

FISICA E VELA

Raffaele Resta

Dipartimento di Fisica, Università di Trieste;
CNR-INFM DEMOCRITOS National Simulation Center, Trieste

Società Velica di Barcola e Grignano

<http://www-dft.ts.infn.it/~resta/>



Wings on the water

<http://www-dft.ts.infn.it/~resta/vela/>



Sommario

- 1 Propulsione (parte prima)
- 2 Vento reale e vento apparente; VMG
- 3 Stabilità, centraggio, pesi
- 4 Propulsione (parte seconda)
- 5 Resistenza all'avanzamento

Sommario

- 1 Propulsione (parte prima)
- 2 Vento reale e vento apparente; VMG
- 3 Stabilità, centraggio, pesi
- 4 Propulsione (parte seconda)
- 5 Resistenza all'avanzamento

Una barca a vela si muove spinta dal vento?

No !

Una barca a vela può:

- Navigare controvento
- Navigare più veloce del vento

Una barca sfrutta la differenza di velocità tra due fluidi

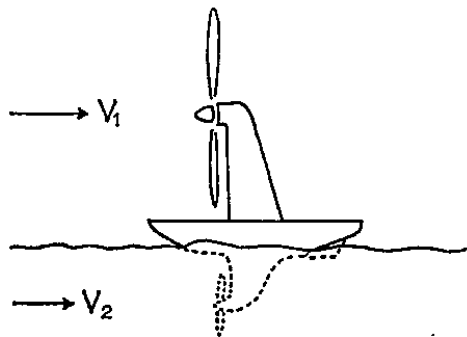


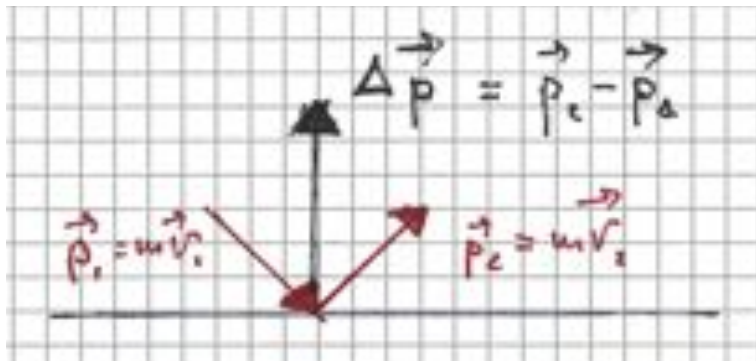
Figure 7

A yacht with windscrew and waterscrew utilising the velocity gradient to proceed upwind without tacking.

Ancora più chiaro.....



La pressione del vento in approssimazione zero



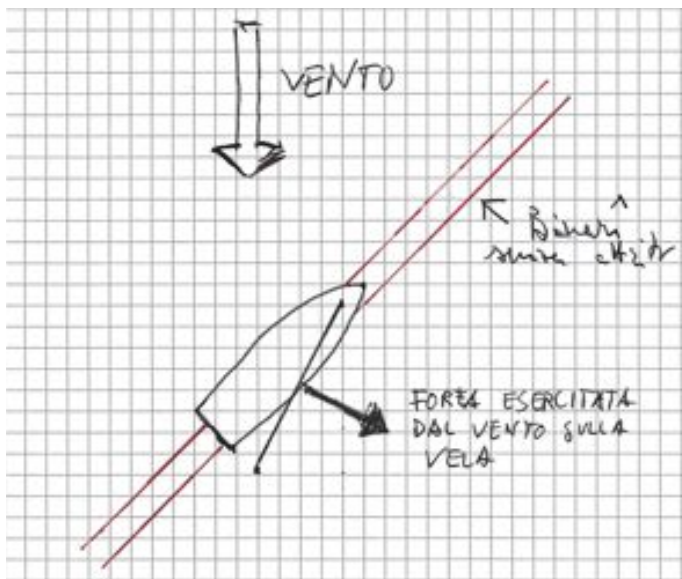
$$\Delta\vec{p} = \vec{f} \Delta t$$

La pressione (forza per unità di superficie) esercitata dal vento sulla vela è **—grosso modo!—** perpendicolare alla vela stessa.

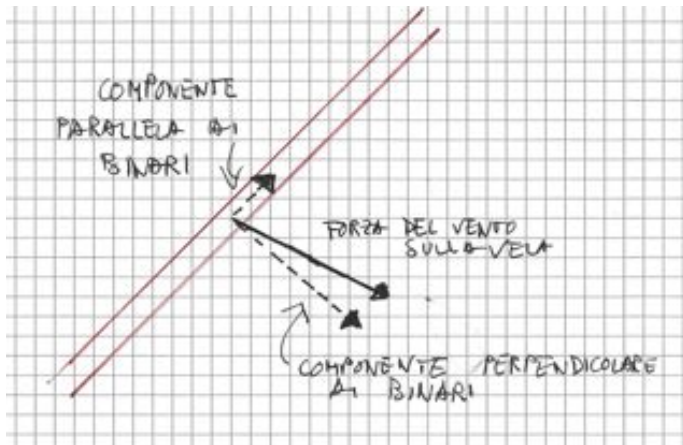
Se lasciamo ghiacciare l'acqua...



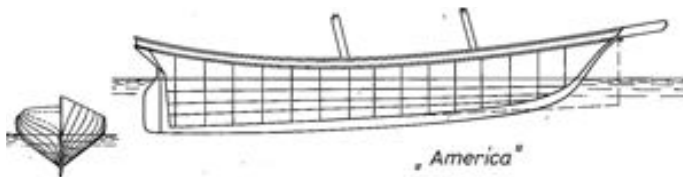
Schematizziamo con un binario senza attrito



Scomposizione della forza (il binario è un vincolo)



Chi fornisce il “binario”?



La leggendaria goletta “America”, 1850

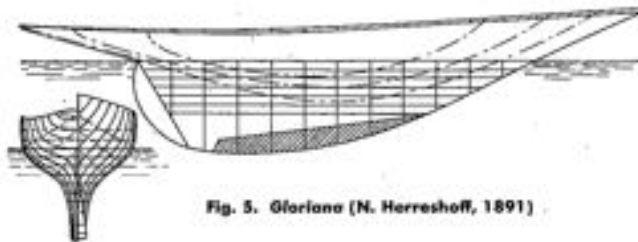
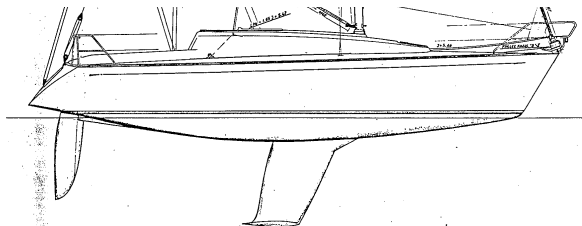


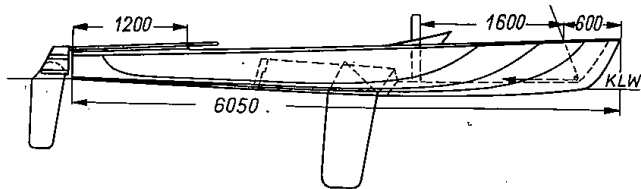
Fig. 5. Gloriana (N. Herreshoff, 1891)

Disegno tradizionale di barca da crociera (fino agli anni '60)
Due osservazioni: grandi slanci; forma molto simmetrica

Chi fornisce il “binario”?



Un moderno “cruiser-racer”



Il monotipo a deriva mobile “Flying Dutchman”, 1951

L'invenzione della deriva è antichissima



Barca tradizionale olandese (dipinta in molti quadri del XVII secolo)

Barche a vela senza deriva nè chiglia

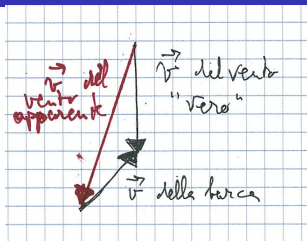


Barca tradizionale della laguna veneta

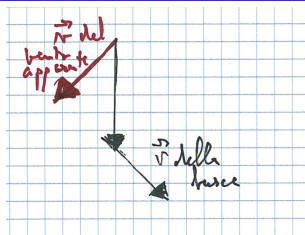
Sommario

- 1 Propulsione (parte prima)
- 2 Vento reale e vento apparente; VMG**
- 3 Stabilità, centraggio, pesi
- 4 Propulsione (parte seconda)
- 5 Resistenza all'avanzamento

Relatività galileiana



Navigazione di bolina



Navigazione con vento portante

- Di bolina: vento vero $\simeq 45^{\circ}$, vento apparente $\simeq 30^{\circ}$.
- Vento portante: vento vero $\simeq 135^{\circ}$, vento apparente $\simeq 90^{\circ}$.
- In entrambi i casi il vento apparente viene più da prua di quello vero.
- Nel primo caso la velocità è maggiore in modulo, nel secondo minore.

Altre osservazioni

- Quello che gonfia le vele (e spinge la barca) è il vento apparente.
- Non si può navigare con vento apparente nullo.
Ergo con vento in poppa a filo non si va più veloci del vento.
- Anche alle andature portanti conviene bordeggiare. L'andatura in poppa a filo spesso **non è** l'andatura più veloce.
- Le vele in circolazione sono fatte per lavorare con vento apparente a $25^{\circ} - 30^{\circ}$.
- Una barca “normale” stringe a $40^{\circ} - 45^{\circ}$;
- Le imbarcazioni più veloci—catamarani, windsurfer, &C.—stringono di meno (ma camminano di più).
- Non c'è un limite teorico. Le slitte da ghiaccio moderne possono fare 100 nodi in una brezza moderata.

Diagramma polare della velocità (barca normale)

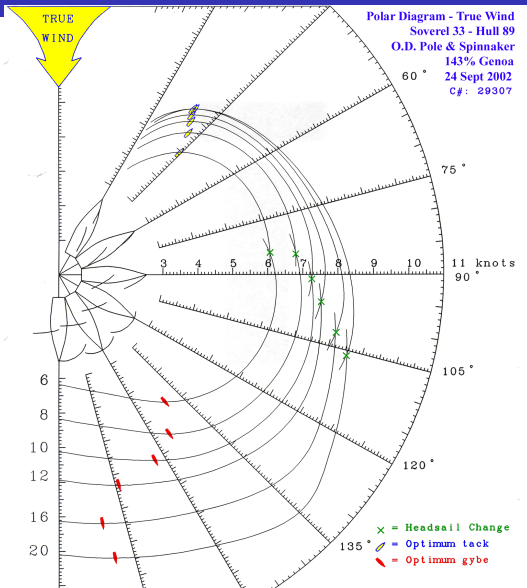
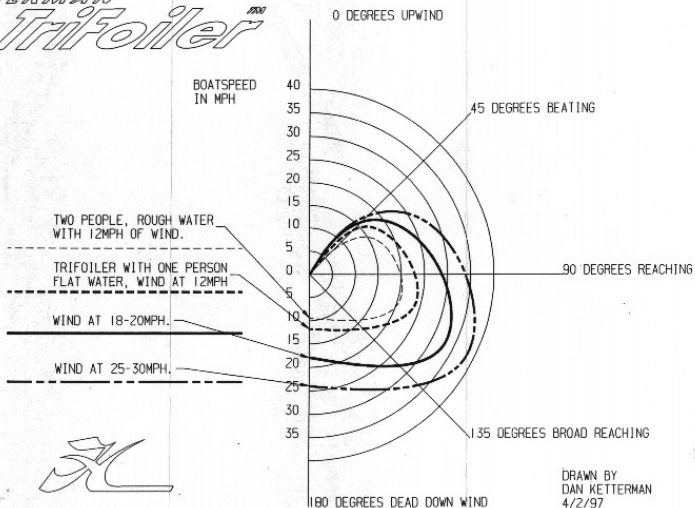
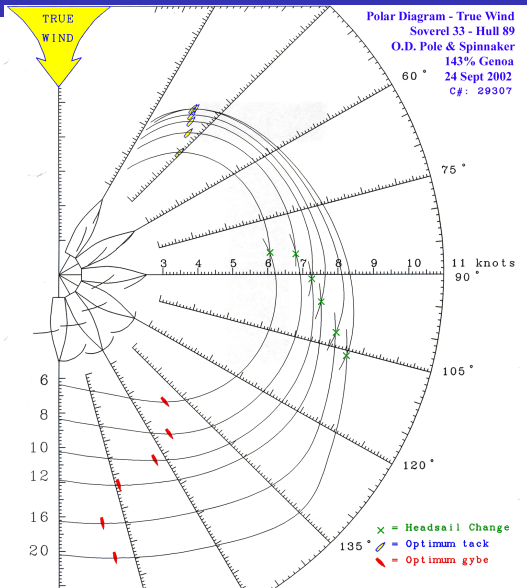


Diagramma polare della velocità (trimarano a foils)

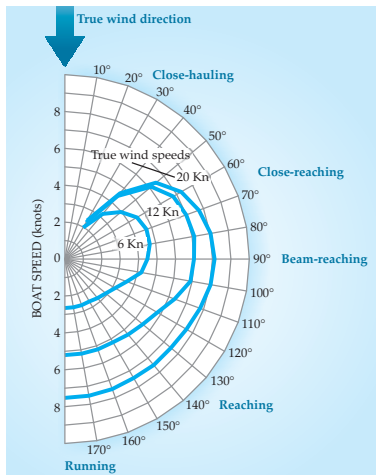
KETTERMAN
*TriFoiler*TM



VMG (velocity made good)



Dall'articolo su Physics Today)



“Cruising sailboat”.

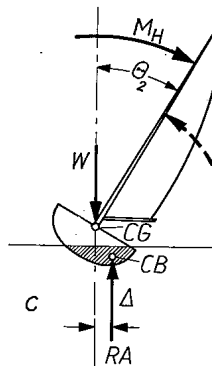
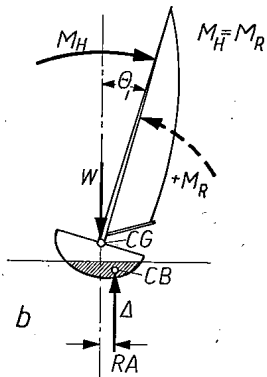
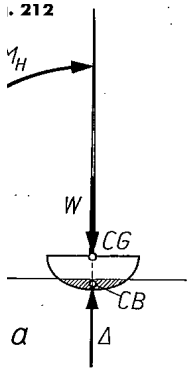
Questa è proprio un “ciodo”!

Sommario

- 1 Propulsione (parte prima)
- 2 Vento reale e vento apparente; VMG
- 3 Stabilità, centraggio, pesi**
- 4 Propulsione (parte seconda)
- 5 Resistenza all'avanzamento

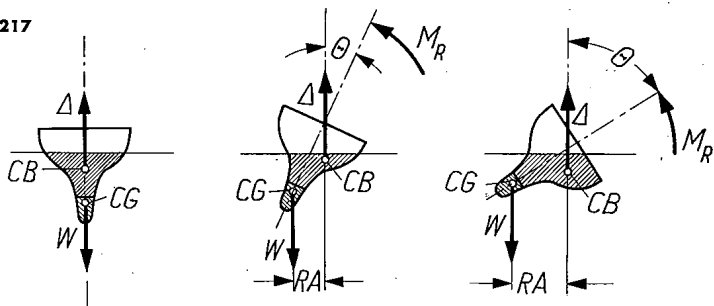
Stabilità di forma

212



Stabilità di peso

217



Stabilità di peso

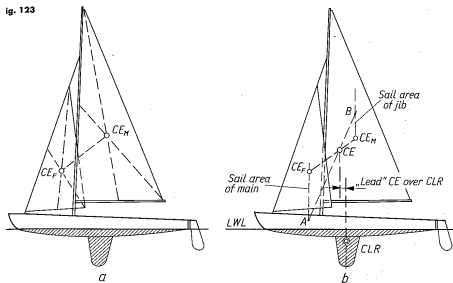


Altre diavolerie tecniche: chiglia basculante



Centraggio

ig. 123

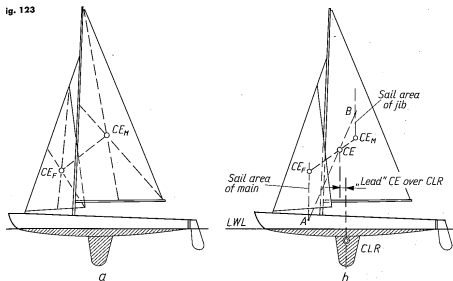


- Una barca si può governare con le sole vele.
- Lo sbandamento è tuttavia essenziale: perchè?
- Barca dura di timone e barca leggera.
- Barca che parte in straorza!

Straorzata



Distribuzione dei pesi (delle masse!)

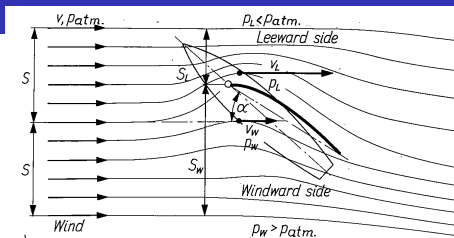


- Il peso in alto è sempre deleterio.
- Il peso in chiglia deve stare il più in basso possibile.
- Il momento d'inerzia **longitudinale** deve essere il minimo possibile: perchè?
- Che dire del momento di inerzia trasversale?

Sommario

- 1 Propulsione (parte prima)
- 2 Vento reale e vento apparente; VMG
- 3 Stabilità, centraggio, pesi
- 4 Propulsione (parte seconda)**
- 5 Resistenza all'avanzamento

Moto laminare (o Bernoulliano)

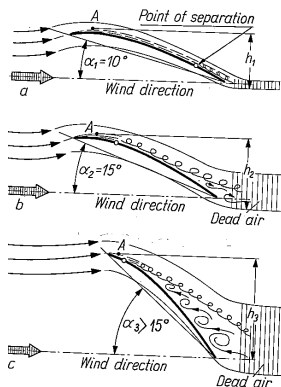


- Teorema di Bernoulli (conservazione dell'energia):
Trascurando la gravità e la viscosità, per un fluido irrotazionale

$$\frac{\rho}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 = \text{costante.}$$

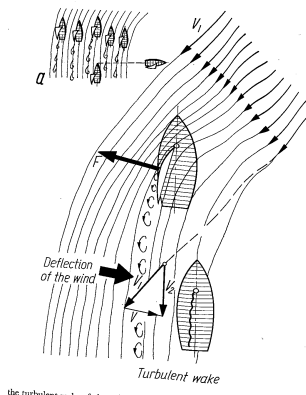
- La vela è risucchiata dalla depressione (sottovento) piuttosto che spinta dalla pressione sopravvento.
- Importanza del bordo d'attacco:
 - Alberi sottili, stralli cavi.....
 - "Aspect ratio"

Moto laminare (segue)



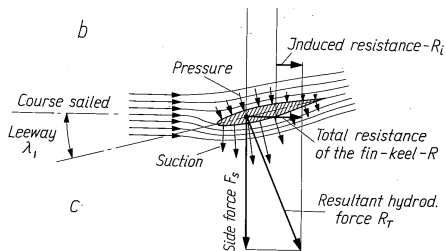
- Occhio alle turbolenze!
- Tell-tale (con finestrina...).

Vento libero e non libero



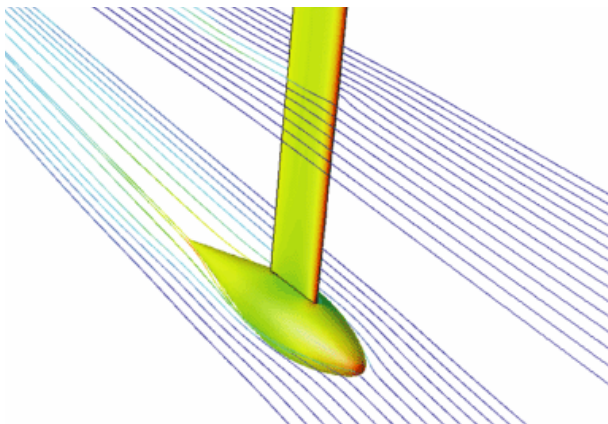
- La barca dietro naviga **apparentemente** con vento libero.
- La barca avanti è nella “safe leeward position”.

La chiglia/deriva non è un binario!



- Anche qui teorema di Bernoulli.
- “Aspect ratio” delle appendici (chiglia/deriva e timone).
- Appendici “a spada”, oppure anche ellittiche.
- Nei windsurfer una sola appendice molto piccola.

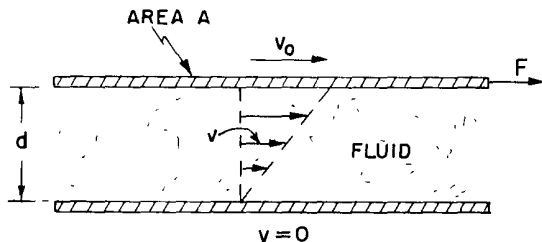
Un esempio (barche estreme)



Sommario

- 1 Propulsione (parte prima)
- 2 Vento reale e vento apparente; VMG
- 3 Stabilità, centraggio, pesi
- 4 Propulsione (parte seconda)
- 5 Resistenza all'avanzamento**

Viscosità (definizione)



$$\frac{F}{A} = \eta \frac{v_0}{d}$$

- η coefficiente di viscosità.
- $F \propto A$.
- In regime irrotazionale, laminare, senza turbolenze.
- Come si riduce la resistenza?

Le turbolenze sono inevitabili: numero di Reynolds

- \mathcal{R} un numero **adimensionale** che ha il significato di un fattore di scala universale.

$$\mathcal{R} = \frac{Lv}{\eta/\rho} = \frac{\rho}{\eta} vL = \frac{\rho v}{\eta/L}$$

- L ordine di grandezza delle dimensioni lineari in gioco.
- La turbolenza inevitabilmente insorge per $\mathcal{R} \simeq 40$.

Da laminare a turbolento

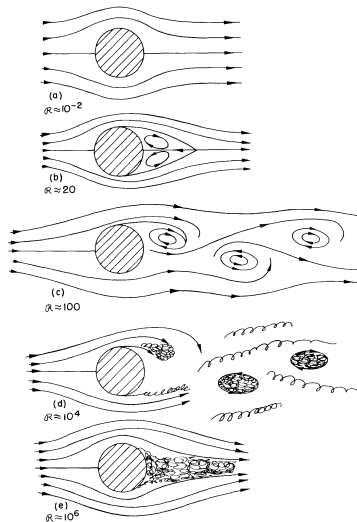


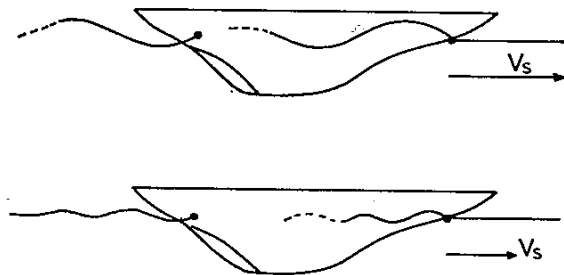
Fig. 41-6. Flow past a cylinder for various Reynolds numbers.

Mettendo i numeri nella formula

$$\mathcal{R} = \frac{Lv}{\eta/\rho} = Lv \frac{\rho}{\eta}$$

- Usando ρ e η dell'acqua e $v = 5$ nodi la turbolenza comincia per $L \simeq 0.5$ (in metri).
- E per il sistema aria-vela?
- $\eta \rightarrow \eta/50$, $\rho \rightarrow \rho/1000$
 Lv venti volte più grande per lo stesso \mathcal{R} .
- L'aria non è incompressibile!

Resistenza d'onda



- La velocità di un'onda cresce con la lunghezza.
- E viceversa!
Più veloce va la barca, più lunga è l'onda che essa genera.
- Il treno d'onde è stazionario (nel riferimento della barca).

Velocità limite (barche a dislocamento)



$$v \simeq 1.34 \sqrt{\lambda}$$

- λ lunghezza al galleggiamento **effettiva** in piedi.
- v in nodi. Esempio: per una barca di 33' $v = 7.7$ nodi
- Formula molto approssimativa.
- Non si applica a scafi lunghi e sottili (scafi da canottaggio, catamarani, torpediniere....)
- E gli scafi plananti??

Uno scafo planante estremo



Grazie per la vostra attenzione!

L'articolo da Physics Today:

<http://www-dft.ts.infn.it/~resta/vela/>