

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  
La cascata di  
energia  
La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

# Turbolenza Fluidodinamica e Van Gogh

Jacopo Tissino

Liceo Scientifico "M. Grigoletti"

30 giugno 2016

## 1 La turbolenza nei quadri di Van Gogh

## 2 La turbolenza in fluidodinamica

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

## 3 Il metodo dello studio

# *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

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio



# 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

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

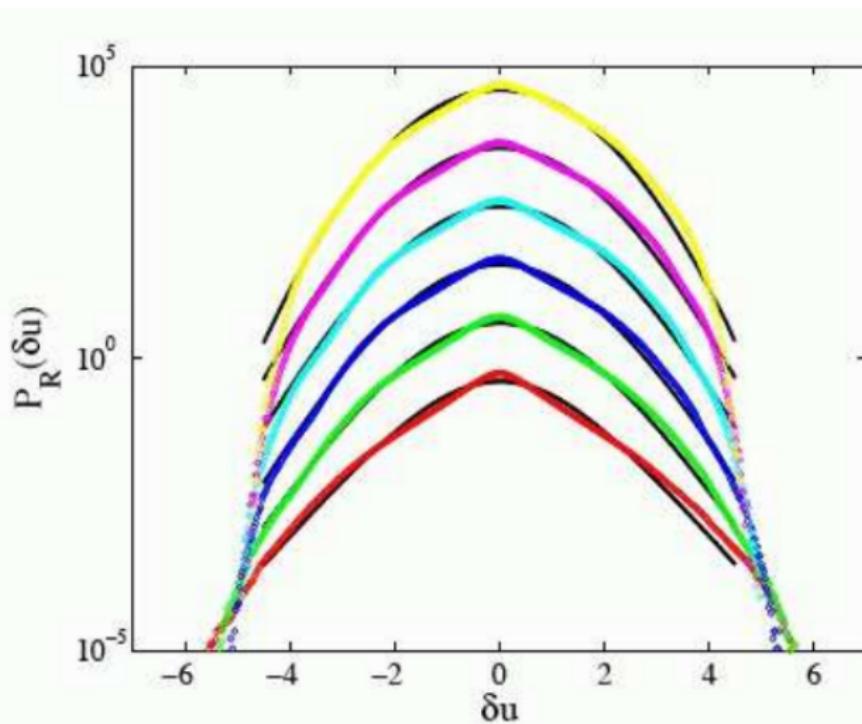


Figura: Distribuzione gaussiana

## 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

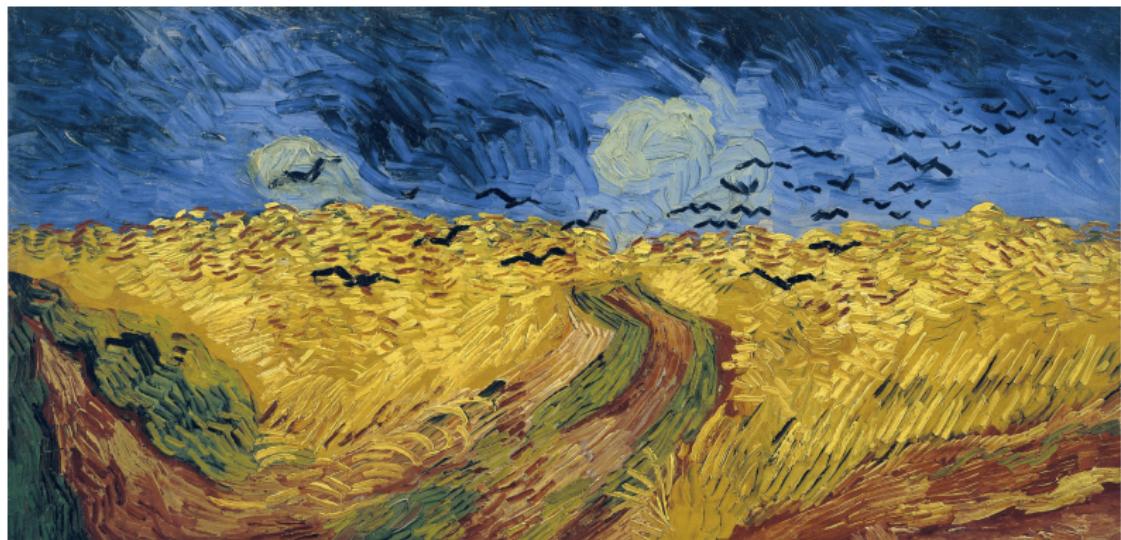
Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

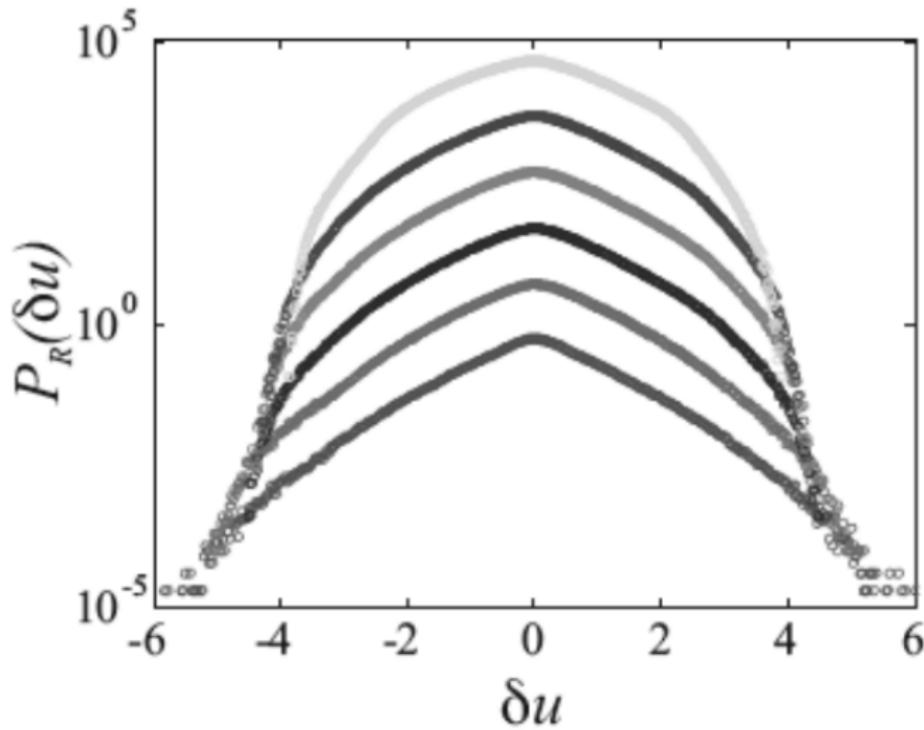
Il metodo  
dello studio



## 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

La cascata di  
energia

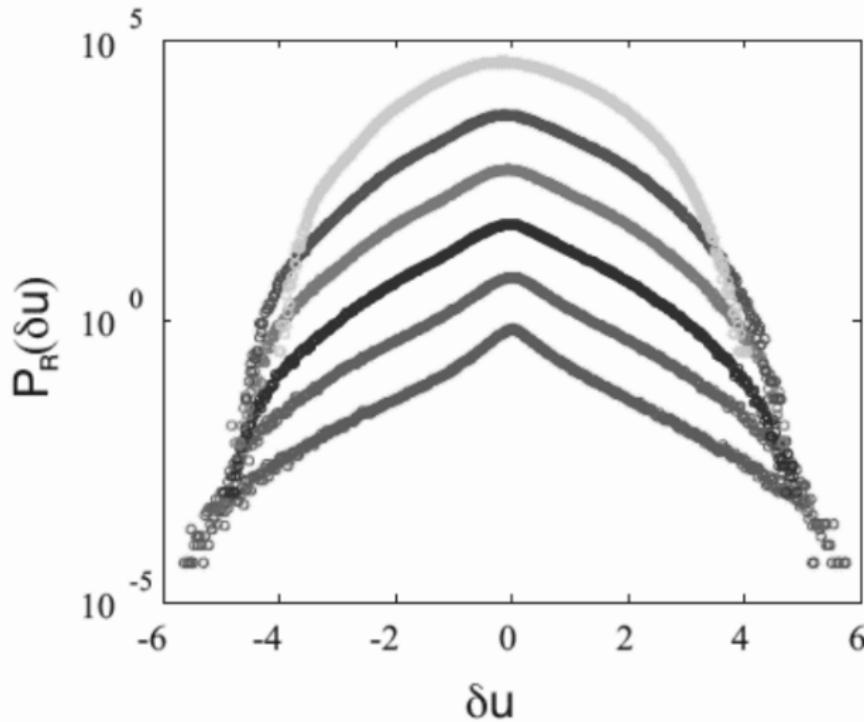
La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio



# 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
- La cascata di energia
- La funzione di struttura
- Il metodo dello studio



# *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  
La cascata di  
energia  
La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio



# Distribuzione di probabilità nell'Autoritratto

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

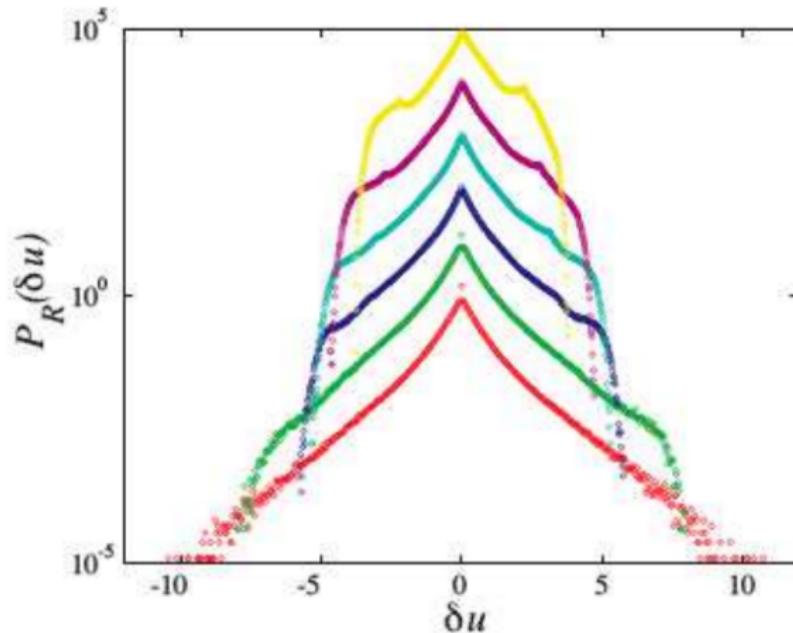
Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio



# 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

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

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

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

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio



$R = 32$



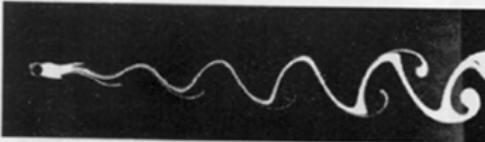
$R = 73$



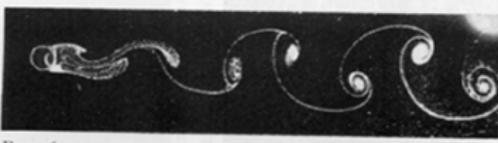
$R = 55$



$R = 102$



$R = 65$



$R = 161$

# 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

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

- 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

La cascata di  
energia  
La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

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

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

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 incomprimibile.

# 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  
La cascata di  
energia  
La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

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.

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

# 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

La cascata di  
energia  
La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

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

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

- 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

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

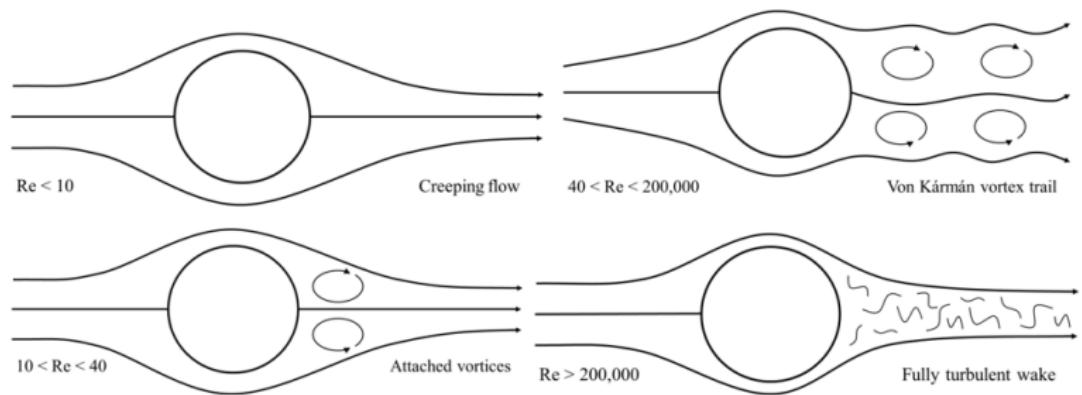
Il numero di  
Reynolds

Le equazioni di  
Navier-Stokes

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio



## Il numero di Reynolds nel nuoto

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

Jacopo  
Tissino

## Le equazioni di Navier-Stokes

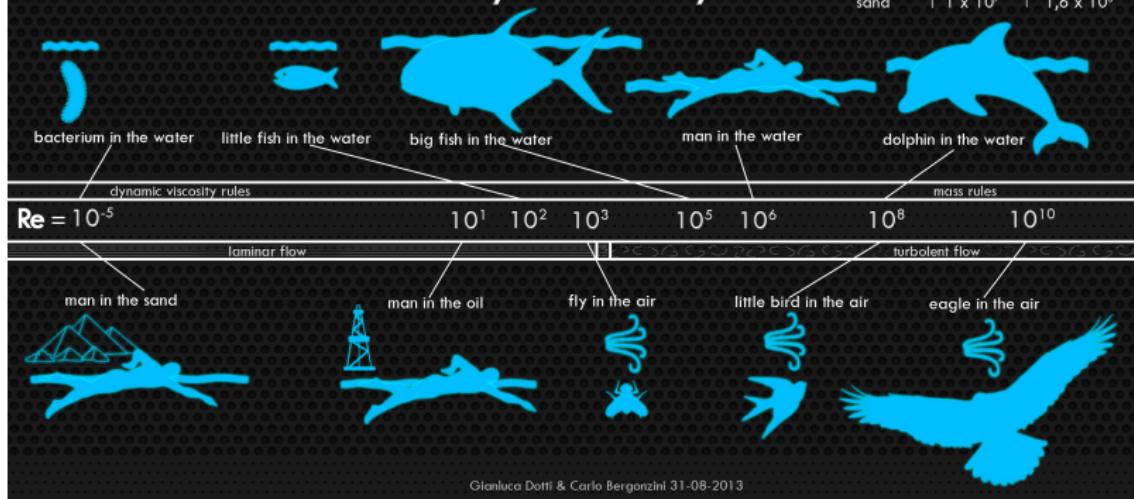
## Properties of swimming in fluids **Reynolds number**

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

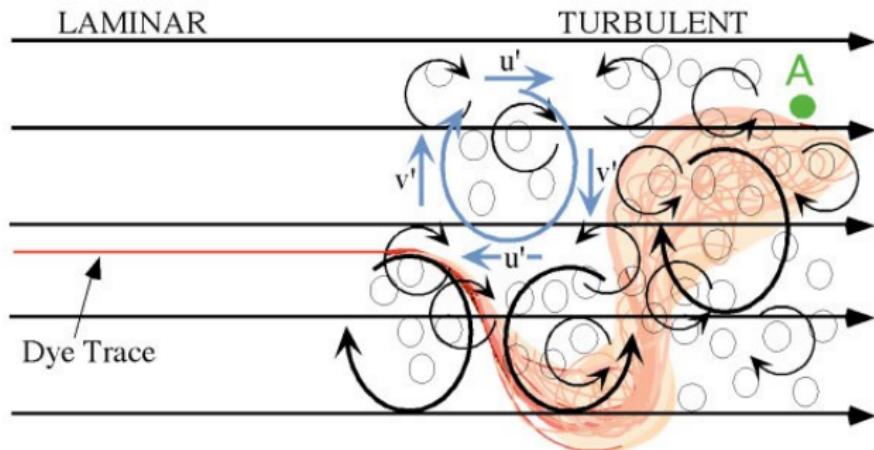
La turbolenza  
nei quadri di  
Van Gogh

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

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

La funzione di  
struttura

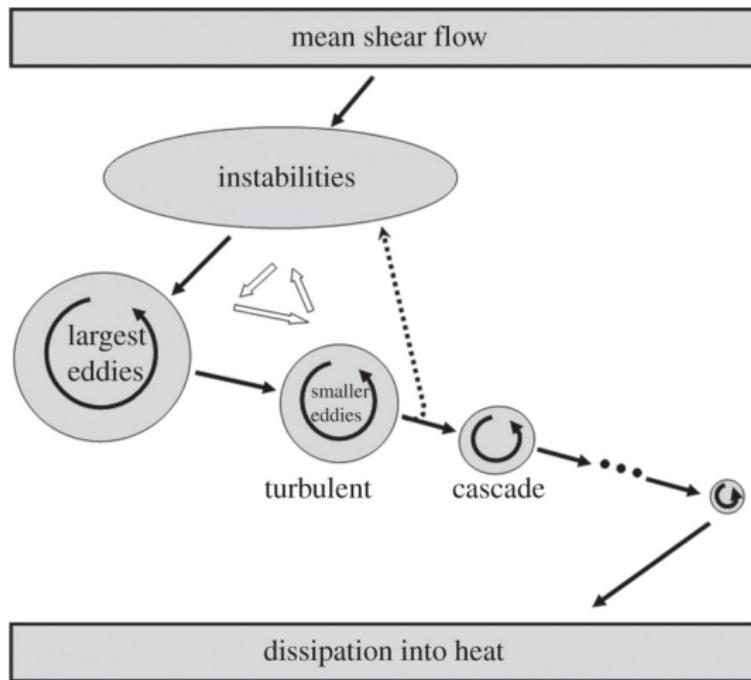
Il metodo  
dello studio



## Cascata di energia

Turbolenza  
Fluidodinamica  
e Van Gogh

## La cascata di energia



# La funzione di struttura

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

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

$$S_n(\mathbf{R}) = \langle (\delta v_r)^n \rangle \quad (5)$$

$$\delta v_r = v(\mathbf{r} + \mathbf{R}) - v(\mathbf{r}) \quad (6)$$

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

La turbolenza  
in  
fluidodinamica

Il numero di  
Reynolds

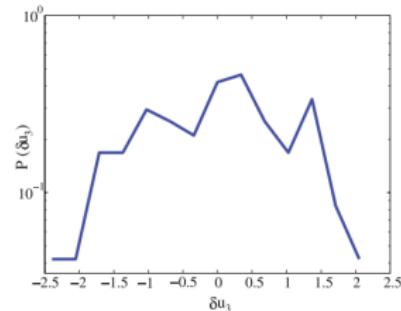
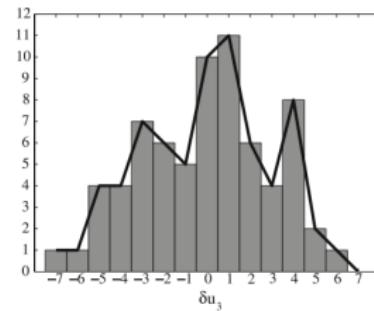
Le equazioni di  
Navier-Stokes

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

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



# Il metodo dello studio

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

La cascata di  
energia

La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

		Distance between pixels						
		1	2	3	4	5	6	7
Difference in luminance	-7	0	0	1	0	0	0	0
	-6	1	3	1	1	0	0	0
	-5	2	4	4	3	0	0	0
	-4	9	4	4	6	0	0	0
	-3	7	9	7	5	2	1	0
	-2	3	11	6	6	2	0	0
	-1	11	5	5	12	2	1	0
	0	12	6	10	12	0	0	0
	1	9	9	11	15	1	0	0
	2	5	7	6	6	1	0	0
	3	4	5	4	2	0	0	0
	4	5	8	8	1	0	0	0
	5	4	6	2	1	0	0	0
	6	0	1	1	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0

# Riproducibilità a diverse scale

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  
La cascata di  
energia  
La funzione di  
struttura

Il metodo  
dello studio

