

# **Programma per la scelta dell'elica e motore elettrico per modelli dislocanti**

## **Scopo:**

Creare una procedura in foglio Excel che consenta di:

- scegliere un'elica ed un motore elettrico per modelli di scafi dislocanti tra quanto disponibile in commercio.
- assicurare al modello una velocità non superiore alla massima velocità in dislocamento, e soprattutto che questa avvenga ad una velocità del motore elettrico dove il rendimento sia massimo, al fine di minimizzare l'assorbimento di corrente e conseguentemente di prolungare il più possibile l'autonomia.
- Calcolare il punto di funzionamento del motore elettrico accoppiato con l'elica ed il riduttore attuali.

## **Ipotesi di lavoro:**

Il punto di partenza per il progetto del sistema di propulsione è la massima velocità raggiungibile in dislocamento. Inutile sovradimensionare l'apparato di un modello dislocante, il risultato non sarà realistico. Si suppone che questo dimensionamento sia valido anche per i sottomarini, mentre i sommergibili rientrano nella categoria degli scafi dislocanti. Infatti per i sottomarini la condizione più gravosa è l'immersione dinamica che necessita di notevole velocità per avere sufficiente carico idrodinamico sui timoni di profondità ed di immagazzinare sufficiente energia cinetica da vincere il momento in cui l'elica prossima alla superficie lavora in condizioni di aerazione. Sott'acqua dove non c'è resistenza d'onda il sistema di propulsione dimensionato per la superficie dovrebbe essere più che sufficiente. Inutile ricorrere a considerazioni di scala con navi vere, a parte la difficoltà di reperimento dati, secondo la mia esperienza il modello deve essere progettato come modello e non come riproduzione. (esempio un nostro socio aveva fatto la riproduzione perfettamente in scala del smg. Cagni (1935), con le eliche in scala su due assi non si muoveva neppure). Esistono altri tipi di approccio, ad esempio Norbert Bruggen (model submarine technology) calcola la massima coppia supportabile da un modello in immersione con considerazioni di stabilità, oppure ricorre alla costante dell'ammiraglio definita come

$$C_b = (D^{0.66} * V^3) / P_b$$

Dove:

D= dislocamento

V= velocità

P<sub>b</sub>= potenza installata

E fornisce poi una serie di costanti per vari tipi di scafo.

## **Caratteristiche del programma:**

Il programma dovrà essere di **semplice** utilizzo. La scelta avverrà inserendo in certi campi del foglio elettronico dei dati ottenibili dai cataloghi di eliche e motori, oppure da prove e/o misure relativamente semplici da fare su componenti di cui potrebbero non essere disponibili le caratteristiche. I campi dove inserire i dati saranno ridefinibili, mentre quelli riservati ai calcoli saranno interdetti alla scrittura. Il programma funzionerà per tentativi, cioè partendo dalle caratteristiche fisiche del modello, si introdurranno dei valori di tentativo sia dell'elica che del motore che verranno confrontati con i valori di progetto.

### **Dati di input:**

#### **Modello:**

Lunghezza al galleggiamento (mm)

Dislocamento (kg)

Velocità di rotazione indicativa dell'elica (RPM)

Tensione disponibile a bordo. (V)

#### **Elica: (tentativo)**

Diametro (mm)

Passo (mm)

#### **Motore elettrico: (tentativo)**

Velocità a vuoto (RPM)

Corrente a vuoto a tensione nominale (A)

Corrente a rotore bloccato a tensione nominale (A)

Tensione presente a bordo (V)

#### **Riduttore di giri: (tentativo)**

Rapporto di riduzione disponibile

### **Dati di output:**

Punto di funzionamento del motore

Potenza richiesta al motore (W)

Potenza fornita dal motore (W)

Confronto tra le due

## **Struttura della bozza di programma attuale:**

Input:

lunghezza e dislocamento modello

Output :

Calcolo della massima velocità in dislocamento (formula di Froude) coeff:  $1.32 \sqrt{L_{gall}}$

Calcolo del passo dell'elica teorico considerando uno scorrimento del 40%

calcolo del diametro dell'elica cons. un rapporto passo/diametro di 1,15 (coefficiente empirico)

Calcolo della potenza richiesta di tentativo:  $2 * \text{dislocamento}$  (formula empirica)

Calcolo della potenza installata cons. un rendimento medio sia del motore che della trasmissione

Input:

dati dell'elica disponibile, passo e diametro, il più possibile vicini a quelli teorici calcolati.

Output:

Calcolo della velocità di rotazione dell'elica considerando sempre uno scorrimento del 40%

Input:

Dati del motore elettrico

Output:

Calcolo della velocità di rotazione dell'elica, ovvero del riduttore, considerando una velocità del motore elettrico pari al 75% della velocità a vuoto, dove i motori elettrici per modelli hanno di solito il massimo rendimento.

Input:

dati del riduttore disponibile.

Output:

Curva di potenza fornita dal motore

Curva di potenza richiesta dall'elica

Punto di funzionamento

Confronto tra potenza richiesta e potenza disponibile

## **Commenti e completamenti**

Nel calcolo non si tiene conto della cavitazione, ma credo che alle velocità dei modelli il fenomeno sia trascurabile.

Lo scorrimento del 40% è un valore medio che ho preso da degli articoli su riviste inglesi (vedi bibliografia). Esiste una formula che lega lo scorrimento a dei parametri sul modello, ma tutto sommato penso che il 40% non sia molto lontano dalla realtà. Nel propeller handbook, Dave Gerr dà la relazione:  $slip = 1.4 / (\text{velocità limite})^{0.57}$  valida però per navi vere, nel nostro caso dà valori maggiori del 100%... .

Supponendo che le ipotesi siano accettabili, al programma mancano diversi passaggi sostanziali.

- Il calcolo della potenza necessaria per far avanzare la nave alla velocità in dislocamento è empirico ed il calcolo della potenza attuale, è affetto dalla stessa incertezza. Suppongo che sia corretto considerare che la potenza assorbita dall'elica vari con il cubo del rapporto dei giri dell'asse motore, ma se il valore iniziale è sbagliato lo è tutta la curva, compresa l'intersezione con la curva di potenza del motore. Sul web sono riportate delle formule che danno la potenza assorbita da eliche aeronautiche in funzione del passo, ma non per eliche marine.
- Nella scelta dell'elica si tiene conto solo del passo e del diametro ma non del numero di pale.

## Motore elettrico

La formula per calcolare la potenza in uscita del motore in cc è ottenuta sottraendo dalla potenza elettrica in ingresso le perdite, e cioè:

Pot ingresso:  $V * I_{abs}$  (corrente per tensione)

Perdita per effetto ohmico :

$$L_1 = R_{cc} * (I_{abs})^2 \quad \begin{array}{l} R_{cc} = \text{resistenza di armatura} = \text{tensione} / \text{corrente a rotore bloccato} \\ I_{abs} = \text{corrente assorbita} \end{array}$$

Perdite meccaniche e magnetiche

$$L_2 = V * I_0 \quad \begin{array}{l} V = \text{tensione applicata} \\ I_0 = \text{corrente a vuoto} \end{array}$$

$$P_{out} = P_{in} - L_1 - L_2$$

$$\text{Eta (rendimento)} = P_{out} / (V * I_{abs})$$

La corrente assorbita in funzione del numero dei giri del motore è una retta, la cui equazione può essere calcolata conoscendo le correnti a vuoto ed a rotore bloccato.

$$I_{ass} = N/N_0 * (I_0 - I_{cc}) + I_{cc}$$

**Nota:** nel programma non si tiene conto della caduta di tensione interna della batteria.

### ***Bibliografia :***

Dave Gerr Propeller Handbook (Adlard Coles Nautical London)

Norbert Bruggen Model Submarine Technology

Simon Higgins propellers in practice part 1,2 da Model Boats March/April 1990