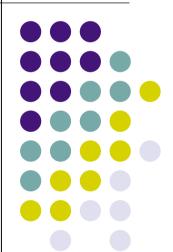
Attività di HPC in INAF-OATo: simulazioni MHD di plasmi astrofisici

C. Zanni, G. Bodo, P. Rossi (OATo)

A. Mignone, S. Massaglia, A. Ferrari (UniTo)









Tematiche di ricerca



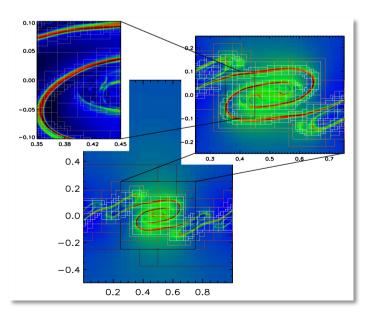


- Ricerca volta allo studio di fenomeni di accrescimento (dischi, magnetosfere stellari) ed eiezione (venti, getti)
 - Trasporto turbolento del momento angolare
 - Accrescimento magnetosferico
 - Meccanismi di accelerazione di getti astrofisici
 - Propagazione/stabilità dei getti
 - Proprietà radiative
 - Applicazioni sia ad alte energie (AGN) che a stelle in formazione (YSO)
 - Metodi numerici e semi-analitici (es. analisi lineare di instabilità)

Strumenti di ricerca: il codice PLUTO



- PLUTO è un codice modulare multidimensionale per lo studio della (magneto)idrodinamica sviluppato a partire da metà anni '90 in collaborazione tra OATo e UniTo (P.I. A. Mignone, UniTo)
- Basato su schemi ai volumi finiti (2nd order TVD/PPM) ed alle differenze finite di alto ordine (5th order WENO/MP)
- Supporta diversi moduli di fisica (classica/relativistica, idro/MHD, ideale/non ideale) e differenti algoritmi (HLL/Roe/HLLD, CTU/MUSCL-Hancock/RK, etc...) per la soluzione di sistemi di leggi di conservazione per la fluidodinamica.
- Supporta differenti sistemi di coordinate ortogonali curvilinee sia su griglia statica che adattiva (AMR) (funzionalità fornita dalla libreria CHOMBO – LBNL).
 - Articoli di riferimento:
 - "PLUTO: a numerical code for computational astrophysics", Mignone et al. ApJS, 170 (2007)
 - "The PLUTO code for AMR computations in astrophysical fluid dynamics", Mignone et al. ApJS, 198 (2012)



PLUTO: requisiti

- Scritto in C (≈ 55.000 linee)
- Requisiti minimi: compilatore C, Python, (GNU) make
- Interfaccia Python per la configurazione del codice

- Requisiti supplementari: Fortran, C++ (AMR), MPI, HDF5 (I/O), libpng
- Testato su differenti sitemi: IBM SP4/SP5/SP6 Blue Gene/P-Q BCX/CLX Linux / Mac G5 / Beowulf clusters SGI Irix Linux/ Mac OS multicore workstations Windows (Cygwin)



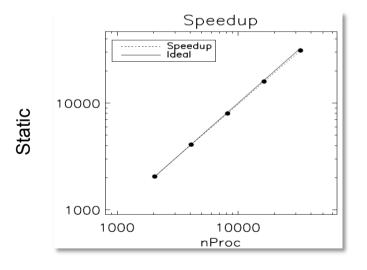
PLUTO: parallelizzazione e performance

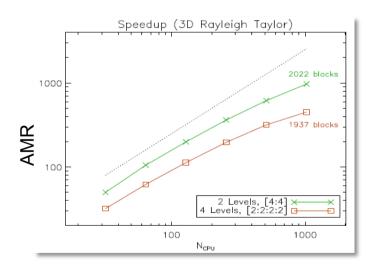


- Parallelizzazione MPI, basata su una libreria anni '90 sviluppata presso U. of Chicago.
- Parallelizzazione recentemente ottimizata in collaborazione con SCAI – Cineca (G. Muscianisi)



Ottima scalabilità su griglia statica, limiti intrinsechi dell'AMR



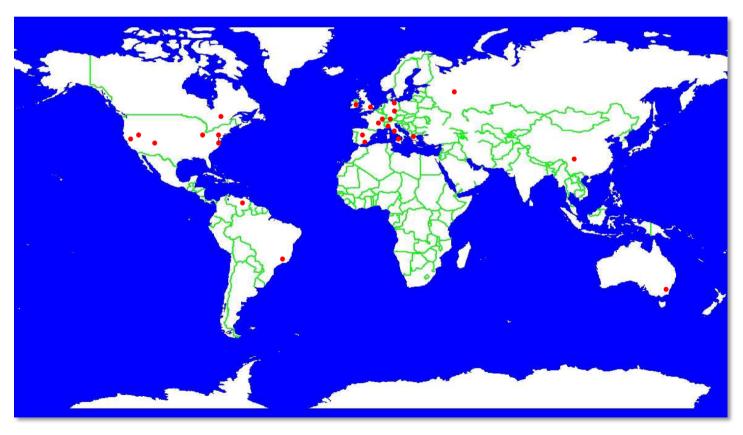


• Parallelizzazione ibrida su GPU e OpenMP in fase di studio



La comunità di PLUTO

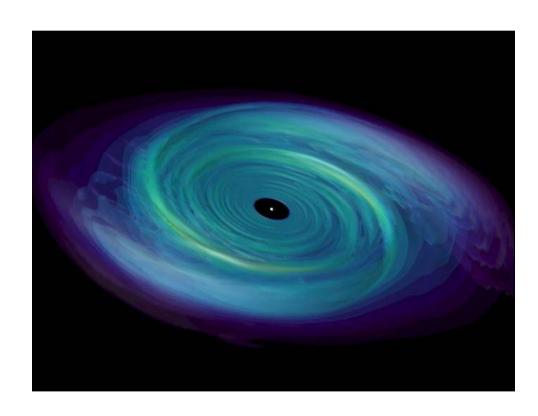
Software pubblico scaricabile da http://plutocode.oato.inaf.it sotto GNU General Public License



Più di 300 downloads / utenti in più di 20 istituzioni scientifiche ...

Applicazioni HPC: turbolenza e trasporto di momento angolare in dischi di accrescimento

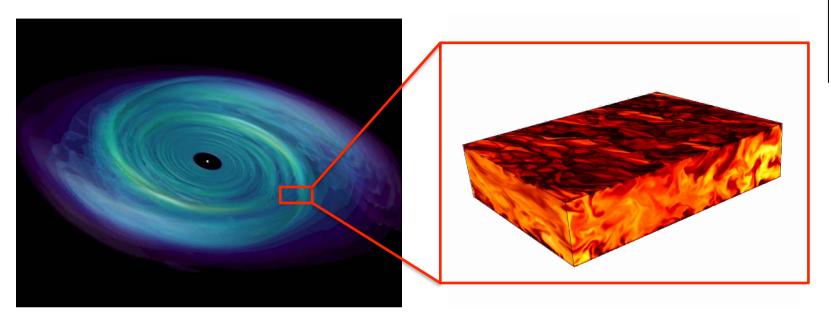




- (Dischi di) accrescimento sono il "motore" centrale di diversi oggetti astrofisici: AGN, stelle in formazione ...
- Se il momento angolare si conserva, disco ruota intorno all'oggetto centrale: necessario estrarre momento angolare
- Attrito viscoso insufficiente per riprodurre i tassi di accrescimento osservati
- Trasporto turbolento innescato dall'instabilità magneto-rotazionale (MRI) attualmente candidato principale

Tipo di simulazioni







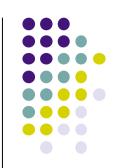
- Simulazioni MHD in sistema di riferimento locale cartesiano in corotazione (shearing box)
- ~ 10⁷ punti griglia, fino a qualche milione di timestep (per coprire centinaia di orbite)
- Simulazioni globali in lavorazione



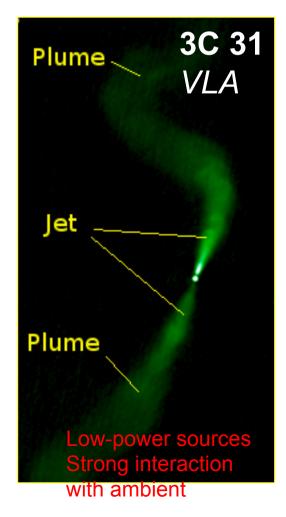


- Pubblicati studi su convergenza, leggi di scala, convezione, trasporto radiativo:
 - Bodo, G., Cattaneo, F., Mignone, A., Rossi, P., "On the Convergence of Magnetorotational Turbulence in Stratified Isothermal Shearing Boxes", 2014, ApJ, 787
 - Bodo, G.; Cattaneo, F.; Mignone, A.; Rossi, P., "Fully Convective Magnetorotational Turbulence in Stratified Shearing Boxes", 2013, ApJ, 771
 - Bodo, G.; Cattaneo, F.; Mignone, A.; Rossi, P., "Magnetorotational Turbulence in Stratified Shearing Boxes with Perfect Gas Equation of State and Finite Thermal Diffusivity", 2012, ApJ, 761
 - Bodo, G.; Cattaneo, F.; Ferrari, A.; Mignone, A.; Rossi, P., "Symmetries, Scaling Laws, and Convergence in Shearing-box Simulations of Magneto-rotational Instability Driven Turbulence", 2011, ApJ, 739
 - Bodo, G.; Mignone, A.; Cattaneo, F.; Rossi, P.; Ferrari, A., "Aspect ratio dependence in magnetorotational instability shearing box simulations", 2008, A&A, 487
- Ricerca sviluppata grazie ad iniziative PRACE, 28 Mhrs (2012) + 29 Mhrs (2014) + ISCRA (8 Mhrs) + XSEDE 2011 (2.5 Mhrs, Cray XT5)
- Simulazioni di turbolenza in principio adatte a Petascale (fenomeno gerarchico, ampio range dinamico) HPC ma:
 - tempi di coda lunghi
 - tempi di integrazione lunghi

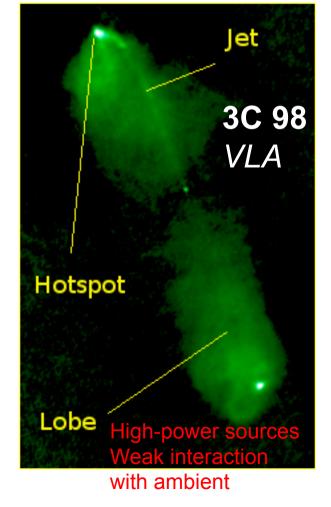
Applicazioni HPC: studio della dinamica dei getti



FR I or jet dominated



FR II or lobe dominated (classical doubles)

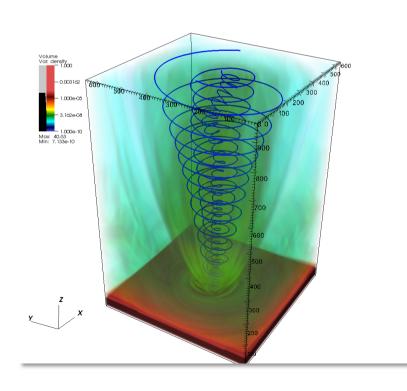


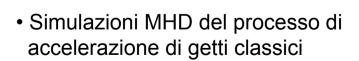
- Studio della stabilità del processo di accelerazione e/o propagazione di getti astrofisici
- Efficienza dei meccanismi di accelerazione
- Propagazione a grande scala
- Riprodurre le morfologie osservate

Tipo di simulazioni

Simulazioni MHD di propagazione di getti relativistici

• ~ 10⁷⁻⁸ punti griglia (statica), centinaia di migliaia di timestep





• AMR (7 livelli di refinement, risoluzione max 8198x8192x12288 punti), ~ 10⁵ timesteps



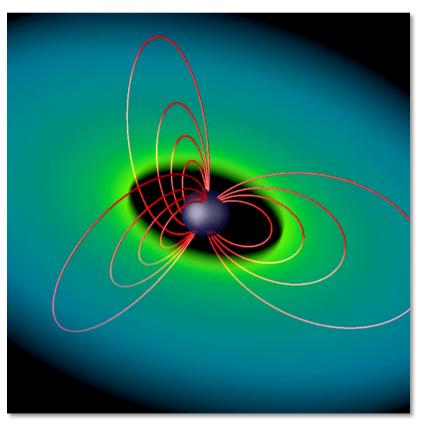


- Pubblicati studi su analisi di stabilità, meccanismi di accelerazione, morfologia:
 - Anjiri, M., Mignone, A., Bodo, G., Rossi, P., "Linear and non-linear evolution of current-carrying highly magnetized jets", 2014, MNRAS, 442
 - Zanni, C., Ferreira, J., "MHD simulations of accretion onto a dipolar magnetosphere II. Magnetospheric ejections and stellar spin-down", 2013, A&A, 550
 - Mignone, A.; Rossi, P.; Bodo, G.; Ferrari, A.; Massaglia, S., "High-resolution 3D relativistic MHD simulations of jets", 2010, MNRAS, 402
 - Rossi, P.; Mignone, A.; Bodo, G.; Massaglia, S.; Ferrari, A., "Formation of dynamical structures in relativistic jets: the FRI case", 2008, A&A, 488
- Ricerca sviluppata grazie ad iniziative Key Project INAF-CINECA (SP6 Fermi), ISCRA, DECI (Tier-1). CPU time su 4 anni ~ 20 Mhrs.
- Simulazioni di propagazione su griglia statica "ideali" per architetture Petaflop: tempi dinamici e di integrazione più brevi. Ma aspettiamo risultati da analisi lineare.
- Simulazioni di accelerazione su griglia adattiva più critiche: ottime performance su SP6 (KP INAF-CINECA), più deludenti su Blue-Gene P (DECI)

Applicazioni HPC: ... sotto il Petaflop



• Non tutta la ricerca ha bisogno di Petaflop performances: sviluppo/testing, calcoli bidimensionali, tempi di integrazione lunghi ... Multicore workstations usate per visualizzazione/analisi coprono solo in parte queste esigenze ...



- Esempio: accrescimento magnetosferico
- punti griglia ~ 10^6 (con AMR oltre ~ 512 cores scala male), ~ 10^{6-7} timesteps
- Architetture Tflop (Tier-2) più adatte, ma chi le ha?
- Attraverso associatura a IPAG Grenoble accesso a macchine dell'università.

Froggy: Bull – 3184 cores, cpu Intel 2.6 GHz (82 Tflops)

R2D2: IBM – 512 cores, cpu Intel 2.5 GHz (5 Tflops)

GoFree: Dell – 336 cores, cpu Intel 2.27/2.93 GHz (3 Tflops)

. . .





- Come sviluppatori ed utilizzatori siamo molto presenti e competitivi nell'HPC europeo, vedi quantità di risorse assegnate (PRACE, DECI, Iscra).
 - difficoltà di utilizzo (code, tempi di integrazione lunghi)
- Forniamo un codice numerico (PLUTO) che ha ottime proprietà di scalabilità su architetture di classe Petaflop (Blue-Gene), almeno su griglia statica.
 - strategie in vista dell'Exascale computing?
 - versione AMR ha già sofferto dal passaggio dal 100 Tflops (SP6) al Petaflop (Fermi)
- Riteniamo che ci siano ancora molte applicazioni (compreso lo sviluppo) che hanno bisogno di macchine più piccole (Tflops) e maneggevoli (rapidità di accesso alle risorse).
 - chi potrebbe/dovrebbe farsene carico (gruppo, osservatorio, istituto) e con che modalità (a progetto o a lungo termine)?