

La mia fluidodinamica

Mia in senso affettivo, di scelte di ricerca, di rapporto con altre discipline, di formazione di studenti e ricercatori: un racconto, a tratti autobiografico, dell'evoluzione della disciplina attraverso le tematiche via via emergenti negli ultimi cinquant'anni

Renzo Piva

Istituto di Aerodinamica, Scuola di Ingegneria Aerospaziale, *La Sapienza*

Department Aerospace Engineering, New York University

Istituto di Meccanica Applicata, Università di Roma *La Sapienza*

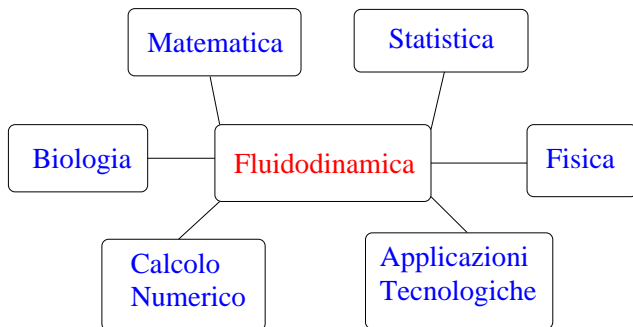
Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Boston University

Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma *La Sapienza*

La mia fluidodinamica

Per riuscire nel racconto sarà però necessario richiamare via via

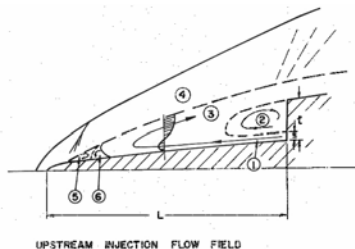
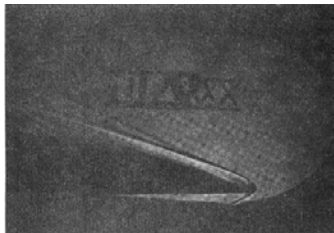
- ▷ aspetti salienti e ricorrenti della disciplina
- ▶ punti di attrazione per studenti, colleghi e la nascita di collaborazioni con altre discipline



Premessa: l'America

Le condizioni iniziali/inizio della storia

- ▷ assistente di Aerodinamica nel '68! Cosa fare?
- ▷ l'incontro con Ferri e la partenza per gli Stati Uniti (NYU, Dept. Aerospace Eng.)
- ▶ ricerca sperimentale (NASA, Air Force) e insegnamento: come lavorare e rapporto ricerca/didattica



- ▷ allora in USA nasceva e si sviluppava la fluidodinamica numerica: **una novità**

Chi era Ferri?

- ▷ Tenente in Aeronautica, primi esperimenti di flussi supersonici a Guidonia (1938)
- ▷ con l'arrivo degli Americani, parte per gli USA, Direttore a NACA Langley, Professore di Aerodinamica a NYU

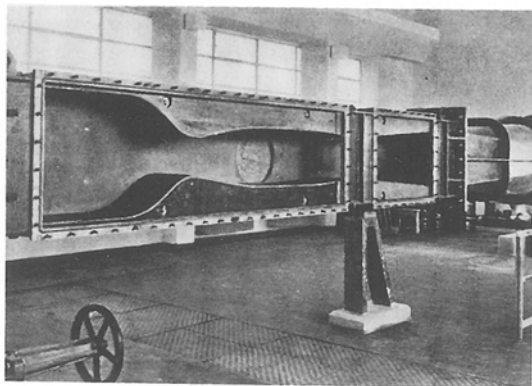
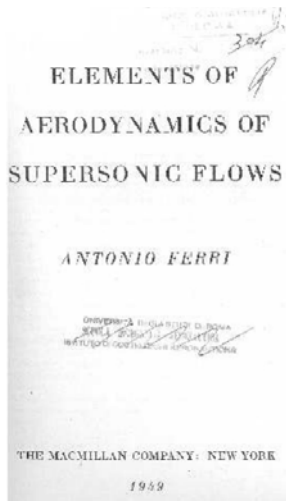


Fig. 33 - Il condotto di trasformazione della Galleria Stratosferica Ultrasonora.



LEADING EDGE COOLING BY UPSTREAM INJECTION^κ

by

Renzo Piva[†]

[†]Visiting Adjunct Professor, New York University Aerospace Laboratory
(Assistant Professor of Aerodynamics, University of Rome, Italy)

NASA CR-111965

Reprinted from AIAA JOURNAL, Vol. 11, No. 1, January 1973, pp. 6-7
Copyright, 1973, by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, and reprinted by permission of the copyright owner

**Interaction between an Upstream Facing Wall Jet and a
Supersonic Stream**

RENZO PIVA*

New York University, Bronx, New York

Reprinted from JOURNAL OF AIRCRAFT, Vol. 12, No. 7, July, 1975, pp. 617-619
Copyright, 1975, by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, and reprinted by permission of the copyright owner

**Cross-Flow Influence on Slot
Cooling Effectiveness**

Renzo Piva* and Andrew Srokowski[‡]

New York University, New York, N. Y.

Il ritorno in Italia

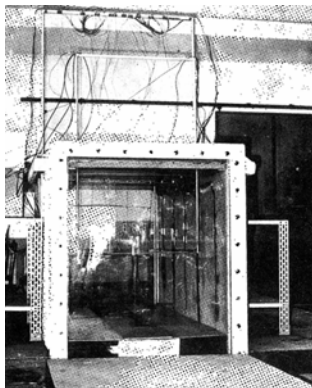
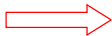
- ▶ Broglio e la Scuola di Ingegneria Aerospaziale... come re-inventarsi un mestiere
- ▶ come entusiasmare studenti per temi di ricerca
- ▶ dall'attività sperimentale alla numerica

U.S.A. - ITALY COOPERATIVE PROGRAM IN SCIENCE
ACCORDO DI COOPERAZIONE SCIENTIFICA ITALIA-USA

Cooperative research project between U.S.A. and Italian Institutes

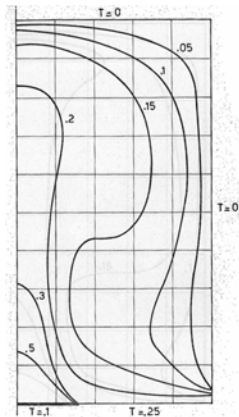
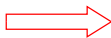
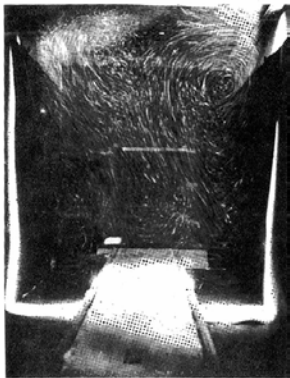
Programmi di ricerca in collaborazione fra Istituti scienziatici italiani e statunitensi

	<u>UNITED STATES</u>	<u>ITALY</u>
Title of the project Tema della ricerca	Air Pollution in the Urban Complex	L'inquinamento atmosferico nelle città
Cooperating Institution Istituti	New York University	Università Di Roma
Principal Investigator Responsabile della ricerca	FERRI, ROYCEH	SPOLIDO, PINA
Starting date Data iniziale	October 1972	Ottobre 1972
Duration Durata	2 years	2 anni
Support requested Richiesta di spese		
First year per il 1° anno	\$15,000	11.600.000 lire
for the following years per gli anni successivi	\$15,000	9.600.000 lire
Signature of the Principal Investigator Firma del responsabile della ricerca		
Country approval for U.S.A.	Approvazione ufficiale per l'Italia	
National Science Foundation	Consiglio Nazionale delle Ricerche	



Il ritorno in Italia

- ▷ Broglio e la Scuola di Ingegneria Aerospaziale... come re-inventarsi un mestiere
- ▷ come entusiasmare studenti per temi di ricerca
- ▶ dall'attività sperimentale alla numerica



ISTITUTO DI AERODINAMICA
SCUOLA DI INGEGNERIA AEROSPAZIALE
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION
OF THREE - DIMENSIONAL THERMALLY INDUCED FLOWS**

di

C. Cardella, P. Orlandi, R. Piva, F. Sabetta

XII Biennial Fluid Dynamics Symposium - Białowieża, September 1975

*Estratto da "L'AEROTECNICA MISSILI E SPAZIO" N. 5 - 1972
Rivista dell'Associazione Italiana di Aeronautica e Astronautica - Tamburini Editore - Milano*

**RIDUZIONE DEL FLUSSO TERMICO
PER UN CONDOTTO CILINDRICO PERCORSO
DA GAS IONIZZATO**

RENZO PIVA - DANTE CUNSOLO - ANTONIO CENEDESE
Scuola di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Roma

Come entrare nella comunità internazionale

- ▷ lo sviluppo di **metodologie numeriche** e applicazioni: collaborazioni con INSEAN, ENEA, IAC/CNR, CIRA ...
- ▷ **convegni internazionali**, allora essenziali per nuove idee

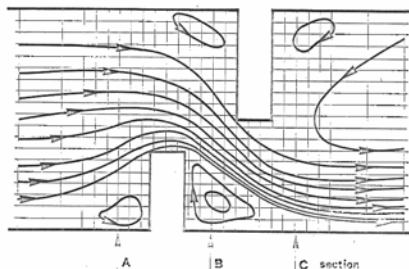
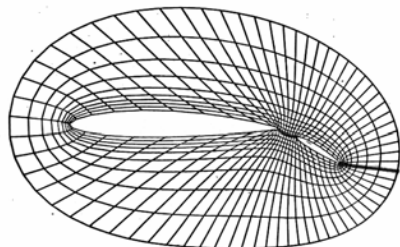


Fig. 1 Streamlines ; $Re = 10^3$



- ▶ ma ora è proprio necessario cominciare a descrivere gli aspetti principali della disciplina

I primi tentativi numerici

МЕХАНИКА

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ТЕЧЕНИЙ
В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ
НАД УЛИЧНЫМИ КАНЫОНАМИ

Р. Пива, П. Орланди

Аэродинамический институт Римского университета

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА 1977

NUMERICAL SOLUTIONS FOR HIGH GRASHOF NUMBER,
THERMALLY INDUCED FLOWS IN THE LOWER ATMOSPHERE

by
RENZO PIVA and PAOLO ORLANDI
Istituto di Aerodinamica
University of Rome, Italy

**AIAA Paper
No. 74-588**

NAVIER STOKES FLOWS WITH SUSPENDED PARTICLES: MATHEMATICAL MODELLING
AND NUMERICAL SIMULATION

F. Sabetta, R. Piva and M. Di Giacinto

Istituto di Aerodinamica
University of Rome
Rome, Italy

Theoretical and Applied Mechanics, W.T. Koiter, ed.
© North-Holland Publishing Company (1976)

EFFETTI DELLE FORZE DI INERZIA IN UN MEATO A SEZIONE VARIABILE NEL TEMPO

A. Sestieri^{*}, R. Piva^{**}, M. Onofri^{***}

Università di Roma

Equazioni di Navier Stokes

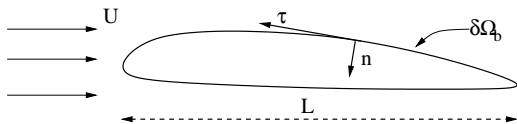
- ▷ non lineari per **termine convettivo** (termine viscoso lineare)

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

$$\mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\tau}|_{\partial\Omega_b} = 0, \text{ aderenza}$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u}$$

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}|_{\partial\Omega_b} = 0, \text{ impermeabilità}$$



- ▷ **diffusione**: viscosità cinematica $\nu \rightarrow 0$ ($\sim 10^{-5}/10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

- ▷ numero di Reynolds $Re = \frac{UL}{\nu} = \frac{\text{convezione}}{\text{diffusione}} \rightarrow \infty$

- ▶ valori tipici: $Re = 10^6 \div 10^8$ (automobile ÷ aereo)
 $Re = 10^{10} \div 10^{12}$ (eventi naturali)

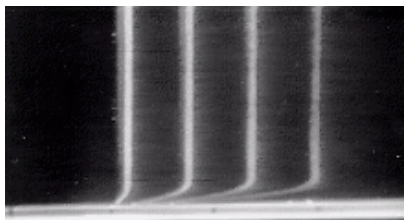
Strato limite

▷ $\nu \nabla^2 \mathbf{u} \simeq 0$ nel campo (Prandtl): *perturbazione singolare*
(di interesse per matematici)

▶ effetti viscosi trascurabili quasi ovunque tranne in una *regione sottile* (strato limite) vicino al contorno per

$$\mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\tau} |_{\partial\Omega_b} = 0$$

▷ *regione sottile* anche all'interno del fluido, e.g. onde d'urto o fronti di mescolamento



Scale caratteristiche

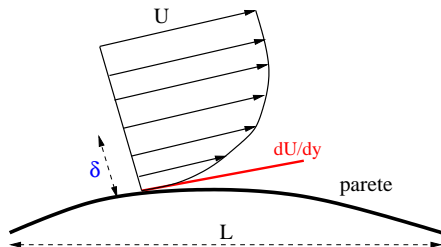
nello strato limite

$$\mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \simeq \nu \nabla^2 \mathbf{u}$$

$$\nu \ll 1 \text{ e } \|\nabla \mathbf{u}\| \gg 1$$

$$\frac{U^2}{L} = \nu \frac{U}{\delta^2} \Rightarrow \frac{\delta}{L} = \frac{1}{\sqrt{Re}} \rightarrow 0$$

(spessore δ piccolo)



- ▶ eq. strato limite: *recupera localmente gli effetti viscosi* (anche con $Re \rightarrow \infty$) per soddisfare $\mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\tau}|_{\partial\Omega_b} = 0$
- ▷ nel flusso laminare solo due scale (δ , L), molte in turbolenza (di interesse per fisici)

ON ADAPTIVE DISCRETIZATION TECHNIQUES IN CURVILINEAR

COORDINATES FOR CONVECTION-DOMINATED FLOWS

R. Piva^{*}, A. Di Carlo^{**}, B. Pavini^{*}, G. Guj^{*}

^{*} Istituto di Meccanica Applicata alle Macchine

^{**} Istituto di Scienza delle Costruzioni

Università di Roma

J. Fluid Mech. (1983), vol. 130, pp. 347-376

Printed in Great Britain

347

Thermocapillary convection in a rectangular cavity: asymptotic theory and numerical simulation

By M. STRANI, R. PIVA AND G. GRAZIANI

Istituto di Meccanica Applicata, Università di Roma, Rome, Italy

The Influence of Fluid Inertia in Unsteady Lubrication Films

A. Sestieri

Associate Professor.

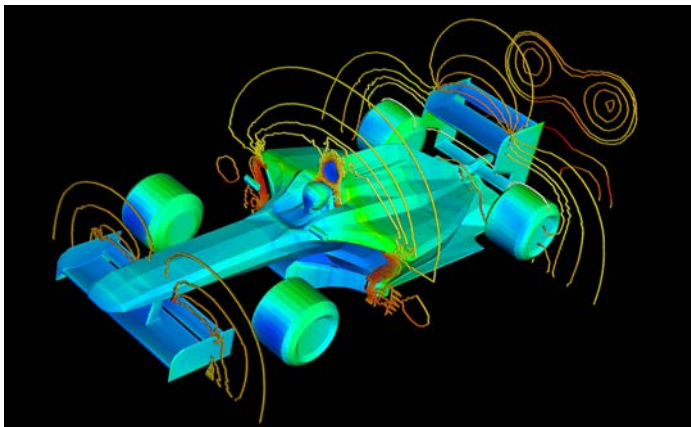
R. Piva

Professor.

Istituto di Meccanica Applicata
alle Macchine,
Università di Roma,
Rome, Italy

La fluidodinamica numerica verso le applicazioni

- ▷ Risoluzione di campi in geometrie complesse
(Computational Fluid Dynamics)



- ▶ **CFD**: assume grande importanza in applicazioni industriali (*quasi* una disciplina a parte), noi invece

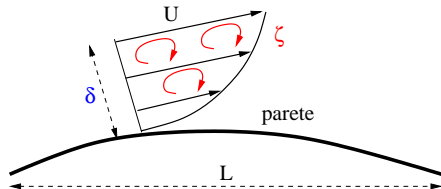
Sviluppi teorici: raccordo di soluzioni asintotiche

- ▷ flussi intorno a corpi portanti per $Re \rightarrow \infty$
 - eq. di Eulero nel campo i.e. $\nu \nabla^2 \mathbf{u} = 0$
 - eq. di strato limite vicino al corpo



- ▷ ruolo essenziale della vorticità $\boldsymbol{\zeta} = \nabla \times \mathbf{u}$: sforzo a parete $\mathbf{t} = -p\mathbf{n} + \mu\boldsymbol{\zeta} \times \mathbf{n}$ (Berker) e **generazione**

L'incontro con i matematici applicati (Facoltà, Castelnuovo, Boston University, IAC/CNR e SIAM, SIMAI)



L'incontro con i matematici

A REDUCED IMPLICIT SCHEME, VIA DISCRETE STREAM FUNCTION GENERATION, FOR UNSTEADY NAVIER STOKES EQUATIONS IN GENERAL CURVILINEAR COORDINATES

U. Bulgarelli⁺, G. Graziani^{**}, D. Mansutti⁺, R. Piva^{**}

VECTOR GREEN'S FUNCTION METHOD FOR UNSTEADY NAVIER - STOKES EQUATIONS

Renzo Piva, Luigi Morino

MECCANICA

Journal of the Italian Association of Theoretical and Applied Mechanics AIMETA
Vol. 22 • No. 2 • June 1987

Edge Singularities and Kutta Condition in 3D Aerodynamics

P. BASSANINI¹, C.M. CASCIOLA², M.R. LANCIA³ and R. PIVA²

¹Università di Roma La Sapienza, Dipartimento di Matematica, Pl. A. Moro 5; 00185 Roma

²Università di Roma La Sapienza, Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, v. Eudossiana 18; 00184 Roma

³Università di Roma La Sapienza, Dipartimento di Metodi e Modelli Matematici per le Scienze Applicate, v. Scarpa 10; 00161 Roma

Weakly Nonlinear Analysis of a Localized Disturbance in Poiseuille Flow

By D. Ponziani, C. M. Casciola, F. Zirilli, and R. Piva

Dinamica della vorticità

- ▷ la vorticità una volta generata può solo essere trasportata e diffusa (Beltrami/Helmholtz)

$$\frac{D\zeta}{Dt} = \zeta \cdot \nabla \mathbf{u} + \nu \nabla^2 \zeta$$

- ▷ termine diffusivo ($l_d \propto \sqrt{\nu t}$) trascurabile nel campo
- ▶ termine inerziale $\zeta \cdot \nabla \mathbf{u}$, nullo in $2D$, amplifica la vorticità in $3D$ per *stretching* di filamenti vorticosi

$$\zeta(t) = \zeta(t_0) \frac{A_0}{A_t}$$

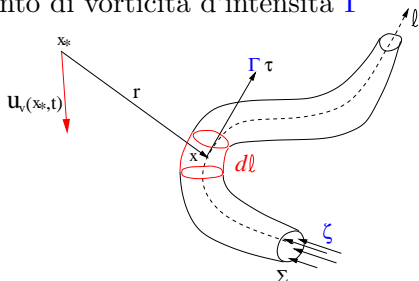


Dinamica della vorticità

- ▷ velocità indotta da un filamento di vorticità d'intensità Γ

$$\mathbf{u}_v(\mathbf{x}^*, t) = \frac{\Gamma}{4\pi} \int \frac{\mathbf{r} \times d\boldsymbol{\ell}}{r^3}$$

$$\Gamma = \int_{\Sigma} \boldsymbol{\zeta} \cdot \mathbf{n} dA, \text{ circolazione}$$



- ▷ **generazione** di vorticità per aderenza, **diffusione** nello strato limite ed evoluzione non viscosa nel campo

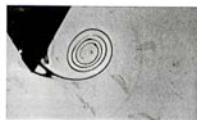
$$\frac{D\boldsymbol{\zeta}}{Dt} = \boldsymbol{\zeta} \cdot \nabla \mathbf{u}$$



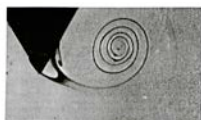
$t=10s$



$30s$



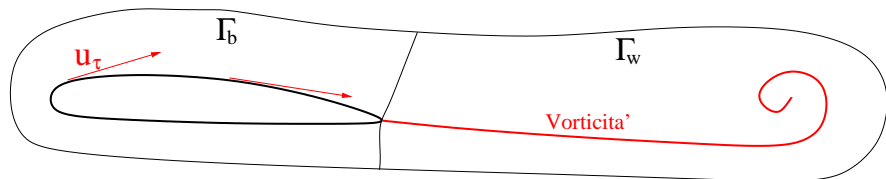
$t=50s$



$70s$

Rilascio di vorticità e portanza

- ▷ soluzione eq. d'Eulero con la sola c.c. $\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}|_{\partial\Omega_b} = 0$
- ▷ condizione di **Kutta**: un modello di **generazione di vorticità** al bordo d'uscita (a punta) per effetti viscosi



- ▷ nel campo la circolazione totale si mantiene nulla

$$\Gamma_b + \Gamma_w = 0$$

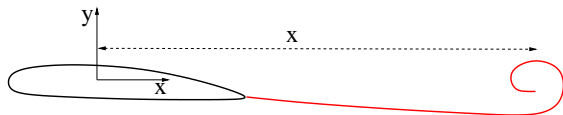
- ▶ con pochi passaggi siamo in grado di capire un fenomeno complesso come la portanza, $L = \rho U \Gamma_b$

Forze e vorticità

▷ in generale le forze scambiate

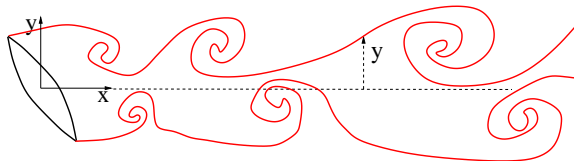
$$\mathbf{F} = \frac{1}{N-1} \left[-\frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho \mathbf{r} \times \boldsymbol{\zeta} dV + \frac{d}{dt} \oint_{\partial\Omega} \rho \mathbf{r} \times u_{\tau} \mathbf{k} dS \right]$$

free vorticity bound vorticity



Portanza

$$L = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho x \zeta_z dV$$



Resistenza

$$D = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho y \zeta_z dV$$

Vorticity Shedding from a Lentil-Shaped Body at Large Incidence in Uniform Flow

G. RICCARDI, A. IAFRATI and R. PIVA

Università di Roma "La Sapienza", Dip. di Meccanica e Aeronautica, via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

Viscous vs. Inviscid Interaction of a Vorticity Structure with a Circular Cylinder

G. GRAZIANI, M. RANUCCI, G. RICCARDI and R. PIVA

Università di Roma "La Sapienza", Dip. di Meccanica e Aeronautica, via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

Vorticity Generation on a Flat Surface in 3D Flows

C. M. Casciola,* R. Piva,* and P. Bassanini[†]

**Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma La Sapienza via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy;*

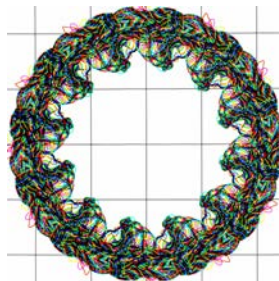
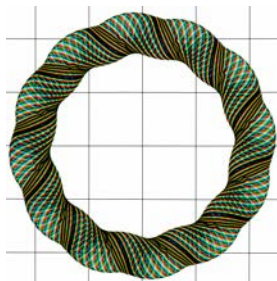
†Dipartimento di Matematica Castelnuovo, Università di Roma La Sapienza P.le A. Moro 5, 00185 Roma, Italy

Vorticità e piccole scale : verso la turbolenza

- ▷ in assenza di viscosità la vorticità diventa singolare?
(grande interesse per matematici)

$$\zeta = \frac{1}{c(t - t_0)} \quad \text{blow-up}$$

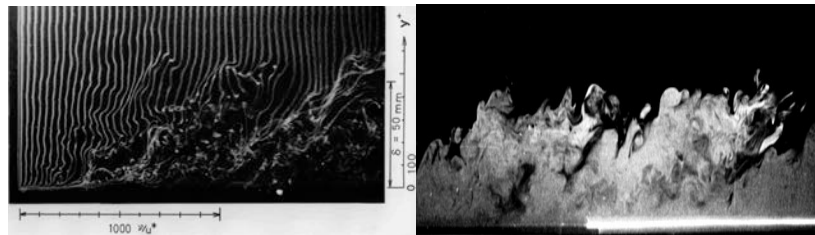
- ▷ formazione di scale sempre più piccole in turbolenza
(grande interesse per fisici)



- ▶ le forti velocità indotte si traducono in fluttuazioni turbolente ... vediamo come

Strato limite turbolento

- ▷ per alti Re transizione da moto laminare a turbolento



- ▷ la scala δ è solo la scala più grande \Rightarrow scale sempre più piccole fino alla scala dissipativa η (*fenomeno multiscala*)
- ▷ strutture di vorticità \Rightarrow **localmente** $\|\nabla \mathbf{u}\| \rightarrow \infty$ per $\nu \rightarrow 0$

$$\lim_{\nu \rightarrow 0} \epsilon = 2\nu e_{ij} e_{ij} = \bar{\epsilon} \quad [e_{ij} = \text{sym}(\partial u_i / \partial x_j)]$$

- ▷ anomalia dissipativa (*dissipazione finita*)

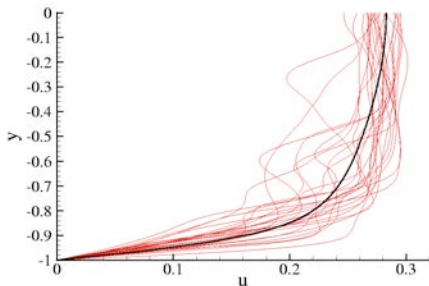
Campi istantanei e medie d'insieme

- ▷ **ciascun profilo** è descritto da eq. di Navier Stokes ... ma forte dipendenza da dati iniziali (*caos deterministico*)
- ▷ valori medi non presentano tale dipendenza (*predicibilità*)

media d'insieme $\langle \mathbf{u} \rangle = \mathbf{U}$

decomposizione di Reynolds
(media + fluttuazione)

$$\mathbf{u} = \mathbf{U} + \mathbf{u}'$$

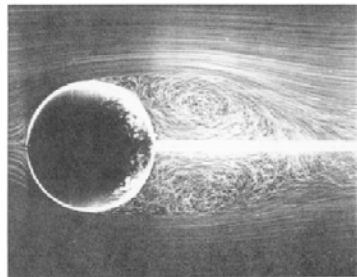


$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = \rho F_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\mu E_{ij} - \rho \langle u'_i u'_j \rangle)$$

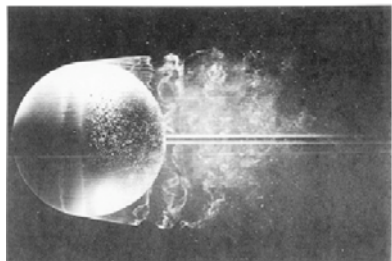
- ▷ **forzi viscosi** e **forzi di tipo inerziale** (dovuti a fluttuazioni)

Campo medio e fluttuazioni

campo medio



campo istantaneo



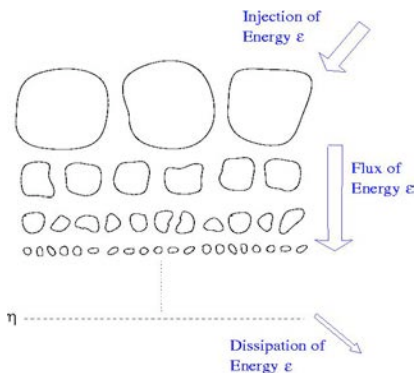
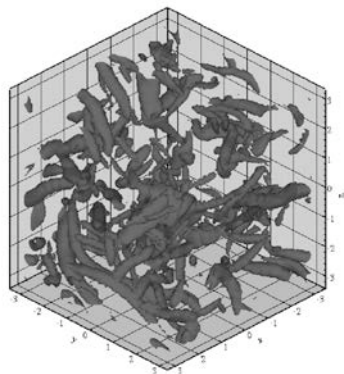
- ▷ dissipazione trascurabile nel campo medio, **energia immessa** nelle fluttuazioni alle grandi scale ($\simeq L_0$)

$$2\nu E_{ij} E_{ij} \ll \rho \langle u'_i u'_j \rangle E_{ij}$$

- ▷ **energia trasferita** a scale più piccole da **meccanismi inerziali** non viscosi fino a scala dissipativa $\eta = (\nu^3/\bar{\epsilon})^{1/4}$
- ▷ l'idea di Richardson

Turbolenza omogenea isotropa: cascata d'energia

▷ $\bar{\epsilon} \Rightarrow$ energia immessa, trasferita, dissipata



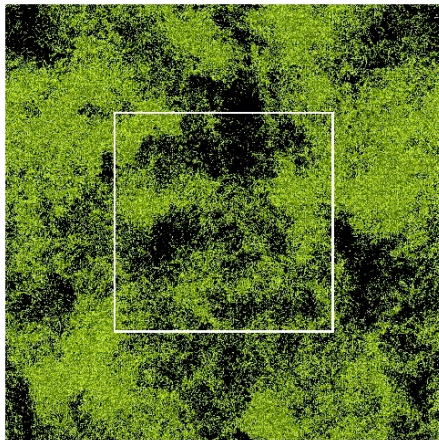
▷ viscosità trascurabile quasi ovunque ma **valore finito della dissipazione** legato a enstrofia $\Omega = \frac{1}{2} \langle \zeta' \cdot \zeta' \rangle$

$$\lim_{\nu \rightarrow 0} \epsilon = 2\nu\Omega = \bar{\epsilon}$$

(\dots ancora perturbazione singolare/**matematici**)

Un'idea pittorica della cascata

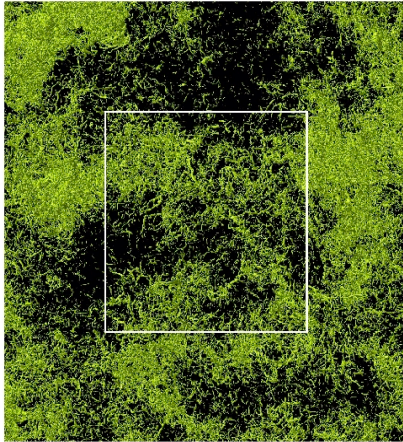
strutture di vorticità attraverso le scale (*scale invariance*)



scala L_0

Un'idea pittorica della cascata

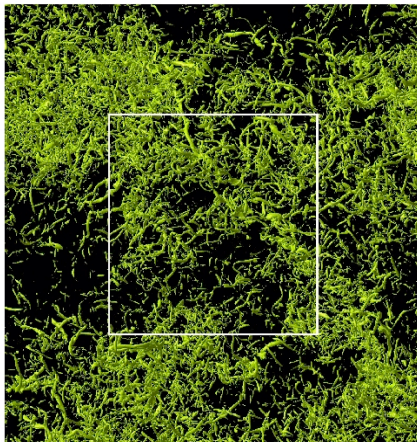
strutture di vorticità attraverso le scale (*scale invariance*)



scala $r < L_0$

Un'idea pittorica della cascata

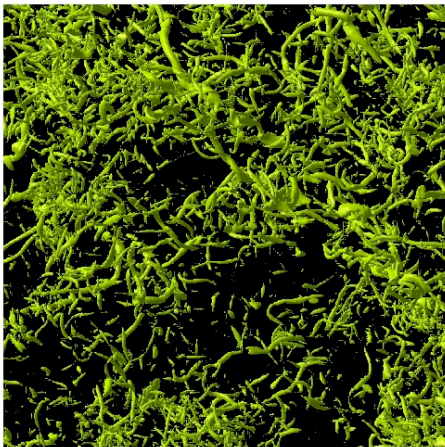
strutture di vorticità attraverso le scale (*scale invariance*)



scala $\eta < r \ll L_0$

Un'idea pittorica della cascata

strutture di vorticità attraverso le scale (*scale invariance*)



scala $r \sim \eta$

Range inerziale e universalità

- ▷ grandi scale risentono della geometria: non universalità
- ▷ **trasferimento inerziale** determina il **comportamento universale** delle scale $\eta \ll r \ll L_0$

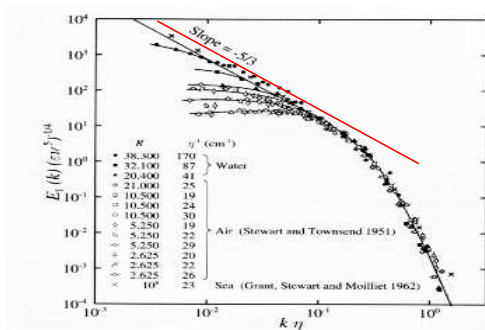


- ▷ energia alla scala $r = 1/k$: spettro d'energia $E(k)$

predizione teorico/dimensionale
di Kolmogorov

$$E(k) = C_K \bar{\epsilon}^{2/3} k^{-5/3}$$

(K41: una svolta di interesse per i
fisici, cfr Heisenberg)



Intermittency and Structure Functions in Channel Flow Turbulence

F. Toschi,^{1,2} G. Amati,³ S. Succi,⁴ R. Benzi,⁵ and R. Piva⁶

¹Dipartimento di Fisica, Università di Pisa, Piazza Torricelli 2, I-56100, Pisa, Italy

²INFN, Unità di Tor Vergata, Roma, Italy

³CASPUR, Università "La Sapienza," Piazzale Aldo Moro 5, I-00185, Roma, Italy

⁴Istituto Applicazioni Calcolo "Mauro Picone," Viale Policlinico 137, I-00161, Roma, Italy

⁵AIPA, Via Po 14, I-00100, Roma, Italy

⁶Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università "La Sapienza," Via Eudossiana 18, I-00184, Roma, Italy

(Received 14 July 1998; revised manuscript received 25 February 1999)

Intermittency and scaling laws for wall bounded turbulence

R. Benzi¹⁾ G. Amati C. M. Casciola F. Toschi R. Piva

Autorità Informatica Pubblica Amministrazione, via Solferino 15, 00185 Roma, Italy and Istituto Nazionale di Fisica della Materia, Unità di Tor Vergata, Italy

Consorzio Applicazioni Supercalcolo Per Università e Ricerca, p.le A. Moro 5, 00185 Roma, Italy

Dip. di Fisica, Università di Pisa, Piazza Torricelli 2, 56126 Pisa, Italy and Istituto Nazionale di Fisica della Materia, Unità di Tor Vergata, Italy

Dip. Mecc. Aeron., Università di Roma, "La Sapienza," via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

Scaling laws and intermittency in homogeneous shear flow

P. Gualtieri and C. M. Casciola R. Benzi G. Amati R. Piva

Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma "La Sapienza," via Eudossiana 18, 00184, Roma, Italy

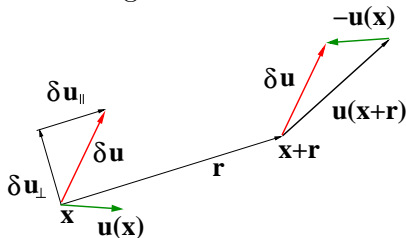
Dipartimento di Fisica, Università di Roma "Tor Vergata," and INFN sezione di Roma "Tor Vergata," via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Roma, Italy

CASPUR, p.le A. Moro 5, 00185 Roma, Italy

Dinamica scala per scala: turbolenza omogenea isotropa

- ▷ *scale energy* $\langle \delta u^2(r) \rangle$ contenuto di energia alla scala r

$$\delta u_{\parallel} = \delta \mathbf{u} \cdot \hat{\mathbf{r}}$$



- ▶ Kolmogorov: legge dei *quattro-quinti* (K41)

$$\langle \delta u_{\parallel}^3 \rangle = -\frac{4}{5} \bar{\epsilon} r + 6\nu \frac{d}{dr} \langle \delta u_{\parallel}^2 \rangle$$

- ▷ *Karman-Howarth*: **Forzamento**, **Trasferimento**, **Diffusione**

$$\nabla_r \cdot \langle \delta u^2 \delta \mathbf{u} \rangle = -4\bar{\epsilon} + 2\nu \nabla_r^2 \langle \delta u^2 \rangle$$

Dinamica scala per scala: turbolenza di parete

Karman-Howarth generalizzata
(dipendenza da y)

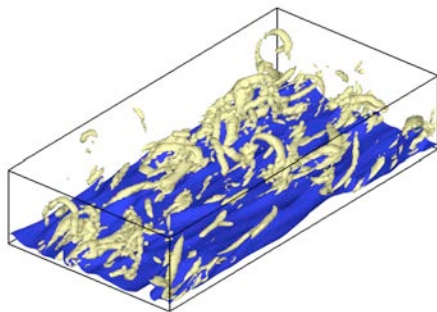
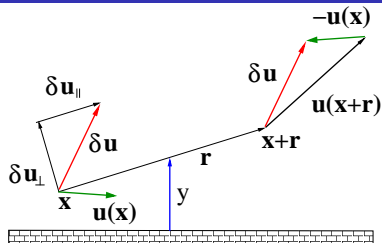
$$T(r, y) + F(r, y) - D(r, y) = 0$$

con

$$F(r, y) = \underbrace{P(r, y)}_{\text{produzione}} + \underbrace{\Phi_y(r, y)}_{\text{flusso}}$$

produzione prevale a grandi scale

trasferimento prevale a scale intermedie



J. Fluid Mech. (2003), vol. 476, pp. 105–114. © 2003 Cambridge University Press
DOI: 10.1017/S0022212002003142 Printed in the United Kingdom

105

Scale-by-scale budget and similarity laws for shear turbulence

By C. M. CASCIOLA¹, P. GUALTIERI¹, R. BENZI²
AND R. PIVA¹

¹Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma "La Sapienza",
Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

²Dipartimento di Fisica e INFN, Università di Roma Tor Vergata,
Via della Ricerca scientifica 1, 00133 Roma, Italy

J. Fluid Mech. (2004), vol. 521, pp. 191–215. © 2004 Cambridge University Press
DOI: 10.1017/S0022212004001818 Printed in the United Kingdom

191

Energy cascade and spatial fluxes in wall turbulence

By N. MARATI, C. M. CASCIOLA AND R. PIVA

Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma La Sapienza,
Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

PHYSICS OF FLUIDS 24, 015101 (2012)

Reynolds number effects on scale energy balance in wall turbulence

Neelakantan Saikrishnan,^{1(a)} Elisabetta De Angelis,² Ellen K. Longmire,³
Ivan Marusic,⁴ Carlo M. Casciola,⁵ and Renzo Piva⁵

¹Department of Biomedical Engineering, Georgia Institute of Technology, 315 Ferst Drive NW,
Room 2116, Atlanta, Georgia 30332, USA

²DIEM, Università di Bologna, Via Fontanelle 40, 47121 Forlì, Italy

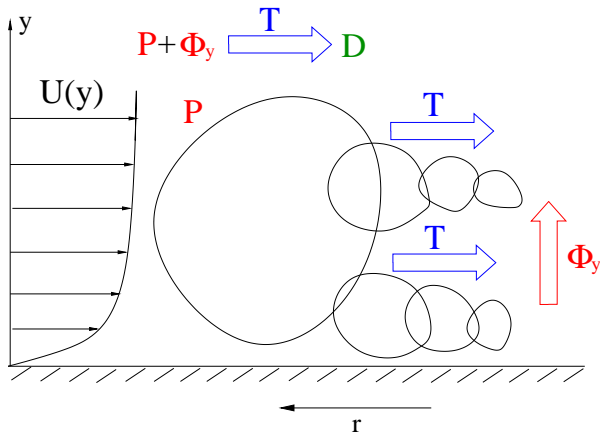
³Department of Aerospace Engineering and Mechanics, University of Minnesota Twin Cities,
110 Union Street SE, 117B Akerman Hall, Minneapolis, Minnesota 55455, USA

⁴Walter Bassett Aerodynamics Laboratory, Department of Mechanical Engineering,
University of Melbourne, Victoria 3010, Australia

⁵Dipartimento di Meccanica e Aerospaziale, Sapienza Università di Roma, Via Eudossiana 18,
00184 Roma, Italy

Un'idea pittorica della turbolenza di parete

schema nello spazio fisico e delle scale



▷ **trasferimento** e **produzione** si bilanciano alla *scala di shear*

$$L_S = \sqrt{\frac{\bar{\epsilon}}{S^3}} \quad \text{con } S(y) = \frac{dU}{dy}$$

Elicità e dissipazione

- ▷ elicità $H = \langle \mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\zeta} \rangle$: allineamento vortici e corrente
- ▷ Strutture di **elicità** in turbolenza di parete



anticorrelate con strutture di **dissipazione** come da

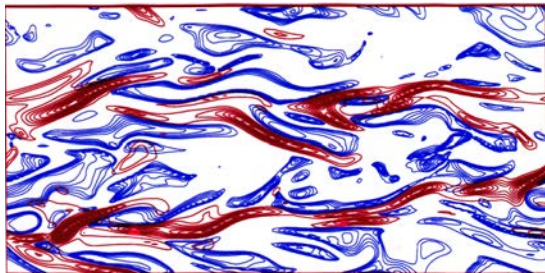
$$\frac{\|\mathbf{u} \times \boldsymbol{\zeta}\|^2 + (\mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\zeta})^2}{\|\mathbf{u}\|^2 \|\boldsymbol{\zeta}\|^2} = 1$$

$\mathbf{u} \times \boldsymbol{\zeta} \Rightarrow$ cascata inerziale \Rightarrow dissipazione *spotty* \Rightarrow **intermittenza**

\Rightarrow gradienti *locali* di velocità $\|\nabla \mathbf{u}\| \propto \langle \delta u_{\parallel} \rangle / r \Big|_{r=\eta}$

Elicità e dissipazione

- ▷ elicità $H = \langle \mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\zeta} \rangle$: allineamento vortici e corrente
- ▷ Strutture di **elicità** in turbolenza di parete

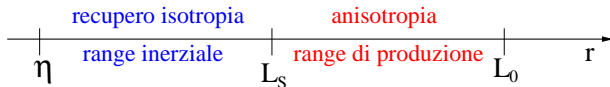


anticorrelate con strutture di **dissipazione** come da

$$\frac{\|\mathbf{u} \times \boldsymbol{\zeta}\|^2 + (\mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\zeta})^2}{\|\mathbf{u}\|^2 \|\boldsymbol{\zeta}\|^2} = 1$$

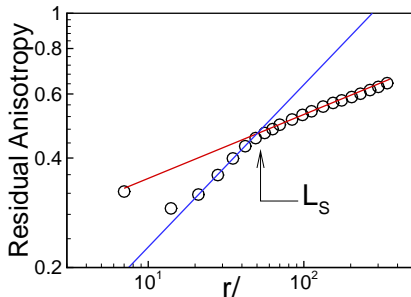
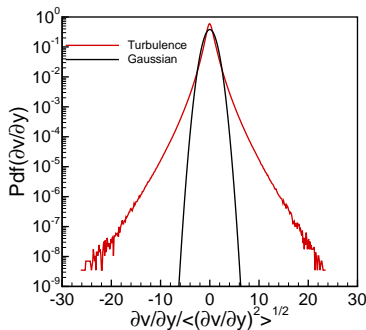
$\mathbf{u} \times \boldsymbol{\zeta} \Rightarrow$ cascata inerziale \Rightarrow dissipazione *spotty* \Rightarrow **intermittenza**
 \Rightarrow gradienti *locali* di velocità $\|\nabla \mathbf{u}\| \propto \langle \delta u_{\parallel} \rangle / r \Big|_{r=\eta}$

L_S e recupero isotropia



▷ leggi di scala e recupero di isotropia

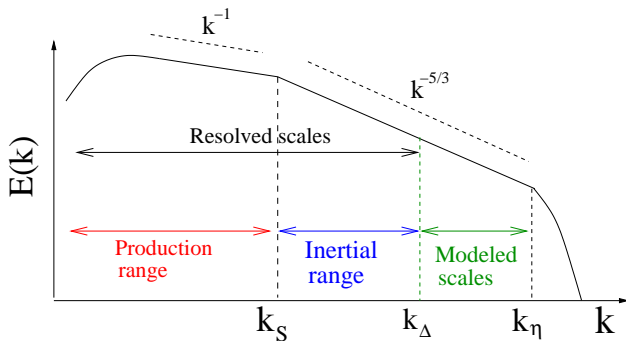
- **lento** nell'intervallo di **produzione** $r > L_S$
- **veloce** nell'intervallo di **trasferimento** $r < L_S$



- ▶ a parete $L_S \rightarrow \eta$: range inerziale insufficiente per recupero

L_S e simulazioni di base

- ▷ DNS risolve tutte le scale del moto $N^3 \propto Re^{9/4}$ (*d.o.f.*)
- ▷ LES risolve le scale più grandi ($r > L_\Delta$) e modella le scale più piccole ($r < L_\Delta$) mentre
- ... RANS modella tutte le scale (vedi CFD)



- ▶ scala L_Δ nel range inerziale (*universale*)

Scaling Properties in the Production Range of Shear Dominated Flows

C. M. Casciola, P. Gualtieri, B. Jacob, and R. Piva

Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma La Sapienza, Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy
(Received 11 January 2005; published 7 July 2005)

PHYSICS OF FLUIDS 19, 101704 (2007)

The residual anisotropy at small scales in high shear turbulence

C. M. Casciola and P. Gualtieri

Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma "La Sapienza," Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

B. Jacob

INSEAN (Italian Ship Model Basin), Via di Vallerano 139, 00128 Roma, Italy

R. Piva

Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma "La Sapienza," Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

(Received 30 July 2007; accepted 27 September 2007; published online 17 October 2007)

J. Fluid Mech. (2007), vol. 592, pp. 471–494. © 2007 Cambridge University Press
doi:10.1017/S0022214X07008609 Printed in the United Kingdom

471

Preservation of statistical properties in large-eddy simulation of shear turbulence

P. GUALTIERI¹, C. M. CASCIOLA¹, R. BENZI² AND R. PIVA¹¹Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma La Sapienza,
Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy²Dipartimento di Fisica e INFN, Università di Roma, Tor Vergata,
Via della Ricerca scientifica 1, 00133 Roma, Italy

(Received 12 October 2006 and in revised form 12 August 2007)

Vorticità e microstruttura

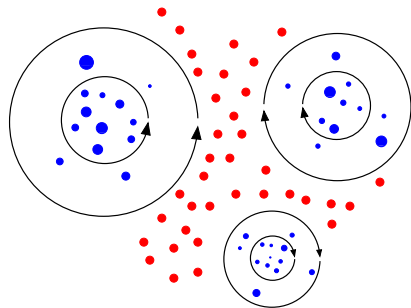
bolle $\rho_m \equiv \rho_b \ll \rho_f$

particelle $\rho_m \equiv \rho_p \gg \rho_f$

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{g} + \beta \left(\frac{D\mathbf{u}}{Dt} - \mathbf{g} \right) + \frac{1}{\tau_m} (\mathbf{u} - \mathbf{v})$$

$$\tau_m = \left(\rho_m + \frac{\rho_f}{2} \right) \frac{d^2}{18\mu}$$

$$\beta = \frac{3\rho_f}{2\rho_m + \rho_f}$$



► concentrazione preferenziale

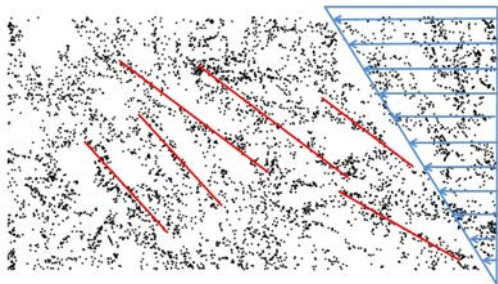
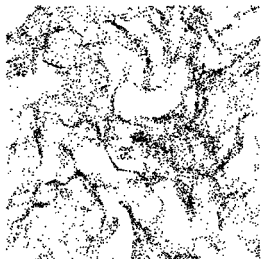
$$\nabla \cdot \mathbf{v} = \tau_m (\beta - 1) (S^2 - \Omega^2) < 0$$

- bolle $\beta = 3 \Rightarrow \Omega > S$ accumulo dentro i vortici
- particelle $\beta \simeq 0 \Rightarrow S > \Omega$ accumulo fuori i vortici

Particelle in turbolenza di shear

- ▷ dinamica controllata dal termine di **resistenza di Stokes**:
particelle centrifugate dai vortici per inerzia

$$\tau_p = \left(\frac{\rho_p}{\rho_f} \right) \frac{d^2}{18\nu} \quad St = \frac{\tau_p}{\tau_\eta} = \frac{1}{18} \left(\frac{\rho_p}{\rho_f} \right) \left(\frac{d}{\eta} \right)^2$$



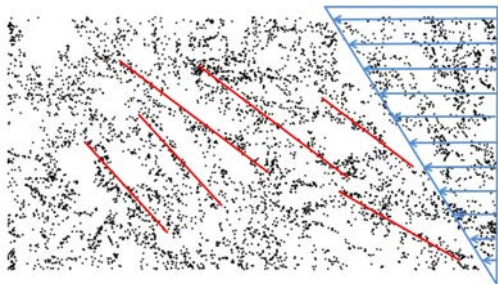
massimo accumulo per $St \simeq 1$

- ▶ zone di concentrazione e vuoti: allineamento con strutture di vorticità (un esperimento all'INSEAN)

Particelle in turbolenza di shear

- ▷ dinamica controllata dal termine di **resistenza di Stokes**:
particelle centrifugate dai vortici per inerzia

$$\tau_p = \left(\frac{\rho_p}{\rho_f} \right) \frac{d^2}{18\nu} \quad St = \frac{\tau_p}{\tau_\eta} = \frac{1}{18} \left(\frac{\rho_p}{\rho_f} \right) \left(\frac{d}{\eta} \right)^2$$



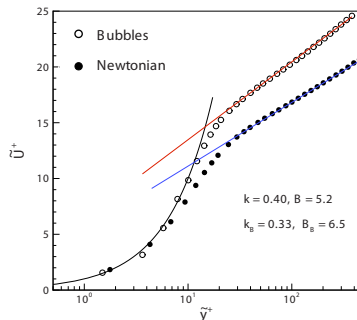
massimo accumulo per $St \simeq 1$

- ▶ zone di concentrazione e vuoti: allineamento con strutture di vorticità (un esperimento all'INSEAN)

Bolle nello strato limite

- ▷ dinamica controllata dal termine di **massa aggiunta**: effetto su bolle di ∇p

$$\tau_b = \left(\frac{1}{2}\right) \frac{d^2}{18\nu} \quad St = \frac{\tau_b}{\tau_\eta} = \frac{1}{36} \left(\frac{d}{\eta}\right)^2$$



- ▶ le bolle riducono la resistenza d'attrito e modificano le strutture di vorticità (ancora un esperimento all'INSEAN)

Un ritorno allo sperimentale

SIMULATION OF FLUIDIZED BED COMBUSTIONS

G. De Matteis, G. Miller, R. Piva

N.Y.U. Report (1982)

PHYSICS OF FLUIDS 22, 115104 (2010)

Drag reduction by microbubbles in a turbulent boundary layer

Boris Jacob,¹ Angelo Olivieri,¹ Massimo Miozzi,¹ Emilio F. Campana,¹ and Renzo Piva²

¹INSEAN—The Italian National Institute for Naval Research, via di Vallerano 139,
00128 Rome, Italy

²Dip. Mecc. Aeron., Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy

(Received 31 December 2009; accepted 18 August 2010; published online 4 November 2010)

On the spatial distribution of small heavy particles in homogeneous shear turbulence

C. Nicolai,¹ B. Jacob,¹ and R. Piva²

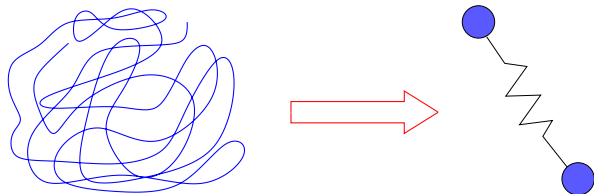
¹CNR-INSEAN, the Italian National Research Council, via di Vallerano 139, 00128 Rome, Italy

²Dept. Mechanics, Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy

(Dated: October 29, 2012)

Turbolenza con microstruttura: polimeri

- ▷ polimeri caratterizzati da un tempo di rilassamento τ_p (Toms, '49)

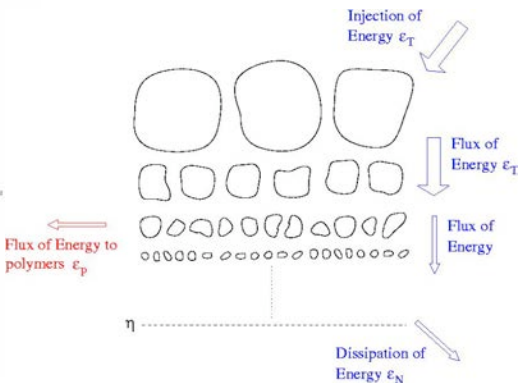
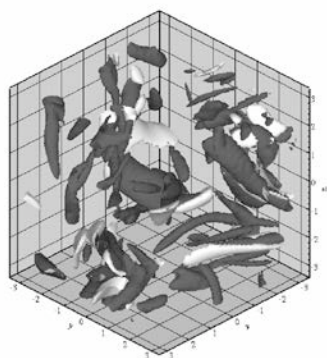


$$De = \frac{\tau_p}{\tau_f} \quad \tau_f = r/\delta u$$

- ▷ la turbolenza può stirare i polimeri che restano allungati per $\tau_p > \tau_f$ (*time criterion*)
- ▷ scala di Lumley $L_t = \sqrt{\tau_p^3 \bar{\epsilon}}$
- ▶ per scale $r < L_t$ c'è interazione

Turbolenza omogenea isotropa con polimeri

- ▷ i polimeri modificano la cascata intercettando parte del flusso di energia a piccola scala (*leaking cascade*)



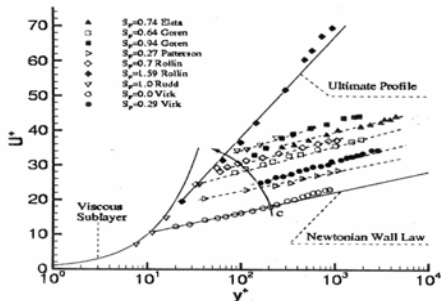
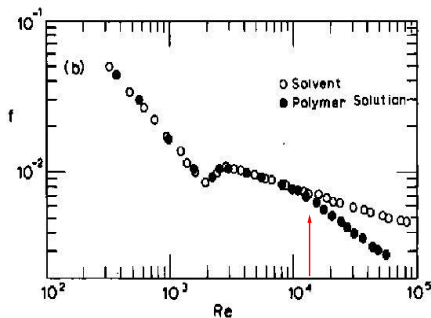
- ▷ osserviamo strutture di vorticità più grandi!

Turbolenza di parete con polimeri

- ▷ si osserva drastica riduzione della resistenza d'attrito o aumento della portata (velocità media)

coefficiente d'attrito

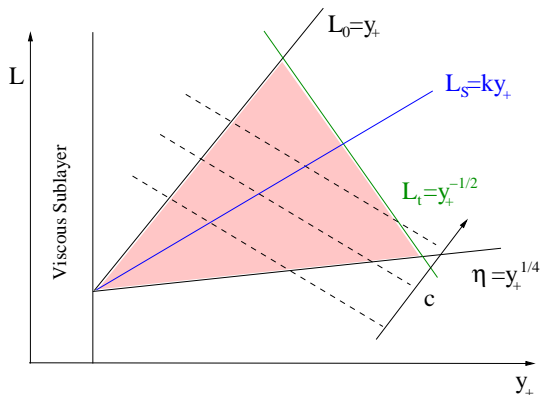
profilo medio di U per c crescenti



- ▶ bastano pochi *p.p.m* per effetti eclatanti ($> 50\%$): come si spiega?

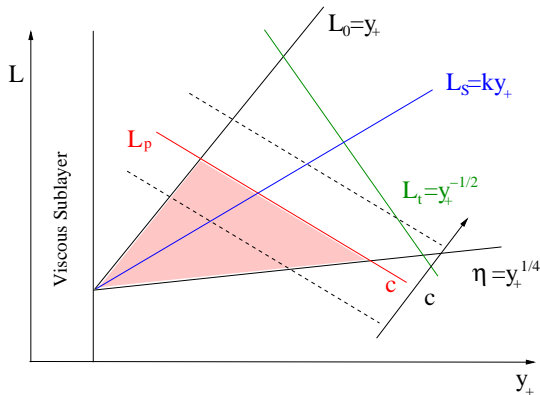
Visione schematica dell'effetto dei polimeri

- ▷ la soddisfazione del *time criterion* è condizione necessaria per l'interazione ma non basta...



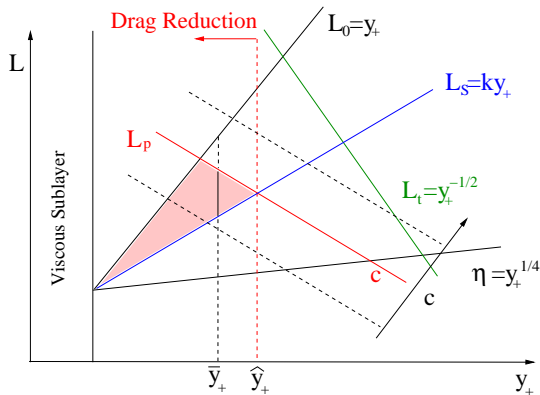
Visione schematica dell'effetto dei polimeri

- ▷ ... polimeri efficaci solo se, ad una data scala $L_p \propto c$, l'energia assorbita è confrontabile con quella trasferita a scale più piccole (De Gennes)



Visione schematica dell'effetto dei polimeri

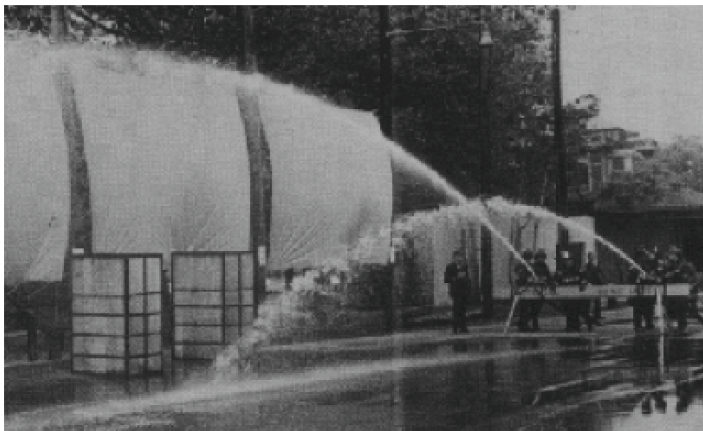
- ▷ al disotto di \hat{y}_+ si comincia ad avere *Drag Reduction* (una nostra proposta)



- ▶ le scale evidenziate $L_S < r < L_p$ sono efficaci per DR

Effetti di grande scala

- ▷ i polimeri agiscono a **piccola scala** ma producono effetti di **grande scala** e.g. aumento portata/riduzione resistenza



DNS of wall turbulence: dilute polymers and
self-sustaining mechanisms

E. De Angelis, C.M. Casciola, R. Piva *

Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

Received 1 August 2001

PHYSICAL REVIEW E **67**, 056312 (2003)

Drag reduction by polymers in turbulent channel flows: Energy redistribution between invariant empirical modes

Elisabetta De Angelis,¹ Carlo M. Casciola,¹ Victor S. L'vov,² Renzo Piva,¹
and Itamar Procaccia²

¹*Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma "La Sapienza" Via Eudossiana 18, 00184, Roma, Italy*

²*Department of Chemical Physics, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, 76100 Israel*

J. Fluid Mech. (2005), vol. 531, pp. 1–10. © 2005 Cambridge University Press

doi:10.1017/S0022112005003666 Printed in the United Kingdom

1

**Homogeneous isotropic turbulence
in dilute polymers**

By E. DE ANGELIS,¹ C. M. CASCIOLA,¹
R. BENZI² AND R. PIVA¹

¹*Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana
18, 00184 Roma, Italy*

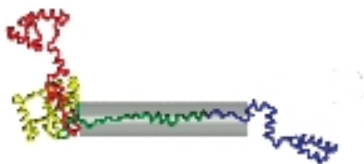
²*Dipartimento di Fisica e INFN, Università di Roma "Tor Vergata", Via della Ricerca
scientifica 1, 00133 Roma, Italy*

Ho cercato di ricordare

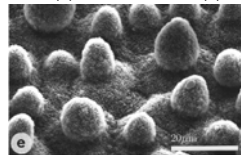
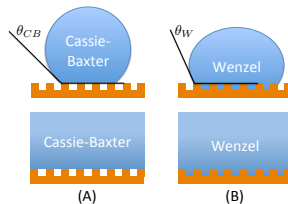
- ▷ aspetti salienti e ricorrenti della disciplina (e nostri contributi)
 - ▷ le motivazioni che hanno attratto nuovi ricercatori
 - ▷ l'interesse di colleghi di altre discipline
 - ▶ risultato più importante: l'entusiasmo per la ricerca/didattica e la formazione di tanti giovani
-
- | | |
|--------------------------|-----------|
| ● Ingegneria Meccanica | ● INSEAN |
| ● Ingegneria Aeronautica | ● CIRA |
| ● Dottorato in Meccanica | ● ENEA |
| Teorica ed Applicata | ● IAC/CNR |

Un breve cenno a recenti novità

- ▷ nuovi contatti con biologi/elettronici: interesse per flussi a micro/nano scala
- ▷ Ingegneria Nanotecnologie, Centro Nanomedicina (IIT)



traslocazione proteine



superfici superidrofobe

Molecular Dynamics Simulation of Ratchet Motion in an Asymmetric Nanochannel

M. Chinappi,¹ E. De Angelis,¹ S. Melchionna,² C. M. Casciola,¹ S. Succi,³ and R. Piva¹

¹*Department of Mechanics and Aeronautics, University of Rome "La Sapienza", via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy*

²*INFN-SOFT, Department of Physics, University of Rome "La Sapienza", P.le A. Moro 2, 00185 Rome, Italy*

³*Istituto Applicazioni Calcolo, CNR, viale del Policlinico 137, 00161 Rome, Italy*

Role of Denaturation in Maltose Binding Protein Translocation Dynamics

Marco Bacci,[†] Mauro Chinappi,[‡] Carlo Massimo Casciola,[§] and Fabio Cecconi^{*||}

[†]*Dipartimento di Sistemi e Informatica, Engineering Division, Università degli Studi di Firenze Via di Santa Marta 3, 50139 Firenze, Italy*

[‡]*Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma P.le Aldo Moro 5, 00185 Roma, Italy*

[§]*Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale Sapienza, Università di Roma, Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy*

^{||}*Istituto dei Sistemi Complessi (CNR), Via dei Taurini 19, 00185 Roma, Italy*

- ▷ Parleremo di questo in prossime occasioni (if any!) ma soprattutto con altri (e.g. C.M. Casciola)

- ▷ Il gruppo cammina! Posso lasciare (o almeno rallentare): adesso ho cose più complicate da affrontare

Grazie

