

Franco Vazza (Jacobs University Bremen)

f.vazza@jacobs-university.de oppure vazza@ira.inaf.it

~

Oggi: - “Test-case” dell'ammasso A2256

[Moltissimo materiale proviene da talk di Tracey Clarke
<http://dl.dropbox.com/u/15734330/talks/clarke.pdf>]

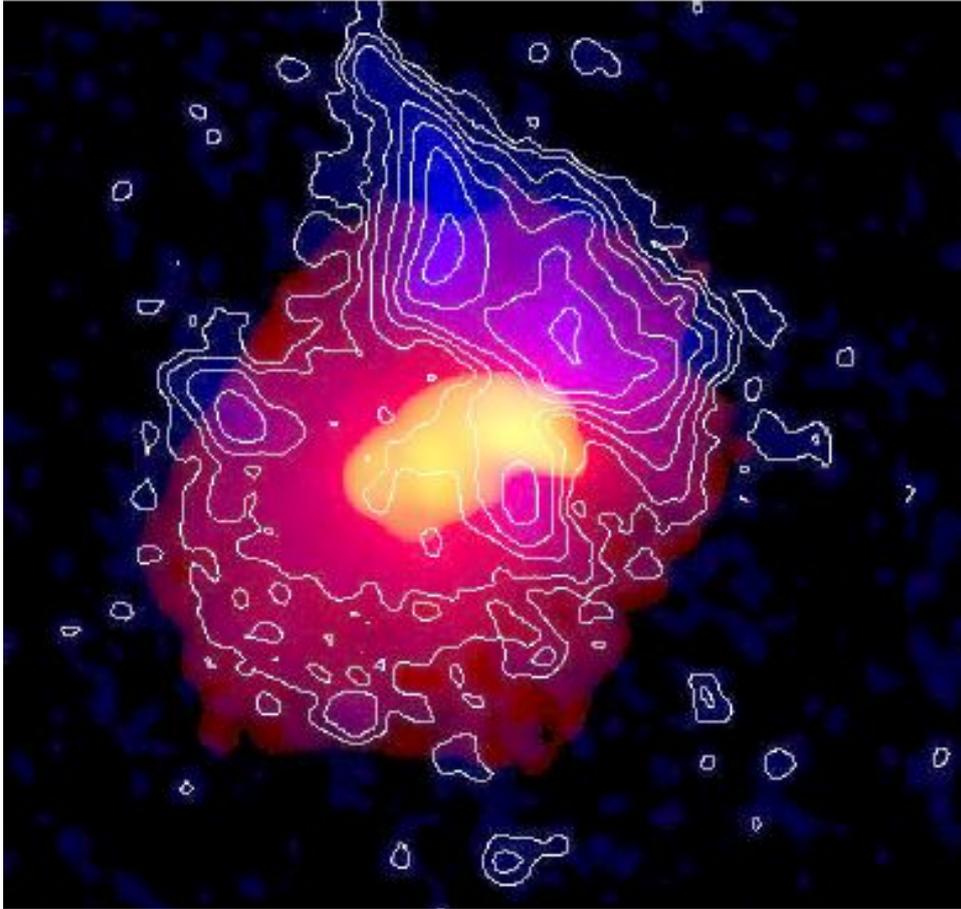
- Proposte di tesi presso IRA.

~

Slides qui:

[http://www.ira.inaf.it/~vazza/lezioni_bologna/
vazza_L5_slides.pdf](http://www.ira.inaf.it/~vazza/lezioni_bologna/vazza_L5_slides.pdf)

Abell 2256 è un ammasso ben studiato a $z=0.0581$, per il quale esistono moltissimi dati in molte bande:



- *X-ray*
- *ottico*
- *Radio da 325MHz a 1.4GHz*
- *Gamma (=upper limits)*

Lo scenario fisico che produce l'emissione radio diffusa da A2256 è ancora oggetto di studio

SCOPERTA DELL'EMISSION RADIO DIFFUSA:

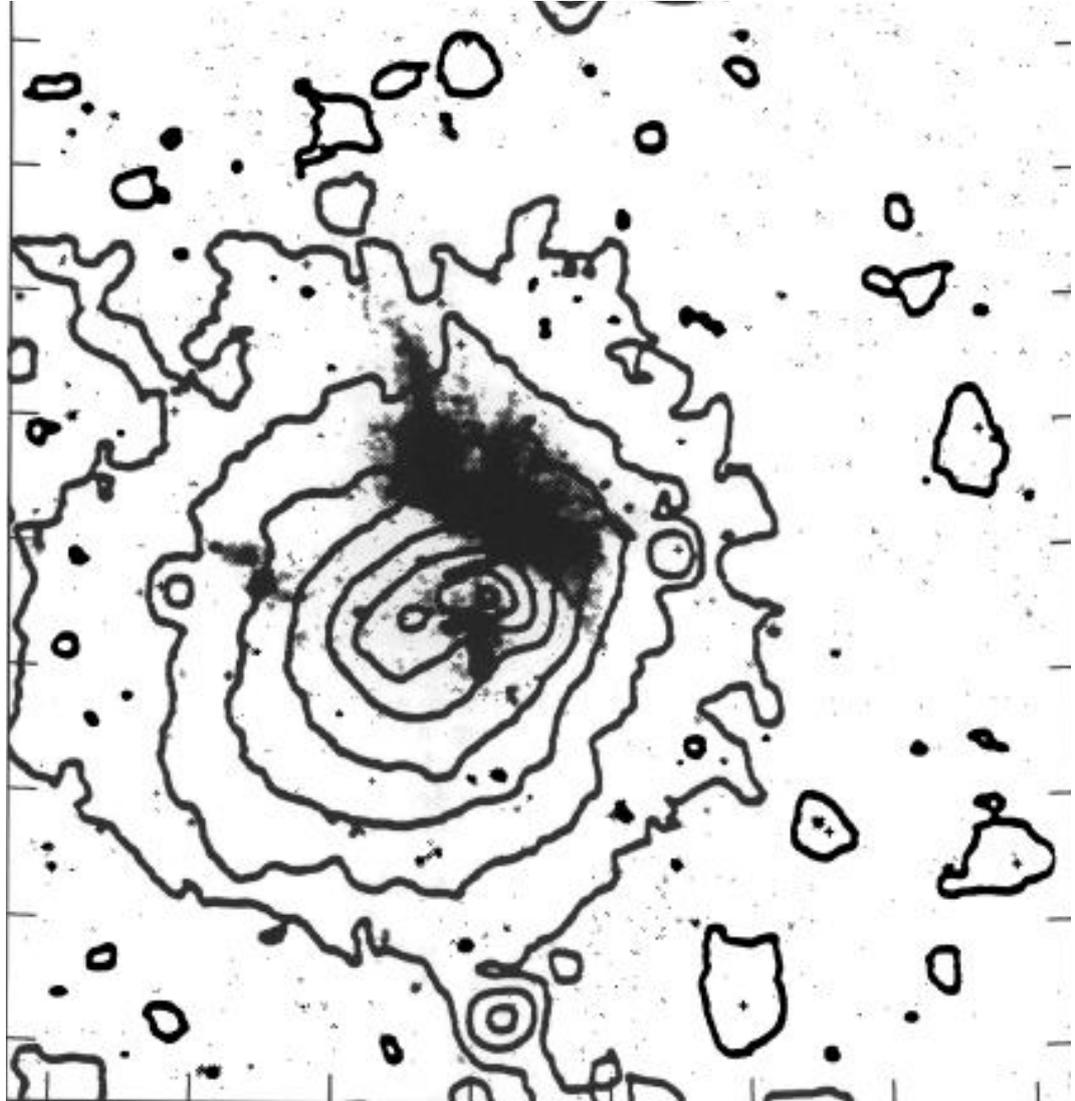
Rottgering et al. 1994

Contorni:

X-ray da ROSAT
(Henry & Briel 1991)

Colori:

Radio da VLA 1.4GHz
(Rottgering et al. 1994)



PROPERTIES OF THE X-RAY-EMITTING GAS

Parametri di
best fit del gas
emittente in X

r_c (kpc)	β	T (keV)	ϵ/n_e^2 (ergs cm ³ s ⁻¹)	$n(0)$ (cm ⁻³)	$P(0)$ (dyn cm ⁻²)
483.....	0.756	10.3	1×10^{-23}	0.0021	3.5×10^{-11}
430.....	1.1	2.0	9.2×10^{-24}	0.0024	6.3×10^{-12}

Zoom del relitto

Elenco radiosorgenti

EQUIPARTITION PRESSURE AND MAGNETIC FIELDS FOR
RADIO SOURCES IN ABELL 2256

Source (1)	Volume (kpc ³) (2)	Magnetic Field (μG) (3)	Pressure (10 ⁻¹² dyn cm ⁻²) (4)	Projected Distance (5)
A	5.9 × 10 ³	7.5	3.25	1.6
B	2.9 × 10 ⁶	1.2	0.09	3.5
C	2.5 × 10 ³	9.3	5.00	2.4
D	3.8 × 10 ²	7.5	3.19	2.4
E	1.8 × 10 ²	7.5	3.24	13.8
F3	1.4 × 10 ⁶	1.3	0.09	9.1
G	2.7 × 10 ⁷	0.6	0.02	6.5
I	9.0 × 10 ²	7.5	3.22	9.7
K	5.9 × 10 ²	6.4	1.22	9.2
AD	1.5 × 10 ⁴	2.0	0.22	19.1

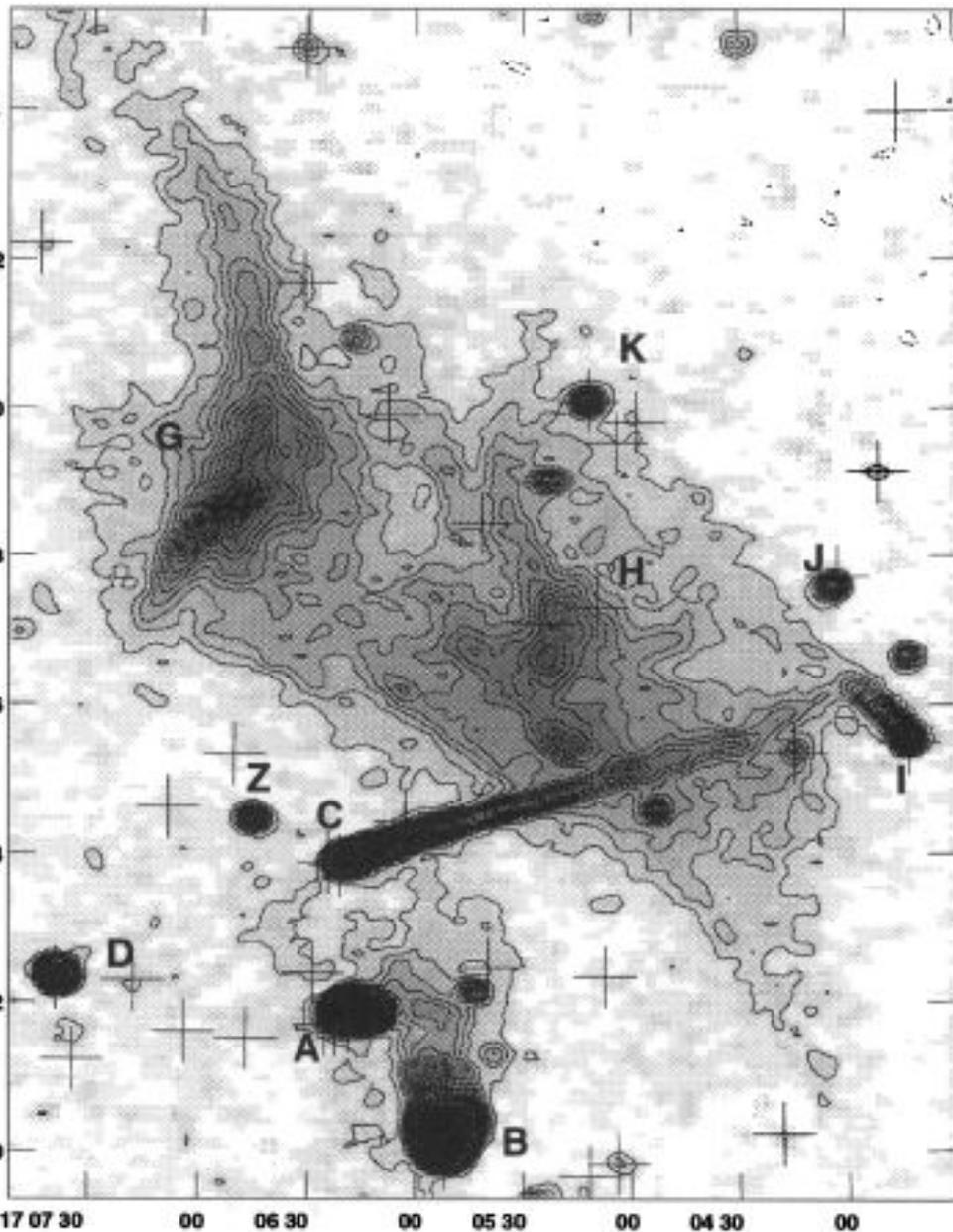
4.2. Nature of the Halo Arcs

Most striking in the VLA maps is the diffuse region in the north of the cluster encompassed by features G and H (e.g., Fig. 10). The results from the old Westerbork maps for this region can be summarized as follows:

1. The extent of the region is remarkably large, estimated to be 1.0 by 0.3 Mpc.
2. It has a uniform spectral index of 0.8 ± 0.1 (see also Haslam et al. 1978).
3. The percentage polarization is uniform with an average value of 20%.
4. The alignment of the electric vectors suggests a well-ordered magnetic field. The curvature of the electric vector follows the curvature of ridges of maximum brightness.

Our 20 cm VLA maps show the following additional features:

5. Sharp edges.
6. Possible filamentary structure.
7. Brighter spots in region G and H of which at least one is identified with a cluster galaxy.



Mappa a 608 Mhz - Westerbork

TURBOLENZA NEL ICM DI A2256?

Sorgente C presenta una coda molto dritta fino a 250kpc

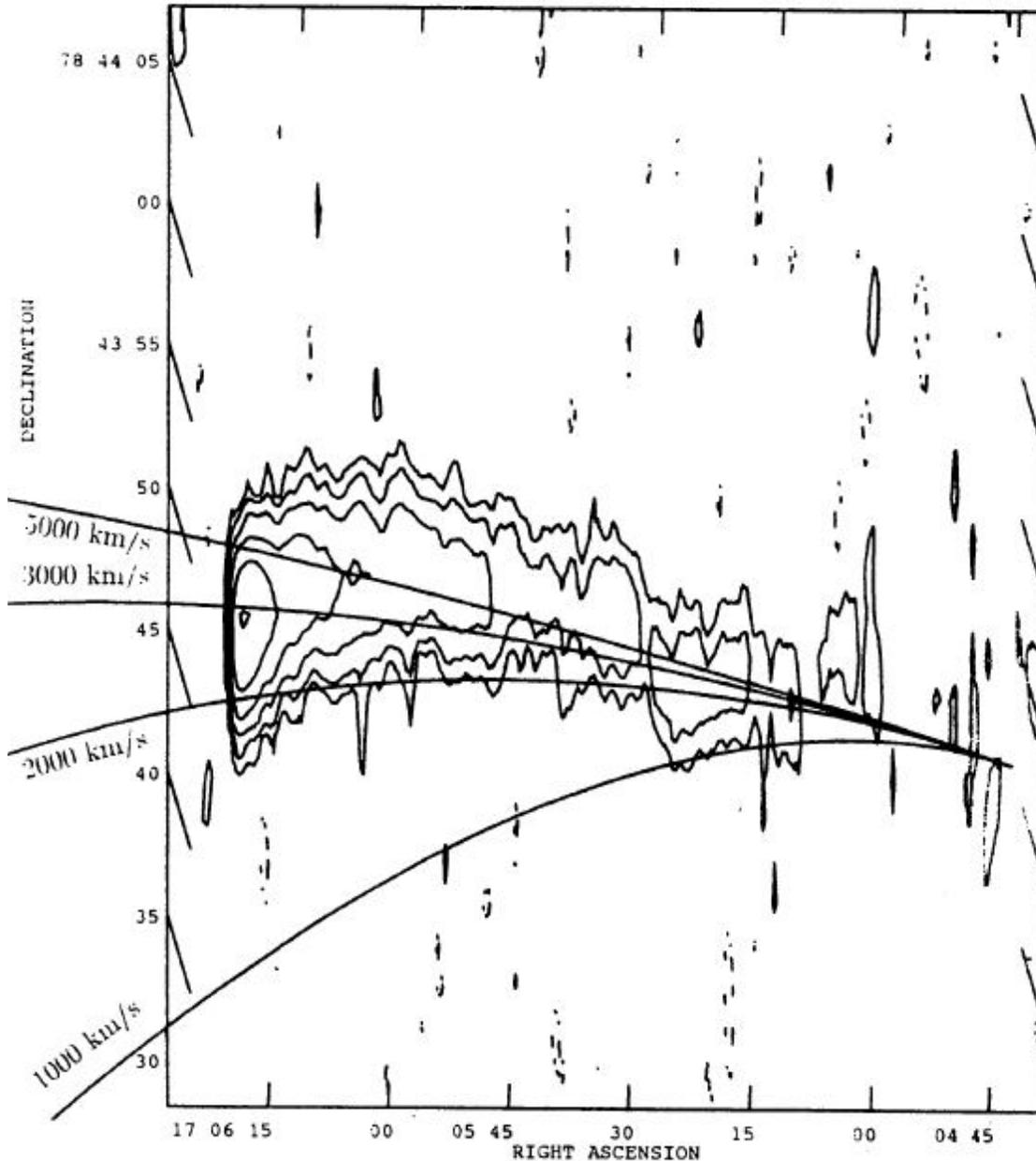
Assumendo equilibrio di pressione coda/ICM è possibile stimare massima velocità ICM attorno alla coda :

$$l_{bend} \sim v_{ICM} * t$$

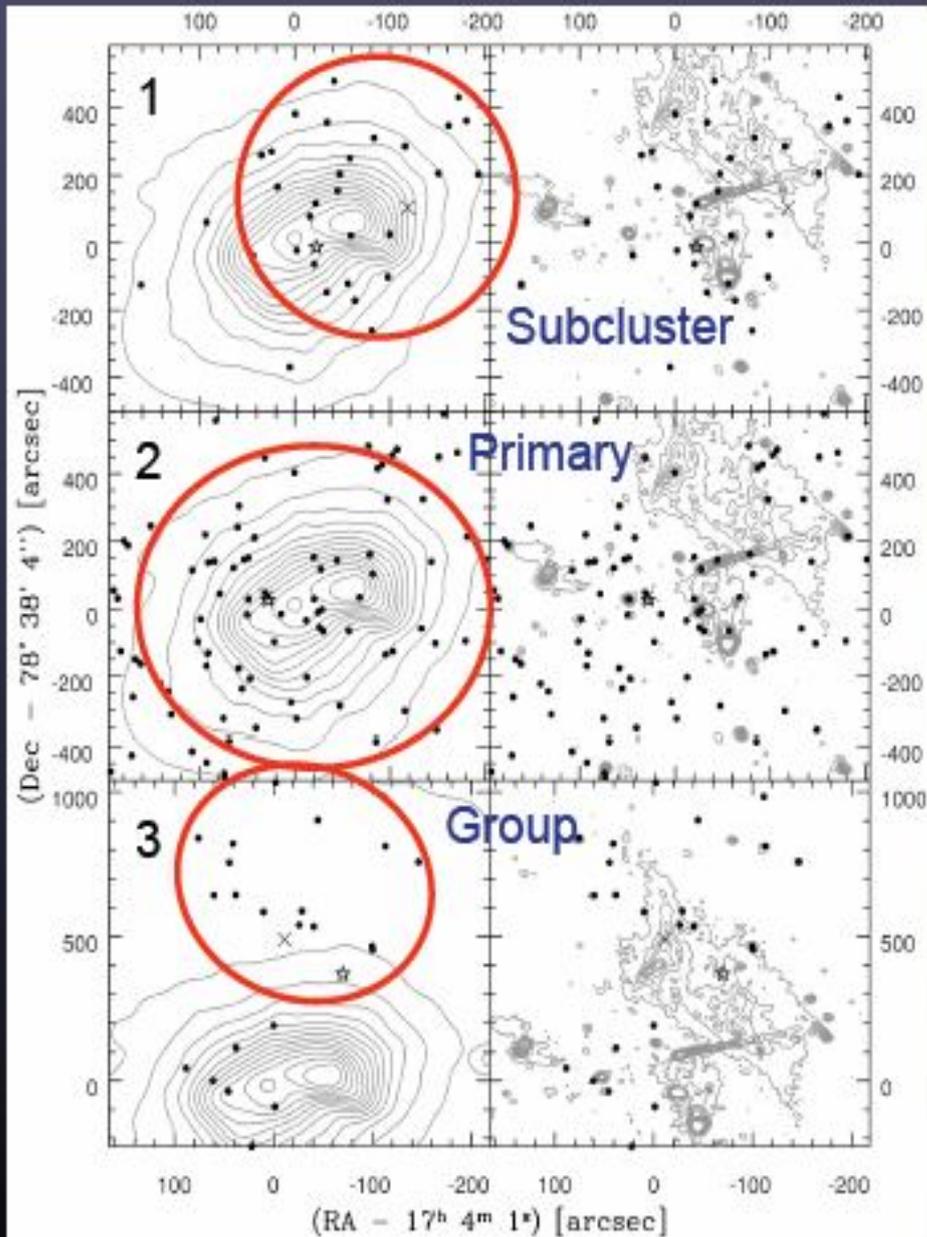
$$l_{bend} < 20kpc \quad t \sim 10^8 yr$$

$$v_{ICM} < 200 km/s$$

Poca turbolenza → shock?



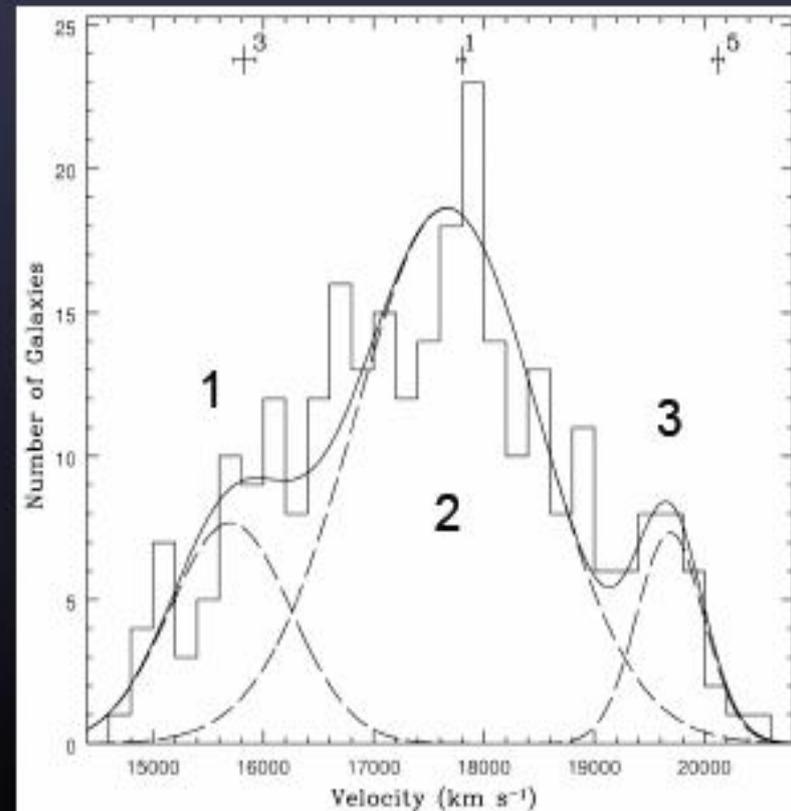
DATI OTTICI almeno 3 sottogruppi di galassie

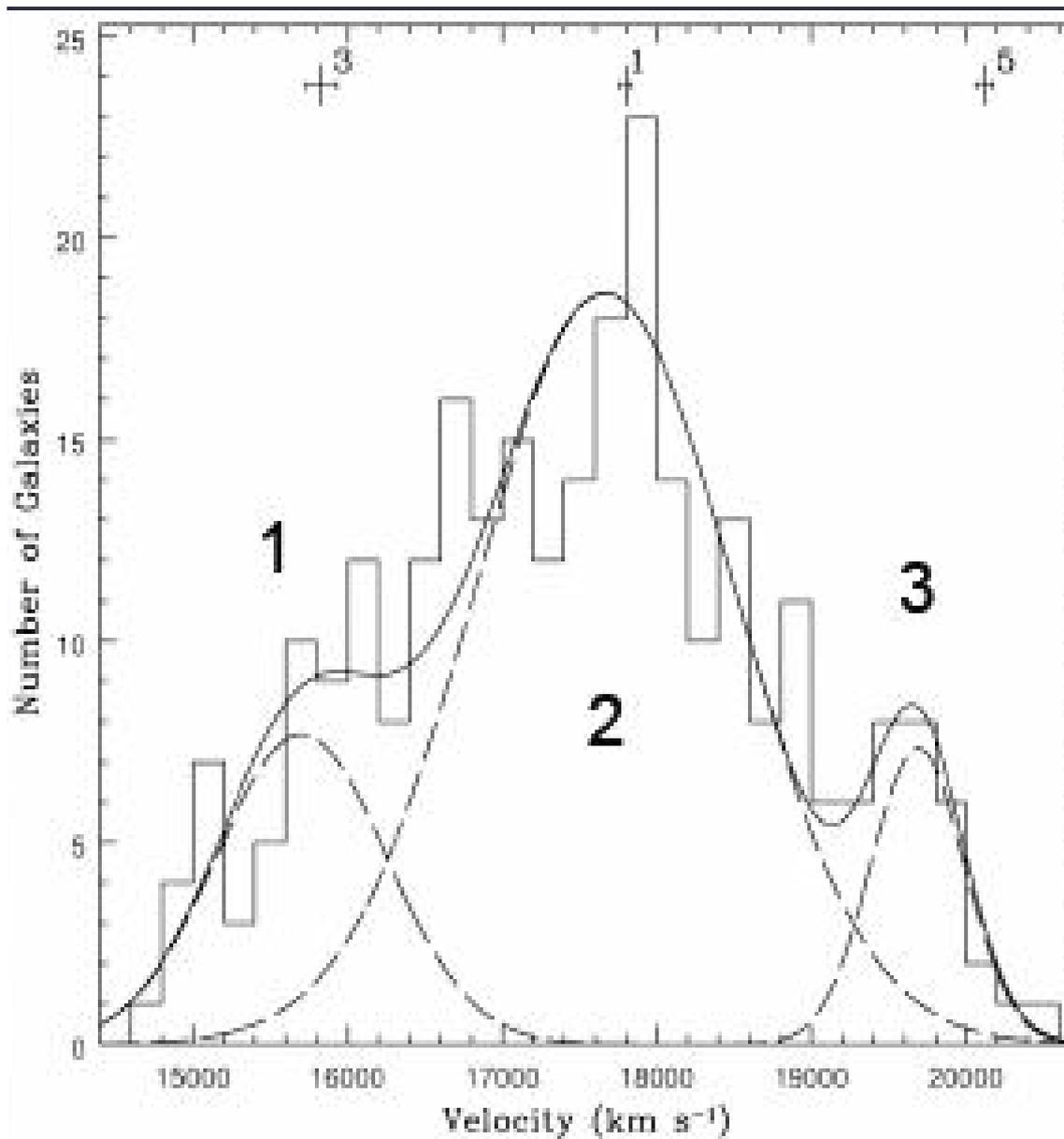


Berrington et al. (2002):

- Group 1 is the Subcluster
- Group 2 is the Primary cluster
- Group 3 is the infalling galaxy group

Similar results in Miller et al. (2003)

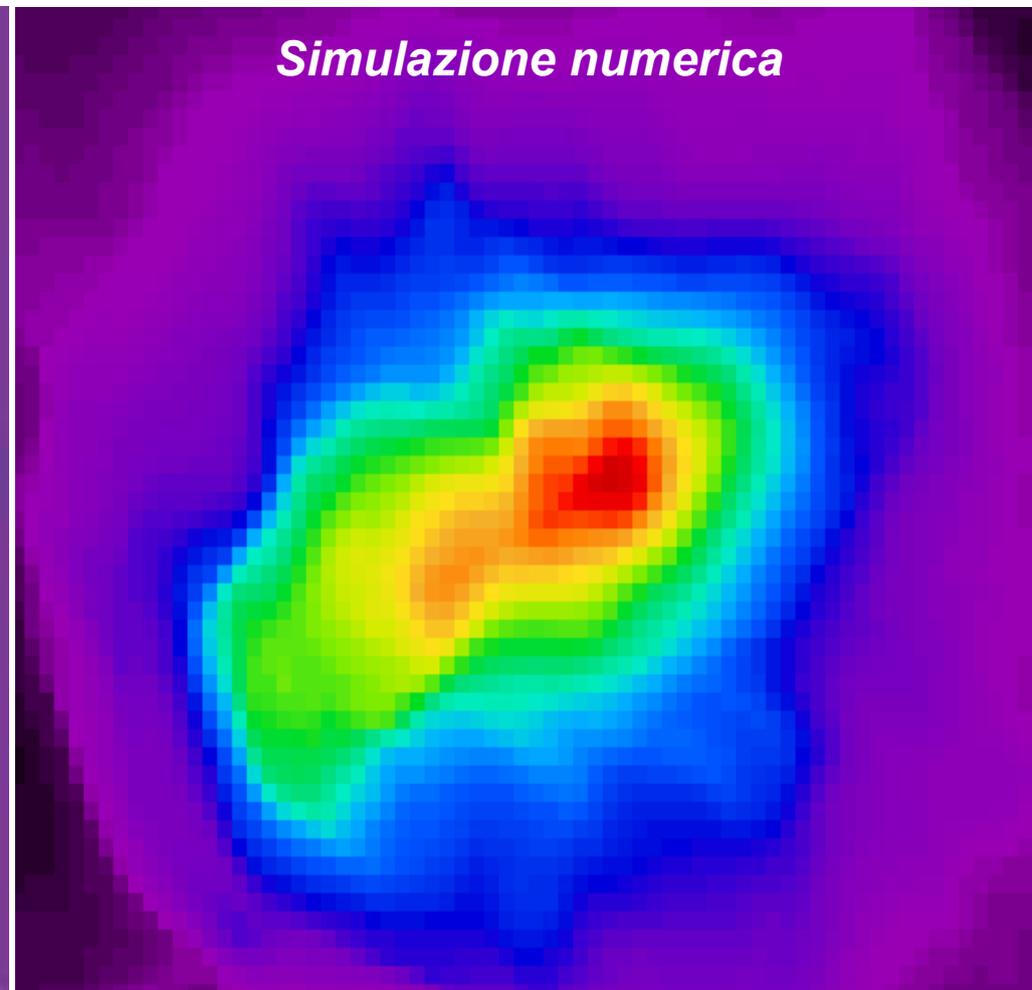
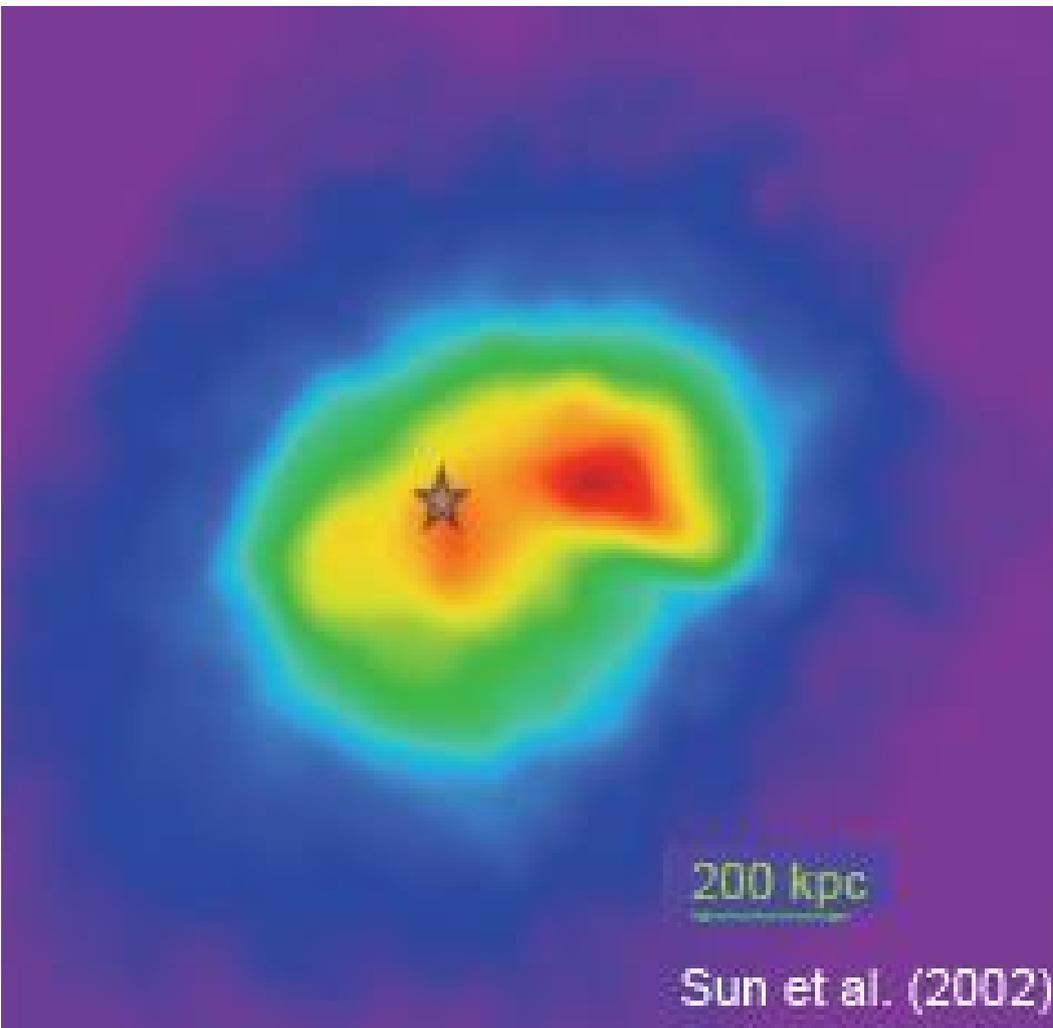




***A2256 è
interessato da 2
merger***

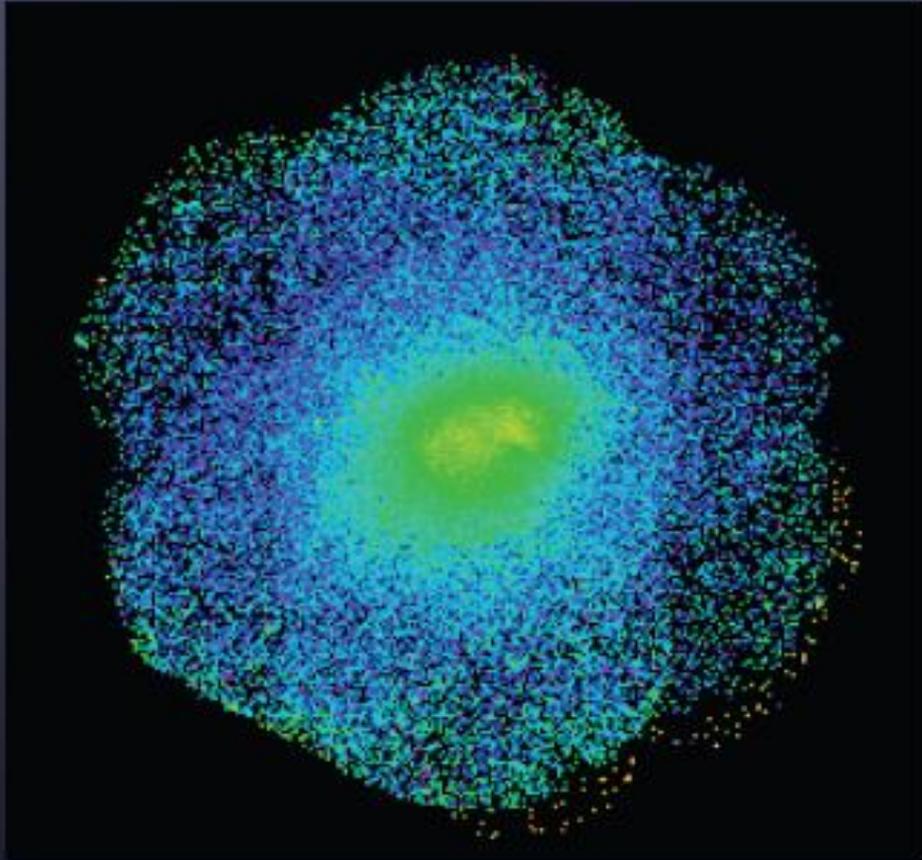
- *uno 0.2 Gyr dopo
impatto centrale*
- *uno 0.3 Gyr prima
dell'impatto centrale*

*Anche analisi X (da CHANDRA) conferma
struttura allungata e sottostrutture →
merger recenti e/o in corso*

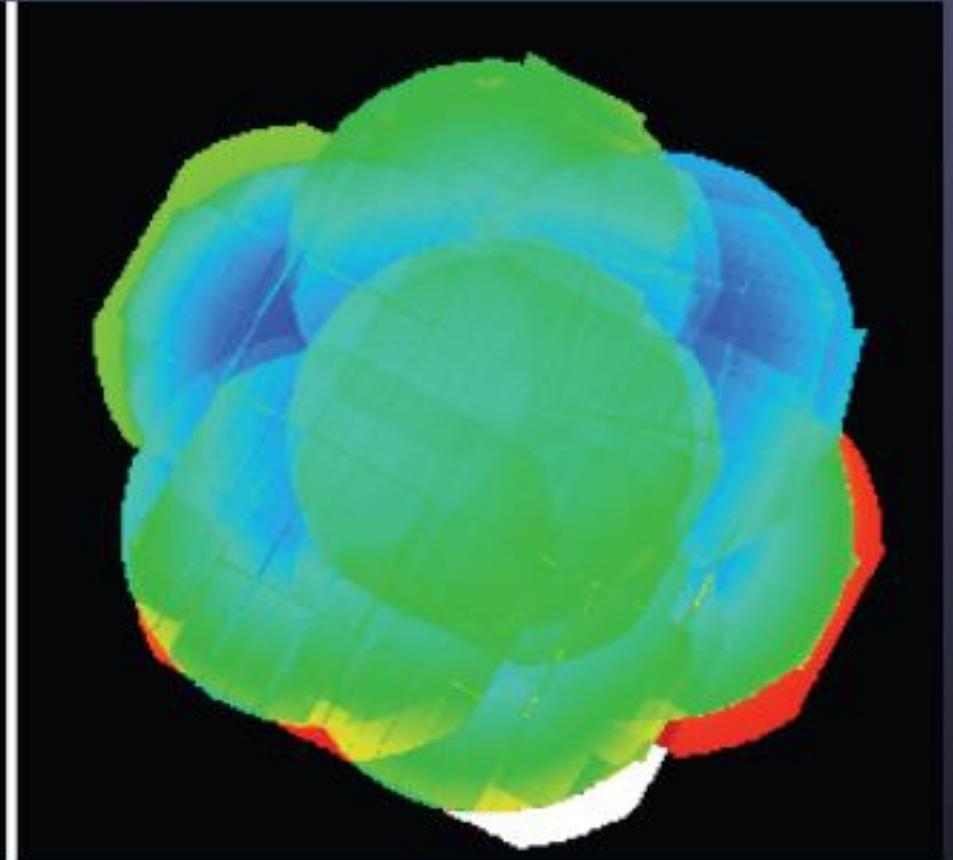


*Mosaico XMM-Newton per analisi temperatura
(Clarke et al.)*

2.0 – 7.5 keV XMM image



Background/exposure



- Combined 9 separate XMM data sets for imaging and spectral study
- both cameras used in imaging
 - only use pn for spectroscopic analysis

Mappa di temperatura mostra diverse componenti → merger! (Clarke et al.)



Cluster center $T \sim 6-7$ keV is surrounded by gas $T \sim 8-9$ keV

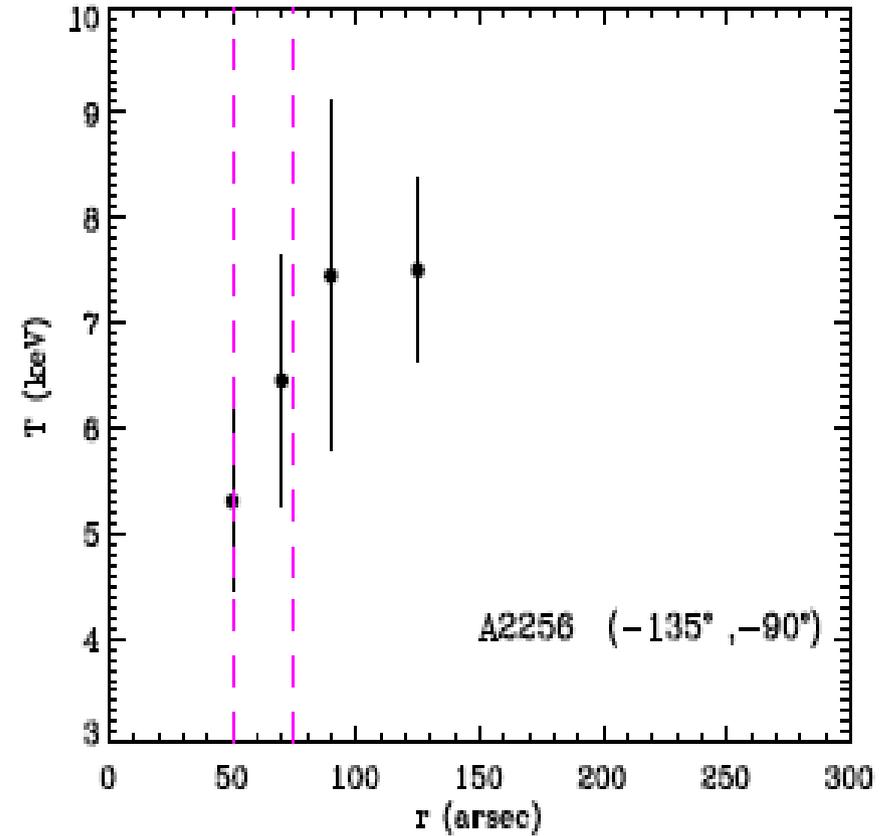
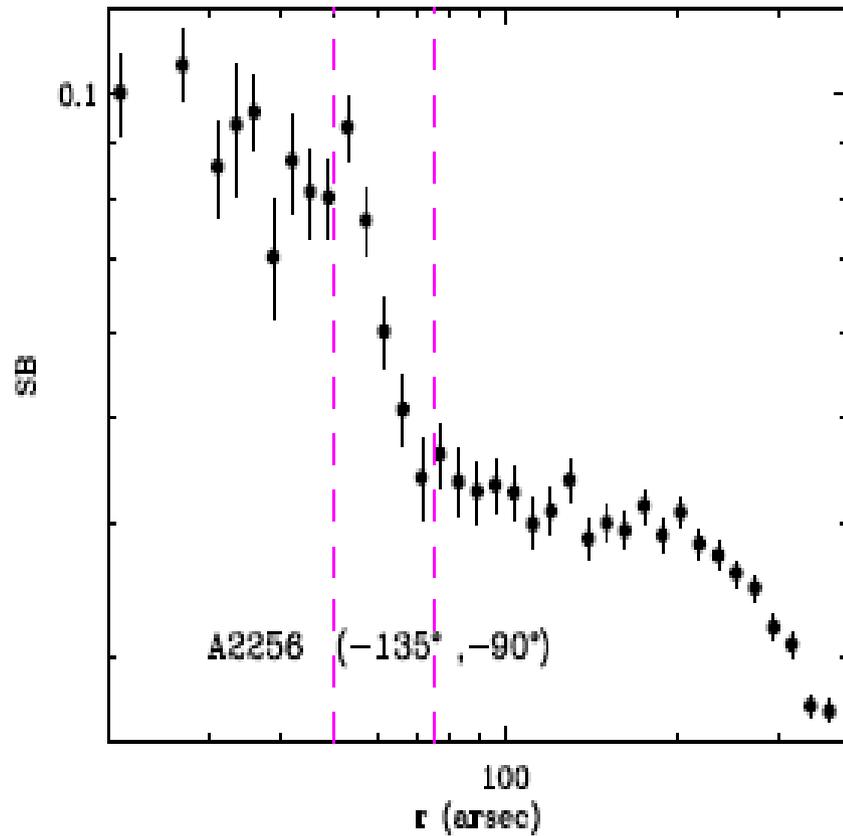
XMM temperature map shows two cold regions (~ 4 keV) in the core:

- large region in NW is coincident with the infalling subcluster members
- smaller region to the SE with a trail back toward the cluster core

Main body of the NW cold clump is coincident with USS AJ

Profilo di brillantezza X e temperatura del “cold front” in A2256

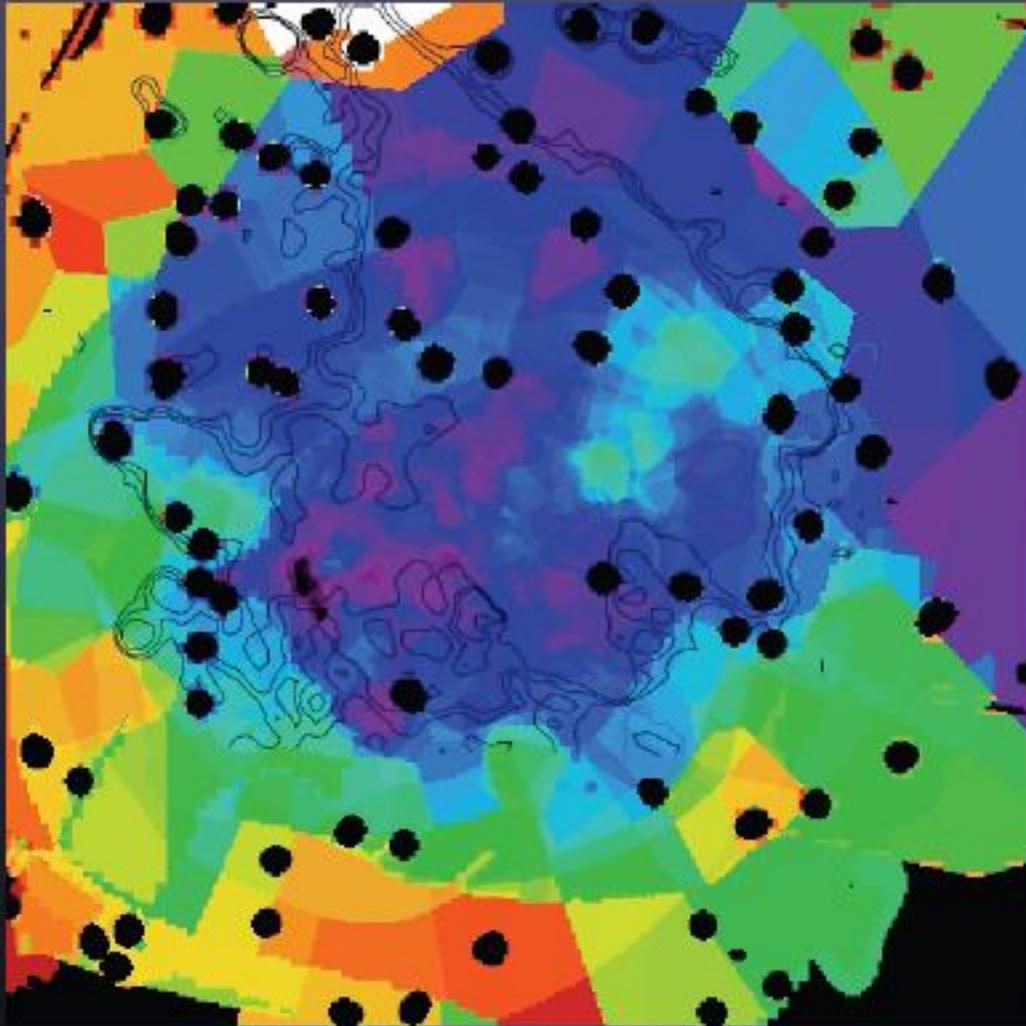
→ merger



Ghizzardi et al.2010

Mappa di pressione mostra fluttuazioni consistenti con turbolenza sub-sonica → merger!

(Clarke et al.)

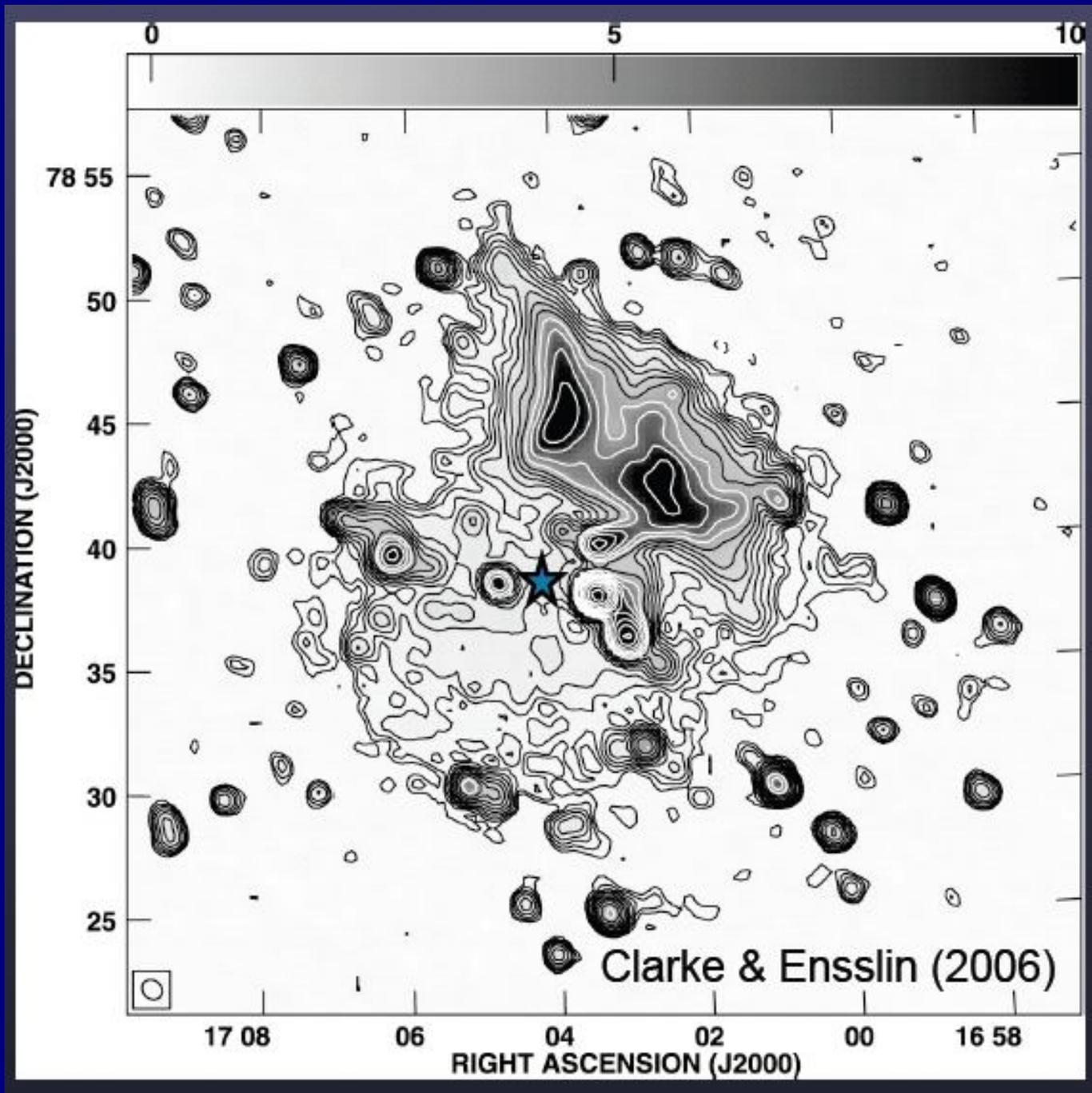


Pressure ratio map shows a low pressure core (~ 0.5) compared to model of Finoguenov et al. (2005)

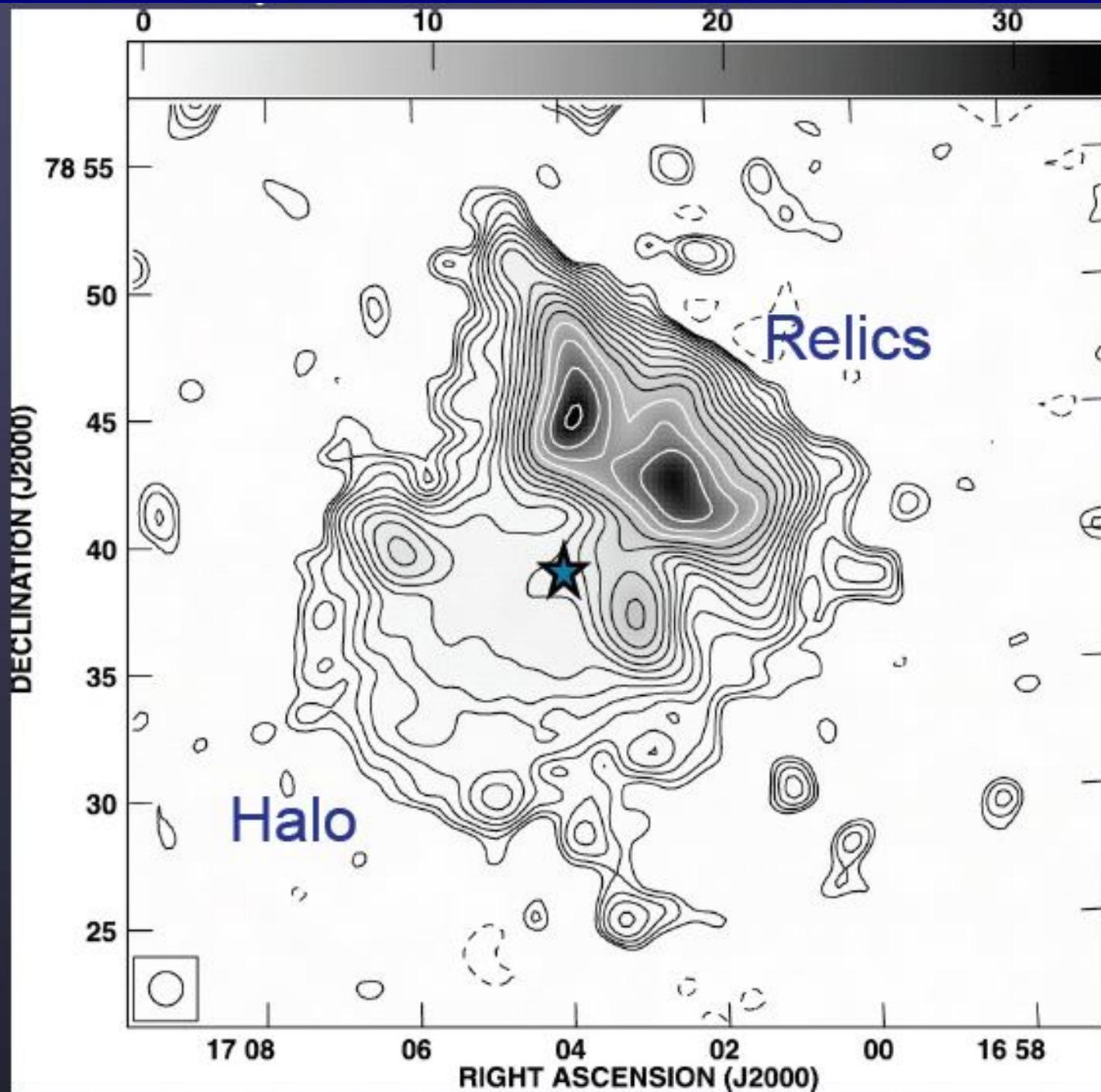
Pressure fluctuations in core are $\sim 10-20\%$ (likely turbulence)

Pressure peaks seen in subcluster area & west of SE cold front

Mappa a 1.4 Ghz con VLA : risultati più recenti



Mappa dopo rimozione sorgenti puntiformi



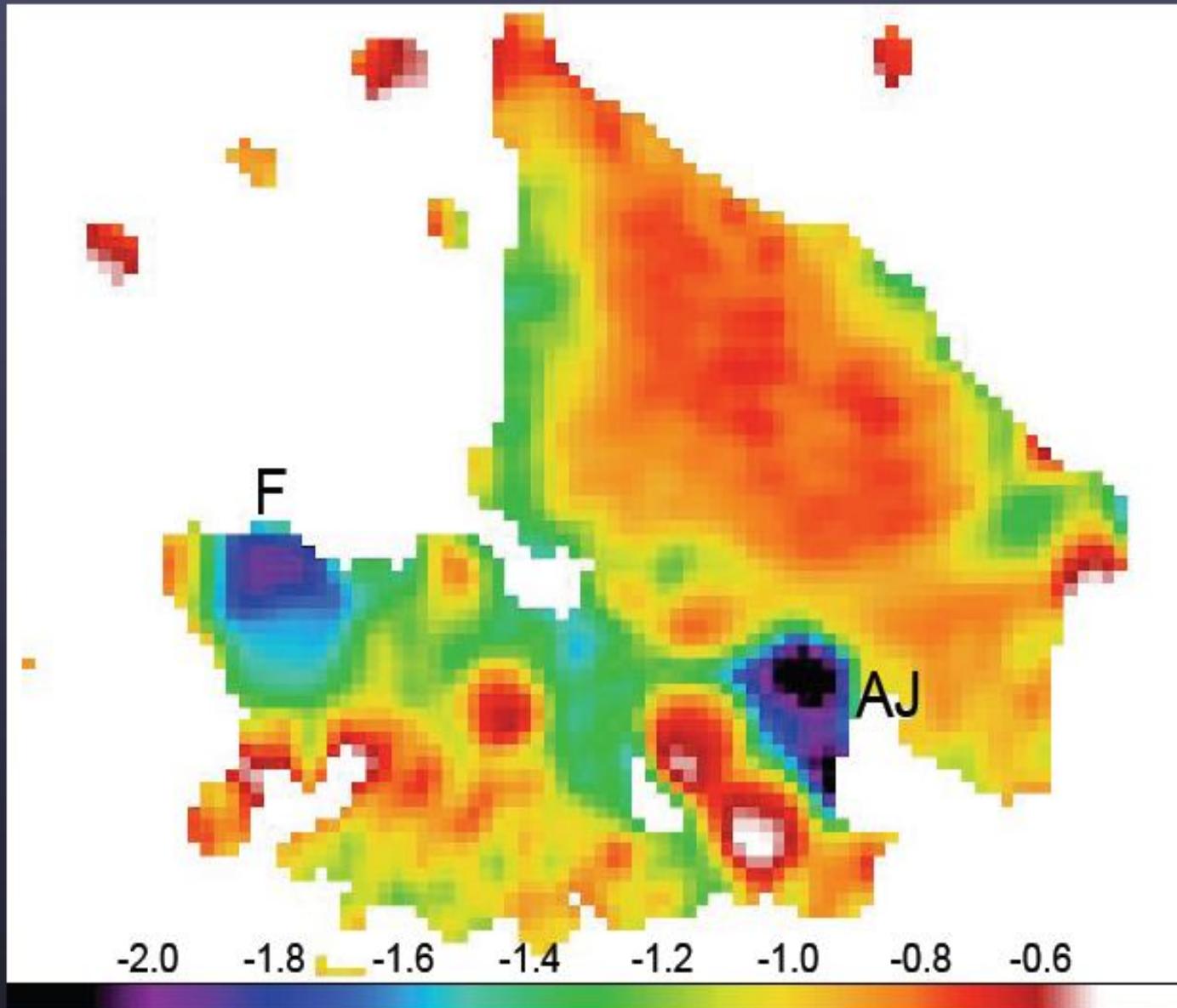
ALONE:
800 kpc
Flusso: 103mJy
@ 1.4GHz

RELITTO:
1125 x 520kpc
Flusso: 462mJy
@ 1.4GHz

**Clarke & Ensslin
2006**

Mappa di indice spettrale

325 – 1369 MHz



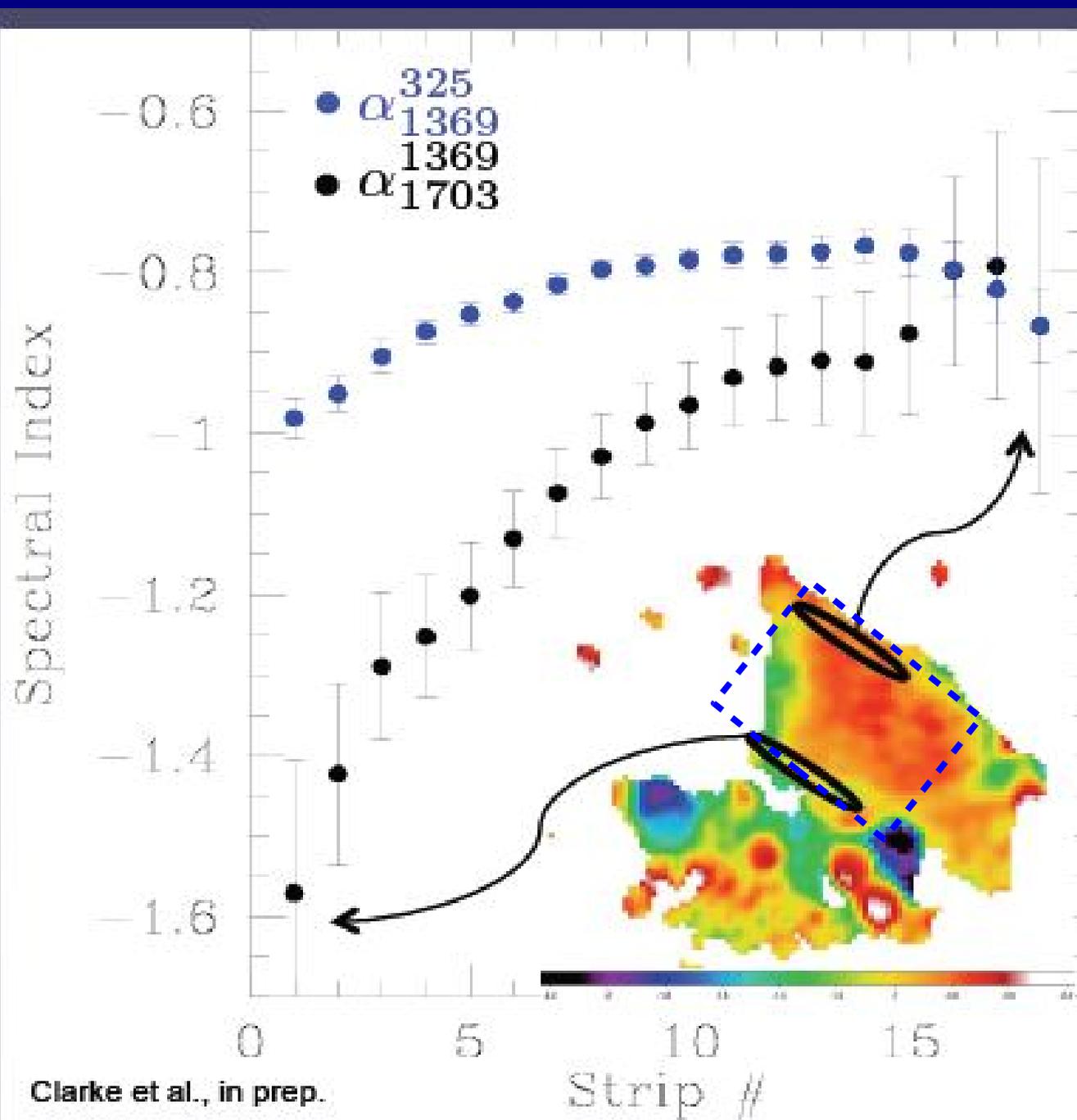
Clarke et al., in prep.

ALONE:
Non molti dati
“buoni”, spettro
ripido $\alpha > 1.5$

RELITTO:
Molti dati
spettro $\alpha = 0.6 - 1$

*Irripidimento
lontanto da relitto*

Spettri di emissione Radio da due zone



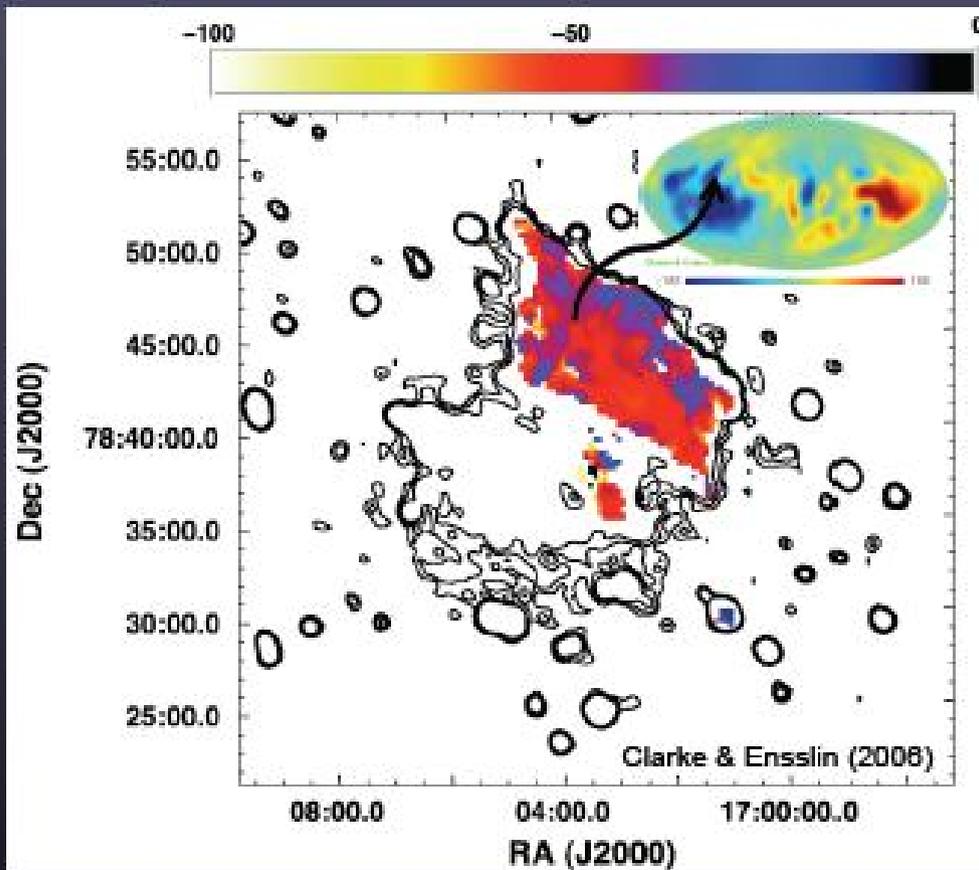
Irripidimento
dell'indice spettrale
da "nord" a "sud"

→ elettroni in media
"più vecchi"
allontanandosi da
shock

$M \sim 2.6$

*Misura di rotazione di Faraday dal relitto
(NB: dibattuta! Si assume Faraday screen esterno)
relitto è all'interno del cluster → $B \sim 1 \mu G$*

Faraday rotation measure map



Faraday rotation: $RM \propto \int_{los} n_e B_{\parallel} dl$

- $RM = -44 \text{ rad/m}^2$, consistent with Galactic (i.e. no ICM component)

Rotation measure dispersion (Matteo's talk):

$$RM_{rms} = 205 \frac{\text{rad}}{\text{m}^2} \left(\frac{n_e}{3.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-3}} \right) \times \left(\frac{\lambda_B}{30 \text{ kpc}} \right)^{1/2} \left(\frac{L}{350 \text{ kpc}} \right)^{1/2} \left(\frac{B_{rms}}{1 \mu G} \right)$$

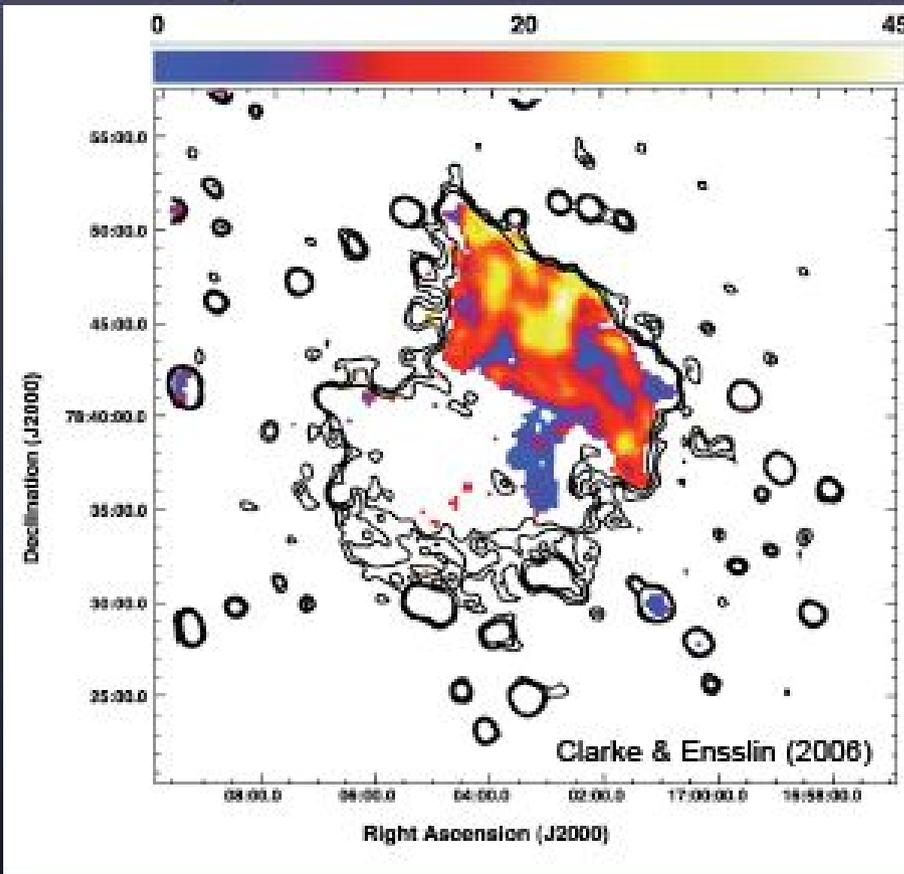
- $RM_{rms} = 7 \text{ rad/m}^2$, predict 205 rad/m^2 if the relic is on the far side of the cluster

- Rotation measure analysis strongly favors relic location between the observer and bulk of the ICM

Polarizzazione osservata + spettro:

→ è possibile stimare l'inclinazione del relitto, se crediamo ad accelerazione da shock

Fractional polarization at 1369 MHz



Relics are highly polarized:

- P reaches 40% with average > 20%
- consistent with field compression by merger shock

$$\langle P \rangle = \frac{2(\alpha + 1)}{2\alpha + 10/3} \frac{\sin^2 \delta}{\frac{2c_r^2}{c_r^2 - 1} - \sin^2 \delta}$$

→ relic shock inclination $\bar{\delta} \sim 45^\circ$
following notation of Enßlin et al. (1998)

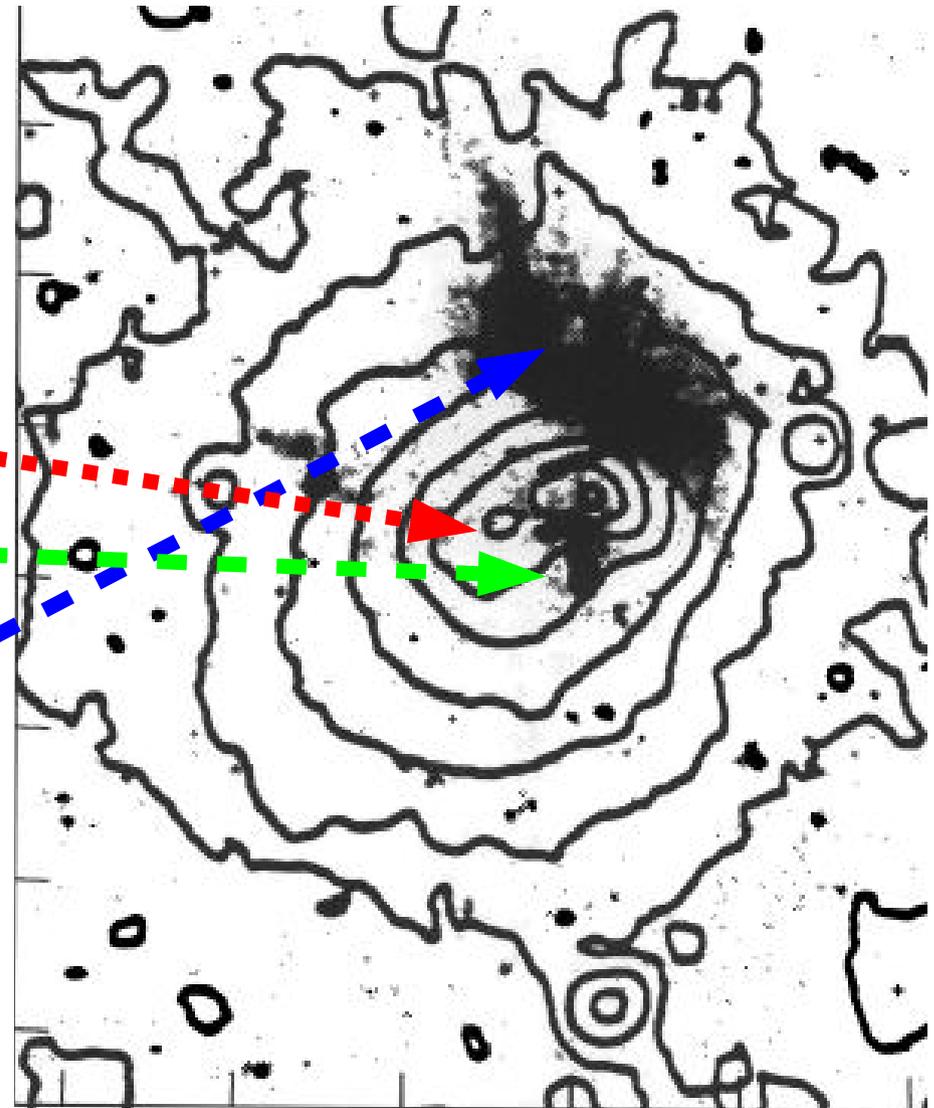
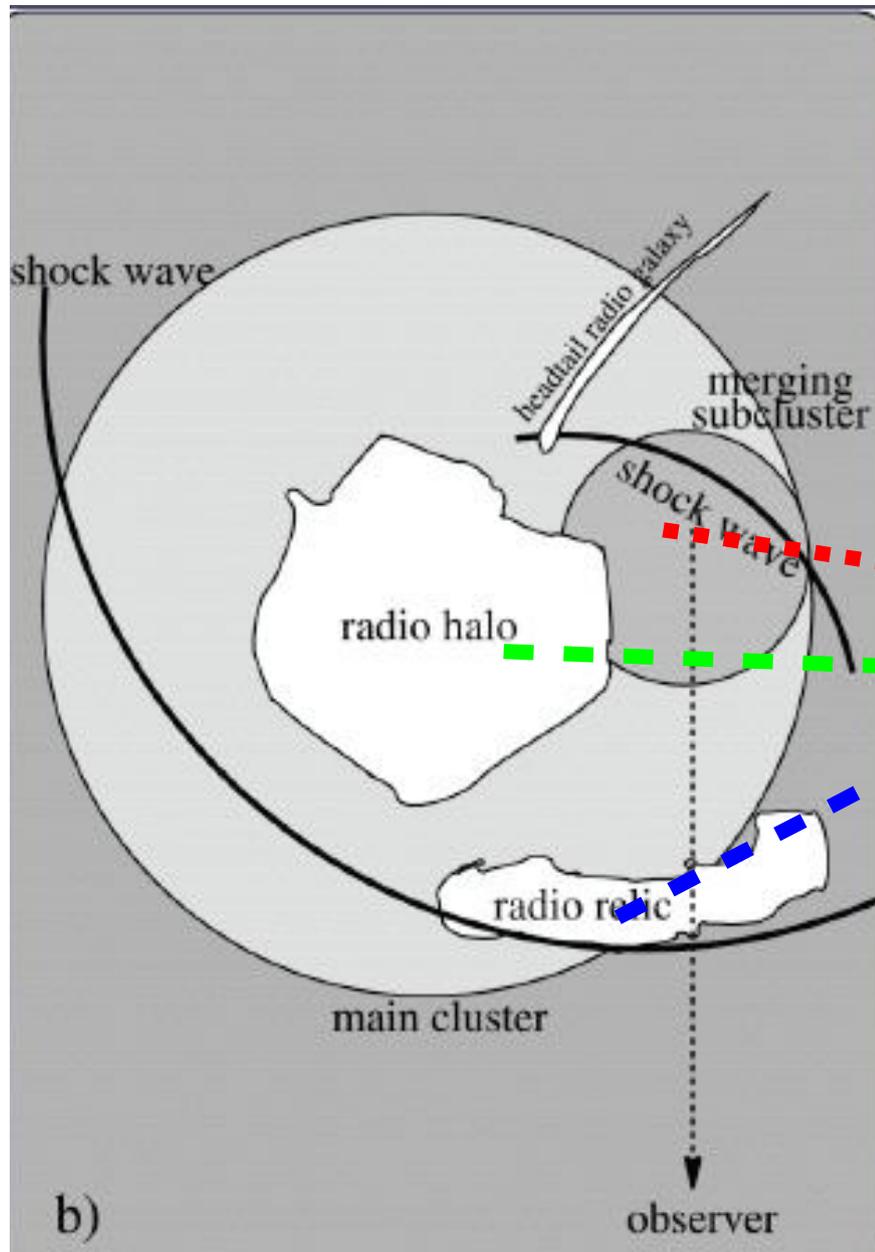
Halo is unpolarized, upper limit of 16%

Tailed radio galaxies ~ 3% polarized

*Molto dipendente
Da assunzioni!
(che abbiamo visto
non funzionano
In COMA!)*

SCENARIO PROPOSTO

(Clarke & Ensslin 2006)



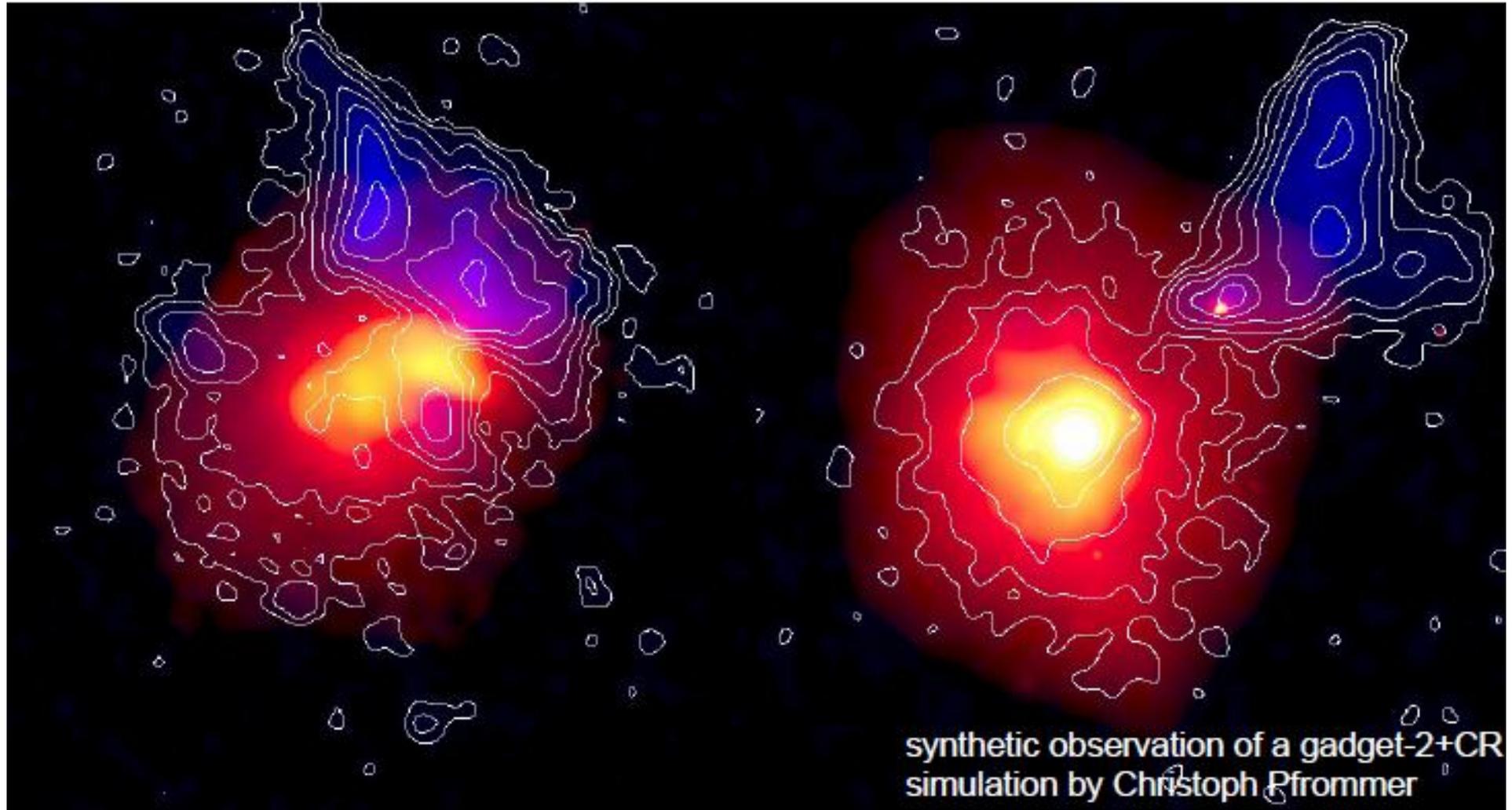
SIMULAZIONE COSMOLOGICA:

Elettroni primari da shock → relic

Elettroni secondari → alone centrale

A 2256

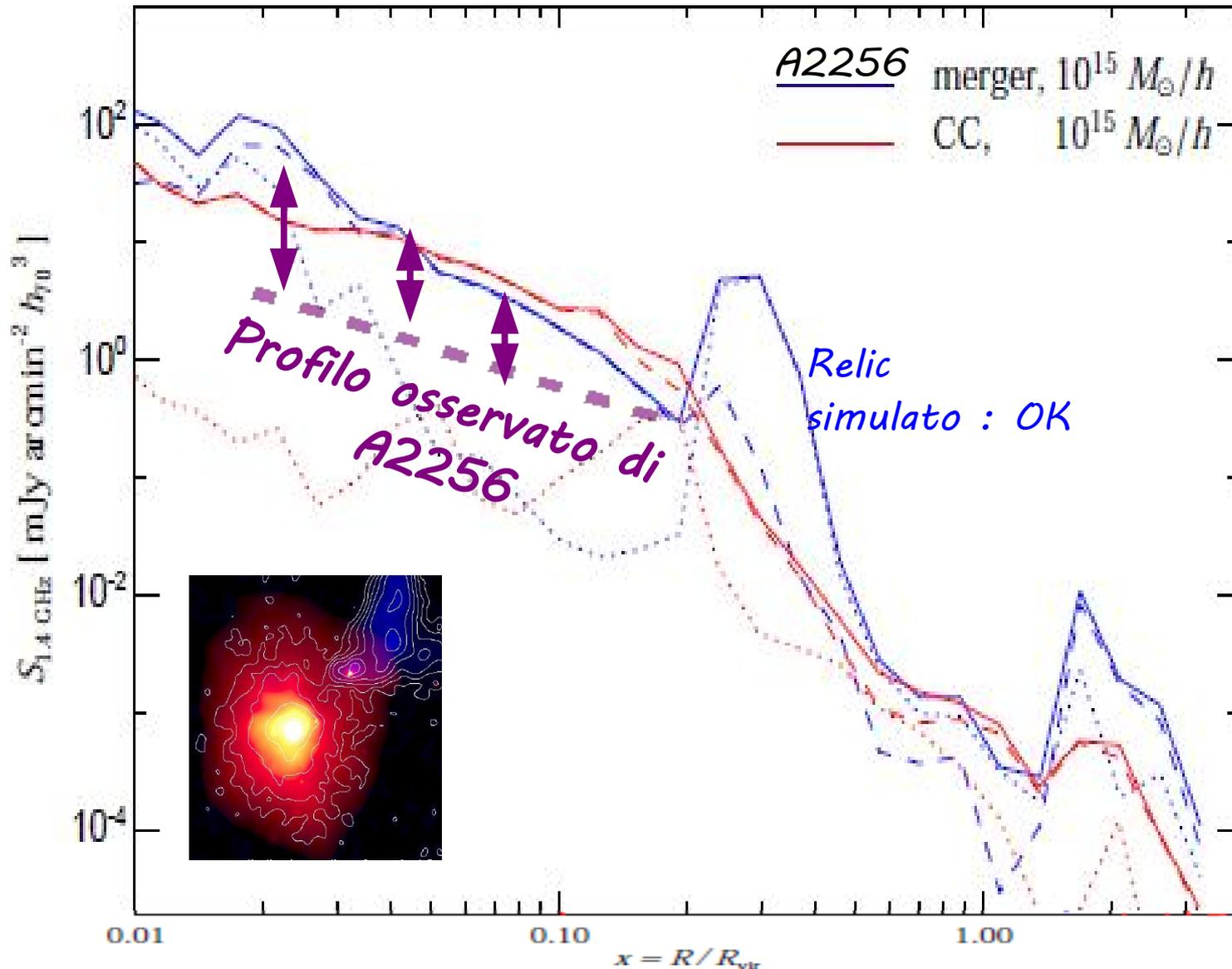
g72a



X-ray + radio

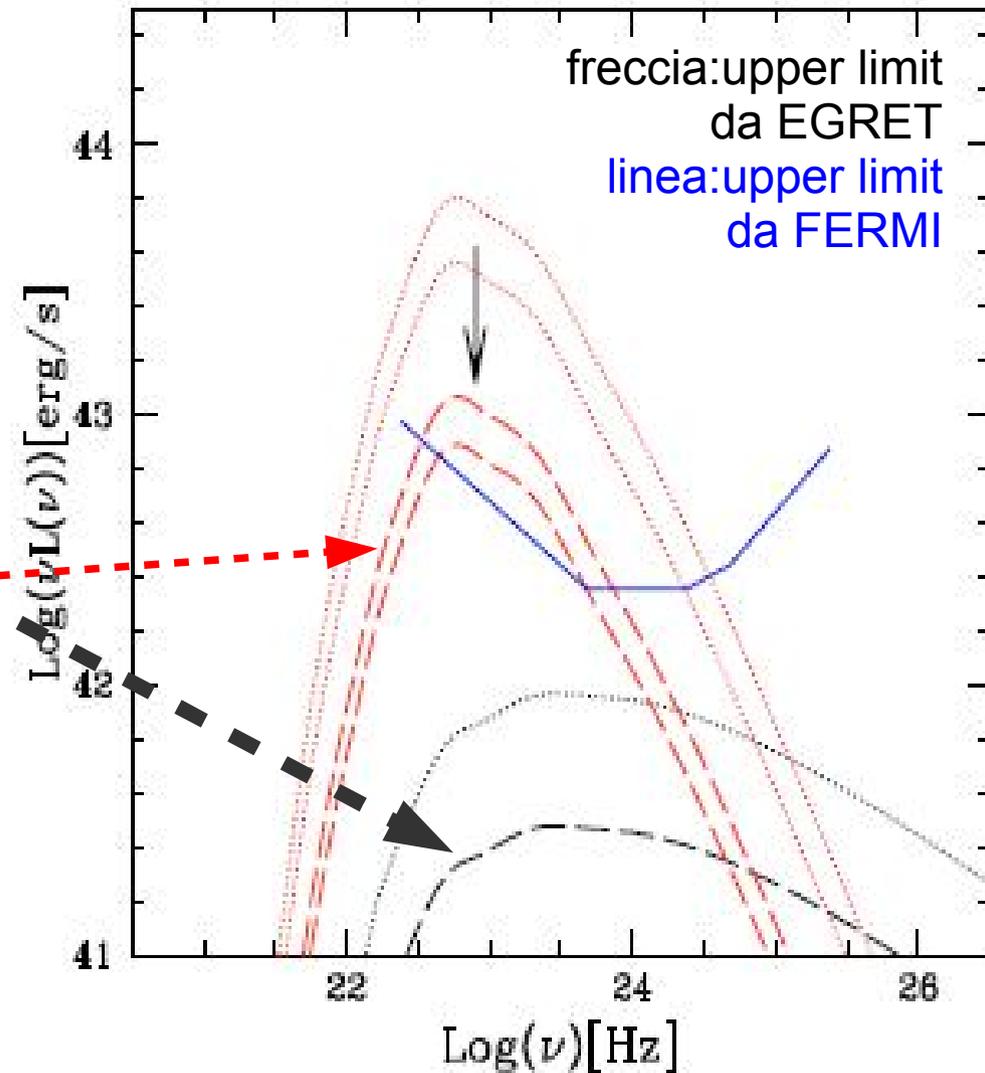
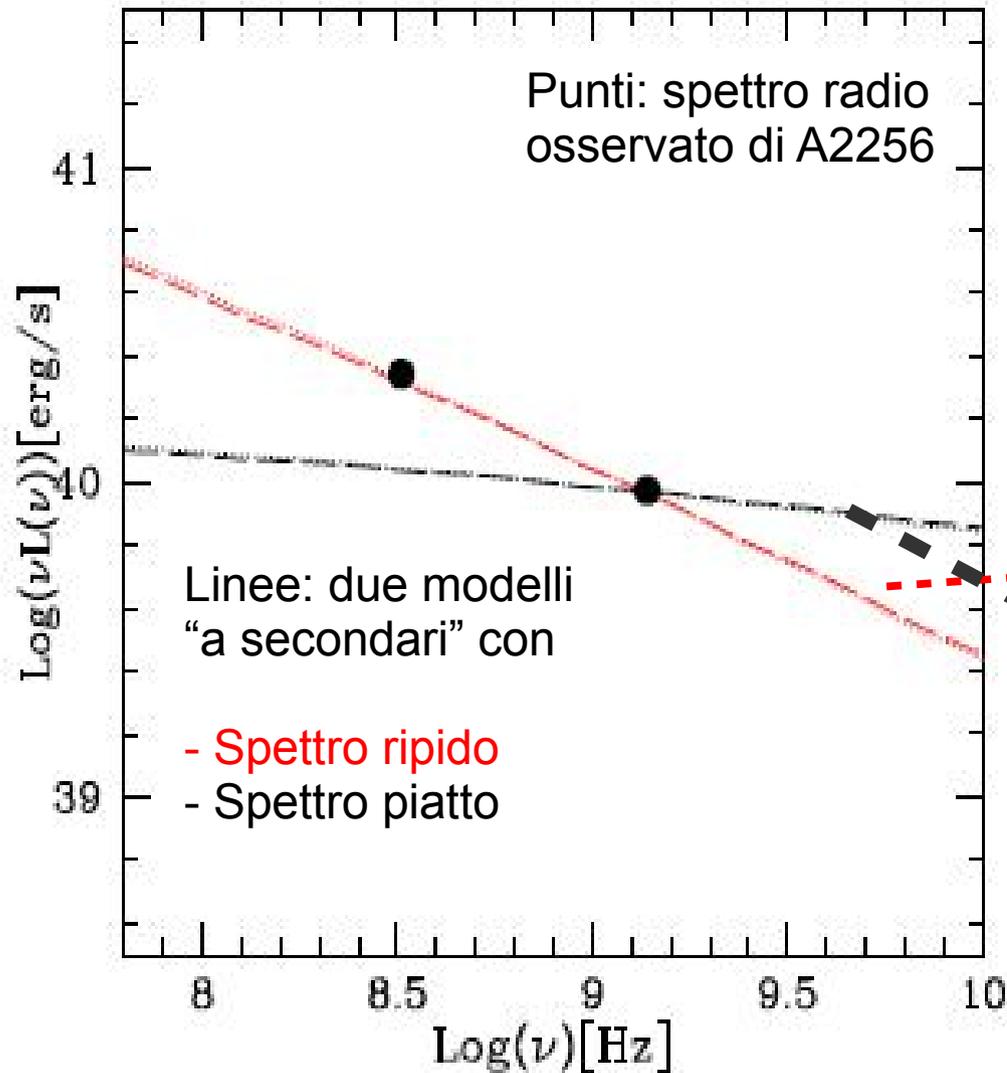
*Tuttavia i profili radio da modelli secondari non riproducono
L'alone radio di A2256 : profilo troppo ripido!*

Primary vs. secondary radio emission:



*Inoltre: se usiamo elettroni secondari per spiegare alone di A2256, produciamo anche molti protoni secondari
→ flusso gamma, che però FERMI non osserva!*

G. Brunetti: Constraining relativistic protons and magnetic fields in A2256 (RN)



Conclusioni:

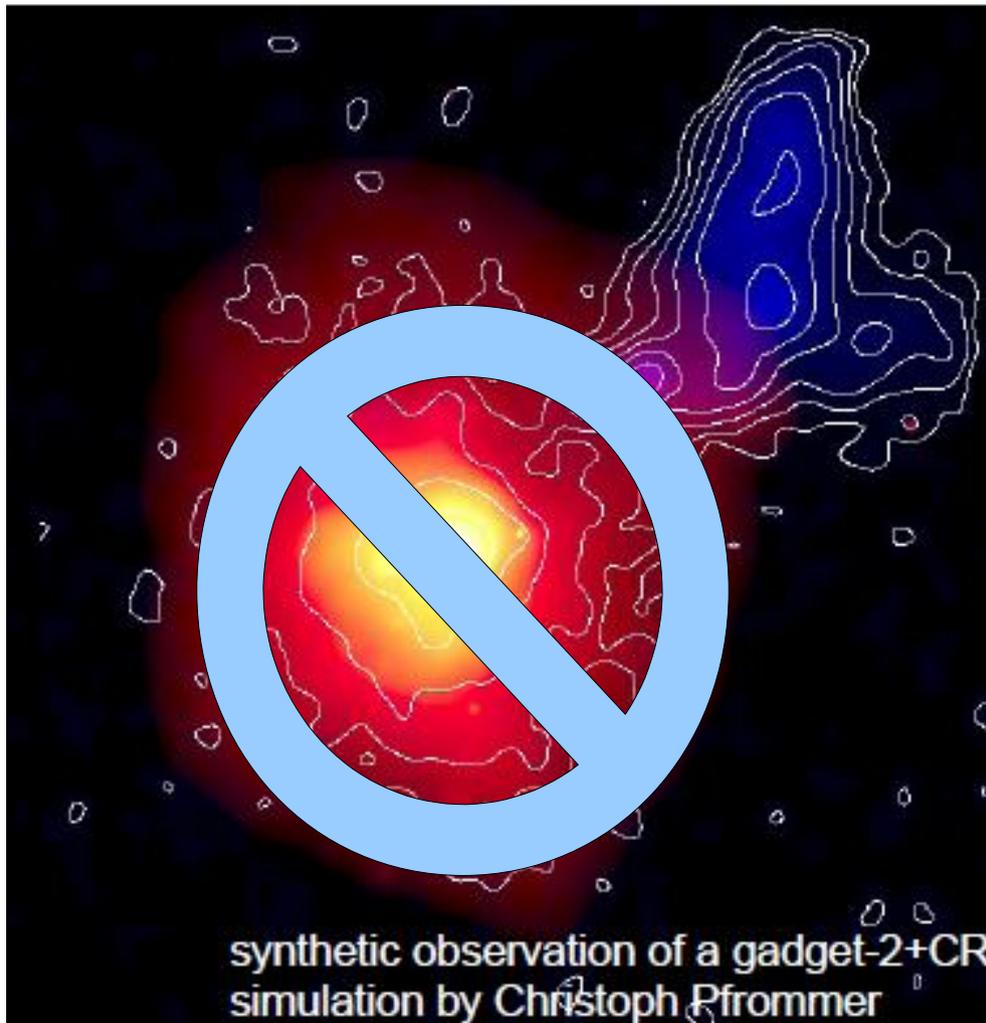
1) *modello a shock + secondari*
riproduce relitto, ma non alone
infatti:

2) *se ipotizziamo secondari per*
spiegare il radio, produciamo un
flusso gamma >> di quanto
osservato!

3) *se vogliamo rispettare i*
limiti gamma, non riproduciamo
lo spettro radio!

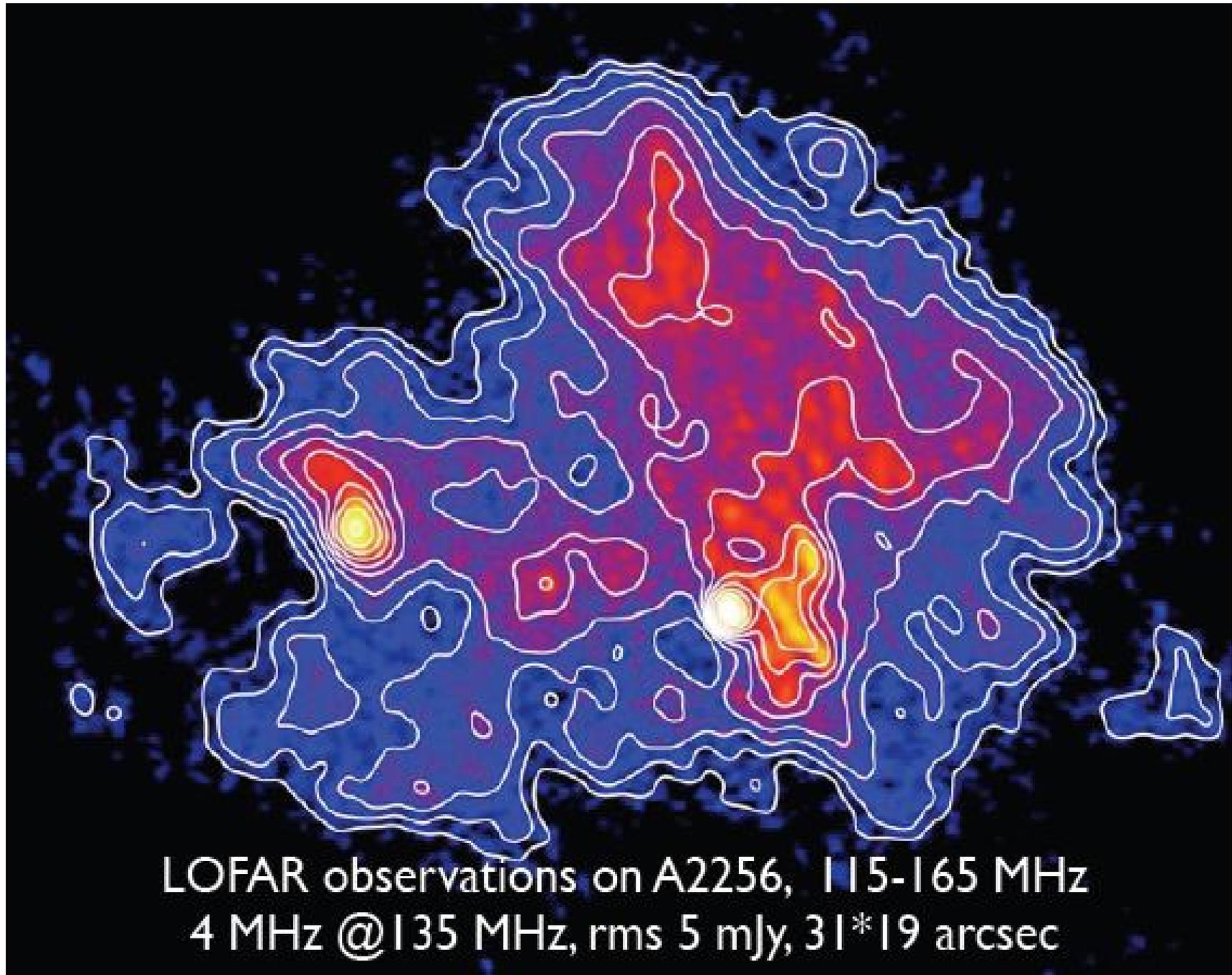
Soluzione: *lo shock produce*
pochi protoni/elett. Secondari
Alone è prodotto da ri-
accelerazione turbolenta (?)

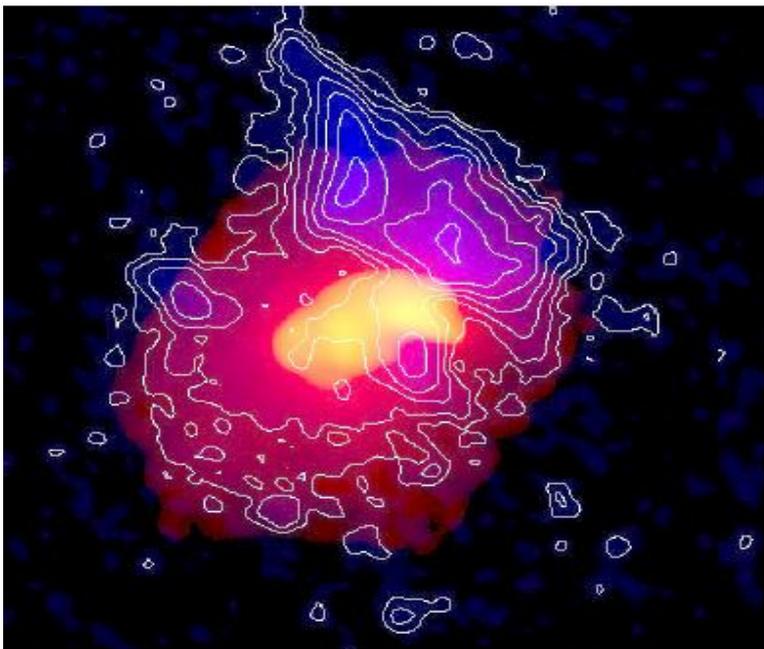
g72a



Il futuro:

Nuove immagini a bassa frequenza con LOFAR





Bibliografia essenziale:

Clarke et al. 2011

“The curious case of A2256”

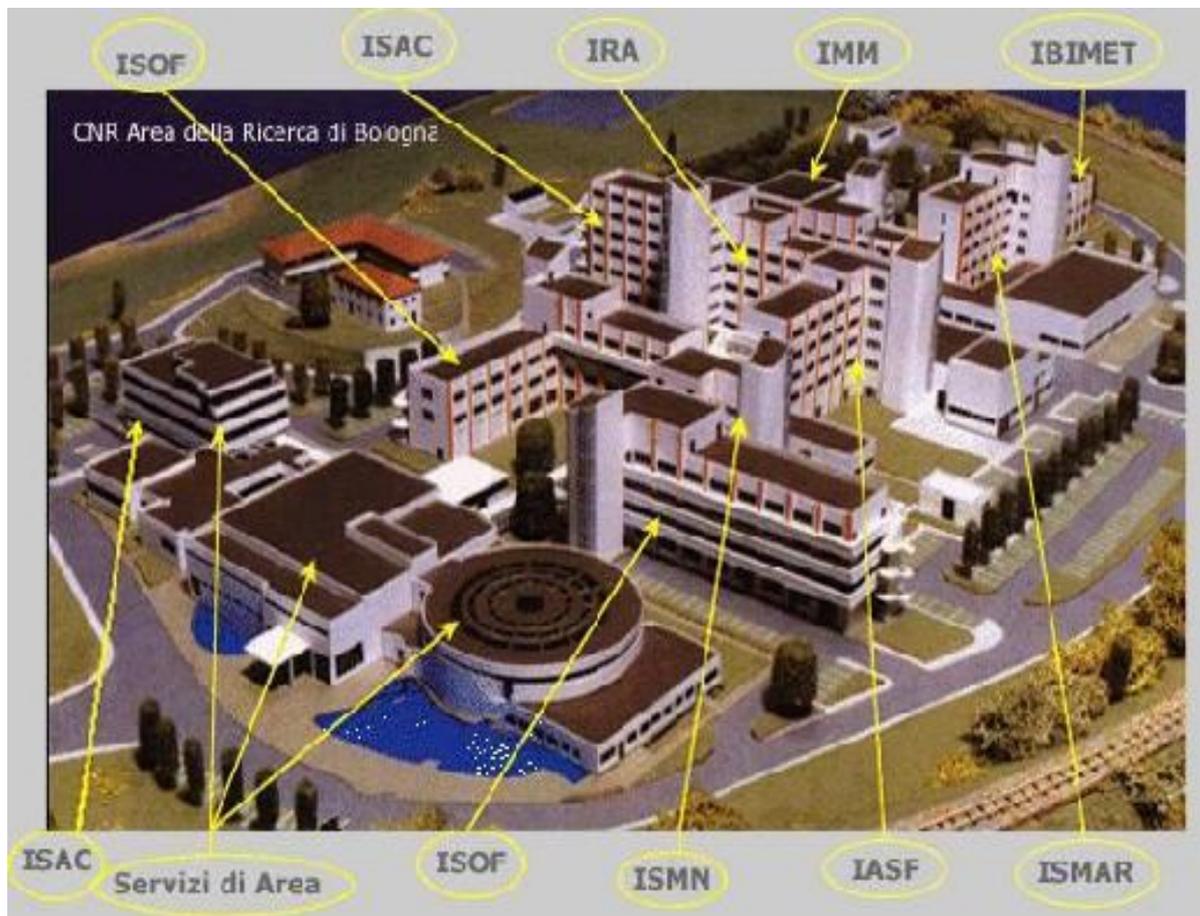
Kale & Dwarakanath
2010 ApJ

Brunetti 2009 A&A

CONCLUSIONI:

- Possediamo ormai moltissimi dati di grande qualità di A2256, in radio (135Mhz-1.4GHz), ottico, X-ray, gamma
- A2256 ospita un merger (triplo) complesso, e presenta un relitto a spettro piatto, ed un alone a spettro ripido
- Nessun modello “macroscopico” è ancora in grado di spiegare tutti i dati; tuttavia i dati permettono già di rigettare alcuni modelli (e.g. secondari)

PROPOSTE DI TESI PRESSO ISTITUTO DI RADIO- ASTRONOMIA (IRA c/o CNR)



www.ira.inaf.it

CLUSTERS OF GALAXIES-THERMAL AND NON-THERMAL PHENOMENA

Involved IRA Scientists and Collaborators: G. Brunetti, L. Feretti, I.M. Gioia, K.-H. Mack, P. Parma, T. Venturi, A. Zanichelli, A. Bonafede, M. Branchesi, R. Cassano, D. Dallacasa, C. Fanti, R. Fanti, S. Giacintucci, G. Giovannini, F. Govoni, L. Gregorini, E. Liuzzo, M. Murgia, E. Orru', G. Setti, F. Vazza

PRINCIPALI TEMATICHE DI RICERCA (RIGUARDANTI CLUSTERS)

- Origine dei radio aloni in ammassi di galassie*
- Origine e caratterizzazione del campo magnetico in ammassi di galassie*
- Proprietà statistiche e cosmologiche delle emissioni non termiche da ammassi di galassie.*
- Emissione X da radiogalassie in ammassi*



(1) EMISSIONE DI ALTA ENERGIA DA AMMASSI DI GALASSIE
(Brunetti · brunetti@ira.inaf.it)

TESI TEORICA PER PREVISIONI FUTURI STRUMENTI

Dal punto di vista teorico i protoni relativistici rappresentano la componente non-termica dominante negli ammassi di galassie. L'interazione pp genera particelle secondarie (elettroni e pioni) che emettono nella banda X e gamma.

Ci si propone di **calcolare l'emissione di alta energia prevista da ammassi di galassie** e di confrontarla con gli attuali limiti osservativi (Suzaku, Swift, FERMI, Cherenkov Arrays).

Il lavoro permetterà di ottenere **limiti sui raggi cosmici e campi magnetici** negli ammassi di galassie e di fare previsioni utili per i futuri strumenti nella banda dei raggi gamma (CTA).

Brunetti 2009, *A&A* 508, 599

Ackermann et al. 2010, *ApJ* 717, Letter 71

Brunetti & Lazarian 2011, *MNRAS* 410, 127

Jeltema & Profumo 2011, *ApJ* 728, 53



(2) TEST DELL'ORIGINE DEGLI ALONI RADIO CON
LOFAR E ASKAP
(Cassano, Brunetti - brunetti@ira.inaf.it)

TESI TEORICO-NUMERICA SU
EVOLUZIONE COSMOLOGICA DI
RADIO ALONI

Nel corso dei prossimi anni i radiotelescopi di futura generazione (LOFAR e ASKAP) permetteranno di esplorare l'universo radio con sensibilità mai raggiunte prima. Uno degli scopi principali di questi strumenti è lo studio dell'emissione radio da ammassi di galassie (aloni e relitti) fino ad alto redshift.

Il modello attualmente favorito per l'origine degli aloni radio è quello secondo il quale tali sorgenti si generano nel corso di merger fra ammassi ad opera di accelerazione di particelle da turbolenza.

Nell'ambito di tale modello ci si propone di calcolare il tasso di formazione di aloni radio a diverse epoche cosmologiche (conteggi e Funzioni di Luminosità) sviluppando ulteriormente le stime attuali.

I risultati saranno confrontati con i dati attualmente disponibili e si otterranno previsioni da testare con LOFAR e ASKAP.

Brunetti et al. 2008, Nature 455, 944

Cassano et al. 2010, A&A 509, 68

Cassano 2010, A&A 517, 10



(3) RICERCA DI EMISSIONE RADIO
ULTRA-DEBOLE DA AMMASSI DI GALASSIE
(Brunetti, Dallacasa, Venturi)
brunetti@ira.inaf.it; ddallacasa@ira.inaf.it

TESI OSSERVATIVA

I limiti ottenuti sull'emissione radio da ammassi senza alone rivestono particolare importanza per capire l'origine e l'evoluzione delle componenti non termiche negli ammassi.

Ad oggi non e' ancora chiaro se esista un'emissione radio (tipo alone) in ammassi dinamicamente rilassati, come prevista da diversi modelli (secondari, hybrid, etc).

*Allo scopo di migliorare considerevolmente i limiti attuali **ci si propone di usare "surveys" fatte al GMRT (150 MHz e 600 MHz) combinando campi centrati su ammassi di galassie tramite procedure di "stacking"**.*

I risultati saranno utilizzati per (i) comprendere meglio l'origine degli aloni e l'evoluzione dell'emissione non termica negli ammassi (ii) ottenere limiti sulla pressione (e densita' di energia) dei raggi cosmici e del campo magnetico negli ammassi.

Brunetti et al. 2007, ApJ 670, Letter 5

Brunetti et al. 2009, A&A 507, 661



Tesi "Osservative":

T.Venturi - tventuri@ira.inaf.it

background: la GMRT radio halo survey (Venturi + 2007, 2008) raccoglie info sugli ammassi piu' massicci e luminosi in X, e che si trovano tra $0.2 < z < 0.4$ e ne studia le proprieta' dell'emissione diffusa, qualora presente, mettendole in relazione ad altre caratteristiche (ad esempio termiche e dinamiche) dell'ammasso.

metodo: analisi di osservazioni con il Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT) di alcune decine di oggetti a 610 MHz, con successive osservazioni ad altre frequenze e con anche altri strumenti.

Dati a disposizione (1)

Follow up della GMRT radio halo survey con osservazioni a 150, 240 e 330 MHz di alcuni ammassi con emissione diffusa. Studio dello spettro e delle proprieta' dell'emissione diffusa e loro relazione i meccanismi di accelerazione di particelle.



Tesi "Osservative":

T.Venturi - tventuri@ira.inaf.it

Dati a disposizione (2)

Extended GMRT radio halo survey: osservazioni a 610 & 240 MHz di un nuovo campione di

ammassi che estende il lavoro su un piu' ampio intervallo di parametri. Il lavoro consiste nello

studio simultaneo a due frequenze di uno o piu' ammassi del campione per studio delle proprieta' astrofisiche e caratteristiche della (eventuale presenza di) emissione diffusa.

FUTURO: nei prossimi anni (1 - 5) LOFAR aumentera' (10-100X) il numero di sorgenti note di

questo tipo e ne definira' un osservabile cruciale per la loro origine ed evoluzione: lo spettro radio

alle basse frequenze. Bologna (IRA e UniBO) ha un ruolo primario in questa linea di ricerca.