

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"

2 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

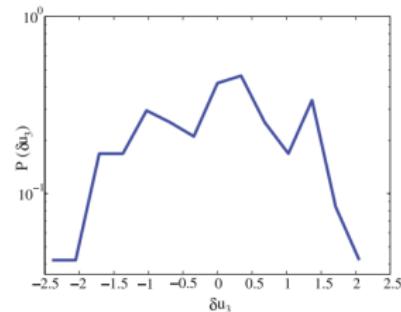
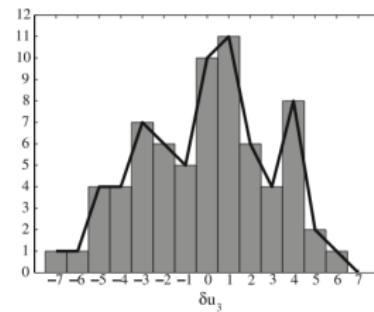
Il metodo dello
studio

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

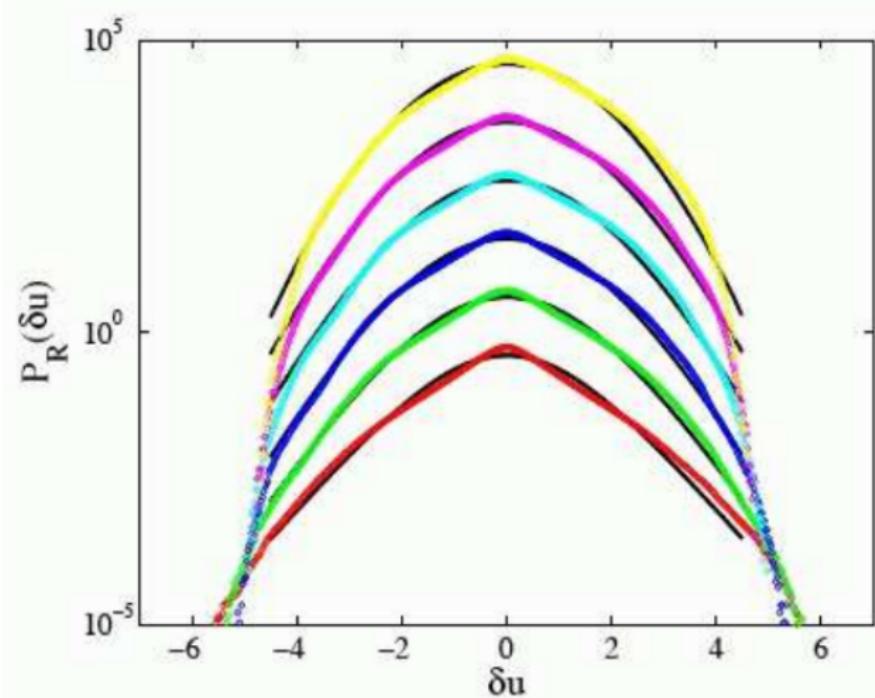
Jacopo
Tissino

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

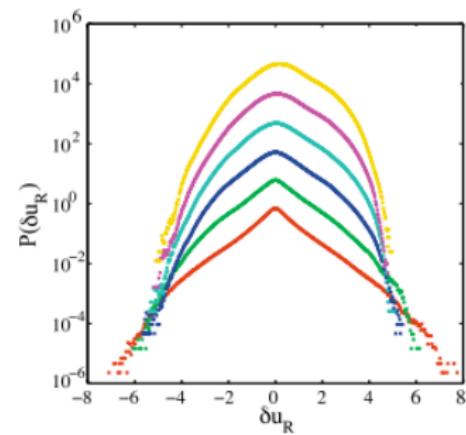
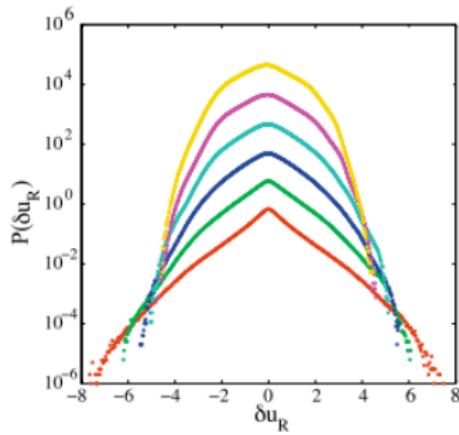
Jacopo
Tissino

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

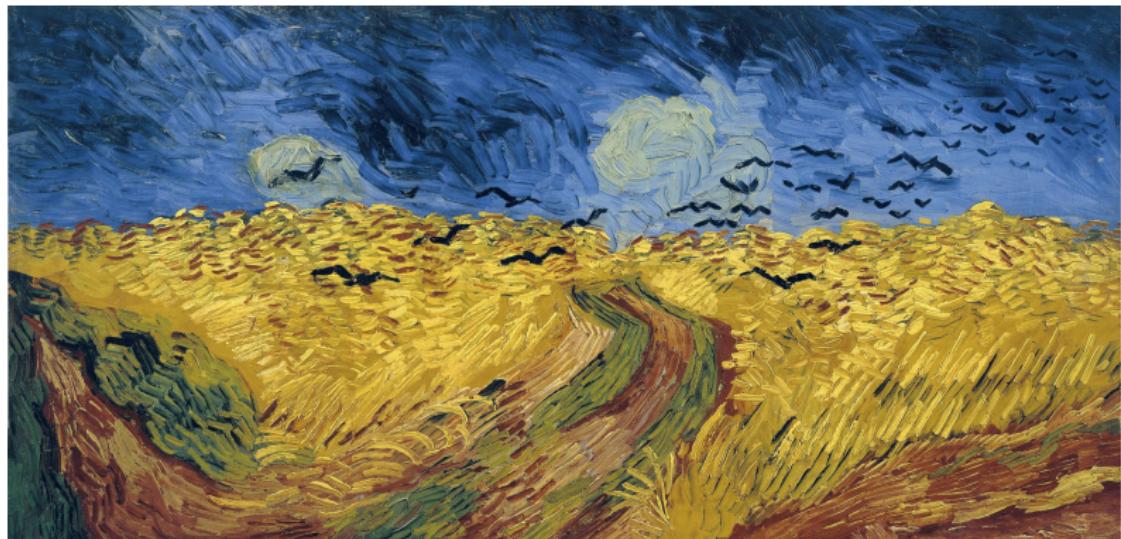
Notte stellata
La funzione di
struttura

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

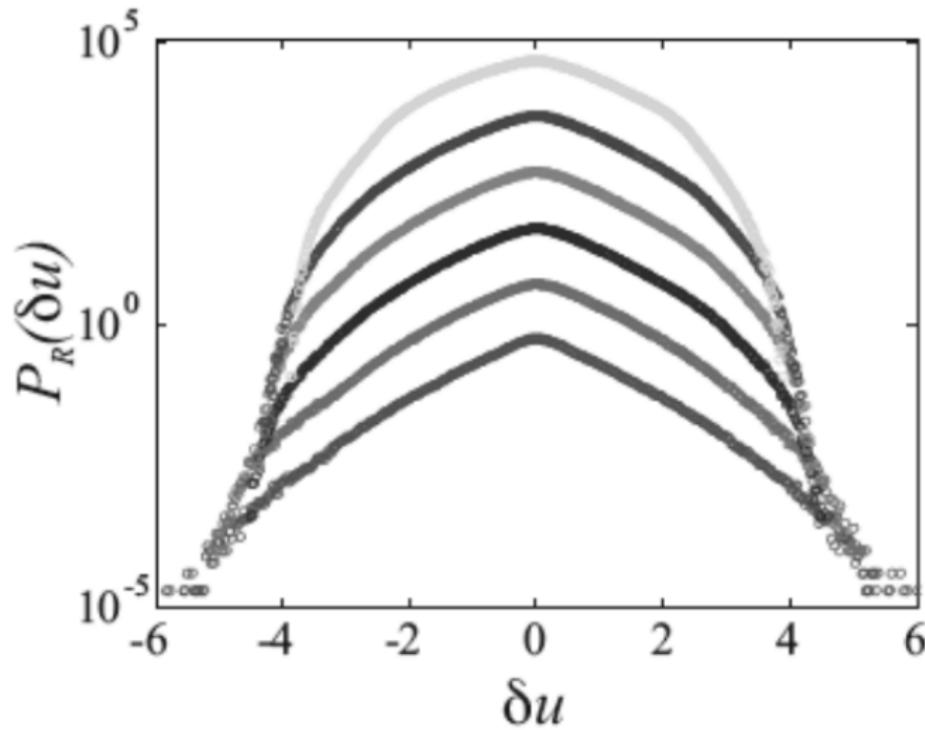
Jacopo
Tissino

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

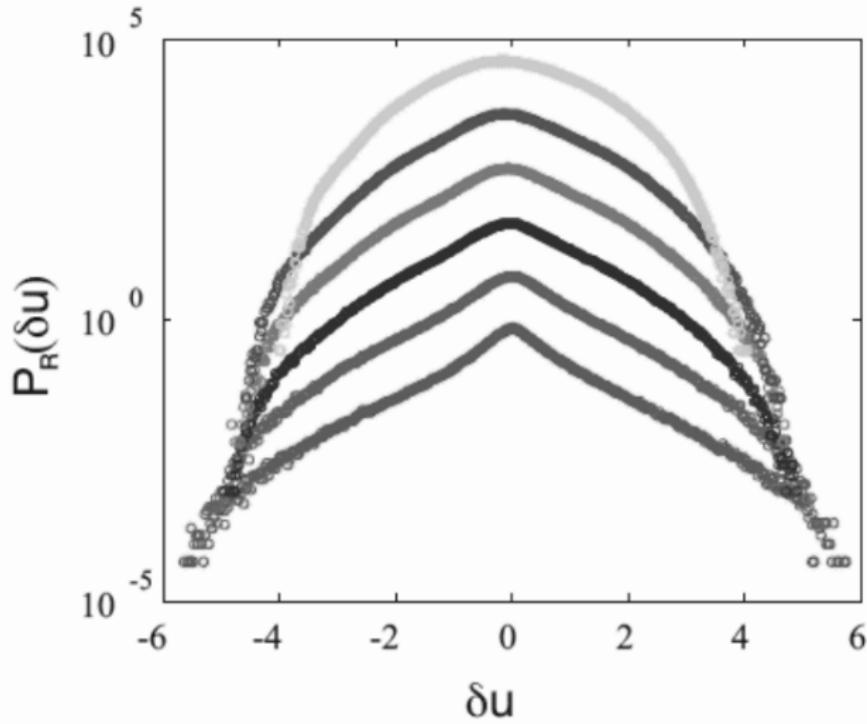
La turbolenza
in
fluidodinamica

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

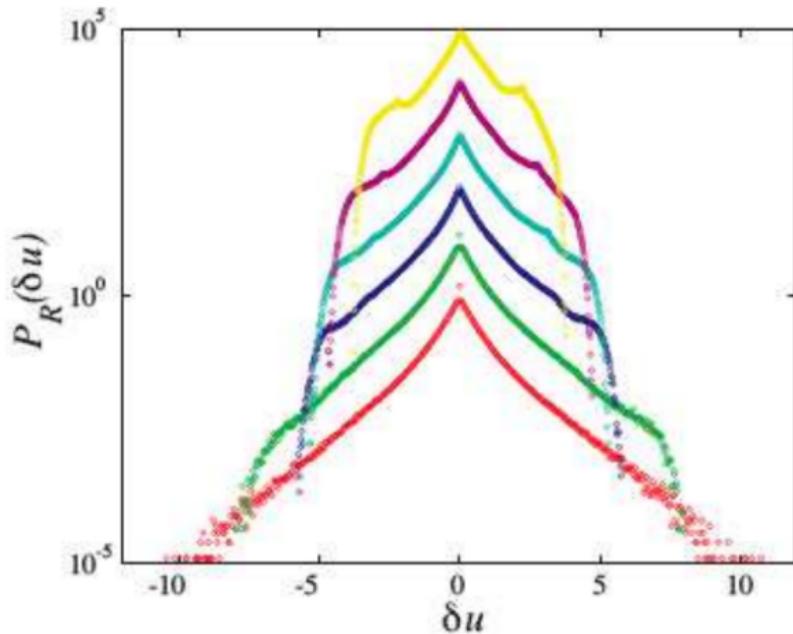
Jacopo
Tissino

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 ρ è la densità del fluido, v la velocità media del flusso, L la lunghezza caratteristica del sistema, e μ 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



$R = 32$



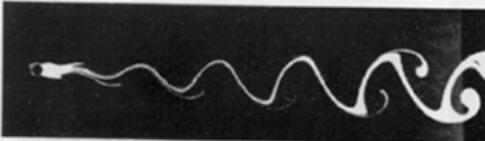
$R = 73$



$R = 55$



$R = 102$

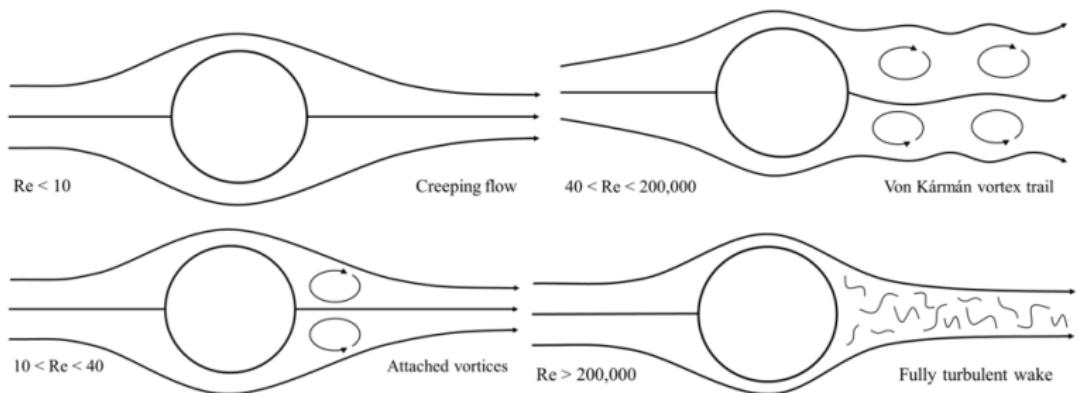


$R = 65$



$R = 161$

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

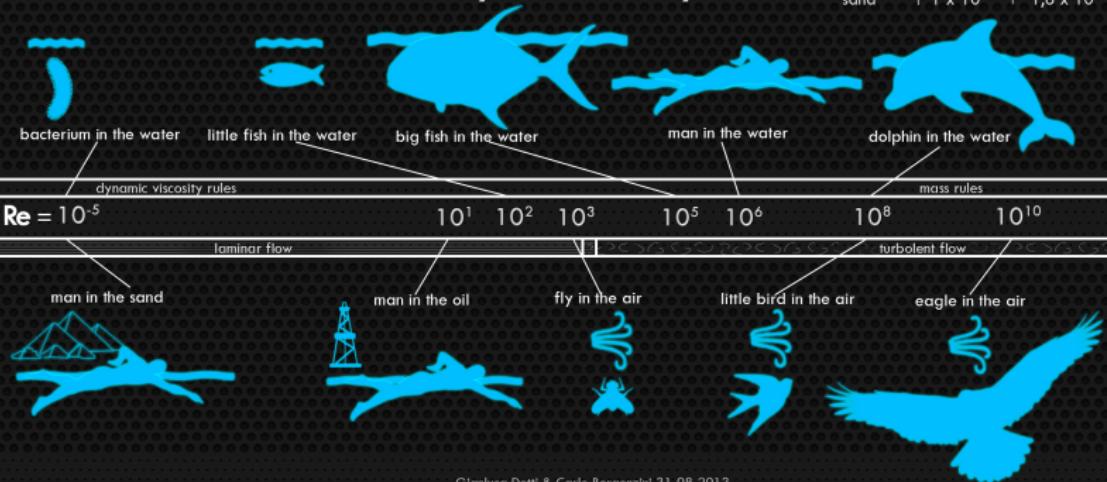
Properties of swimming in fluids Reynolds number

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



Vortici

Turbolenza
Fluidodinamica
e Van Gogh

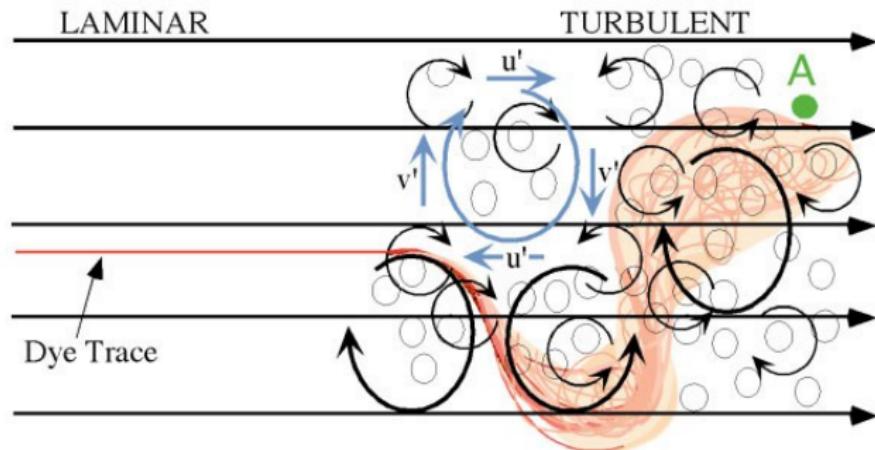
Jacopo
Tissino

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

