

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

# Turbolenza Fluidodinamica e Van Gogh

Jacopo Tissino

Liceo Scientifico "M. Grigoletti"

3 luglio 2016

## 1 La turbolenza nei quadri di Van Gogh

- Notte stellata
- La funzione di struttura
- Il metodo dello studio
- Campo di grano
- Strada e cipresso
- Autoritratto

## 2 La turbolenza in fluidodinamica

- Il numero di Reynolds
- Le equazioni di Navier-Stokes
- La cascata di energia

# *Notte stellata*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia



# La funzione di struttura

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura

Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

$$S_n(\mathbf{R}) = \langle (\delta v_r)^n \rangle \quad (1)$$

$$\delta v_r = v(\mathbf{r} + \mathbf{R}) - v(\mathbf{r}) \quad (2)$$

Ipotesi di Kolmogorov (1962): distribuzione log-normale della funzione di struttura.

# Il metodo dello studio

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura

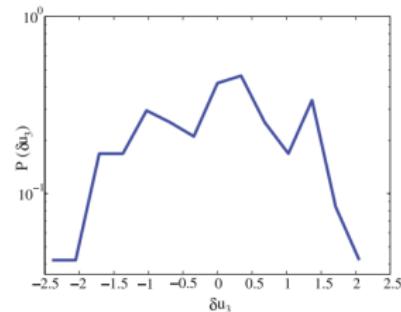
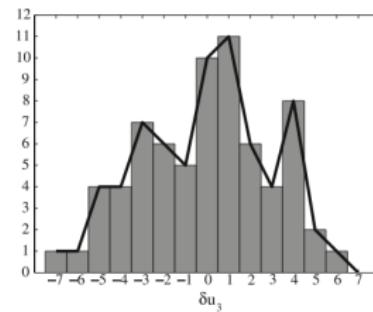
Il metodo dello  
studio

Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

2	2	1		1
3	6	6	3	4
4	7	6	2	3
2	5	6	1	5
2	2	2	1	5



# Cosa ci aspettiamo?

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
**Il metodo dello  
studio**  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

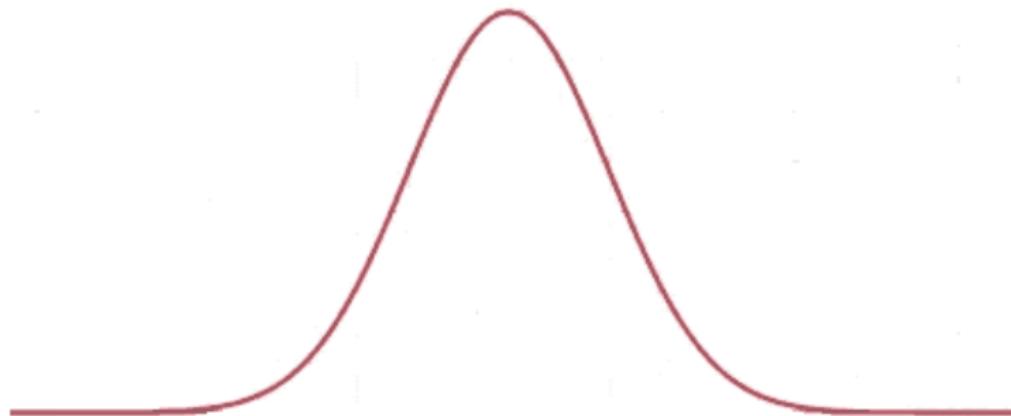


Figura: Distribuzione gaussiana

# Distribuzione di probabilità in *Notte Stellata*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

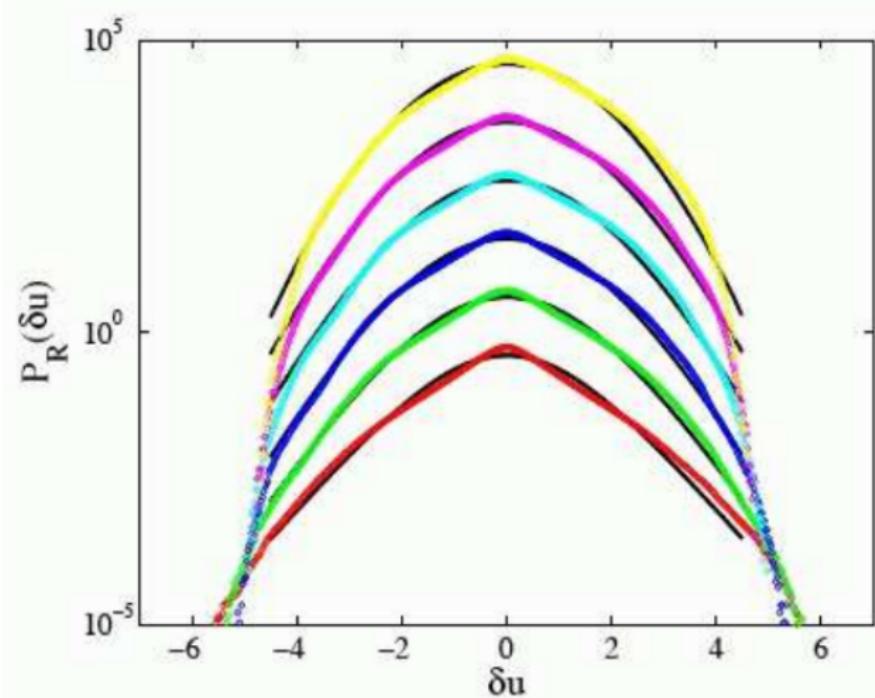
Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia



# Riproducibilità a diverse scale

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

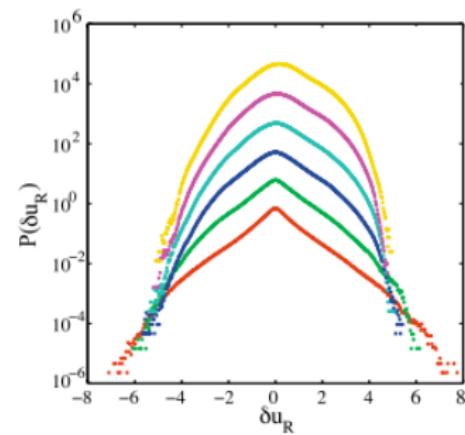
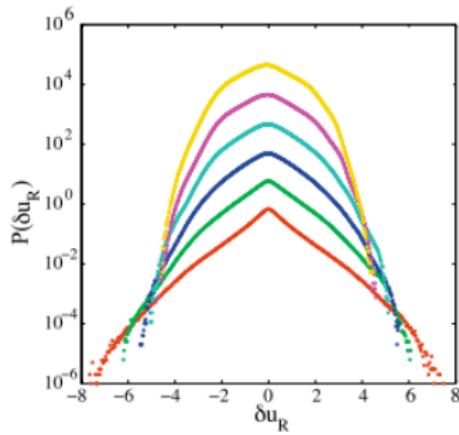
Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia



# *Campo di grano con volo di corvi*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

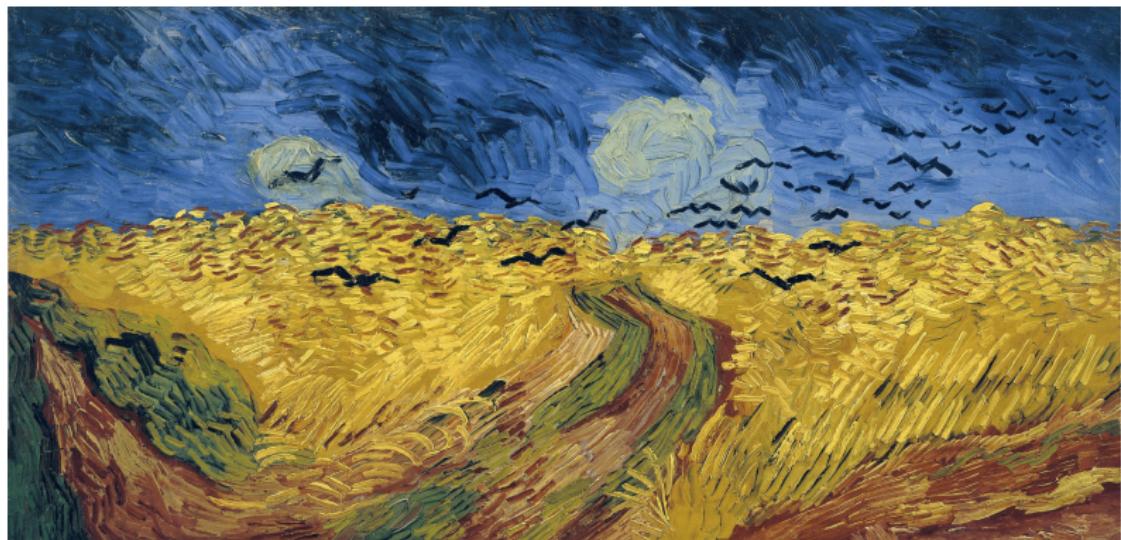
Notte stellata  
La funzione di  
struttura

Il metodo dello  
studio

Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia



# Distribuzione di probabilità nel *Campo*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

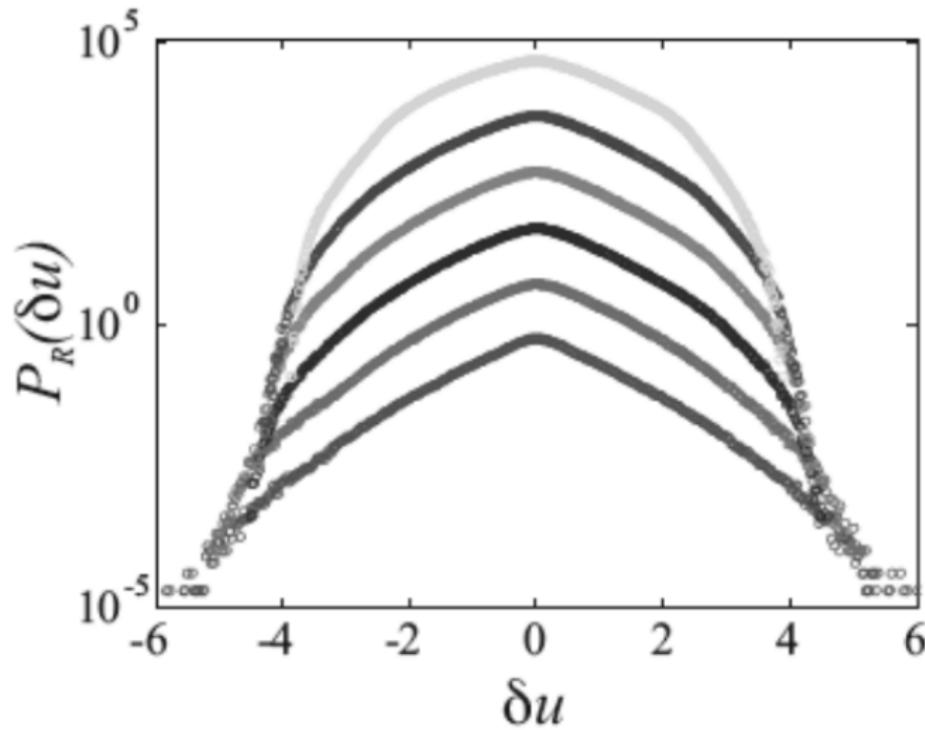
Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia



# *Strada e cipresso nella notte stellata*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
**Strada e cipresso**  
Autoritratto

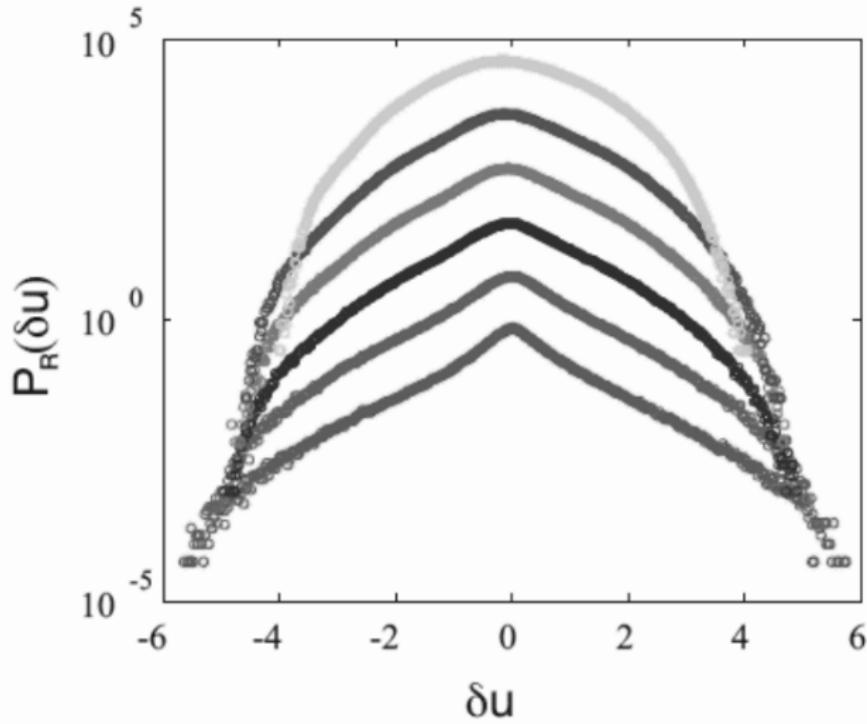
La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia



# Distribuzione di probabilità nella *Strada*

- Turbolenza
- Fluidodinamica
- e Van Gogh
- Jacopo Tissino
- La turbolenza nei quadri di Van Gogh
- Notte stellata
- La funzione di struttura
- Il metodo dello studio
- Campo di grano
- Strada e cipresso
- Autoritratto
- La turbolenza in fluidodinamica
- Il numero di Reynolds
- Le equazioni di Navier-Stokes
- La cascata di energia



# *Autoritratto con pipa e orecchio bendato*

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
**Autoritratto**

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia



# Distribuzione di probabilità nell'Autoritratto

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

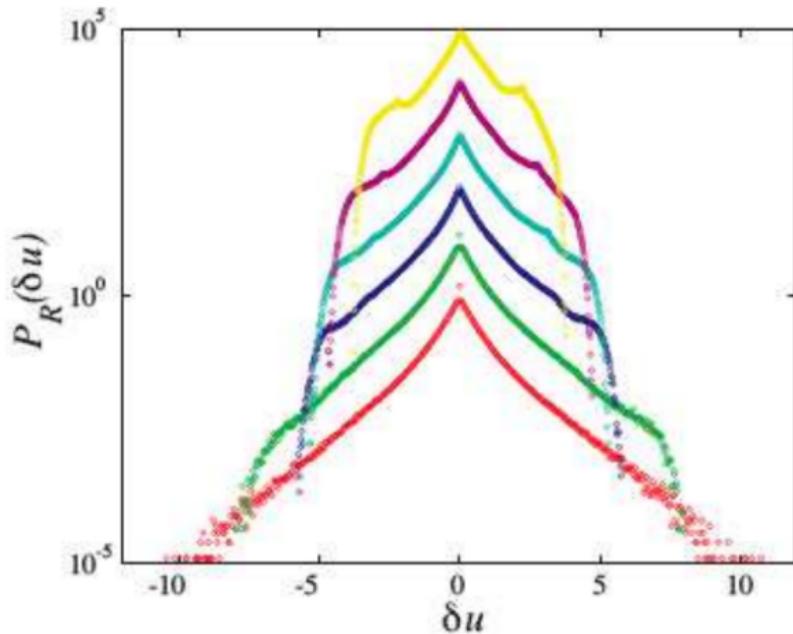
Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
**Autoritratto**

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia



# Il numero di Reynolds

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura

Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{\text{forze inerziali}}{\text{forze viscose}} \quad (3)$$

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.

# Ipotesi per le equazioni di Navier-Stokes

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura

Il metodo dello  
studio

Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes

La cascata di  
energia

- 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

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot (\nabla \mathbf{v}) = -\frac{\nabla p}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{v} \quad (4a)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (4b)$$

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 incomprimibile.

# Derivata materiale

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura

Il metodo dello  
studio

Campo di grano  
Strada e cipresso

Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes

La cascata di  
energia

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

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \frac{dt}{dt} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z} \frac{dz}{dt} = \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot (\nabla \mathbf{v}) \quad (5)$$

# Le equazioni adimensionalizzate

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot (\nabla \mathbf{v}) = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \nabla^2 \mathbf{v} \quad (6)$$

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

- Alti numeri di Reynolds: flusso *turbolento*
- Bassi numeri di Reynolds: flusso *laminare*

# Flusso a diversi numeri di Reynolds

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

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



$R = 32$



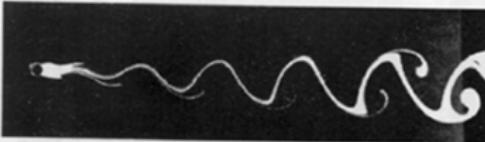
$R = 73$



$R = 55$



$R = 102$

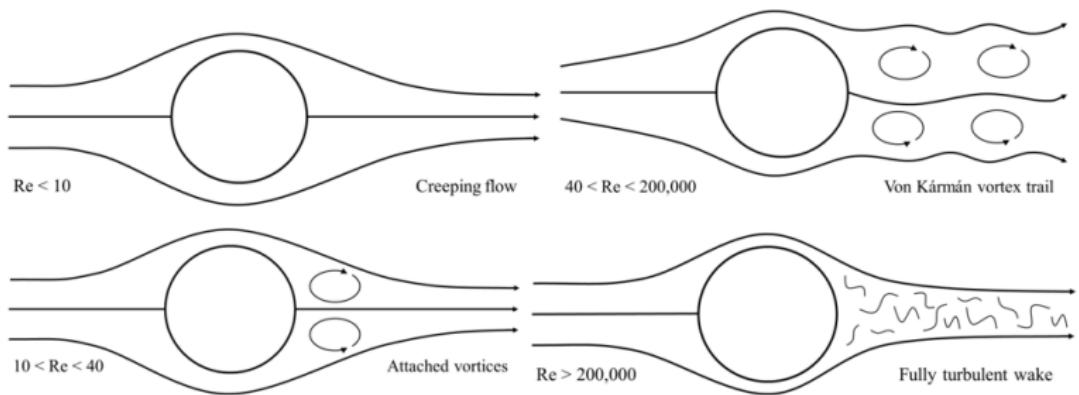


$R = 65$



$R = 161$

# Flusso a diversi numeri di Reynolds



Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio

Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

# Il numero di Reynolds nel nuoto

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura

Il metodo dello  
studio

Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

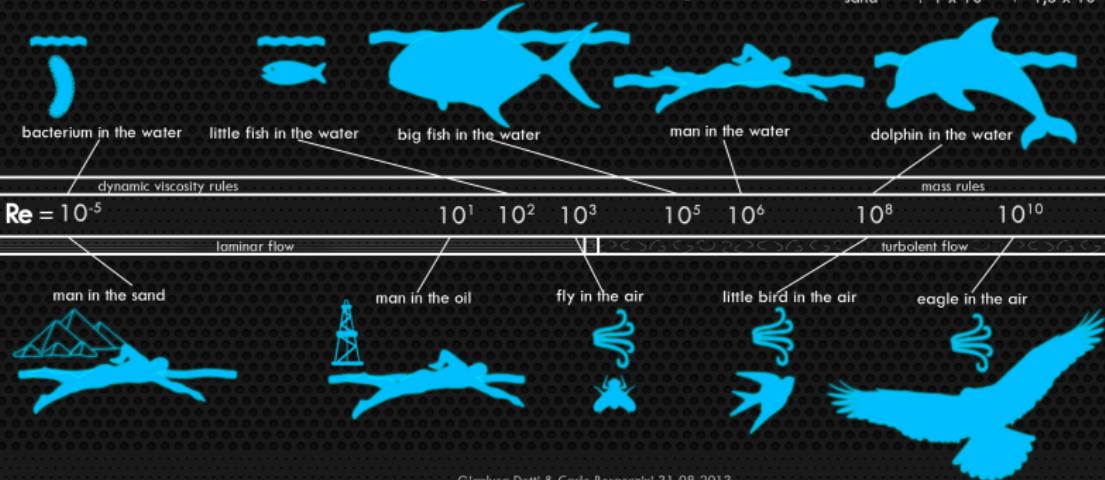
## Properties of swimming in fluids Reynolds number

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 / m <sup>3</sup> )
air	$2 \times 10^{-5}$	1,2
water	$3 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^3$
quicksilver	$2 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^3$
oil	$8 \times 10^{-1}$	$8,0 \times 10^2$
coal tar	$1 \times 10^7$	$1,1 \times 10^3$
sand	$1 \times 10^7$	$1,6 \times 10^3$



# Vortici

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

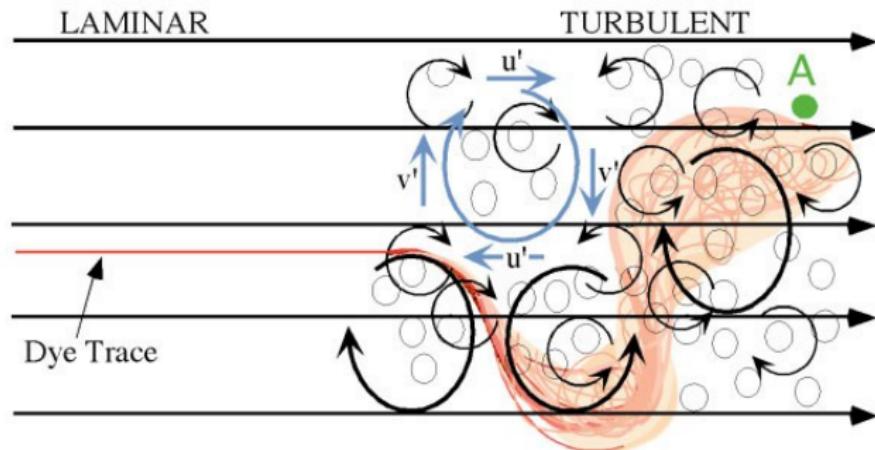
Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

Notte stellata  
La funzione di  
struttura  
Il metodo dello  
studio  
Campo di grano  
Strada e cipresso  
Autoritratto

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia



## Cascata di energia

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Il numero di  
Reynolds  
Le equazioni di  
Navier-Stokes  
La cascata di  
energia

