



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile



RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Rapporto sulla progettazione delle procedure di remote handling per il Target assembly di IFMIF

Gioacchino Micciché

Report RdS/2012/264

RAPPORTO SULLA PROGETTAZIONE DELLE PROCEDURE DI REMOTE HANDLING PER IL TARGET ASSEMBLY DI IFMIF

Gioacchino Micciché (ENEA)

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: 1.3.2 Fusione nucleare: attività di fisica e tecnologia della fusione complementari a ITER

Responsabile del Progetto: Aldo Pizzuto, ENEA

Indice

Sommario	4
1. <i>Introduzione</i>	5
2. <i>Il Target assembly di IFMIF</i>	5
3. <i>Principali operazioni di manutenzione del TA di IFMIF</i>	7
3.1 <i>Procedure per la manutenzione remotizzata del target di IFMIF</i>	8
3.2 <i>Strategia adottata</i>	8
3.3 <i>Procedura per la sostituzione del TA</i>	11
3.4 <i>Procedura per il ricondizionamento del TA</i>	12
3.5 <i>Tempi d'intervento per la sostituzione del TA</i>	13
3.6 <i>Tempi d'intervento per il ricondizionamento del TA</i>	15
4. Conclusioni	16
Riferimenti bibliografici	16
Abbreviazioni ed acronimi	16

Sommario

Il Target Assembly (TA) di IFMIF è il componente più esposto all'alto flusso neutronico prodotto dalla reazione $D^+ - Li$ ed è quindi soggetto ad un elevato tasso di danneggiamento neutronico (50 dpa/anno). Pertanto tale componente richiede una manutenzione/sostituzione periodica che al momento attuale è stimata avere una frequenza annuale ma non è escluso che su alcuni dei suoi componenti si debba intervenire con una maggiore frequenza. Il TA è installato all'interno della Test Cell (TC), che è la regione di IFMIF con la più alta dose di radiazioni gamma, e tutte le operazioni di manutenzione da eseguire sul TA o sui suoi componenti devono essere eseguite da remoto. Due tipi di manutenzione sono previste in IFMIF: la manutenzione preventiva che si effettua annualmente; la manutenzione correttiva che viene fatta all'occorrenza di un guasto che non consente all'impianto di continuare le normali operazioni, anche se con prestazioni ridotte, in sicurezza. Punto focale del progetto delle procedure di manutenzione è la durata della stessa. Infatti l'impianto IFMIF è progettato per avere un disponibilità d'impianto del 70% (7860 ore/anno) e per soddisfare tale requisito è necessario che l'intero periodo di manutenzione non superi i 20 gg. Le operazioni del solo Target assembly invece devono essere completate in non più di 7 gg. La complessità di esecuzione di tali operazioni è tale che le procedure da utilizzare devono essere attentamente studiate insieme alle strategie da impiegare nei vari scenari per la loro integrazione con le procedure e strategie degli altri componenti che devono essere mantenuti.

Le procedure di manutenzione nei due scenari previsti per IFMIF insieme ai tempi d'intervento previsti per ciascuna operazione sono illustrati nel rapporto. I risultati delle simulazione, delle stime dei tempi d'intervento e dei risultati sperimentali ottenuti in passato permettono di asserire che è possibile completare le operazioni di sostituzione e ricondizionamento del TA di IFMIF entro un tempo massimo di una settimana.

1. Introduzione

L'International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) è un impianto che sarà utilizzato per il test e la qualifica dei materiali strutturali dei futuri reattori a Fusione nucleare. Si tratta di un acceleratore lineare di deutoni che produce un altissimo ed energetico flusso neutronico generato dalla reazione $D^+ - Li$. Il target assembly (TA) a Litio disponibile in IFMIF è quindi il generatore di neutroni.

Nel'ambito di tale progetto l'ENEA ha la responsabilità della progettazione Ingegneristica del TA di tale impianto. Essa comprende anche la progettazione dei cicli di manutenzione remotizzata a cui tale componente viene sottoposto con cadenza periodica. La manutenzione di tale componente richiede la disponibilità di dispositivi robotici appositamente progettati e di procedure, che passano attraverso diversi stadi di ottimizzazione, aventi i seguenti obiettivi principali: eseguire le operazioni di manutenzione in modo sicuro ed eseguirle entro un tempo limite che garantisca la disponibilità d'impianto.

Attualmente si stanno sviluppando due concetti di TA: Il concetto Europeo conosciuto come target a Baionetta[1] ed il target Integrale[2] (IT- Integral Target) sviluppato dai Giapponesi del JAEA (Japan Atomic Energy Agency). I due Target perfettamente identici dal punto di vista funzionale differiscono soprattutto dal punto di vista della manutenzione. Infatti l'IT è interamente saldato ed è connesso con la restante parte dell'impianto a litio per mezzo di flange anch'esse saldate. Tale approccio oltre ad essere costoso in termini di dispositivi robotici da impiegare presenta ancora diversi problemi relativi alla risaldabilità delle flange oltre all'eventuale inquinamento dell'ambiente in cui tale operazione viene eseguita a causa dei residui prodotti durante il taglio. Il TA Europeo è stato sviluppato con gli obiettivi di semplificare le operazioni di manutenzione e di ridurre il materiale attivato da smaltire. In questo rapporto è presentato solamente il TA Europeo. Il lavoro svolto riguarda lo sviluppo delle procedure di manutenzione remotizzata del TA Europeo nei due casi previsti della sua sostituzione o del suo ricondizionamento.

2. Il Target assembly di IFMIF

Il concetto di TA Europeo è stato sviluppato interamente in ENEA ed è illustrato in Fig. 1. Conosciuto come Target a baionetta, tale nome gli è stato attribuito per via del bersaglio (Backplate) che viene installato e rimosso come un sistema a Baionetta.

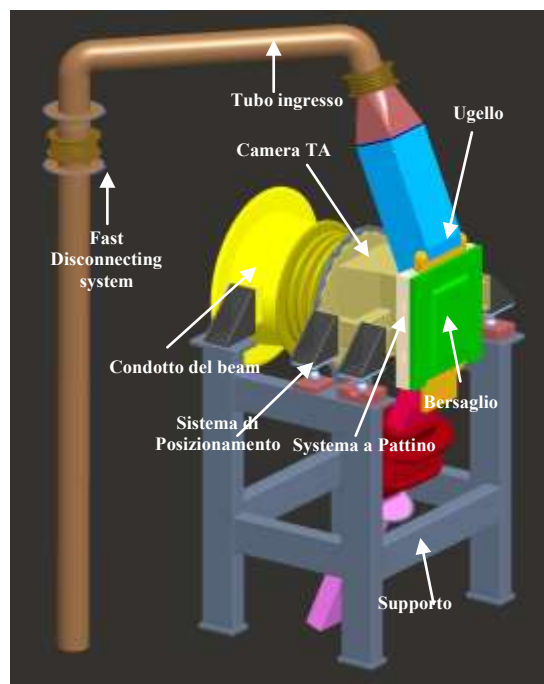


Fig. 1 Concetto di TA a Baionetta

Il concetto di TA a baionetta è stato sviluppato con l'obiettivo principale di semplificare e velocizzare le operazioni di manutenzione. Infatti a causa della sua esposizione all'alto flusso neutronico esso è soggetto ad un danneggiamento neutronico che arriva fino a valori di 50-60 dpa/fpy e quindi deve essere sottoposto a periodiche operazioni di sostituzione o di ricondizionamento. A tal fine tutte le connessioni tra il TA e l'impianto a litio sono state realizzate per mezzo di sistemi a connessione rapida (Fast disconnecting system- FDS[3], vedi fig. 2) mentre il bersaglio è facilmente rimpiazzabile. Quest'ultimo punto consente, sotto certe condizioni, che venga risparmiata una considerevole quantità di materiale attivato da smaltire. Infatti il bersaglio ha un peso di circa 160 Kg mentre il TA pesa circa 1 ton.

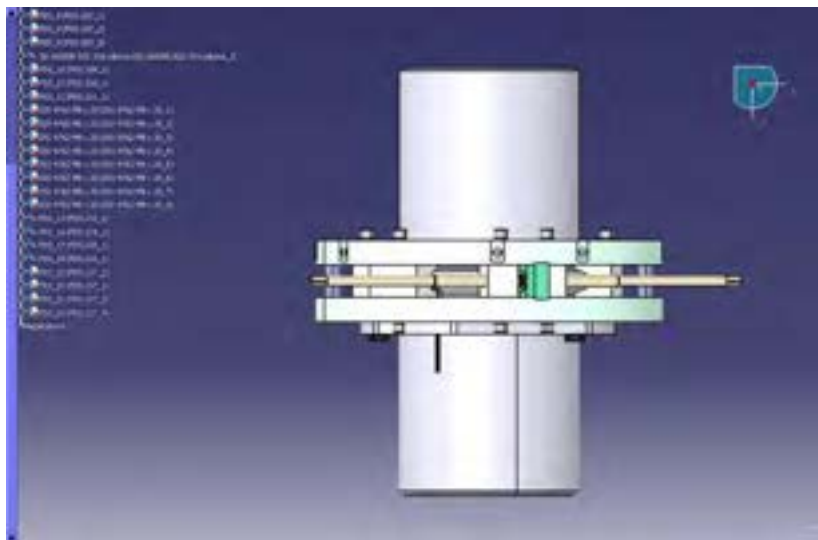


Fig. 2 Fast Disconnecting System (FDS)

Il TA, interamente realizzato in acciaio a bassa attivazione (EUROFER), è costituito dall'ugello, che immette il flusso di litio nel canale del bersaglio che porta il Footprint, dal bersaglio stesso, dalla tubazione di uscita, e dal corpo del Target. Il bersaglio rimovibile è stato progettato in modo tale da rendere possibile la sua sostituzione in modo rapido ed efficiente. Esso è illustrato in Fig. 3. In tale concetto il bersaglio viene installato dall'alto della test cell (TC) inserendolo nel relativo telaio d'interfaccia del corpo del Target. Per sigillare la camera del corpo del TA (la camera del TA è a diretto contatto con l'acceleratore e pertanto occorre garantire il grado di vuoto previsto per il suo funzionamento) il bersaglio è provvisto di una guarnizione metallica della Helicoflex (HNV200 low data data). La forza di compressione necessaria per il funzionamento ottimo della guarnizione viene fornita da un sistema a pattino che scorrendo su di una camma trasferisce la forza necessaria alla guarnizione che sigilla il bordo della camera. I pattini sono posizionati nelle due parti laterali del bersaglio gli altri due lati sono chiusi per mezzo di bulloni. Nell'attuale configurazione la forza di compressione richiesta dalla guarnizione è di circa 24 ton a cui corrisponde una coppia applicata alle viti di manovra dei pattini di circa 33 Nm e sui bulloni di circa 30 Nm. La guarnizione è stata integrata nel bersaglio in modo che essa venga sostituita ad ogni rimozione del Bersaglio. Inoltre per garantire il distacco del bersaglio dal telaio (fenomeni di incollamento bersaglio-telaio sono possibili a causa del litio che filtra tra le due superfici in contatto) sono state inserite quattro viti su fori ciechi ai quattro spigoli del bersaglio.

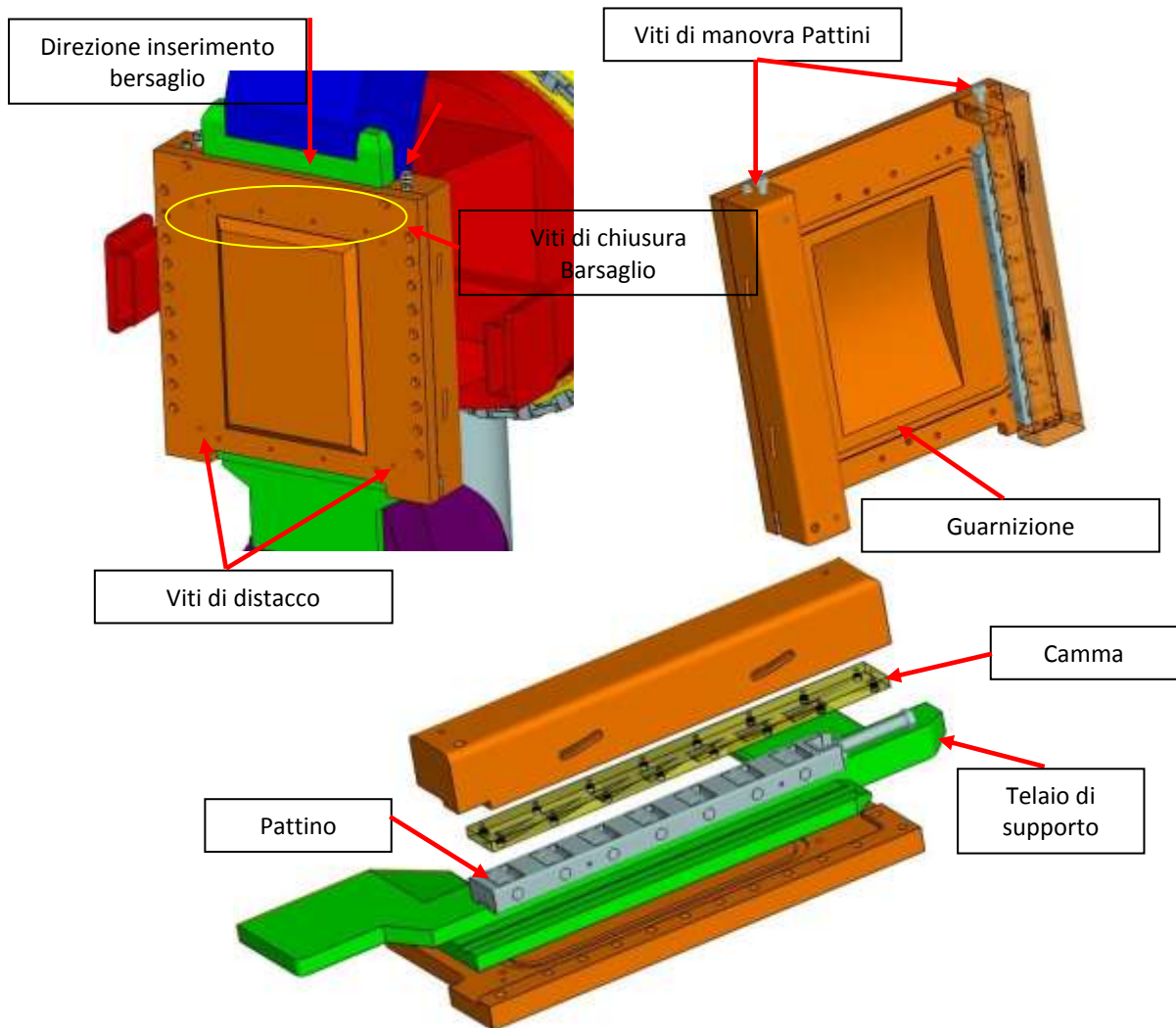


Fig. 3 Bersaglio a Baionetta e dettaglio dei sistemi a pattino

3. Principali operazioni di manutenzione del TA di IFMIF

Vi sono due sole alternative per la manutenzione del target assembly: sostituirlo o ricondizionarlo. La sostituzione del TA comporta la rimozione del componente e l'installazione di uno nuovo completo di isolamento termico, diagnostica, sistemi di rilevamento fuga litio e guarnizioni. Il ricondizionamento comporta invece la sostituzione di alcune sue parti e la re-installazione del target così ricondizionato. Le principali operazioni di manutenzione per ricondizionamento del TA sono:

- 1) Sostituzione del bersaglio completo di guarnizione e sistema di rilevamento fuga litio;
- 2) Controllo dello stato dell'ugello
- 3) Controllo del sistema di riscaldamento target
- 4) Verifica dei sistemi di connessione rapida per le giunzioni flangiate
- 5) Sostituzione delle guarnizioni sulle flange e dei sistemi di rilevamento fuga litio
- 6) Verifica dello stato della diagnostica ed eventuale sostituzione
- 7) Collaudo del TA prima dello start impianto.

Alcune di tali operazioni possono essere fatte online all'interno della TC di IFMIF, come la sostituzione del bersaglio, mentre altre possono essere eseguite solamente in celle appositamente progettate per questo tipo di operazioni (celle calde). Per questo motivo l'attività di manutenzione deve essere pianificata

attraverso una strategia di manutenzione che permetta di completare tutte queste attività ed entro un tempo certo e definito. Nel seguito del rapporto viene descritta la strategia di manutenzione adottata.

3.1 Procedure per la manutenzione remotizzata del target di IFMIF

In IFMIF sono previste due tipologie di manutenzione: la manutenzione preventiva che viene effettuata annualmente e quella correttiva che viene eseguita nel caso di guasto ad uno o più sistemi. IFMIF prevede anche la possibilità di funzionamento a regime ridotto e per cui la manutenzione correttiva viene eseguita solamente a seguito di guasto a componenti che pregiudicano la sicurezza e/o funzionamento in modo non sostenibile.

3.2 Strategia adottata

Attualmente il valore di riferimento del tempo di vita del Target di IFMIF è di 11 mesi. Questo tempo di vita del Target è in linea con il valore atteso per la disponibilità di IFMIF che è del 70%. Tra gli elementi limitanti il tempo di vita di tale componente vi sono il bersaglio e l'ugello. Il bersaglio, come si è già detto, perché è l'elemento più esposto al flusso neutronico mentre l'ugello perché il suo danneggiamento, causato dall'erosione indotta dal litio, porta ad instabilità del flusso di litio. Il problema nasce quindi quando occorre eseguire la manutenzione dei componenti del TA e della sua durata. Il valore di riferimento per l'esecuzione delle operazioni di manutenzione di tutti i componenti è di 20 gg di cui 7 gg sono dedicati alla manutenzione del TA (Fig. 4). I venti giorni sono misurati tra lo stato di beam off (quando si spegne l'acceleratore) e di beam on. Prima di poter partire con la manutenzione del TA occorre completare alcune operazioni preliminari come il drenaggio del loop a litio e l'apertura della Test cell.

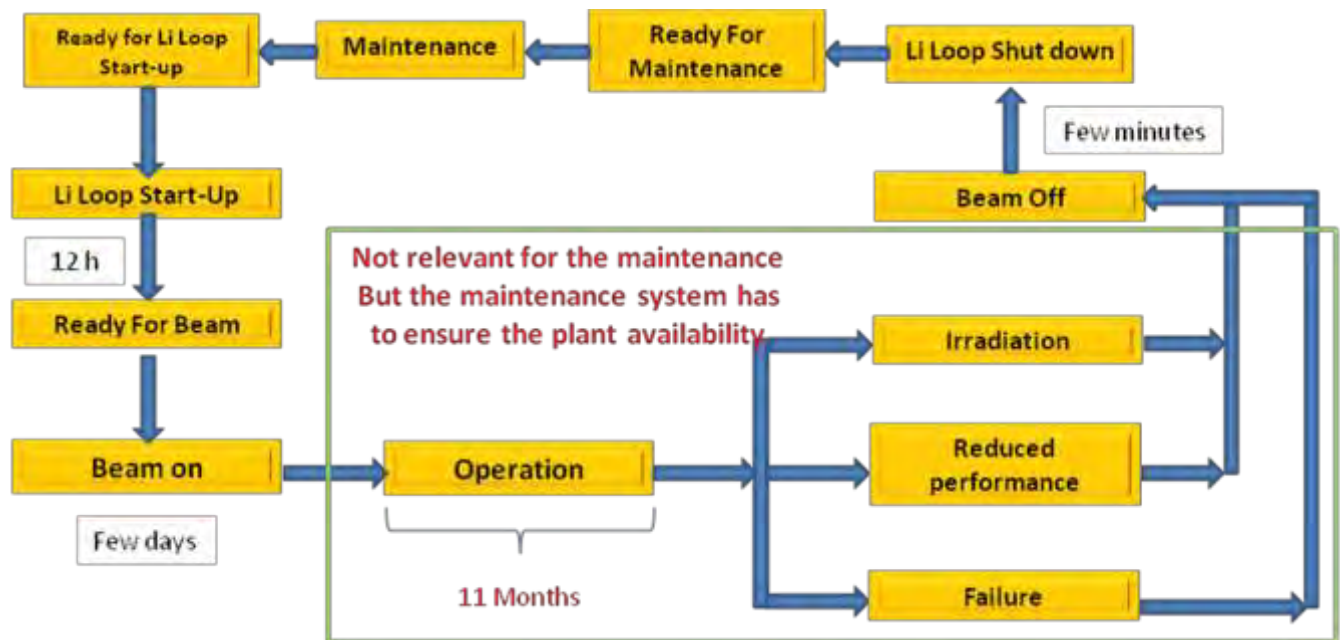


Fig. 4 Schema di flusso della manutenzione dell'impianto IFMIF

Queste due ultime operazioni di "Li Loop Shut down" e "Ready for maintenance" richiedono diversi giorni di attività anche se ancora non definitivamente confermati. La manutenzione del TA è rappresentata dal box "Manutenzione" che, come già detto, e qualunque sia l'approccio da utilizzare, deve avere una durata di 7 giorni.

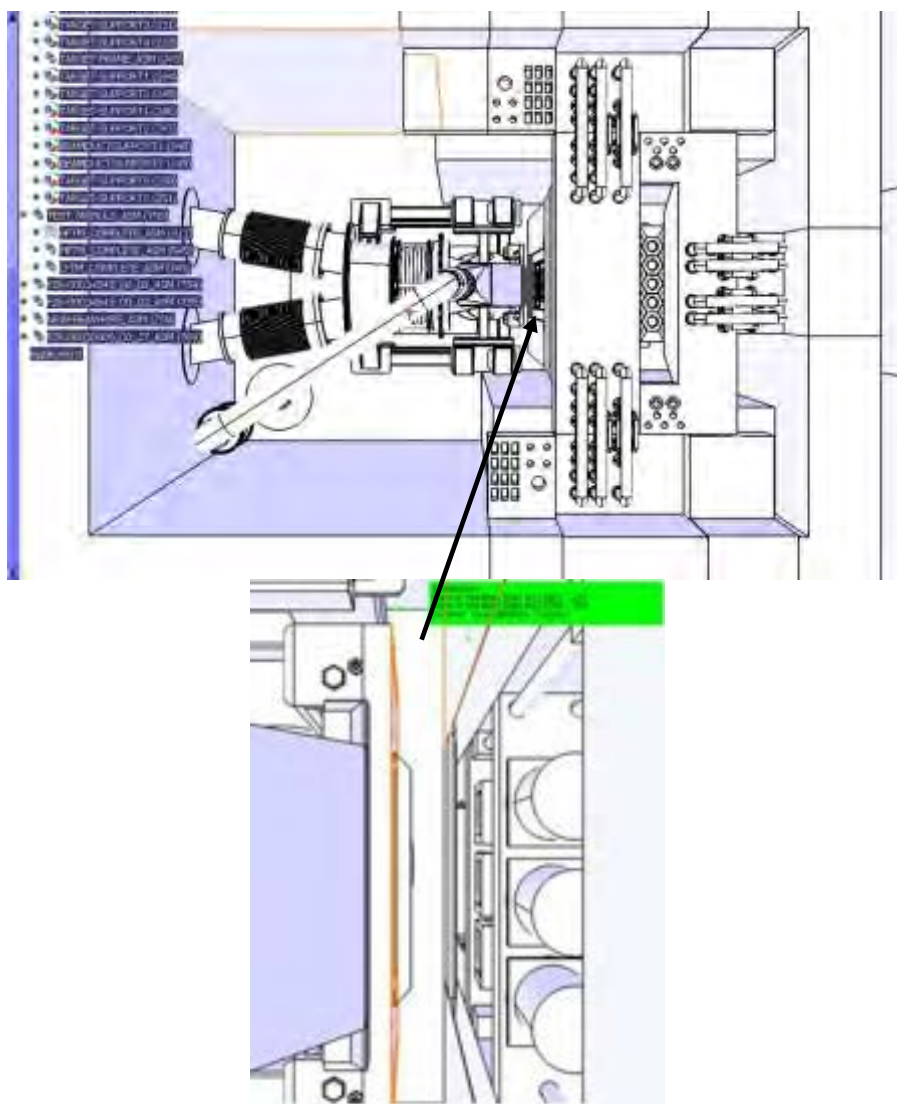


Fig. 6 Rimozione bersaglio con MFTM in posizione

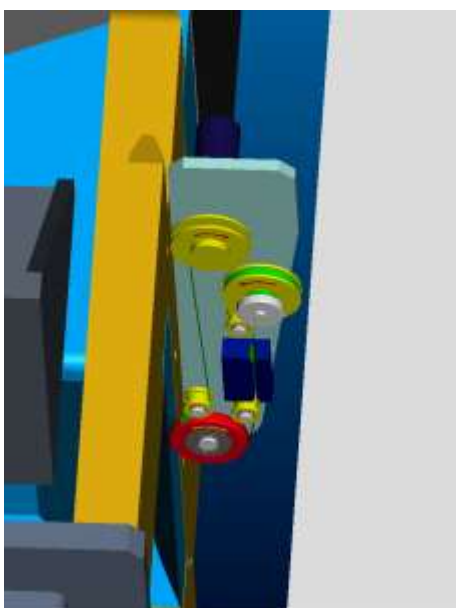


Fig. 7 Simulazione operazione di pulizia con MFTM in posizione.

Di seguito vengono presentate le procedure di manutenzione nei due casi di sostituzione del TA e di sostituzione del solo bersaglio.

3.3 Procedura per la sostituzione del TA

La procedura per la sostituzione del TA prevede che esso sia l'ultimo componente ad essere rimosso dalla TC e sia il primo ad essere installato. La procedura di dettaglio è riportata in tabella 1.

Tabella 1 procedura di sostituzione TA

TA Removal	
<p><u>precondizioni:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Beam off completato • Bypass del Li loop attivato • Tutte le operazioni di aperture della TC: completata • HFTM and MFTM rimosse dalla TC • Un nuovo target pronto per l'installazione • Il braccio robotico è connesso con il Braccio master del sistema di manipolazione • Tutti dispositivi robotici sono disponibili nella camera di accesso della TC 	
Operazione	dispositivi
Le camere temporanee vengono installate all'interno della TC	Braccio telescopico + braccio robotico
Rimozione dei connettori di Potenza e segnale	Braccio telescopico + braccio robotico + interfaccia per connettori
I tre FDS sono disconnessi in turno	Braccio telescopico + braccio robotico+ sistema di avvitamento
Il sistema di distacco flange viene manovrato fino al completo distacco delle flange	Braccio telescopico + braccio robotico + sistema di avvitamento
Il soffietto lato beam viene compattato per liberare la flangia del corpo del TA	Braccio telescopico + braccio robotico + sistema di avvitamento
Il TA viene sollevato e fino alla camera di accesso della TC	Braccio telescopico + braccio robotico
Il TA viene portato nella Test Module Handling Cell (TMHC)	Carroponte + Braccio telescopico + braccio robotico
Installazione TA	
Controllo dello stato dei supporti del TA	Braccio telescopico + braccio robotico + telecamera
Pulizia delle tre flange	Braccio telescopico + braccio robotico + dispositivo di pulizia

Ispezione delle flange	Braccio telescopico+ robotic arm+ telecamera
Il braccio robotico aggancia il TA	Braccio telescopico + braccio robotico
Il TA viene inserito all'interno della TC vicino al supporto	Braccio telescopico + braccio robotico
Il Ta viene posizionato sul supporto	Braccio telescopico + braccio robotico
Il soffietto lato beam viene espanso fino a al contatto con la flangia sul corpo del TA	Braccio telescopico + braccio robotico + dispositivo di avvitamento
I tre FDS sono chiusi in sequenza	Braccio telescopico + braccio robotico + dispositivo di avvitamento
Le connessioni elettriche vengono ripristinate	Braccio telescopico + braccio robotico + sistema interfacci connettori

Alla fine del montaggio del TA occorre eseguire i collaudi per verificare la correttezza dell'installazione. I collaudi previsti sono:

- 1) Controllo perfetto posizionamento: tale aspetto è molto importante poiché per massimizzare il flusso neutronico trasferito dal litio ai moduli sotto test la distanza tra il bersaglio e i moduli stessi (in questo caso quello ad alto flusso) deve essere di $2\text{mm} \pm 0,3 \text{ mm}$. Si comprende che il posizionamento del target, vuoi per la sua geometria ma anche per gli effetti della temperatura, è considerata una operazione critica[4].
- 2) Controllo delle connessioni elettriche e delle diagnostiche;
- 3) Controllo del tenuta al vuoto del TA;

Il tempo di intervento di una settimana per la manutenzione del TA comprende anche l'esecuzione di questi controlli e su alcuni dei quali vi sono ancora incertezze sulla fattibilità e durata.

3.4 Procedura per il ricondizionamento del TA

La procedura del ricondizionamento del Target prevede il rimpiazzo del solo Bersaglio. Tale procedura è riportata in tab. 2.

Tab. 2 Procedura di ricondizionamento del TA

BP Removal	
<u>precondizioni:</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • Beam off completato; • Bypass del Li loop attivato • Tutte le operazioni di aperture della TC: completate; • HFTM and MFTM rimosse dalla TTC ; • Un nuovo bersaglio è pronto per l'installazione nella camera di accesso della TC • Il braccio robotico è connesso con il Braccio master del sistema di manipolazione ; • Tutti dispositivi robotici sono disponibili 	
Operazioni	Dispositivi
Telecamere temporanee vengono installate	Braccio telescopico + braccio robotico

nella TC	
Svitare le viti di manovra del sistema a pattino	Braccio telescopico + braccio robotico + sistema avvitamento
Svitare I bulloni nella parte superiore ed inferiore del bersaglio	Braccio telescopico + braccio robotico + sistema avvitamento
Avvitare I 4 bulloni sul bersaglio per staccarlo dal telaio	Braccio telescopico + braccio robotico + sistema avvitamento
Agganciare il bersaglio al braccio robotico	Braccio telescopico + braccio robotico
Sollevarre il bersaglio dalla sua posizione nella camera di accesso	Braccio telescopico + braccio robotico
Trasportare il bersaglio nella TMHC	Carroponte + Braccio telescopico + braccio robotico
Installazione Bersaglio	
Controllare lo stato del telaio sul TA	Braccio telescopico + braccio robotico + telecamera
Controllare lo stato dell'ugello	Braccio telescopico + braccio robotico + telecamera
Pulizia del telaio di support bersaglio	Braccio telescopico + braccio robotico + dispositivo di pulizia
Ispezione del telaio di support dopo pulizia	Braccio telescopico + braccio robotico + telecamera
Il sistema robotico viene connesso al nuovo bersaglio disponibile	Braccio telescopico + braccio robotico
Il bersaglio viene portato nella TC vicino al telaio di supporto sul TA	Braccio telescopico + braccio robotico
Il bersaglio viene inserito sul telaio	Braccio telescopico + braccio robotico
Tutti i bulloni e i pattini vengono avvitati con una sequenza predefinita (incrementando del 20% la coppia di serraggio fino al valore di coppia nominale)	Braccio telescopico + braccio robotico + sistema avvitamento

3.5 Tempi d'intervento per la sostituzione del TA

I tempi d'intervento riportati nei paragrafi successivi sono stati stimati attraverso le simulazioni grafiche delle operazioni di manutenzione. In qualche caso vengono riportati dati che sono riferiti a test di validazione eseguiti su alcuni componenti ed altri ancora sono riferiti a tempi desunti da analoghe operazioni di manutenzione. In tab. 3 sono riportati i tempi d'intervento per il caso della sostituzione del TA.

Tab. 3 Tempi di manutenzione per la sostituzione del TA

Operation	Time	note
Posizionamento delle telecamere temporanee	1 h (TBC)	Numero d camere ancora da definire
Aperture FDS	2 h	Operazione mai eseguita prima L'operazione di stop è controllata in angolo dal sistema di avviamento
Manovrare le viti di distacco bersaglio dal telaio	20 min ognuno	1 h
Operazione compattamento soffiato lato beam	1,5 h	Operazione controllata in angolo Ispezione visuale
Cambio dispositivo	0,5 h	Include : rilascio del dispositivo di avvitamento e ritorno nella TC con il nuovo dispositivo
Disconnessione dei connettori	0,5 h (TBC)	Operazione mai eseguita
Connessione Braccio robotico con il TA	0,5 h	Studio dell'operazione non ancora completata
Sollevamento TA dalla TC alla camera di accesso	2 h	Include anche il trasporto del TA nella TMHC
Pulizia della flange	4 h	Include anche il cambio del nastro del dispositivo di pulizia e l'ispezione finale.
Installazione del TA	1 g (TBC)	Operazione mai eseguita. Stima per mezzo di simulazione grafica
Ispezione finale del TA	Non ancora stimata	Tutti i componenti saranno soggetti ad un pre-collaudato prima dell'installazione. Comunque un certo numero di collaudi andranno fatti al completamento dell'installazione e prima dell'inizio delle altre operazioni di manutenzione (installazione moduli)
Rimozione delle camere temporanea.	1 h	(TBC)

3.6 Tempi d'intervento per il ricondizionamento del TA

Tab. 4 tempi d'intervento per il ricondizionamento del TA

Operazione	Tempo atteso (h)	note
Rimozione Bersaglio		
Installazione di telecamere rimovibili	1	Numero di telecamere non ancora definite.
Svitamento sistema a pattino	0,5	Controllo in Angolo
Svitamento degli 8 bulloni del bersaglio	0,75	
Il bersaglio viene staccato dal telaio manovrando i quattro bulloni (su fori ciechi)	0,75	A causa del litio che potrebbe penetrare tra il bersaglio ed il telaio si possono verificare fenomeni di incollaggio.
Cambio dispositivo	0,5	Includes: release of the tool in the AC and return the arm in the TC
Il bersaglio viene agganciato dal manipolatore .	Ordine di minuti	
Rimuovere il Bersaglio (il bersaglio viene liberato fino a lasciare il telaio di sostegno)	Ordine di minuti	Se non ci sono Bloccaggi
Sollevarlo il Bersaglio dalla Test Cell e spostarlo nel contenitore per il trasferimento nella cella	1,5	Include also the sealing of the container of the transportation to the TMHC
Pulizia del telaio di supporto	2,5	Includes: change of the tape belt and final inspection
Installazione Bersaglio	2,5- 5,5	Questi tempi sono relativi a risultati ottenuti durante le campagne sperimentali condotte in passato su un prototipo del Bersaglio
Ispezione e test	?	Esiste una lista complete di test da eseguire, alcuni dei quali sono molto semplici mentre altri (vedi Tab.) sono ritenuti critici.
Rimozione telecamere	1	Da confermare in funzione del numero di telecamere da usare

4. Conclusioni

L'attuale progetto del TA e le procedure implementate per la sua sostituzione o ricondizionamento consentono di soddisfare le specifiche di IFMIF: IFMIF deve funzionare ininterrottamente per 11 mesi e la durata della manutenzione del TA deve essere completata entro 7 giorni. Restano ancora delle incognite relative a specifiche operazioni, come quella di pulizia del litio depositato sulle superfici, mai testate prima e quindi non ancora validate così come alcune delle operazioni di verifica della corretta installazione del TA sono ancora da approfondire e definire.

Riferimenti bibliografici

[1]- Rapporto preliminare del progetto del target di IFMIF comprensivo di disegni, analisi numeriche e valutazione dei costi-D. Bernardi, M. Frisoni, G. Micciché, T. Pinna, M.T. Porfiri, M.Serra

Abbreviazioni ed acronimi

Dpa	displacement per atom
fpv	full power year