Che cos'è un fluido?

Breve introduzione alla fluidodinamica

Alessandro Musesti

Università Cattolica del Sacro Cuore

Verona, 28 maggio 2008

Applicazioni?

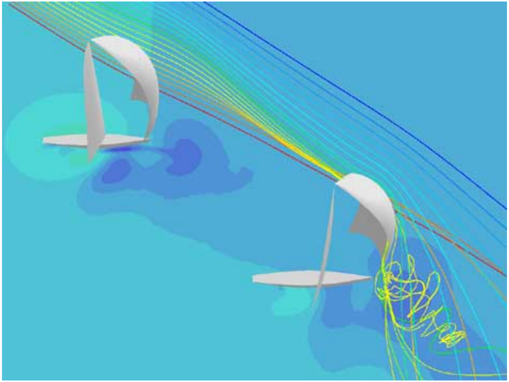
Uno dei successi più recenti delle "applicazioni" della fluidodinamica:

Applicazioni?

Uno dei successi più recenti delle “applicazioni” della fluidodinamica:

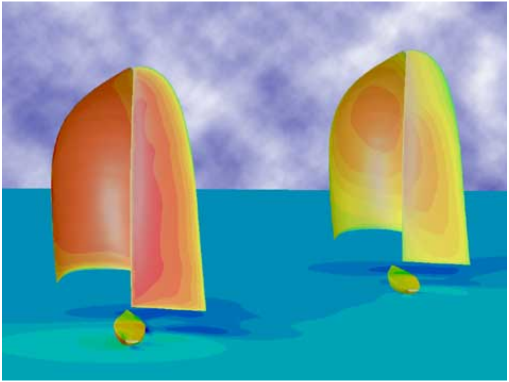
Applicazioni?

Uno dei successi più recenti delle "applicazioni" della fluidodinamica:

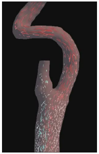


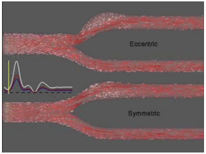
Applicazioni?

Uno dei successi più recenti delle “applicazioni” della fluidodinamica:



Applicazioni!





Definire un fluido?

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria. . .

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria. . .

Definizione

Un *fluido* è una sostanza che si deforma illimitatamente se sottoposta a uno sforzo di taglio costante, anche molto piccolo.

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria...

Definizione

Un *fluido* è una sostanza che si deforma illimitatamente se sottoposta a uno sforzo di taglio costante, anche molto piccolo.

Di conseguenza: nei fluidi gli sforzi sono proporzionali alla velocità di deformazione

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria...

Definizione

Un *fluido* è una sostanza che si deforma illimitatamente se sottoposta a uno sforzo di taglio costante, anche molto piccolo.

Di conseguenza: nei fluidi gli sforzi sono proporzionali alla velocità di deformazione (nei *solidi* gli sforzi sono funzione della deformazione stessa).

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria...

Definizione

Un *fluido* è una sostanza che si deforma illimitatamente se sottoposta a uno sforzo di taglio costante, anche molto piccolo.

Di conseguenza: nei fluidi gli sforzi sono proporzionali alla velocità di deformazione (nei *solidi* gli sforzi sono funzione della deformazione stessa).

- acqua

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria...

Definizione

Un *fluido* è una sostanza che si deforma illimitatamente se sottoposta a uno sforzo di taglio costante, anche molto piccolo.

Di conseguenza: nei fluidi gli sforzi sono proporzionali alla velocità di deformazione (nei *solidi* gli sforzi sono funzione della deformazione stessa).

- acqua
- aria

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria. . .

Definizione

Un *fluido* è una sostanza che si deforma illimitatamente se sottoposta a uno sforzo di taglio costante, anche molto piccolo.

Di conseguenza: nei fluidi gli sforzi sono proporzionali alla velocità di deformazione (nei *solidi* gli sforzi sono funzione della deformazione stessa).

- acqua
- aria
- olio

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria. . .

Definizione

Un *fluido* è una sostanza che si deforma illimitatamente se sottoposta a uno sforzo di taglio costante, anche molto piccolo.

Di conseguenza: nei fluidi gli sforzi sono proporzionali alla velocità di deformazione (nei *solidi* gli sforzi sono funzione della deformazione stessa).

- acqua
- aria
- olio
- sangue

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria...

Definizione

Un *fluido* è una sostanza che si deforma illimitatamente se sottoposta a uno sforzo di taglio costante, anche molto piccolo.

Di conseguenza: nei fluidi gli sforzi sono proporzionali alla velocità di deformazione (nei *solidi* gli sforzi sono funzione della deformazione stessa).

- acqua
- aria
- olio
- sangue
- sabbia

Definire un fluido?

Comunemente si usa distinguere i fluidi dai solidi per il fatto che questi ultimi hanno una forma propria. . .

Definizione

Un *fluido* è una sostanza che si deforma illimitatamente se sottoposta a uno sforzo di taglio costante, anche molto piccolo.

Di conseguenza: nei fluidi gli sforzi sono proporzionali alla velocità di deformazione (nei *solidi* gli sforzi sono funzione della deformazione stessa).

- acqua
- aria
- olio
- sangue
- sabbia
- vetro

Equazione del moto di un fluido

Equazione del moto di un fluido

Quattro idee principali:

Equazione del moto di un fluido

Quattro idee principali:

1. mezzo continuo
2. secondo principio della dinamica
3. pressione
4. forza viscosa

Equazione del moto di un fluido

Quattro idee principali:

1. mezzo continuo
2. secondo principio della dinamica
3. pressione
4. forza viscosa

mezzo continuo: dimentichiamoci le teorie molecolari, il fluido occupa *completamente* una parte di spazio.

Equazione del moto di un fluido

Quattro idee principali:

1. mezzo continuo
2. secondo principio della dinamica
3. pressione
4. forza viscosa

secondo principio della dinamica:

$$\text{massa} \cdot \text{accelerazione} = \text{forza applicata}$$

Equazione del moto di un fluido

Quattro idee principali:

1. mezzo continuo
2. secondo principio della dinamica
3. pressione
4. forza viscosa

pressione e forza viscosa: decomponiamo la forza applicata in

forza esterna + forza di pressione + forza viscosa

Equazione del moto di un fluido

$$\text{massa} \cdot \text{accelerazione} = \text{f. esterna} + \text{f. pressione} + \text{f. viscosa}$$

Equazione del moto di un fluido

$$\text{massa} \cdot \text{accelerazione} = \text{f. esterna} + \text{f. pressione} + \text{f. viscosa}$$

Consideriamo un elemento (infinitesimo) di volume, e denotiamo con ρ la sua *densità di massa*:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Equazione del moto di un fluido

$$\text{massa} \cdot \text{accelerazione} = \text{f. esterna} + \text{f. pressione} + \text{f. viscosa}$$

Consideriamo un elemento (infinitesimo) di volume, e denotiamo con ρ la sua *densità di massa*:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Consideriamo l'equazione del moto per un elemento infinitesimo. Abbiamo:

Equazione del moto di un fluido

$$\text{massa} \cdot \text{accelerazione} = \text{f. esterna} + \text{f. pressione} + \text{f. viscosa}$$

Consideriamo un elemento (infinitesimo) di volume, e denotiamo con ρ la sua *densità di massa*:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Consideriamo l'equazione del moto per un elemento infinitesimo. Abbiamo:

$$\rho\, \mathbf{a} =$$

Equazione del moto di un fluido

$$\text{massa} \cdot \text{accelerazione} = \text{f. esterna} + \text{f. pressione} + \text{f. viscosa}$$

Consideriamo un elemento (infinitesimo) di volume, e denotiamo con ρ la sua *densità di massa*:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Consideriamo l'equazione del moto per un elemento infinitesimo. Abbiamo:

$$\rho\,\mathbf{a} = \rho\,\mathbf{g}$$

Equazione del moto di un fluido

$$\text{massa} \cdot \text{accelerazione} = \text{f. esterna} + \text{f. pressione} + \text{f. viscosa}$$

Consideriamo un elemento (infinitesimo) di volume, e denotiamo con ρ la sua *densità di massa*:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Consideriamo l'equazione del moto per un elemento infinitesimo. Abbiamo:

$$\rho\,\mathbf{a} = \rho\,\mathbf{g} \qquad + \mathbf{f}_{\text{visc}}$$

Equazione del moto di un fluido

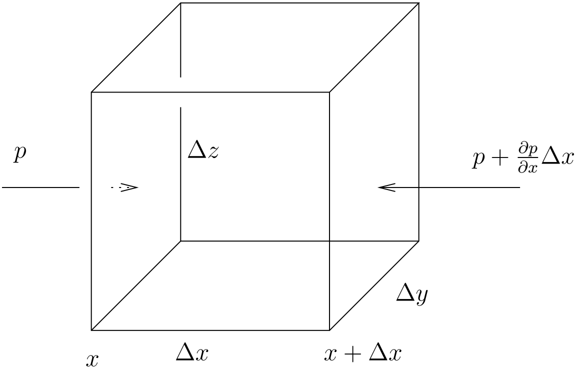
$$\text{massa} \cdot \text{accelerazione} = \text{f. esterna} + \text{f. pressione} + \text{f. viscosa}$$

Consideriamo un elemento (infinitesimo) di volume, e denotiamo con ρ la sua *densità di massa*:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Consideriamo l'equazione del moto per un elemento infinitesimo. Abbiamo:

$$\rho\,\mathbf{a} = \rho\,\mathbf{g} - \nabla p + \mathbf{f}_{\text{visc}}$$



forza di pressione $= -\nabla p$

Fluidi perfetti

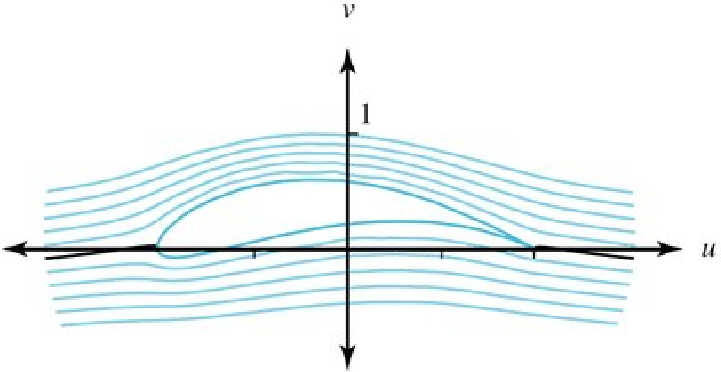
Se si pone $\mathbf{f}_{\text{visc}} = 0$, si ottiene la cosiddetta *equazione di Eulero* (1755):

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \rho\,\mathbf{g} - \nabla p$$

Fluidi perfetti

Se si pone $\mathbf{f}_{\text{visc}} = 0$, si ottiene la cosiddetta *equazione di Eulero* (1755):

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \rho\,\mathbf{g} - \nabla p$$



Fluidi perfetti

Se si pone $\mathbf{f}_{\text{visc}} = 0$, si ottiene la cosiddetta *equazione di Eulero* (1755):

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \rho\, \mathbf{g} - \nabla p$$

Fluidi perfetti

Se si pone $\mathbf{f}_{\text{visc}} = 0$, si ottiene la cosiddetta *equazione di Eulero* (1755):

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \rho\,\mathbf{g} - \nabla p$$

Attenzione ai paradossi!

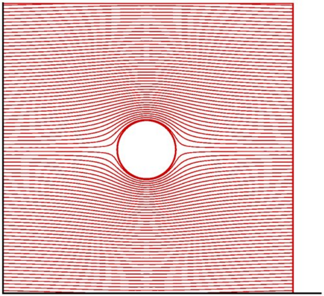
- Un fluido perfetto in un tubo raggiunge velocità sempre più grandi con una spinta finita.

Attenzione ai paradossi!

- Un fluido perfetto in un tubo raggiunge velocità sempre più grandi con una spinta finita.
- Paradosso di d'Alembert: un corpo immerso in un fluido perfetto che scorre non viene trascinato.

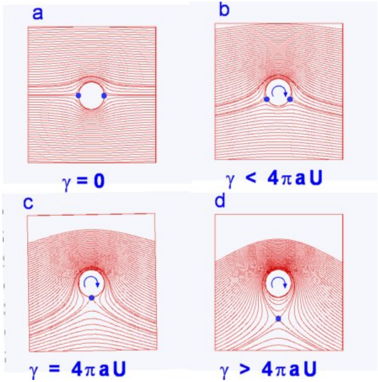
Attenzione ai paradossi!

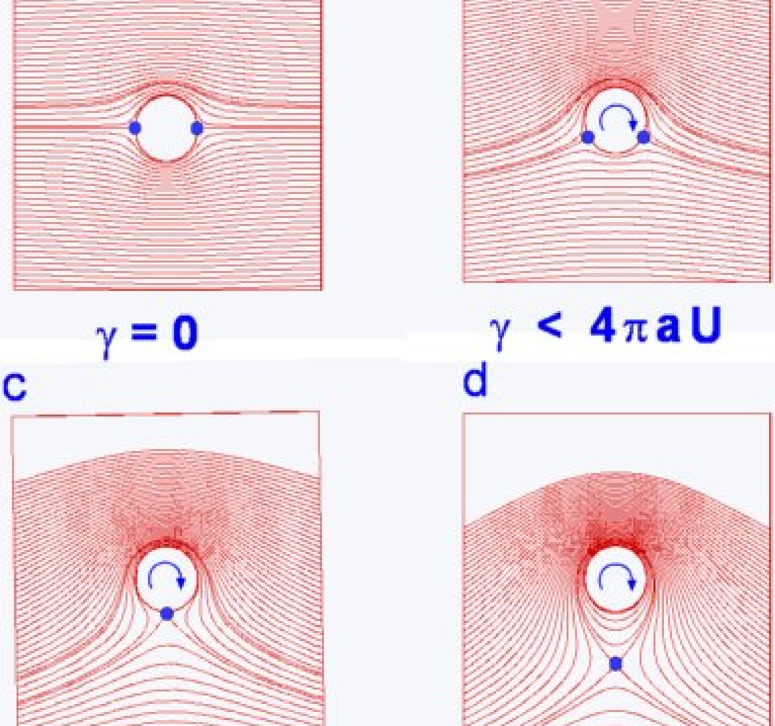
- Un fluido perfetto in un tubo raggiunge velocità sempre più grandi con una spinta finita.
- Paradosso di d'Alembert: un corpo immerso in un fluido perfetto che scorre non viene trascinato.



Attenzione ai paradossi!

- Un fluido perfetto in un tubo raggiunge velocità sempre più grandi con una spinta finita.
- Paradosso di d'Alembert: un corpo immerso in un fluido perfetto che scorre non viene trascinato.





$\gamma = 0$
$\gamma < 4\pi a U$
c
d

Forza viscosa

Supponiamo $\rho =$ costante (fluido *incomprimibile*).
Per un modello più aderente alla realtà si aggiunge il termine

$$\mathbf{f}_{\mathrm{visc}} = \mu \Delta \mathbf{v} = \mu \left(\frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial z^2} \right)$$

Forza viscosa

Supponiamo $\rho =$ costante (fluido *incomprimibile*).

Per un modello più aderente alla realtà si aggiunge il termine

$$\mathbf{f}_{\text{visc}} = \mu \Delta \mathbf{v} = \mu \left(\frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial z^2} \right)$$

μ è la *viscosità* e tiene conto degli attriti interni del fluido.

Forza viscosa

Supponiamo $\rho =$ costante (fluido *incomprimibile*).
Per un modello più aderente alla realtà si aggiunge il termine

$$\mathbf{f}_{\text{visc}} = \mu \Delta \mathbf{v} = \mu \left(\frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial z^2} \right)$$

μ è la *viscosità* e tiene conto degli attriti interni del fluido.
Si ricava l'*equazione di Navier-Stokes* (1822-45):

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \Delta \mathbf{v}$$

Forza viscosa

Supponiamo $\rho =$ costante (fluido *incomprimibile*).
Per un modello più aderente alla realtà si aggiunge il termine

$$\mathbf{f}_{\text{visc}} = \mu \Delta \mathbf{v} = \mu \left(\frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial z^2} \right)$$

μ è la *viscosità* e tiene conto degli attriti interni del fluido.
Si ricava l'*equazione di Navier-Stokes* (1822-45):

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \Delta \mathbf{v}$$

Claude Navier
(1822)

Forza viscosa

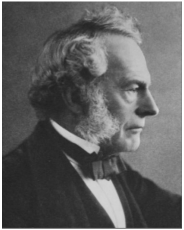
Supponiamo $\rho =$ costante (fluido *incomprimibile*).
Per un modello più aderente alla realtà si aggiunge il termine

$$\mathbf{f}_{\text{visc}} = \mu \Delta \mathbf{v} = \mu \left(\frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial z^2} \right)$$

μ è la *viscosità* e tiene conto degli attriti interni del fluido.
Si ricava l'*equazione di Navier-Stokes* (1822-45):

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \Delta \mathbf{v}$$

Claude Navier
(1822)



George Stokes
(1845)

Equazione di Navier-Stokes

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu}{\rho}\Delta\mathbf{v}$$

La quasi totalità dello studio del moto dei fluidi si basa su questa equazione. In alcuni casi molto particolari, se ne trova una soluzione esplicita (Poiseuille, Couette, Stokes).

Equazione di Navier-Stokes

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu}{\rho}\Delta\mathbf{v}$$

La quasi totalità dello studio del moto dei fluidi si basa su questa equazione. In alcuni casi molto particolari, se ne trova una soluzione esplicita (Poiseuille, Couette, Stokes).
Ma in generale questa equazione ammette una soluzione (regolare)?

Equazione di Navier-Stokes

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu}{\rho}\Delta\mathbf{v}$$

La quasi totalità dello studio del moto dei fluidi si basa su questa equazione. In alcuni casi molto particolari, se ne trova una soluzione esplicita (Poiseuille, Couette, Stokes).
Ma in generale questa equazione ammette una soluzione (regolare)?
Non si sa. È uno dei sette *millennium problems* posti nel 2000 dal *Clay Institute*, un istituto matematico staunitense.

Equazione di Navier-Stokes

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu}{\rho}\Delta\mathbf{v}$$

La quasi totalità dello studio del moto dei fluidi si basa su questa equazione. In alcuni casi molto particolari, se ne trova una soluzione esplicita (Poiseuille, Couette, Stokes).

Ma in generale questa equazione ammette una soluzione (regolare)?

Non si sa. È uno dei sette *millennium problems* posti nel 2000 dal *Clay Institute*, un istituto matematico staunitense. Premio per questo problema:

un milione di dollari.

Equazione di Navier-Stokes

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu}{\rho}\Delta\mathbf{v}$$

La quasi totalità dello studio del moto dei fluidi si basa su questa equazione. In alcuni casi molto particolari, se ne trova una soluzione esplicita (Poiseuille, Couette, Stokes).

Ma in generale questa equazione ammette una soluzione (regolare)?

Non si sa. È uno dei sette *millennium problems* posti nel 2000 dal *Clay Institute*, un istituto matematico staunitense. Premio per questo problema:

un milione di dollari.

L'equazione ha quasi 200 anni, ma non la si sa risolvere.

Equazione di Navier-Stokes

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu}{\rho}\Delta\mathbf{v}$$

La quasi totalità dello studio del moto dei fluidi si basa su questa equazione. In alcuni casi molto particolari, se ne trova una soluzione esplicita (Poiseuille, Couette, Stokes).

Ma in generale questa equazione ammette una soluzione (regolare)?

Non si sa. È uno dei sette *millennium problems* posti nel 2000 dal *Clay Institute*, un istituto matematico staunitense. Premio per questo problema:

un milione di dollari.

L'equazione ha quasi 200 anni, ma non la si sa risolvere. E, cosa ancora peggiore per un matematico, non si sa nemmeno se abbia una soluzione!

Clay Mathematics Institute - Swiftweasel

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://www.claymath.org/millennium/Navier-Stokes_Equations/

Smart Bookmarks Repubblica Corriere Beppe Grillo ZioBudda.net Gmail Biblioteca unicatt Musesti DMF MathSciNet

Clay Mathematics Institute

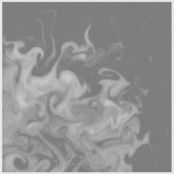
Dedicated to increasing and disseminating mathematical knowledge

HOME | ABOUT CMI | PROGRAMS | NEWS & EVENTS | AWARDS | SCHOLARS | PUBLICATIONS

Navier-Stokes Equation

Waves follow our boat as we meander across the lake, and turbulent air currents follow our flight in a modern jet. Mathematicians and physicists believe that an explanation for and the prediction of both the breeze and the turbulence can be found through an understanding of solutions to the Navier-Stokes equations. Although these equations were written down in the 19th Century, our understanding of them remains minimal. The challenge is to make substantial progress toward a mathematical theory which will unlock the secrets hidden in the Navier-Stokes equations.

- The Millennium Problems
- Official Problem Description — Charles Fefferman
- Lecture by Luis Cafarelli (video)



Return to top

Contact | Search | Terms of Use | © 2008 Clay Mathematics Institute

Done   Idle   0

Navier-Stokes Equation

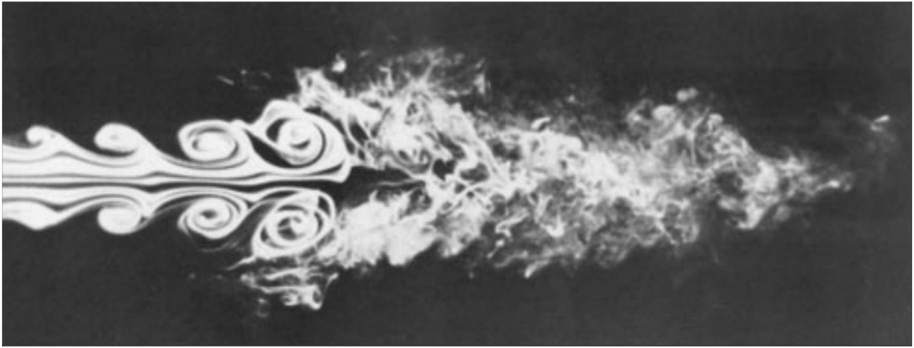
Waves follow our boat as we meander across the lake, and turbulent air currents follow our flight in a modern jet. Mathematicians and physicists believe that an explanation for and the prediction of both the breeze and the turbulence can be found through an understanding of solutions to the Navier-Stokes equations. Although these equations were written down in the 19th Century, our understanding of them remains minimal. The challenge is to make substantial progress toward a mathematical theory which will unlock the secrets hidden in the Navier-Stokes equations.

Return to top

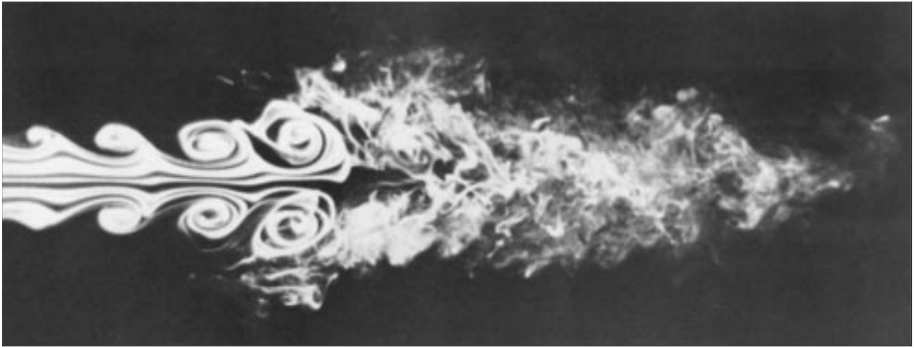
La turbolenza

La turbolenza

La turbolenza

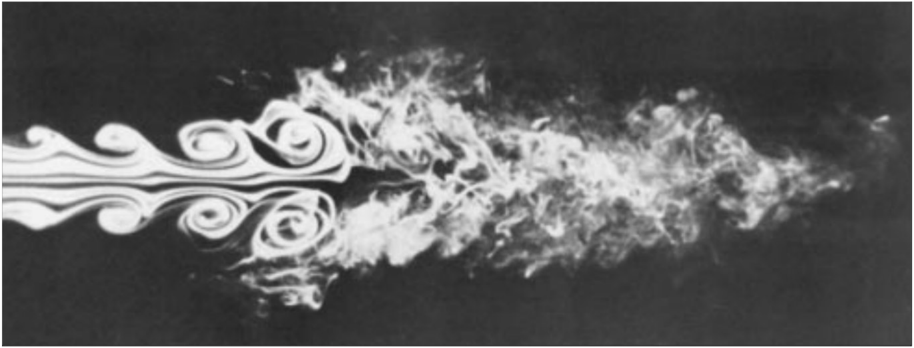


La turbolenza



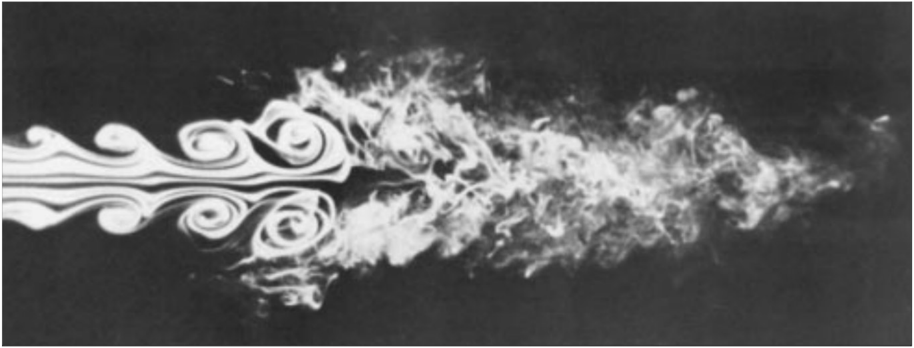
Proprietà qualitative: instabilità

La turbolenza



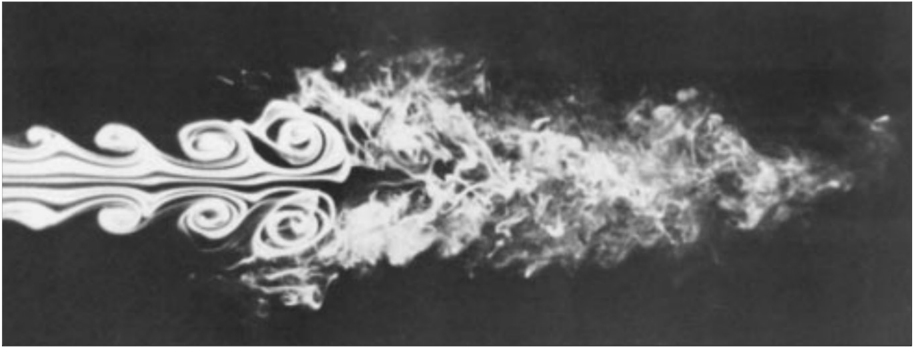
Proprietà qualitative: instabilità, casualità

La turbolenza



Proprietà qualitative: instabilità, casualità, vorticità.

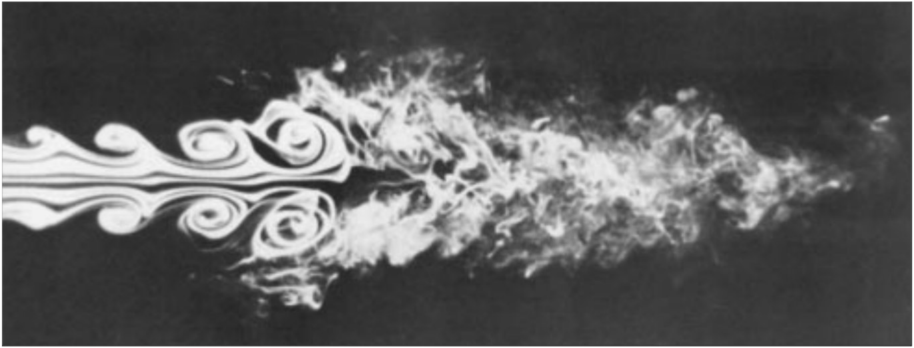
La turbolenza



Proprietà qualitative: instabilità, casualità, vorticità.

Conseguenze: dissipazione

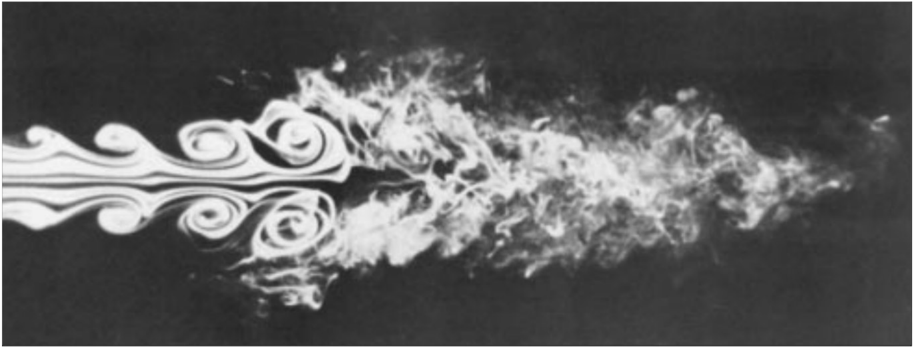
La turbolenza



Proprietà qualitative: instabilità, casualità, vorticità.

Conseguenze: dissipazione, diffusione

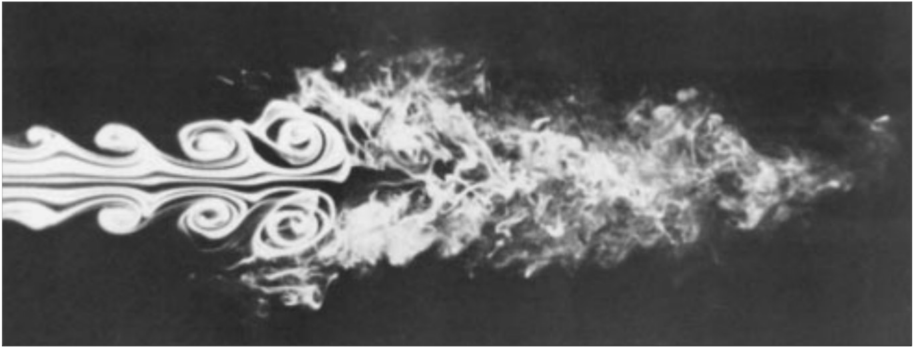
La turbolenza



Proprietà qualitative: instabilità, casualità, vorticità.

Conseguenze: dissipazione, diffusione, imprevedibilità (effetto farfalla).

La turbolenza



Proprietà qualitative: instabilità, casualità, vorticità.

Conseguenze: dissipazione, diffusione, imprevedibilità (effetto farfalla).

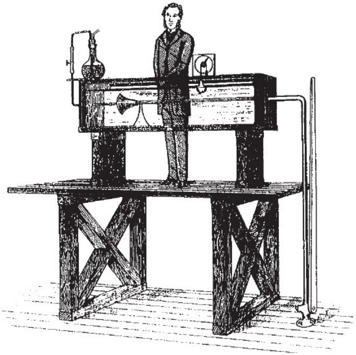
Filmato

La turbolenza di Reynolds

Esperimento di Reynolds (1883)

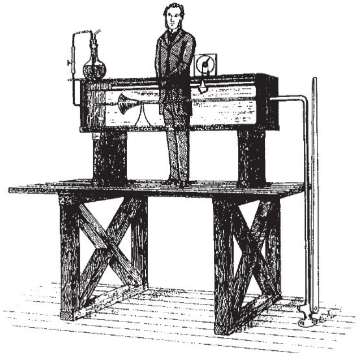
La turbolenza di Reynolds

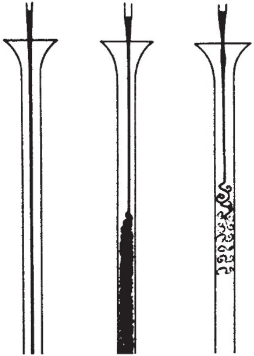
Esperimento di Reynolds (1883)



La turbolenza di Reynolds

Esperimento di Reynolds (1883)





Filmato

Studiare la turbolenza

Come impostare lo studio della turbolenza:

- numero di Reynolds – "misura" la turbolenza

$$R = \frac{\rho L \cdot V}{\mu},$$

Studiare la turbolenza

Come impostare lo studio della turbolenza:

- numero di Reynolds – “misura” la turbolenza

$$R = \frac{\rho L \cdot V}{\mu}\,, \qquad\qquad R \sim 10^3$$

Studiare la turbolenza

Come impostare lo studio della turbolenza:

- numero di Reynolds – “misura” la turbolenza

$$R = \frac{\rho L \cdot V}{\mu}, \qquad\qquad R \sim 10^3$$

- nuova forza $\mathbf{f}_{\text{turb}}$ – difficile da modellizzare

Studiare la turbolenza

Come impostare lo studio della turbolenza:

- numero di Reynolds – "misura" la turbolenza

$$R = \frac{\rho \, L \cdot V}{\mu}, \qquad\qquad R \sim 10^3$$

- nuova forza $\mathbf{f}_{\mathrm{turb}}$ – difficile da modellizzare
- studio statistico (Kolmogorov 1940) – fenomenologico

Studiare la turbolenza

Come impostare lo studio della turbolenza:

- numero di Reynolds – "misura" la turbolenza

$$R = \frac{\rho\, L \cdot V}{\mu}\,, \qquad\qquad R \sim 10^3$$

- nuova forza $\mathbf{f}_{\text{turb}}$ – difficile da modellizzare
- studio statistico (Kolmogorov 1940) – fenomenologico
- studio numerico – alto numero di celle, supercomputer.

Citazioni sulla turbolenza

Horace Lamb affermava nel 1932:

> *Io sono ora un uomo vecchio, e quando morrò e andrò in cielo vi saranno due questioni per le quali chiederò delucidazioni. La prima è l'elettrodinamica quantistica, e la seconda è il moto turbolento dei fluidi. Per la prima sono piuttosto ottimista di poter avere una risposta.*

Citazioni sulla turbolenza

Horace Lamb affermava nel 1932:

> *Io sono ora un uomo vecchio, e quando morrò e andrò in cielo vi saranno due questioni per le quali chiederò delucidazioni. La prima è l'elettrodinamica quantistica, e la seconda è il moto turbolento dei fluidi. Per la prima sono piuttosto ottimista di poter avere una risposta.*

Richard Feynman definì il problema della turbolenza come

> *il più importante problema non risolto della fisica classica.*

Oltre Navier-Stokes: i fluidi non newtoniani

Alcuni fluidi (con applicazioni interessanti) non obbediscono all'equazione di Navier-Stokes.

Oltre Navier-Stokes: i fluidi non newtoniani

Alcuni fluidi (con applicazioni interessanti) non obbediscono all'equazione di Navier-Stokes. Si introducono fattori correttivi:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu}{\rho \qquad} \Delta\mathbf{v}$$

Oltre Navier-Stokes: i fluidi non newtoniani

Alcuni fluidi (con applicazioni interessanti) non obbediscono all'equazione di Navier-Stokes. Si introducono fattori correttivi:

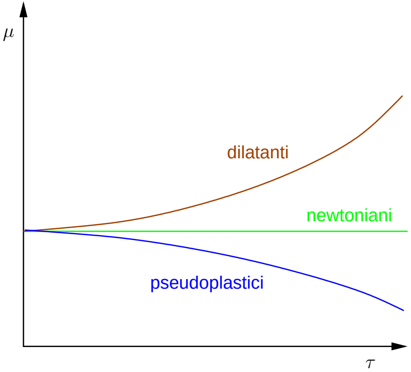
$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu(\tau)}{\rho} \quad \Delta\mathbf{v}$$

- τ è lo sforzo di taglio (proporzionale a $\mathbf{v}$)

Oltre Navier-Stokes: i fluidi non newtoniani

Alcuni fluidi (con applicazioni interessanti) non obbediscono all'equazione di Navier-Stokes. Si introducono fattori correttivi:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu(\tau)}{\rho} \quad \Delta\mathbf{v}$$

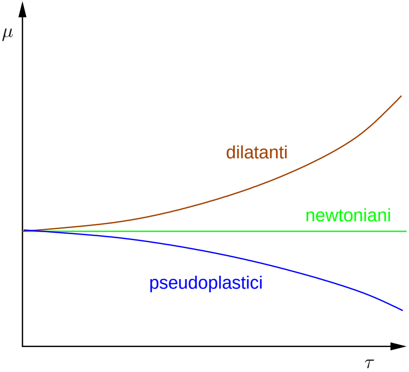


- τ è lo sforzo di taglio (proporzionale a $\mathbf{v}$)

Oltre Navier-Stokes: i fluidi non newtoniani

Alcuni fluidi (con applicazioni interessanti) non obbediscono all'equazione di Navier-Stokes. Si introducono fattori correttivi:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu(\tau)}{\rho} h(\Delta \mathbf{v})$$

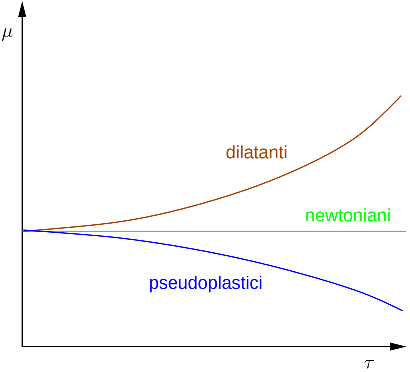


- τ è lo sforzo di taglio (proporzionale a $\mathbf{v}$)
- h è una funzione non lineare

Oltre Navier-Stokes: i fluidi non newtoniani

Alcuni fluidi (con applicazioni interessanti) non obbediscono all'equazione di Navier-Stokes. Si introducono fattori correttivi:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu(\tau)}{\rho} h(\Delta \mathbf{v}) + \Delta\Delta\mathbf{v}$$

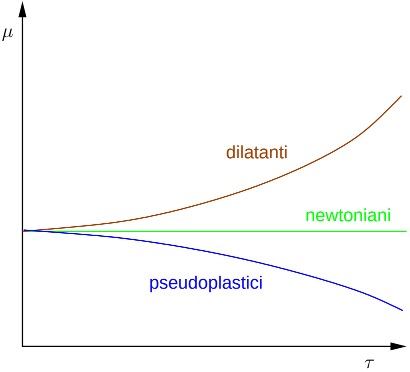


- τ è lo sforzo di taglio (proporzionale a $\mathbf{v}$)
- h è una funzione non lineare
- derivate di ordine superiore (bilaplaciano)

Oltre Navier-Stokes: i fluidi non newtoniani

Alcuni fluidi (con applicazioni interessanti) non obbediscono all'equazione di Navier-Stokes. Si introducono fattori correttivi:

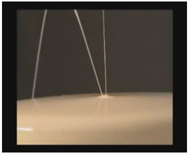
$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\mu(\tau)}{\rho} h(\Delta\mathbf{v}) + \Delta\Delta\mathbf{v} + \text{storia}$$



- τ è lo sforzo di taglio (proporzionale a $\mathbf{v}$)
- h è una funzione non lineare
- derivate di ordine superiore (bilaplaciano)
- La viscosità dipende dalla storia passata del fluido (viscoelastici)

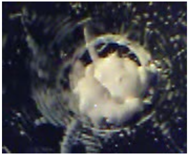
Qualche filmato (grazie a Youtube. . .)

fluidi pseudopl.



Effetto Kaye

Tentacoli



Blob

La piscina

Abstract

Il moto di un fluido presenta molti tratti caotici ed è senza dubbio un fenomeno complesso, si pensi ali vortici che si generano nelle rapide di un fiume o alle volute di fumo prodotte da una sigaretta. Ciononostante, il modello fisico-matematico che studia questi fenomeni è concettualmente semplice e ben consolidato.
D'altra parte, il concetto stesso di fluido, e che cosa lo distingua da un solido, è un argomento non semplice e che merita di essere approfondito.
In questo breve seminario presenterò le caratteristiche principali di un fluido e cercherò di mostrare come si costruiscono le equazioni di Navier-Stokes, che ne governano il moto nella maggior parte dei casi.