



FUNZIONAMENTO IDRODINAMICO ED “EFFETTI COLLATERALI”

IL BOW THRUSTER

di Andrea Mancini

Utile ausilio alla manovra, imprescindibile su barche di una certa stazza, il bow thruster viene spesso collocato in maniera approssimativa o addirittura impropria, tanto da ridurre, e di parecchio, la sua efficienza. Questo articolo svela i “segreti” per una corretta installazione.

Con un’elica direzionale di prua e/o di poppa, elica di manovra o bow thruster che dir si voglia, premendo un semplice bottone o agendo su un joystick, possiamo spostare lateralmente la prua o la poppa della nostra imbarcazione e consentire agli movimenti anche negli spazi più angusti. Ecco allora che su ogni barca al di sopra di certe dimensioni è ormai consuetudine installare un’elica direzionale a prua e talvolta anche a poppa. È infatti una grande comodità poter controllare con estrema semplicità e con il minimo sforzo, la propria barca anche durante le manovre più difficoltose in porto o in acque ristrette, oppure in condizioni difficili, come in presenza di venti e correnti forti, ma è anche un elemento di sicurezza che ci permette un attracco o una manovra più facile e tranquilla e quindi anche più sicura. Come tutte le cose anche l’installazione dell’insieme elica direzionale/tunnel deve essere fatta con cognizione di causa, sapendo anche che si va a modificare un corpo, la carena, concepito e disegnato per muoversi nell’acqua, un fluido 1.000 volte più denso dell’aria. Spesso si vedono invece installazioni fantasiose, specie per quel che riguarda il raccordo e l’avviamento del foro con la carena, derivate dalla convinzione che tanto si

tratti solo di un “buco”! Ma è un “buco” che sta sott’acqua e per di più su un oggetto che si muove! Se fatto male, il buco può costare caro sia sull’efficienza dell’elica direzionale stessa sia sull’efficienza complessiva dell’imbarcazione in termini di aumento di resistenza e, quindi, di aumento dei consumi, di rumore e vibrazioni indotte. Esaminiamo allora alcuni di questi aspetti idrodinamici legati all’elica direzionale di prua - la tipologia di propulsore direzionale più diffusa - o meglio al suo alloggiamento. L’elica, infatti, che sia a pale fisse o a passo variabile, o che si tratti di eliche controrotanti (le varie tipologie di propulsori, diversi dalla semplice elica singola a pale fisse, hanno generalmente migliori rendimenti a fronte di costi maggiori di acquisto e di gestione: diffidate però delle promesse di mirabolanti rendimenti), alloggia in un tubo che deve possedere, oltre ad ovvie caratteristiche di resistenza strutturale e di tenuta stagna, anche alcune precise caratteristiche idrodinamiche rispetto allo scafo stesso.

POSIZIONE LONGITUDINALE

Per avere una maggiore efficacia sulle capacità di manovra dell’imbarcazione, l’elica direzionale deve essere posizionata più a prua possibile.

Infatti l’aumentare del braccio di leva rispetto al centro di rotazione, posto approssimativamente a poppa, fa aumentare proporzionalmente la coppia che permette all’imbarcazione di ruotare. Un semplice esempio è riportato nel box della pagina a fianco.

Ma la posizione più a prua possibile ha anche una sua controindicazione: quando l’imbarcazione avanza a bassa velocità si verifica una perdita di efficienza dell’elica direzionale, perdita maggiore rispetto a quella di un’elica posta più a poppa. Da prove su modelli si è visto infatti che l’effetto del propulsore di prua si riduce alla metà già a 2 nodi. Con velocità tra 1 e 2 nodi si può arrivare a perdite di efficienza anche del 40%. Spostando più a poppa il tunnel dell’elica direzionale quest’effetto si riduce e il propulsore conserva una maggiore efficienza anche quando l’imbarcazione è in movimento. Ovviamente questi dati hanno un’importanza relativa perché, mentre con barca ferma il timone non funziona (in realtà funziona passivamente come deviatore del flusso prodotto dall’elica), all’aumentare della velocità il timone dell’imbarcazione inizia a funzionare idrodinamicamente e meglio: si ha quindi meno necessità della spinta laterale prodotta dall’elica direzionale. Ma in alcuni

casi, specie per motoscafi che hanno timoni di dimensioni molto contenute (questo per non avere enormi resistenze aggiuntive alle alte velocità) e quindi praticamente inutili a velocità molto basse, queste informazioni possono essere vantaggiose per trovare il giusto compromesso tra massima leva (propulsore più a prua possibile) e la minor perdita di efficienza del propulsore stesso indotta dalla velocità.

IMMERSIONE

La regola è semplice: l'elica direzionale deve lavorare, e quindi essere installata, alla massima profondità possibile. Questo per due motivi:

1. in modo che non venga aspirata aria dalla superficie, fenomeno che causa un forte decadimento della spinta prodotta dall'elica (l'elica si trova a spingere non più acqua ma un mix di aria/acqua). 2. per avere un battente d'acqua che garantisca una pressione suffi-

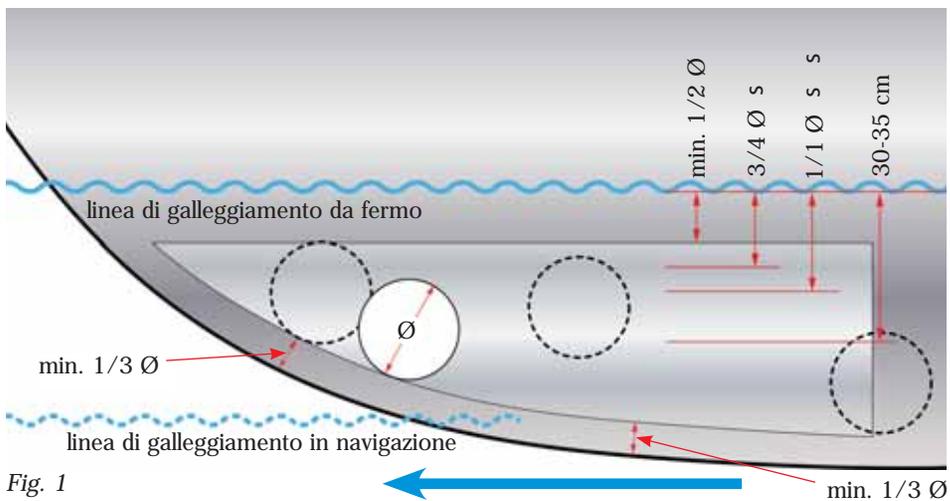


Fig. 1

ciente a evitare fenomeni di cavitazione e, di conseguenza, un decadimento dell'efficienza dell'elica.

Per andare al pratico, i produttori di bow thruster consigliano di installare l'elica direzionale in modo che la parte superiore del tunnel si trovi a una distanza pari almeno ai 3/4 del diametro del tunnel stesso, al disotto del gal-

leggiamento (Figura 1) o, comunque, non inferiore a un piede (circa 30 centimetri). Ricordo che questo è un valore minimo orientativo ed è sempre meglio che il propulsore sia ancora più immerso. Specificatamente per gli scafi plananti è bene che il tunnel sia posizionato in modo da trovarsi fuori dall'acqua, al disopra della linea di galleggiamento, quando l'imbar-

COME DIMENSIONARE LA SPINTA DEL BOW THRUSTER

Il bow thruster viene scelto in funzione della spinta laterale che deve fornire. Tale spinta viene individuata sulla base dei seguenti parametri:

- Superficie laterale esposta al vento dell'imbarcazione, cioè tutto ciò che si trova al disopra della linea di galleggiamento su cui il vento esercita la sua pressione. La condizione peggiore la troviamo quando il vento soffia perpendicolarmente a questa superficie. Ai fini pratici la superficie esposta viene ridotta di un 20-25% per tener conto del fatto che le superfici laterali (sovrastutture, murate) non sono completamente piane ma, in alcune parti, presentano delle curvature che aiutano il deflusso del vento e, di conseguenza, ne fanno diminuire la pressione esercitata.

- Posizione del Bow Thruster. Determina la leva con la quale agisce la forza di spinta del Bow Thruster. Tenendo ben presente gli accorgimenti descritti nell'articolo, più il bow thruster viene posizionato verso prua e più aumenta, a parità di spinta fornita, il momento torcente e quindi la capacità di ruotare - cioè di manovrare - dell'imbarcazione.

- Condizioni di vento stimate. È ben nota a tutti la catalogazione della velocità del vento secondo la cosiddetta scala Beaufort. In base a tale scala, a ogni condizione - denominata brezza, vento, etc. - corrisponde una velocità del vento e una descrizione degli effetti provocati. Ovviamente, sarà necessario scegliere una condizione limite oltre la quale il bow thruster da solo non riuscirà a far compiere alla barca la manovra prevista, ma sarà comunque di ausilio alla manovra eseguita con altri mezzi. Ad esempio, a un vento forza 5 (vento teso) corrisponde una velocità compresa tra 8 e 10,7 m/s. Da questo range indicativo di velocità, applicando la formula

$$p = 1/2 \rho v^2$$

dove v è la velocità e ρ è la densità standard dell'aria, pari a 1,23 kg_m/m³, possiamo ricavare anche il corrispondente range di pressione specifica che risulterà compresa tra 41 e 74 N/m².

Facciamo ora un esempio pratico seguendo la figura: supponiamo di avere un'imbarcazione lunga 10 metri con una superficie laterale esposta al vento di 12 m². Vogliamo installare un bow thruster che metta in grado l'imbarcazione di essere facilmente manovrata con vento forza 5.

Per prima cosa calcoliamo il momento torcente necessario:

$$M_T = F_v \cdot S_L \cdot A \cdot 0,8$$

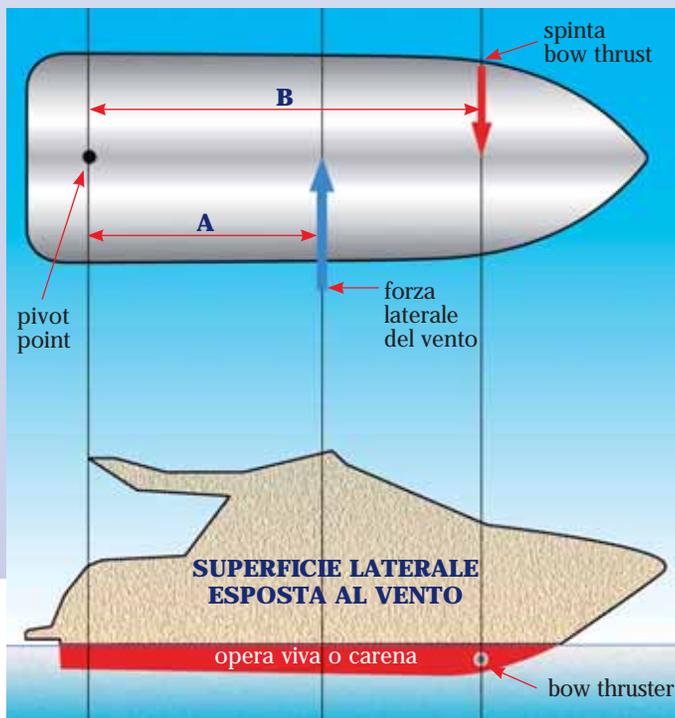
Dove

F_v = forza stimata del vento scelta pari a 60 N/m²

S_L = superficie laterale esposta pari a 12 m²

A = distanza tra il centro di pressione del vento e il punto di rotazione stimato "Pivot Point" (praticamente l'estrema poppa della barca). Questa distanza è approssimativamente metà lunghezza barca (5 metri).

0,8 = coefficiente di riduzione della pressione del vento per superfici non piane.



Mettendo i valori nella formula otteniamo:

$$M_T = 60 \cdot 12 \cdot 5 \cdot 0,8 = 2.880 \text{ N/m}^2$$

Per calcolare la spinta che deve fornire il bow thruster a questo punto basta dividere il momento torcente ottenuto M_T con il braccio di leva del Bow Thruster, cioè la distanza B tra il bow thruster e il punto di rotazione della barca, distanza che si suppone sia di 9 metri.

Di conseguenza si ottiene:

$$\text{SPINTA} = M_T / B = 2.880 / 9 = 320 \text{ N (33 Kgf)}$$

Sceglieremo quindi un bow thruster che mi fornisca una

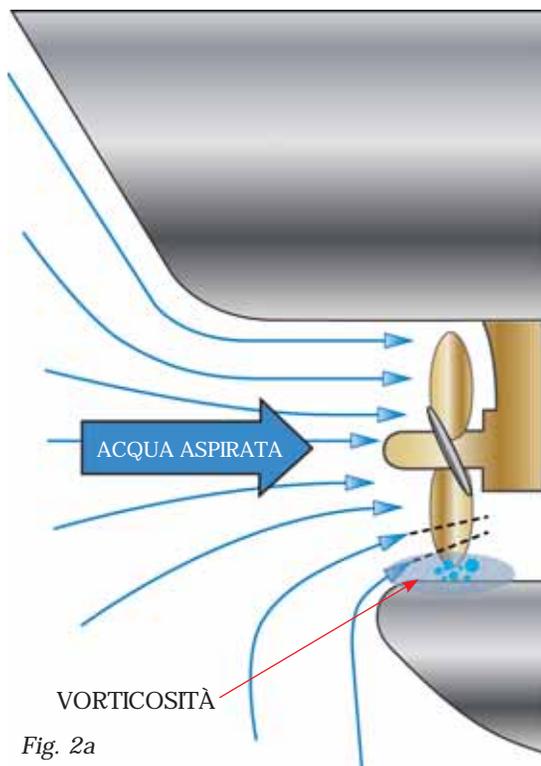


Fig. 2a

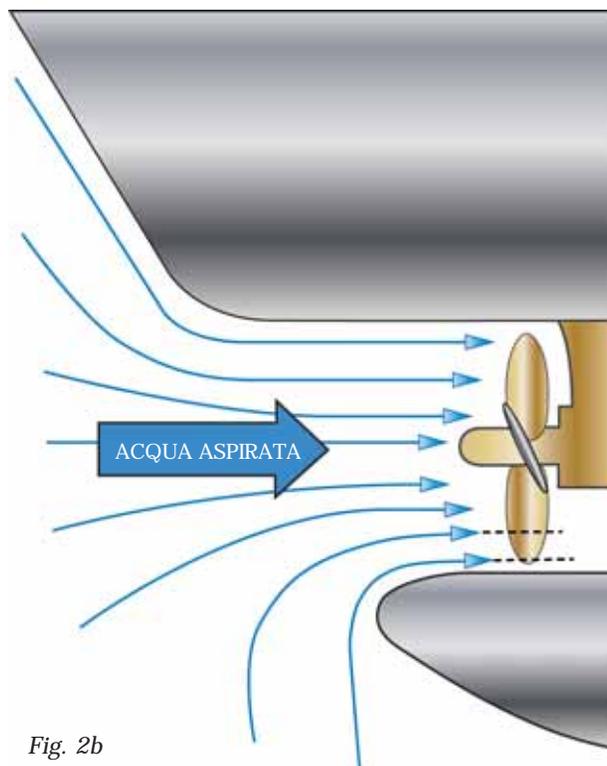


Fig. 2b

installazione del propulsore (Figura 2b).

RACCORDO TUBO-SCAFO

Per avere la massima efficienza del propulsore e ridurre al minimo la rumorosità è molto importante realizzare un raccordo tra il tunnel e lo scafo avente un raggio non inferiore al 10% del diametro. Se non si adotta questo accorgimento lo spigolo vivo tra tunnel e scafo provoca turbolenza e cavitazione sulle pareti del tunnel quando l'acqua aspirata entra ad alta velocità. Questi fenomeni riducono il diametro efficace,

cazione è in navigazione.

LUNGHEZZA DEL TUNNEL

Nel posizionare l'elica direzionale di prua non basta trovare il compromesso tra la posizione longitudinale (generalmente più a prua possibile con le accortezze a cui abbiamo accennato prima) e l'immersione. È necessario tener conto di un terzo fattore: la lunghezza minima del tunnel trasversale in cui viene installata l'elica. Per avere questa lunghezza minima sarà allora necessario installare il propulsore in una zona di scafo sufficientemente larga trasversalmente, che probabilmente non si trova né all'estrema prua né sul fondo dello scafo. Infatti più ci spostiamo verso prua e verso il fondo dello scafo, più i volumi diventano esigui o, più precisamente, le sezioni trasversali si fanno più strette. La lunghezza ottimale del tunnel è compresa tra 2 e 4 volte il diametro del tunnel stesso. Lunghezze maggiori provocano una perdita di efficienza dovuta all'attrito dell'acqua che scorre sulle pareti, perdita comunque limitata fino a lunghezze del tunnel pari a 6-7 volte il diametro. Lunghezze inferiori, invece, provocano una sensibile perdita di efficienza perché l'elica, concepita per funzionare in un condotto idraulico con un flusso uniforme e parallelo all'asse di spinta, si trova di fatto a lavorare semi-intubata: la parte inferiore del tunnel, di dimensioni molto ridotte, non consente di mantenere un

flusso uniforme e parallelo come nella parte superiore. Di conseguenza l'efficienza propulsiva dell'elica diminuisce significativamente a seguito della generazione di vorticosità e cavitazione (Figura 2a).

In definitiva, nel posizionare l'elica direzionale dobbiamo tener conto della sua posizione sui tre assi cartesiani: longitudinale, verticale (immersione), trasversale (larghezza scafo). Quindi, in fase di progetto/installazione, normalmente si definisce un'area di possibile

limitando la portata idraulica e la spinta erogata (Figure 3a e 3b). La stessa turbolenza e cavitazione può poi raggiungere e interessare l'elica, riducendone le prestazioni e generando rumore.

Inoltre, le estremità arrotondate e smussate del tunnel aiutano l'aspirazione e il deflusso dell'acqua nel condotto, acqua che viene aspirata anche dalle fiancate dello scafo, creando una larga zona in depressione che tende a

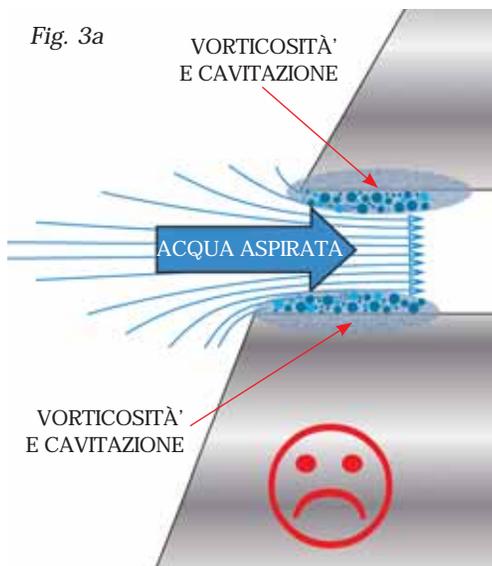


Fig. 3a

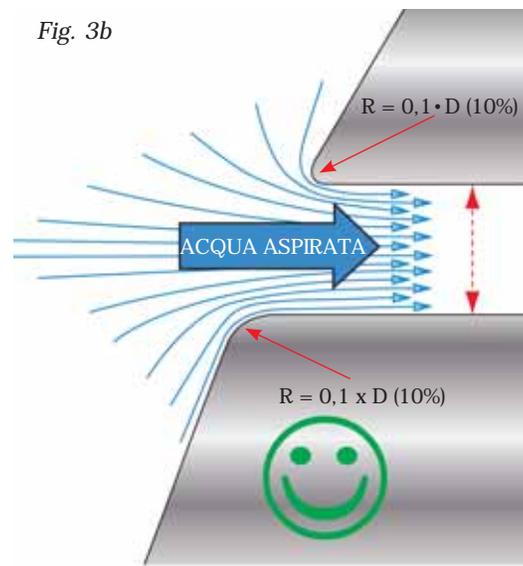
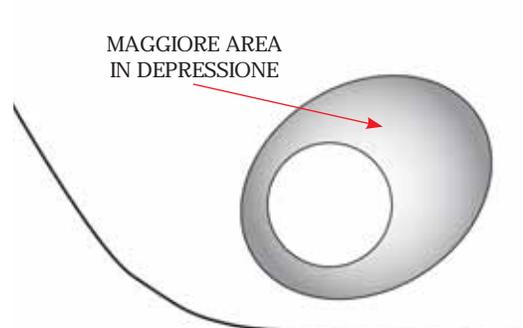
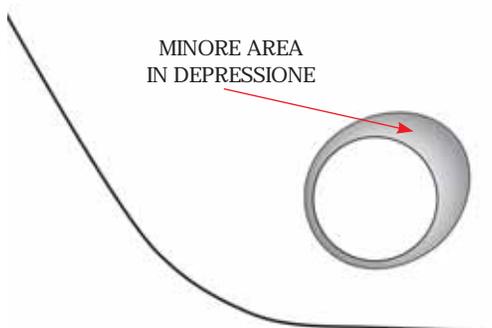
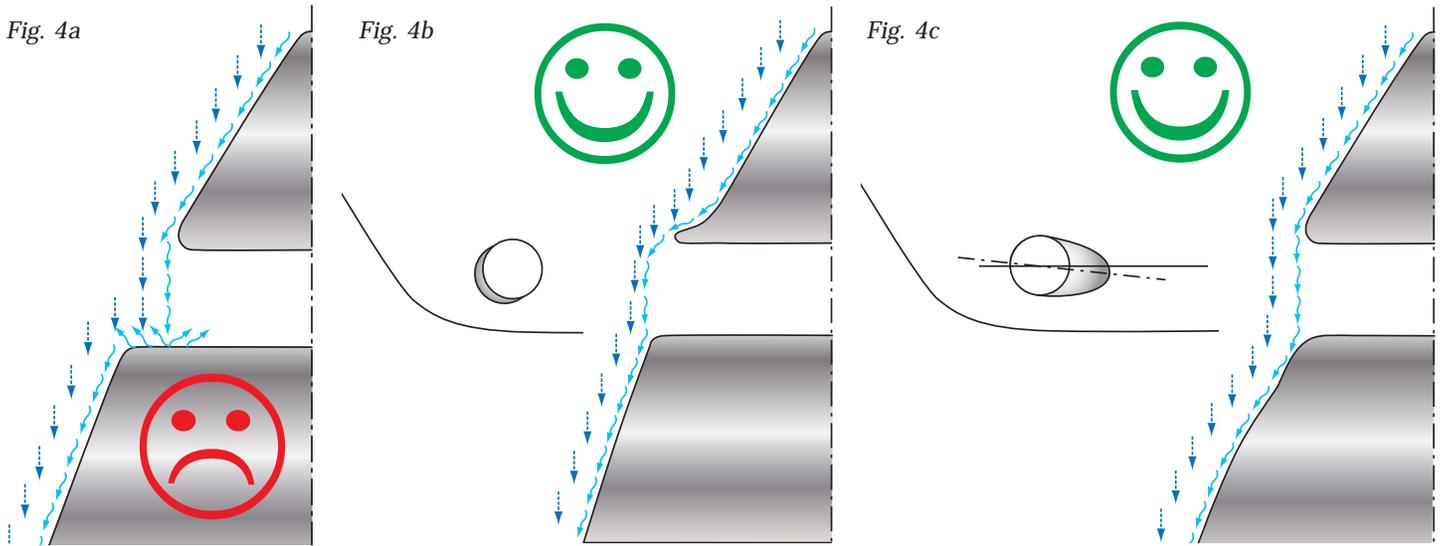


Fig. 3b





“risucchiare” lateralmente l’imbarcazione. Tale depressione, che è più estesa nel caso di raccordi “dolci”, si può considerare una spinta aggiuntiva: nel caso di installazioni ottimali tale spinta può raggiungere percentuali significative (oltre il 20%) del totale.

AVVIAMENTO DELLO SCAFO IN PROSSIMITÀ DEL FORO

Si tratta di un particolare tutto sommato piccolo rispetto all’intera barca, per molti insignificante (anche tra gli addetti ai lavori). In realtà è un dettaglio che ha una sua importanza e un suo peso per quel che riguarda la resistenza al moto dell’imbarcazione e nella generazione di rumore indotto (Figura 4a). Parliamo fondamentalmente di una modifica locale delle linee di carena che può essere attuata in due modi: costruendo un ringrosso a monte del tunnel (una sorta di “bozzo”) che, deviando verso l’esterno il flusso, funziona da deflettore; realizzando una depressione in corrispondenza delle pareti poppiere del tunnel per accogliere il flusso proveniente da prua. Quest’ultima soluzione è detta in gergo navale “unghiatura” proprio per la sua somiglianza all’unghia di una mano. In entrambi i casi lo scopo è quello di evitare che l’acqua che scorre sulla carena impatti sulle pareti poppiere del tunnel, agendo da freno e provocando un aumento di resistenza, oltre a vorticosità diffusa e quindi rumore (Figure 4b e 4c). Le due modalità sono entrambe valide ma la prima è più funzionale per gli scafi plananti, mentre la seconda è preferibile per gli scafi dislocanti.

Vediamo ora le due soluzioni in dettaglio.

- Avviamento a monte del tunnel dell’elica direzionale - Abbiamo detto che questa soluzione è più idonea per gli scafi plananti, cioè per quegli scafi che, per effetto del sostentamento idrodinamico di cui godono, emergono significativamente dall’acqua, soprattutto nella

zona di prua. Di conseguenza il tunnel dell’elica durante la navigazione si trova generalmente al disopra del galleggiamento, fuori dall’acqua. Allora l’avviamento deve avere due funzioni: la prima di deviare il flusso a basse velocità quando la prua e quindi il tunnel sono immersi, la seconda di deviare l’acqua che impatta con la prua durante la planata quando, ad esempio, siamo in presenza di onde, evitando che risalendo verso l’alto quest’acqua impatti sulle pareti interne del tunnel. Durante la planata questo flusso di acqua ha una direzione che è la combinazione della velocità della barca e del modo con cui questa impatta sull’onda. Ecco allora che questo ringrosso sarà realizzato in modo da deviare sia l’acqua proveniente da prua che quella proveniente dal basso (Foto 1). Realizzare questo ringrosso su tutta la circonferenza del tunnel (Foto 2) annulla, almeno in parte, l’effetto della parte bassa/prodiera del ringrosso. Parte dell’acqua deviata, infatti, impatterà comunque dalla parte opposta,

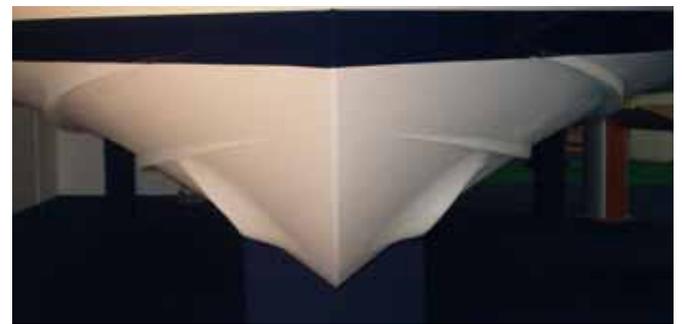


Foto 1 - “Ringrosso” a monte del tunnel che devia l’acqua proveniente da prua e dal basso.

Foto 2 - “Ringrosso” realizzato su tutta la circonferenza del tunnel: si annulla, almeno parzialmente, l’effetto della parte bassa/prodiera del ringrosso.



Foto 3 - Tunnel realizzato senza nessun avviamento. In questo caso, l’acqua che risale dal basso e da prua va ad impattare contro la parete interna del tunnel.



Foto 4 - La consistente formazione ondosa di prua di un grande motor yacht a 16 nodi (Foto M. Guerra-INSEAN).

Foto 5 - Rilievo dei filetti fluidi di un grande motoryacht a 16 nodi: inclinazione che dovrà avere "l'unghiatura" del foro dell'elica di manovra (Foto M. Guerra-INSEAN).



sulla parete interna del ringrosso/tunnel. Nella foto 3 invece il tunnel è stato costruito senza realizzare nessun avviamento: è facile immaginare l'acqua che, risalendo dal basso e da prua, va a impattare contro la parete interna del tunnel.

- Avviamento a valle del tunnel dell'elica direzionale (unghiatura) - È il sistema che si usa per le navi perché è quello che più consente di ridurre la resistenza al moto. Come detto, consiste nel realizzare una concavità che "accoglie" il flusso a valle del tunnel, evitando che vada a impattare contro la parete poppiera interna del tunnel stesso. Generalmente l'unghiatura parte inglobando il foro del tunnel e si rastrema verso poppa. Essa va realizzata di lunghezza almeno pari al diametro del tunnel. L'asse dell'unghiatura va poi inclinato per meglio adattarsi al flusso che scorre localmente (generalmente è inclinato in basso, verso poppa). Questa soluzione permette di limitare al minimo la resistenza idrodinamica del foro che per una nave è dell'ordine dell'1-2%, ma che può arrivare anche al 5% in caso di navi piccole e/o tunnel di grande diametro. Proprio perché si tratta di una resistenza non di poco conto, vengono fatte prove su modelli (fisici o virtuali) per determinare l'angolo ottimale dell'unghiatura a una determinata velocità. Infatti, questa inclinazione del flusso è determinata dalla forma e dalla dimensione dell'onda di prua, che varia proprio con la velocità. Nella foto 4 si vede l'imponente formazione ondosa di prua di un grande motoryacht a 16 nodi, mentre nella foto 5 si vede il rilievo dell'andamento del flusso sulla carena alla stessa velocità, rilievo eseguito con la metodologia delle gocce di vernice (questa semplice tecnica consiste nello "sporcare" con abbondante vernice la superficie dello scafo che viene poi rimorchiato alla velocità prestabilita. L'attrito dell'acqua sulla superficie dello scafo trascina la vernice distendendola lungo la direzione di

scorrimento. Il risultato è il "disegno", fatto dall'acqua stessa, dei cosiddetti filetti fluidi direttamente sulla superficie di carena. Dalla visualizzazione dei filetti fluidi è evidente che, in corrispondenza della zona dove verrà posizionato il tunnel (all'altezza dell'ordinata 18), sia l'onda che i filetti fluidi sono molto inclinati, in particolare di un angolo di circa 20°. Nelle foto 6, 7 e 8, è invece raffigurata una veloce nave militare alla velocità di 29 nodi: l'onda è meno ripida e il foro è spostato più a poppa (ordinata 17). Il risultato è un'inclinazione minore dell'unghiatura (circa 7°).

Come abbiamo visto, realizzare un unghiatura in prossimità del tunnel dell'elica di manovra è una cosa tutto sommato semplice ed economica a fronte dei benefici che si hanno specie su grandi imbarcazioni. Ma questo concetto, purtroppo, non è ben chiaro neanche tra gli addetti ai lavori, e allora non è raro vedere su grosse barche, del valore anche di svariati milioni di Euro, installazioni del tunnel dell'elica di prua senza nessun accorgimento idrodinamico. Come nella foto 9 in cui si vede un grosso e lussuoso yacht di oltre 30 metri che non ha nessun avviamento in prossimità del tunnel e per di più sul bulbo sono stati



Foto 6 - Formazione ondosa di prua di una veloce nave militare alla velocità di 29 nodi (Foto M. Guerra-INSEAN).

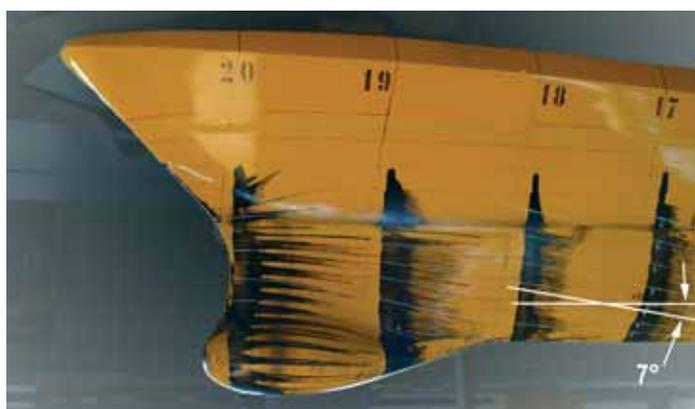


Foto 7 - Rilievo dei filetti fluidi di una veloce nave militare alla velocità di 29 nodi: inclinazione che dovrà avere "l'unghiatura" del foro dell'elica di manovra (Foto M. Guerra-INSEAN).

saldati una serie di profilati verticali sporgenti, soluzione contraria ad ogni principio di idrodinamica: chi ha pensato delle soluzioni del genere non ha nessuna cognizione di come funziona la parte immersa dello scafo che invece, non a caso, si chiama carena o opera viva.

Spesso poi capita di vedere unghiature anche sugli scafi plananti. È una soluzione che ritengo meno opportuna del ringrosso a monte del tunnel. Dalla foto 10, grazie al punto di vista molto basso, si intuisce anche il perché: nell'impatto verticale con l'onda, l'acqua non

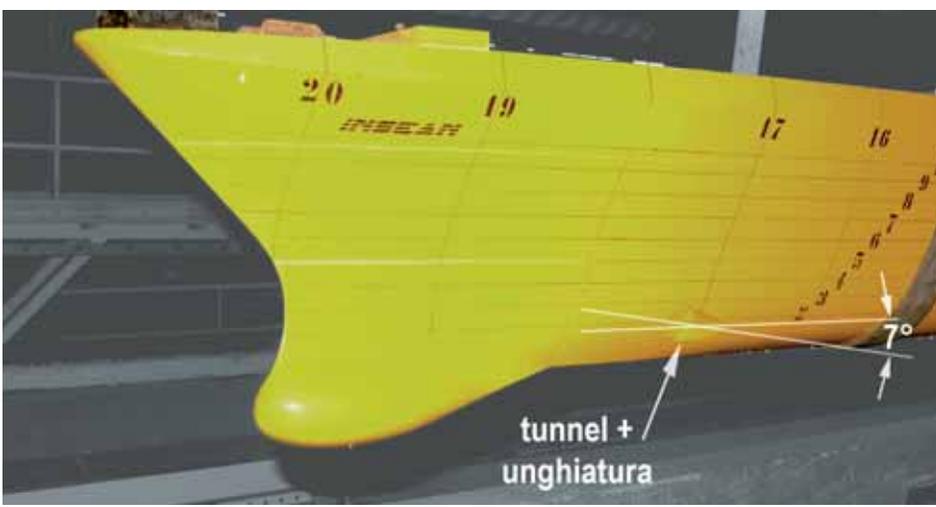


Foto 8 - Realizzazione "dell'unghiatura" del foro dell'elica di manovra su una veloce nave militare (Foto M. Guerra-INSEAN).



Foto 11 - Soluzione ibrida su uno scafo planante. Sono presenti sia l'unghiatura a poppa del tunnel che il ringrosso a monte: può funzionare, a patto che sia pensata e progettata con cognizione di causa.



Foto 9 - Installazione del tunnel dell'elica di prua, senza alcun accorgimento, su uno yacht di oltre 30 metri: non ci sono avviamenti in prossimità del tunnel e sul bulbo sono stati saldati dei profilati sporgenti contrari a ogni principio di idrodinamica.



Foto 10 - "Unghiature" realizzate su scafi plananti: sono meno opportune perché nell'impatto verticale con l'onda l'acqua non viene aiutata a sfuggire via, ma viene trattenuta dall'unghiatura che si comporta come fosse un cucchiaio.



Foto 12 - Ringrosso di prua che continua verso poppa a contorno dell'unghiatura, raccordandosi con il pattino. Sicuramente una ricercatezza stilistica, ma non sappiamo quanto possa essere efficiente.

viene aiutata a sfuggire via ma è trattenuta dall'unghiatura che si comporta come fosse un cucchiaio. Questo significa alte pressioni concentrate locali e, quindi, sollecitazioni elevate, nonché un aumento di resistenza istantaneo.

• Soluzioni ibride - Infine, soprattutto sugli scafi plananti, si vedono delle soluzioni ibride in cui sono presenti sia l'unghiatura a poppa del tunnel che il ringrosso a monte (foto 11). Tali soluzioni di per sé possono funzionare egregiamente ma andrebbero pensate e progettate con cognizione di causa. L'esperienza invece mi suggerisce, e spesso il tempo mi conferma, che spesso queste soluzioni sono più frutto della fantasia di qualcuno e non sono giustificate da validi motivi tecnici. Nella foto 12 si vede il ringrosso di prua che continua anche verso poppa, a contorno dell'unghiatura, raccordandosi infine con il pattino: decisa-

mente una pregevole ricercatezza stilistica! Ma sarà efficiente?

A conclusione di questa breve trattazione diventa chiaro che soluzioni come quelle rappresentate nella foto 13 non hanno alcuna giustificazione tecnica e sono solo frutto di ignoranza e approssimazione. Quello che si vede è uno scafo planante sul quale è stato realizzato un tunnel senza nessun ringrosso a monte, mentre, a valle, l'unghiatura è poco estesa longitudinalmente e quindi inutile. Di contro, la concavità si estende ben al di sopra del tunnel ed è molto profonda. Il risultato è una sorta di enorme cucchiaio che raccoglie e trattiene l'acqua proveniente sia dal basso che da davanti, producendo sollecitazioni locali notevoli e aumenti di resistenza. Era sicuramente meglio realizzare il tunnel e basta! E costava anche di meno!



Foto 13 - Cosa non fare: nessun ringrosso a monte del tunnel e, a valle, l'unghiatura poco estesa longitudinalmente e quindi inutile. Concavità che si estende ben al di sopra del tunnel ed è molto profonda. Risultato una sorta di enorme cucchiaio che raccoglie e trattiene l'acqua proveniente dal basso e da davanti. Sarebbe stato meglio realizzare solamente il tunnel.