

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)
Missione 4, "Istruzione e Ricerca" - Componente 2, "Dalla ricerca all'impresa" -
Linea di investimento 3.1, "Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di
infrastrutture di ricerca e innovazione"

Finanziato dall'Unione europea - NextGenerationEU

Avviso MUR n. 3264 del 28/12/2021

**"New Equipment for Fusion Experimental Research and Technological Advancements
with Rfx Infrastructure (NEFERTARI)"**

D.D. n. 243 del 08.08.2022

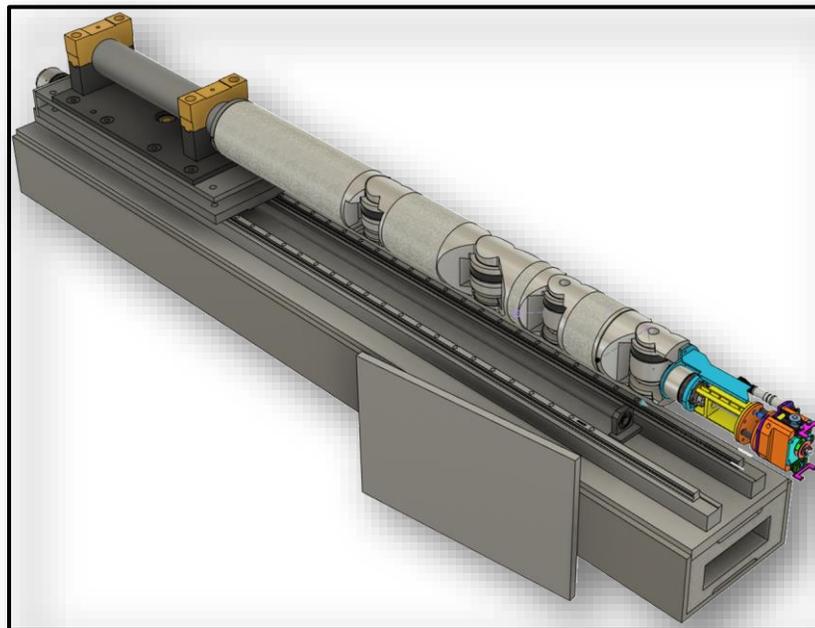
Codice Identificativo: IR0000007 - CUP: B53C22003070006

ALLEGATO 2 alla RDA NEFERTARI-UNINA-DII-DIGIRONIMO

Titolo: FARHA-ONE_ROMAN_TEC-SPEC

Descrizione: Specifiche Tecniche per la **fornitura di N. 2 bracci robotici (ROMAN)** con la funzione di manipolatori finalizzati all'esecuzione delle operazioni di ispezione e manutenzione della macchina RFX-mod2.

Autori: Giuseppe Di Gironimo, Salvatore Fusco, Alessandro Sofia.



ABSTRACT

Il presente documento descrive le Specifiche Tecniche per la fornitura di N. 2 bracci robotici (**ROMAN**) con la funzione di manipolatori finalizzati all'esecuzione delle operazioni di ispezione e manutenzione della macchina RFX-mod2.

La progettazione e la realizzazione della Facility di Remote Handling rientrano nell'ambito del progetto "New Equipment for Fusion Experimental Research and Technological Advancements with RFX Infrastructure" (NEFERTARI), proposto dal CNR, dall'Università degli Studi di Napoli Federico II e dall'Università di Padova, in risposta all'Avviso pubblico per la presentazione di proposte progettuali n. 3264 del 28 dicembre 2021 "Infrastrutture di ricerca" nell'ambito del PNRR.

Due sistemi funzionalmente identici verranno sviluppati uno presso il consorzio RFX (Padova) e uno presso il laboratorio MARTE della Federico II. La fig. 1 illustra schematicamente l'architettura della facility FARHA-ONE.

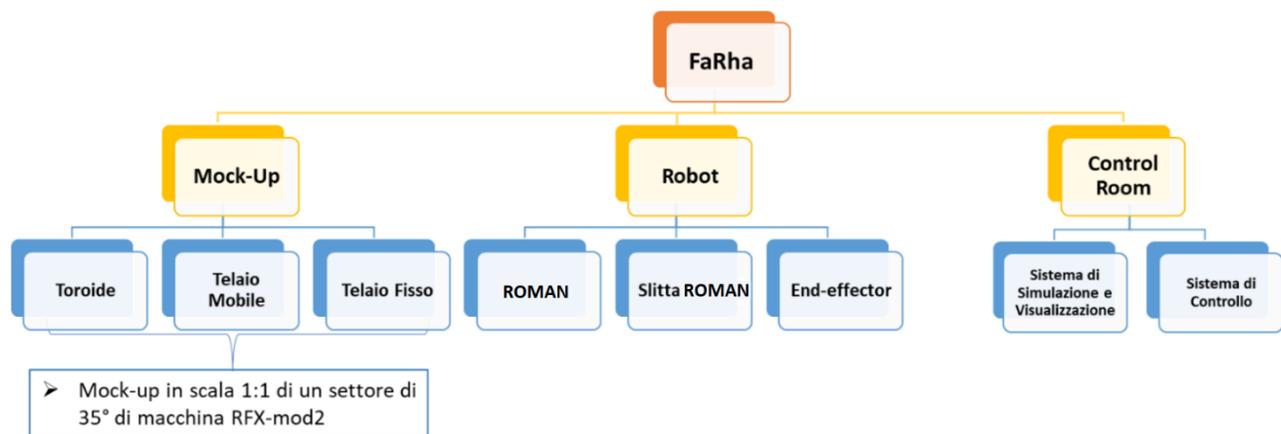


Figura 1. Architettura della facility FARHA-ONE

Indice dei contenuti

INDICE DEI CONTENUTI	3
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	6
TERMINI TECNICI E DEFINIZIONI	6
DOCUMENTI FORNITI PER LA REALIZZAZIONE DEI PRODOTTI	7
1 INTRODUZIONE A RFX-MOD2	8
1.1 RFX-MOD2 – FARHA-ONE.....	8
1.2 RIFERIMENTI DELLA GEOMETRIA TOROIDALE.....	9
2 MANIPOLAZIONE REMOTA IN RFX-MOD2 E RELATIVI REQUISITI DI PROGETTO PER IL MANIPOLATORE ROMAN	10
2.1 FORO D'ACCESSO DELLA MACCHINA.....	11
2.2 FIRST WALL – STRUTTURA.....	12
2.3 CONFIGURAZIONI STANDARD OPERATIVE DEL MANIPOLATORE.....	13
2.3.1 Spazio di lavoro del manipolatore.....	16
2.3.2 Dispositivo di trasporto per le tegole.....	17
2.3.3 Descrizione dell'operazione di aggancio/sgancio tegola.....	18
3 OGGETTO DEL CONTRATTO	21
3.1 ATTIVITÀ INCLUSE NEL CONTRATTO.....	21
3.2 ARTICOLAZIONE DELLA FORNITURA.....	21
3.3 DEFINIZIONE DELLE RESPONSABILITÀ.....	23
3.3.1 Responsabilità del Committente.....	23
3.3.2 Responsabilità dell'Azienda Vincitrice.....	23
3.4 SCANSIONE E TERMINI GENERALI DELLE FASI DI PROGETTO.....	24
3.4.1 Programma temporale di esecuzione dei lavori.....	24
3.4.2 Rapporto sullo stato di avanzamento.....	24
3.4.3 Disegni e modelli CAD 3D.....	24
3.4.4 Collaudi e Rapporto sui collaudi.....	24
3.4.5 Caratteri tecnici, manuali di istruzione e di manutenzione.....	25
3.4.6 Certificato di conformità.....	25
3.5 SOMMARIO SCHEDULING DELLE ATTIVITÀ.....	25
4 SPECIFICHE SUL MANIPOLATORE SERIALE ARTICOLATO	26
4.1 CATENA CINEMATICA DI ROMAN.....	26
4.2 PARAMETRI DI DENAVIT & HARTENBERG.....	27
4.3 UNITÀ DI ATTUAZIONE – REQUISITI FUNZIONALI E GENERALI.....	28
4.3.1 Giunto J1 – Prismatico (x).....	30
4.3.2 Giunto J2, J3, J4 – Rotoidale (z).....	32
4.3.3 Giunto J5 – Rotoidale (x).....	33
4.3.4 Giunto J6 – Rotoidale (z).....	34
4.3.5 Giunto J7 – End-effector – Prismatico (x).....	35
4.4 STRUTTURA MANIPOLATORE.....	35
4.4.1 Slitta manipolatore.....	35
4.4.2 Link del manipolatore.....	37
4.4.3 Connettori del manipolatore.....	38



4.5	END EFFECTOR REQUISITI FUNZIONALI.....	38
4.5.1	<i>Avvitatore – End-effector</i>	39
4.5.2	<i>Gripper – End-effector</i>	41
4.5.3	<i>Unità di attuazione end-effector</i>	42
4.5.4	<i>Unità di attuazione per la rotazione dell'avvitatore</i>	43
4.5.5	<i>Componenti di sensoristica dell'end-effector</i>	44
4.5.6	<i>Unità di attuazione per il serraggio della pinza</i>	45
4.6	QUADRO ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE E CONTROLLO E CABLAGGIO.....	46
4.7	LISTA RIASSUNTIVA COMPONENTI HARDWARE.....	48
4.8	PC PORTATILI PER IL CONTROLLO.....	49
4.9	MATERIALI, LAVORAZIONI E TOLLERANZE.....	50
4.9.1	<i>Requisiti sui materiali utilizzati</i>	50
4.9.2	<i>Requisiti di lavorazione e sulle tolleranze</i>	50
4.9.3	<i>Cuscinetti</i>	51
5	DESIGN PRELIMINARE E ANALISI EFFETTUATE.....	52
5.1	ANALISI CINEMATICA DEL MANIPOLATORE NELL'ESECUZIONE DEL TASK.....	52
5.2	ANALISI DELLE POSSIBILI CONFIGURAZIONI CON L'INTEGRAZIONE DI ATTUATORI COMMERCIALI.....	54
5.2.1	<i>Configurazione 1 – Attuatori ZeroErr</i>	54
5.2.2	<i>Calcolo dei valori massimi di coppia da garantire per ogni giunto – Configurazione 1</i>	56
5.2.3	<i>Configurazione 2 – Tuaka</i>	57
5.2.4	<i>Calcolo dei valori massimi di coppia da garantire per ogni giunto – Configurazione 2</i>	59
5.3	ANALISI DELLA CONFIGURAZIONE PROPOSTA PER L'UNITÀ DI ATTUAZIONE DELL'END-EFFECTOR.....	60
5.3.1	<i>Calcolo delle coppie minime necessarie per l'unità di attuazione della chiave</i>	61
5.3.2	<i>Calcolo delle coppie minime necessarie per l'unità di attuazione del gripper</i>	62
5.4	ANALISI DI CABLAGGIO COMPONENTI SUL MANIPOLATORE.....	63
6	DOCUMENTAZIONE IN USCITA RICHIESTA ALL'AZIENDA CONTRAENTE.....	65
7	TEST DI ACCETTAZIONE IN AZIENDA FAT.....	67
7.1	INDICAZIONI GENERALI PER I TEST DI ACCETTAZIONE IN AZIENDA (FAT).....	68
7.2	ISPEZIONE VISIVA.....	69
7.3	ISPEZIONE DIMENSIONALE.....	71
7.3.1	<i>Sistema di riferimento</i>	72
7.4	ISPEZIONE DELLE SALDATURE.....	72
7.5	ISPEZIONE FUNZIONAMENTO ELETTRICO DISPOSITIVI E ISOLAMENTO.....	73
7.6	ISPEZIONE DELLE CARATTERISTICHE STATICHE.....	73
7.7	ISPEZIONE ASSEMBLAGGIO COMPONENTI.....	74
7.8	ISPEZIONE DELL'ASSEMBLAGGIO AL MOCK-UP.....	74
7.9	ISPEZIONE FUNZIONALE.....	74
8	ACCETTAZIONE DEL PRODOTTO IN LOCO SAT.....	75
8.1	ISPEZIONE VISIVA (INCLUSI I COMPONENTI PRE-ASSEMBLATI PRIMA DELLO SMONTAGGIO).....	75
8.2	ISPEZIONE DIMENSIONALE.....	76
8.3	ISPEZIONE ISOLAMENTO ELETTRICO.....	76
8.4	ISPEZIONE ASSEMBLAGGIO DELLE COMPONENTI.....	76
8.5	ISPEZIONE DI VERIFICA INTEGRAZIONE DI ROMAN IN FARHA-ONE.....	76
8.6	ISPEZIONE DI VERIFICA FUNZIONALE.....	76
8.7	INTEGRAZIONE SISTEMA DI CONTROLLO.....	76

9	REQUISITI DI QUALITÀ.....	77
10	REQUISITI LOGISTICI – BENESTARE AL TRASPORTO	77
10.1	IMBALLAGGIO E PROTEZIONI	77
10.2	GUIDA PER IL TRASPORTO E LA CONSEGNA	79
11	INFORMAZIONI RICHIESTE IN SEDE DI PRESENTAZIONE DELL’OFFERTA.....	80
11.1	PRECEDENTI ANALOGHE FORNITURE	80
11.2	PERSONALE DEDICATO AL CONTRATTO. ATTREZZATURE. SUBFORNITORI	80
11.3	INFORMAZIONI SUL PROGETTO	80
11.4	ASSISTENZA TECNICA.....	80
11.5	TEMPO DI CONSEGNA.....	81
11.6	MODIFICHE	81
11.7	PREZZI	81
11.7.1	<i>Prezzo complessivo</i>	<i>81</i>
11.7.2	<i>Prezzo sui singoli componenti.....</i>	<i>81</i>
11.7.3	<i>Prezzo per spese ulteriori.....</i>	<i>82</i>
12	CONDIZIONI A LUNGO TERMINE	82

Abbreviazioni e acronimi

Acronimo	Descrizione
UniNA	Università degli studi di Napoli Federico II
RFX	Reversed Field eXperiment
RFX-mod2 (Machine)	RFX- modified 2
ROMAN	Bracci robotici con la funzione di manipolatori
TZM	Titanio zirconio Molibdeno
VTSS	Vacuum Tight Support structure
PSS	Passive Stabilizing Shell
FARHA-ONE	Facility di Remote Handling presso UNINA

Termini tecnici e definizioni

Termine	Definizione
ROMAN-NA	Seriale da utilizzare per il Manipolatore 1
ROMAN-PD	Seriale da utilizzare per il Manipolatore 2
Sito	Laboratorio M.A.R.T.E. Università degli Studi di Napoli Federico II, plesso di San Giovanni, Corso Nicolangelo Protopisani, 70 – 80146 Napoli

Documenti forniti per la realizzazione dei prodotti

In questa sezione sono descritti i documenti che UNINA (il committente) fornisce all'azienda partecipante alla gara (il contraente) come documenti in ingresso per sviluppare il progetto.

1. Il presente documento di specifiche tecniche
2. Modello CAD concettuale del braccio ROMAN inserito nel mock-up in cui verrà utilizzato. I modelli forniti comprenderanno:
 - a. ARM-MOCKUP-Configurazione di riposo.step: Design concettuale del braccio in configurazione con attuatori ZeroErr collegato al mock-up e in configurazione di riposo
 - b. ARM-MOCKUP-Configurazione operativa.step: Design concettuale del braccio in configurazione con attuatori ZeroErr collegato al mock-up e in configurazione operativa
 - c. Manipolatore–design concettuale con giunti ZeroErr.step: Design concettuale del braccio in configurazione con attuatori ZeroErr
 - d. Dettaglio giunto J2 ZeroErr.step : Cad concettuale con dettaglio maggiore di una ipotesi di giunto J2 del manipolatore realizzato con attuatori ZeroErr
 - e. Dettaglio giunto J2 Tuaka.step : Cad concettuale con dettaglio maggiore di una ipotesi di giunto J2 del manipolatore realizzato con attuatori Sumitomo Tuaka
3. Documento “relazione tecnico economica.pdf”.
4. Documento Analisi Catene Cinematiche_Ansaldo.pdf: in cui si possono revisionare le analisi fatte precedentemente sulle catene cinematiche dell'end-effector.

1 Introduzione a RFX-mod2

Il manipolatore per l'ispezione e manutenzione della macchina **RFX-mod2**, qui di seguito denominato (**ROMAN**) è stato progettato a partire da specifiche indotte dalla geometria della macchina RFX-mod2 (vedi Figura 2). La necessità di monitorare lo stato delle tegole costituenti la first-wall e l'eventuale e conseguente sostituzione delle stesse rende necessario l'utilizzo di un manipolatore seriale, in grado di muoversi all'interno della macchina in totale sicurezza, garantendo il raggiungimento di tutti i settori della macchina, di sganciare le tegole, di afferrarle e manipolarle nonché di essere predisposto per essere usato per operazioni generiche di ispezione visiva e pulizia.

La macchina RFX-mod2 ha una forma toroidale, ed è costituita da tre macro-moduli. Dall'esterno, una camera da vuoto che ricopre tutto il toro, su cui sono assemblate tutte le porte d'accesso alla macchina, Vacuum Tight Support Structure (VTSS). Il secondo strato della macchina Passive Stabilizing Shell (PSS), è costituito da una lamiera di rame su cui sono montati gli anelli strutturali di rinforzo. Questi anelli costituiti a loro volta da più moduli rappresentano l'elemento di alloggiamento delle tegole di grafite, che formano la first-wall, nonché l'ultima superficie della macchina.

Il manipolatore oggetto della gara sarà testato all'interno di un mock-up della suddetta macchina, di cui riproduce funzionalmente la quasi totalità della struttura, limitandosi ad un settore circolare della stessa.

Tuttavia, il manipolatore dovrà essere progettato per funzionare anche nella macchina reale.

1.1 RFX-mod2 – FARHA-ONE

La **FA**ility di **Re**mote **HA**ndling (vedi Figura 3) è stata concepita testare le operazioni di manutenzione all'interno di un settore di 35° della macchina RFX-mod2; l'angolo è misurato a partire dall'asse passante per il piano di mezzeria del primo anello fino all'asse passante per il piano di mezzeria dell'ultimo anello del mock-up.

Nel mock-up non è stata inclusa la camera da vuoto (VTSS), il settore toroidale sarà costituito dalla lamiera toroidale di rame (PSS) (vedi par. 2.4 del documento di specifiche tecniche del Mock-up), dagli anelli in Torlon (vedi par. 2.3 del documento di specifiche tecniche del Mock-up) con i corrispondenti elementi di collegamento (vedi par. 2.3.1 del documento di specifiche tecniche del Mock-up) e dalla first-wall formata dalle tegole di grafite. Le tegole sono collegate agli appositi moduli di alloggiamento tramite elementi di collegamento denominati locking-bush (vedi par. 2.2.2 del documento di specifiche tecniche del Mock-up).

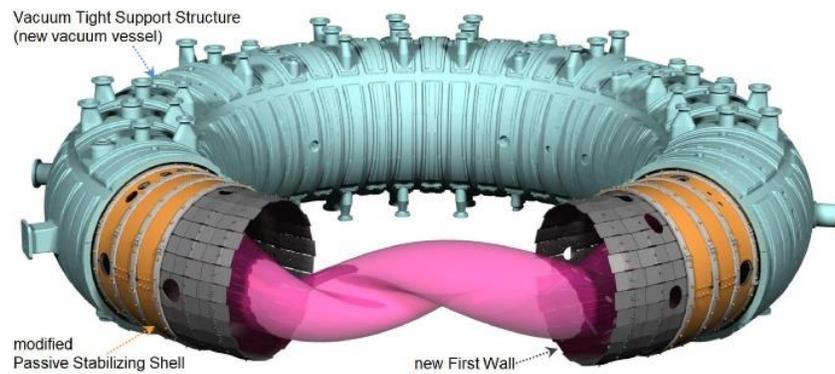


Figura 2. **RFX-mod2**: *Reverse Field eXperiment – mod2*, è il secondo upgrade della macchina RFX, progettata e sviluppata presso il consorzio RFX a Padova.

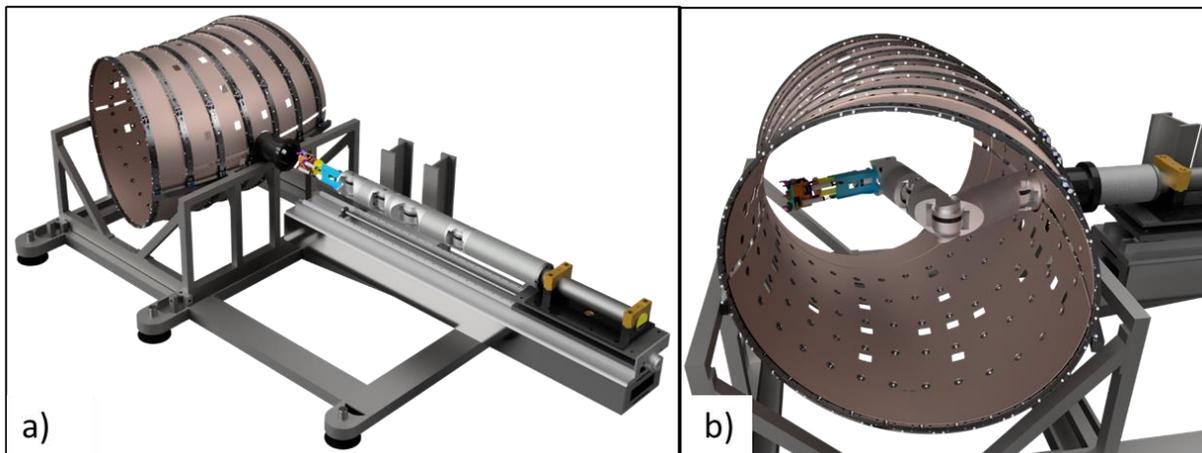


Figura 3. Render della Facility di Remote Handling 1 (FARHA-ONE), costituita da **ROMAN** all'interno del mock-up della macchina **RFX-mod2**.

1.2 Riferimenti della geometria toroidale

In questo paragrafo si vogliono introdurre i riferimenti principali della geometria toroidale caratteristica della macchina RFX-mod2, fondamentali per comprendere le traiettorie che il manipolatore deve compiere durante i task operativi, e più in generale il volume dell'ambiente entro il quale il manipolatore deve muoversi.

La macchina RFX-mod2 ha una forma **toroidale**; il toro è una superficie di rotazione ottenuta dalla rivoluzione di una circonferenza in uno spazio tridimensionale intorno all' **asse toroidale**. La circonferenza da cui si ottiene il solido di rivoluzione, costituisce la sezione poloidale del toro, definita dal raggio poloidale (r_p). L'intersezione di un piano ortogonale al piano poloidale, passante per la sezione di mezzeria trasversale del toro, individua la circonferenza toroidale media, o il piano equatoriale, il cui raggio è il raggio toroidale medio (r_{T_m}). Su questo piano possiamo individuare il raggio toroidale interno (r_{T_i}) e il raggio toroidale esterno (r_{T_e}).

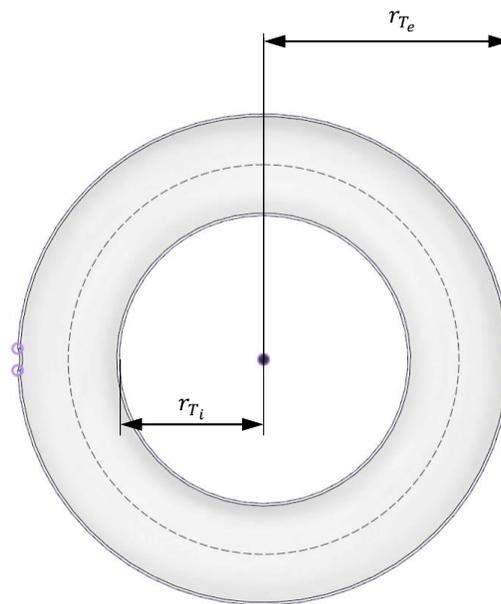


Figura 4. Vista in sezione dall'alto della geometria toroidale.

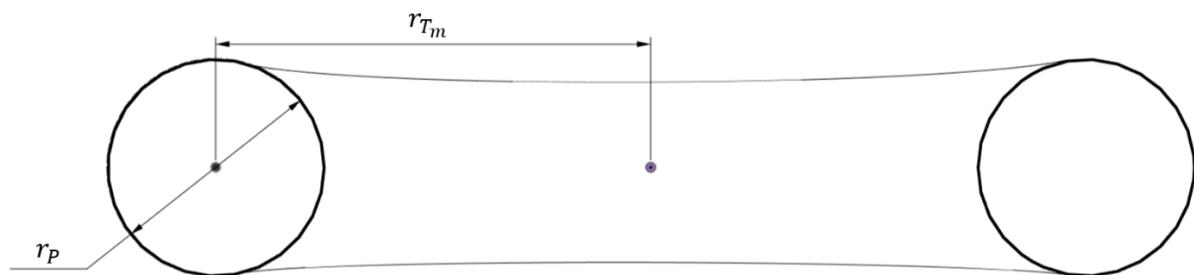


Figura 5. Vista in sezione trasversale della geometria toroidale. In evidenza il raggio poloidale come raggio della sezione circolare trasversale, e il raggio toroidale medio.

2 MANIPOLAZIONE REMOTA IN RFX-MOD2 e relativi requisiti di progetto per il manipolatore ROMAN

Nelle seguenti sezioni si definiscono i task operativi che il manipolatore ROMAN deve eseguire all'interno della macchina RFX-mod2 ed i requisiti di progetto che da questi derivano.

Tutte le operazioni di manutenzione remota sono da intendersi effettuate a macchina fredda e a pressione ambiente. Pertanto, il manipolatore non dovrà attenersi a requisiti particolari in merito a materiali e lavorazioni che tengano conto di alte temperature e/o radiazioni.

I task operativi che il sistema di manipolazione remota deve garantire sono:

1. Ispezione visiva di tutta la first wall;

2. Manutenzione di tutta la first wall: montaggio e smontaggio delle tegole di grafite;
3. Predisposizione alla rimozione dei detriti residui nella macchina e pulizia dello spazio operativo.

ROMAN viene progettato per poter eseguire l'ispezione e la manutenzione di tutta la first wall della macchina attraverso dodici porte d'accesso equi-distanziate intorno all'asse toroidale. Lo spazio di lavoro minimo che il manipolatore deve coprire a partire dalla sezione poloidale in corrispondenza dell'accesso alla first wall è costituito da otto sezioni poloidali, disposte simmetricamente rispetto alla sezione poloidale che contiene l'asse del foro d'accesso. Ogni sezione poloidale è individuata dal piano di mezzeria dell'anello di alloggiamento tegole della macchina. Gli anelli sono distribuiti su tutta la macchina intorno all'asse toroidale, equidistanziati di 5°.

Le operazioni di manutenzione della macchina consistono nello smontaggio e nel montaggio delle tegole che formano la first wall. Per l'esecuzione delle operazioni di aggancio e sgancio tegole (vedi paragrafo 2.3.3) viene previsto l'utilizzo di un end-effector progettato per lo specifico task.

Come verrà specificato in seguito (0) le operazioni di manutenzione riguardano direttamente le tegole e la posizione degli anelli a cui sono assemblate. Le operazioni di ispezione e pulizia della first wall sono invece slegate dalla posizione e dalla geometria degli anelli. Nelle sezioni (2.2 e 2.3.1) sono definite le caratteristiche geometriche della macchina; queste devono essere considerate vincoli di progettazione per il manipolatore ROMAN.

2.1 Foro d'accesso della macchina

La struttura di RFX-mod2 prevede 12 porte di accesso, caratterizzate da flange standard DN160-CF. Una delle porte con flangia viene mostrata in Figura 6, con l'indicazione del raggio del condotto attraverso il quale deve essere introdotto il braccio.

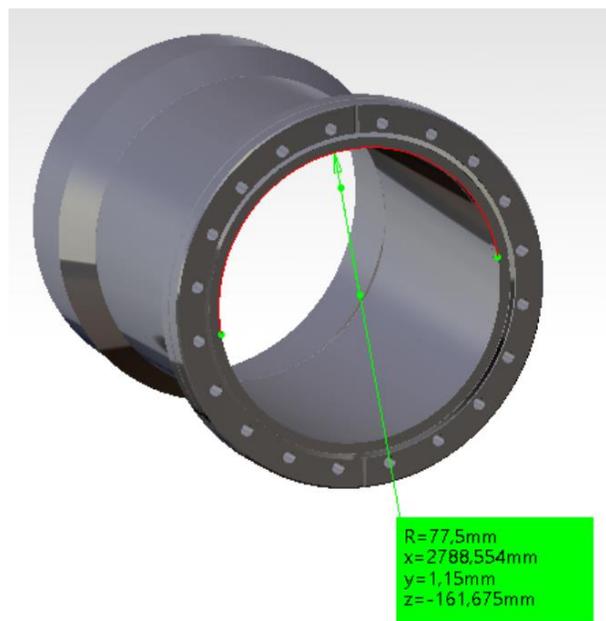


Figura 6. Porta d'accesso standard di RFX-mod2.

A causa del profilo di rugosità e dell'eventuale bava per lavorazione di saldatura è prevista una riduzione del diametro interno effettivo della porta. Pertanto, è necessario che il diametro massimo del manipolatore sia inferiore ai $\varnothing 150$ mm.

Requisito 001.

Diametro massimo della sezione trasversale dei link e giunti pari a $\varnothing 150$ mm.

2.2 First wall – struttura

Le tegole in grafite che costituiscono la first wall, sono l'obiettivo della manipolazione del manipolatore seriale articolato, oggetto di questo documento di specifiche tecniche. Queste tegole sono installate su appositi moduli a sezione circolare tramite un sistema a baionetta, costituito da una chiave (inserita nella tegola) e una boccola di bloccaggio (inserita nel modulo di alloggiamento tegole). Tra i locking-bush e gli anelli poloidali costituiti da quattordici di questi moduli di alloggiamento tegole, vi è una lamiera di rame toroidale (PSS), suddivisa in una porzione superiore e una inferiore. In Figura 7 viene riportato il sistema di fissaggio della tegola.

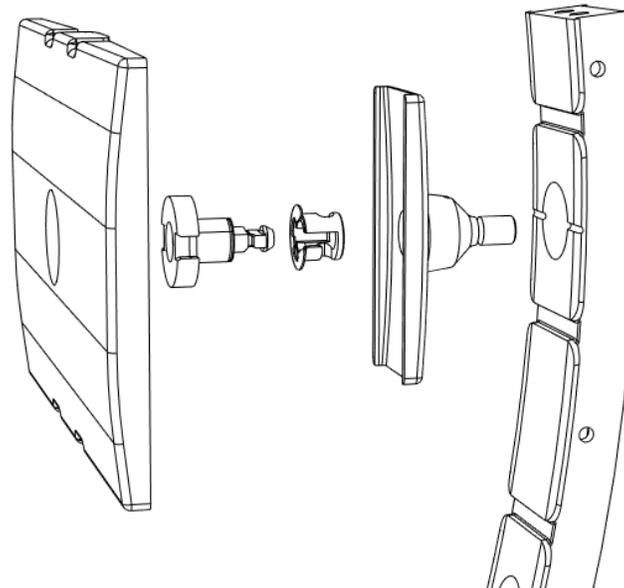


Figura 7. Vista esplosa dell'assieme tegola-locking-bush-anello di alloggiamento tegola. Si mette in evidenza il meccanismo di montaggio della tegola nella boccola di bloccaggio che è collegata all'anello in Torlon

Il PSS definisce lo spazio disponibile all'interno della macchina, al netto dello spessore delle tegole, ed è caratterizzato dalle dimensioni indicate in Tabella 1; si consideri il raggio toroidale medio come la dimensione di riferimento del toroide. In Figura 8 viene mostrata la first wall, con l'indicazione del diametro della circonferenza

d'involuppo di tutte le tegole costituenti una generica sezione poloidale, da cui si ricava immediatamente il volume effettivamente a disposizione per movimentare il manipolatore nella first wall.

Tabella 1. Riepilogo dimensioni toroide.

Lamiera Di Rame Toroidale	
Quota	Dimensione [mm]
Raggio Toroidale esterno	2509.4
Raggio Toroidale interno	1480.6
Raggio Toroidale medio	1995
Raggio Poloidale interno	511.5
Raggio Poloidale esterno	514.5
Spessore Lamiera	3
Diametro della circonferenza d'involuppo del profilo delle tegole	981

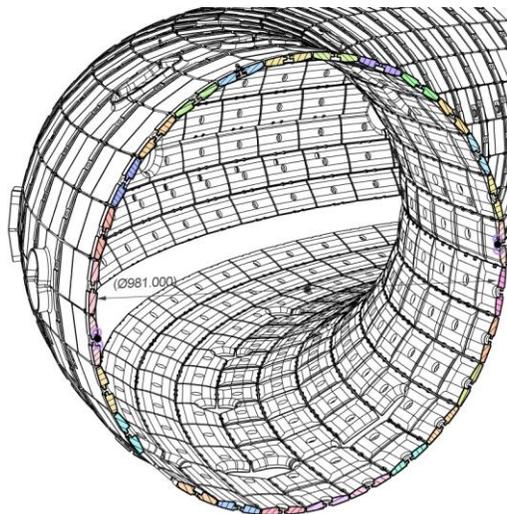


Figura 8. Diametro interno del toroide misurato su una circonferenza tangente al profilo estremo di ogni tegola. Si indica in questo modo una stima del volume interno disponibile per la movimentazione del manipolatore.

2.3 Configurazioni standard operative del manipolatore

Il movimento all'interno dello spazio di lavoro, detto anche **moto coordinato toroidale**, avverrà spostando il punto di intersezione del giunto J6 (vedi proposta cinematica in Figura 17) lungo l'asse circolare del toro (o sezione di mezzeria toroidale) attuando contemporaneamente i primi giunti rotoidali (J2, J3 e J4) e mantenendo bloccati gli altri in modo tale che il link su cui è montato l'end-effector sia sempre in posizione normale all'asse toroidale (vedi proposta cinematica in Figura 17). Tale moto è interamente definito dal valore iniziale e finale della coordinata toroidale ϕ , del punto di intersezione del giunto J6.

Pertanto, la catena cinematica di ROMAN deve garantire che il manipolatore possa acquisire tre configurazioni operative differenti:

1. Configurazione di allineamento dei giunti;
2. Configurazione Destra;
3. Configurazione Sinistra.

La configurazione di allineamento dei giunti è la configurazione con cui viene effettuato l'approccio alla macchina; questa configurazione prevede che l'asse del manipolatore, e di ogni suo link, siano coassiali all'asse del foro della porta d'accesso scelta per eseguire l'ispezione e la manutenzione.

La configurazione Destra (2) e Sinistra (3) devono permettere di eseguire rispettivamente le operazioni di manutenzione e ispezione del settore sinistro e del settore destro della macchina a partire dalla porta d'accesso. L'esigenza di poter eseguire successivamente una rotazione poloidale completa del giunto J6 impone la scelta della configurazione Destra a sinistra della porta di pompaggio e della configurazione Sinistra a destra della porta di pompaggio. Tale moto riduce al minimo la probabilità di collisione. Ogni volta che il manipolatore dovrà muoversi dallo spazio di lavoro alla destra della porta di pompaggio a quello alla sinistra e viceversa dovrà compiere il **cambio di configurazione**. Il cambio di configurazione avverrà sempre passando per la configurazione di allineamento, che dovrà essere sempre raggiunta tramite il moto coordinato toroidale e dovrà consentire il ritorno alla configurazione di allineamento senza incrementi di errore.

Requisito 002.

Per ogni movimentazione del manipolatore all'interno della macchina, la traiettoria che questo percorrerà deve vedere l'asse del giunto J6 discostarsi dall'asse circolare del toro di mezzeria di massimo 5 mm lungo gli assi x, y e z.

Requisito 003.

L'errore di posizionamento del manipolatore (fermo, dopo aver raggiunto la configurazione desiderata) dovrà essere di massimo 0.5 mm, lungo gli assi x, y e z.

I Requisiti 004 e 005 sono fondamentali affinché il manipolatore possa eseguire il montaggio/smontaggio delle tegole su tutte le sezioni poloidali e su tutta la sezione poloidale, senza mai estrarre il manipolatore o parte di questo dalla porta d'accesso. (vedi Figura 9 e Figura 10).

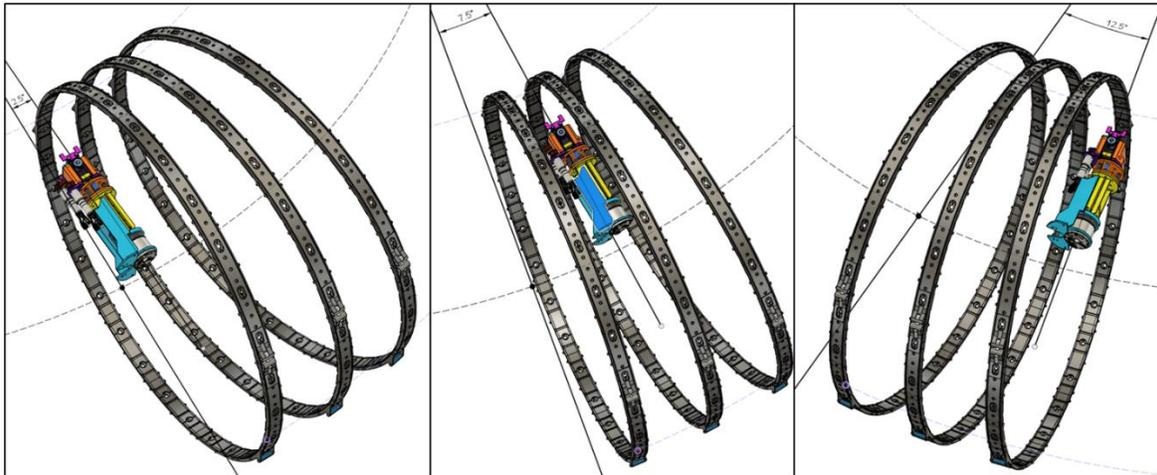


Figura 9. Traiettoria toroidale percorsa dal manipolatore durante il task di pick-and-place effettuato su tre anelli. In figura viene evidenziata la condizione di coassialità dell'end-effector con i fori delle tegole. Il gripper mostrato è quello che veniva montato sulla prima versione del manipolatore.

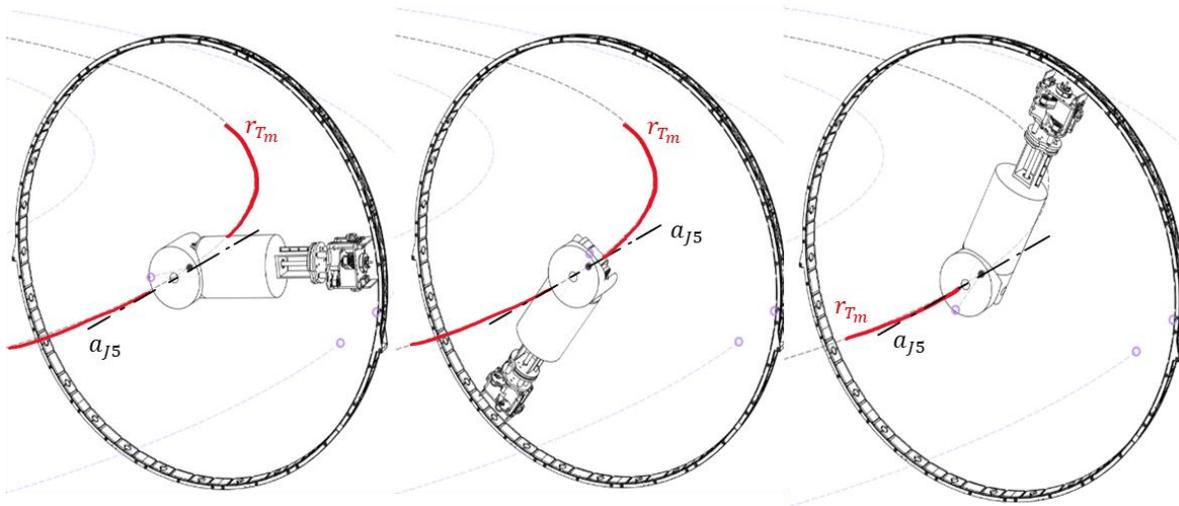


Figura 10. Traiettoria poloidale percorsa dal manipolatore per ispezione e manutenzione delle tegole sull'anello. Anche in questo caso viene garantita la coassialità dell'end-effector con l'asse dei fori delle tegole. Si indica con a_{J5} l'asse del giunto J5.

Requisito 004.

Le dimensioni e la geometria dei link del manipolatore devono essere scelti di modo che l'asse del giunto, che garantisce il vincolo di coassialità tra end-effector e foro-tegole, possa sempre essere posizionato lungo l'asse circolare del toro in tutte le configurazioni di lavoro per lo smontaggio delle tegole. Questo garantisce che l'EE possa sempre essere posizionato coassialmente con l'asse centrale della chiave della tegola al fine di effettuare le operazioni di montaggio e smontaggio della stessa.

Requisito 005.

L'asse dell'end-effector deve poter essere posizionato dal manipolatore in modo che sia coassiale con l'asse dei fori di ogni singola tegola, in tutte le configurazioni operative dei task di pick-and-place. (vedi Figura 11)

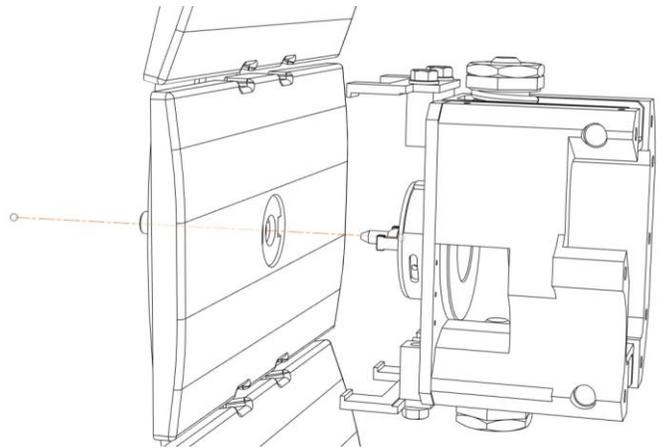


Figura 11. Coassialità end-effector foro tegola.

2.3.1 Spazio di lavoro del manipolatore

Il manipolatore, per poter completare le operazioni di cui sopra, deve coprire un settore toroidale comprendente otto sezioni poloidali. Considerato che l'asse della porta d'accesso è contenuto nel piano di mezzeria di due settori poloidali consecutivi, si definisce lo spazio di lavoro minimo del manipolatore (vedi Figura 12); la possibilità di raggiungere (in modo simmetrico) una quarta serie di tegole, coprendo così una distanza di $\pm 17.5^\circ$ viene considerato un requisito necessario, anche se il quarto anello (a partire dalla porta d'accesso 1), rientra nel gruppo di anelli che il manipolatore deve raggiungere a partire dalla porta d'accesso 2, successiva alla porta 1. Questo assunto è dettato dalla volontà di garantire un margine di sovrapposizione delle operazioni, così da rendere flessibile l'utilizzo del manipolatore durante l'esercizio del task.

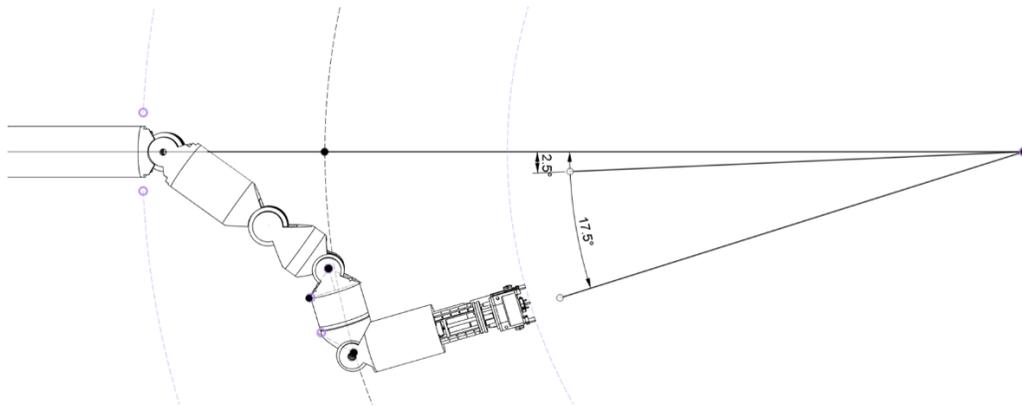


Figura 12. Configurazione di estensione massima per l'operazione di manutenzione. Condizione di sovrapposizione del task operativo.

A valle dell'operazione di smontaggio della tegola, il braccio deve essere in grado di raggiungere il settore poloidale posto a 30° rispetto all'asse del foro di accesso, in una configurazione che vede l'asse longitudinale del manipolatore, ortogonale al dispositivo di trasporto delle tegole (si veda paragrafo 2.3.2). Questa operazione è richiesta per poter agganciare la tegola su un dispositivo adibito al trasporto delle tegole dalla e nella macchina (vedi Figura 13 e Figura 14).

Requisito 006.

Il manipolatore deve essere in grado di eseguire le operazioni di manutenzione della macchina, in uno spazio di lavoro che è descritto da un settore toroidale di $\pm 17.5^\circ$, a partire dal piano in cui è contenuto l'asse della porta d'accesso. Bisogna dunque garantire le operazioni di manutenzione su quattro anelli consecutivi, in modo simmetrico a partire dalla porta d'accesso.

2.3.2 Dispositivo di trasporto per le tegole

Il braccio manipolatore ROMAN lavora in collaborazione con un dispositivo di trasporto che nella versione attuale è costituito da un braccio con un unico grado di libertà lineare, che garantisce l'ingresso e l'uscita delle tegole dalla e nella macchina RFX-Mod2. Questo dispositivo sarà ripreso anche nel mock-up, in una configurazione fissa posta a 30° dalla porta d'accesso del mock-up. La sua funzione è quella di alloggiare una tegola, smontata o da montare, essendo dotato di un'interfaccia con meccanismo locking-bush con cui la tegola viene agganciata (o viceversa), in modo analogo a quanto avviene sulla macchina.

Il dispositivo di trasporto non è oggetto di questo documento di specifiche .

Requisito 007.

Il sistema di manipolazione remota deve garantire il raggiungimento del settore poloidale posto a 30° dall'asse della porta, in una configurazione che vede l'asse dell'end-effector ortogonale al dispositivo di trasporto, il cui asse è coincidente con l'asse della porta di accesso successiva a quella di ingresso del sistema di manipolazione remota.

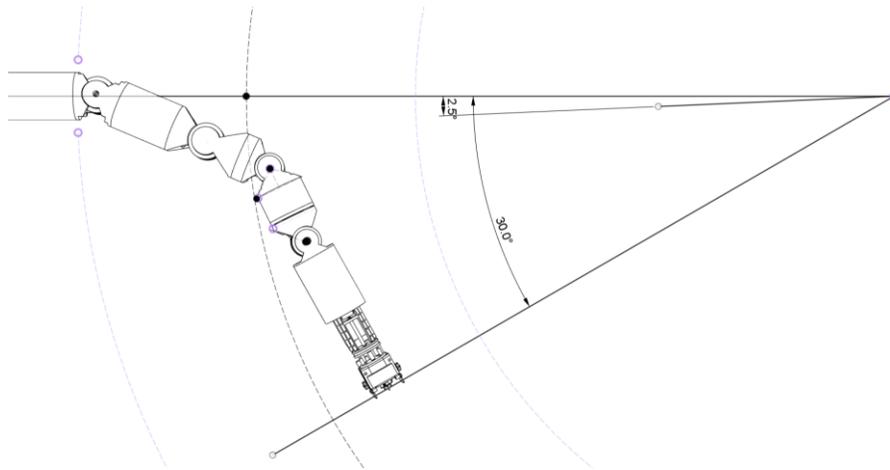


Figura 13. Rappresentazione del settore che il braccio deve raggiungere per agganciare/sganciare la tegola per il suo inserimento o la sua estrazione.

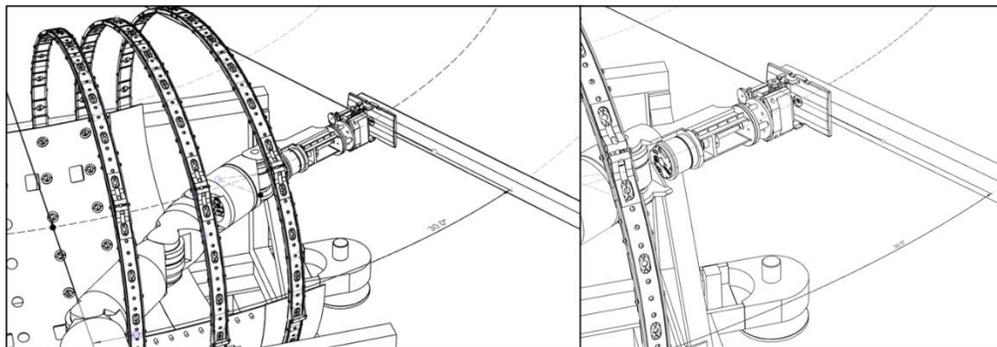


Figura 14. Simulazione di smontaggio tegola per l'estrazione dalla macchina.

2.3.3 Descrizione dell'operazione di aggancio/sgancio tegola.

L'operazione di aggancio/sgancio tegola che il manipolatore ROMAN deve effettuare, basandoci sugli esperimenti effettuati da RFX sull'attuale versione dell'end-effector, viene descritta nel seguito:

1. Approccio alla tegola lungo la direzione coassiale con l'asse del foro della chiave inserita nella tegola.
2. Spinta sulla chiave interna alla tegola attraverso la movimentazione lineare garantita da un giunto prismatico in punta al manipolatore. Garantendo una spinta di 150 N si comprime completamente il pacco di molle a tazza.
3. Rotazione dell'avvitatore di 90°, in senso antiorario, con coppia di valore massimo pari almeno a 1 Nm, regolabile in funzione della posizione della chiave (massima durante la rotazione, minima a fine della stessa);
4. Riduzione del carico sulle molle fino ad un valore prefissato;
5. Chiusura delle dita della mano e presa del tegolo;
6. Estrazione della tegola.

L'operazione di aggancio-tegola differisce per ovvi motivi in alcuni punti:

1. Avanzamento da parte del manipolatore, con la tegola agganciata all'end-effector, verso il locking-bush lungo la direzione coassiale al foro del sistema di aggancio
2. Avanzamento fino a garantire una spinta sulla chiave tale da garantire una compressione prefissata sul pacco molle della tegola, pari alla forza con cui la chiave era stata precaricata al prelevamento dal dispositivo di trasporto. In questo modo, all'apertura del gripper non c'è scivolamento della chiavetta rispetto alla tegola.
3. Apertura delle dita della mano
4. Spinta sulla chiave interna alla comprimendo completamente il pacco di molle a tazza con la forza massima (fino a 150 N).
5. Rotazione dell'avvitatore di 90°, in senso orario.
6. Sgancio della tegola ed estrazione dell'end-effector dal foro dal foro della chiave della tegola.

La spinta che deve essere garantita dal giunto prismatico deve esplicare una forza assiale diretta lungo l'asse della chiave di 150 N. In questo modo si garantisce l'azionamento del meccanismo, costituito da una serie di molle a tazza e si rende possibile la rotazione di 90° della chiave disimpegnando la tegola dalla boccola di fissaggio. Di conseguenza il manipolatore deve essere progettato di modo che possa resistere allo sforzo assiale su descritto lungo tutta la sua struttura; la forza assiale esplicata per sganciare la tegola genera una reazione vincolare, che si scarica lungo tutto il manipolatore (sui motori, sui giunti meccanici, sui rispettivi cuscinetti e sulle guide lineari della slitta) , per questo motivo sono state eseguite delle analisi preliminari per prevedere il valore di coppia a cui il manipolatore deve resistere nei punti più critici su indicati (vedi sezione 5.2.2 e 5.2.4).

Analisi accurate per la valutazione della struttura e di tutte le componenti del manipolatore dovranno essere un risultato della progettazione esecutiva che l'azienda che vincerà l'appalto di gara dovrà effettuare nella prima fase del progetto.

Requisito 008.

Il modulo di spinta esplicato dal giunto prismatico, necessario per agganciare e sganciare le tegole deve essere di 150 N. Il manipolatore deve resistere alle reazioni vincolari scaturite dall'esplicazione di una forza di almeno 150N, come su descritta, in tutte le condizioni operative.

Requisito 009.

L'end-effector deve essere dotato di un giunto rotoidale per permettere la rotazione della chiave nel meccanismo di bloccaggio della tegola.

Maggiori dettaglio sui giunti verranno descritti nelle sezioni 4.3

L'utilizzo di un sistema con pinza viene progettato in modo da evitare che la chiave sia l'unico punto di contatto tra la tegola e il tool del manipolatore. L'EE deve garantire la presa della tegola tenendo conto del basso coefficiente d'attrito della tegola in grafite; si considera un coefficiente di attrito obiettivo tra le pinze e la

tegola che è di $f = 0.4$. In Figura 15 viene mostrato il profilo della tegola, in cui si evidenziano le tasche da utilizzare nell'operazione di manipolazione.

Al fine di una corretta progettazione del profilo del gripper si consideri che la distanza tra le tegole è di circa 7.2 mm in corrispondenza delle tasche, mentre lungo il resto del profilo la distanza minima è di 2.7 mm.

La distanza delle tegole dal sistema di bloccaggio (locking-bush) è identica per tutte le tegole.

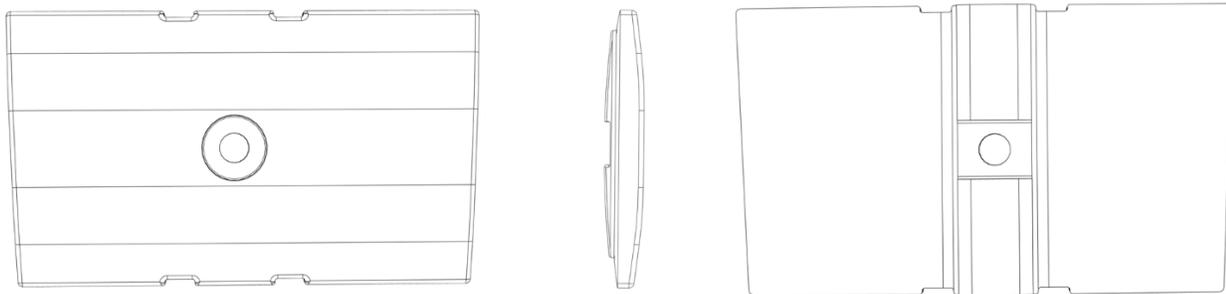


Figura 15. Profilo tegola in grafite. Gli elementi fondamentali per le operazioni di aggancio/sgancio sono il foro centrale e i profili delle tasche.

Requisito 010.

Il materiale delle dita del gripper deve essere accuratamente scelto in base al coefficiente di attrito da garantire considerando il contatto con il materiale della tegola (grafite).

Nell'esecuzione dell'approccio del manipolatore alla tegola si deve considerare un eventuale errore di posizionamento e/o di orientamento, che deve essere opportunamente compensato con un sistema meccanico passivo. Il dispositivo attualmente utilizzato nel manipolatore RFX mod è un compensatore elastico in grado di garantire una compensazione sugli errori di orientamento dell'avvitatore solidale all'end-effector rispetto al locking-bush. Si veda il paragrafo 4.5 sull'end-effector per i dettagli del funzionamento e del design del compensatore elastico.

Requisito 011.

Un dispositivo di compensazione elastica passivo deve essere incluso nel design del manipolatore alla base dell'end-effector di modo da correggere errori sull'orientamento di almeno 1.3° ed errori sul posizionamento di almeno 2.8 mm.

3 Oggetto del contratto

L'obiettivo di questo bando è la realizzazione di due manipolatori **ROMAN**, sistema di manipolazione remota basato su un manipolatore seriale articolato, che sia in grado di soddisfare i requisiti tecnici descritti nel Capitolo 2 (Requisiti di progetto del manipolatore ROMAN). L'azienda contraente dovrà sviluppare il progetto esecutivo e provvedere alla costruzione ed al collaudo dei due sistemi.

I due sistemi saranno entrambi trasportati ed installati per eseguire il Site Acceptance Test presso:

- Università degli Studi di Napoli Federico II, Laboratorio MARTE, Corso Nicolangelo Protopisani 70, 80146 Napoli. Si elencano qui di seguito tutte le attività attese secondo questo contratto

3.1 Attività incluse nel contratto

1. Progettazione esecutiva del manipolatore i cui output saranno i documenti descritti in sezione 6;
2. Progettazione del processo di produzione, sulla base della progettazione esecutiva;
3. Realizzazione di **due manipolatori** seriali le cui caratteristiche sono descritte nel dettaglio nel paragrafo 4;
4. Realizzazione di **due end-effector** per le operazioni di montaggio e smontaggio tegole. Il dispositivo deve essere comprensivo di un sistema di ispezione e di illuminazione montabile sull'end-effector;
5. Supporto scorrevole del manipolatore e relativa trave di sostegno;
6. Assemblaggio dei manipolatori articolati;
7. Collaudo preliminare in azienda per la verifica dei requisiti fondamentali (FAT). Durante questa fase alcuni componenti base del mock-up quali ad esempio le tegole verranno fornite all'azienda in modo che possa testare i meccanismi fondamentali;
8. Trasporto e consegna dei due manipolatori ROMAN;
9. Fornitura delle attrezzature per i collaudi;
10. Fornitura delle attrezzature per gli allineamenti;
11. Assemblaggio finale sui siti indicati in e integrazione con il sistema di controllo
12. Collaudo finale del sistema di manipolazione per la verifica dei requisiti di progetto (SAT);
13. Fornire assistenza in loco durante le fasi di integrazione del mock-up con il manipolatore per la realizzazione della facility FARHA-ONE.

Gli allegati, la documentazione applicabile ed i documenti informativi di riferimento costituiscono parte integrante della presente. Tutti i componenti da realizzare sono specificati nella sezione 4. Lo scopo del presente lotto non include attività che non sono state esplicitamente menzionate nel documento stesso (ad esempio il sistema di controllo di alto livello, il mock-up della facility etc.).

3.2 Articolazione della fornitura

L'intera fornitura si articolerà in **9 FASI** distinte; il passaggio da una fase alla successiva richiede l'approvazione del Committente. Denominiamo da questo momento in poi le fasi con il nome di Work Package (WPx), dove con x si indicherà il numero corrispettivo della fase di lavoro.

Qui di seguito gli obiettivi dei singoli WP:

- **WP 0:** KoM - Presentazione da parte del committente del progetto; discussione sui requisiti e sulle specifiche tecniche di gara; discussione sull'offerta tecnica proposta dal contraente comprensiva del **Programma Temporale**.
- **WP 1:** Sviluppo dei rapporti di progetto esecutivo di tutti gli oggetti compresi nella fornitura. Consegna del documento relativo alla progettazione esecutiva ed alla progettazione del processo di produzione (DEL-1).
- **WP 2:** Approvvigionamento dei materiali grezzi e dei componenti off-the-shelf relativi a ROMAN. Consegna documento di descrizione dei materiali grezzi e dei componenti off-the-shelf (DEL-2).
- **WP 3:** Realizzazione delle componenti meccaniche del primo braccio. Consegna documento di descrizione componenti off-the-shelf e analisi componenti custom realizzati (DEL-3)
- **WP 4:** Assemblaggio del primo braccio e collaudo in Azienda del primo sistema di manipolazione remota realizzato. Consegna documento di FAT del braccio 1 (DEL-4)
- **WP 5:** Realizzazione delle componenti meccaniche del secondo braccio. Consegna documento di descrizione componenti off-the-shelf e analisi componenti custom realizzati (DEL-5)
- **WP 6:** Assemblaggio del secondo braccio e collaudo in Azienda del secondo sistema di manipolazione remota realizzato. Consegna documento di FAT del braccio 2 (DEL-6)
- **WP 7:** Trasporto, assemblaggio ed installazione di tutti gli oggetti compresi nella fornitura presso il Sito. Consegna documento di descrizione delle procedure di trasporto, assemblaggio ed installazione del sistema mock-up (DEL-7).
- **WP 8:** Esecuzione del collaudo finale in sito (SAT) di:
 - a. **ROMAN-NA**
 - b. **ROMAN-PD**Collaudo finale dei due sistemi di manipolazione remota presso i due siti. (SAT). Consegna documento di SAT (DEL-8)

Il contraente può proporre modifiche alla struttura dei WP che dovranno essere documentati e approvati da UNINA prima di essere messi in atto.

Come si evince dallo schema proposto è stato predisposto che l'approvvigionamento di tutti i materiali grezzi per la realizzazione dei due manipolatori remoti venga effettuata nel WP2 per garantire l'approvvigionamento nei tempi richiesti. D'altronde i componenti custom da realizzare e l'assemblaggio degli stessi è stata predisposta per essere effettuata in maniera seriale: costruzione – assemblaggio – collaudo (FAT); in questo modo si vuole evitare che eventuali problematiche di progetto o costruzione o assemblaggio si possano verificare simultaneamente sui due sistemi di manipolazione.

Qualsiasi valutazione e/o modifica della progettazione fatta a valle del collaudo del primo sistema di manipolazione remota verrà riportata nell'ambito della realizzazione del secondo sistema di manipolazione remota. Questo approccio può essere inteso come requisito di progettazione qualora venissero rispettati i termini temporali generali del contratto.

3.3 Definizione delle responsabilità

3.3.1 Responsabilità del Committente

È responsabilità del Committente che le specifiche funzionali descritte in questo documento siano adeguate alla realizzazione di un sistema di manipolazione remota in grado di portare a termine le operazioni richieste.

3.3.2 Responsabilità dell'Azienda Vincitrice

È responsabilità del Contraente:

1. Realizzare un sistema di manipolazione remota in grado di soddisfare pienamente tutti i requisiti funzionali posti dalle presenti Specifiche Tecniche.
2. Portare a termine tutti i collaudi previsti sui singoli oggetti e sul sistema completo secondo quanto richiesto dalle presenti Specifiche Tecniche.
3. Realizzare o acquisire tutte le attrezzature e gli strumenti necessari ad eseguire i collaudi previsti dalle Specifiche Tecniche.
4. Proporre e chiedere l'autorizzazione al Committente (UniNA) circa qualsiasi modifica delle geometrie o del sistema in generale col fine di raggiungere i requisiti fissati dal committente.
5. Usare per la realizzazione del sistema i materiali e i componenti dichiarati in sede di offerta; eventuali variazioni devono essere approvate dal Committente.
6. Fornire al Committente i certificati di collaudo dei componenti degli azionamenti o eseguire tutte le prove necessarie ad attestare la rispondenza di tali componenti alle caratteristiche dichiarate in sede di offerta.
7. Stendere e fornire al Committente tutti i documenti previsti nella sezione 6.
8. Effettuare l'imballaggio e il trasporto di tutta la fornitura in condizioni di sicurezza presso le sedi del progetto.
9. Considerare i modelli CAD del mock-up della macchina RFX-mod2, allegati alle presenti Specifiche Tecniche, una proposta di progettazione a cui il Contraente deve affiancare uno studio di dettaglio, incluso nella progettazione esecutiva, verificando la fattibilità di quanto proposto e apportando eventuali modifiche per ottimizzare la realizzazione dei due sistemi di manipolazione. **Ove indicato riferirsi esclusivamente ai dati indicati in questo documento di specifiche e requisiti di progetto.**
10. Rispettare il Programma temporale di esecuzione dei lavori definito nella sezione 3.5

Inoltre, si precisa che:

1. I modelli CAD del sistema di manipolazione remota allegati alle presenti Specifiche Tecniche costituiscono un esempio di come esso possa essere realizzato nel rispetto delle Specifiche Tecniche. Le tolleranze dimensionali dovranno invece essere definite dall'Azienda contraente, essendo responsabilità dell'Azienda eseguire tutti i disegni di dettaglio necessari alla realizzazione dell'opera.
2. Nessuna approvazione di documenti, programmi, fasi di esecuzione o collaudi da parte del Committente esonera l'Azienda dalla responsabilità di ottenere le caratteristiche prescritte dalle Specifiche Tecniche.
3. Tutte le comunicazioni e la documentazione relative al Contratto dovranno essere fatte per iscritto.
4. Il contraente è invitato a proporre in offerta modifiche alle presenti Specifiche Tecniche tendenti a migliorare le caratteristiche dei componenti forniti, nonché a semplificarne la costruzione e il collaudo. Tali modifiche saranno valutate dal Committente sulla base di documentata esperienza realizzativa e di consolidati risultati sperimentali e dovranno essere quotate in alternativa.

5. UniNA si riserva il diritto di modificare il design concettuale del sistema di manipolazione remota, se vengono riscontrate criticità o incongruenze, posteriormente alla stesura di questo documento tecnico.

3.4 Scansione e termini generali delle fasi di progetto

3.4.1 Programma temporale di esecuzione dei lavori

Il Contraente dovrà presentare al Committente, entro due settimane dalla data di consegna dei lavori, un **Programma temporale** di esecuzione dei lavori. L'approvazione del suddetto documento o le eventuali osservazioni in merito verranno effettuate dal Committente entro una settimana dal suo ricevimento.

A prescindere dai termini contenuti nel Programma temporale elaborato dall'Azienda si precisa che:

Nell'ambito del **WP1**, il Contraente dovrà fornire per ciascun oggetto della fornitura il **Rapporto di progetto esecutivo**. Questo dovrà contenere anche il **Programma temporale** definitivo di esecuzione dei lavori. Il Committente approverà il Rapporto di progetto esecutivo o formulerà le sue osservazioni entro **3 settimane dalla data di ricevimento**.

3.4.2 Rapporto sullo stato di avanzamento

Durante la fase di costruzione, l'Azienda dovrà trasmettere ogni mese un **Rapporto sullo stato di avanzamento della costruzione**, facendo riferimento al **Programma temporale** di esecuzione dei lavori. Il Rapporto dovrà contenere anche l'eventuale aggiornamento di tale Programma.

3.4.3 Disegni e modelli CAD 3D

Il contraente dovrà fornire disegni 2D e modelli CAD 3D di tutte le componenti costituenti il mock-up. I disegni necessari per l'esecuzione del Contratto dovranno essere conformi alle norme I.S.O. e dovranno essere fornite al Committente in formato Portable Document Format (PDF).

Tutti i file di modellazione CAD 3D di tutte le parti progettate e realizzate dovranno essere forniti al Committente in formato :

- .step (Strategic Technologies for Europe Platform) o .CATPart per quanto riguarda tutte le singole componenti.
- .step o CATProduct per quanto riguarda tutti gli assiemi.

I nomi di ogni componente dovranno corrispondere in tutti i documenti forniti (Disegni 2D, Modelli CAD 3D etc.). A seguito di eventuali modifiche di progettazione ogni documento dovrà essere aggiornato.

3.4.4 Collaudi e Rapporto sui collaudi

Il contraente dovrà presentare al Committente, entro 4 settimane dalla data del verbale di Inizio attività, il documento "**Piano dei Collaudi**". L'approvazione del suddetto documento o le eventuali osservazioni in merito verranno effettuate dal Committente entro due settimane dal suo ricevimento.

Al termine della **fase 2** l'Azienda dovrà presentare al Committente i **Rapporti sul collaudo** dei singoli oggetti facenti parte della fornitura.

Al termine della **fase 3** l'Azienda dovrà presentare al Committente il **Rapporto sul collaudo** dell'intero sistema di manipolazione remota. Tutti i rapporti dovranno contenere le modalità di collaudo e le caratteristiche dei sistemi di misura adottati.

3.4.5 Caratteri tecnici, manuali di istruzione e di manutenzione

Entro il termine del Contratto il Contraente fornirà al Committente tutti i disegni, i modelli CAD 3D e tutti i documenti che descrivano i componenti nelle loro dimensioni e caratteristiche finali. Il Contraente dovrà inoltre consegnare i manuali d'istruzione e manutenzione di tutti i componenti, in formato pdf e docx.

3.4.6 Certificato di conformità

Il sistema è da considerarsi come un prototipo, pertanto, la macchina nella sua interezza non dovrà subire procedura di marcatura CE. La ditta dovrà però fornire il certificato di conformità per tutti i componenti off-the-shelf e per il quadro elettrico di alimentazione e controllo.

3.5 Sommario Scheduling delle attività

Programma temporale proposto			
WPX	Milestone	Termine	Documenti in Uscita
WP 0	-	Settimana #2	Report di analisi documentazione iniziale con evidenza di eventuali criticità e piano operativo preliminare
WP 1	M1	Settimana #12	Deliverable 1: Progetto esecutivo del manipolatore
WP 2	M2	Settimana #14	Deliverable 2: Relazione acquisto materiali grezzi
WP 3	-	Settimana #22	Deliverable 3: Relazione tecnica sulla costruzione del primo manipolatore
WP 4	-	Settimana #23	Deliverable 4: Relazione tecnica sul FAT del primo manipolatore
WP 5	-	Settimana #25	Deliverable 5: Relazione tecnica sulla costruzione del secondo manipolatore
WP 6	M3	Settimana #26	Deliverable 6: Relazione tecnica sul FAT del secondo manipolatore
WP 7		Settimana #27	Deliverable 7: Report sul trasporto e l'installazione di ROMAN
WP 8	M4	Settimana #28	Deliverable 8: Relazione tecnica sul SAT dei manipolatori

La descrizione della ripartizione dei pagamenti relativa al piano di fornitura indicato sopra è riportata nel documento "relazione tecnico economica.pdf" allegato.

4 Specifiche sul manipolatore seriale articolato

In questa sezione viene proposta una soluzione concettuale del design e dell'elettronica di ROMAN Secondo i requisiti indicati in questo documento si propone di realizzare un manipolatore seriale articolato caratterizzato da una catena cinematica ridondante necessaria per eseguire tutte le operazioni di manutenzione e ispezione descritte. L'articolazione del braccio permette di poter controllare il robot attuando un giunto alla volta garantendo in questo modo un comportamento deterministico del manipolatore.

4.1 Catena cinematica di ROMAN

La proposta concettuale di ROMAN è un manipolatore seriale con sette gradi di libertà descritto dalla catena cinematica: **P-R-R-R-R-P**; dove con **P** si indica un giunto prismatico mentre con **R** un giunto rotoidale. Alla base della catena cinematica si è considerata una slitta (**J1**) che permette l'approccio del manipolatore alla macchina (vedi paragrafo su Slitta manipolatore per i dettagli).

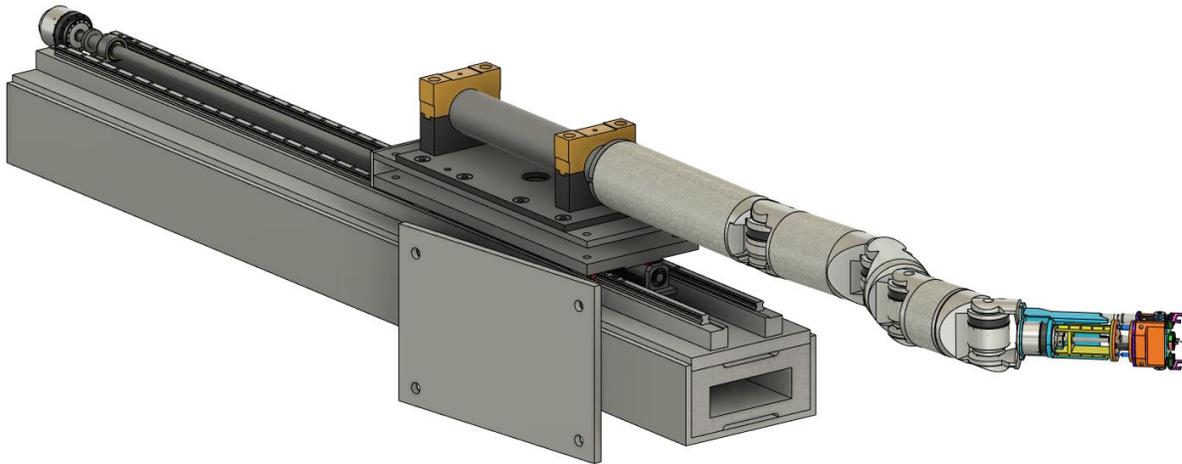


Figura 16. Design concettuale del manipolatore

In seguito al giunto prismatico si hanno tre giunti rotoidali paralleli (**J2, J3, J4**) tutti con asse di rotazione lungo l'asse verticale. In seguito, è previsto un giunto rotoidale con asse di rotazione lungo l'asse longitudinale del robot (**J5**) che precede un altro giunto rotoidale con asse verticale (**J6**). Un giunto prismatico (**J7**), con asse coincidente all'asse longitudinale del manipolatore, chiude la catena cinematica. In Figura 16 viene presentato il design concettuale del manipolatore mentre in Figura 17 viene indicato uno schema della catena cinematica.

Requisito 012.

La catena cinematica del manipolatore deve rispettare lo schema su descritto: P-R-R-R-R-P.

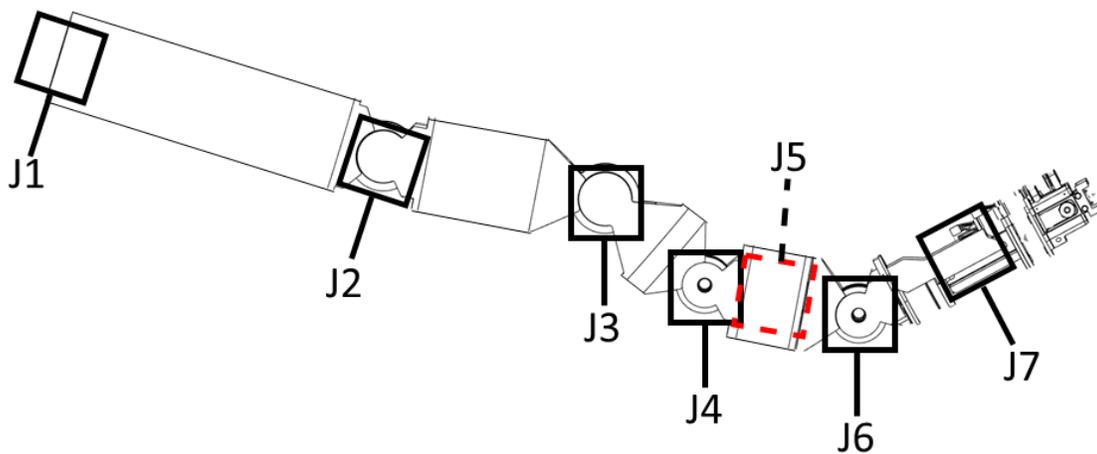


Figura 17. Configurazione cinematica del manipolatore ROMAN

4.2 Parametri di Denavit & Hartenberg

Col fine di descrivere in modo univoco la catena cinematica del manipolatore si presenta la tabella dei parametri di Denavit & Hartenberg, con la rappresentazione degli assi dei giunti in Figura 18.

	a	α	d	θ	Type	Offset	Range
1	0.0	$-\pi/2$	0.0	0.0	P	0.54	1000 mm
2	0.36	0	0.0	0.0	R	$-\pi/2$	$\pm 70^\circ$
3	0.2095	0	0.0	0.0	R	0	$\pm 110^\circ$
4	0.0	$\pi/2$	0.0	0.0	R	$\pi/2$	$\pm 80^\circ$
5	0.0	$-\pi/2$	0.25	0.0	R	0	$\pm 180^\circ$
6	0.0	$\pi/2$	0.0	0.0	R	0	$\pm 90^\circ$
7	0.0	0	0.0	0.0	P	0.406	50 mm

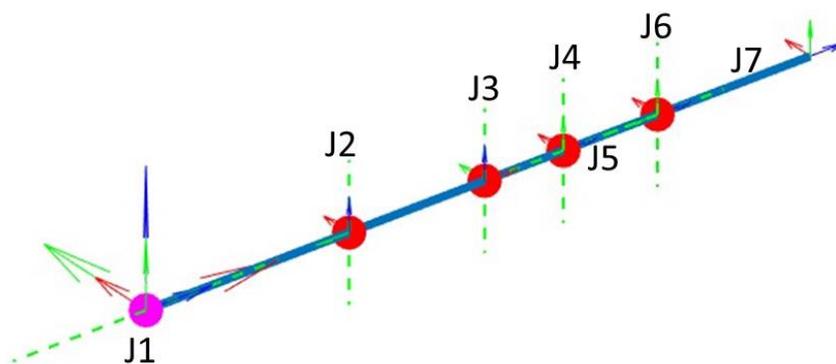


Figura 18. Rappresentazione degli assi della catena cinematica di ROMAN

Requisito 013.

ROMAN deve essere caratterizzato dai parametri di Denavit & Hartenberg indicati.

Eventuali modifiche relative alle dimensioni e alle geometrie del manipolatore, devono essere giustificate, con le corrispettive analisi e approvate dal Committente.

4.3 Unità di attuazione – Requisiti funzionali e generali

In questa sezione si descrive la soluzione proposta per quanto riguarda le unità di attuazione necessarie alla movimentazione dei giunti che garantiscono i 7 gradi di libertà del manipolatore.

Requisito fondamentale per la corretta scelta di tutte le unità di attuazione per ROMAN è che l'unità di attuazione e tutte le componenti meccaniche necessarie per la loro connessione ai link devono avere dimensioni tali da essere inclusi nella geometria circolare del manipolatore stesso che ha il diametro di 150 mm. La soluzione proposta per il pacco attuazione del manipolatore non costituisce un vincolo della progettazione esecutiva; soluzioni diverse possono essere proposte col fine di raggiungere le stesse prestazioni e gli stessi obiettivi operativi, ma devono essere giustificate da un punto di vista tecnologico e approvate dal Committente. Un esempio di soluzione alternativa può essere quella adottata per lo sviluppo della versione precedente del manipolatore che vedeva l'uso di trasmissioni coniche a gioco ridotto finalizzate alla connessione di motoriduttori contenuti nel link, ed alimentati da elettronica esterna al manipolatore e al giunto stesso.

Si esorta a tenere presente quali siano i progressi tecnologici nel campo della miniaturizzazione di attuatori ed elettronica. Si consideri, nell'ambito del progetto di ROMAN, di sfruttare attuatori commerciali con ampia densità di coppia che integrino in un unico volume tutti gli elementi necessari al funzionamento del giunto. Si veda anche la sez. 5.2 per le proposte fatte rispetto ad alcuni modelli di attuatori.

Pertanto, si definisce unità di attuazione il sistema complessivo contenente i seguenti elementi:

- Motore
- Riduttore a gioco zero
- Freno se richiesto per il giunto selezionato. Specifiche sono indicate in sezione 4.3
- Elettronica di controllo del giunto comprendente driver e scheda di controllo e comunicazione con un protocollo industriale real-time (ES: etherCAT)
- Sensori angolari per la misura di posizione e velocità assoluta del giunto
- Almeno un cuscinetto in uscita al riduttore che accetti sia carichi assiali che radiali.

Questo assunto permette di:

- Semplificare la struttura meccanica del manipolatore rispetto all'adozione di altre soluzioni di trasmissione;

- Semplificare il cablaggio interno al manipolatore. Solo i cavi per l'alimentazione e il segnale di controllo dovranno essere inseriti all'interno del manipolatore e attraverso connettori meccanici ai giunti. Potranno inoltre essere connessi in configurazione daisy-chain (ogni attuatore sarà connesso in serie reciprocamente);
- Avere tutti i sensori per la misura angolare assoluta, quali encoder assoluti o multi-giro, direttamente integrati nell'attuatore non dovendo quindi ricorrere ad altri sensori per la calibrazione o l'azzeramento dei giunti robotici;
- Integrare riduttori a gioco zero quali harmonic-drive o cyclo-drive;
- Integrare almeno un cuscinetto (rullini incrociati) in grado di accettare sia carichi assiali che radiali e quindi in grado di supportare i carichi fuori asse richiesti al giunto;
- Essere dotati di protocollo di comunicazione interno **real-time** e **reliable** (es: etherCAT) che garantisce una comunicazione real-time e safe tra tutti gli attuatori;
- Avere ingressi e uscite sia analogiche che digitali ausiliarie sull'elettronica di controllo che possano essere usati per ulteriori sensori (ad esempio: fincorsa meccanici);
- Ogni attuatore è dotato di un foro centrale per il passaggio dei cavi nel giunto. Vedi sezione 5.2

NOTA: l'utilizzo di freni negli attuatori del braccio robotico è soggetto alle seguenti regole:

1. I giunti che subiscono l'azione della forza di gravità devono essere dotati di freno. Questo si deve attivare quando il motore non è alimentato, col fine esclusivo di evitare che la forza di gravità faccia muovere il giunto in modo non desiderato o imprevisto. Questo assunto è vero esclusivamente nel caso in cui la presenza del freno permetta in ogni caso il raggiungimento della configurazione di allineamento del braccio e l'estrazione dalla macchina in caso di malfunzionamenti o distacco del circuito di alimentazione.
2. I giunti che **NON** subiscono l'azione della forza di gravità non devono essere mai dotati di freni in modo da permettere l'allineamento del braccio e la successiva estrazione dalla macchina in caso di malfunzionamenti o distacco del circuito di alimentazione.

Con lo scopo di descrivere le caratteristiche delle configurazioni proposte relative alla scelta delle unità di attuazione dei sette giunti del manipolatore ROMAN, si definiscono i requisiti funzionali che questi attuatori devono garantire. Si definiscono i requisiti funzionali relativi ad ogni giunto del manipolatore seriale, considerando che dalle caratteristiche geometriche, e funzionali dei motori che verranno implementati nel design, dipendono le caratteristiche dei link e dei connettori meccanici ai giunti, che dovranno essere definiti dal Contraente nell'ambito della progettazione esecutiva.

Requisito 014.

Gli attuatori del braccio robotico devono essere attuatori commerciali con cuscinetto, riduttore a gioco zero, motore ed elettronica di controllo integrate, driver e sensori di posizione assoluta del giunto a patto che questo garantisca i requisiti dimensionali e di coppia richiesti.

Requisito 015.

Gli attuatori del braccio devono includere un sensore di posizione angolare di tipo assoluto che pertanto garantisca il mantenimento dell'informazione di posizione anche a braccio spento. Questo può essere sia un encoder assoluto posizionato in uscita al riduttore sia un encoder multi-giro posizionato sull'albero del motore

coadiuvato di batteria tampone e/o alimentazione ausiliaria, tale da garantire il mantenimento della posizione anche a braccio spento.

Requisito 016.

Gli attuatori del braccio robotico devono avere tutti la stessa tensione di alimentazione e la predisposizione all'alimentazione in daisy-chain in modo da garantire la minimizzazione del numero di cavi.

Requisito 017.

Gli attuatori del braccio robotico devono avere tutti lo stesso protocollo di comunicazione real-time etherCAT e la predisposizione alla comunicazione in daisy-chain in modo da garantire la minimizzazione del numero di cavi.

Requisito 018.

Ai fini di manutenzione è richiesto che venga minimizzato il numero di modelli differenti di attuatori costituenti la catena cinematica del braccio in modo da assicurare una migliore manutenibilità e gestione delle parti di ricambio.

Requisito 019.

Il sistema di manipolazione remota se disalimentato deve garantire la retroazionabilità, al fine di poter estrarre il manipolatore manualmente.

Nelle seguenti sezioni i requisiti degli attuatori della catena cinematica imposta, vengono descritti in base ai requisiti funzionali e alle specifiche tecniche del singolo giunto.

4.3.1 Giunto J1 – Prismatico (x)

Alla base del manipolatore seriale è previsto un sistema di attuazione lineare che deve garantire l'approccio del manipolatore alla macchina (RFX-mod2 o RFX-mod2-mock-up). La corsa della slitta deve determinare la fuoriuscita completa del manipolatore dall'interno della macchina, quando è nella configurazione di partenza che indicheremo come distanza S_0 , mentre il fine corsa S_1 della slitta deve garantire l'inserimento del manipolatore all'interno della macchina, utile per l'esecuzione di tutte le operazioni di manutenzione e ispezione (vedi sez. 2.3).

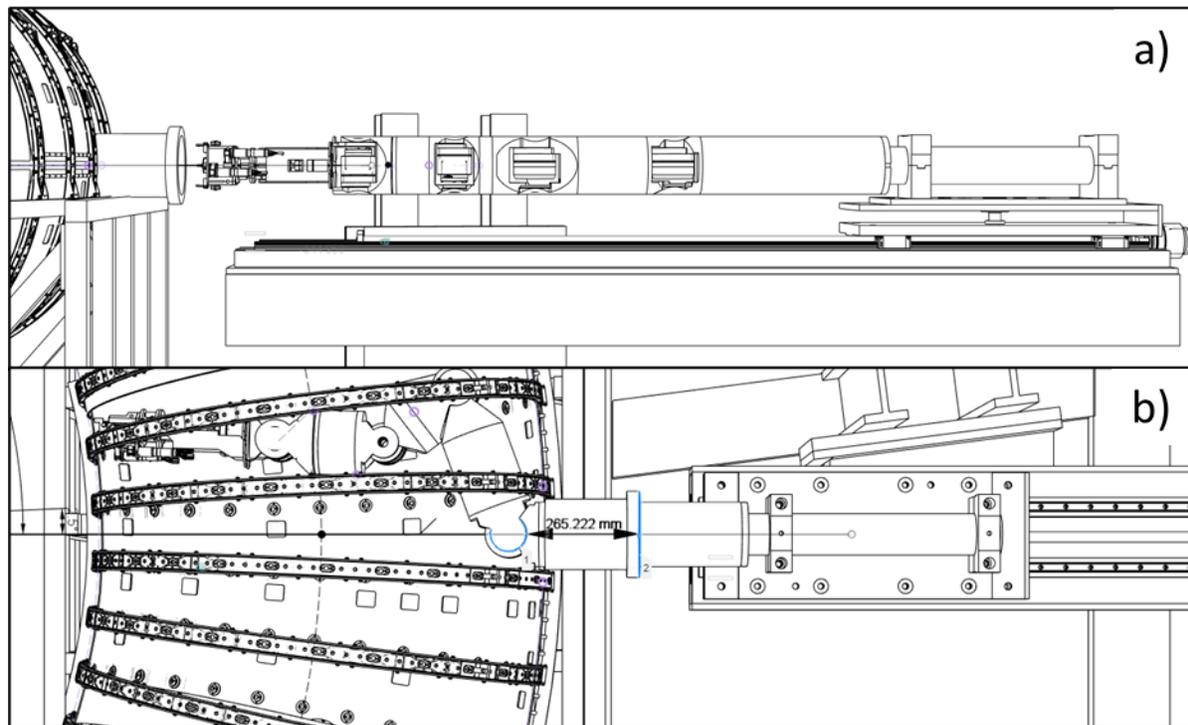


Figura 19. In figura a) un esempio della configurazione di estrazione. In figura b) un esempio della configurazione d'inserimento

L'ingombro massimo predisposto per l'attuatore della slitta del manipolatore ROMAN è definito dalla sezione trasversale interna della trave di supporto del manipolatore (vedi Figura 20), mentre l'estensione longitudinale deve essere compresa entro il valore di lunghezza della stessa trave.

Si propone l'utilizzo di un meccanismo con guide lineari e vite a ricircolo di sfere (diametro $d_v = \phi 25$, passo $p = 20$ e gioco g_0) alimentato da un motoriduttore a corrente continua. La coppia esplicita deve essere compatibile con il modulo di forza necessario per spostare l'intera massa del manipolatore, lungo la direzione radiale del toroide. Si deve considerare un motore con elettronica e modulo riduttore integrati, nel rispetto degli ingombri descritti; in caso contrario si può prevedere di disaccoppiare l'elettronica, preferendo una soluzione modulare. Dovendo garantire la possibilità di estrarre il manipolatore manualmente dalla macchina non è previsto l'utilizzo di motore con freno. Per garantire modularità e manutenibilità si suggerisce l'uso dello stesso tipo di attuatori utilizzati per gli altri giunti del robot come da soluzione proposta in sezione 5.2.

La verifica e la scelta dei componenti costituenti l'attuazione di J1 è oggetto della progettazione esecutiva di responsabilità del Contraente.

Requisito 020

La corsa utile della slitta del manipolatore ROMAN deve essere tale da garantire il completamento di tutte le operazioni di manutenzione, senza mai estrarre il manipolatore una volta che questo è stato inserito nella macchina. In particolare, nella configurazione di inizio corsa l'end-effector deve garantire una distanza di sicurezza dalla flangia d'accesso (nella configurazione proposta questa è di 60 mm). Nella configurazione di fine

corsa l'asse del giunto J2 si deve trovare all'interno della macchina di modo che il manipolatore possa raggiungere simmetricamente i 4 anelli poloidali. Nella configurazione proposta il giunto J2 si trova a circa 265 mm dal piano della superficie più esterna della flangia della porta (vedi Figura 19).

Requisito 021.

Si prevede un'estensione longitudinale del sistema compatibile con la lunghezza del suddetto blocco, che è pari a 2415 mm.

Requisito 022.

Il giunto prismatico (J1), deve garantire gioco g_0 , velocità e precisione equivalenti al sistema con vite a ricircolo di sfere descritto nella sez. 4.3.1.

Requisito 023.

La coppia minima che il motore del giunto prismatico deve garantire è indicata nella sezione 5.2.4. L'elettronica dell'attuatore deve essere integrata al motore, o inserita come modulo periferico qualora gli ingombri non permettano una soluzione integrata. Non è previsto alcun freno perché deve essere concessa la retro-azionabilità del motore.

4.3.2 Giunto J2, J3, J4 – Rotoidale (z)

J2, J3 e J4 sono i giunti rotoidali paralleli, posti successivamente alla slitta (J1) lungo la catena cinematica di ROMAN. Questi descrivono una rotazione intorno all'asse Z verticale e sono essenziali per il moto coordinato toroidale descritto in sez. 2.3.

Il range di attuazione dei giunti in questione deve garantire la giusta configurazione cinematica del manipolatore di modo che questo possa muoversi all'interno del toroide secondo le specifiche descritte nelle sez. 2.3. e 2.3.1.

L'inviluppo dell'ingombro relativo all'unità di attuazione (vedi definizione nella sez. 4.3) dei giunti J2, J3 e J4 (considerato incluso il relativo connettore meccanico, e un cuscinetto radiale da inserire tra il motore e l'interfaccia meccanica) deve essere contenuto nella proiezione della sezione trasversale dei link, sul piano contenente l'asse del giunto.

Nell'ingombro dell'unità di attuazione deve essere incluso un cuscinetto radiale inferiore (secondo la proposta descritta in sez. 4.4.3). Gli attuatori considerati per questo gruppo di giunti devono essere dotati di un riduttore integrato, così come integrate devono essere anche le componenti elettroniche. Solo nel caso in cui lo spazio

disponibile non fosse sufficiente, si può considerare una soluzione modulare, in cui la componentista elettronica del motore viene alloggiata in un vano apposito all'interno del link, e collegata tramite protocollo etherCAT.

La coppia minima che il motore deve esplicare si ricava dai parametri inerziali caratteristici della sezione di braccio interessata, di cui i calcoli sono riportati nella sez. [5.2.2](#) . Non è previsto l'utilizzo di motore con freno, così da poter garantire la retro-azionabilità del motore.

Requisito 024.

I limiti di giunto (meccanici o per mezzo del controllo) devono impedire l'auto-collisione.

Requisito 025.

Secondo la proposta concettuale fornita, il range di azione del giunto J2 è di $\pm 70^\circ$. Il range di azione del giunto J3 è di $\pm 110^\circ$. Il range di azione del giunto J4 è di $\pm 80^\circ$.

Requisito 026.

L'ingombro relativo all'unità di attuazione dei giunti J2, J3 e J4 insieme al relativo connettore meccanico deve essere contenuto in una circonferenza di diametro $\varnothing 150$ mm. In questo ingombro devono essere inclusi riduttore (integrato al motore), cuscinetto radiale, componenti elettroniche (se integrate nel motore).

Requisito 027.

I valori di coppia massima che gli attuatori ai giunti J2, J3, J4 devono esplicare sono rispettivamente indicati nella sezione 5.2.2.

4.3.3 Giunto J5 – Rotoidale (x)

J5 è l'unico giunto rotoidale con asse rivolto lungo la direzione longitudinale del manipolatore, e descrive una rotazione intorno all'asse X. Il range di posizione che deve essere coperto deve garantire il raggiungimento di tutte le tegole sulla sezione poloidale. La dimensione trasversale è definita dalla sezione trasversale del manipolatore, mentre l'altezza dell'unità di attuazione deve essere contenuta nell'estensione longitudinale del link che lo contiene. Dato l'orientamento dell'asse del giunto J5, è previsto un sistema frenante col fine di contrastare la forza di gravità agente sul resto del manipolatore a valle del giunto; in caso contrario la porzione di braccio a valle del giunto J5 sarebbe libera di ruotare intorno all'asse del giunto non attuato, per effetto della gravità. Si rimanda al paragrafo 5.2.2 per i calcoli relativi ai valori di coppia da garantire. Anche in questo caso elettronica e modulo riduttore devono essere integrati.

Requisito 028.

Il range di azione del giunto J5 è di $\pm 180^\circ$.

Requisito 029.

L'ingombro della sezione trasversale dell'unità di attuazione relativa al giunto J5 deve essere contenuto in un diametro di $\varnothing 150$. L'altezza dell'attuatore deve essere compatibile con la lunghezza del link in cui è inserito. Nell'ingombro devono essere inclusi riduttore (integrato al motore), eventuale cuscinetto radiale, componenti elettroniche (se integrate nel motore).

Requisito 030.

La coppia massima che l'attuatore deve esplicitare al giunto J5 è indicata nella sezione 5.2.2.

4.3.4 Giunto J6 – Rotoidale (z)

Il giunto J6 è un giunto rotoidale con asse verticale. I discorsi sull'ingombro sono equivalenti al caso riportato in 4.3.2. Il range di attuazione deve garantire la coassialità dell'end-effector con il foro di ogni tegola. Si rimanda al paragrafo 5.2.2, per i calcoli relativi ai valori di coppia da garantire. Si predilige come nei casi precedenti una soluzione in cui riduttore ed elettronica sono integrati.

Requisito 031.

Il range di azione del giunto J6 è di $\pm 90^\circ$.

Requisito 032.

L'attuatore deve garantire una velocità di spostamento intorno all'asse toroidale di almeno $1^\circ/s$.

Requisito 033.

La coppia nominale del giunto deve essere tale da permettere il moto del braccio alla velocità massima in modo da bilanciare le forze di inerzia e gravità

Requisito 034.

La coppia media continuativa che l'attuatore deve esplicitare al giunto J6 deve essere tale da bilanciare in condizioni quasi statiche la coppia di gravità e la coppia dovuta alla spinta della chiavetta come calcolato in sezione 5.2.2.

4.3.5 Giunto J7 – End-effector – Prismatico (x)

Il giunto prismatico J7, che chiude la catena cinematica, deve garantire l'inserimento del tool speciale (in punta al sistema di manutenzione) all'interno del meccanismo di aggancio/sgancio tegola. La corsa da coprire deve garantire il raggiungimento della chiave all'interno del foro della tegola. La forza da esplicitare lungo la direzione coincidente con l'asse della chiave deve essere sufficiente a comprimere il meccanismo con molle a tazza presenti nella chiave della tegola impegnata nella boccola di bloccaggio. Si può considerare un sistema concettualmente simile al primo giunto con motore rotoidale e vite a ricircolo di sfere per l'attuazione lineare descritta. Riduttore ed anche l'elettronica sono da preferirsi integrati al motore.

Requisito 035.

Il range di azione del giunto J7 deve essere tale da coprire la distanza tra l'end-effector e il foro della tegola.

Requisito 036.

L'ingombro della sezione trasversale dell'attuatore al giunto J7 incluse le componenti meccaniche ed elettroniche annesse deve essere contenuto in un diametro di $\varnothing 150$ mm. L'altezza dell'attuatore deve essere contenuta nella dimensione longitudinale disponibile del link.

4.4 Struttura manipolatore

In questa sezione si vogliono descrivere i requisiti funzionali della struttura del manipolatore, soffermandoci sulle caratteristiche geometriche e dimensionali.

4.4.1 Slitta manipolatore

La slitta del manipolatore costituisce il giunto prismatico posto alla base della catena cinematica del manipolatore. Questa è costituita da due binari saldati tramite un'interfaccia in metallo ad un basamento in acciaio che a sua volta è collegato alla colonna di supporto del manipolatore.

Le dimensioni e le geometrie della trave di supporto attuale sono indicate nel modello CAD.

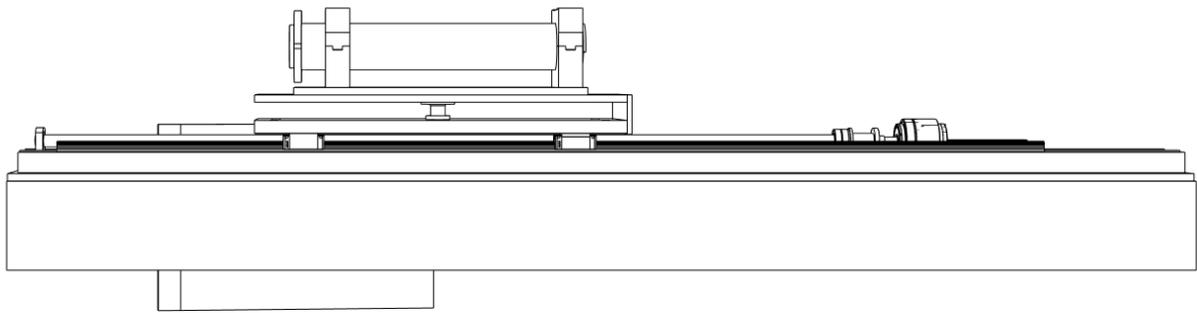


Figura 20. Trave di supporto del manipolatore, con slitta manipolatore.

La trave di supporto del manipolatore è interfacciato alla colonna di supporto del manipolatore (appartenente al mock-up il quale non è oggetto di questa fornitura) tramite un sistema di orientamento. Il sistema di orientamento, dell'asse del manipolatore, è costituito da una **Piastra di regolazione**, assemblata alle colonne del telaio tramite un'ulteriore piastra che chiameremo **Piastra d'interfaccia** (Dettaglio in Figura 21 e in Figura 22). La piastra di regolazione deve avere la possibilità di essere distanziata rispetto alla piastra d'interfaccia tramite quattro elementi filettati posti nei quattro angoli delle due piastre (vedi Figura 22). In questo modo si garantisce la possibilità di correggere l'orientamento del manipolatore, nel caso in cui non dovesse essere verificata la condizione di coassialità con il foro d'accesso.

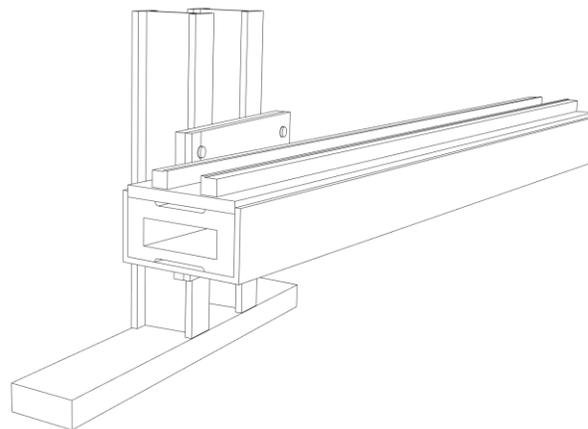


Figura 21. Slitta manipolatore assemblata alla colonna del telaio.

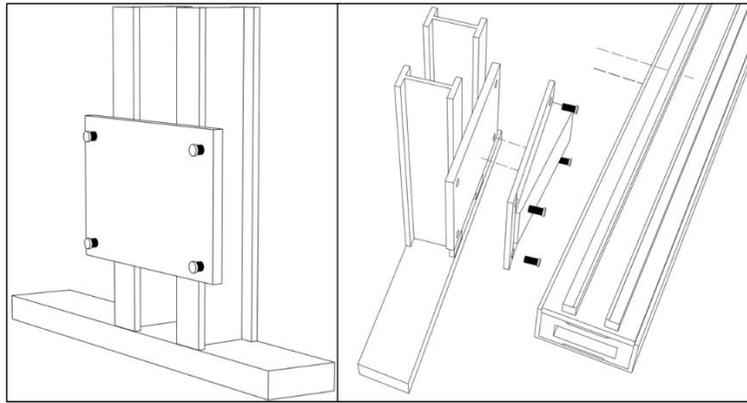


Figura 22. Schema di montaggio del sistema di orientamento della slitta del manipolatore

Requisito 037.

L'interasse della slitta non deve superare la dimensione trasversale della trave di supporto della slitta.

Requisito 038.

Il profilo geometrico della piastra di collegamento tra il mock-up e la trave di supporto deve essere progettato in modo tale che l'asse del manipolatore formi un angolo di 7.3° rispetto alla proiezione dell'asse del foro, sul piano orizzontale, (vedi Figura 22).

Requisito 039.

Si deve predisporre un sistema di regolazione dell'orientamento assiale del manipolatore, solidale alla trave di supporto dello stesso. Il sistema deve poter orientare tutto il basamento costituente la trave di supporto, su cui è montata la slitta del manipolatore.

4.4.2 Link del manipolatore

I link del manipolatore sono concepiti per conferire modularità a tutta la struttura del braccio. Questi sono dei cilindri cavi, la cui lunghezza viene stabilita in base ai requisiti cinematici. Lo spessore e il materiale devono rispettare i requisiti di deformazione, fissati sui range di tolleranza relativi agli scostamenti statici e dinamici. Per ognuno di questi moduli è prevista una lavorazione delle superfici interne agli estremi del cilindro, volta a garantire un'interferenza ottimale tra il link e il componente meccanico di connessione al relativo giunto. Ci si riserva la possibilità di modificare la struttura interna dei link con l'inserimento di moduli strutturali di rinforzo, se da ulteriori verifiche risulta che le deformazioni siano eccessive.

Ogni link ha un diametro esterno di 150 mm, mentre il diametro interno è da stabilire in base ai materiali scelti e ai parametri flessionali risultanti, tale da garantire uno scostamento verticale di al più 0.5 mm in punta al manipolatore.

4.4.3 Connettori del manipolatore

Per la connessione dei link agli attuatori, si è proposto un design concettuale di connettori meccanici il cui design definitivo dovrà essere stabilito nell'ambito della progettazione esecutiva, e verosimilmente si tratterà di un design custom per ogni giunto. La geometria del design proposto è stata concepita in modo da garantire un valore coerente di rigidità lungo il manipolatore, tale da garantire uno scostamento verticale minore di 0.5 mm, in punta al manipolatore.

Ogni connettore, secondo la proposta concettuale, è costituito da due moduli, suddivisi a loro volta in più parti, da collegare tramite bullonatura. Seguendo lo schema in Figura 31 o in Figura 33, il primo modulo a partire da destra viene assemblato tra il link i -esimo e il motore, il cui asse coincide con l'asse del giunto i -esimo.

Il secondo modulo viene interposto tra l'attuatore suddetto e il link $(i + 1)$ -esimo. Nel design del connettore è stato predisposto un alloggiamento per un cuscinetto radiale. Il numero e la tipologia di questi cuscinetti vengono scelti in base agli sforzi assiali dovuti alle coppie generate dal peso in punta al manipolatore, e dal peso stesso di tutto il braccio.

Requisito 040.

La geometria del connettore meccanico generico, disposto lungo il robot, deve garantire un'interfaccia ottimale tra link e attuatore e uno scostamento verticale del manipolatore che non superi 0.5 mm in punta.

Requisito 041.

Nel design definitivo del connettore deve essere previsto un vano per un cuscinetto radiale

4.5 End effector requisiti funzionali

L'end-effector di ROMAN deve garantire le operazioni di aggancio, sgancio e ispezione delle tegole, così come è stato descritto nella sezione 2.3.3.

Il meccanismo dell'end effector deve rispettare le indicazioni relative al design dei meccanismi di trasmissione, evidenziate nel modello CAD allegato. Il design dell'end-effector di ROMAN viene ripreso in gran parte dal design di RFXM (RFX-mod Manipulator), usato dal consorzio RFX per il montaggio e lo smontaggio tegole di RFX-mod, e del rispettivo mock-up. Si descrivono nel dettaglio le componenti che costituiscono l'end-effector, con i relativi moduli di attuazione:

- Gripper
- Avvitatore
- Naso
- Compensatore elastico

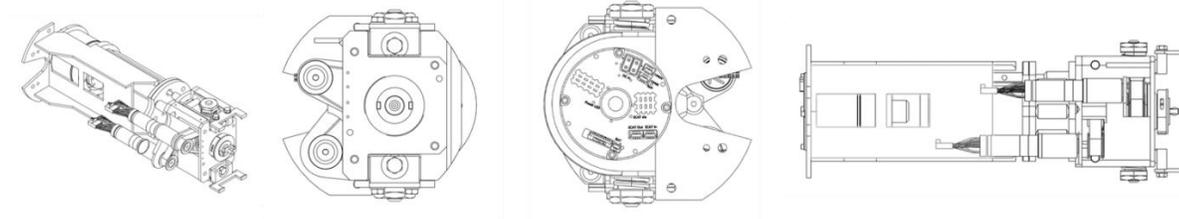


Figura 23. Complessivo end-effector.

4.5.1 Avvitatore – End-effector

L'avvitatore dell'end-effector è il tool principale adibito all'aggancio/sgancio tegole, è costituito da un corpo cilindrico, con due denti posti a 180° concepiti per impegnarsi all'interno della chiavetta interna alla tegola. (vedi paragrafo 2.3.3 per meccanismo di aggancio/sgancio tegola).

Il naso dell'end-effector è utilizzato come strumento di centraggio del foro della tegola. Il suo funzionamento è legato all'utilizzo di un compensatore elastico posto alla base dell'end-effector, vedi Figura 24.

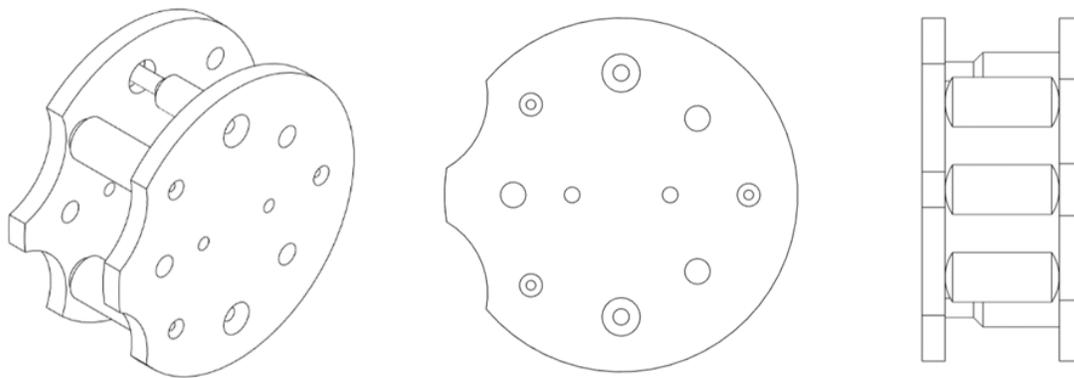


Figura 24. Compensatore Elastico

Per comprendere la funzione del suddetto componente allo stato attuale, si consideri un'operazione di approccio dell'end-effector al foro della tegola: nel caso in cui l'avvitatore non fosse completamente centrato con il profilo della chiave interna alla tegola, la spina di centraggio e il compensatore elastico garantiscono una cedevolezza intorno all'asse longitudinale che permette la rotazione dell'end-effector intorno a questo asse, che porta l'avvitatore ad impegnarsi correttamente nella chiave della tegola. Il compensatore elastico è costituito da due piastre circolari, distanziate da tre elementi elastici, da cui dipende la cedevolezza del compensatore stesso, e due distanziali rigidi che mantengono fissata la dimensione d'intermezzo delle due piastre. (Si veda la Figura 24).

Per le specifiche dimensionali e le caratteristiche geometriche si consideri il modello CAD in allegato.

È estremamente importante garantire che l'ingombro dell'end-effector non determini auto collisioni durante l'esecuzione delle operazioni sulla porzione della first-wall più esterna, individuata nella Figura 25, dal raggio toroidale esterno. Bisogna escludere la possibilità che il manipolatore entri in auto-collisione nelle operazioni in cui è richiesta un'inversione del suo orientamento rispetto alla direzione longitudinale (smontaggio tegole prossime alla porta di accesso).

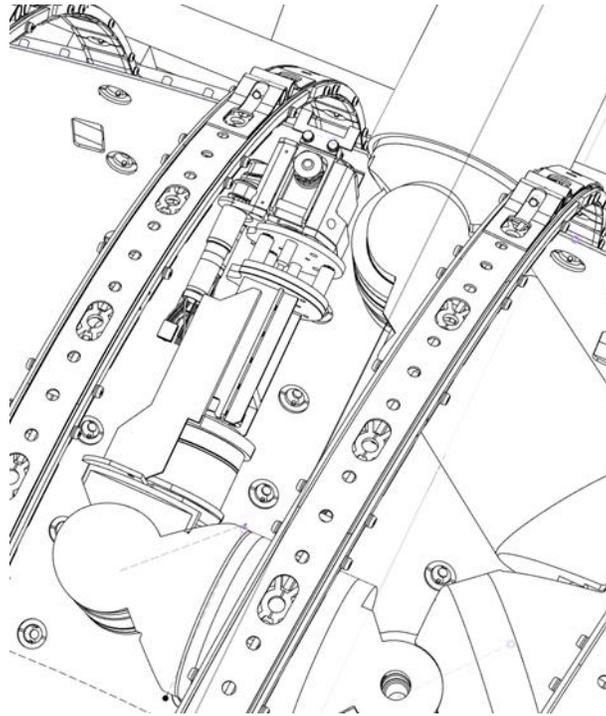


Figura 25. Configurazione di lavoro sulla parete toroidale esterna.

Requisito 042.

Col fine di garantire la coassialità tra l'end-effector e il foro della tegola si prevede la realizzazione di un compensatore elastico in grado di conferire al tool in punta una cedevolezza elastica tale che per errori di posizionamento compresi entro i 2.8 mm e per errori di angolazione compresi entro 1.3°, il tool riesca ad impegnarsi in modo coassiale con il foro della tegola. Vedi Figura 11 per la configurazione di coassialità.

Requisito 043.

Il profilo dell'end-effector deve essere realizzato di modo che siano escluse auto collisioni durante l'esecuzione di operazioni che richiedono l'inversione dell'orientamento del manipolatore rispetto all'asse longitudinale dello stesso in qualsiasi condizione operativa descritta in 0

4.5.2 Gripper – End-effector

Il gripper dell'end-effector è costituito da due palette il cui profilo deve essere modellato sulla base della forma della tasca della tegola. Nella versione proposta, il profilo del gripper è stato modificato rispetto alla versione precedente, in base al nuovo profilo delle tasche delle tegole in grafite (specifiche geometriche della tegola indicate in Figura 15) concepite per garantire la presa da parte del tool.

Il meccanismo di apertura/chiusura del gripper è costituito da un motore a corrente continua con riduttore integrato, collegato tramite una trasmissione a cinghia e pulegge dentate ad una camma. La rotazione della camma determina lo spostamento delle dita del gripper, tramite una rotazione attorno ad un fulcro posto in prossimità della base dell'end-effector. L'azione della camma che determina l'apertura delle dita, deve essere progettata per vincere la reazione delle molle che determinano la forza di serraggio del gripper sulla tegola. L'apertura del gripper deve essere tale da garantire il passaggio delle palette nell'interspazio tra due tegole, senza entrare in contatto con le stesse. Essendo le tegole in grafite, materiale estremamente fragile, il rispetto delle tolleranze relative alle geometrie delle palette così come il rispetto dell'offset di attuazione è fondamentale per la salvaguardia delle stesse, dato che ogni contatto con le tegole potrebbe causare la frammentazione di queste, il che comporterebbe la necessità di eseguire una tempestiva pulizia della first-wall. La chiusura del gripper deve garantire una presa stabile della tegola.

In figura 26 viene mostrata una sequenza di aggancio tegola; si noti come il primo requisito da raggiungere sia quello di coassialità. Successivamente all'approccio dell'end-effector alla tegola, tramite azionamento del giunto prismatico in punta, si predispone il gripper per l'inserimento delle palette nell'interspazio tra le tegole. Una volta raggiunta la quota limite, definita dall'inserimento della spina nella chiavetta della tegola, il gripper afferra la tegola. Segue la fase di sgancio tegola.

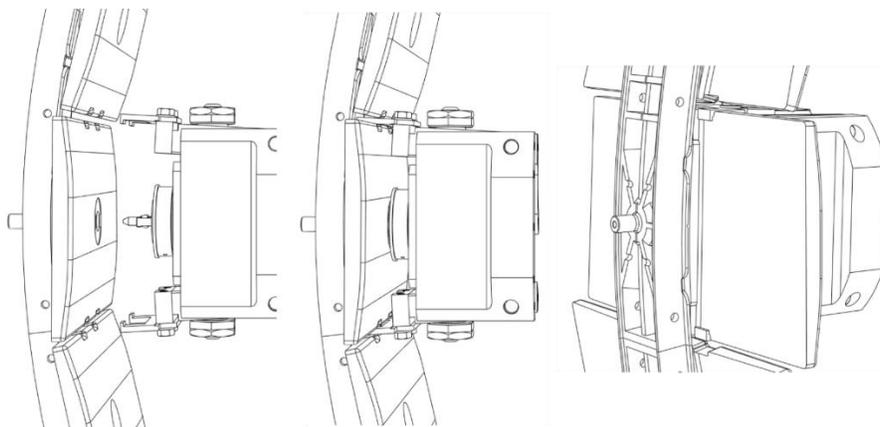


Figura 26. Sequenza di engagement della tegola.

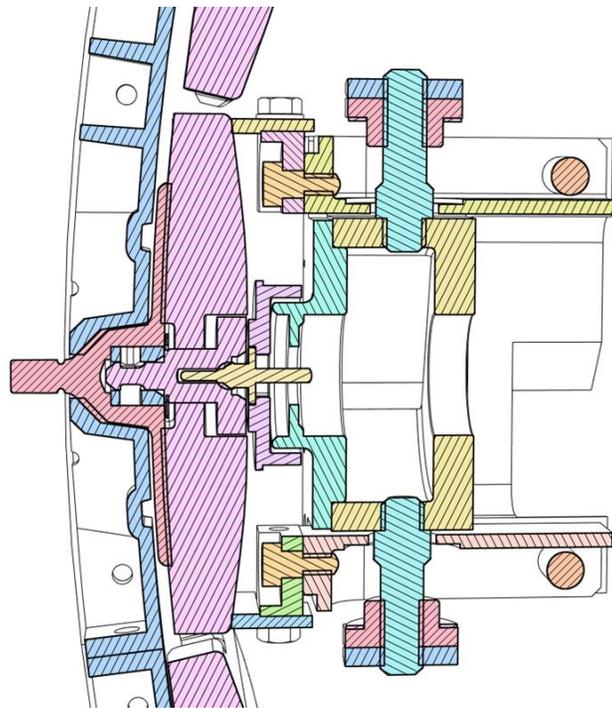


Figura 27. Vista in sezione del collegamento Pinza – Tegola – Locking-Bush .

Il materiale utilizzato per le dita del gripper così come eventuali lavorazioni di superficie, devono essere scelte affinché possano garantire che la tegola non scivoli durante la manipolazione. In passato è stato garantito un coefficiente d'attrito di $f = 0.4$, zigrinando e diamantando le dita del gripper.

Requisito 044.

Il gripper del manipolatore deve garantire un'apertura, tale che esso possa passare tra le tasche di due tegole consecutive.

Requisito 045.

Il gripper del manipolatore deve garantire una presa che sia efficace sia a livello di forza esplicita, sia a livello di coefficiente di attrito con il materiale della tegola. Si valutino anche lavorazioni di superficie.

4.5.3 Unità di attuazione end-effector

In questa sezione si vogliono dare le specifiche degli attuatori necessari per eseguire le operazioni dell'end-effector, quali rotazione dell'avvitatore della tegola, e presa della tegola stessa tramite il gripper. Per il completamento di questi task operativi si considerano l'avvitatore e il gripper dell'end-effector.

Nell'ambito della progettazione esecutiva si richiede la scelta di due motoriduttori uguali che garantiscano il giusto valore di:

1. Coppia nominale
2. Coppia media continuativa
3. Velocità nominale
4. Tipo di motore (specifiche sul modulo di riduzione, sull'elettronica e sul microcontrollore)
5. Canale e protocollo di comunicazione
6. Tensione di alimentazione

4.5.4 Unità di attuazione per la rotazione dell'avvitatore

L'end-effector, come descritto precedentemente, è dotato di un meccanismo rotoidale (che chiameremo **Je-8**) che garantisce la rotazione dell'avvitatore che s'impegna nella chiavetta della tegola. La rotazione è descritta intorno all'asse x dell'end-effector. L'unità di attuazione deve garantire tale rotazione (vedi sequenza di smontaggio/montaggio tegola in sez. 2.3.3). Riduttore ed elettronica sono da preferirsi integrati al motore; nel caso in cui gli ingombri non lo permettessero si può considerare di inserire l'elettronica del motoriduttore nel link adiacente all'end-effector.

La coppia nominale che il motoriduttore deve garantire per ruotare la chiave (e la chiavetta della tegola all'interno del locking-bush) è di 1 Nm, valore considerato sull'asse della chiavetta. Considerando la riduzione indotta dalle pulegge caratterizzate da 10 e 24 denti, si ha un fattore di riduzione di 2.4 pertanto la coppia nominale che deve garantire il motoriduttore è di 0.41 Nm.

Si consideri la necessità di avere una densità di coppia al motore tale da poter diversificare la rotazione dell'avvitatore in due fasi differenti con valori di coppia differenti in modulo.

Valutazioni sulle pulegge e sulle componenti meccaniche sono da considerarsi necessarie ai fini della progettazione esecutiva del meccanismo.

Requisito 046.

La rotazione che la chiave deve eseguire è di 90°.

Requisito 047.

La coppia che il motore deve garantire è di 1 Nm sull'asse della chiave. Riduzioni, attriti e rendimenti devono essere considerati per il calcolo della coppia del servo attuatore. Si deve considerare un motore ad alta densità di coppia per poter modificare il valore di coppia in output.

Requisito 048.

Il meccanismo di rotazione della chiave dell'end-effector deve permettere una rotazione di 90° al più in 4s.

4.5.5 Componenti di sensoristica dell'end-effector

L'end effector deve prevedere un sensore di forza per misurare l'interazione con le tegole. Il requisito minimo del sensore è una cella di carico in grado di misurare le forze assiali di aggancio della tegola. Considerando un fattore di sicurezza pari a 2 si consideri un range di misura di 300 N.

È preferibile l'integrazione di un sensore di forza-coppia a croce di malta in modo da acquisire anche le forze e le coppie fuori asse utili durante la fase di approccio alla tegola. Il sensore dovrebbe essere posizionato più vicino possibile al gripper dell'end effector (es. subito a valle del compensatore elastico) in modo da ridurre le coppie in gioco. Inoltre, il sensore deve essere dimensionato in base al punto di aggancio dell'end-effector. Possibili sensori sono quelli prodotti dalla casa Schunk le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 2.

Tabella 2. Caratteristiche sensore di forza triassiale.

Single-Axis Overload	
F_{xy}	±5100 N
F_z	±10000 N
T_{xy}	±110 Nm
T_z	±140 Nm
Stiffness	
X-axis & Y-axis forces (K_x, K_y)	7.4x107 N/m
Z-axis force (K_z)	9.8x107 N/m
X-axis & Y-axis torque (K_{T_x}, K_{T_y})	1.7x104 Nm/rad
Z-axis torque (K_{T_z})	3.5x104 Nm/rad
Specifiche fisiche	
Peso	0.0917kg
Diametro	45mm
Altezza	15.7mm
Riferimenti	
https://www.ati-ia.com/products/ft/ft_models.aspx?id=mini45	

Requisito 049.

L'end-effector deve essere dotato di un sensore di forza preferibilmente tri-assiale, in grado di misurare le forze d'interazione tra l'avvitatore e la chiave della tegola, che siano forze assiali o forze fuori asse come coppie. Tale sensore deve essere integrato nell'end effector più vicino possibile all'avvitatore, considerando come fondo-scala le forze in gioco nell'interazione.

Requisito 050.

Sull'end-effector va montato un sistema di visione che possa ricostruire l'ambiente di lavoro interno alla macchina. Si consideri obiettivo nell'ambito della progettazione esecutiva, predisporre un sistema d'interfaccia per una telecamera stereoscopica e/o un sensore LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging)

4.5.6 Unità di attuazione per il serraggio della pinza

L'end-effector deve garantire la presa della tegola tramite un dispositivo gripper, il cui profilo viene definito in base alle tasche delle tegole che devono essere afferrate, vedi sez. 4.5.2.

Requisito 051.

Il gripper dell'end-effector deve garantire: la presa della tegola all'atto dell'aggancio e del trasporto della stessa.

Requisito 052.

La coppia che il moto-riduttore deve garantire deve essere tale da avere una forza di chiusura di almeno 60 N, lungo la direzione normale alla superficie di entrambe le ganasce del gripper. Trasmissioni, riduzioni, attriti e rendimenti devono essere considerati per il calcolo della coppia del servo attuatore.

Requisito 053.

Il meccanismo di chiusura del gripper dell'end-effector deve permettere il completamento del ciclo di chiusura in 4s.

Di seguito sono riportati requisiti generali di entrambe le unità di attuazione dell'end effector.

Requisito 054.

Le unità di attuazione dell'avvitatore e della camma per il gripper devono essere integrate con sensori di finecorsa (induttivi o meccanici), concepiti sia per azzerare la posizione del meccanismo all'accensione del braccio sia propriamente come fine-corsa. In questo caso non sono previsti encoder assoluti o multi-giro.

Requisito 055.

La tensione di alimentazione dei motori dell'end effector deve essere scelta uguale a quella degli attuatori del braccio.

Requisito 056.

Il protocollo di comunicazione degli attuatori dell'end effector deve essere basato su protocollo real-time EtherCAT.

Requisito 057.

I due attuatori dell'end-effector (avvitatore e gripper) dovrebbero essere scelti identici per garantire una più semplice manutenibilità del braccio a patto che i requisiti di coppia e dimensionali lo permettano.

4.6 Quadro elettrico di alimentazione e controllo e cablaggio

L'alimentazione elettrica sarà fornita dal Committente sotto forma di prese pentapolari (trifase 380 V, neutro, terra) o prese tripolari (monofase 220V, terra).

L'azienda contraente dovrà predisporre un quadro di alimentazione in grado di contenere un PC industriale ed i componenti di interfaccia (non oggetto della presente fornitura) in grado di alimentare e gestire la sicurezza del braccio manipolatore in tutte le sue parti.

Il cabinet di alimentazione dovrà quindi rispettare i seguenti requisiti

Requisito 058.

Il quadro elettrico dovrà contenere tutti i componenti necessari all'alimentazione del braccio e del quadro stesso in tutte le sue parti compreso il PC industriale. Devono essere anche inclusi tutti i componenti necessari alla protezione del quadro e del braccio quali interruttori magnetotermici, fusibili e altri organi di comando e protezione.

Requisito 059.

Il quadro elettrico dovrà essere costituito da un cabinet industriale con porta e interruttore di alimentazione generale fronte quadro che funga anche da chiusura porta in modo da garantire il distacco dell'interruttore a quadro aperto.

Requisito 060.

Il quadro elettrico dovrà essere dotato di interruttori e spie luminose fronte quadro per l'alimentazione selettiva delle componenti principali (logica, potenza, utenze).

Requisito 061.

Il quadro elettrico dovrà contenere un relè di sicurezza destinato alla gestione delle sicurezze interne del quadro e in grado di gestire due o più interruttori di sicurezza e interruttori di reset. Un interruttore a fungo di sicurezza e un pulsante di reset dovrà essere incluso sul fronte quadro ed essere facilmente accessibile. Il relè di sicurezza

dovrà connettersi con il PC industriale per azionare i segnali di sicurezza, “**stop and enable**” e dovrà disconnettere l'alimentazione agli attuatori in caso di hard fault attraverso un contattore di sicurezza.

Requisito 062.

La connessione del quadro elettrico con il braccio robotico e con altre utenze esterne quali JOG, HMI, interruttori di sicurezza, PC esterni dovrà essere effettuata attraverso connettori multi-pin industriali (ES: Harting o ILME) posti sul lato del quadro. I cavi in uscita dovranno essere veicolati mediante guaine robotiche.

Requisito 063.

I cavi dovranno essere conformi alle norme CEI-20-22 per quanto riguarda le proprietà di non propagazione dell'incendio.

Il cablaggio interno al robot dovrà rispettare i seguenti requisiti, (si veda la sez. 5.4 per la proposta di configurazione del cablaggio):

Requisito 064.

I cavi di segnale dovranno essere di tipo schermato. Si potrà adottare una soluzione con un unico cavo per potenza e segnale a patto che il cavo di segnale sia schermato singolarmente.

Requisito 065.

Tutti i cavi elettrici utilizzati dovranno garantire l'esecuzione di almeno 10.000 cicli senza alterazione meccanica.

Requisito 066.

La coppia elastica resistente prodotta dall'insieme di cavi a livello del singolo giunto non dovrà essere superiore al 5% del valore di coppia nominale del relativo attuatore.

NOTA: Lo sviluppo del quadro elettrico e di controllo dovrà essere integrato dal contraente all'atto dell'installazione in sito del manipolatore (SAT) con il PC industriale di controllo e la gestione delle interfacce di safety.

4.7 Lista riassuntiva componenti hardware

La lista dei prodotti finali da consegnare è mostrata nelle seguenti tabelle. Nella prima vengono incluse tutte le componenti meccaniche del braccio. Nella seconda viene fornito un prospetto dettagliato dell'end-effector. Nella terza tabella vengono forniti i dettagli sui moduli di attuazione distribuiti lungo tutto il braccio.

Tabella 3. Numero componenti meccaniche riferito a due ROMAN

Assieme	Sotto-assieme	Nome componente	Q.tà	Materiale
Slitta manipolatore		Piastra d'interfaccia	2	Acciaio
		Trave di supporto	2	Acciaio
		Guide Lineari	4	Acciaio
Manipolatore	Link1	Connettore 1_1	2	Alluminio
		Cilindro 1	2	Alluminio
		Connettore 1_2	2	Alluminio
	Link 2	Connettore 2_1	2	Alluminio
		Cilindro 2	2	Alluminio
		Connettore 2_2	2	Alluminio
	Link 3	Connettore 3_1	2	Alluminio
		Cilindro 3	2	Alluminio
		Connettore 3_2	2	Alluminio
	Link 4	Connettore 4_1	2	Alluminio
		Cilindro 4	2	Alluminio
		Connettore 4_2	2	Alluminio
	Link 5	Connettore 5_1	2	Alluminio
		Cilindro 5	2	Alluminio
		Connettore 5_2	2	Alluminio
	Link 6	Connettore 6_1	2	Alluminio
		Cilindro 6	2	Alluminio
		Connettore 6_2	2	Alluminio
	Link 7	Connettore 7_1	2	Alluminio
Cilindro 7		2	Alluminio	
Connettore 7_2		2	Alluminio	

Tabella 4. Numero componenti meccaniche riferito a due ROMAN

Assieme	Sotto-Assieme	Nome Componente	Q.tà
End-Effector	Compensatore Elastico	Piastra circolare	4
		Cilindri elastici	6
		Distanziali	4
	Gripper	Piastra – Dito	4
		Camma – Dito	2
		Vite Speciale	4
		Molla	4
	Tool di aggancio/sgancio	Avvitatore	2
		Naso di centraggio	2
	Telecamera stereoscopica/LIDAR	Zed2/Intel/DUO MLX	2
		Sistema di posizionamento telecamera	2

Tabella 5. Numero componenti per attuazione e sensoristica riferito a due ROMAN

Nome giunto	Caratteristiche generali	Sensoristica e controllo	Q. tà
J1	Giunto prismatico di base, accoppiamento con vite a ricircolo, attuatore integrato (motore, riduttore HD elettronica e sensori) con range di coppia 40Nm	<ul style="list-style-type: none"> - Fine corsa meccanici e/o digitali. - Encoder multi-giro o assoluto in uscita del riduttore - Interfaccia etherCAT - Configurazione daisy-chain 	2
J2	Giunto rotoidale, attuatore integrato (motore, riduttore HD elettronica e sensori) con range di coppia 140Nm		2
J3	Giunto rotoidale, attuatore integrato (motore, riduttore HD elettronica e sensori) con range di coppia 140Nm		2
J4	Giunto rotoidale, attuatore integrato (motore, riduttore HD elettronica e sensori) con range di coppia 64Nm		2
J5	Giunto rotoidale, attuatore integrato (motore, riduttore HD elettronica e sensori) con range di coppia 64Nm		2
J6	Giunto rotoidale, attuatore integrato (motore, riduttore HD elettronica e sensori) con range di coppia 64Nm		2
J7	Giunto prismatico end effector, accoppiamento con vite a ricircolo, attuatore integrato (motore, riduttore HD elettronica e sensori) con range di coppia 5Nm		
J8-e Rotazione chiavetta	Motoriduttore con riduttore planetario, elettronica preferibilmente integrata o esterna, encoder standard, finecorsa meccanici per calibrazione	<ul style="list-style-type: none"> - Fine corsa meccanici o digitali. Cella di carico o sensore di forza-coppia multi-assiale - Encoder incrementale - Interfaccia etherCAT - Configurazione daisy-chain 	2
J9-e gripper	Motoriduttore con riduttore planetario, elettronica preferibilmente integrata o esterna, encoder standard, finecorsa meccanici per calibrazione		2

Per ulteriori indicazioni circa l'unità di attuazione di ogni giunto si veda sez. 5.2, in cui descriviamo una possibile configurazione di attuazione per il manipolatore ROMAN.

4.8 PC portatili per il controllo

È richiesto all'azienda contraente l'acquisto di N° 2 pc portatili che verranno utilizzati durante il progetto per l'implementazione delle strategie di controllo. I PC dovranno avere le seguenti caratteristiche tecniche:

Tabella 6. Specifiche pc portatili per il controllo e la visualizzazione delle simulazioni

PC Portatili per controllo e VR	
Caratteristiche minime CPU	Intel 12th generazione, i9, 4.8Ghz con almeno 6 performances cores
Caratteristiche minime GPU	Nvidia GTX 3070 TI
Memoria minima	RAM - 32GB DDR5
Archiviazione minima	SSD 1TB
Caratteristiche minime display	15.6 inch - QHD 240Hz

Il pc consigliato al momento della stesura delle specifiche è il modello: **MSI Stealth GS66 12UHS-291IT**

Ulteriori modelli potranno essere valutati dall'azienda in base alle caratteristiche dei PC in commercio al momento dell'acquisto.

4.9 Materiali, lavorazioni e tolleranze

4.9.1 Requisiti sui materiali utilizzati

Qui di seguito vengono esposti i requisiti generali per la scelta dei materiali.

Col fine di dover sempre salvaguardare le superfici interne del mock-up (così come quelle della macchina), bisogna garantire che il manipolatore non rilasci liquidi o frammenti di materiale. Pertanto:

Requisito 067.

I materiali utilizzati per tutte le componenti del manipolatore devono avere una buona resistenza all'ossidazione.

Requisito 068.

Ogni tipo di lavorazione eseguita sulle componenti, deve essere completata con un processo di pulizia profonda e lucidatura. Si evita così la presenza di qualsiasi sfrido di lavorazione prima della messa in opera.

4.9.2 Requisiti di lavorazione e sulle tolleranze

Requisito 069.

La catena cinematica del manipolatore deve garantire una precisione di posizionamento nello spazio lineare di almeno 0.5 mm in tutte le direzioni e in tutte le configurazioni operative. L'azienda dovrà quindi verificare in fase di progettazione esecutiva tutta la catena di tolleranze dimensionali e geometriche. Per verificare questo assunto e verificare in fase di costruzione che i particolari meccanici rispettino le tolleranze specificate.

Requisito 070.

La catena cinematica del manipolatore deve garantire una precisione di posizionamento nello spazio angolare di almeno 1 grado in tutte le direzioni e in tutte le configurazioni operative. L'azienda dovrà quindi verificare in fase di progettazione esecutiva tutta la catena di tolleranze dimensionali e geometriche per verificare questo assunto e verificare in fase di costruzione che i particolari meccanici rispettino le tolleranze specificate.

Requisito 071.

Durante il FAT dei manipolatori l'azienda dovrà eseguire misure sull'assieme cinematico per verificarne la precisione di posizionamento lungo la catena cinematica con sistemi di motion-capture di precisione.

Requisito 072.

Il corpo principale del manipolatore deve essere realizzato con una dimensione trasversale che sia inscritta in una circonferenza di diametro $\varnothing 150 \pm 0.5\text{mm}$. Pertanto, l'azienda contraente deve garantire durante il FAT che il braccio sia in grado di entrare attraverso un foro di diametro $155\text{mm} \pm 0.5$ senza toccarne le pareti interne con nessuna delle sue parti.

4.9.3 Cuscinetti

Le tenute dei cuscinetti sia degli attuatori che dei cuscinetti aggiunti devono essere tali da garantire un grado di protezione di almeno IP65 riguardo alla possibilità di fuoriuscita di materiale lubrificante.

La progettazione e la specifica della tenuta dei cuscinetti per il braccio robotico richiedono un approccio attento per garantire il corretto funzionamento e l'affidabilità dell'intero sistema. Deve essere evitata categoricamente la fuoriuscita di qualsiasi tipo di liquido o altro tipo di sostanze.

Requisito 073.

I cuscinetti devono essere progettati per garantire una tenuta efficace per impedire la fuoriuscita di lubrificante o l'ingresso di contaminanti, nella macchina. I materiali dei cuscinetti devono essere selezionati in modo che siano compatibili con l'ambiente operativo e resistenti all'usura e alla corrosione.

Requisito 074.

Le tolleranze dimensionali dei cuscinetti devono essere specificate in modo da garantire una tenuta almeno IP65 e garantire gioco ridotto.

5 Design preliminare e analisi effettuate

In questa sezione si vogliono raccogliere tutte le analisi preliminari svolte per valutare la soluzione preliminare proposta a livello cinematico. Inoltre, vengono indicati i calcoli effettuati per attuatori e motori e alcune possibili soluzioni commerciali individuate. In dettaglio sono indicate:

1. Verifiche sulla cinematica proposta
2. Verifiche dimensionali e sui parametri di elasticità degli elementi strutturali principali
3. Verifiche sulle configurazioni delle unità di attuazione proposte
4. Verifiche di cablaggio sul manipolatore

5.1 Analisi cinematica del manipolatore nell'esecuzione del task

In questo paragrafo si discute la fattibilità di esecuzione dei task operativi imposti, sfruttando la soluzione cinematica proposta.

La prima fase delle operazioni consiste nell'approccio del manipolatore alla macchina, fase che si ritiene completata quando il braccio, inserito nella macchina attraverso la porta di accesso, posiziona il giunto J2 interamente all'interno della macchina.

In concomitanza con l'ingresso del manipolatore nella macchina si dispone l'asse del giunto (J6) sulla sezione toroidale di mezzeria in corrispondenza, sulla sezione poloidale, di uno specifico anello della macchina. Il giunto (J6) viene quindi ruotato di 90° per portare il manipolatore in una delle due configurazioni operative, caratterizzate dalla coassialità dell'asse longitudinale del robot con l'asse dei fori delle tegole. A questo punto azionando il giunto (J5) è possibile raggiungere tutte le tegole poste sull'anello, ruotando intorno all'asse della sezione poloidale e azionando il prismatico (J7); si completa così la fase di engagement della tegola. Un esempio di configurazione operativa standard è mostrato nella Figura 30.

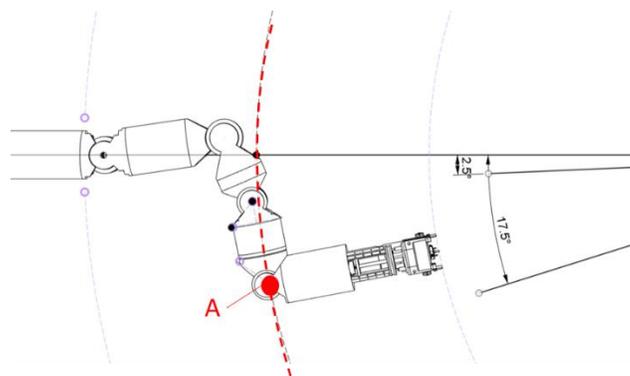


Figura 28. Traccia dell'asse J6 coincidente con l'asse toroidale di mezzeria.

Si garantisce lo spostamento intorno all'asse della sezione toroidale, mantenendo l'asse del giunto (J6) sulla sezione toroidale di mezzeria, attuando singolarmente ed in modo combinato i giunti J2, J3, J4. Attraverso l'attuazione di questi giunti si raggiungono le sezioni poloidali poste a $+2.5^\circ$, $+7.5^\circ$, $+12.5^\circ$ e $+17.5^\circ$ e -2.5° , -7.5° , -12.5° e -17.5° , che sono le posizioni angolari rispettivamente raggiungibili nella configurazione destra (vedi

Figura 29) e nella configurazione sinistra. Il giunto J5 garantisce l'ispezione e la manutenzione completa del settore poloidale (vedi Figura 30).

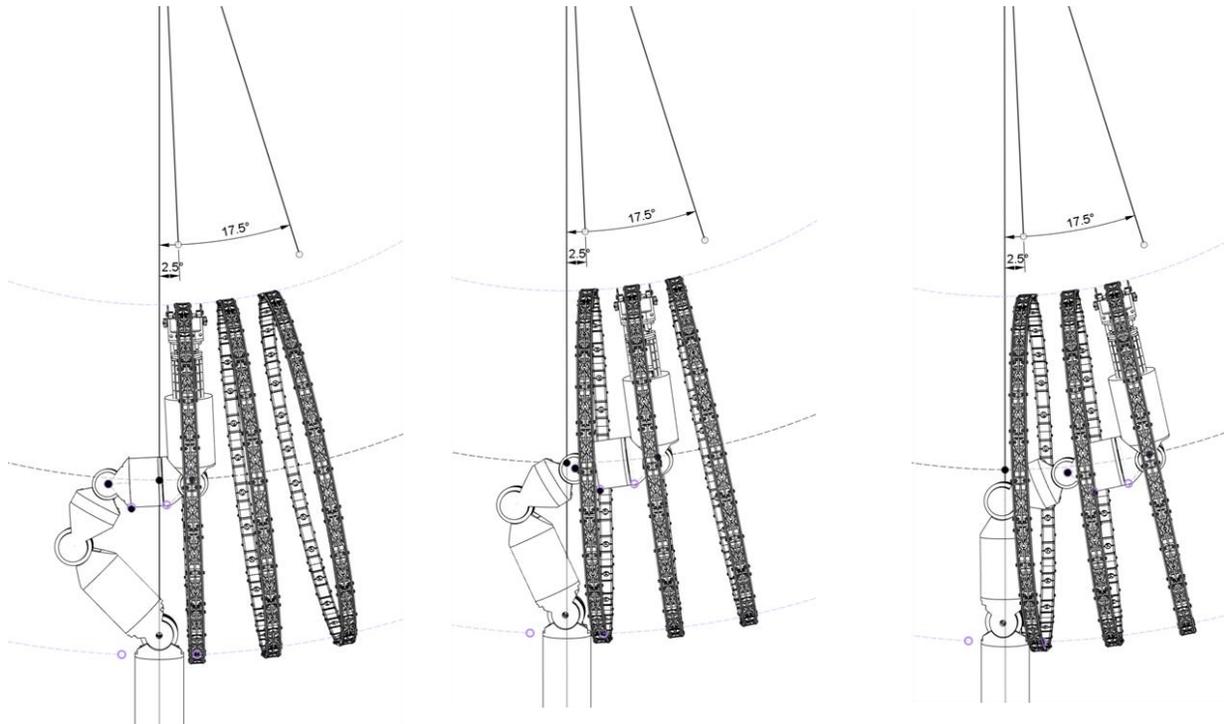


Figura 29. Traiettoria toroidale percorsa dal manipolatore durante il task di pick-and-place effettuato su tre anelli. In figura viene evidenziata la configurazione destra del manipolatore.

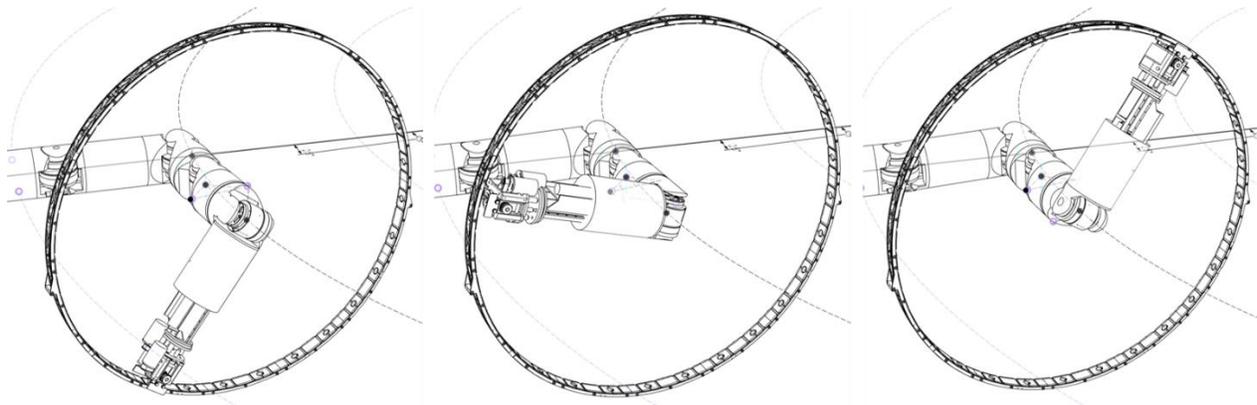


Figura 30. Traiettoria poloidale percorsa dal manipolatore per ispezione e manutenzione delle tegole sull'anello. Si noti come la rotazione intorno all'asse poloidale sia garantito dalla rotazione attorno all'asse del giunto J5

Il raggiungimento del settore poloidale posto a 30° dalla porta d'accesso, necessario per le operazioni di aggancio/sgancio tegole dal manipolatore al dispositivo di trasporto e viceversa, viene raggiunto estendendo tutto il braccio all'interno del volume toroidale, mantenendo il giunto J5 sempre incidente con l'asse toroidale, e orientando il link L7 del braccio in modo che il suo asse longitudinale sia ortogonale al dispositivo di trasporto per l'estrazione/introduzione della tegola.

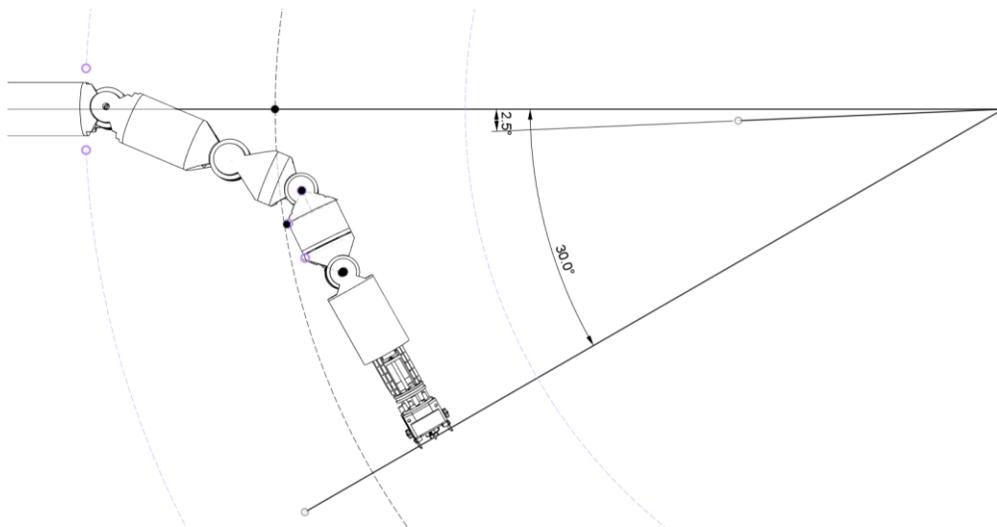


Figura 27. Configurazione per il raggiungimento del settore poloidale posto a 30° necessario all'aggancio/sgancio della tegola dal braccio trasportatore.

5.2 Analisi delle possibili configurazioni con l'integrazione di attuatori commerciali

Col fine di proporre due soluzioni verosimili per i requisiti imposti, che possano fornire un esempio pratico per la risoluzione della fase di progettazione esecutiva, si raccolgono nelle seguenti tabelle le caratteristiche di due tipi di attuatori, inseriti in due configurazioni differenti. Si lascia margine decisionale all'azienda vincitrice del bando circa la scelta degli attuatori da inserire nella catena cinematica fissata del manipolatore, purché il prodotto scelto non entri in conflitto con nessuno dei requisiti inseriti in questo documento.

A prescindere dalla soluzione scelta, così come indicato nel paragrafo 4.3, i motori non devono essere dotati di freno, ad eccezione del motore al giunto J5 (vedi 4.3.3). Questo assunto permette di frenare il giunto J5 che è l'unico che, se il giunto J6 fosse ruotato, potrebbe subire moto involontario dovuto alla gravità e che inoltre, sbloccando il giunto J6 non impedisce l'estrazione del braccio dal manipolatore anche se frenato.

Ogni motore deve essere dotato di encoder assoluto o multi-giro con batteria tampone, così che la posizione del giunto sia mantenuta anche a braccio spento. Inoltre, per aumentare il grado di sicurezza è possibile integrare nel giunto anche fine corsa meccanici e/o fine-corsa ad effetto Hall. Le analisi riportate di seguito sono a solo scopo di esempio e non rappresentano un requisito vincolante,

5.2.1 Configurazione 1 – Attuatori ZeroErr

L'azienda ZeroErr ([ZeroErr Rotary Actuator-ZeroErr Magnetic Encoder-Build Robot Fast](#)) ha a catalogo una vasta gamma di attuatori con riduttore HD ed elettronica integrati proponendo soluzioni con un elevato grado di compattezza e densità di coppia a basso costo. Ogni modello ha la possibilità di poter essere customizzato sia per quanto riguarda il fattore di riduzione sia per la scelta di elettronica, freno, tipo di protocollo di comunicazione.

Inoltre, l'azienda presenta diverse soluzioni di comunicazione, tra cui è presente anche il protocollo di comunicazione EtherCAT richiesto per questo progetto.

In questa configurazione si propone di utilizzare due tipologie di motori a corrente continua, le cui caratteristiche e la disposizione lungo il manipolatore sono indicati in tabella. La scelta dei modelli è stata effettuata tenendo conto dei requisiti indicati nel presente documento e per rispettare il requisito di ridurre il numero diverso di modelli previsto per migliorare la manutenibilità del braccio robotico.

Tabella 7. Configurazione unità di attuazione con motori ZeroErr

Giunti		COPPIE ZERO ERR (Nm)			
Nome	Tipo	Modello	Rated speed	Max average	Max momentary
J1	P	eRob90L (50:1)	33	44	127
J2	R	eRob110 V6 (100:1)	87	140	369
J3	R	eRob110 V6 (100:1)	87	140	369
J4	R	eRob90L (100:1)	52	64	191
J5	R	eRob90L (100:1)	52	64	191
J6	R	eRob90L (100:1)	52	64	191
J7	P	eRob70F (50:1)	3.7	4.8	23

Di seguito si riportano alcuni CAD concettuali della soluzione proposta riguardo al giunto J2 che risulta il giunto con maggior densità di coppia e quindi il più complesso da realizzare.

Come si evince dal disegno, e dal CAD allegato, la soluzione proposta implica l'uso dell'attuatore posto in configurazione verticale la cui flangia è connessa al link precedente mediante un connettore realizzato su CNC su disegno. Il link successivo si connette alla flangia di uscita dell'attuatore (riduttore) attraverso un ulteriore connettore. L'attuatore proposto presenta cuscinetto a rulli incrociati in uscita che già è dimensionato per resistere a carichi radiali e assiali. Tuttavia, è stato predisposto di inserire un ulteriore cuscinetto radiale al di sotto dell'attuatore in modo da distribuire le coppie dei cuscinetti dovute alle reazioni vincolari del braccio.

Altre soluzioni potrebbero essere proposte dall'azienda contraente durante la fase di progettazione esecutiva e saranno soggette a valutazione.

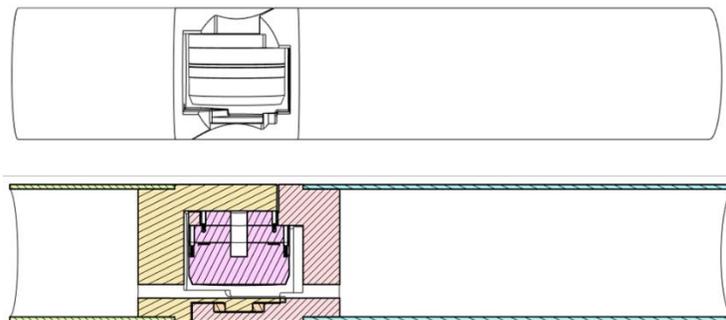


Figura 27. Vista laterale e in sezione della configurazione - 1

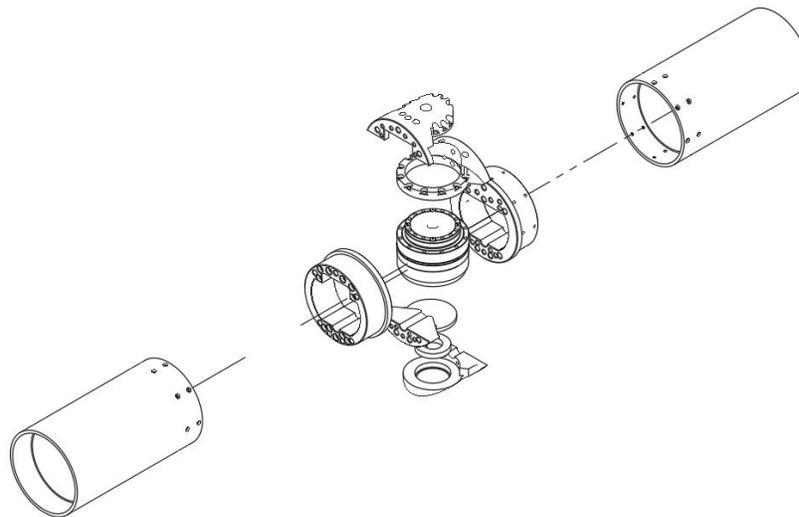


Figura 31. Vista esplosa giunto con configurazione – 1

5.2.2 Calcolo dei valori massimi di coppia da garantire per ogni giunto – Configurazione 1

Col fine di verificare il rispetto dei requisiti funzionali del manipolatore, in relazione alle sollecitazioni che questo subisce durante l'esecuzione delle operazioni di manutenzione, si sono individuate le configurazioni più critiche per ognuno dei giunti costituenti la catena cinematica del manipolatore e per il giunto prismatico solidale all'end-effector.

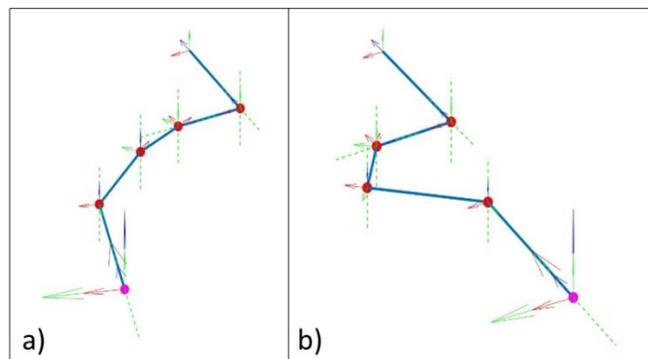


Figura 32. a) Configurazione di carico peggiore per i giunti J2, J3, J4. b) Configurazione di carico peggiore per il giunto J1

Nella Figura 32 sono mostrate le due configurazioni di carico in cui rispettivamente i giunti J2, J3, J4 (caso a) e il giunto J1 (caso b), sono sollecitati maggiormente. In queste configurazioni sono state calcolate le coppie esplicitate ai giunti, scaturite dalle reazioni vincolari determinate a loro volta da uno sforzo di 150 N esercitato dal manipolatore sulla tegola (per le operazioni di montaggio e di smontaggio), quindi in direzione assiale.

Tabella 8. Dati relativi alle coppie massime esplicate ai giunti e dati di targa dei motori scelti nella configurazione proposta N.1, per le unità di attuazione del braccio.

VALORI DEL MODELLO SIMULATO						COPPIE ZERO ERR (Nm)				
Nam e	Typ e	Lead screw	Model force	Model torques	Max torque config	Rated speed	Coppia media garantita	Coppia massima momentanea	Model	Safety factor
J1	P	0.02	149.9	0.95477707	[0,51,-86,-53,0,0,90,0]	33	44	127	eRob90L (50:1)	46
J2	R			108	[-,-33,-16,-23,0,90,0]	87	140	369	eRob110 V6 (100:1)	1
J3	R			66	[-,-33,-16,-23,0,90,0]	87	140	369	eRob110 V6 (100:1)	2
J4	R			37	[-,-33,-16,-23,0,90,0]	52	64	191	eRob90L (100:1)	1
J5	R			20	[-,-,-,-,90,0,0,6]	52	64	191	eRob90L (100:1)	3
J6	R			20	[-,-,-,-,90,0,0,6]	52	64	191	eRob90L (100:1)	3
J7	P	0.005	150	0.238694268	sgancio chiavetta	3.7	4.8	23	eRob70F (50:1)	20

Nella

Tabella 8 sono stati raccolti i dati di targa dei motori che si è proposto di utilizzare nella configurazione - 1.

Nella colonna “**Max torque config**” sono riportati i valori angolari in gradi d’arco delle rotazioni dei giunti rotoidali (J2, J3, J4, J5, J6), e i valori in metri degli spostamenti dei due giunti prismatici (J1, J2). Nella colonna “**Model torques**” sono riportate le coppie esplicate ai giunti calcolate in ambiente simulativo Matlab®.

Alcuni attuatori presentano un fattore di sicurezza molto alto, principalmente per quanto riguarda i giunti prismatici. Questo perché si è scelto di utilizzare, in questa configurazione, anche per i giunti prismatici un attuatore della stessa tipologia e dimensione degli altri giunti. Proposte differenti possono essere indicate dall’azienda contraente a patto che rispettino i requisiti principali riguardo l’utilizzo di attuatori simili, con lo stesso protocollo di comunicazione e alla riduzione del numero diverso di attuatori. Come si evince dalla tabella nessuno dei valori di coppia calcolati supera il valore di targa dei motori indicati nella colonna “**Max average**”, pertanto la configurazione – 1, può essere considerata valida come soluzione per l’attuazione del manipolatore, dato che riesce a garantire coppie di attuazione maggiori o uguali a quelle richieste dalle configurazioni di carico analizzate e individuate come le configurazioni a massima sollecitazione per i giunti.

5.2.3 Configurazione 2 – Tuaka

L’azienda Sumitomo Drive (TUAKA® - precision actuator (Drive) (sumitomodrive.com)) ha a catalogo una gamma di attuatori con riduttore Cyclo Drive ed elettronica integrata proponendo soluzioni con un elevato grado di compattezza e densità di coppia a basso costo. Ogni modello ha la possibilità di poter essere customizzato sia per quanto riguarda il fattore di riduzione sia per la scelta di elettronica, freno, tipo di protocollo di comunicazione.

Inoltre, l’azienda presenta la possibilità di integrare un controllore molto avanzato con comunicazione EtherCAT che garantisce anche lo standard di sicurezza SIL 3.

A differenza di ZeroErr al momento della stesura del presente documento l'azienda propone solo due taglie di attuatore, personalizzabili per fattore di riduzione, freno ed elettronica. Tuttavia, da analisi preliminari effettuate, le due taglie hanno valori di targa in linea con le specifiche del manipolatore proposto

In questa configurazione si propone di utilizzare due tipologie di motori DC, le cui caratteristiche e la disposizione lungo il manipolatore sono indicati in tabella.

Tabella 9. Caratteristiche e disposizione dei motori Tuaka

Giunti		COPPIE TUAKA (Nm)		
Nome	Tipo	Modello	Rated speed	Max average
J1	P	203	31	70
J2	R	107	67	157
J3	R	107	67	157
J4	R	203	31	70
J5	R	203	31	70
J6	R	203	31	70
J7	P	203	31	70

A differenza del prodotto proposto nella prima configurazione, i motori Tuaka garantirebbero una maggiore modularità in quanto è possibile acquistare una soluzione con motore, riduttore, encoder (TUAKA SERVO) integrati, montando quindi l'elettronica, che può essere fornita a parte e scollegata, all'interno del cilindro del link. Questo approccio può essere preso in considerazione per i giunti che richiedono una maggior densità di coppia (J2, J3). Tuttavia un'analisi preliminare effettuata, come riportato in Figura 33, dimostra che anche la configurazione con elettronica integrata dell'attuatore di taglia più grande (107) permetterebbe di essere iscritto nel cilindro del manipolatore (150mm) a patto di posizionare il cuscinetto radiale inferiore del giunto non al di sotto del giunto stesso, come nella configurazione ZeroErr ma intorno all'attuatore inglobando l'attuatore stesso, che, rispetto alla soluzione ZeroErr risulta di diametro inferiore, all'interno di un cilindro facente parte del connettore del link precedente.

Un CAD concettuale di questa soluzione è allegato con il presente documento.

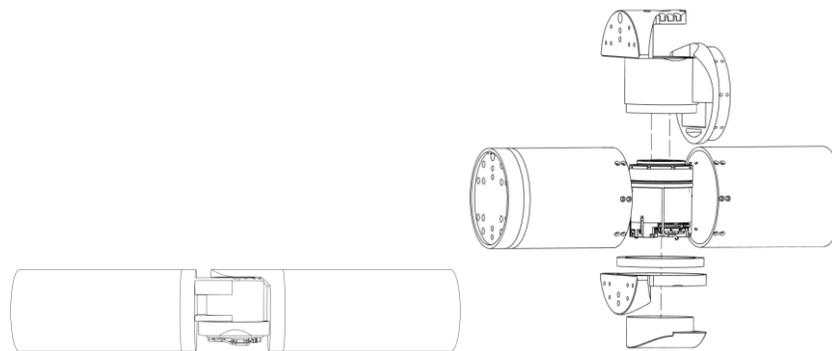


Figura 33. Vista esplosa giunto con configurazione – 2

5.2.4 Calcolo dei valori massimi di coppia da garantire per ogni giunto – Configurazione 2

Tabella 10. Dati relativi alle coppie massime esplicitate ai giunti per la configurazione proposta N.2.

COPPIE TUAKA (Nm)									
Name	Type	Lead screw	Model force	Model torques	Max torque config	Rated speed	Max average	Model	Safety factor
J1	P	0.02	149.9	0.95477707	[0,51,-86,-53,0,0,90,0]	31	70	203	73
J2	R			108	[-, -33, -16, -23 , 0, 90, 0]	67	157	107	1
J3	R			66	[-, -33, -16, -23 , 0, 90, 0]	67	157	107	2
J4	R			37	[-, -33, -16, -23 , 0, 90, 0]	31	70	203	1
J5	R			20	[---,---,90,0,0,06]	31	70	203	3.5
J6	R			20	[---,---,90,0,0,0,06]	31	70	203	3.5
J7	P	0.005	150	0.238694268	sgancio chiavetta	31	70	203	293

Nella Tabella 10 sono stati raccolti i dati di targa dei motori che si è proposto di utilizzare nella **configurazione – 2**. Nella colonna **“Max torque config”** sono riportati i valori angolari in gradi d’arco delle rotazioni dei giunti rotoidali (J2, J3, J4, J5, J6), e i valori in metri degli spostamenti dei due giunti prismatici (J1, J2). Nella colonna **“Model torques”** sono riportate le coppie esplicitate ai giunti calcolate in ambiente Matlab®.

Alcuni attuatori presentano un fattore di sicurezza molto alto, principalmente per quanto riguarda i giunti prismatici. Questo perché si è scelto di utilizzare, in questa configurazione, anche per i giunti prismatici un attuatore della stessa tipologia e dimensione degli altri giunti.

Rispetto alla soluzione ZeroErr in questa soluzione questa discrepanza è più evidente in quanto Sumitomo presenta solo due taglie di attuatori che sono estremamente sovradimensionate per i giunti J1 e J7; Tuttavia, per gli altri giunti la densità di coppia è leggermente migliore della soluzione ZeroErr.

Proposte differenti possono essere indicate dall'azienda contraente a patto che rispettino i requisiti principali riguardo l'utilizzo di attuatori simili, con lo stesso protocollo di comunicazione e alla riduzione del numero diverso di attuatori.

Come si evince dalla tabella nessuno dei valori di coppia calcolati supera il valore di targa dei motori indicati nella colonna "**Max average**", pertanto la configurazione – 2, può essere considerata valida come soluzione per l'attuazione del manipolatore, dato che riesce a garantire coppie di attuazione maggiori o uguali a quelle richieste dalle configurazioni di carico analizzate e individuate come le configurazioni a massima sollecitazione per i giunti.

5.3 Analisi della configurazione proposta per l'unità di attuazione dell'end-effector

Tenendo presente le considerazioni fatte in merito all'end-effector nel paragrafo 4.5, si necessita l'integrazione di due motori a corrente continua che rispettino i requisiti indicati nel paragrafo 4.3.

Col fine di proporre una soluzione coerente con i requisiti imposti, che possa fornire un esempio pratico per la risoluzione della fase di progettazione esecutiva, si raccolgono nella seguente tabella le caratteristiche di un attuatore commerciale, lasciando margine decisionale all'azienda vincitrice del bando circa la scelta degli attuatori da inserire nell'unità di attuazione dell'end-effector, purché il prodotto scelto non entri in conflitto con nessuno dei requisiti inseriti in questo documento.

Combinazione motore – riduttore – encoder MAXON motors:

Tabella 11. Modello motore utilizzato nella configurazione: ECXSP19M BL KL A STD 48V + GPX22 LZ 243:1 + ENX 19 EASY

Configurazione motoriduttore end-effector: Maxon motors		
Caratteristica	Valore	Unità di misura
Tensione nominale	48	[V]
Rapporto di riduzione	243:1	
Velocità	20	Rpm
Coppia massima continuativa	0.61	Nm
Coppia massima continuativa (R)	1.5	Nm

Si propone di utilizzare un controllore **EPOS4 CB 24/1.5 EtherCAT** per ogni motore, da collocare all'interno del link L7.

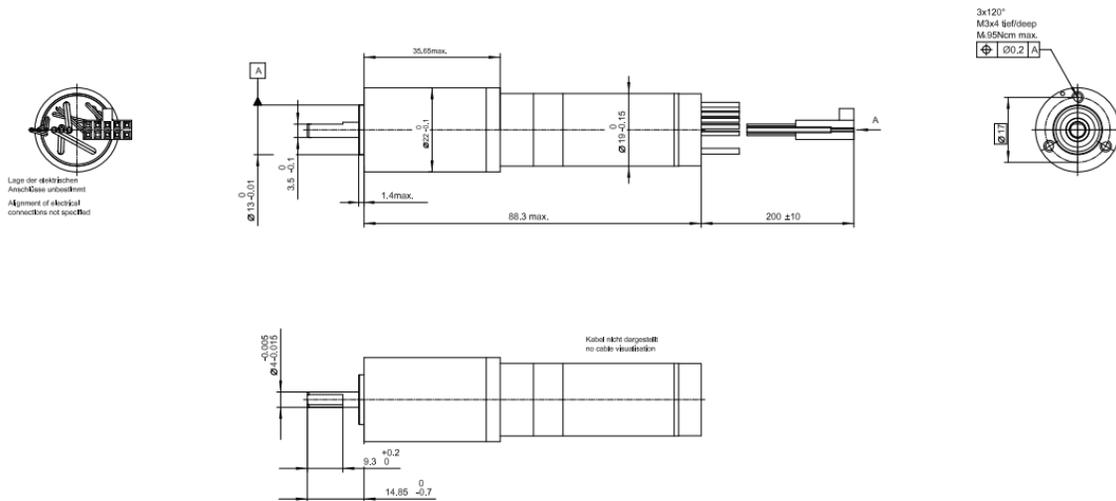


Figura 34. Dimensioni motore Maxon.

Considerato che i due meccanismi devono essere attuati da due motori indipendenti i cui valori di coppia sono definiti nella sezione 4.5 si propone quindi una verifica preliminare delle coppie garantite dagli attuatori commerciali proposti, a cui deve seguire un'analisi più approfondita e dettagliata che è da considerarsi oggetto della progettazione esecutiva.

L'analisi (da descrivere in modo dettagliato) deve considerarsi essenziale in ambito della progettazione esecutiva per la scelta dell'unità di attuazione (vedi definizione in 4.3) dell'end-effector, a prescindere se si vuole perseguire o meno, la proposta d'integrazione dei motori descritti in questo paragrafo. Pertanto, questo tipo di verifica non deve essere considerata sufficiente per la scelta dei motori proposti.

5.3.1 Calcolo delle coppie minime necessarie per l'unità di attuazione della chiave

La catena cinematica del meccanismo relativo alla chiave dell'end-effector è costituita da:

- Motore a corrente continua
- Riduttore
- Trasmissione a cinghia dentata
- Pulegge

La coppia nominale che il motoriduttore deve garantire per ruotare la chiave (e la chavetta della tegola all'interno del locking-bush) di 90° è di 1Nm, valore considerato sull'asse della chiave. Considerando la riduzione indotta dalle pulegge (disposte secondo lo schema in Figura 35) caratterizzate da 10 e 24 denti (nella configurazione attuale), si ha un fattore di riduzione di 2.4, e di conseguenza la coppia nominale che deve garantire il motoriduttore è di **0.41Nm**, come indicato in 4.5.4. Tenendo presente che la rotazione deve avvenire in circa 5 s (0.05 rpm), considerata nuovamente la riduzione pari a un fattore di 2.4, il motoriduttore deve ruotare ad una velocità minima di **0.12 rpm**.

Nella configurazione precedente, veniva richiesto al motore una coppia $c_{RM} = 0.46 Nm$, che veniva garantita da un motore che esprimeva all'asse una coppia di $c_M = 0.55 Nm$ con una velocità di 7.6 rpm.

Utilizzando un motore Maxon indicato in Figura 34, si garantisce un valore di coppia adeguato con un ingombro notevolmente minore (tutto compreso nella dimensione longitudinale dell'end-effector, vedi Figura 35) e con la possibilità di avere una densità di coppia maggiore rispetto alla configurazione precedentemente proposta e adottata da RFX.

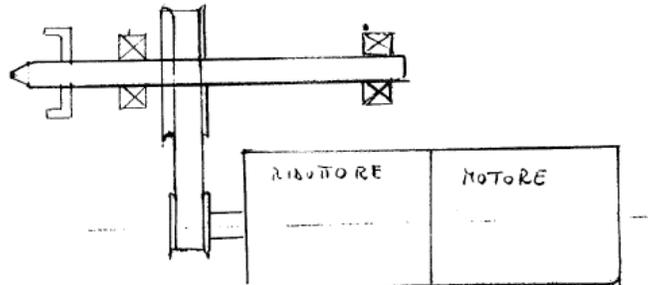


Figura 35. Schema cinematismo chiave.

5.3.2 Calcolo delle coppie minime necessarie per l'unità di attuazione del gripper

La catena cinematica del meccanismo relativo alla chiave dell'end-effector è costituita da:

- Motore a corrente continua
- Riduttore (integrato)
- Trasmissione a cinghia dentata
- Pulegge
- Camma

Come indicato nel paragrafo 4.5.2, la rotazione della camma realizza lo spostamento verticale delle dita della pinza, vincendo sia le forze di attrito nel fulcro di rotazione delle dita, sia la reazione vincolare delle molle che determinano la forza di serraggio sulle tegole.

Supposto che lo spostamento verticale del profilo estremo della pinza sia di 2.5 mm, così da evitare l'interferenza con le tegole, ed insidiarsi tra le tasche di due di queste, la rotazione corrispondente della camma è di 90° di corsa, da effettuare in meno di 5 s.

Dai dati in nostro possesso la forza necessaria per comprimere la molla e quindi far aprire la pinza è di 168 N; considerato che l'asse della molla sta a 36 mm dal fulcro di rotazione, la forza che la camma deve esercitare sulle dita della pinza, nel punto indicato nello schema, per superare la reazione della molla, considerato che il punto di applicazione della forza si trova a 16 mm dal fulcro, è di 378 N. La coppia che la camma deve esercitare per sollevare le dita della pinza è di $c_{camma} = 0.135 Nm$.

Nella soluzione precedente veniva sfruttato un motore che garantiva una $c_{camma} = 1.18 Nm$ a partire da una coppia disponibile all'asse del motore di $c_M = 55 Ncm$, con una velocità di 7.6 rpm.

Utilizzando un motore Maxon indicato in Figura 34, si garantisce un valore di coppia adeguato con un ingombro notevolmente minore (tutto compreso nella dimensione longitudinale dell'end-effector, vedi Figura 36) e con la possibilità di avere una densità di coppia maggiore rispetto alla configurazione precedentemente proposta e adottata da RFX.

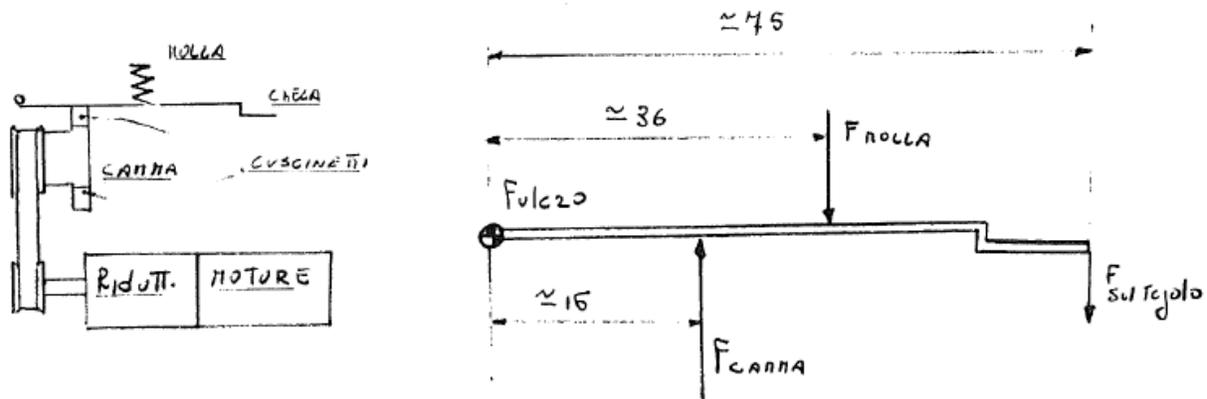


Figura 36. Schema cinematismo pinza.

5.4 Analisi di cablaggio componenti sul manipolatore

Qui di seguito viene specificato l'analisi preliminare del percorso dei cavi all'interno del manipolatore supponendo di voler utilizzare le due configurazioni di attuazione del braccio descritte in Analisi delle possibili configurazioni con l'integrazione di attuatori commerciali 5.2.

I cavi di alimentazione e di segnale del giunto J1 corrispondente all'attuazione lineare della slitta passeranno all'interno di un'apposita catena passa-cavi, di modo che questi possano accompagnare il movimento lineare senza generare coppie resistenti o danneggiarsi per trazione.

Nella configurazione - 1, con i motori ZeroErr, non tutti i motori sono dotati di foro centrale. Per questo motivo i cavi di questi motori (che sono i motori posti ai giunti J2 e J3) potranno essere fatti passare nella parte inferiore del motore, per poi poter essere inseriti nei fori appositi realizzati nei connettori meccanici; attraverso questi i cavi arrivano al motore successivo (collegamento daisy-chain vedi paragrafo 4.3) per poi essere di nuovo inseriti nell'apposito foro, realizzato nel connettore meccanico.

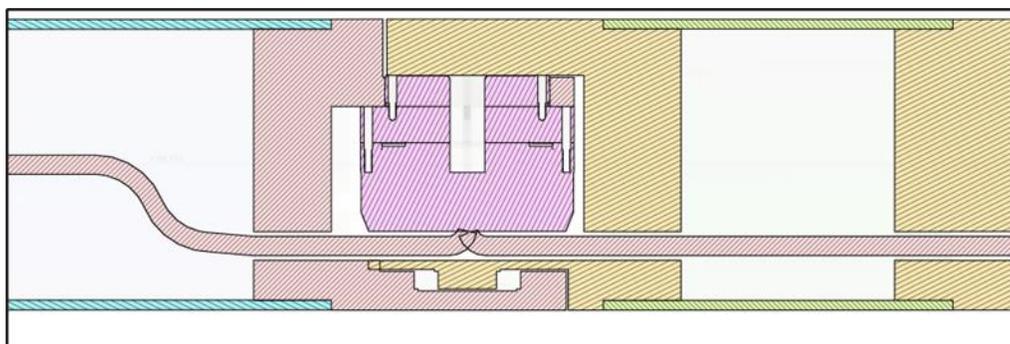


Figura 37. Passaggio cavi al di sotto del motore. Questa procedura è obbligatoria qualora il motore non presentasse il foro centrale per il passaggio dei cavi.

Attraverso queste canaline, si fanno arrivare i cavi fino al motore del giunto J4 che è dotato di foro centrale; a questo punto i cavi di segnale e di potenza, passando per il foro centrale, vengono canalizzati all'interno della successiva guida all'interno del connettore meccanico, per arrivare al motore posto al giunto J5, che vede il suo asse orientato longitudinalmente. Anche il motore considerato al giunto J5, così come il motore al giunto J6 e J7, prevede il passaggio dei cavi all'interno del foro centrale.

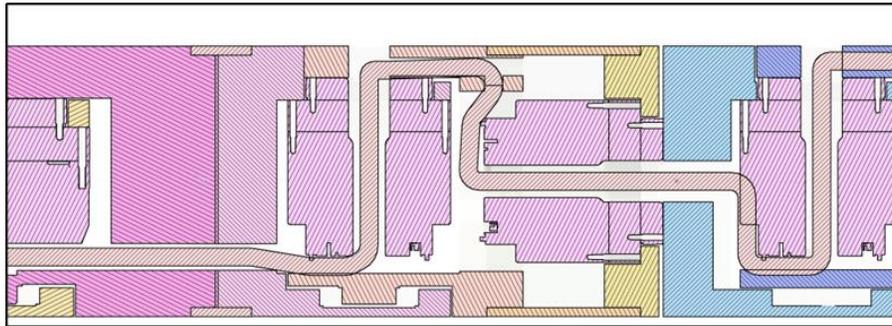


Figura 38. Passaggio cavi all'interno del foro centrale dell'attuatore. Questo tipo di soluzione è applicabile a tutti i motori TUAKA della configurazione – 2 proposta dal committente; mentre non è valida per i motori posti ai giunti J2 e J3 della configurazione – 1 proposta dal committente

Nella configurazione – 2 con i motori Tuaka tutti i modelli scelti e proposti permettono il passaggio dei cavi per il foro centrale del motore. Questo tipo di soluzione viene proposta tenendo conto che:

1. Tutto l'ingombro dei cavi deve essere contenuto in un diametro di 150 mm
2. Bisogna garantire che il valore di coppia resistente generato dai cavi su ogni giunto sia inferiore del 5%.
3. Bisogna garantire che i cavi abbiano un ciclo di vita utile pari a 100.000 cicli.

In Figura 39 si mostra la configurazione del passaggio dei cavi all'interno del manipolatore ROMAN con design e attuatori proposti nella configurazione – 1.

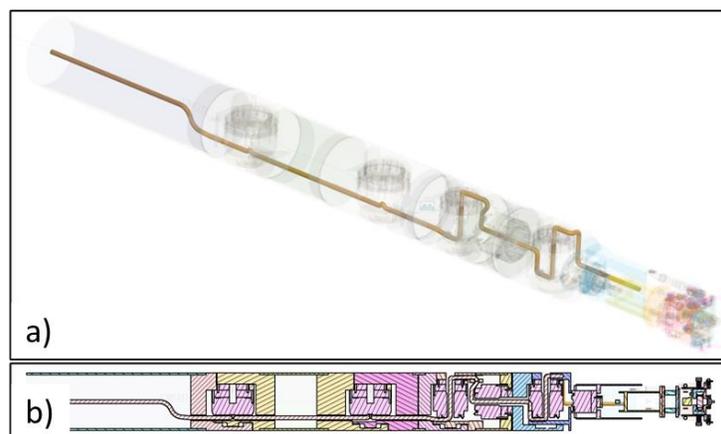


Figura 39. Passaggio cavi nel manipolatore. Prospetto generale dei canali dedicati al passaggio cavi all'interno del manipolatore ROMAN.

6 Documentazione in uscita richiesta all'azienda contraente

Si ritiene oggetto del bando di gara, la produzione e la consegna dei seguenti documenti, che devono essere considerati parte integrante della progettazione esecutiva del braccio manipolatore articolato seriale:

1. Modello CAD dettagliato di ogni singola componente costitutiva del braccio manipolatore e il modello CAD del complessivo. I modelli forniti devono essere "as-built". Questi disegni devono contenere tutte le eventuali modifiche risultanti dalle attività di assemblaggio fino al trasporto al Sito. Tutti i disegni devono essere realizzati secondo gli standard Europei ed essere in formato elettronico riproducibile come copia fisica. I formati richiesti sono:
 - a. 2D : Portable Document Format (PDF)
 - b. 3D: formati universali quali .step o .iges sono suggeriti. Il costruttore potrebbe concordare con UNINA formati diversi se richiesto.

Le messe in tavola 2D devono avere:

- a. Nome del fornitore e logo
 - b. Numero parte
 - c. Titolo
 - d. Descrizione componente
2. Bill of materials (BOM) dettagliato di tutti i componenti costituenti il braccio manipolatore
 3. Schema elettrico del braccio manipolatore e del quadro di alimentazione
 4. Documento di analisi cinematica del manipolatore, in cui viene documentata la fattibilità da parte del manipolatore realizzato, di eseguire e completare ogni operazione descritta in questo documento.
 5. Documento di analisi FEM (Metodo degli Elementi Finiti), in cui viene documentata la caratteristica elastica del manipolatore. In questo documento deve essere riportato:
 - a. Lo scostamento massimo lineare del manipolatore in corrispondenza della punta dello stesso e di ogni suo giunto in condizioni statiche dinamiche.
 - b. Lo scostamento massimo angolare del manipolatore in corrispondenza della punta dello stesso e di ogni suo giunto in condizioni statiche dinamiche.
 - c. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni link dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.
 - d. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni giunto dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.
 - e. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni connettore meccanico dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.
 - f. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni attuatore dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.
 - g. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni cuscinetto dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.
 6. Documento di analisi delle tolleranze dimensionali di ogni componente d'interfaccia e di connessione del manipolatore

7. Documento di analisi delle interferenze, delle collisioni con la macchina e delle auto collisioni relative al cinematismo del manipolatore
8. Documento di analisi dinamica del manipolatore in condizione di moto e di interazione con l'ambiente, documentando:
 - a. Scostamenti lineare della punta dovuti ai carichi inerziali, gravità e interazione con l'ambiente del braccio, in corrispondenza dell'attuazione dello stesso per il completamento delle operazioni di lavoro
 - b. Scostamenti angolari della punta dovuti ai carichi inerziali, gravità e interazione con l'ambiente del braccio, in corrispondenza dell'attuazione dello stesso per il completamento delle operazioni di lavoro
 - c. Ampiezza massima delle oscillazioni della punta del manipolatore determinata dall'attuazione di ogni singolo motore a velocità nominale di lavoro
 - d. Ampiezza media delle oscillazioni della punta del manipolatore determinata dall'attuazione di ogni singolo motore a velocità nominale di lavoro.
 - e. Ampiezza massima delle oscillazioni della punta del manipolatore determinata dall'attuazione di ogni singolo motore a velocità massima.
 - f. Ampiezza media delle oscillazioni della punta del manipolatore determinata dall'attuazione di ogni singolo motore a velocità massima.
 - g. Determinazione della velocità corretta di lavoro, per ottenere un'ampiezza di oscillazione trascurabile
 - h. Determinazione della velocità massima di sicurezza.
9. Documento di test e collaudo finale

7 Test di accettazione in azienda FAT

In tabella sono indicati i test da eseguire per la validazione della fornitura dei due manipolatori seriali (ROMAN-NA e ROMAN-PD). Vengono specificati quali di questi devono essere eseguiti in azienda a valle della produzione, e quali devono essere eseguiti sui siti della facility, una volta che questi sono stati consegnati.

Tabella 12. Test da eseguire in Azienda

Descrizione	Sezione	FAT	SAT
Ispezione visive	7.2	FAT.01	SAT.01
Ispezione dimensionale	7.3	FAT.02	SAT.02
Ispezione delle saldature	7.4	FAT.03	-
Ispezione isolamento elettrico	7.5	FAT.04	SAT.03
Ispezione delle caratteristiche statiche	7.6	FAT.05	-
Ispezione dell'assemblaggio delle componenti	7.7	FAT.06	SAT.04
Ispezione dell'assemblaggio al Mock-up	7.8	FAT.07	SAT.05
Ispezione funzionale	7.9	FAT.08	SAT.06

I test devono essere eseguiti in una zona diversa dall'area di produzione, dopo che ogni componente è stata opportunamente pulito. Ogni componente del braccio manipolatore prodotto va infatti lavato ed eventualmente lucidato, e su ognuno di questi vanno eseguiti i test indicati di seguito:

1. Ispezione visiva
2. Ispezione delle saldature (se necessario)
3. Ispezione dimensionale

Il Contraente è raccomandato di eseguire quanti più test ulteriori ritiene necessario, di modo da garantire il raggiungimento dei requisiti di progetto.

Inoltre, viene richiesto che a valle della realizzazione dei sottosistemi e dell'assemblaggio del sistema FARHA-ONE, vengano effettuate analisi sullo stesso al fine di verificare:

- La robustezza del collegamento tra il **manipolatore e il mock-up**, garantito dalla piastra di orientamento (vedi sez. 4.4.1)
- La coassialità tra gli assi di cui nella sez. 4;
- L'assenza di interferenze tra il manipolatore e la porta d'accesso

- La cinematica del manipolatore

7.1 Indicazioni generali per i Test di accettazione in azienda (FAT)

Prima di eseguire ognuno dei test indicati, il Contraente deve richiedere ad UniNA l'approvazione del piano di test, in cui deve essere indicato.

1. Obiettivo del test;
2. Componente/i oggetto del test;
3. Specifiche del test e procedure che s'intende seguire facendo riferimento ai requisiti e alle immagini di questo documento di specifiche;
4. Condizioni al contorno stabilite per il test;
5. Descrizione formale e/o schema del set-up meccanico concepito per l'esecuzione del test;
6. Documentazione prevista/dati da registrare che devono includere come minimo:
 - tutti i parametri procedurali, dell'attrezzatura e di calibrazione necessari per fornire una base di confronto con esami successivi;
 - un disegno o schizzo contrassegnato che indica la saldatura, la parte o l'assemblaggio esaminato, il numero di identificazione dell'oggetto o della parte, i punti di riferimento e le convenzioni di coordinate utilizzate per la posizione e altre informazioni di identificazione necessarie. È consigliato anche fare riferimento ai nomi delle componenti del modello CAD fornito.

Tutti i piani di prova saranno inclusi nei documenti di "Piano di Prova di Assemblaggio in Fabbrica e Accettazione" (FAT) e nel "Piano di Prova di Assemblaggio in Sito e Accettazione" (SAT).

Dopo l'esecuzione di ciascuna prova, l'intero set di risultati ottenuti viene confrontato con i valori di accettazione, ai record, ai certificati e alle curve di performance e sarà raccolto in un rapporto di prova insieme alla dichiarazione finale di risultato positivo o negativo (non conformità) sulla base dei difetti o delle anomalie rilevate.

Tutti i rapporti di prova saranno inclusi nel **Rapporto Tecnico Finale**.

Il Contraente eseguirà le prove SOLO dopo l'approvazione della procedura di prova da parte di UniNA e SOLO se UniNA o i suoi rappresentanti sono stati informati sulle prove in conformità con quanto concordato.

Tutte le attività per le prove saranno svolte da personale qualificato e certificato ai livelli 2 e 3 in conformità con la norma EN ISO 9712 e ANSI/NETA ETT "Standard for Certification of Electrical Testing Technicians" o altre norme o schemi di certificazione riconosciuti equivalenti.

Queste attività di prova comprenderanno:

1. Impostazione e verifica dell'attrezzatura;
2. Esecuzione e supervisione delle prove;
3. Interpretazione e valutazione dei risultati;

4. Esecuzione dei metodi di prova;
5. Designazione dei particolari metodi di prova, procedure ed istruzioni di prova da utilizzare.

Le procedure e le istruzioni di prova saranno sviluppate dal Contraente e approvate da UniNA prima che possa iniziare qualsiasi prova. Il Contraente fornirà tutta l'attrezzatura di prova, strumentazione di misura e registrazione e personale qualificato. L'attrezzatura di misura dovrà essere dimostrata essere stata recentemente calibrata. Il Contraente testerà tutti gli assiami, tutti i sottoassiami e tutte le componenti all'interno dell'Area Pulita, assicurandosi di aver pulito tutto ciò che verrà testato. Se le condizioni atmosferiche non sono indicate come requisito di prova, la temperatura ambiente e l'umidità saranno registrate e documentate nel rapporto di prova.

Il committente supervisionerà le fasi del FAT, tramite l'intervento di un suo delegato.

Le pratiche di sicurezza consigliate per quanto riguarda i pericoli elettrici per tutto il personale che si occupa di applicazioni ad alta tensione e misurazioni sono fornite nello standard IEEE Std 510-1983 "IEEE Recommended Practices for Safety in High Voltage and High Power Testing".

Il fallimento della prova sarà registrato come non conformità del componente/sottoinsieme alla specifica tecnica e tempestivamente comunicato a UniNA. La non-conformità del componente o del sottoinsieme è diretta conseguenza del non raggiungimento del requisito di progetto per la cui verifica di raggiungimento viene imbastito il test. Dopo l'aggiustamento, la modifica o la riparazione concordata con UniNA ed eseguita dal Contraente, il Contraente sottoporrà il componente a ripetizione dell'ispezione e/o delle prove. Nel caso di non approvazione, quindi di una non conformità importante o se il componente fallisce nuovamente durante la prova senza ottenere le prestazioni richieste, il Contraente eseguirà la produzione di un nuovo sottoinsieme o del componente individuato come difettoso o non conforme ai requisiti di progetto.

Come gestione normale delle non conformità, l'intero costo della completa ripetizione della prova sarà a carico del Contraente.

7.2 Ispezione visiva

Il Controllo Visivo (VT) deve essere effettuato sull'intera superficie del FARHA-ONE, seguendo le linee guida della norma ISO 20890-4 come requisiti di ispezione sotto forma di:

- Controllo visivo generale (panoramica in conformità con la Sezione 3.8 della norma ISO 20890-4): ispezione visiva su aree del componente per osservarne lo stato generale, l'integrità e lo stato di degradazione, oppure
- Controllo visivo selettivo (proprietà specifiche in conformità con la Sezione 3.9 della norma ISO 20890-4): ispezione visiva locale per il riconoscimento univoco di proprietà specifiche con registrazione dello stato delle parti, componenti o superfici da esaminare in relazione a crepe, usura, corrosione, erosione o danni meccanici sulla superficie delle parti o dei componenti.

I test visivi devono essere condotti su aree di prova specifiche. Il Contraente deve definire le aree di prova rappresentative di tutte le parti, componenti o superfici della FARHA-ONE e presentarle a UniNA per l'approvazione. Lo stato effettivo delle aree di prova deve essere registrato in confronto allo stato obiettivo atteso.

Le deviazioni dallo stato obiettivo devono essere documentate come indicazioni evidenti. Le deviazioni dallo stato atteso possono essere ad esempio:

- Non coassialità con il foro d'accesso;
- Scostamento verticale iniziale oltre il limite di progetto;
- Gioco nei giunti.
- Modifiche superficiali;
- Separazioni di materiali;
- Danni meccanici;
- Corrosione, erosione, usura;
- Difetti evidenti ai giunti a vite;
- Difetti evidenti ai giunti di punti di misura e linee;
- Spostamento di componenti;
- Parti allentate o smarrite;
- Cavi danneggiati o oltre l'ingombro del manipolatore;
- Depositi o corpi estranei.

Le indicazioni evidenti rilevate durante un controllo visivo generale devono essere esaminate e valutate tramite un controllo visivo selettivo. Il risultato del controllo visivo selettivo deve essere documentato secondo quanto proposto dal Contraente e approvato da UniNA.

Se vengono rilevati difetti evidenti, ne deve essere determinata e documentata la posizione, l'aspetto e, se possibile, la dimensione nel rapporto di prova.

Si applicano anche le linee guida e i requisiti delle seguenti norme: EN 1330-10, EN 13018, EN 13927.

In base all'accessibilità e al grado di dettaglio richiesto, deve essere utilizzato il controllo visivo diretto o remoto, quest'ultimo potendo essere effettuato come controllo visivo meccanizzato.

Il Contraente deve sviluppare le procedure di VT e presentarle a UniNA per l'approvazione prima che possa iniziare qualsiasi VT. Le ispezioni visive devono essere effettuate:

- a. Sia prima che dopo la pulizia;
- b. Sia prima che dopo le operazioni di assemblaggio;

I risultati registrati del VT devono essere riportati dal Contraente nel Rapporto di Ispezione Visiva in Fabbrica da includere nel Rapporto di Accettazione e Assemblaggio in Fabbrica.

In caso di VT remoto, l'attrezzatura utilizzata deve essere calibrata e controllata, e i rapporti di questi controlli devono essere consegnati ad UniNA, prima della richiesta di approvazione dell'esecuzione dei test.

7.3 Ispezione dimensionale

Le tolleranze (dimensionali e geometriche) specificate nella progettazione esecutiva, devono essere rispettate dal Contraente. Le dimensioni e le tolleranze specificate nei disegni esecutivi devono essere soddisfatte nella fase finale della fabbricazione. Queste tolleranze finali definiscono i criteri di accettazione per le ispezioni dimensionali, e vanno presentate nel documento di progettazione esecutiva e approvate da UniNA.

Le ispezioni dimensionali devono essere effettuate utilizzando un sistema di metrologia 3D con i componenti disposti in condizioni rilevanti per l'assemblaggio.

Le ispezioni dimensionali vanno effettuate ad una temperatura di 293 K (± 2 K).

Salvo diversa indicazione, si applicano le tolleranze generali specificate nei disegni della progettazione esecutiva in conformità con la norma EN ISO 22081.

Il Contraente deve sviluppare i disegni di produzione e realizzare le parti del FARHA-ONE con tolleranze individuali adeguate che siano coerenti con le tolleranze finali (tolleranze nella fase finale della fabbricazione). La catena dimensionale con tolleranze dell'intero insieme deve essere sviluppata dal Contraente considerando le incertezze durante la produzione e l'assemblaggio delle parti, compresi gli effetti delle distorsioni dovute alla saldatura (se presenti).

Le coordinate delle caratteristiche geometriche devono essere misurate con laser tracker o fotogrammetria come sistemi di misurazione tridimensionale (3D). Macchine di misurazione a coordinate tridimensionali come bracci articolati e macchine a ponte possono integrare le misurazioni.

Tutte le attrezzature metrologiche utilizzate per l'allineamento e le attività metrologiche devono essere calibrate e controllate. L'attrezzatura selezionata dal Contraente deve essere idonea per i requisiti del processo di misurazione considerando: incertezza di misura, velocità di acquisizione dei dati, geometria di misurazione, condizioni ambientali locali.

L'incertezza di misura deve essere calcolata per tutte le misurazioni riportate, con un valore d'incertezza che non deve superare il 15% della tolleranza applicabile alla caratteristica misurata. Equivalentemente, il Rapporto tra Tolleranza e Incertezza deve essere maggiore di 5. Si consiglia di mantenere un'incertezza del 10% o meno per ottimizzare la tolleranza disponibile applicabile alla caratteristica interessata.

L'ispezione dimensionale richiede un allineamento accurato e preciso dei componenti. La specifica di progettazione è ottenere un'incertezza non superiore a $\pm 0,2$ mm entro un ambiente di temperatura di ± 5 K. Sono previste verifiche dimensionali intermedie da parte del Contraente durante il processo di fabbricazione.

Prima dei test, il Piano di Assemblaggio e Accettazione in Fabbrica (FAT) deve essere inviato a UniNA per l'approvazione. Le specifiche della procedura di prova, i valori di accettazione e i risultati registrati dei test

dimensionali devono essere riportati dal Contraente nel Rapporto Dimensionale di Assemblaggio e Accettazione in Fabbrica (FAT).

Le ispezioni dimensionali devono essere effettuate per verificare il rispetto delle tolleranze specificate:

1. In primo luogo, nel modello CAD, forniti dal Committente;
2. In secondo luogo, nei disegni esecutivi, prodotti dal Contraente.

7.3.1 Sistema di riferimento

Il principale sistema di riferimento utilizzato per il FARHA-ONE è il sistema di coordinate globale del settore toroidale, un sistema di riferimento cartesiano tridimensionale in cui x è la direzione radiale appartenente al piano mediano del mock-up, y è la direzione verticale con origine al piano equatoriale e z univocamente determinato. Il **sistema di coordinate del settore (SCS)** è un sistema di riferimento cartesiano tridimensionale con origine ($x'=0, y'=0, z'=0$) con piano equatoriale (x', y').

Sistemi di coordinate locali possono essere definiti per l'ispezione dimensionale durante la produzione. Le ispezioni dimensionali devono essere effettuate durante il processo di fabbricazione completo con frequenza di ispezione intermedia per anticipare eventuali problemi e prevenire non conformità.

Si propone di individuare le seguenti superfici di riferimento nei disegni di specifica tecnica prodotti dalla progettazione esecutiva:

- A. Il piano verticale A biseziona il mock-up e il suo settore medio. Il riferimento di riferimento A si basa sulle coordinate del piano di mezzeria del toroide. Il riferimento di riferimento A determina il piano (x, z);
- B. Il riferimento B deve essere perpendicolare al riferimento A ed equidistante dai piani di mezzeria dei moduli di alloggio tegole. Il riferimento B determina il piano (x, y);
- C. Il piano verticale C è perpendicolare ad A e B passa attraverso $R=1995$ mm.

L'ordine di precedenza per la definizione dei riferimenti è A, B, C in conformità con la norma EN ISO 8015 al fine di determinare il graduale controllo e la limitazione dei gradi di libertà.

7.4 Ispezione delle saldature

È richiesta una verifica delle saldature, col fine di assicurarsi che non ci siano difetti di lavorazione che possano incidere sul corretto funzionamento di tutti i sistemi del FARHA-ONE.

In particolare, si chiede di verificare che la saldatura della piastra di orientamento sulla trave di supporto del manipolatore non incida sull'orientamento del manipolatore stesso. L'asse longitudinale della slitta, e di conseguenza della trave di supporto, deve essere parallelo all'asse del manipolatore.

È richiesta una verifica delle saldature in corrispondenza del sistema di attuazione lineare alla base del manipolatore in corrispondenza del giunto J1. È necessario che venga verificata la planarità dei binari così come il parallelismo tra gli stessi.

Nel contesto dell'ispezione di saldatura, se viene verificato che i cordoli di saldatura dovessero ostruire, o complicare il funzionamento degli elementi costituenti i due sistemi ROMAN (ad esempio, lo scorrimento della

slitta sui binari, o l'orientamento del manipolatore tramite la piastra), il componente e/o il sistema in questione dovrà essere considerato come non conforme alle specifiche e ai requisiti di progetto.

Così come indicato nelle sezioni precedenti all'atto della qualifica di non conformità, il Contraente dovrà proporre una soluzione, modificare o riprodurre il componente non conforme.

Metodi di testing non distruttivo devono essere definiti dal fornitore ed accettati dal committente.

7.5 Ispezione funzionamento elettrico dispositivi e isolamento

L'azienda contraente dovrebbe effettuare le seguenti verifiche di collaudo elettrico sul sistema quali:

1. Il braccio è cablato e connesso secondo le specifiche definite nel diagramma elettrico fornito dal contraente nel materiale di progettazione esecutiva
2. Il cable management è propriamente assicurato alla struttura e non impedisce il movimento degli assi
3. Tutti gli attuatori ed i dispositivi si accendono senza errori quando il braccio viene acceso
4. Siano verificate le Proprietà dielettriche secondo normativa
5. Siano verificate le Proprietà Sovratemperatura secondo normativa
6. Siano verificate le Proprietà Tenuta al cortocircuito secondo normativa
7. Siano verificate le Proprietà protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione secondo normativa
8. Siano verificate le Proprietà verifica di messa a terra secondo normativa.

7.6 Ispezione delle caratteristiche statiche

Si prevede un ciclo d'ispezione volto a verificare la resistenza della struttura del manipolatore ai carichi statici dovuti al peso della struttura stessa.

In questo contesto si prevedono verifiche volte a descrivere il comportamento del manipolatore circa:

1. Lo scostamento massimo lineare del manipolatore in corrispondenza della punta dello stesso e di ogni suo giunto in condizioni statiche dinamiche.
2. Lo scostamento massimo angolare del manipolatore in corrispondenza della punta dello stesso e di ogni suo giunto in condizioni statiche dinamiche.
3. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni link dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.
4. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni giunto dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.
5. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni connettore meccanico dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.
6. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni attuatore dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.
7. Il calcolo delle reazioni vincolari su ogni cuscinetto dovute all'attuazione del giunto prismatico in punta (vedi sezione 2), per il montaggio e lo smontaggio delle tegole.

7.7 Ispezione Assemblaggio componenti

Il contraente dovrà assemblare tutte le componenti per verificare:

- Che tutte le catene di tolleranze siano corrette;
- Che tutti i meccanismi di giunzione siano funzionanti;
- Che siano rispettati i limiti di giunto
- Che tutti gli attuatori s'interfaccino correttamente con i corrispettivi connettori meccanici;
- Che tutti i cuscinetti radiali siano inseribili all'interno dei connettori meccanici, vedi sez. 5.2;
- Che i cavi non impediscano la rotazione dei giunti, e che rispettino i requisiti indicati in sez. 5.4;
- Che la catena passa-cavi funzioni correttamente;
- Che sia possibile regolare l'orientamento del manipolatore tramite la piastra solidale alla trave di supporto, vedi sez. 4.4.1.

7.8 Ispezione dell'assemblaggio al Mock-up

Il contraente dovrà verificare:

- Che la piastra di orientamento della trave di supporto del manipolatore definisca un orientamento tale che il manipolatore abbia il proprio asse longitudinale coassiale con l'asse del foro di accesso della macchina posto ad un angolo di 7.3° rispetto all'orientamento dell'asse della colonna di sostegno;
- Che la piastra di regolazione permetta la correzione dell'orientamento del manipolatore, al fine di inserirlo nella porta d'accesso;
- Che la slitta permetta l'ingresso del manipolatore nella porta d'accesso;
- Che il manipolatore raggiunga tutte le configurazioni operative.

7.9 Ispezione funzionale

Durante questa fase il contraente dovrà valutare il corretto funzionamento delle componenti del manipolatore verificando il funzionamento elettrico e la capacità di movimentazione e calibrazione (qualora richiesta) di tutti i giunti e di tutti i meccanismi componenti il manipolatore.

Dal momento che il PC di controllo industriale con il software per la cinematica inversa potrebbe non essere disponibile al momento del FAT il contraente dovrà testare il movimento dei giunti inviando comandi di basso livello mediante l'utilizzo del software TwinCat o equivalente.

8 Accettazione del prodotto in loco SAT

L'accettazione finale dell'intera fornitura avrà luogo dopo la consegna del braccio presso la sede del Sito indicato. Il Committente si accerterà che gli oggetti siano in buone condizioni e che nessun danno si sia verificato durante il trasporto. L'accettazione finale richiede la consegna da parte del Contraente di tutti i certificati, rapporti e documenti previsti da queste Specifiche Tecniche.

Considerando i requisiti descritti nel documento, il test di accettazione in loco (SAT) hanno lo scopo di verificare che il manipolatore soddisfi i suddetti requisiti specificati nel contratto e che sia pronto per l'integrazione nell'ambiente di lavoro presso il sito del Committente; sarà inoltre verificato che il braccio possa essere assemblato al mock-up.

Le procedure di test saranno eseguite conformemente alla documentazione tecnica fornita dal fornitore e includeranno, ma non saranno limitate a:

1. Verifica delle funzionalità di movimento, posizionamento e precisione del sistema di orientamento del manipolatore;
2. Verifica della slitta;
3. Verifica dell'attuabilità di tutti i giunti;
4. Verifica delle funzionalità dell'end-effector;
5. Verifica delle dimensioni funzionali di progetto legate ai task operativi del manipolatore;
6. Verifica della sicurezza e conformità normativa;
7. Integrazione con il manipolatore: descrizione dei test effettuati e risultati ottenuti;
8. Sicurezza e Conformità Normativa: descrizione dei test effettuati e risultati ottenuti;

Il Contraente parteciperà a tutti i Test di Accettazione in Sito indicati in Tabella 12 (vedi sez. 7.1), in conformità ai requisiti specificati e ai criteri di accettazione. Il Contraente deve rispettare qualsiasi procedura di sicurezza del sito. Il Contraente deve considerare come non conformità qualsiasi risultato non atteso, problema verificatosi o mancata conformità ai requisiti al termine di ciascun test di accettazione in sito, seguendo le indicazioni date in questo documento e nei documenti applicabili pertinenti. Il Contraente deve proporre e intraprendere tutte le azioni necessarie per risolvere eventuali problemi identificati durante i test di accettazione in sito al fine di conformarsi a tutti i requisiti, in collaborazione e solo dopo l'approvazione da parte di UniNA.

I risultati dei Test di Accettazione faranno parte del Rapporto Tecnico Finale.

Il Contraente è responsabile di effettuare eventuali riparazioni o modifiche necessarie a seguito del mancato soddisfacimento di uno qualsiasi dei requisiti di progetto, quando il fallimento è direttamente attribuibile al processo di produzione e/o di assemblaggio del Contraente.

8.1 Ispezione visiva (inclusi i componenti pre-assemblati prima dello smontaggio)

(vedere la sezione 7.2 nel Test di Accettazione in Fabbrica)

8.2 Ispezione dimensionale

(vedere la sezione 7.3 nel Test di Accettazione in Fabbrica)"

8.3 Ispezione isolamento elettrico

(vedere la sezione 7.5 nel Test di Accettazione in Fabbrica)"

8.4 Ispezione assemblaggio delle componenti

(vedere la sezione 7.7 nel Test di Accettazione in Fabbrica)"

8.5 Ispezione di verifica integrazione di ROMAN in FARHA-ONE

(vedere la sezione 7.8 nel Test di Accettazione in Fabbrica)"

8.6 Ispezione di verifica funzionale

(vedere la sezione 7.9 nel Test di Accettazione in Fabbrica)"

8.7 Integrazione sistema di controllo

A valle del SAT il Contraente dovrà inoltre integrare il PC di controllo industriale (qualora questa operazione non sia già stata eseguita durante il FAT) e verificare il corretto funzionamento cinematico del manipolatore oltre al funzionamento delle componenti di controllo quali HMI e Joystick.

Il contraente dovrà inoltre predisporre i cablaggi da e verso i PC di controllo inclusi nella control room, cablare tutti gli switch di rete e i cablaggi elettrici e verificare la corretta comunicazione dei componenti hardware inclusi nella control room. Nella tabella seguente sono indicati i componenti principali che saranno presenti nella control room e che dovranno essere integrati elettricamente e per quanto riguarda le reti di comunicazione dal contraente:

Tabella 13. Componenti principali control room

Componente	Descrizione
Pc controllo	Pc utilizzato per il controllo di alto livello del robot. Questo PC sarà connesso mediante cavo di rete ethercat CAT5 direttamente al PC industriale del robot e attraverso lo switch di rete al PC di simulazione e VR.
Pc simulazione e VR	Pc utilizzato per la simulazione 3D e il VR. Questo PC sarà connesso attraverso lo switch di rete al PC di controllo.
Monitor	2 monitor dovranno essere installati saranno connessi al PC di visione

Interfacce HID	Le interfacce HID (Joystick e interfacce aptiche) saranno connesse al pc di controllo mediante i cavi proprietari
TV	La TV dovrà essere installata e collegata al PC di visione
Switch di rete	Lo switch di rete industriale dovrà essere cablato e connesso ai PC di controllo e visione

9 Requisiti di qualità

Si richiede all'Azienda Contraente che rispetti i requisiti di qualità definiti dalle seguenti norme:

1. ISO 9001:

- Implementare i principi di gestione della qualità stabiliti dalla norma ISO 9001 per garantire la qualità e l'affidabilità del processo di produzione dei cuscinetti e delle tenute.

4. Regolamentazione REACH (Registrazione, Valutazione, Autorizzazione e Restrizione delle Sostanze Chimiche):

- Assicurarsi che i materiali utilizzati nei cuscinetti e nelle tenute rispettino le disposizioni di questa regolamentazione europea sulla gestione delle sostanze chimiche.

5. Direttiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances):

- Garantire che i cuscinetti e le tenute siano conformi alla direttiva RoHS, che limita l'uso di sostanze pericolose come piombo, mercurio, cadmio, cromo esavalente, PBB e PBDE.

10 Requisiti Logistici – Benestare al trasporto

Dopo aver constatato, tramite i collaudi del WP-8, che ROMAN è idoneo a compiere le operazioni richieste e che tutti gli oggetti della fornitura sono stati realizzati, il Committente autorizzerà l'Azienda Contraente ad effettuare il trasporto in Sito della Fornitura. Come già anticipato il FAT interesserà l'intero sistema di manipolazione una volta assemblato e collegato ad un'opportuna interfaccia che possa emulare il collegamento alla colonna del mock-up; presso il sito UniNA si svolgerà il collaudo (SAT) di tutto il complesso (ROMAN installato nella FARHA-ONE). La spedizione del manipolatore dovrà essere effettuata verso il sito indicato nella sez. 10.2.

10.1 Imballaggio e protezioni

Tutti gli oggetti del braccio e le attrezzature di collaudo dovranno essere racchiusi in casse di legno. Tali casse di legno dovranno servire sia a proteggere gli oggetti durante il trasporto che a custodirli nel Sito nei periodi nei quali il mock-up non verrà utilizzato.

L'Azienda Contraente dovrà perciò fornire delle casse di adeguata robustezza, verniciate e pulite all'interno, facilmente apribili e richiudibili e dotate al loro interno di elementi in grado di sostenere e vincolare le varie parti degli oggetti del sistema di manipolazione remota.

Per ognuno dei due sistemi ROMAN si prevedono tre casse principali per:

- Manipolatore
- Slitta manipolatore e trave di supporto
- End-effector

L'organizzazione del trasporto è interamente affidata al Contraente, per cui sono previste modifiche che devono essere approvate da UniNA. Durante il trasporto ed il deposito in sito, tutte le componenti devono essere riposte in scatole/contenitori che ne evitino il danneggiamento. Componenti piccoli devono essere avvolti e sigillati in apposite buste di polietilene. Devono essere prese misure di sicurezza affinché le scatole non possano essere danneggiate da eventi atmosferici. Il fornitore deve considerare tutti i rischi del trasporto e dell'immagazzinamento e adottare delle soluzioni in grado di garantire la sicurezza delle componenti in tutte le fasi del trasporto (imballaggio, trasporto e scarico al sito).

10.2 Guida per il trasporto e la consegna

Entrambi i beni del LOTTO 2 (ROMAN) saranno consegnati presso:

SEDE: UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II – POLO DI SAN GIOVANNI - laboratorio MARTE - CESMA
– CORSO NICOLANGELO PROTOPISANI, 70 - 80146 NAPOLI - ITALIA.

Persona assegnataria: Prof. GIUSEPPE DI GIRONIMO

Il Contraente dovrà informare in anticipo l'Università degli Studi di Napoli Federico II della consegna.

NOTA: La posizione precisa della sede per la consegna e l'installazione, il nome della persona da contattare, le modalità di accesso ed ulteriori formalità saranno comunicate per tempo al vincitore della gara prima della data del trasporto.

11 Informazioni richieste in sede di presentazione dell'offerta

L'offerta del Contraente dovrà contenere le informazioni e i dati richiesti nei seguenti paragrafi.

11.1 Precedenti analoghe forniture

Il Contraente dovrà presentare l'elenco delle principali forniture di manipolatori simili a quello descritto o strutture similari effettuate negli ultimi anni. Per ciascuna di esse dovranno essere indicati:

- Il cliente
- La data di consegna
- L'importo del contratto
- Le principali caratteristiche tecniche, tra cui le caratteristiche dell'ambiente di lavoro, il tipo di controllo dei giunti, le caratteristiche dei componenti impiegati per la costruzione, la precisione e la ripetibilità del posizionamento dell'end-effector, i provvedimenti adottati per preservare la pulizia dell'ambiente.

11.2 Personale dedicato al contratto. Attrezzature. Subfornitori

Qualora preveda di utilizzare subfornitori, il Contraente dovrà indicare quali componenti saranno oggetto di subfornitura e quali operazioni saranno eseguite presso i subfornitori. Anche per essi dovranno essere forniti i dati richiesti in questa sezione.

11.3 Informazioni sul progetto

Il Contraente dovrà presentare il proprio progetto-offerta nel rispetto dei requisiti funzionali e costruttivi descritti nelle presenti Specifiche Tecniche. In particolare, il Contraente dovrà indicare, separatamente per ognuno degli oggetti del contratto elencati nel paragrafo 4.7:

1. Per i componenti di normale produzione: il tipo, l'azienda produttrice, le caratteristiche tecniche.
2. Per i componenti costruiti su disegno: il materiale impiegato, il ciclo costruttivo, le procedure di assemblaggio, le tolleranze dimensionali proposte.
3. Per tutti i componenti destinati ad operare all'interno del mock-up: i mezzi idonei ad evitare contaminazione della stessa.

Nel caso in cui il Contraente volesse proporre modifiche a quanto richiesto nelle presenti Specifiche Tecniche, essa dovrà attenersi a quanto riportato nel paragrafo 0.

11.4 Assistenza tecnica

Il Contraente dovrà presentare una proposta di contratto di assistenza tecnica e manutenzione, con riferimento alle condizioni attuali di mercato.

Il Contraente dovrà presentare, un Programma convenzionale dei lavori, che verrà utilizzato ai soli fini revisionali.

11.5 Tempo di consegna

Il Contraente dovrà indicare, il tempo complessivo previsto per l'esecuzione delle opere oggetto dell'offerta. Si richiede pertanto la stesura di un "Diagramma delle principali scadenze temporali" (**Diagramma di GANTT**)

La Ditta dovrà presentare un diagramma delle principali scadenze ("milestones"), tra le quali dovranno comunque essere compresi:

1. La consegna del **Rapporto di progetto esecutivo** per i vari oggetti della fornitura.
2. La conclusione della costruzione per i vari oggetti della fornitura.
3. La conclusione dei collaudi sui singoli oggetti della fornitura.
4. La conclusione del collaudo tecnico finale.
5. La consegna della fornitura nel Sito.

11.6 Modifiche

L'Azienda potrà proporre modifiche alle presenti Specifiche Tecniche, tendenti a migliorare o semplificare particolari aspetti della presente fornitura. Tali modifiche non esimono l'Azienda dal presentare un'offerta nel pieno rispetto delle presenti Specifiche Tecniche e devono essere quotate in alternativa.

11.7 Prezzi

Il Contraente dovrà fornire le informazioni sui prezzi relativi ai prodotti descritti nelle presenti Specifiche Tecniche, considerando anche tutti gli altri servizi descritti.

11.7.1 Prezzo complessivo

Il Contraente dovrà esporre in offerta il prezzo complessivo della fornitura nella valuta del proprio Paese.

Per ciascun oggetto della fornitura descritto in questo documento di Specifiche Tecniche, Il Contraente dovrà indicare il relativo prezzo, a sua volta suddiviso nelle voci: progetto esecutivo, prototipi (dove applicabile), costruzione, collaudi, imballaggio.

Il Contraente dovrà inoltre elencare i prezzi delle attività non attribuibili ai singoli oggetti (collaudo tecnico finale, trasporto ed eventuali altri). Il totale dei prezzi parziali dovrà coincidere con il prezzo complessivo di offerta.

Il Contraente è tenuto ad indicare la variazione di prezzo associata a qualsiasi eventuale modifica proposta ed approvata dal Committente.

La variazione di prezzo è da considerarsi elemento costituente e determinante della proposta di modifica stessa.

11.7.2 Prezzo sui singoli componenti

Il Contraente dovrà riportare i prezzi dei singoli componenti, come adottati per la formulazione dell'offerta. Tali prezzi verranno utilizzati per l'eventuale ordine di parti integrative. Dovranno essere indicati almeno i prezzi dei seguenti componenti:

1. Ciascun segmento del braccio, inclusi alberi e cuscinetti.

2. Ciascun motore, e qualsiasi componente (freno, riduttore, elettronica, sensori) implementati.
3. Il sistema di scorrimento assiale del supporto scorrevole del manipolatore e della base del dispositivo di trasporto
4. Costo unitario dei cablaggi
5. Viti a ricircolo di sfere
6. End-effector
7. Qualsiasi elemento inerente all'end-effector
8. Ciascun elemento meccanico di tutto il braccio

11.7.3 Prezzo per spese ulteriori

Si richiede al Contraente di considerare spese extra dovute ad un numero non prefissato (fino al momento del KoM) di parti di ricambio e lavorazioni ulteriori non considerate durante la stesura del documento (es. verniciatura).

12 Condizioni a lungo termine

Una garanzia minima di due (2) anni deve coprire tutte le componenti definite, contro difetti sul design, la costruzione e l'installazione. La garanzia è limitata al costo diretto di riparazione ed eventuale sostituzione del componente.