

## Progetto di tesi

(studente: F. Curbis, tutore: G. De Ninno)

### Generazione di armoniche mediante interazione laser-elettroni a Elettra

L'interazione di un fascio di elettroni relativistici con un'onda elettromagnetica in presenza di un campo magnetico statico e periodico (prodotto, ad esempio, da un onduttore) può condurre, sotto opportune condizioni, alla generazione di radiazione coerente a frequenze armoniche di quelle dell'onda. Se l'onda in questione è quella prodotta da un laser, la radiazione ottenuta presenta caratteristiche che si rivelano particolarmente interessanti per applicazioni in svariati campi scientifici.

Le configurazioni che possono essere utilizzate per generare la radiazione armonica sono molteplici. Il metodo più comune prevede l'interazione del fascio di elettroni (preventivamente accelerato utilizzando un acceleratore lineare) con la radiazione prodotta da un laser esterno, durante un singolo passaggio all'interno di uno o più ondulatori posti in cascata. Un metodo alternativo si basa sull'interazione del fascio di elettroni e la radiazione prodotta da un laser esterno o da un laser a elettroni liberi, all'interno di un anello di accumulazione.

Il lavoro di tesi sarà svolto presso il laboratorio Elettra di Trieste, dove entrambe le configurazioni di cui sopra (in anello e in singolo passaggio) sono oggetto di studio. L'attenzione verrà inizialmente concentrata sulla generazione di armoniche in anello. La prima fase del progetto di tesi, durante la quale lo studente avrà modo di prendere confidenza con l'apparato sperimentale e con i risultati teorici finora ottenuti, sarà mirata alla caratterizzazione sperimentale e all'ottimizzazione dei parametri del fascio di elettroni e dei regimi di funzionamento del sistema nel caso in cui la generazione della radiazione armonica avvenga mediante l'interazione del fascio di elettroni con il laser a elettroni liberi. In questo caso la radiazione "fondamentale" emessa dall'onduttore<sup>1</sup> viene immagazzinata all'interno di una cavità ottica e amplificata durante le successive interazioni con il fascio di elettroni, fino al raggiungimento di un regime di saturazione. Una volta raggiunto il regime di saturazione, il segnale fondamentale può essere utilizzato per indurre l'emissione armonica da parte del fascio di elettroni. Lo studio del processo metterà lo studente di fronte alla necessità di una comprensione profonda della dinamica non-lineare che caratterizza il sistema. Lo studio sia sperimentale che teorico di tale dinamica sarà oggetto di un'attività a sé stante che, oltre ad avere ovvie benefiche ricadute sulle performance del sistema, permetterà allo studente di stabilire proficui contatti con la comunità internazionale che si occupa dello studio della dinamica di sistemi non-lineari. In questo contesto, l'attività sperimentale sarà integrata con un'attività di modellizzazione che avrà come scopo quello di mettere a punto un codice numerico capace di riprodurre ed interpretare i fenomeni fisici salienti coinvolti nel processo.

Parallelamente allo studio del processo di generazione di armoniche tramite l'interazione del fascio di elettroni con il laser in cavità, lo studente sarà coinvolto nell'attività mirata a realizzare la configurazione nella quale, rimossa la cavità ottica,

---

<sup>1</sup> In realtà, in un anello di accumulazione il campo magnetico statico e periodico in presenza del quale avviene l'interazione fra il fascio di elettroni e l'onda elettromagnetica viene generalmente prodotto da un klystron ottico. Tale sistema è composto da due ondulatori in cascata separati da una sezione dispersiva.

gli elettroni vengono fatti interagire con la radiazione prodotta da un laser esterno. Tale attività sarà inserita nel contesto di un progetto europeo (già finanziato) che coprirà tutta la durata della tesi e che si avvarrà del contributo di alcuni fra i più importanti laboratori europei. Lo studente sarà coinvolto in tutti gli aspetti teorici e sperimentali inerenti al progetto, con particolare riguardo a quelli relativi all'interazione fra la radiazione e gli elettroni. Come nel caso della generazione di armoniche mediante l'interazione del fascio di elettroni con il laser in cavità, l'approccio al problema sarà inserito in un ambito scientifico più ampio. A questo proposito è importante rilevare che, contrariamente a quanto accade nella configurazione in cui il processo viene indotto dal laser in cavità, il sistema in singolo passaggio è hamiltoniano e che la sua hamiltoniana può essere ridotta a quella che riproduce l'evoluzione dell'instabilità di un'onda propagantesi in un plasma. Il legame fra questi due ambiti, ovvero la generazione di armoniche utilizzando un fascio di elettroni relativistico e la fisica dei plasmi, è attualmente molto poco sviluppato. Parte del lavoro di tesi sarà dedicato a formalizzare questo legame e a trasferire nell'ambito della generazione di armoniche una serie di risultati ottenuti in quello dei plasmi sfruttando il carattere hamiltoniano del sistema. Anche in questo caso, l'attività dello studente sarà inquadrata nel contesto di una solida e collaudata rete di collaborazioni internazionali.

Per quanto riguarda la generazione di armoniche utilizzando un acceleratore lineare, il laboratorio Elettra è promotore di un progetto all'avanguardia già finanziato dal governo italiano. Tale progetto mira alla realizzazione di una sorgente di luce coerente e accordabile in lunghezza d'onda nel dominio spettrale che va da 100 a 10 nm. La realizzazione della prima parte del progetto (ovvero di una linea di luce tra 100 e 40 nm) è prevista entro i prossimi tre anni, in perfetta sincronia con l'attività di tesi. Il lavoro dello studente, che si avvarrà dell'attività teorica e sperimentale contemporaneamente svolta sulla configurazione in anello, sarà in questo caso mirato alla definizione dei parametri del sistema tali da ottimizzarne le performance. Se i tempi previsti per la realizzazione della prima fase del progetto verranno rispettati, lo studente avrà modo di partecipare al commissioning della linea di luce. Anche in questo caso lo studente si troverà inserito nel contesto di una fitta rete di collaborazioni nazionali e internazionali che creeranno possibili sbocchi al lavoro di tesi.