

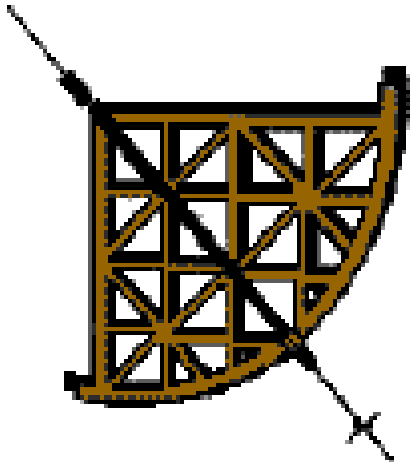
# Introduzione alla Cosmologia Fisica Lezione 13

Gli ammassi di galassie, le grandi strutture, la tappezzeria dell'Universo

Giorgio G.C. Palumbo

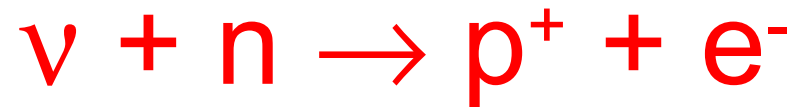
Università degli Studi di Bologna

Dipartimento di Astronomia



# Neutrini massivi

- Adesso sappiamo che esistono:



- Sembra abbiamo una piccola massa
- Le masse delle particelle si danno in termini della loro energia equivalente  $mc^2$   
[eV: electron volt]
- $1 \text{ eV} \Leftrightarrow 1.8 \times 10^{-33} \text{ g}$ 
  - elettrone: 512 keV
  - protone: 938 MeV

- Quale massa dovrebbero avere per giustificare tutta la materia scura ?
  - Ci sono  $\sim 100$  neutrini per  $\text{cm}^3$
  - Una massa di  $20\text{eV}$  risulta in  $\Omega_0=0.3$
- Come si misura la loro massa ?
  - complicato ...
  - Conservazione dell'En. Misura tutte le masse e velocita' nella reazione  $\nu + n \rightarrow p^+ + e^-$  con alta precisione. Differenza fra la parte destra e sinistra dell'equazione  $\Rightarrow$  massa del neutrino

- Risultato: rivelazione non sicura, ma limite superiore. La massa dell' ( $e^-$ ) neutrino è **meno di alcuni eV  $\Rightarrow$  escluso** come candidato per la materia scura.
- **Ma** : ci sono **altre due** famiglie di **neutrini**, il **neutrino  $\mu$**  e il **neutrino  $\tau$**  (il **muone** il **tau** sono particelle simili all'elettrone, ma + massive e instabili)
- neutrini massivi  **$\mu$**  o  **$\tau$**  devono ancora essere considerati

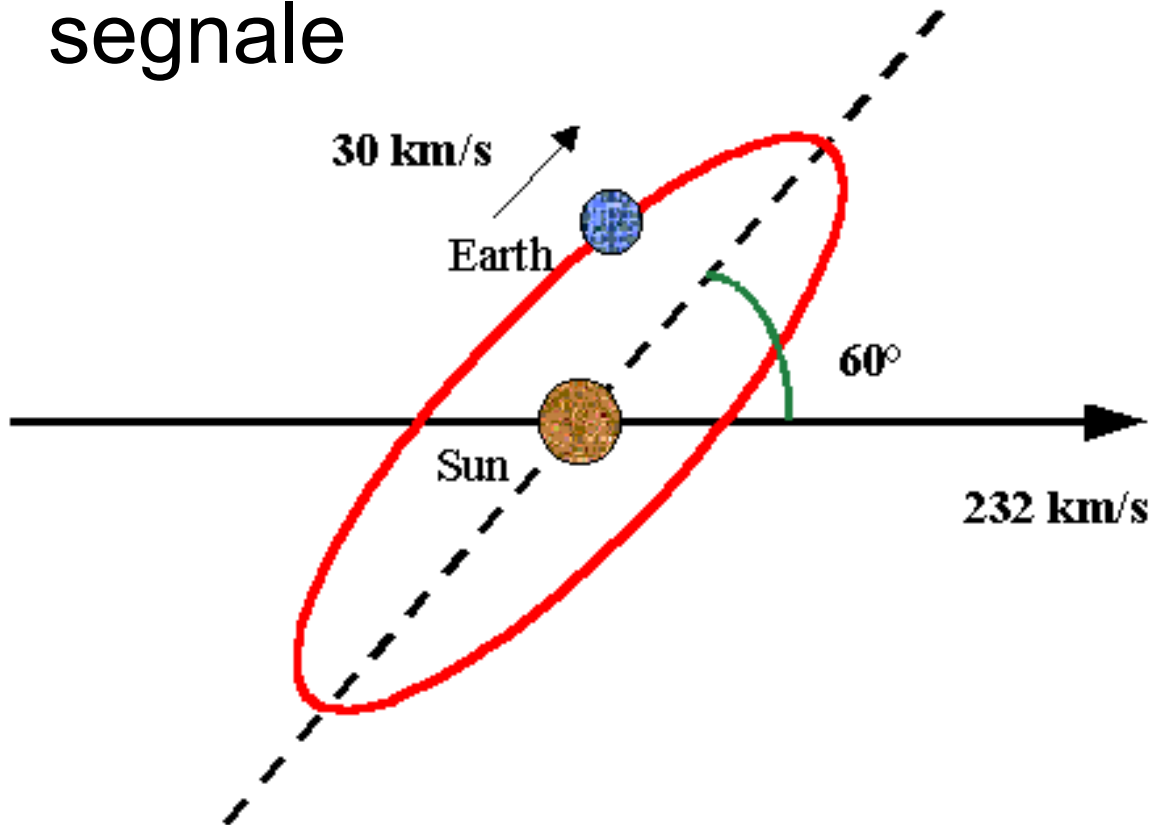
# Candidati WIMP II: le ultime particelle massive supersimmetriche

- Teoria che unifica le 4 forze della natura
- I modelli predicono uno zoo di particelle, alcune già rivelate, ma gran parte ancora speculative. Gran parte instabili.
- Supersimmetria teoria unificatrice particolarmente promettente
- L'ultima particella massiva supersimmetrica, il **neutralino** dovrebbe essere stabile

- La sua massa dovrebbe essere  $> 150$  GeV, altrimenti
  - Il suo contributo sarebbe irrilevante
  - Avrebbe già' dovuto essere rivelata!
- Come provarne l'esistenza ?

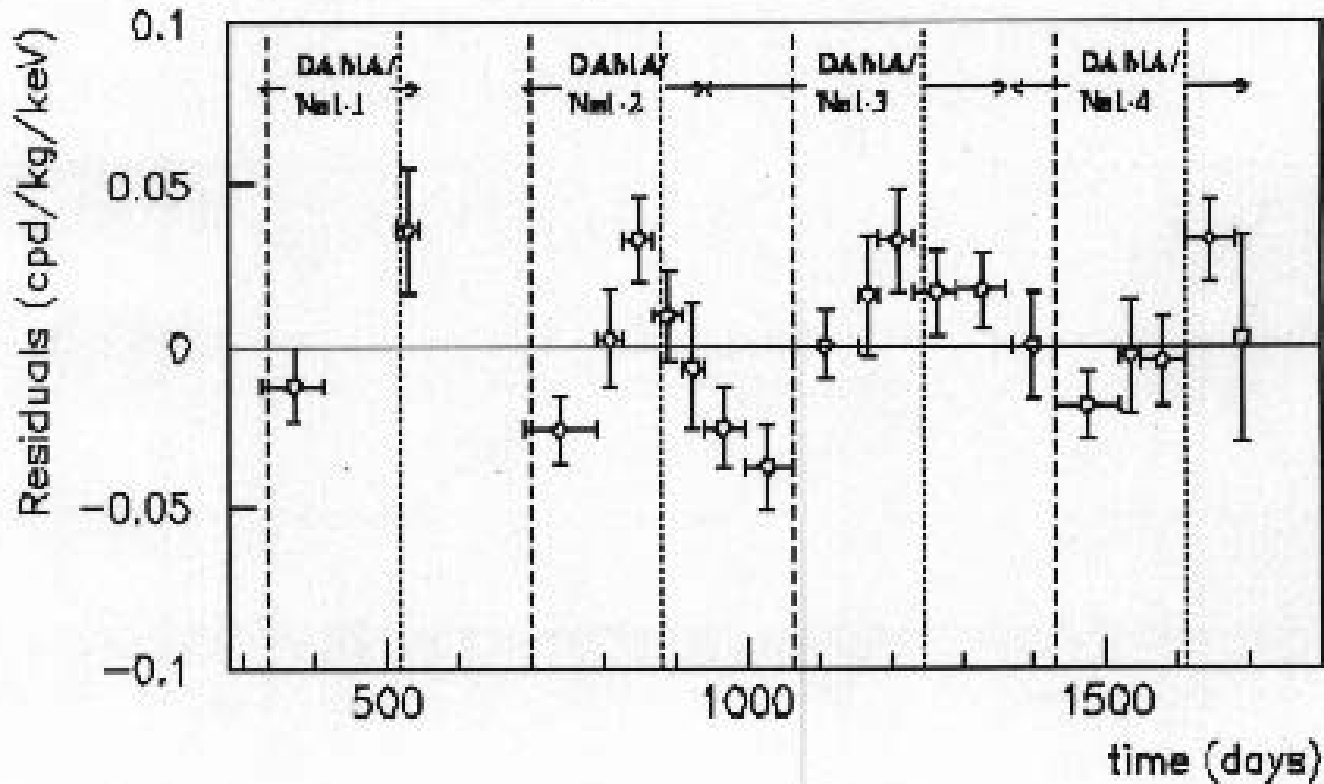
# Come trovare WIMPs freddi ?

- Rivelatori criogenici
- Cercare una modulazione annuale del segnale



# Sono già stati rivelati i WIMPs ?

collaborazione DAMA



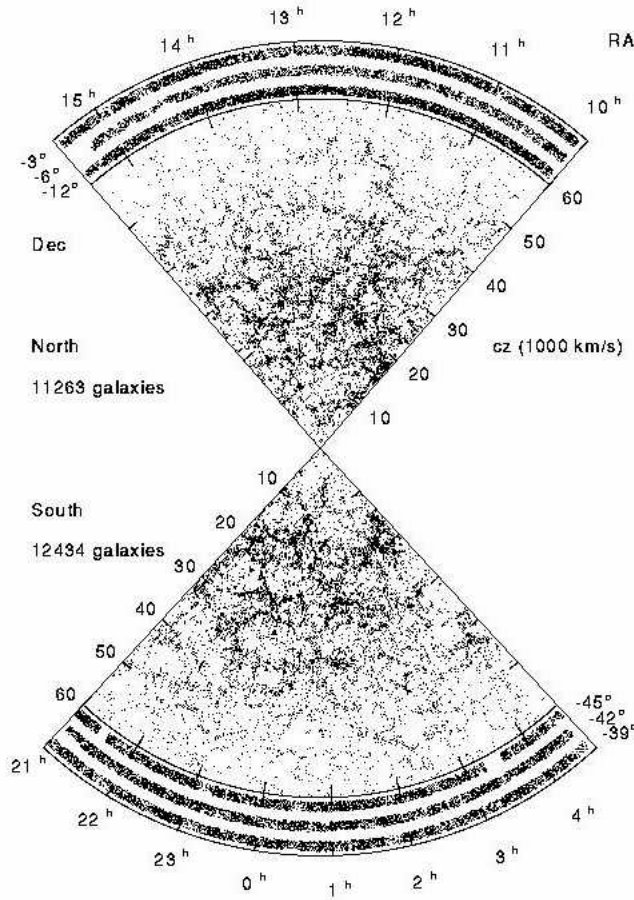
Resultati controversi e inconclusivi

# L'astronomia puo' discriminare fra neutrini e neutralini ?

- **Neutrini:** **Hot Dark Matter (HDM)**  
massa decimi di eV  $\Rightarrow$  m molto piccola
  - m molto piccola  $\Rightarrow$  alte velocita'  $\Rightarrow$  “caldi”
  - possono percorrere decine di Mpc nell'età dell'Universo

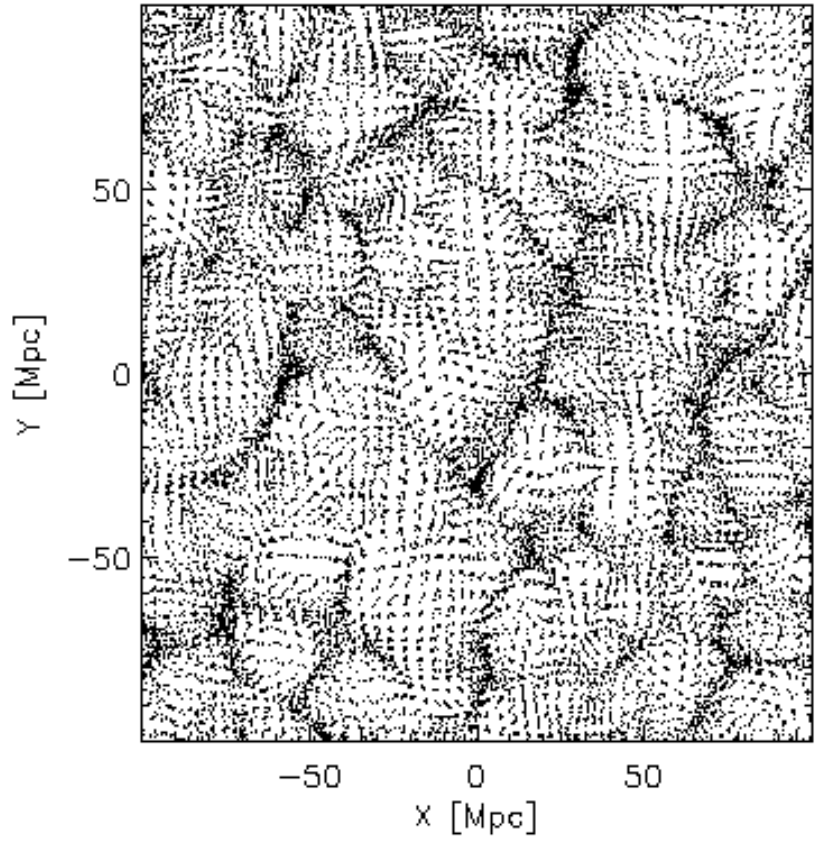
- **Neutralini:** **Cold Dark Matter (CDM)**
  - massa centinaia di GeV  $\Rightarrow$  m molto grande
  - m molto grande  $\Rightarrow$  basse velocita'  $\Rightarrow$  “freddi”
  - non possono percorrere grandi distanze nell'età dell'Universo

# distribuzione spaziale delle galassie

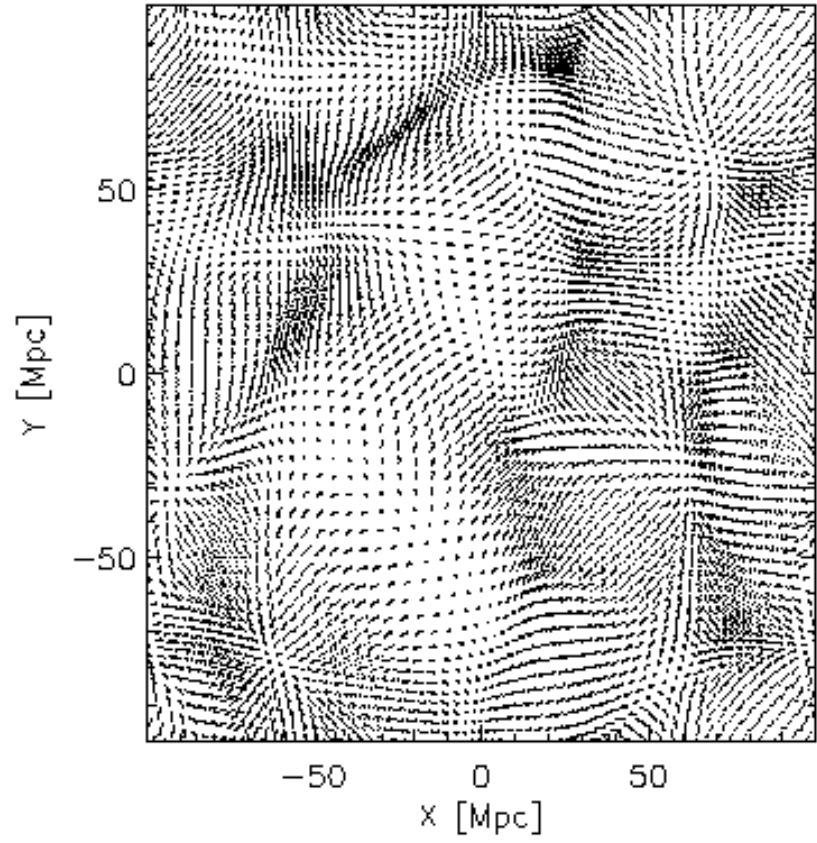


- Le Galassie non sono distribuite a caso ma correlate
- Misure quantitative : **funzione di correlazione a due punti  $\xi(r)$** : l'eccesso di probabilita' (paragonata al caso) di trovare una galassia alla distanza  $r$  da un'altra

# Puo' l'astronomia discriminare tra materia scura "hot" e "cold" ?



**CDM**



**HDM**

# Formazione delle strutture: HDM vs CDM

- **HDM:**

- inizia con strutture su piccola scala (più piccole di un ammasso di galassie) smussate a causa dell'alta velocità dei neutrini
- prima si formano gli ammassi ed i superammassi
- le galassie si formano per frammentazione di ammassi e superammassi che collassano

⇒ **formazione top-down delle strutture**

- **CDM:**
    - moltissime strutture su piccola scala
    - prima si formano le galassie piccole, ultimi gli ammassi
    - Le grandi strutture si formano per merging di strutture piccole
- ⇒ **formazione di strutture bottom-up o gerarchica**

# formazione gerarchica

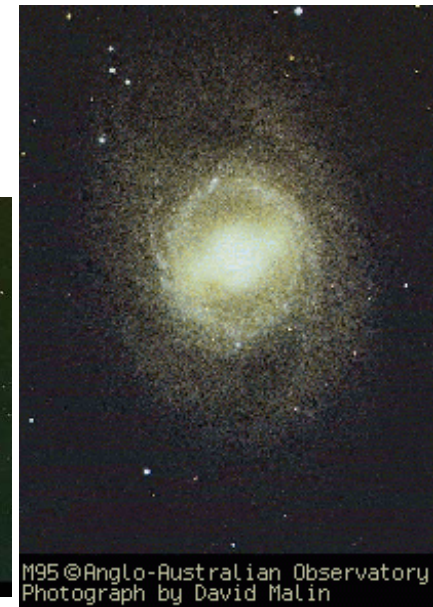
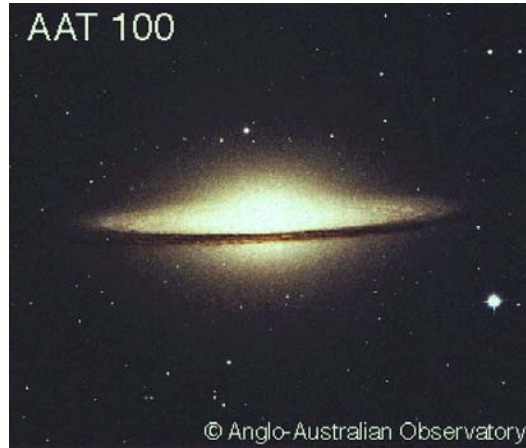


- CDM si adatta alle osservazioni molto meglio della HDM
  - \* le galassie ad alto  $z$  sono più piccole
  - \* la forma irregolare degli ammassi di galassie suggerisce che si sono formati di recente
  - \* ad alto redshift si vedono pochi ammassi ma molte galassie
  - \* nel contesto CDM la funzione di correlazione a due punti è meglio riprodotta

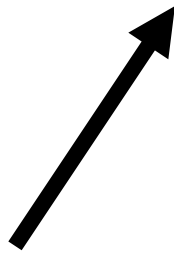
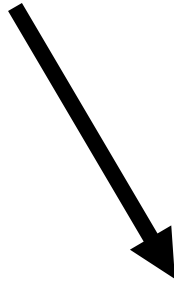




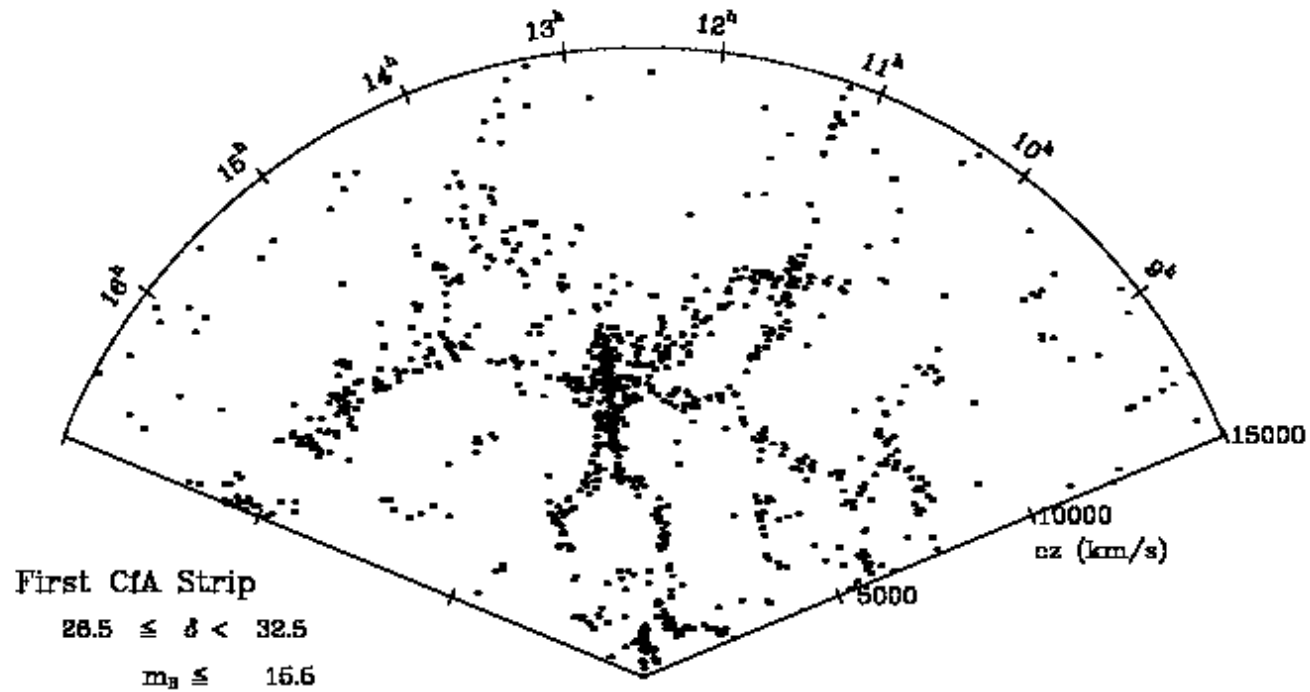
# La sequenza di Hubble



# Le ellittiche si formano da merging di spirali ?



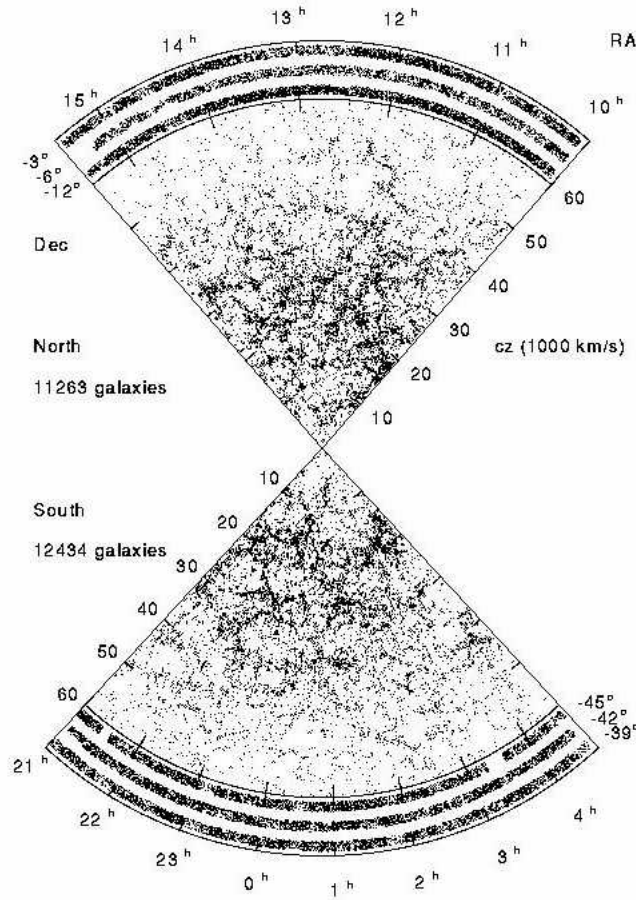
# le strutture su grande scala dell'Universo



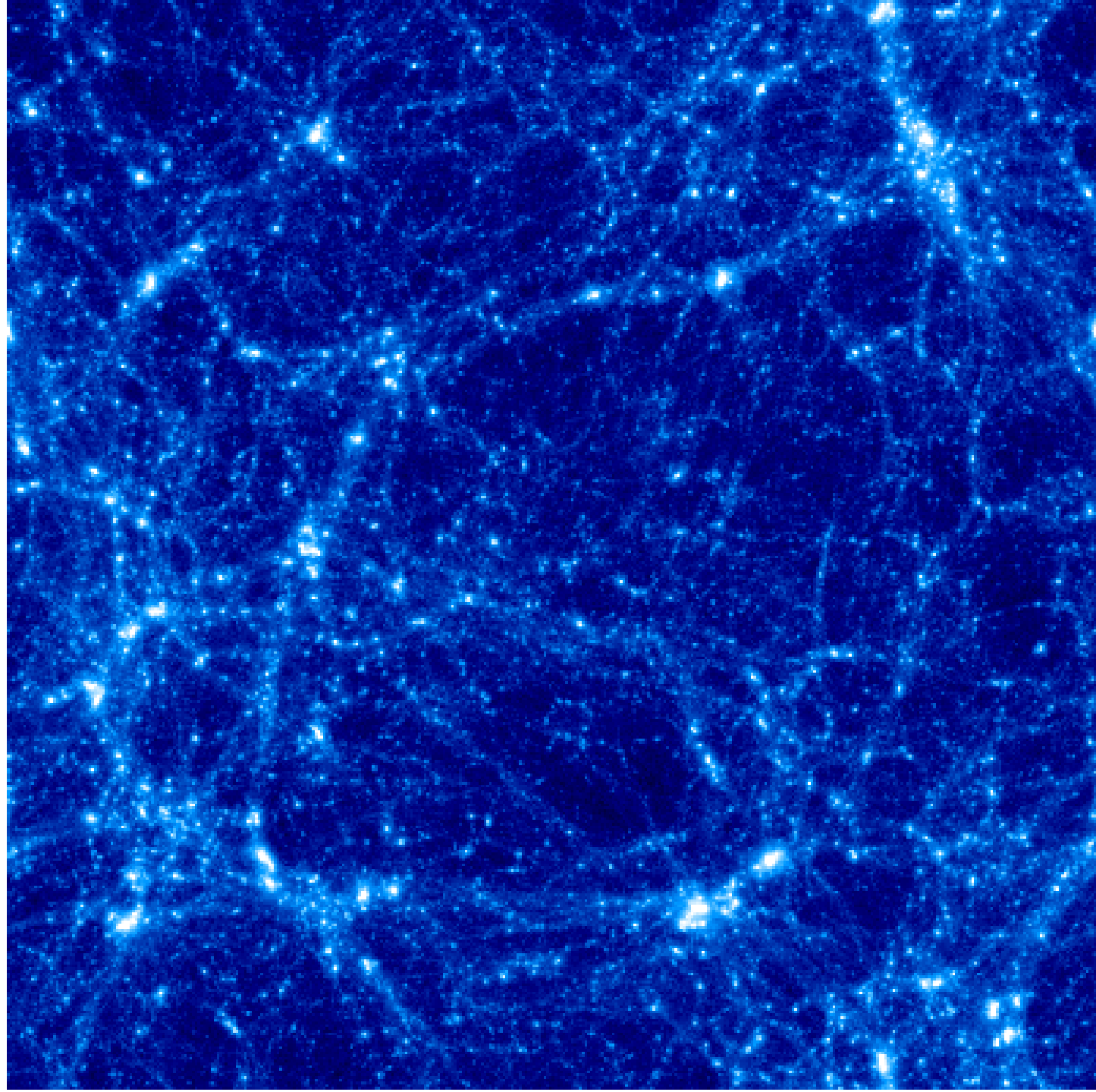
# Come si formano le strutture ?

- Pieghe nella CMB: regioni di bassa e alta temperatura
- Tali regioni corrispondono a **fluttuazioni di densità**, regioni di densità leggermente maggiore/minore della media
- Instabilità Gravitazionale
  - **Densità maggiore  $\Rightarrow$  + massa in un volume dato**
  - **+ massa  $\Rightarrow$  maggiore attrazione gravitazionale**
  - **Maggiore attrazione gravitazionale  $\Rightarrow$  la massa è attratta  $\Rightarrow$  densità ancora maggiore**

# distribuzione spaziale delle galassie



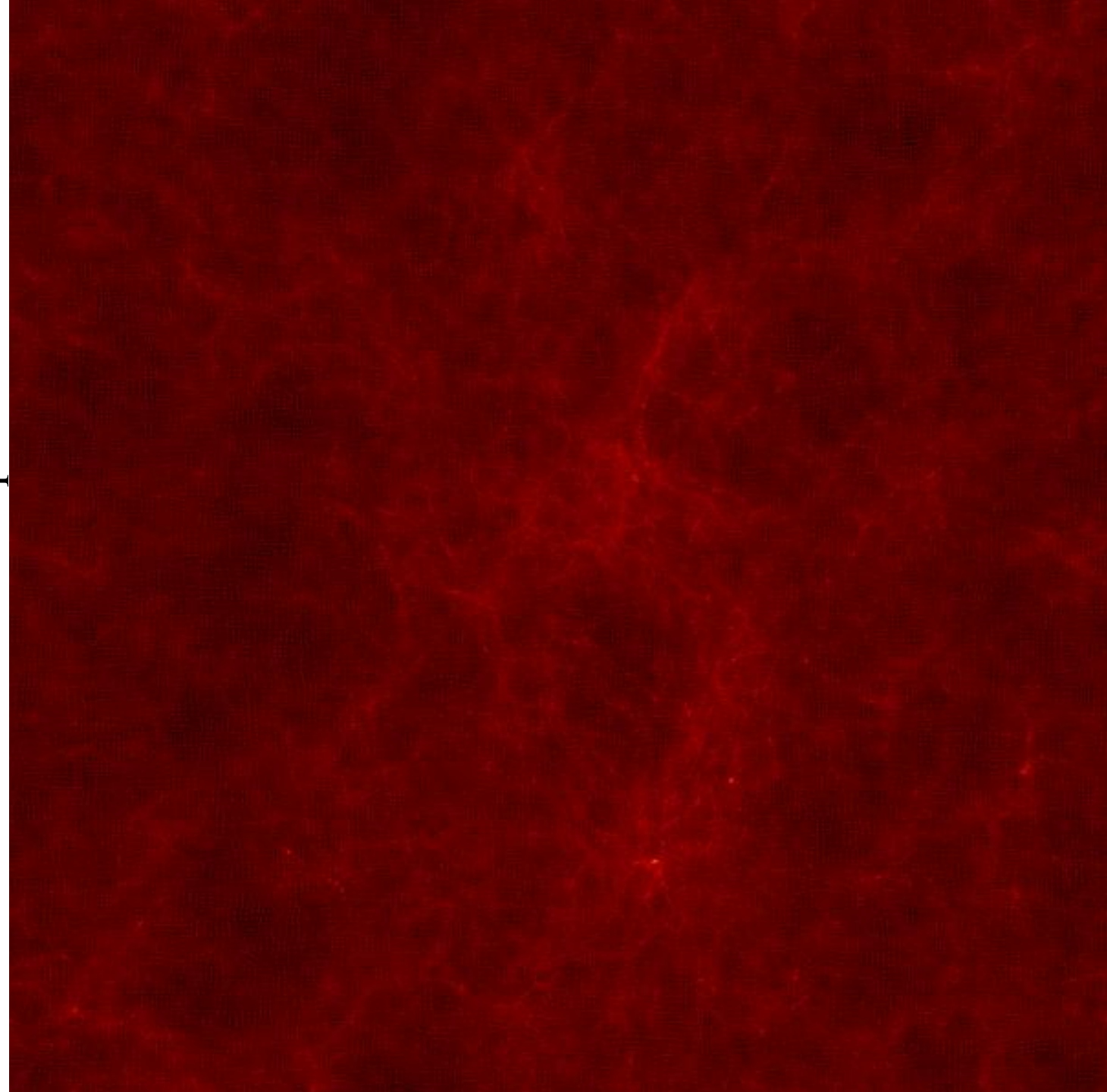
- Rete di strutture (filamenti, veli, muri)  $\Rightarrow$  “cosmic web”



**$z=9.00$**

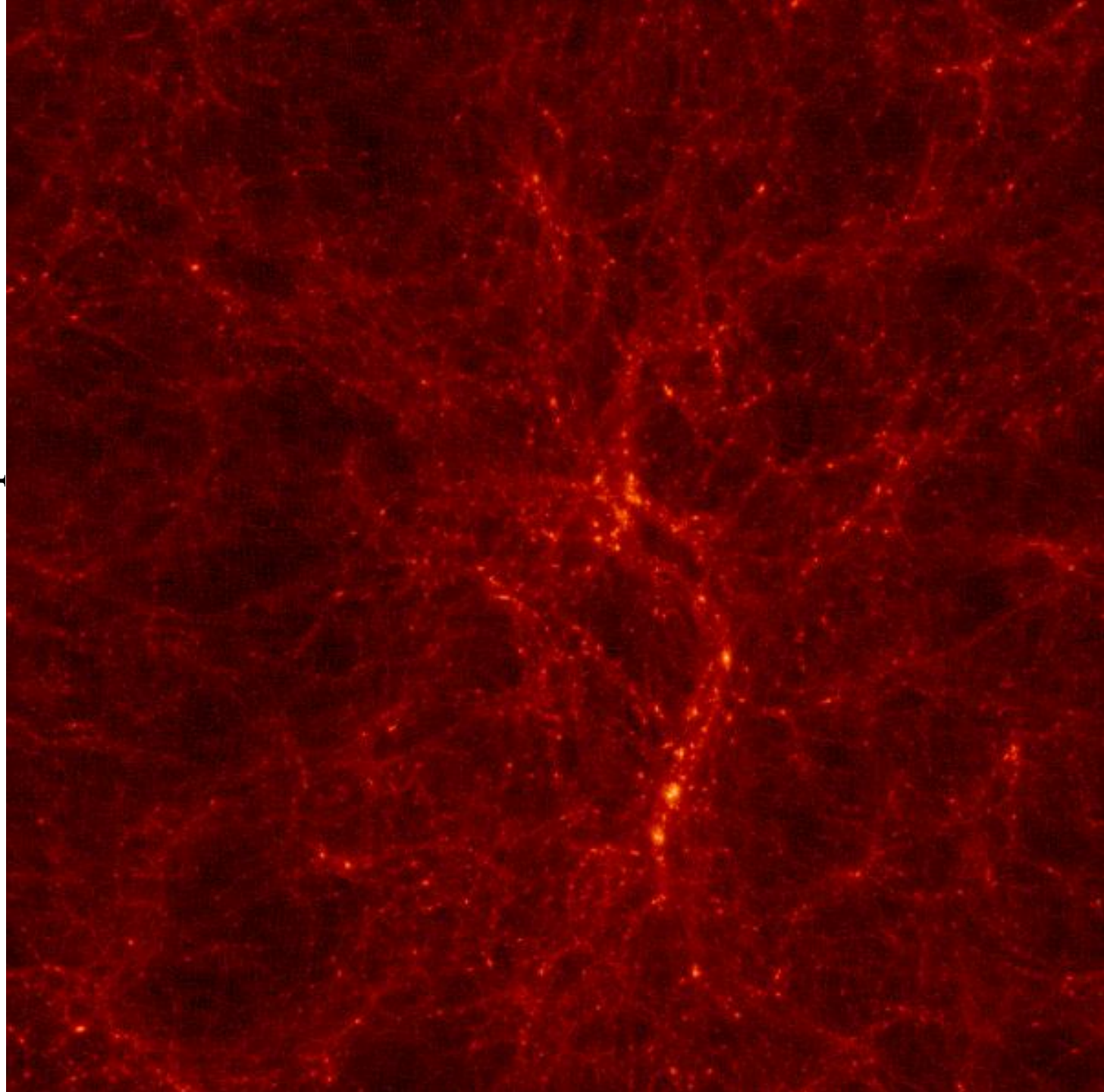
65 Mpc

50 milioni di  
particelle  
simulazione  
N-body



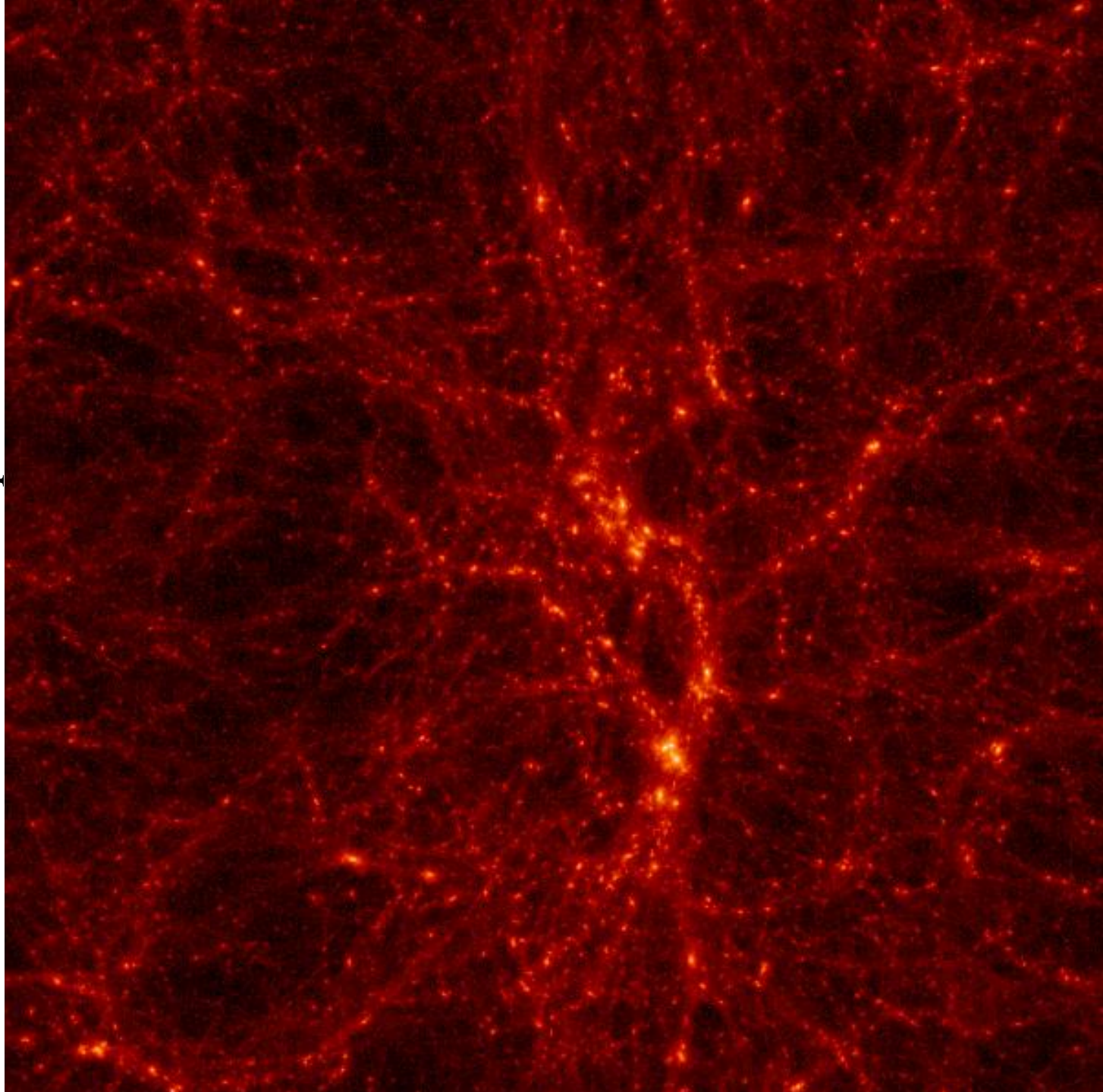
**$z=4.00$**

65 Mpc



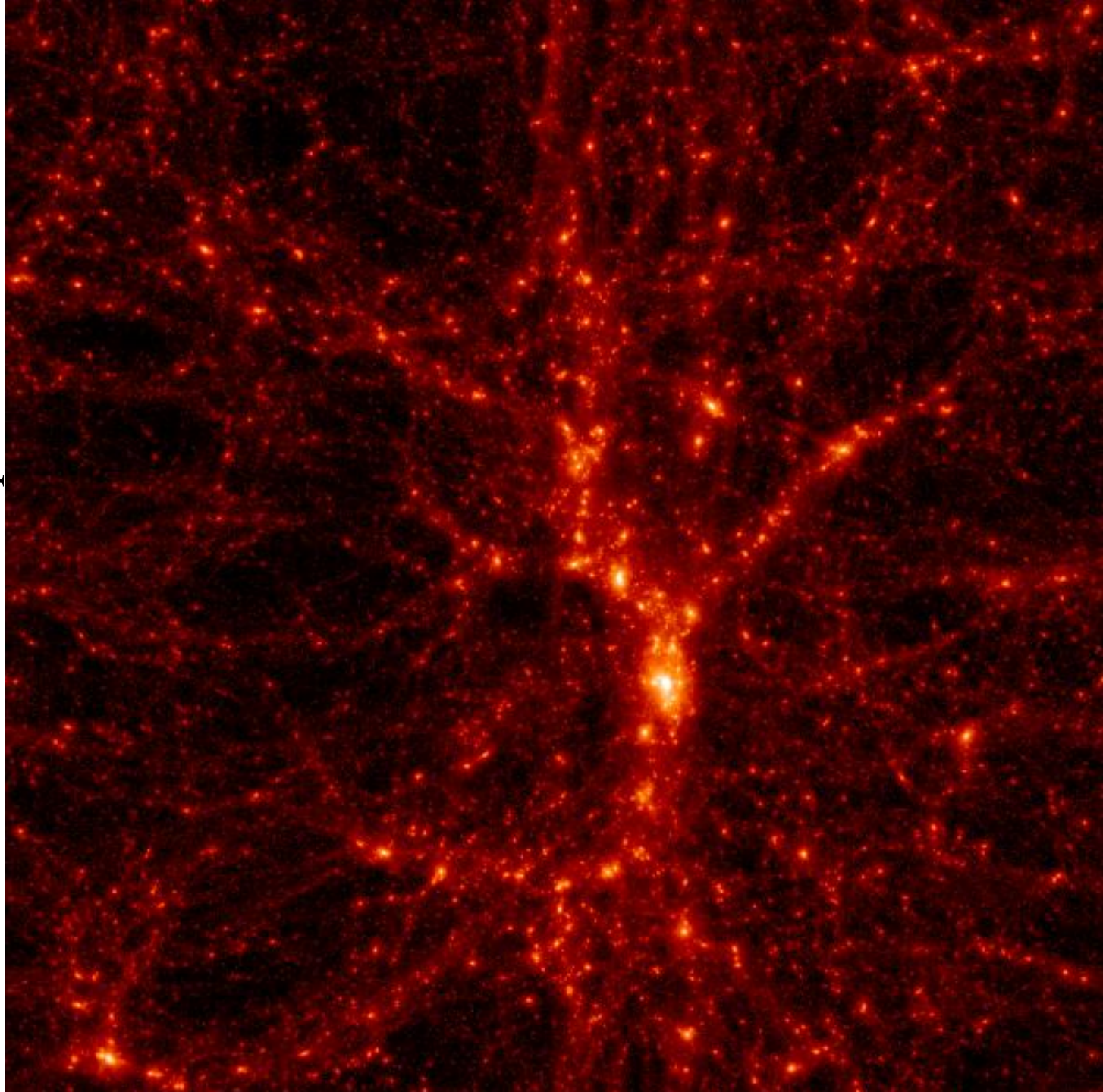
**$z=2.33$**

65 Mpc



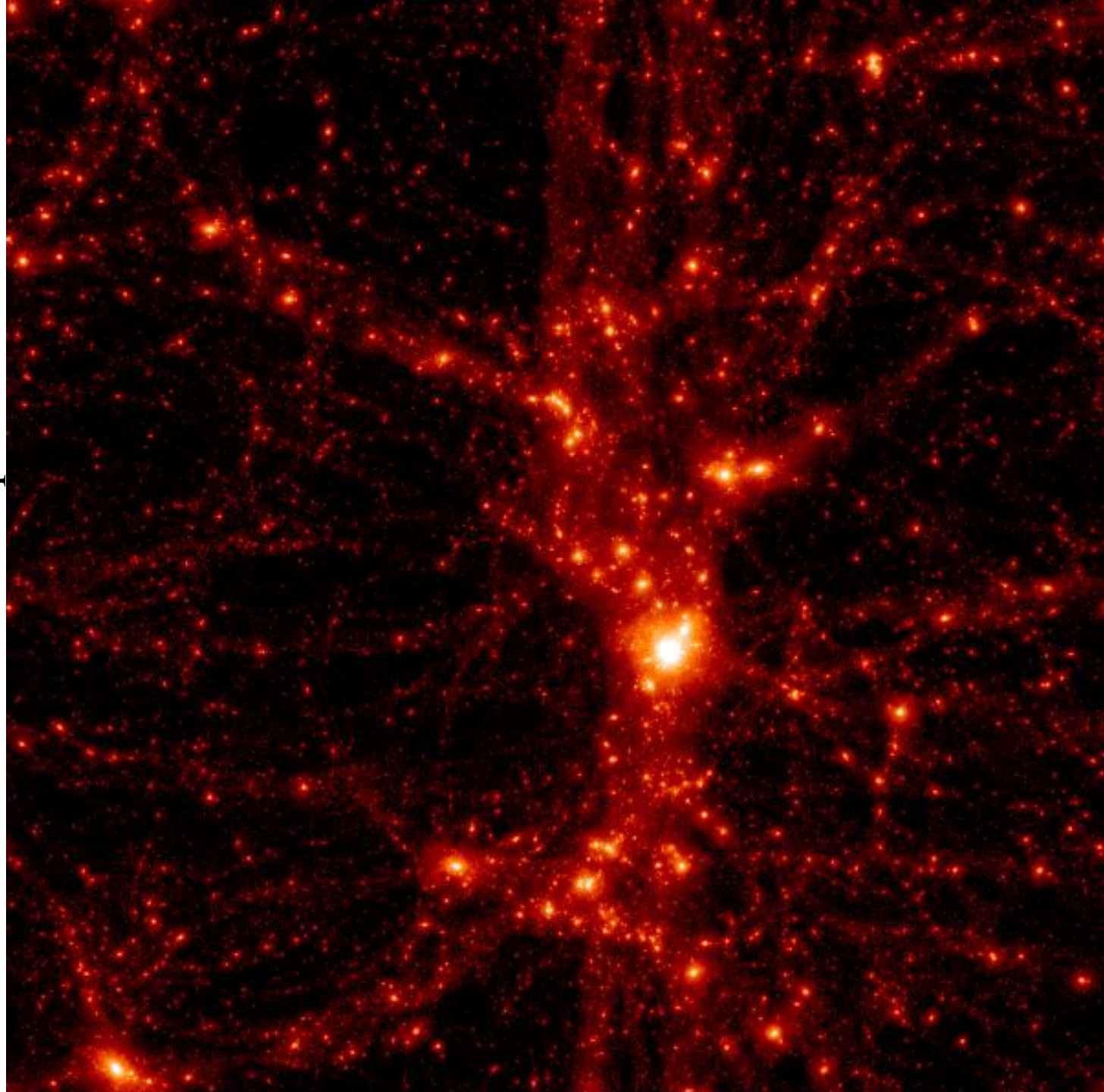
**$z=1.00$**

65 Mpc

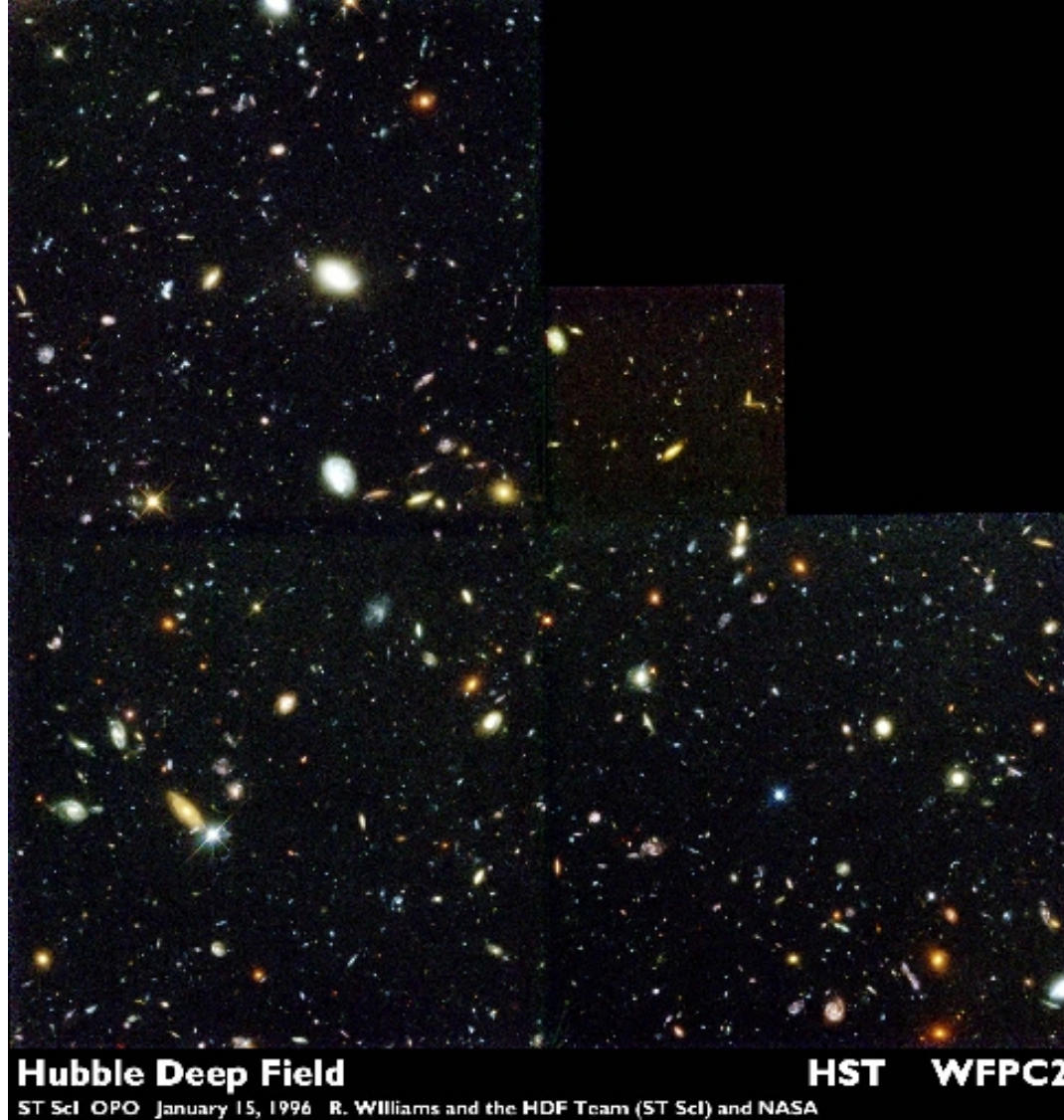


**$z=0.00$**

65 Mpc







**Come si incrementa la formazione di galassie ?**  
**Aggiungendo massa**

# Misurare la massa dell'Universo in termini di $\Omega_0$

$\forall \rho_{crit} = 8 \times 10^{-30} \text{ g/cm}^3 \approx 1 \text{ atomo ogni 200 litri}$

- Parametro di densità  $\Omega_0$

$$\Omega_0 = \frac{\rho}{\rho_{crit}} = \frac{3H_0^2 \rho}{8\pi G}$$

$\Omega_0 = 1$ : spazio piatto, in espansione continua  
(aperto)

$\Omega_0 > 1$ : geometria sferica, ricollassa (chiuso)

$\Omega_0 < 1$ : geometria iperbolica, in espansione  
continua

- Modello oggi favorito:  $\Omega_0 = 0.3$

# misure di massa

- Contare tutta la massa che si “vede”
- complesso, parte della massa potrebbe essere nascosta ...
- Usare la terza legge di Keplero: misurare la dinamica di un sistema e ricavare la massa
  - Per sistemi caldi (galassie ellittiche, cluster di galassie): misurare la velocità di dispersione (velocità casuale) dei componenti
  - Per sistemi freddi (galassie a disco): misurare le velocità orbitali delle stelle

# Tenere in conto tutte le masse ...

- Ostacolo: vogliamo la massa, ma vediamo la luce
- Procedura:
  - contare tutte le stelle che si vedono e moltiplicare per la loro luminosità  $\Rightarrow$  luminosità visibile totale
  - correggere per l'assorbimento da polvere  $\Rightarrow$  luminosità totale
  - convertire luminosità in massa usando il rapporto massa-luminosità
$$\Psi = \left[ \frac{M / M_{sun}}{L / L_{sun}} \right]$$
  - Per il Sole  $\Psi=1$  per definizione.

# Risultato finale:

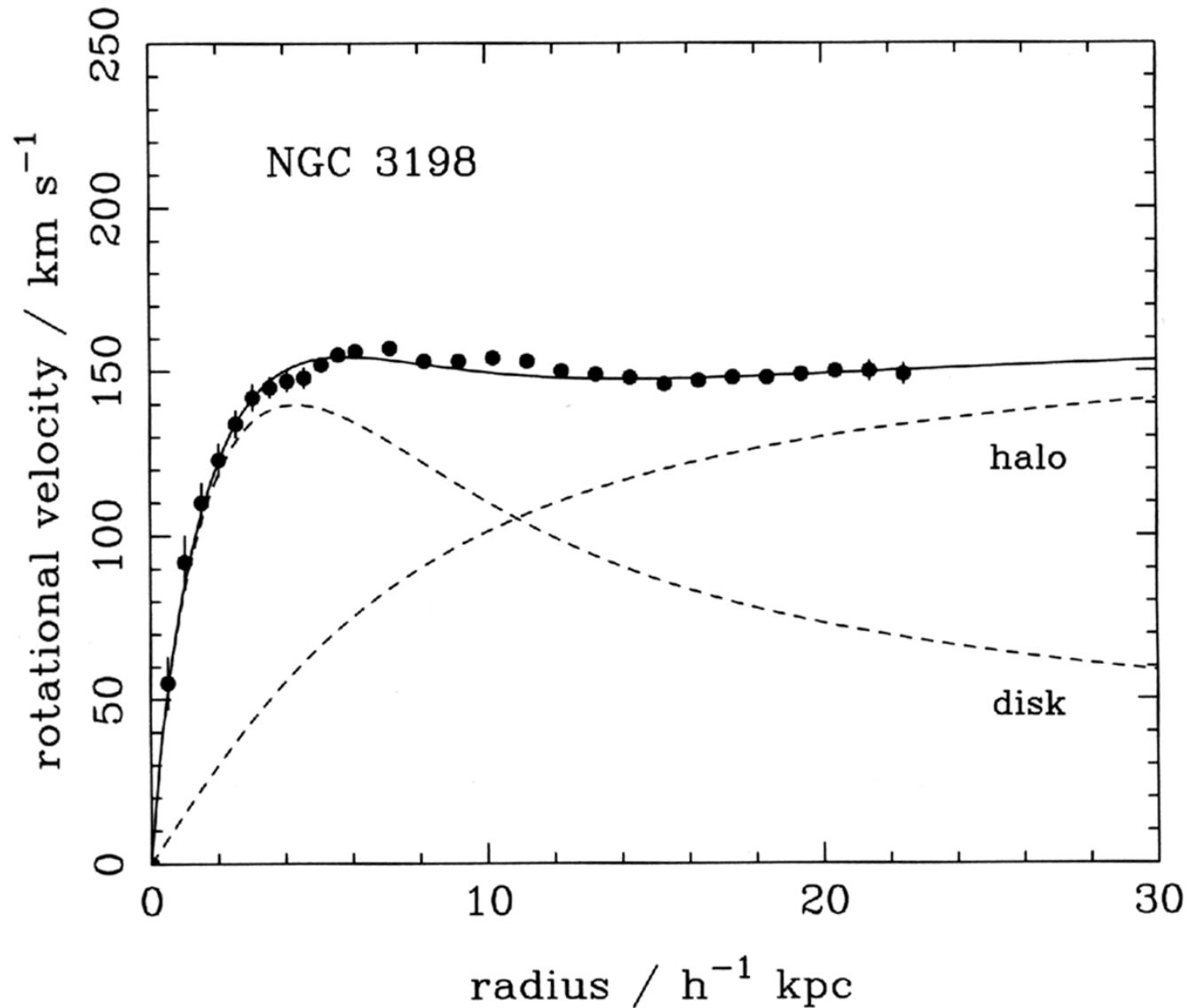
$$\Omega_* \cong 0.01$$

Implicazioni:

- Meno del limite dalla nucleosintesi  $\Omega = 0.04$  in barioni  $\Rightarrow$  consistente
- Gran parte dei barioni nell'Universo ( $\sim 75\%$ ) non sono luminosi [o troppo deboli per essere visibili]
  - gas e polvere
  - Resti stellari (NB, NS, BH)
  - Nane scure [stelle fallite]



# Evidenza di materia scura: curve di rotazione di galassie a spirale

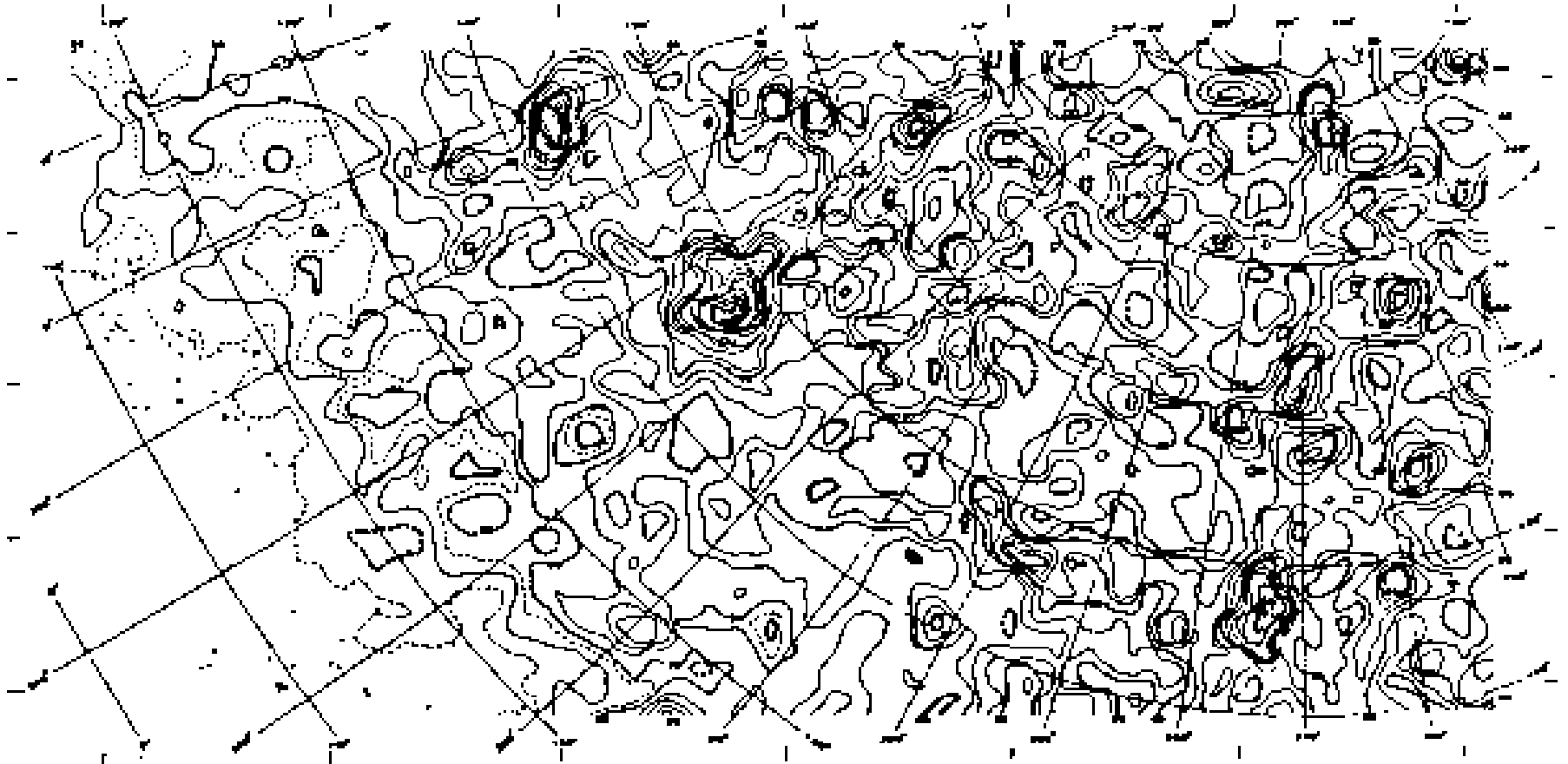


# Past galaxy surveys

NAME	$N_{obj}$	REF.
CAT. OF NEB. AND CLUSTERS	1000's	HERSCHEL (1864)
NEW GENERAL CATALOGUE	11,475	DREYER (1888, 1895, 1908)
HEIDELBERG NEBULAR LISTS	10,000+	WOLF (1901-1916), REINMUTH (1916-1940)
HUBBLE	44,000	[HUBBLE, 1934]
SHAPLEY	392,870	[SHAPLEY, 1938]
ABELL CLUSTERS	$\sim 3,000$	[ABELL, 1958]
LICK	1,000,000+	[SHANE AND WIRTANEN, 1967]
CGCG	30,700	[ZWICKY ET AL., 1968]
JAGGELONIAN FIELD	10,000	[RUDNICKY AND ET AL., 1973]
TEXAS RADIO SOURCES	65,208	[DOUGLAS, 1987]
EDINBURGH/DURHAM	40,000	[HEYDON-DUMBLETON ET AL., 1988]
ACO CLUSTERS	$\sim 3,000$	[ABELL ET AL., 1989]
AFM	2,000,000	[MADDOX ET AL., 1990A]
IRAS PSC	$\sim 14,000$	[SAUNDERS, 1996]

# Catalogo del Lick

- Ispezione visiva di lastre fotografiche
- Magnitudine limite  $\sim 18.5$
- Profondità effettiva  $300 h^{-1}$  Mpc



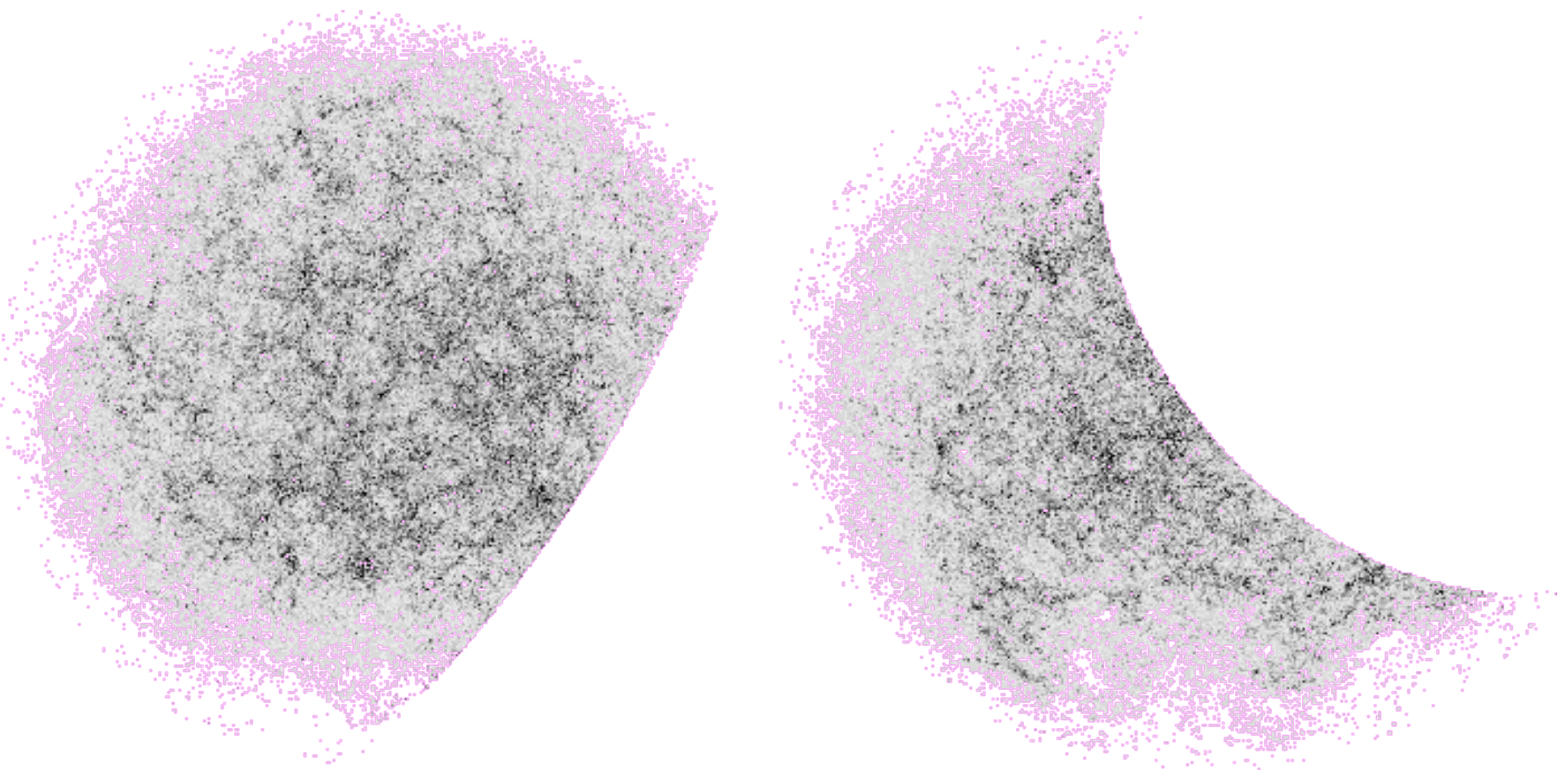
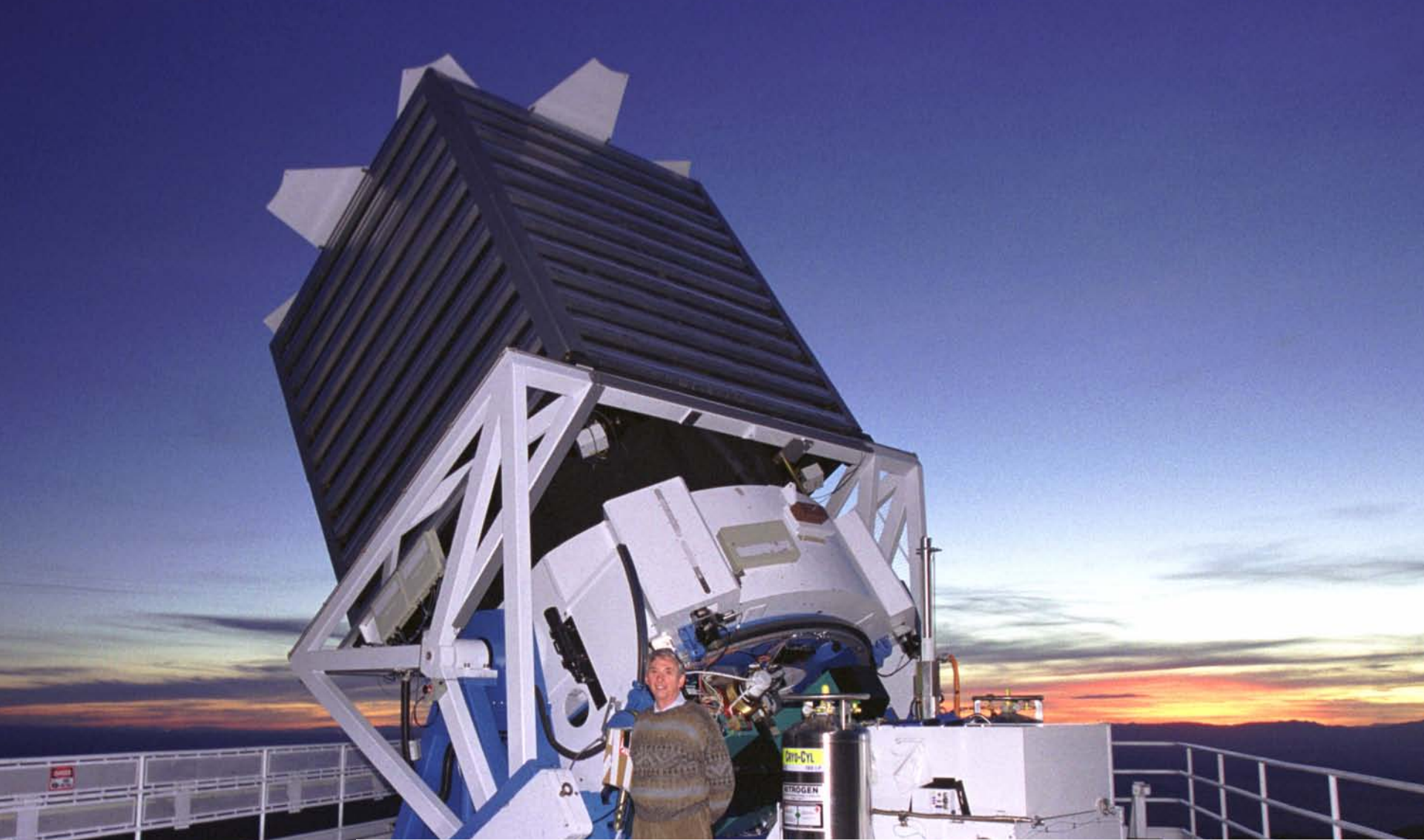


Figure 4.1: Lick survey in the Princeton representation made by [Seldner et al., 1977].

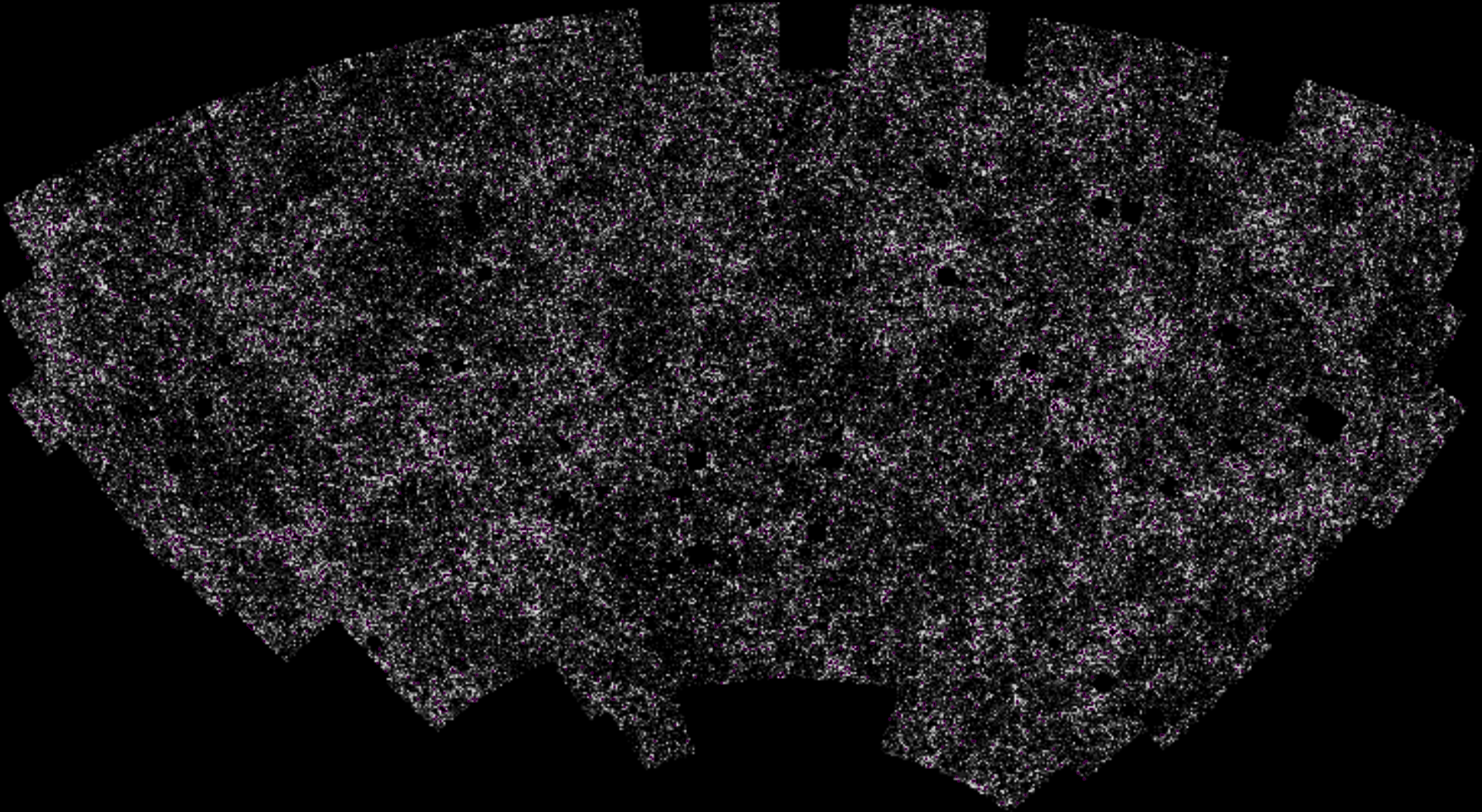


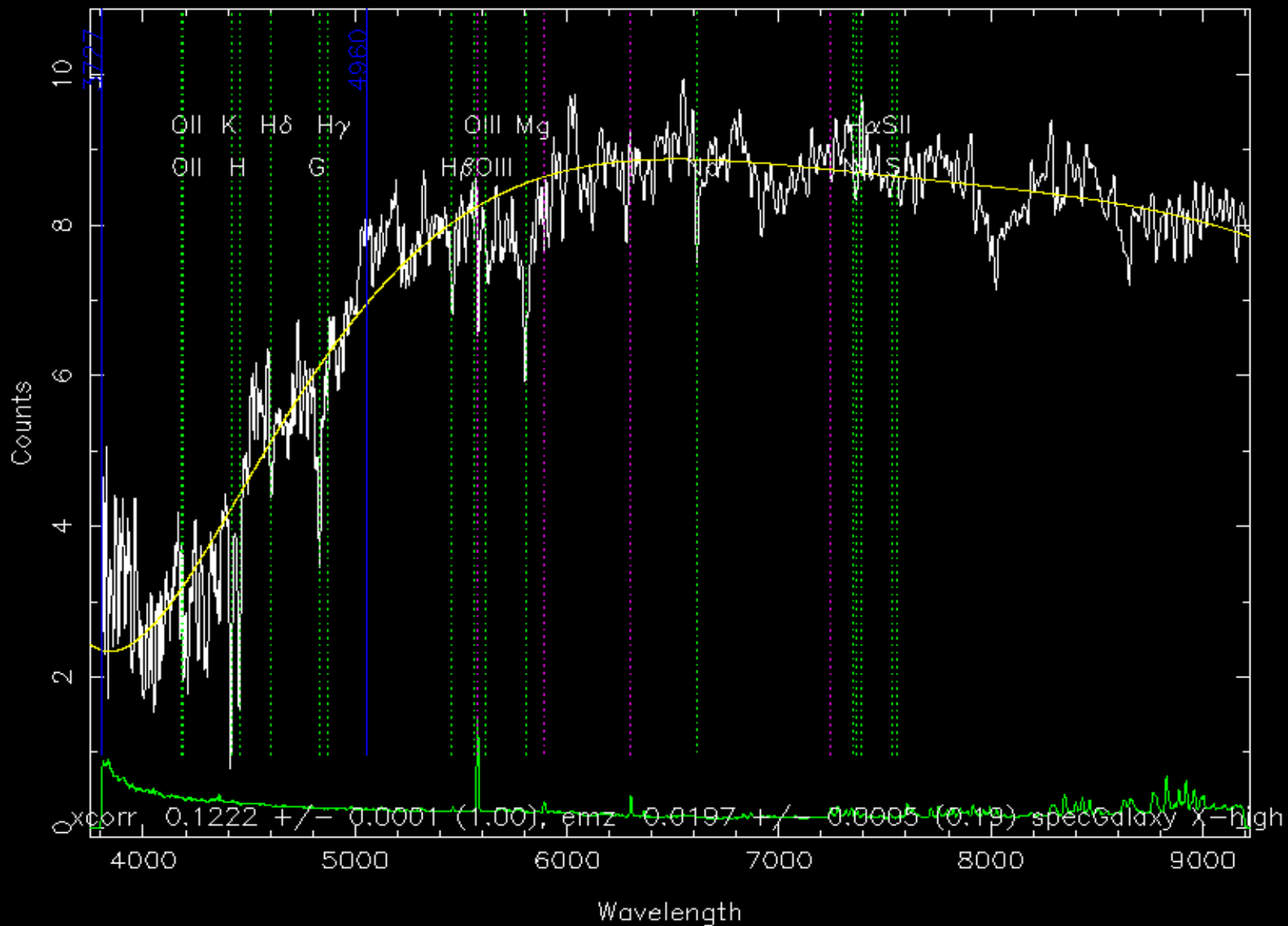
SDSS Project Director John Peoples poses at sunset in front of the 2.5-meter Survey telescope, located at Apache Point Observatory in New Mexico.

*Image credit: Dan Long, Apache Point Observatory*

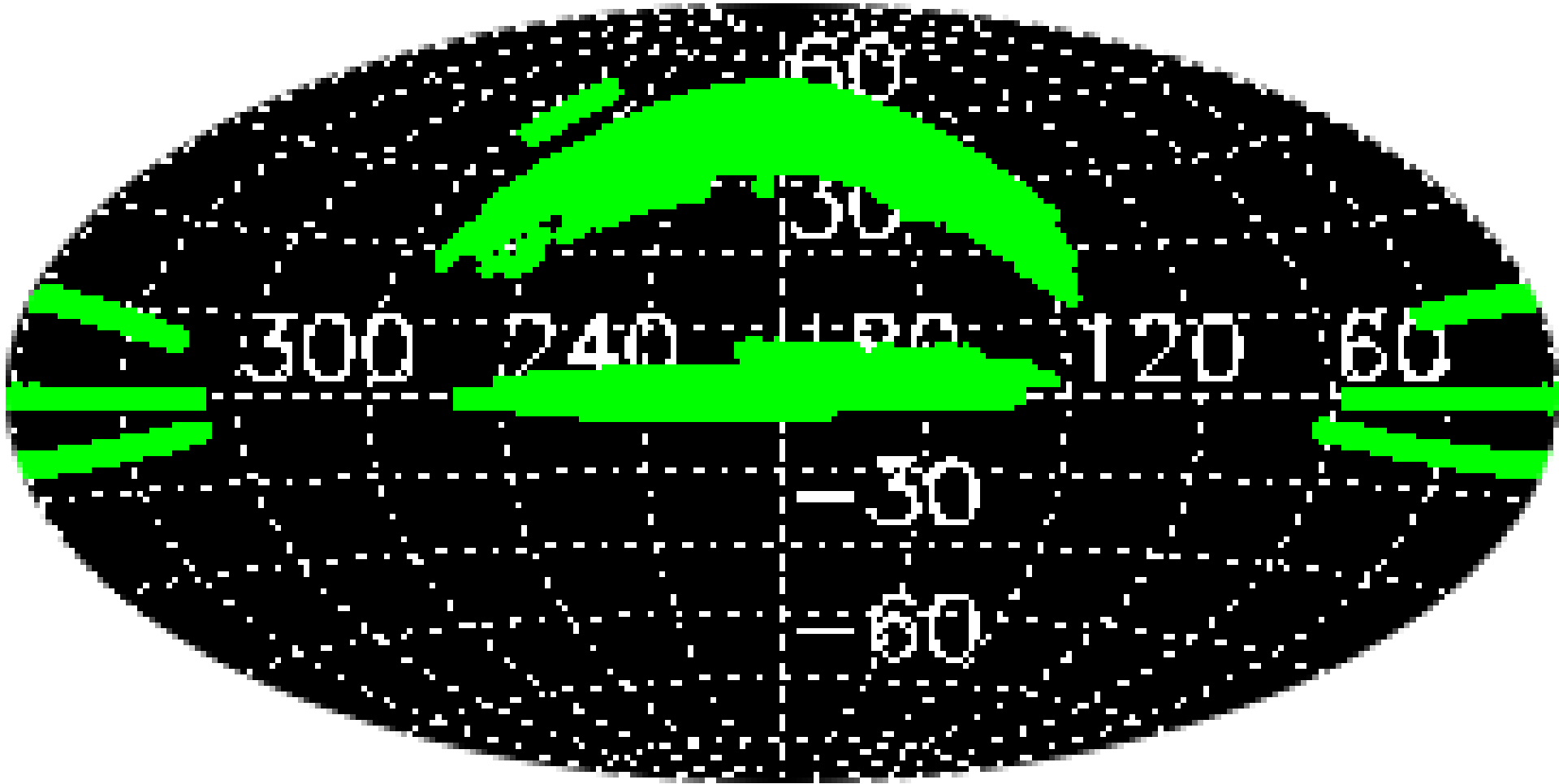
*Image distributed by: Fermilab Visual Media Services*

- APM = Automatic Plate Measurer  
distanza effettiva  $600 h^{-1}$  Mpc





# SDSS spectroscopic survey area



<http://www.sdss.org/dr3/>

Sloan Digital Sky Survey Team, NASA, NSF, DOE

