

# Cours de navigation des Glénans

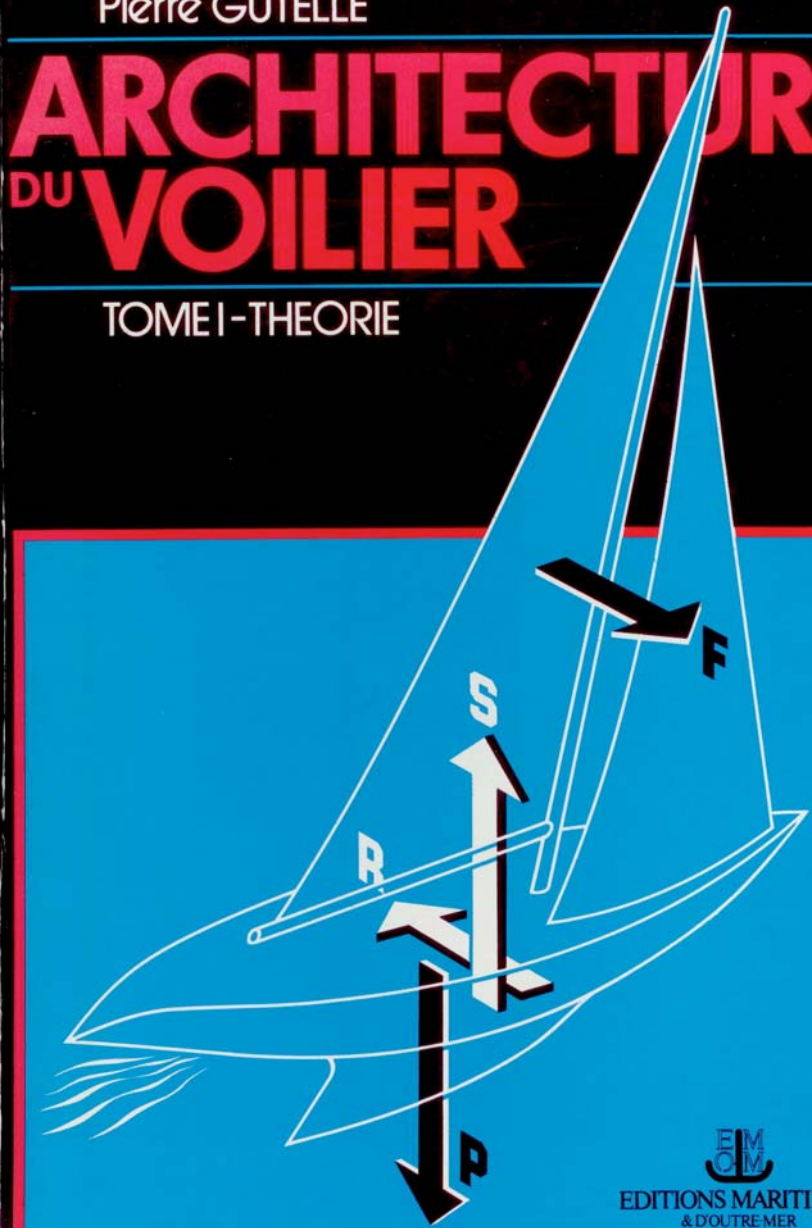


nouvelle version  
Seuil

Pierre GUTELLE

# ARCHITECTURE DU VOILIER

TOME I - THEORIE



  
EDITIONS MARITIMES  
& DOUTREMER



04-06-2009

L.Lanceri - Dinamica della barca in acqua e nel vento

1



# *(fluido-)dinamica della barca nell'acqua e nel vento*

**Livio Lanceri**



**Dip. di Fisica - Università di Trieste  
INFN - Sezione di Trieste**

**Trieste, 04-06-2009**

# La Barca a Vela



# Parleremo di...

- Sistemi di riferimento, composizione delle velocità
- Come riescono a volare gli aerei? Ali e portanza
- Un'ala nell'acqua: la chiglia o la deriva
- Un'ala nell'aria: le vele
- Un po' di terminologia della navigazione a vela
- Qualche esperimento da fare in barca



# Composizione delle velocità

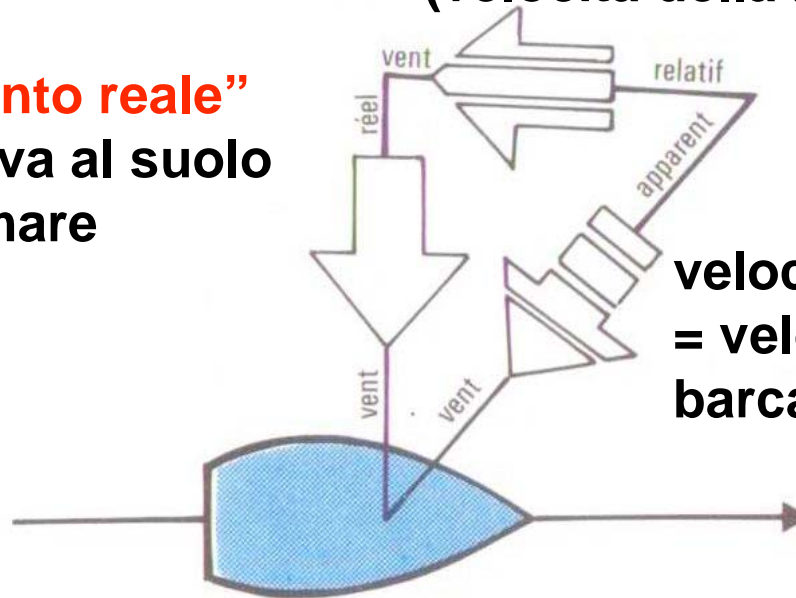
Diversi “sistemi di riferimento”  
 (“osservatori”)

# Le velocità sono sempre “relative”

- La velocità di un oggetto (p.es. dell’aria, dell’acqua) è sempre misurata rispetto ad un osservatore (è *relativa* ad un riferimento)
- Lo stesso oggetto (p.es. l’aria, l’acqua) ha *velocità diverse* rispetto ad *osservatori diversi*
- Le velocità si sommano e sottraggono come “vettori”
- Esempio:

velocità del “vento relativo”  
= - (velocità della barca rispetto al fondo)

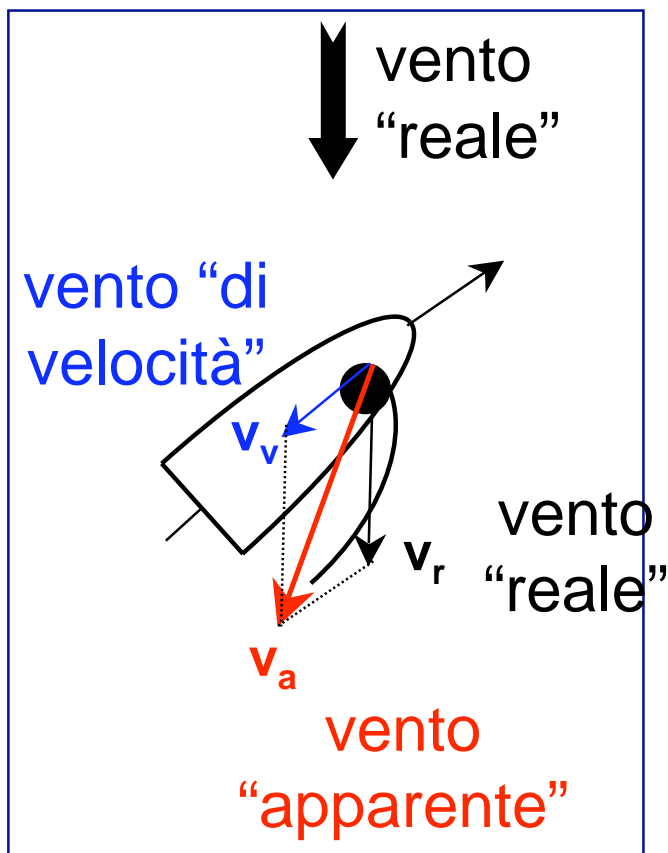
velocità del “vento reale”  
= velocità relativa al suolo  
o al fondo del mare



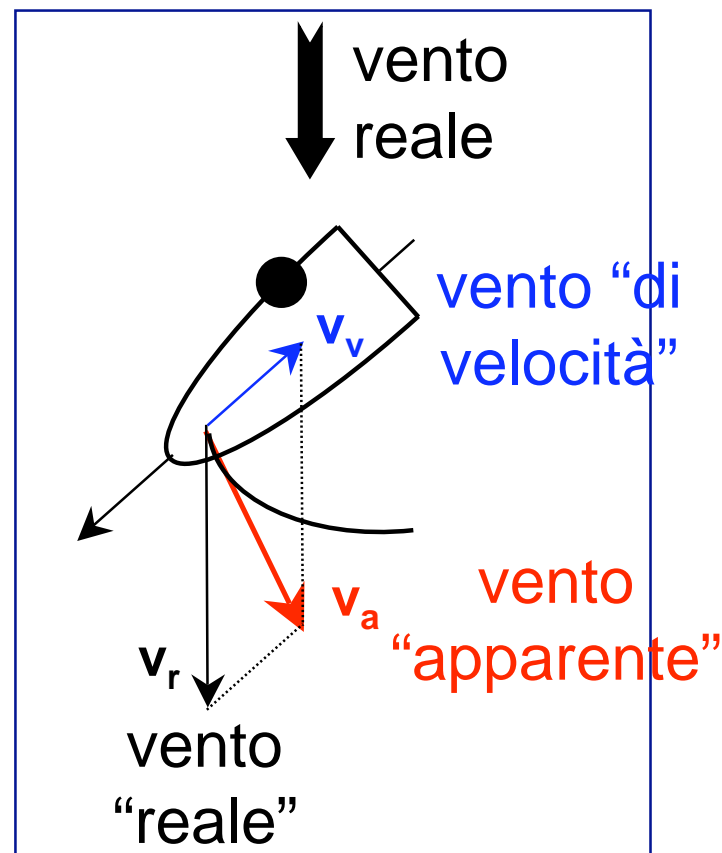
velocità del “vento apparente”  
= velocità totale relativa alla  
barca

# Velocità e Direzione del Vento

BOLINA

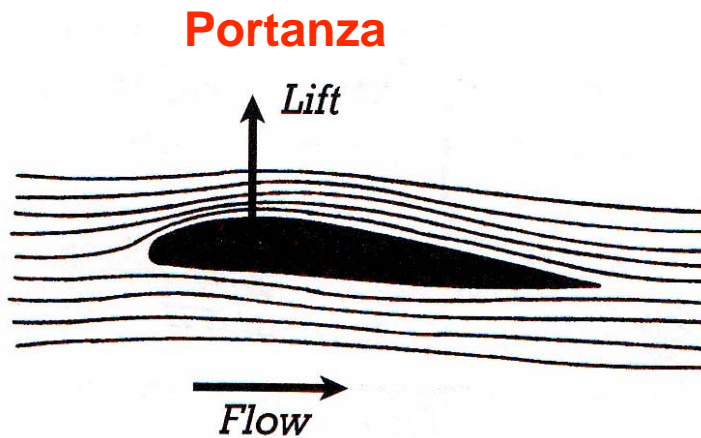


LASCO

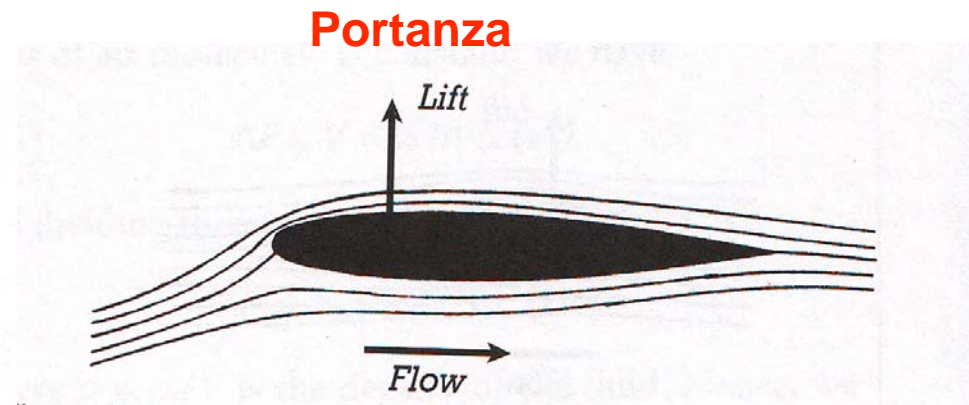


Quello che conta è il vento "apparente" !!!

# Aerei, ali e “portanza”



**Profilo alare asimmetrico**



**Profilo alare simmetrico  
“inclinato”  
rispetto al flusso del fluido**



# Aerei, ali e portanza

Fluido reale (viscoso): portanza

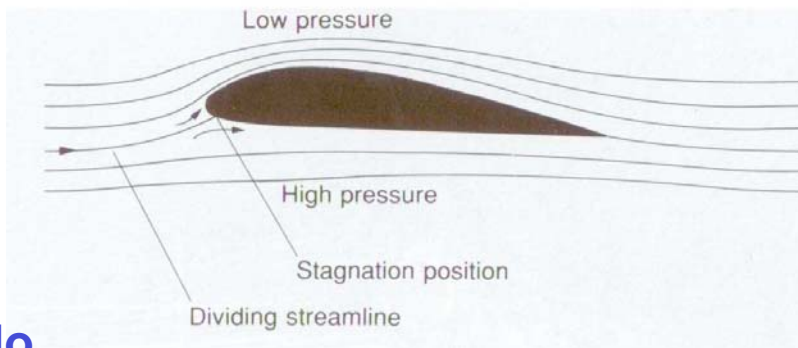
Profilo  
simmetrico



Fluido ideale (non c'è portanza)

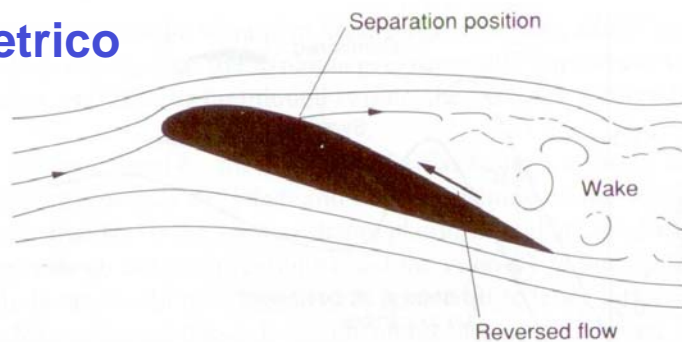


Low pressure



Profilo  
asimmetrico

Separation position



Stallo (perdita di portanza)

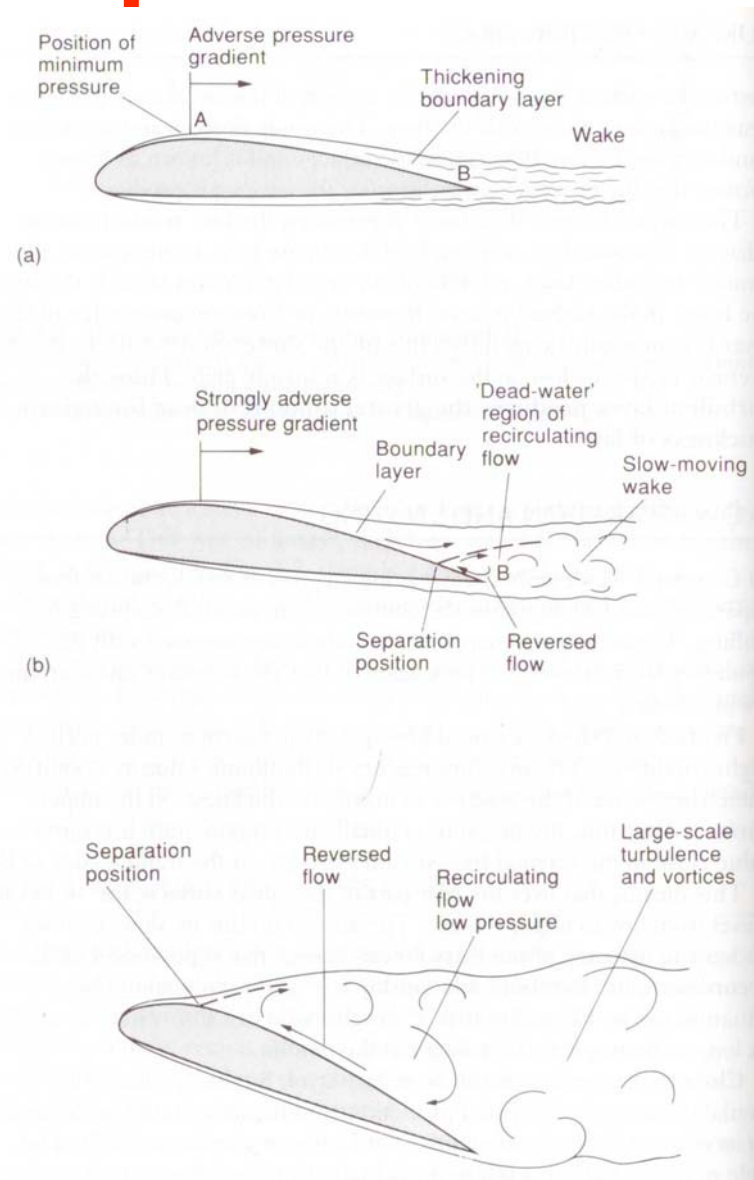
Flusso  
laminare



Flusso  
turbolento



# Separazione e turbolenze, stallo



**Separazione**

**Stallo (perdita di portanza)**

# Tre modi di capire la portanza

- **Bernoulli**
  - La pressione del fluido è minore dove la sua velocità è maggiore!
  - differenza di pressione (minore sulla superficie superiore!)
- **Conservazione della quantità di moto totale**
  - La velocità del fluido cambia direzione, quindi...
  - (secondo e terzo principio della dinamica!!!)
- **“Rotazione”**
  - Il fluido ha un moto netto di rotazione attorno all’ala
  - Simile all’effetto Magnus su un pallone da calcio...

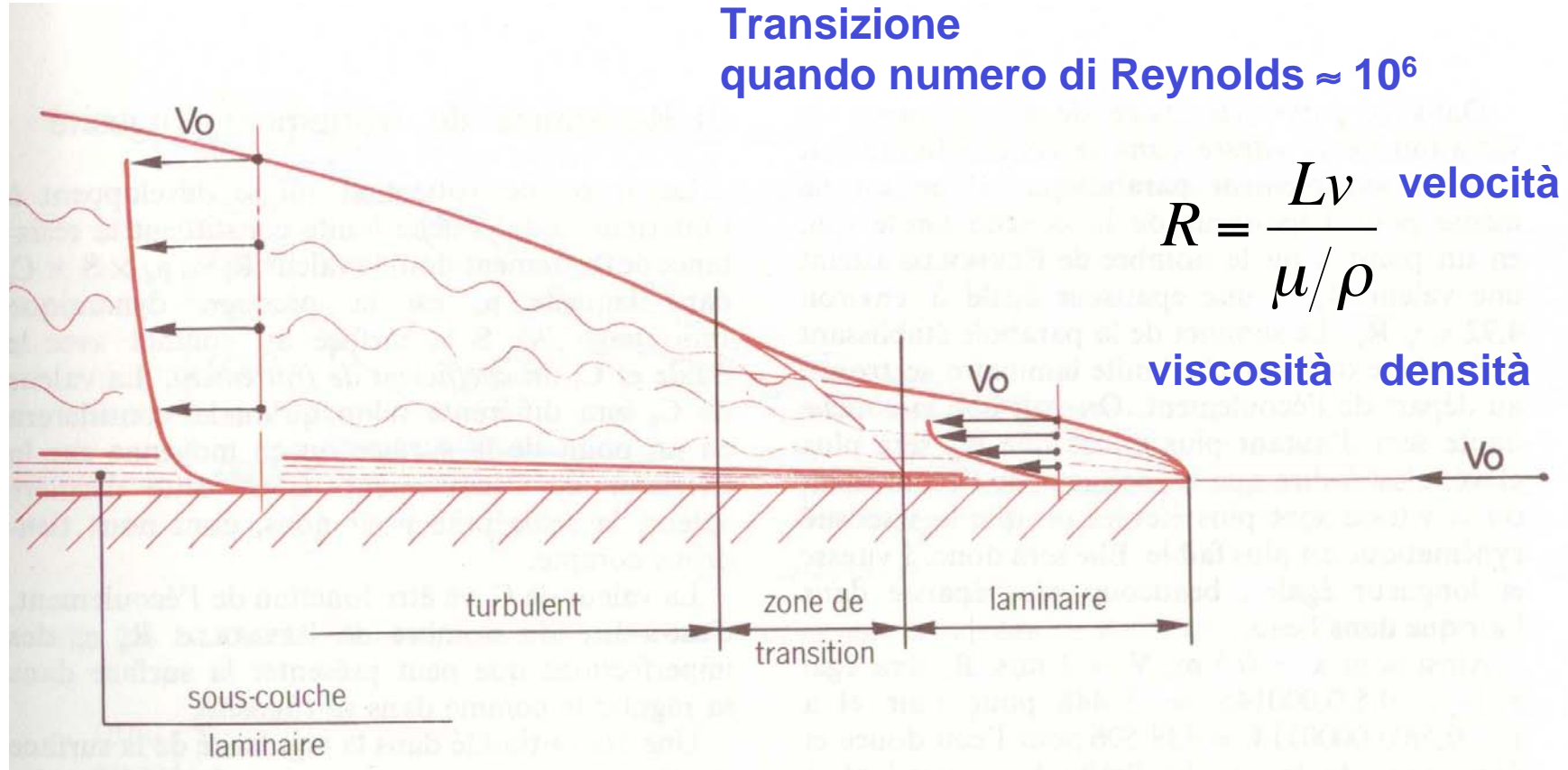


# La chiglia nell'acqua

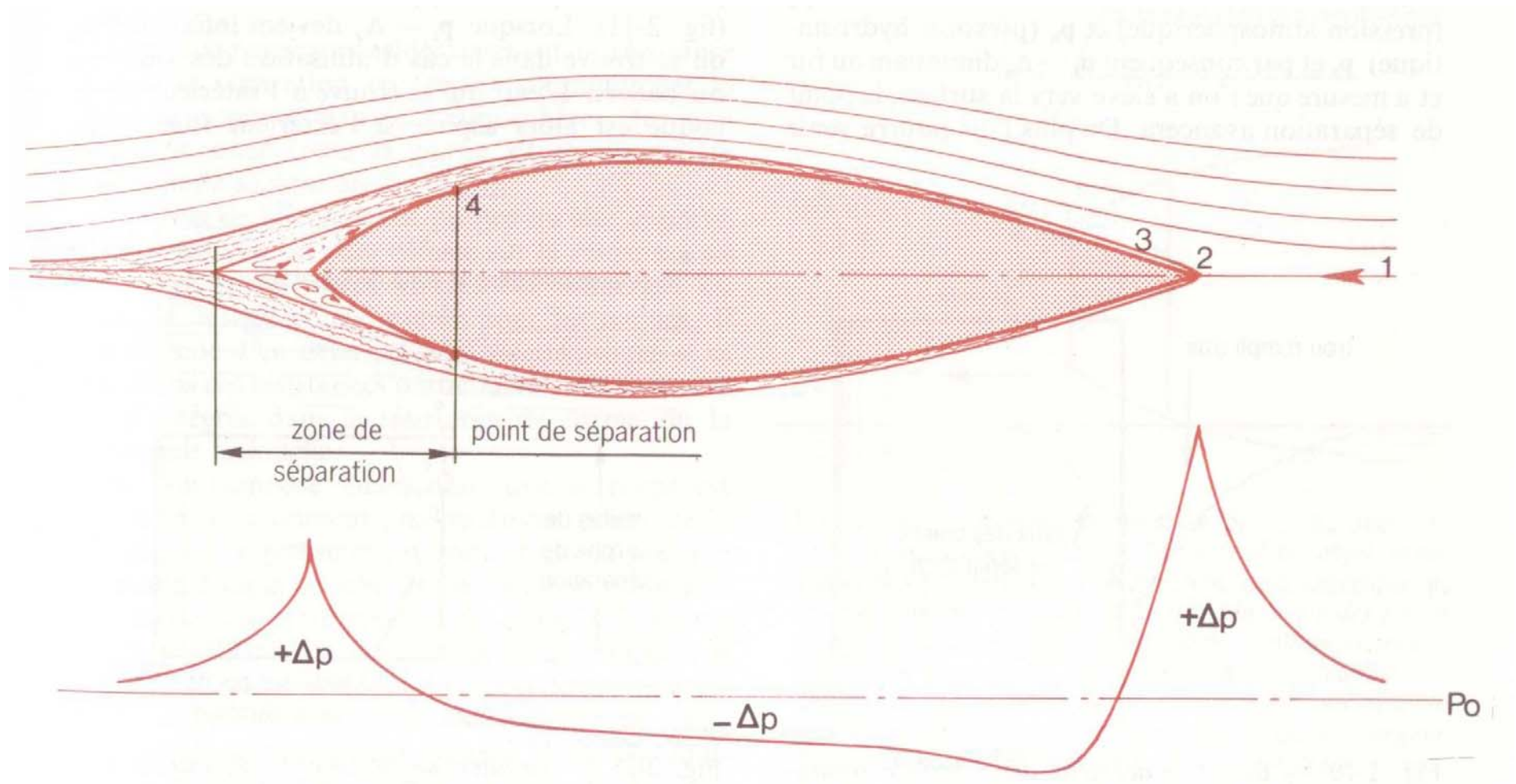
Resistenza all'avanzamento

# Chiglia: transizione alle turbolenze

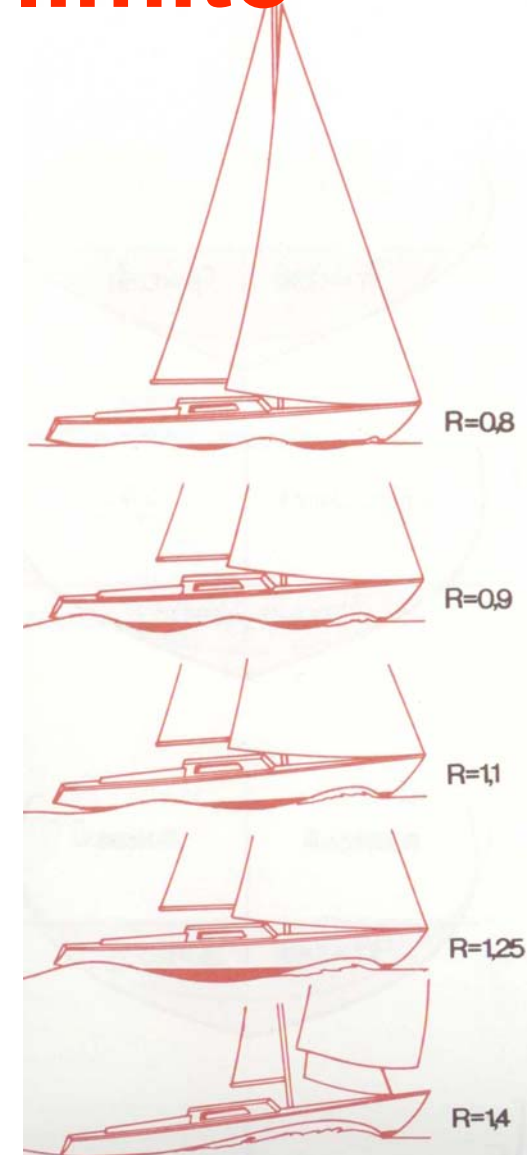
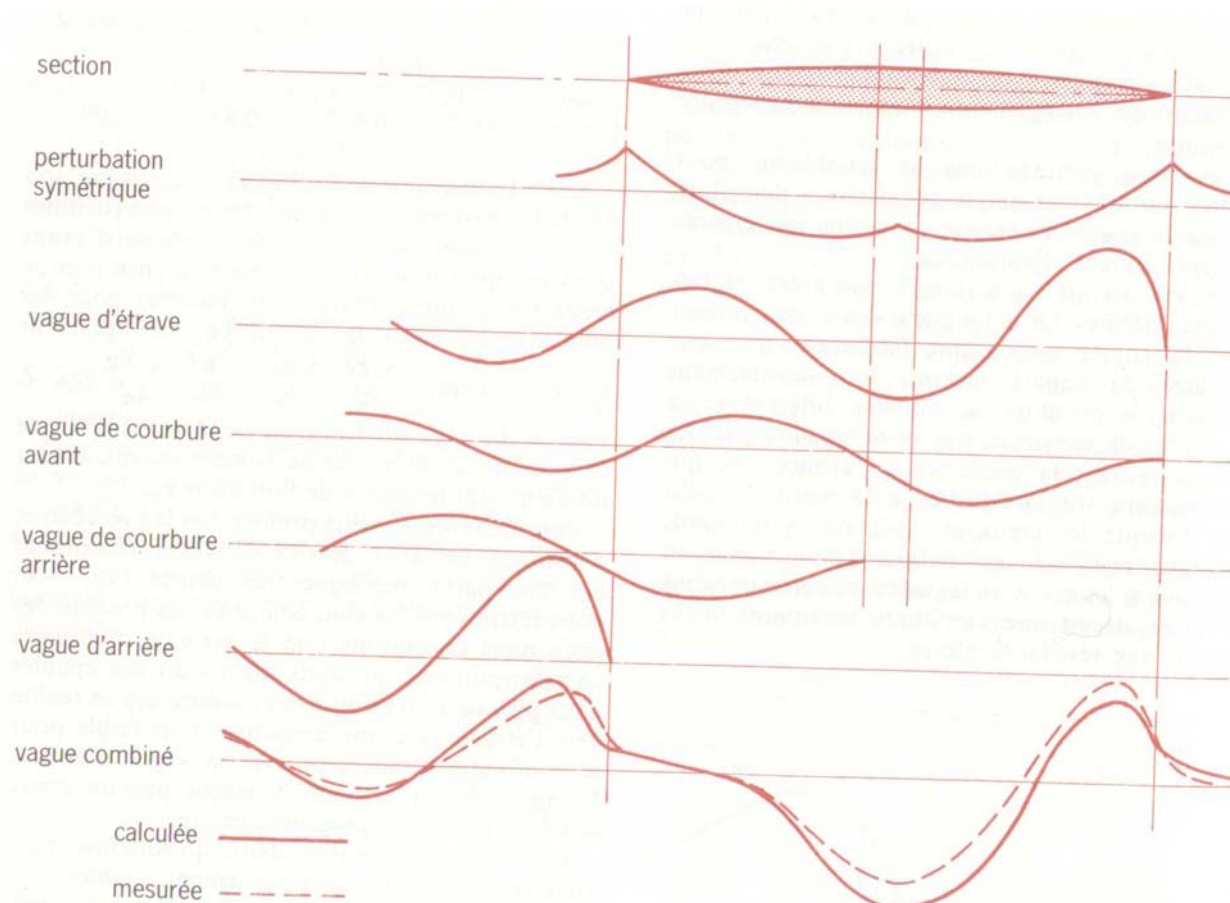
Transizione  
quando numero di Reynolds  $\approx 10^6$



# Chiglia - separazione, resistenza



# Onda propria e velocità limite



Con l'augmentare della velocità l'onda provocata dalla barca si allunga  $\Rightarrow$  velocità limite per una barca che "non plana" sull'onda

# Resistenza all'avanzamento

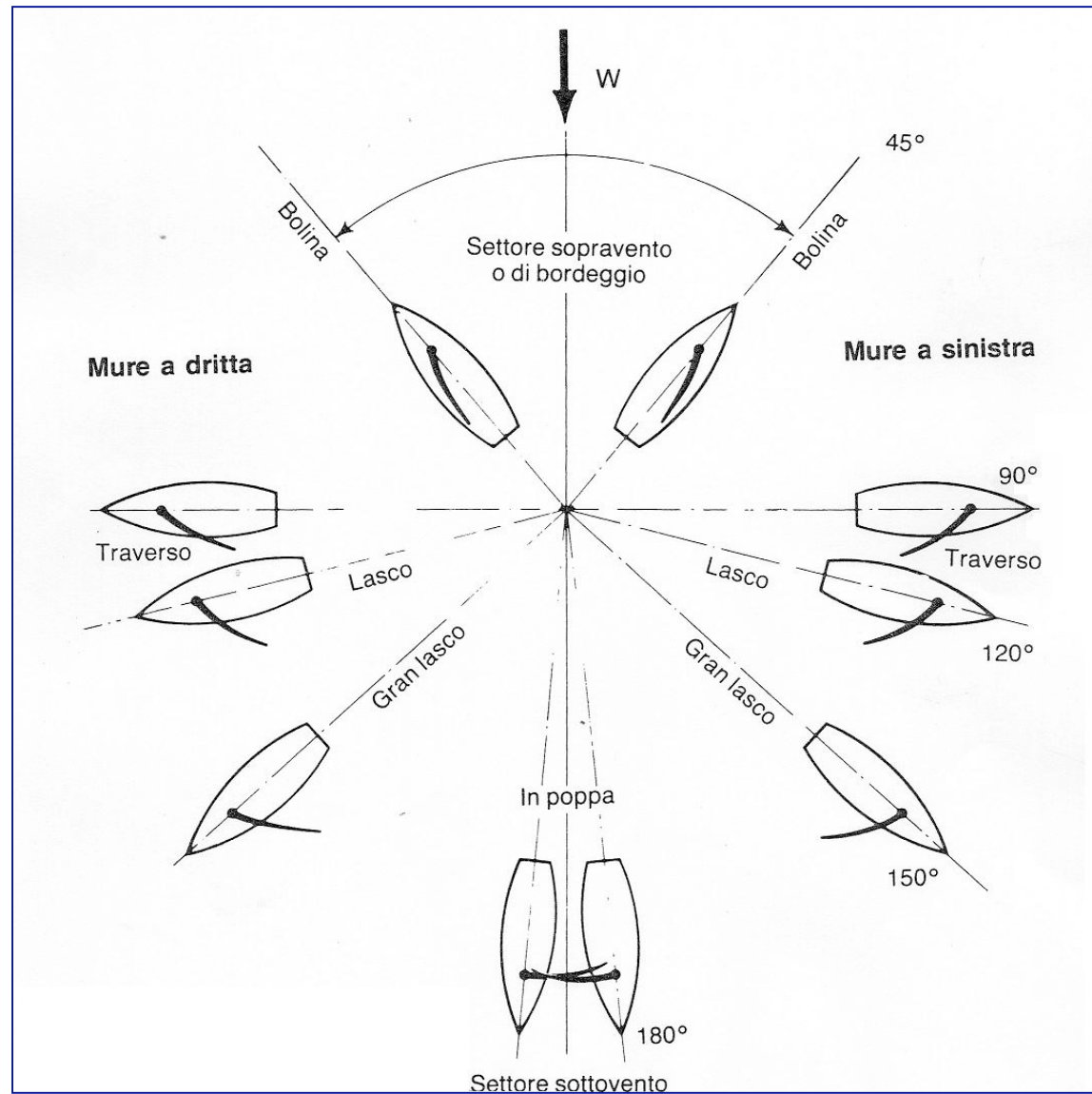
- Per una tipica barca “non planante” che procede a velocità di poco inferiore alla propria velocità limite, la resistenza all'avanzamento ha i seguenti ingredienti
  - “attrito” (circa 34%) proporzionale alla superficie bagnata
  - “onda” (circa 35%) aumenta rapidamente con la velocità
  - “vortici indotti” (circa 10%)
  - Tutto il resto... turbolenze etc (circa 20%)





# **Le vele e il vento**

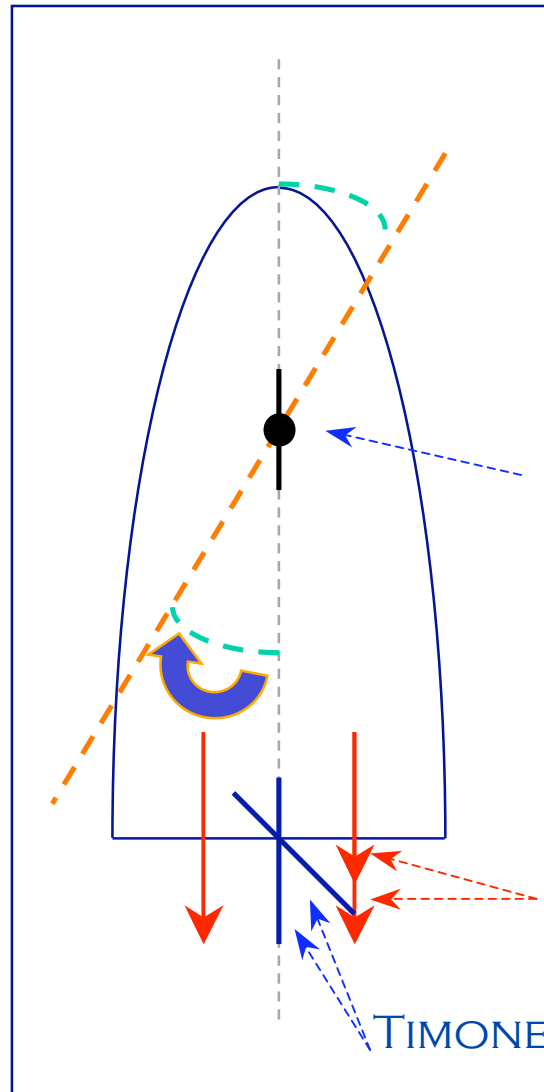
# Andature



# Le Manovre

BARRA DEL TIMONE  
AL SINISTRA

TIMONE AL DESTRA



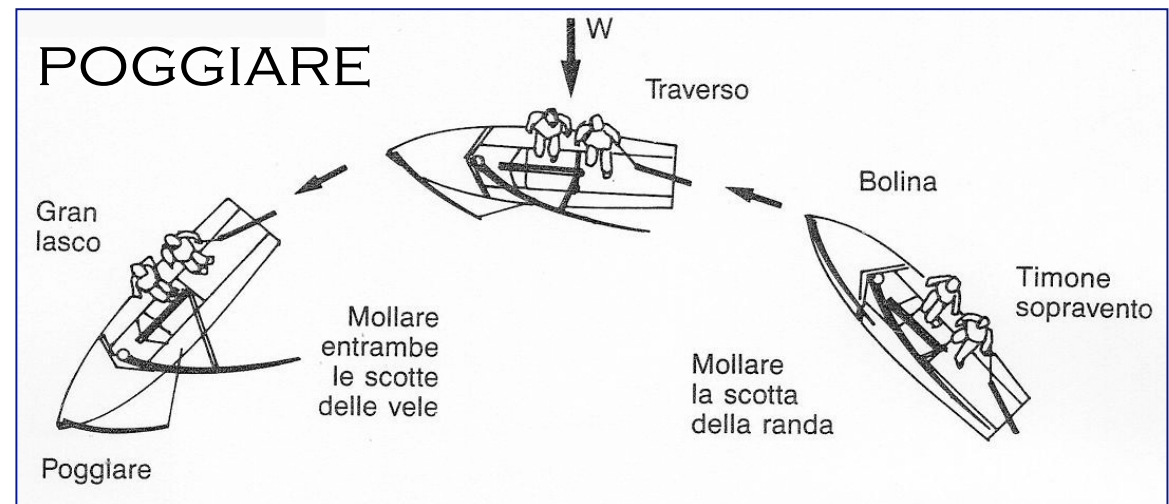
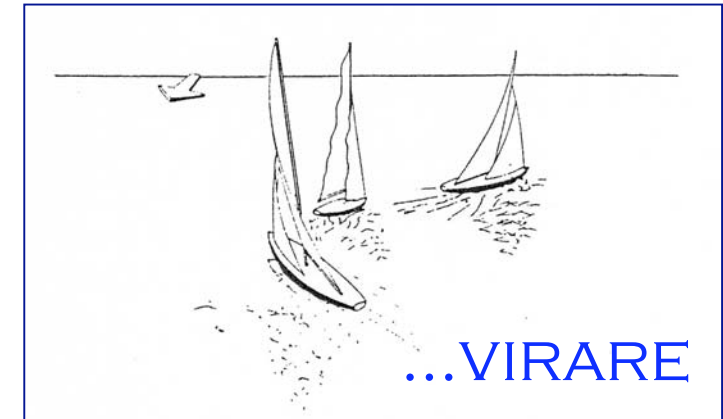
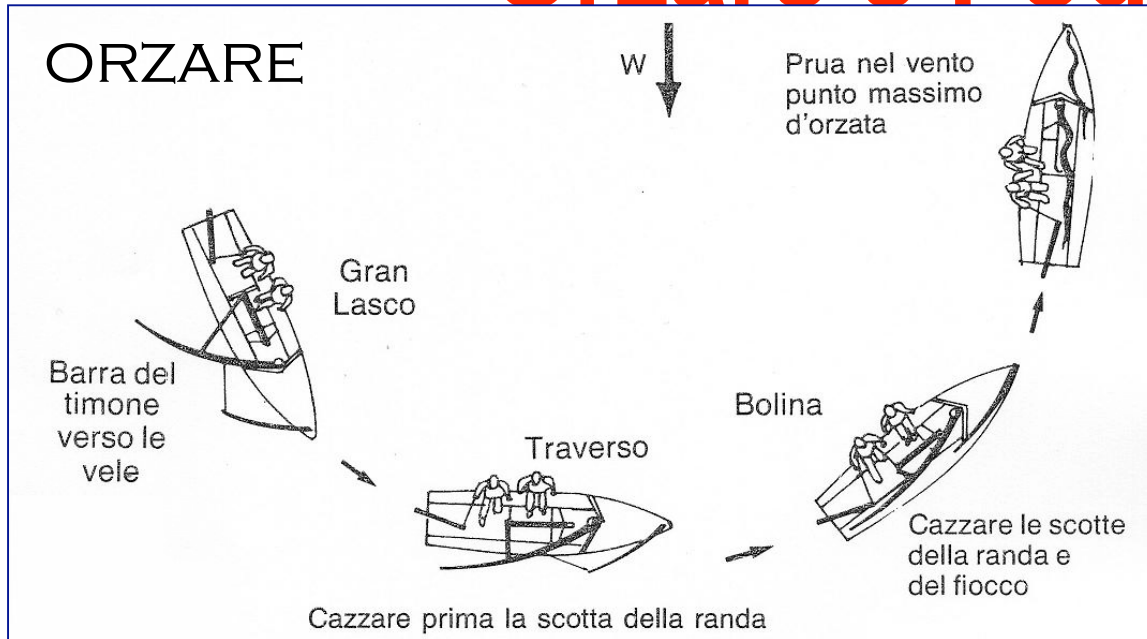
MOTO IN AVANTI

ASSE VERTICALE DI  
ROTAZIONE

FLUSSO  
D'ACQUA

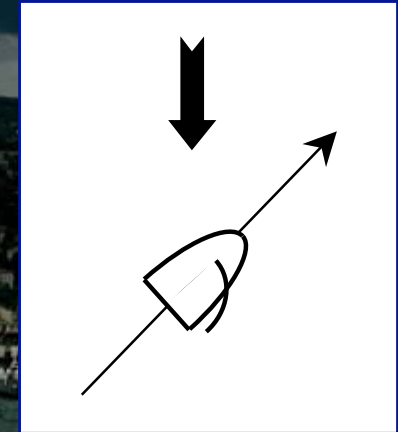
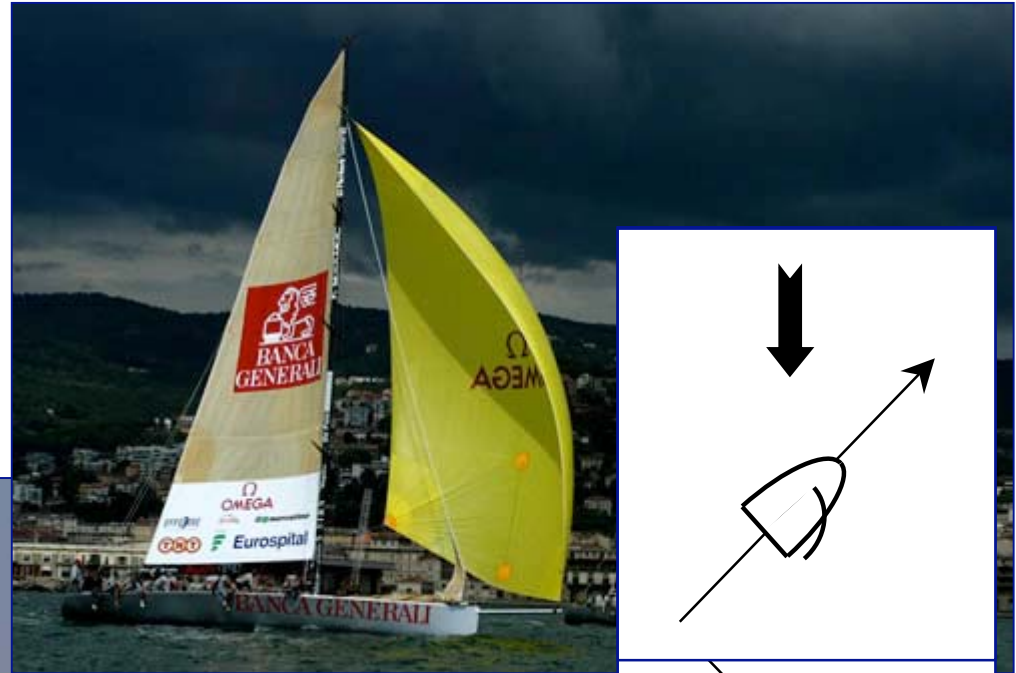
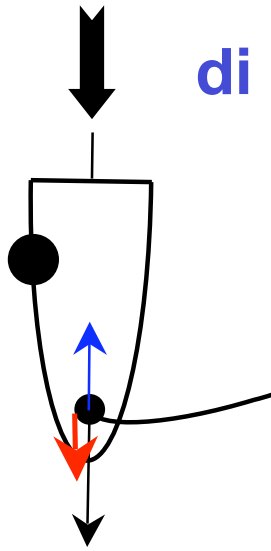
TIMONE

# Orzare e Poggiare

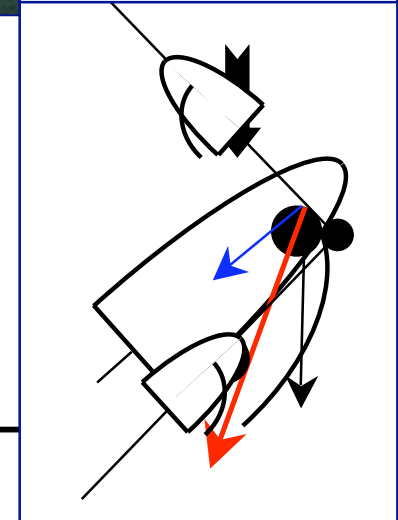


# Navigazione

di poppa (o quasi...)



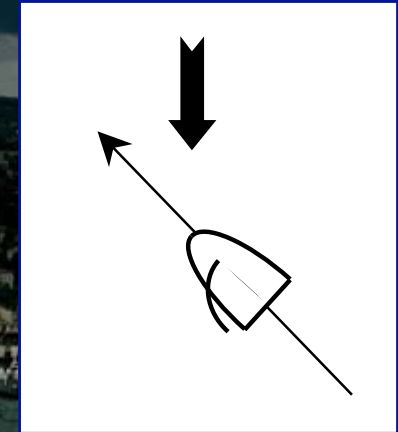
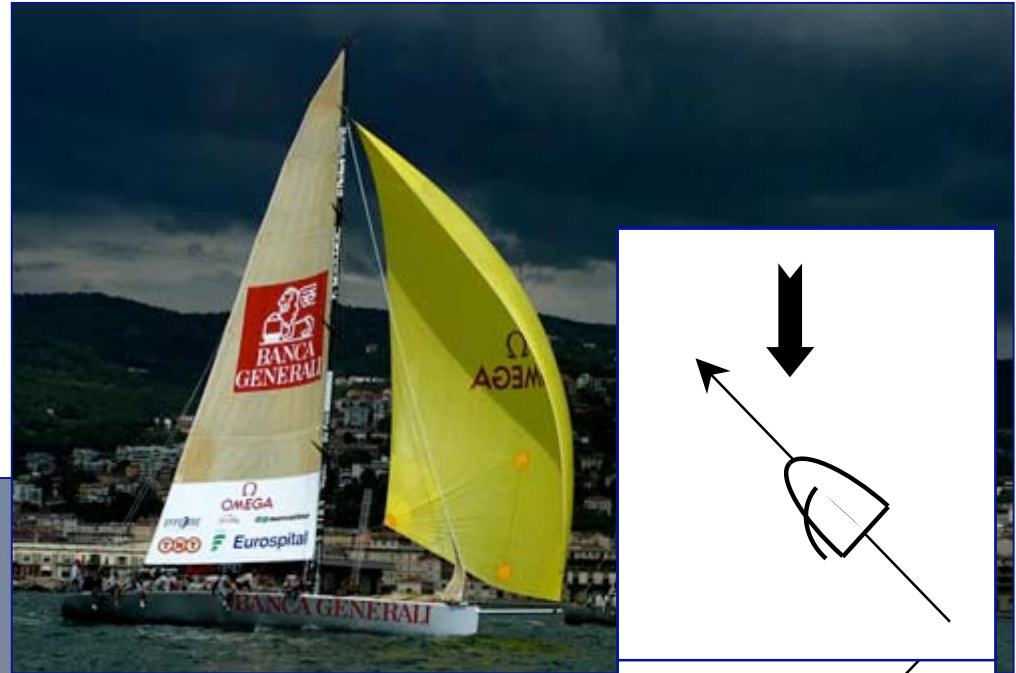
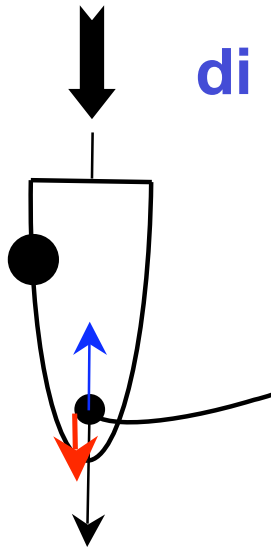
di bolina?



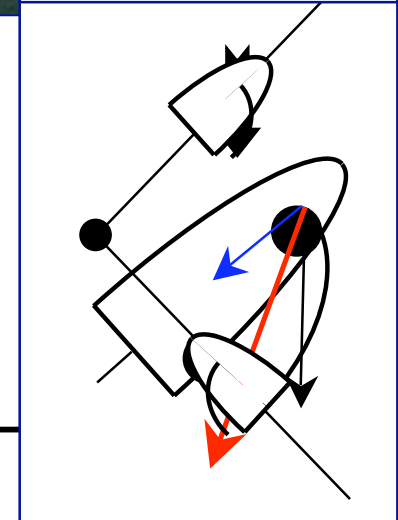
la barca in acqua e nel vento

# Navigazione

di poppa (o quasi...)



di bolina?



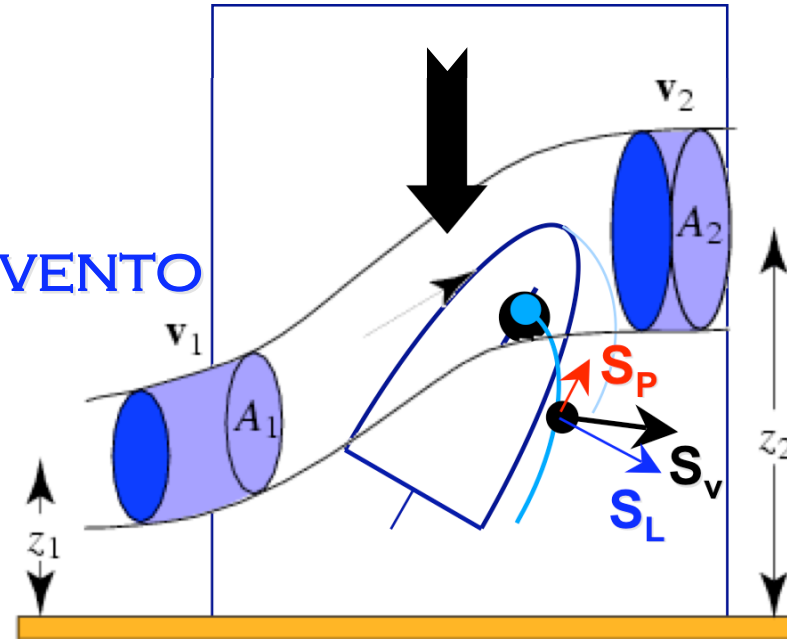
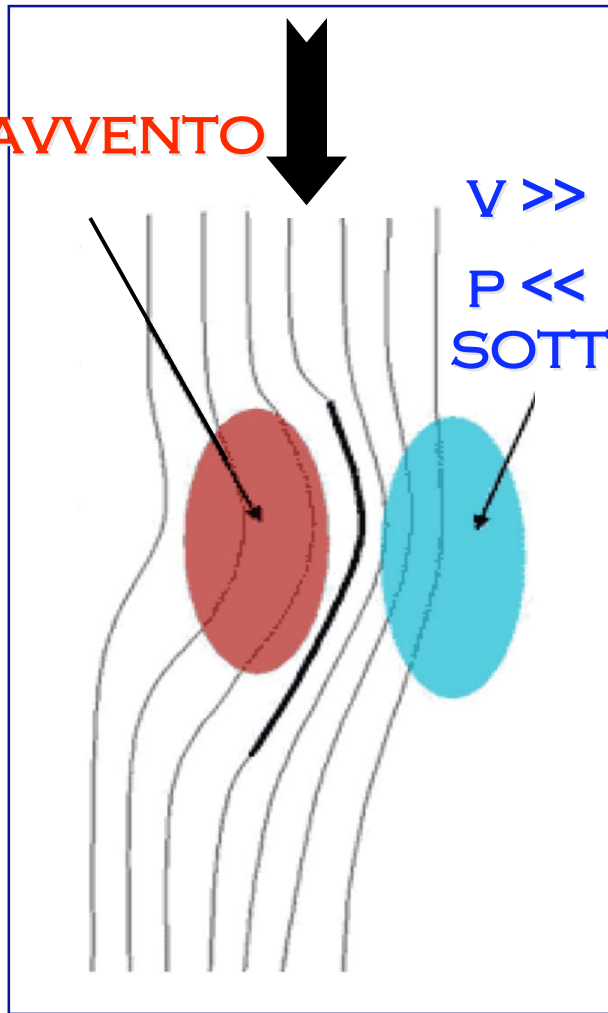
la barca in acqua e nel vento

# La vela di Bolina

$V \ll$   
 $P \gg$

SOPRAVENTO

$V \ll$   
 $P \gg$



TEOREMA DI BERNOUILLI

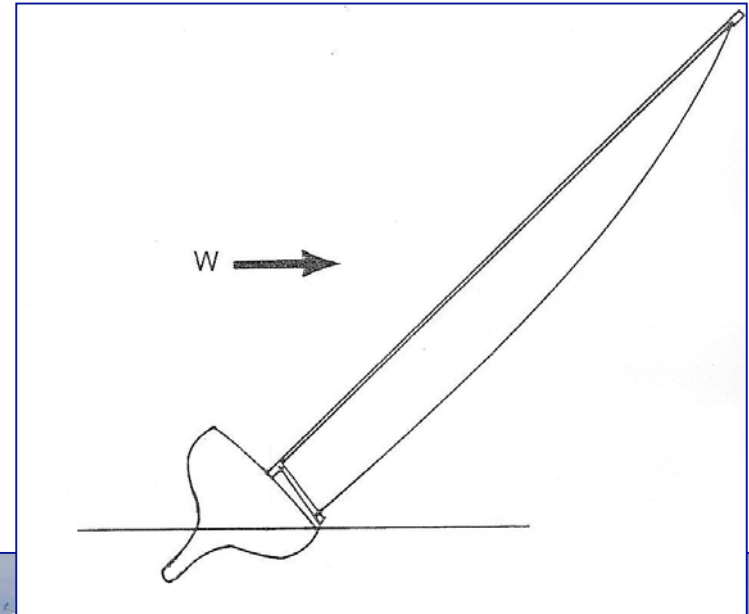
$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \cancel{\rho g h} = \text{costante}$$

$S_P =$  SPINTA PROPULSIVA

$S_L =$  SPINTA LATERALE (DE  
 $V \gg$   
 $P \ll$



# E adesso... se la barca si inclina?



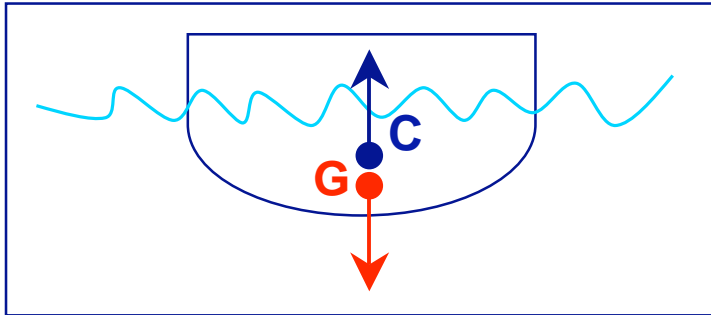
04-06-2009

L.Lanceri - Dinamica



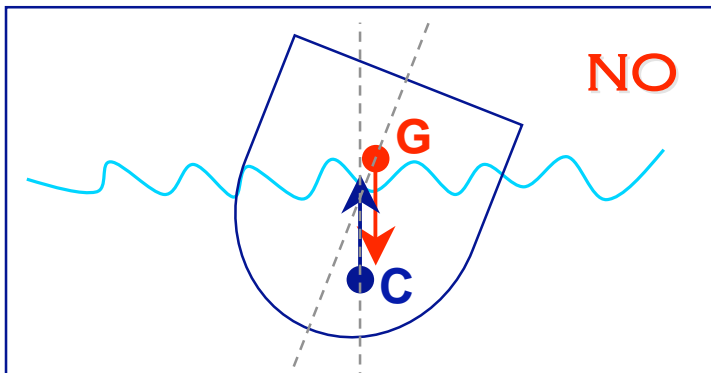
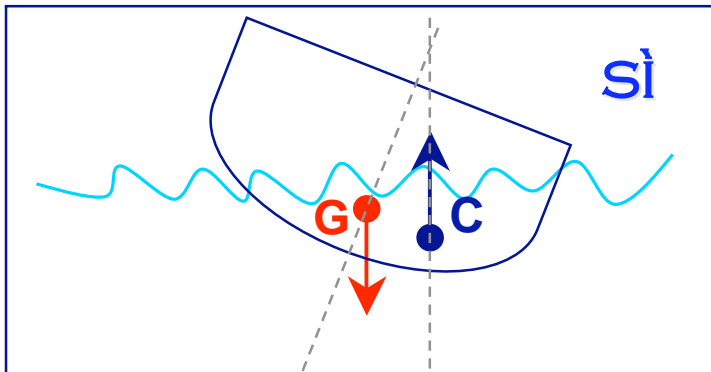
# Galleggiamento 1/2

## FORZA DI GRAVITA' VS SPINTA DI ARCHIMEDE



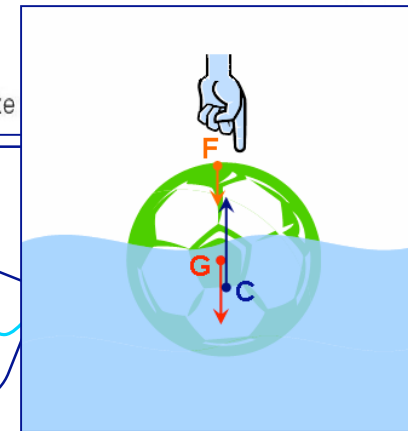
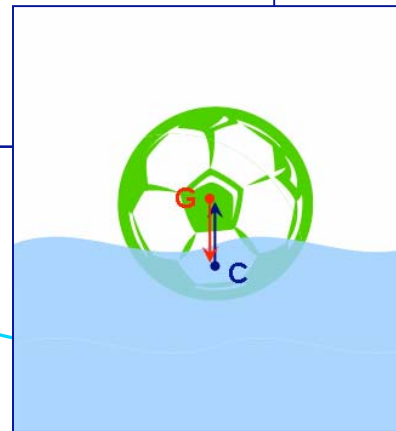
**G = BARICENTRO**

**C = CENTRO DI SPINTA**



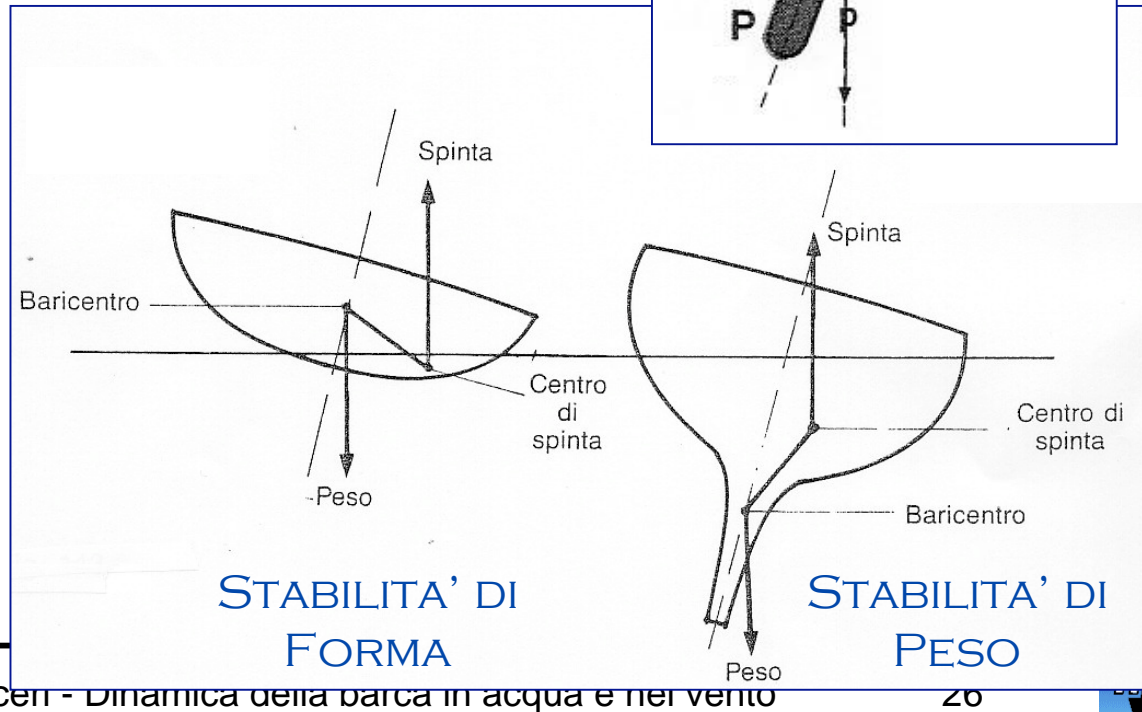
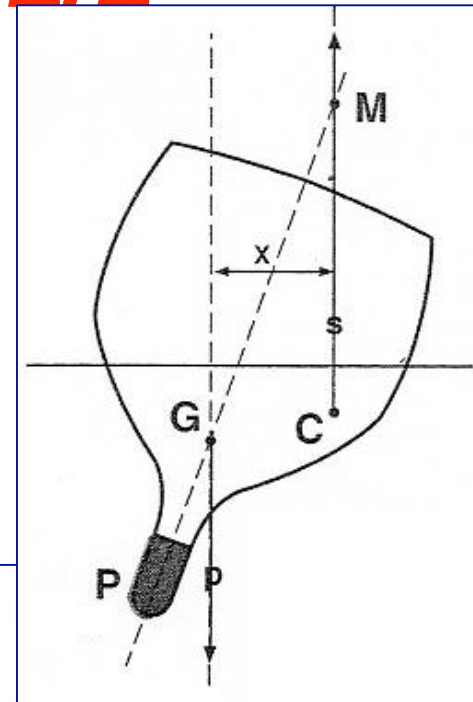
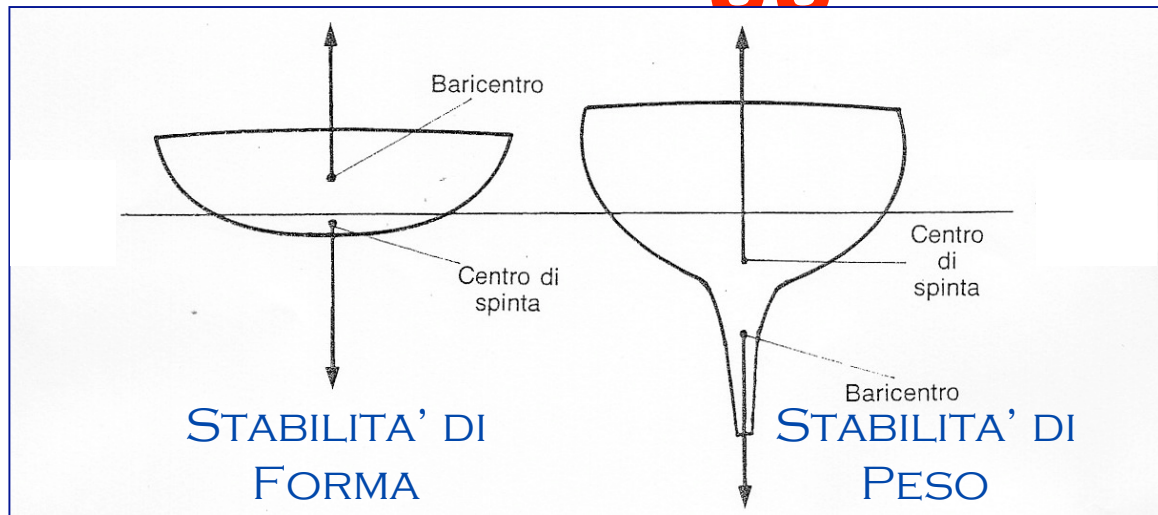
ARCHIMEDE:

UN CORPO IMMERSO IN UN LIQUIDO RICEVE UNA SPINTA VERTICALE PARI AL PESO DEL LIQUIDO SPOSTATO

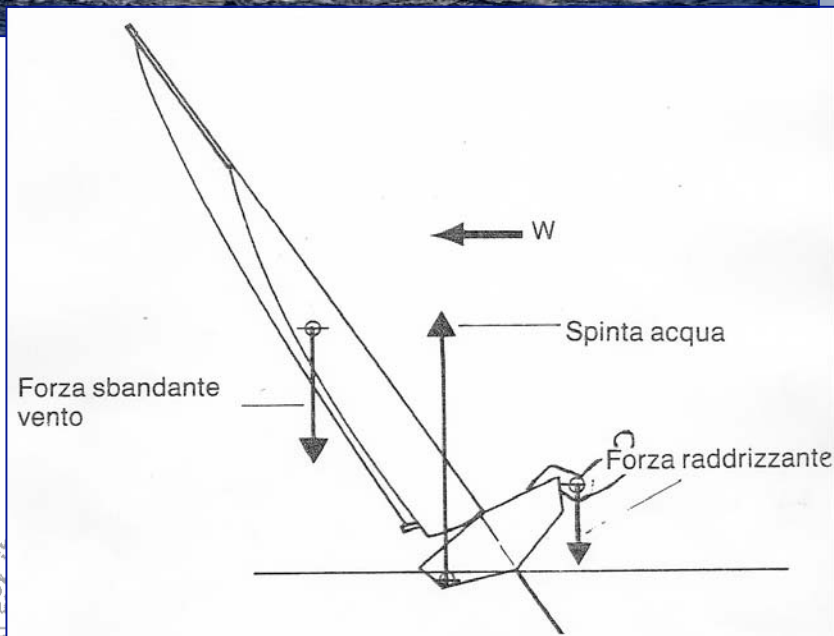


**M = METACENTRO**

# Galleggiamento 2/2



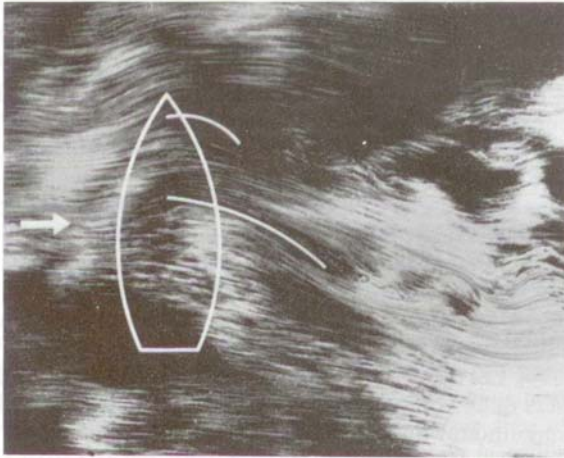
# Il Corpo Umano



la barca in acqua e nel vento

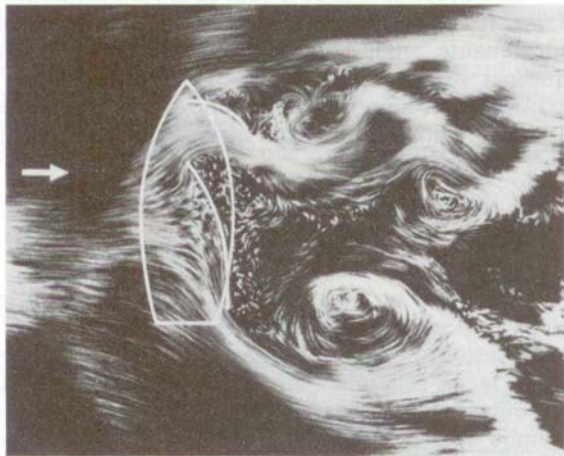


# Flussi laminari e turbolenti



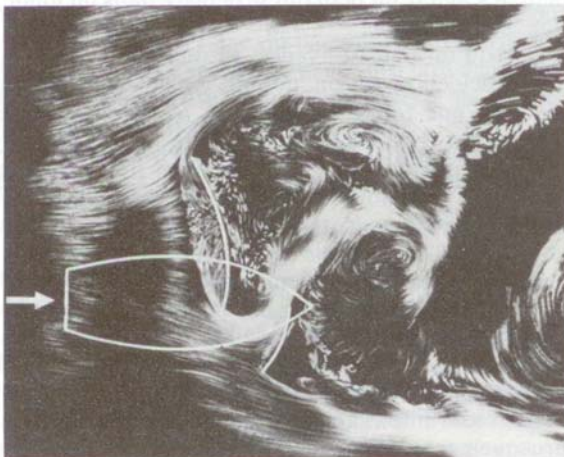
**Lasco, vele ben regolate: l'andatura più veloce !**

Aux faibles angles d'incidence, l'écoulement de l'air est laminaire; l'air s'écoule régulièrement le long des deux faces de chaque voile.



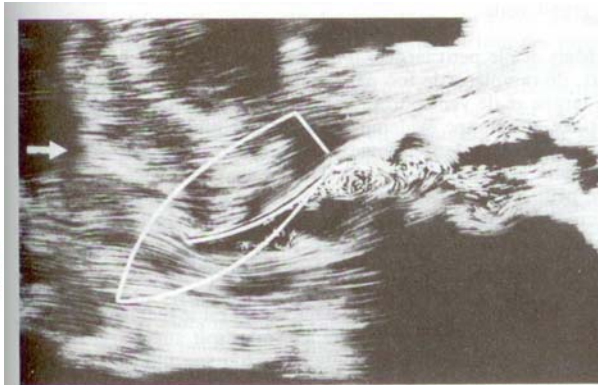
**Lasco, vele mal regolate**

Si l'on borde trop les voiles, l'écoulement devient turbulent; la voile décroche et la force aérodynamique diminue.



**Vento in poppa: meno veloce!**

Au vent arrière, où la voile est obligatoirement « trop bordée », l'écoulement est extrêmement turbulent. A bord d'un vrai bateau, il est possible de « visualiser », au moins partiellement, l'écoulement de l'air sur les voiles en fixant sur celles-ci de petits bouts de laine, genre de pennons.



**Bolina, sola randa**

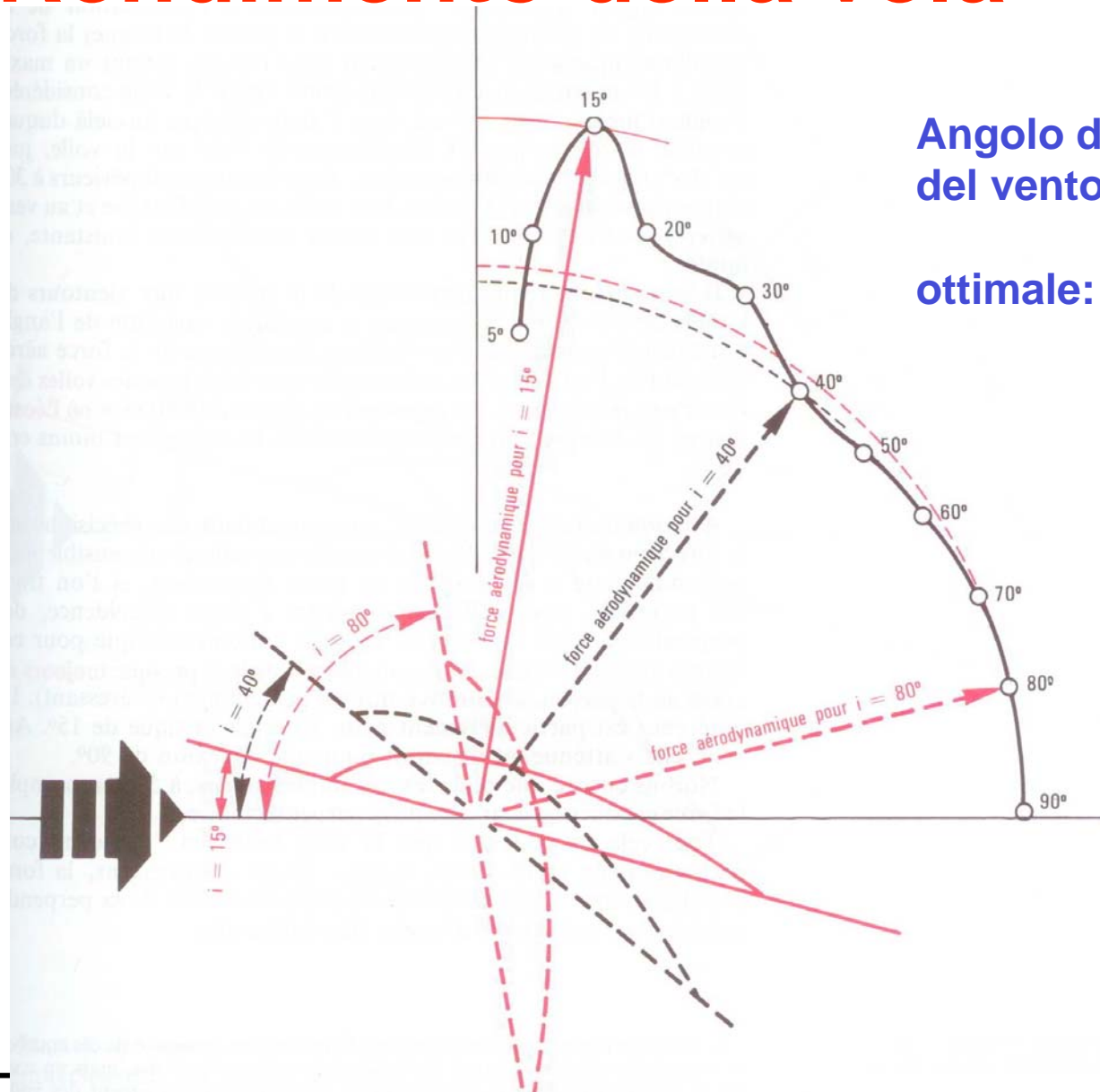
Sans foc : l'écoulement de l'air sous le vent de la grand-voile est turbulent, le rendement est mauvais.



**Bolina, randa + fiocco**

Avec foc : l'écoulement de l'air sous le vent de la grand-voile est laminaire, le rendement augmente considérablement.

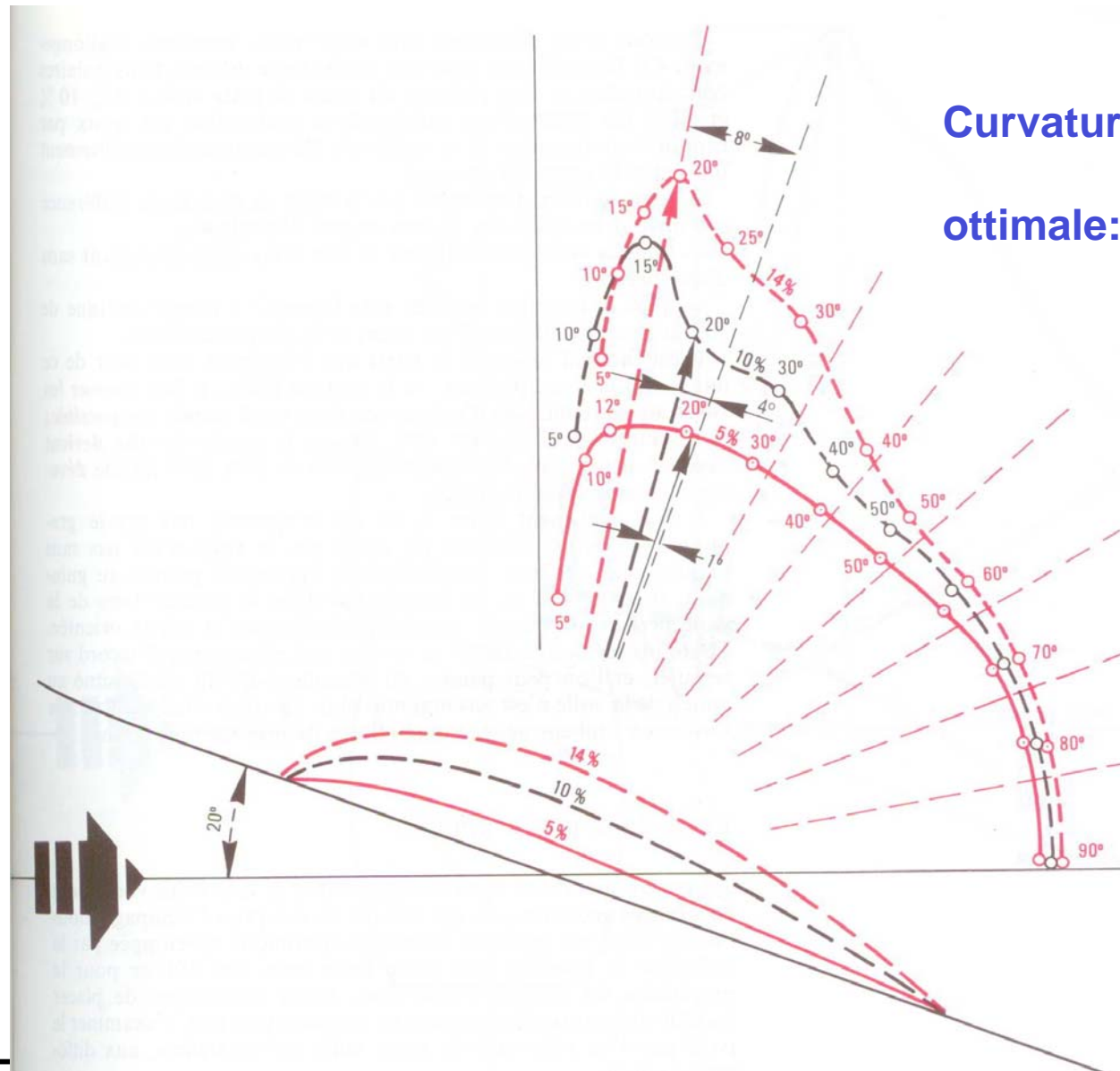
# Rendimento della vela - 1



Angolo di incidenza  
del vento sulla vela

ottimale: circa 15°

# Rendimento della vela - 2

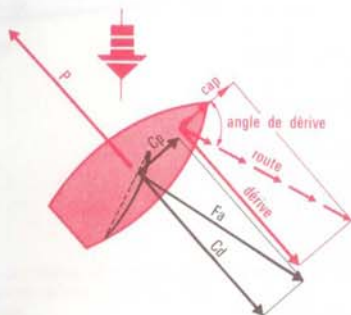


Curvatura della vela  
ottimale: circa 14%

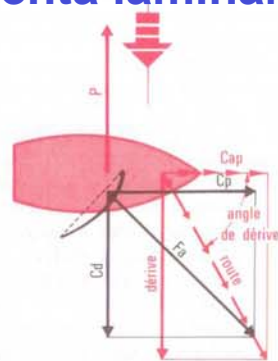
# Un esercizio pratico

Le jeu des forces à l'appareillage.

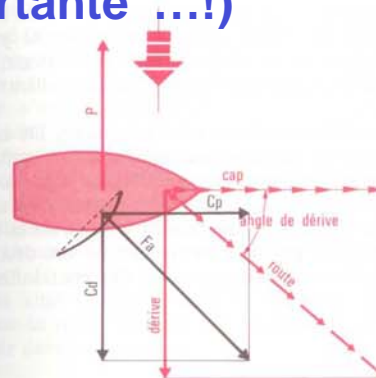
Non si può partire dall'ancoraggio direttamente in bolina: Prima bisogna poggiare, fino a quando il flusso sulla chiglia diventa laminare ("ala portante"....!)



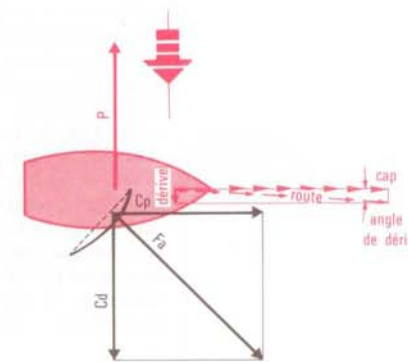
**1. Écoulement turbulent sur la quille.**  
Si l'on borde les voiles trop tôt quand le bateau est au près, la composante de dérive, très grande, exige pour être compensée une portance très grande. Celle-ci ne peut être obtenue qu'avec une grande vitesse de dérive. Comme la composante propulsive est faible, la vitesse en avant reste faible, en conséquence l'angle de dérive est énorme et n'a aucune raison de diminuer.



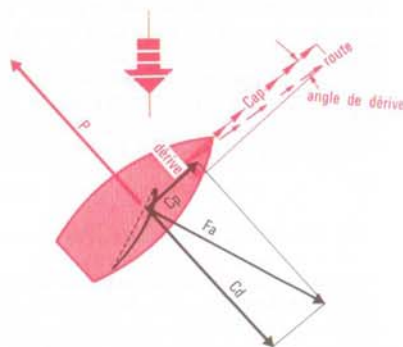
**2. Écoulement turbulent sur la quille.**  
Au départ, on ne borde donc les voiles que lorsque le bateau a suffisamment abattu; la force aérodynamique est orientée au mieux, la composante de dérive est aussi limitée que possible. La portance exigée est faible, mais ne peut cependant être obtenue qu'avec une vitesse de dérive grande, car l'écoulement de l'eau est toujours turbulent.



**3. Écoulement turbulent sur la quille.**  
La vitesse augmente. La composante de dérive est toujours la même, la portance également. La vitesse de dérive ne diminue pas car l'écoulement est toujours turbulent, mais puisque le bateau avance plus vite l'angle de dérive diminue.



**4. Écoulement laminaire sur la quille.**  
La vitesse augmente encore, l'angle de dérive diminue encore, et tout à coup la quille « accroche » (l'écoulement est devenu laminaire). Brusquement, la portance est obtenue avec une vitesse de dérive faible; l'angle de dérive devient négligeable.



**5. Écoulement laminaire sur la quille.**  
Maintenant on peut loffer. En écoulement laminaire, la portance équilibre la composante de dérive avec un angle de dérive faible.  
On peut remarquer que, sur ce croquis, la force aérodynamique est exactement la même que sur le croquis n° 1. Et, pourtant, le résultat est tout autre! C'est donc bien le changement de régime d'écoulement sur la quille qui crée la différence.

# Back-up slides



# LA FISICA E LA BARCA: COME E PERCHÉ

- LA BARCA A VELA, ANDATURE E MANOVRE
- IL VENTO E LE VELE
- IL GALLEGGIAMENTO



# La Fisica e la Vela

AMBIENTE caratteristiche ambientali	GRAVITÀ, SPINTA DI ARCHIMEDE, ATTRITI forze naturali (uguali per tutti) INTENSITÀ DEL VENTO forza naturale (uguale per tutti), strategia e tattica (abilità individuale)
ATTREZZO caratteristiche specifiche	GEOMETRIE E PROPRIETÀ MECCANICHE tecnologie costruttive: distribuzione dei pesi, forma della barca, forma e materiale delle vele (variabili)
CORPO UMANO caratteristiche “atletiche”	MOVIMENTI Biomeccanica (abilità individuale), massa

