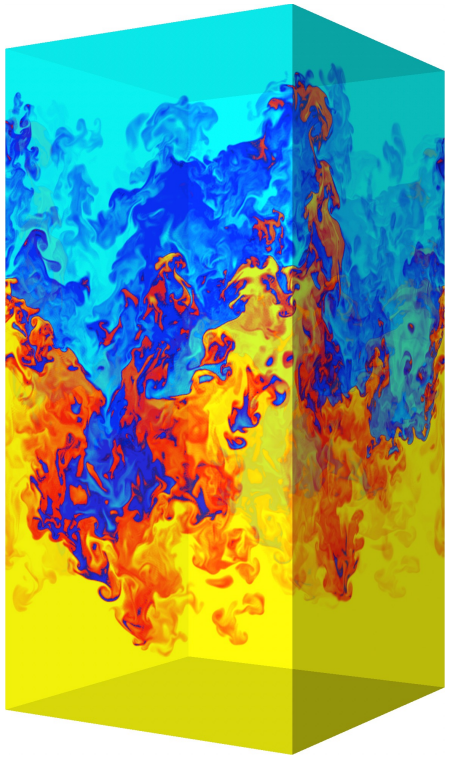
# Sistemi dinamici, onde e turbolenza



Meccanica classica: Fisica dei fluidi, onde e turbolenza
Sistemi dinamici: Teoria del caos, frattali
Dinamica dei sistemi estesi: Problemi di trasporto e diffusione
Fisica statistica: Leggi di scala, transizioni di fase, eventi estremi

Applicazioni
- Flussi geofisici (oceani e atmosfera)
- Fisica ambientale (diffusione di inquinanti)
- Biofisica (microorganismi marini)
- Applicazioni tecnologiche (fluidi complessi)

Metodi
- Studi teorici
- Simulazioni numeriche
- Esperimenti di laboratorio

Docenti di riferimento:
Boffetta, Onorato, De Lillo, Musacchio

# Onde e Turbolenza

## Interazioni non-lineari fra onde

Teoria perturbativa delle onde
Statistica degli eventi estremi
Ottica non-lineare
Metamateriali

(Onorato)

## Flussi ad alti numeri di Reynolds

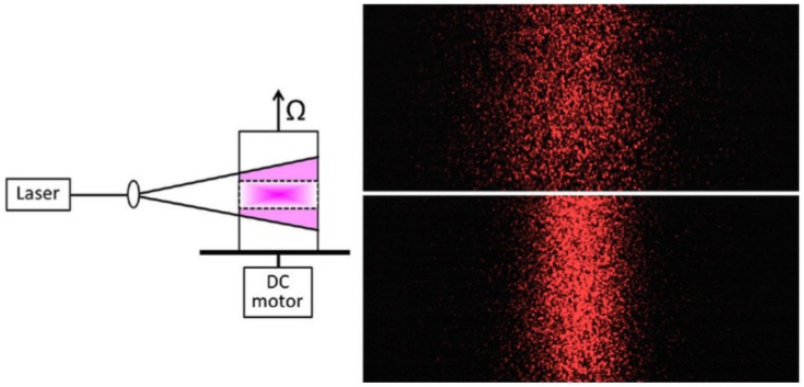
Proprietà dei flussi turbolenti
Trasporto di particelle e campi nei fluidi
Convezione turbolenta
Fluidi complessi (fluidi binari, non-newtoniani)
Dinamica di microorganismi nei fluidi

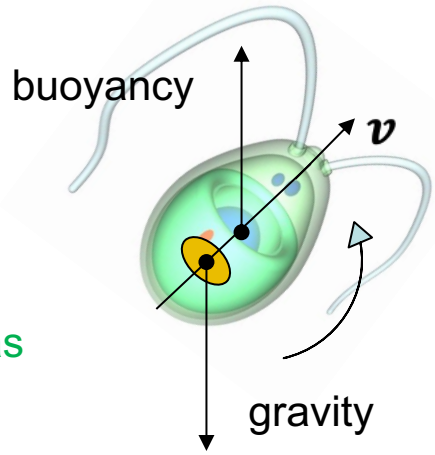
(Boffetta, De Lillo, Musacchio)

# Microorganismi che nuotano

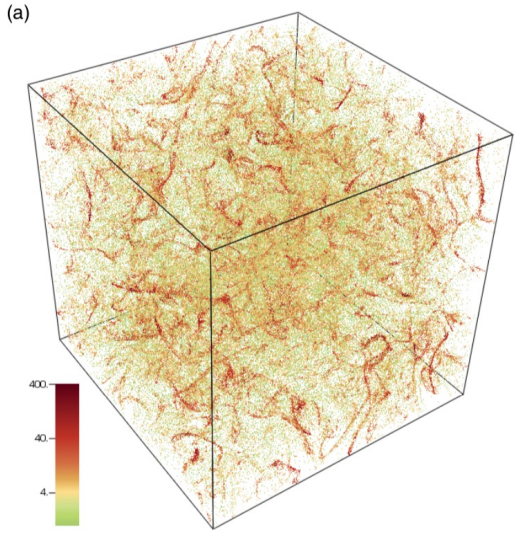
Batteri o microalghe (fino a 10 μm) studiati come “particelle che nuotano”:

$$\frac{d\boldsymbol{X}}{dt} = \boldsymbol{u}(\boldsymbol{X}, t) + \boldsymbol{v}$$




Clamydomonas reinhardtii



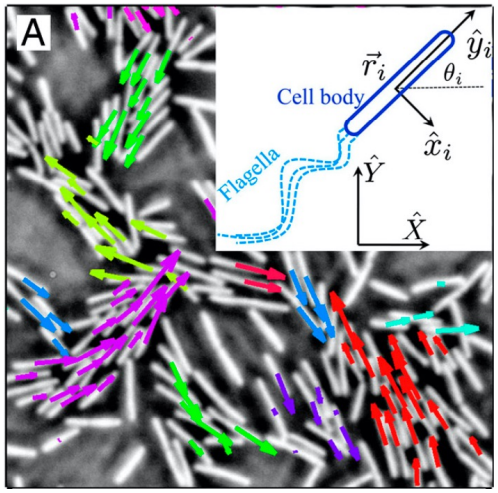

In acqua ferma nuotano verso l’alto (in cerca della luce)

In flussi turbulenti nuotano verso il centro dei vortici!

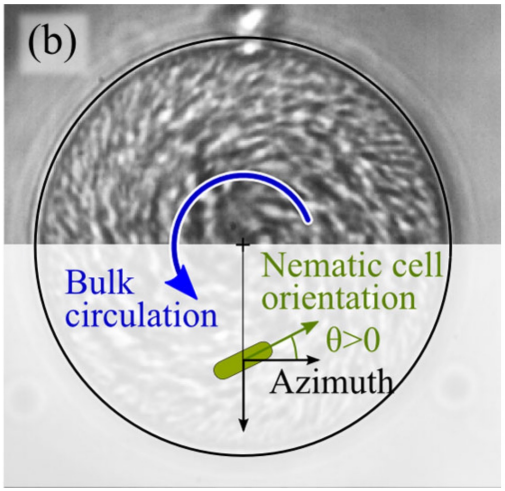
# Nuoto collettivo di microorganismi = Materia attiva

Moto collettivo di soluzioni dense di batteri che nuotano

Bacillus subtilis




Picture from Zhang et al., PNAS (2010)

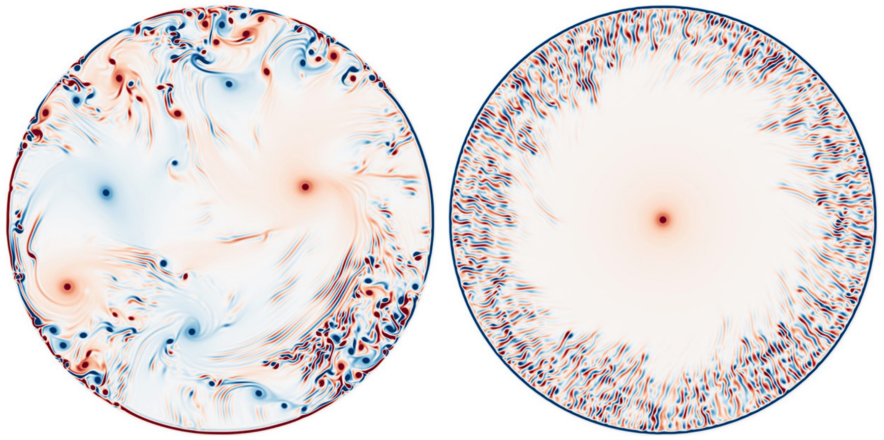



Picture from Wioland et al., PRL (2013)

Simulazioni numeriche di modelli per il campo di velocita medio (es. Toner-Tu-Swift-Hohenberg)

$$\partial_t \boldsymbol{u} + \lambda \boldsymbol{u} \cdot \boldsymbol{\nabla} \boldsymbol{u} = -\boldsymbol{\nabla} p - (\alpha + \beta |\boldsymbol{u}|^2 + \Gamma_2 \nabla^2 + \Gamma_4 \nabla^4) \boldsymbol{u}.$$

Auto-organizzazione dei nuotatori in vortici giganti

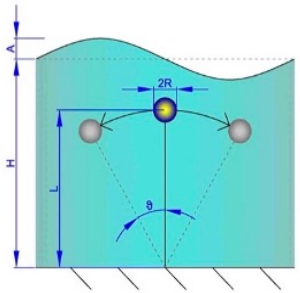


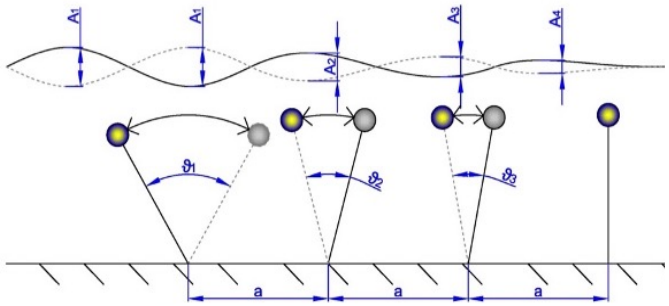
Picture from Puggioni et al., PRE (2022)

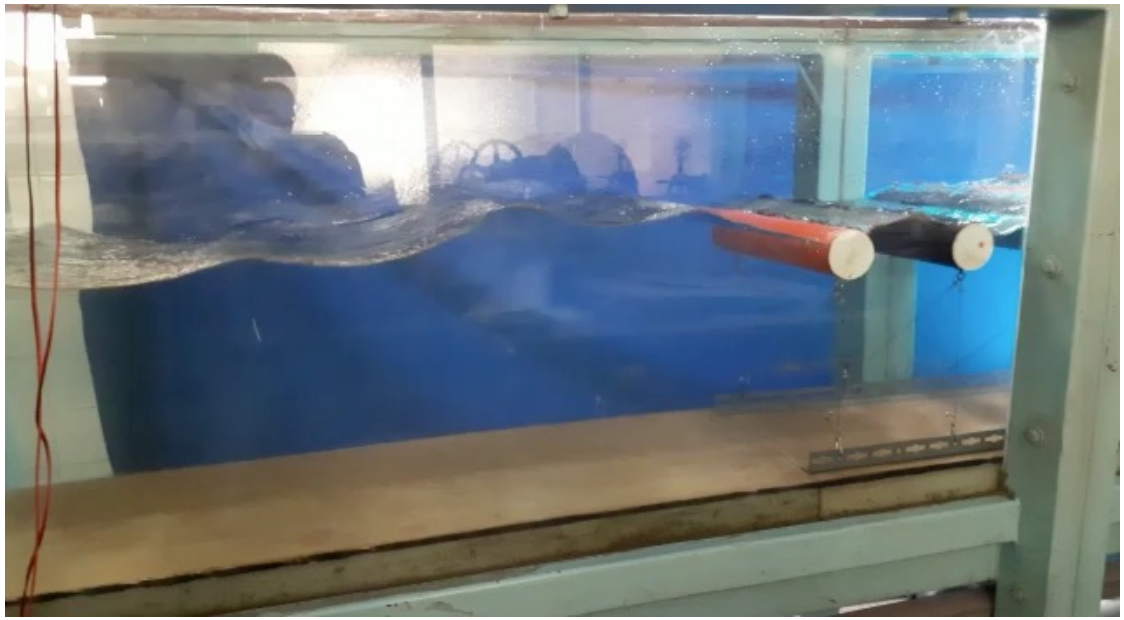
# Onde & Metamateriali

Meccanismo brevettato per prevenire l’erosione delle coste causata dalle onde

Principio fisico basato sulle proprieta di un metamateriale: Reticolo di ”pendoli invertiti” (cilindri galleggianti ancorati al fondale)

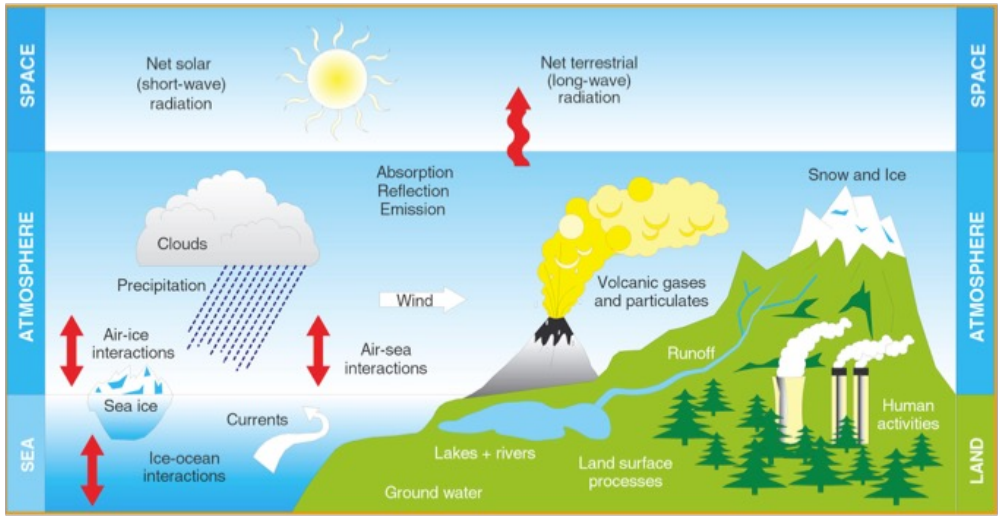


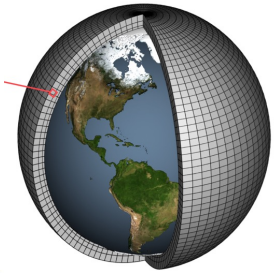



# Sistemi complessi per la fisica del clima

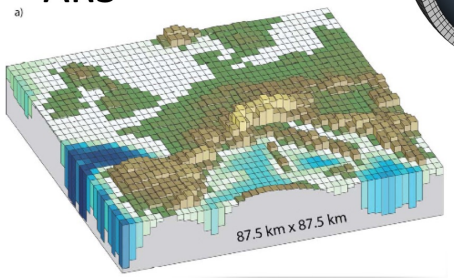
(Elisa Palazzi)



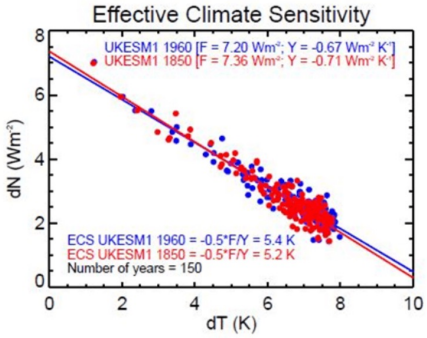

Studio e sviluppo di modelli climatici



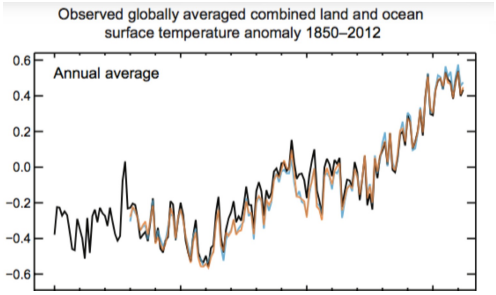
AR5



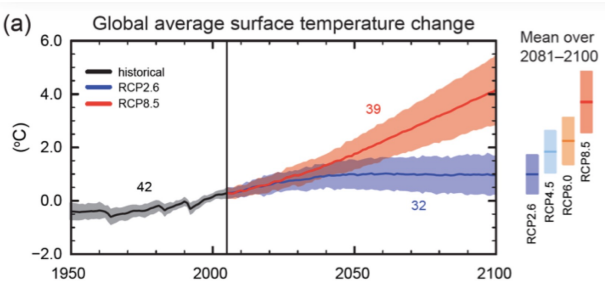

Variabilità climatica, forzanti, feedbacks, climate sensitivity




Cambiamento climatico




Proiezioni climatiche future




Tesi (anche) in collaborazione con ISAC-CNR e IRPI-CNR