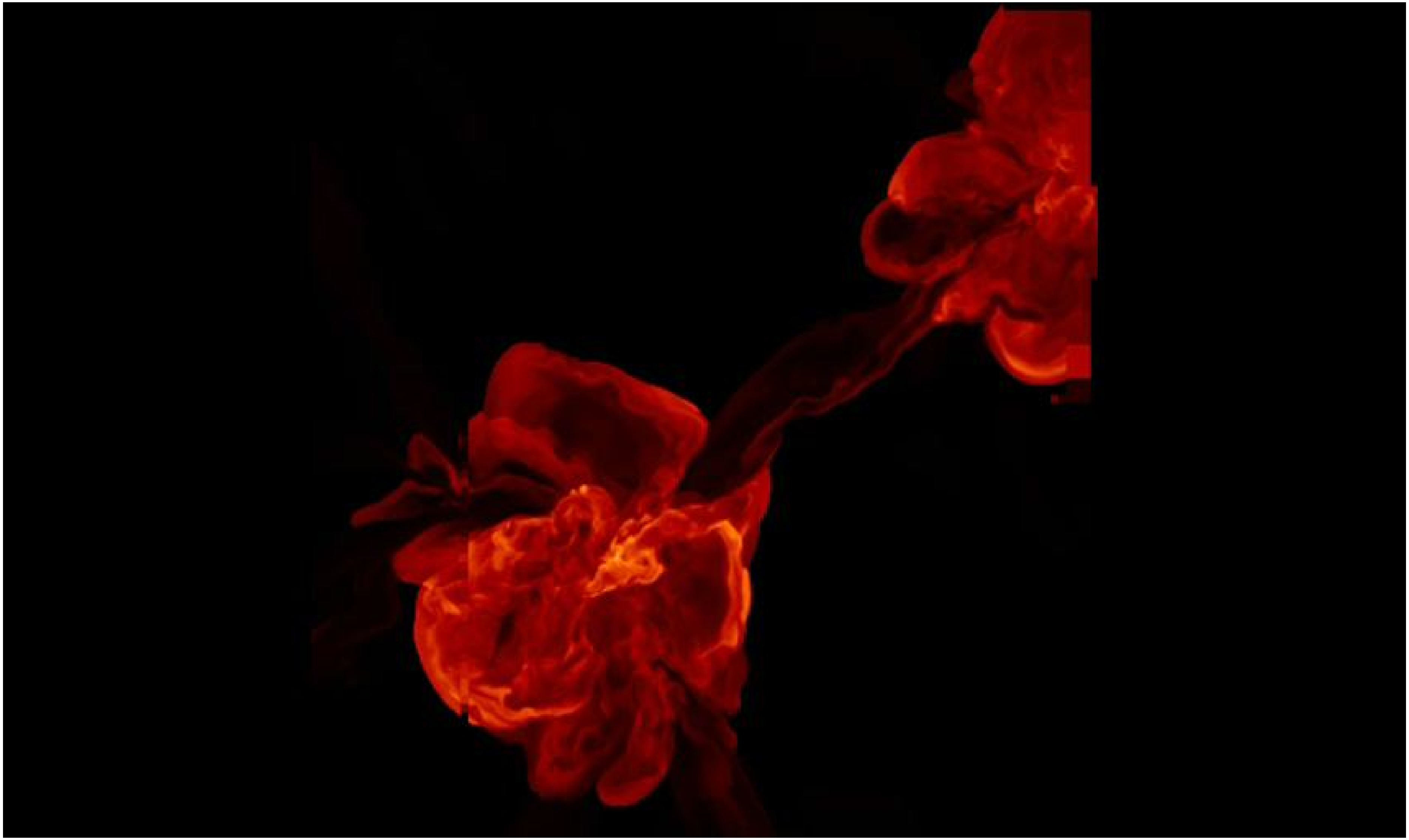
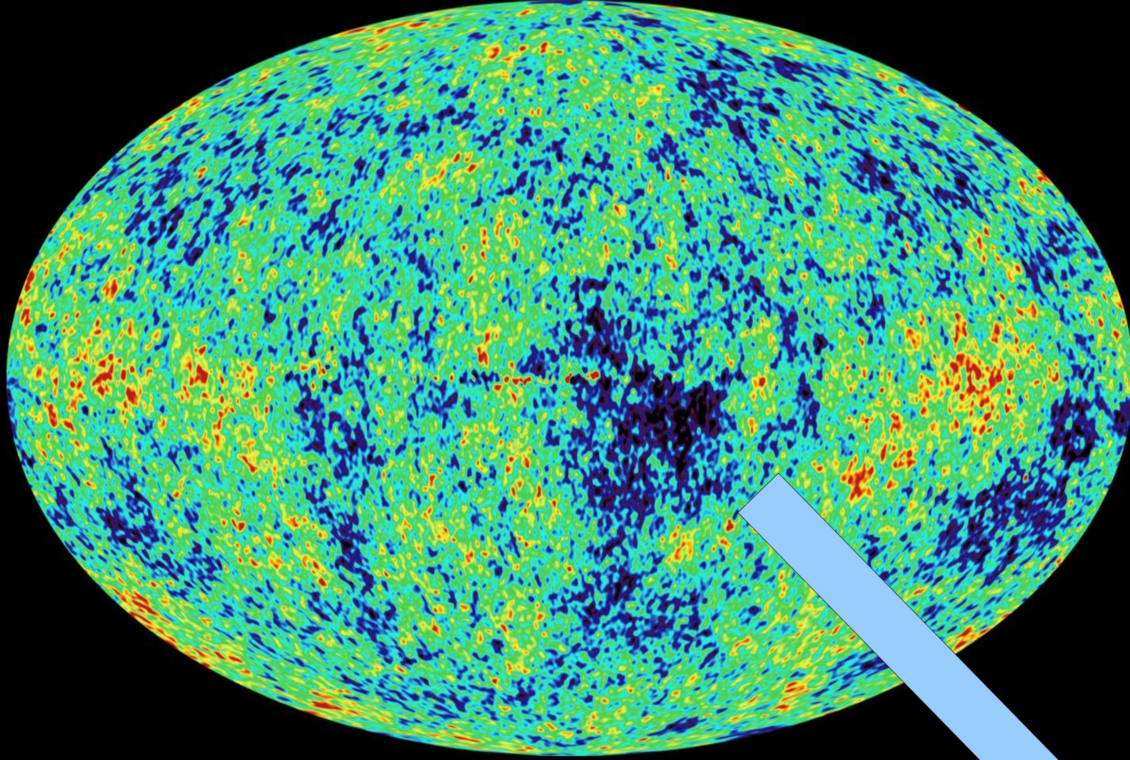
SIMULAZIONI COSMOLOGICHE & FENOMENI NON TERMICI



Le simulazioni numeriche cosmologiche permettono di trattare:

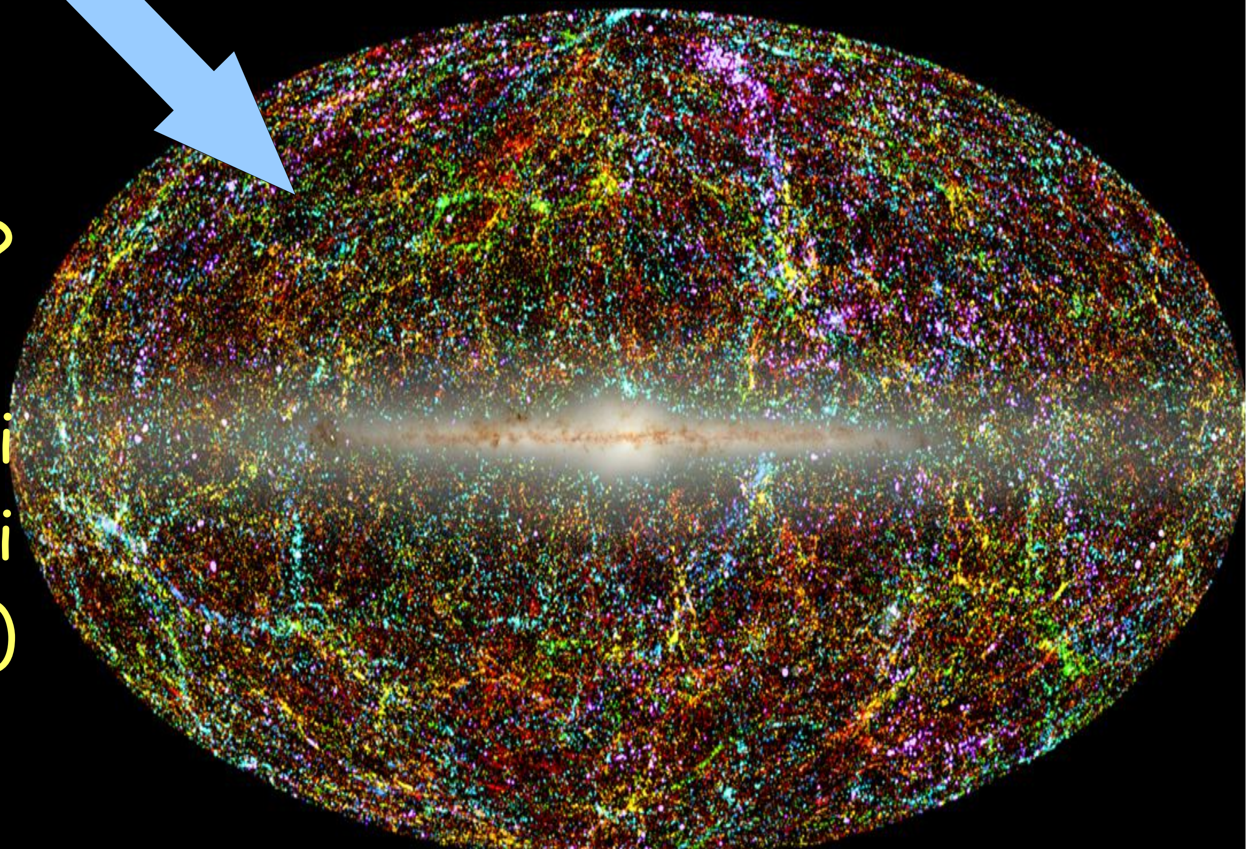
- *Fenomeni fortemente dipendenti dal tempo (e.g. evoluzione spettri di particelle)*
- *Fenomeni intermittenti nello spazio (e.g. turbolenza)*
- *Meccanismi non-lineari (e.g. turbolenza, accelerazione da shock)*
- *Fenomeni dipendenti non da valori medi, ma da fluttuazioni (e.g. fluttuazioni di velocità)*

…in stretta connessione con la cosmologia



Come ha fatto l'Universo ad andare da qui ...

(300 mila anni dopo il Big Bang: nessuna stella né galassia!)



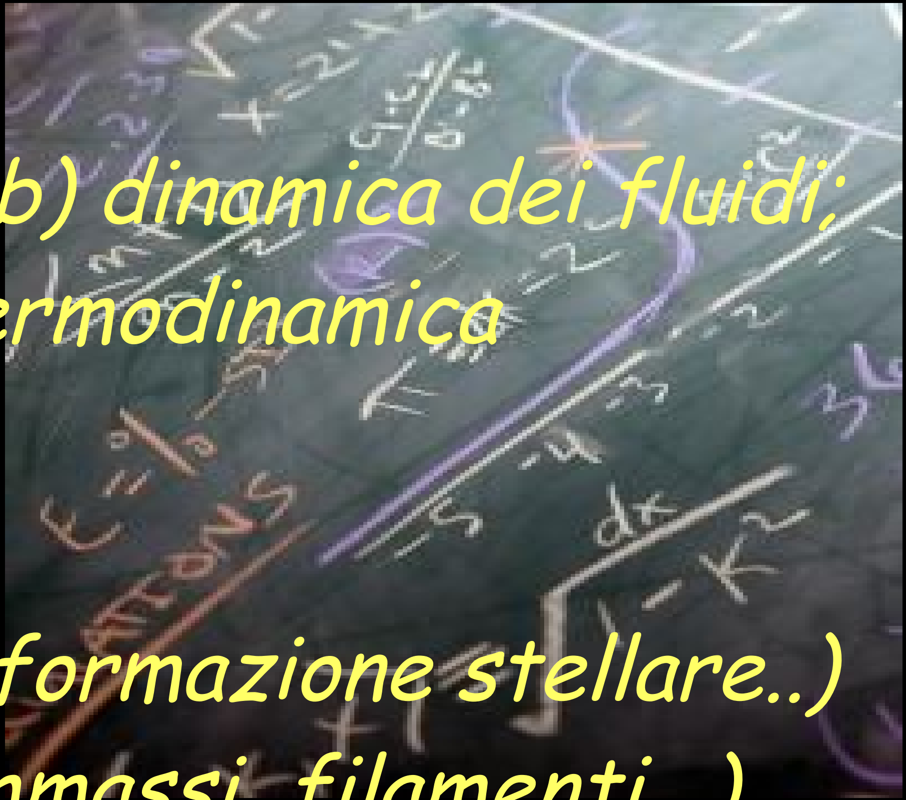
...a qui ?

(13.7 miliardi di anni dopo il Big Bang: milioni di stelle, più di 10^{17} stelle)

Cosa occorre per simulare l'evoluzione dell'Universo in un computer?

- le giuste componenti di materia:
a) gas; b)stelle; c)materia oscura;

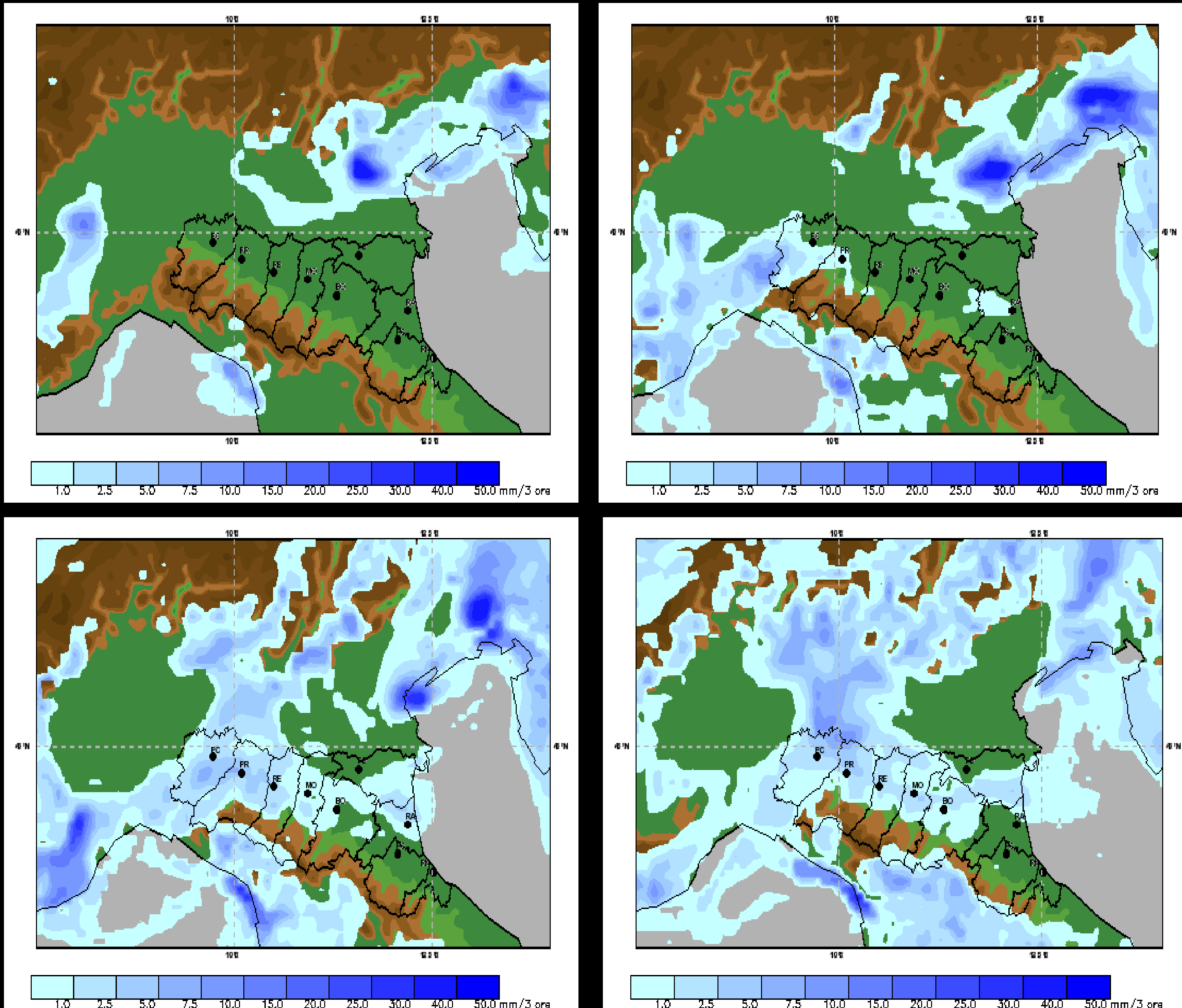
- le giuste leggi:
a) gravitazione universale; b) dinamica dei fluidi;
c) relatività generale; d) termodinamica



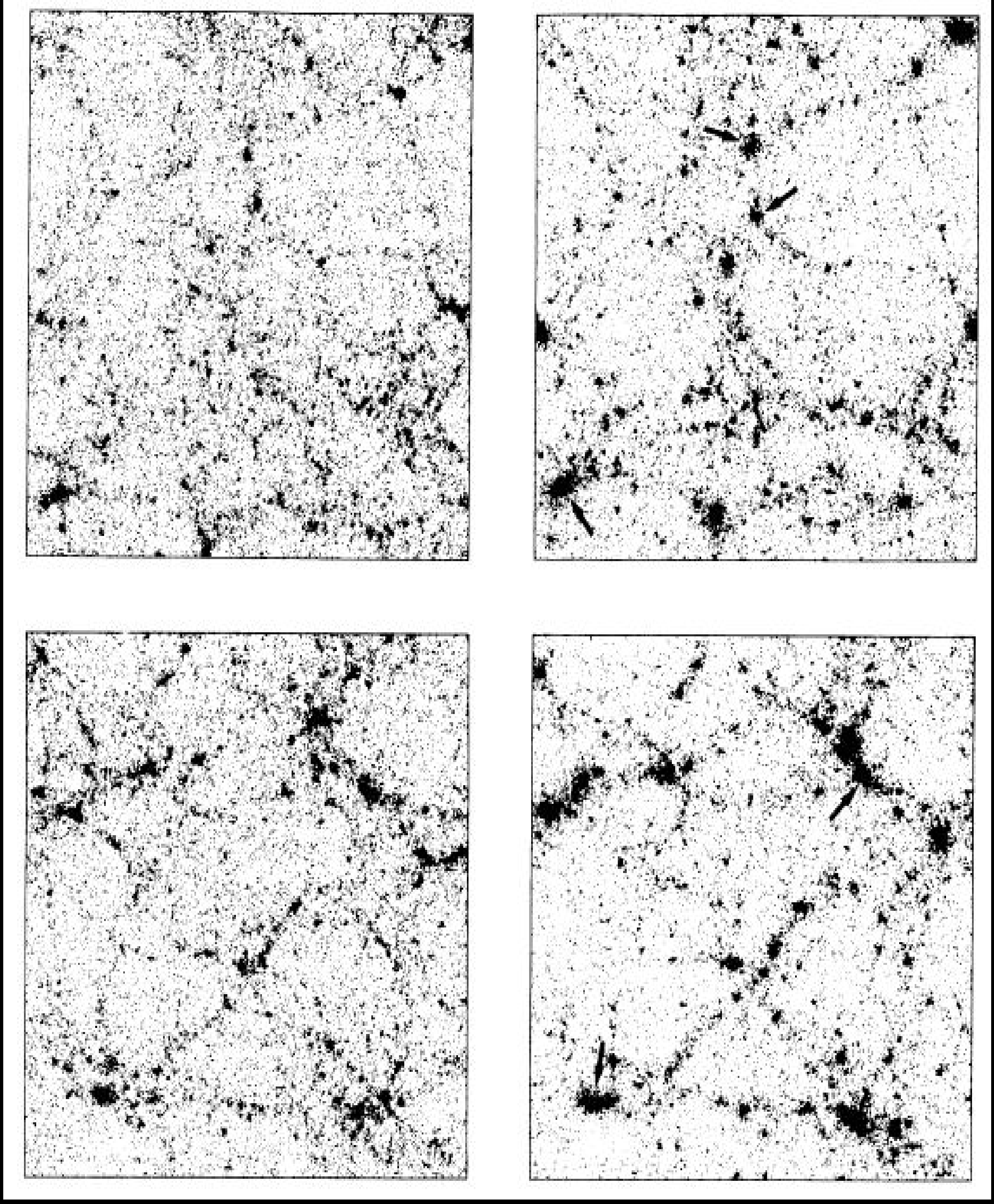
- le giuste scale spaziali:
da ~kpc (processi plasma, formazione stellare..)
a ~100 Mpc (formazione ammassi, filamenti...)

16 processori
(Bologna)

5120 processori
Earth Simulator (Yokhoama - Japan)



(Previsioni Arpa-Emilia Romanga) per 19/06

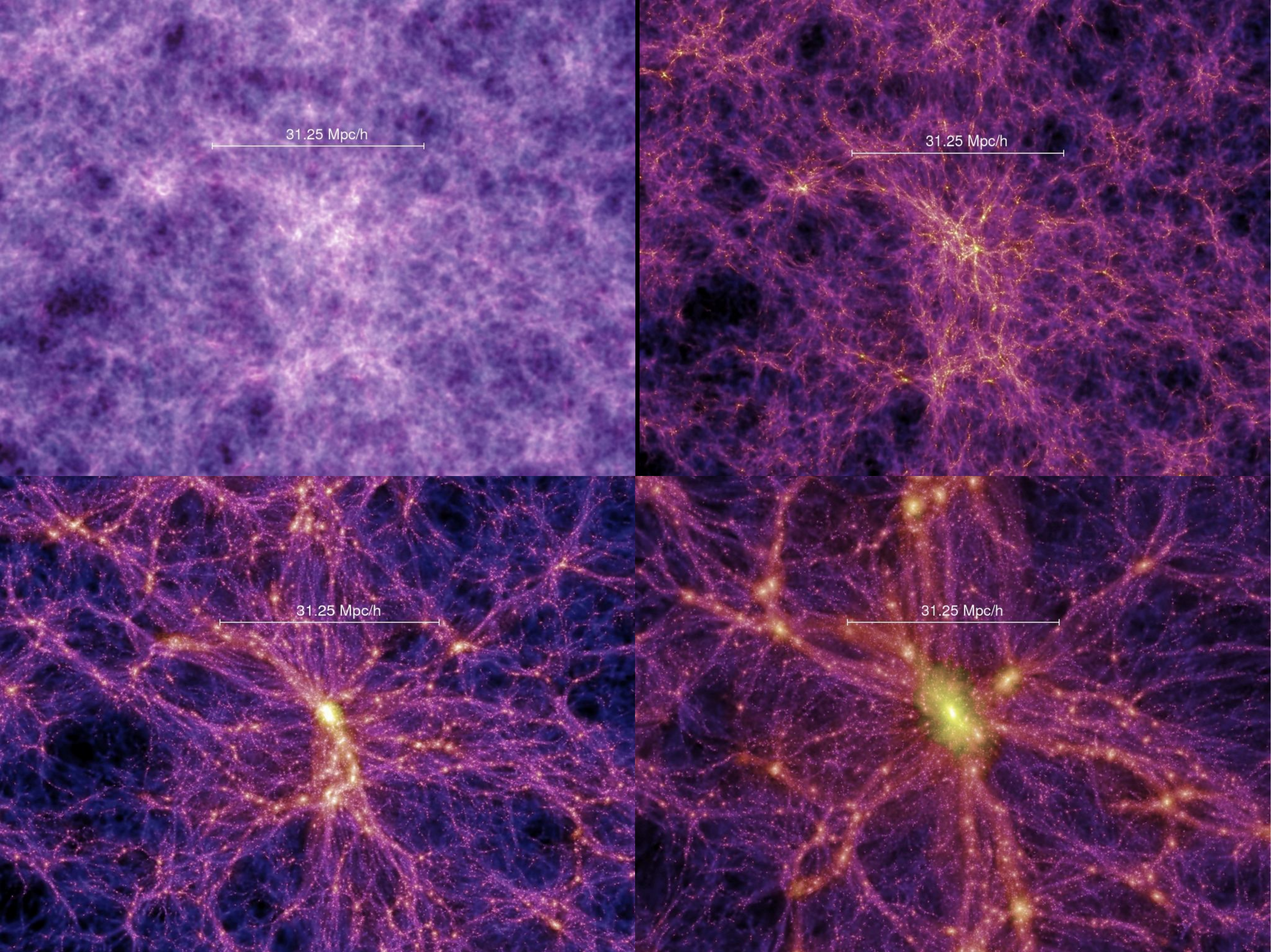


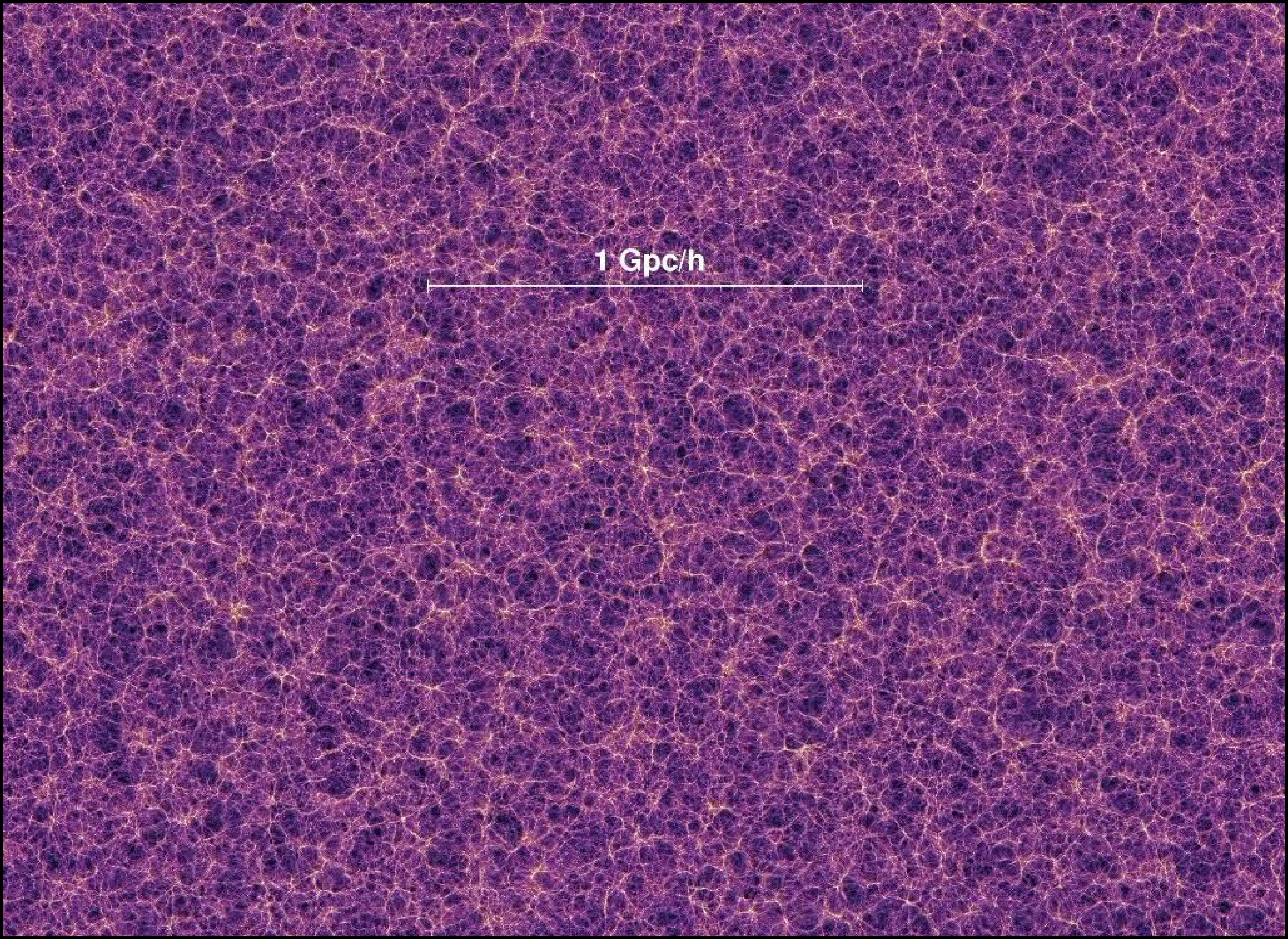
Primissime simulazioni inizio anni '80 (computer seriali)

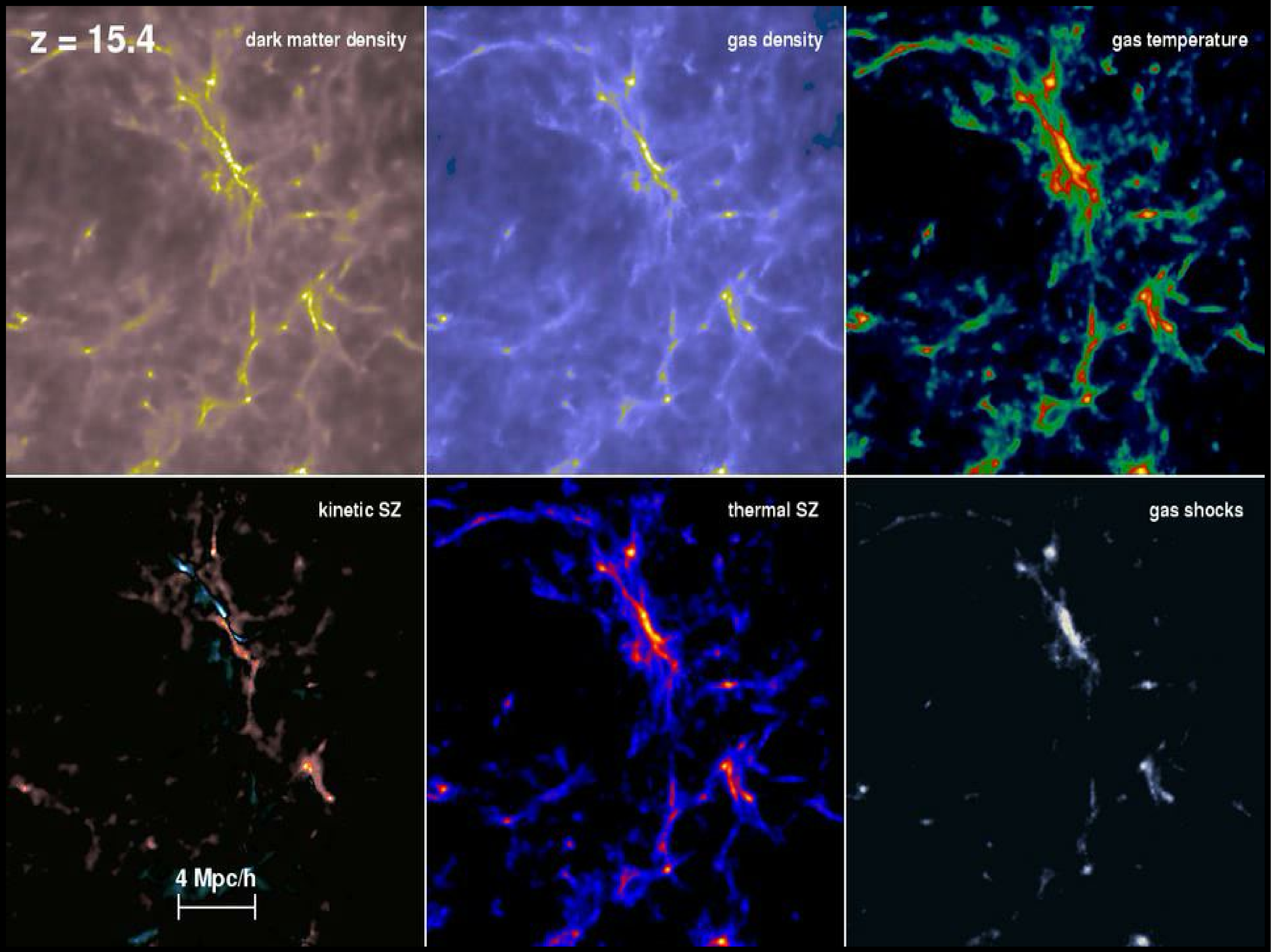
prime indicazioni dei filamenti di galassie, almeno 10 anni prima delle prime vere e proprie osservazioni

La Millennium simulation

Springel et al.2004

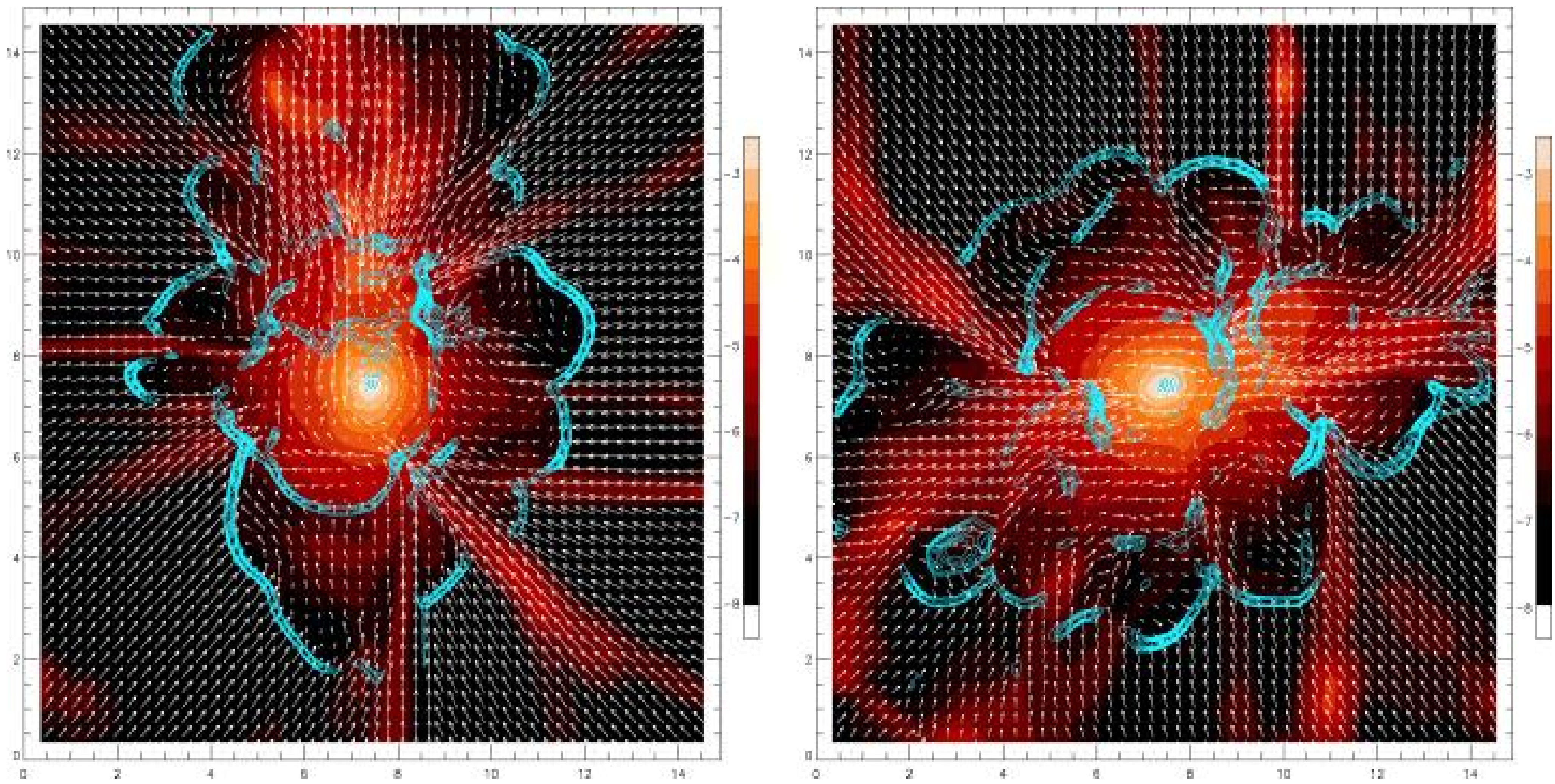

31.25 Mpc/h
31.25 Mpc/h
31.25 Mpc/h
31.25 Mpc/h


1 Gpc/h



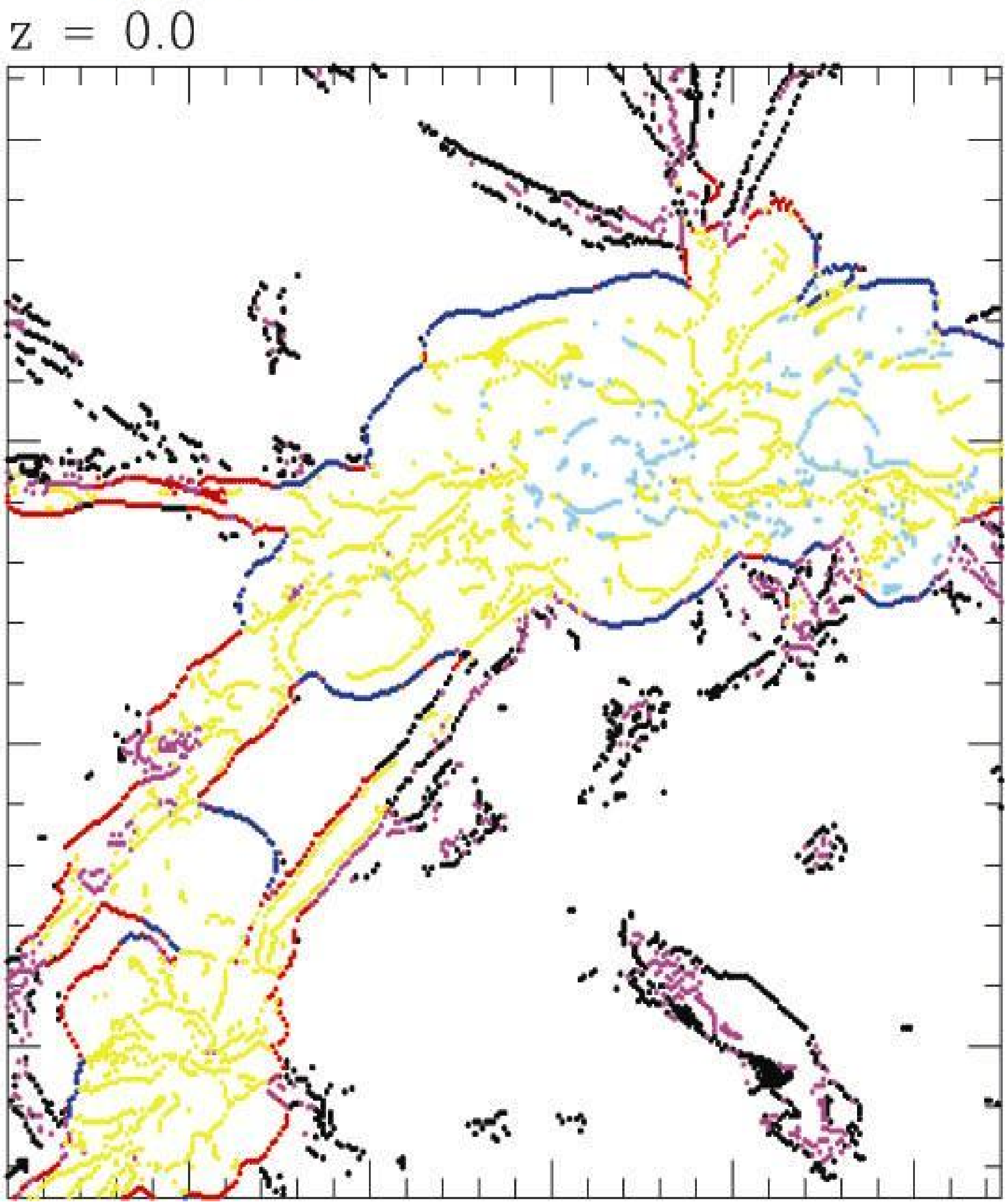
z = 15.4
dark matter density
gas density
gas temperature
kinetic SZ
thermal SZ
gas shocks
4 Mpc/h

SIMULAZIONI ED EFFETTI NON TERMICI: 1) SHOCK



Con codici a griglia si misurano numeri di Mach (da T_2/T_1) ed accelerazione di raggi cosmici assumendo Fermi I

Miniati et al. 2001; Ryu et al. 2003



Distribuzione degli shock a seconda dell'ambiente (Ryu et al. 2003)

external shocks

$v_{sh} < 150$ km/s

$150 < v_{sh} < 700$ km/s

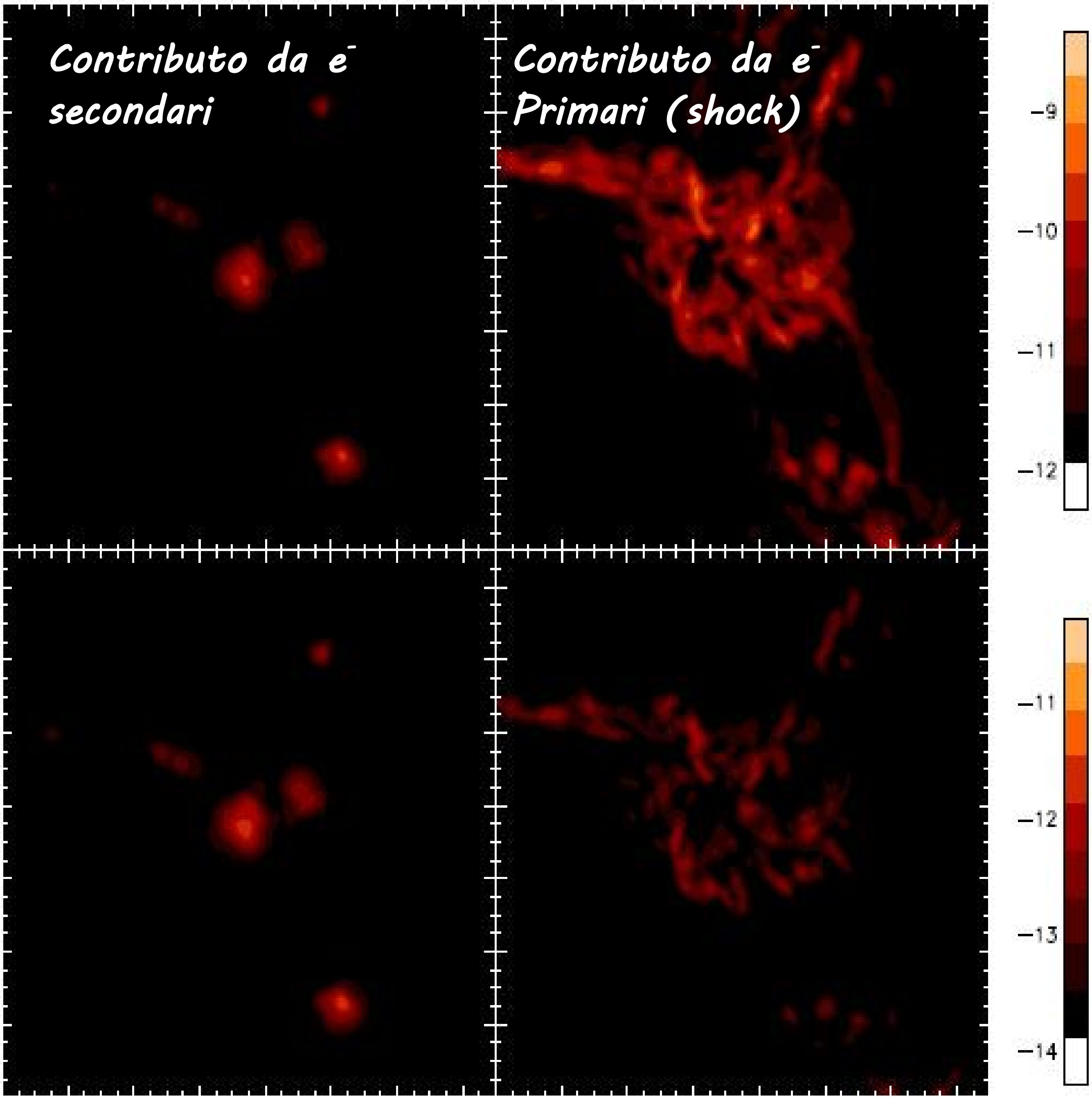
$v_{sh} > 700$ km/s

internal shocks

$v_{sh} < 150$ km/s

$150 < v_{sh} < 700$ km/s

$v_{sh} > 700$ km/s



Le simulazioni permettono di scomporre emissione simulata nelle diverse componenti energetiche

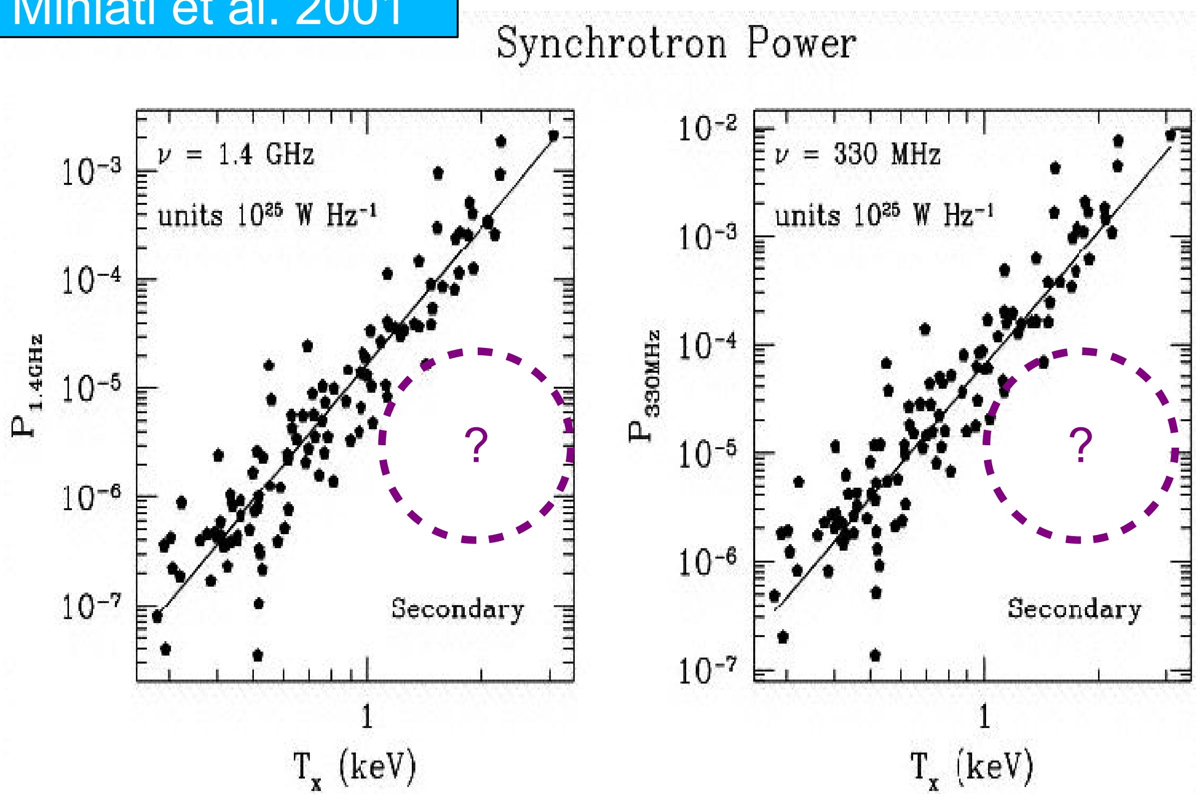
(Miniati 2003)

Figure 5. *Synthetic map of the integrated photon flux above 100 keV (top) and 100 MeV (bottom) in units "ph cm^{-2} s^{-1} $arcmin^{-2}$" from IC emission by secondary $e^{\pm}$ (top-left), primary e^{-} (top-right, bottom-right), and π^0-decay (bottom-left). Each panel measures 15 h^{-1} Mpc on a side.*

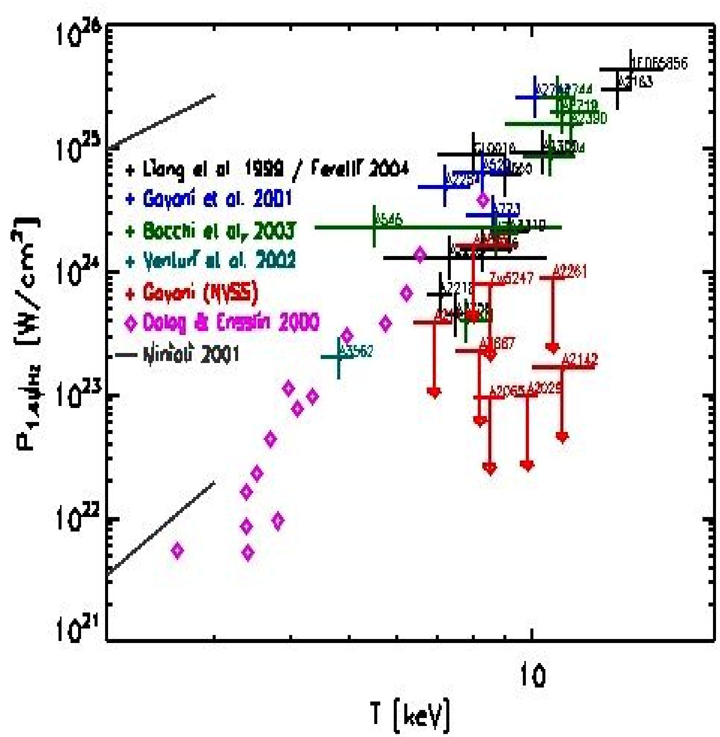
Simulazioni di modelli secondari:

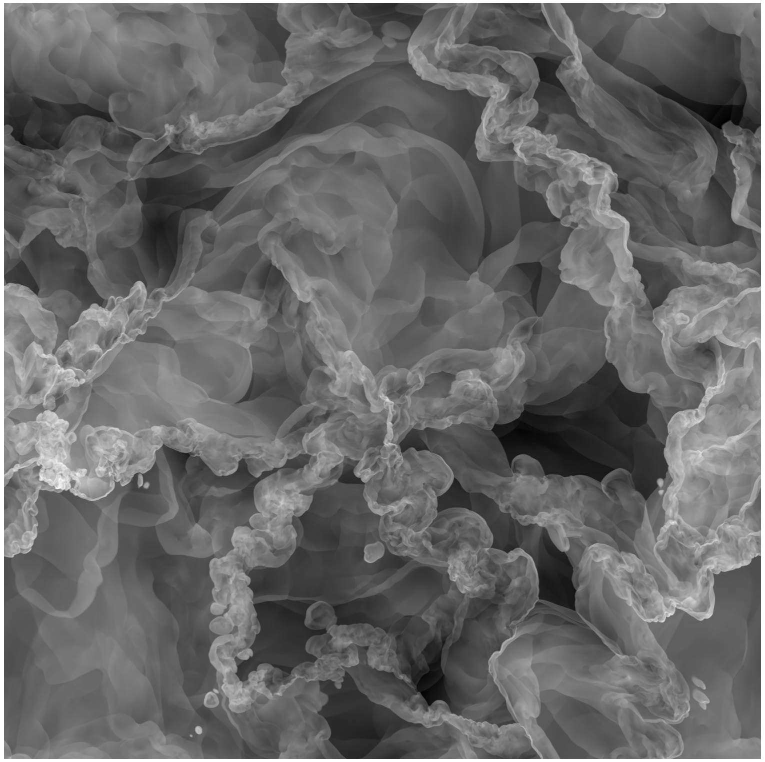
Da molti lavori è emersa la difficoltà di questi modelli nel riprodurre la "bimodalità" osservata tra cluster con e senza alone radio (Miniati et al. 2001; Dolag 2005; Pfrommer et al.2008; Donnert et al.2010)

Miniati et al. 2001



Dolag 2005





SIMULAZIONI ED EFFETTI NON TERMICI: 2)TURBOLENZA

- Equazioni di Eulero / Navier-Stokes non permettono risoluzione analitica per R>>1

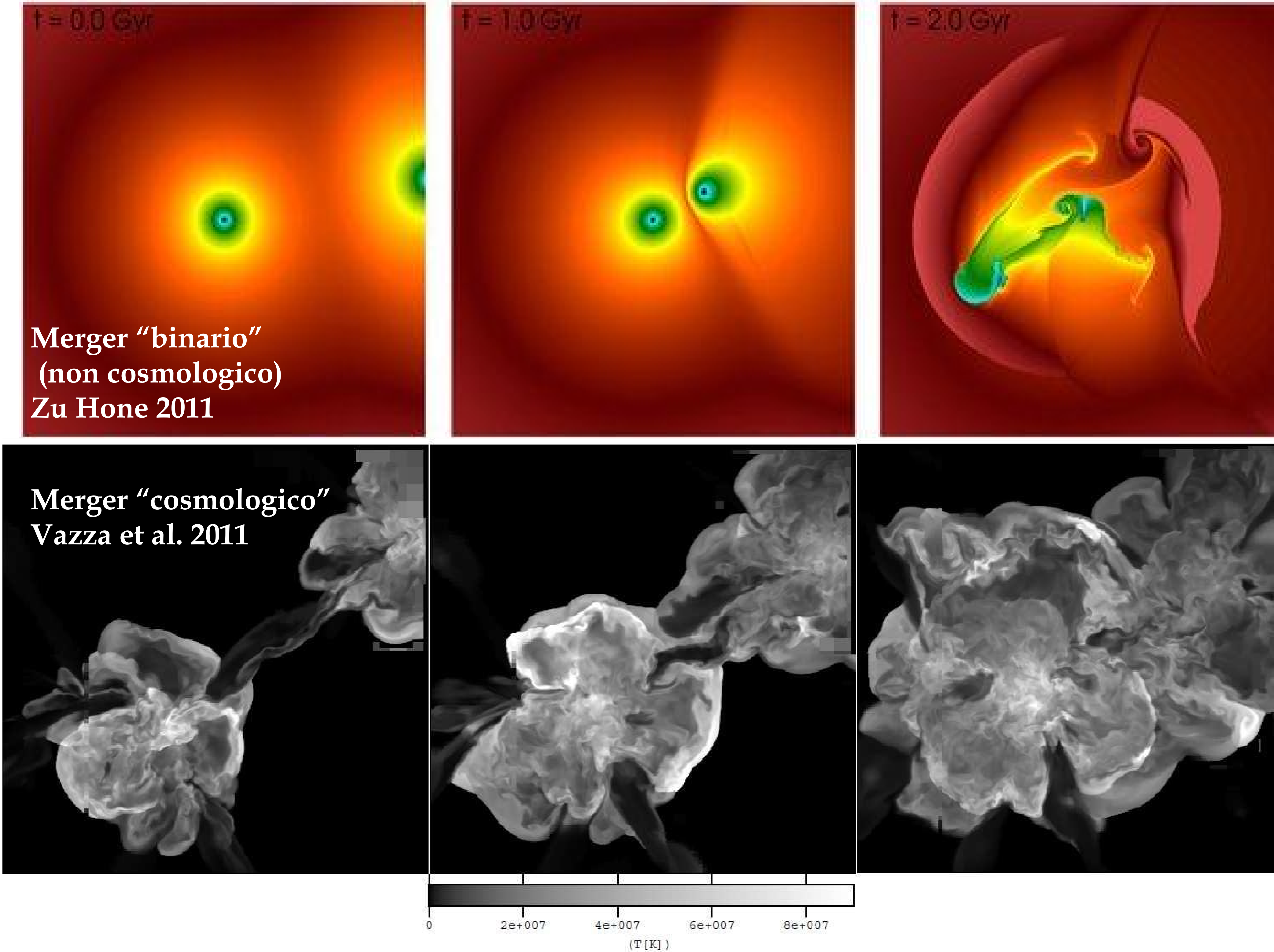
- Esistono solo risultati statistici (e.g. Kolmogorov 1941)

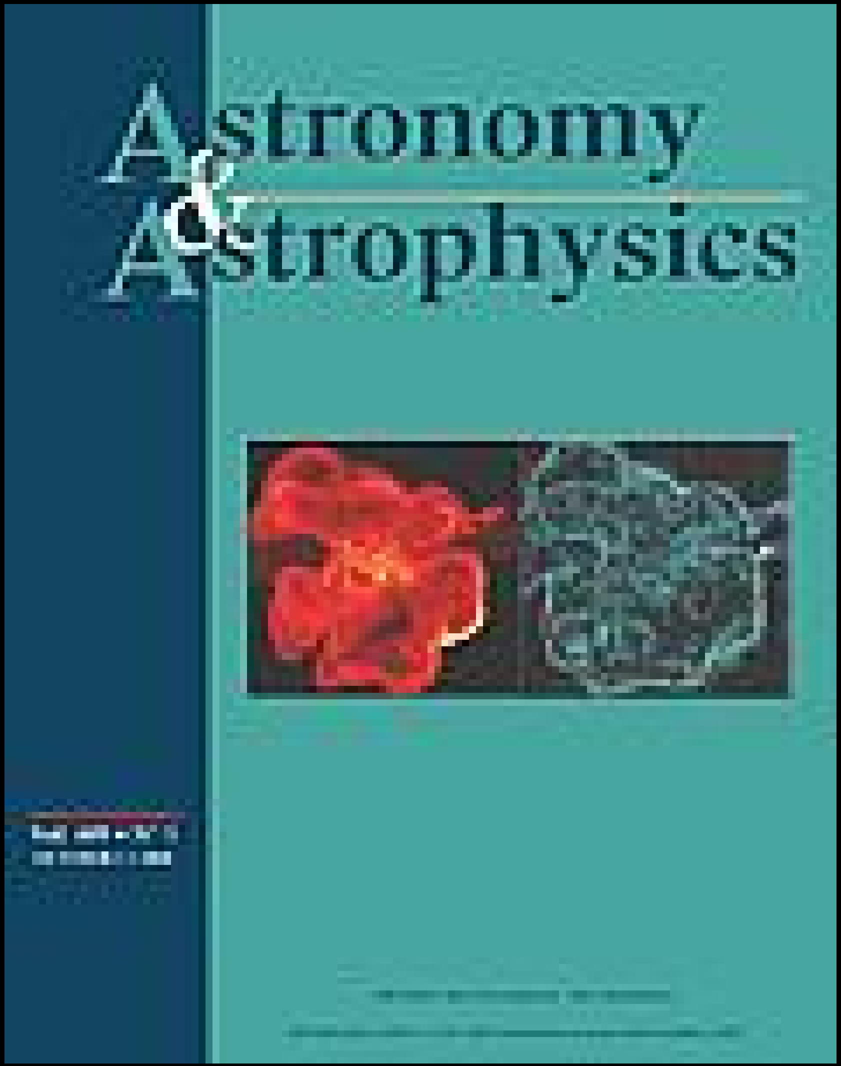
- Metodi numerici necessitano moltissime celle/particelle $N>10^5$ per produrre risultati indipendenti da risoluzione numerica

→ molto difficile da simulare in cosmologia!

Evoluzione di un ammasso di galassie in formazione ad altissima risoluzione (~10 kpc)

Cortesia di Klaus Dolag


t = 0.0 Gyr
t = 1.0 Gyr
t = 2.0 Gyr
Merger “binario”
(non cosmologico)
Zu Hone 2011
Merger “cosmologico”
Vazza et al. 2011
0
2e+007
4e+007
6e+007
8e+007
(T[K])



Densiy & DM

Temperature Map Evolution

Velocity Map Evolution

Curl of Velocity Map Evolution

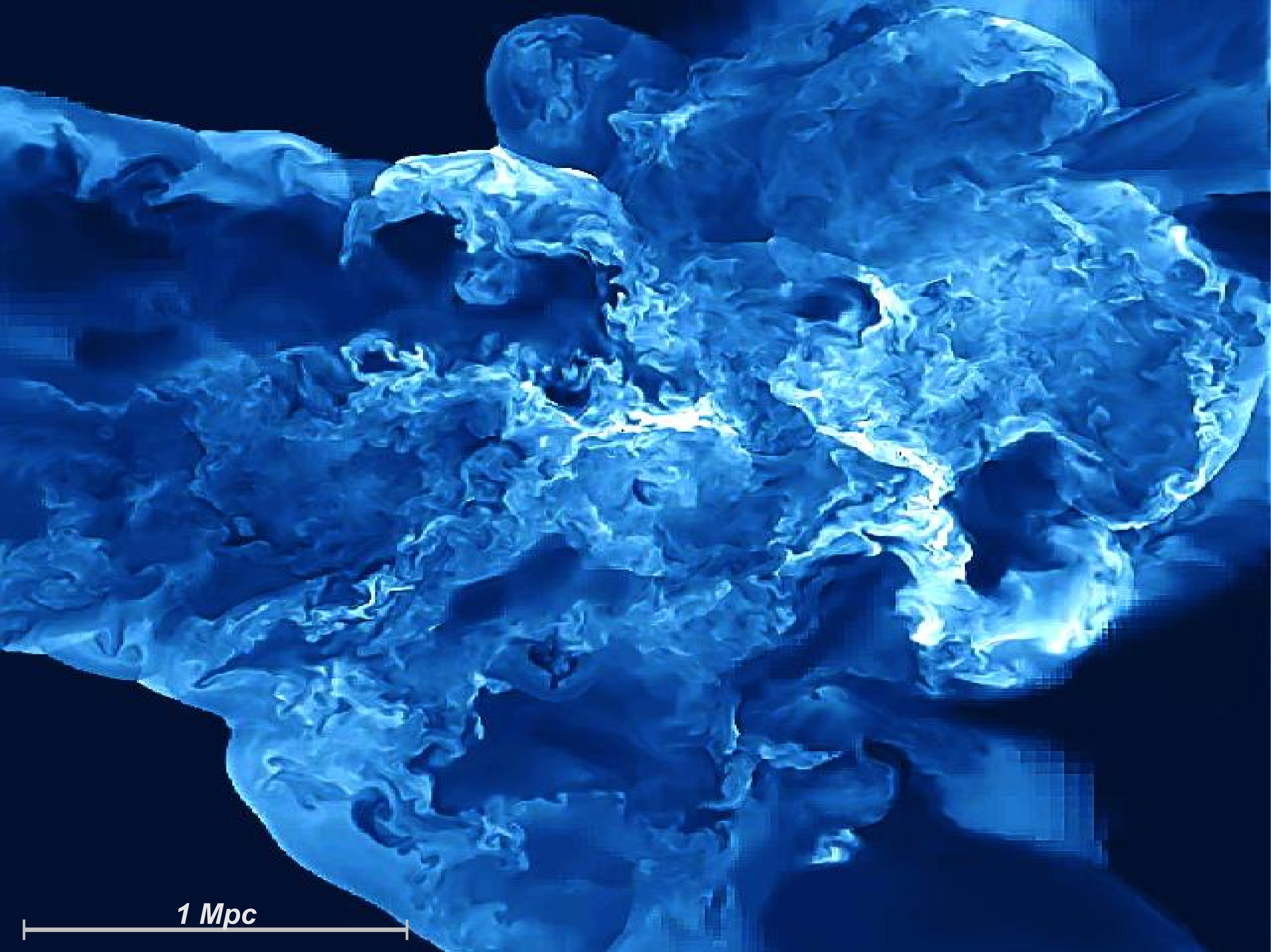
Shocks Evolution

Tracers Evolution

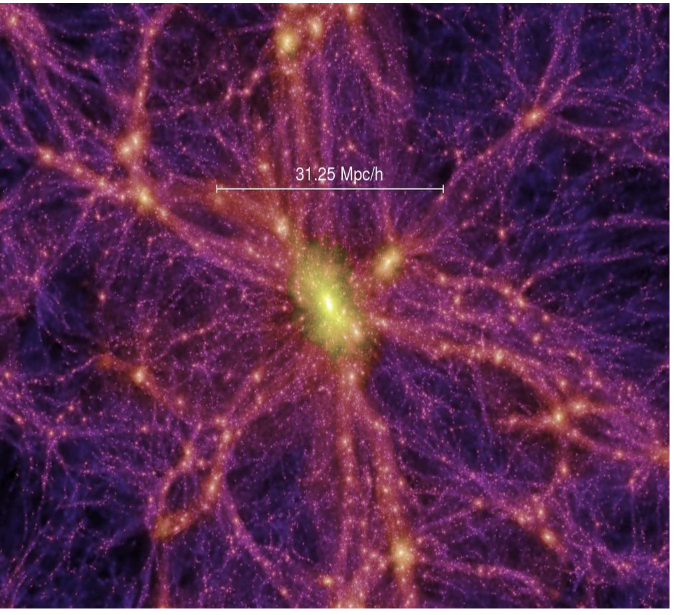
Ref:

Vazza et al.2009 A&A

Vazza, Gheller & Brunetti 2010 A&A


1 Mpc

Sviluppi futuri (?):



• *Aumentare il livello di dettaglio e di statistica nella descrizione di shock turbolenza ed accelerazione di partice*

• *Concepire nuovi metodi e modi di calcolare Fermi I e Fermi II da dati simulati*

• *Modellare processi sempre più complessi e dipendenti dal tempo nelle simulazioni (e.g. riaccelerazione), comprendere gli "ingredienti mancanti"*

• *Simulare osservazioni radio/gamma etc in modo realistico, e confrontabile con realtà*