

Studio di Ingegneria Navale e Meccanica

I POD DI PROPULSIONE



Studio di Ingegneria Navale e Meccanica
Via Corsica 9 / 8 E, 16128 GENOVA

Telephone / Fax: +39 0108602213
E-mail address: sinm@sinm.it

Introduzione

Nel corso del XX secolo, le conoscenze sull'idrodinamica sono progredite significativamente, apportando notevoli migliorie alle seguenti parti dello scafo:

- forma della carena;
- bulbo poppiero
- forme di poppa
- trim wedge
- timoni
- braccetti

e:

- migliorando il rendimento dell'elica;
- diminuendone le pulsazioni indotte;
- migliorando l'efficacia delle pinne stabilizzatrici.

L'ultima decade del XX secolo ha testimoniato l'introduzione dei pod di propulsione.

I pod di propulsione

I pod di propulsione sono delle macchine a forma di gondola, appese sotto la poppa della nave, che combinano sia la funzione propulsiva sia la funzione di governo. La propulsione è realizzata tramite un'elica a passo fisso, in configurazione traente, spingente o tandem, mossa da un motore sincrono a corrente alternata installato all'interno del pod. La manovra è ottenuta tramite una macchina del timone, installata nello scafo, sopra al pod, capace di farlo ruotare di 360°.

Un pod di propulsione si compone di:

All'interno del pod:

- Elica a passo fisso;
- Motore sincrono a corrente alternata;
- Eccitatrice;
- Albero portaelica;
- Cuscinetti di supporto e reggispinta;
- Freno dell'albero portaelica;
- Tenuta dell'albero portaelica;
- Pompe di sentina;
- Sistema di monitoraggio e controllo

All'esterno del pod:

- Macchina del timone;
- Sistema di lubrificazione;
- Sistema di ventilazione e raffreddamento;

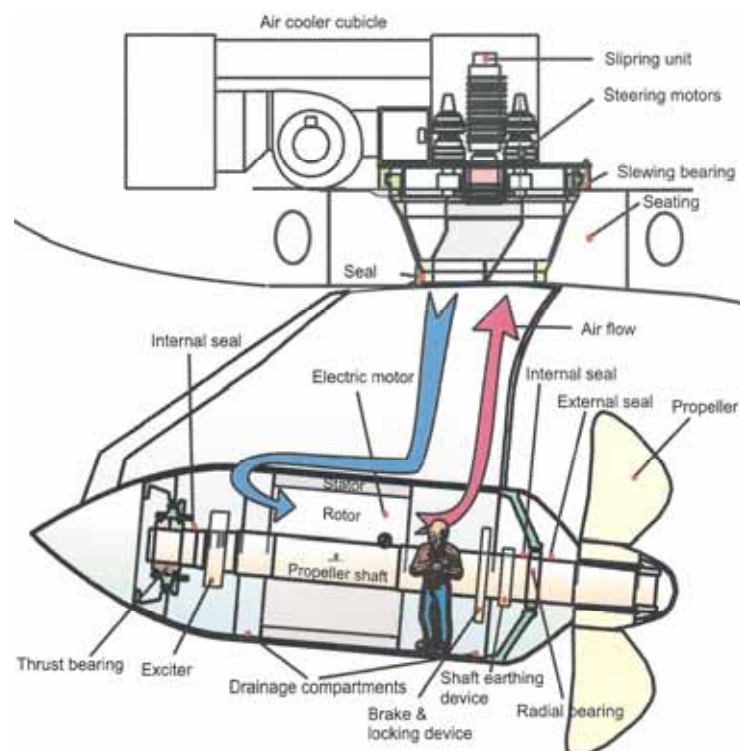


Fig. 1: Alstom – Rolls-Royce Mermaid, schema generale.

Vantaggi

I pod di propulsione sono accreditati dei seguenti vantaggi:

1. Semplificazione degli impianti e dell'automazione attraverso l'implementazione del concetto della "All Electric Ship;"
2. Ridotte emissioni di inquinanti nell'atmosfera;
3. Flessibilità nella disposizione dell'apparato motore;
4. Ridotto numero dei componenti (in particolare mancanza di riduttori);
5. Risparmio di combustibile, grazie alla buona efficienza idrodinamica;
6. Rumorosità e vibrazioni ridotte, grazie all'uniformità della scia all'elica;
7. Eccellenti caratteristiche manovriere, anche a bassa velocità e nelle operazioni di attracco (la capacità di manovra dei pod è assolutamente superiore a quella di eliche e timoni più propulsori trasversali poppieri);
8. Risparmio di spazi;
9. Riduzione della distanza di arresto in emergenza;
10. Logistica cantiere e costruzione semplificate.

Una più attenta lettura di quanto sopra fa rilevare che i punti da 1 a 4 sono tipici del concetto "All Electric Ship", e che possono essere ottenuti anche senza adottare i pod di propulsione; inoltre il punto 5 è ancora molto controverso: l'efficienza deve essere valutata caso per caso.

Si può pertanto concludere che solo gli ultimi cinque punti sono di reale importanza nella scelta dell'installazione di un pod di propulsione: non è quindi una sorpresa che, a tutt'oggi, essi abbiano come mercato predominante quello delle navi da crociera.

Svantaggi

I pod di propulsione presentano i seguenti svantaggi:

- Perdite di potenza a causa della propulsione elettrica;
- Alti costi di investimento;
- Limitazione della potenza all'elica (circa 30 MW contro 70 MW).

Si consideri infine che i pod di propulsione non possono essere impiegati su navi con motore Diesel a due tempi ed elica singola; per altro, di regola, per questa tipologia di unità, essi sono comunque da scartare a priori a causa della bassa efficienza propulsiva.

Avarie

I pod di propulsione non possono essere ancora considerati un prodotto ingegneristicamente maturo e affidabile. Innanzitutto, è bene ricordare che il primo pod di propulsione è stato installato sulla M/N Seili, da ABB, soltanto nel 1990, e con una limitata potenza pari a 1 MW, molto lontano da quella degli ultimi progetti da 30 MW.

Inoltre, nonostante il fatto che essi non siano un prodotto innovativo di per sè, ma siano piuttosto una combinazione innovativa di sistemi e componenti già da molto tempo usati sia nel settore industriale sia in quello navale, essi hanno sofferto di ripetute avarie:

- Avarie dell'impianto e del sistema elettrico;
- Avarie ai cuscinetti di supporto e reggispinta;
- Avarie alle tenute dell'albero portaelica;
- Contaminazione dell'olio lubrificante (sia da particolato, sia da acqua).

Le avarie di tipo elettrico sono state causate da elevate temperature / hot spots degli avvolgimenti; temperature minori potrebbero essere raggiunte tramite basse correnti induttive (e.g. usando motori a magneti permanenti), dimensionando adeguatamente gli avvolgimenti ed i flussi di raffreddamento. Sono stati riscontrati anche problemi di isolamento elettrico. Lo studio di una tipica nave passeggeri "elettrica" evidenzia come i componenti più critici siano i commutatori elettronici dei convertitori, il cui MTBF è dell'ordine delle 30.000 / 40.000 ore.

Le avarie di cuscinetti di supporto e reggispinta sono state determinate da scelte discutibili in merito alla disposizione, al tipo ed alla taglia dei cuscinetti (esattamente come spesso accade nel caso dei riduttori). I carichi giroscopici e di precessione devono essere attentamente valutati nella fase iniziale del progetto. Devono essere calcolati l'incremento di temperatura dell'albero portaelica, quello del rotore e quello della struttura; inoltre, i cuscinetti devono permettere l'allungamento differenziale dell'albero portaelica dovuto al gradiente termico. Per esempio, il cuscinetto di supporto dei primi ABB Azipod, cuscinetto sferico a doppia corona di rulli, poteva muoversi assialmente solo grazie alla presenza di un gioco radiale, di progetto, tra l'anello esterno e la sua sede: come era logico immaginare questo tipo di installazione ha avuto gravi problemi di fretting. Attualmente ABB, così come tutti gli altri costruttori di pod di propulsione, utilizza cuscinetti di supporto SKF tipo CARB, che necessitano di gap radiale non tra anello esterno e sede ma tra pista e rulli: un'altra scelta discutibile. Anche la tipologia dell'insieme reggispinta non è sempre rappresentativa dello stato dell'arte: installare solamente due cuscinetti reggispinta in configurazione a X (faccia a faccia), senza alcun cuscinetto di supporto intermedio, è assai discutibile, a causa non solo dei più alti carichi agenti sul cuscinetto reggispinta soggetto a carico, ma anche della possibile divaricazione del cuscinetto reggispinta scarico. Il tutto, poi, è ulteriormente peggiorato dai fenomeni di precessione. Deve essere anche sottolineato che tutti i pod di propulsione, ad oggi, impiegano esclusivamente cuscinetti ad attrito volvente, che sono decisamente più critici, in quanto a vibrazione e lubrificazione,

rispetto ai cuscinetti ad attrito radente (che erano previsti nel primo brevetto di un pod di propulsione, datato 1955).

Le tenute dell'albero portaelica di un pod di propulsione non differiscono da quelle di un sistema di propulsione convenzionale, ma la presenza di spazi non accessibili, di componenti elettrici e di cuscinetti ad attrito volvente le rende elementi molto più critici. Le avarie occorse sono da mettere in relazione a fenomeni di precessione non correttamente valutati in fase di progetto e non sufficientemente supportati da cuscinetti e tenute. Le tenute pneumatiche di emergenza sono un sistema di sicurezza di estrema efficacia, la loro installazione andrebbe sempre richiesta.

Per quanto riguarda il sistema di lubrificazione il massimo impegno deve essere profuso per ottenere un olio lubrificante libero da contaminazioni di particolato e di acqua. Al giorno d'oggi i filtri automatici auto pulitori (i filtri a cartuccia dovrebbero essere sempre evitati nell'apparato di propulsione) arrivano fino a maglie di 10 μm , assoluti, garantendo un'ottima pulizia dell'olio lubrificante. La contaminazione da acqua, sia attraverso le tenute sia dovuta all'umidità contenuta nell'aria di raffreddamento, deve essere evitata tramite filtri coalescenti o tramite separatori. Il raggiungimento della qualità NAS 6 per l'olio lubrificante, come a volte raccomandato dai costruttori di pod, in concomitanza con l'installazione di filtri con maglie da 12 a 30 μm , è ben lontano dal poter essere ritenuto accettabile, come si può evincere dalla tabella sotto riportata, tratta da "NAS Document N° 1638 – Contamination Criteria."

NAS Document N° 1638, CLASS 6		
Dimensioni delle particelle [μm]	Particelle per litro	Note dell'autore
200	160	NON ACCETTABILE!
100	900	NON ACCETTABILE!
50	5.060	Criticabile
25	28.500	Accettabile
15	160.000	Accettabile

Il trovare all'interno del sistema di lubrificazione, dopo un corretto flushing, residui e particelle aventi dimensioni superiori a quelle della maglia del filtro è possibile solo se il sistema è mal progettato (e.g. non è prevista una lubrificazione forzata ma a bagno d'olio) o se all'interno dei filtri sono presenti delle fughe di dimensioni superiori alle maglie (ebbene sì, per quanto strano possa sembrare sul mercato sono presenti filtri con queste "caratteristiche"). Ispezionando gli schemi degli impianti di lubrificazione si può spesso constatare la presenza di valvole di by-pass; questa è, secondo la nostra opinione, una pessima e pericolosissima soluzione progettuale che ogni Armatore coscienzioso dovrebbe rifiutare (ma che tutti gli Istituti di Classifica accettano).

I fautori dei pod di propulsione potrebbero affermare che anche le installazioni convenzionali hanno sofferto per avarie, in particolare ai riduttori. Questo è vero. Ma ci sono delle notevoli differenze, come spiegato nel seguito.

Accessibilità

I sistemi di propulsione tradizionali e convenzionali sono conosciuti in tutto il mondo, in ogni porto è possibile provare personale addestrato ed eseguire riparazioni (temporanee se non definitive), raramente è necessario mettere in secco la nave per compierle.

In caso di unità dotate di pod di propulsione, lo scenario cambia radicalmente. A causa del fatto che, spesso, non è possibile eseguire riparazioni al pod dall'interno del pod, molte avarie obbligano la nave ad essere messa in secco, pertanto, in questa evenienza, si deve reperire un bacino di carenaggio disponibile nell'area in cui la nave sta operando, impresa di non sempre facile realizzazione.

A causa dello medesimo problema di accessibilità, mentre l'equipaggio può ispezionare quotidianamente l'apparato propulsivo di un sistema convenzionale, rendersi conto della condizione dei diversi componenti ed eventualmente manubarli, questo non è possibile per i pod di propulsione: nonostante la presenza di apparato di monitoraggio remoto, le avarie possono essere improvvisi, senza avvisaglie, inaspettate, e quindi molto onerose.

Inoltre molte riparazioni necessitano che l'insieme albero portaelica / rotore del motore elettrico venga sfilato: una procedura lunga e onerosa che deve essere eseguita da personale altamente qualificato, generalmente personale del produttore del pod, che deve essere appositamente inviato in situ, unitamente alle speciali attrezzature necessarie per compiere tale operazione.

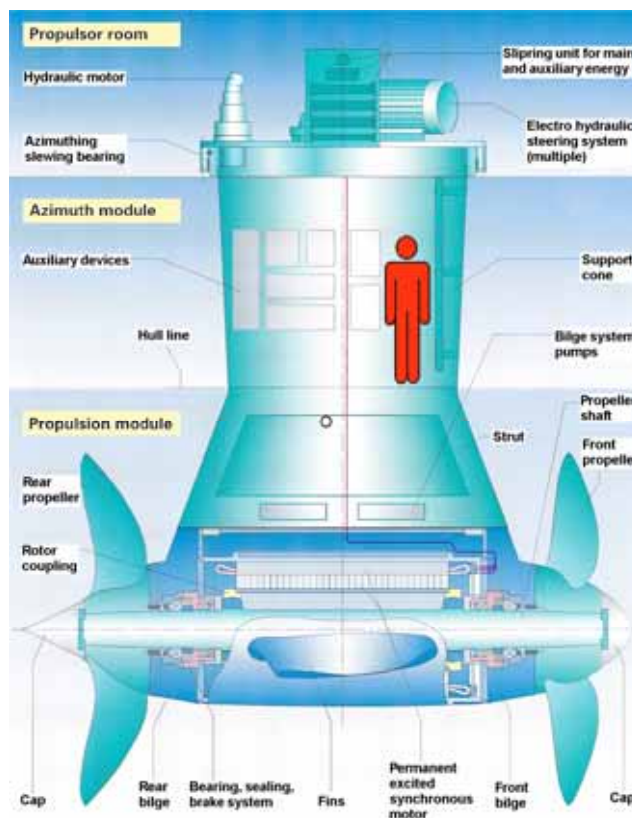


Fig. 2: Schottel – Siemens SSP, accessibilità.

I costruttori di pod stanno facendo sì che sempre più operazioni manutentive possano essere eseguite all'interno del pod, ma questa questione non è ancora risolta, e non lo sarà mai, potrà essere unicamente superata assicurando l'estrema affidabilità dei pod di propulsione e dei loro componenti.

Efficienza propulsiva

A tutt'oggi non è stato ancora provato con assoluta certezza che le navi equipaggiate con pod di propulsione abbiano efficienza propulsiva maggiore di quelle equipaggiate con linee alberi convenzionali. Svariate ricerche sono state svolte in passato, ma si sono focalizzate più verso aspetti particolari piuttosto che sul problema nel suo complesso. Tutti i confronti dovrebbero essere eseguiti tra configurazioni allo stato dell'arte, il che implica unità con identiche dimensioni principali ma, eventualmente, con differenti carene e differenti eliche.

Per una valutazione di massima si può applicare la seguente tabella, in cui le tipologie propulsive sono ordinate per efficienza decrescente.

Unità del tipo a singola elica			
Propulsione	Linea alberi	Eliche	Note
Meccanica	Convenzionale	1	
Elettrica	Pod	1+1, contro rotanti	Non ancora possibile
Elettrica	Convenzionale & Pod	1+1, contro rotanti	
Elettrica	Convenzionale	1	
Elettrica	Pod	1+1, tandem	Potenza limitata
Elettrica	Pod	1	Potenza limitata
Unità del tipo a doppia elica			
Propulsione	Linea alberi	Eliche	Note
Elettrica	Pod	2+2, contro rotanti	Non ancora possibile
Elettrica	Convenzionale & Pod	2+2, contro rotanti	
Meccanica	Convenzionale	2	
Elettrica	Pod	2+2, tandem	Potenza limitata
Elettrica	Pod	2	Potenza limitata
Elettrica	Convenzionale	2	

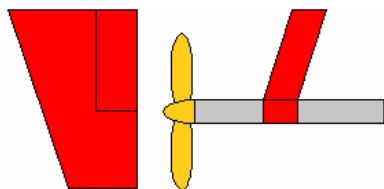


Fig. 3: Linea convenzionale.

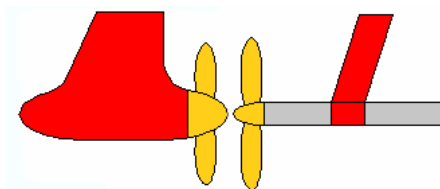


Fig. 4: Convenzionale + pod traente, contro rotanti.

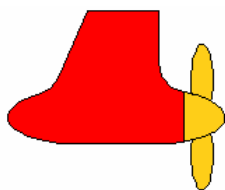


Fig. 5: Pod traente.

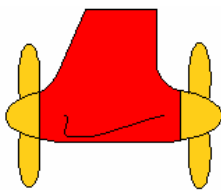


Fig. 6: Pod in tandem.

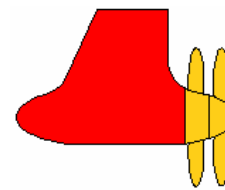


Fig. 7: Pod contro rotante.

Pod di propulsione disponibili

Quattro differenti pod di propulsione sono stati, fino ad oggi, installati (i pod di propulsione di potenza limitata non sono qui considerati)

- ABB AZIPOD
- ROLLS-ROYCE – ALSTOM MERMAID
- SCHOTTEL – SIEMENS SSP
- STN – WARTSILA DOLPHIN

I pod ABB AZIPOD, ROLLS-ROYCE – ALSTOM MERMAID, e STN – WARTSILA DOLPHIN sono piuttosto simili, le differenze principali sono la disposizione dei cuscinetti e la filosofia di raffreddamento, si può osservare che il pod ABB AZIPOD adotta delle soluzioni più conservative. Infine è ad osservare che il pod STN – WARTSILA DOLPHIN, al momento, non è commercializzato.



Fig. 8: MERMAID



Fig. 9: DOLPHIN



Fig. 10: AZIPOD

Il pod SCHOTTEL – SIEMENS SSP ha alcune peculiarità che meritano attenzione:

- Il motore a magneti permanenti permette di impiegare una gondola sfinata e dispensa dall'uso dell'eccitatrice (fonte di molti problemi, nel passato);
- Non è presente un circuito aria di raffreddamento: tutto il calore generato dallo statore (il rotore a magneti permanenti non presenta effetto Joule) è asportato dall'acqua (acqua dolce internamente in corrispondenza della struttura, acqua mare esterna per la restante superficie della gondola)
- Il rotore è connesso all'albero portaelica attraverso due giunti a lamelle che permettono l'allungamento termico differenziale del rotore senza imporre allungamenti all'albero portaelica, evitando pertanto di caricare assialmente i cuscinetti;
- La disposizione dei cuscinetti (due supporti e due reggispinta) è decisamente interessante e dovrebbe rivelarsi adeguata;
- Le pinne, installate tra le due eliche, sono necessarie per recuperare parte del momento generato dalla prima elica, diminuendo le velocità tangenziali all'ingresso della seconda elica;
- La configurazione in tandem dovrebbe garantire una maggiore efficienza propulsiva.



Fig. 11: SSP.

Sviluppi futuri

Affinché i pod di propulsione incrementino la loro penetrazione del mercato al di là della ricca nicchia delle navi da crociera, sono necessari alcuni sviluppi; i più importanti sono anche i più naturali, sperimentati da ogni apparecchiatura:

1. incremento dell'affidabilità
2. incrementao dell'efficienza (rispetto alle configurazioni convenzionali)

Poco è da dire circa l'affidabilità: sta migliorando, nel prossimo futuro i pod di propulsione avranno affidabilità ottima.

Lo scenario relativo all'efficienza è meno preciso, a maggior ragione laddove si tenga presente le nuova generazione di timoni bulbati idrodinamicamente ottimizzati.

Le gondole possono essere ulteriormente migliorate, sia in dimensioni sia nella forma, queste ottimizzazioni dovrebbero portare a migliorare il raffreddamento del pod per effetto dell'interazione gondola / acqua mare.

L'impiego di eliche CLT ad alta efficienza e basse pulsazioni sulla volta di poppa garantirebbe riduzioni di potenza a parità di velocità.

Dovrà essere seriamente valutata la possibilità di installare eliche a passo variabile, attualmente un tabù per tutti i costruttori. Deve essere rimarcato che l'installazione di eliche a passo variabile permetterebbe manovre di emergenza più veloci e più sicure. Prendendo in considerazione un arresto in emergenza, le eliche a passo variabile potrebbe immediatamente iniziare a rallentare la nave, non essendoci alcun bisogno di fermare l'elica ed invertirne il senso di rotazione (mantenere in rotazione i sistema ruotandolo velocemente di 180° è fuori discussione a causa degli elevati carichi giroscopici). Inoltre, all'elevato momento di inerzia dell'albero, dell'elica e dell'acqua trascinata corrisponde un'elevata energia che, nel caso di elica a passo fisso, deve essere dissipata dal freno, ciò comporta una grande quantità di calore generata all'interno del pod e che deve essere efficacemente e rapidamente smaltita. Uno scenario certamente non ideale.

Differenti tipologie propulsive saranno studiate, i pod traenti sono lo standard attuale, le eliche in tandem sono state adottate, eliche contro rotanti su un unico pod stanno venendo studiate; la migliore soluzione, al momento, parrebbe un'elica convenzionale accoppiata ad un pod traente in configurazione contro rotante (Fig. 4.), l'elica convenzionale a passo variabile e l'elica su pod a passo fisso, od entrambe a passo variabile. L'ottimizzazione delle configurazioni rappresenterebbe un interessante studio per i progettisti di eliche.

Conclusioni

I pod di propulsione sono un sistema decisamente interessante e promettente; il primo costruttore in grado di realizzare un pod di propulsione estremamente affidabile riscuoterà un grosso successo nel mercato dello shipping, e non solo nella nicchia delle navi da crociera. Per arrivare a questo le passate avarie dovrebbe essere attentamente esaminate e le relative azioni correttive, in termine di revisioni progettuali, intraprese.

Il presente stato dell'arte permette già oggi la progettazione e la costruzione di un pod di propulsione estremamente affidabile e privo di avarie ricorrenti.

Nell'attesa che questo pod venga realizzato, i vantaggi dei pod di propulsione non possono essere accettati con leggerezza: un Armatore, prima di scegliere un pod di propulsione dovrebbe sempre contattare i suoi consulenti per vagliare vantaggi e svantaggi dei diversi pod di propulsione, l'uno contro l'altro ed in confronto ad altre configurazioni propulsive.

Vi invitiamo a contattarci per maggiori dettagli

SINM

Studio di Ingegneria Navale e Meccanica

Via Corsica 9/8E 16128 Genova

Telefono / fax 010 8602213

sinm@sinm.it / www.sinm.it