

Palermo, 11 Marzo 2004

**Studi di fenomeni di
accrescimento
con simulazioni computazionali**

D. Molteni , G. Gerardi, V. Teresi, E. Toscano

Dipartimento di Fisica e Tecnologie Relative Università di Palermo

In collaborazione con:

- S. N. Bose National Centre for Basic Sciences, India
 - Prof. S. Chakrabarti, Dr. S. Das : **Shocks su black holes**
- Keldysh Institute of Applied Mathematics, Mosca
 - Dr. O. Kuznetsov, Dr. D. Bisikalo : **Sistemi binari**
- Okkaido University, Hakodate, Giappone
 - Prof. T. Okuda : **Instabilità in dischi con radiazione**

Risorse

- MPI 60% Università di Palermo...
- INTAS, Europa 2001
- CNR collaborazioni internazionali
- ASI 2002, in collaborazione con l' IASF Palermo
- COFIN 2002, in collaborazione col DISF&A
- In attesa di valutazione ... Progetto GRID ,
Progetto FIRS

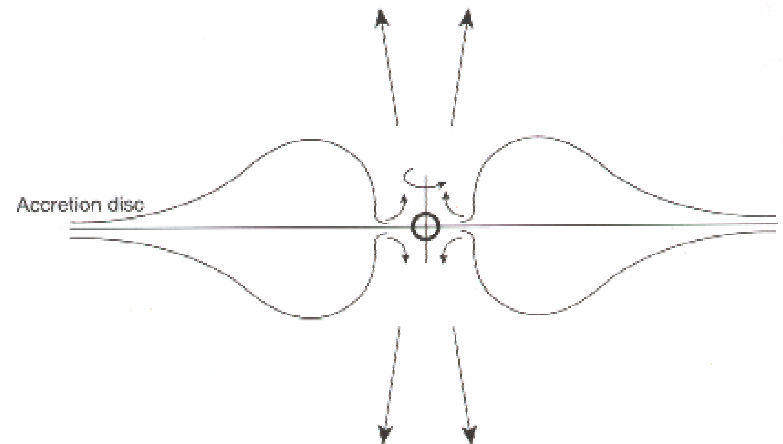
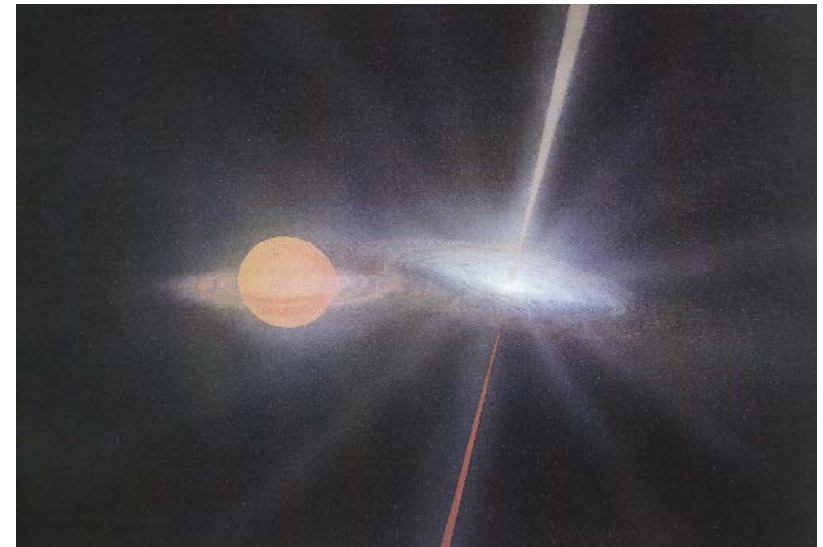
I fenomeni di “accretion” sono presenti in:

- Formazione stellare e pianeti
- Sistemi binari
- Sistemi extragalattici
- Basse energie
- Alte energie

Relazione on **outflows, jets...**

Accretion in sistemi binari

- La energia gravitazionale si trasforma in energia cinetica e quindi in energia termica e viene irradiata
- Una piena descrizione del del flusso ha bisogno che i termini di pressione e di trasporto siano inclusi nelle equazioni del moto.
- Un contributo importante delle nostre simulazioni è stato nello studio delle instabilità: **il flusso può non essere stazionario anche se i parametri di ingresso del gas si mantengono costanti nel tempo.**



Le soluzioni

- Analitiche: solo per casi idealizzati e a regime stazionario
- Numeriche:
 - Verifica delle analitiche
 - Stabilità nelle analitiche
 - Ruolo simile ad un “esperimento”
 - Inoltre ... ci sono aspetti impreveduti

Nostri studi riguardano:

- Sistemi binari compatti
 - Studio trasferimento di gas
- Dischi kepleriani standard
 - Stabilità
- Dischi sub-kepleriani
 - Shocks e fenomenologia correlata

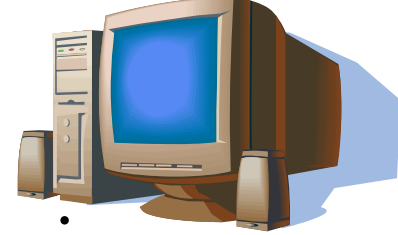
Metodologie numeriche usate

- Metodi meshless:
 - Smoothed Particles Hydrodynamics
 - Senza radiazione
 - Con radiazione in Local Thermal Equilibrium
- Metodi a griglia:
 - Godunov e TVD (Total Variation Diminishing, in collaborazione col Keldysh Institut)

Risorse di calcolo

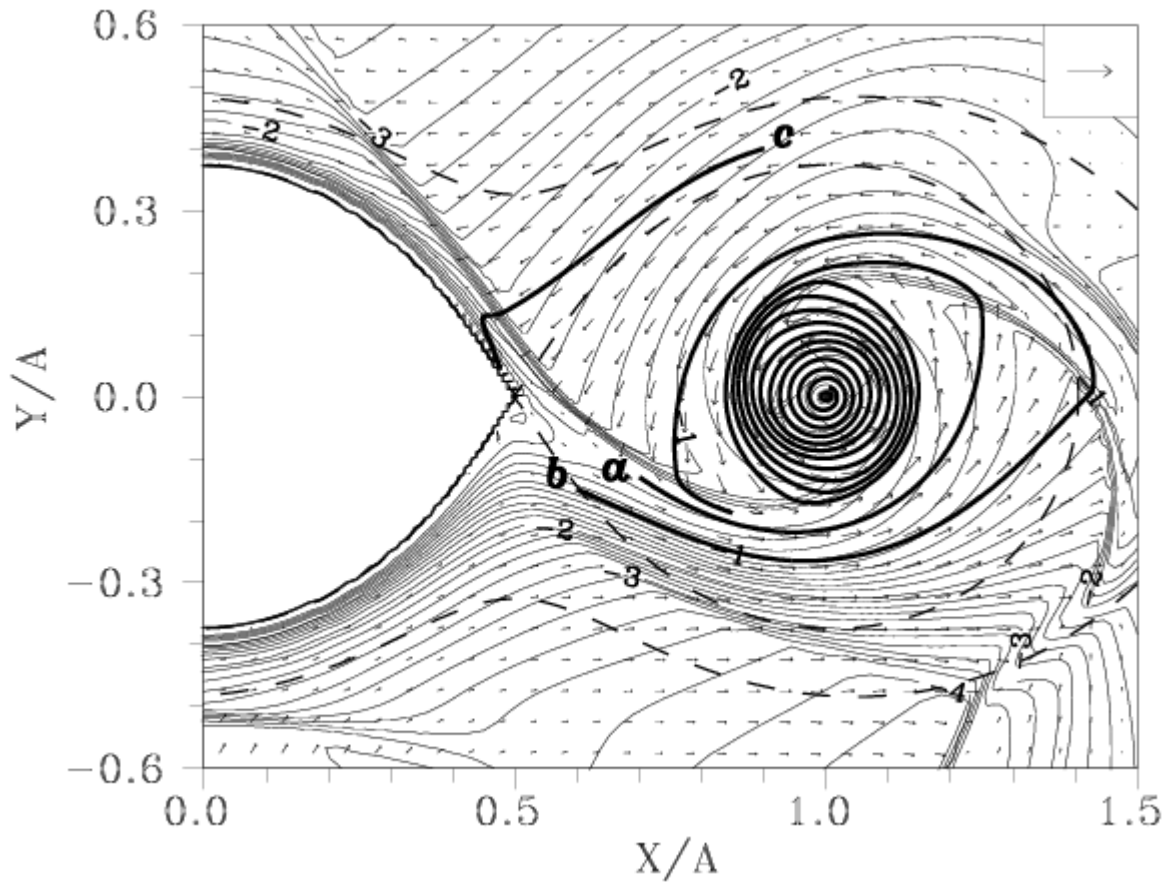
Laboratorio di Calcolo e Simulazioni

DiFTeR



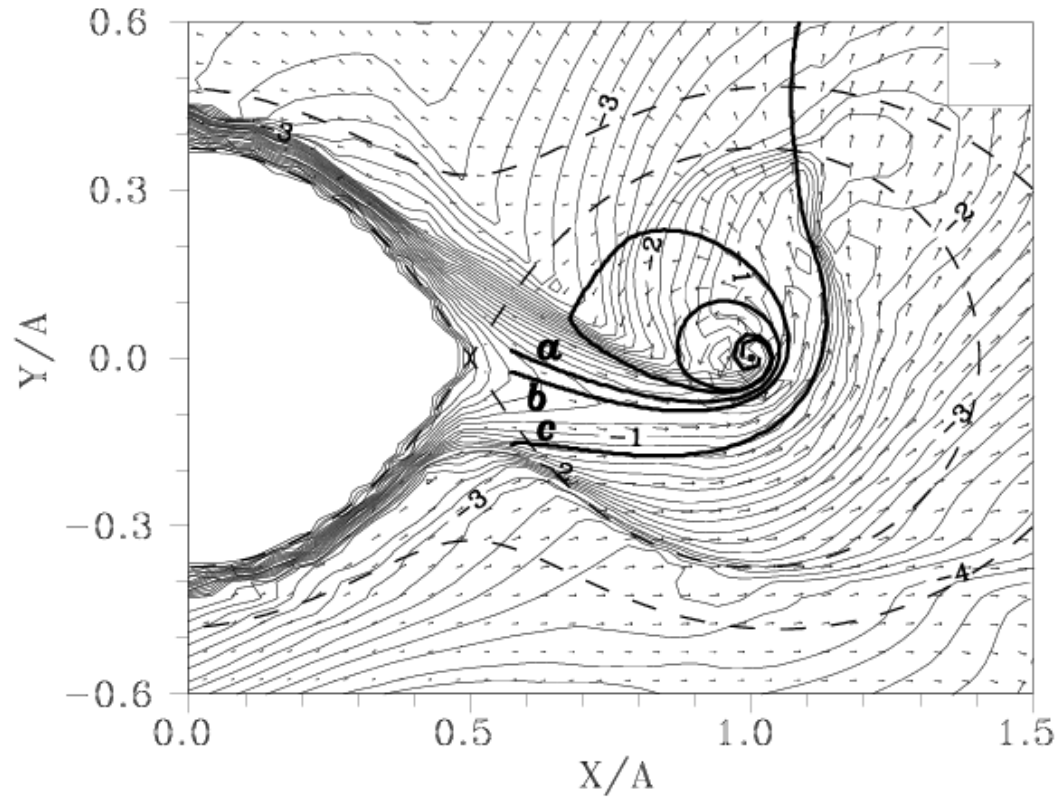
- PC Intel 1800, Xeon 2800 MHz
 - Tempi di calcolo tipici : un mese per “run”
 - Numero di punti 30.000 o griglie 100.000
- Cluster di 8 PC bprocessori per esecuzione della versione parallela dei codici.
 - Tempi di calcolo tipici : una settimana per 100.000 particelle.
- Cineca Beowulf cluster

Mass transfer in sistema binario: Simulazione 2D



Bisikalo, D. V., V. M., Kuznetsov, O. A., Molteni, D.
"Comparisons of 2d and 3d simulations of mass transfer in semi-detached binaries"
Astron. Reports, vol. 43, pag. 797 - 809, 1999

Mass transfer in sistema binario: Simulazione 3D



Bisikalo, D. V., V. M., Kuznetsov, O. A., Molteni, D.
"Comparisons of 2d and 3d simulations of mass transfer in semi-detached binaries"
Astron. Reports, vol. 43, pag. 797 - 809, 1999

Risultati sistemi binari

- L' *hot spot* è in realtà una *hot string* ed è **in fase opposta** a quella dei modelli standard.
- La ri-circolazione del gas su grande scala **aumenta l'accretion rate** sulla stella compatta.
- Esiste una percentuale non piccola ($> 5\%$) di gas a **basso momento angolare** che cade sulla stella compatta.

Dischi kepleriani

- Studi della **instabilità** dovuta alla pressione della radiazione:
- $P_{\text{rad}}/P_{\text{gas}} > 1.5 \rightarrow$ Instabilità
- Accretion su “oggetti” relativistici : Stelle a neutroni e buchi neri.
- Ma approccio pseudo-relativistico ...

Dischi Kepleriani:

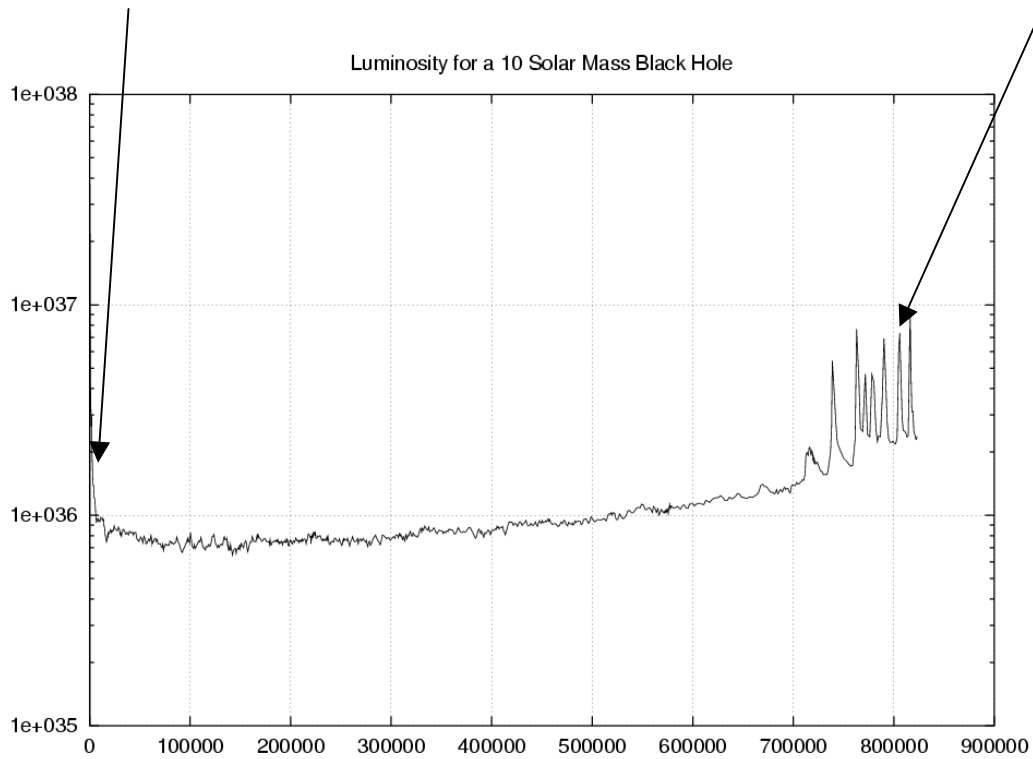
Risultati ottenuti

- La **instabilità verso il collasso è preferita**, a basse accretion rates (MNRAS, 2003) .
- Dopo un lungo tempo (t_{viscoso}) si verifica una **ripresa dell'attività in forma di flares ripetitivi** (Quasi Periodic Oscillations ?).
- Evidenza di **instabilità di “ciclo limite”** (MNRAS, 2004).

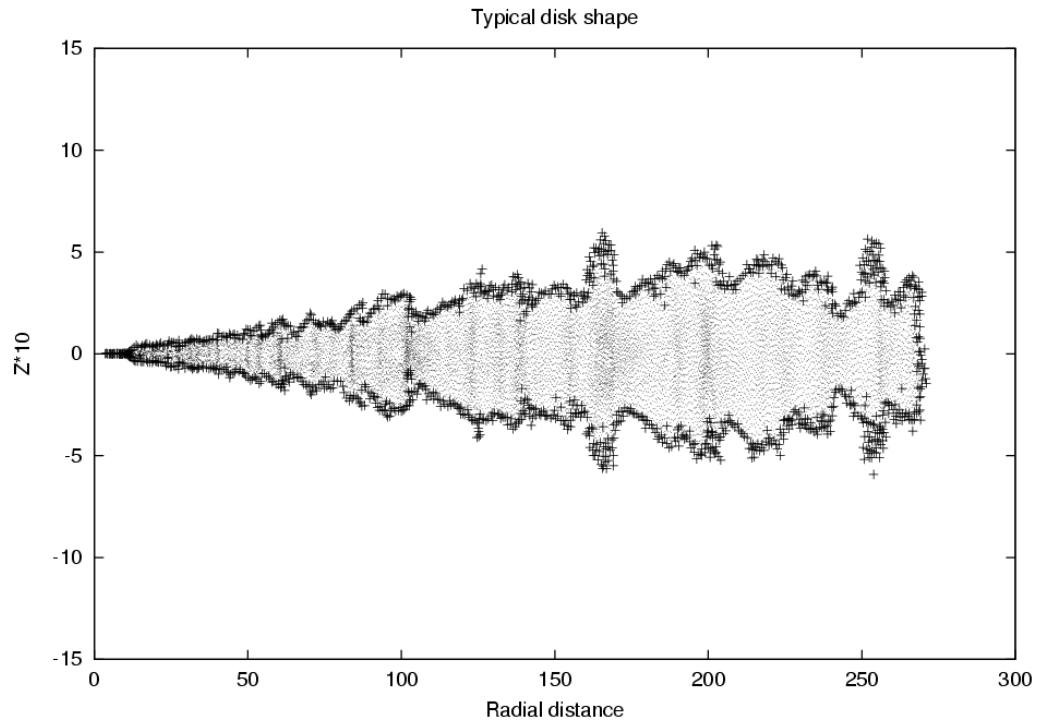
Luminosità vs time

Collasso iniziale

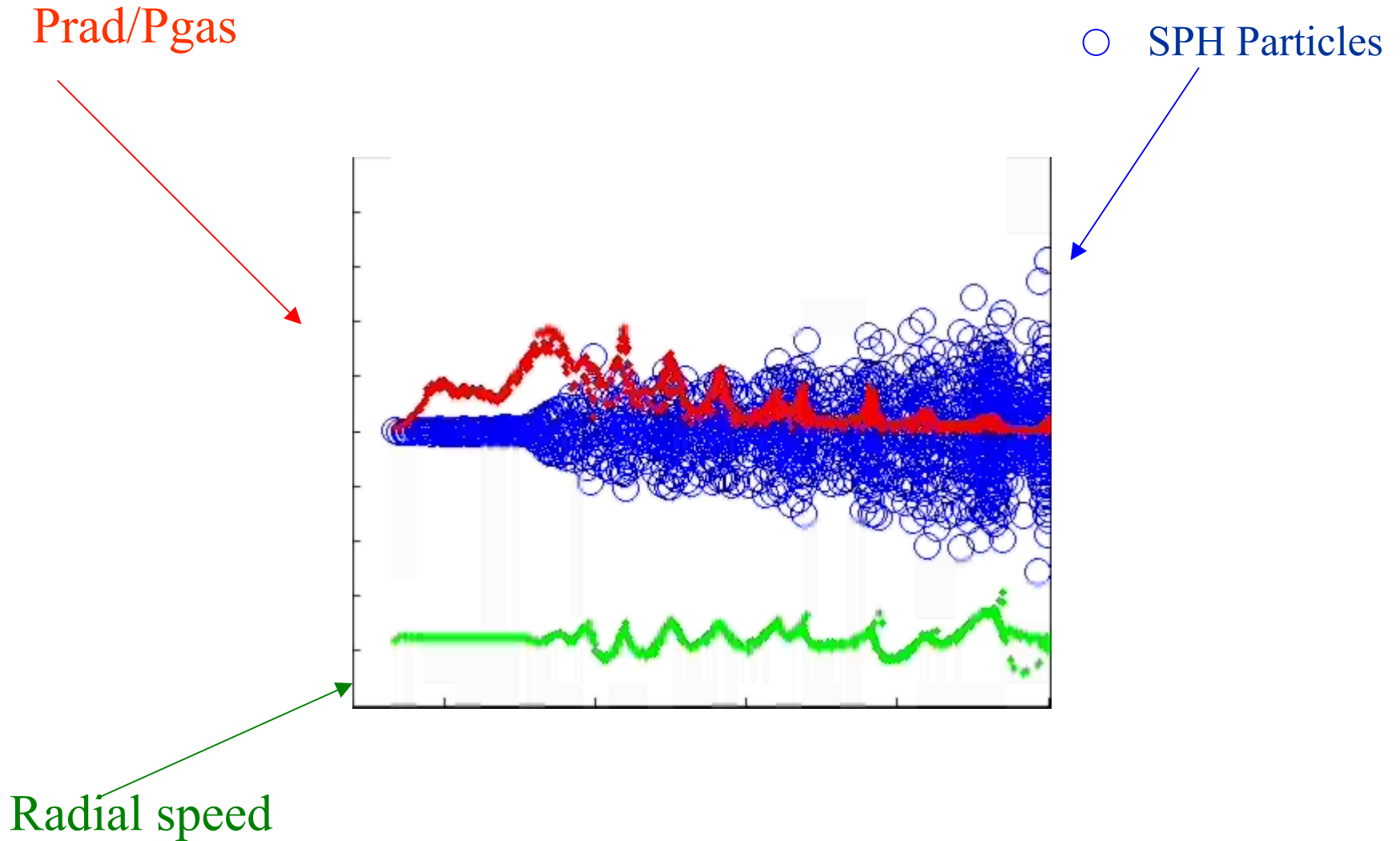
Ripresa con bursts



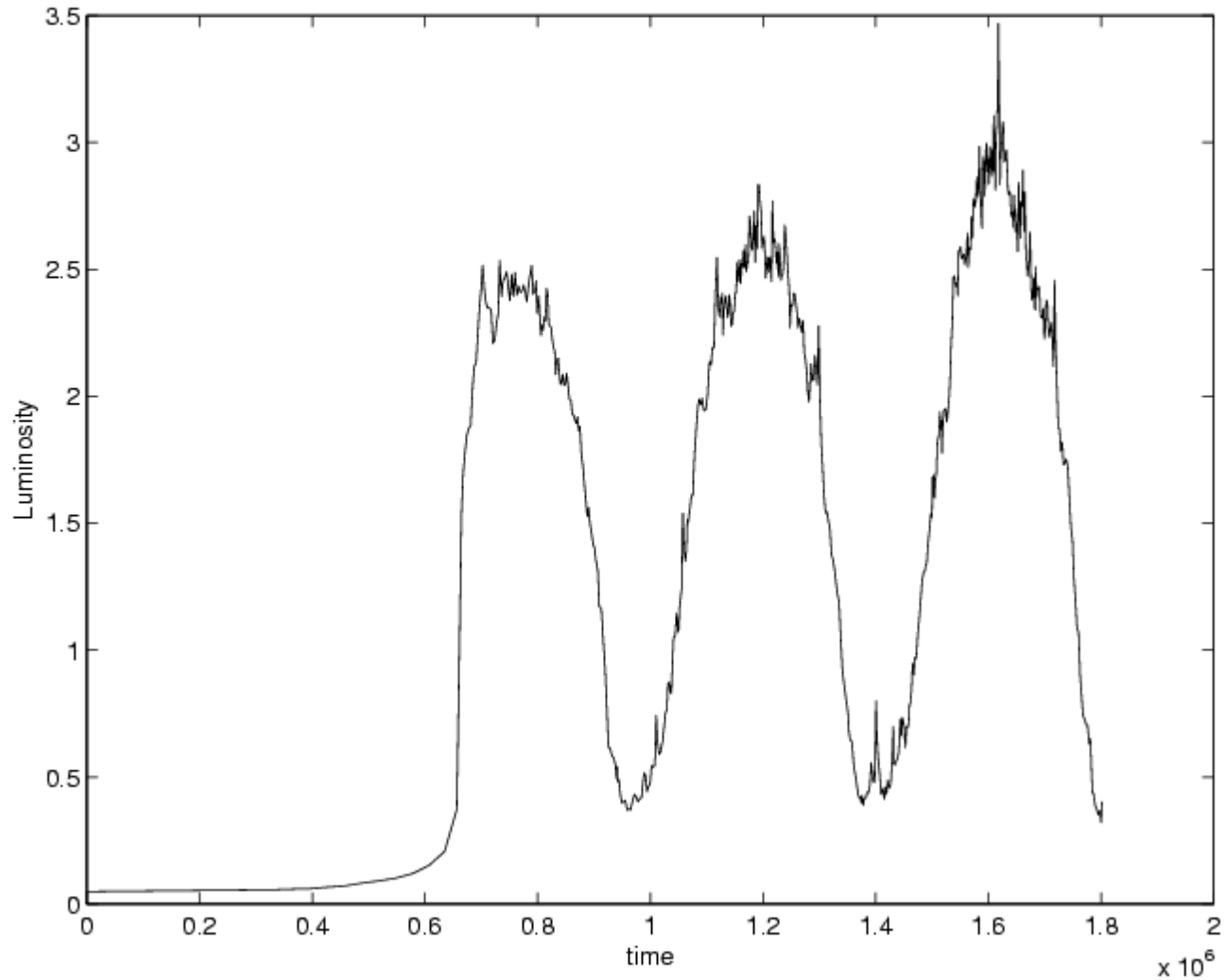
Tipica forma del disco



Disco instabile



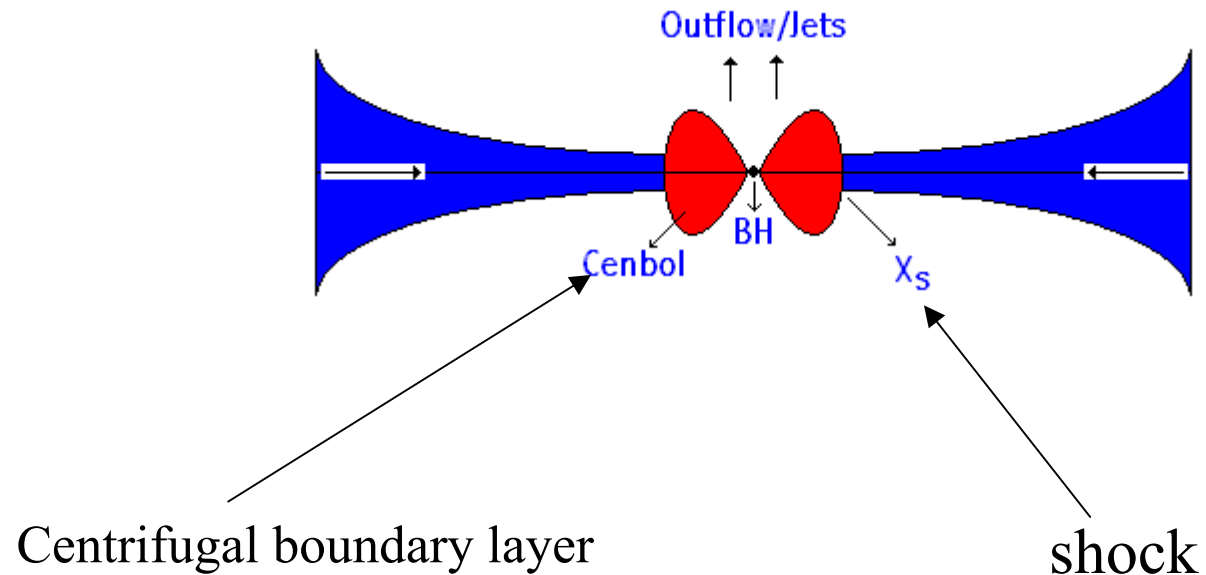
Variazione della luminosità per ciclo limite



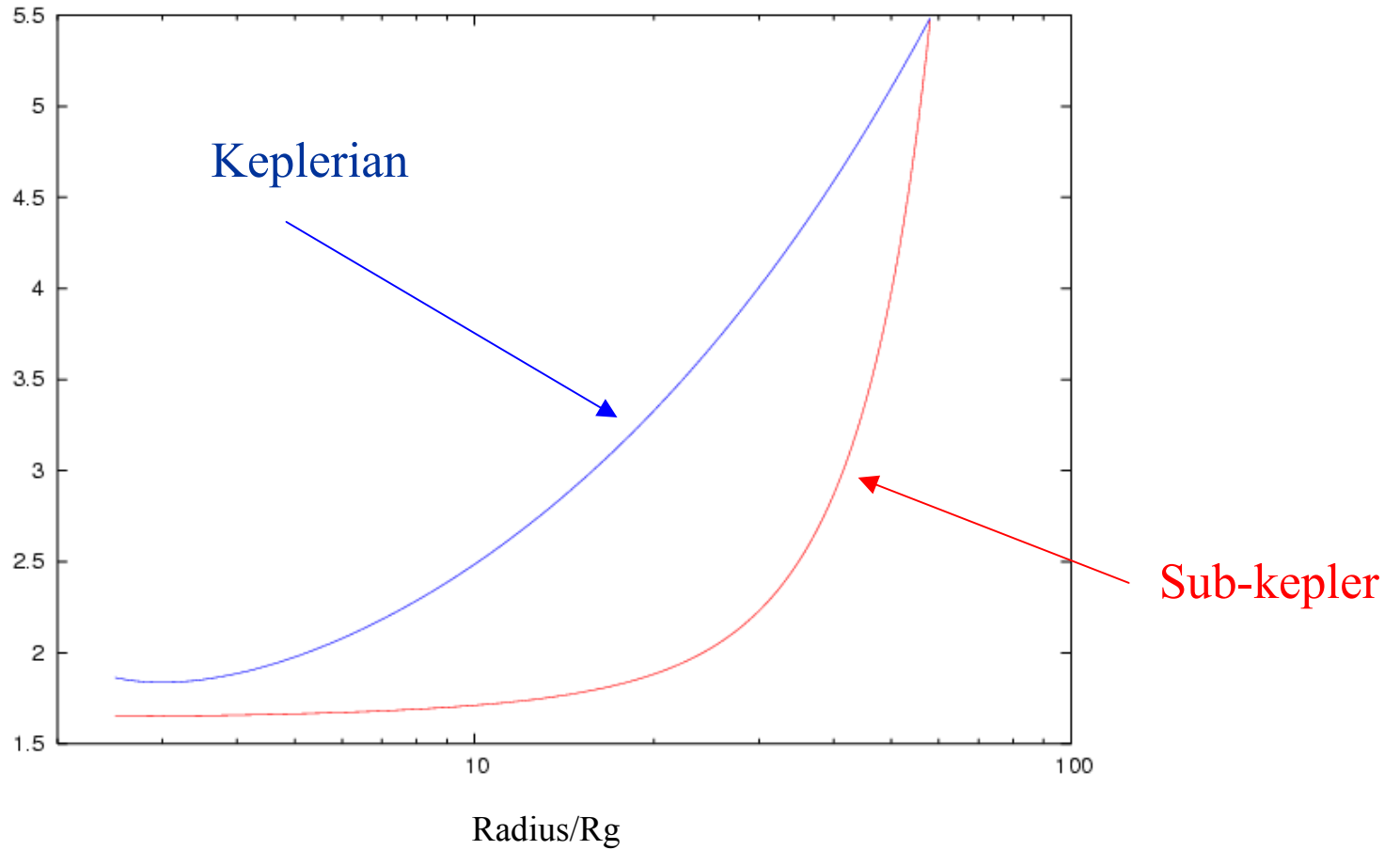
Dischi Subkepleriani

- Accretion su buchi neri:
 - Dischi a convezione e pressione **non** trascurabili.
- Le soluzioni analitiche prevedono **shocks** in posizioni ben definite e **stabili**.
- Se vero : importante meccanismo di produzione di alta energia da buchi neri.

Flusso sub-kepleriano in sezione



Keplerian and sub-keplerian angular momentum



Nostri risultati

- Conferma della **esistenza e stabilità**.
- Manifestazione di una fenomenologia molto ricca:
 - **Oscillazioni** delle onde d'urto
 - **Outflow** di gas caldo da zona post shock

Conferma della stabilità: Simulazioni 1D

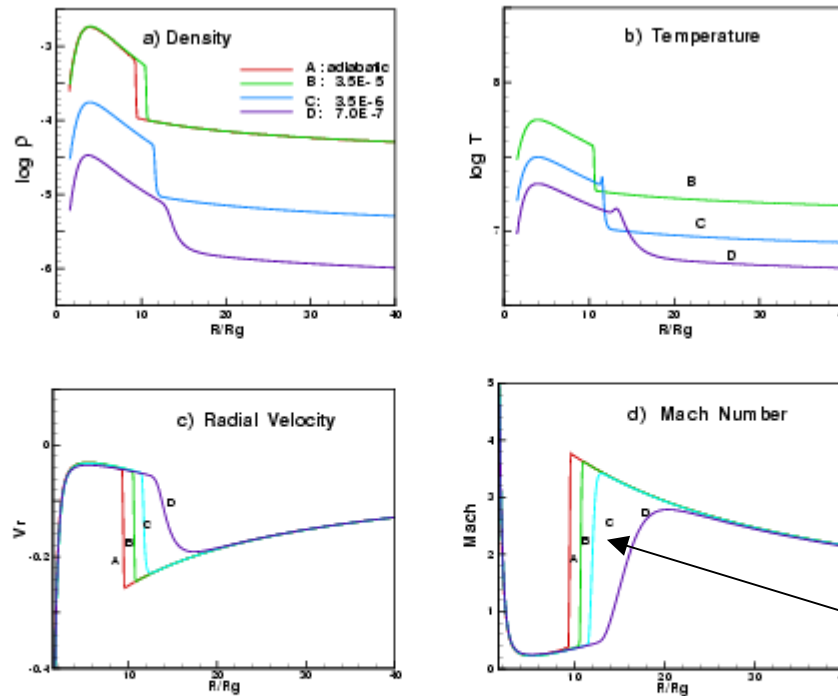
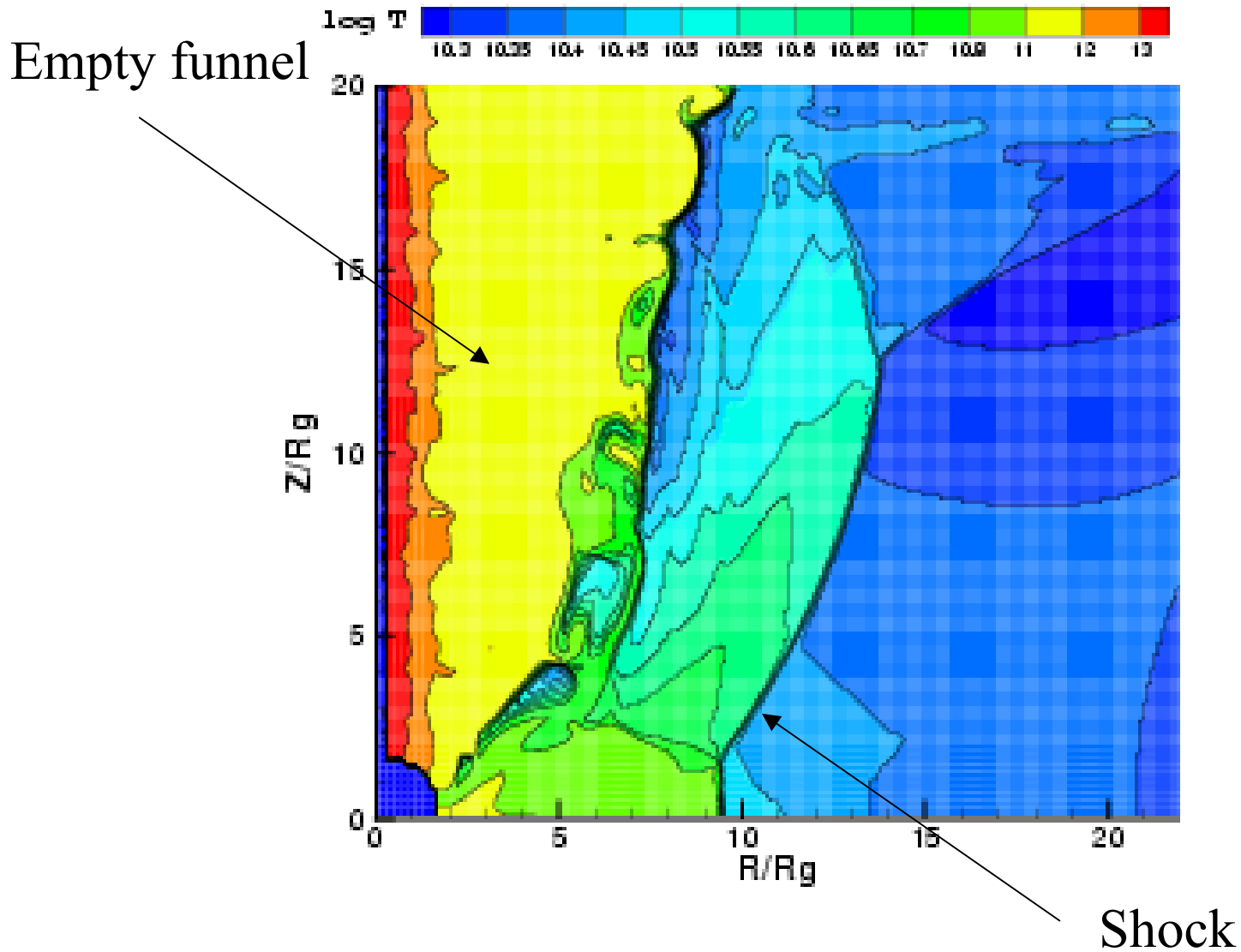


Fig. 1. Flow structures in one dimensions with shock waves: (a) density ρ : red line (A) shows the structure in adiabatic case with $\rho_{\text{out}} = 3.5 \times 10^{-5} \text{ g cm}^{-3}$ at $R = R_{\text{out}}$, and green (B), blue (C), and dark blue (D) lines denote the structures of non-adiabatic case with $\rho_{\text{out}} = 3.5 \times 10^{-5}, 3.5 \times 10^{-6},$ and 7.0×10^{-7} , respectively, where the radiation transport is taken account of, (b) temperature T : case A is not included here, because the temperatures in case A are very hot as $\sim 10^{10} - 10^{11} \text{ K}$, (c) radial velocity v , (d) Mach number of the flow velocity v .

Conferma stabilità: simulazioni 2D



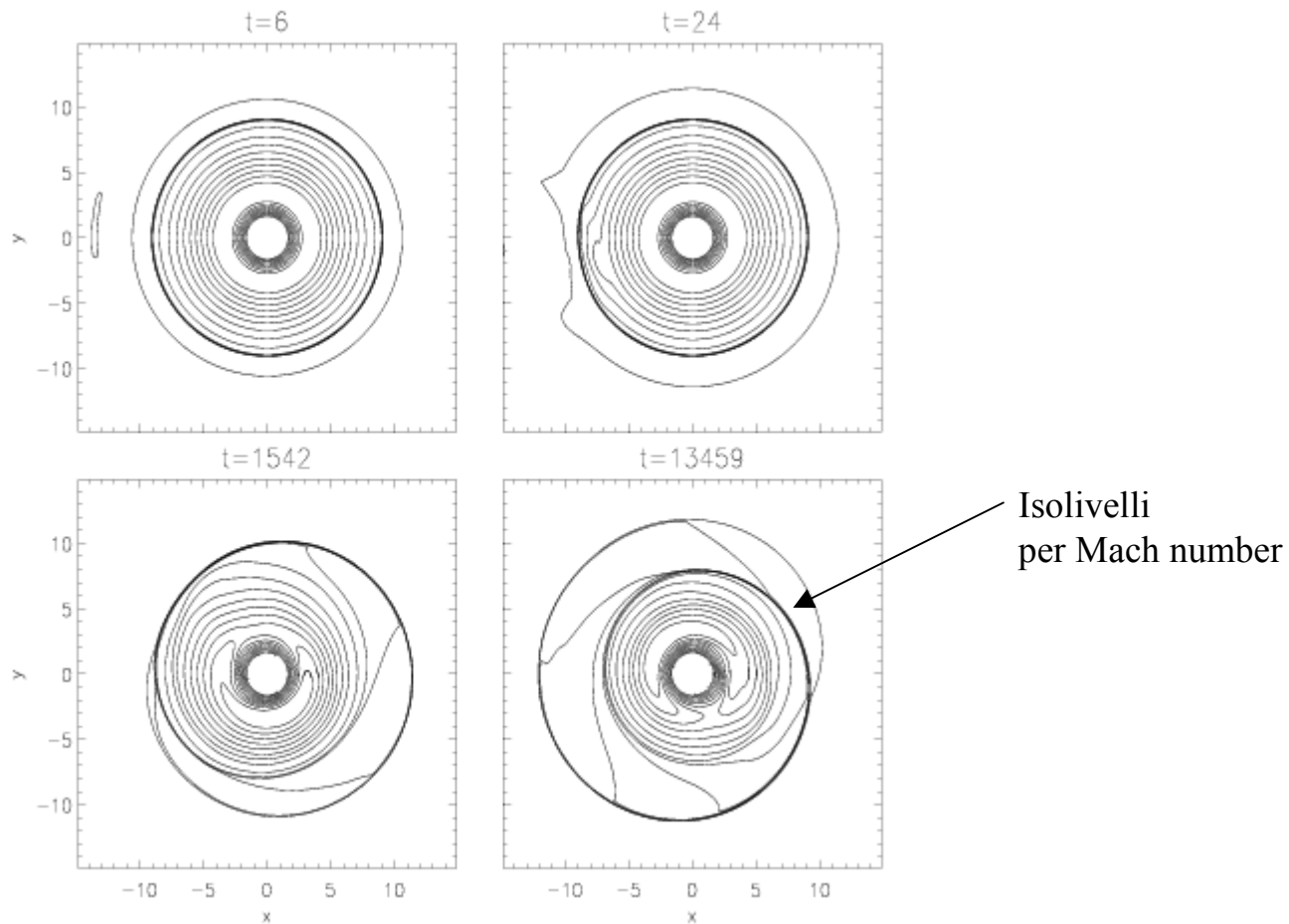
Stabilità

- Per bassi valori di q . moto angolare λ e alte temperature iniziali lo shock è **molto stabile**.
 - Perfetto match tra valore teorico e simulato (in test case 1D cylindrical)
- Per alti valori di λ o bassi valori di Temperatura iniziale lo **shock oscilla**.

Oscillazioni dello shock

- Diversi tipi di oscillazioni
 - Avanti-indietro (Ap.J. 1996, MNRAS, 1998)
 - Alto-basso (Ap.J. 2000)
 - Distorsione azimutale (Ap.J., 1999)

Shock nel piano XY: perturbazione azimutale e la **deformazione permanente** anche se l'inflow è simmetrico!



Accretion su Black Hole : valori di λ diversi

$$Dom. = \{(r, \varphi) / r_{in} \leq r \leq r_{out} : 0 \leq \varphi \leq 2\pi\}$$

$$r_{in} = 1.5; r_{out} = 50$$

$$\lambda_1 = 1.65 \quad \lambda_2 = 1.82$$

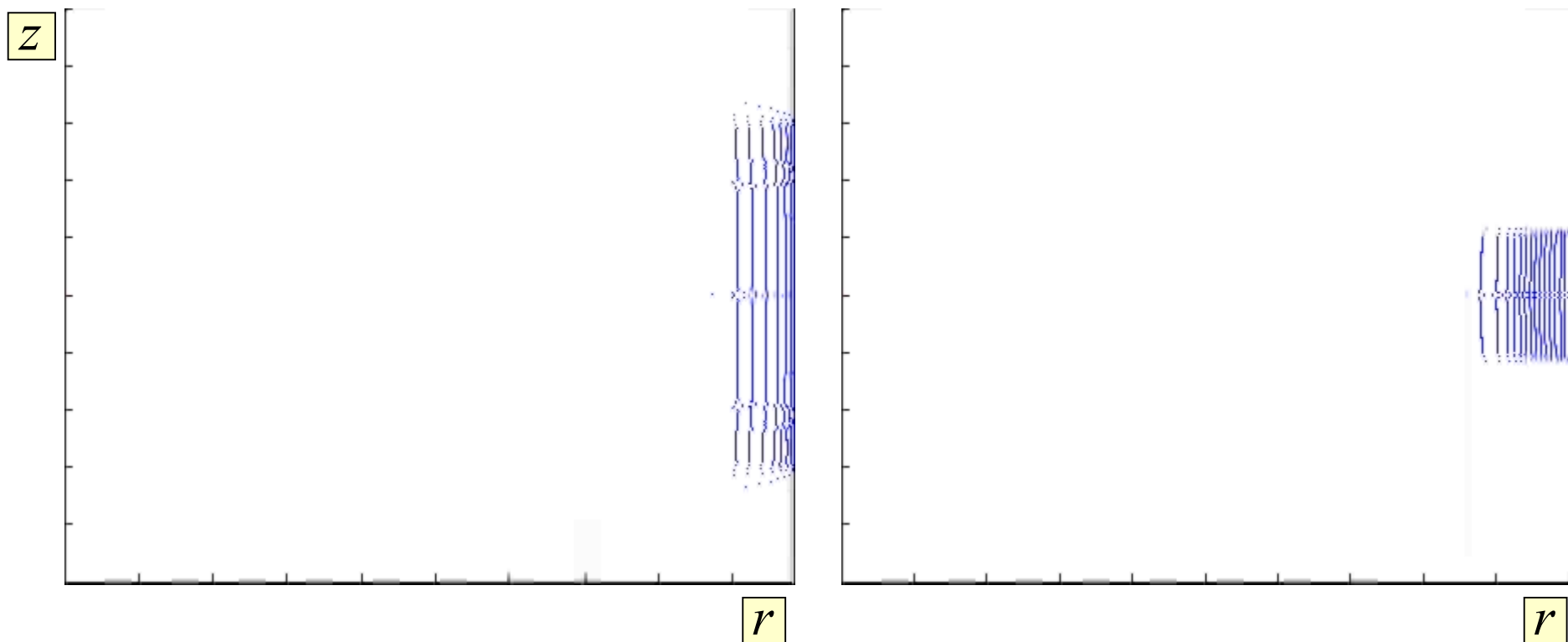
Boundary conditions

$$C(r_{out}, \varphi) = 0.0548$$

$$v_r(r_{out}, \varphi) = -0.2339$$

$$v_\varphi(r_{out}, \varphi) = \lambda / r_{out}$$

- Supersonic region
- Subsonic region



Publicazioni significative

Molteni D., Toth g., O. Kuznetsov

On the azimuthal stability of shock waves around black holes

Astrophys. Journ., vol. 516, pag. 411 - 419, 1999

Bisikalo, D. V., Kuznetsov, O. A., Molteni, D.

Comparisons of 2d and 3d simulations of mass transfer in semi-detached binaries

Astron. Reports, vol. 43, pag. 797 - 809, 1999

Molteni D., Gerardi G., Valenza M. A.

Why canonical disks cannot produce advection-dominated flows

Astrophys. Journ. Letters, vol. 551, pag.: 77 - 80, 2001

Molteni D., D. Bisikalo, O. Kuznetsov, K. Acharya, S. Chakrabarti

Bending instability of an accretion disk around a black hole

Astrophys. Journ. Letters, vol. 563, 157-160, 2001

Teresi V., Toscano E., Molteni D.

SPH simulations of Shakura-Sunyaev instability at intermediate accretion rates

Monthly Not. Roy. Astr. Soc. ,Vol. 348, Issue 1, pp. 361-367, 2004

Chakrabarti, S. K.; Acharya, K.; Molteni, D.

Effect of Cooling on time dependent behaviour of accretion flows around black holes

Astron. & Astrophys., Vol.418, p. 418-422, 2004

Sviluppi futuri

- Sistemi binari:
 - Ingredienti più realistici: trasporto radiativo
 - Studio dischi circum-stellari
- Dischi kepleriani
 - Studio regimi alta accretion rate:
 - Jets ?
- Dischi Subkepleriani
 - Studio della loro genesi
 - Confronto con osservazioni, QPO,...
- Aspetti numerici
 - Sviluppo di codici: parallelizzazione, formulazione Flux Limited Diffusion per la radiazione, formulazione relativistica, ...

Sarebbe bello se ...

- Ci fossero maggiori risorse ... ovviamente!
- Maggiore collaborazione anche... in Italia: Un raggruppamento trasversale? Un raggruppamento :
“Teorie e algoritmi, metodi computazionali” ???

Cfr. FLASH, GADGET, COSMOS, KRONOS, Spherical ++
USA , CACTUS code ... Germania , PHASE Giappone,...