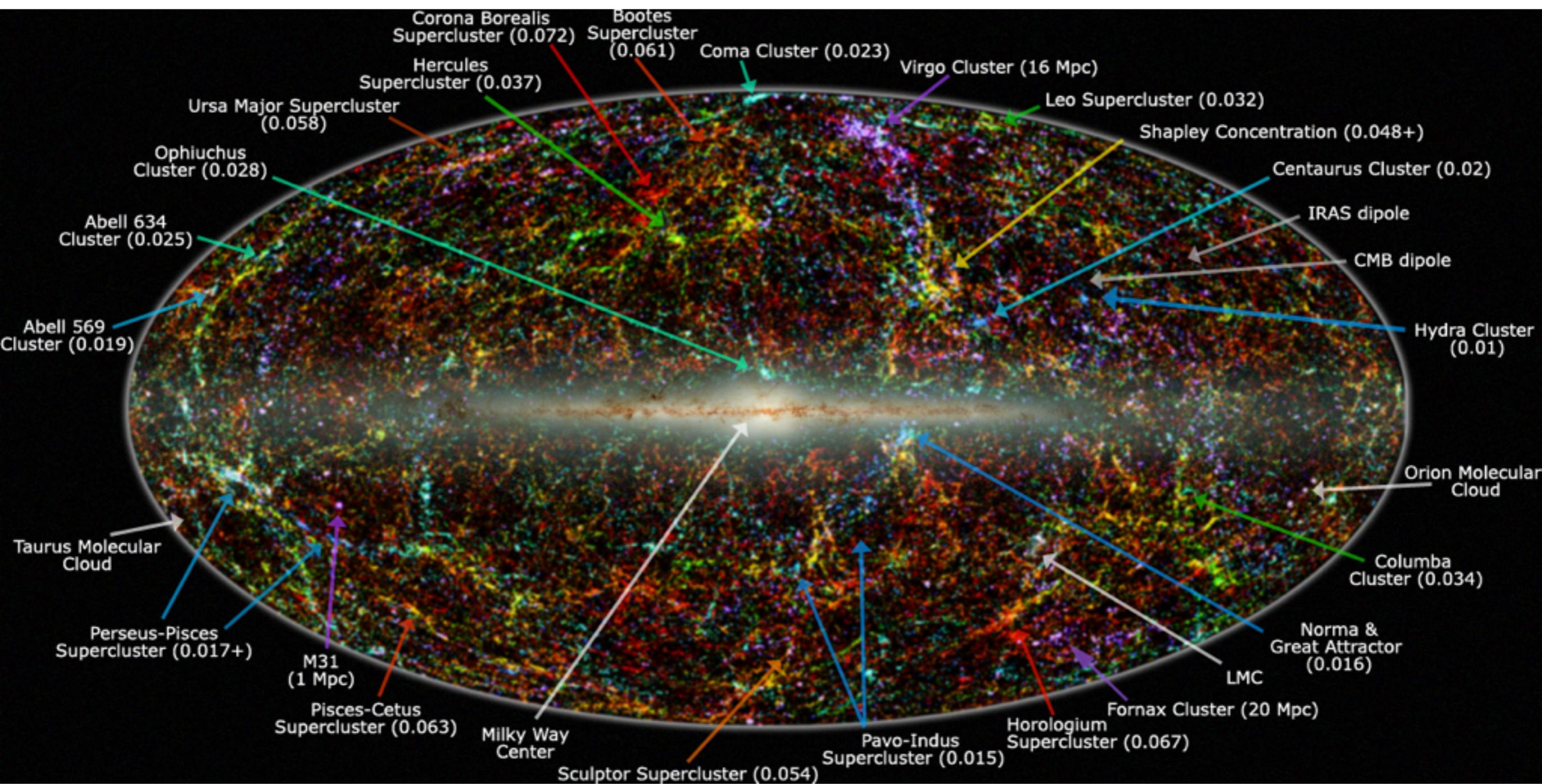


Estrutura em Larga Escala

Como o Universo de parece em larga escala?

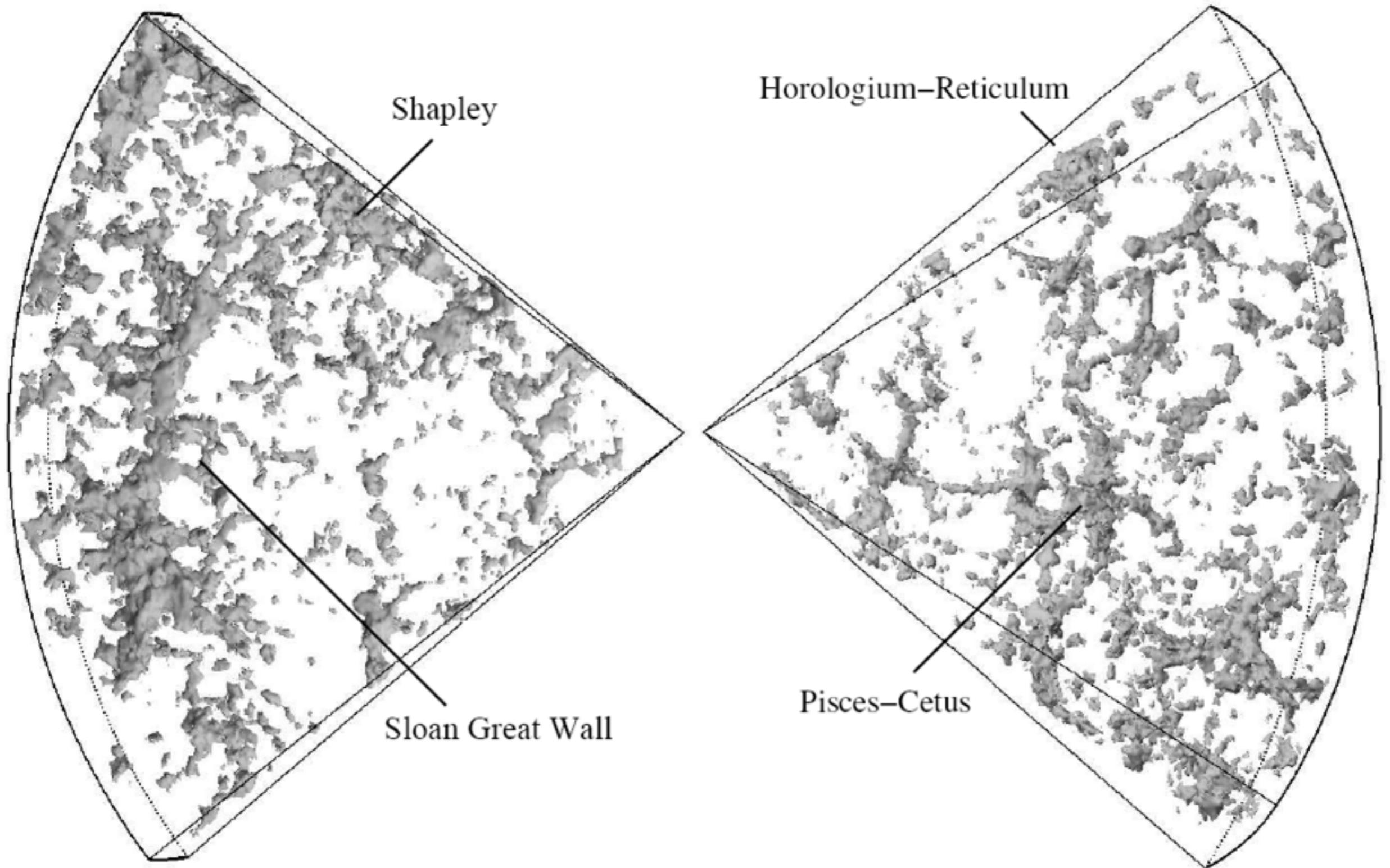
- Há duas abordagens pra responder essa pergunta:
 - Observacional: requer alguma medida da posição 3D de galáxias (ascensão reta, declinação, redshift) para uma **grande** quantidade de objetos
 - Teórica: simulações cosmológicas que partem das flutuações de densidade observadas na radiação cósmica de fundo (CMD) e evoluem gravitacionalmente com o Universo
- No aspecto teórico, as simulações cosmológicas estão cada vez mais sofisticadas
- No aspecto observacional, os surveys tiveram um papel essencial nesse estudo
 - Mas também há estudos usando lentes gravitacionais e floresta Lyman-alpha



Astronomia de *Surveys*

- Espectroscopia Longslit
 - CfA Redshift Survey: 2200 galáxias, 1977 - 1982
 - CfA2 redshift survey: 15000 galáxias, completado no início da década de 90
- Espectrógrafos Multi-slit ou de Fibra óptica
 - 2dF Galaxy Redshift Survey (221000 redshifts, completado em 2002)
 - Sloan Digital Sky Survey (aproximadamente 1 milhão de redshifts em 2007)
 - Galaxy And Mass Assembly survey (375000 galáxias)
- Universo de alto redshift (cerca de 50000 redshifts cada)
 - DEEP2 Redshift Survey
 - VIMOS-VLT Deep Survey (VVDS)

Reconstrução baseada no 2dF Galaxy Redshift Survey



2dF

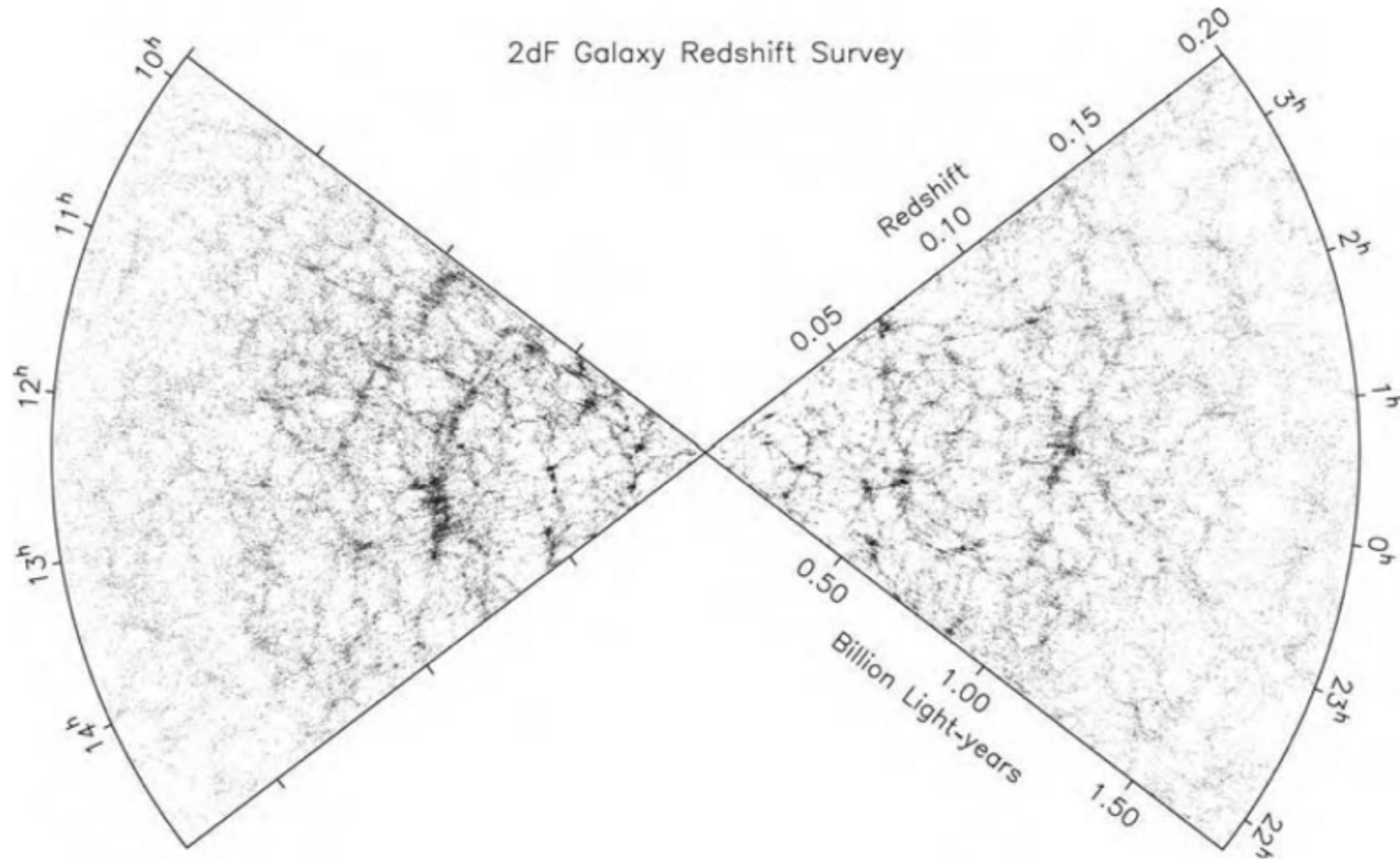


Fig. 8.3. A ‘wedge diagram’ of 93 170 galaxies from the 2dF survey with the Anglo-Australian 4-meter telescope, in slices $-4^\circ < \delta < 2^\circ$ in the north (left wedge) and $-32^\circ < \delta < -28^\circ$ in the south (right) – M. Colless *et al.* 2001 *MNRAS* **328**, 1039.

Estrutura em Larga Escala

- Organizada hierarquicamente, de grupos para aglomerados, para superaglomerados, para paredes e filamentos que são separados por espaços gigantescos de vazio (voids), criando a chamada "Cosmic Web"
- Mas, e o Princípio Cosmológico?
 - *End of Greatness*: corresponde a uma escala observacional no qual o Universo se torna homogeneizado e isotrópico, $\sim 100\text{Mpc}$

Relação morfologia-densidade

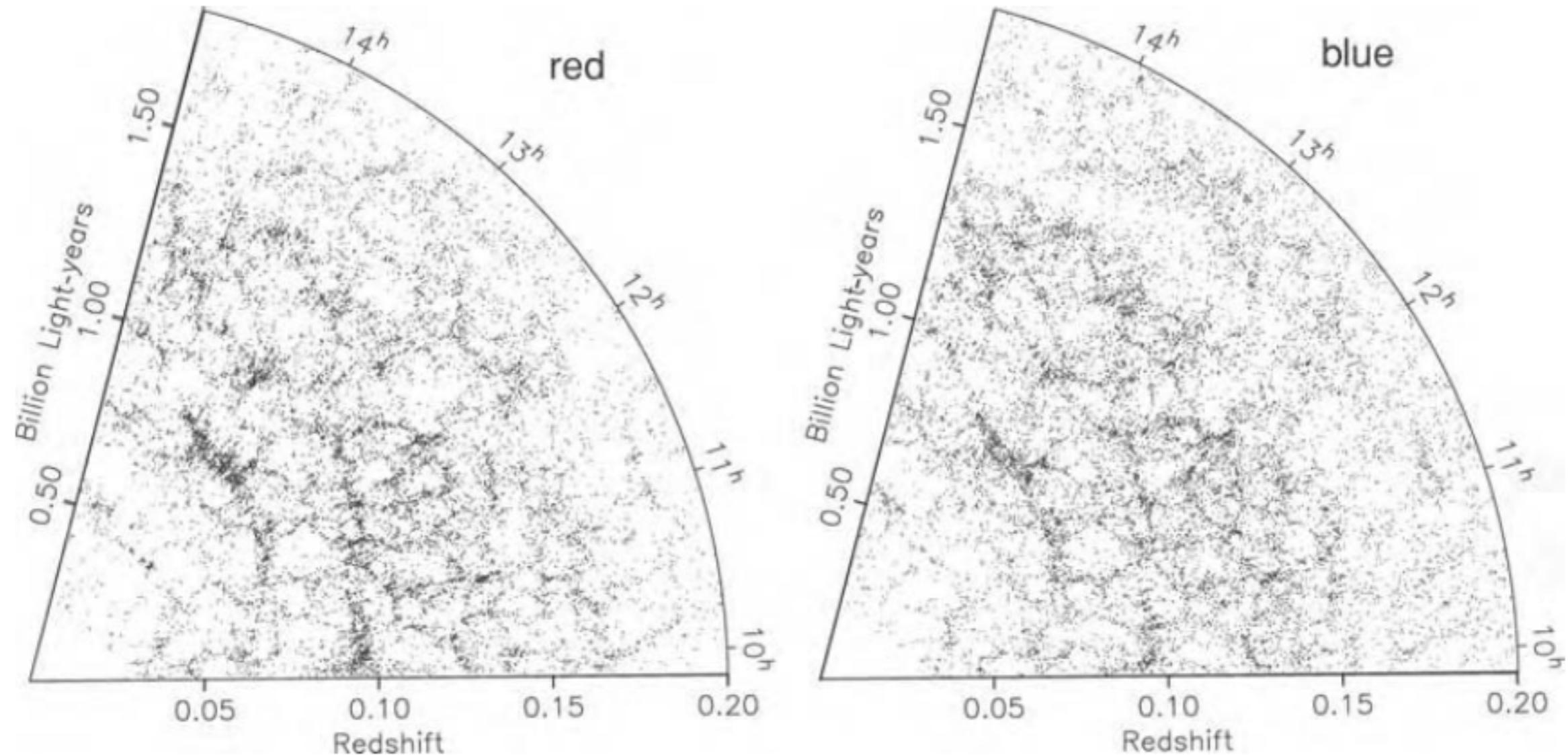


Fig. 8.5. About 27 000 red galaxies (left) with spectra like those of elliptical galaxies, and the same number of star-forming blue galaxies (right), in a slice $-32^\circ < \delta < -28^\circ$ from the 2dF survey. These are luminous galaxies, with $-21 < M(B_J) < -19$. The elliptical and S0 galaxies cluster more strongly than the spiral-like systems.

Redshifts Fotométricos

- Futuros surveys fotométricos (J-PAS, LSST) terão um papel importante nas próximas décadas.
- Mas a determinação de redshift vem de fotometria, não espectroscopia...

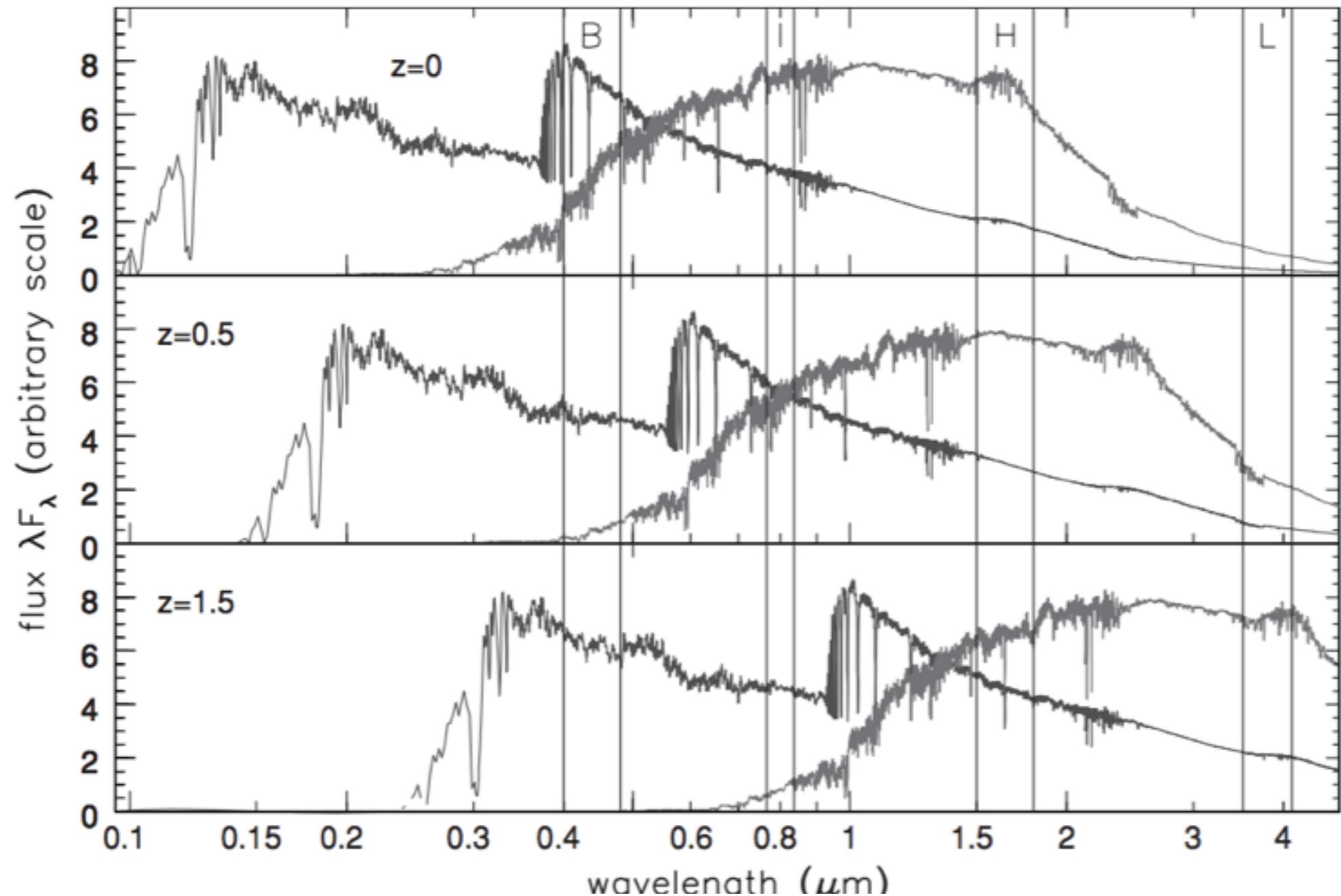


Fig. 8.12. Spectra of two model galaxies: the stars of the bluer system formed in a single burst 100 Myr ago, while those of the redder galaxy are all 4 Gyr old. Vertical lines show *B*, *I*, *H*, and *L* wavelength regions from Figure 1.7. The top panel shows the emitted light of each galaxy, while the lower panels illustrate how the redshift affects the relative brightness in each bandpass. The energy in each wavelength region is proportional to the area under the curve – S. Charlot.

Redshifts Fotométricos

- Módulo de distância:

$$m_{\text{BP}} = M_{\text{BP}} + 5 \log_{10} \left(\frac{d_{\text{L}}}{10 \text{ pc}} \right) + k_{\text{BP}}(z) + e_{\text{BP}}(z).$$

- Correção k

$$k_{\text{BP}}(z) \equiv 2.5 \log_{10}(1 + z) - 2.5 \log_{10} \left\{ \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}[\lambda/(1 + z), t_0] d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda, t_0) d\lambda} \right\},$$

Photometric Redshifts based on standard SED fitting procedures

Micol Bolzonella^{1,2,3}, Joan-Marc Miralles⁴, Roser Pelló³

¹ Istituto di Fisica Cosmica “G. Occhialini”, via Bassini 15, I-20133 Milano, Italy

² Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Milano, via Celoria 16, I-20133 Milano, Italy

³ Observatoire Midi-Pyrénées, UMR 5572, 14 Avenue E. Belin, F-31400 Toulouse, France

⁴ Astronomical Institute, Tohoku University, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan

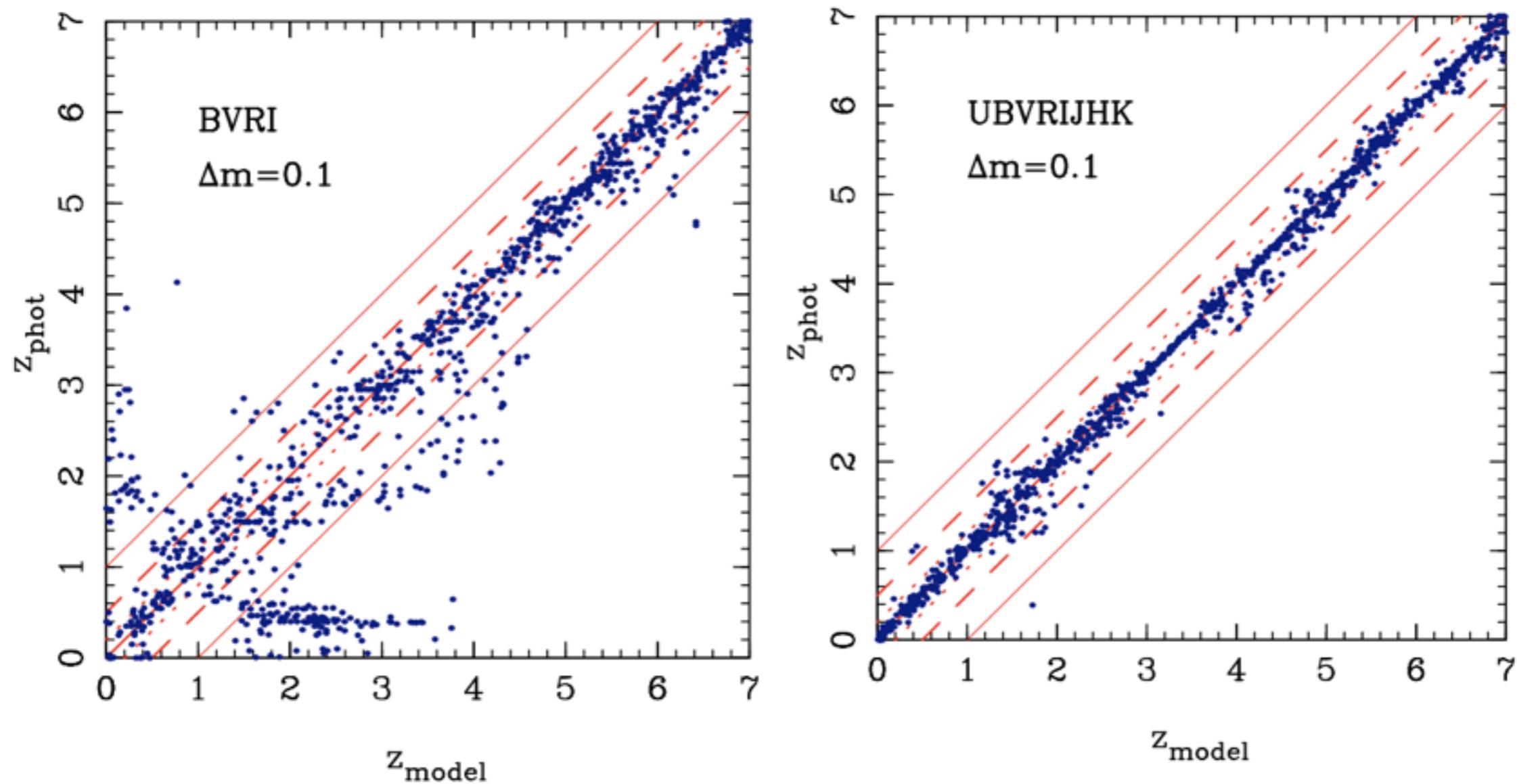


Fig. 2. Comparison between z_{model} and z_{phot} for simulated catalogues with $\Delta m = 0.1$ and filters sets *BVRI*, *UBVRI*, *UBVRIJ*, *UBVRIK*, *BVRIJK*, *UBVRIJHK*. Dotted lines correspond to $\Delta_z = 0.2$, dashed lines to $\Delta_z = 0.5$ and thin solid lines to $\Delta_z = 1$.

E do ponto de visto teórico/computacional...

- A estrutura em larga escala observada nasceu das diminutas flutuações de temperatura (que correspondem a flutuações de densidade) observadas na radiação cósmica de fundo

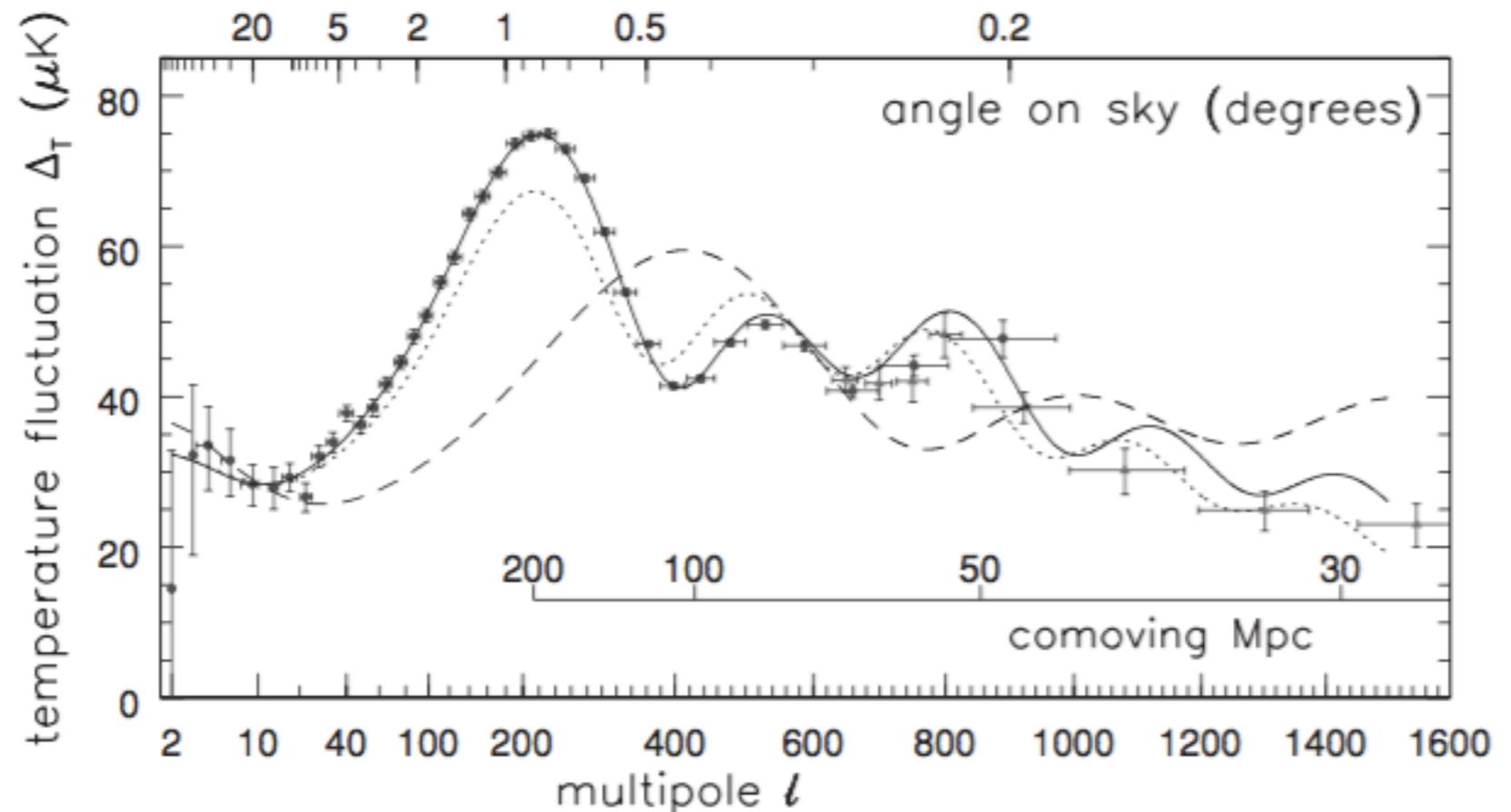
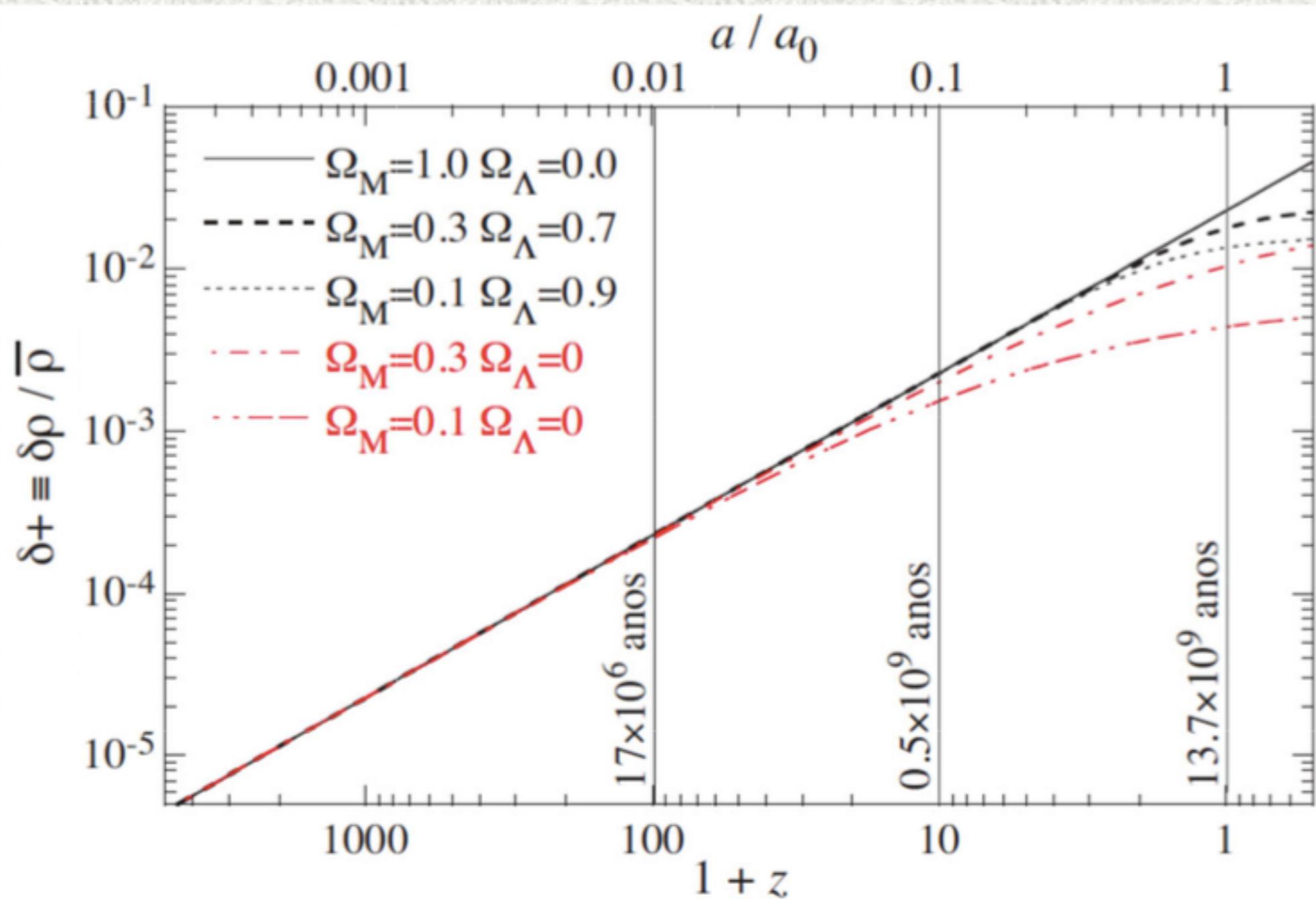


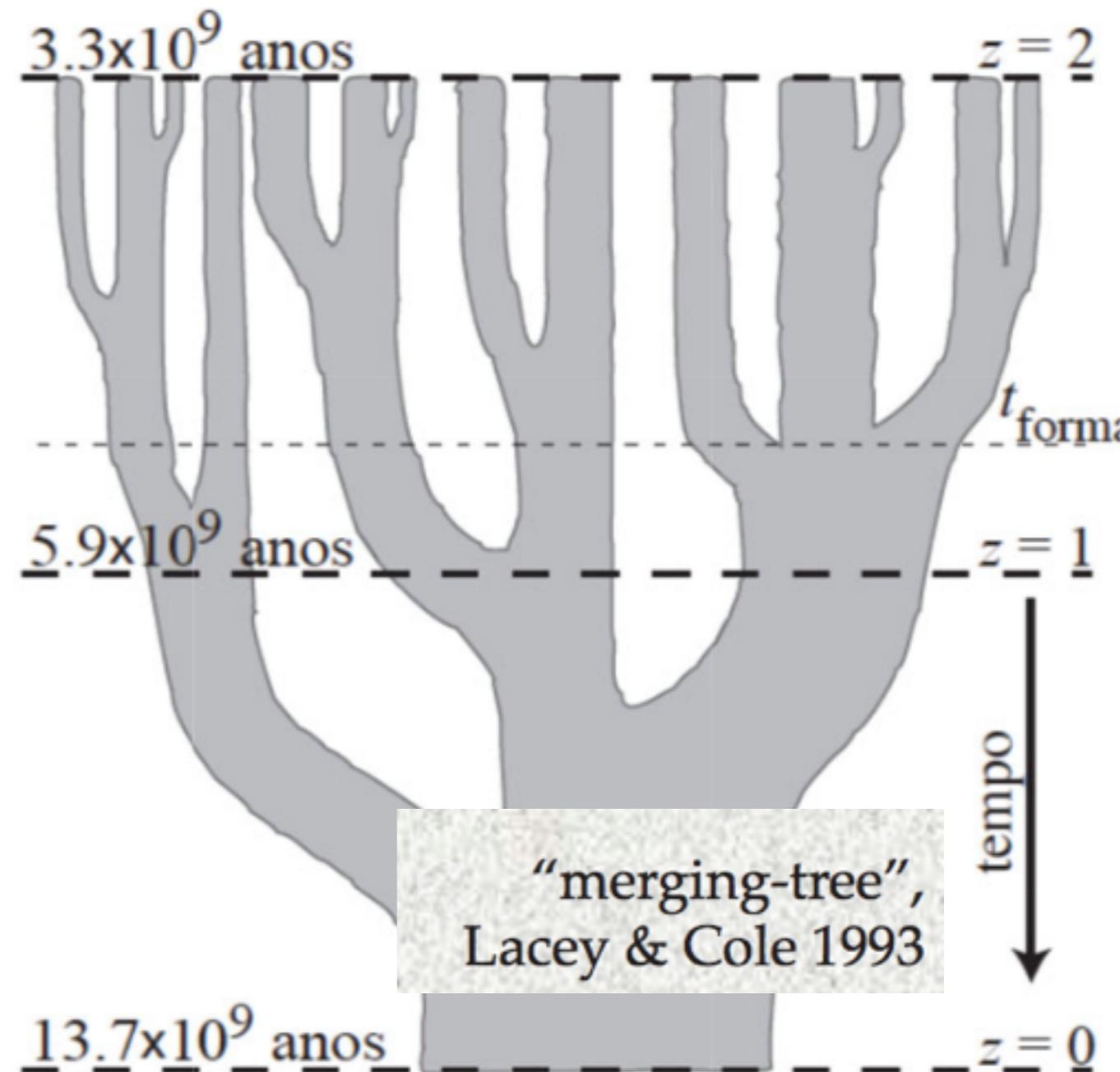
Fig. 8.14. Temperature fluctuations Δ_T in the cosmic microwave background: triangular points combine data from many experiments, circles are from WMAP. Horizontal bars show the range of angular scales. Curves show predictions for the benchmark model (solid), for a flat model with half as many baryons (dotted), and for $\Omega_0 = 0.3$, $\Lambda = 0$ (dashed). The second, third, and subsequent peaks correspond to regions that sound waves could cross twice, three times, etc., before recombination. When l is small, we have few a_l^m to average over (only five for $l = 2$), and vertical bars indicate larger uncertainties – M. Tegmark, CMBFAST.

Evolução de uma perturbação linear

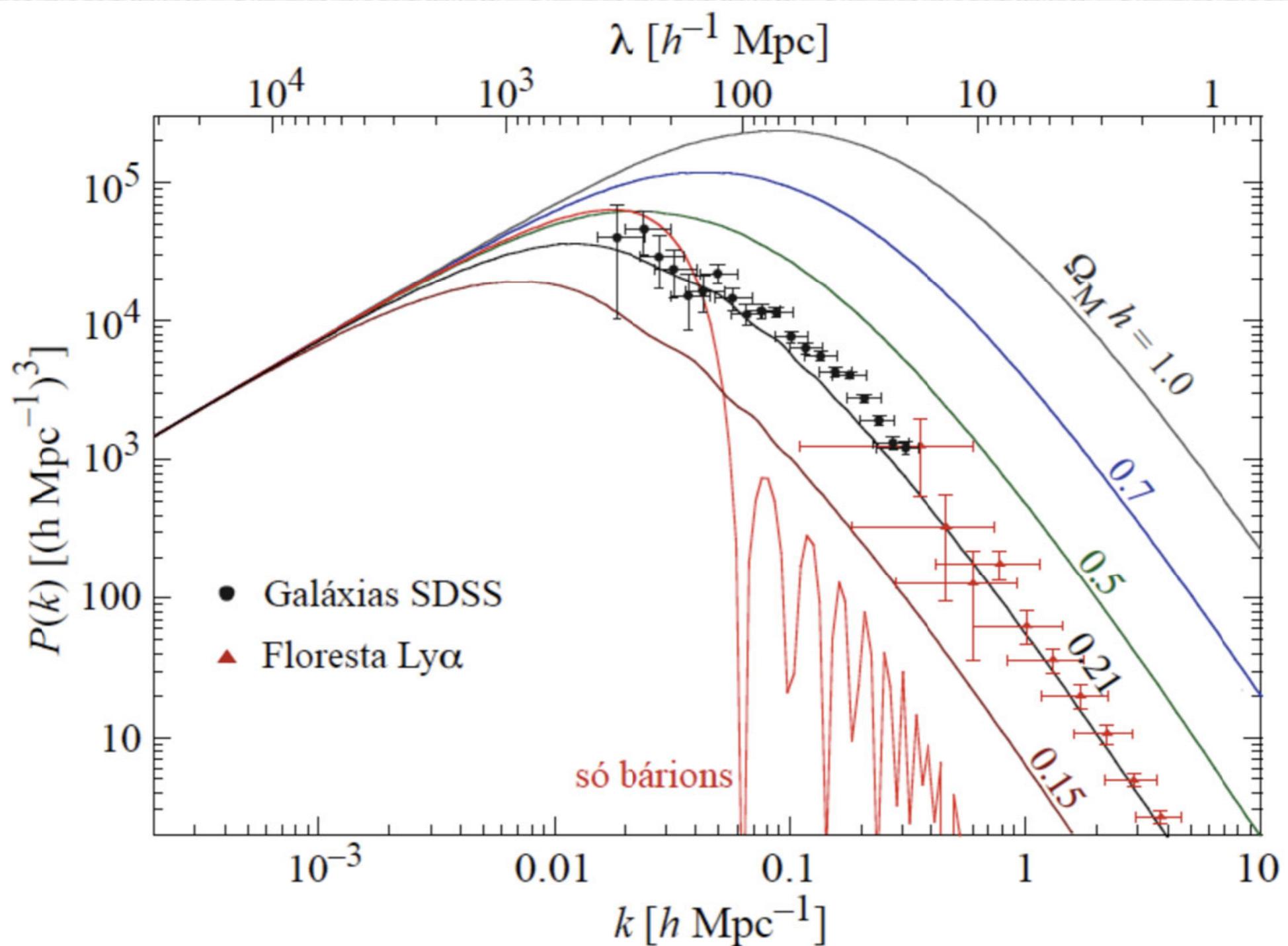


Evolução das perturbações

- Todas as componentes do Universo - fótons, bárions e matéria escura - tem que ser consideradas
- Perturbações bariônicas só podem crescer depois da recombinação $z \sim 1100$
 - a estrutura em larga escala observada hoje é ainda outra evidência para a matéria escura
 - matéria escura quente forma estrutura top-down
 - matéria escura fria forma estrutura hierárquica



Dependência com parâmetros cosmológicos



Simulações Cosmológicas

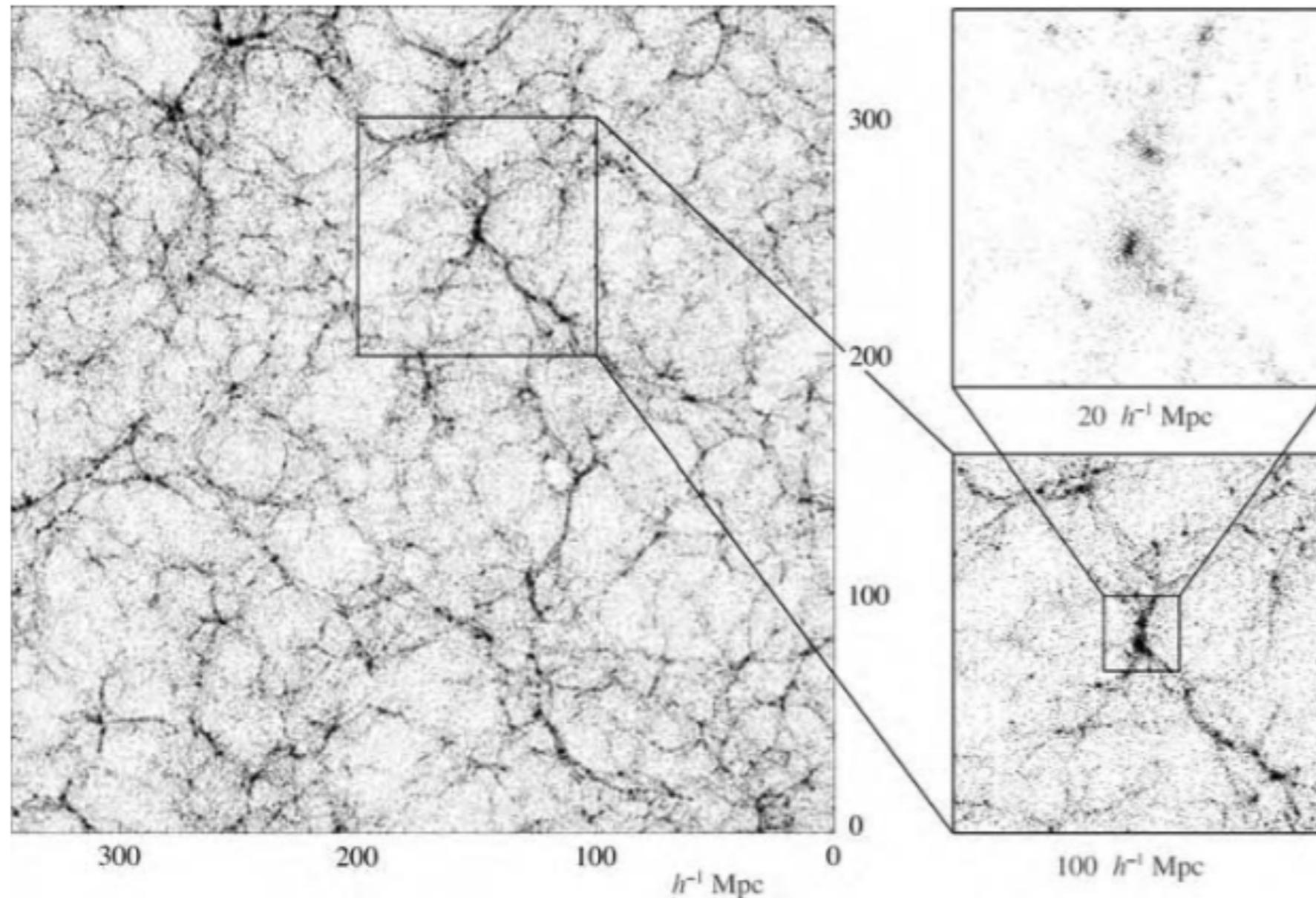


Fig. 8.16. A slice $20h^{-1}$ Mpc thick, through a gravitational N -body simulation with cold dark matter, viewed at the present day. Side frames show magnified views of dense clumps; galaxy groups would form in these ‘dark halos’ – D. Weinberg.

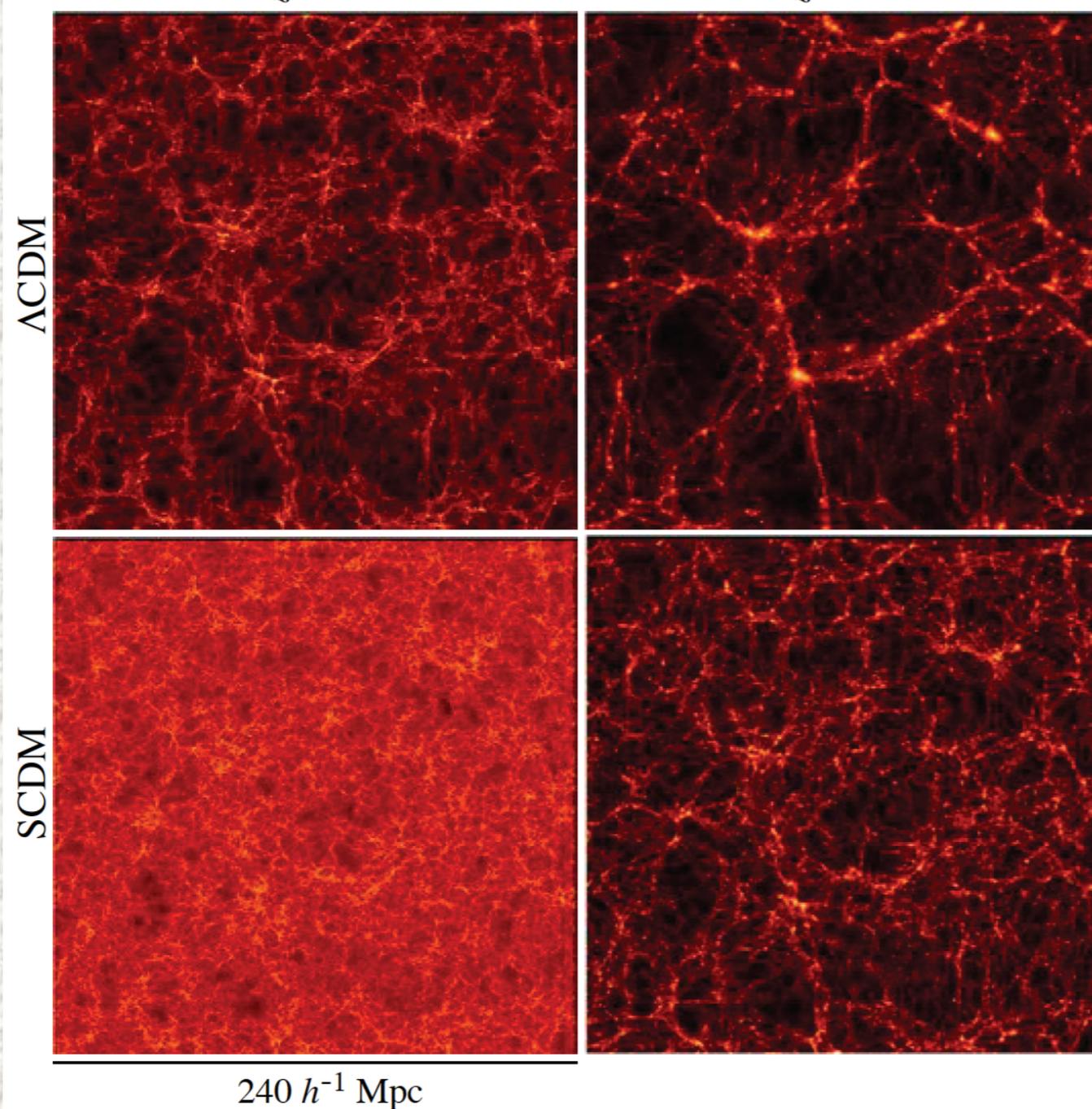


Figura 59: Simulação de dois cenários cosmológicos, Λ CDM ($\Omega_\Lambda = 0,7$, $\Omega_M = 0,3$, $h = 0,7$) e SCDM ($\Omega_M = 1$, $h = 0,5$), mostrados na época atual ($z = 0$) e em $z = 3$. A fatia do Universo nos painéis tem um décimo da largura. Cada simulação tem 256^3 partículas. Figura tirada de (Jenkins et al., 1998, *Virgo Consortium*).

