Il laser ad elettroni liberi SPARC

LA LUCE DI SINCROTRONE

Una particella carica in moto su una traiettoria curvilinea emette spontaneamente radiazione elettromagnetica detta anche "Luce di Sincrotrone". La prima osservazione diretta di questo fenomeno fu effettuata nel 1947 rivelando l'intensa luce uscente da una finestra installata su un piccolo acceleratore circolare di particelle, un Sincrotrone appunto. Questa emissione di radiazione fu considerata per molto tempo un effetto di disturbo per la dinamica delle particelle accelerate: le particelle, infatti, perdono parte della loro energia sotto forma di energia irraggiata. Uno studio piu' accurato del fenomeno rivelo' che la Luce di Sincrotrone era la sovrapposizione di un largo spettro di radiazioni con lunghezza d'onda che si estendono dal lontano infrarosso fino ai raggi X e che poteva essere utilizzata come potente sorgente di radiazione per effettuare indagini sulla natura microscopica dei materiali, delle cellule, delle proteine e per ottenere immagini ad altissima risoluzione di tessuti biologici.

IL LASER AD ELETTRONI LIBERI

Il Laser ad Elettroni Liberi, spesso chiamato FEL dall'acronimo inglese (Free Electron Laser), è una sorgente di luce di sincrotrone in grado di produrre radiazione elettromagnetica "monocromatica" (ovvero, di un solo "colore") anche a lunghezza d'onda inferiore a un milionesimo di millimetro, ovvero raggi X. Questo dispositivo consiste essenzialmente in un lungo magnete, detto **ondulatore** (si veda Fig. 1), caratterizzato da un campo magnetico sinusoidale prodotto da una serie di piccoli magneti con polarità alternata, in cui viene iniettato un fascio di elettroni di alta densità di carica prodotto da un acceleratore lineare (Linac). All'interno di questa struttura magnetica, gli elettroni emettono radiazione di lunghezza d'onda, detta di risonanza, direttamente proporzionale al periodo dell'ondulatore e inversamente proporzionale al quadrato dell'energia degli elettroni.

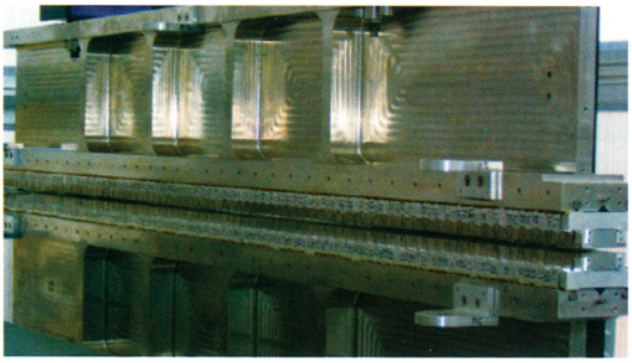

Fig. 1- Un modulo dell'ondulatore di SPARC.

In una prima fase, detta di **letargia**, l'interazione tra il fascio di elettroni e la radiazione emessa dal fascio stesso mentre viaggia all'interno dell'ondulatore, produce una ridistribuzione spaziale degli elettroni in tanti piccoli pacchetti distanziati esattamente una lunghezza d'onda di risonanza (Fig. 2).

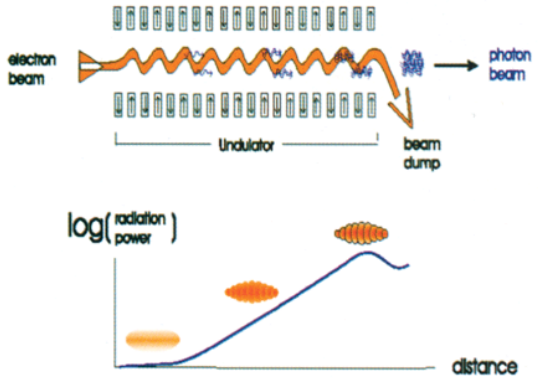

Fig. 2 - Moto degli elettroni all'interno dell'ondulatore e corrispondente curva di crescita di intensita' della radiazione emessa.

In questo modo milioni di elettroni si auto-organizzano per partecipare all'emissione di radiazione in fase tra loro con una **crescita esponenziale** della potenza emessa. Il processo si arresta quando viene raggiunta la fase detta di **saturazione**: gli elettroni hanno convertito in energia elettromagnetica una frazione tale della loro energia cinetica iniziale (5%) da non soddisfare piu' la condizione di risonanza. Inoltre poiche' la lunghezza d'onda emessa dipende dall'energia degli elettroni e' possibile modificare la

lunghezza d'onda cambiando l'energia del fascio iniettato nell'ondulatore, cosa impossibile con i Laser convenzionali. Il FEL consentirà di aumentare di parecchi ordini di grandezza la potenza di picco (flusso di fotoni) rispetto alle migliori sorgenti di luce di sincrotrone attuali, con notevoli vantaggi per la ricerca e per la tecnologia industriale. Si potranno utilizzare ad esempio tecniche innovative basate sulla formazione d'immagini a raggi X, sia nella scienza dei materiali (nanotecnologie) che in biologia o medicina, nuove prospettive nella microscopia a raggi X e nuove metodologie nel campo della cristallografia delle proteine.

IL PROGETTO SPARC

Nato da una collaborazione tra l'INFN, l'ENEA ed il CNR il primo FEL italiano in grado di produrre radiazione monocromatica a 500 nm (nella regione dello spettro elettromagnetico corrispondente al verde), è entrato in funzione nel Gennaio 2009 a Frascati.

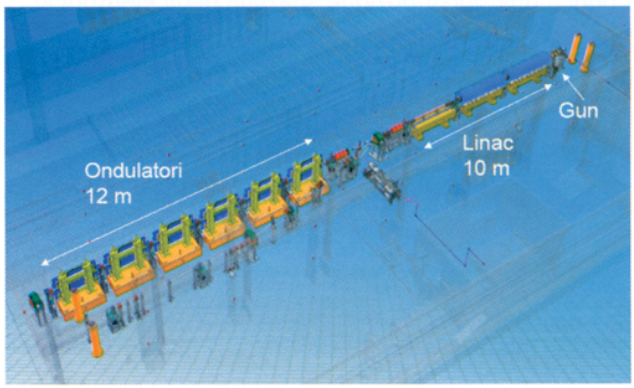

Fig. 3 - Schema del progetto SPARC

Lo schema di Fig. 3 illustra le componenti principali di SPARC. Un fascio di elettroni viene generato per effetto fotoelettrico da un catodo in rame posto all'interno di una struttura accelerante (Gun) che cattura il fascio e lo accelera fino all'energia di 5 MeV. Il fascio viene ulteriormente accelerato fino all'energia di 150 MeV da tre strutture acceleranti (Linac) e trasportato fino all'ingresso dell'ondulatore, composto da sei moduli di circa 2 metri di lunghezza ciascuno. Per cambiare l'energia del fascio e di conseguenza il "colore" della radiazione emessa e' sufficiente variare il campo accelerante nel Linac. Due immagini recenti del Linac e degli ondulatori di SPARC sono riportate nelle Fig. 4 e 5, rispettivamente.

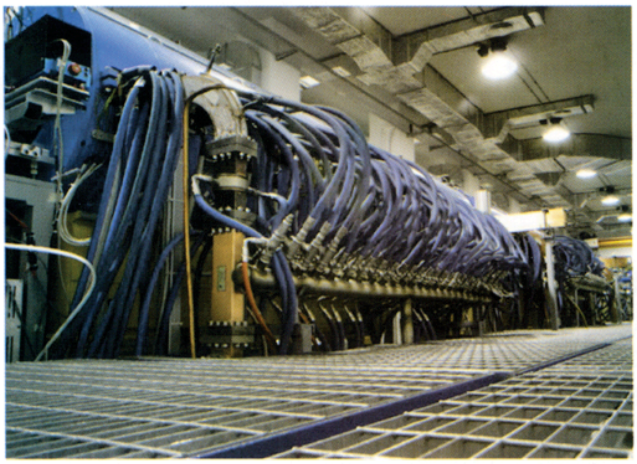

Fig. 4 - Vista del Linac di SPARC

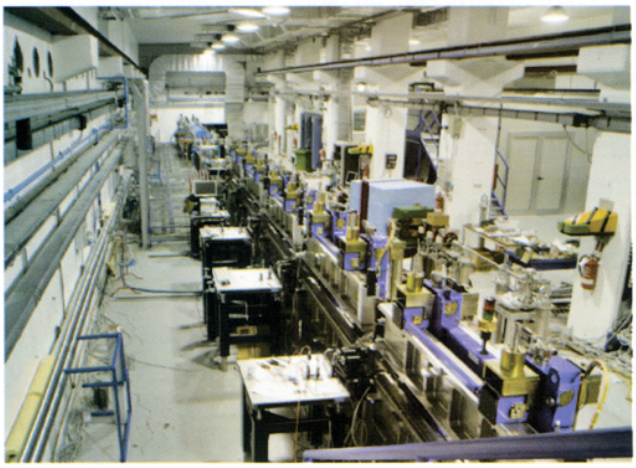

Fig. 5 - Vista degli ondulatori di SPARC

SPARC è un esperimento pilota in cui vengono studiati nuovi schemi di generazione di fasci di elettroni e soluzioni innovative per migliorare la qualita' e la durata temporale della radiazione emessa, in vista di possibili sviluppi nell'area romana di macchine di maggiore energia (1-2 GeV) in grado di generare radiazione X. La produzione di impulsi di radiazione ultra-corti, della durata inferiore ai 100 femtosecondi (un decimillesimo di miliardesimo di secondo), apriprebbe infatti nuove prospettive per lo studio di fenomeni veloci caratteristici delle reazioni chimiche di interesse biologico, quali ad esempio le reazioni fotosintetiche.