

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes

# Turbolenza Fluidodinamica e Van Gogh

Jacopo Tissino

Liceo Scientifico "M. Grigoletti"

29 giugno 2016

## 1 La turbolenza nei quadri di Van Gogh

## 2 La turbolenza in fluidodinamica

- Il numero di Reynolds
- Le equazioni di Navier-Stokes

# *Notte Stellata*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes



# Cosa ci aspettiamo?

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes

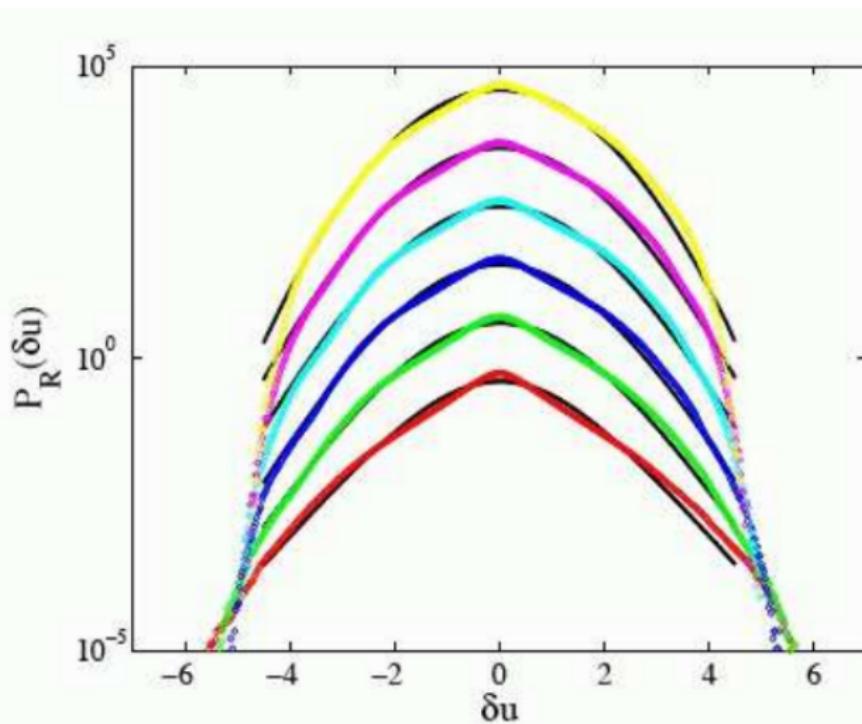


Figura: Distribuzione gaussiana

## Distribuzione di probabilità in *Notte Stellata*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

## La turbolenza nei quadri di Van Gogh



# *Campo di grano con volo di corvi*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

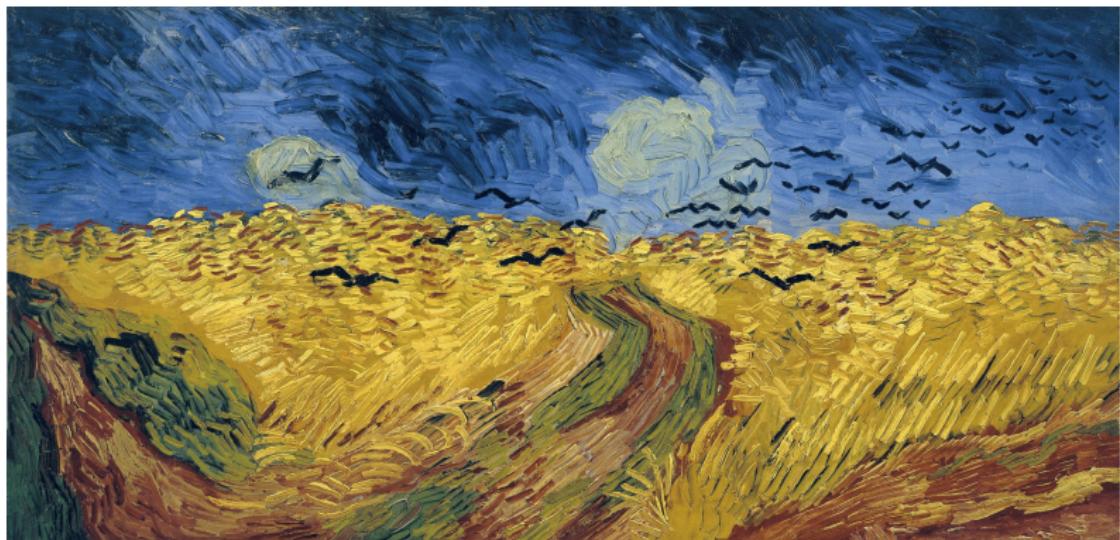
Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

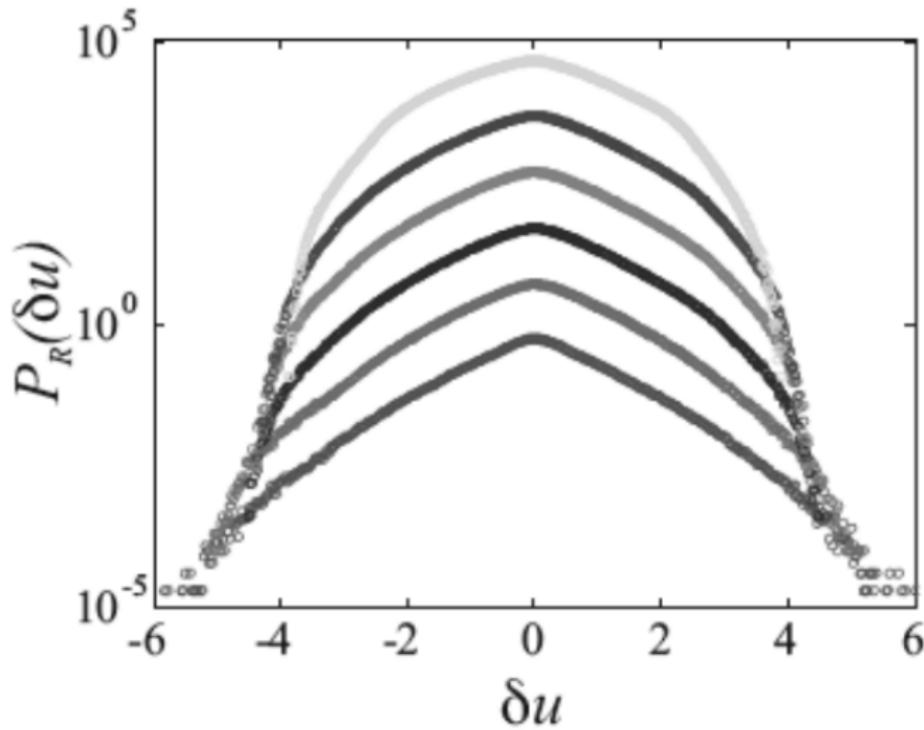
Le equazioni di  
Navier-Stokes



## Distribuzione di probabilità nel *Campo*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

## La turbolenza nei quadri di Van Gogh



# *Strada e cipresso nella notte stellata*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

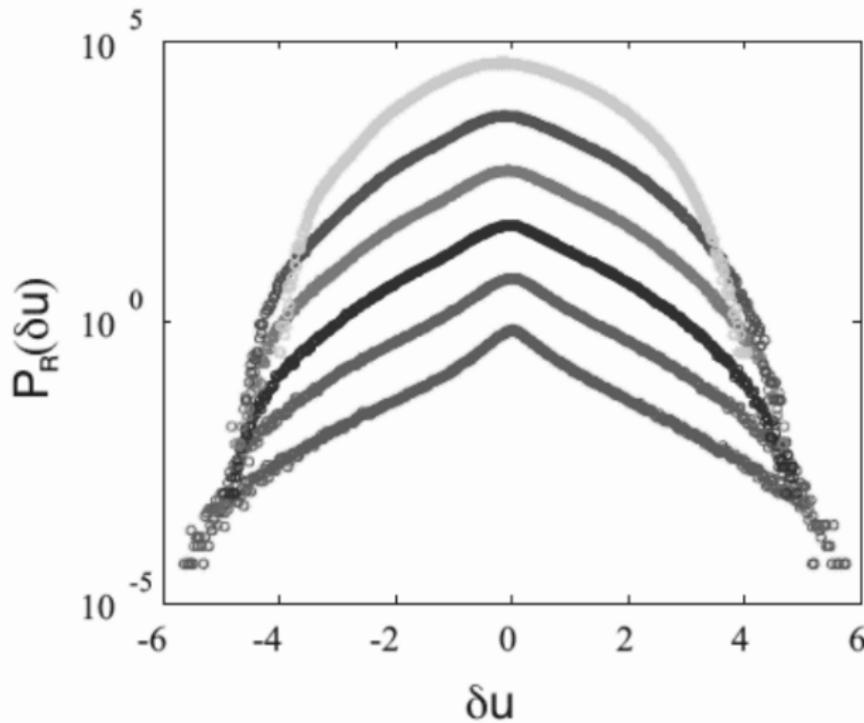
Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes



# Distribuzione di probabilità nella *Strada*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh  
  
Jacopo  
Tissino  
  
La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh  
  
La turbolenza  
in  
fluidodinamica  
Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes



# *Autoritratto con pipa e orecchio bendato*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes



# Distribuzione di probabilità nell'Autoritratto

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

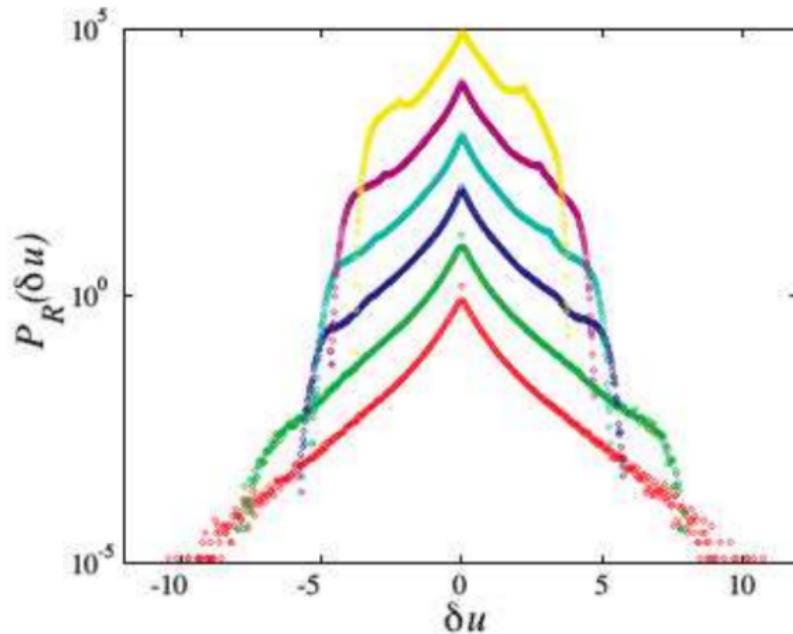
Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes



# Il numero di Reynolds

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica  
Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{\text{forze inerziali}}{\text{forze viscose}} \quad (1)$$

dove  $\rho$  è la densità del fluido,  $v$  la velocità media del flusso,  $L$  la lunghezza caratteristica del sistema, e  $\mu$  il coefficiente di viscosità dinamica.

# Flusso a diversi numeri di Reynolds

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes



$R = 32$



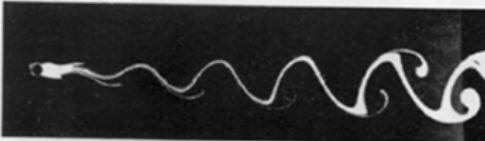
$R = 73$



$R = 55$



$R = 102$



$R = 65$



$R = 161$

# Flusso a diversi numeri di Reynolds

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

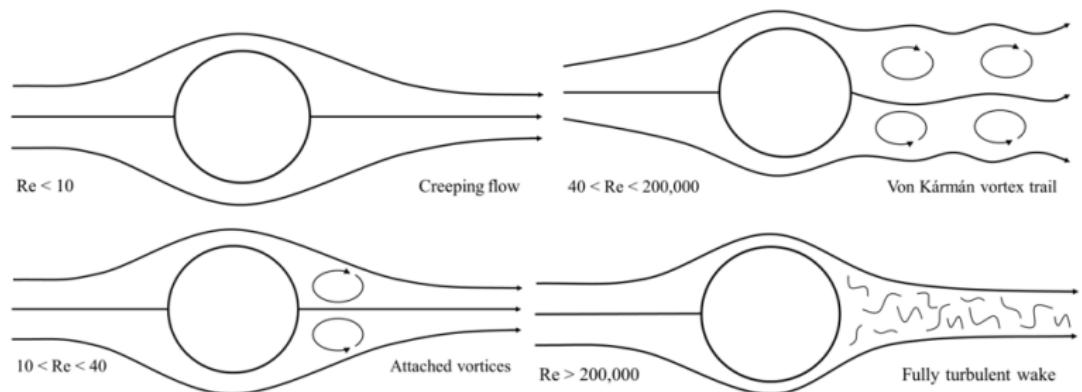
Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes



# Il numero di Reynolds nel nuoto

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes

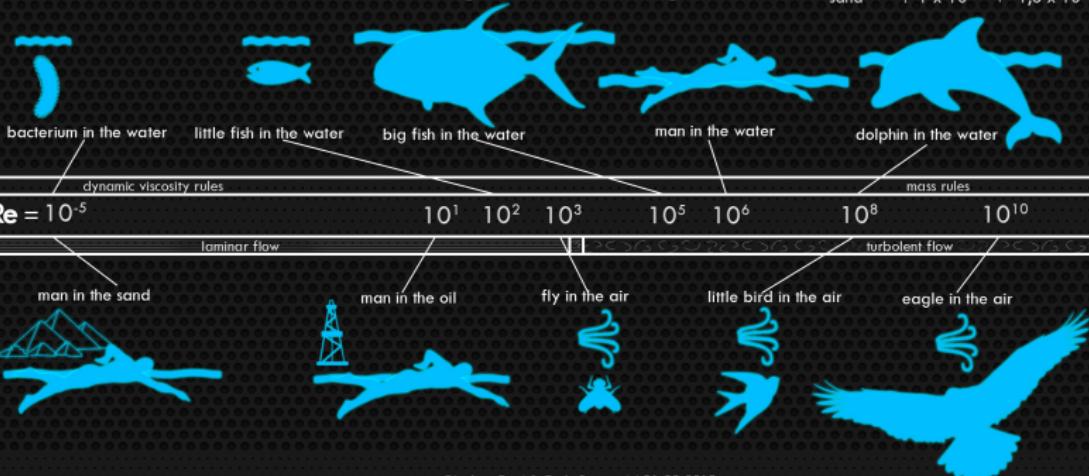
## Properties of swimming in fluids Reynolds number

Reynolds number stands for the ratio between the forces due to the mass and the viscous forces, for a body that is moving in a liquid or a gas.

**SWIMMING:**  
moving forward through a  
periodic motion in the absence  
of external forces.

$$Re = \frac{\text{density} \times \text{speed} \times \text{length}}{\text{dynamic viscosity}}$$

	dynamic viscosity (Pa s)	density (kg / m³)
air	$2 \times 10^{-5}$	1,2
water	$3 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^3$
quicksilver	$2 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^4$
oil	$8 \times 10^{-1}$	$8,0 \times 10^2$
coal tar	$1 \times 10^7$	$1,1 \times 10^3$
sand	$1 \times 10^7$	$1,6 \times 10^3$



# Ipotesi per le equazioni di Navier-Stokes

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes

- Densità del fluido costante (*incomprimibilità*);
- forza viscosa linermente dipendente da differenze di velocità (fluido newtoniano);
- flusso isotropico;
- assenza di forze esterne.

# Le equazioni di N.-S. in forma standard

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot (\nabla \mathbf{v}) = -\frac{\nabla p}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{v} \quad (2a)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (2b)$$

Significato:

- Termini a sinistra: derivata materiale;
- termini a destra: forze sul fluido: gradiente di pressione e viscosità per il laplaciano della velocità (differenza fra la velocità in un punto e nei suoi dintorni);
- seconda equazione: conservazione della massa per un fluido incompressibile.

# Derivata materiale

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes

È la somma dell'accelerazione *locale* (zero se il regime non cambia nel tempo) e di quella dovuta alla *convezione*, ovvero quella dovuta dallo spostamento di particelle di fluido ad una parte diversa del flusso.

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \frac{dt}{dt} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z} \frac{dz}{dt} = \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot (\nabla \mathbf{v}) \quad (3)$$

(Immagine pompa pompiere)

# Le equazioni adimensionalizzate

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot (\nabla \mathbf{v}) = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \nabla^2 \mathbf{v} \quad (4)$$

Il numero di Reynolds *bilancia* le forze inerziali e quelle viscose.