



Ricerca di Sistema elettrico

Risultati finali delle prove di ricondizionamento del target assembly di IFMIF

G. Miccichè, F. Frascati, L. Lorenzelli

RISULTATI FINALI DELLE PROVE DI RICONDIZIONAMENTO DEL TARGET ASSEMBLY DI IFMIF

G. Miccichè, F. Frascati, L. Lorenzelli (ENEA)
Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Produzione di Energia Elettrica e Protezione dell'Ambiente

Progetto: B.3.2 Attività di fisica della Fusione complementari a ITER

Obiettivo: B2

Responsabile del Progetto: Ing. Aldo Pizzuto, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 MANUTENZIONE DEL TARGET ASSEMBLY DI IFMIF E SUO RICONDIRIZIONAMENTO.....	5
2.1 IL CONCETTO EUROPEO DI TARGET ASSEMBLY.....	5
2.2 SCENARI DI MANUTENZIONE DEL TA.....	7
2.2.1 <i>Sostituzione del bersaglio e ricondizionamento del corpo del TA</i>	8
2.2.2 <i>Sostituzione del TA e ricondizionamento delle flange di connessione con il Li loop</i>	9
3 VALIDAZIONE DELLE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE DEL TA DI IFMIF.....	9
3.1 VALIDAZIONE PROCEDURE DI MANUTENZIONE DEL TA.....	9
3.2 MISURA DELLA PRECISIONE DI POSIZIONAMENTO DEL BERSAGLIO DI IFMIF.....	11
3.3 VALIDAZIONE PROCEDURA DI PULIZIA DEL SUPPORTO BERSAGLIO DEL TA.....	14
3.4 PROVE DI PRERISCALDAMENTO DEL TA.....	15
4 CONCLUSIONI.....	19
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	20
6 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	20
7 ALLEGATI	21
7.1 ALLEGATO1.....	21
7.2 ALLEGATO 2.....	24

Sommario

Il flusso neutronico necessario per l'irraggiamento di materiali in IFMIF viene prodotto da un target a litio fluente. Il litio fluisce all'interno di un componente, chiamato Target assembly (TA), che a causa della sua esposizione al flusso neutronico deve essere sostituito ogni anno, se non con una maggiore frequenza. La sostituzione del TA è una delle operazioni di manutenzione remotizzata più critiche da eseguire in IFMIF, sia per la sua posizione all'interno dell'impianto che per le operazioni di connessione/disconnessione dal circuito a litio. A tal fine, per la qualifica delle operazioni di manutenzione remotizzata del TA, nella presente annualità sono state eseguite le seguenti attività:

- 1) Test di rimozione del litio solido dal frame di supporto del bersaglio del TA. Tale test ha permesso di:
 - Verificare la fattibilità dell'operazione di pulizia del supporto del bersaglio del TA inclusa la misura del tempo necessario al suo completamento. Il tempo totale di esecuzione della pulizia della superficie del supporto del bersaglio è risultato essere di circa 2 ore.
 - Preparare la specifica tecnica per la progettazione e la realizzazione dei dispositivi di pulizia del supporto del bersaglio del TA.
- 2) Test del TA dopo riscaldamento a 250°C e relativo raffreddamento. In particolare sono stati eseguiti i seguenti tests:
 - Prova di vuoto e misura della perdita sia a freddo che a caldo. Le prove sono state eseguite alla pressione nominale di funzionamento del TA di 10^{-3} Pa, a temperatura ambiente e a 250°C. In entrambi i casi la perdita registrata è stata di $1.6 \cdot 10^{-8}$ Pa m³/s. Tale valore di perdita è inferiore a quella massima ammissibile di progetto ($1 \cdot 10^{-7}$ Pa m³/s)
- 3) Aggiornamento delle procedure di manutenzione del TA e misura del tempo d'intervento. Ai fini della verifica dell'affidabilità delle procedure di manutenzione sviluppate in precedenza sono state eseguite 10 prove di sostituzione del TA. Il tempo d'intervento medio totale per la sostituzione del TA è risultato essere di circa 22 ore.
- 4) Misura del corretto posizionamento del TA. Il bersaglio del TA dista solamente 2 mm dal modulo che porta i materiali da testare in IFMIF. Tale distanza deve essere mantenuta entro i limiti di 2mm ±0,5mm in modo che il flusso neutronico venga indirizzato sui materiali da irraggiare e non vada disperso sulle strutture adiacenti. A tal fine è stata eseguita una serie di misure di ripetibilità di posizionamento del bersaglio del TA. Le prove eseguite hanno permesso di dimostrare che la precisione di posizionamento oscilla tra 0,10÷0,15 mm e quindi ampiamente entro la tolleranza prevista.

Infine si segnala che sono stati eseguiti alcuni tests preliminari di preriscaldamento del TA con l'obiettivo di avere la disponibilità della mappatura termica del bersaglio del TA. Tali tests hanno come obiettivo la verifica delle condizioni di start-up del bersaglio del TA. I risultati di tali verifiche preliminari hanno permesso di dimostrare che l'attuale sistema di riscaldamento non permette al bersaglio il raggiungimento della temperatura di riferimento di 250°C e pertanto il progetto del sistema di riscaldamento dovrà essere integrato con l'introduzione di riscaldatori posti direttamente sul bersaglio. Tali modifiche saranno presentate insieme alle attività sperimentali nel prossimo PAR.

1 Introduzione

L'International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) è l'impianto nel quale saranno testati i materiali strutturali per i futuri reattori a Fusione Nucleare. IFMIF è progettato per produrre un flusso neutronico a 14,2 MeV, tipico dei reattori a Fusione, idoneo a produrre il richiesto danneggiamento neutronico nei materiali speciali da irraggiare, come l'EUROFER o l'F82H. Il flusso neutronico viene prodotto da un target a litio, la cui struttura, chiamata target assembly (TA), essendo il componente più esposto al flusso stesso, deve essere sostituita ogni anno. Tale sostituzione deve essere eseguita da remoto per mezzo di sistemi robotici e quindi senza alcun intervento diretto dell'uomo.

Due approcci di manutenzione sono stati implementati per il TA:

- 1) La sostituzione dell'intero TA con uno nuovo;
- 2) Il ricondizionamento del TA per mezzo della sostituzione di alcuni suoi componenti.

Entrambi gli approcci hanno richiesto lo sviluppo di apposite procedure e la progettazione di dispositivi robotici per l'esecuzione della manutenzione di tale componente. Tali procedure di manutenzione vanno sottoposte a test di validazione ed ottimizzazione in modo che i requisiti di tale attività siano pienamente soddisfatti. Tra i principali requisiti da soddisfare vi è quello della durata massima della manutenzione poiché essa ha un impatto significativo sulla disponibilità d'impianto.

Nella presente annualità sono stati completati alcuni dei tasks di manutenzione, come la pulizia del supporto del bersaglio, e la definizione delle procedure finali di manutenzione nei due scenari previsti.

Particolare attenzione è stata posta nella misura del tempo di manutenzione/ ricambio del TA per verificare che tutte le operazioni di manutenzione preventiva previste per tale componente possono essere eseguite nel tempo massimo previsto di una settimana.

Per verificare l'accuratezza di posizionamento del bersaglio del target sono state inoltre eseguite misure di ripetibilità di posizionamento. Tali misure sono di particolare interesse poiché il gap esistente tra bersaglio e modulo ad alto flusso, che contiene i campioni di materiale da irraggiare, è di soli 2 mm con una tolleranza di $\pm 0,5$ mm. In totale sono state eseguite 10 prove di ripetibilità di posizionamento del bersaglio. Infine sono state eseguite le prove preliminari di riscaldamento del TA. Tali prove, che saranno completate nella prossima annualità, sono state eseguite con i seguenti scopi:

- 1) Nel target scorre litio liquido a 250°C di conseguenza l'intero target prima di ricevere il flusso di litio deve essere ad una temperatura prossima alla temperatura di riferimento del litio;
- 2) Il target è fornito di diverse connessioni con tenuta metallica e di conseguenza sono state verificate le tenute al vuoto e la perdita nelle due condizioni: temperatura ambiente e a 250°C.

Nel presente rapporto sono illustrate tutte le attività svolte per la validazione e qualifica delle operazioni di manutenzione remotizzata per il TA svolte nell'ambito del PAR 2014.

2 Manutenzione del target assembly di IFMIF e suo ricondizionamento

2.1 Il concetto europeo di Target assembly

In IFMIF sono stati sviluppati due concetti di TA: il TA integrale(IT) sviluppato in Giappone dal JAEA e il target a baionetta sviluppato in Europa dall'ENEA. Il presente rapporto tratta solamente del concetto di target Europeo a baionetta.

Il Concetto di target a baionetta è illustrato in Figura 1. Si tratta di un componente di tipo modulare costituito principalmente da due componenti: il corpo del target e il bersaglio rimovibile (back-plate in Figura 1). La scelta per la progettazione di un target di tipo modulare ha diverse peculiarità ed in particolare: semplifica le attività di manutenzione remotizzata e riduce le quantità di materiale attivato da smaltire. Il target a baionetta permette infatti di sostituire solamente il bersaglio lasciando inalterato la restante parte del target stesso. Questa funzionalità, ad esempio, permette la riduzione del materiale attivato da smaltire di circa il 70%.

Il target a baionetta è connesso all'impianto a litio e al beam dell'acceleratore per mezzo di connessioni rapide, conosciute come Fast Disconnecting system (FDS) [4,5], che permettono l'apertura e la chiusura

delle connessioni manovrando un numero ridotto di viti di manovra (normalmente 2 o 3), vedi Figura 2. Tali tipi di connessione permettono di velocizzare e semplificare le operazioni di sostituzione del target.

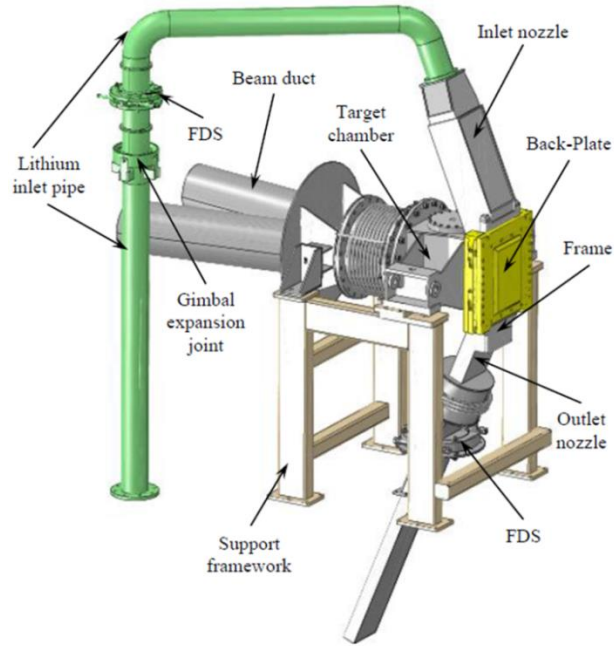


Figura 1. Concetto di target a baionetta sviluppato in Europa

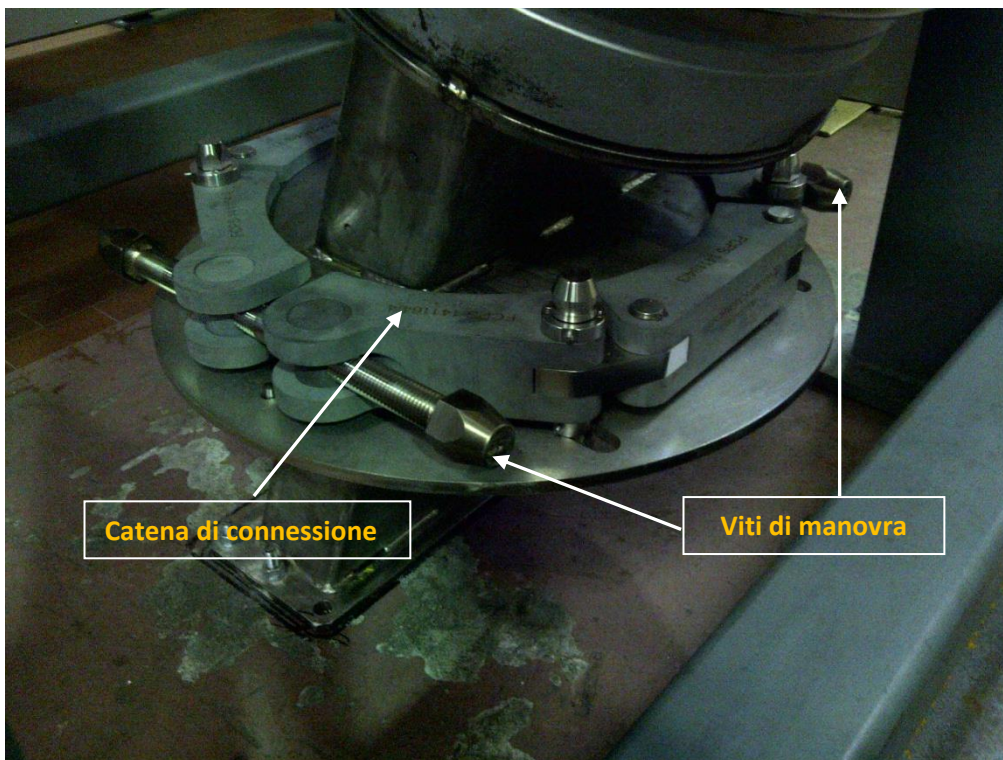


Figura 2. Connessione rapida FDS (Technetics France)

Il bersaglio del TA è di tipo rimovibile, vedi figura 3, ed è fissato al telaio d'interfaccia per mezzo di un sistema costituito da due sistemi a pattino che bloccano il bersaglio nelle posizioni laterali e da 10 bulloni

collocati nella parte superiore e inferiore del bersaglio. La tenuta del bersaglio sul telaio d'interfaccia è realizzata per mezzo di una guarnizione metallica.

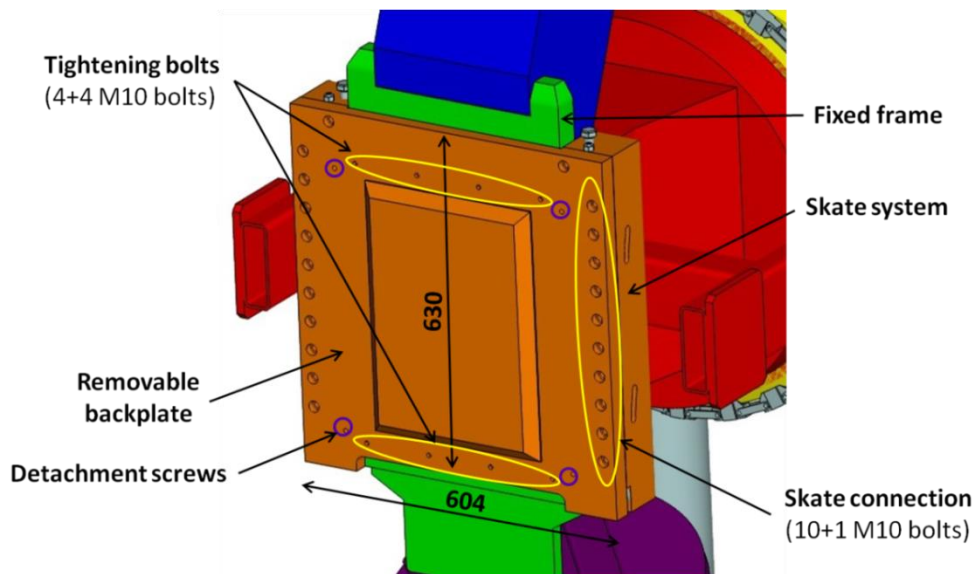


Figura 3. Concetto di bersaglio rimovibile

La descrizione dettagliata del progetto del TA è fornita in [1,2,3].

2.2 Scenari di manutenzione del TA

IFMIF è progettato per raggiungere una disponibilità complessiva d'impianto del 70%. Questo comporta un funzionamento in continuo dell'impianto per un periodo di 11 mesi l'anno. Dopo tale periodo IFMIF è sottoposto ad un periodo di manutenzione preventiva la cui durata massima deve essere contenuta in 20 giorni. Tra le operazioni di manutenzione più critiche da eseguire vi è la sostituzione del TA. Esso infatti è installato all'interno della test cell (TC), vedi Figura 4, nella quale gli spazi disponibili sono particolarmente ridotti e inoltre tutte le operazioni di sostituzione/ricondizionamento per tale componente devono essere completate in 7 giorni. Pertanto per soddisfare tutti i requisiti di manutenzione e per garantire la disponibilità d'impianto è stata implementata una strategia che comporta diversi scenari di manutenzione. Tale strategia comporta inoltre che il TA di IFMIF sia l'ultimo componente ad essere estratto ed il primo ad essere installato nella TC. In tal modo si ottimizzano i tempi di manutenzione e si evitano potenziali interferenze con gli altri componenti presenti nella TC.

Due scenari di manutenzione sono stati studiati per la sostituzione/ricondizionamento del TA di IFMIF:

- 1) Sostituzione del solo bersaglio e conseguente ricondizionamento del corpo del TA, e se necessario
- 2) sostituzione del TA e ricondizionamento delle flange di connessione con l'impianto a litio.

La modularità del target assembly Europeo permette di raggiungere una flessibilità nella gestione della manutenzione del componente, cambio l'intero TA solamente se necessario, e allo stesso tempo permette di ridurre al minimo i tempi di manutenzione correttiva e quindi i tempi di fermo impianto. I due scenari sono stati studiati tenendo in conto che ogni anno IFMIF è sottoposto a manutenzione preventiva ma che si possono verificare guasti che possono comportare un anticipo del periodo di manutenzione.

I due scenari di manutenzione su menzionati sono stati studiati in precedenza [7,8] e pertanto di seguito viene fornita solamente una breve descrizione.

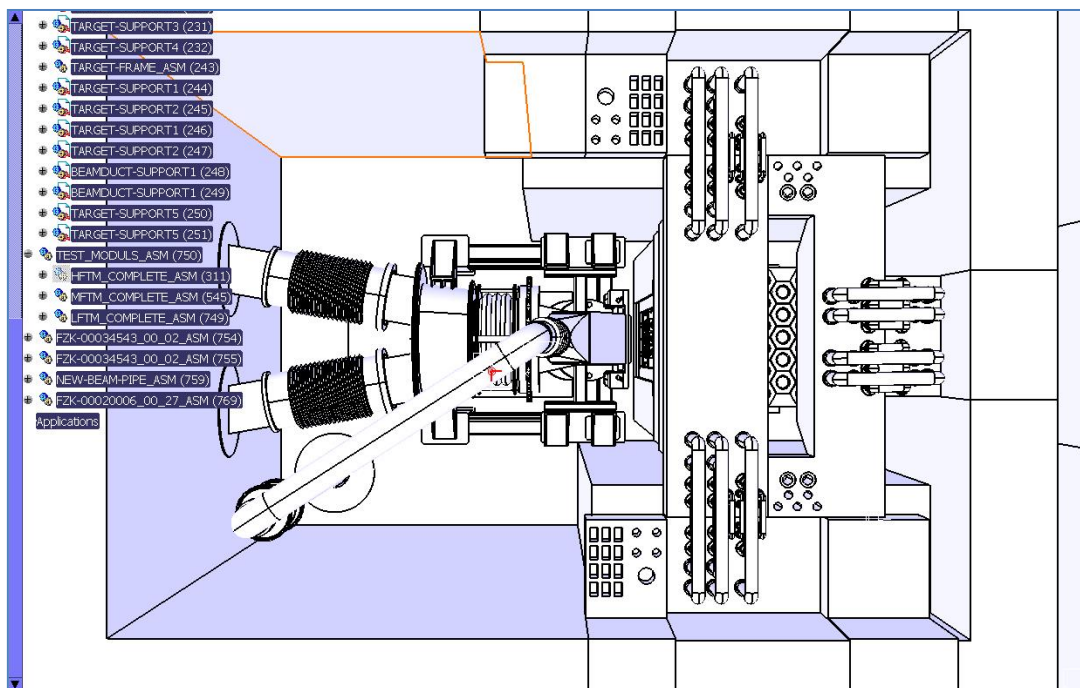


Figura 4. Posizione del TA all'interno della TC di IFMIF

2.2.1 Sostituzione del bersaglio e ricondizionamento del corpo del TA

Le scenario di manutenzione per la sostituzione del solo bersaglio e del ricondizionamento del corpo del TA prevede che:

1. La sostituzione del bersaglio viene eseguita all'interno della TC senza rimuovere il corpo del TA (online maintenance);
2. Il ricondizionamento del TA comporta la sola pulizia del telaio di supporto del bersaglio
3. a completamento dell'assemblaggio del bersaglio sul corpo vengano eseguiti i test di accettazione del componente.

Tale tipo di approccio è utile nel caso di guasto/malfunzionamento di uno dei componenti all'interno della TC con la necessità di fermare l'impianto e di accedere al componente. In tal caso, poiché il bersaglio è il componente più esposto al flusso neutronico e quindi con le condizioni più critiche di funzionamento, sarebbe opportuno provvedere alla manutenzione del TA in modo che l'impianto possa essere avviato con componenti che permettono di garantire un periodo di funzionamento più lungo. Comunque sia tale scenario di manutenzione può essere applicato anche durante la manutenzione di tipo preventivo annuale nel caso si accertasse che il tempo di vita dei componenti costituenti il TA (incluso la diagnostica) sia superiore a quello richiesto da una campagna sperimentale (quindi almeno 2 anni). Come detto in precedenza questo scenario di manutenzione permette la riduzione dei materiali attivati da smaltire di circa il 70%.

I principali steps di manutenzione, a partire dal completamento delle operazioni preliminari, sono di seguito riportati:

1. Apertura della TC
2. Condizionamento della TC
3. Rimozione del bersaglio
4. Ispezione componenti TA
5. Pulizia telaio supporto bersaglio (inclusa ispezione di accettazione)
6. Installazione del bersaglio
7. Collaudi di accettazione del TA ricondizionato
8. Chiusura TC

Le procedure di manutenzione dettagliate per tale scenario sono riportate in allegato 1 al presente documento.

2.2.2 Sostituzione del TA e ricondizionamento delle flange di connessione con il Li loop

La strategia alla base di questo secondo scenario di manutenzione del TA prevede la disponibilità di un target nuovo o preventivamente ricondizionato pronto per essere installato. Tale operazione di sostituzione viene eseguita principalmente durante la manutenzione annuale di tipo preventivo e comporta anche la sostituzione della diagnostica di monitoring del TA. Quando possibile il target assembly rimosso dalla TC verrà ricondizionato riutilizzando ad esempio il corpo del TA e sostituendo il bersaglio e la diagnostica (manutenzione offline).

Tra i principali vantaggi di questo approccio vi sono i seguenti punti:

- Le operazioni di sostituzione del TA con un nuovo comporta l'esecuzione solamente di alcune operazioni di manutenzione all'interno della TC, come ispezione e pulizia delle flange di connessione;
- Il ricondizionamento del TA rimosso può essere fatto in una cella calda dedicata durante gli 11 mesi in cui IFMIF è in operazione in modo più sicuro e rilassato;
- Tests che non sono facilmente eseguibili all'interno della TC possono invece essere fatti offline aumentando l'accuratezza delle misure e la loro affidabilità.

I principali steps di manutenzione del target assembly sono di seguito indicati:

- 1) Apertura e condizionamento della TC
- 2) Disconnessione dei connettori elettrici di segnale e potenza
- 3) Disconnessione del TA dall'impianto a litio (mediante apertura dei tre FDS)
- 4) Rimozione TA dalla TC
- 5) Pulizia delle flange di connessione del con l'impianto a litio
- 6) Ispezione delle flange
- 7) Posizionamento ed installazione TA
- 8) Connessioni elettriche di potenza e segnale
- 9) Collaudi di accettazione del TA ricondizionato
- 10) Chiusura TC

Le procedure di manutenzione dettagliate del TA per tale scenario sono riportate in allegato 1 al presente documento.

3 Validazione delle operazioni di manutenzione del TA di IFMIF

Le principali operazioni di manutenzione del TA nei due scenari sono state già presentate nel rapporto [RDS/PAR2013/210]. Nella presente annualità sono state eseguite diverse prove di manutenzione dei due scenari per verificare e confermare i tempi e l'efficienza delle procedure di manutenzione, la precisione di posizionamento del bersaglio e la validazione dell'operazione e della la procedura di pulizia della flangia di supporto del bersaglio stesso. Inoltre sono state eseguite le prove di preriscaldamento del TA per studiare il raggiungimento delle condizioni di temperatura (start up) idonee a ricevere il flusso di litio.

Tutte le attività di validazione sono state eseguite nella Divertor Refurbishment Platform (DRP) dell'ENEA del Brasimone e sono descritte nei paragrafi successivi.

3.1 Validazione procedure di manutenzione del TA

Uno dei maggiori requisiti da soddisfare in IFMIF è la disponibilità d'impianto. Tale parametro, in IFMIF fissato al 70%, dipende da diversi fattori come l'affidabilità e la disponibilità dei sistemi e dei componenti ma anche dalla durata della manutenzione preventiva che deve essere fatta con una frequenza prestabilita. La durata massima di tali operazioni di manutenzione può essere soddisfatta solamente se si hanno a disposizione :

- 1) Dispositivi robotici idonei;
- 2) Procedure di manutenzione ottimizzate e affidabili.

In effetti vi è un altro aspetto che va considerato che è il progetto del componente da mantenere che riguarda la sua idoneità ad essere mantenuto in modo remotizzato.

I dispositivi robotici progettati e realizzati per la manutenzione remotizzata del TA sono stati già riportati in precedenza [6].

Al fine di validare le procedure di manutenzione del TA nei due scenari previsti sono state eseguite due serie di prove ciascuna consistente in 10 prove di sostituzione dei componenti. Inoltre per ogni prova di manutenzione eseguita sono stati registrati i tempi netti di esecuzione di ogni singola operazione di manutenzione.

Le tabelle 1, 2 riportano i tempi medi di ogni singola operazione di manutenzione per la sostituzione del TA (in tabella 1 la rimozione mentre la tabella 2 l'installazione del TA), mentre le tabelle 3 e 4 riportano quelli relativi alla sostituzione del bersaglio. I tempi di ogni singola prova sono riportati come allegato 2 al presente documento. Mentre le procedure dettagliate adottate nei due scenari di manutenzione sono riportate come allegato 1.

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile affermare che entrambi gli scenari di manutenzione soddisfano il requisito di complemento della manutenzione del TA entro la settimana prevista per tale componente.

Tabella 1. Tempi medi di rimozione del TA

Rimozione TA	FDS inlet (min)	FDS outlet (min)	Soffietto lato beam (min)	Sollevamento TA (min)	Tempo intervento (h:m)
Tempo medio su 10 prove	29	38	162	25	4:14

Tabella 2. Tempi medi d'installazione del TA

Installazione TA	Pulizia flange Li loop (h:min)(*)	Posizionamento TA (h:m)	FDS inlet (min) (**)	FDS outlet (min) (**)	Soffietto lato beam (h:min) (**)	Tempo intervento (h:m)
Tempo medio su 10 prove	4:50	6:55	92	105	2:35	17:37

(*) tempo pulizia Flange di connessione stimato sulla base dei tempi di pulizia del telaio di supporto BP

(**) Serraggio FDS eseguito con coppia crescente del 20% per ogni step fino al 100% (5 step)

Tabella 3. Tempi medi di rimozione del Bersaglio

Rimozione Bersaglio	Svitamento pattini (min)	Svitamento bulloni (min)	Sollevamento e rimozione bersaglio (min)	Note	Tempo d'intervento (h:min)
Tempo medio su 10 prove	7	8	18	Singolo ciclo di svitamento	1:52

Tabella 4. Tempi medi d'installazione del Bersaglio

Installazione Bersaglio	Pulizia Supporto	Posizionamento bersaglio (min)	Serraggio pattini (min) (*)	Serraggio Bulloni (min) (*)	Tempo d'intervento (h:min)
Tempo medio su 10 prove	135	26	8	6	9:01

(**) Serraggio bulloni e pattini eseguito con coppia crescente del 20% per ogni step fino al 100% (5 steps)

In particolare la sostituzione del Target assembly richiede un tempo medio d'intervento (durata della manutenzione) di circa 22 ore. Questo dato conferma le misure eseguite nei tests precedenti e lascia ampi margini per le operazioni da eseguire a completamento dell'attività: collegamento e scollegamento dei connettori elettrici e test del componente dopo l'installazione. Si ritiene che le restanti 146 ore siano sufficienti ad eseguire le rimanenti operazioni incluse quelle per le quali oggi si dispone solamente di una stima. La sostituzione del solo bersaglio richiede invece circa 11 ore. Questo conferma che la strategia di manutenzione implementata è corretta e che nel caso di uno scenario di guasto è meglio procedere con la sola sostituzione del bersaglio.

Le procedure utilizzate ..

3.2 Misura della precisione di posizionamento del bersaglio di IFMIF

La posizione finale del TA all'interno della TC è rilevante ai fini dell'ottimizzazione della campagna di irraggiamento dei materiali garantendo quindi il buon funzionamento di IFMIF. Se si considerano le dimensioni, la geometria, la massa e le tolleranze di posizionamento del TA (occorre garantire i 2 mm di gap tra bersaglio e TM con una tolleranza massima di $\pm 0,5$ mm) si comprende come tale operazione sia ritenuta critica. E' stato verificato infatti che nonostante il sistema costituito da TA + supporto sia fornito di sistemi di centraggio, la precisione di posizionamento del TA e del Bersaglio dipendono strettamente dalla coppia di serraggio del bersaglio e dai giochi meccanici, praticamente non eliminabili. A tal fine per verificare la precisione di posizionamento del bersaglio è stata eseguita una serie di 10 prove di posizionamento del Bersaglio del TA. Per tali prove è stato utilizzato un prototipo del bersaglio con identico sistema di chiusura e serrato alle coppie Nominali di 23 Nm per le connessioni bullonate e di 26 Nm per le connessioni con sistema a pattino. Le posizioni misurate riguardano i quattro vertici del bersaglio, come indicato in figura 5.

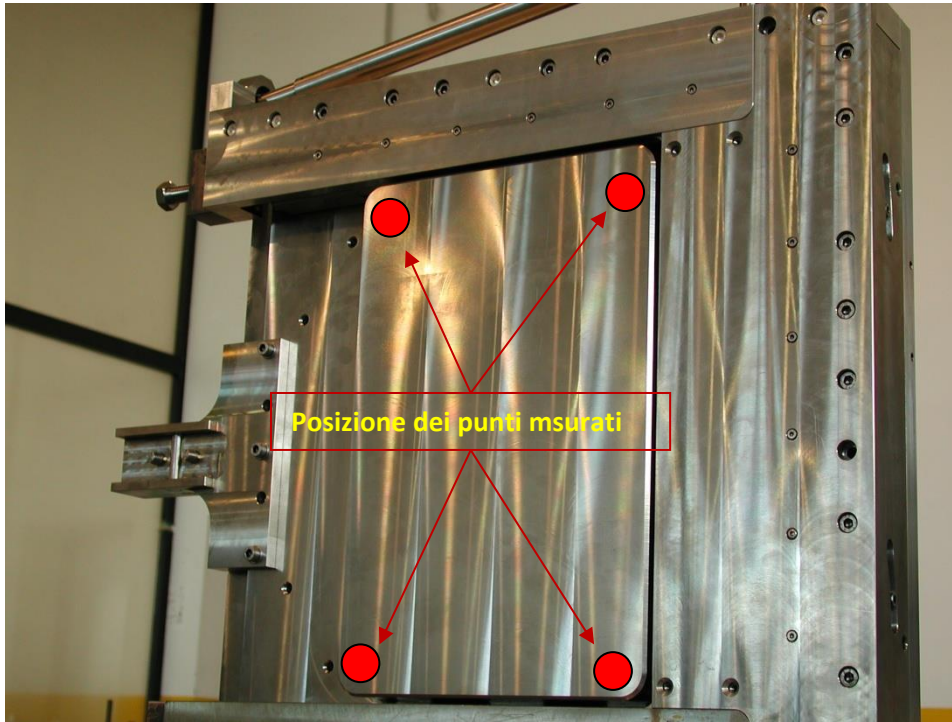


Figura 5 Punti di misura sul bersaglio

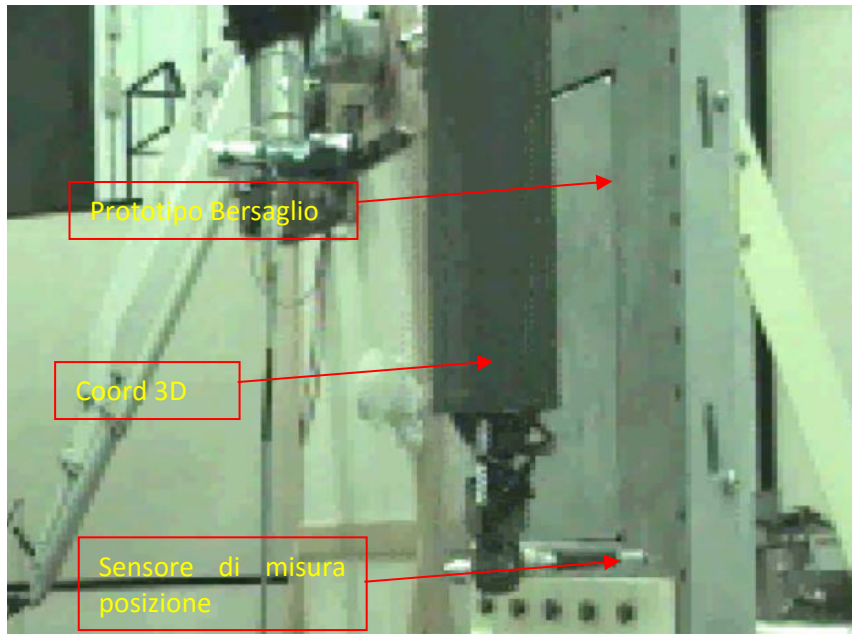


Figura 6 Misura della ripetibilità della deflessione struttura del pattino bersaglio

La misura di posizionamento è stata eseguita per mezzo di una macchina di misura 3D (Coord3D) molto precisa ($8\mu\cdot m\cdot ^\circ C$) installata presso la DRP del Brasimone (vedi Fig. 6). Dalle misure effettuate è stato rilevato che la ripetibilità di posizionamento rientra nella tolleranza prevista. Rispetto al posizionamento medio del bersaglio la distanza massima tra i punti misurati e il posizionamento medio è di 0,202 mm (vedi figura 7). Sono state quindi apportate delle piccole variazioni alle procedure di serraggio del bersaglio per raffinare la misura. In particolare è stato notato che con le procedure adottate

(5 steps di serraggio ognuna crescendo del 20% la coppia fino al 100%) il valore di coppia nominale era raggiunto con uno scarto del $\pm 3\%$. La procedura di serraggio è stata modificata nella seguente maniera:

- 1) Nei primi quattro steps la coppia è stata incrementata del 20 %
- 2) Successivamente la coppia è stata incrementata di 1 Nm per ogni step fino alla coppia nominale.

Con questa piccola modifica la ripetibilità di posizionamento del bersaglio rispetto alla posizione media può essere garantita con una precisione di $0,1 \pm 0,15$ mm (vedi figura 8).

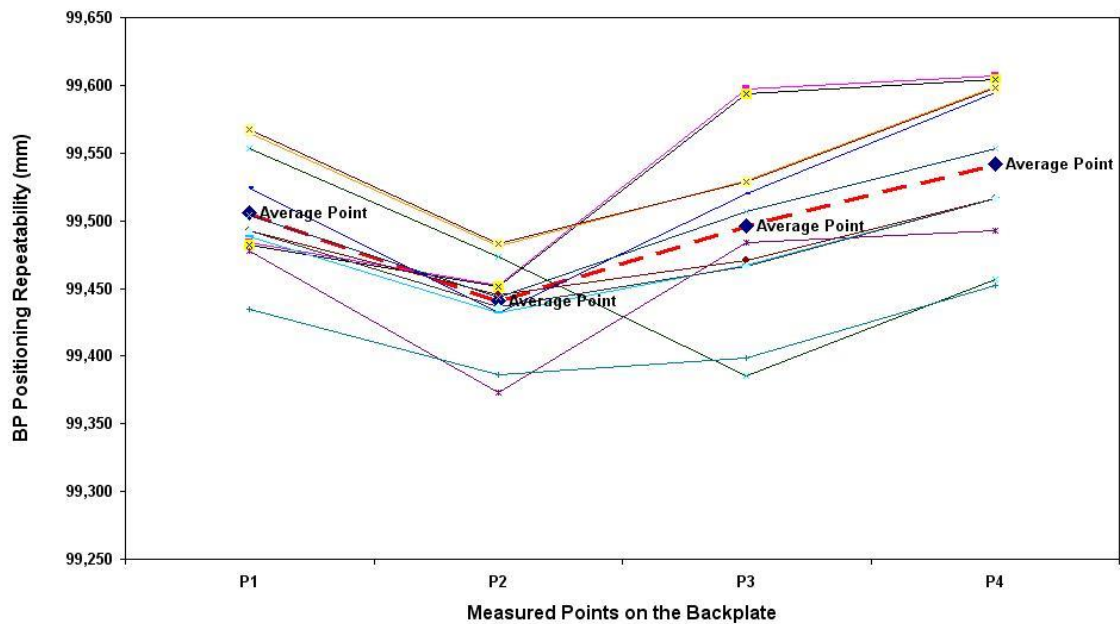


Figura 7 Misura di ripetibilità posizionamento bersaglio TA (1° set di prove)

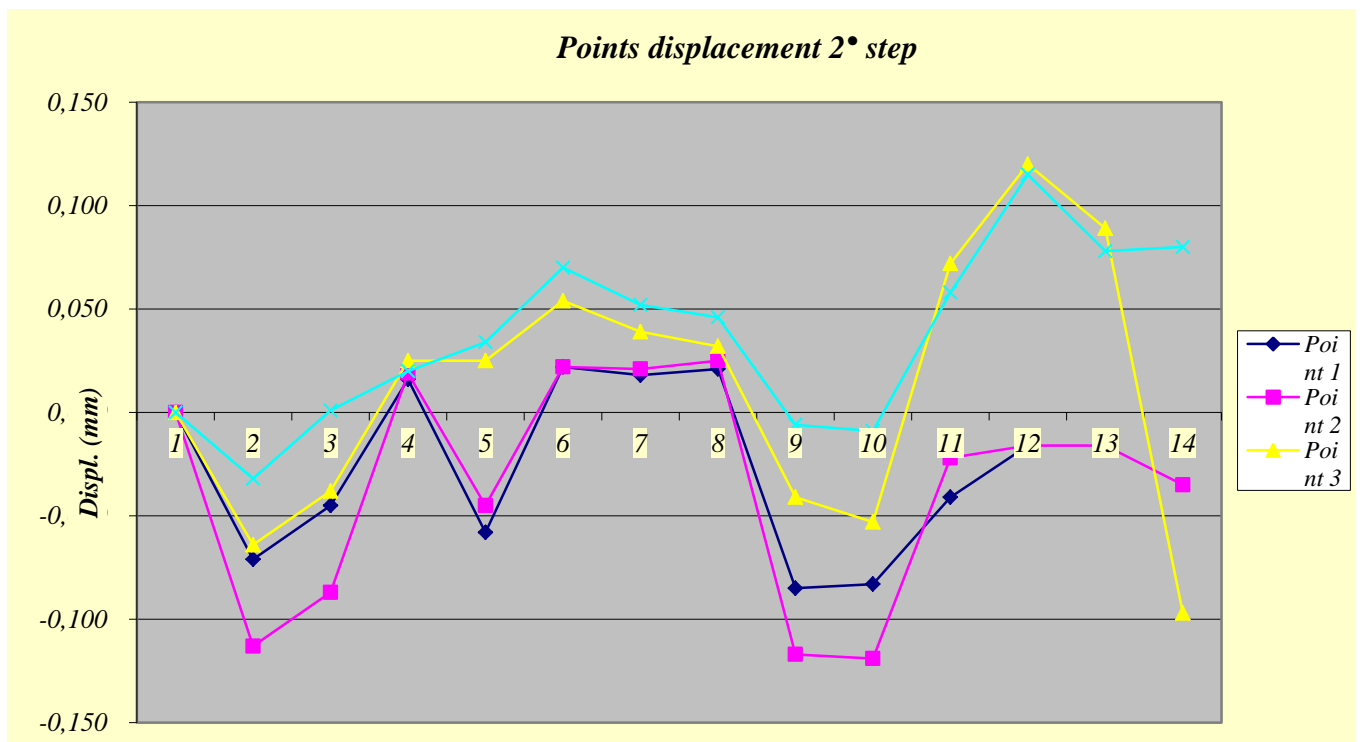


Figura 8 Variazione massima posizione bersaglio (secondo set di prova)

3.3 Validazione procedura di pulizia del supporto bersaglio del TA

Il sistema di tenuta bersaglio del TA è realizzato tramite una guarnizione di tipo metallico (HNV200 di fornitura Technetics- Francia). Tale guarnizione agisce tra la sede in cui è inserita sul bersaglio e la superficie di contatto sul supporto, lato TA, del bersaglio stesso. Poiché è atteso che durante il funzionamento del TA il litio si infiltrerà tra le due superfici di contatto, tra bersaglio e supporto, e che al successivo raffreddamento depositi di litio solido saranno presenti sulla superficie di contatto del supporto, prima di procedere con l'installazione di un nuovo bersaglio occorrerà eseguire alcuni cicli di pulizia per la rimozione di tale deposito di litio.

A tal fine attualmente è in corso la realizzazione di un dispositivo robotico progettato per l'esecuzione di tale operazione. Esso è illustrato in figura 9.

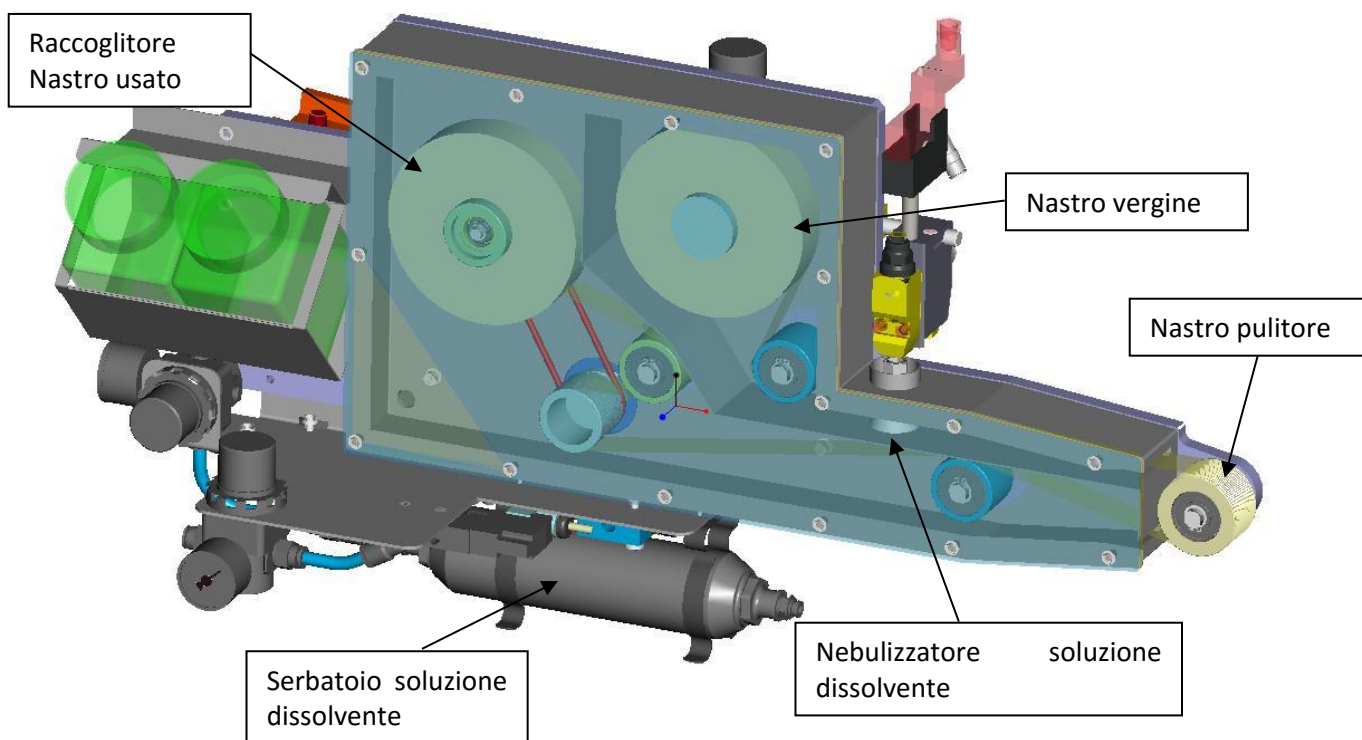


Figura 9 Dispositivo robotico di pulizia.

Tale dispositivo, con il quale si procederà per la validazione finale, sarà disponibile all'inizio del 2016. Il progetto del dispositivo di pulizia in costruzione include tutte le funzionalità per il completamento di un ciclo completo di pulizia. In esso sono facilmente riconoscibili: il dispositivo di irrorazione con la soluzione di pulizia; il rochetto con il nastro vergine e quello in cui viene raccolto il nastro già usato ed il sistema di trazione. La soluzione utilizzata per la rimozione del litio solido è costituita da una miscela di acido acetico, acqua ossigenata ed alcol etilico ($\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) in pari percentuale.

Per verificare la fattibilità dell'operazione di pulizia, nelle presente annualità, sono stati eseguiti alcuni tests di pulizia. Per tale verifica sono stati utilizzati:

- 1) Un prototipo del telaio di supporto del bersaglio (vedi Figura 10);

2) Un dispositivo di pulizia realizzato in casa (vedi Figura 11)

Il dispositivo di pulizia è costituito da un telaio in alluminio su cui sono installati: il motore elettrico di trazione; il sistema di trasmissione a catena e il tampone di pulizia.

Per simulare il deposito di litio sul prototipo del supporto è stato spruzzato un sottile strato di molikote, mentre come soluzione dissolvente è stato utilizzato alcol etilico.

La procedura adottata per ogni ciclo di pulizia è la seguente:

- 1) Impregnazione di 5 tamponi di pulizia;
- 2) Posizionamento dispositivo sulla zona da pulire;
- 3) Pulizia del supporto.

In totale sono stati eseguiti 10 test di pulizia.

I risultati dei tests eseguiti hanno evidenziato, pur con le dovute cautele, che l'operazione di pulizia della superficie del telaio di supporto è eseguibile abbastanza facilmente. La cautela su menzionata è doverosa se si considera che il litio è sicuramente diverso dal molikote, ma la soluzione dissolvente utilizzata per rimuovere il litio è molto aggressiva e i test eseguiti in laboratorio per immersione hanno confermato la sua efficacia. Pertanto è ragionevole considerare che con il nuovo dispositivo e con la soluzione su proposta il task di pulizia possa essere completata con successo. Di certo vi è che l'operazione di pulizia, in base ai risultati ottenuti da tali test, dal punto di vista della manutenzione remotizzata non presenta particolari problemi.



Figura 10 Telaio di supporto bersaglio



Figura 11 Dispositivo di pulizia realizzato in casa

3.4 Prove di preriscaldamento del TA

La manutenzione preventiva annuale, la cui durata è di 20 giorni, è compresa tra le fasi beam-off e beam-on. La fase di beam-on si ha quando il litio circola nel TA e quindi esso è in condizione di ricevere il flusso di deutoni (beam-on). La circolazione del litio nel TA implica che la struttura del TA e quindi anche del bersaglio si trovino ad una temperatura prossima a quella di riferimento del litio circolante che è di 250°C. La fase così detta di preriscaldamento ha quindi un impatto sulla durata effettiva della manutenzione preventiva eseguita su questo componenti.

Nella presente annualità è stato progettato il sistema di riscaldamento del corpo del TA. Per quanto riguarda il bersaglio, visto il gap di soli 2mm con TM, attualmente non è previsto alcun tipo di riscaldamento diretto ma esso viene riscaldato per induzione dal corpo del TA. Pertanto il riscaldamento del bersaglio è uno degli elementi critici dello studio delle condizioni di start up del TA.

La prova eseguita, che è preliminare, consiste nel sottoporre il TA a cicli di riscaldamento portandolo a 250°C e mantenendolo a tale temperatura fino a quando la temperatura del bersaglio non si è stabilizzata. L'obiettivo è quello di avere una mappatura termica del bersaglio e di misurare il tempo di salita alla temperatura di riferimento e quella di discesa del bersaglio.

Per la progettazione del sistema di riscaldamento del TA si è tenuto conto della temperatura ambiente all'interno della TC che è di 50°C e dello spessore dello strato di isolante da utilizzare. Il sistema di riscaldamento selezionato è quello della Thermocoax (vedi figura 12). Tale sistema comprende 7 camicie scaldanti, per un totale di 27 KW, ed ha il vantaggio di essere realizzato con un sistema isolato, in fibra di vetro, che permette di colmare il ΔT di 200°C con appena 3cm di isolamento.

Per l'esecuzione delle prove il bersaglio è stato strumentato con termocoppie di tipo K. Per avere una mappatura termica abbastanza fitta del bersaglio sono state applicate un totale di 100 termocoppie (vedi figura 13).

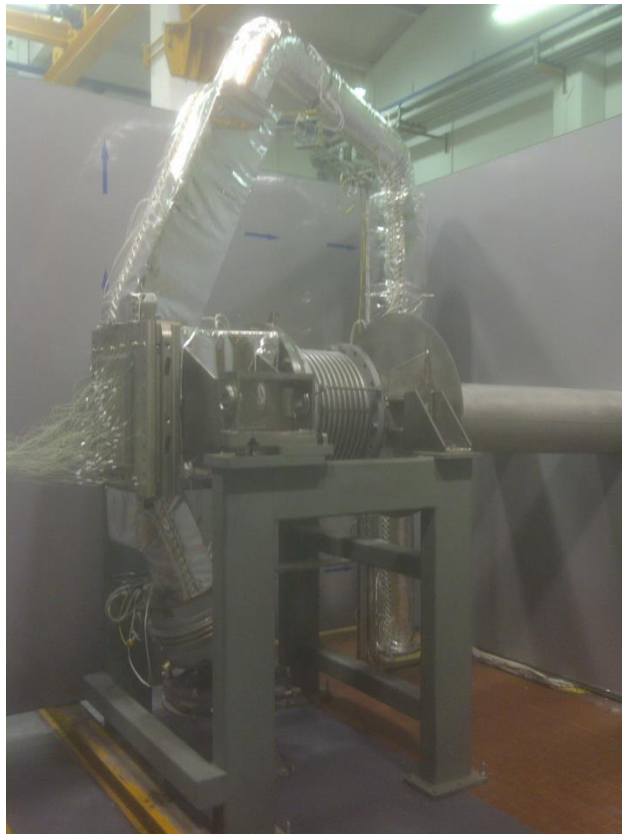


Figura 12 TA riscaldato per mezzo delle camicie scaldanti della Thermocoax

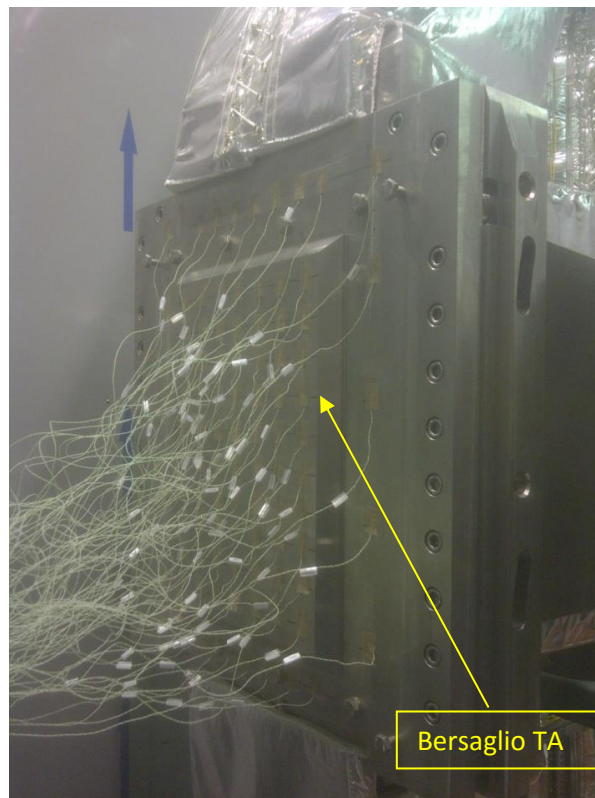


Figura 13 bersaglio strumentato con termocoppie

Le prove di riscaldamento sono state eseguite imponendo rampe di salita della temperatura di 30°C/h in modo che la struttura non fosse sottoposta a stress termici e/o deformazioni. Le temperature misurate sul bersaglio vengono monitorate e memorizzate in un data base, per il post processing, utilizzando il software illustrato in figura 14. Il software di gestione e il sistema di acquisizione dati sono stati implementati facendo uso di tecnologie della National Instrument (NI).

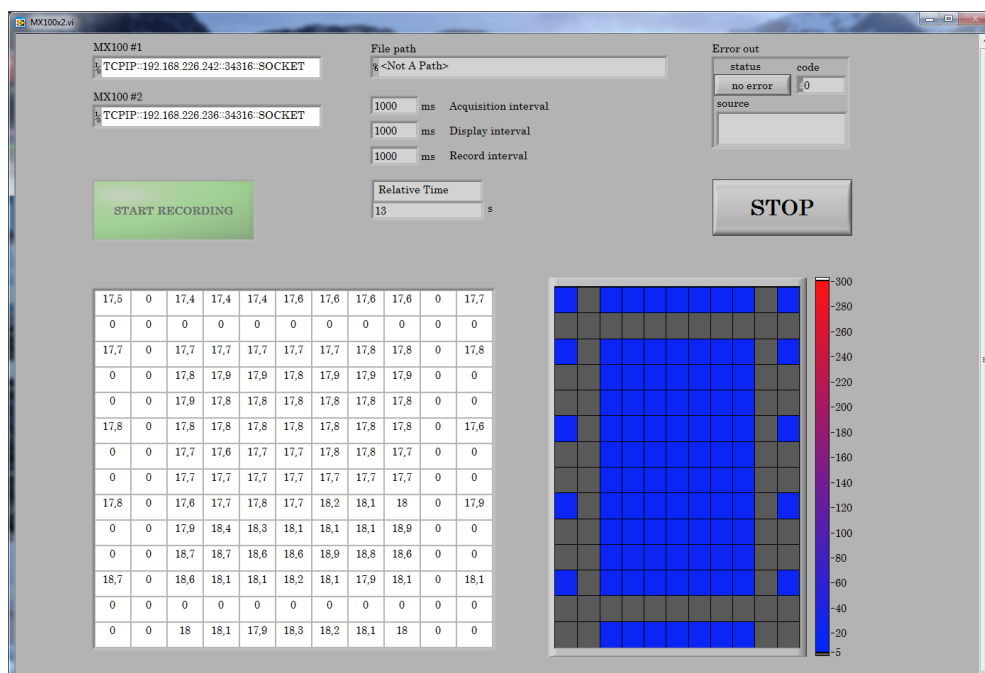


Figura 14 Software di gestione prova di riscaldamento TA.

I dati visualizzati nella tabella, in figura 14, rappresentano alcune delle letture delle termocoppie posizionate sul bersaglio.

Le prove eseguite hanno dimostrato che la presente configurazione del sistema di riscaldamento non permette al bersaglio il raggiungimento della temperatura di riferimento del flusso di litio. Il grafico in fig. 15 mostra che la temperatura massima registrata sul bersaglio di 139°C è sulla parte superiore(TC 1304÷1307), mentre al centro del bersaglio la temperatura massima è si circa 80°C bersaglio (TC 1051÷TC1054). Pertanto è indispensabile installare un sistema di riscaldamento addizionale direttamente sul bersaglio. Tali modifiche, in corso di progettazione, fanno parte del programma di attività del prossimo anno. Attualmente si sta pensando di installare riscaldatori a film sottile o un cavo scaldante posizionato direttamente sul canale di litio del bersaglio.

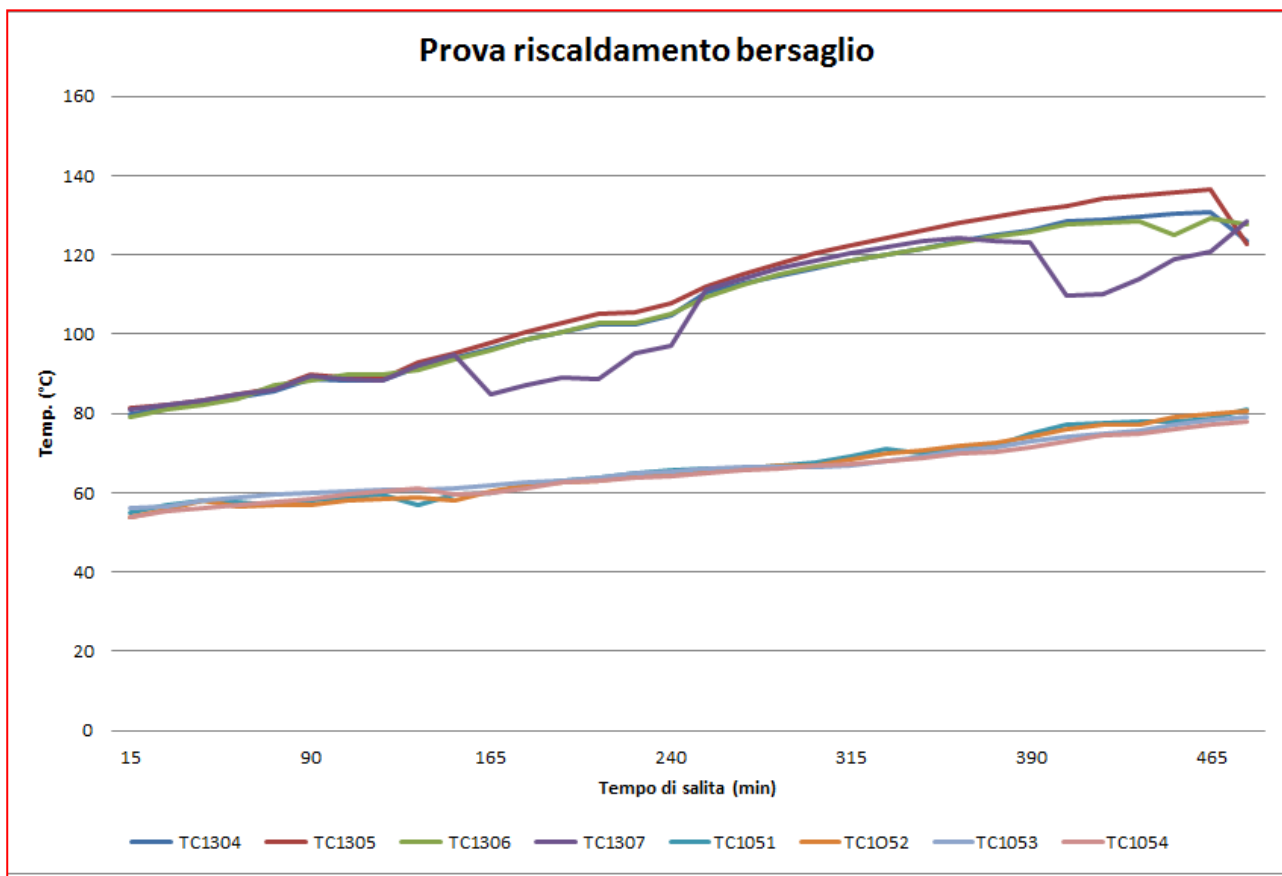


Figura 15 Temperatura di salita del bersaglio (parte superiore e centrale del Bersaglio)

Inoltre durante le prove di riscaldamento sono stati eseguiti alcuni test di tenuta del vuoto e di misura delle perdite. Le prove sono state eseguite a temperatura ambiente e a 250°C. Le prove hanno permesso di dimostrare che il sistema di tenuta del bersaglio è in grado di mantenere il vuoto previsto, di 10^{-3} Pa , per il funzionamento del TA sia a temperatura ambiente che a 250°C. In entrambi i casi la perdita registrata è stata di $1,6 \cdot 10^{-8}$ Pa·m³ /s con un grado di vuoto di 10^{-4} Pa (vedi figura 17) . Tali valori di perdita sono inferiori alla perdita massima ammessa per il funzionamento del TA che è di $1 \cdot 10^{-7}$ Pa · m³/s .



Figura 16 Cerca fughe utilizzato per la prova di vuoto e la misura delle perdite del TA

4 Conclusioni

Il ricondizionamento del TA di IFMIF è delle attività più complesse da eseguire durante la fase di manutenzione preventiva prevista annualmente in IFMIF. Tuttavia per tale componente potrebbero essere richiesti interventi di manutenzione non pianificati in caso di guasto. Lo studio delle attività di manutenzione per tale componente è stato quindi guidato dalla necessità di minimizzare i tempi d'intervento nei potenziali scenari di manutenzione. Due scenari di manutenzione sono stati sviluppati negli anni passati e la loro validazione ha richiesto diversi anni di tests e di aggiornamento del progetto.

I principali risultati ottenuti nei tests eseguiti nella presente annualità sono di seguito riportati:

- 1) Le procedure di manutenzione implementate sono state ottimizzate e confermate. Esse consentono di eseguire la manutenzione del TA nei due scenari previsti, di sostituzione dell'intero TA o del solo bersaglio, entro il tempo massimo allocato per la manutenzione preventiva di IFMIF. I tempi di intervento misurati consentono di affermare che per le operazioni di manutenzione ancora non validate, come la pulizia delle flange di connessione con l'impianto a litio, la sostituzione della diagnostica e i test di accettazione successivi alla manutenzione, vi sono ampi margini di tempo (circa 6 giorni) per il loro completamento.
- 2) L'attività di validazione dell'operazione di pulizia delle superfici sulle quali si deposita litio solido è stata completata con successo anche se eseguita con un semplice dispositivo, fatto in casa. Il progetto del dispositivo finale per l'esecuzione di tale operazione di pulizia è oramai ultimato e la sua realizzazione inizierà nel mese di Novembre 2015. Tale dispositivo sarà collaudato e validato nella prossima annualità. Per quanto riguarda la pulizia delle flange di connessione attualmente si sta preparando il progetto concettuale del dispositivo.
- 3) I tests preliminari di riscaldamento eseguiti per verificare il raggiungimento della temperatura di start up del TA hanno evidenziato che l'attuale configurazione del sistema di riscaldamento necessita di essere integrato con riscaldatori addizionali posti sul bersaglio direttamente. Tali modifiche sono in corso di esecuzione.

Infine è stato verificato che il sistema di tenuta del bersaglio soddisfa il requisito di massima perdita ammissibile.

5 Riferimenti bibliografici

1. G. Micciché, B. Riccardi, Design, manufacture and testing of the IFMIF lithium target bayonet concept, Fusion Engineering and design 75-79 (2005) 807-811.
2. G. Micciché, "Report on the manufacture of the dummy target assembly mock up and the related ancillary systems", (ref. IDM: IFMIF-BA_D_23WSKG rev.1.0)
3. G. Micciché, "Report on the design of the dummy target assembly mock up and the related ancillary systems for the experimental activities" , (ref. IDM: IFMIF –BA_D_23V67X rev. 1.0)
4. G. Micciché, D. Bernardi, P.A. Di Maio, P.arena, G. Bongiovì, A fast Disconnecting System for the European Concept of IFMIF Target Assembly, Proceeding of Sofo 2013
5. G. Micciché, Report on the design, qualification and validation of the FDS system (ref. IDM: IFMIF-BA_D_23UNBR rev.1.0)
6. G. Micciché, "Report on the fabrication of the RH equipment and tools", (ref. IDM IFMIF BA_D_23WWJX rev.1.0)
7. G. Micciché, F. Frascati, L. Lorenzelli, G. Di Gironimo, R. Mozzillo, "Report Tecnico riguardante attività di simulazione grafica delle procedure di manutenzione remotizzata del target di IFMIF, Report_Rds-PAR 2013/211
8. G. Micciché, F. Frascati, L. Lorenzelli, "Risultati delle prove di manutenzione remotizzata per il ricondizionamento e per la sostituzione del target assembly di IFMIF", Report RdS/PAR2013/210

6 Abbreviazioni ed acronimi

BP	Backplate- Bersaglio
FDS	Fast Disconnecting System
IFMIF	International Fusion Materials Irradiation Facility
RHE	Remote Handling Equipment
TA	Target Assembly
TC	Test Cell

7 Allegati

7.1 Allegato1

Tabella 1. Backplate replacement procedure

Backplate Removal		
Step	Operation	RHE & Tooling
1	Overhead crane in rest position (START)	
2	Pick up the 7 DoF RBT	Crane +TM
3	Take BT	Crane + TM+RBT
4	Move the overhead crane above the TC	Crane
5	Deploy the RBT inside the TC	TM+ RBT
6	Unlock the Skates	TM+ RBT+ BT
7	Unlock the bolts on the BP	BT
8	Detach the BP	BT
9	Extract the RBT from TC	TM
10	Back the overhead crane to the RBT docking station	Crane
11	Release the BT	Crane+TM+RBT
12	Release the RBT	Crane +TM
13	Move the overhead crane to the BP gripper	Crane
14	Pick up the BP gripper	Crane + PFCT
15	Move the overhead crane above the TC	Crane
16	Deploy and align the BP gripper in the TC	Crane + PFCT
17	Dock the BP	Crane + PFCT+ Gripper
18	Extract the BP up to above the interface frame	Crane + PFCT+ Gripper
19	Extract the BP from the TC	Crane + PFCT+ Gripper
20	Transfer the old BP in the hot cell (not included in the simulation)	Crane + PFCT
21	Release the BP on its storage support	Crane + PFCT
22	Back the overhead crane from hot cell	Crane
23	Release the BP gripper	Crane + PFCT
24	Cleaning of the Frame	
25	Pick up the 7 DoF RBT	Crane + TM
26	Take the cleaning tool	Crane + RBT+ CT
27	Move the overhead crane above the TC	Crane
28	Deploy the RBT inside the TC	TM+ RBT
29	Clean the interface frame of the BP	TM+RBT+ CT
30	Extract the RBT from the TC	TM+ RBT
31	Back the overhead crane to RBT docking station	Crane
32	Release the CT	Crane + TM+ RBT
33	Release the RBT	Crane + TM
35	Move the overhead crane to the BP gripper station	Crane
36	Pick up the BP gripper	PFCT
37	Move the overhead crane to the hot cell	
38	Grasp the BP	PFCT+BP Gripper
39	Back the overhead crane from the hot cell	
40	Deploy and align the BP gripper in the TC	Crane+ PFCT+ BP gripper
41	Align and insert the BP	Crane+ PFCT+ BP gripper
42	Release the BP gripper	BP gripper
43	Extract the BP gripper from the TC	Crane+ PFCT

44	Back the overhead crane to storage area	Crane
45	Release the BP gripper on its support;	Crane+ PFCT
46	Dock the 7 DoF RBT	Crane + TM
46	Take the BT	Crane + TM+RBT
48	Move the Overhead crane above the TC	Crane
49	Deploy the RBT inside TC	Crane + TM
50	Loop: tighten skates and bolts of the BP to 20% each step up to 100%	TM+RBT+ BT
51	Extract the RBT from TC	TM
52	Back the overhead crane to RBT docking station	Crane + TM
53	Release the Bolting tool	Crane+ TM+TBT
	Release the RBT	Crane + TM
54	Back the Overhead crane to rest position (START)	Crane

Tabella 2. TA replacement and refurbishment procedures

Step	Operation	RHE
1	Overhead crane in rest position (START)	
2	Dock the 7 DoF RBT	Crane + TM
3	Take the ABT	Crane + TM+ RBT
4	Move the Overhead crane above the TC	Crane
5	Deploy the RBT inside the TC	Crane
6	Release the FDS in the inlet side	TM+RBT+BT
7	Release the FDS in the beam side (hands on)	TM+RBT+BT
8	Compact the bellow in the beam side	TM+RBT+BT
9	Release the FDS in the outlet side	TM+RBT+BT
10	Extraction of the RBT from the TC	TM
11	Back the overhead crane to RBT docking station	Crane+ TM
12	Release the ABT	TM+ RBT
13	Release the RBT	TM
14	Dock the TA gripper	Crane + PFCT
15	Move the Overhead crane above TC	Crane
16	Deploy and align the TA gripper in the TC	Crane+ PFCT
17	Dock the TA	PFCT+ TA gripper
18	Lift the TA	PFCT+ TA gripper
19	Extract the TA from the TC	PFCT+ TA gripper
20	Transfer the old TA to the hot cell (not included in the simulation)	
21	Release the TA on its support	Crane+PFCT+ TA gripper
22	Back the overhead crane from hot cell(not included in the simulation)	
23	Release the TA gripper on its support;	Crane + PFCT
24	Dock the 7 DoF RBT	Crane + TM+RBT
25	Take the CT	Crane
26	Move the overhead crane above the TC	Crane+ TM+ RBT
27	Deployment of the CT inside TC	TM+RBT+ CT
28	Clean the outlet FDS fixed flange	TM+RBT+ CT
29	Clean the inlet FDS fixed flange	TM+ RBT+ CT

30	Clean the beam FDS fixed flange	TM
31	Extract the RBT from the TC	Crane
32	Back the overhead crane to the RBT docking station	Crane + TM+ RBT
33	Release of the CT	Crane + TM
34	Release of the RBT	
TA Installation		
37	Dock the TA gripper	
38	Move the overhead crane to hot cell	Crane+ PFCT
39	Grasp the new TA	
40	Back overhead crane from the hot cell(not included in the simulation)	Crane+ PFCT
41	Deploy and align the TA gripper in the TC	Crane+ PFCT
42	Position of the TA onto the supporting Structure	
43	Release the TA gripper	Crane+ PFCT
44	Extract the gripper of the TA from the TC	Crane
45	Back the overhead crane from the TC	Crane+ PFCT
46	Release the TA gripper on its support;	Trolley+TM
47	Dock the 7 DoF RBT	Trolley+TM+RBT
48	Take the ABT	Crane
49	Move the overhead crane above TC	Trolley+TM
50	Deploy the RBT inside the TC	TM+RBT+ ABT
51	Close the FDS in the outlet side	Hands on
52	Expand the beam bellow	TM+RBT+ ABT
53	Close the FDS in the beam side (hands on)	TM+RBT+ ABT
54	Close the FDS in the inlet side	TM
55	Extract the RBT from TC	Crane+ TM
56	Back the overhead crane to RBT docking station	Trolley+TM
57	Release the ABT	Trolley+ TM
58	Release the RBT	Crane.
59	Back the Overhead crane to rest position (START)	

7.2 Allegato 2

Tabella 1. Tempi relativi alle operazioni per la rimozione del TA

Rimozione TA	FDS inlet (min)	FDS outlet (min)	Soffietto lato beam (min)	Sollevamento TA (min)	Tempo intervento (h:m)
1	32	35	184	30	4:41
2	25	31	165	28	4:09
3	28	39	149	30	4:06
4	31	36	157	24	4:08
5	30	42	172	24	4:28
6	29	40	172	21	4:22
7	26	39	160	26	4:11
8	34	36	155	25	4:10
9	28	37	145	23	3:53
10	26	44	162	20	4:10
Media	29	38	162	25	4:14

Tabella 2. Tempi relativi alle operazioni per l'installazione del TA

Installazione TA	Pulizia flange Li loop (h:min)(*)	Posizionamento TA (h:m)	FDS inlet (min) (**)	FDS outlet (min) (**)	Soffietto lato beam (h:min) (**)	Tempo intervento (h:m)
1	4:50	6:35	88	98	2:50	17:21
2	4:50	7:20	97	102	2:55	17:24
3	4:50	7:05	75	110	2:26	17:26
4	4:50	6:50	102	100	2:40	17:42
5	4:50	5:40	98	105	2:55	16:48
6	4:50	7:45	110	115	2:25	18:45
7	4:50	7:00	82	88	2:25	17:05
8	4:50	6:03	85	105	2:15	16:18
9	4:50	6:30	92	112	2:30	17:14
10	4:50	7:10	91	115	2:20	17:46
Media	4:50	6:55	92	105	2:35	17:37

(*) tempo pulizia Flange di connessione stimato sulla base dei tempi di pulizia del telaio di supporto BP
 (**) Serraggio FDS eseguito con coppia crescente del 20% per ogni step fino al 100% (5 steps)

Tabella 3. Tempi relativi alle operazioni per la rimozione del Bersaglio

Rimozione Bersaglio	Unbolting of skates (min)	Unbolting of bolts (min)	Lift install. and BP removal (min)	Note	Intervention time (h:min)
1	8	9	15	Singolo ciclo di svitamento	2:01
2	8	10	18	Singolo ciclo di svitamento	2:14
3	6	7	20	Singolo ciclo di svitamento	1:54
4	7	8	17	Singolo ciclo di svitamento	1:51
5	7	6	19	Singolo ciclo di svitamento	1:34
6	7	8	16	Singolo ciclo di svitamento	1:50
7	6	7	22	Singolo ciclo di svitamento	1:44
8	8	7	20	Singolo ciclo di svitamento	1:46
9	7	9	17	Singolo ciclo di svitamento	2:01
10	7	8	19	Singolo ciclo di svitamento	1:52
Media	7	8	18		1:52

Tabella 4. Tempi relativi alle operazioni per l'installazione del Bersaglio

Installaz. Bersaglio	Pulizia Supporto	Posizionam. BP (min)	Avvit. pattini (min) (*)	Avvit. Bull (min) (*)	Intervention Time h:min
1	155	30	7	6	9:15
2	140	27	7	8	10:37
3	125	28	8	7	9:43
4	130	25	7	4	7:05
5	135	20	9	5	8:15
6	135	30	8	5	8:15
7	140	29	9	6	9:19
8	125	32	7	8	10:27
9	120	19	8	5	7:49
10	145	30	9	5	9:25
Media	135	26	8	6	9:01

(*) Serraggio FDS e bulloni eseguito con coppia crescente del 20% per ogni step fino al 100% (5 step)