la differenza di altezza e la pendenza del fiume dal lago al mulino?)

I gli Ampere (simbolo A) è Intensità di corrente (ricordate il flusso, la dimensione del fiume?)

e quindi la potenza espressa in Watt che è il prodotto dei Volt per gli Ampere.

Dalla legge di Ohm si possono sviluppare, tra le altre le , seguenti equazioni:

$$\text{Ohm} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}} \quad \text{Ampere} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}} \quad \text{Watt} = \text{Ohm} \times \text{Ampere}^2$$

$$\text{Ampere} = \frac{\text{Watt}}{\text{Volt}} \quad \text{Watt} = \text{Volt} \times \text{Ampere}$$

queste ultime due equazioni ci interessano particolarmente in quanto, come vedremo, sono maggiormente utilizzate nei calcoli per il volo elettrico.

Esempio:

Vogliamo calcolare quanto assorbe in Ampere un motore elettrico al fine di poterlo controllare con un adeguato regolatore di giri (**ESC** Electronic Speed Control) e alimentarlo con una batteria di sufficiente capacità per il suo assorbimento di corrente.

Il motore assorbe al massimo regime di funzionamento 300 Watt e viene alimentato con una batteria a tre celle Lipo da 11.1 Volt (3.7 x 3 = 11.1) da 3.200 mAh (3.2 Ah)

$$\text{Ampere} = \frac{\text{Watt}}{\text{Volt}}$$

$$\text{Ah} = \frac{300 \text{ (Watt assorbimento motore)}}{11.1 \text{ (Volt batteria)}} = 27.02 \text{ (Ah)}$$

Quindi dovremo utilizzare un regolatore di giri di almeno 35 – 40 Ampere di capacità

(occorre considerare un margine di almeno il 35% in più quindi se il motore assorbe 27 Ah

$$27 + 35\% = 36.4$$

e una batteria che abbia la capacità di erogare anche in questo caso tale quantità di corrente

Ora che sappiamo quanto assorbe in Ah il nostro motore vogliamo sapere quanto tempo (in minuti) potremo volare a pieno motore con una batteria da 3.200 mA (Quindi 3.2 Ah)

$$\frac{\text{Capacità batteria in Ah}}{\text{Assorbimento del motore in Ah}} \times 60 \text{ (minuti) } = \frac{3.2 \text{ Ah}}{27,02 \text{ Ah}} \times 60 = 7.10 \text{ minuti}$$

2 – L' APPARATO DI PROPULSIONE DI UN AEROMODELO ELETTRICO

L'apparato di propulsione di un aeromodello elettrico è costituito da un **accumulatore** (la nostra batteria) **dai cavi di collegamento e relativi connettori, da un regolatore di giri** (ESC Electronic Speed Control) comandato dalla ricevente della radio (TX) , **da un motore elettrico e da un elica** .

3 - L' ACCUMULATORE PER L'ALIMENTAZIONE DEL MOTORE ELETTRICO

L'accumulatore (la nostra comune batteria ricaricabile) accumula cariche elettriche attraverso un processo chimico durante la carica per poi restituirle durante la scarica.

Il principio delle nostre batterie anche le più moderne non è molto diverso dalla pila di Alessandro Volta (1745 – 1827) si basano sempre sull'elettricità prodotta da una reazione chimica ma fortunatamente nelle nostre batterie ricaricabili il processo chimico è reversibile quindi sottoposte ad una corrente elettrica il processo per così dire si “ inverte” e le nostre batterie riprendono la carica per un successivo utilizzo

Le batterie ricaricabili che si utilizzano in aeromodellismo sono principalmente le seguenti:

3.1 - Le batterie al Nichel Cadmio sono state praticamente le prime ad essere utilizzate per il volo elettrico; robuste ma pesanti a parità di capacità in Ampere rispetto ad altri tipi di batterie di generazione successiva che vedremo di seguito.

Poiché ormai non vengono praticamente più utilizzate in aeromodellismo non le tratteremo ; comunque possono valere di massima le indicazioni che trovate di seguito per le Ni-Mh

Contengono sostanze nocive per l'ambiente quindi quando esaurite vanno tassativamente smaltite negli appositi contenitori

3.2 - Le batterie NiMh o Nichel-metallo idruro o Metal-Itrato

Sono di generazione successiva rispetto le Nichel Cadmio e sono più leggere (rapporto capacità/peso circa il doppio)

Ogni elemento della batteria ha un voltaggio di **1,2 Volt** quindi una batteria da 4,8 volt avrà quattro elementi, una da 9,6 otto ecc.

Per mantenere una maggiore efficienza è consigliato scaricarle prima di ricaricarle (senza scendere mai sotto il valore di 0,8 volt per elemento pena il loro danneggiamento).

Pertanto nella ricarica scegliere la funzione del caricabatterie scarica-carica in maniera da portarle al voltaggio minimo prima di ogni ricarica.

Nell' utilizzo non debbono mai essere scaricate al di sotto di 0,8 Volt per elemento.

Sono soggette ad autoscarica quindi nel tempo anche se lasciate cariche potremmo trovarle scariche o con carica ridotta. (salvo recenti modelli in commercio che hanno una autoscarica molto bassa).

Per la ricarica delle Ni-Mh occorre utilizzare appositi caricabatterie a **corrente costante** con la funzione **scarica/carica** e rilevazione dalla fine carica attraverso il **delta-peak** ossia il punto di massima carica della batteria caratterizzato da un breve repentino aumento e successivo calo della tensione.

Il delta-peak potrebbe non intervenire per cariche semi-rapide e lente pertanto in questo caso va temporizzata la durata della carica.

Alcuni carica batterie sono dotati di sensore termico che rilevando il riscaldamento delle batterie può essere utilizzato come maggiore controllo di sicurezza (anomalie o carica eccessiva).

La carica standard avviene in 14 ore con una corrente di 1/10 della capacità nominale (seguire comunque le indicazioni del produttore e temporizzare la durata della carica)

Se è prevista tale possibilità di ricarica rapida tenete presente che forti correnti fanno scaldare le batterie e la ricarica non sarà ottimale; in ogni caso durante la ricarica, non dovranno essere lasciarle incustodite o nei pressi di sostanze infiammabili o fonti di calore inoltre attenzione a **non provocare cortocircuiti ossia contatti tra i due poli (fili rosso nero) perché potrebbero incendiarsi o esplodere**

Nella scelta delle caratteristiche della batteria (capacità mA e tensione V) a dovrà essere sempre considerato l'assorbimento e il voltaggio del nostro motore. (vedremo di seguito come effettuare i calcoli); c'è comunque da considerare che le batterie al Ni-Mh hanno una minore "densità energetica" rispetto alle Li-Po, che vedremo nel successivo punto, (ovviamente nella media dei prodotti) e minore capacità di sopportare forti "spunti" di corrente ossia repentini alti assorbimenti senza subire cali di tensione.

La caduta di tensione durante la scarica non segue l'andamento delle batterie non ricaricabili che diminuisce costantemente dall'inizio della scarica ma la caduta di tensione è minima fino verso la fine carica per poi scendere rapidamente.

Inoltre le batterie non sottoposte ad un assorbimento tendono a dare il voltaggio nominale di 1,2 volt per elemento anche se prossime alla scarica completa quindi il valore di tensione di una batteria non è assolutamente da prendere come riferimento per verificare la quantità di carica residua.

Come tutte le batterie ,quando esaurite, vanno sempre smaltite negli appositi contenitori.

3.3 - Le batterie Li-Po

(evoluzione delle Li-Ion) sono batterie di generazione recente e forse al momento le più usate nel volo elettrico; hanno un migliore rapporto tra capacità in Ampere e peso/dimensioni, quindi più leggere e piccole a parità di capacità rispetto le Ni-Mh

Ogni elemento eroga 3,7 Volt quindi due elementi 7,4 Volt, tre elementi 11,1 Volt e così via Hanno una basso valore di autoscarica ;

Debbono essere ricaricate con attenzione e con caricabatterie specifici (corrente costante/voltaggio costante) e dotati di bilanciatore (che vedremo di seguito) evitando assolutamente di provocare cortocircuiti ossia contatti tra i due conduttori altrimenti c'è il serio rischio di incendio ed esplosione!

Non lasciarle incustodite durante la ricarica o vicino a oggetti infiammabili non fatele maneggiare dai bambini ed è consigliabile utilizzare degli appositi sacchetti in tessuto ignifugo in vendita nei negozi di modellismo, non lasciatele al sole o in automobile o vicino a fonti di calore non vanno forate e se iniziano a presentare un rigonfiamento o se danneggiate si raccomanda di non utilizzarle e di smaltirle immediatamente negli appositi contenitori (ricordiamoci sempre dell'ambiente e dell'importanza di non inquinare !)

Per la sicurezza e la loro longevità è preferibile evitare in ogni caso le cariche rapide (max 1/4 della loro capacità ossia una batteria da 2,000 mA caricarla al massimo a 500/600 mA)

Per alcune batterie di ultima generazione è prevista la possibilità di ricarica rapida. (attenersi comunque ai dati forniti dal produttore).....ma una carica più “tranquilla”, se possibile, può solo contribuire ad una migliore salute delle nostre batterie.

I valori che non dovranno mai essere superati sono:

- Voltaggio massimo nella ricarica: 4.2 Volt per elemento
- Voltaggio minimo nella scarica: di 3.0 Volt per elemento

Attenersi comunque scrupolosamente ai valori indicati dal produttore

Inoltre durante la carica e la scarica i singoli elementi possono sbilanciarsi ossia trovarsi con voltaggi differenti in tale caso si riduce la capacità di ricaricarsi e sono potenzialmente meno sicure pertanto occorre ricaricarle ,come già detto, con specifici caricabatterie dotati di bilanciatore (le batterie sono solitamente dotate di apposito cavetto ovviamente con esclusione di quelle con un solo elemento)

Se prevedete di non utilizzarle per molto tempo lasciatele con una carica di circa 2/3 della loro capacità e possibilmente conservate in una cassetta metallica e o nei citati sacchetti ignifughi

Le batterie Li-Po sull'involucro hanno indicati quattro valori :

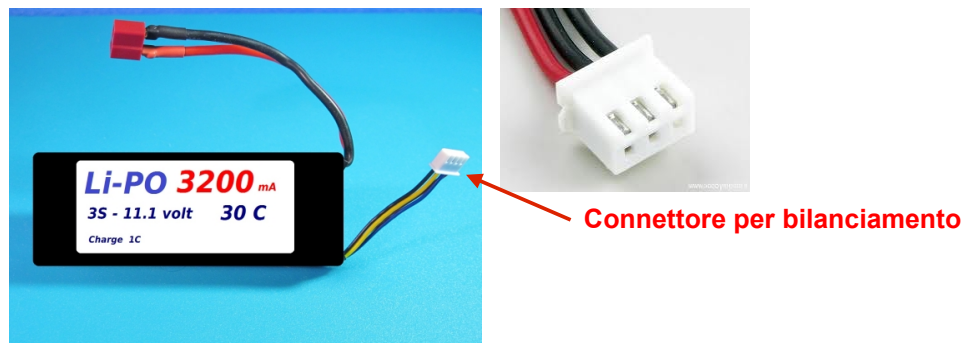
La capacità in mA (3.200 mA = 3.2 A)

Il numero di celle e quindi il voltaggio : una cella (1S) 3,7 Volt , due celle (2S) 7,4 Volt, tre celle (3S) 11,1 Volt , quattro celle (4S)14,8 Volt , cinque celle (5S) 18,5 Volt ecc....

Il valore di scarica massima (max amperaggio di scarica) es 30C vuol dire che una batteria da 3,200 mA può sopportare una scarica in Ampere pari a trenta volte la sua capacità nominale quindi 30C x3.200 mA = 96.000 mA quindi 96 A

Il valore di ricarica massima indica a quante volte la sua capacità può essere ricaricata la batteria es 1C vuol dire che se la batteria ha la capacità di 3,200 mA può essere ricaricata a 3,200 mA (3,2 A) 2C a 6.400 mA (6,4 A) ; tale limite non dovrà mai essere superato.

Comunque sia per motivi di sicurezza che per la durata nel tempo delle batterie , come già detto, è preferibile, salvo esigenze specifiche, effettuare la ricarica non rapida a non più di un quarto un quinto della capacità nominale quindi sempre per la nostra 3,200 mA ad una corrente di circa 700/800 mA anche se batterie di ultima generazione permettono le cariche rapide. (attenzione comunque ai valori massimi indicati dal produttore.)



Come per gli altri tipi di batterie nello scegliere i valori di di capacità (mA) e tensione (n. celle – Volt) della batteria Li-Po fate molta attenzione alle caratteristiche del motore ma questo lo vedremo più avanti al punto 6,4 (Scelta dell'alimentazione del motore)

3,4 - Batterie Li-Fe Li-Mn Li-Lo sono un ulteriore evoluzione delle Li-Po ma sono di minore diffusione in aeromodellismo pertanto non ne parleremo in questo documento.

3,5 - Batterie al Piombo Pb

Generalmente per uso aeromodellistico vengono utilizzate con voltaggio di 12 Volt e non per il volo ma per gli usi a terra .(molto pesanti rispetto alla capacità)

Vanno caricate lentamente con specifici caricabatterie (generalmente 1/10 della capacità)

ATTENZIONE

Per tutti i tipi di batterie utilizzate la massima attenzione per la vostra e altrui incolumità e ricordate :

- durante la carica e la scarica possono scaldarsi anche molto !
- fare attenzione durante il trasporto e la conservazione, per li Li-Po utilizzate gli appositi sacchi ignifughi ed eventualmente cassette metalliche
- smaltite ogni tipo di batteria negli appositi contenitori.
- utilizzare esclusivamente caricabatterie dedicati e con il programma specifico per ogni tipo di batteria. non ricaricatele mai in automobile sia in marcia che ferma !
- evitare, le cariche molto rapide in particolare per le Li-Po perché oltre che ridurne la durata si possono scaldare ed essere potenzialmente pericolose in ogni caso seguite le indicazioni del produttore.
- tenerle sempre fuori dalla portata dei bambini in quanto in particolare le Li-Po hanno un involucro che può essere danneggiato e il contenuto venire a contatto con la pelle gli occhi o ingerito.
- fare attenzione sempre alla polarità, non cortocircuitare i fili e non invertite la polarità sia collegandola al caricabatterie che al regolatore!
- nell'istallare la batteria assicuratevi che nella fusoliera ci sia una adeguata ventilazione e che sia ben fissata con fascette di velcro. Durante il funzionamento la batteria si scalda e se non raffreddata si può danneggiare e lasciarvi.....senza alimentazione ! Inoltre se dopo il volo è calda da non potersi tenere in mano vuol dire che è insufficiente per l'assorbimento del vostro motore.

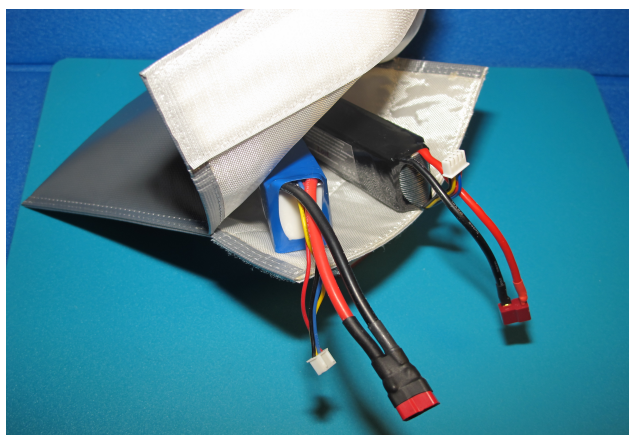
E inoltre consigliato scrivere con un pennarello indelebile sulla batteria la data di acquisto e se ne avete diverse uguali numeratele al fine di poter monitorare meglio il loro ciclo vitale. In caso di uso agonistico o per particolari esigenze è opportuno tenere una tabella e registrare la data di acquisto , ogni utilizzo e successiva ricarica con la relativa data.

In alcuni casi si può avere la necessità di abbinare due pacchi di batterie in parallelo (per ragioni di spazio, numero celle, bilanciamento dell'aeromodello ecc.) in questo caso le batterie dovranno essere della stessa marca, modello, capacità, possibilmente data di acquisto ed avere avuto gli stessi cicli di utilizzo.

Dovranno essere caricate possibilmente contemporaneamente con lo stesso ciclo di ricarica e bilanciamento o comunque nella stessa giornata e con lo stesso caricabatterie.

IMPORTANTE

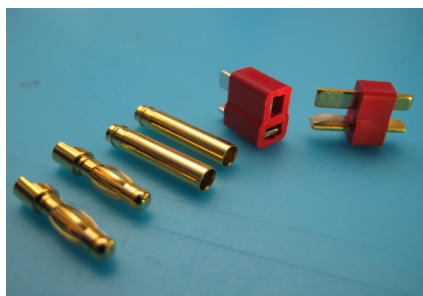
Collegare la batteria solo prima del volo e scollegatela immediatamente dopo in quanto il motore dopo l'attivazione del regolatore risponde prontamente ai movimenti della leva del gas e pertanto potrebbe avviarsi accidentalmente e causare danni anche gravi! A differenza del motore a scoppio il motore elettrico anche se fermo può avviarsi.



Sacchetto in materiale ignifugo

4 - I CONNETTORI E I CAVI

I connettori e i cavi sono di fondamentale importanza in quanto se sottodimensionati sono causa di ostacolo al passaggio della corrente e di surriscaldamento, debbono quindi essere capaci di sopportare forti correnti in Ampere.



Nel saldare i connettori ovviamente vanno assolutamente evitati corto circuiti e contatti tra i poli (fili rosso nero) le batterie non vanno assolutamente surriscaldate con la saldatura e non vanno danneggiate o forate altrimenti c'è il rischio di incendio.

Dopo aver saldato il primo filo isolatelo immediatamente con guaina termoretraibile al fine di evitare contatti accidentali e cortocircuiti durante la saldatura successiva.

Solitamente batterie, regolatori e motori ne sono già dotati ma se dovesse esserci la necessità di intervenire sui cavi occorre utilizzare prodotti di qualità come gli appositi cavi rossi e neri al silicone venduti nei negozi di modellismo , non usare altri cavi e isolare con guaina termoretraibile. Anche i connettori dovranno essere di qualità e specifici per uso aeromodellistico.

Occorre tener presente che la sezione interna della treccia di rame dei cavi espressa in mm quadrati dovrà essere commisurata all'assorbimento del nostro motore.

I valori riportati di seguito sono calcolati per lunghezze dei cavi al massimo di qualche decina di centimetri e sono "abbondanti" rispetto a quelli teorici ma ne beneficeranno efficienza e sicurezza :

Amp	mmq	Amp	mmq	Amp	mmq
10 A	1,0	40 A	3,0	70 A	5,0
20 A	1,5	50 A	3,5	80 A	6,0
30 A	2,0	60 A	4,5	100 A	7,0

Le saldature dovranno essere "calde" quindi non "spugnose" e opache.

Se non siete pratici di saldature chiedete ad un amico esperto cercate di evitare scottature attenzione agli schizzi e gocce di stagno fuso e non respirare i fumi emessi dalla lega di stagno che fonde.

5 - IL REGOLATORE DI GIRI

ESC Electronic Speed Control e BEC Battery Eliminator Circuit

Il regolatore permette di regolare i giri del nostro motore quindi dosarne la potenza erogata. .

E' un dispositivo elettronico che viene installato tra la batteria e il motore ed è collegato alla ricevente RX della radio da cui riceve gli impulsi inviati dalla vostra trasmittente TX

I regolatori sono principalmente due tipi:

- per motori a spazzole

hanno due cavi di collegamento al motore (erogano corrente continua positivo negativo)

- per motori brushless hanno tre cavi di collegamento al motore (erogano corrente trifase alternata)

(vedremo poi le differenze tra i motori a spazzole e brushless però non tratteremo in questa sede la materia delle correnti continue e alternate trifase)

5.1 - I regolatori per motori a spazzole ricevono una corrente continua (positivo negativo) ed erogano al motore una corrente continua regolata sulla base degli impulsi dalla ricevente quindi attenzione alla polarità sia per il collegamento con la batteria (danneggiamento regolatore) sia con il motore (gira al contrario).

5.2 - I regolatori per motori brushless ricevono una corrente continua (positivo negativo) ed erogano al motore una corrente alternata trifase quindi attenzione alla polarità per il collegamento con la batteria (danneggiamento regolatore) mentre per il collegamento al motore non c'è problema.....se il motore gira al contrario è sufficiente scambiare a caso due dei tre connettori tra regolatore e motore

ATTENZIONE

Per ambedue i tipi di regolatori se vogliamo utilizzare le **Li-Po** occorre verificare che possano funzionare anche con tali batterie e dovremo considerare il voltaggio di funzionamento ossia a quante celle andrà alimentato il motore elettrico e inoltre per l' amperaggio massimo calcolate un 30-35 % in più rispetto l'assorbimento dello stesso in Ampere.

Quindi dovremo verificare il **numero massimo** di celle Li-Po collegabili al regolatore o il numero massimo di elementi per le Ni-Cd o Ni-Mh

Es motore 300 Watt Batt. Li-po 3 celle volt11,1 = 27 Ah regolatore 35-40 Ampere

Il circuito BEC (Battery Eliminator Circuit)

Il regolatore può essere dotato di circuito **BEC** che permette di alimentare la nostra ricevente e i servocomandi con la batteria motore riducendo e stabilizzando la tensione ai valori necessari (5,5 – 6,0 volt)

Quando la batteria raggiunge una determinata soglia di scarica il circuito principale, quello che gestisce giri del motore e controlla la carica della batteria, (solitamente 5,5-6,0 Volt o regolabile) interviene spegnendo il motore per salvaguardare la batteria stessa e lasciare una carica residua necessaria per il funzionamento del circuito BEC e quindi poter continuare ad alimentare ricevente e servocomandi.

Occorre tener bene presente che l'autonomia è comunque limitata (è comunque un residuo di carica della batteria del motore) quindi è preferibile atterrare prima possibile.

In caso di alianti elettrici ovviamente la tentazione è quella di rimanere in volo ancora del tempo per sfruttare qualche termica o dinamica ma in questo caso tenete presente che se farete allontanare il modello o fosse necessario un lungo recupero di quota in pendio potreste non avere una carica residua sufficiente per alimentare l'apparato radio di bordo.

Inoltre il BEC ha una corrente massima che può erogare all'apparato radio (RX e servocomandi) quindi occorre tener presente gli Ampere massimi che può fornire:

Es. se il BEC può fornire 3 Ah non possiamo collegare sei servocomandi con assorbimento ciascuno di 500-800 mA perchè rischieremo il black-out totale dell'impianto con conseguente perdita di controllo del modello e relative conseguenze.

Solitamente nelle istruzioni è indicato il numero massimo di servi che si possono collegare in relazione alle celle della batteria ...ovviamente si tratta di servi con assorbimento standard quindi attenzione maxi servi o carrelli retrattili elettrici ecc.

ATTENZIONE se utilizzate un regolatore dotato di circuito BEC non collegate assolutamente anche la batteria della ricevente senza scollegare il conduttore positivo.

Se volete collegare una batteria separata per alimentare la ricevente e i servi per una maggiore sicurezza di autonomia dell'apparato elettronico di bordo (**è peraltro consigliato per modelli oltre un certo peso** e per gli alianti per avere una maggiore autonomia dopo lo spegnimento del motore) potrete scollegare il cavo rosso della spinetta che collega il regolatore alla ricevente alzando con una punta la linguetta in plastica e

isolandolo poi con del termoretraibile. Fig 1
 (**controllare comunque le istruzioni** del regolatore)

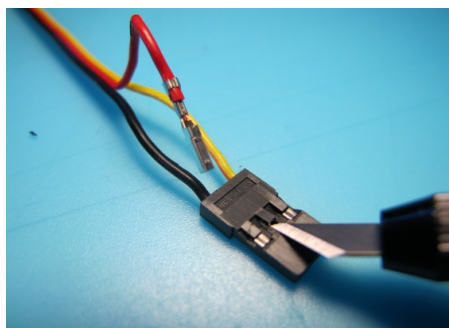


Fig. 1

Al riguardo i circuiti BEC dei regolatori hanno raggiunto una buona affidabilità in particolare con il sistema switching ma non dimentichiamo che tutto il sistema di bordo dal motore alla TX e servi, viene affidato alla loro funzionalità e alla "buona salute" della batteria che, come noto, è sottoposta a forti (spesso fortissime) sollecitazioni con il rischio che se anche una sola cella andasse in avaria, tutto il sistema subirebbe un black-out con immaginabili conseguenze.

La ridondanza (che è un fondamentale sano principio per tutto ciò che vola) di una seconda batteria separata va quindi considerata quando per determinati modelli sono necessari requisiti di sicurezza ai massimi livelli.

Il freno motore

I regolatori sia per motori a spazzole sia brushless possono avere anche la funzione freno motore che serve per non far girare l'elica a motore spento.

Questa funzione si utilizza sugli alianti elettrici dotati di elica ripiegabile (per ridurre la resistenza con l'aria) in modo che, fermandola, le pale possono ripiegarsi ai lati della fusoliera.

La procedura di attivazione e disattivazione del freno è solitamente indicata nelle istruzioni del regolatore

Regolatori Optoaccoppiati

La ricevente la batteria ed il regolatore attraverso una serie di circuiti elettronici interni al regolatore stesso sono in collegamento elettrico tra di loro ossia un disturbo potrebbe risalire tutta la circuitazione ed arrivare alla ricevente creando problemi.

Questo problema è maggiormente sentito quando le potenze in gioco sono elevate e per ovviarlo sono stati realizzati i regolatori Opto accoppiati (foto accoppiati) ossia il segnale elettrico inviato dalla RX viene trasformato dal regolatore in segnale/impulso ottico e poi trasformato nuovamente in segnale elettrico; interrompendo la conduzione elettrica viene "isolato" il segnale della ricevente da tutto il resto. (solo il segnale non l'alimentazione)

Questi regolatori solitamente di elevata potenza e privi di circuito BEC sono destinati a modelli in cui è necessario un elevato standard di affidabilità e sicurezza.

ATTENZIONE

- Il regolatore deve essere acceso, se dotato di interruttore, o collegato alla batteria immediatamente prima del volo e con la leva del motore al minimo e spento o scollegato subito dopo per evitare, come già detto, avviamenti accidentali.

Per una maggiore sicurezza si può miscelare un interruttore del TX con il canale del comando motore al fine di rendere attiva la leva o solo dopo aver messo su "ON" detto l'interruttore.

Inoltre programmate la funzione "fail safe" della TX in maniera che il motore in caso di problemi radio venga messo al minimo o spento.

- Dopo aver collegato la batteria, il regolatore emetterà una serie di suoni per avvisarvi che è pronto ma non avvierà il motore se non avrete prima messo la leva del comando motore al minimo.

- Nell'installazione di bordo abbiate cura che il regolatore sia fissato e raggiunto da un flusso di aria in quanto durante il funzionamento si riscalda e potrebbe danneggiarsi e lasciarvi senza alimentazione del motore o di tutto l'impianto RC di bordo.

- Installate il regolatore, compatibilmente con la lunghezza del cavo del connettore, il più lontano possibile dalla ricevente e comunque mai vicino al filo dell'antenna. (onde evitare radiodisturbi)

- Non usare regolatori con fili danneggiati spinette che si staccano facilmente o che abbiano subito forti urti o abbiano evidenti segni di usura o surriscaldamento; l'avaria del regolatore in particolare se dotato di BEC porta inevitabilmente al black-out totale dell'apparato RC di bordo e quindi alla caduta dell' aeromodello.

6 - IL MOTORE ELETTRICO

Il motore elettrico ha il compito di trasformare l'energia elettrica fornita dalla batteria in energia meccanica che verrà applicata all'elica del nostro aeromodello.

In questa sede per brevità non verranno trattati nel dettaglio i principi di funzionamento e costruzione delle varie tipologie dei motori elettrici ma saranno descritte le differenze fondamentali e le varie applicazioni legate alle realizzazioni aeromodellistiche

I motori elettrici si dividono in due categorie principali:

- **a spazzole** a corrente continua

- **brushless** (ossia senza spazzole) con funzionamento a corrente trifase (erogata dal

regolatore a cui arriva continua dalla batteria)

i brushless a loro volta si dividono in

- **out runner (o cassa rotante)**
- **in runner**

I motori a spazzole hanno dominato il mercato del modellismo fino a pochi anni fa quando attraverso un dispositivo elettronico (ESC) si è riusciti a fornire a piccoli motori elettrici, partendo dalla corrente continua ,una corrente alternata trifase : i motori brushless

Questi ultimi hanno una efficienza più alta di quelli a spazzole , a parità di energia elettrica fornita ne convertono in energia meccanica una maggiore quantità quindi hanno un maggiore rendimento

6.1 – I motori a spazzole

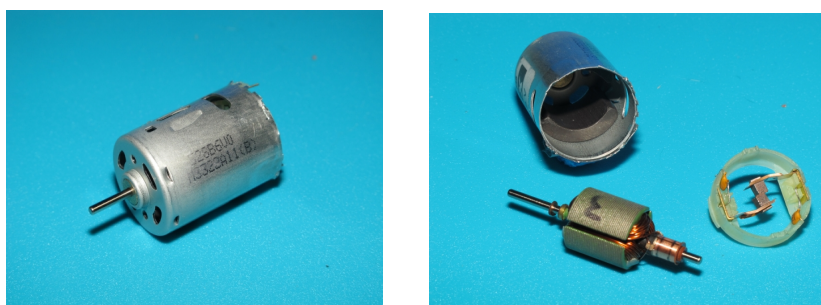
Come detto sono meno efficienti rispetto ad un brushless .

Hanno dei carboncini detti appunto “spazzole” che strisciano su una parte dell'albero motore (indotto) per portare la corrente agli avvolgimenti che ruotano al suo interno.

Questi carboncini oltre a creare attrito e consumarsi, riducono l'efficienza elettrica e generano continue piccole scintille che possono creare disturbi elettromagnetici e influire sul buon funzionamento della nostra ricevente. Per ovviare a ciò si montano sui contatti esterni dei piccoli condensatori che assorbono le piccole perturbazioni elettriche che si generano.

In compenso sono motori in genere più economici dei brushless.

Per l'installazione vedi successivo punto 6.3.2



Motore a spazzole

6.2 - I motori brushless

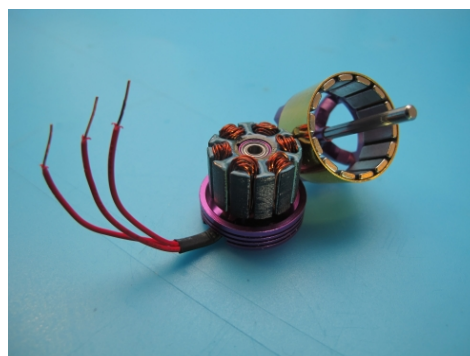
I motori brushless non hanno parti striscianti di contatto come le “spazzole” e il loro funzionamento a corrente trifase generata dal regolatore ESC a cui arriva corrente continua della batteria (argomento che non approfondiremo in questo documento) li rende molto efficienti e praticamente privi di manutenzione.

Come già detto a parità di energia elettrica fornita ne convertono in energia meccanica una maggiore quantità quindi hanno un maggiore rendimento (energia elettrica fornita - energia meccanica restituita – esempio: se fornisco energia elettrica per 100 watt e me ne viene restituita in energia meccanica il 78 % ho il rendimento appunto del 78 % il resto lo si perde in attriti meccanici ed energia termica.)

Come dicevamo si dividono in motori out-runner (a rotore esterno o “cassa rotante”) e in-runner (a rotore interno).

6.2.1 - I motori brushless out-runner o a cassa rotante

Hanno la parte centrale (lo statore con gli avvolgimenti) che rimane ferma mentre la parte esterna (la cassa) che contiene i magneti ruota solidale all'albero motore collegato all'elica.



Forniscono una forte coppia pertanto riescono a muovere eliche di grande diametro in rapporto alle loro dimensioni .

Funzionano come dicevamo a corrente trifase per cui hanno tre cavi di collegamento con il regolatore . Nel caso l'elica dovesse ruotare in direzione opposta sarà sufficiente invertire due dei tre cavi a caso. (attenzione, i tre cavi del motore non i due che collegano il regolatore alla batteria!)

Per l'installazione sull'aeromodello dovranno essere seguite le indicazioni espote nel successivo punto 6.3.2 Installazione del motore elettrico

I valori relativi alle caratteristiche motori brushless a cassa rotante verranno esaminati più avanti nella sezione: 6.3 - Scelta del motore brushless

6.2.2 - I motori brushless inrunner

Hanno la parte centrale con il magnete che gira solidale all'albero motore e all'elica mentre la parte esterna (la cassa) che contiene gli avvolgimenti rimane ferma.

Rispetto ai motori a cassa rotante hanno un alto valore di Kv (mille giri per ogni Volt) e quindi sono solitamente destinati alle ventole elettriche (Jet elettrici) o accoppiati a dei **riduttori di giri** per essere utilizzati con eliche di grande diametro.

Hanno una coppia più bassa rispetto ai brushless a cassa rotante

Anche i brushless inrunner hanno necessità di essere ben ventilati durante il funzionamento e per l'installazione vedi il successivo punto 6.3.2 .

6.3 - Scelta del motore brushless .

Nella scelta dobbiamo tenere presente le caratteristiche fondamentali:del motore:

- **La tensione (espressa in Volt)** di funzionamento solitamente indicata con una "S" in relazione al numero di celle Li-Po a cui andrà collegato attraverso il regolatore esempio: 1S = 3,7 Volt , 2S = 7,4 Volt , 3S = 11,1 Volt e così via..

Se per un motore è indicato 2S-3S vuol dire che può funzionare a tensioni comprese da 7,4 a 11,1 Volt. (attenzione però alla scelta delle dimensioni elica che varierà in funzione della tensione fornita.)

Se il motore verrà alimentato con batterie Ni-Cd o Ni-Mh, per il numero di elementi da utilizzare dovremmo riferirci al voltaggio più prossimo a quello indicato per le batterie Li-Po.

- **La potenza (espressa in Watt)** (ricordate la legge di Ohm? Quindi il suo voltaggio nominale es. 11,1 Volt per il suo assorbimento di corrente in Ampere)

- **I Kv (o Kilo / Volt)** ossia quanti giri (per mille) sviluppa il motore a vuoto (senza elica) per ogni Volt di tensione di alimentazione.

es motore con Kv 1,100 : a 11,1 Volt (batteria 3 celle) = 1,100 X 11,1 quindi svilupperà a vuoto 12,200 giri

Questo valore è legato al numero di poli del motore.

Ovviamente con l'elica prevista dal produttore i giri diminuiranno ma (come vedremo più avanti) non dovremo mai superare i giri massimi della stessa , sia per motivi di sicurezza sia per non perdere efficienza.

- **Il numero dei poli** un numero di poli alto determinerà meno giri (Kv basso) ma più "coppia" (capacità di trainare eliche di maggiore diametro) un motore con basso numero

di poli determinerà più giri (Kv alto) ma con minore "coppia" quindi eliche di minore diametro.

La scelta del motore dovrà considerare principalmente due parametri peso e velocità dell'aeromodello

6.3.1 - Peso dell'aeromodello:

Per il peso al decollo dovremo applicare indicativamente i seguenti valori di Watt per Kg :

Aeromodelli trainer, riproduzioni non veloci, aeromodelli scuola 150-200 Watt/Kg

Aeromodelli acrobatici, riproduzioni veloci ,200-300 Watt/Kg

Alianti elettrici 120-180 Watt/Kg

Aeromodelli 3D 300-400 Watt/Kg

Quindi per un aeromodello trainer del peso di 1,600 grammi il motore elettrico dovrà avere una potenza in Watt da $150 \times 1,6 = \mathbf{240}$ a $200 \times 1,6 = \mathbf{320}$

6.3.2 Installazione del motore elettrico

L'installazione del motore elettrico spesso viene considerata una operazione più semplice di quella di un motore a combustione.

In linea di massima ciò è vero ma tenuto presente che oggi i motori elettrici possono erogare potenze elevate fino a sostituire motori a combustione di grossa cubatura per grandi modelli quindi la loro installazione deve essere attenta e scrupolosa.

Le vibrazioni pur essendo inferiori a quelle del motore a scoppio sono comunque presenti e sono causate dal gruppo motore mozzo ogiva elica anche se quest'ultima è stata bilanciata; va considerata inoltre la forza di contro-coppia che il motore esercita nella direzione opposta all'elica.

Pertanto i castelli motore debbono essere fissati con la massima cura ed ogni incollaggio deve essere eseguito con colla o resina epossidica a lenta catalizzazione.

Al riguardo l'utilizzo delle colle e resine epossidica deve essere fatto indossando guanti monouso in ambienti ben ventilati o all'aperto (o mascherina ai carboni attivi) e in caso di imbrattamento della pelle non usare solventi ma lavare a lungo con acqua calda e sapone abbondante; in ogni caso leggete e seguite le precauzioni di utilizzo indicate sulla confezione della colla.

Per un buon incollaggio, affinché vengano garantite pienamente le proprietà meccaniche della colla o resina epossidica l'indurimento deve avvenire ad una temperatura non inferiore ai 20° (nel caso aiutarsi con una lampada a faretto ovviamente non a basso consumo).

Attraverso l'uso di un termometro a sonda potreste regolare la distanza della lampada e ottenere una temperatura ottimale di 30-35°.

Particolare attenzione va posta nell'incollaggio sulle fusoliere in fibra degli alianti elettrici della paratia motore in quanto sia se questa è in vetroresina sia se è in legno (usare solo compensato di buona qualità !) la superficie di contatto delle parti da incollare è modesta.

ATTENZIONE il motore a cassa rotante come dice il termine stesso ha la parte esterna che ruota pertanto nel montaggio prestate la massima attenzione affinché non tocchi nessuna parte dell'aeromodello, né i tre fili e i connettori dell'alimentazione che potrebbero danneggiarsi e creare pericolosi contatti e cortocircuiti.

Per ogni tipo di motore le viti di fissaggio dovranno avere una lunghezza tale da non interferire con le parti interne del motore al fine di evitare danni o creare cortocircuiti dovranno essere della filettatura metrica prevista non usare assolutamente viti "parker" o da legno e utilizzate per ognuna una goccia di frena filetti (debole/medio)

I valori relativi alle caratteristiche motori brushless a cassa rotante verranno esaminati più avanti nella sezione: 6.3 - Scelta del motore brushless

Altro tema è il disassamento del motore ma non è possibile esaminarlo in questa nota dato che entriamo nell'argomento progettazione e dipende da molti fattori come la posizione del motore rispetto alla linea mediana del modello, la potenza del motore, dimensione dell'elica ecc.

Ad esempio su un motoalante con motore sul muso e sulla linea mediana della fusoliera con caratteristiche standard il disassamento può essere di 2-3° verso il basso e 2° verso destra. (dati puramente indicativi)

6,3,3 Le turbine elettriche

Per le turbine a propulsione elettrica si va da quelle installate su modelli pronti o quasi al volo dove è fornito tutto è non c'è nulla da "progettare" fino a quelle che vanno installate su modelli da costruire dove c'è da scegliere la turbina il motore le batterie calcolare condotti velocità del flusso, spinta ecc.

Comunque la tecnologia oggi ha reso sempre più semplice l'uso delle turbine elettriche che sono alla portata di una platea sempre più ampia.

In questo documento non verranno esaminate nello specifico le turbine elettriche la cui trattazione esaustiva, considerata la quantità di parametri tecnici in gioco, richiederebbe diverse pagine.

Sono installate su modelli solitamente veloci che richiedono una certa esperienza di pilotaggio e una maggiore attenzione riguardo i criteri di sicurezza in particolare per gli aeromodelli di un certo peso; tenete presente che raddoppiare la velocità di un aeromodello significa quadruplicarne l'energia cinetica, questo va considerato in occasione di manifestazioni e gare con presenza di pubblico.

A causa della elevata velocità il modello può allontanarsi rapidamente rendendo difficile la visione dell'assetto.

Di massima valgono molte indicazioni fornite nei precedenti punti; va precisato che nelle

turbine elettriche (solitamente) le batterie vengono chiamate ad un lavoro gravoso pertanto dovranno essere molto ben ventilate ed è necessario controllarle dopo il volo verificando che non abbiano subito deformazioni o rigonfiamenti.

Le giranti ruotano a diverse migliaia di giri quindi cautela nel loro utilizzo ed evitare riparazioni "artigianali".

6.3.4 - La velocità dell' aeromodello:

Dobbiamo considerare i Kv ossia il numero di giri a vuoto del motore (1,000 giri per Volt): dovrà essere più basso per modelli lenti come alianti elettrici , trainer o di riproduzioni di aerei lenti e più alto per i modelli veloci , acrobatici sportivi o riproduzioni di aerei veloci.

C'è da tener presente una regola fondamentale riguardo i giri del motore e quindi dell'elica : la velocità statica del flusso dell' aria generata dall'elica dovrà essere sempre superiore alla velocità di decollo dell'aeromodello (anche se la spinta statica è sufficiente) quindi non possiamo imprimere pochi giri con eliche a forte passo sperando che il modello voli più lentamente, altrimenti il rischio è di vedere correre l'aeromodello sulla pista senza riuscire a decollare.

6.4 - Scelta dell'alimentazione del motore

Il motore avrà bisogno di essere alimentato con una batteria commisurata alle sue caratteristiche ; dovremmo quindi dimensionare **la batteria** considerando i valori di capacità (mA) e tensione (n. celle – Volt) in quanto:

- Con un voltaggio troppo basso non avremmo un rendimento del motore sufficiente.
- Con un voltaggio troppo alto si rischierebbe di bruciare il motore o di far girare l'elica ad un regime eccessivo (perde di rendimento ed è pericoloso perché potrebbe rompersi)
- Con una capacità in mA insufficiente la batteria fornirebbe una autonomia di volo scarsa e si potrebbe surriscaldare o fino a gonfiarsi e anche incendiarsi.
- Con una capacità in mA eccessiva non rischieremo nulla di quanto sopra e avremmo molta autonomia ma a scapito di un peso eccessivo, una zavorra che appesantirebbe il nostro modello anche oltre il suo peso massimo.....ricordiamoci che un aeromodello deve volare.

Ricordate la legge di Ohm di cui abbiamo già parlato?

Abbiamo il nostro motore che assorbe 400 Watt e viene alimentato da una batteria a tre celle da 11,1 Volt e con capacità 3,500 mA con capacità di scarica di 25C (quindi 25 volte la sua capacità nominale) quindi potremmo disporre di una erogazione istantanea di 3500mA per 25 = 87,500 mA quindi 87,5 A.

Il nostro lago può essere grande e avere molta acqua ma deve anche poterla fornire in grande quantità in un dato istante attraverso il suo emissario. Ovviamente si svuoterà più o meno rapidamente in base a quanta acqua preleverà detto emissario.

Ad esempio una batteria da 3,000 mA può erogare 3,000 mA in un ora o 6,000 mA in mezz'ora, 12,000 mA in un quarto d'ora

Il nostro motore da 400 Watt a 11,1 Volt richiede una corrente in Ampere di: 400 diviso

11,1 = 36 A..... quindi sarà sufficiente per alimentare il motore (a pieno regime) e volare per circa 5,8 minuti. ($3,5A / 36A * 60 = 5,8$)

Nella pratica non voleremo sempre a tutto motore pertanto il volo potrà arrivare a 7-8 o più minuti

7 - IL CARICABATTERIE

Il caricabatterie permette di ricaricare le nostre batterie

Non dovranno mai essere collegate batterie non ricaricabili in quanto oltre a non ricaricarsi potrebbero surriscaldarsi e incendiarsi.

Dovrà essere utilizzato per ogni tipologia di batterie lo specifico programma di carica (Ni-Cd, Ni-Mh, Li-Po ecc.) e se non automatico dovrà essere posta molta attenzione ai settaggi (voltaggio, quindi al numero di celle , carica in mA da erogare e relativo tempo di ricarica) .

I caricabatterie hanno anche un programma di scarica per eliminare l'effetto memoria delle batterie Ni-Cd e Ni-Mh.

Per le Li-Po dovrà essere collegato oltre al cavo di alimentazione anche il cavo di bilanciamento

Come già detto parlando delle batterie il valore di ricarica (in particolare delle Li-Po) non dovrà mai superare quello indicato dal produttore e comunque è consigliato, salvo particolari esigenze e batterie che lo permettano, di non superare un quarto della capacità.

I caricabatterie possono funzionare a 12 Volt (detti da campo) a 220 Volt (la tensione di casa) o avere doppia alimentazione 12 e 220 (ovviamente con cavi e spine di alimentazione diversi!).

Nel caso si volesse utilizzare un caricabatterie a 12 Volt in casa si possono utilizzare appositi alimentatori che debbono poter erogare adeguati valori di Ampere (solitamente 10-30 A o più).

I caricabatterie in funzione non debbono essere lasciati vicino a oggetti infiammabili, fonti di calore, alla portata dei bambini, in luoghi umidi o all'aperto sotto pioggia o sole e possibilmente non lasciati incustoditi e **mai caricare le batterie in automobile sia in marcia che ferma** ,

9 – LE ELICHE

Tratteremo le eliche solamente in relazione al loro montaggio sui nostri aeromodelli in quanto la teoria delle eliche essendo ampia è trattata da testi dedicati.

Innanzitutto dovranno essere utilizzate esclusivamente eliche per volo elettrico e in base alla dimensione del motore (quindi del modello) possono essere Slow-Fly o Elettrico standard.

Per gli alianti a propulsione elettrica vengono utilizzate eliche con pale ripiegabili che una volta spento il motore si collocano lungo la fusoliera riducendo la resistenza aerodinamica.



Per ogni tipo di elica non dovranno mai essere superati i giri previsti dal produttore! Quindi attenzione al valore Kv del motore e al voltaggio delle batterie.

Non utilizzate eliche danneggiate, con piccole crepe o con parti anche se piccole mancanti e per l'autocostruzionelasciatelo fare ai professionisti.

Inoltre l'elica va **bilanciata** meticolosamente con gli appositi bilancia eliche per aeromodelli attaccando dei piccoli pezzetti di un sottile nastro adesivo sulla pala più leggera.



Le eliche sono solitamente realizzate in materiale plastico rinforzato in fibra di vetro o carbonio e possono presentare un bordo di entrata potenzialmente tagliente quindi è preferibile levigare leggermente tale bordo (se lo sentite troppo affilato) con della carta smerigliata bagnabile con acqua di grana 1000 o 1500 .

Il bordo **non va assolutamente arrotondato** va “stemperato” solamente il profilo tagliente e va fatto non a secco ma bagnando con acqua.

Consiglio di fissare l'elica sul mozzo porta elica con attenzione utilizzando la chiave della misura giusta (non le pinze!) serrando bene il dado senza arrivare a danneggiare la filettatura e utilizzando qualche goccia di frena filetti per modellismo.

In caso di montaggio di un ogiva dovrà permettere un agevole passaggio della radice delle pale dell'elica e la filettatura dell'albero dovrà essere sufficientemente lunga per permettere un buon serraggio.

Richiamo quanto già detto riguardo i giri del motore: la velocità statica del flusso dell' aria generato dall'elica dovrà essere sempre superiore alla velocità di stallo dell'aeromodello.

Ogni operazione sul motore e sull'elica dovrà essere fatta con la ricevente radio spenta e con tutte le batterie di bordo scollegate

10 – GLI STRUMENTI DI MISURA

Gli strumenti di misura utilizzati principalmente sono :

- Il multimetro o tester per misurare i valori di resistenza, amperaggio, voltaggio.
- non è possibile approfondire in questa sede il funzionamento del multimetro, aggiungo solo che nel nostro caso viene utilizzato per misurazioni di tensioni e correnti (solitamente fino massimo 10 A) nonché verificare la “continuità” elettrica di un conduttore (interruttore, connettore ecc).
- La pinza amperometrica per misurare alti valori di amperaggio senza scollegare i conduttori
- Il contagiri per controllare il numero di giri dell'elica,
- Il termometro digitale ad infrarossi per misurare la temperatura dei nostri componenti (batteria, regolatore , motore)
- Misuratori multifunzione digitali
- Bilancia dinamometrica da banco (per la prova di trazione/assorbimenti dei motori/eliche)

Ogni misurazione che implichi l'accostarsi al motore in movimento dovrà ovviamente essere effettuata con estrema cautela ed attenzione avendo cura, inoltre, di non far interferire eventuali cavi degli strumenti con l'elica .

11 – SICUREZZA

Nei precedenti punti sono stati forniti diversi consigli sulla sicurezza ma molto altro andrebbe detto sulla pratica dell'aeromodellismo in generale ma per questo è opportuno consultare con attenzione sul sito della FIAM – Federazione Italiana Aeromodellismo la **Guida Sicurezza Volo degli Aeromodelli Radiocomandati** dove troverete molte altre indicazioni per far sì che la pratica dell' aeromodellismo radiocomandato sia sempre solo piacevole e divertente tenendo sempre presente che la “cultura aeromodellistica” non deve essere solamente tecnica ma anche ,soprattutto, comportamentale.