

Fusione Nucleare: lo stato dell'arte

di Stefano Brizzolara – La fisica del plasma e le tecnologie necessarie per manipolarne e sfruttarne gli effetti si sono sviluppate velocemente negli ultimi 50 anni e le prime applicazioni di carattere commerciale sono sotto gli occhi di tutti, ad esempio per la propulsione aerospaziale.

I principi teorici della fisica del plasma alla base dei reattori nucleari a fusione è ben compreso e riesce ad essere previsto da sofisticati modelli di simulazione numerica. Il problema è il contenimento del plasma (in termini di temperatura e radiazioni) che intenzionalmente viene portato a temperature altissime dalla reazione di fusione nucleare. Esistono diversi concetti per la realizzazione di reattori a fusione. Uno dei primi ad essere stato studiato e sviluppato dal MIT di Boston, è cosiddetto TOKAMAK, ora allo stadio di seconda generazione con il reattore ITER, finanziato dall'Europa, in costruzione in Francia e lo SPARC [4] che MIT sta sviluppando con una società privata in USA. SPARC sarà il primo reattore a raggiungere una reazione a catena auto-alimentata del plasma caldo, che darà la possibilità di ottenere una produzione di energia netta rilevante. Molti dispositivi sperimentali ad oggi richiedono, infatti, più energia di quanto sia possibile estrarne.

Esistono diversi altri tipi di reattori a fusione che attualmente sono in uno stato di sviluppo avanzato (Technology Readiness Level, TRL-6) e che ci si aspetta portino a prototipi funzionanti nel medio-breve termine (<10 anni) con produzione di energia netta positiva. Infatti provocare la fusione del plasma, al momento, non è più il problema. Il problema è ottenere un bilancio di energia positivo, quella spesa per il contenimento del plasma e quella estratta dalla fusione. Molti reattori sperimentali richiedono al momento più

energia di quella che si riesce ad estrarre dalla fusione.

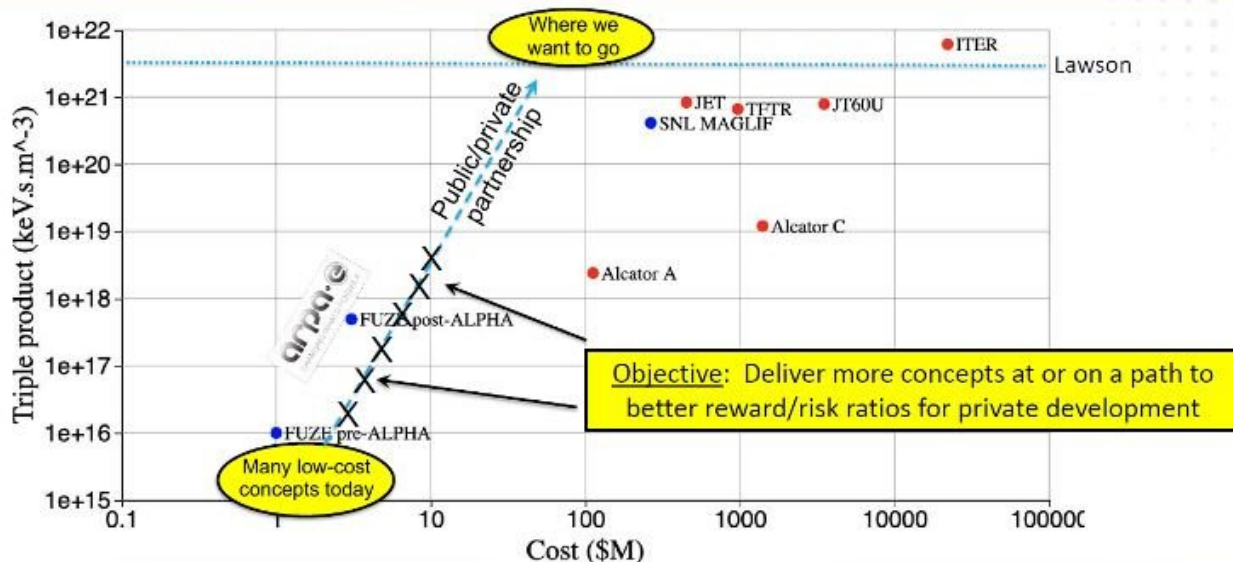
Negli States esistono almeno una dozzina di start-up companies, principalmente finanziate da capitali privati (oltre a capitali pubblici da enti di ricerca Federali) che stanno sviluppando prototipi di reattori a scopo commerciale, naturalmente mirato alla produzione di energia a costi competitivi nell'arco di 10 anni.

Un tipo di reattore promettente è basato sul concetto di Z-pinch ed utilizza un principio completamente diverso dal TOKAMAK per contenere la reazione di fusione calda del plasma. Z-pinch non ha bisogno di campi elettromagnetici esterni come TOKAMAK (che richiedono superconduttori, complicate tecnologie connesse ad essi, e comunque dispendio di energia), ma la reazione è al momento instabile. Nuove tecniche di stabilizzazione sono in studio e dimostrazione sperimentale mediante modelli numerici e dispositivi sperimentali, fra i quali ad esempio Sheared-Flow Stabilized Z-pinch, che la società Zap Energy sta sviluppando. La tecnologia z-pinch richiede in genere un mantello di metallo fuso che viene utilizzato per contenere il plasma caldo ed allo stesso tempo estrarre calore. Un gruppo di ricercatori del Virginia Tech insieme all'Università di Princeton, nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dalla Agenzia di Ricerca Avanzata del Department of Energy (ARPA-E), sta sviluppando e validando modelli teorico/numerici fra i più avanzati al mondo per la simulazione della reazione a fusione nel plasma, insieme a quella del metallo liquido sotto l'azione di campi elettromagnetici di grande intensità. I modelli di simulazione vengono utilizzati per il progetto e l'ottimizzazione dei parametri principali (geometrici, fisici e costruttivi) dei reattori a fusione della prossima generazione.

Il modello di business per lo sviluppo della tecnologia di fusione negli States è diversificato ed ha vari ordini di grandezza/costo/efficacia, come spesso si verifica per altre tecnologie avanzate. Dispositivi tipo ITER, promettono di

generare grandi quantità di energia, ma richiedono investimenti molto consistenti, generalmente non compatibili interessi commerciali di privati. L'obiettivo di ARPA-E è quello di combinare investimenti pubblici a quelli privati per avanzare lo sviluppo di tecnologie non-convenzionali, investendo nella ricerca e sviluppo di metodi di simulazione numerica combinate con prototipi sperimentali di validazione, per portarle ad un livello di sviluppo atteso di energia che solo reattori di tipo molto più costoso sono al momento potenzialmente capaci di sviluppare (come raffigurato nella foto).

Potential program A: Develop credible fusion concepts that may cost ~0(\$100M) for net gain and ~0(\$1B) for grid-ready demo



Obiettivo di sviluppo del programma A finanziato da ARPA-E in USA

Foto tratta da Hsu, Scott (2019) ARPA-E Fusion-Energy Programs and Plans. Presentation to FESAC Rockville, MD, Oct. 2, 2019.

L'AUTORE

Stefano Brizzolara – Professore Associato e Capo Dipartimento per gli studi universitari presso la Virginia Polytechnic

Institute and State University.