IS FIELDTURB

(Particelle e campi in turbolenza e fluidi complessi)

Respons. Nazionale: prof. Luca Biferale (Univ. Roma II)

6 nodi: Roma II, Bari, Genova, Ferrara, Lecce e Torino

Resp. Sez. Genova: Andrea Mazzino (Univ. di Genova)

+ 4 dottorandi (Boi, Ferrari e Lagomarsino,Mentaschi)

+ 1 assegnista (Cassola)

Genova, 7 luglio 2015

Abstract:

Dinamica dei fluidi complessi e flussi turbolenti, aspetti teorici e numerici delle teorie di campo classiche fortemente non-lineari e fuori dall'equilibrio

Tematiche della IS:

- *simulazioni numeriche dirette ad alta risoluzione di fluidi turbolenti con e senza particelle, con e senza inerzia;*
- *simulazioni numeriche di fluidi a piu' componenti miscibili e non miscibili, come nel caso della convezione termica e delle instabilita' di Rayleigh-Taylor;*
- *studio teorico e numerico di equazioni di Navier-Stokes decimate;*
- *studio della nucleazione e condensazione di gocce/bolle in fluidi a piu' fasi;*
- *metodi analitici di tipo perturbativo e rinormalizzati applicati a delle pde fuori dall'equilibrio (metodi asintotici come gli sviluppi perturbativi a scale multiple o altri metodi di decimazione come il gruppo di*

FIELDTURB @ Genova

Focus: turbolenza e trasporto turbolento come sistema meccanico statistico

1) Trasporto di grande scala (limite IR della teoria)

Dinamica governata da parametri rinormalizzati

2) Trasporto non asintotico

Il regno dell'intermittenza e delle leggi di scala anomale

Trasporto turbolento: limite IR

Trasporto di uno scalare passivo da flusso (turbolento e non)

$$\partial_t \theta + \mathbf{u} \cdot \partial \theta = D_0 \partial^2 \theta + f$$ *(eq. di Smoluchowski)*

equazione di campo equivalente a quella a particelle

$$\dot{\mathrm{x}} = \mathbf{u}(\mathbf{x}(\mathrm{t}), \mathrm{t}) + \boldsymbol{\eta}$$ *(eq. di Langevin)*

Limite IR: dinamica di θ su scale spazio-temporali >> di quelle di u

Parametro naturale di sviluppo: $\epsilon = \frac{l}{L}$

Lo sviluppo perturbativo e' singolare: battimenti

Necessita' di sviluppi perturbativi rinormalizzati: multiscala

Trasporto turbolento: limite IR

Dinamica controllata da diffusivita' rinormalizzata

$$\partial_t \langle \theta \rangle = D^{eff}_{\alpha\beta} \partial_\alpha \partial_\beta \langle \theta \rangle$$

con $\mathrm{D}^{eff}_{\alpha\beta}$ *che soddisfa ad un'equazione diff. ausiliaria*

Tipicamente $\mathrm{D}^{eff}_{\alpha\beta} \gg D_0$

Uno dei nostri interessi e' lo studio delle condizioni per cui $\mathrm{D}^{eff}_{\alpha\beta}$ *diverge*

Diffusione anomala

Trasporto turbolento: limite IR

In termini di particelle: $\langle [x(t) - x(0)]^2 \rangle \propto t^a$

con a > 1 *(superdiffusione)*

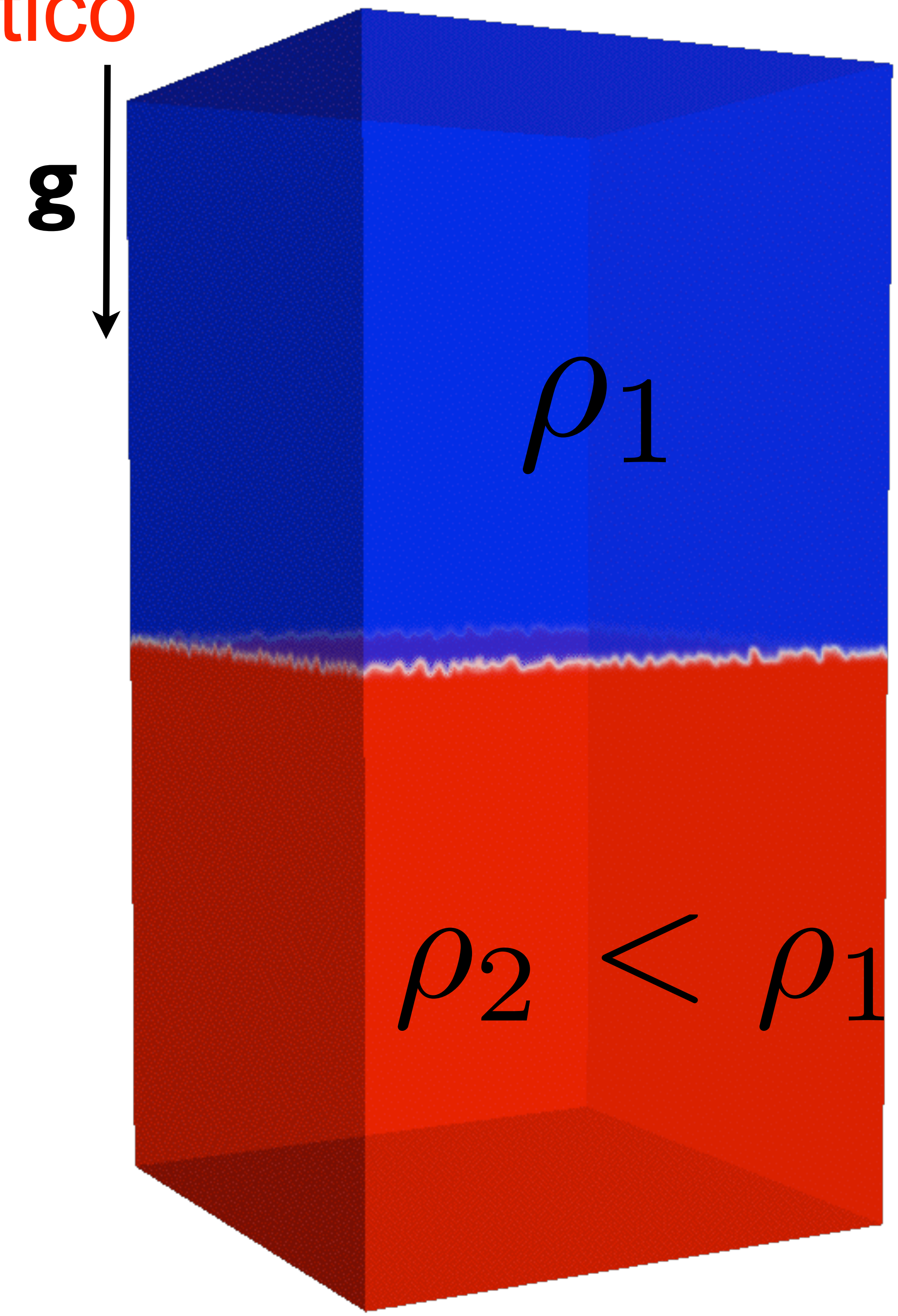
Problemi aperti di nostro interesse:

- *determinare le condizioni per la superdiffusione nel caso di particelle dotate di inerzia;*
- *analoga domanda per particelle dotate di gradi di liberta' interni (per esempio elastici) tipo fibre o polimeri;*
- *particelle interagenti*

Turbolenza in regime non asintotico

Es: Rayleigh-Taylor

numero di Atwood $\mathrm{A} \equiv \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$



Instabilita' all'interfaccia di due fluidi con densita' diverse

Rayleigh (1883), Taylor (1950)

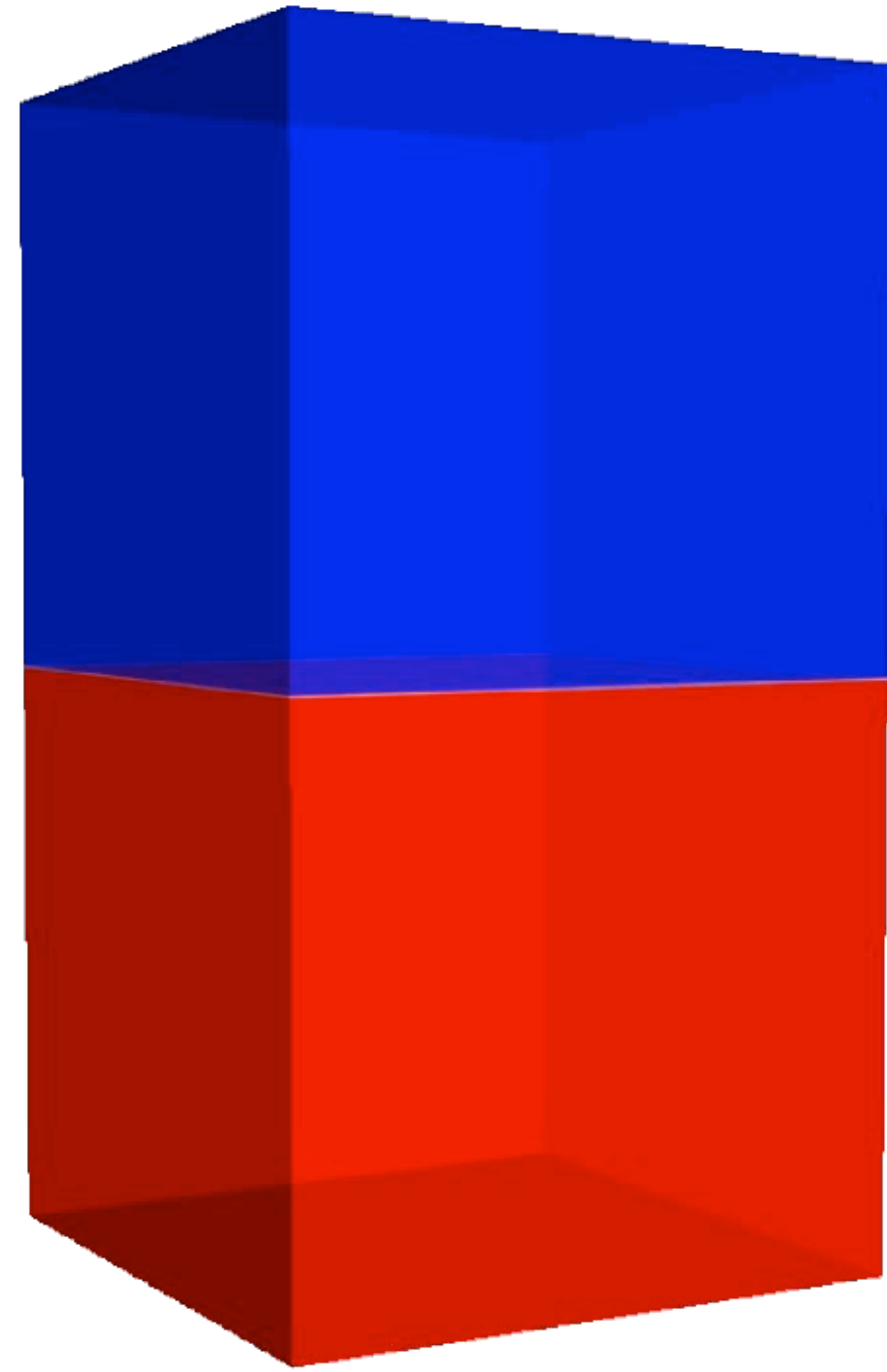
Analisi lineare: crescita esponenziale con tasso $\sqrt{Agk}$

Turbolenza in regime non asintotico

Es: Rayleigh-Taylor

$\mathbf{g}$

numero di Atwood $\mathrm{A} \equiv \dfrac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$

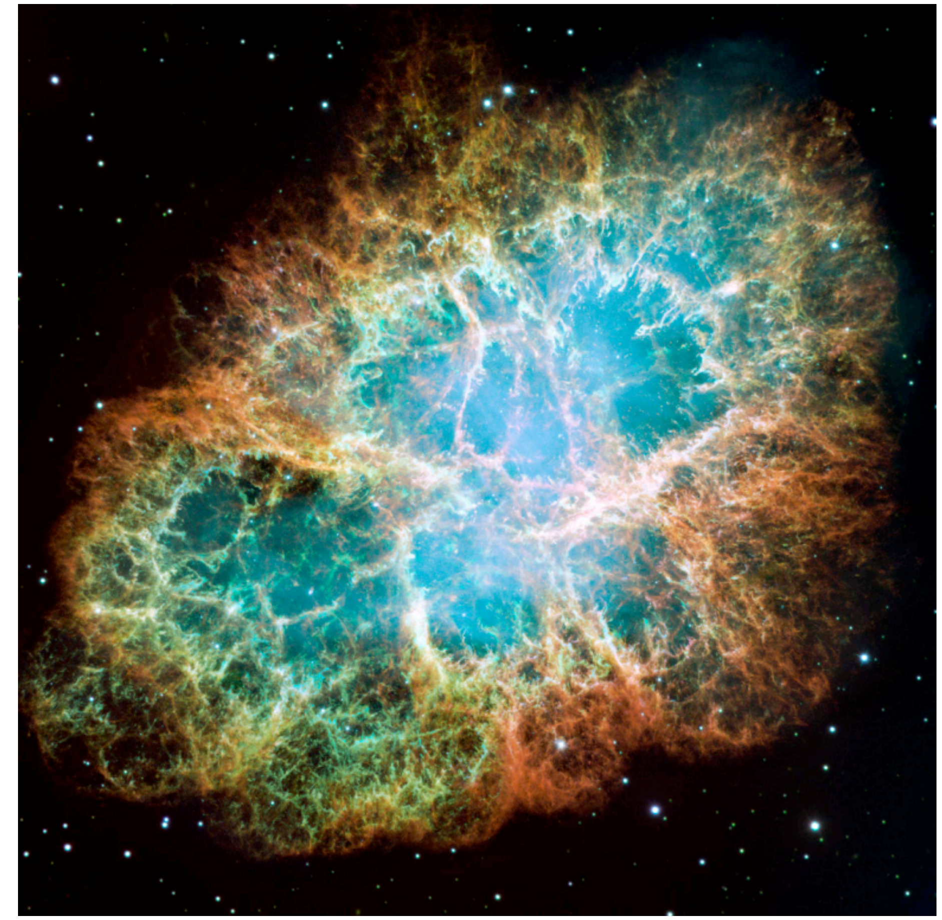


Instabilita' all'interfaccia di due fluidi con densita' diverse

Rayleigh (1883), Taylor (1950)

Analisi lineare: crescita esponenziale con tasso $\sqrt{Agk}$

Rilevanza della turbol. di Rayleigh-Taylor



Si incontra in molti fenomeni naturali e in applicazioni tecnologiche

- esplosione di supernova
- meccanismi di accelerazione nei fronti termonucleari
- fisica dell'atmosfera (mammatus cloud)
- riscaldamento della corona solare
- confinamento della fusione nucleare
- ecc.

Turbolenza di Rayleigh-Taylor (caso 2D)

$$\partial_t \mathbf{u} + \mathbf{u} \cdot \partial \mathbf{u} = -\partial p + \nu \partial^2 \mathbf{u} - \beta \mathbf{g} T \qquad (\mathrm{A} \equiv \beta\theta_0)$$

$$\partial_t T + \mathbf{u} \cdot \partial T = \kappa \partial^2 T$$

Bilancio tra spinta di Archimede e inerzia

- *La temperatura `casca' verso le piccole scale*

Chertkov, PRL 91 (2003)

- *Velocita': cascata di energia verso le grandi scale (coalescenza)*

le fluttuazioni turbolente seguono lo scaling alla Bolgiano

$$\delta_r u(t) = (\beta\theta_0 g)^{2/5} t^{-1/5} r^{3/5}$$

Celani, Mazzino, Vozella, PRL 96 (2006)

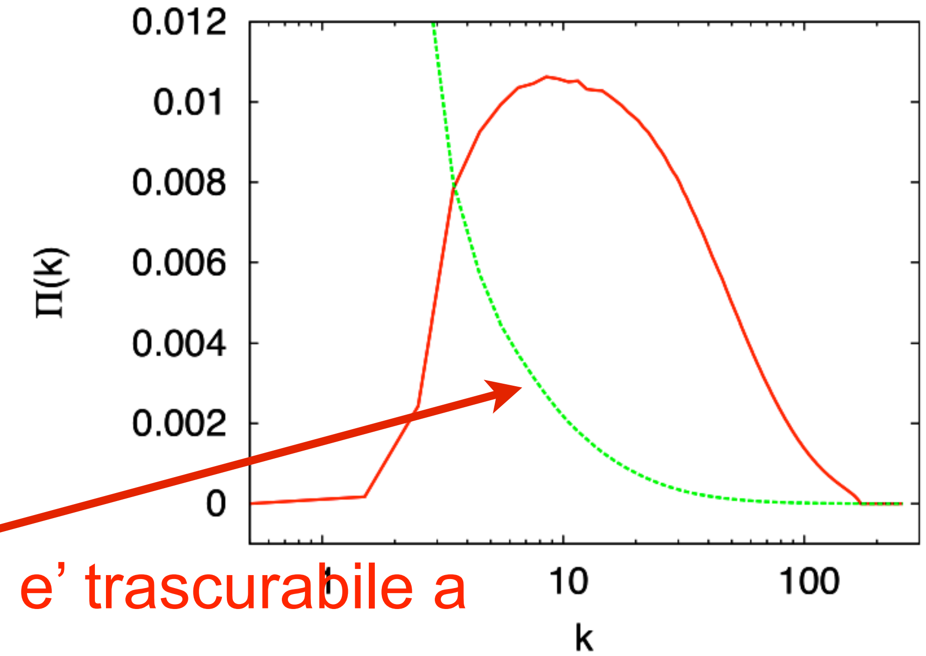
$$\delta_r T(t) = \theta_0 (\beta\theta_0 g)^{-1/5} t^{-2/5} r^{1/5}$$

Biferale et al, PF 22 (2011)

Turbolenza di Rayleigh-Taylor (caso 3D)

$$\partial_t \mathbf{u} + \mathbf{u} \cdot \partial \mathbf{u} = -\partial p + \nu \partial^2 \mathbf{u} - \beta \mathbf{g} T$$

$$\partial_t T + \mathbf{u} \cdot \partial T = \kappa \partial^2 T$$



La spinta di Archimede e' trascurabile a piccole scale

- *La temperatura `casca' verso le piccole scale*

Chertkov, PRL 91 (2003)

- *Velocita': cascata di energia verso le piccole scale (a flusso costante)*

Le fluttuazioni turbolente seguono lo scaling di Kolmogorov-Obukhov

$$\delta_r u(t) = (\beta\theta_0 g)^{2/3} t^{1/3} r^{1/3}$$
$$\delta_r T(t) = \theta_0 (\beta\theta_0 g)^{-1/3} t^{-2/3} r^{1/3}$$

Boffetta, Mazzino, Musacchio, Vozella, PRE 79 (2009)

Leggi di scala anomale

$$\delta_r u(t) = (\beta\theta_0 g)^{2/3} t^{1/3} r^{1/3}$$
$$\delta_r T(t) = \theta_0 (\beta\theta_0 g)^{-1/3} t^{-2/3} r^{1/3}$$

Approccio di campo medio

$$\mathrm{S}_p^{(u)}(r) \equiv \langle (\delta_r u)^p \rangle \propto r^{p/3}$$
$$\mathrm{S}_p^{(\theta)}(r) \equiv \langle (\delta_r \theta)^p \rangle \propto r^{p/3}$$

NON osservato

si osserva piuttosto

$$\mathrm{S}_p^{(u)}(r) \equiv \langle (\delta_r u)^p \rangle \propto r^{p/3-\sigma_p^{(u)}}$$
$$\mathrm{S}_p^{(\theta)}(r) \equiv \langle (\delta_r \theta)^p \rangle \propto r^{p/3-\sigma_p^{(\theta)}}$$

scaling anomalo

Leggi di scala anomale

$$S_p^{(u)}(r) \equiv \langle(\delta_r u)^p\rangle \propto r^{p/3-\sigma_p^{(u)}}$$

scaling anomalo

$$S_p^{(\theta)}(r) \equiv \langle(\delta_r \theta)^p\rangle \propto r^{p/3-\sigma_p^{(\theta)}}$$

attivita’ in corso:

- *Comprendere le cause delle anomalie*
- *Calcolare gli esponenti anomali*

e per finire ...

From Newtonian to viscoelastic Rayleigh Taylor