



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Rapporto sulla progettazione del sistema di manipolazione remota

Gioacchino Micciché, Luciano Lorenzelli

Rapporto sulla progettazione del sistema di manipolazione remota

Gioacchino Miccicchè, 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 014	Distrib. L	Pag. di 1 21
--	--	----------------------	------------------------

Titolo

Rapporto sulla progettazione del sistema di manipolazione remota

Descrittori

Tipologia del documento: Deliverable

Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE

Argomenti trattati: Progettazione del sistema di manipolazione remota

Sommario

Questo documento descrive il progetto del sistema di manipolazione remotizzata per la validazione delle operazioni di manutenzione per il ricondizionamento del Target di IFMIF. In particolare viene descritto il progetto di un nuovo braccio robotico antropomorfo che sarà installato nel laboratorio DRP dell'ENEA Brasimone.

Note

Copia n.

In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	30/11/2011	NOME	G. Miccichè	A. Aiello	P. Agostini
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	IM-G-R 014	0	L	2	21

Sommario

1. INTRODUZIONE	5
2. TARGET E TEST CELL DI IFMIF	5
2.1 DESCRIZIONE DELLA TARGET E TEST FACILITY	5
2.2 OPERAZIONI DI MANUTENZIONE DEL TARGET DI IFMIF.....	8
3. DISPOSITIVI PER LA MANUTENZIONE REMOTIZZATA DEL TA DI IFMIF	
10	
3.1 BRACCI ROBOTICI PER LE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE	10
3.2 MODIFICA DEL BRACCIO ROBOTICO ESISTENTE	10
3.3 FLANGE PER IL CAMBIO RAPIDO DEI TERMINALI ROBOTICI	13
3.4 PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEL NUOVO BRACCIO ROBOTICO	
14	
3.5 INTEGRAZIONE DEL NUOVO BRACCIO IN SALA CONTROLLO	19
4. CONCLUSIONI	21

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	IM-G-R 014	0	L	2	21

1. INTRODUZIONE

L'International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) è un impianto che sarà realizzato per lo studio dei materiali che saranno impiegati nei futuri reattori a fusione nucleare. In particolare questo impianto permetterà di testare il comportamento dei materiali fino a una dose cumulata di danneggiamento neutronico di 120 dpa in 4 anni. Esso fa parte dei progetti sulla fusione nucleare inseriti nell'accordo internazionale tra Europa e Giappone conosciuto come Broader Approach agreement. In tale contesto l'ENEA è responsabile delle attività di progettazione del Target Assembly (TA) e dello studio e della validazione delle operazioni di manutenzione da eseguire per il ricondizionamento del target stesso.

Il TA di IFMIF è un target a litio che a seguito della reazione di stripping $D^+ - Li$ crea il necessario flusso neutronico ad alta energia (14 MeV) per il test dei materiali. L'ambiente in cui questo componente si trova ad operare è considerato molto critico, sia durante la fase di operazione per l'irraggiamento dei materiali sia durante la fase in cui l'impianto è fermo per la manutenzione preventiva. In particolare il valore di dose gamma atteso durante la fase di manutenzione nella zona in cui il target è installato è di 10^5 Sv/h. Con questi valori di attività gamma ogni operazione di manutenzione con metodo manuale è proibita e l'unica alternativa per l'esecuzione di tali operazioni è quella di usare dispositivi comandabili da remoto.

Questo documento descrive la progettazione e la realizzazione del braccio robotico per l'esecuzione di tali operazioni di manutenzione remotizzata per il ricondizionamento del TA di IFMIF.

2. TARGET E TEST CELL DI IFMIF

2.1 DESCRIZIONE DELLA TARGET E TEST FACILITY

Il TA di IFMIF è installato all'interno della test cell di IFMIF. La target e test cell (TTC) di IFMIF rappresenta, insieme all'acceleratore, la parte principale dell'impianto. In essa, infatti, sono installati i tre moduli, ad alto, medio e basso flusso neutronico, che portano i campioni dei materiali da testare e il TA a litio che fornisce il richiesto flusso neutronico ad alta energia di 14 MeV. Diverse geometrie di TTC sono state studiate con l'obiettivo di ottimizzare il progetto tenendo conto sia delle condizioni operative sia della semplificazione delle operazioni di manutenzione da eseguire per tutti i componenti presenti all'interno della TTC stessa. Esse differiscono principalmente per la forma, che può essere a base circolare o

quadrata, per la disposizione dei dispositivi accessori all'interno della cella stessa, come i supporti dei moduli, per la posizione delle linee gas, dei connettori dei segnali e per gli spazi disponibili. La Fig. 1 mostra due dei modelli di TTC studiati per le future attività di progettazione.

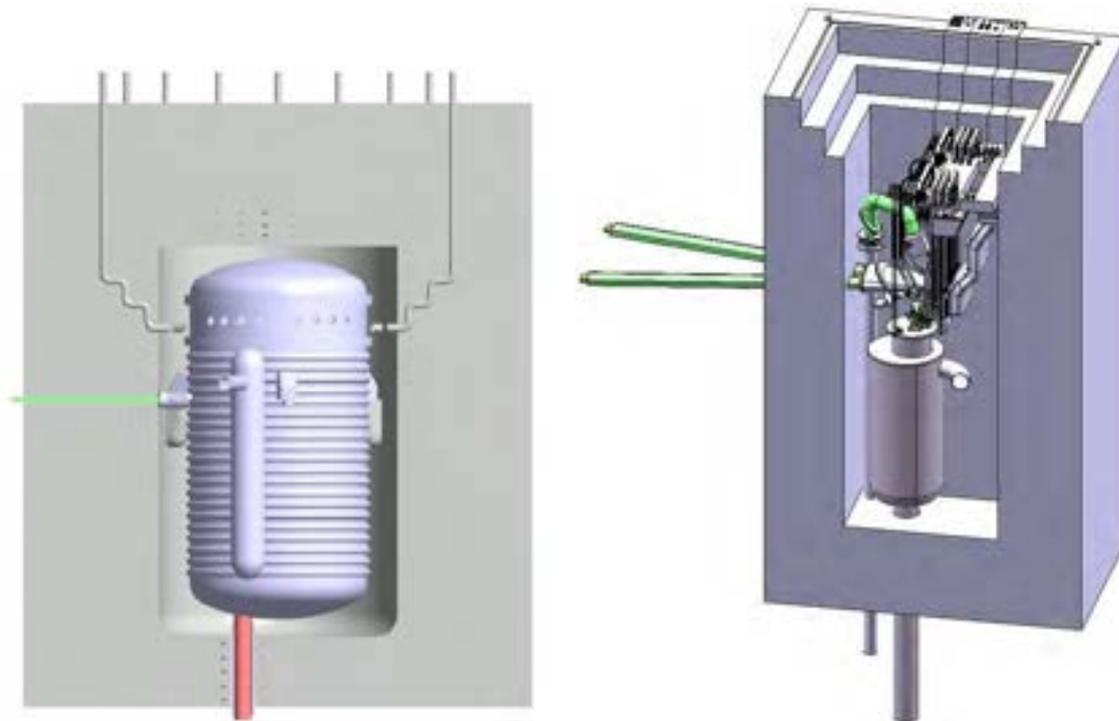


Fig. 1 Modelli 3D della TTC

Dei due concetti quello che prevede una TTC a base quadrata è stato selezionato per il proseguimento delle attività perché offre maggiori vantaggi in termini di alloggiamento dei dispositivi favorendo la manutenibilità dei componenti e riducendo la durata della manutenzione stessa.

Attualmente si stanno sviluppando due concetti di TA: il così detto TA integrale (IT) sviluppato in Giappone dal JAEA e il TA a baionetta sviluppato in Europa dall'ENEA. I due concetti, identici dal punto di vista funzionale, differiscono per il sistema di connessione del target con l'impianto a litio e con il beam dell'acceleratore e la concezione del bersaglio (backplate) esposto al flusso neutronico. Nel caso dell'IT la Backplate è parte integrante del target stesso essendo essa stessa saldata alla restante parte della struttura, mentre il concetto di target europeo è stato disegnato con una backplate rimovibile e che può quindi essere sostituita. In questo documento è descritto solamente il TA a baionetta.

Il target a baionetta è illustrato in fig. 2.

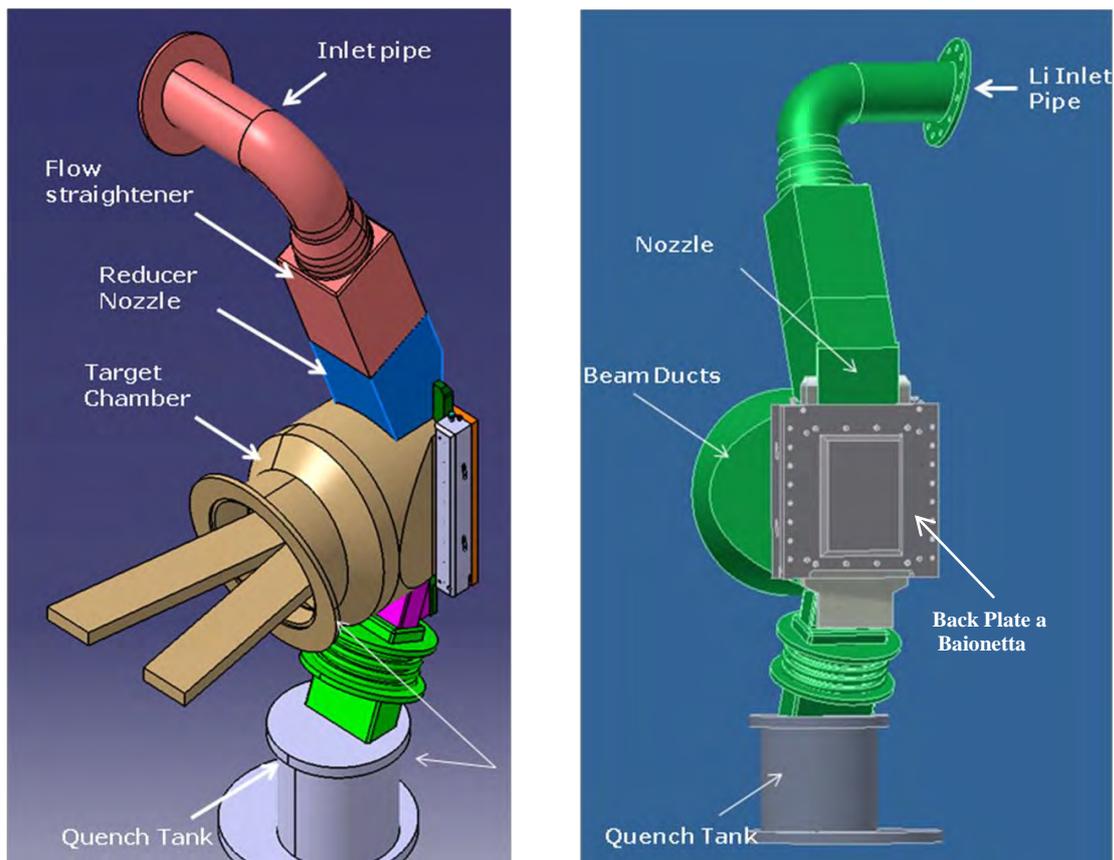


Fig. 2 Vista generale del concetto Europeo del Target Assembly per IFMIF.

Tale concetto, conosciuto come target a baionetta, comprende il corpo del target e la backplate rimovibile. Esso è connesso alla restante parte dell'impianto a litio e con l'acceleratore per mezzo di sistemi a flangia provvisti di un sistema di chiusura/apertura delle connessioni a ridotto numero di viti di manovra. Il corpo del target a sua volta è costituito dalla tubazione di adduzione del litio (inlet pipe), dal raddrizzatore di flusso (flow straightner), dall'ugello (nozzle) e dalla tubazione di uscita che convoglia il flusso di litio nella Quench tank. La parte innovativa del progetto di questo target è costituita dal concetto di backplate a baionetta. Sviluppato agli inizi degli anni 2000, con lo specifico scopo di: 1) semplificare le operazioni di manutenzione; 2) ridurre la quantità di materiale attivato da smaltire, e 3) allungare il tempo di vita del TA, l'attuale concetto di target è stato ulteriormente migliorato nel sistema di chiusura per sigillare la camera del corpo del target e nel sistema di connessione tra il TA, l'impianto a litio e l'acceleratore.

Le caratteristiche del target assembly sono elencate nella tabella seguente:

Caratteristica	Valore
Materiale TA	Eurofer
Peso totale TA	~ 850 Kg
Peso bersaglio a baionetta	~85
Tipo di Tenuta	Guarnizione metallica: Helicoflex HNV200- Soft Iron/Inconel 750x/ss304
Tasso di perdita ammesso	10^{-10} Pa m ³ /s
Pressione interna al target	10^{-3} Pa
Pressione esterna	$2 \cdot 10^3$ Pa
Tipo bersaglio (backplate)	Rimovibile a baionetta
Connessione Corpo TA con Bersaglio	Sistema a pattini + bulloni
Connessione TA con altri sistemi	Flange con sistema di attacco rapido
Temperatura di funzionamento	250°C
Temperatura litio	250 °C in ingresso 300 °C in uscita
Isolamento	Temperatura esterna < 50°C

2.2 OPERAZIONI DI MANUTENZIONE DEL TARGET DI IFMIF

Uno dei requisiti fondamentali di tutta l'attività d'ingegneria per la progettazione del TA di IFMIF è progettarlo in modo da garantire la sua mantenibilità. In questo caso per mantenibilità del componente si intende: 1) consentire di revisionare il target stesso sostituendo le eventuali parti oramai a "fine vita"; 2) consentire il rimpiazzo dell'intero componente con uno nuovo.

Il TA di IFMIF, così come gli altri componenti installati all'interno della TTC, è soggetto ad un ciclo di manutenzione preventiva annuale. Come anticipato a causa dell'alto livello di dose gamma attesa nella TTC (10^5 Sv/h) tutte le operazioni di manutenzione devono essere eseguite per mezzo di sistemi robotici comandati in modo remotizzato. Le principali operazioni di manutenzione da eseguire sono elencate nella tabella seguente:

Componente	Operazione di manutenzione	Frequenza Attesa Mesi (*)	Criticità (Bassa, Media, Alta)
Target Assembly	Rimpiazzo Bersaglio	11	Media/Alta
	Rimozione litio solido dalle superfici	11	Media/Alta
	Ispezione visiva	11	Media
	Connessione/Disconnessione diagnostica e cavi	11	Alta
	Apertura sistemi di connessione tra target e Li loop	Solo se richiesta la rimozione del target	Media
	Rimpiazzo target	Se richiesto	Alta
	Test del Target	11	Media

(*) stima della frequenza attesa per la manutenzione preventiva .

Il grado di criticità, indicata in tabella, è normalmente determinato considerando ad esempio: la limitata accessibilità del componente da mantenere; la durata dell'operazione, o la necessità di dover sviluppare un nuovo dispositivo per l'esecuzione dell'operazione di manutenzione stessa. Questo approccio è stato anche utilizzato per il target di IFMIF. L'esecuzione di queste operazioni di manutenzione richiede l'uso dei seguenti dispositivi:

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	IM-G-R 014	0	L	2	21

- 1) Sistema di manipolazione (braccio robotico);
- 2) Dispositivi di avvvitamento svitamento;
- 3) Dispositivo di pulizia del litio;
- 4) Dispositivi d'ispezione.

Di seguito viene presentato solamente il nuovo sistema di manipolazione.

3. DISPOSITIVI PER LA MANUTENZIONE REMOTIZZATA DEL TA DI IFMIF

3.1 BRACCI ROBOTICI PER LE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE

Le operazioni di manutenzione remotizzata del target di IFMIF richiedono l'impiego di un braccio robotico avente un alto numero di gradi di libertà, per garantire la raggiungibilità delle varie posizioni in cui i tools devono operare, e una buona capacità di carico per permettere la rimozione del bersaglio. Coniugare queste esigenze in un unico braccio robotico, dovendo anche contenere i costi, non è semplice. Il laboratorio di manutenzione remotizzata del brasimone era già fornito di un braccio robotico avente una buona capacità di carico e 6 gradi di libertà. Ma le dimensioni dei vari giunti del braccio non consentivano un agevole manovrabilità attorno al TA stesso. Per superare questo problema il braccio robotico esistente è stato modificato per consentire anche l'impiego di un braccio robotico avente una maggiore destrezza e in grado di gestire piccoli dispositivi.

3.2 MODIFICA DEL BRACCIO ROBOTICO ESISTENTE

L'idea realizzata sostanzialmente consiste nell'aver modificato il braccio originariamente presente nel laboratorio trasformandolo in un nuovo sistema integrato basato su flange ad attacco rapido che consentono di sostituire il terminale del braccio in funzione dei task previsti.

In pratica in questo modo sfruttando le strutture esistenti si hanno a disposizione due sistemi indipendenti, che differiscono solamente per gli end effectors, che coprono tutte le esigenze del laboratorio e quelle per il ricondizionamento del TA. Le due configurazioni sono illustrate nelle figure 3,4. In Fig. 3 è schematizzata la configurazione del braccio originale il quale presenta una capacità di carico di 1000Nm e 4 gradi di libertà (roll, pitch, pitch, roll). Mentre in fig. 4 è illustrata l'integrazione del nuovo braccio con quello esistente nel laboratorio. Il sistema integrato presenta una capacità di carico di 150Nm (misurati dal centro pinza) e 7 gradi di libertà (roll, pitch, pitch, roll, pitch, pitch, roll). Occorre inoltre considerare che il sistema robotico, in entrambe le configurazioni, viene mosso

all'interno dell'area di manovra dal carro ponte che aggiunge i gradi di libertà spaziali (X,Y e Z). In totale quindi si ha a disposizione un sistema ridondante avente un numero massimo di 10 gradi di libertà.

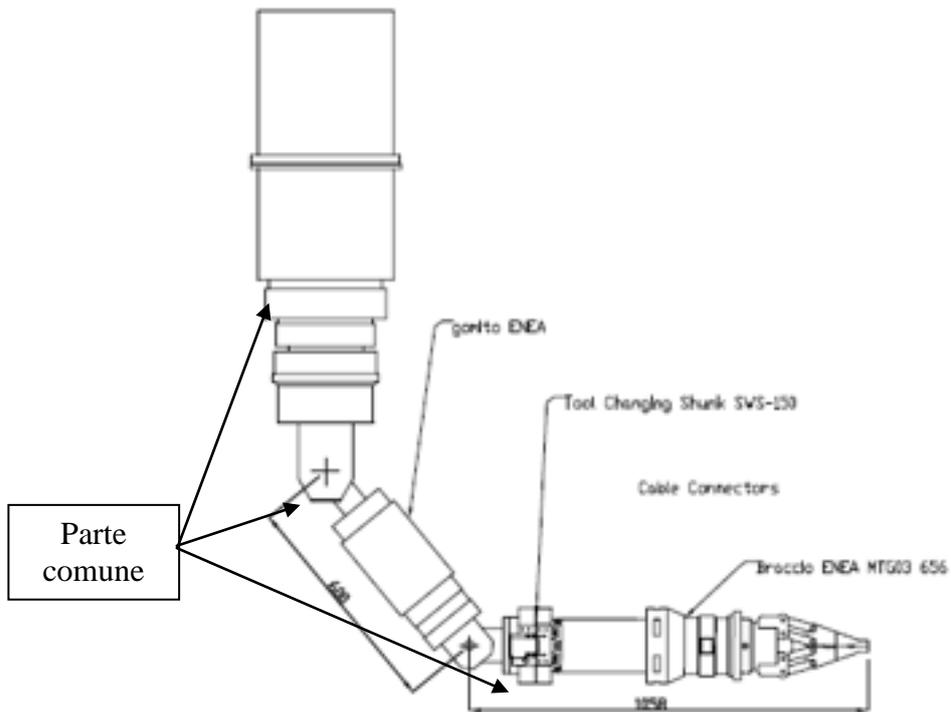


Fig. 3 Modifica del braccio robotico esistente

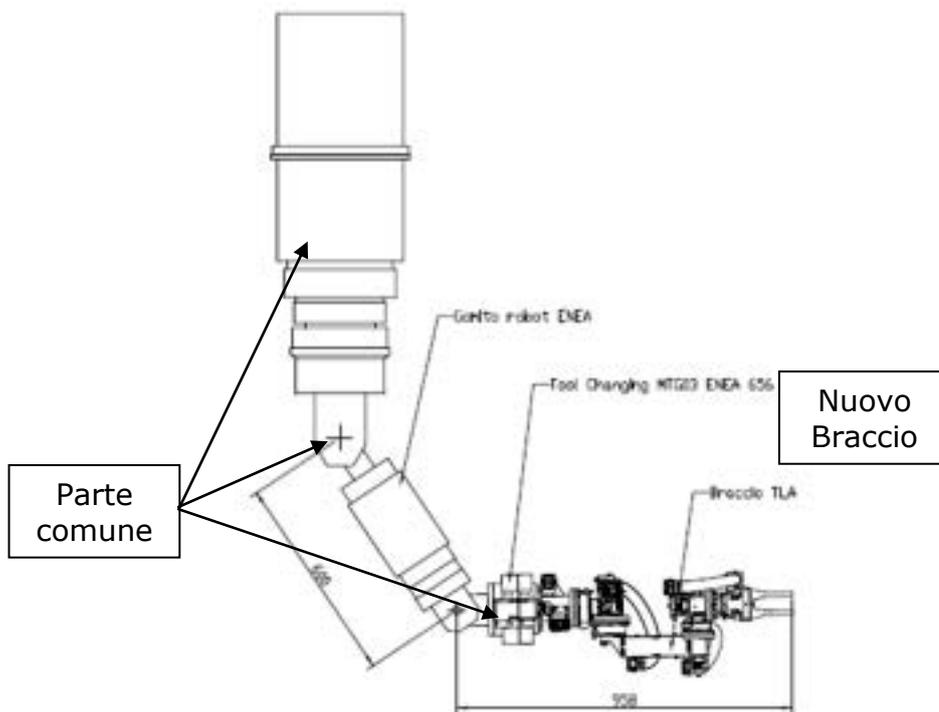


Fig. 4 Braccio robotico esistente integrato con il nuovo braccio

L'adozione di questa soluzione presenta i seguenti vantaggi:

- 1) Riduzione dei costi: è utilizzata una parte del manipolatore già presente;
- 2) Facile estendibilità del sistema: possono essere inseriti nuovi end effectors (l'interfaccia è già definita);
- 3) La connessione e la disconnessione degli end effectors viene eseguita automaticamente da postazione remota;
- 4) Il sistema integrato può arrivare ad avere un numero massimo di 10 gradi di libertà.

Inoltre tutte le funzionalità del braccio robotico esistente vengono mantenute.

Il braccio robotico esistente è illustrato in figura 4. La modifica ha richiesto l'esecuzione delle seguenti operazioni:

- 1) Smontaggio del polso del braccio robotico (vedi linea rossa in figura 5);
- 2) Installazione di flangia di adattamento sul gomito del braccio;
- 3) Connessione della flangia maschio ad attacco rapido SCHUNK SWS 150 alla flangia di adattamento;
- 4) Connessione della flangia femmina ad attacco rapido tipo SCHUNK sul polso del braccio robotico.



Fig. 5 Braccio Robotico esistente prima e dopo la modifica

3.3 FLANGE PER IL CAMBIO RAPIDO DEI TERMINALI ROBOTICI

L'operazione di cambio rapido dei due terminali robotici viene eseguita per mezzo di flange commerciali SCHUNK modificate per permettere lo stoccaggio dei terminali quando non sono in uso, vedi fig. 6.

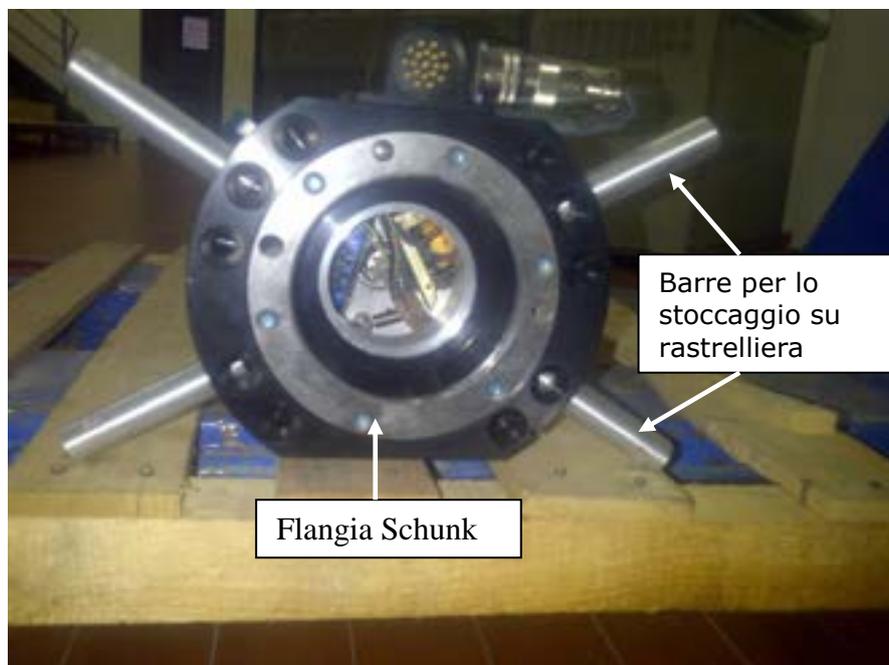


Fig 6 Flangia Schunk

Le fange sono state equipaggiate con connettori per l'alimentazione elettrica di potenza e per i segnali di controllo e acquisizione, e in particolare:

- 1) Un connettore maschio avente 19 pin , 250V/5A (Schunk G19), viene usato per ripristinare le connessioni elettriche per il braccio originale, che nella sua configurazione iniziale usava una connessione seriale a 9 pin.
- 2) Un connettore maschio a 8 pin, 250 V/ 30 A (schunk MT) che viene utilizzato per la connessione del nuovo braccio(2 fili a 24 V e 5A per la connessione can bus standard).

Appositi pin sulle flange permettono il riconoscimento del terminale connesso con il braccio. Questo tipo di segnale è utile ai fini della gestione remota del dispositivo.

3.4 PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEL NUOVO BRACCIO ROBOTICO

Il nuovo braccio robotico è stato progettato in modo da soddisfare tutti i requisiti per la manutenzione del TA.

Le principali specifiche del nuovo dispositivo sono riportate nella tabella seguente.

Caratteristica	Specifica
Gradi di libertà	4 (roll, pitch, pitch, roll)
Gradi di libertà del sistema integrato	4+3+3
Capacità di carico	>7,5 Kg (peso del Dispositivo più pesante da manovrare.)
Buona capacità di ripetibilità	< 0.2 mm
Lunghezza Max braccio robotico	≤ 900 mm (lunghezza del terminale esistente)
Velocità rotazione assi	50°/s
Velocità inclinazione	50°/s
Pinza robot	Interfacciabile con dispositivi presenti nel laboratorio.

Per definire le specifiche tecniche che il progetto del braccio doveva soddisfare sono state eseguite diverse simulazioni grafiche delle operazioni di manutenzione e una stima dei pesi dei dispositivi da utilizzare.

In particolare sono state simulate le operazioni per il rimpiazzo della backplate rimovibile perché ritenuta l'operazione più critica tra quelle da eseguire: essa richiede l'uso del dispositivo di avvitaamento che deve raggiungere diversi bulloni posizionati in un spazio molto limitato. Le figure 7,8 e 9 mostrano alcune di queste simulazioni.

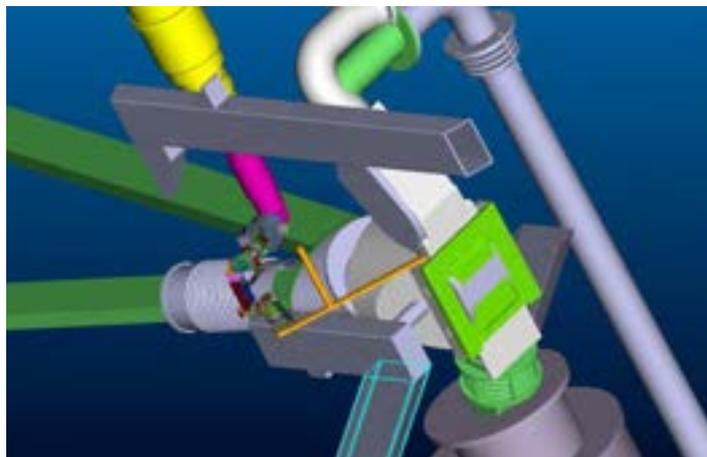


Fig. 7 Simulazione rimozione Backplate

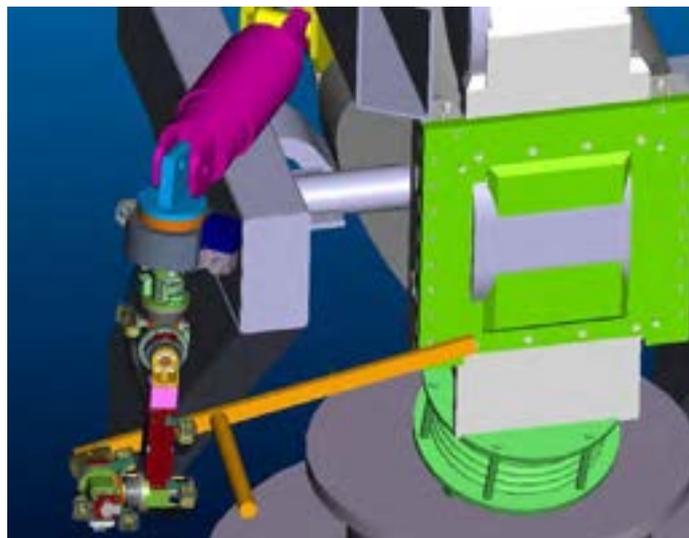


Fig. 8 simulazione rimozione Backplate

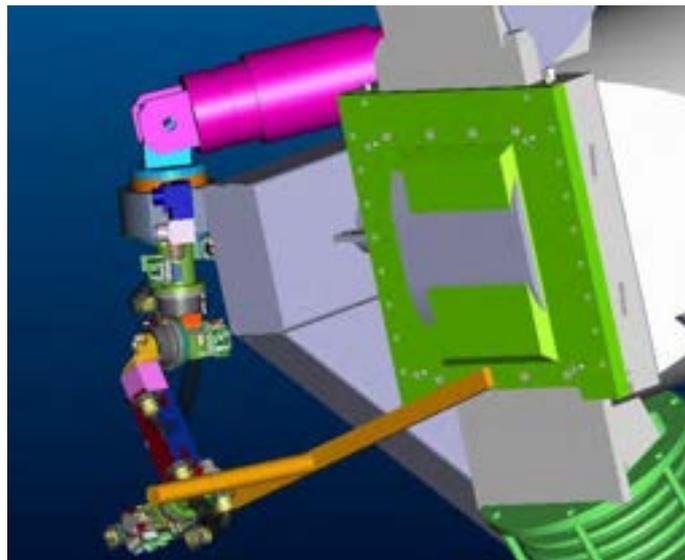


Fig. 9 Simulazione rimozione Backplate

Le simulazioni effettuate hanno anche permesso di definire le dimensioni utili di ogni singolo asse del braccio nuovo robotico.

Il braccio realizzato ha quindi le seguenti specifiche tecniche:

- 1) 4 gradi di libertà in configurazione(roll, pitch, pitch, roll)
- 2) Zero giochi meccanici su tutti gli assi del robot per garantire una buona ripetibilità di posizionamento automatico. A tal fine la spalla e il gomito del robot sono stati rispettivamente equipaggiati con sistemi di riduzione armonica HFUC-2UH/25-160 ed HFUC-2UH/20-160 entrambi prodotti dalla Harmonic Drive System GmbH (Langen-Germania);
- 3) Limitatori di corrente per controllo del carico applicato;
- 4) Uso di sensori di posizione assoluti (tipo magnetici e ottici. Precisione di posizionamento $\pm 0,3^\circ$). L'impiego di tali sensori, con memoria, evita di dover referenziare gli assi tutte le volte che il nuovo braccio è connesso al sistema esistente.
- 5) Gli assi sono comandati da motori Brushless mod. G2,3,4 prodotti da Moog-Casella-Italia, controllati localmente mediante moduli ELMO WHILSTLE SOL-WHI-20/50. Tali controllori sono collegati lungo la dorsale CAN ognuno in grado di controllare il rispettivo motore e il freno di sicurezza acquisendo i tre differenti encoder per ogni giunto (encoder magnetico 24 ppt, encoder ottico 1500 ppt e trasduttore di posizione assoluto dell'uscita dell'asse);
- 6) La pinza, a comando pneumatico, di tipo SCHUNK PGN +80/1 con 16 mm di corsa utile è stata progettata in modo da interfacciarsi

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	IM-G-R 014	0	L	2	21

anche con lo standard d'interfaccia dei dispositivi già presenti in ENEA.

- 7) Il collegamento del braccio al sistema di supervisione è garantito da una dorsale CAN che collega la scheda IXXAT CAN/BUS del PLC, installato nella consolle di comando, con un modulo di I/O Weidmuller posto sul braccio prima della flangia ad attacco rapido. Quando il braccio è nella configurazione originale, il BUS CAN è terminato subito a valle del connettore.

Le dimensioni rilevanti del TLA 4-400 sono riportate nella figura 10:

- 1) Lunghezza totale 782,2 mm
- 2) Larghezza max 303,45 mm
- 3) Lunghezza asse pinza 272 mm
- 4) Lunghezza totale pinza 85 mm

I ranges di corsa dei vari assi del TLA 4-400 sono:

- 1) Rotazione spalla: $\pm 130^\circ$
- 2) Inclinazione spalla: $\pm 135^\circ$
- 3) Rotazione spalla: $\pm 115^\circ$
- 4) Inclinazione gomito: $\pm 150^\circ$

I ranges di velocità dei vari assi del TLA 4-400 sono:

- 1) Rotazione spalla: 50°/s
- 2) Inclinazione spalla: 50°/s
- 3) Rotazione spalla: 50°/s
- 4) Inclinazione gomito: 50°/s

Il nuovo braccio robotico realizzato è illustrato in Fig. 11 , mentre la Fig. 12 mostra il nuovo braccio robotico connesso con quello esistente mediante la flangia ad attacco rapido della schunk.

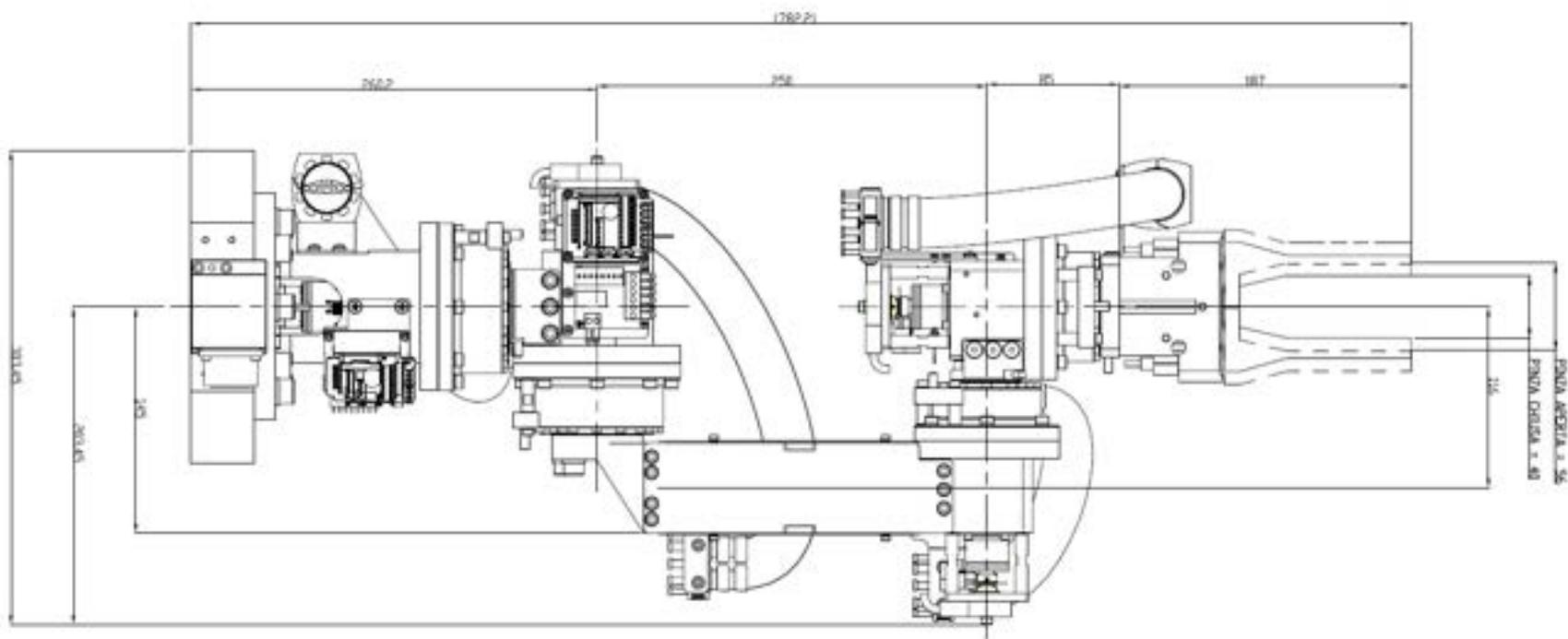


Fig. 10 Disegno del nuovo braccio robotico da integrare con quello esistente in DRP



Fig. 11 Nuovo Braccio

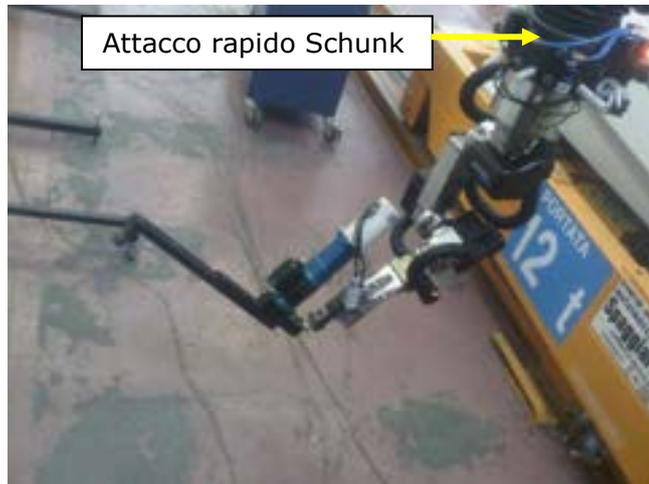


Fig. 12 Integrazione nuovo braccio

3.5 INTEGRAZIONE DEL NUOVO BRACCIO IN SALA CONTROLLO

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.

Il quadro comandi manuali del braccio DRP, presente originariamente sul pannello di comando in sala controllo è stato sostituito da un PLC touch screen provvisto d'interfaccia CANopen.

Una dorsale CAN collega una scheda IXXAT CAN/USB, installata sul PC di supervisione e controllo della DRP con: il PLC sul pannello di comando, un modulo IO Weidmuller posto sul braccio DRP prima della flangia a cambio rapido e, quando collegato, con gli azionamenti distribuiti nel braccio modulare TLA 4-400;

Gli IO del PLC sono collegati mediante un modulo a relé agli ingressi/uscite originariamente previsti nel pannello per il controllo dei singoli movimenti del braccio DRP (i pulsanti ad azione mantenuta sono stati rimossi integrando le medesime funzioni su apposite schermate del SW del PLC).

Il pannello modificato è mostrato in fig.13



Fig. 13 Modifica pannello locale sala Controllo

Il modulo IO Weidmuller gestisce: 1) l'azionamento della flangia a cambio rapido (mediante una valvola FESTO CP10 4/2); 2) la pinza pneumatica posta sul polso del braccio modulare TLA4-400 (mediante una valvola FESTO CP10 5/3); e 3) il riconoscimento del tipo di terminale connesso con la flangia.

Il comando dei due ultimi assi del braccio esistente della DRP (wrist roll e chiusura/apertura pinza) sono stati ripristinati mediante un connettore G19 che collega i motori e i freni del braccio al quadro di comando del DRP.

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 può essere fatta direttamente dal PC (quando la comunicazione è opportunamente settata dal pannello di controllo locale) mediante un'applicazione software, vedi fig. 14, che consente l'accesso a tutti i registri del braccio TLA ed al modulo IO Weidmuller.

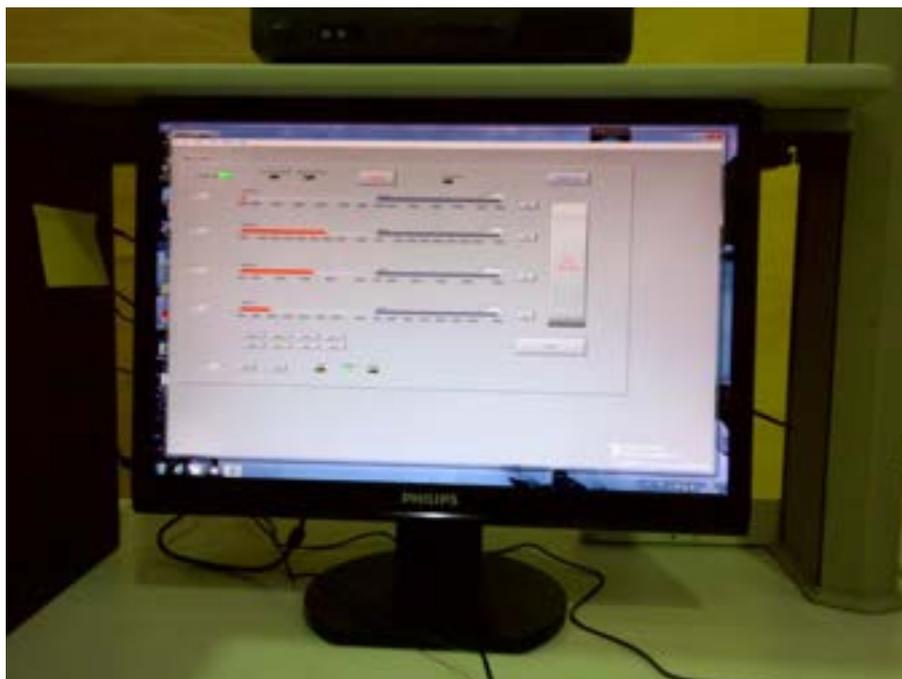


Fig. 14 Software per la gestione remota del nuovo braccio

4. CONCLUSIONI

La soluzione adottata per avere la disponibilità di un sistema con alta destrezza e buona capacità di carico ha portato alla realizzazione di un sistema modulare che integra le due funzioni. Tale soluzione permette di raggiungere un grado di elevato di flessibilità con un budget tutto sommato accettabile. Inoltre questo approccio permette la estendibilità del sistema con l'integrazione di nuovi dispositivi limitando le modifiche d'apportare al sistema esistente.