Universiteit
Leiden
The Netherlands

Merging galaxy clusters: probing magnetism and particle acceleration over cosmic time

Di Gennaro, G.

Citation

Di Gennaro, G. (2021, July 8). *Merging galaxy clusters: probing magnetism and particle acceleration over cosmic time*. Retrieved from https://hdl.handle.net/1887/3188671

Version:	Publisher's Version
License:	Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden
Downloaded from:	https://hdl.handle.net/1887/3188671

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page

Universiteit Leiden

The handle http://hdl.handle.net/1887/3188671 holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Di Gennaro, G.
Title: Merging galaxy clusters: probing magnetism and particle acceleration over cosmic time
Issue date: 2021-07-08

RIEPILOGO

Gli ammassi di galassie sono gli oggetti più grandi dell'Universo tenuti insieme dalla gravità. Possono raggiungere dimensioni di alcuni milioni di anni luce ($\geq$ 1 Megaparsec) e masse centinaia di trilioni di volte quelle del Sole ($\geq 10^{14}$ $M_{\odot}$). Gli ammassi di galassie sono formati da migliaia di galassie, che rappresentano solo una piccola percentuale della massa complessiva di questi oggetti. La frazione più grande di luce visibile è data da particelle (elettroni e protoni) che riempiono lo spazio tra le galassie, il cosiddetto *mezzo intracluster* (ICM). L'ICM è osservabile a lunghezze d'onda X (Fig. 6.15). Secondo i modelli attuali, gli ammassi di galassie crescono via collisioni con altri ammassi o gruppi di galassie. Ammassi di galassie in fase di collisione prendono il nome di *merger*. Studi a diverse lungheze d'onda hanno stabilito che la formazione di queste grandi strutture sia avvenuta approssivamente quando l'Universo aveva appena 3-4 miliardi di anni.

Gli scontri tra ammassi sono gli eventi più energetici a partire dal Big Bang. Durante questi eventi, parte dell'energia è rilasciata in turbolenza e onde d'urto. Questi eventi disturbano l'ICM, il quale presenta quindi morfologie distorte. Inoltre, gli scontri di ammassi accelerano gli elettroni che vagano tra le galassie a velocità prossime a quelle della luce, e amplificano i campi magnetici. L'interazione di particelle accelerate e campi magnetici nell'intero volume degli ammassi produce emissione radio diffusa su larga scale, che non è associata con l'emissione proveniente dai buchi neri nel centro delle galassie (i.e. radio galassie). Queste sorgenti di emssione radio diffusa prendono il nome di *aloni radio* o *relitti radio* (Fig. 6.15).

- Gli aloni radio sono oggetti più o meno sferici e regolari, che si trovano

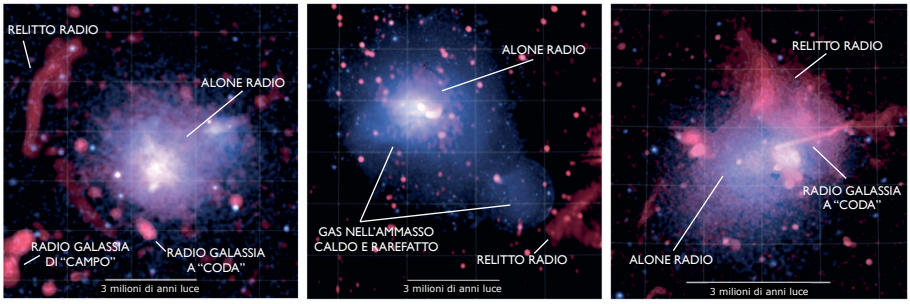

Figura 6.15: Tre esempi di ammassi di galassie locali osservati a lunghezze d'onda radio (rosso) e X (blu). Da sinistra a destra: Abell 2744, Coma and Abell 2256. L'emissione radio mostra particelle accelerate e campi magnetici, mentre l'emissione X mostra il gas caldo e tenue nell'ammasso. Immagini prese e adattate da van Weeren et al. (2019).

al centro degli ammassi. Di solito seguono la morfologia del mezzo intracluster osservato a lunghezze d'onda X.

- I relitti radio sono strutture allungate che si trovano nelle zone periferiche degli ammassi. Osservazioni recenti hanno mostrato che questi si trovano in corrispondenza di onde d'urto visibili in banda X. Osservazioni radio ad alta risoluzione hanno inoltre rivelato che i relitti hanno una struttura filamentare.

Nonostante i progressi degli ultimi decenni, non è ancora chiara quale sia l'origine dell'emssione radio diffusa negli ammassi. Si pensa che i relitti radio siano prodotti come conseguenza della propagazione di onde d'urto verso le parti periferiche degli ammassi. L'idea di base è che l'onda d'urto allinea e amplifica i campi magnetici, mentre le particelle diventano ultrarelativistiche muovendosi avanti e indietro l'onda d'urto. Uno dei problemi è che le onde d'urto negli ammassi sono relativamente deboli ($\mathcal{M} \leq 3$) e quindi non riuscirebbero ad accellerare le particelle associate all'ICM in modo efficiente. Quindi, è necessaria la presenza di plasma già precedentemente relativistico, come quello nei lobi delle radio galassie. In alcuni casi, è stata osservata una chiara connessione morfologica tra radio galassie e relitti, supportando quest'ultimo scenario. Infine, come conseguenza dell'allineamento e della compressione dei campi magnetici, i relitti radio sono anche polarizzati. Si pensa che gli aloni radio siano prodotti come conseguenza della turbolenza generata dallo scontro di ammassi. Studi recenti hanno trovato infatti una chiara connessione tra lo stato dinamico dell'ammasso e le proprietà degli aloni radio. In particolare, si è osservato che i sistemi più massicci (e quindi più energetici) ospitano gli aloni radio più luminosi.

La presenza di emissione radio diffusa nel volume degli ammassi è un'indicazione importante della presenza di campi magnetici dell'ordine del μGauss. Questo valore è ottenuto in oggetti vicini, analizzando il cambiamento dell'emissione polarizzata da sorgenti che si trovano dietro l'ammasso (i.e. Misura di Faraday). Una domanda aperta, comunque, riguarda l'origine dei campi magnetici. Sono stati identificati due scenari principali: uno assume che i campi magnetici siano generati durante le prime fasi della storia dell'Universo, prima della formazione delle prime stelle e galassie (*origine primordiale*); l'altro assume che i campi magnetici siano emessi dalle galassie, ed espulsi tramite venti o getti (*origine astrofisica*). In entrambi gli scenari, il campo magnetico iniziale deve essere amplificato durante il tempo cosmologico per raggiungere i livelli che sono misurati nell'Universo attuale. È ampiamente condivisa l'idea che la turbolenza dovuta agli scontri di amamssi giochi un ruolo principale, sebbene il processo esatto di amplificazione non sia ancora ben compreso.

Lo scopo di questa Tesi è quello di investigare i meccanismi di accelerazione guidati dalle onde d'urto e dalla turbolenza dovuta allo scontro, e l'evoluzione dell'emissione radio diffusa (e quindi i campi magnetici negli ammassi) durante il tempo cosmico. Questo è stato possibile grazie ad osservazioni estremamente sensibili e ad alta risoluzione in banda radio e X. In particolare, durante il lavoro di Tesi, osservazioni radio con il Karl-Jansky VLA, LOFAR e l'upgraded GMRT sono state combinate con osservazioni X con Chandra, XMM-Newton e Suzaku. Nel **Capitolo 2** e **Capitolo 5** sono state studiate le proprietà spettrali e di polarizzazione del relitto radio nell'ammasso CIZA J2242.8+5301. Grazie ad osservazioni profonde e ad alta risoluzione con il VLA, è stato scoperto che il relitto è composto da diversi filamenti. È ancora non chiaro se questo sia dovuto da una complessa superficie dell'onda d'urto e/o da inomogenietà dei campi magnetici. Le proprietà dell'onda d'urto nell'ammasso ZwCl 0008.8+5215 sono presentate nel **Capitolo 3**. Usando osservazioni profonde con Chandra e Suzaku sono state investigate variazioni nella forza dell'onda d'urto per spiegare le propietà morfologiche dell'emissione radio diffusa. L'evoluzione dei campi magnetici su scale degli ammassi è presentata nel **Capitolo 4**, studiando un campione di ammassi distanti ($z \geq 0.6$) osservati con LOFAR. Le luminosità radio simili a quelle misurate in sistemi locali, nello stesso intervallo di masse, corrisponde a campi magnetici sorprendemente alti ($\sim$ alcuni μGauss). Le proprietà dello spettro di questi aloni radio distanti sono studiate nel **Capitolo 6**, usando nuove osservazioni con l'uGMRT. Queste informazioni sono cruciali per testare i modelli attuali di formazione dell'emissione radio diffusa.