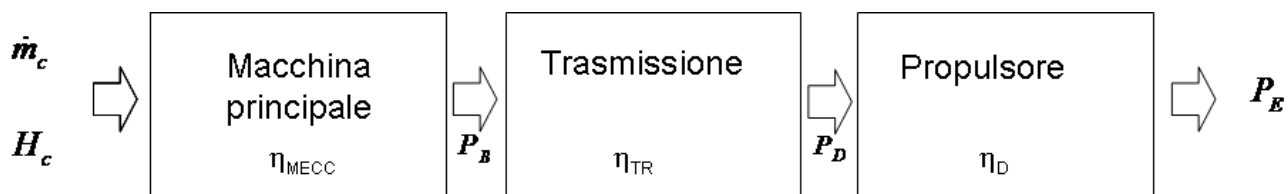
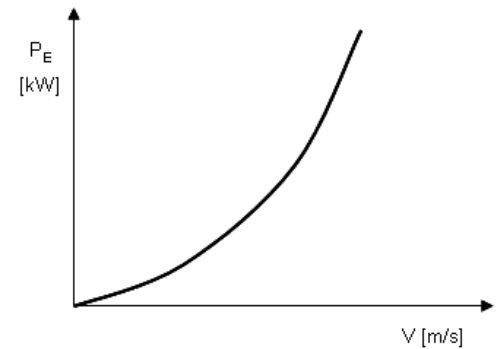
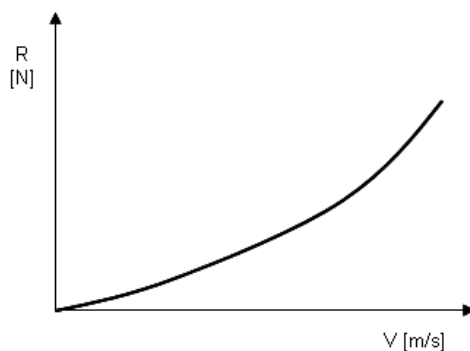


Il controllo della propulsione



$$P_E(v) = R(v)v$$





Il controllo della propulsione

versione: **1.1**

file originale: *Il controllo della propulsione 130518
ver 1_1*

data di stampa: **18/5/2013**

a cura di: *Franco Quaranta*

1 – potenza effettiva, al mozzo, rendimento globale di propulsione

Nel campo della propulsione navale, vengono definiti i seguenti parametri:

potenza effettiva (effective power)	P_E	potenza da fornire alla nave per generare l'avanzamento della nave ad una data velocità v_a
potenza al mozzo (delivered power)	P_D	potenza da fornire all'elica e che questa trasferirà alla nave sotto forma di potenza effettiva
rendimento globale di propulsione	η_D	rapporto tra la potenza effettiva e quella fornita al mozzo

In condizioni stazionarie, la resistenza al moto R incontrata da una nave durante l'avanzamento alla velocità v_a è pari alla spinta T che l'elica fornisce allo scafo proprio per vincere la resistenza. Quindi

in condizioni stazionarie: $R = T$

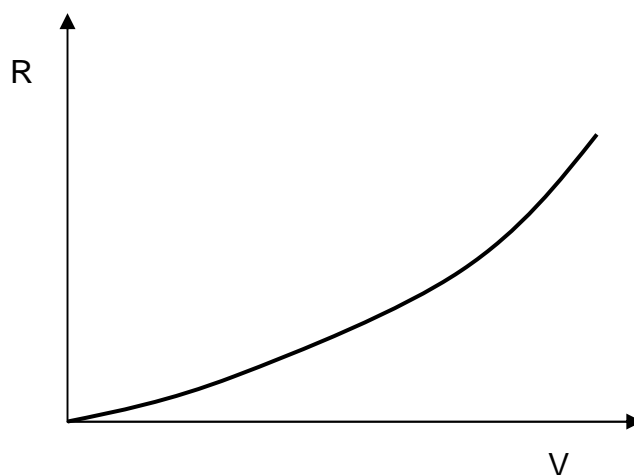
Moltiplicando entrambi i membri dell'equazione precedente per la velocità d'avanzo v_a e ricordando la definizione di potenza effettiva si ha:

$$P_E = R v_a = T v_a$$

ricordando la definizione di rendimento globale di propulsione, si ha:

$$P_D = \frac{P_E}{\eta_D} = \frac{R v_a}{\eta_D} = \frac{T v_a}{\eta_D}$$

Per navi dislocanti¹ l'andamento della resistenza al moto in funzione della velocità d'avanzamento è descrivibile piuttosto bene con una dipendenza quadratica ($R = k v_a^2$):



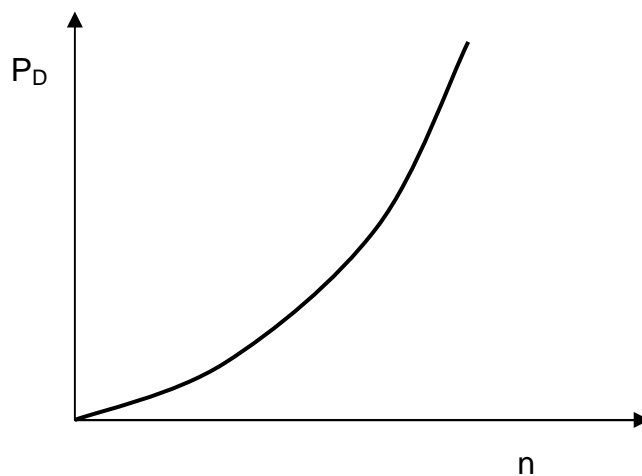
¹ In generale, si definisce “dislocante” una nave che, alla velocità d'esercizio, è sostenuta in maniera nettamente prevalente dalle forze di natura idrostatica. Per convenzione, si adotta questa denominazione quando le forze di tipo idrodinamico (pur esistenti trattandosi di moto relativo tra fluido e corpo solido in possesso di velocità relativa rispetto ad esso) non superano il 5% del totale delle forze verticali che garantiscono il sostentamento della nave.

E, ricordando la relazione tra resistenza al moto e potenza effettiva, si conclude che, per navi il cui profilo di moto sia quello descritto, l'andamento della potenza effettiva rispetto alla velocità d'avanzo è all'incirca di tipo cubico ($P_E = k v_a^3$).

Assumendo per vere le seguenti posizioni (sostanzialmente confermate, peraltro, dalla pratica sperimentale):

- il rendimento globale di propulsione non varia in maniera significativa rispetto alla velocità della nave (almeno per valori di quest'ultima non troppo lontani da quella d'esercizio);
- la velocità d'avanzo varia in maniera proporzionale al numero di giri dell'elica².

Con queste premesse, la relazione cubica esistente tra potenza effettiva e velocità di avanzo può essere correttamente estesa alla dipendenza della potenza al mozzo dal numero di giri dell'elica: $P_D = k n^3$



È bene osservare che quest'ultima relazione esprime il punto di vista dell'impiantista navale quanto la precedente lo fa per l'architetto navale: difatti quest'ultimo studia e permette di conoscere la dipendenza della potenza resistente durante l'avanzamento dalla velocità mentre chi deve provvedere alla scelta, dimensionamento e sistemazione dell'impianto di propulsione deve garantire al mozzo dell'elica una potenza adeguata al numero di giri previsto per essa al suo regime nominale.

2 – il controllo della potenza

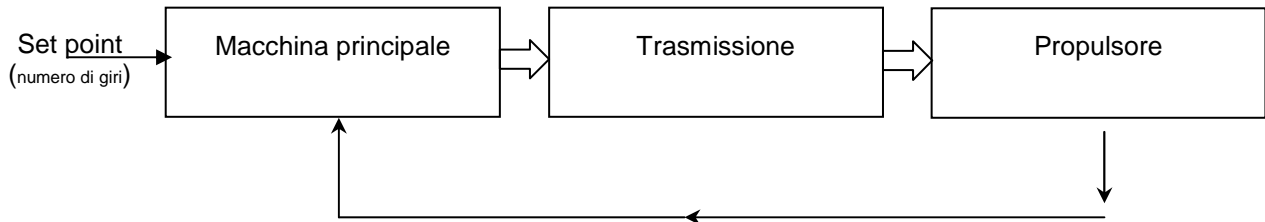
Come avviene in ogni sistema di propulsione, per i sistemi di propulsione navale è desiderabile decidere in maniera continuativa le condizioni di conduzione in funzione il che significa regolare l'erogazione della potenza di propulsione in funzione delle condizioni di navigazione che si vogliono realizzare (in primis: velocità d'avanzamento).

Solitamente, tale regolazione è resa possibile dall'utilizzo di un *regolatore di giri* posto a governo del motore principale (o dei motori principali) cui impone il regime di rotazione pari proprio al valore impostato dall'operatore, comunemente denominato *set point*.

² Se l'elica si comportasse come una vite che avanza nella sua filettatura, la proporzionalità tra velocità d'avanzo e numero di giri sarebbe verificata in modo esatto; nel caso dell'elica reale si presentano fenomeni che distorcono l'evoluzione del propulsore nell'acqua del modello ideale proporzionale (si pensi alle componenti tangenziali che la velocità dell'acqua spinta dall'elica certamente assumerà e che è difficile pensare dipendenti in maniera strettamente lineare dal numero di giri).

La pratica sperimentale, tuttavia, conferma una sostanziale linearità tra i due parametri.

Il regolatore di giri funziona misurando in continuo il numero di giri del motore controllato e regolando la posizione dell'asta a cremagliera (o, comunque, dell'organo di alimentazione del combustibile) in modo da tentare di tenere il numero di giri del motore al valore impostato. Lo schema di lavoro del regolatore può essere rappresentato nel modo seguente:



Una volta impostato il set point in termini di numero di giri che il regolatore dovrà mantenere indipendentemente dal carico esterno, la macchina erogherà potenza al propulsore e la nave avanzerà. In condizioni di equilibrio (velocità d'avanzamento costante) il regolatore non interverrà sul comando dell'alimentazione e l'avanzamento procederà in maniera uniforme. Se si manifestano cause esterne alla nave che variano la resistenza al moto, la nave, a causa dello squilibrio tra spinta e resistenza subirà una variazione di velocità (in aumento se la resistenza al moto dovesse diminuire, in diminuzione nel caso opposto); tale variazione di velocità si rifletterà in una variazione di numero di giri del motore principale e causerà una reazione del regolatore nel senso di tentare il ripristino delle condizioni di moto precedenti. Se si era avuta una diminuzione di velocità (segno di aumentata resistenza al moto) ed una conseguente diminuzione del regime di rotazione del motore, il regolatore aprirà in modo che l'aumento di portata di combustibile al motore permetta una riaccelerazione ed il recupero della velocità di rotazione precedente.

Va osservato che, una volta stabilito il set point (che definisce indirettamente la velocità desiderata per la nave), l'erogazione di potenza è definita dalle condizioni di navigazione attraverso la potenza resistente incontrata dalla nave, per superare la quale il motore dovrà erogare altrettanta potenza motrice. Guardando allo schema esemplificativo della propulsione, si può concludere che il flusso di energia è diretto dal motore al propulsore mentre dal propulsore arriva un vero e proprio segnale di feedback che impone alla macchina l'adeguamento alle condizioni desiderate di propulsione (in pratica: il mantenimento del numero di giri stabilito). Il vero e proprio controllo della propulsione, quindi è operato dal propulsore che impone al motore principale l'erogazione della potenza necessaria all'avanzamento alla velocità scelta attraverso l'impostazione del set point.

3 – dinamica della propulsione e dominio di funzionamento della macchina

In termini generali, l'equazione del moto della nave deve essere scritta come:

$$M \frac{dv}{dt} = S - R(v)$$

dove:

M = massa della nave

S = spinta fornita dal propulsore

R = resistenza della nave

v = velocità della nave

Questa espressione, ricavata applicando la seconda equazione della dinamica al sistema nave, mostra che la spinta che il motore principale deve fornire alla nave, per le considerazioni di equilibrio dinamico che sono alla base della seconda equazione, deve “adeguarsi” alla resistenza al moto incontrata dalla carena durante il suo avanzamento nonché alla eventuale presenza di forze d’inerzia (esistenti soltanto nei transitori di accelerazione e decelerazione della nave).

In determinate condizioni della nave (dislocamento, stato carena, ecc.) ed ambientali (stato del vento, del mare, delle correnti, ecc.), la curva di resistenza in funzione della velocità di avanzamento è stabilita in modo definitivo nel senso che il funzionamento reale dell’apparato di propulsione dovrà necessariamente avvenire in uno dei punti della curva³. Ciò conferma che, il motore primo dovrà poter fornire la potenza richiesta (come visto, variabile in funzione delle condizioni descritte) al numero di giri impostato il che è possibile soltanto se esso a partità di numero di giri può fornire diversi livelli di potenza, da un valore minimo (idle) fino ad uno massimo che riflette la massima coppia fornibile dal motore a quel numero di giri.

D’altro canto occorre ricordare che ogni motore può erogare potenza in un campo ben preciso, generalmente limitato da condizioni di coppia massima e numero di giri massimo sostenibili; questa condizione è da ritenersi indispensabile perché il motore si adatti alle diverse condizioni di carico che possono presentarsi durante la navigazione oppure durante le sue varie fasi. Il progetto della propulsione è da ritenere corretto se tutte le condizioni prevedibili di funzionamento (quindi anche tutte le curve di funzionamento possibili in dipendenza delle condizioni della nave e dell’ambiente di navigazione) siano rappresentabili da punti (o curve) interamente ricompresi nel dominio di regolare funzionamento del motore.

³ Una volta fissate le condizioni di navigazione, il punto di funzionamento reale dipenderà dalla velocità della nave ossia, in definitiva, dalla impostazione del set point sul regolatore di giri