

SVILUPPI NEL PROGETTO DELLA CONFIGURAZIONE MAGNETICA ED ELETTROSTATICA DELL'ESPERIMENTO MITICA, PROTOTIPO DI INIETTORE DI NEUTRI PER ITER E PER DEMO

*G. Chitarin^{1,2}, V. Antoni¹, D. Aprile³, P. Agostinetti¹, N. Marconato¹,
N. Pilan¹, G. Serianni¹, P. Sonato^{1,3}, P. Veltri¹*

¹ Consorzio RFX

Corso Stati Uniti 4, 35127 Padova

² Univ. di Padova, Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali (DTG)
strad. S. Nicola 3, 36100, Vicenza

³ Univ. di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII)
via Gradenigo 6/a, 35131, Padova
email: giuseppe.chitarin@unipd.it

Parole chiave: *Fusione a confinamento magnetico, Acceleratori di particelle, Ottimizzazione magnetica ed elettrostatica*

L'esperimento MITICA è il prototipo dei due iniettori di particelle neutre previsti per riscaldare il plasma di ITER e dimostrare la fattibilità tecnologica ed economica della produzione di energia da fusione. MITICA è in corso di realizzazione a Padova ed è progettato per produrre un fascio ben collimato di particelle (H o D) con energia di 1 MeV e potenza utile di circa 16 MW, per la durata di 1 ora. La combinazione di questi requisiti corrisponde ad un aumento di almeno un ordine di grandezza nelle prestazioni rispetto agli iniettori realizzati finora in ambito internazionale. L'esperimento è essenzialmente costituito da una sorgente di ioni negativi, un acceleratore elettrostatico, un neutralizzatore, e un bersaglio solido che simula il plasma da riscaldare, oltre che dal necessario sistema di vuoto e di alimentazione in alta tensione.

Nell'ambito degli accordi per ITER, il gruppo di Padova si è assunto la responsabilità di completare il progetto realizzativo finale di MITICA, in collaborazione con altri laboratori (IPP e CEA in Europa, JAEA in Giappone) e di realizzare l'esperimento secondo un serrato programma temporale. Considerato l'elevato valore della tensione applicata (1 MV) e della corrente ionica richiesta (fino a 60 A), anche sulla base dei risultati sperimentali di JAEA, l'acceleratore è basato la configurazione MAMuG (Multiple Apertures, Multiple Gaps) con un totale di 7 griglie di rame e molibdeno (sezione utile circa 600mm x 1600 mm). Ciascuna delle griglie è dotata di 1280 aperture in modo da estrarre, accelerare e focalizzare altrettanti fascetti di ioni negativi.

Il completamento del progetto esecutivo dell'iniettore ha richiesto la soluzione di numerose criticità che, sulla base delle simulazioni numeriche e dei risultati sperimentali più recenti di IPP e JAEA, erano ancora irrisolte nel precedente progetto di riferimento [1, 2]. I punti più critici rimasti aperti erano principalmente legati alla riduzione della potenza termica depositata dagli elettroni sui componenti dell'iniettore e al mantenimento della qualità ottica del fascio anche in uno spettro sufficientemente ampio di condizioni di funzionamento dell'acceleratore, in particolare:

a) la configurazione di campo elettrico nell'acceleratore, che grazie all'effetto lente generato dal profilo geometrico delle aperture delle griglie, per garantire una buona focalizzazione "ottica" di tutti i singoli fascetti (divergenza < 3 mrad) in diverse condizioni di tensione e densità di corrente (perveanza).

b) la configurazione magnetica, ottenuta mediante magneti inseriti nelle griglie e conduttori esterni, per sopprimere gli elettroni (estratti assieme agli ioni negativi o prodotti da collisioni con il

gas di residuo) prima che vengano accelerati, in modo da mantenere il carico termico sulle griglie e sugli altri componenti entro limiti accettabili (circa 1.5 MW/griglia).

c) la geometria interna delle griglie, che includono canali per il raffreddamento forzato a liquido e zone cave per ridurre le sollecitazioni termomeccaniche entro valori compatibili con la durata di vita prevista per gli esperimenti.

d) la modalità di correzione delle deflessioni che alcuni singoli fascetti subiscono per effetto della carica spaziale di fascetti adiacenti, della disuniformità del campo magnetico, e delle dilatazioni termiche e delle tolleranze meccaniche nella costruzione.

e) la realizzazione della deflessione necessaria per il puntamento dei fascetti verso il bersaglio di limitate dimensioni situato a circa 25 m.

Questi problemi, aventi natura molto diversa (elettrostatica, magnetica, ottica dei fasci di particelle, ma anche meccanica-strutturale, fluidodinamica e di trasmissione del calore), hanno comportato una revisione sostanziale del progetto sia concettuale che realizzativo dell'iniettore. La loro soluzione ha richiesto un approccio di ottimizzazione integrato che è stato alla fine basato sulla combinazione di diverse procedure automatiche e manuali.

In questa attività, il gruppo di Padova ha sviluppato e proposto numerosi concetti innovativi rispetto al progetto originale [2, 3]. La configurazione magnetica dell'acceleratore è stata radicalmente migliorata, ed include un contributo "verticale-locale" su ogni griglia oltre ad una componente "orizzontale-globale", la cui combinazione consente di deflettere efficientemente gli elettroni, cancellando nel contempo la deflessione indesiderata degli ioni [4, 5]. Notevoli miglioramenti sono stati apportati anche ai profili esterni delle griglie per la correzione delle altre deflessioni e per il puntamento al bersaglio [6], nonché alla conformazione dei canali interni di raffreddamento. Due idee particolarmente innovative, una riguardante una griglia di magneti che produce un campo dissimmetrico rispetto al piano della griglia, l'altra riguardante un sistema compatto di collegamento a tenuta di vuoto tra griglie di rame e tubi in acciaio, avendo possibile applicazione anche in campo industriale, hanno dato luogo al deposito di brevetti internazionali.

Dopo approfondita verifica, basata anche su prove sperimentali specifiche, e revisione con il team centrale di ITER e con gli esperti di altri laboratori, queste soluzioni innovative sono state accettate e incorporate nel progetto come soluzione di riferimento per gli iniettori di ITER.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Hemsworth et al., "Status of the ITER heating neutral beam system", Nuclear Fusion 49 045006 (2009).
- [2] G. Chitarin, P. Agostinetti, H. P. L. De Esch, D. Marcuzzi, N. Marconato, E. Sartori, G. Serianni, P. Sonato, P. Veltri, And P. Zaccaria, "Optimization of the Electrostatic and Magnetic Field Configuration in the MITICA Accelerator", Fusion Eng. Des. 88(6–8), 507 (2013).
- [3] V. Antoni, P. Agostinetti, D. Aprile, M. Cavenago, G. Chitarin, N. Fonnesu, N. Marconato, N. Pilan, E. Sartori, G. Serianni, And P. Veltri: "Physics Design of the Injector Source for ITER Neutral Beam Injector" Rev. Sci. Instrum. 85, 02b128 (2014).
- [4] N. Pilan, G. Chitarin, A. De Lorenzi, G. Serianni, "Magnetic Field Effect on Voltage Holding in the MITICA Electrostatic Accelerator", IEEE Transactions On Plasma Science, Vol. 42, Apr. 2014, Issue: 4, Pag. 1012-1020 (2014).
- [5] G. Chitarin, P. Agostinetti, D. Aprile, N. Marconato, P. Veltri, "Cancellation Of The Ion Deflection Due To Electron-Suppression Magnetic Field In A Negative-Ion Accelerator", Rev. Sci. Instr., Vol.85, Issue 2, 02b317 (2014).
- [6] P. Veltri, P. Agostinetti, M. Cavenago, G. Chitarin, N. Marconato, E. Sartori, and G. Serianni: "Compensation of Beamlet Deflections and Focusing Methods in the Electrostatic Accelerator of MITICA Neutral Beam Injector", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol. 42, No. 4 (2014)