

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria ...

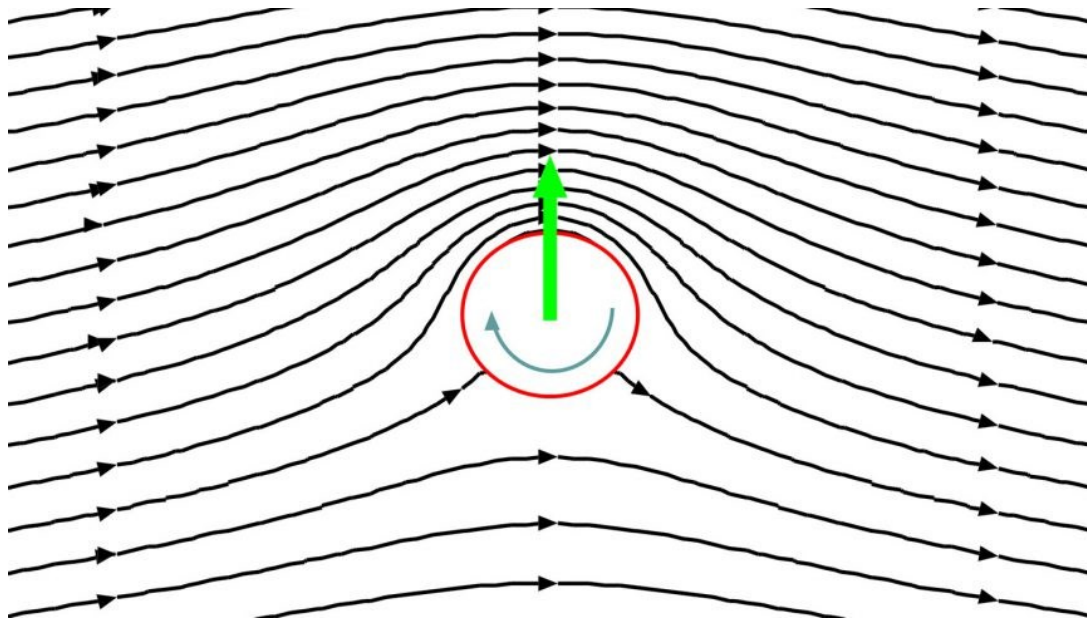
Relazione per la prova finale
«L'Effetto Magnus e le sue Applicazioni»

Tutor universitario: Prof. Francesco Picano

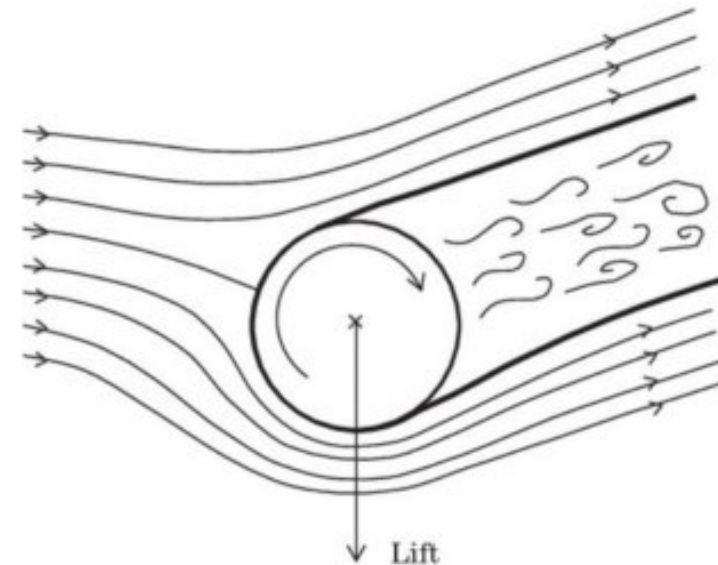
Padova, 24/03/2023

Laureando: *Alvise Martin*

Che cos'è L'Effetto Magnus? Differenza tra effetto Magnus Positivo e Negativo.



Effetto Magnus Positivo



Effetto Magnus Negativo

Perché si genera l'Effetto Magnus Positivo? Tale Fenomenologia può
descritta utilizzando la Teoria a Potenziale.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0$$

$$e \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}(p)$$

Equazioni di Eulero:
(Derivate dopo varie
semplificazioni dalle
equazioni di Navier-
Stokes)

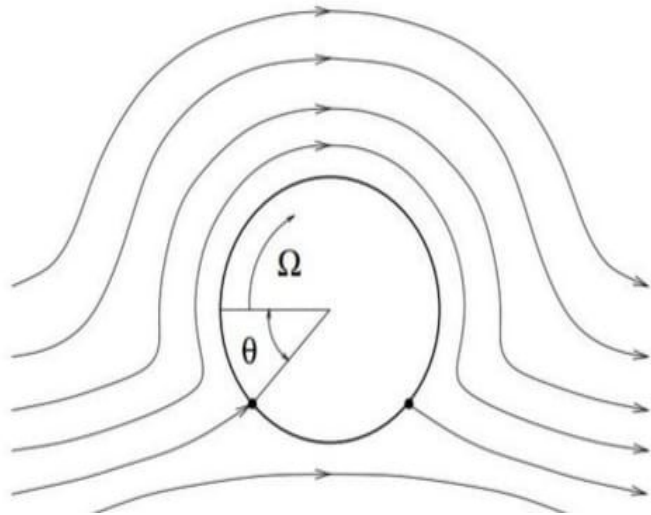


In un caso Stazionario e irrotazionale

$$\frac{1}{2} e V^2 + p = cost$$

E' noto come teorema di Bernulli

A questo punto, sotto le opportune ipotesi, si possono risolvere le Equazioni di Eulero sfruttando il Potenziale di Velocità, così facendo si ottiene l'andamento del C_p sul profilo di un cilindro con circolazione investito da una corrente indisturbata.



Traiettorie del flusso a potenziale intorno al cilindro con circolazione

$$C_p = \frac{2(P - P_{inf})}{\rho (V_{inf})^2}$$



$$D = \int_{\partial c} \vec{t}(\vec{n}) \cdot \hat{x} ds$$

$$L = \int_{\partial c} \vec{t}(\vec{n}) \cdot \hat{y} ds$$

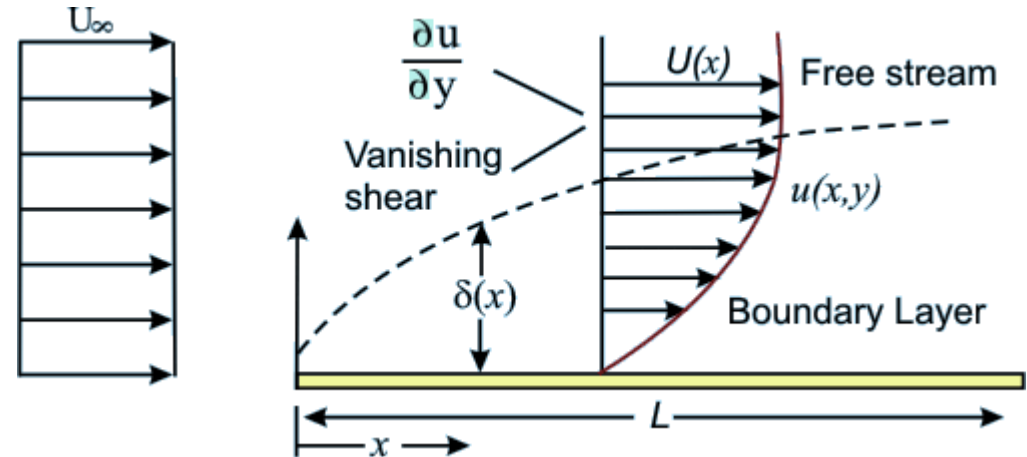
Il risultato sarà in accordo col teorema di Kutta-Joukowski

Per comprendere la fenomenologia dell'Effetto Magnus Negativo dobbiamo tenere in considerazione lo strato limite.

$$\left(\frac{\partial u'}{\partial y'}\right) + \left(\frac{\partial v'}{\partial y'}\right) = 0$$

$$u' \left(\frac{\partial u'}{\partial x'}\right) + v' \left(\frac{\partial u'}{\partial y'}\right) = - \left(\frac{dPe,0}{dx'}\right) + \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2}$$

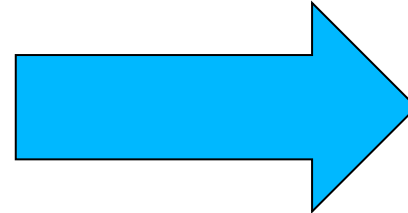
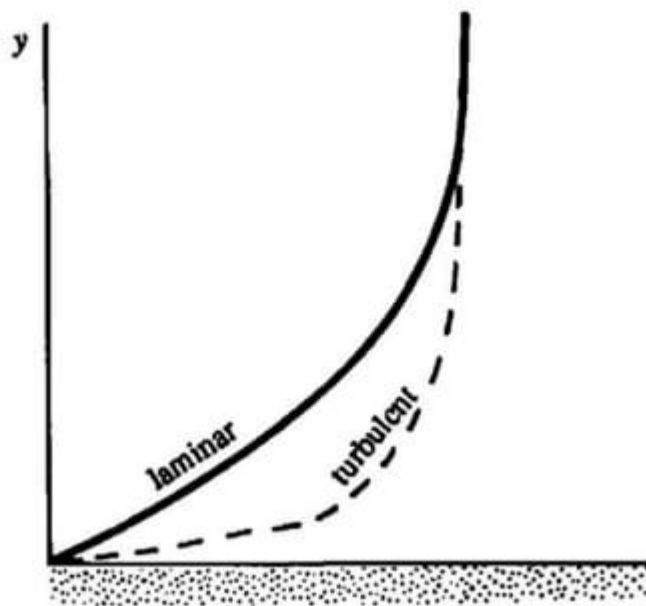
$$\frac{\partial p}{\partial y'} = 0$$



Sono paraboliche nella variabile x' :
Importante similitudine con
l'equazione di Fourier

Strato limite su una lastra piana:
Soluzione di Blasius.

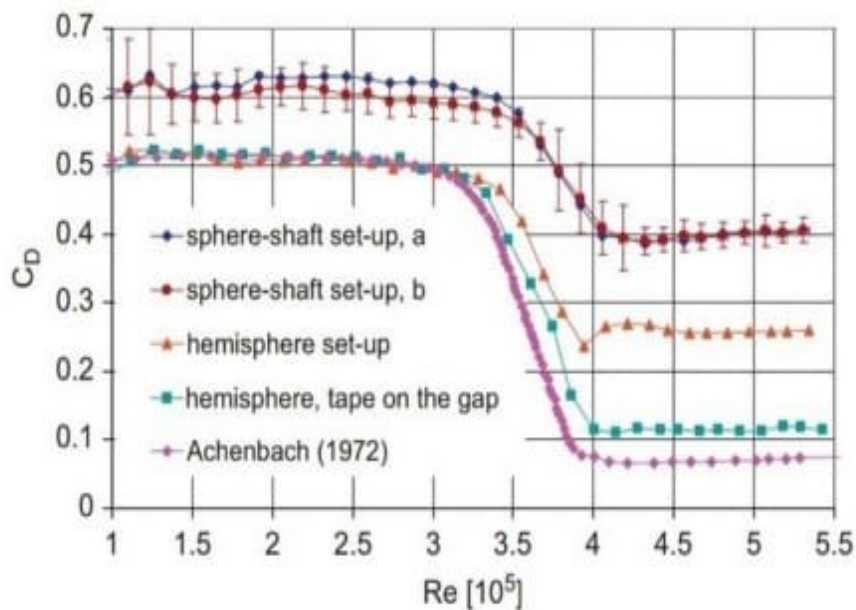
L'ultimo elemento che è necessario introdurre è la differenza tra la condizione di moto Laminare e di moto Turbolento nello strato limite.



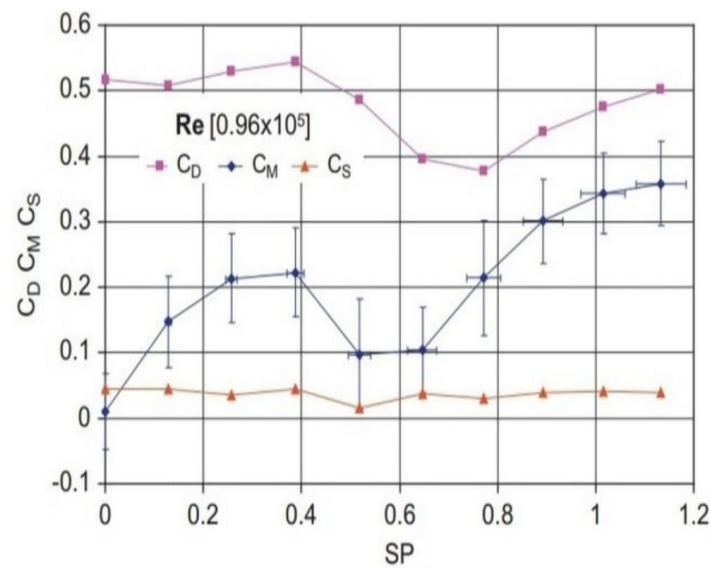
Per valori del numero di Reynolds intorno alla soglia critica si può osservare l'effetto Magnus negativo.

Il moto turbolento non è stazionario ed ha una quantità di moto media lungo x maggiore.

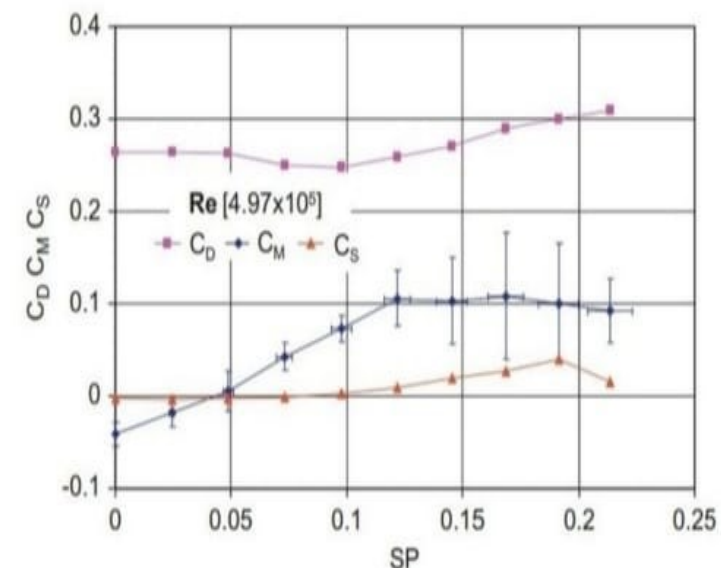
Riporto di seguito i dati ottenuti sperimentalmente nel 2012 dall'Università di Siegen in Germania, per il coefficiente di Drag, di Lift e di Magnus. Le misurazioni sono state effettuate per tre diversi valori del numero di Reynolds, al variare della velocità angolare della sfera. (Casi di Effetto Magnus Positivo)



Cd in funzione del Numero di Reynolds

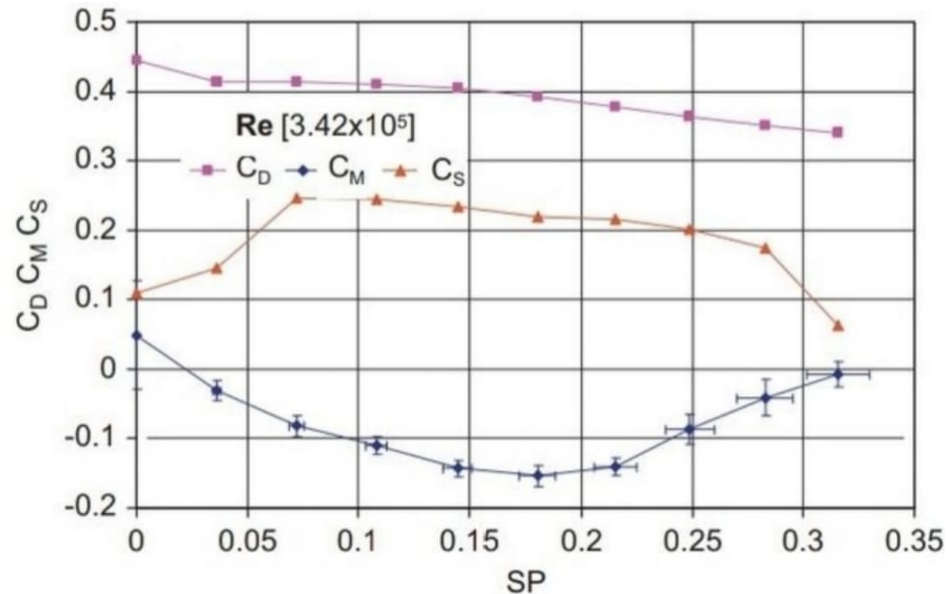


Moto laminare intorno alla sfera: Effetto Magnus Positivo

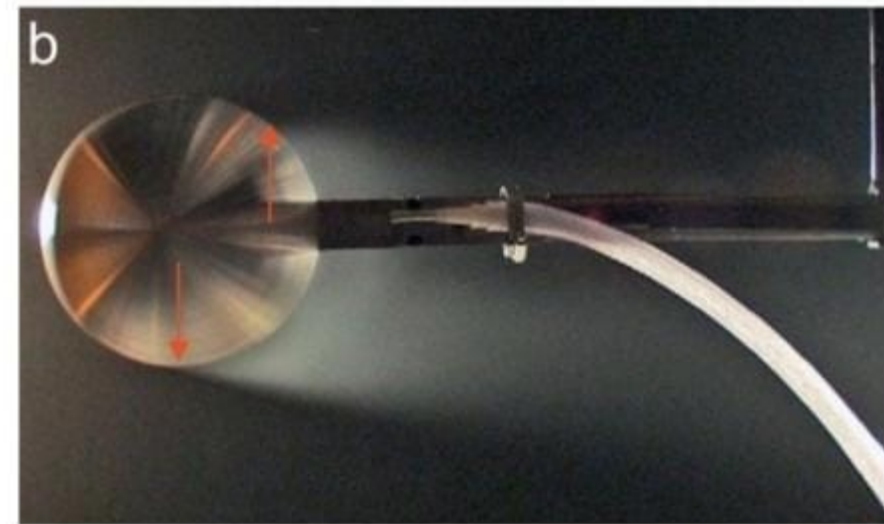


Moto turbolento intorno alla sfera: Effetto Magnus Positivo

Per il valore intermedio del numero di Reynolds, dato che ci troviamo in corrispondenza del range critico, come testimoniato dal calo della curva del C_D , osserviamo l'effetto Magnus Negativo.

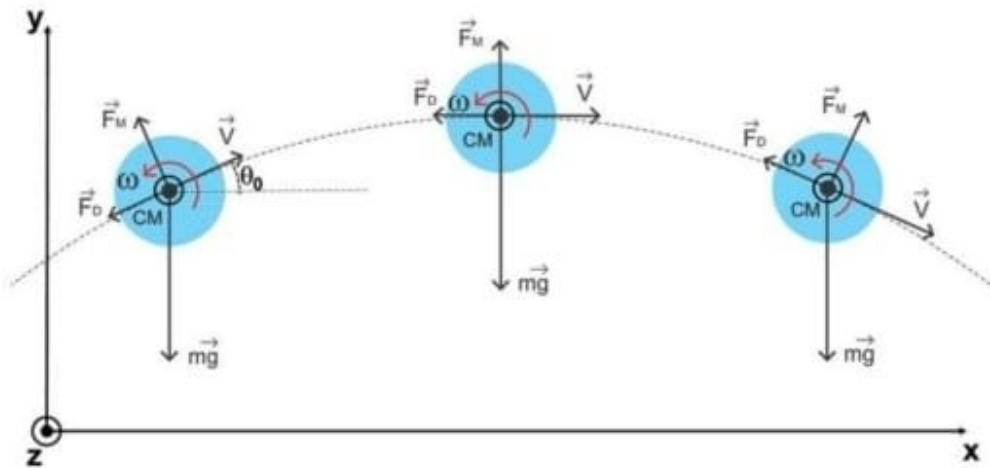


Numero di Reynolds nel range critico. Per valori negativi di C_M si osserva l'Effetto Magnus negativo.



Visualizzazione grafica dell'Effetto Magnus negativo tramite la tecnica Film-Oil.

In uno studio pubblicato nel 2021 sull'European Journal of Physics, si ricavano analiticamente le equazioni del moto di un pallone da pallavolo soggetto all'Effetto Magnus e al Drag. Dunque si confrontano le traiettorie così ottenute con quelle misurate sperimentalmente, trovando un ottimo accordo.



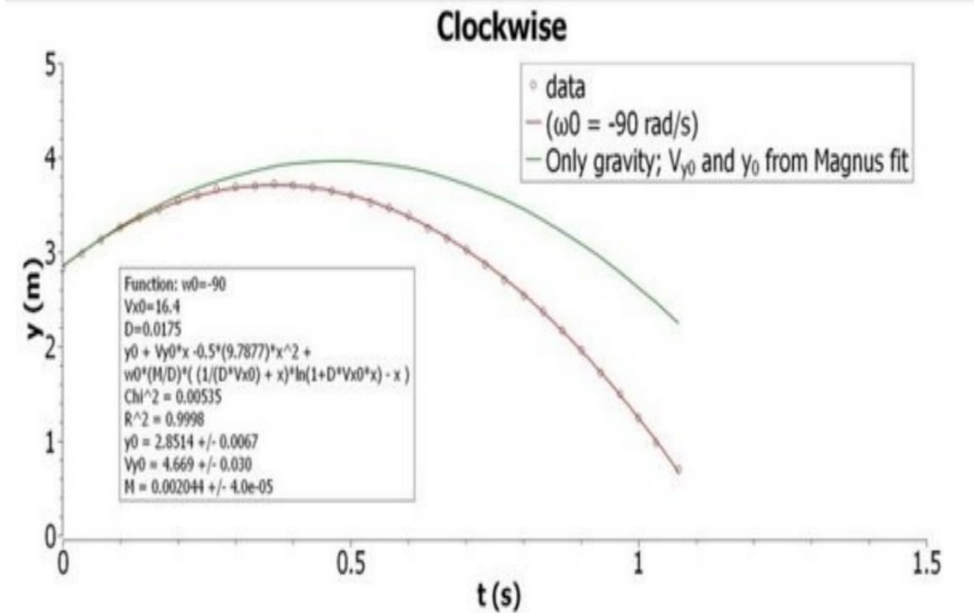
Schematizzazione del problema: Assi di riferimento, forze agenti sulla palla e suo verso di rotazione.

$$X(t) = X_0 + \frac{\ln |1 + D V_{x0} \cdot t|}{D}$$

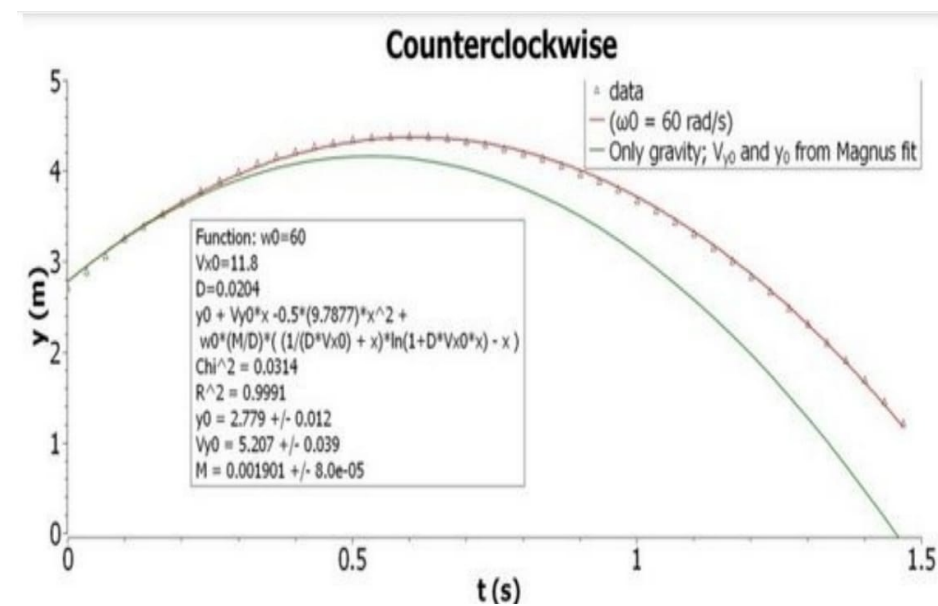
$$y(t) = y_0 + V_{y0} \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 + \frac{W_0 M}{D} \left[\left(t + \frac{1}{D V_{x0}} \right) \ln |1 + D V_{x0} \cdot t| - t \right]$$

Equazioni del moto lungo gli assi noti i dati iniziali. Sono state ricavate assumendo il Drag come unica forza agente lungo l'asse x e la Forza di Magnus come unica forza agente in direzione y.

Si sono dunque confrontate le traiettorie analitiche con quelle misurate da una video-analisi del moto della palla. Sono stati eseguiti due lanci: uno con rotazione oraria della palla (Forza di Magnus diretta verso il suolo) e uno con rotazione antioraria (Forza di Magnus diretta verso il cielo).

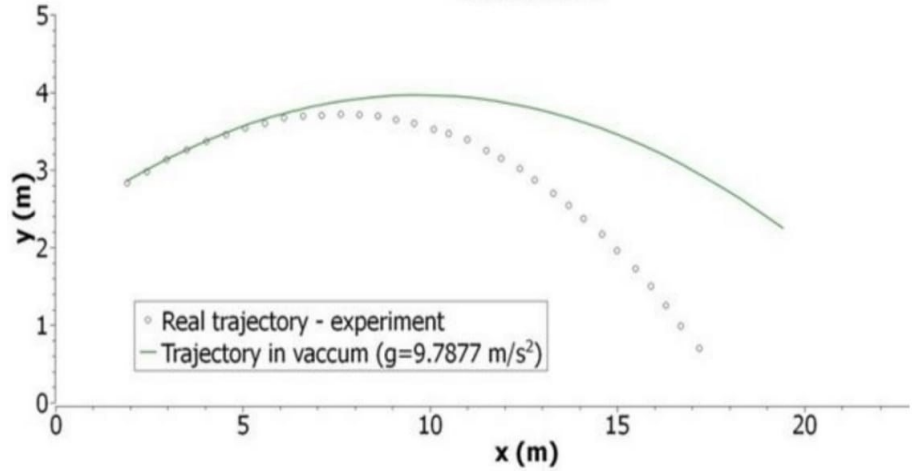


Caso di rotazione oraria: moto lungo l'asse y. In rosso la curva ottenuta considerando l'Effetto Magnus. In verde la parabola ottenuta considerando solo la gravità.



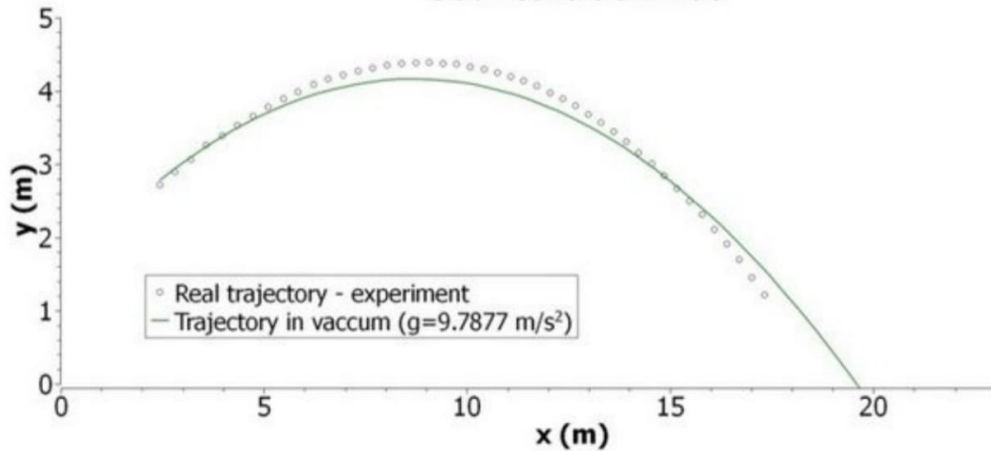
Caso di rotazione antioraria: moto lungo l'asse y. In rosso la curva ottenuta considerando l'Effetto Magnus. In verde la parabola ottenuta considerando solo la gravità.

Clockwise



Traiettoria della palla nel piano xy, caso di rotazione oraria. In verde è plottata la traiettoria nel vuoto, i pallini sono dati discreti estrapolati dalla video-analisi. Le condizioni iniziali sono identiche.

Counterclockwise



Traiettoria della palla nel piano xy, caso di rotazione antioraria. In verde è plottata la traiettoria nel vuoto, i pallini sono dati discreti estrapolati dalla video-analisi. Le condizioni iniziali sono identiche.

Il rotore Flettner è un cilindro liscio con un disco piatto alla sua estremità, che viene posto in rotazione attorno al suo asse di assialsimmetria. Quando il vento relativo investe il cilindro, si genera la forza di Magnus, che con la sua componente nella direzione del moto spinge l'imbarcazione.



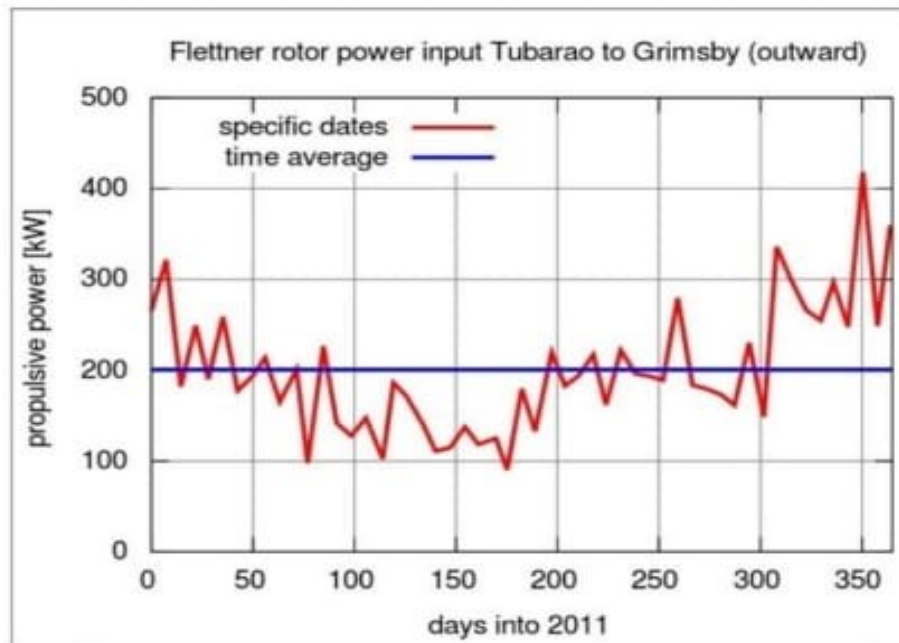
La Buckau, primo esempio di nave a rotore



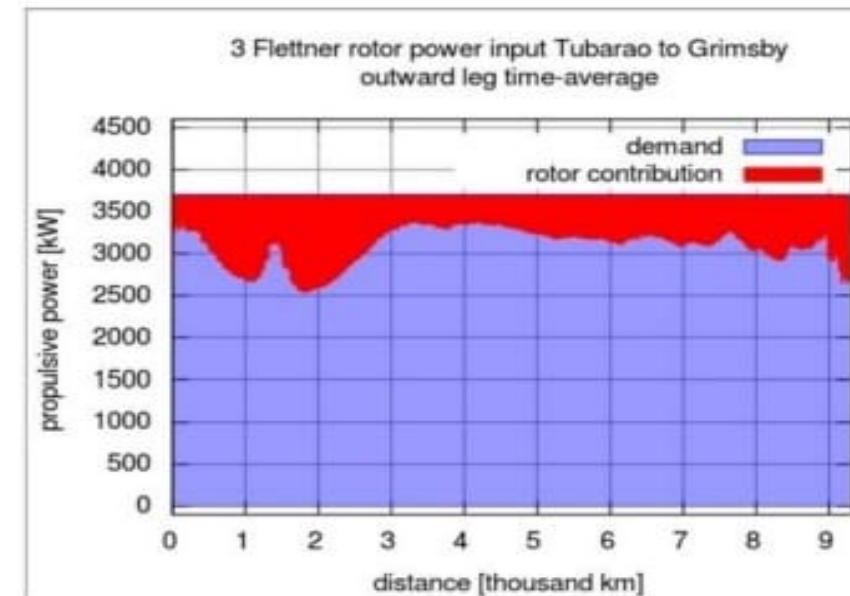
La nave cargo E-ship 1, costruita dall'azienda tedesca Enercon.

Uno studio realizzato dall'Università di Manchester, ha stimato quale sia l'impatto sui consumi di carburante, per una grande nave cargo, lunga la rotta Tubarao-Grimsby, dei rotori Flettner. Le condizioni del vento sull'Oceano Atlantico sono quelle fornite dal servizio meteorologico nazionale inglese.

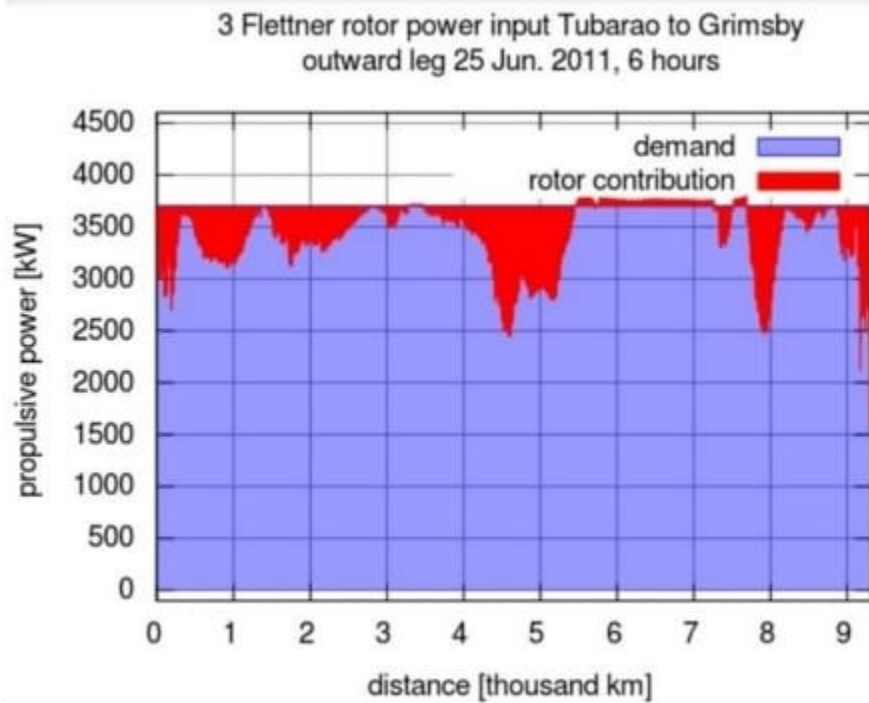
www.dii.unipd.it



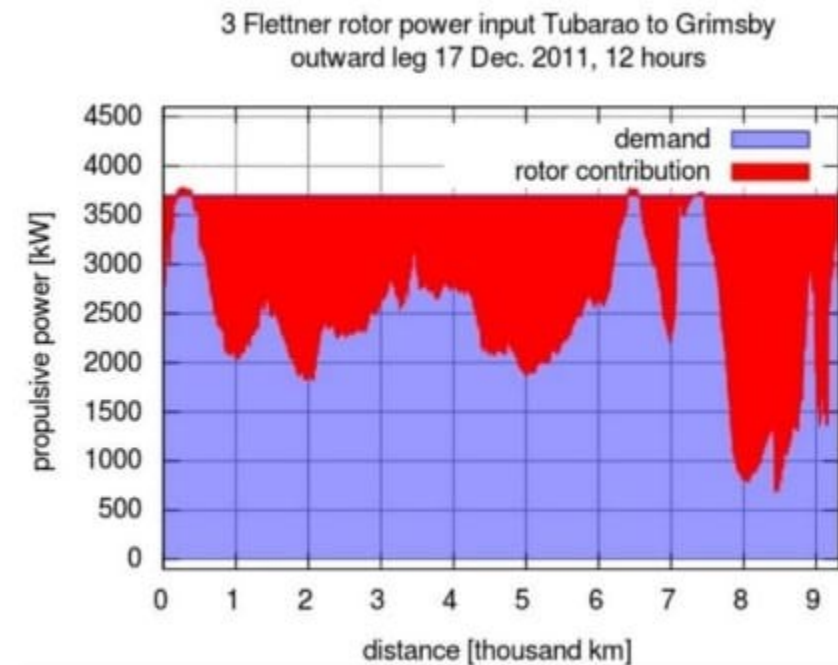
Potenza erogata lungo **TUTTA** la rotta da un singolo rotore, in funzione del giorno dell'anno, ossia della configurazione dei venti in atlantico.



Potenza erogata da tre rotori identici, in funzione della posizione lungo la rotta, considerando una configurazione media dei venti in atlantico



Potenza erogata da tre rotori identici, in funzione della posizione lungo la rotta, considerando la configurazione dei venti più sfavorevole in assoluto.



Potenza erogata da tre rotori identici, in funzione della posizione lungo la rotta, considerando la configurazione dei venti più favorevole in assoluto.

- Per valori del numero di Reynolds nel range critico si può osservare l'Effetto Magnus negativo, per valori del numero di Reynolds al di sopra o al di sotto del range critico si osserva l'Effetto Magnus positivo.
- La finitura superficiale della sfera ha un ruolo importante nell'aerodinamica della stessa.
- La tecnologia del Rotore Flettner garantisce significativi risparmi di carburante in condizioni favorevoli.
- La tecnologia del Rotore Flettner presenta alcune problematiche. Per esempio occupano spazio sul ponte della nave che potrebbe allocare del carico pagante e causano un aumento dei costi di manutenzione.