

Caratterizzazione della turbolenza vicino al punto a X di un tokamak

Francesco Cianfrani, Nakia Carlevaro, Giovanni Montani, Fabio Moretti

ENEA, Dipartimento NUC, C. R. Frascati, Via E. Fermi 45, Frascati (Roma), 00044.

francesco.cianfrani@enea.it

Il trasporto di particelle ed energia in un tokamak è prevalentemente di natura turbolenta e costituisce un aspetto cruciale per il confinamento del plasma. La sua comprensione risulta quindi necessaria per la pianificazione dei futuri reattori e per la massimizzazione della performance. Da un punto di vista empirico, la turbolenza si manifesta tramite coefficienti di trasporto cosiddetti "anomali", circa 100 e 10 volte superiori ai valori classico e neoclassico attesi in un approccio a due-fluidi sulla base delle collisioni elettroni-ioni e degli effetti geometrici dovuti alla morfologia del campo magnetico (l'attrito dovuto alle particelle intrappolate).

Verranno qui presentati i risultati di alcune simulazioni locali compiute nei dintorni del punto a X di un plasma di tipo tokamak [1, 2]. Il modello di riferimento è quello di Hasegawa-Wakatani in 3 dimensioni, in cui la sorgente di energia libera è fornita dai gradienti di background e l'accoppiamento dovuto alla corrente parallela al campo magnetico rende il sistema turbolento (turbolenza di drift). Verrà evidenziata la formazione di profili saturati con tendenza all'assimmetria, dovuta a una cascata inversa nella direzione toroidale, in cui però i residui gradienti paralleli sostengono la turbolenza e sono perciò rilevanti benché soppressi. I corrispondenti spettri di energia saranno analizzati in relazione ai parametri del modello, in particolare l'intensità dei gradienti di background e la diffusività, e verrà discusso il ruolo dei diversi flussi coinvolti e delle cascate nelle direzioni toroidale e poloidale. Infine, i campi simulati verranno utilizzati come background per l'analisi della deviazione statistica di un set di tracers passivi [3], al fine di determinare le caratteristiche del sistema dinamico ottenuto.

Sebbene l'inclusione di effetti globali (sia di integrazione con il core e le pareti, sia lungo la direzione poloidale) possa alterare i risultati presentati, il modello fornisce una efficace descrizione dei meccanismi fisici di piccola scala ($\leq 1\text{cm}$) responsabili del trasporto. Infatti, l'analisi dei tracers evidenzia un comportamento di natura diffusiva e un'amplificazione del coefficiente di trasporto a valori anomali, di cui verrà discusso lo scaling rispetto all'energia turbolenta al fine di un confronto con approcci del tipo modello $\kappa - \epsilon$.

- (1) Cianfrani, F.; Montani, G. *Physica D: Nonlinear Phenomena* **2025**, 481, 134851.
- (2) Cianfrani, F.; Montani, G. *Physica D: Nonlinear Phenomena* **2025**, 481, 134800.
- (3) Moretti, F.; Carlevaro, N.; Cianfrani, F.; Montani, G. *Physica D: Nonlinear Phenomena* **2025**, 472, 134529.