



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Rapporto sull'adeguamento dell'area sperimentale destinata alle sperimentazioni full scale in condizioni rappresentative del target IFMIF

Gioacchino Micciché, Luciano Lorenzelli

Rapporto sull'adeguamento dell'area sperimentale destinata alle sperimentazioni full scale in condizioni rappresentative del target IFMIF

Gioacchino Miccichè, Luciano Lorenzelli (ENEA)

Novembre 2011


Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale


Progetto: Fusione nucleare: Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER, denominate "Broader Approach"

Responsabile Progetto: Aldo Pizzuto, ENEA

 Ricerca Sistema Elettrico		Sigla di identificazione IM-G-R-016	Distrib. L	Pag. 1	di 20
Titolo					
Rapporto sull'adeguamento dell'area sperimentale destinata alle sperimentazioni full scale in condizioni rappresentative del target IFMIF					
Descrittori					
Tipologia del documento: Deliverable					
Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE					
Argomenti trattati: Adeguamento Area Sperimentale					
Sommario					
In preparazione delle prove di validazione delle operazioni di ricondizionamento per il Target di IFMIF l'area sperimentale in cui tali attività saranno eseguite è stata aggiornata con diverse nuove funzionalità.					
Questo documento descrive le attività di adeguamento eseguite in questa area.					
Note					
Copia n.		In carico a:			
2			NOME		
			FIRMA		
1			NOME	G. Miccichè	A. Aiello
			FIRMA		P. Agostini
0	EMISSIONE		NOME	L. Lorenzelli	
			FIRMA		
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA
					APPROVAZIONE

Lista degli Acronimi

BP	Back Plate
dpa	displacement per atom
FPY	Full power year
IFMIF	International Fusion Materials Irradiation Facility
IT	Integral Target
JAEA	Japan Atomic Energy Agency
RH	Remote Handling
RHE	Remote handling Equipment
TA	Target Assembly
TC	Test Cell

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	IM-G-R-016	0	L	5	20

Indice

Lista degli Acronimi.....	4
1. INTRODUZIONE.....	6
2. IL TARGET ASSEMBLY DI IFMIF E LE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE	7
2.1 OPERAZIONI DI MANUTENZIONE REMOTIZZATA DEL TA PER IFMIF E PROGRAMMA DI VALIDAZIONE	8
2.2 PROTOTIPO DEL TARGET PER LA VALIDAZIONE DELLE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE REMOTIZZATA	11
3. DESCRIZIONE DELLA DRP FACILITY	12
3.1 ADEGUAMENTO DELL'AREA SPERIMENTALE	13
3.2 LA SALA CONTROLLO.....	17
4 CONCLUSIONI	20

1. INTRODUZIONE

L'International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) è prevalentemente finalizzato a testare, in un ambiente che riproduca le severe condizioni operative di un reattore a fusione, i materiali candidati all'impiego in un tal tipo di reattori, consentendo la realizzazione di uno specifico database delle proprietà termofisiche di materiali irraggiati da impiegare per il progetto, la costruzione, il licensing e le operazioni in sicurezza del reattore a fusione dimostrativo DEMO [1].

IFMIF è costituito da due acceleratori lineari continui da 40 MeV, deputati a depositare due fasci da 125 mA di deutoni su un target costituito da una corrente di litio liquido. Tali deutoni, interagendo con il litio secondo reazioni di "stripping", danno luogo all'emissione di un intenso flusso neutronico dell'ordine di $10^{18} \text{ nm}^{-2}\text{s}^{-1}$, contraddistinto da un spettro energetico "duro" che, analogamente a quello di un plasma da fusione D-T, reca un picco in corrispondenza all'energia di 14 MeV. Questa popolazione neutronica consente l'irraggiamento di campioni di materiali in condizioni rappresentative di un tipico reattore a fusione con plasma D-T fino a tassi di danneggiamento dell'ordine di 50 dpa/fpy [1].

Attualmente il programma di R&D implementato per IFMIF è nella fase di Engineering Validation and Design Activities (EVEDA) che è parte del più ampio programma di ricerca sulla fusione nucleare denominato Broader approach agreement stabilito tra l'Europa ed il Giappone.

In tale contesto L'Italia ha, tra l'altro, la responsabilità della progettazione del concetto Europeo del Target Assembly di IFMIF e della validazione delle operazioni di manutenzione richieste per tale componente..

La proposta Europea del concetto di target assembly per IFMIF, conosciuto come Target a Baionetta, presenta delle peculiarità in termini di mantenibilità, di miglioramento della disponibilità d'impianto e di riduzione del materiale attivato da smaltire. La validazione del progetto di tale concetto di target passa comunque attraverso la verifica di alcune funzionalità senza le quali non è possibile garantire gli elevati standard di sicurezza richiesti durante il funzionamento e sia durante la sua manutenzione. IFMIF deve essere progettato considerando che la specifica richiede una disponibilità complessiva dell'impianto che è del 70%. Per soddisfare questo requisito occorre che l'impianto funzioni per 11 mesi l'anno e che tutte le operazioni di manutenzione dell'impianto siano eseguite in un mese. Per il TA è previsto che le operazioni di

manutenzione abbiano una durata non superiore ad una settimana. Pertanto la validazione delle procedure di manutenzione di tale componente diviene un'azione indispensabile per potere verificare ed ottimizzare i tempi e le procedure per la esecuzione di tali operazioni. Tutti i test per le operazioni di manutenzione remotizzata per il TA di IFMIF saranno eseguiti nell'area sperimentale DRP del CR ENEA del Brasimone. Essa è stata di recente aggiornata con l'introduzione di nuovi dispositivi e funzionalità.

Questo documento presenta la descrizione dell'area sperimentale così come si presenta con nuovi sistemi introdotti.

2. IL TARGET ASSEMBLY DI IFMIF E LE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE

Il TA di IFMIF nella versione Europea è illustrato in Fig. 1. La descrizione del progetto del TA è dettagliata in [1][2], e quindi di seguito vengono fornite solamente alcune informazioni più generali. Il TA comprende: il corpo del target e la backplate rimovibile. Quest'ultimo aspetto è quello che caratterizza il concetto di Target Europeo. Il progetto Europeo del TA fu sviluppato per soddisfare alcuni requisiti, ritenuti fondamentali per il successo dell'operatività di IFMIF, come la disponibilità d'impianto, la semplificazione delle operazioni di manutenzione e la riduzione dei materiali da smaltire. Per questo motivo esso fu progettato con la possibilità di cambiare solamente la parte più sollecitata, dal punto di vista nucleare, che è la backplate, senza ogni volta cambiare l'intero Target. Infatti la backplate essendo deputata ad ospitare il deflusso di lito liquido proprio in corrispondenza all'impronta del fascio risulta essere il componente più intensamente esposto all'irraggiamento dei neutroni veloci, e conseguentemente quello contraddistinto dalla minore vita operativa attesa, stimata inferiore ad un anno. Questa strategia progettuale offre notevoli vantaggi in termini di tempo di ripristino del sistema, infatti:

- 1) Il ricambio del TA prevede la rimozione anche dei connettori elettrici e dell'isolamento termico, la cui esecuzione da remoto e di per se complessa;
- 2) La gestione dell'operazione di rimozione del TA è sicuramente più gravosa di quella della Backplate: Il TA pesa circa 1T mentre la Backplate circa 85 Kg.

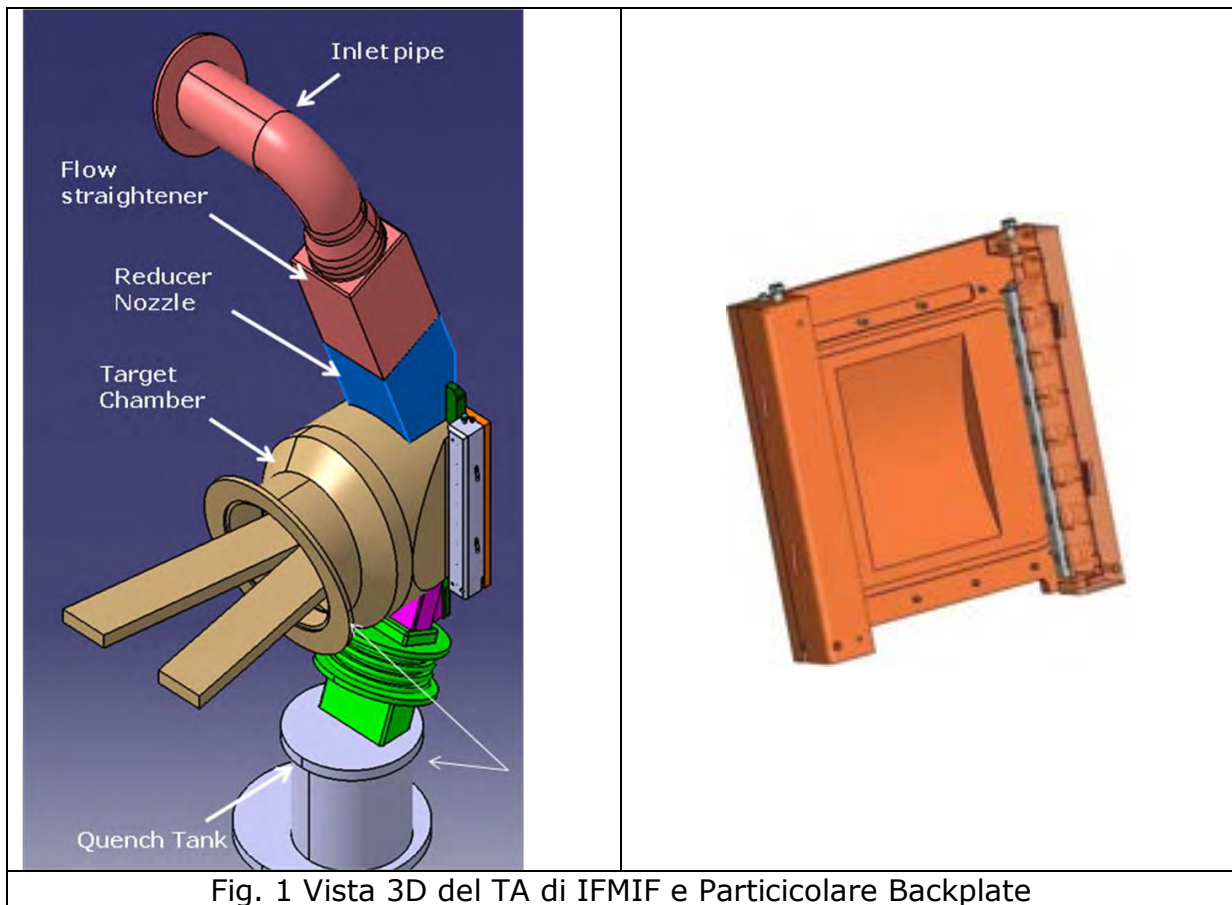


Fig. 1 Vista 3D del TA di IFMIF e Particolare Backplate

Il rimpiazzo del target potrebbe comunque essere richiesto perché vi sono altri componenti che potrebbero limitarne il riuso. Ad esempio l'ugello del TA è soggetto ad erosione dovuta all'alta velocità che il litio raggiunge in questa zona. A tal fine il TA è stato progettato in modo che anche il suo rimpiazzo sia reso possibile in un tempo comunque compatibile con la disponibilità d'impianto richiesta. Il concetto Europeo del TA prevede la connessione con la restante parte del circuito a litio e con il beam dell'acceleratore per mezzo di attacchi a rapida connessione e che permettono la sua rimozione senza dovere operare sulla parte dell'isolamento termico. Il sistema di connessione è ancora nella fase di sviluppo ma i risultati preliminari sono incoraggianti.

2.1 OPERAZIONI DI MANUTENZIONE REMOTIZZATA DEL TA PER IFMIF E PROGRAMMA DI VALIDAZIONE

Attualmente la strategia di manutenzione del TA di IFMIF prevede due scenari: il primo è relativo alla possibilità di sostituire la sola backplate

mentre il secondo è basato sulla possibilità di sostituire l'intero TA con uno ricondizionato in precedenza e pronto per l'installazione. Il primo approccio sarà verosimilmente utilizzato nel caso di un tempo di vita della backplate molto limitato, ad esempio 5-6 mesi. Questo approccio consentirebbe un fermo impianto ridotto ed una procedura "semplificata". Il secondo approccio può invece essere utile per la manutenzione annuale di tipo preventivo in cui il tempo a disposizione è sufficientemente ampio da giustificare. Occorre sottolineare che i due scenari devono comunque essere sviluppati almeno per garantire una procedura di rescue nel caso la rimozione della backplate fallisca. Quindi i due scenari possibili, così come le relative operazioni di manutenzione, devono essere validati entrambi. Le operazioni di manutenzione remotizzata da validare nei due scenari proposti sono riportate nella tabella seguente.

Componente	Operazione	Criticità
Backplate:		
➤ Installazione	1) Inserimento Backplate sul telaio di interfaccia del target; 2) serraggio bulloni della backplate e dei due pattini fino alla coppia nominale; 3) test target prima dell'avvio: vuoto e misura della perdita; alimentazioni e segnali ..etc	1) Media 2) Media 3) Media
➤ Rimozione	1) Inversa dell'installazione con l'aggiunta di 2) Manovra delle viti di distacco backplate 3) Ispezione delle superfici di contatto del telaio di interfaccia; 4) Operazione di pulizia delle superfici d'interfaccia ;	1) Alta 2) Media/Alta 3) Media 4) Media/Alta

Target Assembly:		
➤ Installazione Target	1) Posizionamento del target all'interno della caverna di irraggiamento (Test Cell); 2) Bloccaggio del target sui supporti di centraggio; 3) Chiusura sistemi ad attacco rapido; 4) Connessione delle alimentazioni e segnali; 5) Test: vuoto e perdita; test dei segnali	1) Alta 2) Media 3) Media 4) Alta 5) Media
➤ Rimozione target	1) Scollegamento dei connettori di alimentazione e dei segnali; 2) Apertura dei sistemi a connessione rapida; 3) Apertura dei sistemi di centraggio; 4) Sollevamento del target dalla caverna nel locale soprastante; 5) Operazioni di pulizia delle flange per eliminazione del litio solido ; 6) Operazione di ispezione delle flange	1) Alta 2) Media 3) Media 4) Media/Alta 5) Media 6) Media

Tab. 1 lista operazioni ricondizionamento TA

Il programma di validazione delle operazioni di manutenzione remotizzata prevede una prima fase, in cui le procedure di esecuzione vengono ottimizzate e validate, ed una seconda fase (di lungo termine) in cui le procedure ottimizzate vengono ripetute per verificare l'affidabilità delle procedure stesse su un numero considerevole di operazioni e quella dei componenti rispetto alle due procedure di installazione e di rimozione. Tutte le operazioni relative alle due fasi di validazione saranno eseguite presso la DRP facility del C.R. ENEA del brasimone.

2.2 PROTOTIPO DEL TARGET PER LA VALIDAZIONE DELLE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE REMOTIZZATA

Per la validazione delle operazioni di manutenzione remotizzata sarà realizzato un prototipo dummy del TA in scala reale ed una simulazione dell'area in cui esso è installato in IFMIF. L'insieme dei due componenti saranno installati nell'area sperimentale della DRP. In Fig. 2 è mostrato il modello 3D del prototipo da realizzare.

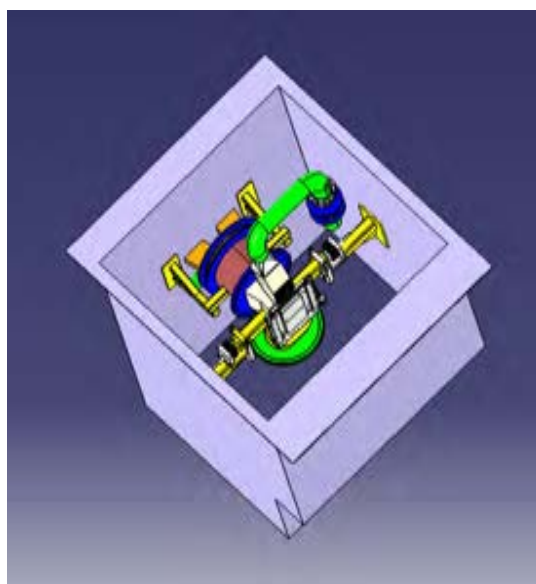


Fig. 2 Prototipo del TA e simulazione area di lavoro

In particolare il prototipo del TA sarà realizzato considerando che:

- 1) dovrà avere le dimensioni di quello reale: stesse interfacce, stesso peso, stesso centro di massa e dovrà includere un prototipo di backplate in scala reale;
- 2) i componenti interni, come l'ugello e la sezione d'uscita, potranno essere non rappresentativi di quelli reali;

3) i sistemi di connessione dovranno essere in scala reale e comprendere tutte le funzionalità: sistema di ritenzione dell'isolamento termico, sistema di rilevamento fughe litio e sistema di sgancio di emergenza.

Per quanto riguarda il prototipo della simulazione dell'area di lavoro esso dovrà comprendere:

- 1) una sezione in scala reale dell'area di lavoro;
- 2) idonee interfacce rappresentative di quelle reali.
- 3) gli ostacoli presenti al suo interno.

I prototipi saranno installati nella area di simulazione della DRP facility.

3. DESCRIZIONE DELLA DRP FACILITY

La divertor test Platform (DRP) è una area sperimentale nata nel 1995 con lo specifico scopo di sviluppare e verificare le operazioni per la manutenzione remotizzata delle cassette del divertore di ITER. Come è illustrato in fig. 3 essa comprende due aree principali: la sala controllo e l'area sperimentale, che simula una cella calda, in cui le operazioni di manutenzione vengono eseguite.

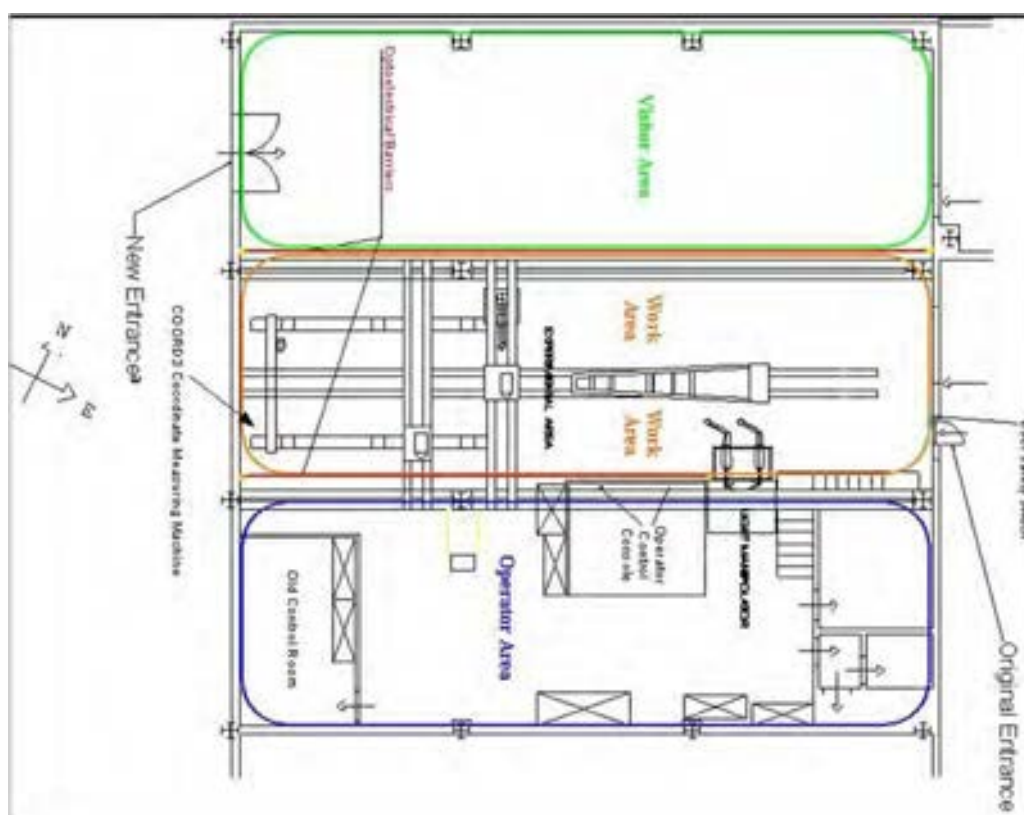



Fig. 3 Pianta della DRP facility

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	IM-G-R-016	0	L	13	20

In generale la DRP è dotata di diverse funzionalità e dispositivi che consentono l'esecuzione della gran parte delle operazioni di manutenzione, ma le operazioni di manutenzione remotizzata per il target assembly di IFMIF richiedono nuovi sistemi robotici ed il miglioramento delle funzionalità presenti. Quindi in preparazione delle attività di validazione delle procedure implementate per il ricondizionamento /sostituzione del Target di IFMIF, la DRP è stata aggiornata con funzionalità e dispositivi aggiuntivi necessari per l'esecuzione di tutte le operazioni previste. L'adeguamento della DRP viene discusso nei successivi paragrafi. In dettaglio vengono presentati:

1. Adeguamento dell'area sperimentale:
 - Integrazione del nuovo dispositivo robotico;
 - Miglioramento del sistema di telecamere;
- 2) Adeguamento della sala controllo:
 - Integrazione nuovi dispositivi;
 - Software di controllo nuovo dispositivo robotico;
 - Software di gestione dell'impianto telecamere;
 - Nuova matrice impianto telecamere.

3.1 ADEGUAMENTO DELL'AREA SPERIMENTALE

INTEGRAZIONE NUOVO DISPOSITIVO

La modifica più importante apportata in quest'area riguarda il sistema di manipolazione. Le operazioni di manutenzione remotizzata per il ricondizionamento del TA di IFMIF richiedono l'uso di un sistema robotico avente una buona capacità di carico e diversi gradi di libertà. Inoltre le dimensioni dei singoli giunti devono essere tali da permettere il raggiungimento di tutte le posizioni di lavoro. Il target assembly di IFMIF è installato all'interno della caverna e lo spazio disponibile per le operazioni è molto limitato (può variare da alcuni cm ad alcune decine di cm).

La DRP è equipaggiata con un sistema di manipolazione che è illustrato in Fig.4. Esso comprende un carrozzone ed un braccio robotico installato sul carrozzone stesso per mezzo di un carrello. La combinazione dei due dispositivi consente di raggiungere una qualsiasi posizione all'interno dell'area sperimentale. Il braccio robotico esistente ha 6 gradi di libertà ed una capacità di carico di 1000 Nm. Ma le dimensioni dei vari giunti non consentono di lavorare agevolmente nei ridotti spazi disponibili intorno al TA di IFMIF. Invece esso può essere utilizzato efficacemente per prelevare e portare in posizione la backplate del TA. Il sistema è stato quindi

modificato in modo da utilizzare lo stesso sistema ma con due terminali (parte polso) diversi. Le figure 5-8 mostrano le due configurazioni durante le fasi di accettazione del sistema.



Fig. 4 Sistema di manipolazione DRP esistente



Fig. 5 Braccio esistente con flangia per sostituzione terminale



Fig. 6 braccio esistente



Fig. 7 Nuovo terminale del braccio



Fig. 8 Nuovo terminale del braccio

Di seguito vengono brevemente richiamate le caratteristiche tecniche del nuovo braccio robotico, maggiori dettagli sono riportate nel rapporto (IM-G-R- 014).

Il nuovo sistema modulare integrato sul braccio DRP è basato su una flangia a cambio rapido che consente di sostituire il terminale del braccio in funzione dei task previsti. Questa modifica consente di raggiungere un alto grado di flessibilità. Il sistema così integrato conta 7 gradi di libertà (4 del nuovo terminale + 3 del braccio esistente) che arrivano a dieci se si considerano i 3 gradi delle traslazioni Cartesiane. Nella configurazione con il nuovo terminale il braccio ha una capacità di carico di 150Nm, misurata rispetto al centro pinza(COG).

MIGLIORAMENTO DEL SISTEMA DI VISIONE

Tutte le operazioni di manutenzione remotizzata sono normalmente eseguite senza accesso visivo diretto dell'uomo alla zona delle operazioni. Le tecniche usate per avere l'accesso visivo sono stanzialmente due: i sistemi di realtà virtuale (VRLM) e le telecamere.

La DRP è dotata di un sistema di telecamere, distribuito nell'area sperimentale, che permette la visualizzazione delle operazioni di manutenzione per mezzo di monitors installati in sala controllo. Al sistema sono state aggiunte 4 nuove telecamere (di cui 1 in sostituzione di una guasta) che vanno ad ampliare le potenzialità del sistema. Le telecamere installate sono mostrate in Fig. 9



Fig. 9 Nuove telecamere DRP

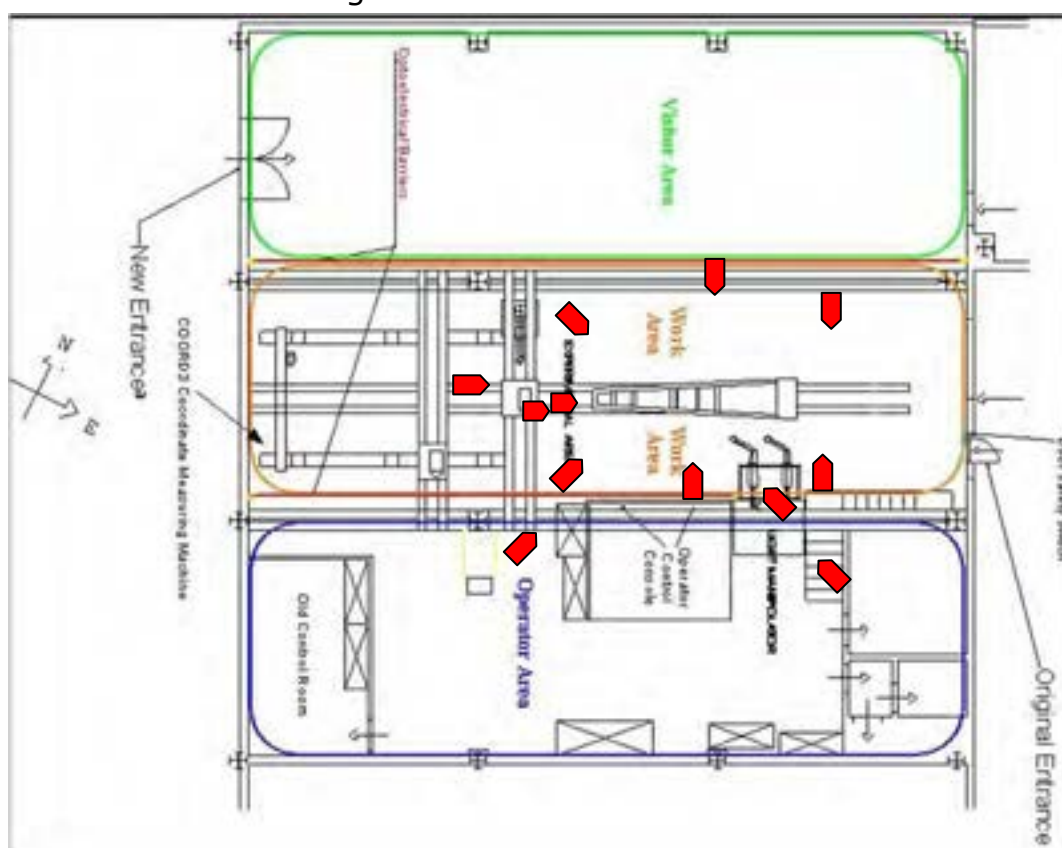


Fig. 10 Mappatura del sistema di telecamere della DRP

La Fig. 10 riporta la mappatura delle telecamere installate in DRP. Le telecamere sono tutte comandabili da remoto sia via Software sia via

pannello hardware. Tutte le telecamere sono fornite di base brandeggiabile e delle funzionalità di fuoco e zoom.

3.2 LA SALA CONTROLLO

La sala controllo della DRP è illustrata in Fig. 11. Essa comprende:

- 1) il sistema gestione del sistema di visione per la visualizzazione delle operazioni di manutenzione;
- 2) il sistema di registrazione delle operazioni
- 3) il pannello locale per la manovra in modalità manuale dei dispositivi dell'area di lavoro ;
- 4) i software di controllo e gestione dei dispositivi dell'area di lavoro.

Di seguito vengono presentate le principali modifiche eseguite.

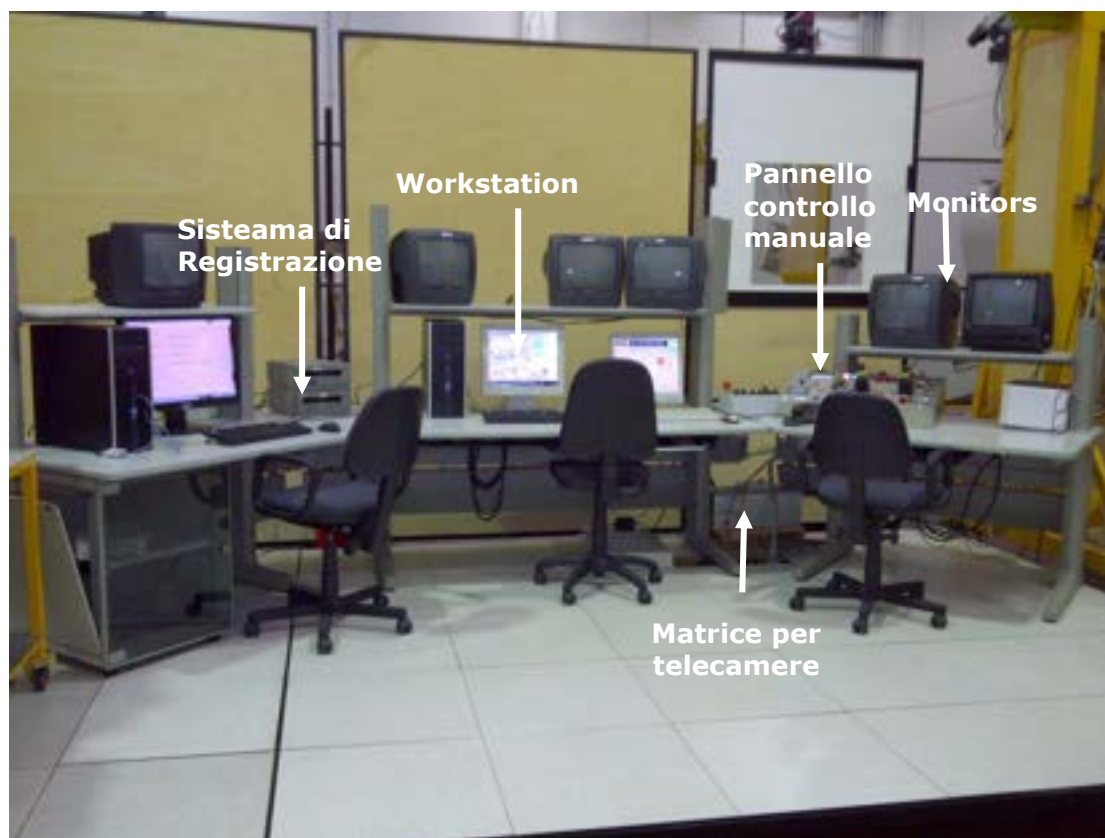


Fig. 11 Sala controllo della DRP

MODIFICHE AL SISTEMA DI VISIONE

Il sistema è stato provvisto di una nuova matrice + commutatore di comando (Elca -MX24x24- vedi Fig. 12) che permette di indirizzare il

segnale proveniente dal campo verso uno dei monitors presenti in sala controllo. La matrice si interfaccia per mezzo di una porta RS-232 con un PC della sala controllo su cui è attiva un'applicazione software per la gestione del sistema (vedi Fig. 13).



Fig. 12 nuova Matrice

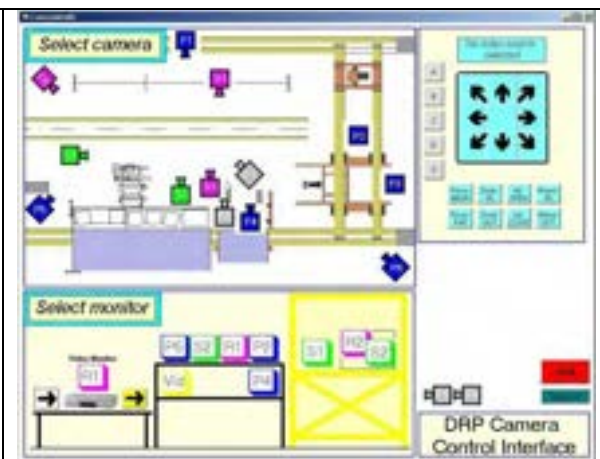


Fig. 13 Software di Gestione impianto vis.

IL PANNELLO COMANDO

Il quadro comandi manuali del braccio DRP, presente originariamente sul pannello di comando del sistema è stato sostituito da un PLC touch screen con interfaccia CANopen. Mentre tutte le altre funzionalità continuano a permanere.

Dal PLC posto sul quadro è possibile:

- Selezionare la modalità di controllo LOCALE/PC del sistema (in modalità LOCALE la comunicazione del PC verso il braccio DRP sul bus CAN è inibita);
- Collegare/scollegare la flangia cambio rapido;
- Azionare i singoli giunti del braccio nelle due configurazioni TLA e DRP.

La gestione dei sistemi connessi sul bus CAN è poi possibile direttamente dal PC (quando la comunicazione è opportunamente settata dal PLC) mediante un'applicazione, sviluppata in LabView che consente l'accesso a tutti i registri del braccio TLA ed al modulo IO Weidmuller. L'accesso a quest'ultimo modulo consente di riconoscere il tipo di braccio con cui si sta operando.

Il pannello di comando nella sua attuale configurazione è mostrato nella fig. 14



Fig. 14

Mentre l'applicazione Software di gestione del nuovo sistema integrato è mostrata in Fig. 15.

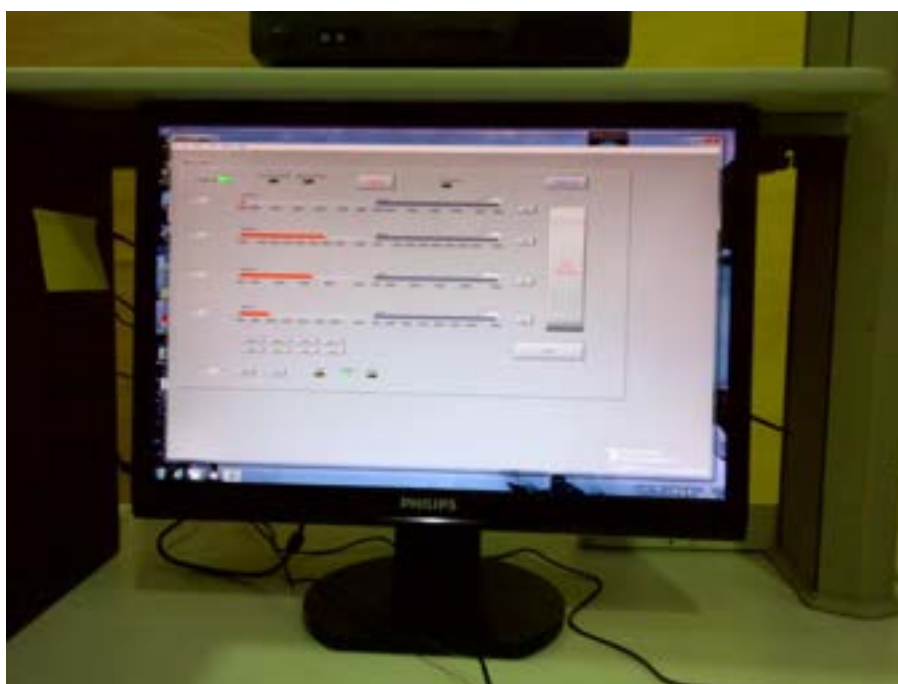


Fig. 15 software gestione braccio robotico.

SISTEMA DI SUPERVISIONE

Il sistema di supervisione della DRP è basato su un'applicazione sviluppata in Visual C++ che permette la gestione di tutti i dispositivi robotici dell'area di lavoro in modo integrato.



Fig. 16 Software di Supervisione

Attualmente il software è in fase di modifica per permettere la gestione del nuovo braccio in modo coordinamento con gli altri dispositivi. La modifica riguarda la parte server dell'applicazione che comunica con i clients delle altre applicazioni per il refresh dei dati di posizione ed allarme.

4 CONCLUSIONI

L'area sperimentale della DRP è stata aggiornata ed è adesso pronta per potere ospitare l'attività di validazione delle operazioni di manutenzione remotizzata per il TA di IFMIF. Tuttavia le modifiche apportate consentono di affrontare solamente la prima fase, relativa alla sola backplate del TA, mentre ulteriori modifiche dovranno essere fatte per affrontare la seconda ed ultima fase. Il sistema di manipolazione dovrà essere integrato con un nuovo dispositivo robotico idoneo a gestire pesi di 1,5T che è quanto necessario per il test delle operazioni di rimpiazzo del TA.