



BULBI LUNGI, BULBI CORTI, QUALI SCEGLIERE ?

di
Pierre Raynaud

Originale in lingua francese tradotto da **Claudio Diolaiti** - Nizza Aprile 2006

Avendo osservato sui piani d'acqua una tendenza ad utilizzare dei bulbi sempre più lunghi, mi sono posto la domanda sulle ragioni di questo fenomeno.

Ho deciso, pertanto, di scrivere le mie osservazioni e di proporle sperando che vi possano aiutare a fare la vostra scelta o di confermare quello che già sapevate .

Scegliere un bulbo che va bene non può essere il frutto di un azzardo. Due decisioni come minimo devono essere prese : il peso e la forma.

• Il Peso

Da quando si é riusciti a costruire delle derive più lunghe senza perdere in rigidità, il peso del bulbo é potuto scendere da 3.5 Kg di media, a circa 3 Kg e anche meno. L'effetto di sbandamento non é peggiorato, mentre il peso totale é sceso di almeno 500 g, così come pure il volume della carena che scendendo di 500 cm³ ha fatto si che la superficie bagnata e la resistenza di attrito siano diminuite, mentre la velocità é aumentata, il rilancio si é migliorato pur osservando qualche degradazione nel passaggio delle piccole onde per la perdita di peso e quindi di inezia..

Tutto sommato, c'è stato un beneficio globale. A titolo di esempio si può dire che un alleggerimento di 100 g permette di abbassare la linea di galleggiamento di circa 0.6 mm e di ridurre la superficie bagnata di qualche 18 o 20 cm² equivalenti a un guadagno di circa 1% sulla resistenza d'attrito.

• La Forma

Avendo fissato il peso del bulbo, bisogna scegliere la buona forma e le buone proporzioni.

Dal momento che la "buona forma" dovrà avere delle linee "regolari" e "continue", si potrà ammettere che un volume di rivoluzione é forse la sola soluzione semplice che si presenta a un modellista per costruire un modello preciso in legno sul tornio per poi fare uno stampo e fondere del piombo.

Quale forma et quale profilo scegliere ? Improvvisare una forma slanciata potrà piacere all'occhio del suo disegnatore ma, rischia di non fornire un movimento fluido del flusso d'acqua. Attualmente c'è un gran numero di profili simmetrici disponibili e sviluppati per l'aeronautica e che rispondono ai nostri bisogni. Così , si avranno i NACA, gli Eppler, gli Eiffel, e molti altri. Rimane solo la decisione sulla scelta.

Si vedrà più avanti l'importanza del Momento di Inerzia del bulbo che dovrà essere il più basso possibile, il che implica un Centro di Gravità molto vicino alla metà della lunghezza.

I profili NACA 655018, NACA 012-64 e 66A010 e i NACA 66009 sono alcuni esempi utilizzati.

Per illustrare ciò che segue, ho scelto il profilo NACA 66009. Dopo aver analizzato le sue coordinate, per fare un bulbo di 3 Kg di piombo (11.340 Kg/dm³) , ho ottenuto la Tabella 1 seguente valida per dei bulbi che variano in lunghezza da 200 a 400 mm.

Da notare che il Coefficiente di Riempimento sul piano di 0.68 e il Coefficiente Prismatico di 0.56. sono conservati.

Parametri	la Sfera	Il Bulbo				
Lunghezza in mm	79.6	200	250	300	350	400
Diametro in mm	79.6	54.8	49	44.7	41.4	38.7
Allungamento L/D	1	3.6	5.1	6.7	8.5	10.3
Volume in cm ³	263.1	263.1	263.1	263.1	263.1	263.1
Peso in grammi	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Superficie frontale in cm ²	49.7	23.6	18.9	15.7	13.5	11.8
Superficie laterale in cm ²	49.7	75	83.8	91.8	99.1	106
Superficie bagnata in cm ²	199	248	265	290	312.5	333.7
Posizione CG dal fronte in mm	39.8	98	124	149	174	199
Momento d'inerzia visto dal CG	1.94	4.17	6.51	9.38	12.7	16.7
Coefficiente Prismatico	0.66	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56

Tabella 1

Osservando la Tabella 1, si noter  che a parit  di volume e peso, aumentando la lunghezza, il diametro e la superficie frontale diminuiscono mentre la superficie laterale, la superficie bagnata e il momento d'inerzia aumentano. Da notare che la sfera ha il pi  gran diametro ma la pi  piccola superficie bagnata.

Nel tentativo di valutare i vantaggi e inconvenienti dei bulbi, si prenderanno quello da 200 mm e quello da 400 mm.

1. Resistenza a l'avanzamento

Ogni spostamento di un solido immerso in un fluido, genera delle forze che si oppongono o cercano di deviarne la rotta o tutte e due le cose insieme. Questi fenomeni sono retti dalla formula generale :

$$F=1/2 \rho S V^2 C$$

dove :

F   una forza sia di portanza , sia di resistenza all'avanzamento ed   espressa in Newton

ρ   la densit  del fluido equivalente a 1000Kg/m³ acqua dolce, 1025Kg/m³ acqua salata e 1,293Kg/m³ aria

S   la superficie in m² frontale o laterale o di proiezione

V²   la velocit  di spostamento in m/sec (in questo caso al quadrato)

C   un coefficiente stabilito di volta in volta :

Cz o Cp	per calcolare la portanza
Cx o Ct	per la resistenza d'avanzamento
Cf	per l'attrito

- Su una barca a vela la resistenza a l'avanzamento si esercita sulla cocca (all'interfaccia tra l'aria e l'acqua), sulla deriva, sul timone e sul bulbo che sono le parti immerse ed infine sulle sovrastrutture che sono l'albero e le vele che sono nell'aria. Questa analisi si limita alle parti immerse.

A. per la cocca , la resistenza a l'avanzamento si compone di 3 elementi che sono :

- la resistenza di attrito dell'acqua sulla superficie bagnata
- la resistenza di forma della acqua che si discosta dal corpo per riunirsi di nuovo dopo il suo passaggio ed infine
- la resistenza dell'onda generata dalla prua e dalla scia lasciata a poppa.

Per evitare dei calcoli troppi complessi, gli architetti navali raggruppano queste due ultime resistenze in una sola chiamata Resistenza Residua.

La resistenza di attrito si calcola a partire dalla formula enunciata precedentemente mentre la resistenza residua si misura nei bacini di prova delle carene. I risultati sono disponibili sotto forma di abachi o tabelle utilizzati per le barche di grandezza naturale ma sfruttate con cautela per i modelli in scala ridotta.

B. per le derive e i timoni,

che sono assimilabili a delle superfici portanti, si usa la formula di cui sopra. Essa fa intervenire il coefficiente della resistenza a l'avanzamento definito da chi a concepito i profili sotto forma di polari per diversi gradi d'incidenza e dei numeri di Reynolds; queste polari includono i coefficienti di portanza e resistenza a l'avanzamento.

Prima di analizzare la resistenza di avanzamento dei bulbi, fissiamo i dati già conosciuti per la resistenza di avanzamento degli scafi di un classe M senza bulbo.

VENTO DI POPPA in acqua salata

Velocità	Resistenza avanzamento			
	Cocca	Derive	Timone	Totale
1.0 m/s	0.53	0.205	0.100	0.835
1.4 m/s	1.52	0.410	0.200	2.13
2.0 m/s	4.00	0.820	0.400	5.22

VENTO DI BOLINA in acqua salata

Velocità	Resistenza avanzamento			
	Cocca	Derive	Timone	Totale
1.0 m/s	0.56	0.920	0.140	1.62
1.4 m/s	1.62	1.140	0.220	2.98
2.0 m/s	4.24	1.710	0.400	6.35

Nota :

1. Il Newton é una unità di forza e vale circa 102 grammi
2. La velocità di 1.4 m/s é la velocità critica di una cocca di 1.27 mt di lunghezza al galleggiamento, quando il numero di Froude é uguale a 0.4 e che la lunghezza d'onda generata dalla prua é equivalente alla lunghezza di galleggiamento. L'inizio di una condizione di planata appare con un valore di Froude intorno a 0.7 e con una velocità di 2.44 m/s o 8.8 Km/h. La velocità di 2 m/s est la velocità massimale che può raggiungere un Classe M.
3. Il numero di Froude é uguale alla velocità divisa per la radice quadrata del prodotto della lunghezza al galleggiamento per l'accelerazione della gravità "g" e per un classe M, alla velocità di 1 m/s é :

$$F = V / \sqrt{L \times g} = 1 / \sqrt{1.27 \times 9.81} = 0.28$$

4. Fino a questo momento é stata considerata l'acqua di mare ma, cosa succede con l'acqua dolce ?

Da una parte la densità dell'acqua dolce é inferiore del 2.5 % e la resistenza di attrito é ridotta della stessa quantità (d1 = 0.975)

D'altra parte, la spinta di Archimede diminuisce anch'essa del 2.5 %.

Tutto questo per dire che un modello di 4.5 Kg peserebbe 112.5 g in più. Sara quindi più basso dal pelo d'acqua di 0.7 mm e la superficie bagnata sarà aumentata di 20 cm² equivalente a 1.1 % in più per cui lo stesso aumento si deve ammettere per la resistenza di attrito. (d2 = 1.001).

Per finire, essendo la resistenza cinematica in acqua dolce più bassa del 4.4 %, il numero di Reynolds aumenterà della stessa percentuale e avrà come effetto di ridurre il coefficiente di attrito del 1.1 % e dunque anche la resistenza di attrito (d3 = 0.99). Questi dati sono basati sul mio modello

Il risultato finale sarà dunque : $dt = d1 \times d2 \times d3$ oppure $0.975 \times 1.001 \times 0.99 = 0.985$ che si trasforma in un guadagno del 1.5 % .

La deriva e il timone seguiranno lo stesso processo per cui la velocità in acqua dolce sarà impercettibilmente superiore che in acqua di mare.

C. Per il Bulbo,

le cose sono un po' più complicate. Pochissimi test sono stati fatti a questo livello dimensionale. I test in bacino di carene non sono previsti per i nostri modelli a causa dei costi . Un giorno forse, qualcuno realizzerà un bacino ridotto in dimensioni per rispondere ai nostri bisogni.

- Diversi metodi sono disponibili , ma da usare con riserva.
- La prima e la più corrente é quella di usare la formula già espressa nella forma seguente :

$$F_t = 1025/2 \times S \times V^2 \times C_x \quad \text{dove } S \text{ é la superficie totale}$$

Si capisce subito che tutto dipenderà dalla valutazione di C_x che di solito si misura nei bacini o gallerie del vento. E' così che un disco circolare ortogonale a un flusso presenta un C_x di 1.15, una sfera di 0.15 e per casi estremi fino a 0.05.

Dal momento che nella formula interviene solo la superficie frontale, ci si potrebbe domandare se due bulbi aventi la stessa superficie frontale ma di diversa lunghezza, avessero lo stesso C_x . Niente di più incerto, visto che due bulbi aventi lo stesso diametro e lunghezza differente hanno una superficie bagnata differente e quindi una resistenza di attrito differente ma, purtroppo, questo metodo di calcolo non ne tiene conto.

A partire da quale differenza di lunghezza del bulbo, il conflitto tra la superficie frontale che diminuisce e la superficie bagnata che aumenta, si ottiene un risultato "negativo" ?

Sarà questo **secondo metodo** di analisi che cercherà di stabilire sperimentalmente una risposta.

Prima di cominciare , si deve affrontare la questione del C_x per vedere dove si può andare . Per esempio per un C_x di 0.10 in acqua salata e per una velocità di 1 m/s si avrà :

$$\begin{aligned} \text{Bulbo da 200 mm} \quad F_t(200) &= 512.5 \times 23.6 / 10000 \times 1^2 \times 0.10 = 0.121 \text{ Newtons} \\ \text{Bulbo da 400 mm} \quad F_t(400) &= 512.5 \times 11.8 / 10000 \times 1^2 \times 0.10 = 0.060 \text{ Newtons} \end{aligned}$$

Ad una velocità di 1.4 m/s si avrà un valore **doppio** e a 2 m/s sarà **quadruplo**.

La differenza é sensibile dal semplice al doppio ma per apprezzare l'effetto, bisogna aggiungere le resistenze di avanzamento della cocca, della deriva e del timone viste precedentemente.

Si avrebbero quindi le resistenze all'avanzamento totali seguenti in Newton :

	Bulbo da 200 mm	Bulbo da 400 mm
a 1.0 m/s	0.835 + 0.121 = 0.956 N	0.836 + 0.060 = 0.895 N
a 1.4 m/s	2.130 + 0.240 = 2.370 N	2.130 + 0.120 = 2.250 N
a 2.0 m/s	5.220 + 0.480 = 5.700 N	5.220 + 0.240 = 5.460 N

Da questi dati si nota quindi che il bulbo da 400 mm alla velocità di 1 m/s, la resistenza all'avanzamento sarebbe più debole del 6.8 %, del 5.3% a 1.4 m/s, e del 4.4% a 2 m/s.

Secondo questi calcoli, un modello avente un bulbo di 400 mm avrebbe quindi un vantaggio di 2.13 m , quasi 2 lunghezze, dopo 100 m di navigazione. Non male ma, visti i dubbi del metodo di calcolo e gli elementi esterni e diversi in regata, non si deve concludere troppo in fretta.

Per il secondo metodo

ci si avvale dei dati di Pierre Gutelle estratti dal suo libro "Architettura di un Veliero". Gutelle propone dei valori di resistenza a l'avanzamento basati su delle prove fatte in bacino e riguardanti dei bulbi dello stesso volume e di allungamenti vari. La curva proposta mette in evidenza che la resistenza più debole si ottiene con un rapporto di allungamento di 4.5 ma, essa quasi piatta tra 4 e 5.

Secondo questo metodo si può dire che il bulbo più interessante avrebbe una lunghezza tra 225 mm e i 250 mm.

Si nota a questo proposito che il bulbo del Pen Duik 3 di Tabarly, aveva un allungamento di 4, quello dell'Open 60 di Desjoyaux di 4.5 e quello di Ellen Mc Arthur di 5.5.

Per quanto riguarda l'America Cup, l'analisi é falsata dalla presenza delle ali sul bulbo di oltre 2 m di lunghezza. Luna Rossa aveva un Bulbo da 5.8 di allungamento e New Zealand da 8.

Se poi, si osserva la natura, si nota che il Delfino, ottimo nuotatore che raggiunge delle velocità di 15 e 20 nodi, ha un allungamento di circa 6 ma, migliora la scivolata secernendo dei polimeri che riducono grandemente la resistenza d'attrito. (proibiti in regata). L'anguilla, con il suo grande allungamento, non é un concorrente da temere specie per le lunghe distanze.

Per il terzo metodo,

é probabilmente il più rigoroso perché prende in considerazione la resistenza di attrito e la resistenza residua.

La **resistenza di attrito** é funzione della superficie bagnata ma, anche della lunghezza del bulbo

La **resistenza residua** che dipende dalla forma, é funzione del volume spostato. Mancando dei dati specifici, si può prendere in esame l'opinione di Gutelle dove stima che alle velocità a cui viaggiano i nostri modelli, la resistenza residua dovrebbe essere circa di 1/3 della resistenza di attrito. Con i calcoli specifici si ottiene la tabella seguente :

Velocità	Lunghezza	Resist. d'attrito	Resist. Residua	Resistenza Totale
1.0 m/s	200 mm	0.0864	0.028	0.114 N
	400 mm	0.101	0.033	0.134 N
1.4 m/s	200 mm	0.158	0.052	0.210 N
	400 mm	0.186	0.061	0.247 N
2.0 m/s	200 mm	0.290	0.096	0.386 N
	400 mm	0.343	0.113	0.456 N

Si può constatare che i valori trovati sono assai simili a quelli già visti precedentemente ma, si nota che in questo caso, é il bulbo più corto che presenta una resistenza totale più bassa a causa della minore superficie bagnata anche se il suo Cf sia più alto di quello del bulbo lungo.

Adesso, se si aggiungono queste resistenze a quelle già trovate per una cocca senza bulbo, si nota una riduzione globale tra 1.2 % e 2.0 % della resistenza di avanzamento del modello equipaggiato con un bulbo da 200 mm. Questa situazione si esprimerebbe con un vantaggio di qualche decimetro, dopo 100 m di navigazione.

Prima di concludere sulla resistenza all'avanzamento, si dovrebbe spendere qualche parola sulle andature di Bolina e di Lasco.

Per contrapporsi alla componente laterale della spinta velica (scarroccio), la deriva subisce un angolo d'incidenza di qualche grado che permette di sviluppare una portanza che contrasta lo scarroccio.

In pratica la barca a vela naviga di traverso con un angolo di 4 o 5 gradi rispetto alla sua rotta.

L'angolo di attacco o incidenza dipende dalla velocità e dalla superficie portante della deriva.

Il bulbo, solidale alla deriva, si trova ad affrontare un flusso con lo stesso angolo e quindi presentare una resistenza all'avanzamento superiore a quella che avrebbe navigando di poppa con incidenza zero.

Nessun dato é disponibile per quantificare questa resistenza ad angoli diversi da zero; i valori delle polari valgono per dei profili portanti come le derive ma, non per dei corpi aventi un volume di rivoluzione.

Si potrebbe concludere dicendo che la resistenza all'avanzamento sarà più grande per le andature di bolina o di lasco che non per le andature di poppa e che non é forse il caso di attribuire un vantaggio netto ad un bulbo lungo piuttosto che ad un bulbo corto.

I metodi usati non permettono di fare una scelta , anzi due sono anche in contraddizione, per cui si dovranno cercare altre ragioni su cui far cadere una preferenza per un bulbo o per un'altro.

2. Il pendolo di torsione

Il momento d'inerzia di un corpo é rappresentato da una formula che esprime la ripartizione della massa del corpo intorno al suo Centro di Gravità o di qualsiasi altro centro o asse di rotazione. La tabella 1 indica che il momento d'inerzia di una sfera intorno al suo CG é inferiore a quello di un corpo della stessa massa ma, di forma allungata. La stessa cosa si nota per due Bulbi aventi la stessa massa ma, lunghezze differenti; il bulbo da 200 mm ha un I_0 di 4.7 Kilogrammi-massa-centimetro² e quello di 400 mm ha un I_0 di 16.7 Kilogrammo-massa-centimetro² che é 4 volte superiore.

Ora , il bulbo é montato all'estremità della deriva, sensibilmente sul suo asse, costituisce un pendolo di torsione che una volta mosso dalla sua posizione di riposo é richiamato dalla resistenza alla torsione della deriva e frenato dalla viscosità del fluido.

Il periodo di oscillazione del pendolo é direttamente proporzionale alla radice quadrata del momento d'inerzia. L'oscillazione é smorzata in un tempo che é funzione dell'ampiezza angolare iniziale e dai fattori già espressi.

Il bulbo da 400 mm avendo un'inerzia quadrupla, avrà una durata d'oscillazione smorzata che sarà 2 volte superiore a quella di un bulbo da 200 mm, per arrivare al punto di riposo.

Se ne deduce che, un bulbo lungo avrà una probabilità più alta d'incontrare una nuova perturbazione prima ancora che la precedente si sia ammortita.

Si puo' quindi concludere che un bulbo lungo sarà in perpetua oscillazione e a maggior ragione quando il piano d'acqua sarà agitato e che si dovrà reagire sul timone in continuazione. Per oscurare la situazione si dovrà aggiungere che anche la deriva avrà una torsione nulla al punto di attacco con lo scafo ma, invece, massima all'estremità dove é attaccato il bulbo. Da questa osservazione si potrà immaginare che sul quarto inferiore della deriva, la resistenza all'avanzamento aumenterà e la portanza diminuirà costringendo la barca ad una perdita di velocità e dell'angolo di rotta.

Il calcolo di queste perdite é molto difficile ma, non c'é dubbio sulla loro presenza.

E' chiaro che la vibrazione sostenuta é da evitare assolutamente !!!

Se infine, si adottasse un bulbo lungo , non si dovrà perdere di vista che la deriva dovrà essere molto più robusta e rigida ed eventualmente accorciata con conseguente aumento del peso del bulbo per soddisfare i criteri di stabilità. Tutto questo ha probabilmente un prezzo che si identifica in un aumento di peso globale.

3. L'inerzia nelle virate

Più é grande la **massa** di un sistema, più grande sarà la riluttanza a cambiare di **velocità** o di **direzione**. Nello stesso modo, più grande sarà il **momento d'inerzia** e più grande sarà la riluttanza a cambiare di **velocità angolare** (velocità di rotazione).

Durante la rotazione intorno ad un asse, la legge sulla conservazione della quantità di movimento impone che, se I_0 aumenta , la velocità angolare diminuirà della stessa quantità e viceversa.

Si sa che, il pattinatore allarga le braccia per rallentare la sua piroetta, in pratica aumenta il suo I_0 per ridurre la sua velocità angolare.

Onde analizzare una virata, si deve scomporre il movimento in

due azioni simultanee fondamentali :

- Uno spostamento del Centro di Gravità della barca dal punto d'ingresso al punto di uscita della virata secondo una traiettoria simile ad un arco di cerchio di circa 90°
- Una rotazione della barca di circa 90° su se stessa intorno al suo centro di gravità in maniera tale da trovarsi alla fine della translazione nella nuova direzione da seguire.

Si calcola per un classe M senza bulbo, un I_0 intorno all'asse verticale passante per il CG di un M avente un bulbo di circa 120 Kg-metro-cm². Questo valore puo' ridursi a 80 Kg-metro-cm² se si spostano verso poppa tutte le masse (radio , batteria , servo).

Aggiungendo al I_0 della barca senza bulbo, i bulbi da 200 mm e 400 mm intorno allo stesso CG globale si ottiene in totale 124 et 137 Kg-metro-cm² rispettivamente per i bulbi da 200 mm et da 400 mm. nella versione "pesi tutti indietro" e di 84 et 97 kg-metro-cm² rispettivamente per l'insieme radio, batteria e servo posizionati al centro dello scafo.

Questi dati mostrano un aumento del I_0 globale dal 10 al 15% che hanno per conseguenza una riduzione della velocità di rotazione del stesso ordine di grandezza, in altre parole, per una stessa velocità di entrata di una virata con uno stesso angolo di timone, per ottenere, la stessa traiettoria, il tempo necessario per fare questa virata sarà più lungo del 10 o 15 % per una barca avente un bulbo da 400 mm. .

Se per compensare si volesse agire sul timone, la resistenza all'avanzamento del timone stesso aumenterà , generando quindi un'uscita dalla virata a più bassa velocità.

Si nota anche che in caso di penalità ci vorrà un tempo superiore di 10 o 15 % per fare un 360 °. Per scendere più nei dettagli di una virata, si dovrebbe aggiungere che la spinta velica diminuisce progressivamente per opporsi infine negli ultimi 20° intorno alla direzione del vento aumentando ulteriormente la perdita di velocità e di energia cinetica, oltre al freno indotto dallo scafo nel girare nell'acqua.

Tutti questi elementi combinati insieme possono al meglio ridurre seriamente il rilancio dopo una virata e al peggio generare una incapacità a virare se in condizioni di vento sostenuto.

4. Beccheggio

Come per il cambiamento di bordo (virata), il beccheggio é influenzato dal momento d'inerzia della barca; questa é la ragione per la quale é importante centrare al massimo tutti i pesi. In questo caso si tratta del momento d'inerzia intorno ad un asse orizzontale traversante e passante per il centro di gravità della barca con bulbo che si dovrebbe trovare grossomodo a 30 cm. sotto la linea di galleggiamento.

L'aumento di I_0 del bulbo lungo, contribuisce ad aumentare il periodo di beccheggio . Tuttavia dal momento che le masse della barca invelata e del bulbo sono abbastanza lontane dal centro di gravità, l'effetto del braccio di leva, al quadrato, é molto importante e quindi la differenza del I_0 globale tra la una barca con bulbo corto e una con bulbo lungo si compensano .

Si può dire che la differenza della lunghezza del bulbo sul beccheggio é un fattore negativo ma relativamente minore.

Conclusione :

Nulla sembra propendere per la scelta di un bulbo lungo, al contrario.

Quando si allunga un bulbo in acque calme, col vento di poppa, non ci saranno effetti negativi misurabili.

Invece, con andatura di bolina o durante le virate, che sono numerose in regata, il bulbo lungo si trasforma in un handicap.

Con l'alzarsi del vento e l'increspatura dell'onda, le vibrazioni o oscillazioni che ne derivano, rendono il bulbo lungo francamente indesiderabile.

Allora cosa scegliere ?

Direi che un bulbo della lunghezza intorno ai 250 mm é in media, una buona scelta ma, si dovrà scegliere un buon profilo, una buona finitura ma anche un buon posizionamento e un buon allineamento ma, questa é un'altra storia ...

Ecco dove sono arrivato ma, spero che andrete a verificare tutto ciò che é stato detto sui piani d'acqua per trarne le vostre conclusioni.
Non esitate a farmi conoscere la vostra opinione.

Pierre Reynaud
Model Air Club
St Raphael / Frejus

Referenze :

L'architettura del veliero di P. Gutelle
L'architettura navale di D. Paulet e D. Presle
MRA Aerodinamica di J. Champenois
I quaderni sui profili , numero speciale del RCM

I calcoli eseguiti sono basati sulle caratteristiche della mia barca. Pur essendo simili i Classe M, questi dati possono variare leggermente da modello a modello. Non é importante se si prendono come ordine di grandezza al fine di comprendere come le nostre barche si comportano sull'acqua.