

Focalizzazione e Dissipazione di Energia nei Plasmi Naturali: Transizione alla Riconnessione Magnetica Veloce

Questo lavoro di tesi studia il fenomeno della riconnessione magnetica, attraverso un'instabilità detta di strappo o *Tearing mode*, in un contesto nuovo dovuto alla scoperta dell'esistenza di regimi in cui l'instabilità ha luogo su tempi scala rapidi, ovvero confrontabili coi tempi di propagazione delle onde più veloci presenti nel plasma, le onde di Alfvén. In questa tesi mostriamo che esiste a tutti gli effetti una instabilità di Tearing caratterizzata da tassi di crescita *ideali*, non dipendenti quindi dal valore preciso della diffusività magnetica del plasma. Questa instabilità sembra in grado di fornire una risposta ad alcuni dei problemi più difficili nella comprensione dei fenomeni energetici nei plasmi, quelli dovuti al lento accumulo e poi al rilascio violento di energia magnetica, che caratterizzano oggetti astrofisici come: brillamenti o “flare” della corona solare, espulsioni di massa coronale, o CMEs, fino ai brillamenti più intensi osservati nelle Magnetar.

Partendo da un'analisi dei modelli fluidi e della legge di Ohm generalizzata nel caso classico, dandone successivamente una formulazione covariante, come anche del teorema di Alfvén, fondamentale per lo studio della dinamica del plasma nel caso ideale, si sono rivisitati i modelli classici di riconnessione di Sweet e Parker e discusso l'instabilità di Tearing, concludendo che, sotto determinate ipotesi, è possibile estenderli ad ambienti relativistici caratterizzati da campi magnetici molto intensi. Avendo osservato come entrambe queste possibilità risultino inefficaci per spiegare i fenomeni di accumulo e violento rilascio di energia che si osservano nei plasmi naturali (caratterizzati da Lundquist estremamente grandi ($S \geq 10^5$) e di laboratorio, abbiamo formulato una congettura che prevede una transizione da strati di corrente in equilibrio, a instabilità ideali. Abbiamo identificato quindi una condizione di *trigger* sul rapporto di aspetto dello strato di corrente da cui si origina l'instabilità, che chiamiamo modo di Tearing ideale, che avviene per strati di corrente il cui rapporto di aspetto diventa $a/L \leq S^{-1/3}$. Abbiamo effettuato uno studio numerico lineare delle soluzioni e dei tassi di crescita per il modo Tearing ideale che ha confermato questa ipotesi e trovato, per il caso dello strato di corrente con la forma funzionale del campo in tangente iperbolica, o di Harris, che il tasso di crescita massimo vale $\gamma\tau_A \simeq 0.6$. È quindi dimostrata l'impossibilità di formare strati di corrente di Sweet Parker in quanto la transizione a un'instabilità caratterizzata da tassi di crescita ideali avviene a dimensioni maggiori di quelle di tale strato.

Infine abbiamo ripreso un codice numerico che integra le equazioni MHD non lineari nel caso comprimibile; abbiamo trovato tassi di crescita leggermente inferiori, ma dello stesso ordine di grandezza, di quelli dell'analisi lineare; si è vista la formazione dei plasmoidi nello strato di corrente e osservato la successiva coalescenza, dovuta all'attrazione reciproca dei microfilamenti di corrente, fino al subentrare delle interazioni non lineari.

Questo lavoro apre la strada a una possibile serie di sviluppi: a partire dallo studio degli altri modi di instabilità presenti negli strati di corrente che abbiamo identificato, fino a studiarne l'evoluzione non lineare alle scale più piccole, dove avvengono i fenomeni di accelerazione di particelle che si osservano in concomitanza con i brillamenti o “flares”, non descrivibili col modello fluido. In una prima fase, sarebbe interessante estendere lo studio di instabilità a regimi in cui non si possono trascurare effetti di alta frequenza, quale il termine di Hall. Nei casi di alta energia sarebbe importante avviare studi di questo modo di tearing superando le approssimazioni di quasi-equilibrio e sviluppando la cinetica per seguire i canali di trasformazione dell'energia magnetica in riscaldamento, accelerazione di particelle, ed irraggiamento.

Candidato: **Fulvia Pucci** (fulvia.pucci87@gmail.com)

Relatore: **Prof. Marco Velli** (velli@arcetri.astro.it)