



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Ingegneria Industriale DII
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

**Studio e progettazione del sistema di estrazione verticale
del bersaglio di produzione del progetto SPES**

Relatore: Ch.mo Prof. Giovanni Meneghetti

Correlatori: Dott. Alberto Andrighetto
Ing. Fabio D'Agostini

Laureando: Davide Turcato
Matricola: 1101966

Anno Accademico 2016/2017

Sommario	1
-----------------------	----------

Capitolo 1 Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro: produzione ed utilizzo di fasci di ioni esotici

1.1 - Introduzione.....	5
1.2 - Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro	7
1.3 - La produzione di fasci di ioni radioattivi (SPES-β).....	8
1.4 - Configurazione della <i>facility</i>	10
1.4.1 - L'acceleratore primario	11
1.4.2 - Il target di produzione e il sistema di estrazione e di ionizzazione	12
1.4.3 - Sorgenti di ionizzazione	16
1.4.4 - Separatori magnetici e post accelerazione	18
1.5 - Applicazioni dei fasci di ioni esotici	20
1.5.1 - Applicazioni in fisica nucleare	20
1.5.2 - Applicazioni nella fisica dello stato solido	22
1.5.3 - Applicazioni in medicina nucleare.....	23
1.5.4 - Applicazioni in astrofisica.....	25
1.6 - Conclusioni.....	25

Capitolo 2 Il layout del progetto SPES, i sistemi di estrazione verticale e di movimentazione ed il sistema di estrazione verticale

2.1 - Introduzione.....	27
2.2 - L'infrastruttura del progetto SPES	27
2.2.1 - Zona di produzione degli ioni esotici.....	29
2.3 - Il Front-End (FE)	32
2.3.1 - La camera target	33
2.4 - I sistemi di movimentazione della camera target.....	37
2.4.1 - Il sistema di movimentazione della coupling table	38
2.4.2 - Il sistema di movimentazione orizzontale	40
2.4.3 - Il sistema di movimentazione del deposito temporaneo.....	44
2.5 - Il sistema di movimentazione verticale	45
2.5.1 - La sala A16.....	46
2.5.2 - Rischi da radioprotezione.....	49
2.5.3 - La Hot-cell.....	50
2.5.4 - La macchina verticale	51
2.6 - Conclusioni.....	57

Capitolo 3 Il sistema di centraggio

3.1 - Introduzione.....	59
3.2 - Funzione e utilizzo del sistema di centraggio.....	59
3.2.1 - Componenti del sistema di centraggio.....	63
3.3 - Calcoli sul cinematismo	64
3.3.1 - Calcoli analitici.....	65
3.3.2 - Validazione dei risultati analitici con simulazione MULTIBODY	67
3.4 - Verifiche strutturali analitiche.....	69
3.4.1 - Sagoma angolare delle ruote di battuta.....	69
3.4.2 - Bronzina della ruota di posizionamento.....	72
3.4.3 - Puntoni.....	74
3.4.4 - Sagoma della ruota di posizionamento.....	75
3.5 - Verifiche strutturali FEM	76
3.5.1 - Introduzione	76
3.5.2 - Verifica della sagoma angolare.....	78
3.5.3 - Verifica dell'angolare attacco pistone	81
3.6 - Conclusioni.....	87

Capitolo 4 Realizzazione e test del sistema di centraggio.....	89
4.1 - Introduzione.....	89
4.2 - Realizzazione del sistema di centraggio.....	89
4.2.1 - Assemblaggio del sistema di centraggio	90
4.3 - Realizzazione del telaio per il test.....	93
4.4 - Procedura e svolgimento del test di centraggio.....	97
4.4.1 - Obiettivo: valutare la ripetibilità di posizionamento	97
4.4.2 - Test-1: procedura e strumentazione	98
4.4.3 - Test-2: procedura e strumentazione	101
4.5 - Risultati del test	105
4.6 - Conclusioni.....	111
Capitolo 5 Il sistema di sollevamento.....	113
5.1 - Introduzione.....	113
5.2 - Funzionamento e utilizzo del sistema di sollevamento.....	113
5.2.1 - Cinematismo di sollevamento.....	115
5.2.2 - Sistema di avvolgimento catene	115
5.2.3 - Piastra mobile	116
5.2.4 - Ridondanza degli azionamenti.....	118
5.2.5 - Componenti del sistema di sollevamento.....	119
5.3 - Calcoli cinematici sul sistema	122
5.3.1 - Calcoli cinematici.....	122
5.3.2 - Scelta e verifica dei componenti standard	124
5.4 - Verifiche strutturali.....	127
5.4.1 - Ruote dentate coniche.....	127
5.4.2 - Albero di ingresso "2i"	128
5.4.3 - Linguette	131
5.5 - Conclusioni.....	132
Conclusioni	135
Appendice A Datasheet e cataloghi dei componenti utilizzati nella realizzazione del sistema di centraggio	139
A.1 - Datasheet.....	140
A.1.1 - Attuatore pneumatico	140
A.1.2 - Sfere portanti	146
A.1.3 - Guida lineare.....	152
A.2 - Cataloghi.....	161
A.2.1 - Boccole in bronzo	161
A.2.2 - Testine snodate	163
Appendice B Comandi di Ansys APDL utilizzati.....	165
B.1 - Script APDL della sagoma angolare delle ruote di battuta	165
B.2 - Script APDL dell'angolare attacco pistone	168
B.3 - Script APDL del cordone di saldatura dell'angolare attacco pistone	169
Appendice C Datasheet e cataloghi dei componenti utilizzati nella progettazione del Sistema di sollevamento.....	173
C.1 - Datasheet.....	174
C.1.1 - Servomotore Schneider electric.....	174
C.1.2 - Riduttore a vite senza fine.....	176
C.1.3 - Rinvio angolare	180
C.1.4 - Cuscinetti.....	184
C.2 - Cataloghi.....	193
C.2.1 - Catene a rulli europee	193

C.2.2 - Coppie coniche.....	194
C.2.3 - Giunto cardanico.....	195
C.2.4 - Pignoni per catene a rulli europee.....	196
Bibliografia	199

Sommario

Dall'inizio del ventesimo secolo si è affermata la crescente importanza della fisica nucleare, aprendo nuovi campi di ricerca e portando alla creazione di nuove tecnologie. Molte di queste hanno poi conosciuto applicazioni in un vasto numero di campi, come la medicina, l'industria e la fisica applicata, arrivando talvolta addirittura a influenzare usi e costumi della società.

Nel corso degli anni l'Europa ha assunto la leadership in questo campo di ricerca e sta pianificando la costruzione di una nuova generazione di *facility* per la produzione di fasci radioattivi, con lo scopo di esplorare la materia esotica e di fornire un valido strumento per applicazioni di tipo medico ed industriale. All'interno del programma partecipa attivamente, con il progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*), anche l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) di Legnaro; tale progetto prevede la costruzione di una *facility* per la produzione di fasci di ioni radioattivi ricchi di neutroni (*neutron-rich*) e di alta qualità, nel range di massa compreso tra 80 e 160 uma.

La produzione di fasci di ioni radioattivi richiede l'impiego di tecnologie estremamente complesse ed innovative. Il progetto SPES prevede il bombardamento di un bersaglio (target di produzione) in carburo di uranio con un fascio primario, in modo da generare, tramite una reazione nucleare, specie radioattive all'interno del target.

Il bersaglio di produzione è posizionato all'interno di un dispositivo chiamato camera target, che è collegata al sistema che comprende tutte le parti dell'acceleratore necessarie a trattare il fascio radioattivo prodotto, sistema denominato Front-End. Le particelle radioattive così generate vengono successivamente estratte, ionizzate, separate in massa ed accelerate come fascio di ioni radioattivo. La camera target, dovrà essere sostituita periodicamente e collocata in un deposito temporaneo in cui con il tempo diminuirà il livello di radioattività. Dopo il periodo di irraggiamento la camera target è radioattiva e non può essere movimentata da un essere umano, per questo motivo sono in fase di sviluppo dei sistemi di movimentazione automatica. I sistemi automatici ideati per la movimentazione del bersaglio sono quattro.

Il primo installato sulla coupling table, è l'insieme dei dispositivi di accoppiamento e disaccoppiamento della camera target dal Front-End durante la fase di sostituzione del bersaglio.

Il secondo è la macchina di movimentazione orizzontale costituita da un veicolo a guida autonoma (AGV Automatic Guided Vehicle) su cui è montato un manipolatore cartesiano che preleva la camera target dal Front-End e la inserisce in un sarcofago di piombo che scherma le emissioni radioattive durante il trasporto del bersaglio verso il deposito temporaneo.

Il terzo sistema di movimentazione è il deposito temporaneo, che riceve la camera target su uno slider. Con un manipolatore cartesiano si procede allo stoccaggio all'interno di un'area apposita, costituita da grandi sarcofagi di piombo a due piani capaci di contenere un totale di 60 camere. Il quarto è l'ultimo sistema di movimentazione, oggetto di questa tesi, è una macchina per l'estrazione verticale della camera target. Questo sistema di estrazione verticale è da utilizzarsi in caso di guasti a quelli sopra descritti, ed è dunque una macchina di emergenza. Scendendo dalla sala sovrastante il bunker (zona di produzione dei fasci di ioni esotici), deve afferrare la camera target, rimuoverla e depositarla in un sarcofago schermato.

Questo elaborato si divide in cinque capitoli, il cui contenuto viene di seguito brevemente riassunto:

Capitolo 1: La prima parte del capitolo si sofferma sulla descrizione della metodologia ISOL per la produzione di fasci di ioni radioattivi. Successivamente si passa ad illustrare le principali caratteristiche del progetto SPES, in fase di sviluppo presso i Laboratori Nazionali di Legnaro. Infine vengono elencate le principali applicazioni dei fasci di ioni radioattivi nei campi di interesse della fisica nucleare, dell'astrofisica, della scienza dei materiali e della medicina;

Capitolo 2: In questo capitolo viene esposta una panoramica del layout del progetto SPES, analizzando gli ambienti e le infrastrutture presenti. Ci si focalizza poi nella descrizione di tutti i sistemi di movimentazione della camera target, ponendo maggior attenzione al sistema di movimentazione verticale oggetto di questa tesi. Per quanto riguarda quest'ultimo ne viene descritta la funzione, i vincoli imposti dalle infrastrutture e viene infine mostrato il layout dell'intera movimentazione verticale dal prelievo della camera target al suo stoccaggio in un apposito sarcofago. Nell'ultima parte verrà introdotto brevemente il sistema di estrazione verticale, risultato della progettazione fatta. Si vedrà come questo sia composto da due principali sottosistemi, il sistema di centraggio e il sistema di sollevamento che verranno studiati separatamente nei prossimi capitoli;

Capitolo 3: In questa parte si descriverà dettagliatamente il sistema di centraggio, spiegandone la funzione, le modalità di utilizzo e le parti che lo compongono. Viene poi esposto lo studio cinematico e le verifiche strutturali, sia analitiche che numeriche, fatte sui componenti del cinematismo;

Capitolo 4: In questo capitolo verrà descritta la realizzazione del sistema di centraggio. Verranno brevemente riportate le modalità di assemblaggio e taratura iniziale. Si mostrerà poi il telaio realizzato per svolgere i test di centraggio. Sono infine riportate le procedure di esecuzione dei test, le misure fatte e l'elaborazione di queste ultime. Come si vedrà alla fine del capitolo, i risultati ottenuti dimostrano la funzionalità del sistema realizzato;

Capitolo 5: In quest'ultimo capitolo è trattato il sistema di sollevamento, analizzando nel dettaglio la sua funzione e i vari componenti di cui è fatto, giustificandone la scelta. Verranno descritte nel dettaglio tutte le parti principali, l'azionamento, il sistema di riavvolgimento catene, il cinematismo che le aziona e come aggancia la camera target. Verranno infine riportati i conti cinematici e le verifiche strutturali analitiche fatte per le principali parti.

Capitolo 1

Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro: produzione ed utilizzo di fasci di ioni esotici

1.1 - Introduzione

Le proprietà della materia sono strettamente influenzate dalle caratteristiche degli atomi che la costituiscono, dalle loro interazioni e dalla loro disposizione nello spazio. Il livello atomico quindi costituisce la base fondamentale per poter studiare e comprendere la materia. In particolare la massa dell'atomo si concentra per lo più nel nucleo (circa il 99,9% del totale), di conseguenza è quest'ultimo che ne determina le caratteristiche principali e l'elemento di appartenenza. Il nucleo è costituito da particelle, genericamente dette nucleoni, tra le quali si possono distinguere i protoni e i neutroni. Tali particelle sono di massa molto simile tra loro (circa $1,67 \cdot 10^{-24}$ g), la differenza risiede nel fatto che i protoni sono dotati di carica elettrica positiva ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C), mentre i neutroni sono elettricamente neutri [1]. Il numero di protoni (Z) presenti in un atomo identifica in maniera esclusiva l'elemento di appartenenza, mentre il numero di neutroni (N) può essere variabile. La somma di questi due numeri viene detta numero di massa ed è convenzionalmente indicata con $A = Z + N$. Atomi con lo stesso numero di protoni ma diverso numero di neutroni sono detti isotopi dello stesso elemento, e vengono identificati mediante il numero di massa.

Poiché nel nucleo sono presenti particelle cariche dello stesso segno, tra di esse insorge un'azione repulsiva di tipo coulombiano che tende a rendere instabile il nucleo causandone la disgregazione. Tuttavia la stabilità e quindi l'integrità del nucleo è garantita dalla presenza di un forza nucleare detta interazione forte, la quale contrasta efficacemente la repulsione elettrostatica tra protoni carichi positivamente. Tale interazione si manifesta con particolare intensità in distanze tipiche delle dimensioni nucleari, per questo motivo la rottura di un nucleo richiede molta energia. Il ramo della fisica che si occupa della definizione e studio delle proprietà dei nuclei è detto fisica nucleare.

I nuclei stabili (non radioattivi) in genere possiedono un egual numero di protoni e di neutroni [1], dal momento che la forza attrattiva tra neutroni e protoni è leggermente più intensa di quella tra nucleoni dello stesso tipo. Tuttavia per numeri di massa atomica superiore al 40 le forze elettrostatiche diventano più significative, spostando quindi la stabilità degli atomi verso quelli con numero di neutroni più elevato rispetto ai protoni. Infatti, l'aggiunta di un maggior numero di particelle neutre non alimenta l'azione della repulsione elettrostatica ma consente di aumentare solamente l'interazione nucleare. Tuttavia la presenza della forza coulombiana limita superiormente la presenza di atomi superpesanti. Infatti con l'aumento della massa dell'atomo si manifesta necessariamente un aumento delle sue dimensioni e quindi delle distanza tra i nucleoni. Questo si traduce in una perdita di efficacia dell'interazione nucleare

forte, che è un'azione a corto raggio, rendendo quindi il nucleo instabile. Tali informazioni sono rappresentate dalla carta dei nuclidi (Figura 1.1).

La carta dei nuclidi individua gli isotopi in base al loro numero di neutroni e di protoni. In ordinata sono posti il numero di protoni (Z), mentre l'asse delle ascisse rappresenta il numero di neutroni (N). In nero sono indicati i nuclei stabili, e come già enunciato, si osserva che a bassi numeri di massa i nuclei stabili sono distribuiti pressoché lungo una retta inclinata di 45° (Z=N). I nuclei con eccesso o difetto di neutroni (chiamati rispettivamente *proton-rich* e *neutron-rich*) sono distanti dalla valle di stabilità e decadono con emissione di particelle o radiazioni elettromagnetiche a seconda della loro natura.

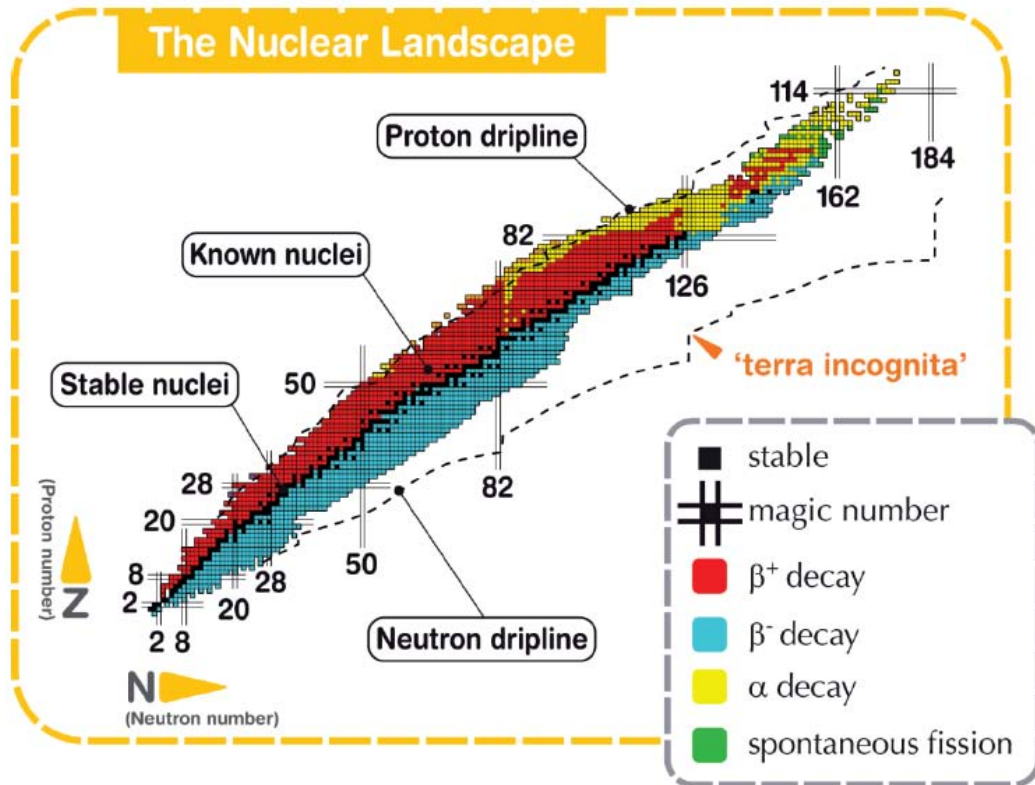


Fig. 1.1 Carta dei nuclidi [2].

Esistono quattro possibili tipologie di decadimenti nucleari [1]:

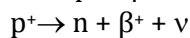
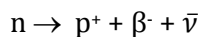
- Decadimento alfa: Tipico di atomi con $Z > 83$, avviene per mezzo dell'emissione di una particella α . Tali particelle equivalgono ad un nucleo di ${}^4\text{He}$ (2 protoni e 2 neutroni), pertanto il risultato è la diminuzione sia del numero di massa A , che del numero atomico Z secondo lo schema:

$$Z_D = Z - 2$$

$$A_D = A - 4$$

Dove Z_D e A_D sono rispettivamente il numero atomico e il numero di massa dopo il decadimento.

- Decadimento beta, che si può manifestare secondo due schemi di reazione:



Nel primo caso si ha il decadimento β^- , caratteristico dei nuclidi rappresentati in blu in Figura 1.1, cioè isotopi con un eccesso di neutroni e quindi al di sotto della valle di stabilità. L'emissione di particelle β^- comporta la perdita dei neutroni in eccesso, e

quindi la tendenza ad avvicinarsi alla valle di stabilità. Il decadimento consiste nella trasformazione di un neutrone in un protone, accompagnato dalla perdita di una particella β^- (elettrone) e di un antineutrino in modo da garantire il bilanciamento della reazione sia per la carica che per la massa.

Il secondo schema di reazione invece è chiamato decadimento β^+ ed è tipico dei nuclei con eccesso di protoni e quindi al di sopra della valle di stabilità (in rosso in Figura 1.1). Tali nuclidi tendono a trasformare i protoni in neutroni per riacquisire stabilità, con emissione di un positrone (β^+) e di un neutrino.

- Fissione spontanea: avviene in alcuni nuclei molto pesanti (in verde in Figura 1.1) e consiste nella loro spontanea suddivisione in due diversi atomi. Ad esempio l'isotopo $^{252}_{98}\text{Cf}$ dà luogo spontaneamente alla reazione $^{252}_{98}\text{Cf} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{108}_{44}\text{Ru} + ^1_0\text{n} + Q$, in cui Q è l'energia liberata nel processo.
- Emissione di raggi γ : è in genere una forma di decadimento successiva o contemporanea ad una di quelle elencate in precedenza in quanto consiste solamente nell'emissione di radiazioni elettromagnetiche e non provoca alcuna variazione a livello delle specie atomiche interessate. Tale fenomeno è imputabile al fatto che i nuclei neofornati, chiamati nuclei figli, sono caratterizzati spesso da uno stato di eccitazione che provoca l'emissione di radiazione elettromagnetica ad alta frequenza.

Attualmente sono state studiate le proprietà nucleari di circa 3600 nuclei, che possono essere prodotti con più o meno facilità nelle diverse *facility* nel mondo. I nuclei radioattivi sono chiamati esotici e in base a stime calcolate secondo modelli teorici, si ritiene che possano essere fino a 6000. Tali nuclei si trovano all'interno delle *driplines*, indicate in Figura 1.1, linee che delimitano il campo di esistenza di possibili nuclei e oltre le quali l'instabilità sarebbe tale da impedirne l'esistenza. Sono ancora molti i nuclei incogniti all'interno di questo campo, soprattutto nella regione dei nuclei *neutron-rich*, cioè al di sotto della valle di stabilità.

La carta dei nuclidi (Figura 1.1) fornisce inoltre alcune indicazioni su particolari numeri di protoni o neutroni, detti numeri magici. Tali numeri corrispondono a configurazioni nucleari (numero di nucleoni) che rendono il nucleo particolarmente stabile. Numeri magici sono ad esempio 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126. Nuclei che hanno sia il numero di protoni che il numero di neutroni uguale ad uno dei numeri magici sono ancora più stabili e sono detti nuclei doppiamente magici. I nuclei doppiamente magici presenti in natura sono quattro e sono: ^4He , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{208}Pb .

Lo studio dei nuclei instabili ha aperto nuovi campi di ricerca in fisica nucleare e ha portato ad importanti applicazioni in fisica dello stato solido, astrofisica ed infine in medicina nucleare grazie allo studio e alla produzione di radionuclidi per la terapia e la diagnosi.

1.2 - Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro

SPES (*Selective Production of Exotic Species*) è un progetto multidisciplinare il cui principale obiettivo è quello di creare un apparato sperimentale in grado di produrre fasci di ioni radioattivi, chiamati RIB (*Radioactive Ion Beam*), per studi di fisica nucleare fondamentale e per lo studio di nuclei atomici instabili. Tali nuclei non sono presenti naturalmente, ma sono prodotti durante le fasi conclusive della vita delle stelle, dalle quali tutti gli elementi sono generati.

Al giorno d'oggi la maggior parte delle conoscenze a proposito delle proprietà nucleari deriva dallo studio dei nuclei localizzati nella valle di stabilità o da nuclei con una carenza di neutroni. Si ritiene che lo studio di nuclei atomici con un largo eccesso di neutroni o protoni possa consentire la scoperta di nuove proprietà della struttura nucleare.

Sono state previste quattro fasi per il progetto:

- SPES- α : questa fase prevede l'acquisizione, l'installazione e la messa in opera di un ciclotrone ad alte prestazioni con un'alta corrente in uscita (~ 0.7 mA) e ad alta energia (fino a 70 MeV¹), oltre all'infrastruttura per l'acceleratore e alle aree sperimentali. Il ciclotrone sarà provvisto di due porte di uscita per consentire la realizzazione della doppia missione del laboratorio: la ricerca di base e le applicazioni tecnologiche. Uno dei due fasci sarà dedicato alla *facility* di fisica nucleare, per la produzione di ioni ricchi di neutroni per collisione di protoni su un *target* di UC_x, il secondo sarà dedicato a studi di fisica applicata;
- SPES- β : prevede l'accelerazione di specie *neutron-rich* verso adatti *target*. Nelle collisioni verranno prodotti nuclei nuovi, con un largo eccesso di neutroni, simili a quelli generati nelle fasi terminali della vita delle stelle e che non sono presenti sulla Terra, a causa della loro brevissima vita. La ricerca in questo ambito rappresenta una nuova frontiera della fisica per estendere la conoscenza di nuclei in condizioni estreme e per fornire informazioni di base nello studio dell'evoluzione stellare;
- SPES- γ : questa fase riguarda la produzione di radionuclidi di interesse medico mediante l'uso del ciclotrone SPES- α . L'obiettivo è la produzione di radiofarmaci innovativi (come quelli basati su Sr-82/Rb-82 e Ga-68/Ge-68) e di radionuclidi convenzionali con nuovi approcci basati sull'uso dell'acceleratore;
- SPES- δ : prevede lo sviluppo di un'intensa sorgente neutronica, dal ciclotrone e/o da un acceleratore lineare ad alta intensità basato sulla *radio-frequency quadrupole technology* (RFQ). Applicazioni della sorgente neutronica si estendono dall'astrofisica nucleare, alla caratterizzazione dei rifiuti nucleari o a trattamenti sperimentali di tumori.

1.3 - La produzione di fasci di ioni radioattivi (SPES- β)

La produzione di fasci di ioni radioattivi richiede la costruzione di apparati, detti *facility*, capaci di produrre RIB di elevata purezza, intensità ed energia. In Europa e nel resto del mondo vi sono numerose *facilities* operanti per la produzione di fasci radioattivi; la maggior parte di esse sono basate sulla tecnica ISOL [3]. La tecnica ISOL (*Isotope Separation On-Line*) consiste nella separazione degli isotopi in linea. *Facility* di questa tipologia sono generalmente composte da (Figura 1.2):

- l'acceleratore primario;
- il complesso *target*-sistema di estrazione e ionizzazione;
- il *front end*;
- i separatori di massa ed isobari;
- il post acceleratore.

¹ In fisica l'elettronvolt (simbolo eV) è un'unità di misura dell'energia, molto usata in ambito atomico e subatomico. Viene definito come l'energia guadagnata (o persa) dalla carica elettrica di un singolo elettrone, quando viene mosso nel vuoto tra due punti di una regione in cui ha sede un potenziale elettrostatico, tra i quali vi è una differenza di potenziale pari a 1 V.

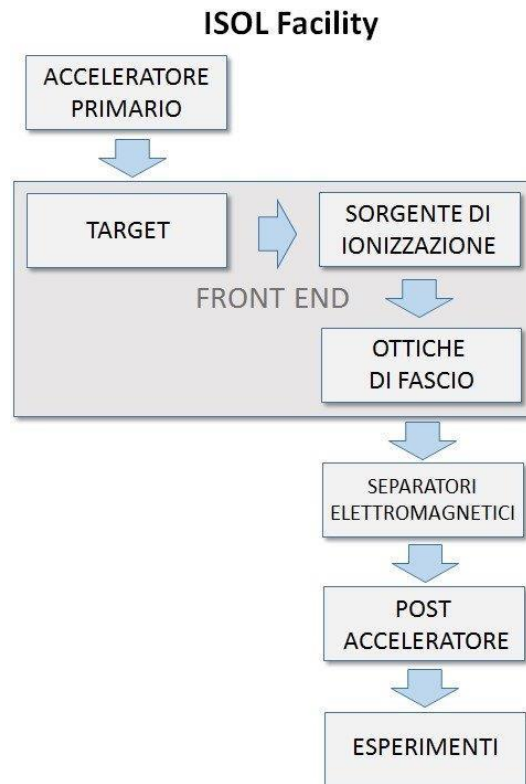


Fig. 1.2 Schema di una facility di tipo ISOL.

L'acceleratore primario è studiato per fornire un fascio di particelle della voluta energia che viene quindi fatto collidere su un bersaglio (*target*) di materiale fissile. In quest'ultimo, a seguito di reazioni nucleari di vario tipo (fissione, spallazione, frammentazione, ecc.), si ha la generazione di isotopi radioattivi. I radioisotopi così prodotti possono uscire dal target ed essere ionizzati; grazie alla carica acquisita possono quindi essere estratti ed accelerati con una differenza di potenziale, formando un fascio di particelle radioattive (RIB). Il primo stadio di accelerazione avviene nel *front end* in cui il fascio viene opportunamente focalizzato e successivamente separato in massa tramite dei separatori elettromagnetici. L'azione di tali separatori permette di ottenere un fascio chimicamente ed isobaricamente puro. Infine il fascio è accelerato dal post-acceleratore al livello di energia richiesto dal particolare esperimento.

L'intensità del fascio radioattivo prodotto è usualmente descritta dall'eq. 1.1:

$$I = \sigma \cdot \Phi \cdot N \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \quad (1.1)$$

dove:

- σ è la sezione d'urto per le reazioni nucleari, ossia la probabilità che avvenga una certa reazione nucleare;
- Φ è l'intensità del fascio primario;
- N è lo spessore del *target*;
- ε_1 è l'efficienza di rilascio del *target*;
- ε_2 è l'efficienza di ionizzazione;
- ε_3 è l'efficienza del processo di estrazione e trasporto.

Una corretta configurazione del complesso *target* - sistema di estrazione e ionizzazione è cruciale per un efficiente funzionamento di una *facility* di tipo ISOL.

Gli obiettivi che stanno alla base del dimensionamento sono:

- riduzione del tempo di ritardo;
- massimizzazione della produzione senza deterioramento della purezza del fascio.

La separazione dei prodotti radioattivi dal substrato del *target* e l'estrazione dei nuclei esotici, sono processi fortemente dipendenti dalla temperatura; infatti all'aumentare del livello termico, la velocità di diffusione delle particelle manifesta un incremento. Ciò risulta importante soprattutto per atomi radioattivi a breve emivita, in quanto un rapido rilascio evita una perdita di questi atomi per decadimento. Per questo motivo il sistema deve essere mantenuto alla maggior temperatura possibile.

In ambito europeo le opportunità scientifiche offerte dai RIB ed i notevoli problemi tecnologici ad essi associati hanno portato la comunità scientifica a proporre la costruzione di una rete di *facility* complementari, definite di *intermedia generazione*, fondamentali per arrivare alla costruzione di un'unica grande *facility* europea di tipo ISOL, chiamata EURISOL [2]. Data la portata di tale progetto, sono coinvolti nell'iniziativa i principali laboratori nucleari europei con l'obiettivo dello studio e della progettazione di una struttura per la produzione di fasci di ioni radioattivi di qualità significativamente superiore a quella attualmente disponibile. In tale direzione sono orientati anche i Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL), presso i quali è in corso la costruzione di una *facility* ISOL per la produzione di fasci di ioni esotici: il progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*) [4]. Tale progetto è coordinato a livello nazionale da INFN, Dipartimenti di Ingegneria Meccanica e di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Padova e a livello internazionale prevede strette collaborazioni con il laboratori del CERN (Svizzera) e di Oak Ridge (USA).

1.4 - Configurazione della *facility*

La *facility* è principalmente dedicata alla produzione di radioisotopi *neutron-rich* con masse da 80 a 160 uma a seguito di fissione di ^{238}U con una resa massima di 10^{13} fissioni/s; la fissione è resa possibile dal bombardamento con un fascio protonico a 40 MeV, detto fascio primario, di un adeguato *target* costituito da sette dischi in carburo di uranio (UC_x). Essendo il livello di radioattività stimato nel target di produzione molto elevato, è necessaria la progettazione di speciali infrastrutture in modo da garantire la sicurezza in termini di radioprotezione. In Figura 1.3 viene mostrata una schematica rappresentazione della *facility*.

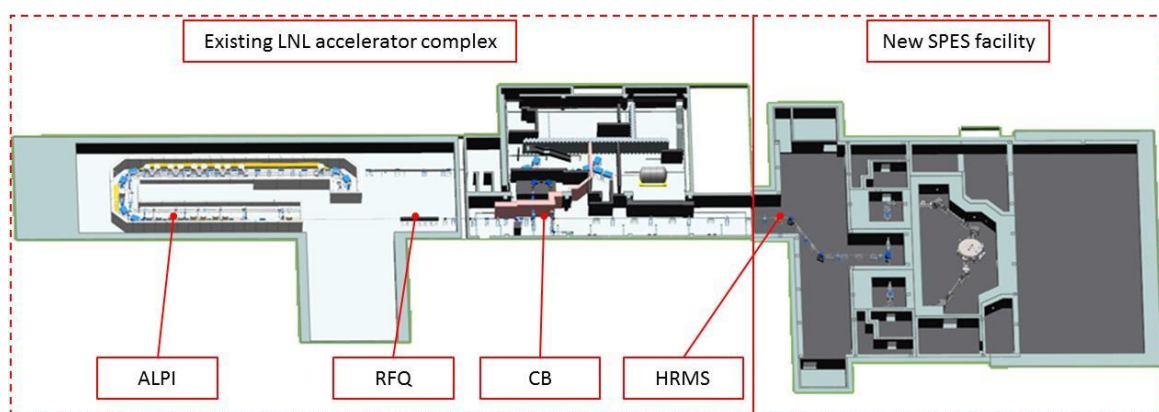


Fig. 1.3 Layout del progetto SPES.



Fig. 1.4 Collocazione dell'edificio SPES all'interno dei Laboratori Nazionali di Legnaro.

Vengono di seguito descritti i principali elementi che compongono la *facility*.

1.4.1 - L'acceleratore primario

L'acceleratore primario ha la funzione di produrre un fascio protonico in grado di colpire il *target* di carburo di uranio in cui avviene la reazione di fissione nucleare. L'acceleratore utilizzato per la *facility* SPES è un ciclotrone. Tale dispositivo è in grado di garantire le performance richieste per la produzione di fasci di ioni esotici ed offre la possibilità di utilizzare una seconda linea di fascio in modo completamente indipendente. Il mercato offre oggi la possibilità di produrre, con la tecnologia del ciclotrone, fasci di intensità molto vicina alle richieste del progetto SPES. Il ciclotrone scelto per il progetto SPES è il BEST 70p, sviluppato dalla Best Cyclotron e mostrato in Figura 1.5, il quale è in grado di fornire due fasci di protoni indipendenti fino a 70 MeV ed aventi una corrente massima di 750 μ A.

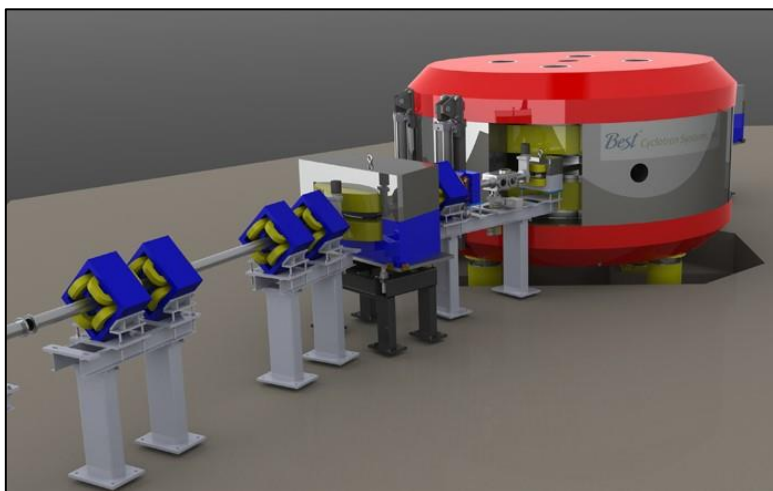


Fig. 1.5 Il ciclotrone BEST 70p.



Fig. 1.6 Fasi di installazione del ciclotrone nell'edificio SPES. Maggio 2015.

1.4.2 - Il target di produzione e il sistema di estrazione e di ionizzazione

Sia il target di produzione dei radioisotopi, sia il sistema di estrazione e ionizzazione degli stessi sono contenuti all'interno di una camera di forma cilindrica (*camera target*), la quale viene raffreddata mediante un opportuno circuito dell'acqua per le elevate potenze in gioco (vedi Figura 1.3). Sempre a causa delle alte temperature, per evitare l'ossidazione dei componenti presenti, l'interno della camera viene mantenuto in condizioni di alto vuoto (con pressioni dell'ordine dei 10^{-6} mbar), condizione necessaria per aumentare il cammino libero medio delle particelle radioattive prodotte.

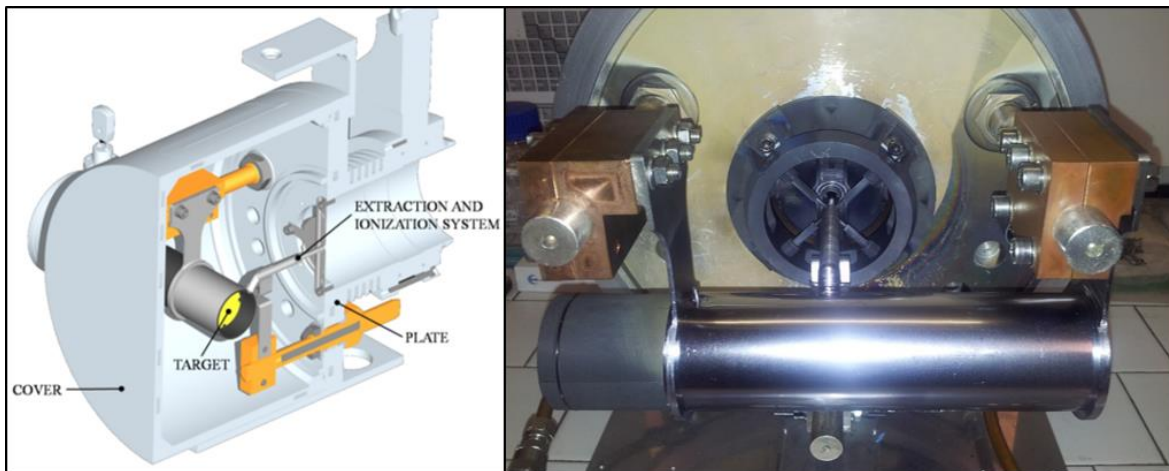


Fig. 1.7 Rappresentazione della camera target del progetto SPES.

Il target è composto da sette dischi coassiali in UC_x , aventi 40 mm di diametro e circa 1 mm di spessore ed opportunamente distanziati in direzione assiale, al fine di dissipare attraverso radiazione termica la potenza sviluppata dal fascio di protoni. Essi sono contenuti in una scatola (*box*), un tubo cavo di grafite, avente un diametro esterno e una lunghezza di 49 e 200 mm rispettivamente (vedi Figura 1.8). Il fascio di protoni, prima di impattare contro i dischi, attraversa una finestra in grafite molto sottile per non attenuare l'intensità del fascio, ma di fondamentale importanza poiché consente di schermare la zona attiva e di evitare un eccessivo raffreddamento del materiale fissile in corrispondenza dell'ingresso del fascio. Dopo aver investito la finestra di grafite e i dischi di UC_x , il fascio primario va a impattare su tre *dumper* e sul fondo scatola (*box base*); questi elementi provvedono sia all'assorbimento definitivo del fascio, per evitare l'attivazione della camera esterna, sia ad evitare la fuoriuscita di particelle dal lato posteriore del target.

La *box* deve mantenere la temperatura media di 2000 °C, in modo da migliorare l'estrazione dei prodotti di fissione. Essendo la potenza del fascio di protoni non sufficiente a portare il target al livello di temperatura richiesto, è necessario introdurre un dispositivo indipendente avente la funzione di riscaldare e schermare il *target*. Inoltre, il sistema di riscaldamento supplementare consente di evitare improvvisi sbalzi di temperatura molto pericolosi per l'integrità strutturale dei dischi. Il riscaldatore (*heater*) è composto da un tubo molto sottile saldato ai bordi a due ali direttamente collegate a morsetti in rame; attraverso i morsetti è possibile far dissipare per effetto Joule il desiderato quantitativo di potenza al riscaldatore. La dissipazione di potenza (dovuta all'effetto Joule) in aggiunta al calore sviluppato dalla fissione nucleare, fa in modo che la temperatura del sistema scatola-dischi sia mantenuta al valore di utilizzo. Il materiale scelto per il riscaldatore è il tantalio, altamente resistente alla corrosione, in grado di condurre energia elettrica e termica e di raggiungere temperature molto elevate [5].

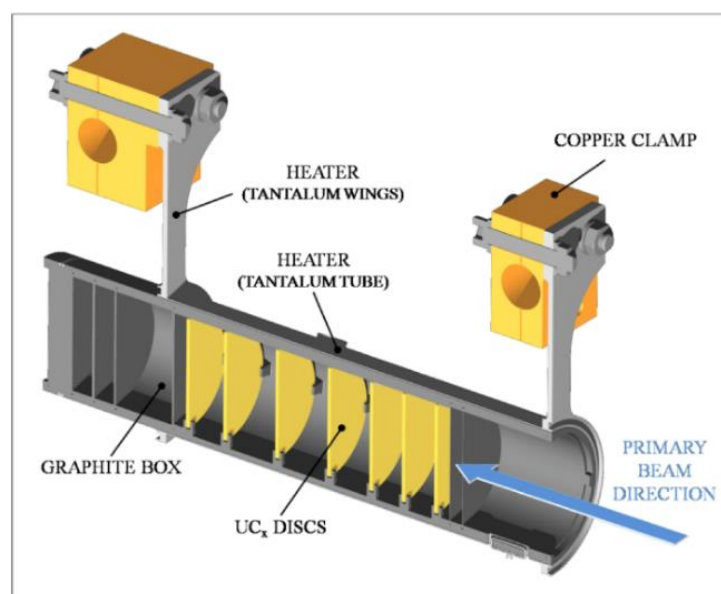


Fig. 1.8 Il target SPES.

Il processo di fissione nucleare, che si manifesta quando il fascio di protoni investe i sette dischi in carburo di uranio, produce nuclei radioattivi aventi massa compresa tra gli 80 ed i 160 uma; per la produzione di un RIB, la specie esotica desiderata deve essere estratta dal *target* e ionizzata. Tale processo richiede del tempo e non può essere applicato ad isotopi aventi una vita media inferiore a poche decine di millisecondi.

Il processo di estrazione avviene mediante la linea di trasferimento (*transfer line*), attraverso la quale gli isotopi in uscita dal target vengono indirizzati verso la sorgente di ionizzazione (*ion source*) dove sono ionizzati positivamente (ioni 1+). Nell'attuale configurazione la *transfer line* è un tubo sottile di tantalio saldato al riscaldatore ad un'estremità e connesso meccanicamente alla sorgente di ionizzazione all'estremità opposta (vedi Figura 1.11). Come accade per il riscaldatore, anche il sistema di trasferimento e ionizzazione viene riscaldato mediante dissipazione di potenza per effetto Joule; in questo modo la temperatura della sorgente arriva fino ai 2200 °C.

A seconda del potenziale di ionizzazione dell'elemento possono essere utilizzati diversi metodi di ionizzazione. Il potenziale di ionizzazione è rappresentato dall'energia necessaria per portare un elettrone della sfera di valenza ad una distanza infinita dall'atomo. Metalli alcalini e alcalino-terrosi hanno bassi potenziali di ionizzazione per cui una energia relativamente bassa sarà richiesta per ottenere la loro ionizzazione. In questo caso si può optare per l'uso di una

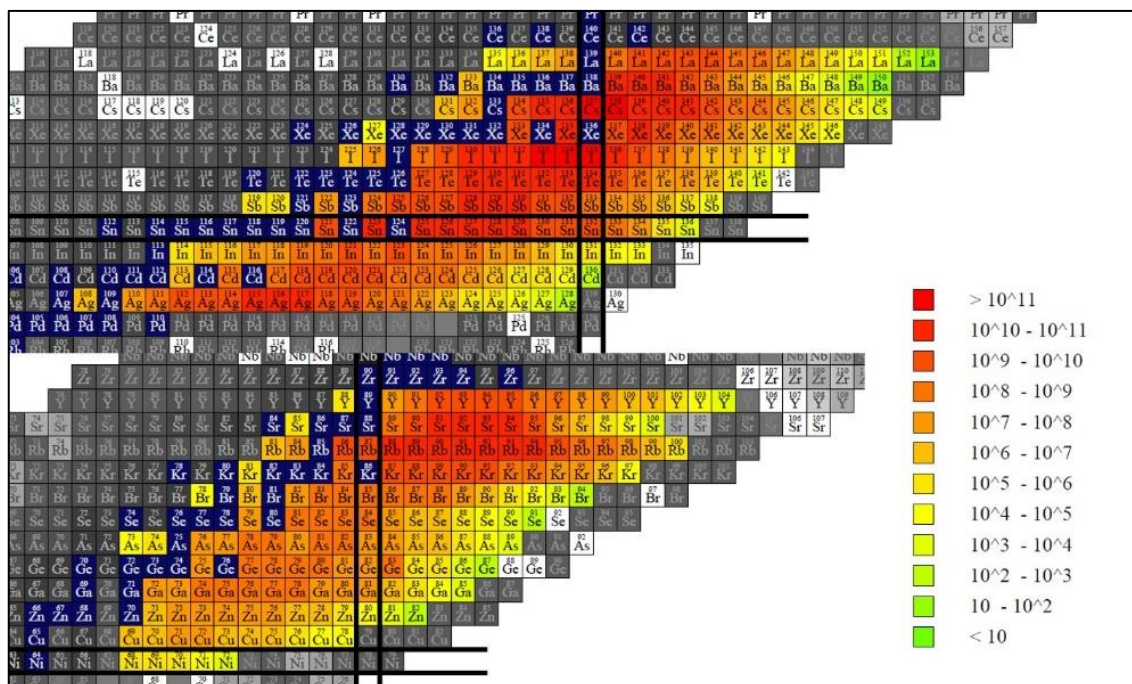


Fig. 1.10 Radionuclidi che produrrà il progetto SPES. La legenda si riferisce al numero di particelle prodotte per secondo.

La camera *target* è collegata al *front end* e tra i due componenti è presente una differenza di potenziale ($V_{\text{camera}} - V_{\text{front-end}}$) pari a 40 kV. Per questo è necessario, al fine di evitare il contatto diretto, interporre un isolante elettrico. La differenza di potenziale presente attrae gli ioni radioattivi verso il *front end*; in particolare il componente che accoglie gli ioni in uscita dalla sorgente di ionizzazione è un elettrodo realizzato in lega di titanio ($\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$) e visibile in Figura 1.11. Il fascio di ioni radioattivi verrà, dopo il passaggio attraverso i separatori elettromagnetici ed il post acceleratore, inviato alle sale sperimentali.

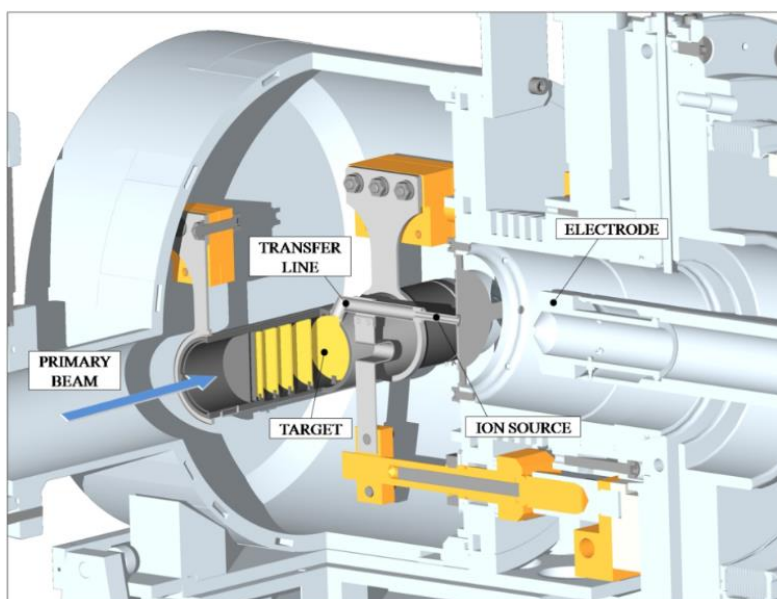


Fig. 1.11 Rappresentazione del sistema di estrazione e ionizzazione del progetto SPES.

1.4.3 - Sorgenti di ionizzazione

Di seguito sono elencati le tipologie di sorgenti di ionizzazione che verranno utilizzate nell'ambito del progetto SPES.

Surface Ion Source (SIS)

In questo tipo di sorgente di ionizzazione (Fig. 1.12), l'impatto degli isotopi radioattivi provenienti dal target sulla superficie interna della sorgente causa la ionizzazione. Tale procedimento è possibile se la minima energia necessaria per rimuovere un elettrone da una superficie (funzione di lavoro) è maggiore del potenziale di ionizzazione dell'isotopo. In questo caso si riescono a produrre con elevata efficienza ioni positivi per elementi con potenziale di ionizzazione inferiore alla funzione di lavoro del renio, pari a circa 5 eV. L'elevata temperatura a cui si trova la sorgente di ionizzazione permette di avere un processo di ionizzazione efficiente e selettivo ma soltanto per gli elementi del primo e del secondo gruppo. E' proprio questo lo svantaggio principale del metodo.

In ogni caso si devono predisporre dei separatori elettromagnetici in grado di selezionare in base alla massa gli isotopi che si vogliono nel fascio. Nonostante questa operazione, la purezza del fascio non sarà comunque garantita perché ci possono comunque essere isotopi di diverse specie isobari, aventi cioè lo stesso numero di massa A ma diverso numero atomico Z (esempio il ^{132}Cs e lo ^{132}Sn). Per dividere tali elementi sono necessari separatori isobari, che sono dispositivi molto complicati, costosi e poco affidabili, che comportano inoltre una notevole riduzione dell'intensità del fascio.

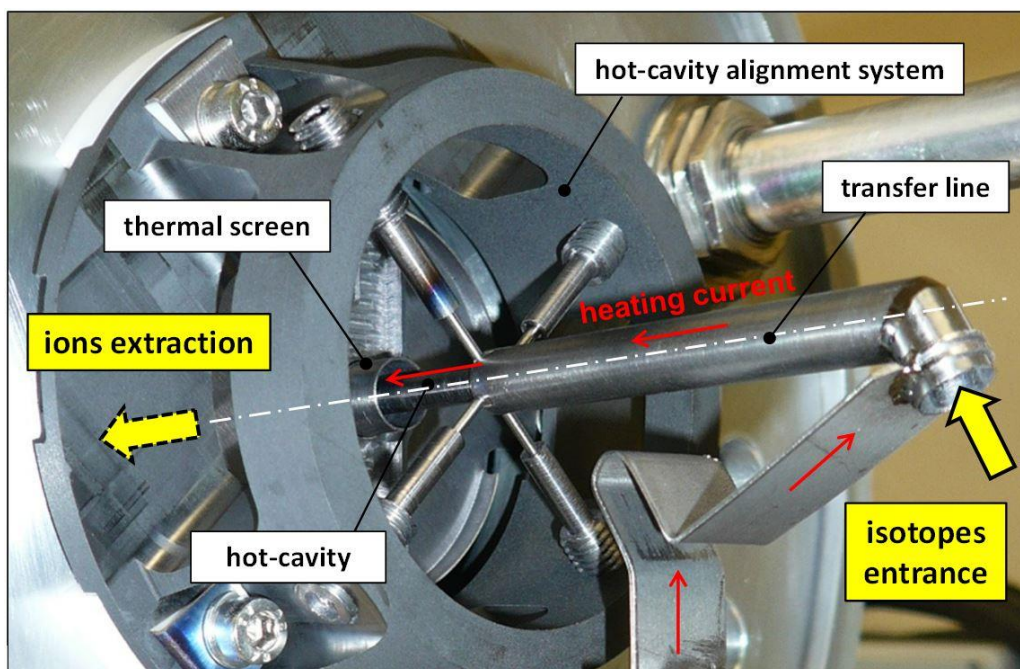


Fig. 1.12 Rappresentazione e schema di funzionamento della sorgente di ionizzazione superficiale del progetto SPES

Resonant Ionization Laser Ion Source (RILIS)

Il metodo RILIS è, ad oggi, il più potente strumento per la produzione di fasci di ioni radioattivi per le *facility* di tipo ISOL, in quanto permette un processo di ionizzazione selettiva e garantisce la soppressione di contaminazioni indesiderate a livello della sorgente di ionizzazione. Il la sorgente di ionizzazione laser utilizza un tipo di architettura identica a quella della sorgente di

ionizzazione superficiale (SIS), con la differenza che, in questo caso, un laser viene proiettato all'interno della sorgente come illustrato in Fig. 1.13.

Tale laser è composto dalla sovrapposizione di più raggi (due o tre a seconda dell'elemento chimico da ionizzare) aventi lunghezze d'onda e quindi frequenze differenti, corrispondenti a diversi valori energetici dei fotoni emessi. Esso irradia gli isotopi e fornisce loro energia necessaria per far compiere all'elettrone più esterno dei salti quantici verso orbitali ancor più lontani dal nucleo, fino alla separazione dell'atomo. In questo modo si ha formazione di uno ione positivo $1+$.

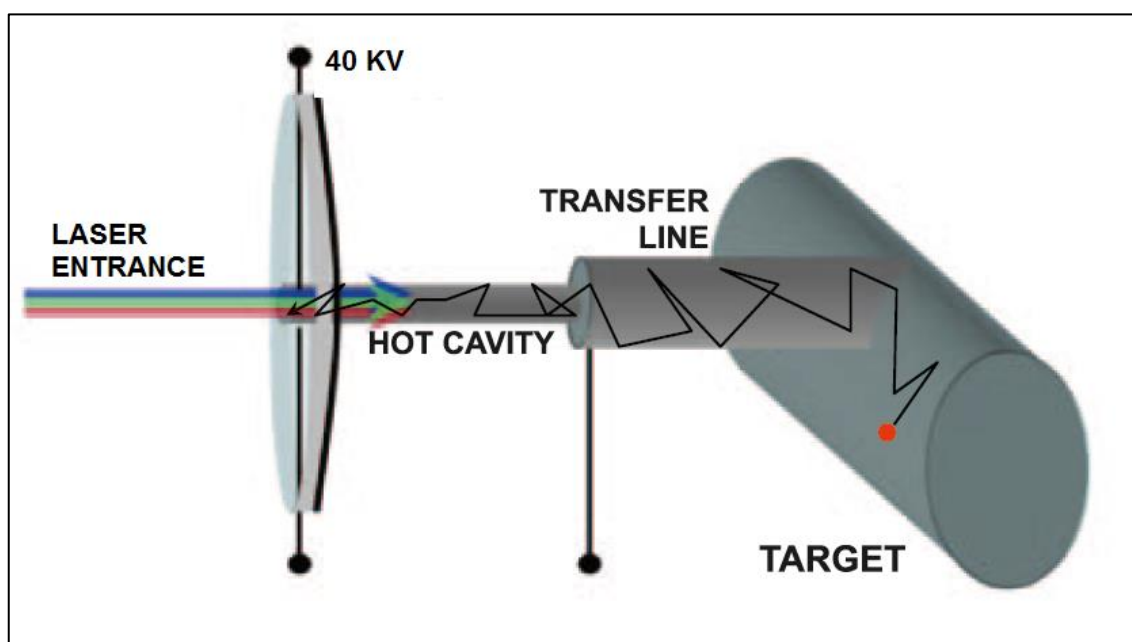


Fig. 1.13 Schema di funzionamento della RILIS [6].

La metodologia RILIS permette di ionizzare soltanto isotopi radioattivi della specie di interesse, producendo un fascio nel quale le contaminazioni sono minime. A causa dell'architettura della sorgente, tuttavia, alcuni elementi (in particolare il cesio) vengono ionizzati per strisciamento, provocando così imperfezioni che, se non opportunamente corrette o attenuate, andranno a contaminare il fascio.

Plasma ion source (PIS)

Questo tipo di sorgente utilizza, per la ionizzazione, la tecnica FEBIAD (*forced electron beam induced arc discharge*), in cui gli atomi vengono ionizzati a causa dell'impatto con elettroni accelerati per effetto termoionico. Il processo avviene in una struttura costituita da un catodo e da un anodo. Il catodo viene riscaldato grazie al passaggio di una corrente continua di 330-340 A e si porta ad alta temperatura. Questa conferisce agli elettroni un'energia superiore a quella di legame con l'atomo tanto che si verifica l'emissione di elettroni da parte del catodo in una camera che funge da anodo. All'interno di questa camera gli elettroni rilasciati dal catodo, che vengono accelerati da una differenza di potenziale tipicamente di 150V, vengono a contatto con gli atomi da ionizzare: l'impatto elettronico causa la perdita di un elettrone da parte degli atomi dell'anodo (ioni positivi) creando quindi un plasma. Nella *facility* ISOLDE del CERN viene usata una sorgente di ionizzazione al plasma di tipo FEBIAD chiamata MK5. Nell'ambito del progetto SPES un prototipo di questa sorgente è stato realizzato, testato e ottimizzato dal punto di vista elettro-termico. Questo tipo di sorgente è in grado di ionizzare qualsiasi tipo di elemento, anche se con efficienze inferiori rispetto alle tecniche laser e superficiale.

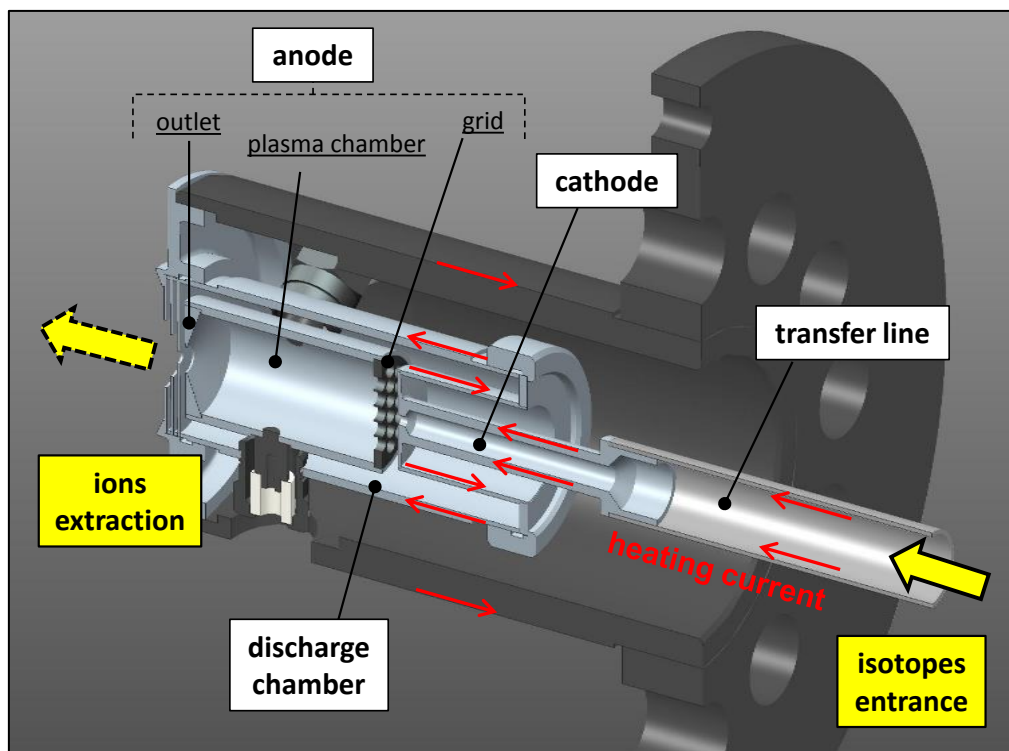


Fig. 1.14 Schema di funzionamento di una sorgente di ionizzazione di tipo FEBIAD [7].

1.4.4 - Separatori magnetici e post accelerazione

Il fascio estratto dalla sorgente di ionizzazione è sottoposto ad una prima fase di purificazione nella quale, attraverso un separatore di massa (*Wien Filter*), viene intrappolata una grande quantità di contaminanti. In Fig. 1.15 una rappresentazione del *front end* di SPES.

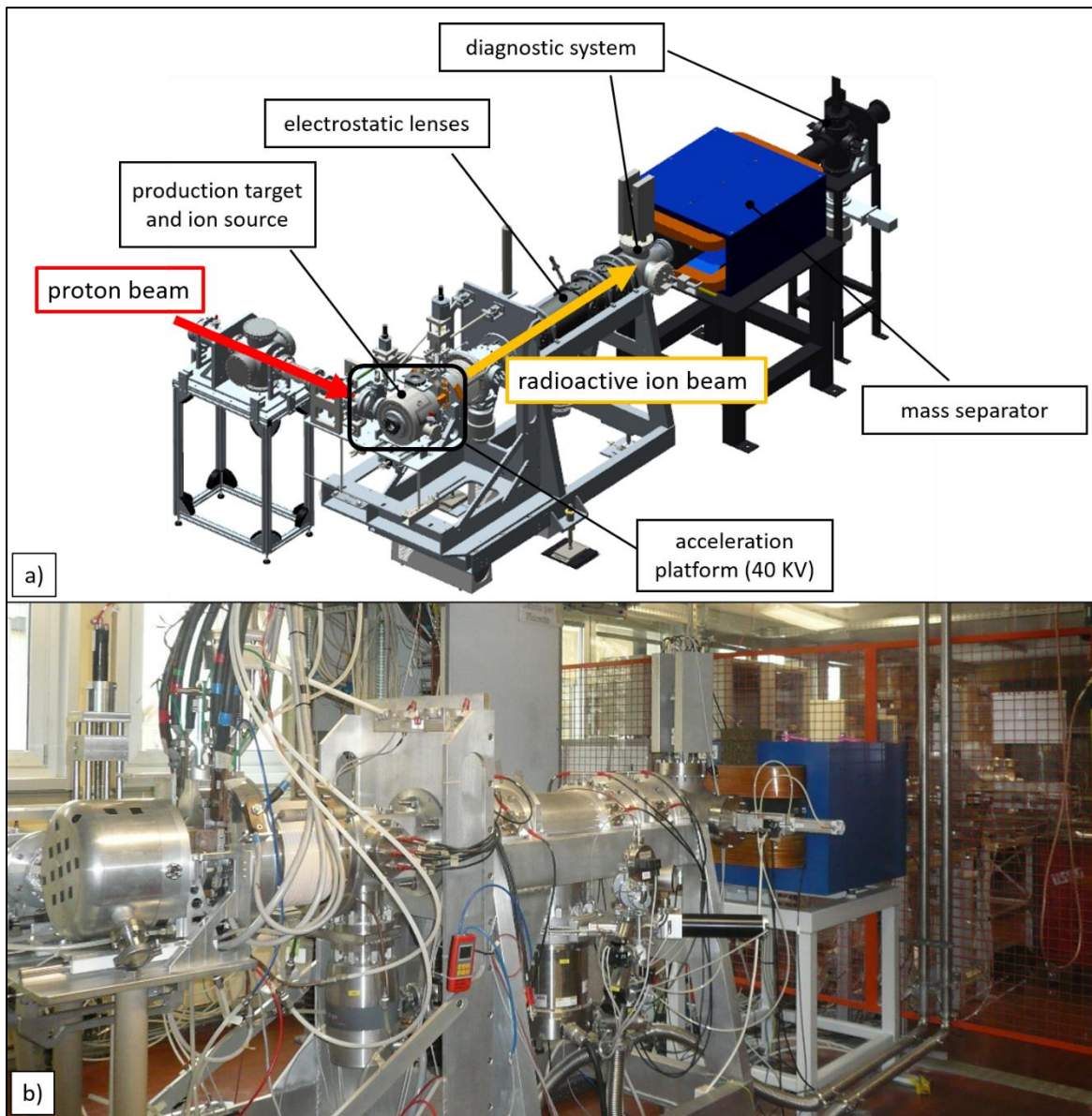


Fig. 1.15 Il front end di SPES per la produzione di fasci di isotopi radioattivi (utilizzo on-line) **a)** e l'apparato di test realizzato per la produzione di fasci di ioni stabili (utilizzo off-line) **b).**

Il separatore di massa è seguito da un separatore isobaro, avente una risoluzione pari a 15000, e che permette quindi di separare gli isotopi come il ^{132}Cs e lo ^{132}Sn tra loro isobari. A questo punto il fascio radioattivo può essere direttamente convogliato alle sale sperimentali ed utilizzato in esperimenti che richiedono fasci radioattivi di bassissima energia, oppure essere post accelerato. La post accelerazione viene ottimizzata mediante l'impiego di un *Charge Breeder*, un dispositivo in grado di incrementare la carica degli ioni prima dell'iniezione del fascio esotico in un RFQ, che rappresenta il primo stadio di post accelerazione prima dell'ingresso in ALPI.



Fig. 1.16 A sinistra, un tratto del linac ALPI. In evidenza i criostati, recipienti che contengono ed isolano termicamente le cavità superconduttive (a $T=-269\text{ }^{\circ}\text{C}$). A destra, l'interno di un criostato, con 4 cavità acceleranti su base di rame.

1.5 - Applicazioni dei fasci di ioni esotici

I fasci di ioni esotici hanno suscitato, nel corso degli anni, un crescente interesse dovuto alle loro molteplici applicazioni non solo nel campo della fisica nucleare ma anche in astrofisica, medicina e fisica dello stato solido. Nei prossimi paragrafi viene data una breve panoramica delle applicazioni nei vari ambiti di ricerca.

1.5.1 - Applicazioni in fisica nucleare

Sono elencate di seguito le principali applicazioni nell'ambito della fisica nucleare.

Miglioramento e verifica del modello standard

L'attuale modello su cui si basa la fisica nucleare comprende tre delle quattro interazioni fondamentali, cioè l'interazione nucleare forte, l'elettromagnetismo e l'interazione nucleare debole (queste ultime talvolta identificate con il termine interazione elettrodebole) e descrive la funzione e le proprietà di tutte le particelle (note ed osservate) che costituiscono la materia. Sebbene tale modello abbia avuto un notevole successo l'aspetto poco soddisfacente è che è stato costruito facendo uso di alcune assunzioni ad hoc non ancora pienamente verificate. Per chiarire l'origine e confermare la validità di tali assunzioni sono stati ideati complessi esperimenti di fisica nucleare, suggeriti da convincenti basi di natura teorica. La messa in opera di tali procedure sperimentali comporterebbe l'effettuazione di misure precise sulle proprietà di decadimento di alcuni isotopi, che possono essere ricavate utilizzando come sorgente pura di ioni i fasci radioattivi prodotti nelle *facility*.

Studio della struttura di nuclei complessi

I nucleoni (protoni e neutroni) sono a loro volta costituiti da sub-particelle dette quark. Esse esercitano un'azione fisica che va oltre i nucleoni nei quali sono confinate. Si osserva in particolare che tale interazione si manifesta in maniera diversa tra nucleoni liberi e nucleoni appartenenti allo stesso nucleo, in quanto influenzata dalla densità di protoni e neutroni associata al particolare tipo di nucleo. Attualmente non è stata ancora identificata una formula generale in grado di quantificare l'entità delle interazioni nucleari per tutti i tipi di nuclei, in

quanto calcoli di natura quantomeccanica sono applicabili solamente ai nuclei più leggeri. La fisica nucleare quindi si è posta l'obiettivo di ottenere una trattazione unitaria in grado di:

- Permettere di determinare l'effettiva interazione tra le particelle nucleari
- Eliminare le incongruenze presenti nel modello corrente
- Essere applicabile anche ai nuclei esotici, ossia quelli con rapporto protoni/neutroni estremo.

A questo proposito i fasci di ioni radioattivi possono fornire un prezioso contributo.

Misure della dimensione del nucleo: i nuclei halo

Le dimensioni del nucleo sono direttamente correlate al numero di nucleoni che lo costituiscono, ovvero il numero di massa (A). Tale correlazione è espressa dalla formula:

$$R = R_0 A^{1/3} \tag{1.2}$$

dove con R è espresso il raggio del nucleo, A indica il numero di massa e R_0 rappresenta una costante pari a 1.2 fermi (1 fermi = 10^{-15} m).

Tuttavia in particolari condizioni, lontane dalla stabilità, si possono incontrare notevoli deviazioni dalla legge poiché le interazioni tra i nucleoni possono diventare così piccole da non garantire la formazione di un nucleo sotto forma di aggregato. Si possono quindi formare nuclei ad anello, detti nuclei "halo". Nuclei di questo tipo presentano una diversa distribuzione dei neutroni; si tratta in particolare di nuclei con sovrabbondanza di neutroni rispetto al corrispondente isotopo stabile, inoltre uno o due di questi neutroni risentono di una debole interazione con il nucleo, e vi orbitano intorno rimanendo quindi separati da esso (neutroni di valenza). Un esempio di nucleo "halo" è l'isotopo ^{11}Li , il cui nucleo presenta due neutroni di valenza. In questo nuclide la dimensione media del nucleo è paragonabile a quella dell'isotopo ^{48}Ca , se però si considera anche l'alone racchiuso dalle orbite dei due neutroni di valenza le dimensioni diventano confrontabili con quelle del nucleo molto più massivo dell'isotopo ^{208}Pb (Fig. 1.17).

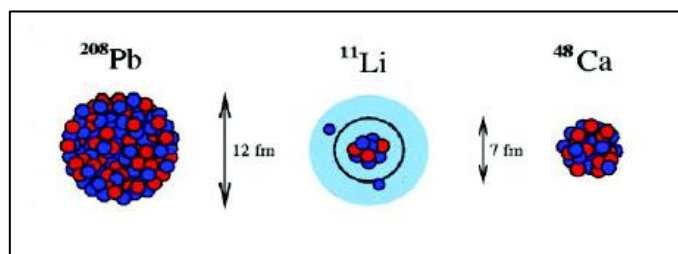


Fig. 1.17 Paragone tra la dimensione del nucleo di ^{11}Li e quella di altri nuclei più massivi.

Il nucleo ^{11}Li è un particolare sistema a tre corpi (i due neutroni ed il core), infatti rappresenta un esempio naturale di sistema borromeico. In topologia si definisce borromeico un sistema costituito da tre anelli tra loro legati inscindibilmente in maniera tale che tuttavia la soppressione di uno comporta la separazione degli altri due. I nuclei ad anello sono detti anche borromeici perché infatti se il costituente di uno degli anelli viene in qualche modo rimosso, l'intero sistema diviene immediatamente instabile e i due anelli rimanenti si separano e si allontanano facilmente.

Attualmente è possibile determinare la distribuzione dei protoni con esperimenti di spettroscopia atomica, utilizzando fasci radioattivi di bassa energia e luce laser collineata. Se si cerca invece di determinare la distribuzione di tutti i nucleoni è necessario disporre di fasci ad alta energia, come quelli prodotti nelle *facility*.

Produzione di elementi superpesanti

In natura si ritrovano all'incirca 90 elementi, dall'idrogeno all'uranio. Grazie a reazioni di fusione nucleare negli ultimi anni è stato possibile sintetizzare elementi con elevato numero di massa estendendo il numero dei costituenti della tavola periodica fino ad elementi con numero atomico pari a 112, prospettando una futura estensione a 116. In particolare partendo da osservazioni preliminari si ritiene che questi elementi detti superpesanti, in cui la repulsione coulombiana assume valori elevati, riescano a formarsi intorno alla cosiddetta isola di stabilità, una configurazione formata da 114 protoni e 184 neutroni che sembra garantire la stabilità del nucleo. Le tecnologie più recenti consentono la disponibilità di fasci intensi, costituiti da nuclei instabili ricchi di neutroni (n-rich). Se questi vengono accoppiati a target stabili, anch'essi ricchi di neutroni, potrebbero crearsi le condizioni adatte per approfondire tale fenomeno e aprire definitivamente la strada ad uno studio più accurato di questa realtà.

1.5.2 - Applicazioni nella fisica dello stato solido

Nel 1920 è stata ideata la tecnica del *Radio Tracer Diffusion*, che consiste nell'impiantare in un sistema solido dei nuclei radioattivi e studiarne il decadimento, rilevando le particelle e le radiazioni gamma che emettono. È possibile rilevare anche il segnale di pochissimi atomi, pertanto questa tecnica risulta particolarmente utile e diffusa per lo studio dei processi di diffusione all'interno dei sistemi solidi.

Il sistema ospitante può essere drogato con radioisotopi sonda sia per diffusione mediante reazione nucleare, sia per impianto ionico. La scelta dello specifico isotopo radioattivo da utilizzare nello specifico esperimento viene effettuata in base sia alle caratteristiche chimico-fisiche sia alle proprietà nucleari di quest'ultimo.

L'utilizzo della tecnica *Radio Tracer Diffusion* consente di:

- Osservare, tramite i prodotti del decadimento le interazioni tra l'atomo sonda e la struttura del reticolo cristallino che lo circonda
- Ricavare informazioni riguardanti il campo elettrico e magnetico all'interno del reticolo cristallino
- Studiare i processi diffusivi e le interazioni tra gli atomi sonda
- Evidenziare la presenza, la distribuzione e la tipologia dei difetti nel reticolo cristallino

Drogaggio dei semiconduttori

Per poter sviluppare semiconduttori di piccole dimensioni è necessario poter avere il miglior controllo possibile sui difetti che governano tali proprietà, cioè sia sulle caratteristiche intrinseche (vacanze, difetti interstiziali) sia su quelle estrinseche (droganti, impurità atomiche) del reticolo cristallino. Per questo motivo sia la ricerca di base, sia quella applicata stanno concentrando i propri sforzi nello studio dei difetti e dell'attivazione elettrica dei droganti in diversi tipi di semiconduttori.

Analogamente agli isotopi droganti stabili, anche quelli radioattivi possono alterare le proprietà elettriche ed ottiche dei semiconduttori nei quali vengono inseriti. Queste caratteristiche sono influenzate dalle loro proprietà chimiche e dalla posizione in cui vengono inseriti nel reticolo. Oltre alla tipologia di semiconduttore le loro proprietà ottiche ed elettroniche sono sensibilmente influenzate anche dalle dimensioni. È stato dimostrato infatti che nel caso i conduttori particolarmente piccoli tali proprietà possono essere alterate in maniera significativa se vi è un difetto con concentrazione inferiore a 10^{12} atomi/cm³. Per avere quindi un controllo affidabile delle prestazioni di semiconduttori di questo tipo è indispensabile poter disporre di tecniche sperimentali con elevata sensibilità sia dal punto di vista chimico, sia da quello della concentrazione dei difetti.

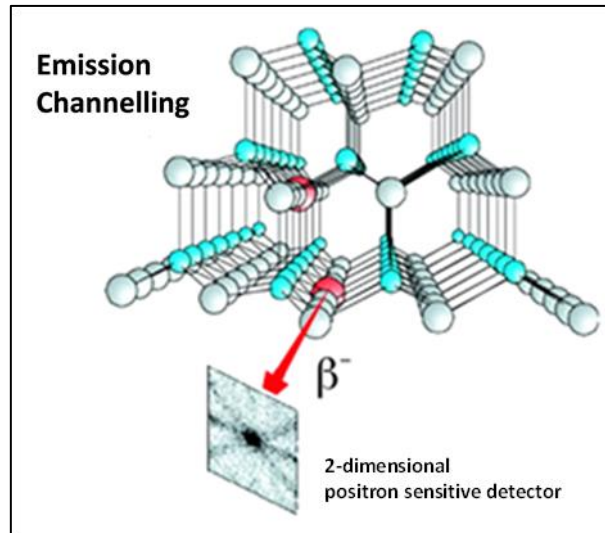


Fig. 1.18 Emission channeling degli elettroni emessi da atomi radioattivi situati in una riga atomica del reticolo.

La tecnica diffusa da decenni per la rilevazione delle impurità è stata il *channeling* (Fig. 1.18): tale procedura consiste nell'indirizzare un fascio di ioni attraverso le righe atomiche dei cristalli o lungo i piani del cristallo (canali), tuttavia non è possibile determinare concentrazioni di difetti inferiori a 10^{18} atomi / cm^3 . La sensibilità subisce un notevole miglioramento se all'interno del reticolo cristallino sono impiantate impurità radioattive che emettono particelle cariche (*emission channeling*). Misurando l'emissione lungo direzioni diverse è possibile determinare la posizione nel reticolo cristallino dell'atomo emittente con un'accuratezza di pochi decimi di Å.

1.5.3 - Applicazioni in medicina nucleare

I fasci di ioni radioattivi possono avere interessanti applicazioni mediche sia nel campo della diagnosi sia nel campo del trattamento di patologie tumorali. Di seguito sono illustrate le principali applicazioni in campo medico che attualmente sono state prese in considerazione.

La tomografia ad emissione positronica (PET)

Prima di trattare quest'altra applicazione è bene introdurre alcune definizioni:

- Si dice antimateria la materia costituita dalle antiparticelle: esse hanno massa uguale a quella delle corrispettive particelle della materia ordinaria, ma caratteristiche opposte.
- Viene chiamata positrone (o anche antielettrone) l'antiparticella corrispondente all'elettrone, avente quindi carica +1. Quando un positrone viene associato ad un elettrone la loro carica si annulla e la loro massa viene convertita in energia sotto forma di due fononi ad altissima energia, nella banda dei raggi gamma. I positroni possono essere generati dal decadimento radioattivo con emissione di positroni o dall'interazione con la materia di fotoni con energia superiore a 1.022 MeV.

L'antimateria è generalmente utilizzata nello studio delle interazioni tra le particelle elementari, tuttavia presenta anche un'importante applicazione tecnologica: la Tomografia ad emissione Positronica (PET- Positron Emission Tomography). Si tratta di una tecnica di medicina nucleare e diagnostica medica che sfrutta l'emissione positronica per monitorare il funzionamento degli organi interni dei pazienti creando mappe tridimensionali ad alta risoluzione della parte del corpo che si vuole osservare.

La procedura PET prevede di iniziare in genere con l'iniezione per via endovenosa di alcuni isotopi traccianti a vita media breve, legati ad una molecola metabolicamente attiva (generalmente uno zucchero). Trascorso un certo periodo di tempo nel quale la molecola contenente il tracciante ha avuto modo di diffondersi nel corpo e legarsi alle cellule con una certa concentrazione nei vari tessuti da esaminare, il soggetto viene posizionato all'interno dello scanner.

L'isotopo di vita media breve decade emettendo un positrone. Dopo un percorso breve, di al massimo pochi millimetri il positrone si annichila con un elettrone, emettendo due fotoni con energia paragonabile a quella della radiazione gamma. I fotoni sono emessi lungo una stessa retta ma con direzione opposte (sfasate quindi di 180° tra loro) e vengono poi rilevati dal dispositivo di scansione mediante particolari tubi fotomoltiplicatori. Il principio fondamentale su cui si basa l'efficacia della tecnica è la rilevazione simultanea di coppie di fotoni. Coppie di fotoni che non arrivano al rilevatore in un intervallo di tempo sufficientemente ristretto (pochi nanosecondi) tra loro non vengono presi in considerazione. Misurando la posizione in cui ciascun fotone colpisce il rilevatore (ciascuna coppia identifica una retta) è possibile determinare la posizione del corpo da cui sono stati emessi (teoricamente due coppie di fotoni identificano due rette tra loro incidenti nel punto di emissione), permettendo quindi di monitorare l'attività degli organi osservati. Lo scanner utilizza l'emissione di fotoni per determinare la densità di isotopi nei tessuti analizzati. La mappa risultante rappresenta i tessuti in cui la molecola tracciante si è concentrata maggiormente e viene letta e interpretata da uno specialista in medicina nucleare o in radiologia al fine di effettuare una diagnosi e stabilire il trattamento adeguato per l'eventuale patologia o anomalia riscontrata. Molto spesso i risultati ottenuti dalla Tomografia ad Emissione di Positroni sono integrati e confrontati con gli esiti della Risonanza Magnetica Nucleare, ottenendo così una mappatura completa dei tessuti analizzati, comprendente informazioni sia morfologiche ed anatomiche, sia metaboliche.

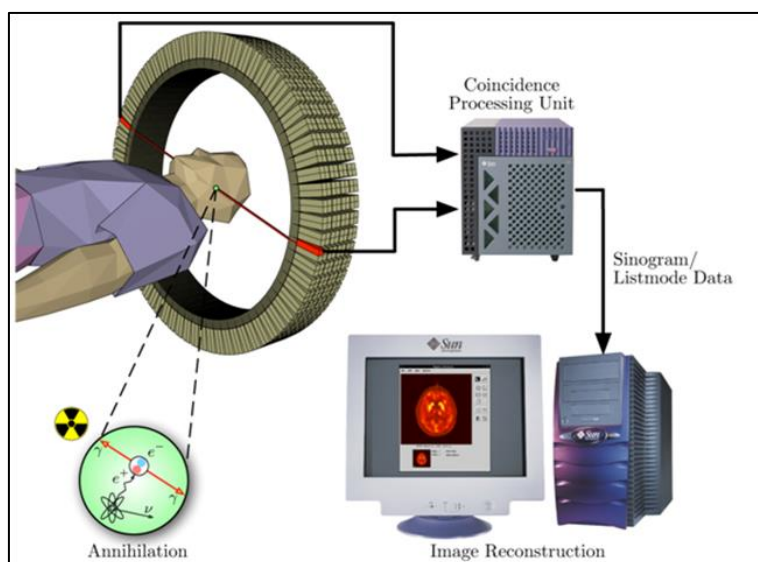


Fig. 1.19 La tecnica di analisi PET.

In ogni caso mentre diagnosi effettuate con i metodi di scansione come la RMN e la TAC permettono di identificare alterazioni morfologiche e anatomiche dei tessuti organici, le scansioni PET sono in grado di mostrare eventuali variazioni a livello biologico molecolare con l'utilizzo di marcatori che presentano diversa velocità di assorbimento a seconda del tessuto interessato. Questo tipo di alterazioni in genere precedono quelle morfologiche, pertanto permettono di diagnosticare con maggiore anticipo eventuali anomalie.

Con una scansione PET si può inoltre determinare con una certa precisione il cambio di afflusso sanguigno nei vari tessuti attraverso la determinazione di concentrazione dell'emissione positronica. I radionuclidi più utilizzati nella scansione PET sono isotopi a breve tempo di dimezzamento, come ^{11}C (~20 min), ^{13}N (~10 min), ^{15}O (~2 min), ^{18}F (~110 min). Per via del loro basso tempo di dimezzamento i radioisotopi devono essere prodotti in prossimità dello scansionatore PET.

La produzione di radiofarmaci

Nell'ambito del progetto SPES è in fase di studio la possibilità di produzione di radioisotopi utili per applicazioni di medicina nucleare. In tale ambito la ricerca è molto viva e nell'ottica di una collaborazione tra i laboratori di fisica nucleare e gli ospedali, si stanno studiando i possibili radiofarmaci producibili. Saranno prodotti soprattutto radioisotopi *neutron-rich-emitters*, dalle applicazioni in campo terapeutico molto promettenti. Ciò che rende questo studio significativo è la possibilità di produrre radiofarmaci ad altissima purezza, privi di contaminanti. Attualmente è stata condotta con successo una sperimentazione pilota con ^{89}Sr , uno dei radioisotopi più promettenti, per la verifica della realizzabilità del progetto [8].

1.5.4 - Applicazioni in astrofisica

L'astrofisica nucleare è fondamentale per la comprensione delle strutture, dell'evoluzione, delle dinamiche e della composizione dell'universo e dei suoi costituenti.

Nelle stelle avvengono reazioni nucleari che liberano grandi quantità di energia e che coinvolgono sia nuclei stabili sia nuclei instabili. Tali reazioni possono essere costanti nel tempo, permettendo quindi alla stella di continuare a brillare per milioni di anni prima di esaurire il carburante nucleare, oppure liberare un'enorme quantità di energia in un unico evento esplosivo distruggendo di fatto la stella in pochi minuti o secondi.

Nelle differenti fasi della vita di una stella vengono sintetizzati nuovi elementi chimici, sia attraverso reazioni di nucleosintesi che seguono strettamente la valle di stabilità, sia attraverso processi non ancora identificati dal momento che si svolgono in un territorio sconosciuto.

Per sviluppare un modello che descriva il processo di nucleosintesi è necessario valutare le rese delle reazioni nucleari dei principali cicli astrofisici e le caratteristiche di decadimento di nuclei tuttora sconosciuti. Queste essenziali informazioni includono i tempi di vita, le masse ed i principali canali di decadimento di un numero di nuclei chiave lontani dalla stabilità. Le reazioni nucleari coinvolgenti nuclei instabili possono essere misurate unicamente con un fascio radioattivo: per tale motivo si prevede che la nuova generazione di *facility* per la produzione di fasci radioattivi risulterà di fondamentale importanza per la comprensione della sintesi elementare nell'Universo.

1.6 - Conclusioni

L'importanza assunta negli anni dai fasci radioattivi, sia per la ricerca teorica che applicata, ha spinto la comunità scientifica internazionale a costruire numerose *facility* per la loro produzione: il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro rientra nell'ambito della realizzazione di una *facility* europea di tipo ISOL ad alte prestazioni (progetto EURISOL); la realizzazione operativa di tale progetto prevede l'allestimento di una *facility* "intermedia" in grado di ottenere come prestazioni 10^{13} fissioni/s in un target formato da 7 dischi in carburo di uranio bombardati da un fascio protonico di 40 MeV a 0,2 mA.

Capitolo 2

Il layout del progetto SPES, i sistemi di movimentazione ed il sistema di estrazione verticale

2.1 - Introduzione

In questo capitolo ci si pone l'obiettivo di descrivere il layout SPES, cioè le zone dell'edificio SPES contenenti tutte le apparecchiature necessarie al progetto.

Si illustra dettagliatamente la zona di produzione dei RIB, denominata bunker, la sala A16 sovrastante il bunker e le apparecchiature presenti al suo interno che contengono il bersaglio di produzione. A tale proposito, considerata l'elevata radioattività dell'ambiente che circonda la camera target anche dopo il bombardamento protonico, è stato necessario progettare dei sistemi di movimentazione al fine di minimizzare l'intervento umano dentro al bunker. Se ne fornisce una spiegazione dettagliata, in particolare si fa riferimento ad un insieme di sistemi di movimentazione meccatronici: il sistema di movimentazione della coupling table per accoppiare/disaccoppiare la camera target dal Front-End, il sistema di movimentazione orizzontale che permette la sua rimozione, il sistema di movimentazione del deposito temporaneo in cui sono custodite le camere target utilizzate e infine il sistema di movimentazione verticale per la sostituzione di emergenza della camera target.

2.2 - L'infrastruttura del progetto SPES

L'infrastruttura del progetto SPES è l'insieme dei dispositivi utilizzati per la produzione del fascio di ioni esotici e dell'edificio nel quale tale operazione avviene. Risulta fondamentale considerare aspetti riguardanti l'edilizia, i sistemi all'interno del bunker, la zona adibita alla produzione del fascio, e i sistemi di movimentazione. Attualmente, per quanto riguarda l'edilizia, è terminata la costruzione esterna dell'edificio SPES mentre la parte interna è ancora in fase di realizzazione (Figure 2.1 e 2.2). Sono inoltre in fase di realizzazione e di test i macchinari utili alla produzione del fascio e alla movimentazione dei componenti.



Fig. 2.1 Edificio SPES.

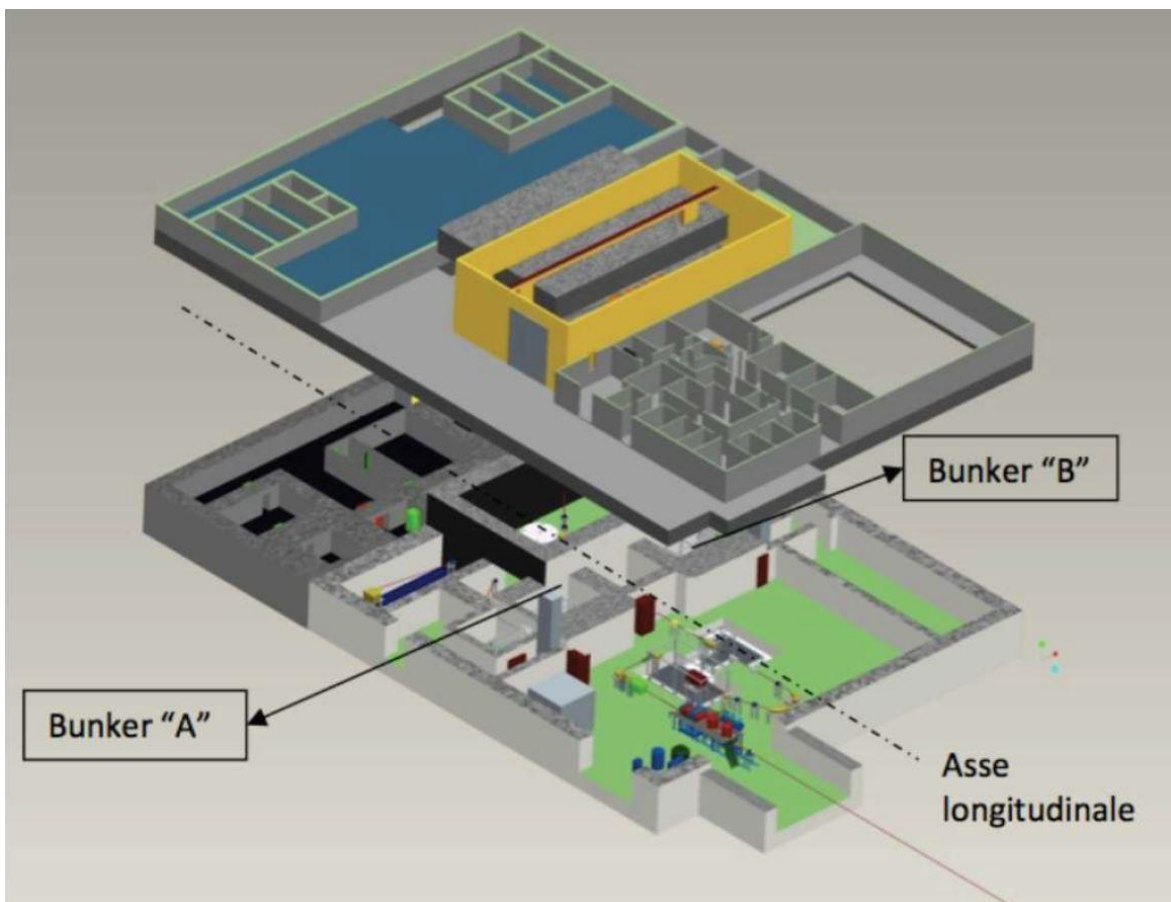


Fig. 2.2 Planimetria tridimensionale dell'edificio SPES.

2.2.1 - Zona di produzione degli ioni esotici

La zona di produzione dei nuclei radioattivi è stata progettata per contenere tutta l'attrezzatura utile alla produzione del fascio. Sono necessarie strutture che permettono un elevato livello di sicurezza, soprattutto relativamente all'emissione di radiazioni, in quanto il livello di radioattività nel luogo in cui viene irradiato il target è tale da non permettere la presenza di esseri umani. Per isolare la zona di produzione dagli ambienti esterni sono previsti pareti e solai di grande spessore. Il peso della struttura tende a provocare il suo sprofondamento nel terreno, in particolare per la presenza del ciclotrone che costituisce una massa elevata concentrata in poco spazio. Per ovviare a questo problema sono state realizzate grandi palificazioni, inoltre è previsto un preciso monitoraggio al fine di mantenere sempre il ciclotrone e i sistemi di post accelerazione allineati con il fascio, dato che è collegato anche con gli edifici già presenti ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

La planimetria del piano interrato dell'edificio SPES (Figura 2.3) prevede che vi siano due zone di produzione degli ioni esotici. In questo modo si garantisce una produzione continua del fascio e in modo da non doverla interrompere nei periodi della necessaria manutenzione ordinaria. Le due zone sono disegnate in modo speculare e il fascio di particelle prodotto dall'acceleratore primario può essere indirizzato sia da una parte sia dall'altra.

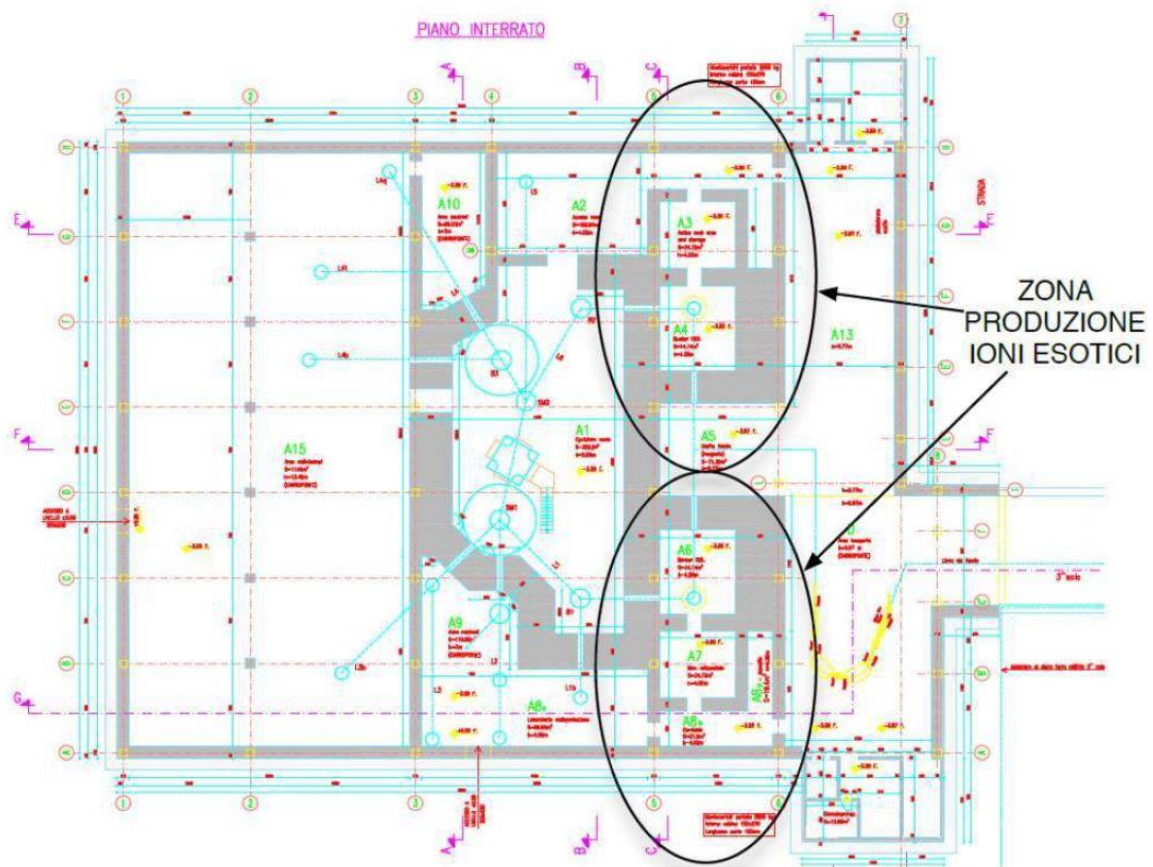


Fig. 2.3 Planimetria del piano interrato dell'edificio SPES.

La procedura ordinaria prevede la sostituzione del target ad intervalli di tempo regolari, secondo il seguente ciclo di lavoro della durata di 28 giorni:

1. Inserimento della camera contenente il target;

2. Irradiation step: periodo, di 14 giorni, durante il quale il target viene irradiato dal fascio protonico proveniente dal ciclotrone;
3. Cooling time: periodo di 14 giorni durante il quale avviene la diminuzione del livello di radioattività della camera target;
4. Estrazione e stoccaggio della camera target.

Il sistema può funzionare in modo ininterrotto in quanto una parte può essere utilizzata, mentre quella speculare è in fase di raffreddamento o sostituzione del target. I tempi di intervento sono studiati al fine di sottoporre i componenti, posti all'interno del bunker, ad una dose di radiazioni tale da permettere una diminuzione della radioattività in un lasso di tempo ragionevole. Se i tempi di irradiazione, e quindi di raffreddamento, fossero molto lunghi, in caso di malfunzionamento, il tempo di attesa per poter accedere alla zona ed intervenire sul danno sarebbe eccessivo.

In Figura 2.4 si evidenzia l'area del piano interrato dell'edificio SPES di nostro interesse mentre in Figura 2.5 sono illustrate in dettaglio le zone di produzione e in cui avverranno le operazioni di movimentazione.

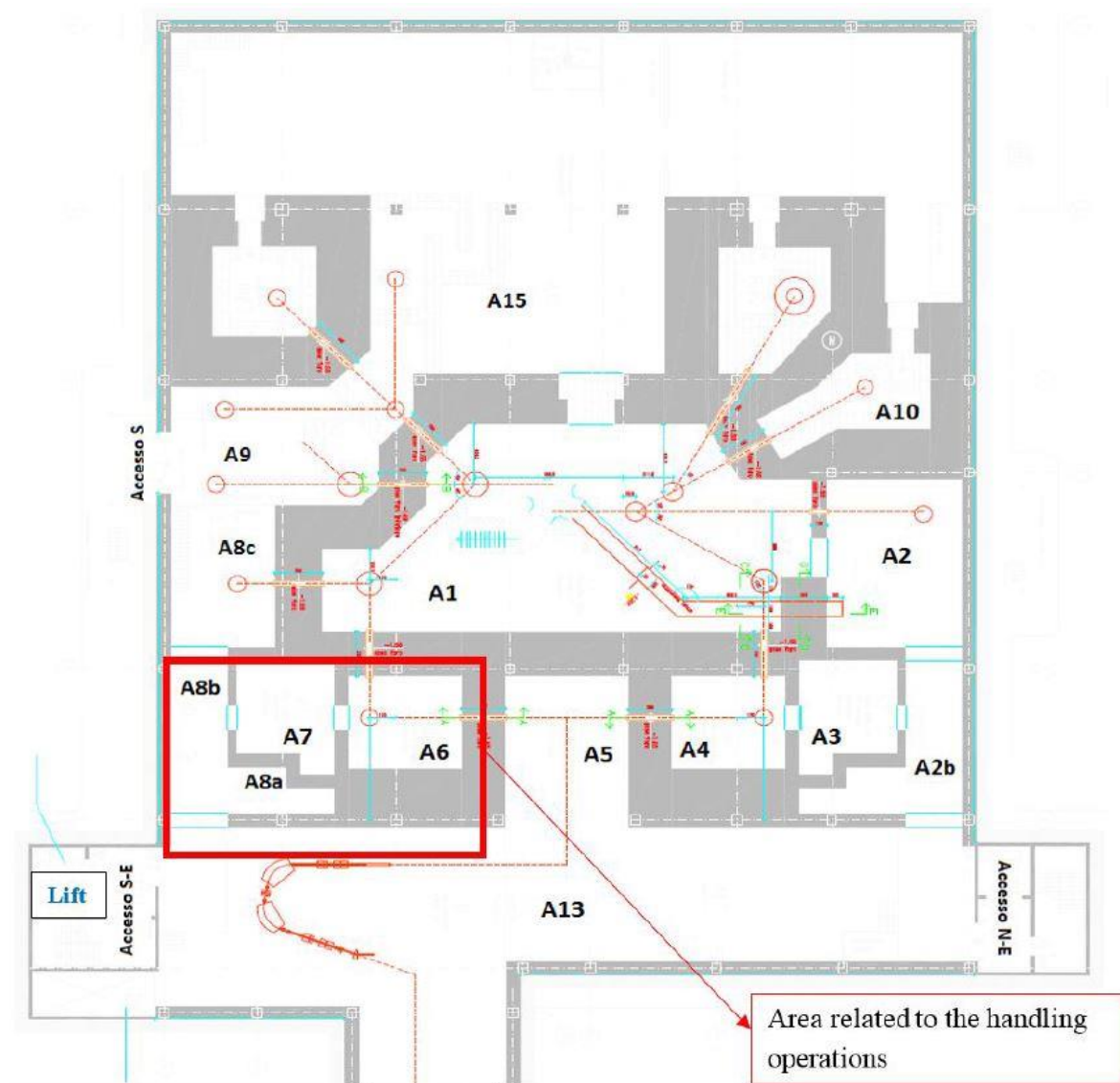


Fig. 2.4 Area del piano interrato interessata alle operazioni di movimentazione dell'edificio SPES.

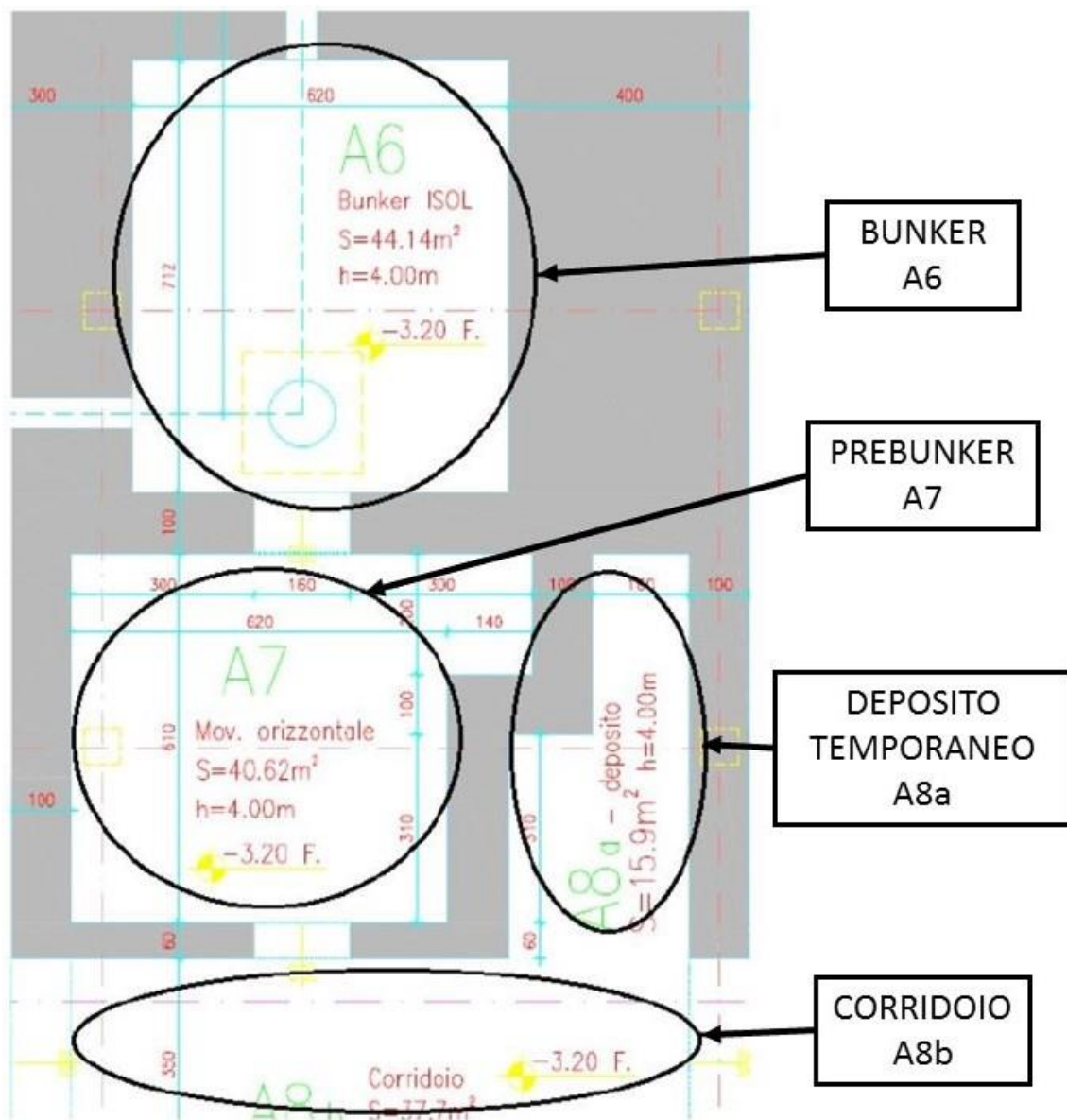


Fig. 2.5 Pianta della zona di produzione e movimentazione.

La stanza A6 dove avviene effettivamente la produzione degli isotopi radioattivi è denominata bunker. Essa è il luogo in cui vi sono le più alte emissioni radioattive. Le quattro aree rappresentate in Figura 2.5 sono:

- Bunker A6: contiene il Front End
- Prebunker A7: adibita alle operazioni di movimentazione della camera e permette anche di isolare ulteriormente le altre aree dalle radiazioni;
- Corridoio A8b: funge da corridoio di libero accesso e permette di isolare dalle radiazioni le altre aree;
- Deposito temporaneo A8a: è un'area dedicata allo stoccaggio delle camere target esauste e perciò radioattive.

2.3 - Il Front-End (FE)

Con il termine Front-End si indica l'insieme dei dispositivi che concorrono alla produzione ed al trasporto di fasci di ioni radioattivi e verranno collocati nella camera calda in A6. Il Front-End del Progetto SPES è rappresentato in modo dettagliato in Figura 2.6 e si compone essenzialmente di tre parti:

- Front-End protonico (FEP), necessario per una taratura del fascio di protoni che entra nella camera target;
- Front-End radioattivo (FER), dove avviene la produzione e l'estrazione dei radioisotopi;
- Coupling table, è la sede in cui viene posizionata la camera contenente il target.

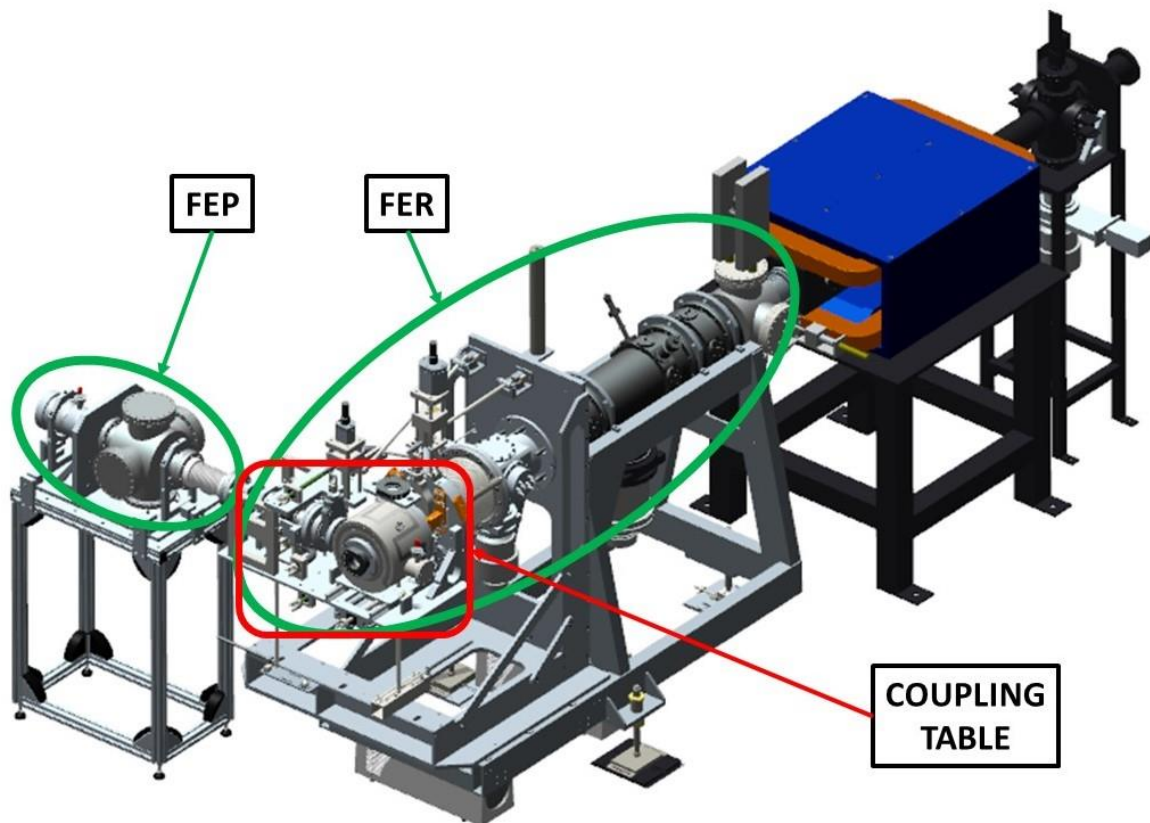


Fig. 2.6 Rappresentazione del Front-End di SPES e dispositivi attigui.

A differenza di quanto avviene, ad esempio, per la camera target, la quale viene periodicamente sostituita, l'insieme dei componenti del Front-End rimangono fissi all'interno del bunker e sono sottoposti soltanto alla manutenzione programmata. Le zone più prossime alla camera target sono soggette ad un notevole danneggiamento dovuto all'alta dose radioattiva assorbita e proveniente dal target, la quale varia approssimativamente con il quadrato della distanza dalla fonte irradiante. Proprio per questo motivo si stima la sostituzione della camera target ogni 15 giorni di lavoro.

L'intero sistema deve essere tenuto in condizioni di alto vuoto. Per raggiungere i livelli di vuoto richiesti devono essere usati molti accorgimenti, in particolare:

- Utilizzo di guarnizioni apposite nelle connessioni tra le parti meccaniche dei canali;
- Utilizzo del grasso da vuoto per migliorare l'adesione delle guarnizioni;

- Trattamento delle superfici interne di ciascun componente con solventi e con vasca ad ultrasuoni;
- Trattamenti chimici superficiali per evitare l'eccessivo degasaggio;

L'alto livello di vuoto, dell'ordine di 10^{-6} mbar, facilita il cammino dei due fasci ed evita l'ossidazione dei componenti del target, aspetto di grande importanza dato che la camera target lavora ad alte temperature. Il vuoto si ottiene in due passaggi: inizialmente una serie di pompe volumetriche rotative tipo scroll (Figura 2.7) raggiungono vuoti dell'ordine di 10^{-2} - 10^{-3} mbar e successivamente si raggiungono le pressioni richieste in esercizio azionando delle pompe turbo-molecolari (Figura 2.8). Vuoti superiori a valori di 10^{-5} - 10^{-6} mbar non sono raggiungibili per problemi di degassamento superficiali, legati al materiale scelto per la costruzione del Front-End (alluminio), ma soprattutto per il rilascio di atomi da parte dei componenti all'interno della camera target sottoposti ad elevate temperature. L'alluminio è stato preferito all'acciaio poiché quest'ultimo ha la tendenza ad attivarsi in modo significativo e duraturo in presenza di radiazione neutronica.



Fig. 2.7 Pompa rotativa

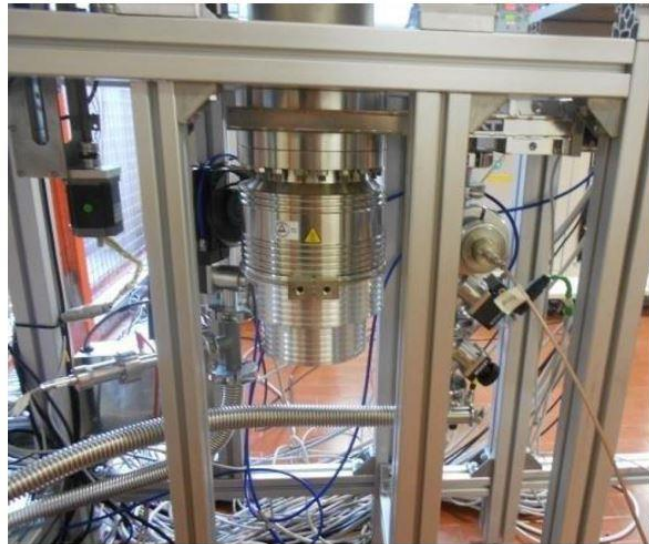


Fig. 2.8 Pompa turbomolecolare

Per garantire una piena efficienza del sistema e limitare l'usura delle parti meccaniche in movimento, la parte terminale del Front-End, che comprende la tavola di ammaraggio, è progettata in modo da essere estratta dal bunker per essere sostituita ogni sette anni. Di conseguenza tutte le parti che la compongono devono avere un'affidabilità tale da garantire questo tempo di vita con un elevato margine di sicurezza.

2.3.1 - La camera target

La camera target è l'elemento fondamentale del processo di produzione del fascio di ioni esotici, in quanto contiene il target ed è al suo interno che avviene la produzione degli isotopi radioattivi (Figura 2.9). La camera è un cilindro cavo di alluminio, del peso di circa 30 kg, nel quale è contenuto il target in cui avviene la reazione nucleare. La temperatura del target deve essere mantenuta a circa 2000 °C per ottimizzare il processo, mentre la temperatura della camera viene mantenuta costante ad un livello più basso grazie ad un apposito sistema di refrigerazione, costituito da una serpentina all'interno della quale scorre acqua.

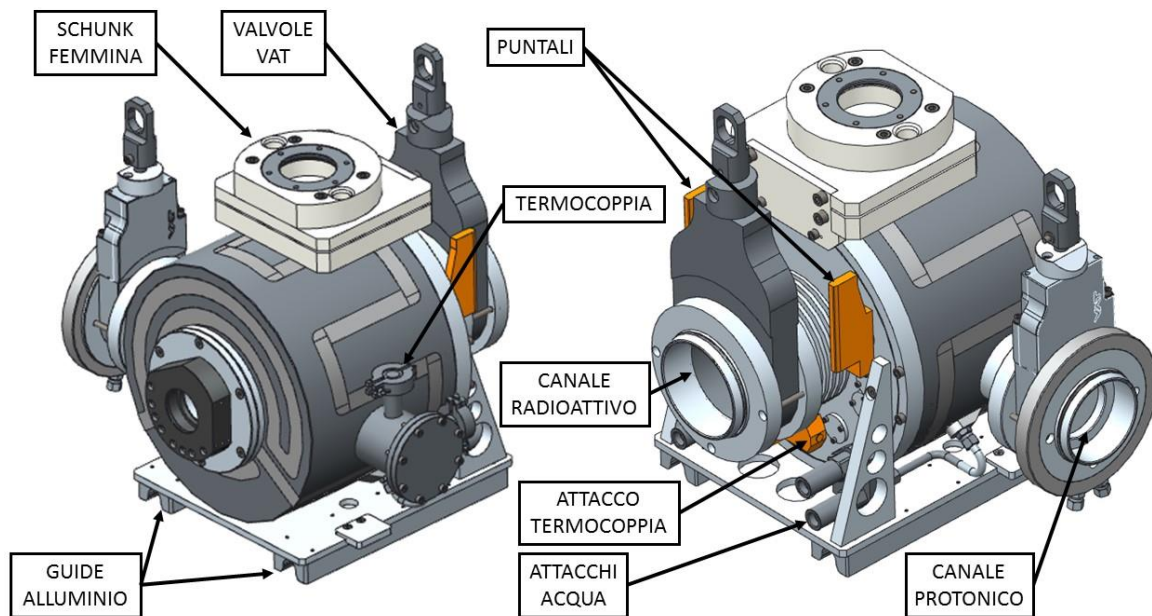


Fig. 2.9 Vista anteriore e posteriore della camera target con i principali elementi meccanici.

La camera target è un componente che viene sostituito periodicamente, quindi è dotato di una serie di elementi che ne permettono la connessione e la disconnessione rapida dal Front-End, senza la necessità di un intervento umano. Gli elementi che compongono meccanicamente la parte esterna della camera target e che ne permettono la connessione ai vari impianti sono (Figura 2.9):

- Ganci Schunk (sistema di aggancio rapido);
- Guide in alluminio anodizzato;
- Valvole VAT (valvole per l'alto vuoto);
- Flange di collegamento dei canali protonico e radioattivo;
- I puntali per il passaggio della corrente elettrica;
- Gli attacchi rapidi i circuiti di raffreddamento;
- L'attacco della termocoppia e altri segnali;

I puntali sono elementi costruiti in rame che permettono di fornire corrente elettrica al target quando la camera è posizionata sulla coupling table e accoppiata al Front-End. A causa dell'elevata intensità di corrente che vi passa (1300A), risultano essere un elemento critico. E' stato infatti riscontrato che dopo un lungo utilizzo dei puntali, essi tendono a separarsi limitando il contatto elettrico provocando la produzione di scariche. Il problema è stato risolto aumentandone le dimensioni e inserendo nei connettori femmina delle molle che tendono a mantenere serrati i contatti. Sono presenti anche gli attacchi rapidi per la serpentina per l'acqua di raffreddamento e per la termocoppia, oltre ad alcuni connettori liberi, che permetteranno l'installazione di altri dispositivi.

Schunk è un'azienda multinazionale che produce dispositivi per la presa rapida, elementi di questo tipo sono ampiamente utilizzati in ambito industriale su robot e dispositivi automatici. Nell'ambito del progetto SPES il gancio Schunk viene utilizzato per afferrare la camera con i dispositivi di movimentazione previsti. Il sistema di presa funziona grazie all'aria compressa ma rimane attivo anche in caso di interruzione del flusso d'aria al pistone attuatore,

caratteristica indispensabile per garantire un'elevata sicurezza durante la movimentazione di materiale radioattivo.

Il connettore femmina (Figura 2.10), montato sulla camera, ha degli appositi fori che permettono ai puntali del connettore maschio (Figura 2.11), dotati di inviti conici, di inserirsi garantendo il giusto allineamento.

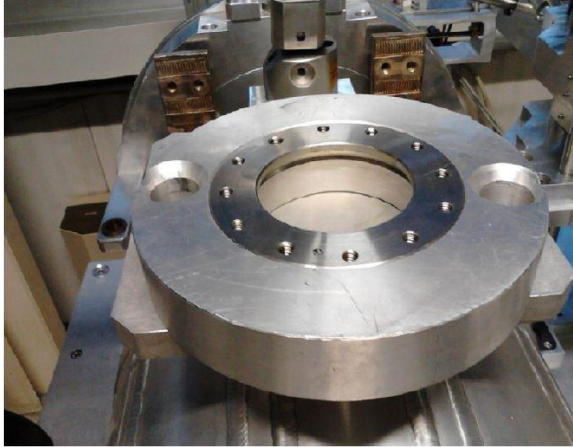


Fig. 2.10 Schunk femmina.



Fig. 2.11 Schunk maschio.

Sotto la camera target sono installate due guide in alluminio anodizzato. È così possibile far scorrere la camera sulle rotaie presenti sulla tavola di ammaraggio tramite un sistema di "slitte", nelle procedure di connessione e disconnessione della camera dal Front-End. La forma delle due guide permette il centraggio automatico della camera quando viene posizionata nella sua sede (Figura 2.12).

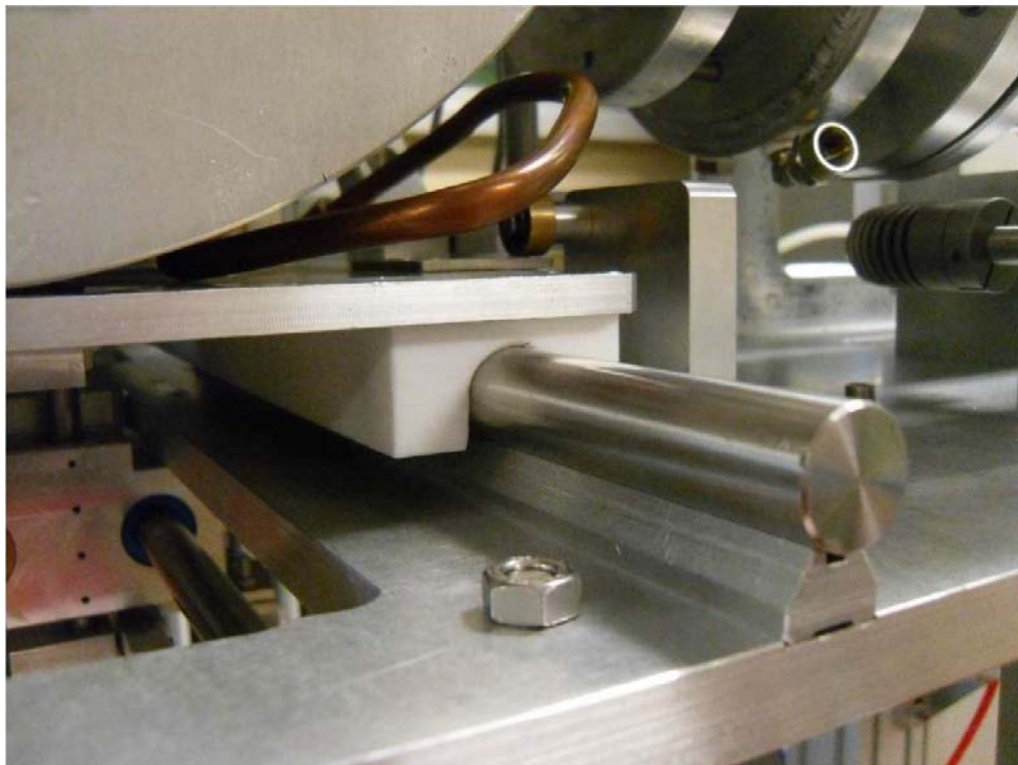


Fig. 2.12 Rotaia con guida in alluminio anodizzato su cui scorre la camera target.

In Figura 2.13 sono rappresentate le valvole VAT, le quali sono dispositivi atti alla chiusura di un condotto a tenuta stagna che permettono di mantenerne una condizione di vuoto. Sono garantite fino a pressioni di 10^{-8} mbar, cioè per altissimo vuoto. Terminato il periodo di irradiazione e di raffreddamento, le valvole devono essere chiuse prima della rimozione della camera. Si utilizzano valvole di questo tipo dato che in questa operazione è ancora presente il vuoto sulla linea del fascio ed è necessario impedire la fuoriuscita di gas radioattivi e polveri nocive prodotti dal target.



Fig. 2.13 Valvola VAT installata sulla camera target.

La principale criticità è che la chiusura delle valvole richiede una notevole forza. In caso di serraggio non corretto si comprometterebbe la sicurezza dell'impianto, oltre a causare problemi in tutte le azioni di movimentazione successive, in quanto non verrebbero rispettati gli ingombri previsti. E' quindi di fondamentale importanza prevedere sistemi di chiusura che garantiscano il corretto azionamento delle valvole VAT.

La termocoppia, installata sul lato esterno della camera, è allineata con il target e tocca un disco in grafite inserito in serie ai dischi di carburo di uranio contenuti nel bersaglio. Essa ha lo scopo di rilevare un eventuale aumento di temperatura che si verifica nel caso di rottura di uno o più dischi. In questo modo è necessario interrompere istantaneamente il fascio protonico emesso dal ciclotrone.

2.4 - I sistemi di movimentazione della camera target

Vista la necessità di dover sostituire la camera target periodicamente e di escludere ogni intervento umano all'interno del bunker, i sistemi di movimentazione sono progettati in modo da poter compiere le varie operazioni in modo completamente automatizzato.

Sono previsti quattro dispositivi principali per la gestione delle movimentazioni della camera target; dall'inserimento nel Front-End, quando la camera è nuova, allo stoccaggio nel deposito temporaneo, quando giunge a fine vita e deve smaltire la radioattività accumulata.

Tali dispositivi sono riportati in Figura 2.14:

1. Sistema di movimentazione della coupling table;
2. Sistema di movimentazione orizzontale;
3. Sistema di movimentazione del deposito temporaneo;
4. Sistema di movimentazione verticale.

Il sistema di movimentazione della tavola di ammaraggio ha la funzione di accoppiare e disaccoppiare la camera target dal Front-End quando si trova su di esso. Il sistema di movimentazione orizzontale ha la funzione di depositare e prelevare la camera target dal Front-End e di trasportarla fino al deposito temporaneo. Il sistema di movimentazione verticale ha anch'esso la funzione di depositare e prelevare la camera target dal front end. La presenza di due sistemi per lo svolgimento di questa operazione è necessaria per garantire la possibilità di intervenire in base alle diverse circostanze che si possono verificare, come situazioni di emergenza, rotture di uno dei due dispositivi o necessità di svolgere alcune operazioni particolari. La movimentazione necessita di un forte contributo tecnologico di tipo mecatronico, dato che prevede sia la realizzazione meccanica degli apparati, sia un'intensa attività di controllo che permetta di gestire ogni operazione con grandi quantità di informazioni, garantendo completa sicurezza.

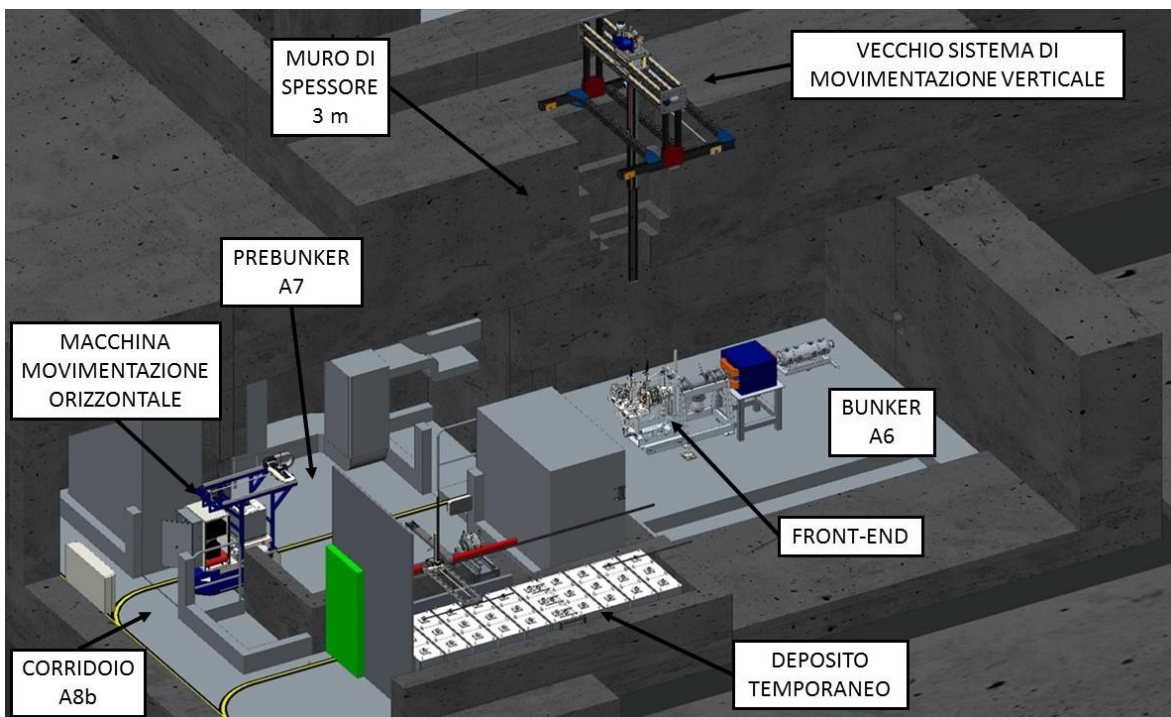


Fig. 2.14 Sistemi di movimentazione della camera target.

2.4.1 - Il sistema di movimentazione della coupling table

Il sistema di movimentazione della coupling table ha il compito di gestire lo spostamento della camera target quando viene depositata sul Front-End. Dato che questo sistema sarà posto all'interno del bunker, dovrà lavorare in condizioni gravose dal punto di vista del danneggiamento da radiazioni. Per questo motivo per le operazioni automatizzate non è possibile l'uso di componenti elettronici, che verrebbero danneggiati risultando inutilizzabili. E' quindi necessario ricorrere a componentistica meccanica, azionamenti pneumatici, e a sensoristica puramente resistiva.

All'interno dei laboratori SPES sono presenti:

- Il Banco di prova o test bench che ricalca il Front-End in relazione ai sistemi di movimentazione presenti in esso (Figura 2.15);
- Il Front-End offline utilizzato per lo svolgimento di test sui fasci di particelle (Figura 2.16).

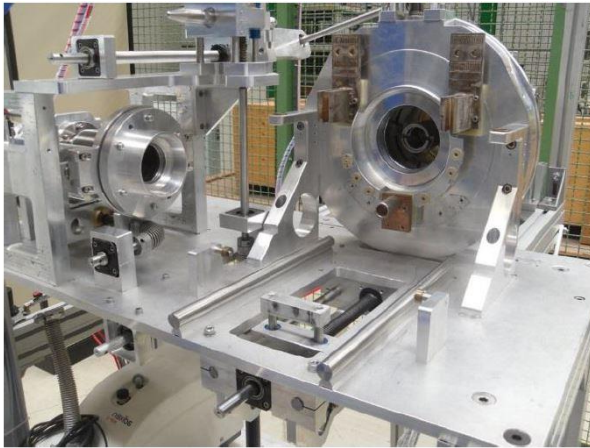


Fig. 2.15 *Test bench.*



Fig. 2.16 *Front-End.*

La camera si definisce disaccoppiata quando è in posizione di deposito o prelievo (Figura 2.17), mentre è accoppiata quando è inserita nel Front-End ed è pronta a ricevere il fascio (Figura 2.18). Per accoppiare la camera è necessaria una operazione di traslazione in avanti al fine di spingere la flangia della camera per la connessione al canale radioattivo, all'interno della propria sede. Successivamente viene connesso il canale protonico e in fine si aprono le valvole VAT. Per disaccoppiare la camera si svolge il procedimento inverso: vengono chiuse le valvole VAT, il canale protonico viene sconnesso e la camera viene traslata indietro.

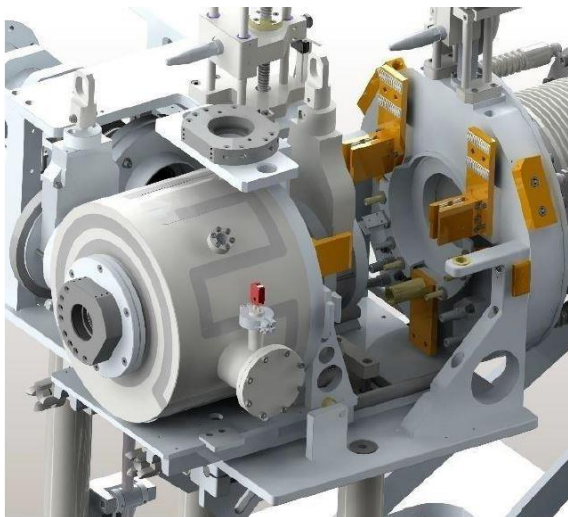


Fig. 2.17 Camera disaccoppiata.



Fig. 2.18 Camera accoppiata.

Il sistema di attuazione delle movimentazioni della tavola di ammaraggio prevede l'utilizzo di quattro viti trapezie con madrevite traslante, le quali sono messe in rotazione da quattro motori pneumatici azionati mediante una serie di elettrovalvole a loro volta controllate da un PLC.

I quattro movimenti lineari sono (Figura 2.19):

1. Apertura/chiusura della valvola del canale radioattivo: il sistema vite e madrevite permette di alzare o abbassare la valvola VAT;
2. Apertura/chiusura della valvola del canale protonico: il sistema vite e madrevite permette di alzare o abbassare la valvola VAT;
3. Collegamento/distacco del soffietto del canale protonico della camera: permette di traslare lateralmente la flangia di connessione col canale protonico;
4. Collegamento/distacco della camera target dal canale radioattivo del Front-End: la madrevite è solidale a un gancio che agisce sulla base della camera, permettono di muoverla avanti e indietro.

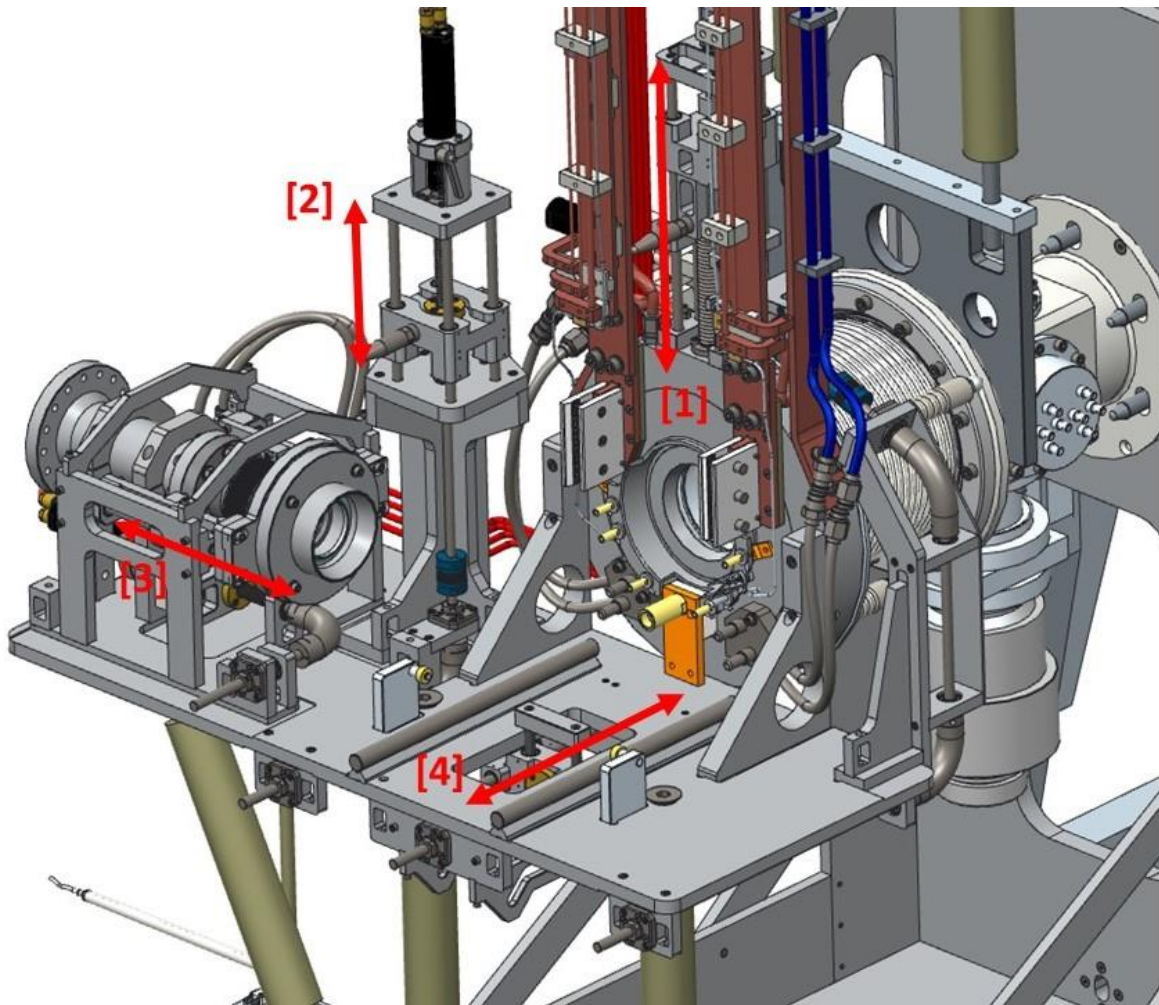


Fig. 2.19 *Movimentazioni della coupling table.*

Per verificare l'effettivo compimento delle operazioni sono presenti degli switch di finecorsa e dei potenziometri posizionati in modo da intervenire al termine di ogni movimentazione. Per evitare problemi dovuti alle radiazioni si utilizzano delle aste per poter attivare gli switch mantenendoli il più lontano possibile dalle emissioni della camera target. Il sistema è predisposto in modo che le viti trapezie possano essere ruotate anche da un sistema di emergenza mediante motori elettrici montati sul sistema di movimentazione orizzontale. I motori si connettono alle viti quando il veicolo è nella posizione in cui può prelevare e depositare la camera target. Anche in questo caso la ridondanza dei sistemi è necessaria per garantire la possibilità di intervenire in base alle diverse circostanze che si possono verificare, come in caso di guasti o situazioni di emergenza.

2.4.2 - Il sistema di movimentazione orizzontale

Il sistema di movimentazione orizzontale, o macchina orizzontale, si basa su un veicolo a guida automatica o AGV (Automatic Guided Vehicle) (Figura 2.20). Con questa soluzione è possibile ottenere un sistema che permette di raggiungere varie destinazioni in modo completamente automatizzato senza la necessità della presenza di esseri umani, dal posizionamento della camera nel bunker, al prelievo quando è a fine vita e allo stoccaggio nel deposito temporaneo. Sopra l'AGV è montato un manipolatore cartesiano che è dotato di un sistema in grado di muovere la camera lungo due direzioni: verticale e longitudinale. Grazie a questo sistema di movimentazione è possibile alzare ed abbassare la camera per estrarla o inserirla nel

sarcofago, appoggiarla o sollevarla dalla coupling table oltre a poterla allontanare o avvicinare al Front-End. Per agganciare la camera si utilizza un dispositivo Schunk. Il sistema di movimentazione cartesiano deve essere installato nella parte anteriore del veicolo in modo da poter effettuare le operazioni di carico e scarico dalla tavola di accoppiamento in maniera agevole.

I sistemi che compongono la macchina di movimentazione orizzontale sono:

- AGV,
- Sistema di movimentazione di camera e sarcofago (manipolatore cartesiano),
- Armadio dei controlli.

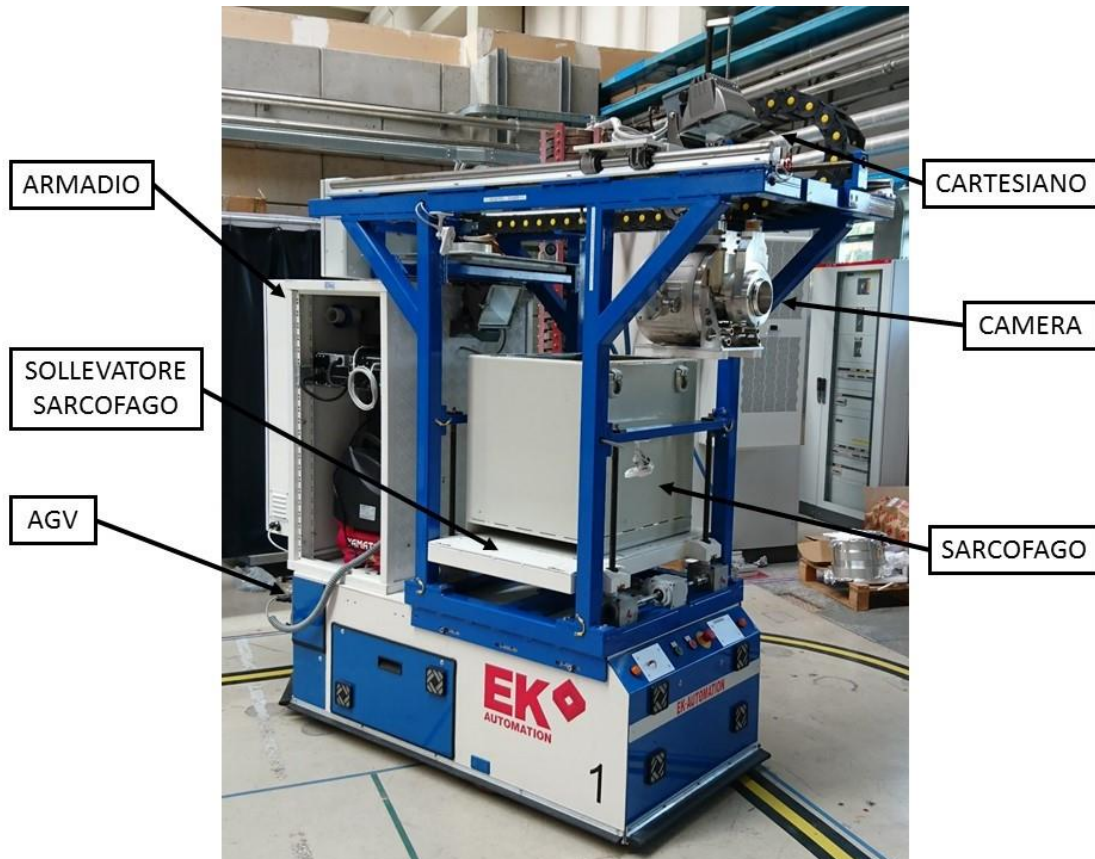


Fig. 2.20 Macchina orizzontale.

Il sistema di movimentazione di camera e sarcofago

È un manipolatore cartesiano che permette di operare su camera e coperchio del sarcofago muovendoli lungo due assi ortogonali. Lo spostamento viene eseguito grazie a due sistemi a martinetto e vite trapezia: in quello verticale si ha una vite traslante, in quello orizzontale una vite rotante con madrevite traslante.

Il carico massimo durante il ciclo di lavoro è dovuto al peso del coperchio del sarcofago, pari a 100 kg. Ciascun sistema per il movimento può ricevere coppia da due motori i cui alberi sono collegati allo stesso martinetto, in modo da garantire una ridondanza in caso di malfunzionamenti.

Il sistema di movimentazione comprende anche un sollevatore del sarcofago, denominato anche elevatore. Esso è necessario in quanto la corsa del sistema che permette il movimento verticale della camera, quando è appesa al gancio Schunk, non è altrimenti sufficiente perché la sua base possa raggiungere il fondo del sarcofago. Non è possibile allungare la vite traslante

per problemi di ingombro verticale: una vite troppo lunga non consentirebbe di rimanere nel bunker sollevando la camera dato che andrebbe a sbattere sullo stipite della porta, alto solamente 2.5 m. Questo impone di muovere anche il sarcofago verticalmente per andare incontro alla camera quando è completamente abbassata lungo l'asse verticale. In questo modo la camera può toccare il fondo del sarcofago ed essere depositata dolcemente. L'appoggio delicato permette un eventuale riutilizzo della camera che non sarebbe attuabile se la si facesse cadere senza avere la certezza del suo posizionamento, quest'azione causerebbe anche la rottura del target dovuta all'impatto violento. La base di carico del sarcofago, realizzata con un piano rettangolare fissato agli angoli con quattro chiodi, può essere movimentata per mezzo di quattro martinetti a vite trapezia azionati da un motore elettrico che trasmette il moto ad un rinvio angolare collegato a due alberi, a loro volta duplicati da altri due rinvii angolari. In questo modo la rotazione delle viti fa muovere le quattro chiodi verticalmente. Come per i due sistemi precedenti anche il sistema di sollevamento del sarcofago ha una ridondanza dato che sono previsti due motori connessi al primo rinvio angolare.

L'armadio dei controlli

Per allestire a bordo dell'AGV l'apparecchiatura necessaria per azionare i meccanismi della macchina orizzontale è necessario un armadio dei controlli. Al suo interno sono installati:

- Il PLC per il controllo;
- Gli azionamenti dei motori elettrici;
- Il gruppo di alimentazione;
- Il compressore d'aria e le elettrovalvole per il dispositivo Schunk.

Il PLC e gli azionamenti utilizzati sono forniti dall'azienda Schneider, per garantire piena compatibilità con gli altri sistemi di automazione precedentemente in uso nei laboratori. La caratteristica fondamentale di questo PLC è che dovrà essere ridondante al fine di poter portare a termine l'operazione di prelievo della camera anche in caso di rottura di una CPU. Questa è l'unica operazione che deve necessariamente essere portata a termine senza poter essere interrotta, dato che non sarebbe possibile intervenire in altro modo una volta agganciata la camera al cartesiano e sollevata. A quel punto deve necessariamente essere inserita nel sarcofago prima di poter uscire dal bunker con l'AGV, essendo altamente radioattiva e dipendente dalla sola macchina orizzontale. Il gruppo di alimentazione deve fornire energia elettrica al fine di portare a termine tutte le operazioni di un ciclo di lavoro del sistema a bordo dell'AGV. Il dispositivo che gestisce l'alimentazione è un gruppo di continuità contenente batterie collegate in parallelo, in grado di erogare 230 V efficaci in tensione alternata. È dotato di un sistema di auto diagnosi che bypassa le eventuali batterie non funzionanti salvaguardando le altre. Il compressore d'aria ha la funzione di fornire al sistema di aggancio Schunk l'aria compressa necessaria per tutte le operazioni di aggancio e sgancio della camera target e del coperchio del sarcofago. Il consumo d'aria da parte del pistone azionatore è molto scarso, quindi vi sarebbe la possibilità di installare solamente un serbatoio, ma con il compressore è garantita una certa sicurezza in caso di perdita da parte dell'impianto.

Il sarcofago

Quando la camera target deve essere sostituita, è un elemento fortemente radioattivo. Per questo motivo durante le movimentazioni, essa viene posta all'interno di un sarcofago (Figura 2.21), al fine di schermare le radiazioni da essa prodotte.



Fig. 2.21 *Il sarcofago che contiene la camera target.*

Il sarcofago in Figura 2.22 è stato progettato appositamente per contenere la camera target. Per definirne dimensioni e struttura sono stati considerati l'aspetto della radioprotezione e i limiti imposti dagli ingombri della camera. Il sarcofago è costituito da tre elementi fondamentali: il contenitore, la parte di appoggio che lo sorregge e il coperchio. Il contenitore è un parallelepipedo aperto da un lato, formato da cinque pannelli di acciaio e piombo (Figura 2.23), di cui la parte in piombo serve per fornire la schermatura dalle radiazioni, mentre il guscio in acciaio, che racchiude completamente le lastre di piombo, rende strutturalmente solido il sarcofago. I cinque pannelli sono stati saldati assieme attraverso un procedimento delicato, che richiede una quantità di tempo notevole, per evitare che la parte in piombo fonda. Il coperchio ha la stessa conformazione delle pareti, con la differenza che è rimovibile. La rimozione può avvenire per mezzo del gancio Schunk, come illustrato per la camera target, o mediante tre golfari. Il primo è presente per rendere disponibile un sistema di aggancio uguale per tutti gli elementi da movimentare mentre il secondo permette di sollevarlo con altri strumenti più convenzionali, come un carroponte. Ai lati del sarcofago sono presenti quattro ganci per consentirne lo spostamento mediante l'utilizzo di una gru, mentre alla base è possibile inserire le forche di un muletto, o quelle di un transpallet, grazie alla presenza di un apposito rialzo.

La massa del solo coperchio è 100 kg, quella complessiva è 780 kg. Le misure del sarcofago sono:

- Altezza: 600 mm
- Larghezza: 530 mm
- Lunghezza: 620 mm
- Altezza del rialzo: 60 mm

- Altezza del sistema di aggancio Schunk: 35 mm



Fig. 2.22 *Sarcofago in sezione.*

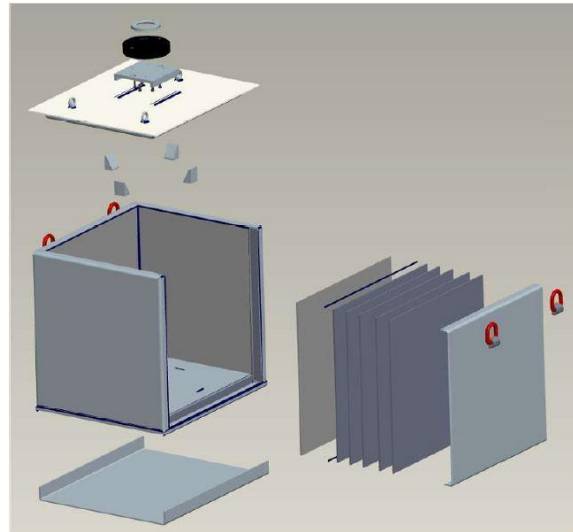


Fig. 2.23 *Sarcofago esploso.*

2.4.3 - Il sistema di movimentazione del deposito temporaneo

Al fine di consentire alle camere target di smaltire le radiazioni assorbite, è necessario che esse siano collocate in un deposito temporaneo per almeno tre anni. Lo spazio adibito al deposito temporaneo all'interno del bunker SPES è l'area A8a di Figura 2.5. I muri che lo circondano sono tali da permettere di mantenere nulla l'emissione di radiazioni all'esterno.

Il deposito temporaneo o temporary storage (TS) è riportato in Figura 2.24.

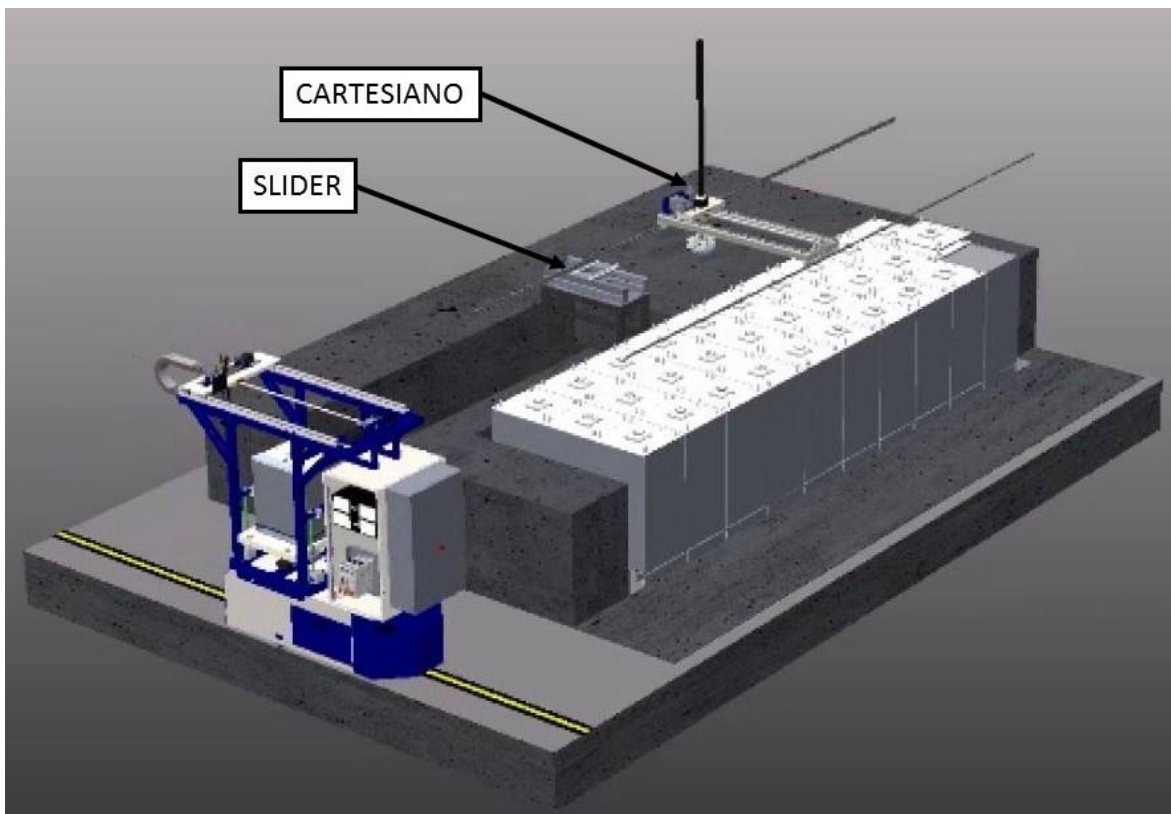


Fig. 2.24 *Deposito temporaneo*

E' costituito da dieci file di camere, ciascuna delle quali ha sei camere disposte in due piani, su ogni piano vi sono tre camere. Sopra ogni fila vi sono tre coperchi, mentre tra un piano ed un altro vi è un supporto, il quale deve essere spostato per accedere alla fila inferiore. Il riempimento del temporary storage avviene in modo sequenziale, con la possibilità di spostare una camera da un posto ad uno libero qualsiasi all'interno del deposito.

Quando la macchina orizzontale arriva in corrispondenza del deposito temporaneo, vi sono due dispositivi atti al prelievo della camera target:

- Un manipolatore cartesiano;
- Uno slider, ovvero un dispositivo traslante che sposta la camera nel raggio d'azione di quest'ultimo.

All'arrivo della macchina orizzontale, il manipolatore cartesiano del deposito temporaneo ha già individuato il posto in cui verrà collocata la camera e il coperchio corrispondente è già stato spostato. Il manipolatore cartesiano montato sull'AGV deposita la camera sopra lo slider, un supporto in grado di estendersi fino all'interno dell'area sarcofagi (Figura 2.25) dove il manipolatore cartesiano si occuperà del prelievo e dello stoccaggio della camera.

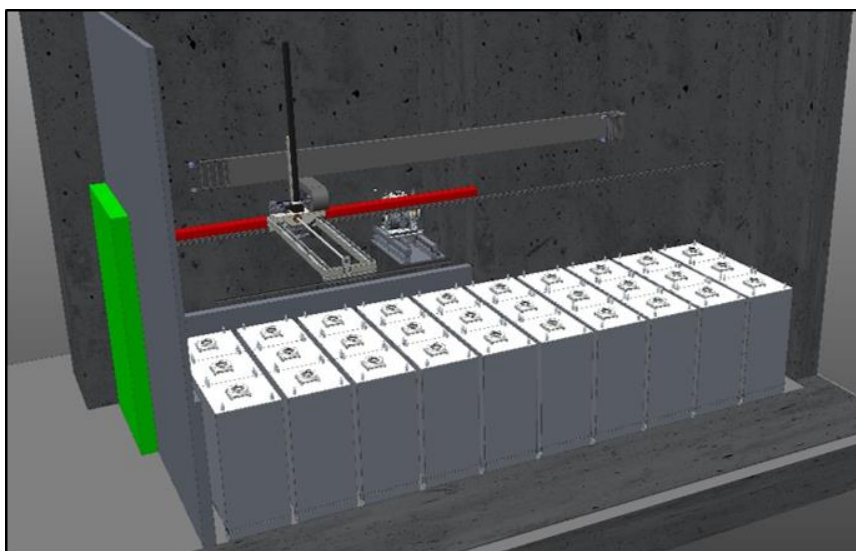


Fig. 2.25 Deposito della camera target

2.5 - Il sistema di movimentazione verticale

Il sistema di movimentazione verticale, oggetto di questa tesi, è il secondo sistema progettato per il prelievo della camera dalla coupling table. Tale sistema dovrà essere utilizzato in caso di emergenza o a seguito di problemi della macchina orizzontale (AGV). Consente di rimuovere la camera, prelevandola dal piano superiore al bunker, per poi inserirla in un sarcofago stoccato temporaneamente. Il bunker, nel piano interrato, è separato dal piano terra da una soletta di 3 metri di spessore, permettendo la completa schermatura dalle radiazioni; per l'accesso e l'estrazione della camera tramite il sistema verticale c'è una serie di fori quadri che mettono in comunicazione il bunker con la sala sovrastante (A16). I tappi sono anch'essi in cemento dello stesso spessore della soletta e l'apertura rimane scoperta il minor tempo possibile, solo per le operazioni di estrazione della camera.

Nello studio e progettazione della macchina verticale, si sono dovuti tenere in considerazione più fattori che verranno di seguito spiegati:

- 1) L'infrastruttura della sala A16
- 2) Problematiche di radioprotezione
- 3) L'interfaccia con Hot-cell

2.5.1 - La sala A16

Il sistema di estrazione verticale si troverà a lavorare nel locale A16 sovrastante il bunker[9]. Le dimensioni del locale A16 sono: 910x1347 cm, altezza locale 595 cm (vedi pianta in Figura 2.26). Vengono descritte le varie zone del locale A16 e la strumentazione che andrà collocata nella stanza:

- Accesso al locale A16. Il locale prevede una porta di ingresso dal locale A17d adiacente. Una porta a lato del laboratorio "cella calda" che può essere utilizzata per le movimentazioni della camera se non viene utilizzato il sistema di movimentazione verticale o per ingresso del personale. Una porta sul laboratorio "Sorgenti di Ionizzazione".
- Forometria. Bisogna considerare che tutti i fori dal bunker (ambiente radioattivo) al locale A16 devono essere riempiti con cavi e sigillati con altro materiale (ad esempio polietilene), in quanto la presenza di spazi vuoti rappresenta una zona di propagazione delle radiazioni.
- Apertura movimentazione verticale. È la zona di collegamento con area maggiore tra locale A16 e locale A6 (bunker). La zona intorno a quest'area deve essere tenuta sgombra per permettere l'apertura della luce attraverso la rimozione dei tappi in cemento all'occorrenza. Si prevede che la movimentazione dei tappi in cemento, per aprire l'accesso al bunker, verrà fatta con un carroponete. Quest'ultimo si muoverà su di un telaio in quota, ancorato a terra con delle colonne lungo il perimetro del foro stesso. I tappi in cemento dovranno essere agganciati manualmente. Una volta agganciato l'ultimo tappo, il personale dovrà evacuare la sala A16 prima che questo venga rimosso. La Figura 2.27 mostra in sezione la soletta di cemento fra i locali A6 ed A16, in particolare sono descritti numero delle parti da rimuovere, ingombri e peso.

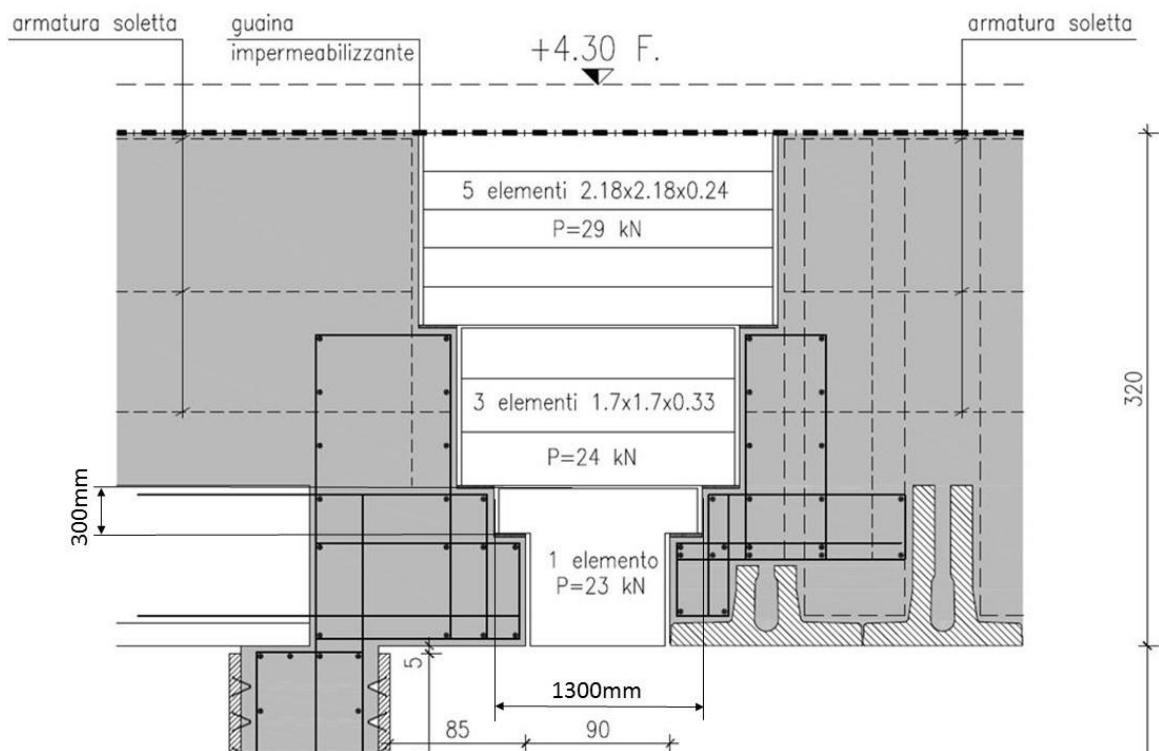


Fig. 2.27 Sezione del foro accesso bunker

Gli impianti per la movimentazione previsti vanno diversificati in base alla tipologia ed al peso degli oggetti a cui devono essere destinati.

- a) **Movimentazione verticale della camera:** in questo lavoro di tesi è stato progettato un sistema di precisione per estrarre la camera target dal bunker attraverso il foro presente nella sala A16. Il sistema dovrà agganciare la camera, sollevarla ed andare a posizionarla nel sarcofago presente su di un nastro trasportatore a lato del foro d'accesso. La struttura non dovrà essere di ingombro per le altre operazioni di movimentazione. Tale sistema dovrebbe essere messo in funzione solamente nel caso gli apparati principali di accesso al bunker (apparato di movimentazione orizzontale AGV) non siano funzionanti.
- b) **Movimentazione di carichi in A16:** si dovrà pensare ad un sistema per poter movimentare il materiale vario presente nella sala come, ad esempio, dispositivi per il vuoto, attrezzature elettriche oppure i tappi di chiusura del vano per il sollevamento verticale della camera. I tappi sono realizzati in cemento armato, di peso massimo di circa 3000 kg, non è prevista la movimentazione di attrezzature più pesanti di quelle indicate durante il funzionamento dell'impianto. Per questo si può pensare di utilizzare un sistema a carroponte, ancorato su pilastri indipendenti.
- c) **Sistema di trasporto del sarcofago nel Laboratorio Hot Cell:** nella sala A16 è previsto il collocamento di un sarcofago per la raccolta della camera target attivata. Questo è posto su di un nastro trasportatore che lo dovrà indirizzare al laboratorio hot cell, o ad una camera schermata di stoccaggio temporaneo, a seconda della necessità. In A16 è previsto un apparato di un ingombro pari a 2.5x2 m² per afferrare e stoccare l'interno sarcofago. La progettazione di quest'area è associata a quella del laboratorio Hot Cell.

L'accesso sarà consentito al personale tecnico, tecnologo e ricercatore autorizzato. Tutti gli utenti della sala A16 dovranno essere forniti dell'attrezzatura, degli indumenti, e delle protezioni necessarie allo svolgimento in sicurezza delle specifiche attività sopra indicate. I tempi di permanenza non saranno superiori al normale orario di lavoro, e si dovrà valutare il

tempo ammesso per i turni di lavoro in presenza di radiazione. Durante la fase di produzione di isotopi radioattivi, nessun personale sarà autorizzato ad accedere alla sala A16.

2.5.2 - Rischi da radioprotezione

All'interno della sala A16 è prevista la presenza di materiale radioattivo stoccato (deposito di stoccaggio provvisorio, Hot Cell) o transitante solo in casi eccezionali (guasti o incidenti che coinvolgano la zona del bunker o il dispositivo di movimentazione verticale). Per l'eventuale stoccaggio della camera nel sarcofago è previsto un deposito in loco.

In ogni caso, tutto ciò che si trova all'interno dell'area della sala sarà soggetto al rischio di contaminazione dalle radiazioni durante la fase di produzione dei fasci, perciò sarà vietato l'accesso per consentire l'avvio della produzione.

Quando il foro di accesso è aperto, per isolare al meglio la zona, dalla possibile contaminazione da radiazioni e polveri attivate che possono uscire dal bunker, è possibile creare una sorta di coibentazione attorno al paranco (Figura 2.28). Il sistema di pannellature può essere più o meno complesso, con lamine di Piombo o lastre in gesso rivestito, arricchite al Bario, normalmente utilizzate per schermature in ambito medico [10]. Lo scopo principale della schermatura è quello di contenere le polveri attivate che escono dal bunker, ma anche ovviamente di schermare i raggi gamma emessi durante il sollevamento della camera target attivata.

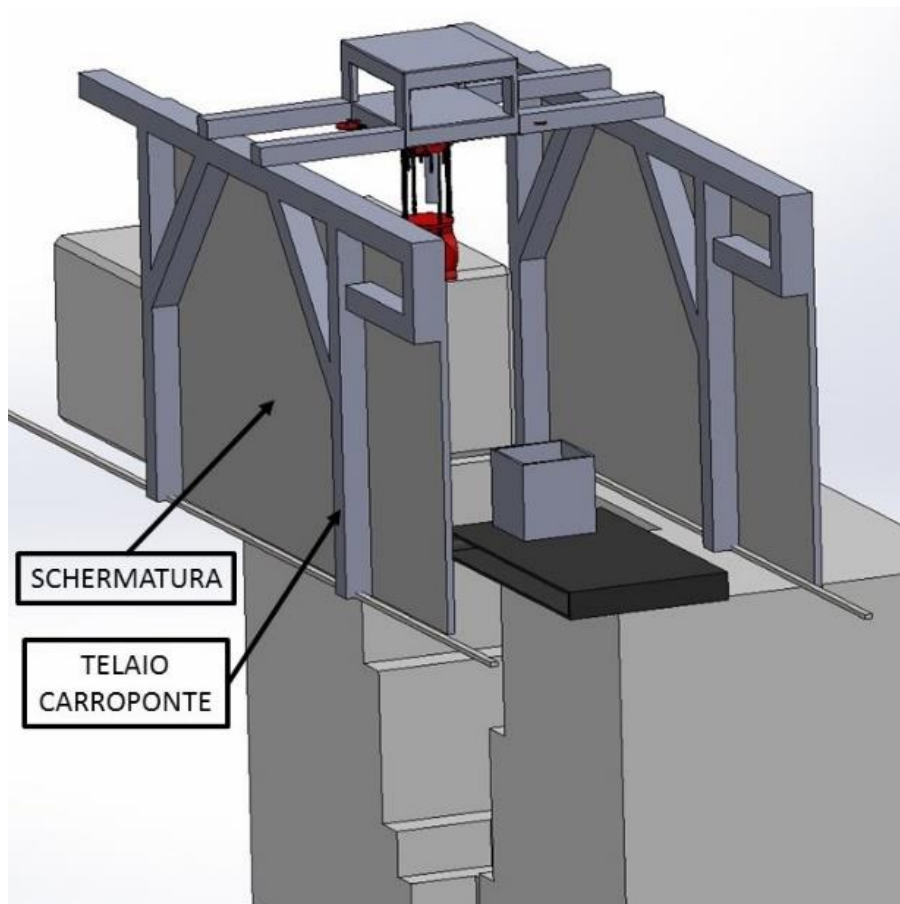


Fig. 2.28 Telaio del carroponte con schermatura

2.5.3 - La Hot-cell

Una volta eseguita l'estrazione verticale della camera target, dovrà essere riposta all'interno di un sarcofago in piombo. Quest'ultimo è collocato a fianco del foro di estrazione, su un nastro trasportatore. Inserita la camera, e richiuso in sarcofago, il nastro trasportatore lo può indirizzare in due diverse direzioni:

- In una camera di stoccaggio temporaneo posta in sala A16.
- In un particolare laboratorio radioprotetto, dove si possono fare degli studi sulla camera target, nominato Hot-cell. In Figura 2.29 ne possiamo vedere un esempio.



Fig. 2.29 Esempio di Hot-cell

La Hot Cell SPES [11] deve essere progettata e costruita al fine di eseguire la manipolazione di materiali irradiati contenuti nella camera target. Tre sono le principali operazioni previste:

- Ispezione visiva della camera, attraverso l'oblò e con videocamera interna alla cella (operazione principale);
- Sostituzione di componenti danneggiati (opzionale);
- Smaltimento (opzionale).

Dovrà inoltre garantire:

- Elevato livello di radioprotezione per gli operatori (indicativamente un rateo di dose, ad un metro e all'esterno della cella schermata non superiore a $10 \mu\text{Sv/h}$);
- Elevato livello di radioprotezione per l'ambiente (emissione di particolato o gas radioattivi);
- Assenza del rischio di contaminazione per il personale che smaltirà il materiale o estrarrà la Camera Target dalla cella;

- Riduzione del rischio di contaminazione per il personale che dovrà eseguire interventi di manutenzione straordinaria.

2.5.4 - La macchina verticale

In Figura 2.30 è riportato il progetto del vecchio sistema verticale. E' progettato come un sistema di movimentazione cartesiano che può muoversi lungo tre assi (x, y, z): il carro ponte (direzione x) permette di scorrere orizzontalmente all'interno della stanza che contiene il meccanismo, mentre la movimentazione laterale (direzione y) permette di inserire la camera nel sarcofago, che è posizionato su un lato del carro ponte. In fine il braccio telescopico permette di scendere (direzione z) all'interno del bunker e prelevare la camera grazie al gancio Schunk [12]. Il progetto di questa macchina è stato abbandonato, in quanto si ritiene molto difficoltoso raggiungere la necessaria precisione di presa della camera con un braccio rigido, inoltre risulta eccessivamente ingombrante. Inoltre, un simile sistema a terra, sarebbe stato di intralcio per l'estrazione dei tappi in cemento.

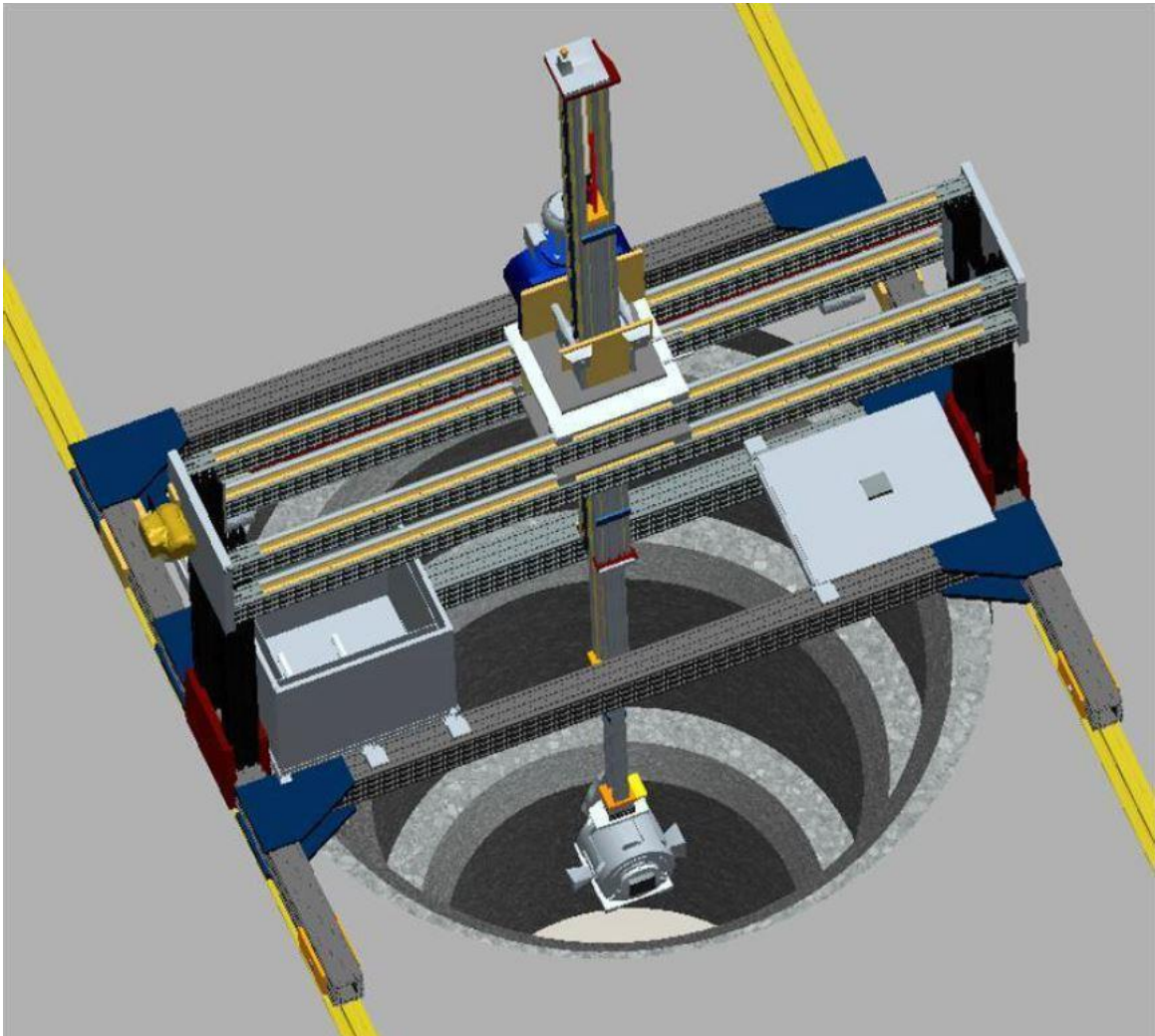


Fig. 2.30 Vecchio progetto della macchina verticale.

Tale macchina è stata sostituita con un sistema di sollevamento a “piombo” in grado di auto centrarsi (Figura 2.31 e 2.32) che verrà dettagliatamente descritto nei prossimi capitoli.

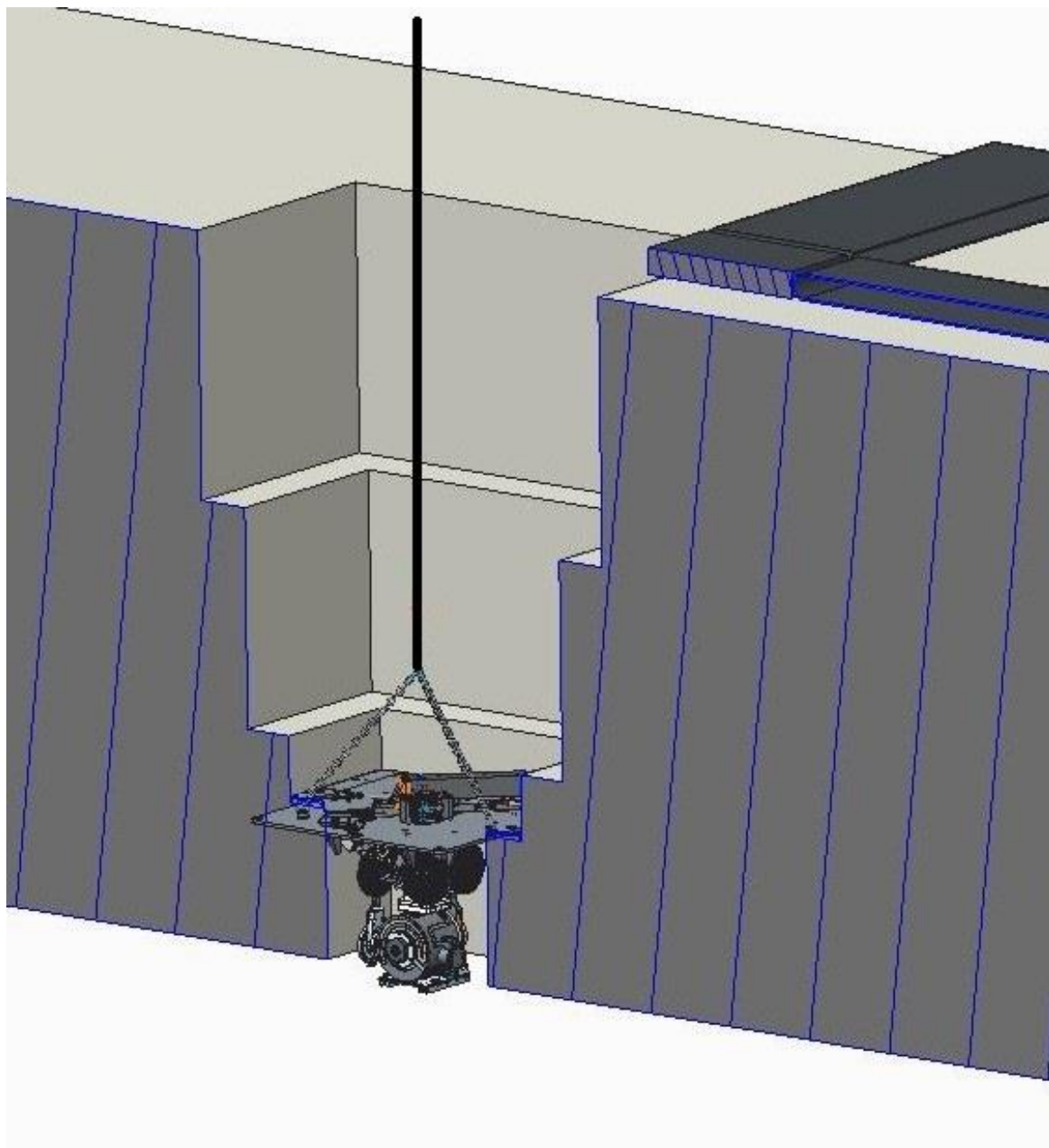


Fig. 2.31 Nuovo progetto del sistema verticale.

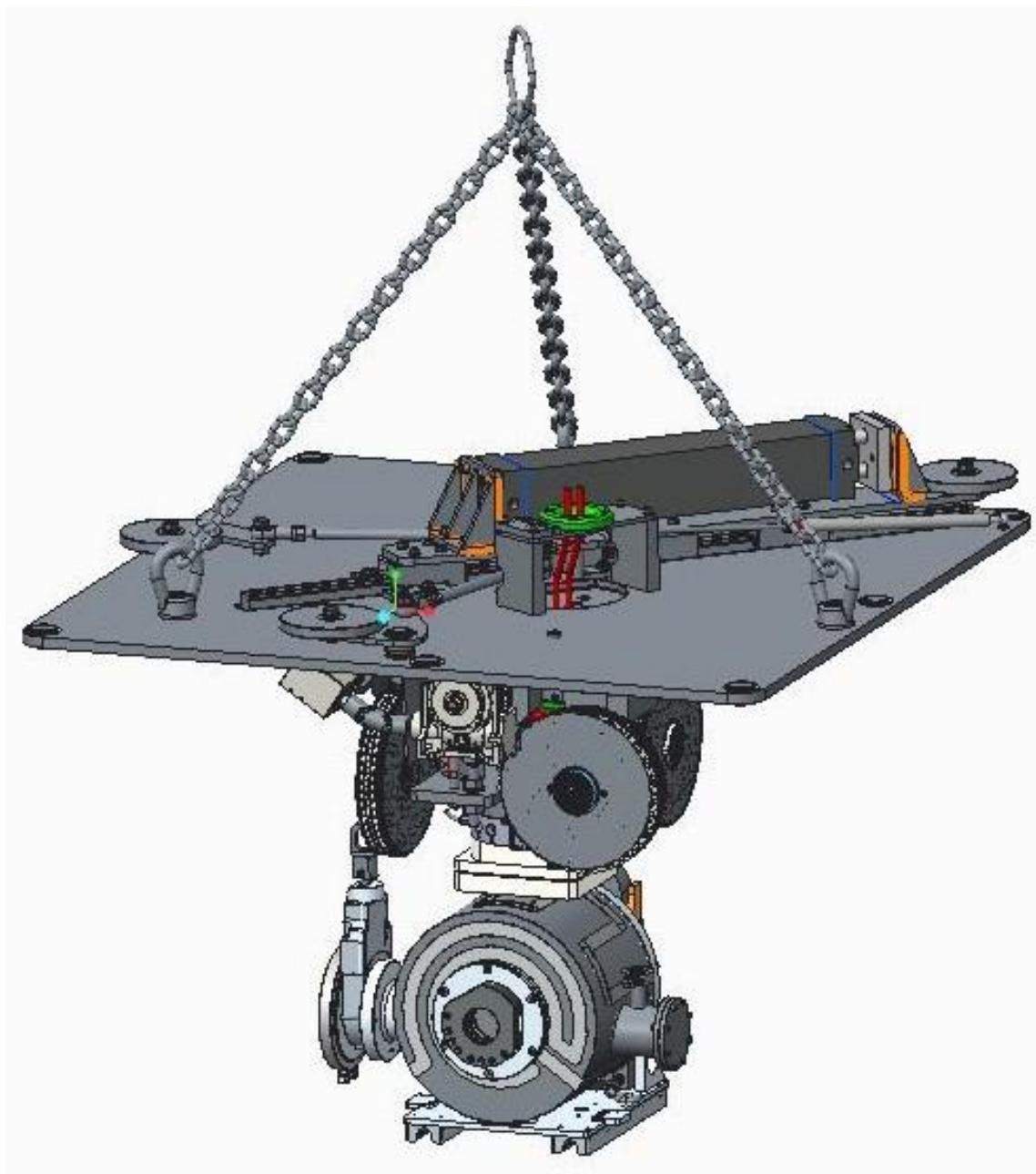


Fig. 2.32 Dettaglio del nuovo progetto del sistema verticale

Il sistema di estrazione verticale progettato in questo lavoro di tesi, è un sistema compatto che dovrà essere calato nell'ultima tasca dei fori di accesso al bunker. Per calare l'intero sistema verticale sull'ultima tasca del foro (Figura 2.33), si prevede l'utilizzo di un secondo apparato di sollevamento che si muove sulla stessa rotaia del carroponte sopra citato. In questo modo non è necessario un meccanismo di sgancio/aggancio automatico, né dell'ultimo tappo rimosso, né del sistema verticale. Come detto il foro di accesso al bunker è in cemento, dunque presenta superfici irregolari con scarsa planarità. Per garantire un corretto appoggio del sistema di centraggio, è previsto di modificare l'ultima tasca con l'inserimento di una cornice permanente in lamiera di spessore 5mm (Figura 2.33). In Figura 2.34 è riportato il layout della movimentazione verticale.

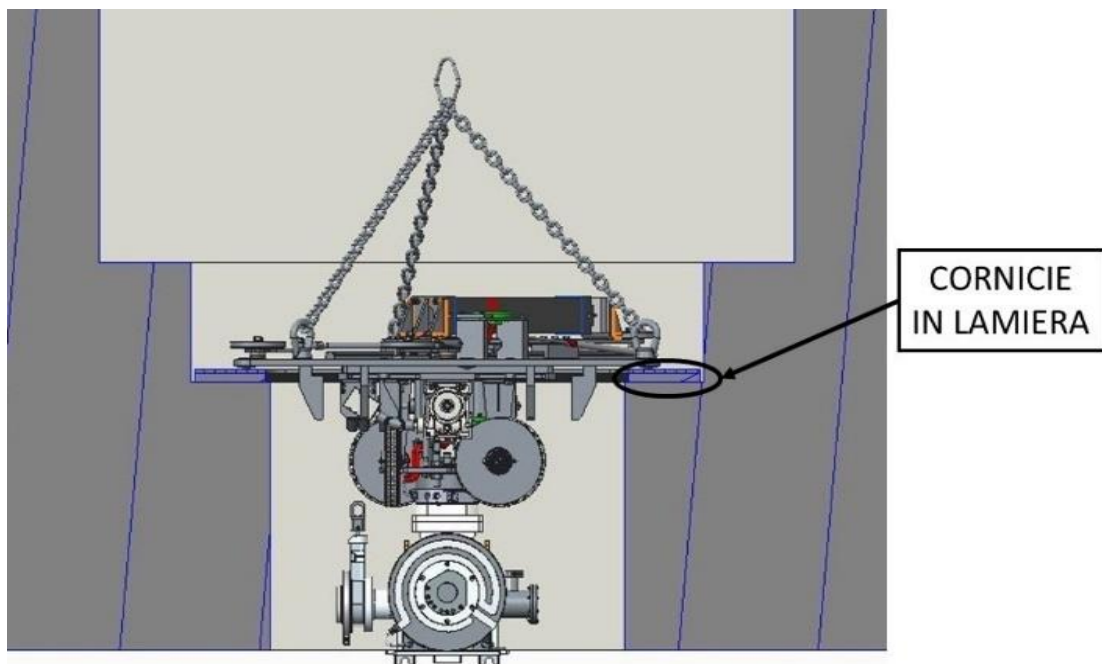


Fig. 2.33 Posizionamento del sistema verticale

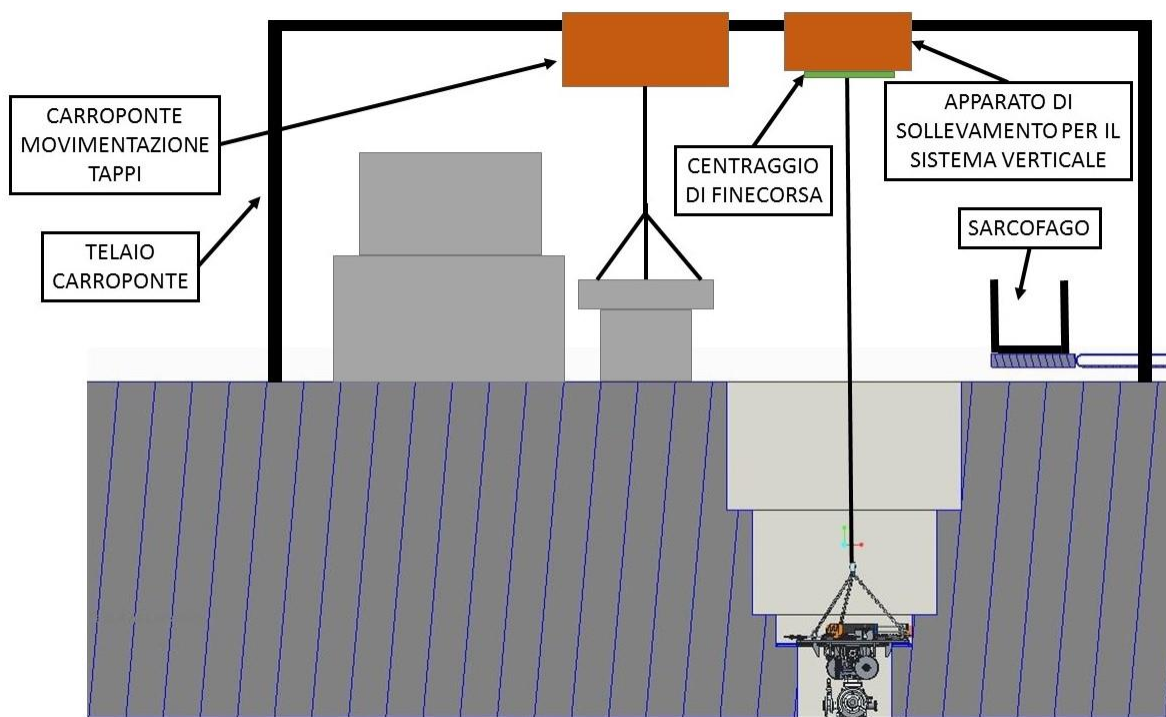


Fig. 2.34 Layout della movimentazione verticale.

La nuova macchina verticale è stata pensata per aver il minor ingombro possibile nella sala sovrastante il bunker. Il sistema è costituito da due parti principali (Figura 2.35):

- Sistema di centraggio, che garantisce un posizionamento preciso e ripetibile
- Sistema di sollevamento, che permette di prendere la camera ed estrarla dal bunker

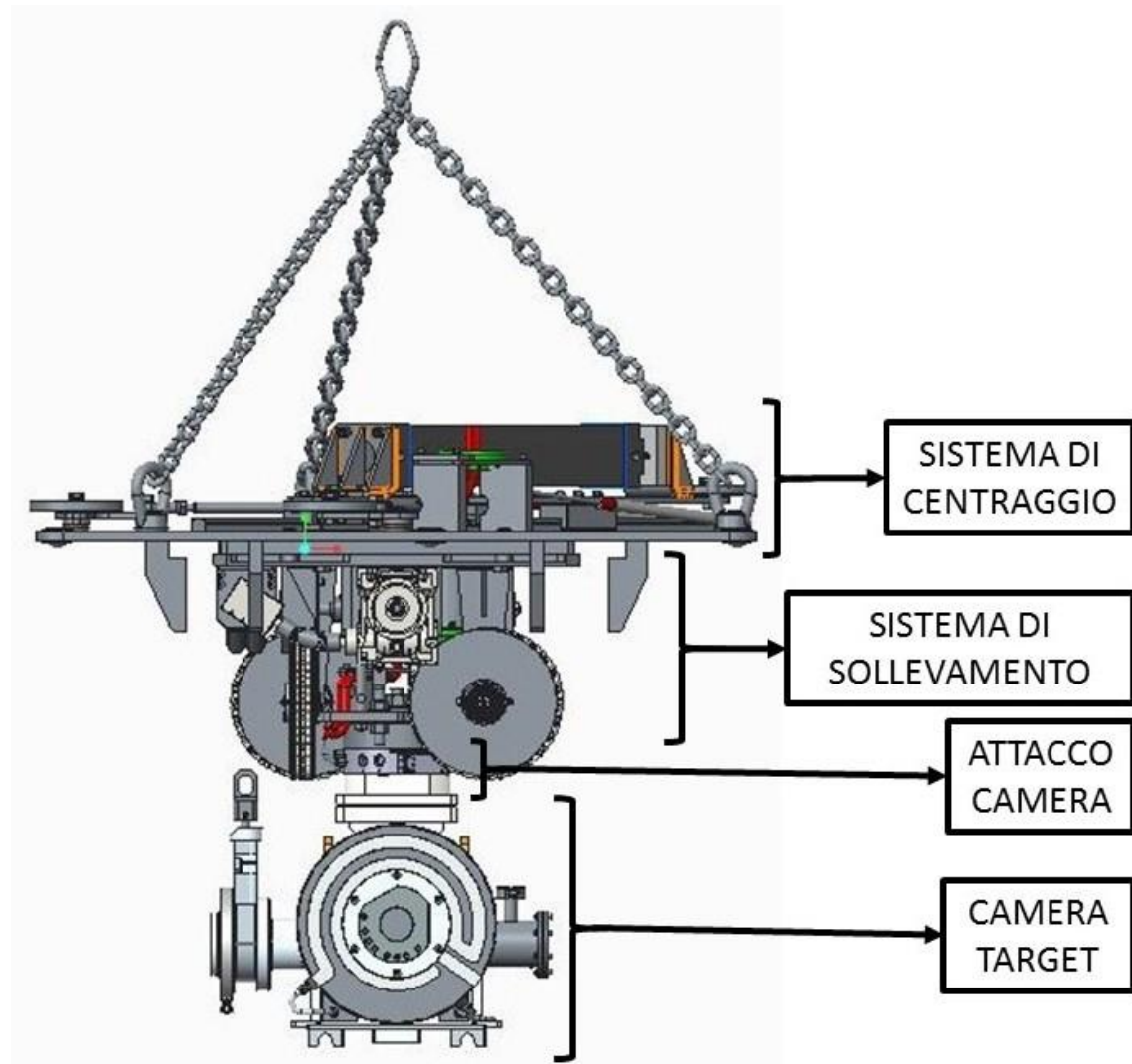


Fig. 2.35 Principali componenti del sistema verticale.

L'apparato che ripone la macchina verticale sulla tasca, dovrà avere un errore massimo nel posizionamento di ± 100 mm nelle due direzioni della pianta A16. Una volta calato l'intero sistema fino all'ultima tasca del foro, entra in azione il sistema di centraggio che dovrà centrarsi con una ripetibilità di posizionamento di ± 5 mm. Una volta centrato viene azionato il sistema di sollevamento, il quale effettuerà la presa della camera target e la sua rimozione. L'attacco Schunk consente un errore di presa, nel piano x-y che interfaccia il maschio con la femmina, di ± 5 mm, da raggiungersi dopo una corsa verticale di circa 3 m. Tale corsa, necessaria per raggiungere la camera ed agganciarla, con il vecchio sistema verticale era di 6 m; avendo dunque dimezzato la corsa si ritiene più semplice raggiungere la necessaria precisione di aggancio della camera.

Il sistema di sollevamento progettato, è ispirato da quello in uso ad Oakridge di Figura 2.36.

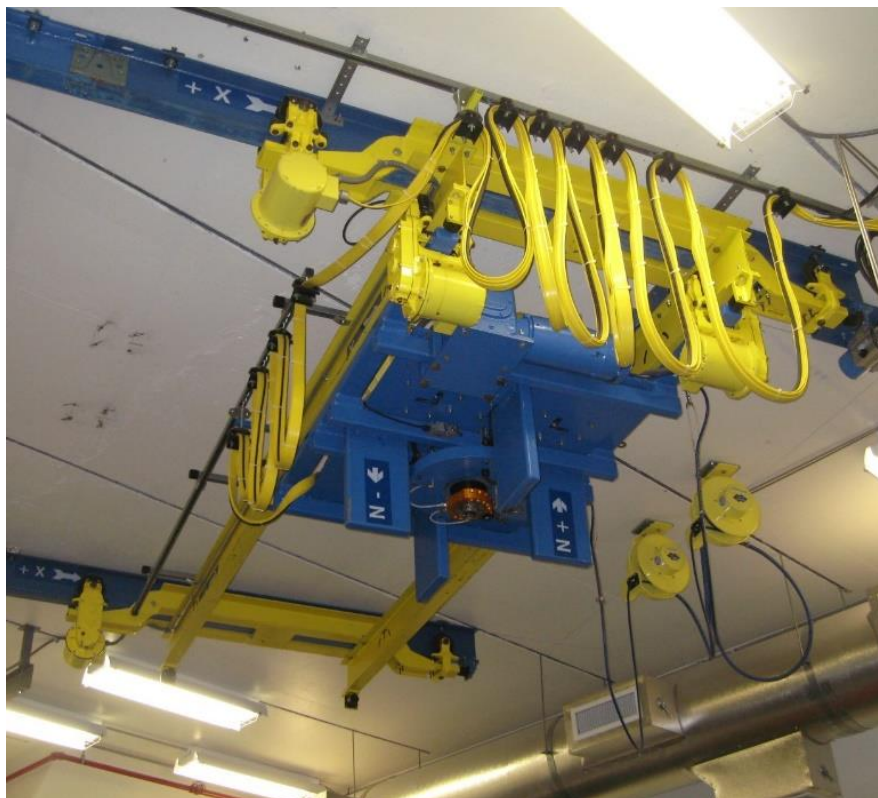


Fig. 2.36 Sistema di sollevamento di Oakridge. [13]

Per riporre la camera nel sarcofago, è necessario che questo venga prima aperto, e poi chiuso. Per questa operazione si pensa di utilizzare un sistema integrato con il sarcofago stesso, tipo quello adottato ad Oakridge di Figura 2.37. Il coperchio scorre su due rotaie ancorate sui fianchi del sarcofago. Tale modifica permette di svolgere le operazioni di apertura e chiusura in modo automatico e sicuro.

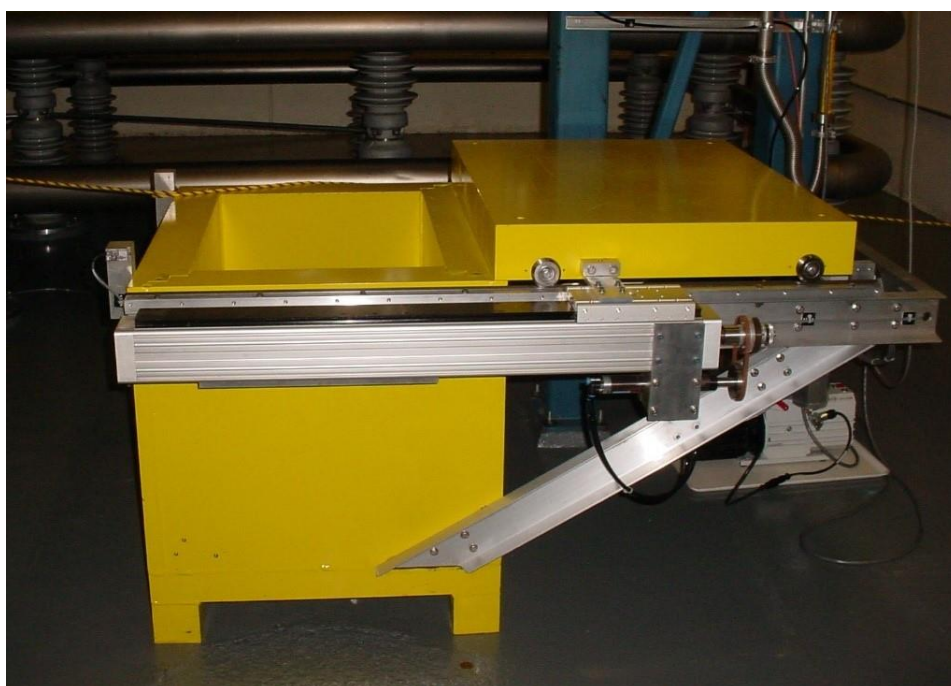


Fig. 2.37 sarcofago con apertura automatica di Oakridge. [13]

2.6 - Conclusioni

In questo capitolo è stato esposto il layout del progetto SPES, spiegando nel dettaglio gli ambienti dove andranno a operare tutti i sistemi di movimentazione della camera target. Si sono visti nel dettaglio gli ambienti di lavoro del sistema di estrazione verticale, spiegando i vari vincoli che questi imponevano alla progettazione del sistema stesso. Infine si è introdotto il sistema di estrazione verticale, progettato in questo lavoro di tesi, che verrà approfondito nei prossimi capitoli.

Capitolo 3

Il sistema di centraggio

3.1 - Introduzione

Nel capitolo precedente si sono spiegati nel dettaglio gli ambienti e le zone di lavoro per i sistemi di handling, ponendo maggior attenzione alla movimentazione verticale. Sono stati esposti i vincoli di progetto quali infrastruttura, ingombri delle attrezzature, precisione richiesta per l'estrazione verticale e il layout del sistema di estrazione verticale. Si è visto come il nuovo sistema di estrazione verticale sia composto da due sottosistemi principali; quello di centraggio e quello di sollevamento. In questo capitolo verrà descritto nel dettaglio il sistema di centraggio, dal funzionamento, i componenti che lo costituiscono, calcoli analitici e simulazioni svolte per tale macchina. Calcoli e simulazioni numeriche riguarderanno prima lo studio cinematico, per calcolare le forze in gioco, infine lo studio strutturale, per verificare i principali componenti.

3.2 - Funzione e utilizzo del sistema di centraggio

Il sistema per la movimentazione verticale, viene calato sull'ultima tasca dall'apparato di sollevamento precedentemente citato. In questo modo non si riuscirebbe ad avere una buona precisione di posizionamento, per poi agganciare la camera target. Il sistema di centraggio, riportato in Figura 3.1, ha dunque la funzione di far posizionare in modo ripetibile il sistema di sollevamento, con un errore di ripetibilità massimo di +/-5 mm.

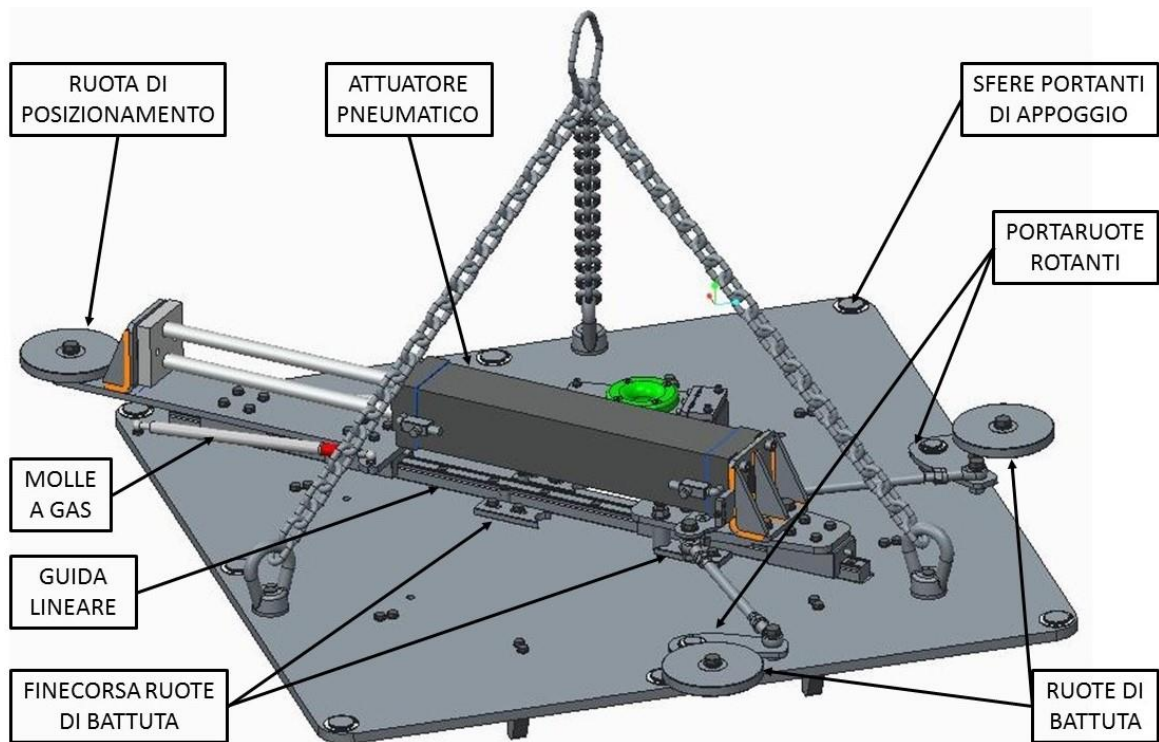


Fig. 3.1 Il sistema di centraggio

Il sistema di sollevamento è collegato sotto a quello di centraggio tramite delle piastre con asole in due direzioni tra loro ortogonali (Figura 3.2), che consentono di fare un offset di +/- 80 mm nelle due direzioni. Nella fase di collaudo (con impianto non radioattivo), una volta che il sistema si è posizionato e centrato, si fa scendere il sistema di aggancio alla camera. Una volta in prossimità dell'aggancio, si dovrà impostare un offset che permetta la presa dello schunk. La presa della camera, negli utilizzi successivi, è garantita dunque dalla ripetibilità di posizionamento fornita dal centraggio.

Il meccanismo di centraggio è costituito da una piastra quadrata di lato 1080mm, dove sono alloggiati tre ruote mobili. Queste ultime, azionate da un attuatore pneumatico, escono e vanno a spingere sulle pareti del foro quadro dell'accesso al bunker, riposizionano il sistema sempre nella stessa posizione. Come illustrato in Figura 3.3, ci sono due ruote che fuoriescono, ruotando attorno ad un perno, e si posizionano in modo da creare una sorta di battuta. Poi c'è una terza ruota che, uscendo linearmente, posiziona l'intero sistema.

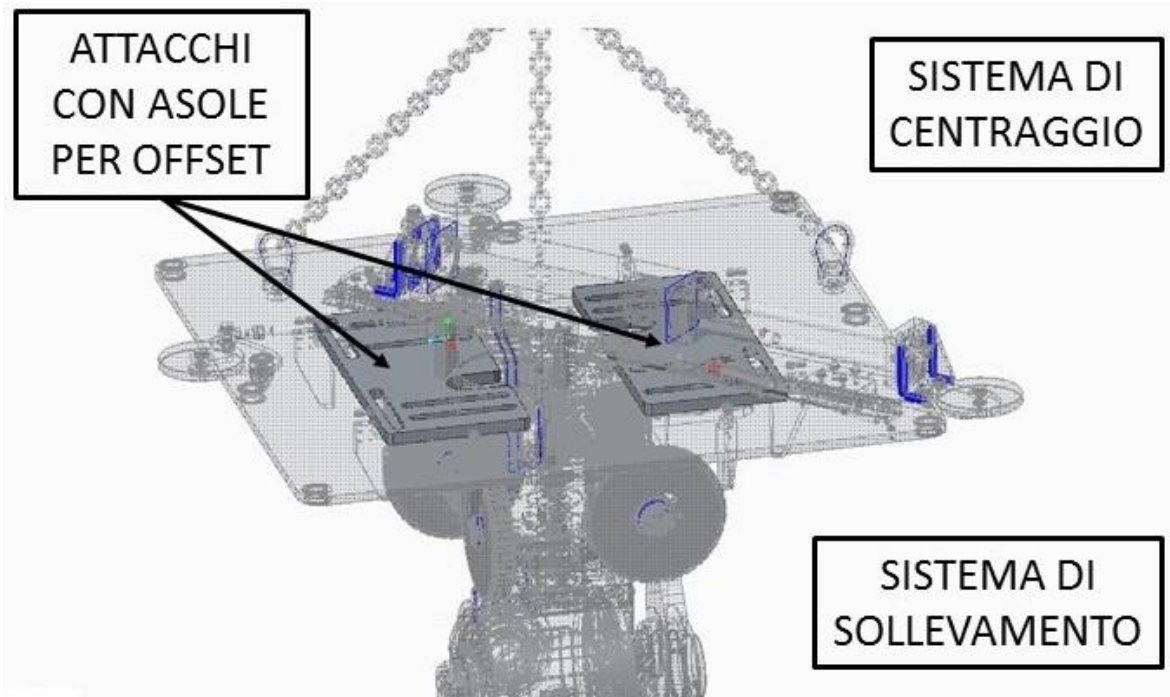


Fig. 3.2 Attacco tra in sistema di sollevamento e quello di centraggio

Il sistema di centraggio è in altre parole un cinematismo, azionato da un pistone pneumatico. Il fondello del cilindro è fissato su due carrelli, tra loro solidali, di una guida lineare. La testa dello stelo è fissata ad altri due carrelli, tra loro solidali, della stessa guida lineare (vedi Figura 3.1). Con questa configurazione, il pistone intero è libero di muoversi lungo la guida lineare, sono quindi state aggiunte due molle a gas che, agendo sulla testa dello stelo, la tengono premuta contro un finecorsa. Azionando l'attuatore, la prima corsa di sfilo è fatta dal cilindro, in quanto le molle a gas mantengono la posizione lo stelo. Nella coppia di carrelli su cui è fissato il cilindro, ci sono due puntoni di manovra che controllano due sagome angolari incernierate su due lati della piastra quadra. Con lo sfilo del cilindro, i due puntoni fanno ruotare le due sagome attorno ai rispettivi fulcri, permettendo la fuoriuscita delle due ruote di battuta. Eseguita la corsa necessaria per una rotazione di 90° delle sagome angolari, il cilindro si arresta su un secondo finecorsa. La seconda parte dello sfilo, è fatta dallo stelo che lavora contro le due molle a gas, comprimendole. La terza ruota, di posizionamento, è incernierata sulla sagoma dov'è fissata la testa dello stelo. Viene dunque spinta verso un vertice del foro quadro di accesso al bunker. In questo modo, l'intero sistema si porta teoricamente sempre nella stessa posizione.

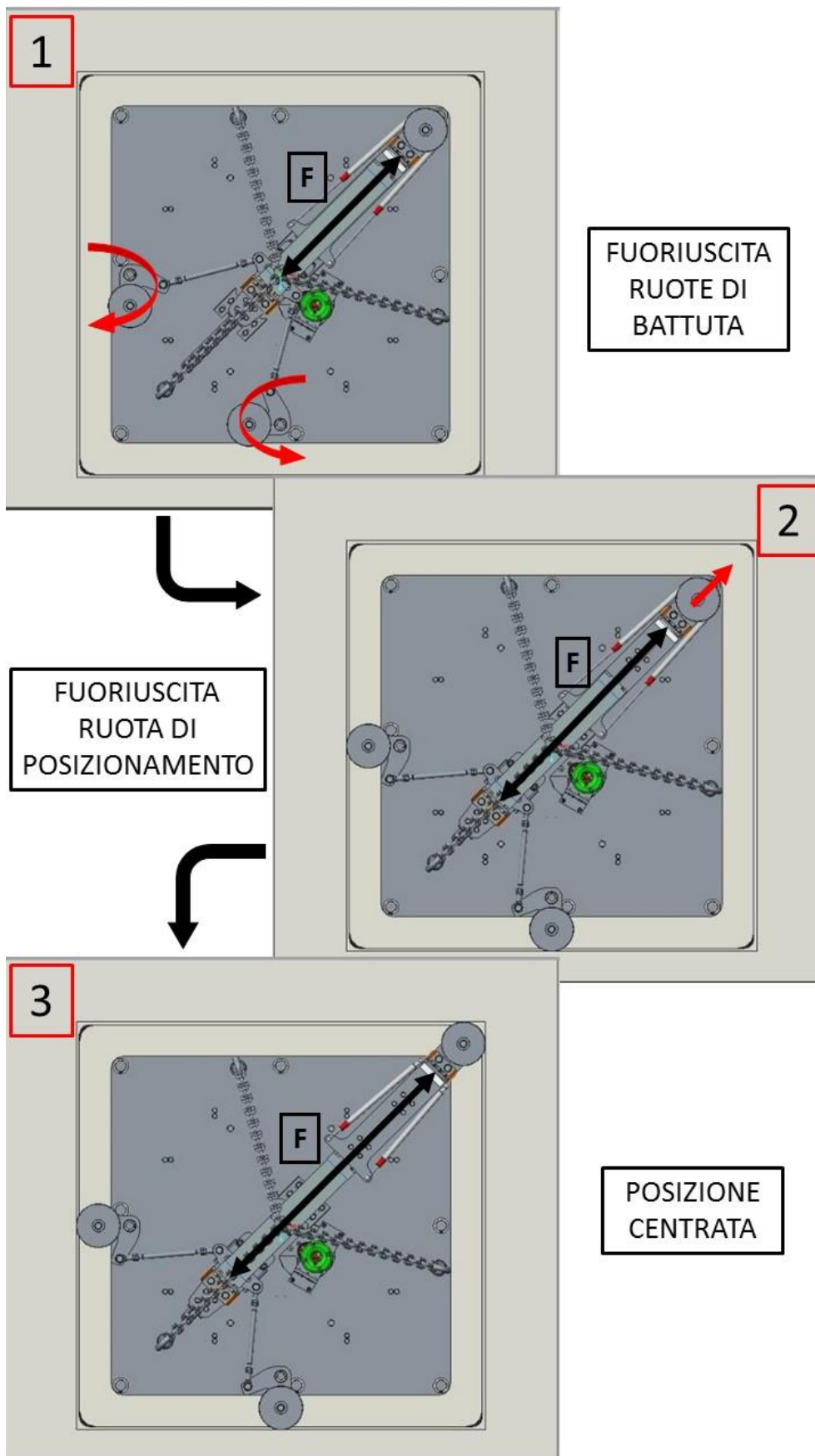


Fig. 3.3 Funzionamento del sistema di centraggio

3.2.1 - Componenti del sistema di centraggio

Nella progettazione e realizzazione del sistema sono stati utilizzati i seguenti componenti:

- Cilindro pneumatico tipo AIRON ISO-15552 serie A2P.080:0400, anti rotazione a due steli. Corsa 400 mm, alesaggio 80 mm. Pressione di esercizio 1-10 bar. Spinta massima 5025 N. (Vedi Appendice A per il datasheet). In Figura 3.4 l'attuatore pneumatico utilizzato.



Fig. 3.4 Cilindro pneumatico tipo AIRON ISO-15552 serie A2P.080:0400.

- Guida lineare SHS30R4SS+1080L. (Vedi Appendice A per il datasheet). In Figura 3.5 un esempio della guida lineare utilizzata



Fig. 3.5 Guida lineare SHS30.

- Molle a gas RS CAMLOC serie RS-182-4699-V/30-242583-41/15. Corsa 250 mm. Forza di spinta regolabile 100-500 N. In Figura 3.6 una delle due molle a gas utilizzate.



Fig. 3.6 Molla a gas RS CAMLOC.

- Testine snodate femmina M12. In Figura 3.7 una delle quattro testine snodate utilizzate.



Fig. 3.7 Testina snodata femmina M12.

- Sfere portanti serie RGPballs, SP22B, portata 125 Kg. (Vedi Appendice A per il datasheet). In Figura 3.8 una delle otto sfere portanti utilizzate.



Fig. 3.8 Sfere portanti serie RGPballs, SP22B.

- Piastra quadra 1080x1080x15 in alluminio
- Componenti vari di macchina in S275JR
- Perni torniti in C40

3.3 - Calcoli sul cinematismo

Prima di poter svolgere le verifiche strutturali, si è fatta un'analisi cinematica per capire quali forze sono scambiate tra i vari componenti. I risultati dello studio cinematico saranno poi i dati di partenza per le verifiche strutturali. Lo studio cinematico è stato prima fatto analiticamente, e poi si sono validati i risultati analitici con una simulazione multibody. In ambo i casi le ipotesi di calcolo sono:

1. È stata considerata una spinta massima del pistone di $4q$ ($F=3924$ N), in quanto l'impianto d'aria compressa lavora a circa 7 bar.
2. L'intero sistema poggia sull'ultima tasca con delle sfere portanti, dunque la forza necessaria per posizionarlo dovrebbe essere la sola resistenza d'attrito delle sfere, che è molto bassa. Nello studio si considera, in via del tutto cautelativa, che la piastra quadra su cui poggia tutto il sistema sia bloccata; sia ostruita la fuoriuscita della ruota di posizionamento, e che solamente una delle due ruote di battuta sia a contatto con una parete. In questo modo, tutta la forza del cilindro si scarica lungo una ruota di battuta.
3. Le forze scambiate tra i vari componenti del meccanismo, vengono studiate al variare della posizione angolare della ruota di posizionamento. Si andranno poi a graficare le principali azioni in funzione dell'angolo di fuoriuscita della suddetta ruota.

In Figura 3.9 è riportato uno zoom della parte di cinematismo dove di svolgono i calcoli cinematici.

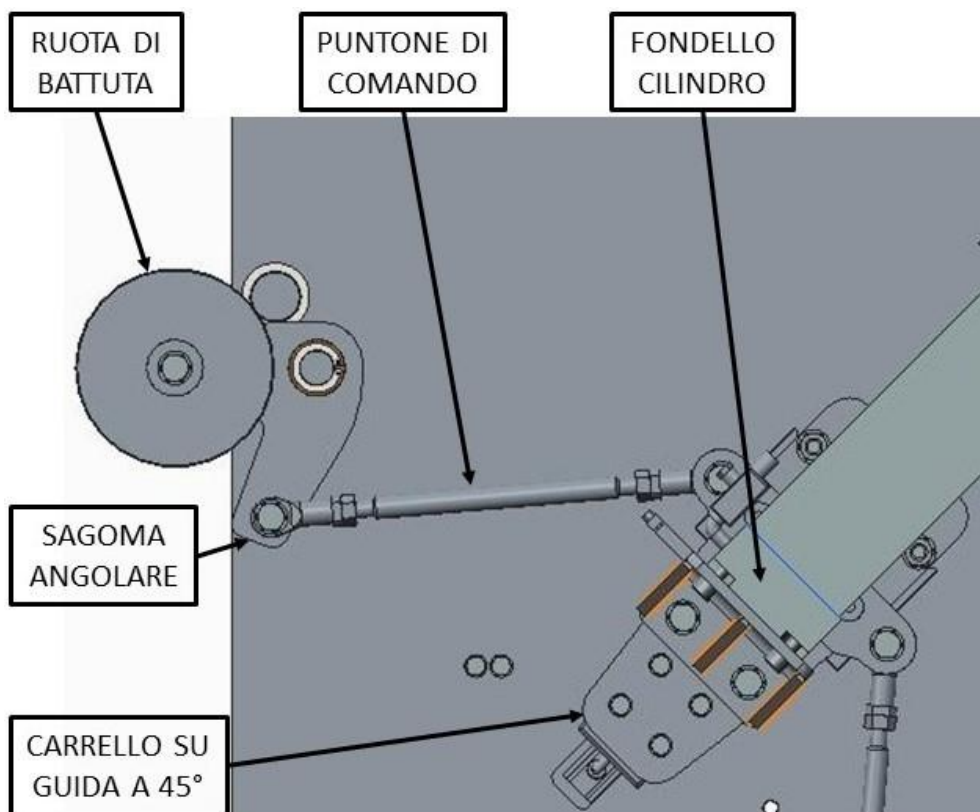


Fig. 3.9 Particolare del cinematismo per i calcoli cinematici.

3.3.1 - Calcoli analitici

Per svolgere i calcoli analitici, il meccanismo di Figura 3.9 è stato schematizzato come in Figura 3.10.

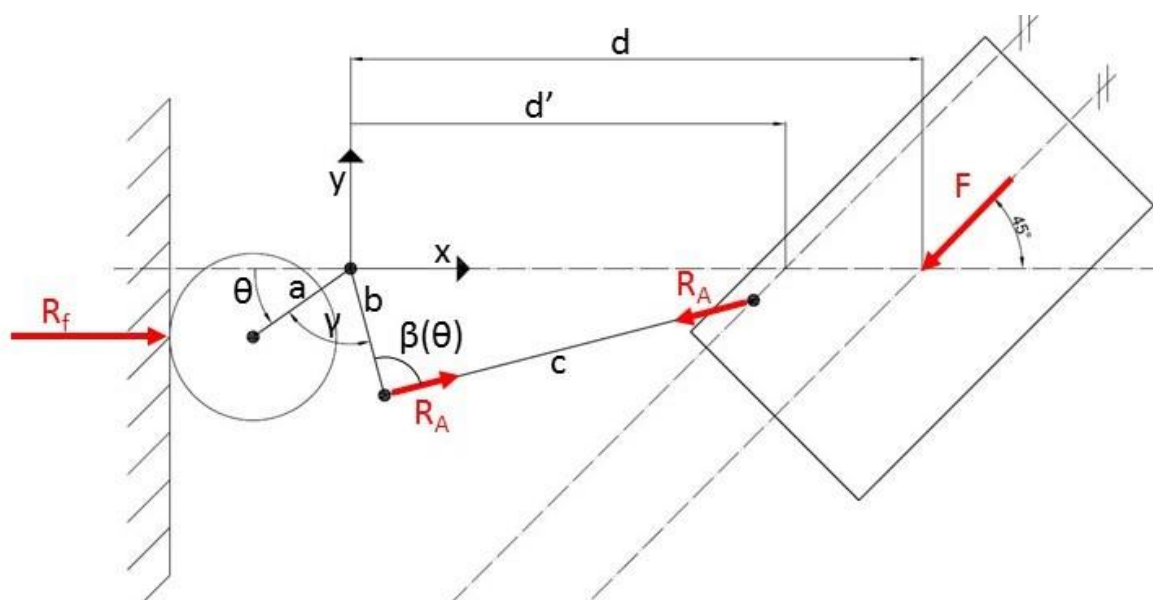


Fig. 3.10 Schema di calcolo

La terna di riferimento x-y è centrata sul fulcro della ruota di posizionamento, "a" e "b" sono le due braccia della sagoma angolare, "c" è il puntone di comando, e il rettangolo sull'asse a 45° è

il carrello d'appoggio del fondello del cilindro. La forza "F" è la forza esplicita dal cilindro, la forza "R_f" è la reazione vincolare della parete sulla ruota di posizionamento la quale viene calcolata in funzione dell'angolo di escursione θ , e la forza "R_A" è la forza assiale di compressione sul puntone.

$a = 100 \text{ mm}$ $\theta = (0^\circ ; 90^\circ)$
 $b = 110 \text{ mm}$ $\gamma = 70^\circ$
 $c = 318,6 \text{ mm}$ $F = 3924 \text{ N}$
 $d = 480 \text{ mm}$
 $j = 82.5 \text{ mm}$

Nei grafici di Figura 3.11 e 3.12 sono riportati gli andamenti delle forze al variare della rotazione θ . La reazione vincolare R_f presenta, nelle ipotesi cautelative di lavoro, una singolarità per θ tendente a zero. L'equazione di equilibrio, data la posizione della ruota di battuta e la forza del pistone, fornisce la R_f per l'equilibrio del cinematismo. La R_f crea un momento uguale e contrario a quello della forza R_A sulla cerniera della sagoma angolare. La singolarità di R_f per angoli θ piccoli, è dovuta al fatto che la retta d'azione di R_f si avvicina sempre più al fulcro della sagoma angolare e quindi, analiticamente, servono valori molto elevati per bilanciare il momento della R_A. Per $\theta=0$, la retta d'azione di R_f passa esattamente per la cerniera, e quindi la reazione di equilibrio R_f tende ad infinito. Sempre per $\theta=0$, la forza R_A del puntone non è nulla, perché deve bilanciare la forza del pistone. Nella realtà, quando le ruote di battuta sono in posizione ($\theta=0$), il carrello del fondello pistone spinge contro due finecorsa. Dunque la forza F del pistone si scarica sui finecorsa, i puntoni si scaricano, e la reazione R_f non deve più bilanciare alcun momento. Per questo motivo la R_f è stata riportata da $\theta=20^\circ$ in poi. Nella modalità di funzionamento reale, con tutte e tre le ruote a contatto con le pareti, il valore massimo di R_f è 2775 N.

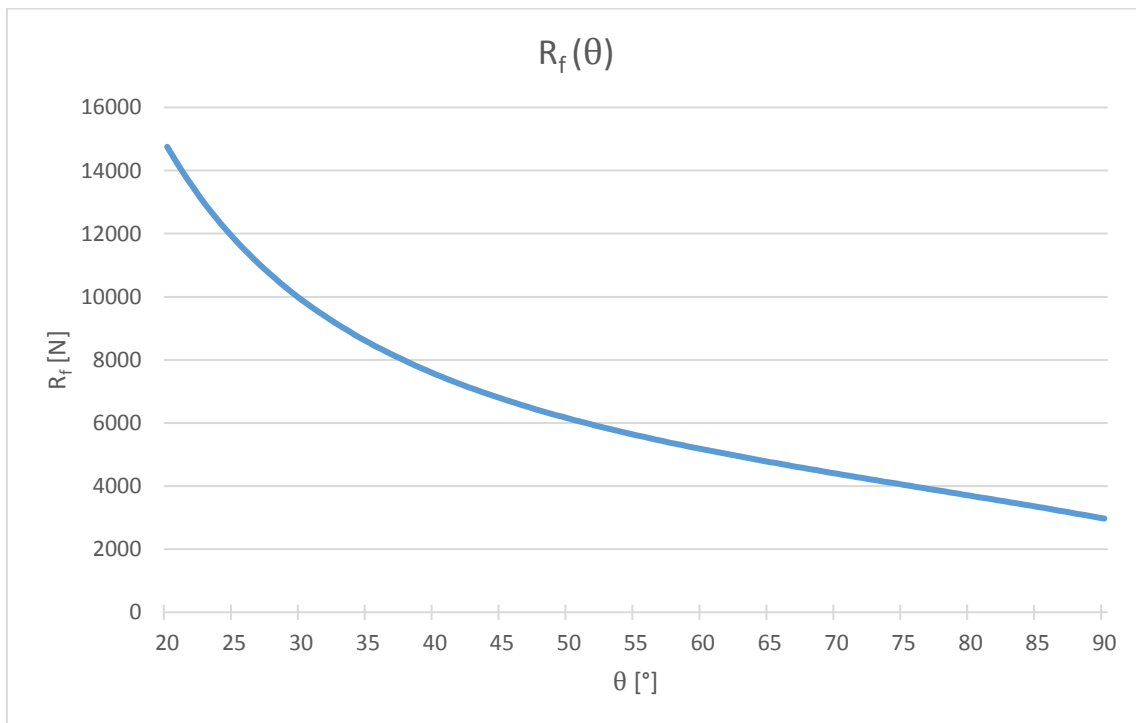


Fig. 3.11 Andamento della reazione vincolare R_f in funzione dell'angolo θ , analitico.

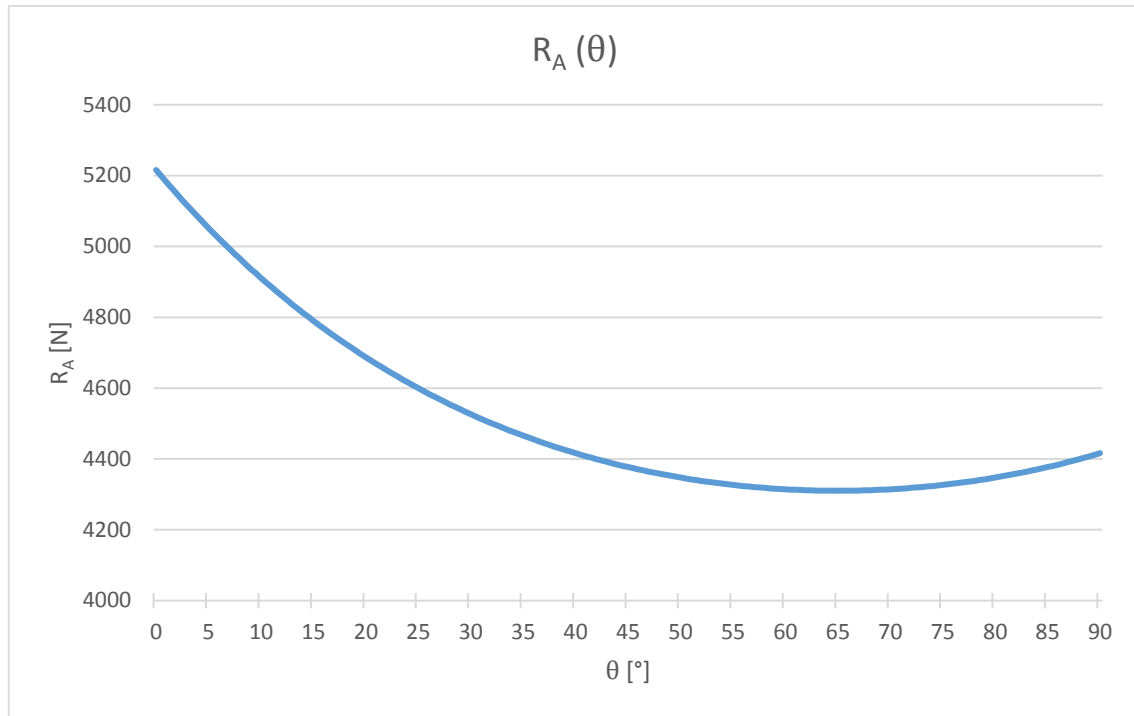


Fig. 3.12 Andamento della forza R_A in funzione dell'angolo θ , analitico.

3.3.2 - Validazione dei risultati analitici con simulazione MULTIBODY

Dopo lo studio cinematico analitico sopra riportato, è stata fatta una simulazione cinematica multibody con il software WORKING MODEL 2D. Il modello utilizzato è riportato in Figura 3.13. Il modello è costituito da una slitta a 45° su cui agisce la forza del pistone F , il puntone di manovra che collega la slitta alla sagoma angolare della ruota di battuta, la ruota di battuta che spinge su una parete traslante orizzontalmente. La parete traslante è controllata in posizione tramite un attuatore, e misurando la forza su questo attuatore si conosce la reazione R_f . All'attuatore è stata data una funzione sinusoidale che fa traslare nel tempo la parete verso sinistra. È stata adottata una funzione sinusoidale in quanto la simulazione è nel dominio del tempo, e se la parete avesse una velocità di traslazione costante provocherebbe una accelerazione della rotazione della sagoma angolare. Così facendo si ottiene una posizione angolare che varia linearmente nel tempo, rendendo più agevole mettere in relazione le forze scambiate con la posizione angolare.

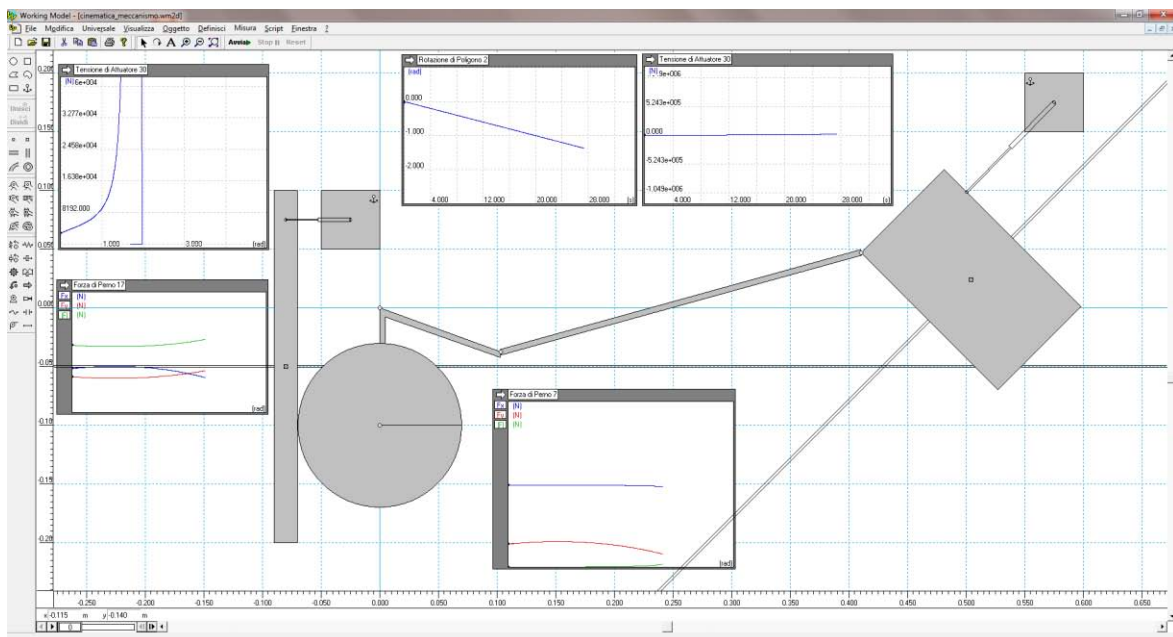


Fig. 3.13 Modello multibody del cinematismo

I risultati così ottenuti ricalcano quelli analitici, e sono riportati nei grafici di Figura 3.14 e 3.15. Negli stessi grafici sono riportati per confronto anche i risultati dello studio cinematico analitico precedentemente descritto.

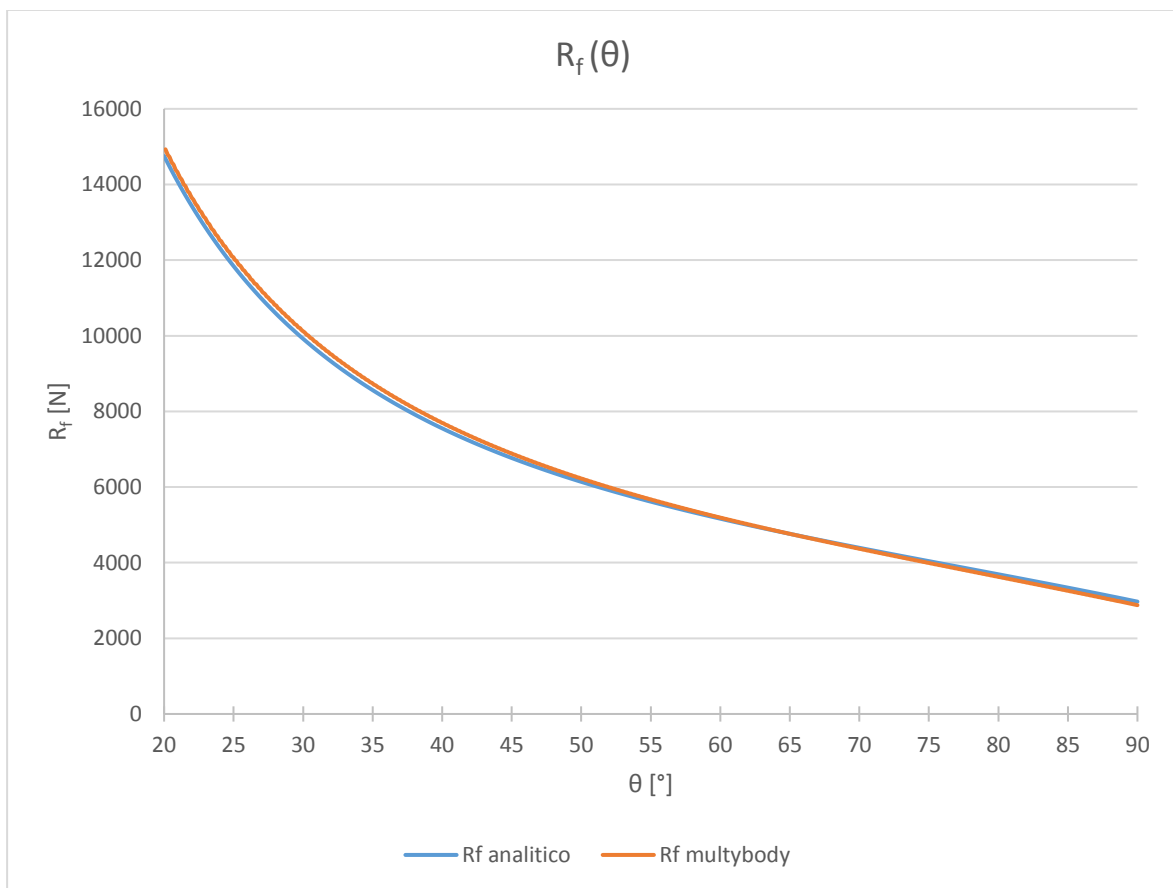


Fig. 3.14 Confronto, in termini di reazione vincolare R_f , tra i risultati analitici e quelli delle analisi multibody al variare di θ .

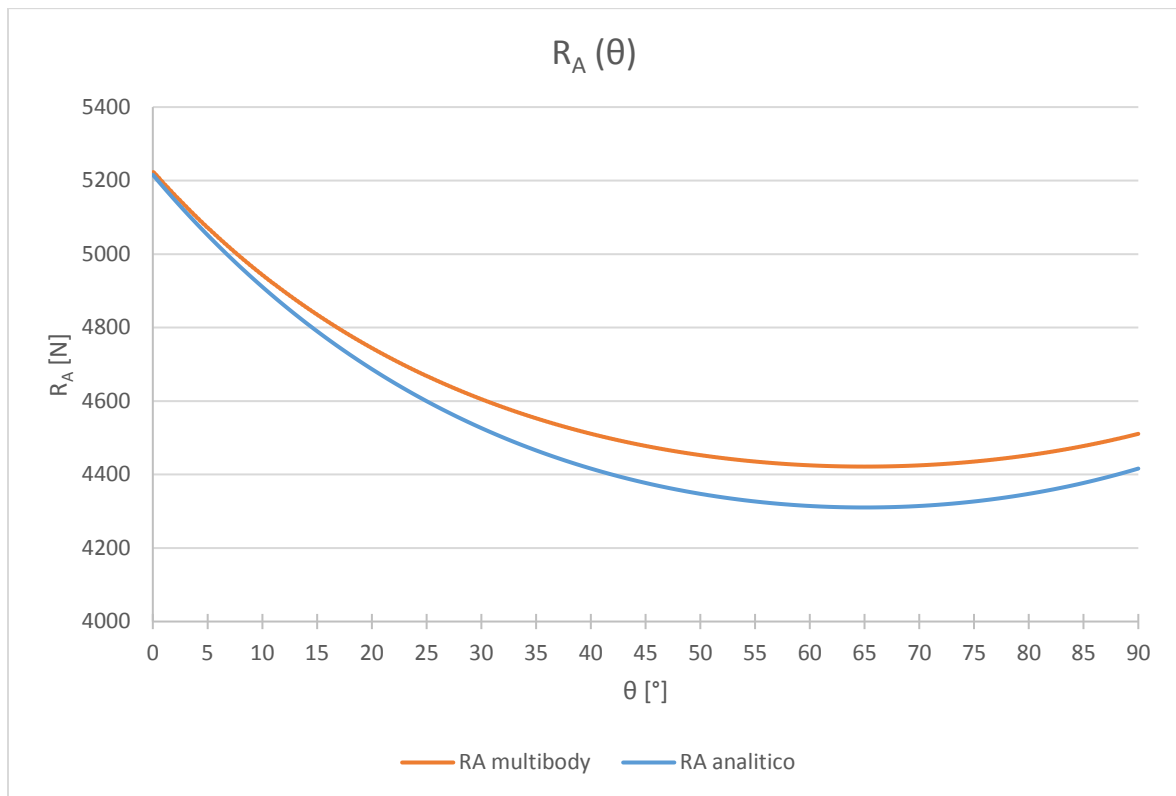


Fig. 3.15 Confronto, in termini di forza R_A , tra i risultati analitici e quelli delle analisi multibody al variare di θ .

Le piccole differenze tra i risultati analitici e quelli multibody sono dovute sia alla modalità risolutiva delle equazioni del cinematismo, sia a piccole differenze geometriche tra il modello analitico e quello multibody.

Svolto lo studio cinematico, per le verifiche strutturali si farà riferimento alla forza R_A del puntone per le verifiche strutturali sulla sagoma angolare, o porta ruote rotanti, e la stabilità del puntone.

3.4 - Verifiche strutturali analitiche

Per le verifiche strutturali del sistema, si sono considerati i principali componenti che lo costituiscono, e su questi si sono fatte le verifiche.

3.4.1 - Sagoma angolare delle ruote di battuta

In Figura 3.16 sono evidenziate le due sagome angolari delle ruote di battuta, mentre in Figura 3.17 si vede lo schema di calcolo semplificato per la sagoma angolare.

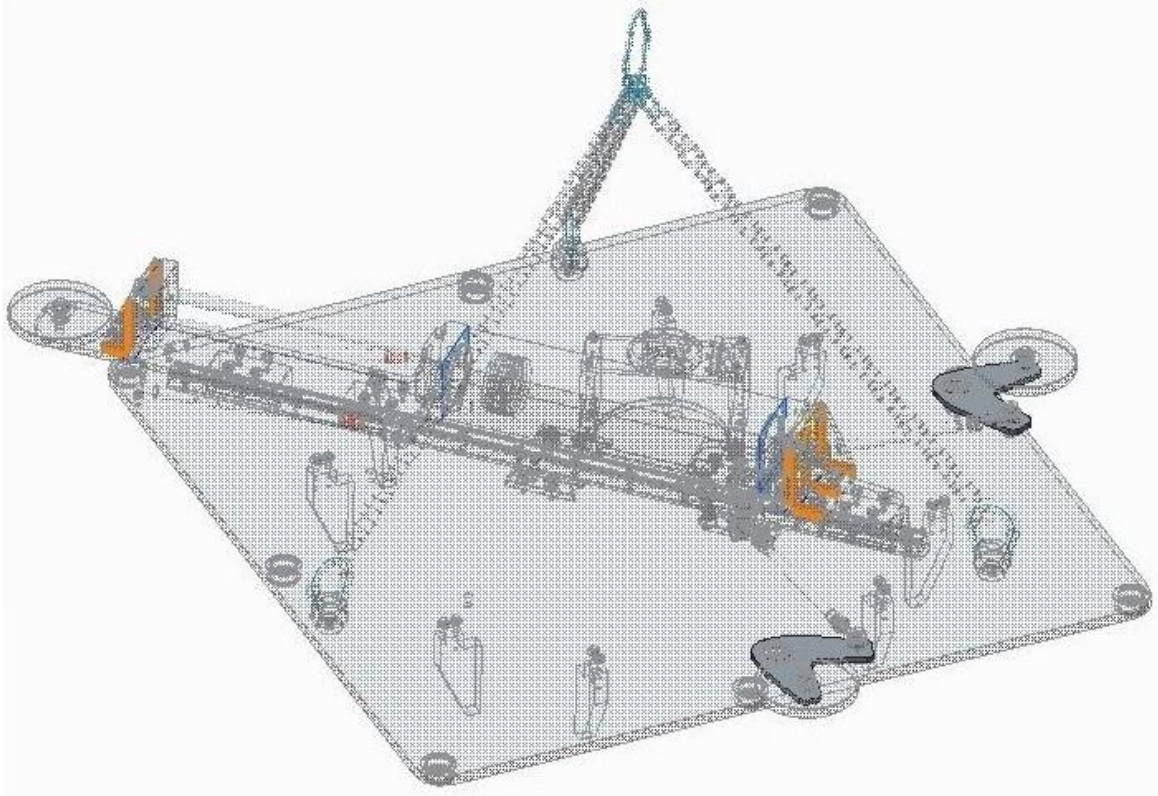


Fig. 3.16 *Sagome angolari delle ruote di battuta.*

In via semplificativa, non si sono considerati gli smussi degli angoli, e l'effetto di concentrazione delle tensioni che ne segue. Il componente è vincolato in modo isostatico, con una cerniera nel suo centro di rotazione, ed un carrello nel punto dov'è incernierata la ruota di battuta. Si sono prese a riferimento due sezioni per le verifiche, la sez.1 e 2.

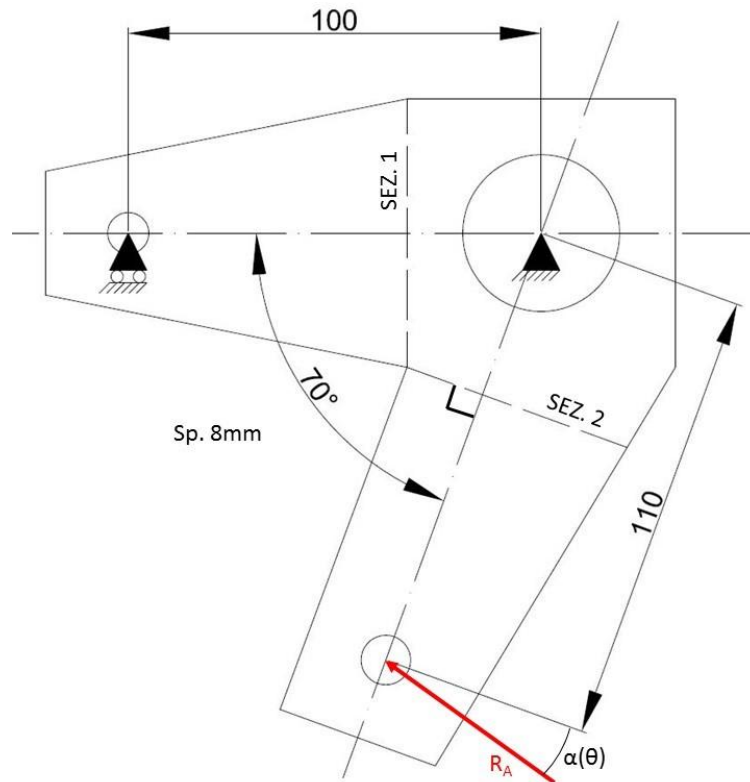


Fig. 3.17 Schema di calcolo per la sagoma angolare.

Si sono considerati il momento flettente, con la relazione di Navier, e lo sforzo normale, con la relazione di Hooke, dovuti alla forza R_A del puntone. Si sono valutate le tensioni σ ideali nella sezione 1 e 2, al variare dell'angolo di incidenza e del valore di R_A . Le tensioni ideali sono state calcolate come:

$$\sigma_{id.} = \sigma_N + \sigma_f$$

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad ; \quad \sigma_f = \frac{M_f}{W_f}$$

Nel grafico di Figura 3.18 si vede l'andamento della σ ideale in funzione dell'angolo θ , per la sezione 1. Anche qui, per le stesse ragioni dello studio cinematico, c'è una singolarità per θ tendente a 0. Mentre in Figura 3.19 è riportato l'andamento della σ ideale in funzione di θ , per la sezione 2.

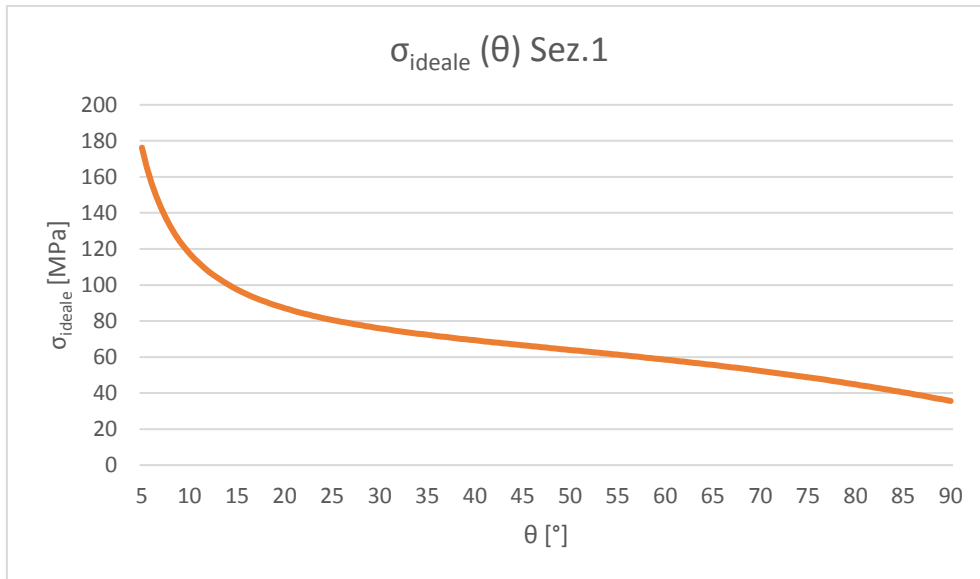


Fig. 3.18 Andamento della σ ideale in funzione dell'angolo θ , nella sezione 1.

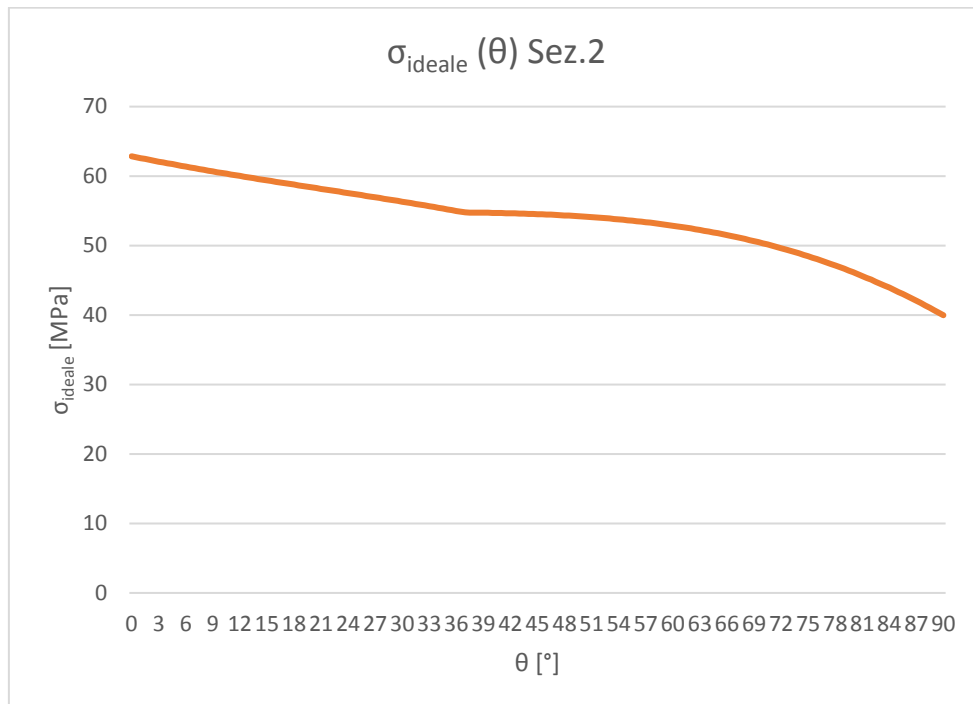


Fig. 3.19 Andamento della σ ideale in funzione dell'angolo θ , nella sezione 2.

Questi risultati, per le ipotesi di calcolo, servono a fornire una prima idea sulla tensione ideale agente sulla sagoma. Saranno poi confrontati con i risultati agli elementi finiti. Dall'andamento della tensione nella sezione 2, si vede che la posizione più gravosa è per $\theta=0^\circ$. Per le analisi fem verrà preso il valore e l'inclinazione di R_A corrispondenti a tale posizione.

3.4.2 - Bronzina della ruota di posizionamento

Le tre ruote sono libere di ruotare attorno a delle bronzine. Nelle normali condizioni di lavoro, la bronzina più sollecitata è quella della ruota di posizionamento, ovvero, quella sulla piastra del fondello pistone. In Figura 3.20 è evidenziata la bronzina della ruota di posizionamento.

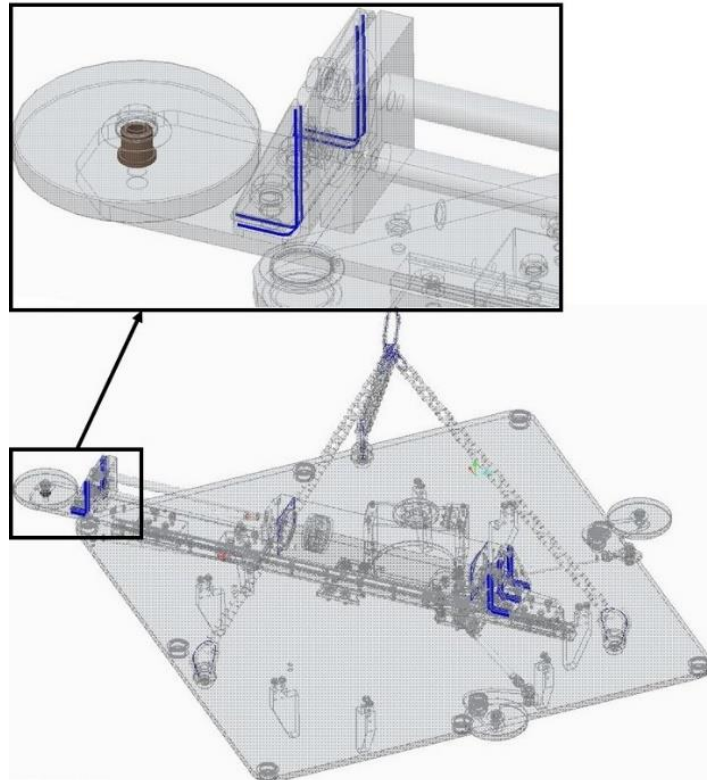


Fig. 3.20 *Bronzina della ruota di posizionamento.*

La verifica verrà dunque fatta su tale bronzina, secondo il metodo di calcolo semplificato da letteratura. Il metodo di calcolo semplificato fornisce, da tabella, dei valori limite di pressione ammissibile e una relazione per calcolare la massima agente sulla bronzina. La relazione semplificata prevede di calcolare la pressione dividendo la forza radiale agente sulla bronzina su di una sezione rettangolare fittizia, con base il diametro interno della bronzina, e altezza la lunghezza della bronzina. In Figura 3.21 è riportata tale sezione fittizia.

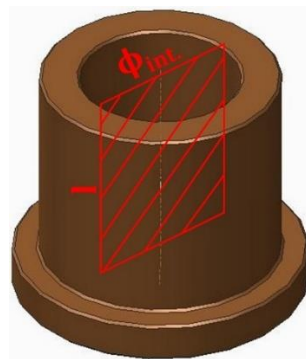


Fig. 3.21 *Sezione fittizia di calcolo proposta in letteratura.*

Le dimensioni caratteristiche della bronzina sono: $\phi_{int}=12$ mm e $l=15$ mm.

Per applicazioni quasi-statiche di bronzine non autolubrificate: $P_{ammissibile} = 30$ MPa

La forza massima agente è quella del pistone, $F=3924$ N. la pressione massima risultante è calcolata come:

$$P_{MAX} = \frac{F}{\phi_{int} \cdot l} = 18.2 \text{ MPa}$$

Essendo $P_{MAX} < P_{ammissibile}$ la bronzina è verificata.

3.4.3 - Puntoni

In Figura 3.22 sono evidenziati i due puntoni di manovra delle due sagome angolari sopra descritte.

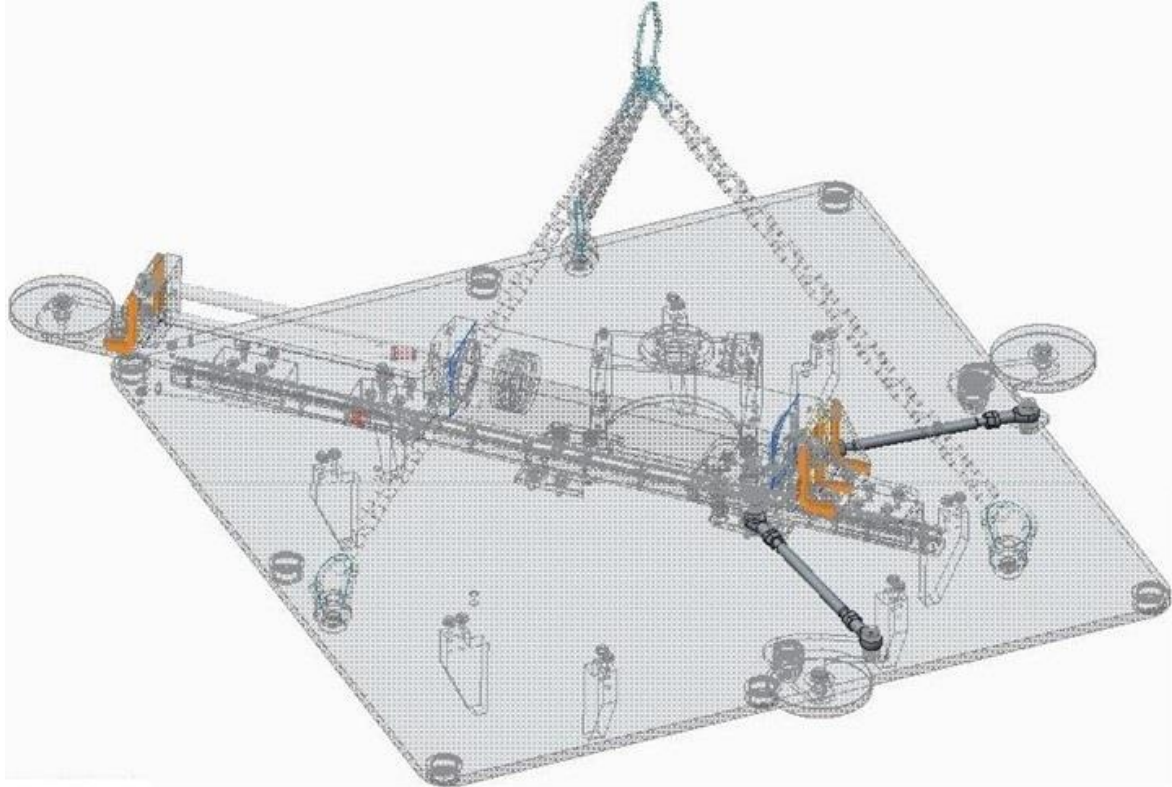


Fig. 3.22 *Puntoni di manovra delle sagome angolari.*

I puntoni di manovra vengono verificati, secondo “metodo ω ” normativa UNI10011, a carico di punta. La R_A massima è di 5228,5 N, i puntoni hanno un diametro di 16 mm ($A=201 \text{ mm}^2$) e una lunghezza di 318.6 mm. In Tabella 3.1 sono riportati i valori caratteristici utilizzati per la verifica. Dove J_{min} è l’inerzia minore della sezione, A l’area della sezione, β coefficiente da normativa, l la lunghezza del puntone, E il modulo elastico del materiale ($E=206000 \text{ MPa}$). In Figura 3.23 è riportato lo schema di calcolo del puntone.

Efficienza	$i = \sqrt{\frac{J_{min}}{A}}$	4
Snellezza	$\lambda = \frac{\beta * l}{i}$	79.7
Snellezza critica	$\lambda_c = \pi * \sqrt{\frac{E}{\sigma_s}}$	87.6
	λ / λ_c	0.91
(da grafico di normativa)	ω	1.37
(da normativa)	$\sigma_{ammissibile} [\text{MPa}]$	190

Tab. 3.1 *Puntoni di manovra delle sagome angolari.*

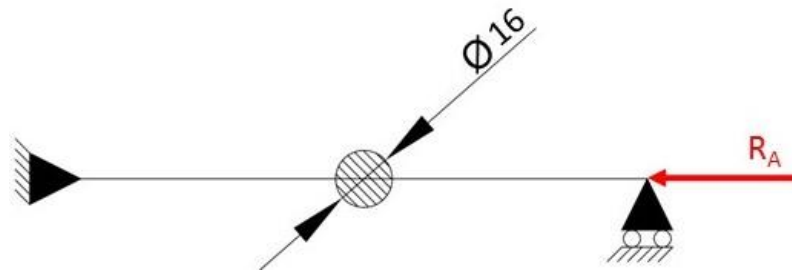


Fig. 3.23 Schema di calcolo del puntone di manovra.

$$\omega * \frac{R_{A \max}}{A} = 35.6 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 190 \text{ MPa}$$

Il puntone è verificato al carico di punta.

3.4.4 - Sagoma della ruota di posizionamento

La sagoma della ruota di posizionamento è evidenziata in Figura 3.24.

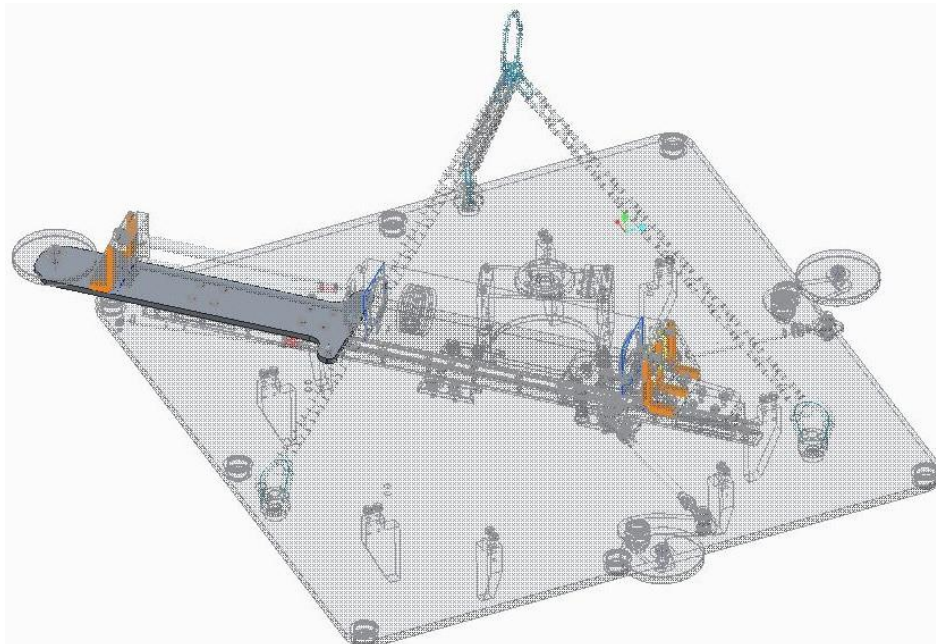


Fig. 3.24 Sagoma della ruota di posizionamento.

Il componente è stato schematizzato come in Figura 3.25. La forza F rappresenta la spinta del pistone, la reazione vincolare R è data dal contatto tra la ruota di posizionamento ed un vertice della tasca quadra, mentre la forza F_g , esplicata dalle molle a gas, è trascurata in quanto il suo contributo è ininfluenza. La sezione della trave schematizzata è costante e pari a $100 \times 10 = 1000 \text{ mm}^2$. Materiale acciaio laminato S275JR, secondo UNI10011 $\sigma_{adm.} = 190 \text{ MPa}$.

$$F = 3924 \text{ N}$$

Si sono poi calcolate le azioni interne e si è fatta la verifica, con teoria della trave, nella sezione più sollecitata. In Figura 3.26 sono riportati gli schemi delle azioni interne, ed è evidenziata la sezione di verifica.

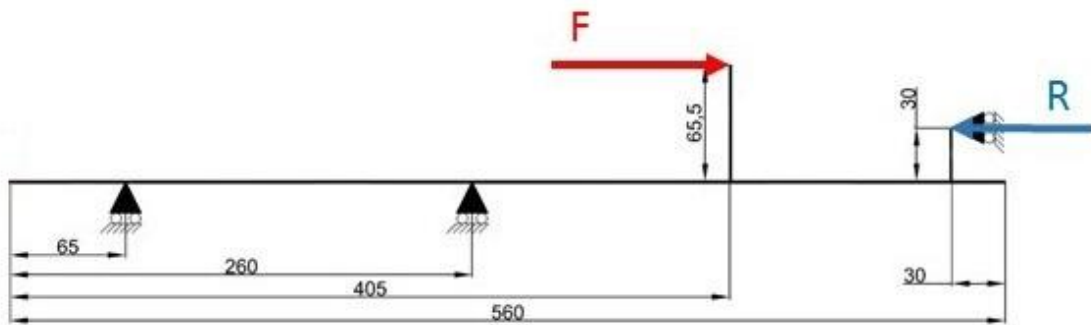


Fig. 3.25 Schema di calcolo della sagoma della ruota di posizionamento.

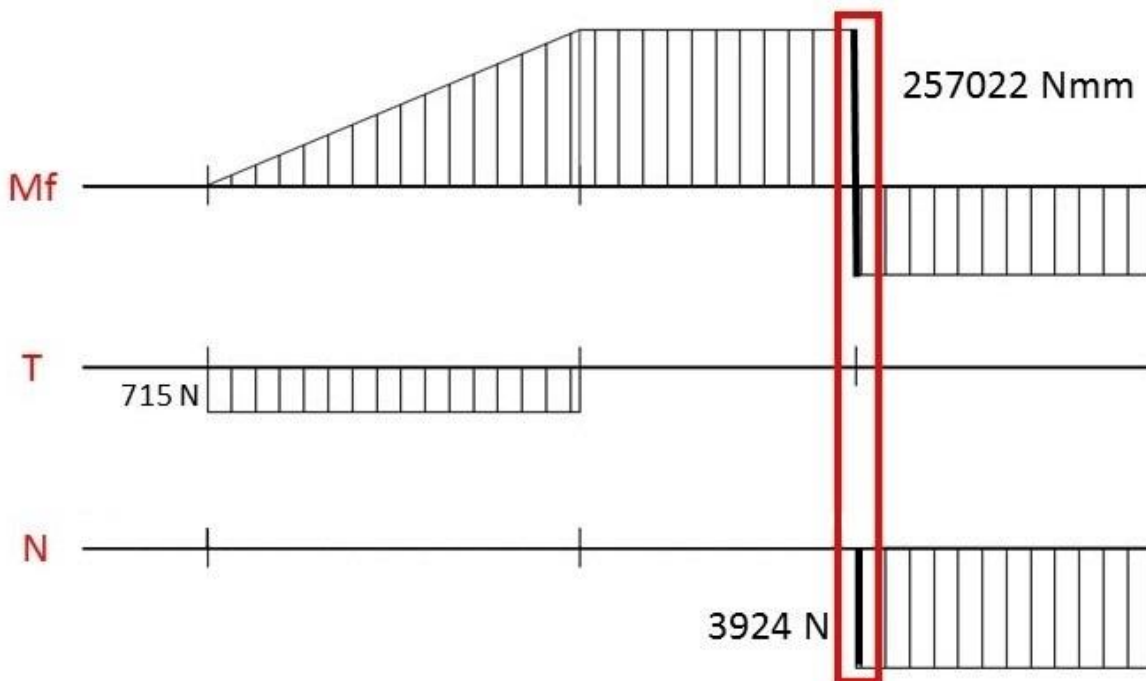


Fig. 3.26 Azioni interne della sagoma della ruota di posizionamento.

In tale sezione si è calcolata la σ_{id} come:

$$\sigma_{id} = \sigma_N + \sigma_f$$

$$\sigma_N = \frac{N}{A} ; \quad \sigma_f = \frac{M_f}{W_f}$$

Risulta una tensione ideale pari a $\sigma_{id}=98.4$ MPa. Essendo $\sigma_{id} < \sigma_{adm}$, il componente è verificato.

3.5 - Verifiche strutturali FEM

3.5.1 - Introduzione

Le simulazioni FEM sono state realizzate con il software commerciale ANSYS 17.2. Il programma prevede la possibilità inserire i comandi mediante due modalità: tramite i menù posti nella schermata del programma oppure tramite un'apposita barra dei comandi utilizzando il codice APDL acronimo di Ansys Parametric Design Language. Per la realizzazione

delle simulazioni in oggetto è stato deciso di utilizzare la seconda modalità di inserimento dei comandi.

Le simulazioni prevedono nella fase di pre-processing: l'importazione delle geometrie dei componenti, l'inserimento delle proprietà del materiale, la scelta del tipo di elementi con cui discretizzare la geometria, la realizzazione della mesh e l'applicazione dei vincoli e dei carichi. Per quanto riguarda le geometrie è stato utilizzato il modello CAD. Le proprietà del materiale inserite sono state: $E = 206000 \text{ MPa}$ e $\nu = 0.3$.

Gli elementi scelti per discretizzare le geometrie sono stati:

- SOLID186: sono elementi tridimensionali aventi tre gradi di libertà per nodo, in particolare la traslazione secondo le direzioni X, Y e Z. Questi elementi hanno la particolarità di possedere i nodi intermedi tra due vertici. E' possibile utilizzare tali elementi in diverse configurazioni, nel caso in esame è stato scelto di utilizzare l'opzione tetraedrica che prevede elementi dotati di dieci nodi. Si riporta di seguito un'immagine tratta dall'help di Ansys che descrive la geometria degli elementi SOLID186 in funzione dell'opzione di forma scelta, Figura 3.27.

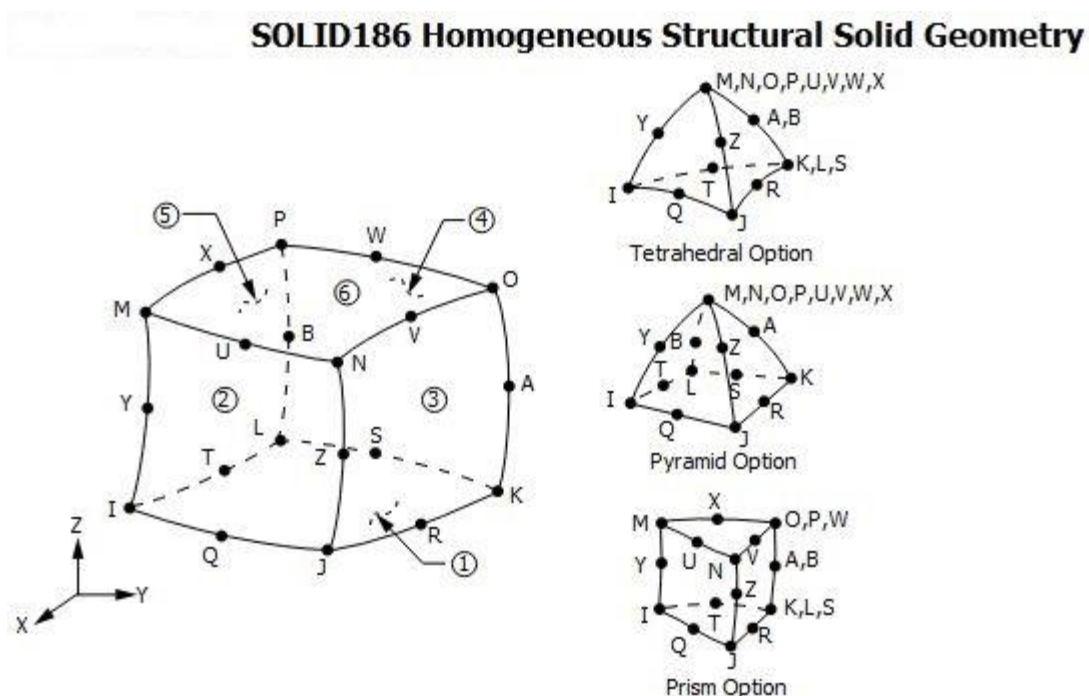


Fig. 3.27 Elemento SOLID186.

- PLANE183: elementi bidimensionali dotati di due gradi di libertà per nodo in particolare la traslazione secondo le direzioni X e Y. Si riporta di seguito un'immagine tratta da che raffigura lo schema degli elementi PLANE183, Figura 3.28.

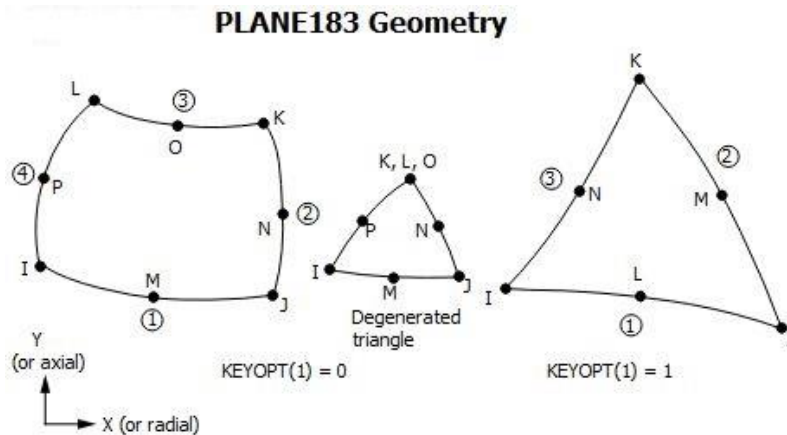


Fig. 3.28 Elemento PLANE183.

- LINK180: elementi monodimensionali dotati di un gradi di libertà per nodo, in particolare la traslazione secondo la direzione X. Si riporta di seguito un immagine tratta da che raffigura lo schema dell'elemento LINK180, Figura 3.29.



Fig. 3.29 Elemento LINK180.

La realizzazione della mesh e l'applicazione dei carichi verranno spiegate in seguito parlando dell'analisi dei singoli componenti.

3.5.2 - Verifica della sagoma angolare

È stata importata solamente l'area frontale del componente sagoma angolare in ANSYS 17.2. (In Appendice B il codice APDL). La geometria è discretizzata con elementi PLANE183. Data la singolarità della reazione vincolare data dalla ruota di posizionamento, si è considerata la sagoma angolare, vincolata in modo isostatico, soggetta alla forza R_A del puntone di manovra. La forza R_A varia in funzione dell'angolo θ , sia in modulo che in direzione, come descritto nel paragrafo 3.2.1. Sono state condotte più analisi al variare di θ , infittendo lo studio per gli angoli minori. Il controllo di convergenza si è fatto su un punto di controllo in corrispondenza del raggio di raccordo dell'angolare. Per simulare al meglio la reale condizione di esercizio, in termini di vincoli e applicazione carichi, si sono fatte delle raggere in corrispondenza dei fori. Le raggere sono discretizzate con elementi LINK180. Vincoli e carichi sono applicati al centro di queste raggere. In Figura 3.30 è riportata l'applicazione dei vincoli, del carico e la posizione del punto di controllo.

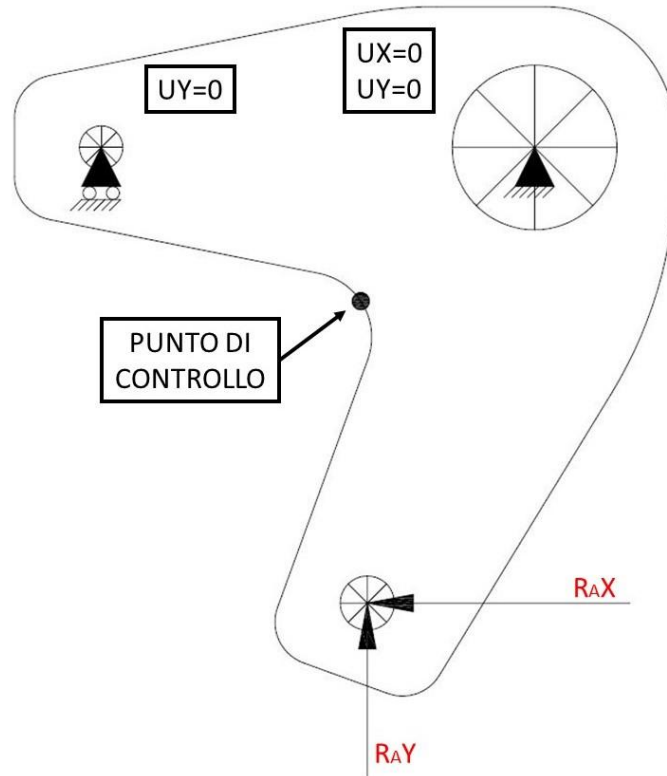


Fig. 3.30 Schema utilizzato per lo studio FEM della sagoma angolare.

Come detto, si sono svolte più analisi, variando il carico e la mesh, fino a convergenza. Gli angoli θ analizzati ed i risultati ottenuti sono riportati in Tabella 3.2.

Nel punto di controllo si è considerata la tensione ideale di von Mises. La mesh ritenuta a convergenza ha una dimensione di elemento di 1mm (e.s.=1mm), ed è infittita nella regione del punto di controllo con una dimensione di 0.25mm. In Figura 3.31 è riportato il componente con la mesh a convergenza.

In Figura 3.32 è riportato il grafico dell'andamento a convergenza per $\theta=0^\circ$.

θ [°]	R_{AX} [N]	R_{AY} [N]	$\sigma_{v.m.}$ [MPa]			
			e.s.=2mm	e.s.=1,5mm	e.s.=1mm	1mm+REF. 0.25mm
0	-5204,59	-344,668	180,03	180,82	180,87	181,32
5	-5051,13	-84,8555	178,21	178,87	179,05	179,49
10	-4907,94	168,0704			177,48	177,95
20	-4639,64	664,8352			174,97	175,4
30	-4374,28	1163,93			172,54	172,95
50	-3745,96	2206,434			164,86	165,22
70	-2798,42	3283,804			146,27	146,56
90	-1341,97	4207,467			107,36	107,54

Tab. 3.2 Analisi FEM della sagoma angolare.

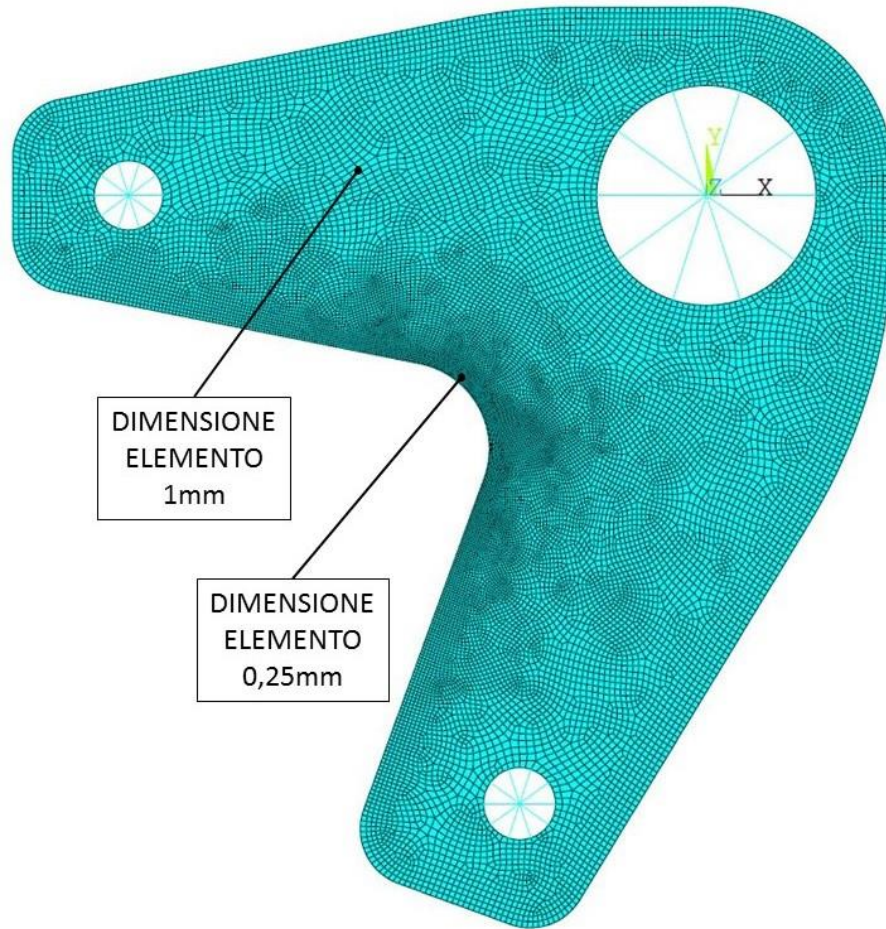


Fig. 3.31 Mesh a convergenza della sagoma angolare.

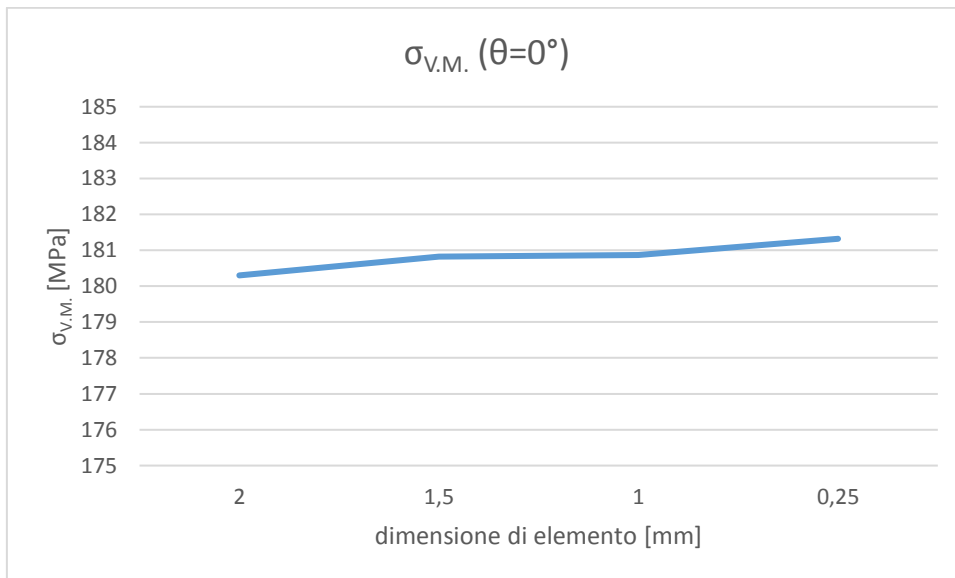


Fig. 3.32 Andamento della $\sigma_{v.M.}$ al variare della mesh.

In Figura 3.33 è riportata la distribuzione della tensione ideale di von Mises sulla sagoma. I picchi tensionali sono dovuti all'effetto di concentrazione creato dalle raggere dei vincoli e del carico. Come spiegato, per la convergenza si è valutato il punto di controllo in mezzera del raccordo.

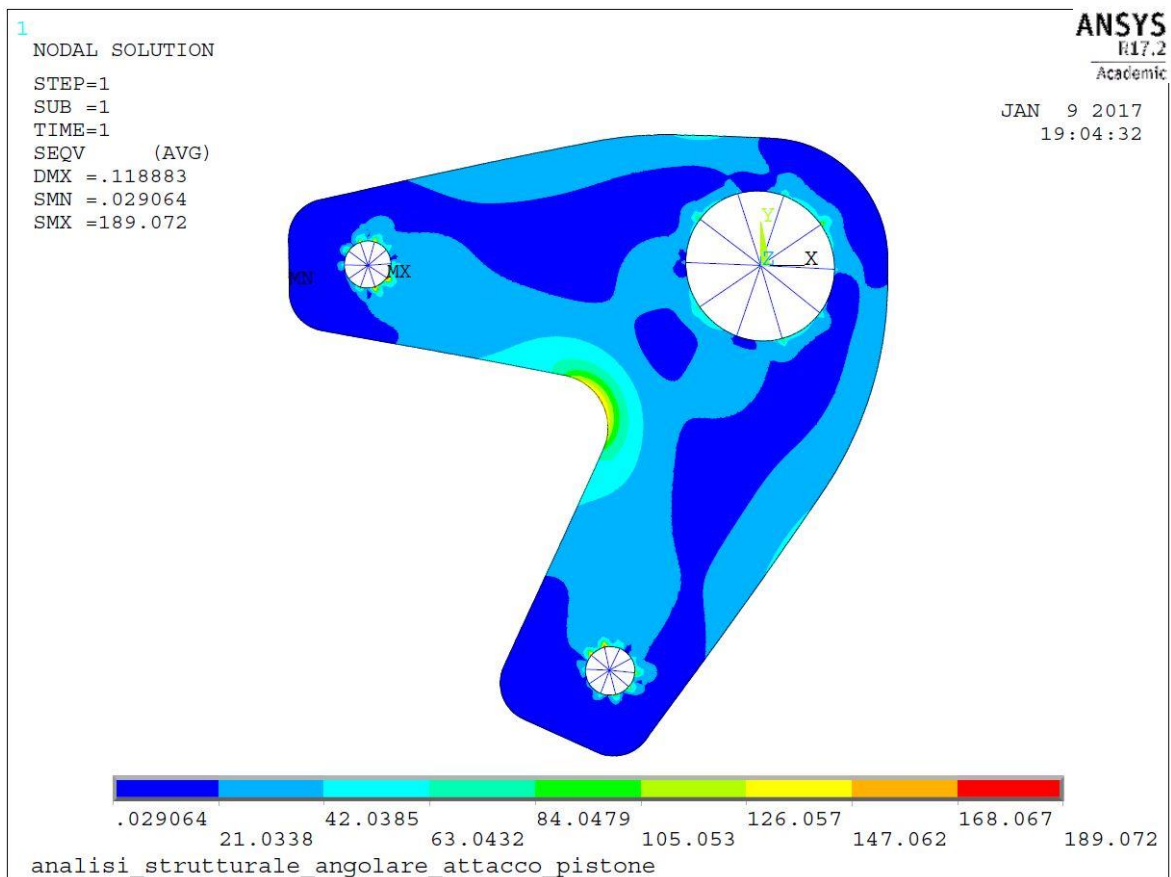


Fig. 3.33 Distribuzione della tensione ideale di von Mises espressa in [MPa].

Nel punto considerato, risulta una tensione $\sigma_{V.M.}=181$ MPa. Il materiale della sagoma angolare è acciaio laminato S275JR, secondo UNI10011 $\sigma_{adm.}=190$ MPa. Essendo $\sigma_{V.M.}< \sigma_{adm.}$ il componente è verificato. In appendice B sono riportati gli script APDL utilizzati per l'analisi.

3.5.3 - Verifica dell'angolare attacco pistone

È stato importato in ANSYS il CAD 3-D del componente angolare attacco pistone. Importata la geometria 3-D, si sono fatte delle modifiche alla geometria iniziale per creare un'area dove applicare il carico, e un punto di controllo dove verrà valutata la tensione a convergenza. (In appendice B il codice APDL). Il punto di controllo è stato identificato da una prima analisi dove si è vista la zona maggiormente sollecitata. In Figura 3.34 è riportata la posizione del punto di controllo e dell'area dove sarà applicato il carico. Sul componente in questione sono state svolte due simulazioni differenti:

- Studio della tensione ideale di von Mises nella mezzeria della piega, lato interno (dov'è collocato il punto di controllo).
- Studio dello stato tensionale lungo il piede del cordone di saldatura della nervatura, identificato come in Figura 3.34.

In entrambe le analisi, il carico è stato applicato come una pressione normale alla superficie circolare creata, e il componente è stato vincolato sulla superficie inferiore con incastro. L'elemento discretizzante utilizzato è il SOLID186.

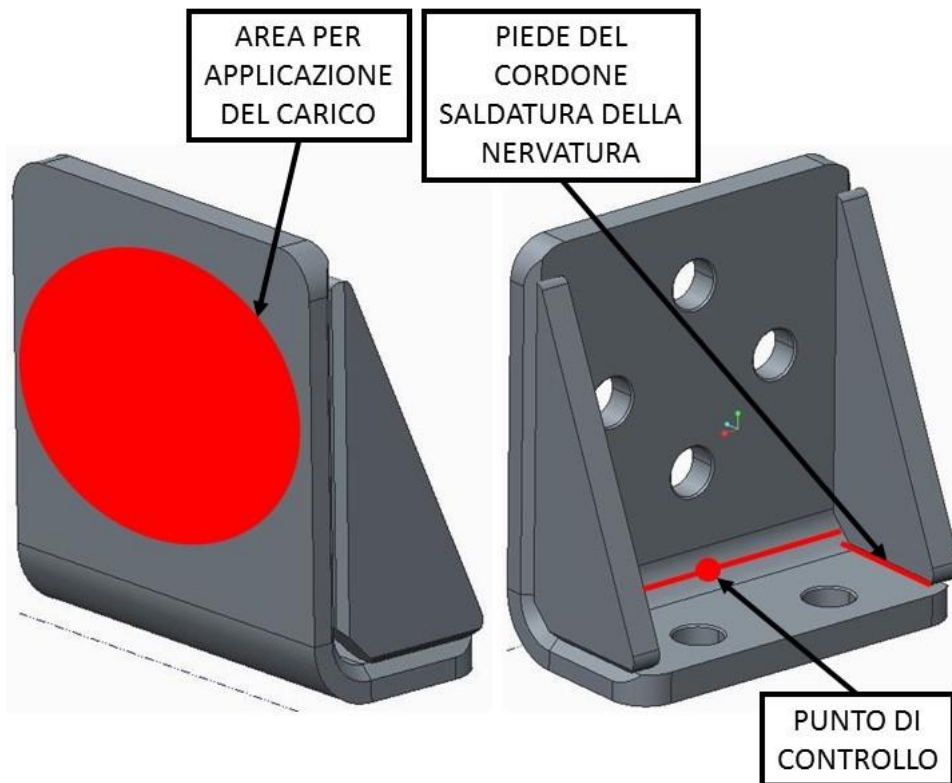


Fig. 3.34 Geometria angolare attacco pistone.

Nella Tabella 3.3 sono riportati i valori della tensione di von Mises, nel punto di controllo al variare della dimensione di elemento. In Figura 3.35 è riportata la mesh a convergenza dell'angolare attacco pistone. In Figura 3.36 è riportato il grafico dei risultati di tabella, e mostra l'andamento a convergenza all'infittirsi della mesh. Si è partiti da una dimensione di elemento di 5mm arrivando a 1mm, infine si è fatto un infittimento locale nel punto di controllo con dimensione di elemento di 0.5mm.

e.s. [mm]	$\sigma_{v.M.}$ [MPa]	Scarto %
5	51,027	-
4,5	50,121	1,775531
4	50,385	0,526725
3,5	49,954	0,855413
3	50,068	0,22821
2,5	50,244	0,351522
2	49,891	0,702571
1,5	49,478	0,827805
1	49,745	0,539634
0,5	49,631	0,229169

Tab. 3.3 Analisi FEM della sagoma angolare.

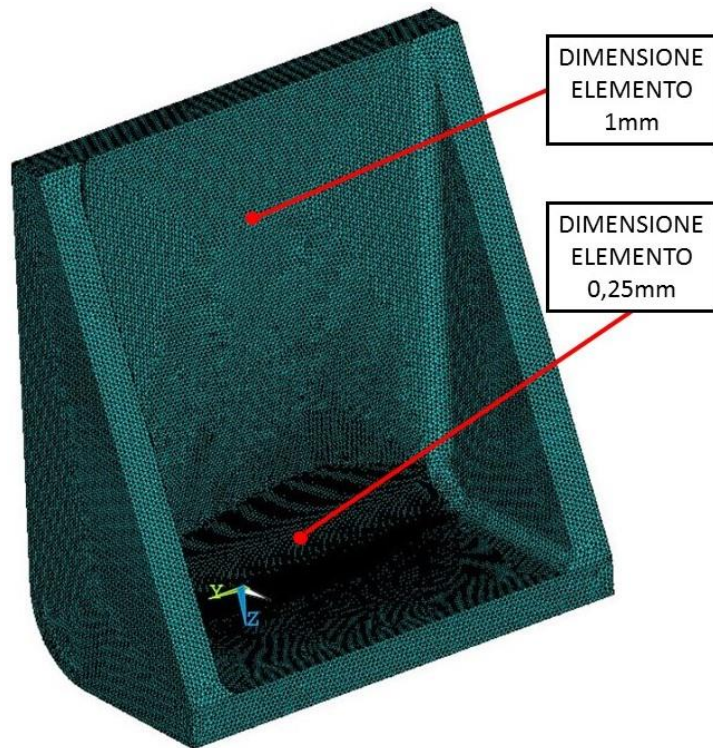


Fig. 3.35 Mesh a convergenza dell'angolare attacco pistone.

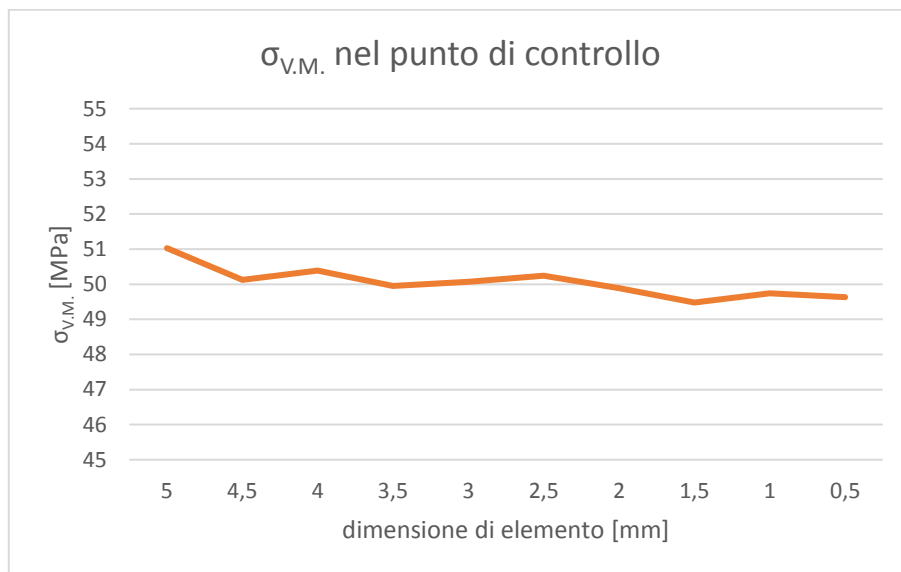


Fig. 3.36 Andamento della $\sigma_{v.M.}$ al variare della mesh.

In Figura 3.37 è riportata la distribuzione della tensione ideale di von Mises sull'angolare attacco pistone.

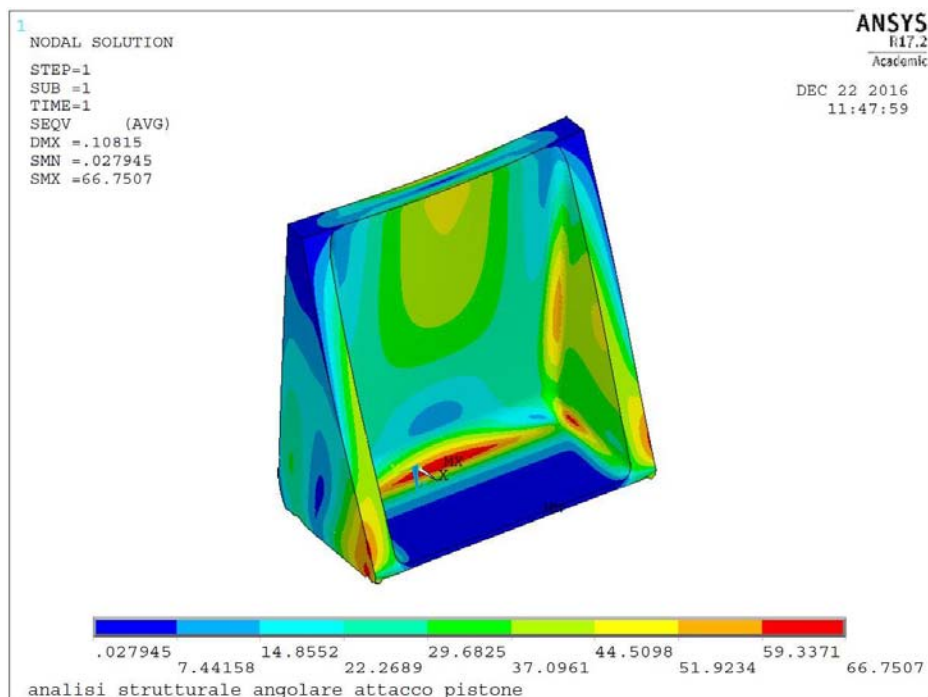


Fig. 3.37 Distribuzione della tensione ideale di von Mises espressa in [MPa].

Nella mezzeria della parte interne della piega si ha una $\sigma_{v.M.}=50$ MPa. Il materiale dell'angolare attacco pistone è acciaio laminato S275JR, secondo UNI10011 $\sigma_{adm.}=190$ MPa.

Essendo $\sigma_{v.M.} < \sigma_{adm.}$ il componente è verificato. In appendice B sono riportati gli script APDL utilizzati per l'analisi.

Per la verifica della saldatura, si è fatto lo studio di convergenza lungo tutta la linea che ne identifica il piede. Si sono fatte tre simulazioni con mesh di dimensione diversa, come riportato in Tabella 3.4.

Dimensione generale di elemento [mm]	Dimensione degli elementi nella regione della linea del piede di saldatura [mm]
2	1
1.5	0.75
1	0.5

Tab. 3.4 Mesh nel cordone di saldatura.

Di volta in volta si sono riportati gli andamenti della tensione normale alla superficie di appoggio della nervatura sul grafico di Figura 3.38. Come si vede, gli andamenti sono pressoché sovrapposti, e si ritiene a convergenza la mesh da 1mm, affinata a 0.5mm nella regione della linea considerata.

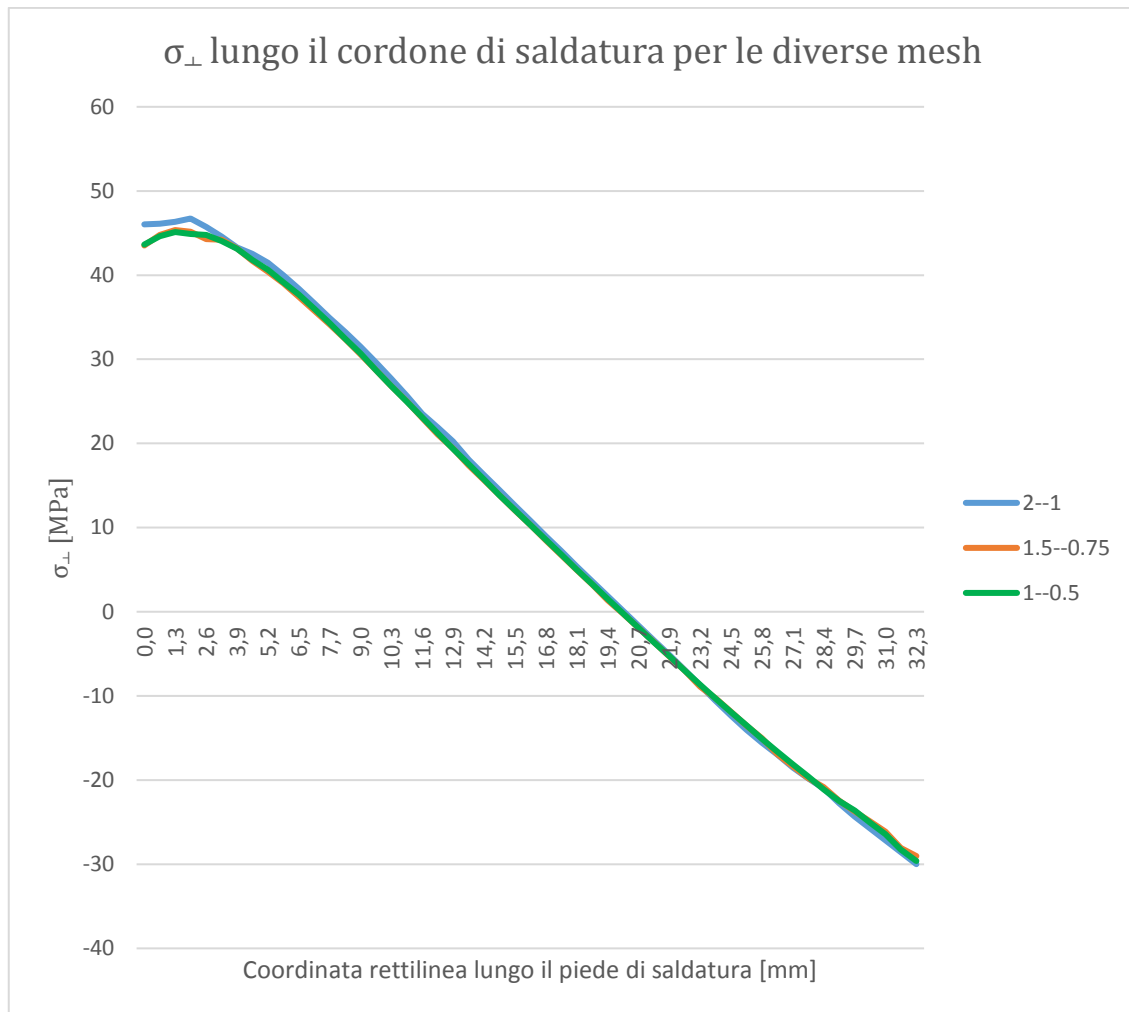


Fig. 3.38 Andamento della σ_{\perp} al variare della mesh, lungo il piede di saldatura.

Nella configurazione di convergenza per la σ_{\perp} , si sono valutate anche la σ_{\parallel} e la tensione τ . Queste tre sono riportate nel grafico di Figura 3.39.

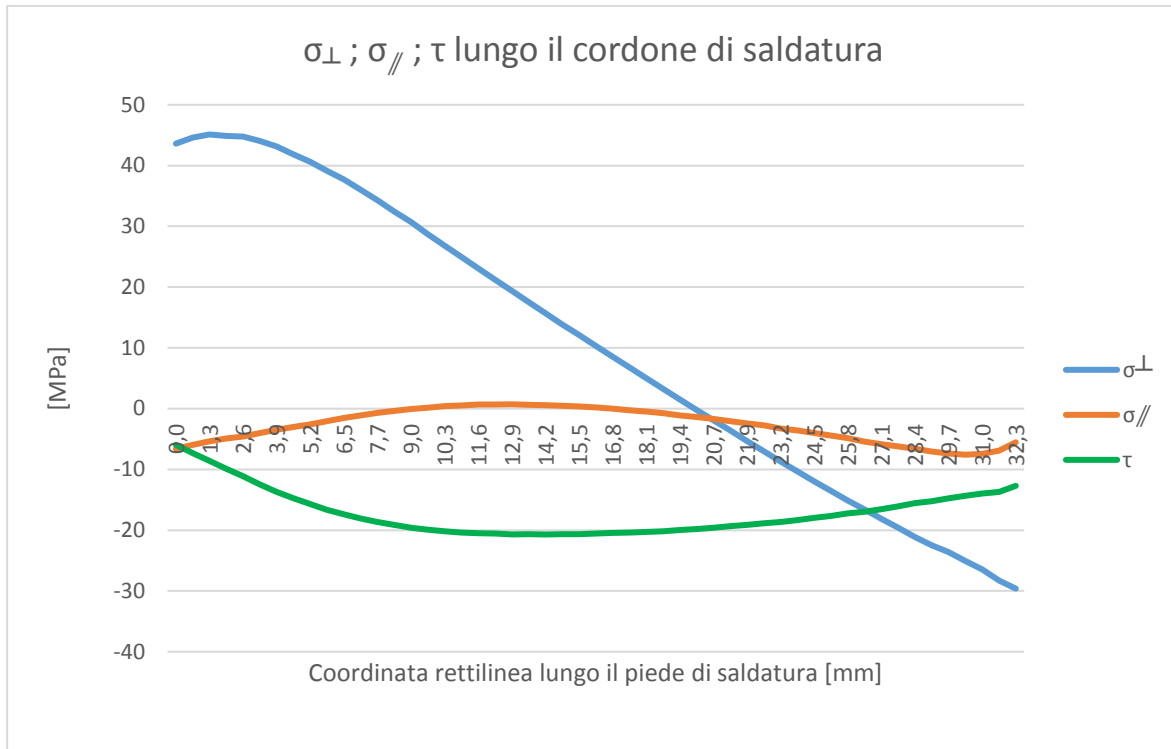


Fig. 3.39 Andamento delle σ_{\perp} ; σ_{\parallel} ; τ lungo il piede di saldatura.

La saldatura è in piena penetrazione ed è di seconda classe. Secondo normativa UNI10011, e approssimando, in vantaggio di sicurezza, la tensione media con quella puntuale si determina la tensione ideale con la relazione fornita dalla normativa.

$$\sigma_{id.} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} * \sigma_{\parallel} + 3\tau}$$

In Figura 3.40 è riportato il grafico della $\sigma_{id.}$ da normativa lungo il piede di saldatura

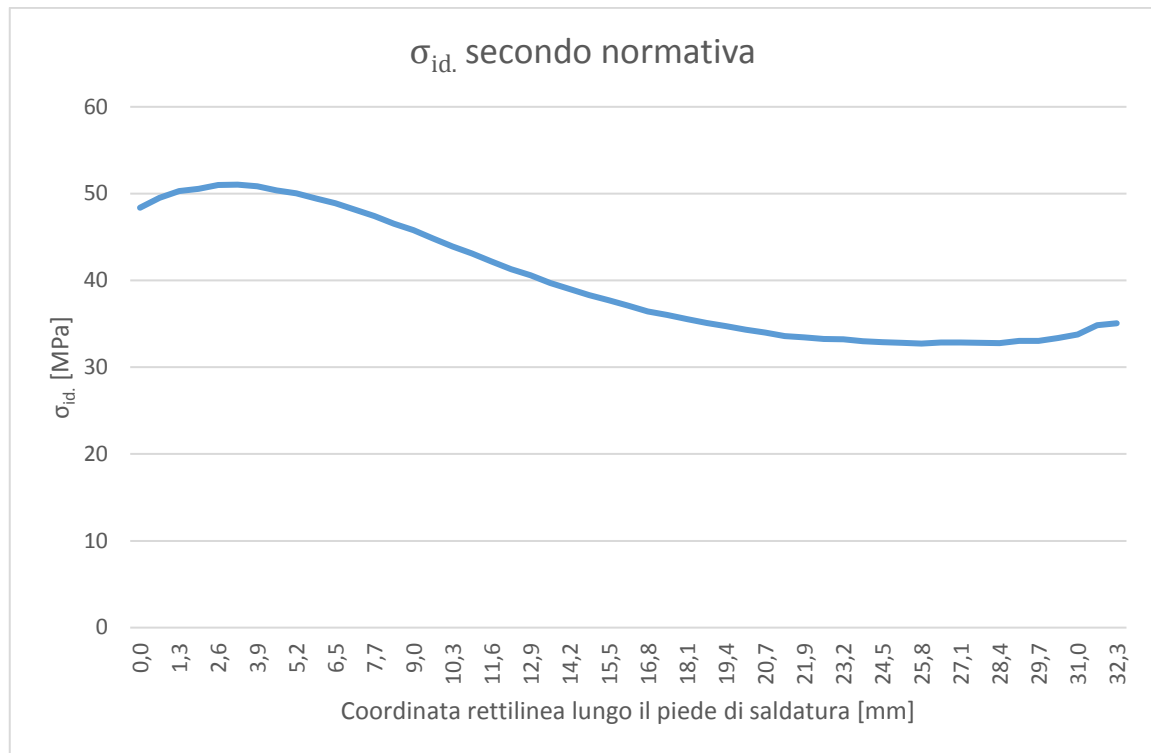


Fig. 3.40 Andamento della σ_{id} lungo il piede di saldatura.

Con l'approssimazione sopra detta, si svolge la verifica considerando il valore di picco pari a $\sigma_{id}=51$ MPa. La saldatura è un giunto a T di seconda classe, ed il materiale è acciaio laminato S275JR con $\sigma_{adm.}=190$ MPa. Dunque la verifica prevede che $\sigma_{id}=51\text{MPa} \leq 0.85 * \sigma_{adm.}=161.5\text{MPa}$ risultando così verificata. In appendice B sono riportati gli script APDL utilizzati per l'analisi.

3.6 - Conclusioni

Si sono svolti i calcoli cinematici e le verifiche strutturali dei principali componenti del cinematismo e non si sono riscontrate particolari problematiche nemmeno nella condizione più gravosa di lavoro. Nel prossimo capitolo verranno descritte le fasi della realizzazione del sistema di centraggio, la carpenteria realizzata per fare i test e la modalità e risultati dei test svolti.

Capitolo 4

Realizzazione e test del sistema di centraggio

4.1 - Introduzione

In questo capitolo si parlerà della realizzazione del sistema di centraggio, menzionando le principali operazioni svolte nella costruzione dei suoi componenti. Vi sarà poi la parte di assemblaggio del meccanismo ed infine il suo collaudo, che riguarderà lo studio della ripetibilità di posizionamento del sistema. Verranno descritte le attrezzature utilizzate e quelle appositamente realizzate per lo svolgimento dei test. Infine si riporterà la procedura e i risultati dei test.

4.2 - Realizzazione del sistema di centraggio

Al termine della fase progettuale, sono state fatte le tavole 2D costruttive di tutti i componenti non standardizzati del sistema di centraggio. Per prima è stata fatta la piastra quadra su cui tutto il cinematismo poggia, tale piastra ha dimensioni 1080x1080x15 ed è in alluminio. La piastra è stata lavorata in fresa CN a 3 assi in un'unica presa. In Figura 4.1 si vede la piastra finita.

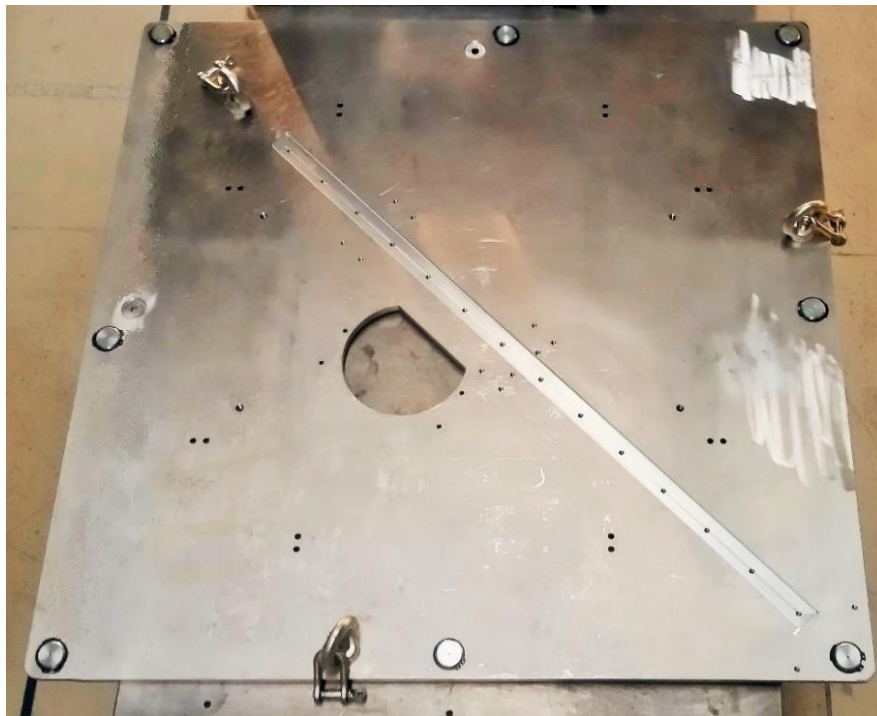


Fig. 4.1 Piastra quadra del sistema di centraggio.

Sono poi state realizzate le varie boccole, descritte nel capitolo precedente, su tornio manuale. Infine le sagome sono tagliate a disco, alcune rifilate di fresa e poi forate. I due angolari di attacco pistone analizzati nel capitolo precedente con verifica FEM, sono due piastre forate, poi piegate a 90° ed infine saldate con le nervature laterali, sono state riprese di fresa, per recuperare gli errori di piega e saldatura. I componenti finiti sono riportati in Figura 4.2.

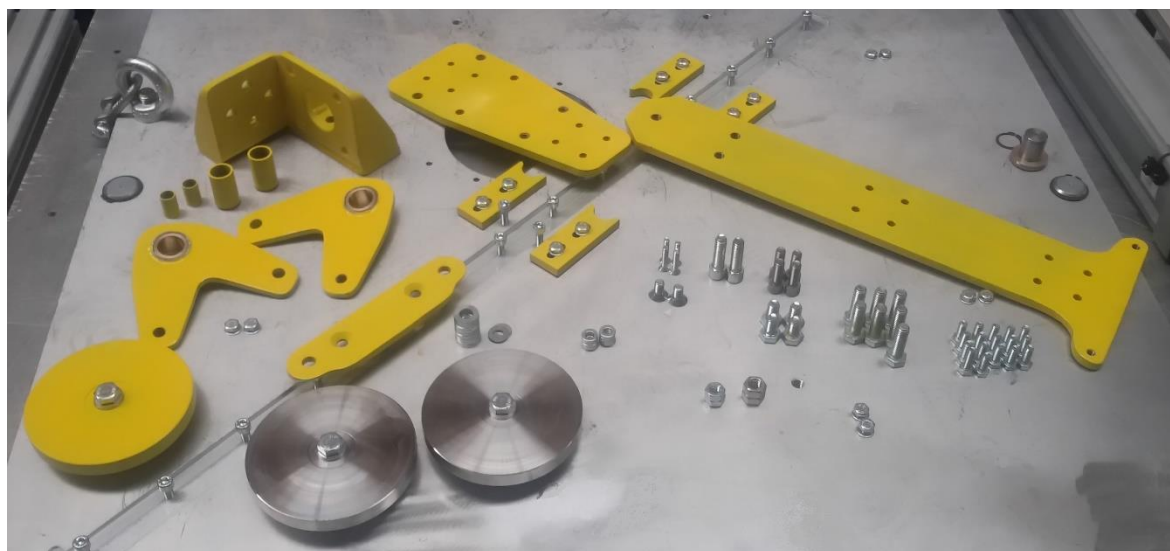


Fig. 4.2 Componenti finiti del sistema di centraggio.

Tutti i componenti sono realizzati in S275JR o C40, ad eccezione della piastra quadra in alluminio. Per evitare quindi problemi di ruggine, i componenti sono stati infine verniciati.

4.2.1 - Assemblaggio del sistema di centraggio

Realizzati tutti i componenti e recuperati quelli standard, si è assemblato il sistema. Per prima cosa sono state montate le sfere portanti e i golfari di presa. Questo perché hanno verso di inserimento opposto rispetto alla faccia frontale, ed è più agevole girare la piastra senza nulla di montato. Le sfere portanti sono bloccate in sede da anelli seeger. Poi si sono montate le molle a gas dopo averle depressurizzate, affinché esplichino la forza elastica richiesta. Si sono separatamente pre-assemblati i due sottogruppi delle sagome angolari con le ruote di battuta. Le viti M12 che fanno da perno alle ruote di battuta, sono montate con controdadi in modo da poterle serrare con piccolo carico sulle bronzine delle ruote stesse. Un serraggio eccessivo deforma le bronzine e blocca la rotazione delle ruote. I due pre-assemblati sono poi montati su due rispettivi perni e tenuti in sede da due anelli seeger. Sono ora montati i due puntoni di manovra, che collegano la sagoma su cui è fissato il fondello del pistone con le due sagome angolari. La prima parte di assemblaggio sopra descritta è riportata in Figura 4.3.

Successivamente si è montata la guida lineare con i quattro carrelli indipendenti, le viti M8 della rotaia sono serrate una volta che quest'ultima è in battuta sul fianco e in testa della sede. Fatta questa operazione, sui carrelli vengono montate la sagoma della ruota di posizionamento e la sagoma di comando dei due puntoni di manovra (Figura 4.4).

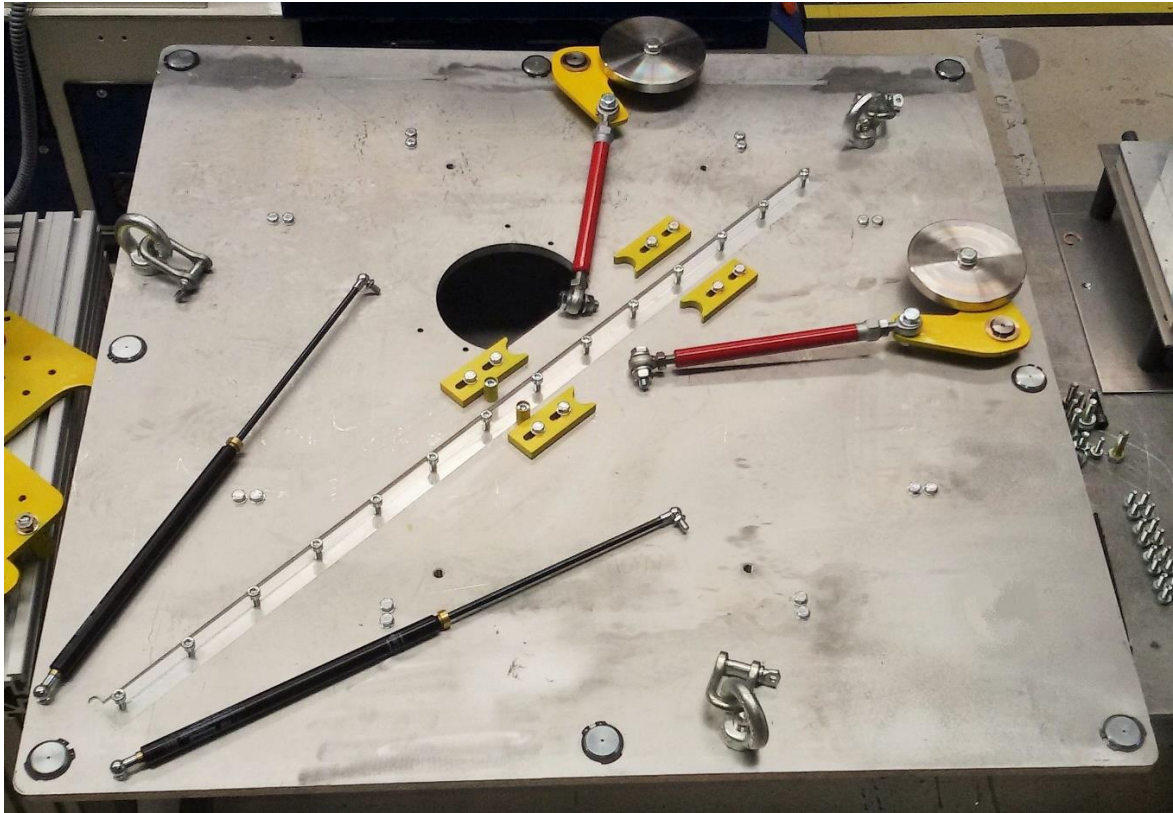


Fig. 4.3 *Assemblaggio parte 1.*

Infine si sono montati gli angolari attacco pistone ed il pistone come in Figura 4.5. A questo punto il sistema di centraggio è completamente assemblato.

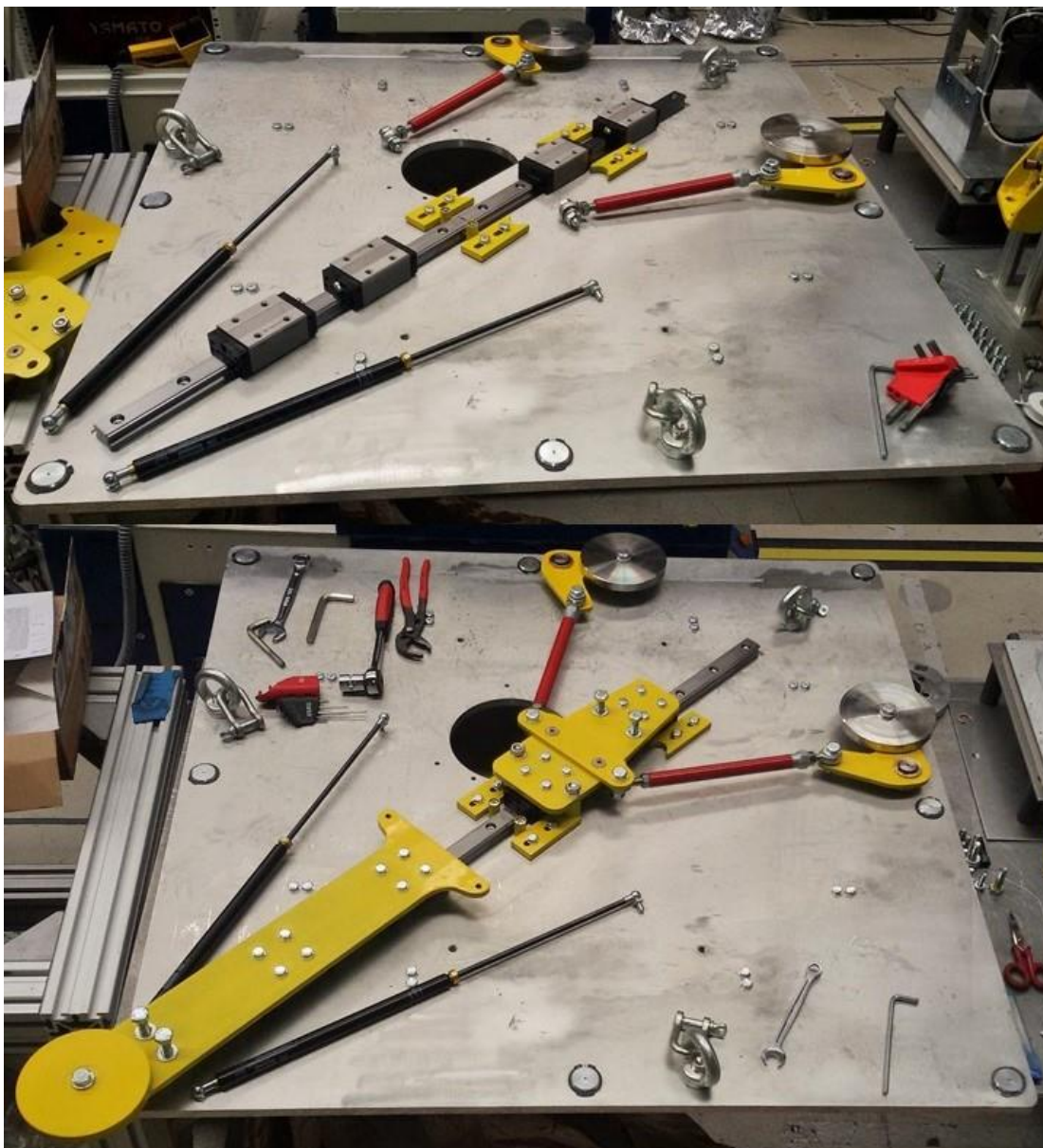


Fig. 4.4 *Assemblaggio parte 2.*



Fig. 4.5 *Sistema di centraggio assemblato.*

Completato l'assemblaggio del sistema si devono eseguire due operazioni di regolazione, evidenziate in Figura 4.6, da effettuarsi nell'ordine riportato:

1. Regolazione dei finecorsa della sagoma dei puntoni di manovra (dov'è fissato il fondello del cilindro). Inizialmente si fissano i finecorsa alla massima apertura delle asole. Poi si fa sfilare lo stelo e si deve verificare che la corsa del pistone riesca a portare in finecorsa le due molle a gas, attaccate alla sagoma della ruota di posizionamento. Si reitera il processo avanzando di volta in volta in finecorsa, fintantoché ciò non si verifica.
2. Regolazione dei puntoni di manovra. Fissati i finecorsa, si fa sfilare il pistone sino alla massima apertura. In questa posizione si regola la lunghezza dei puntoni, tramite l'accoppiamento filettato tra le aste e le testine snodate. In questa configurazione, la retta passante per il centro di rotazione della sagoma angolare e il centro di rotazione della ruota di battuta su di essa incernierata, deve essere il più perpendicolare possibile al lato adiacente della piastra quadra, base del meccanismo. In questo modo, la forza sulla ruota di battuta si scarica tutta sulla cerniera della sagoma, e il puntone è pressoché scarico nella posizione di lavoro.



Fig. 4.6 Regolazione finecorsa e ruote di battuta.

4.3 - Realizzazione del telaio per il test

Come descritto nei capitoli precedenti, lo scopo del sistema di centraggio è di posizionarsi con buona ripetibilità sull'ultima tasca di accesso al bunker. Dal momento che nel bunker sono attualmente in corso esperimenti, non è in alcun modo possibile accedervi per svolgere dei test. È dunque stato studiato e realizzato un telaio che riproduca le condizioni di lavoro del sistema di centraggio. In Figura 4.7 si riporta il CAD del telaio per i test. Si è realizzata una tasca delle stesse dimensioni di quella di accesso al bunker, descritta nel paragrafo 2.5.1 e riportata in Figura 2.27. La tasca è messa poi in quota ad una altezza pari alla distanza tra il punto di posizionamento reale del sistema di centraggio e la camera target, come illustrato in figura 4.8.

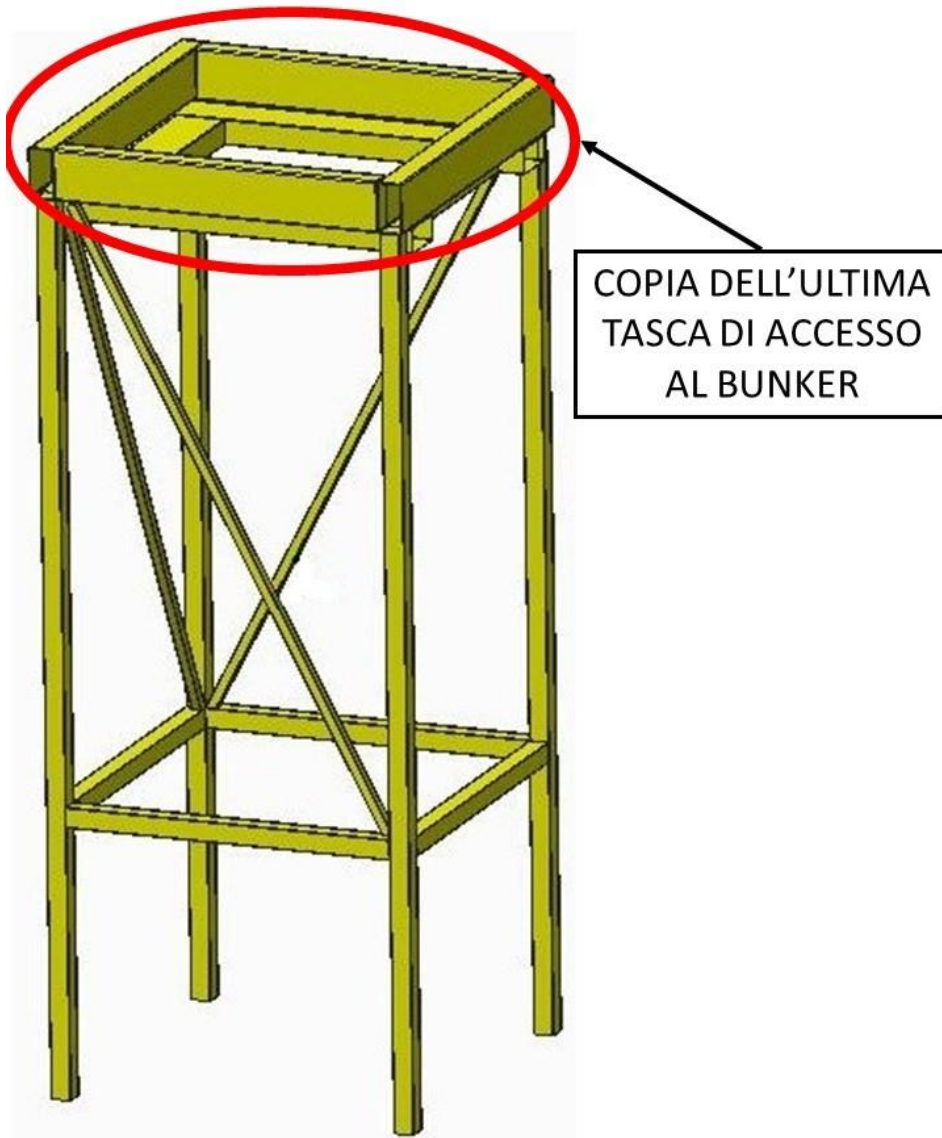


Fig. 4.7 CAD 3-D del telaio per i test.

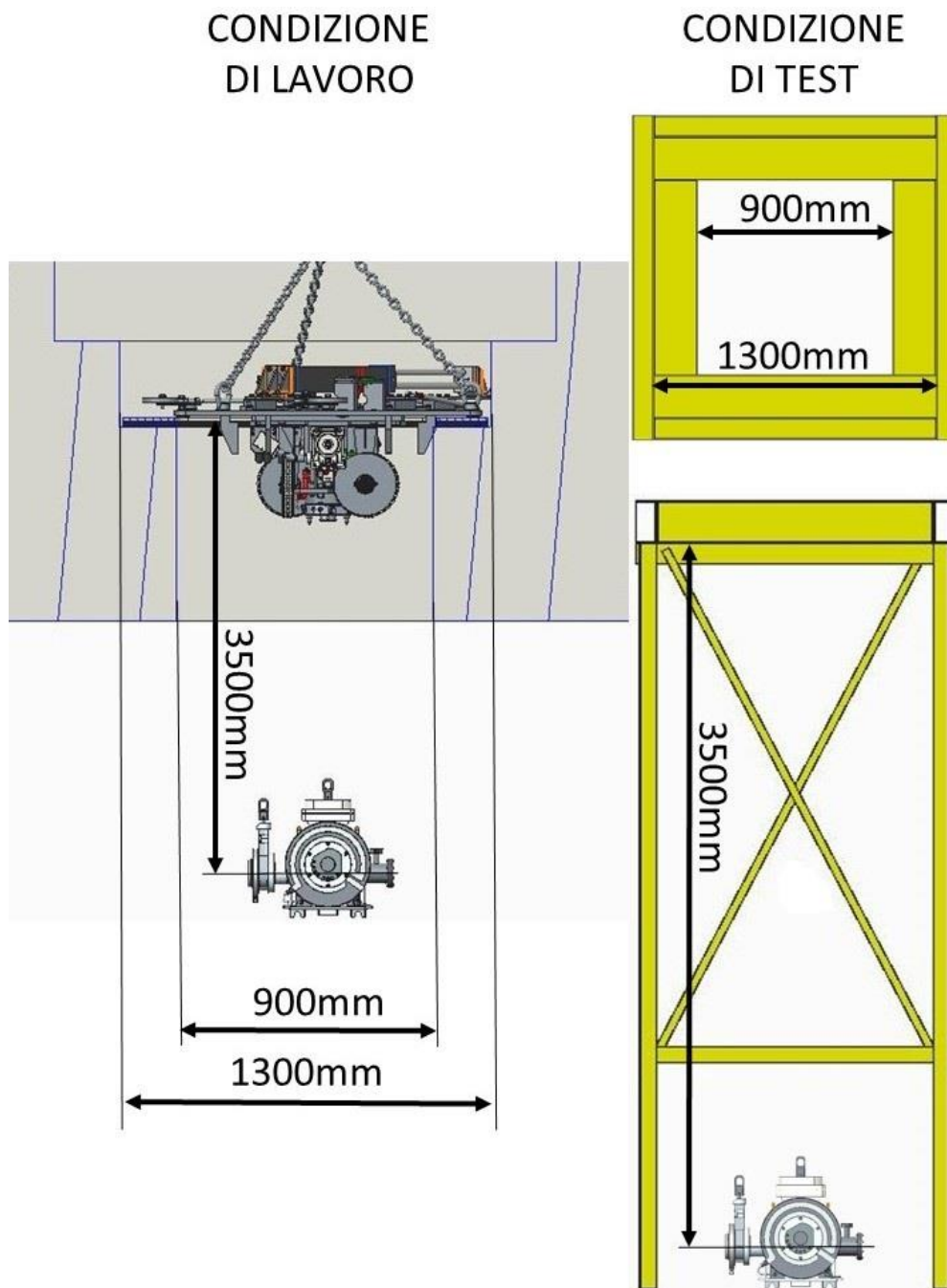


Fig. 4.8 Condizioni reali e condizioni di test.

La tasca, dove si posiziona il sistema di centraggio, è in tubo rettangolo commerciale S275JR di sezione 200x100x5. Le gambe in tubo quadro S275JR di sezione 80x80x2.5, e le controventature in tubo quadro S275JR di sezione 40x40x2. Per evitare ulteriori lavorazioni, l'intero telaio è una carpenteria saldata. Il telaio ha una massa di circa 300Kg. In Figura 4.9 si vede la foto del telaio realizzato.



Fig. 4.9 Telaio per i test.

In questo lavoro di tesi si è costruito il sistema di centraggio, e non quello di sollevamento. I test svolti riguardano quindi la ripetibilità di posizionamento di tale sistema. A tal fine si poteva fare una tasca a terra per i test. Si è tuttavia optato per una replica fedele delle condizioni di lavoro, e quindi di mettere in quota la tasca. Questo per permettere di svolgere anche i test di presa della camera in futuro, quando verrà realizzato anche il sistema di sollevamento.

4.4 - Procedura e svolgimento del test di centraggio

4.4.1 - Obiettivo: valutare la ripetibilità di posizionamento

L'obiettivo dei test condotti è valutare quantitativamente la precisione di posizionamento del sistema di centraggio, al fine di verificare che rispetti le specifiche di progetto. Nel caso di specie le richieste di progetto sono la capacità di riposizionamenti successivi con un errore di posizionamento massimo di +/-5mm ed un errore angolare massimo di +/-0.7°.

Secondo l'approccio tradizionale, gli errori di misura vengono suddivisi in due categorie [14]:

- Errori sistematici, i quali spostano di una quantità fissa il valore della media convenzionale.
- Errori di ripetibilità, i quali causano una distribuzione normale con scarto quadratico σ , dei valori misurati attorno alla media μ campione.

La ripetibilità è definita come il grado di concordanza tra i risultati di successive misurazioni dello stesso misurando condotta in modo da rispettare tutte le seguenti condizioni: stesso metodo di misurazione, stesso osservatore, stesso strumento per misurazione, stesso luogo, stesse condizioni di utilizzazione, ripetizione entro un breve periodo di tempo. La ripetibilità può essere espressa quantitativamente in termini di dispersione dei risultati.

Si può calcolare l'indice di ripetibilità, R come:

$$R = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (X_k - \bar{X})^2}{N - 1} \right]^{1/2}$$

Dove N è il numero di misurazioni eseguite e \bar{X} è il valore medio delle misurazioni X_k dato da:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} * \sum_{k=1}^N X_k$$

In Figura 3.10 è spiegato con una rappresentazione grafica il concetto di accuratezza e ripetibilità.

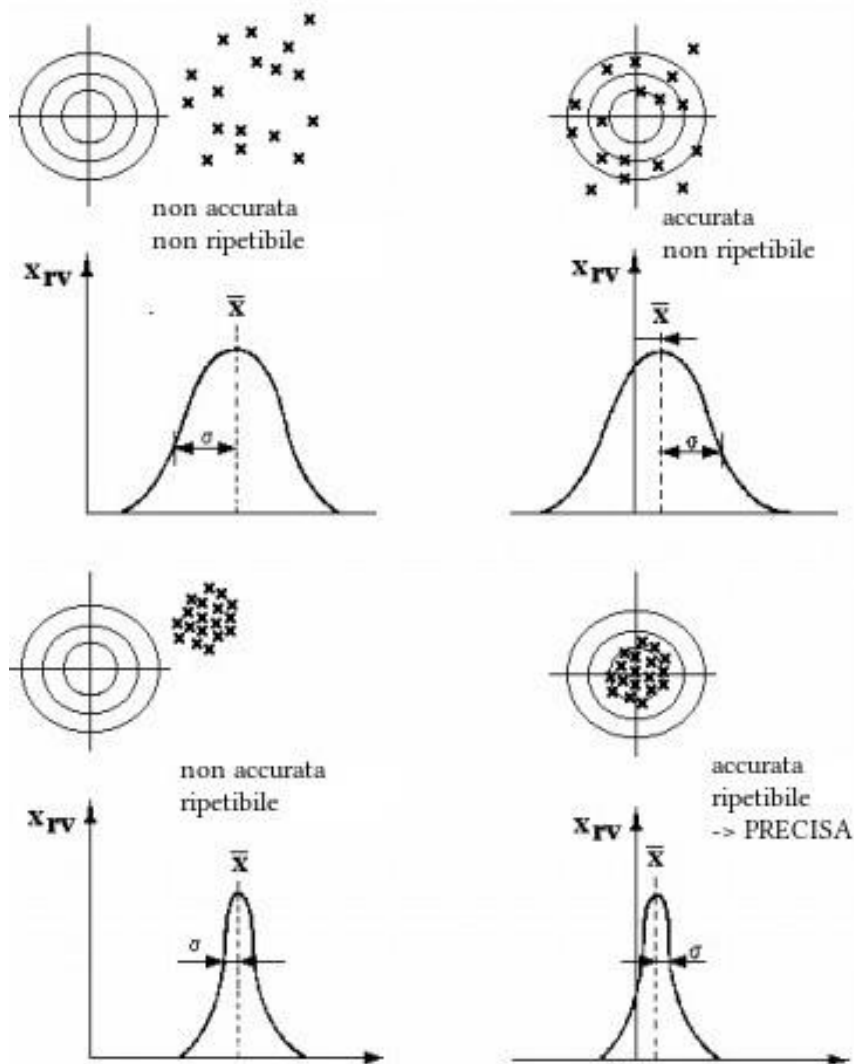


Fig. 4.10 Accuratezza e ripetibilità.

Di seguito verranno spiegate le modalità dei test condotti a tal fine, e verranno esposti i risultati ottenuti dalle misurazioni e come questi vengano rielaborati.

4.4.2 - Test-1: procedura e strumentazione

Per valutare la posizione del sistema, in una serie di centraggi consecutivi, si sono utilizzate due griglie millimetriche attaccate sotto alla piastra del sistema di centraggio, e due puntatori laser a terra che focalizzavano sulle due rispettive griglie. I puntatori laser sono stati messi a terra in quanto, se fossero disposti sotto alla piastra, piccoli errori di planarità verrebbero amplificati dalla distanza coperta, e si tradurrebbero in errori di posizionamento non realistici. Infatti nell'utilizzo reale, piccoli errori di planarità non hanno effetti sulla discesa del sistema di sollevamento, in quanto quest'ultimo scende a piombo. Per questo motivo nei test si vogliono filtrare tali errori. Si sono adottati due puntatori così da poter calcolare, oltre alla posizione relativa dei centraggi in successione, anche eventuali rotazioni del sistema centrato. In Figura 4.11 sono riportate le griglie millimetriche utilizzate.

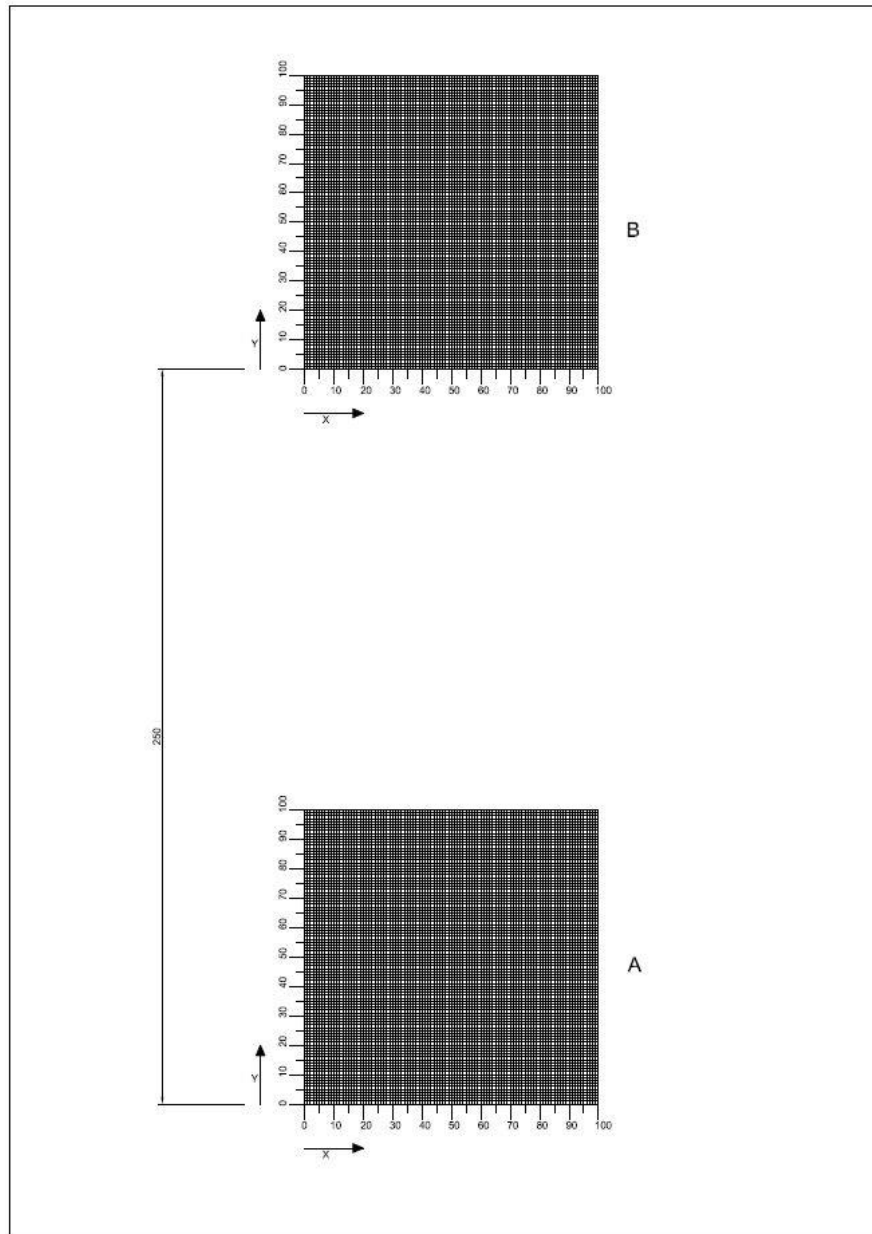


Fig. 4.11 Griglie millimate.

I puntatori laser sono stati fissati su di un apposito telaio a terra riportato in Figura 4.12.

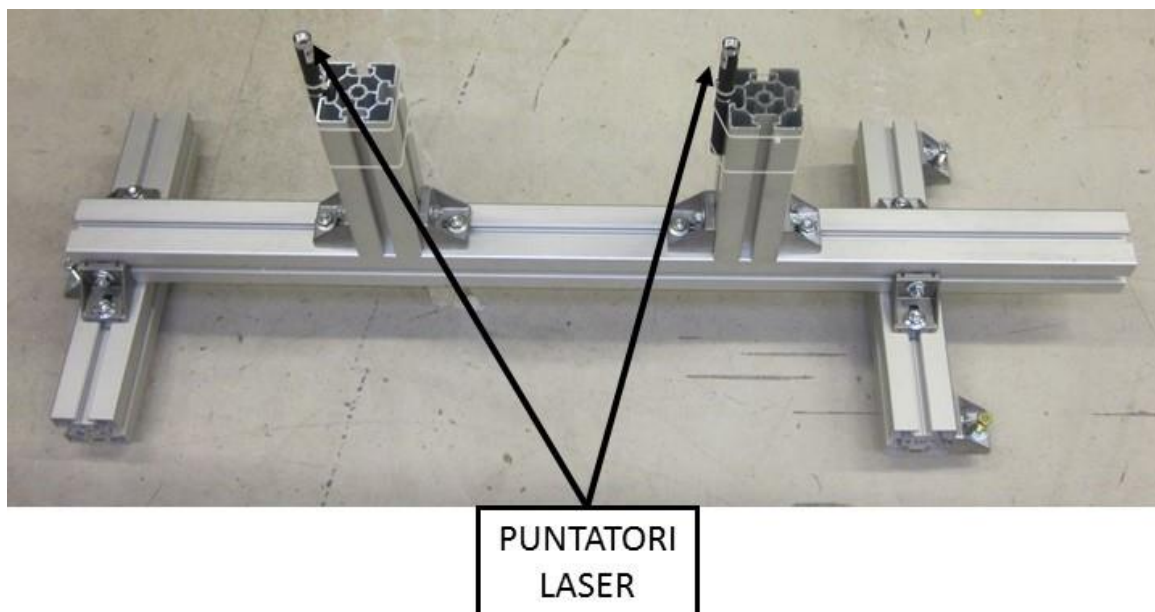


Fig. 4.12 Telaio puntatori laser.

Fatto centrare il sistema, si è segnata la posizione indicata dai laser sulle griglie. Dopodiché si è richiuso il sistema di centraggio, spostato casualmente per simularne un appoggio grossolano sull'ultima tasca, e si è riazionato per vedere le differenze tra la prima posizione segnata e le successive. Si è ripetuta l'operazione per 10 volte.

È emerso che tale procedura di misurazione comparativa non è adatta allo scopo. Nei riposizionamenti successivi, non si riescono ad apprezzare le differenze di posizione tra la prima segnata e quella successiva indicata dal puntatore laser. Questo perché i punti indicati del primo centraggio ricadono sempre, nei centraggi successivi, dentro i punti proiettati dai laser. Il diametro di focalizzazione dei punti laser è di circa 1 mm. In Figura 4.13 è riportata una foto delle griglie millimetriche, attaccate sotto la piastra, con puntati i due laser.

La capacità di riposizionamento del sistema è dunque superiore a quella attesa, che era di ± 5 mm. Per poterla apprezzare e quantificare si è cambiata la modalità di misura, che verrà descritta nel prossimo paragrafo.

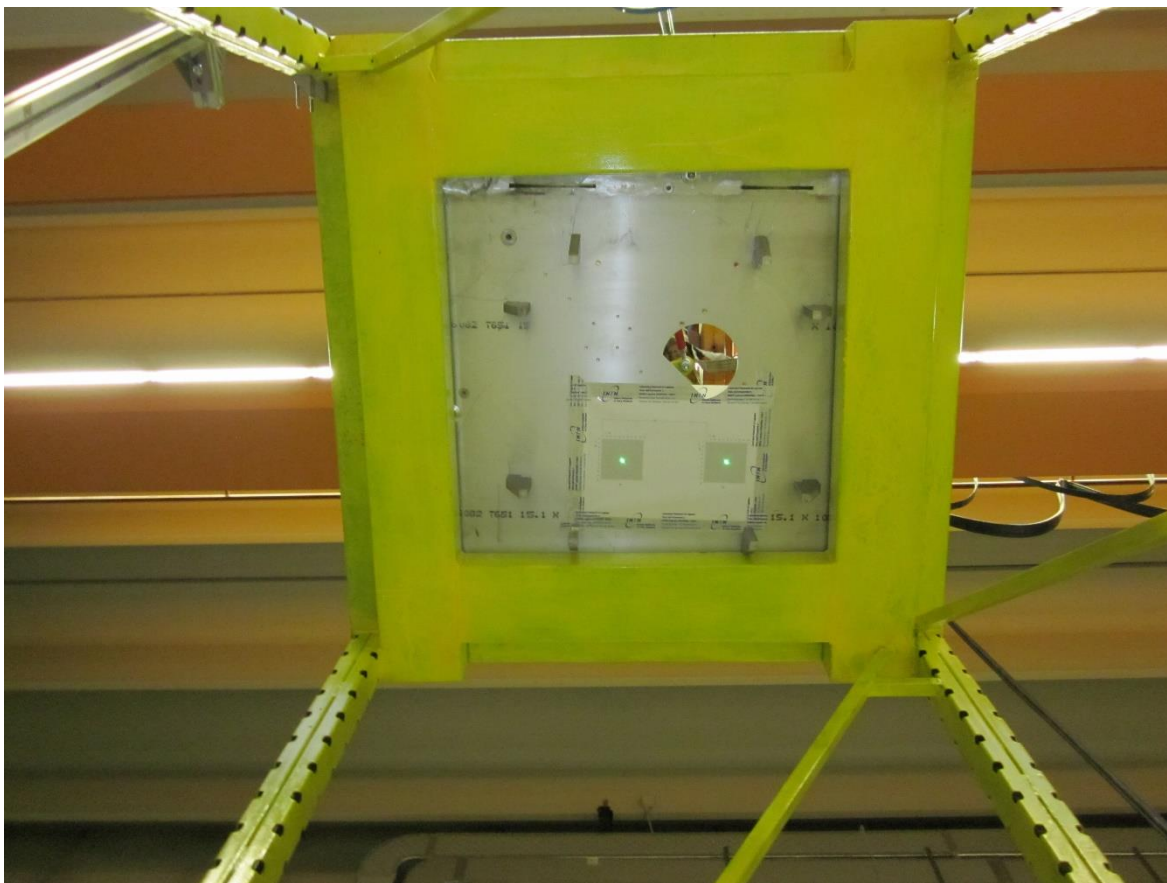


Fig. 4.13 *Esecuzione test-1.*

4.4.3 - Test-2: procedura e strumentazione

Il sistema di centraggio viene calato con un carroponete nella tasca del telaio per il test. Una volta appoggiato, il posizionamento è grossolano. A questo punto viene attivato il sistema di centraggio che si riposiziona correttamente. In Figura 4.14 è riportata una foto del sistema di centraggio, appoggiato dal carroponete, sulla tasca del telaio di test. Mentre il sistema in posizione centrata è riportato nella foto di Figura 4.15.

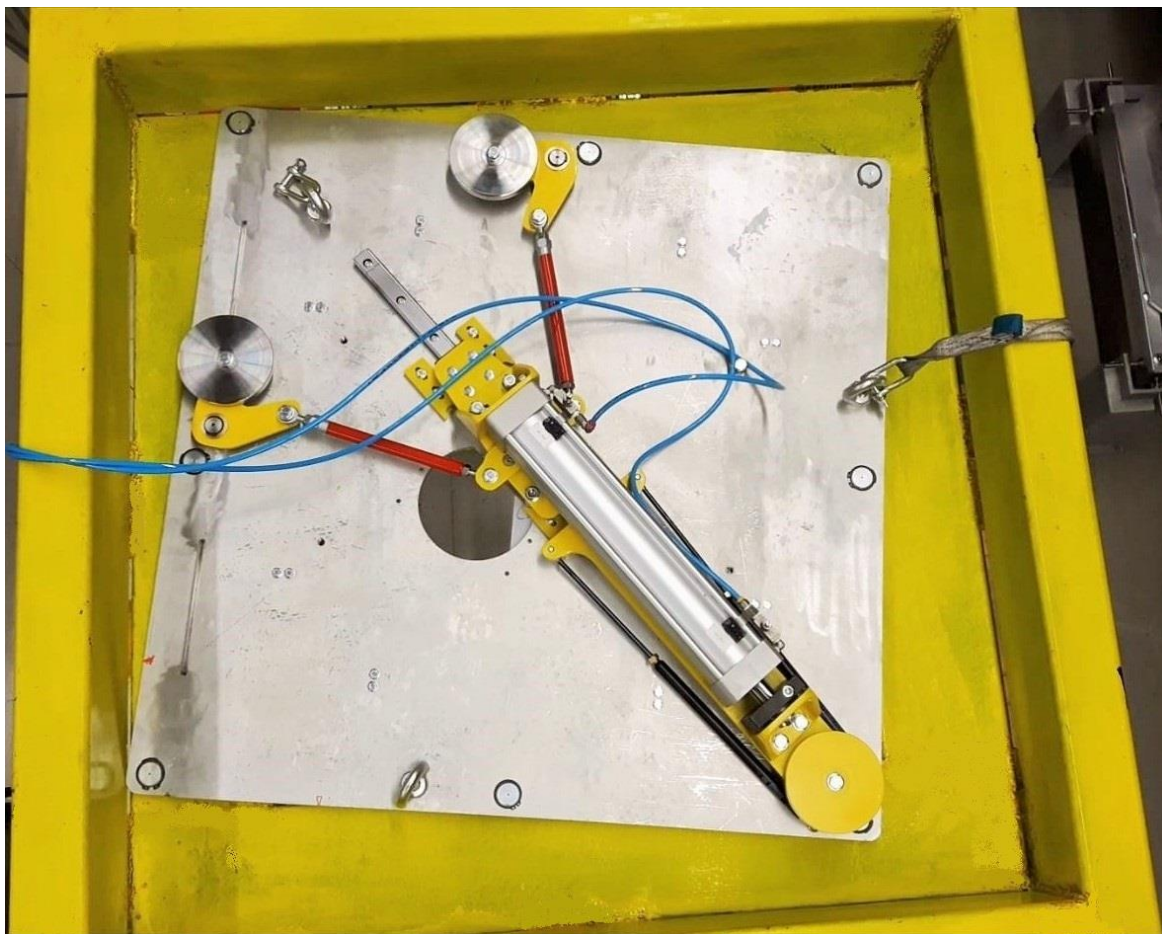


Fig. 4.14 Sistema di centraggio in appoggio sulla tasca.

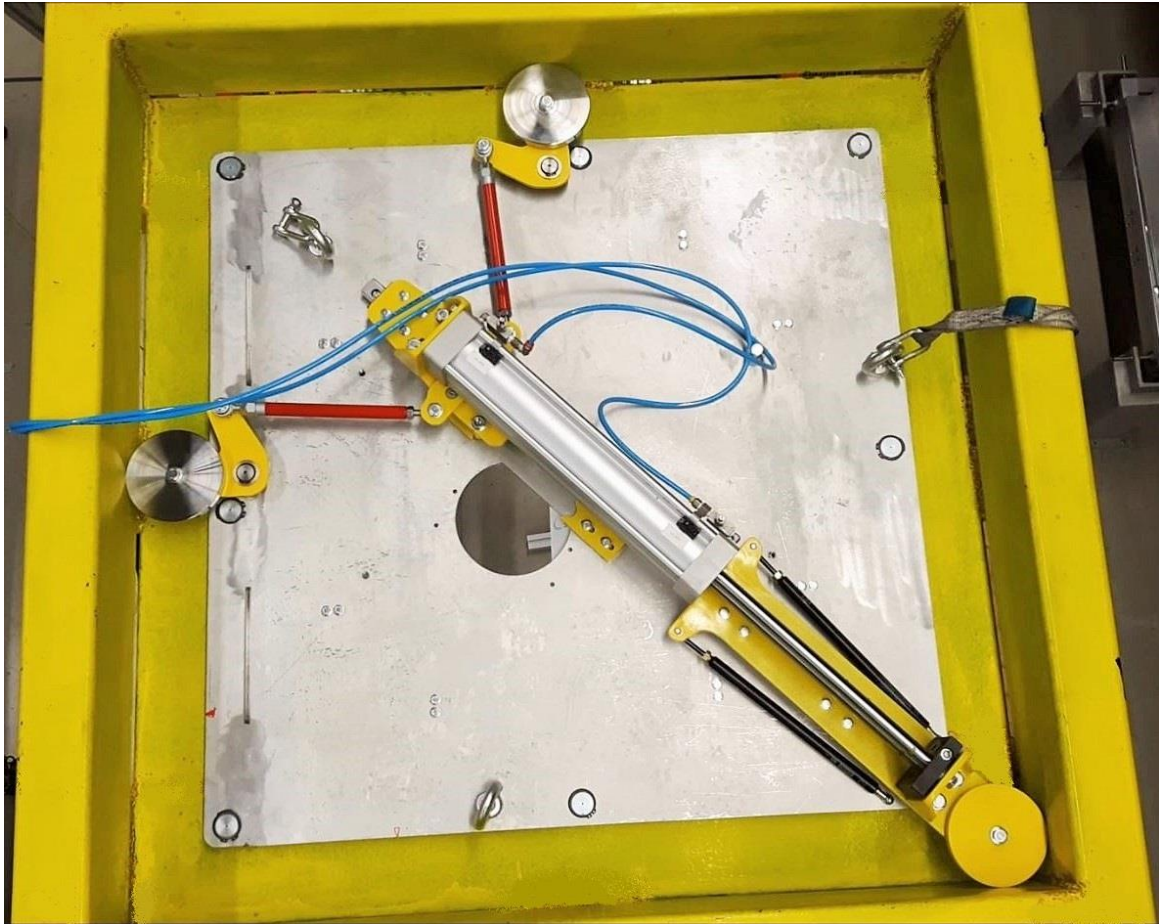


Fig. 4.15 Sistema di centraggio in posizione centrata.

Per capire e quantificare la ripetibilità di centraggio, data l'inadeguatezza del primo metodo visto, si è utilizzato un calibro centesimale digitale. Con questo si sono andate a misurare tre distanze tra il bordo della piastra e la parete della tasca dove il sistema poggia. Come si vede in Figura 4.16, "A", "B" e "C" sono i punti dove sono state misurate rispettivamente le distanze "a", "b" e "c". Le misure sono state ripetute per 20 centraggi in successione. Sempre in Figura 4.16 sono evidenziate le due terne di riferimento, quella assoluta centrata in "O" e quella relativa centrata in "P". Il punto "P" è collocato nella posizione media delle 20 misurazioni effettuate, dunque $P = (\overline{X_A}; \overline{Y_A})$.

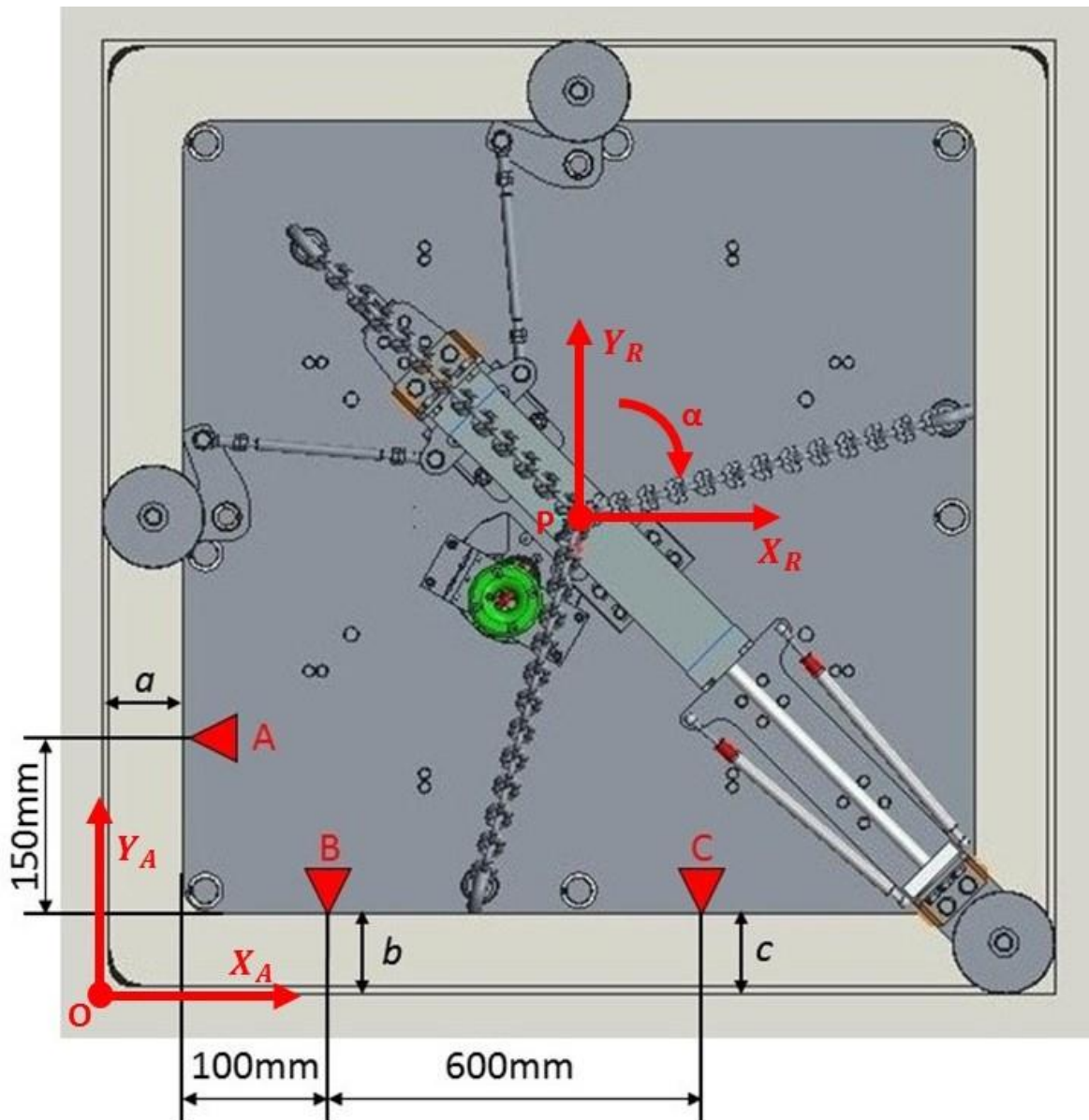


Fig. 4.16 Punti di misura per il test-2.

Le misure così ottenute non danno utili informazioni sulla posizione del centro del sistema. I dati saranno dunque rielaborati nel paragrafo successivo, per calcolare la posizione del centro del sistema.

4.5 - Risultati del test

Durante lo svolgimento dei test sono state effettuate le misure precedentemente descritte, e sono qui riportate in Tabella 4.1.

n° misura	POSIZIONE DI MISURA		
	A [mm]	B [mm]	C [mm]
1	100,82	100,21	101,22
2	100,81	100,20	101,15
3	100,82	100,22	101,14
4	100,84	100,21	101,16
5	100,82	100,23	101,16
6	100,83	100,23	101,16
7	100,73	100,20	101,15
8	100,77	100,21	101,17
9	100,82	100,22	101,16
10	100,76	100,21	101,18
11	100,78	100,21	101,19
12	100,81	100,16	101,18
13	100,81	100,21	101,17
14	100,79	100,18	101,16
15	100,85	100,20	101,16
16	100,82	100,23	101,16
17	100,82	100,25	101,14
18	100,82	100,30	101,17
19	100,83	100,27	101,15
20	100,83	100,26	101,16

Tab. 4.1 Misure rilevate per il test-2.

Da qui si è potuta calcolare la posizione del centro geometrico della piastra ad ogni centraggio. Questo è stato possibile valutando prima, per ogni misura, l'errore di rotazione della piastra attorno al proprio centro geometrico, e con questo poter filtrare le misurazioni effettuate dalle variazioni introdotte dalla sola componente di rotazione. L'angolo assoluto di ogni posizionamento " α_A " è calcolato come:

$$\alpha_A = \arctg\left(\frac{B - C}{600}\right)$$

Calcolati tutti gli angoli di rotazione, se ne è fatta la media, e la media è stata sottratta ad ogni valore assoluto. I valori così risultanti sono gli errori angolari di posizionamento relativi alla posizione media, e non delle rotazioni assolute. L'angolo medio di posizionamento " $\bar{\alpha}$ " e gli errori angolari relativi " $\varepsilon\alpha_{relativo}$ " sono calcolati come:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{N} * \sum_{k=1}^N \alpha_k$$

$$\varepsilon\alpha_{relativo} = \alpha_A - \bar{\alpha}$$

Questo perché si vuole valutare la ripetibilità di posizionamento, e non la posizione assoluta. Gli errori relativi di riposizionamento in termini di rotazione " $\varepsilon\alpha_{relativo}$ " sono riportati in Tabella 4.2. L'angolo medio di posizionamento assoluto risulta $\bar{\alpha}=-0.00157$ rad.

α_A [rad]	$\varepsilon\alpha_{relativo}$ [rad]	$\varepsilon\alpha_{relativo}$ [°]
-0,0017	-0,0001	-0,006
-0,0016	0,0000	-0,001
-0,0015	0,0000	0,002
-0,0016	0,0000	-0,001
-0,0015	0,0000	0,001
-0,0015	0,0000	0,001
-0,0016	0,0000	-0,001
-0,0016	0,0000	-0,002
-0,0016	0,0000	0,000
-0,0016	0,0000	-0,002
-0,0016	-0,0001	-0,003
-0,0017	-0,0001	-0,007
-0,0016	0,0000	-0,002
-0,0016	-0,0001	-0,003
-0,0016	0,0000	-0,002
-0,0015	0,0000	0,001
-0,0015	0,0001	0,005
-0,0014	0,0001	0,007
-0,0015	0,0001	0,006
-0,0015	0,0001	0,004

Tab. 4.2 Calcolo degli errori relativi di riposizionamento angolare.

Dalla Tabella 4.2 si può calcolare l'indice di ripetibilità R, che risulta essere R=0.046 mm. Nel grafico di Figura 4.17 sono riportati gli errori di posizionamento angolari per ogni misurazione effettuata.

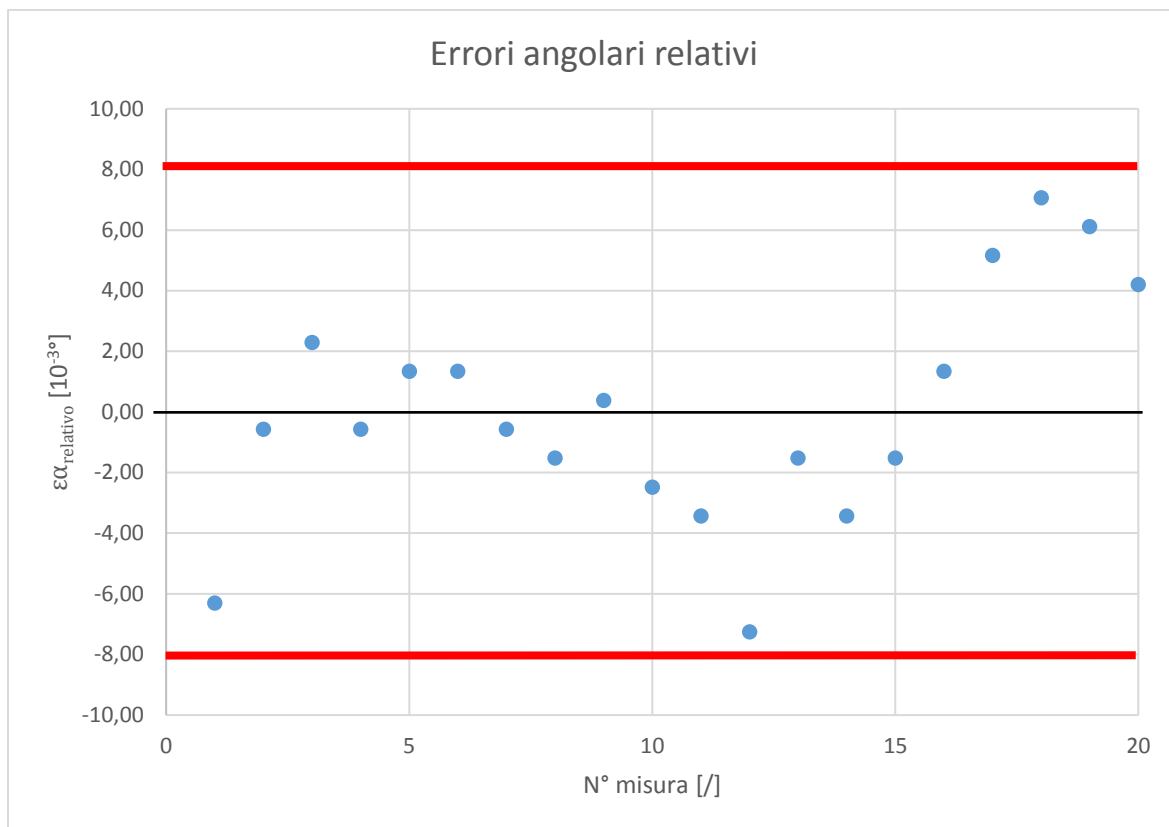


Fig. 4.17 Errori angolari relativi di posizionamento.

Come si vede dal grafico, l'errore di ripetibilità in termini angolari, è in un range di +/- 0.008°. Analogamente, per la posizione del centro "P", si calcola la posizione (\bar{X}_A ; \bar{Y}_A) media, e poi la si sottrae a ogni valore per ottenere gli scostamenti relativi alla posizione media. Nel grafico di Figura 4.18 sono riportati gli errori di posizionamento relativo lungo X_R per ogni posizionamento, in quello di Figura 4.19 quelli lungo Y_R .

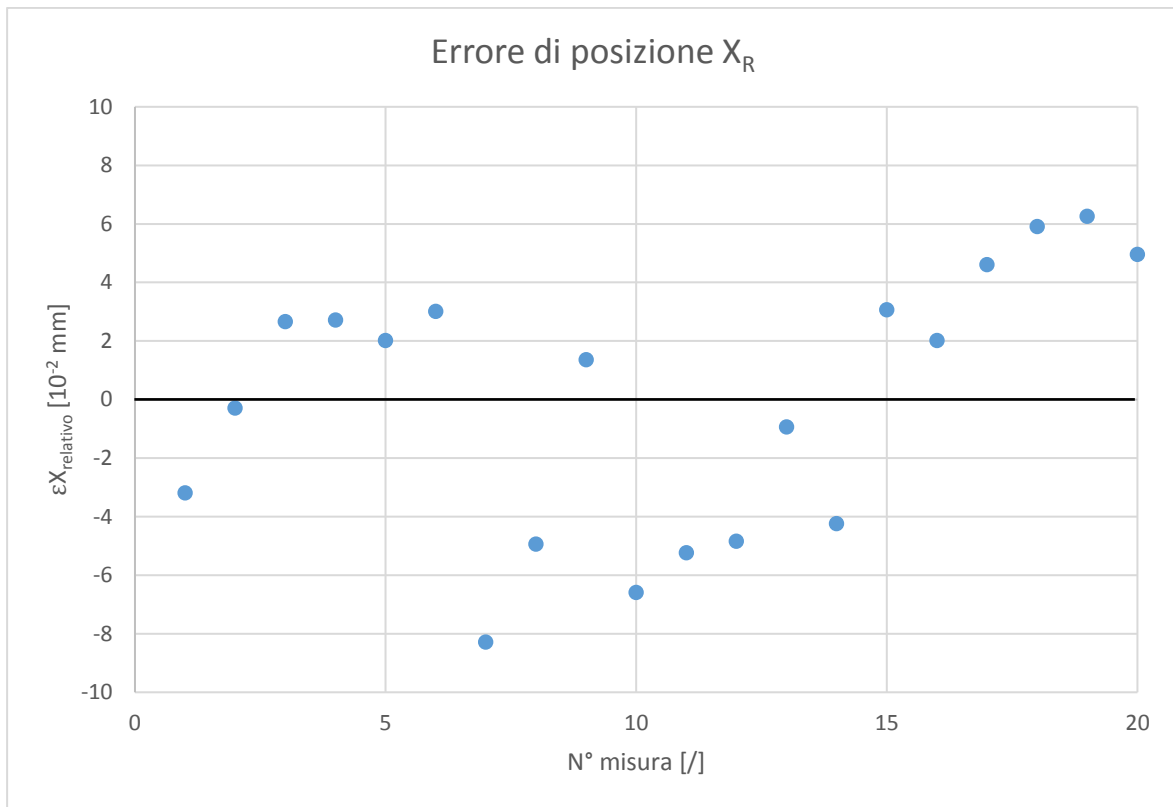


Fig. 4.18 Errori relativi di posizionamento lungo X_R .

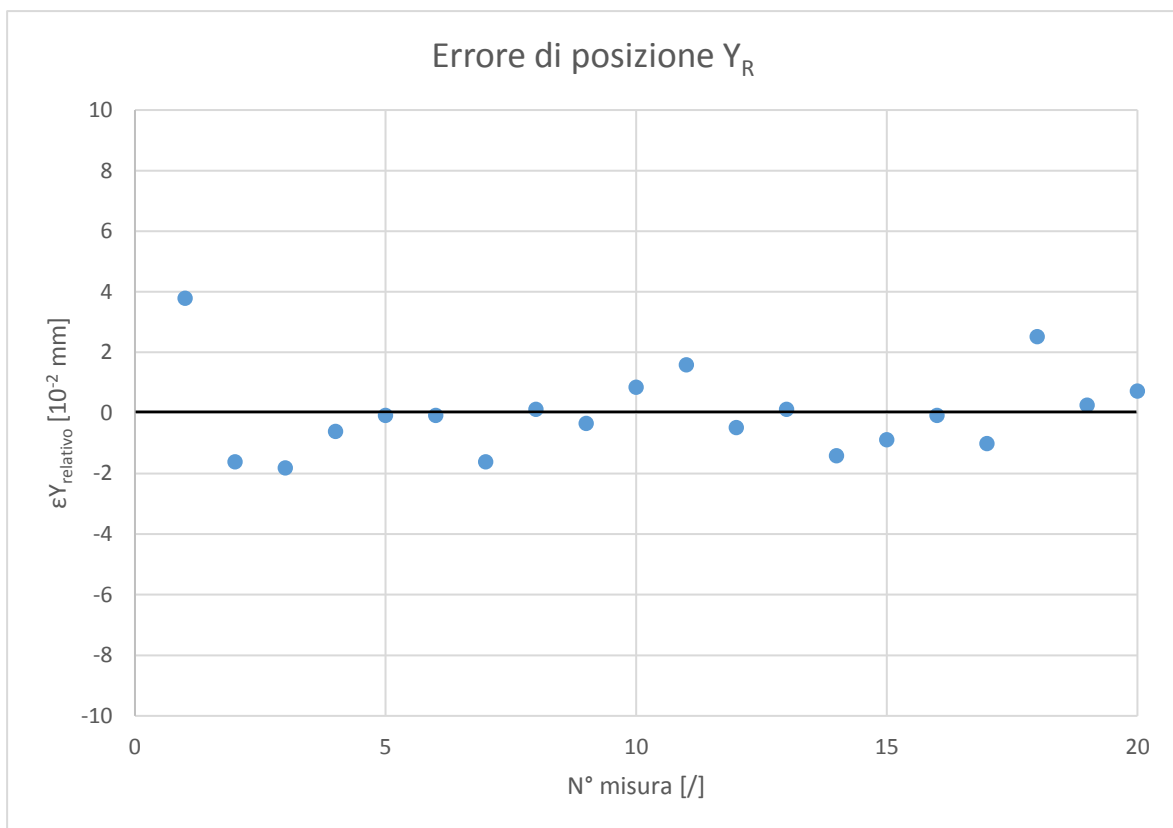


Fig. 4.19 Errori relativi di posizionamento lungo Y_R .

Gli errori εX_R e εY_R relativi di posizionamento sono elencati in Tabella 4.3, nella stessa tabella è riportata anche la distanza ρ (coordinata polare) dal punto dalla posizione media "P" del centro geometrico dei vari riposizionamenti. Nel piano cartesiano di Figura 4.20 sono riportati i posizionamenti in coordinate X_R e Y_R nei vari centraggi.

εX_R [mm]	εY_R [mm]	ρ [mm]
-0,03	0,04	0,05
0,00	-0,02	0,02
0,03	-0,02	0,03
0,03	-0,01	0,03
0,02	0,00	0,02
0,03	0,00	0,03
-0,08	-0,02	0,08
-0,05	0,00	0,05
0,01	0,00	0,01
-0,07	0,01	0,07
-0,05	0,02	0,05
-0,05	0,00	0,05
-0,01	0,00	0,01
-0,04	-0,01	0,04
0,03	-0,01	0,03
0,02	0,00	0,02
0,05	-0,01	0,05
0,06	0,03	0,06
0,06	0,00	0,06
0,05	0,01	0,05

Tab. 4.3 Calcolo della posizione X_R e Y_R relativa del centro geometrico.

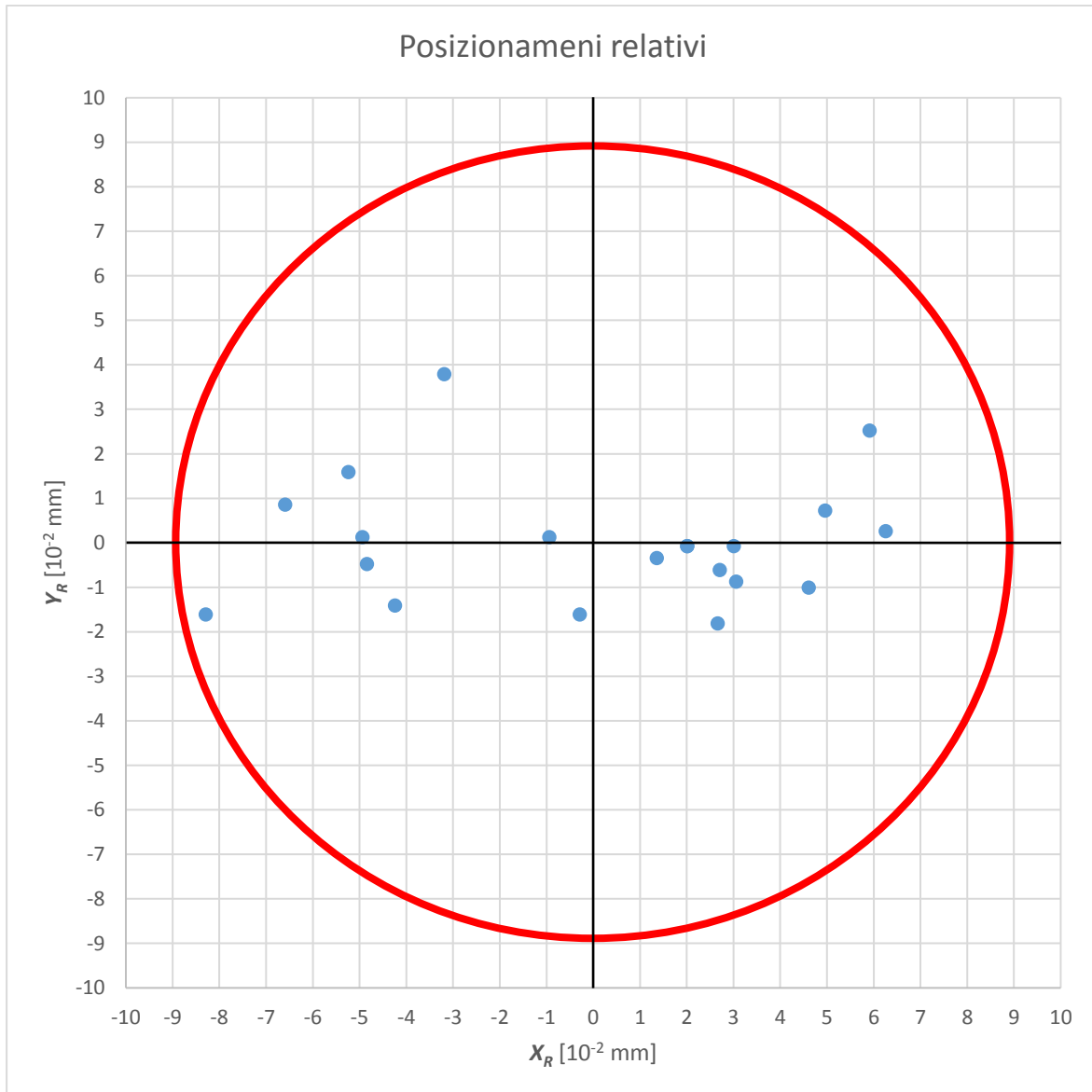


Fig. 4.20 Errori relativi di posizionamento nel piano $X_R - Y_R$.

Come si vede dal grafico, l'errore di ripetibilità in termini di posizionamento $X_R - Y_R$ del centro geometrico del sistema, è in un range di $\pm 0.09\text{mm}$.

Dunque, il sistema di centraggio progettato doveva fornire una ripetibilità di posizionamento di $\pm 5\text{mm}$. Dai test condotti è emerso che il sistema riesce a riposizionarsi con un errore di molto inferiore a quello massimo consentito affinché il sistema di sollevamento riesca a prelevare correttamente la camera target.

4.6 - Conclusioni

In questo capitolo si è vista la costruzione del telaio per i test, la costruzione dei vari componenti del sistema di centraggio ed il suo assemblaggio. Si sono spiegate le modalità con cui sono stati svolti i test di centraggio ed infine si sono elaborati i dati dei test. Dall'elaborazione dei dati si è verificato che il sistema soddisfa le necessità di progetto, in termini di precisione di ripetibilità. Si è constatato che il sistema di centraggio riesce a centrarsi con un errore di ripetibilità, in termini di posizione, di $\pm 0.09\text{mm}$ e, in termini di angolazione, $\pm 0.008^\circ$.

Tali caratteristiche sono molto più strette rispetto alle minime richieste per la presa del gancio schunk, che sono $\pm 5\text{mm}$ e un angolo di $\pm 0.7^\circ$.

Capitolo 5

Il sistema di sollevamento

5.1 - Introduzione

Nei capitoli precedenti si è trattato il sistema di centraggio spiegando il suo utilizzo, il funzionamento, la realizzazione ed i test eseguiti su di esso. In questo capitolo verrà descritto il sistema di sollevamento, che assieme al precedente sistema di centraggio costituiscono la macchina di estrazione verticale. Verrà descritto il funzionamento e la modalità di utilizzo del sistema di sollevamento, spiegando i vari componenti che lo costituiscono e motivandone la scelta. Verrà descritto lo studio cinematico per calcolare le forze e i momenti in gioco, infine si riporteranno le verifiche strutturali fatte sui principali componenti del sistema.

5.2 - Funzionamento e utilizzo del sistema di sollevamento

Il sistema di sollevamento (Fig. 5.1) è attaccato sotto al sistema di centraggio tramite delle piastre asolate spiegate in precedenza nel paragrafo 3.2. L'apparato di sollevamento inizia a lavorare una volta che il sistema di centraggio l'ha posizionato nella corretta posizione. A questo punto un motore elettrico muove un cinematismo di quattro alberi, i quali fanno fuoriuscire rispettivamente quattro catene. Alle estremità delle catene si trova una piastra mobile, dove è alloggiato l'attacco schunk maschio. La piastra mobile si abbasserà quindi verticalmente fino a raggiungere, con la precisione richiesta, l'attacco schunk femmina posto sopra la camera target da prelevare. In Figura 5.1 è riportata un'immagine CAD 3D del sistema di sollevamento con indicati i principali componenti. Lo sfilo verticale per raggiungere la camera è di circa 3m. Ad accoppiamento avvenuto, il motore elettrico verrà contro-azionato per sollevare la piastra mobile assieme alla camera target da rimuovere. Il rientro si conclude quando la piastra mobile va in battuta sul punto superiore. Il sistema di sollevamento progettato è azionato dal solo motore elettrico, ma è predisposto per avere una ridondanza degli azionamenti, la quale verrà spiegata in seguito. In Figura 5.2 viene mostrata una sezione CAD 3D del sistema di sollevamento con maggior dettaglio sui componenti interni al sistema.

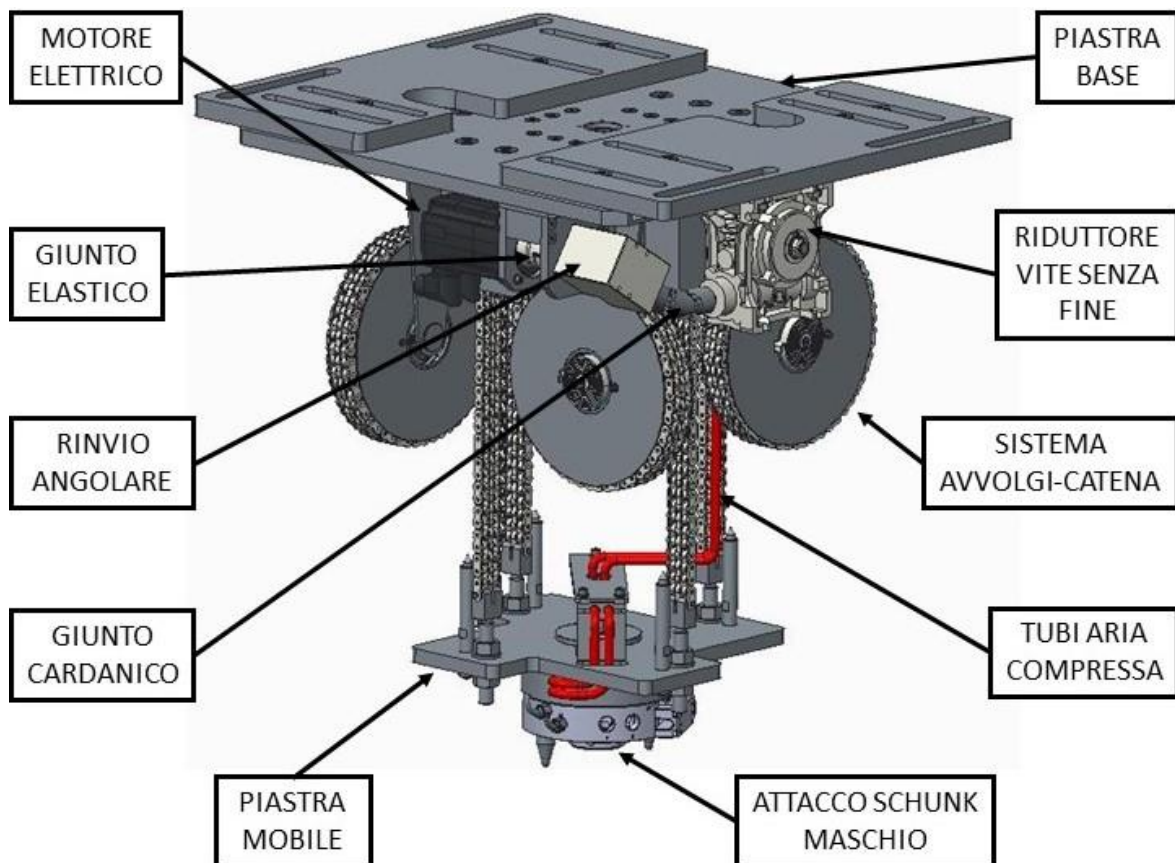


Fig. 5.1 Il sistema di sollevamento.

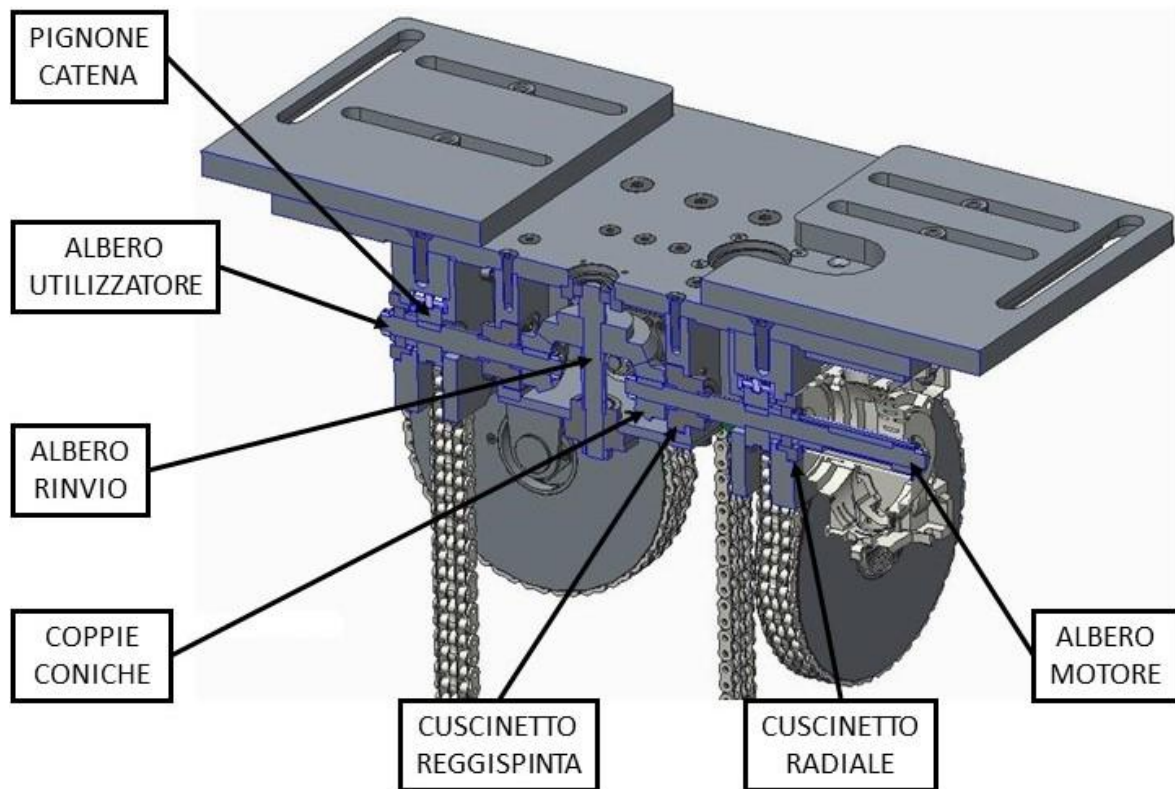


Fig. 5.2 Sezione 3D del sistema di sollevamento.

Fin qui è stato brevemente mostrato l'intero sistema di sollevamento, spiegandone il funzionamento. Vengono ora descritte nel dettaglio le principali parti che lo compongono.

5.2.1 - Cinematismo di sollevamento

Il sistema di sollevamento è essenzialmente una catena cinematica con un albero di ingresso azionato dal motore elettrico, e tre alberi in uscita. Alle estremità dei quattro alberi sono calettati rispettivamente quattro pignoni che sfilano o avvolgono le catene di sollevamento. L'albero motore e gli alberi utilizzatori sono tra loro collegati, alle estremità opposte dei pignoni, da delle ruote coniche. L'albero di ingresso movimentava sia un pignone che una ruota conica maggiore, quest'ultima mette in moto i tre alberi in uscita essendo in presa con le ruote coniche su di essi calettate. I quattro pignoni sono così in rotazione concorde e alla stessa velocità. In Figura 5.3 si vede il CAD 3D della catena cinematica descritta.

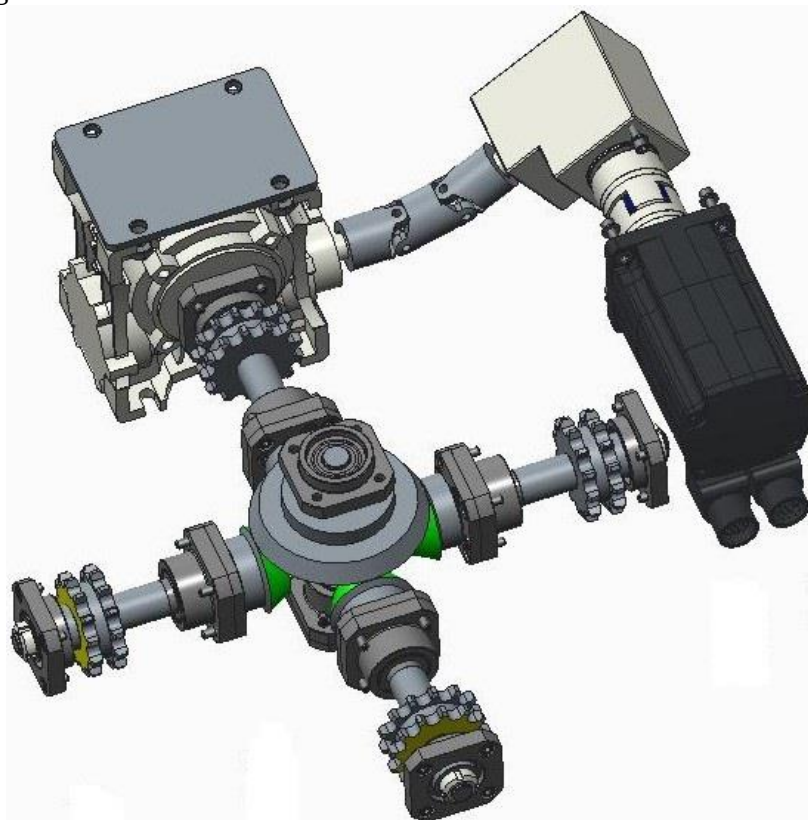


Fig. 5.3 *Catena cinematica del sistema di sollevamento.*

Come si vede in Figura 5.3, l'albero motore non è direttamente azionato dal motore, ma da un riduttore a vite senza fine. Tale riduttore si presta molto bene all'utilizzo in questione in quanto ha due ingressi, così da poter avere una ridondanza degli azionamenti, e garantisce da scheda tecnica del costruttore la non reversibilità del moto. Quest'ultima caratteristica è fondamentale per un qualsiasi sistema di sollevamento. A sua volta l'ingresso del riduttore è collegato, tramite un giunto cardanico, un rinvio angolare e un giunto elastico al servomotore.

5.2.2 - Sistema di avvolgimento catene

Le catene per la salita e la discesa sono catene a doppia maglia per garantire una buona rigidità laterale alla piastra mobile, e sono movimentate da pignoni a doppia corona con 13 denti. Per avvolgere le catene, durante la risalita, si è pensato ad un tamburo rotante, tenuto in coppia da una molla a spirale. Durante lo sfilo della catena, quest'ultima viene tirata dal pignone ed il tamburo avvolgi-catena ruota, svolgendola, e caricando così la molla torsionale.

Nella fase di risalita, il pignone dà catena al tamburo tenuto in coppia dalla molla, e ruotando ne permette l'avvolgimento. In Figura 5.4 è riportato uno dei quattro avvolgi-catena.

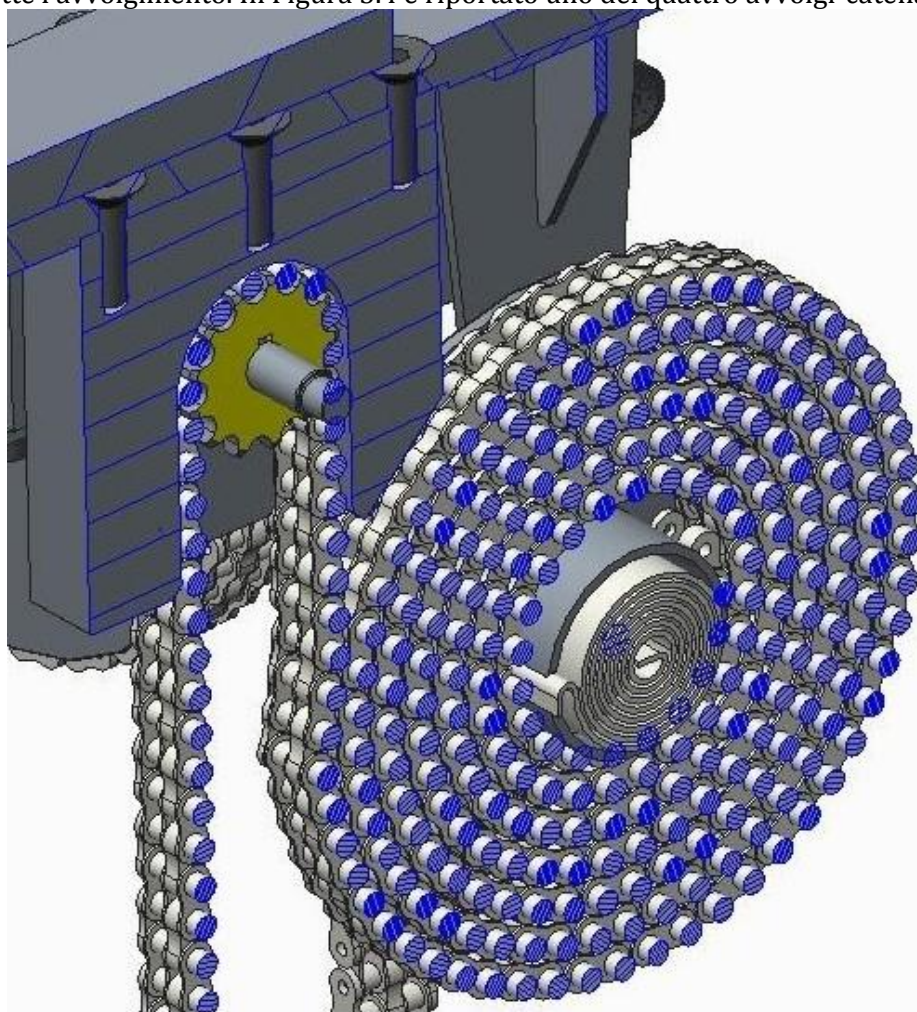


Fig. 5.4 Sistema avvolgi-catena in sezione 3-D.

Questo sistema di recupero catena è stato così sviluppato per la sua compattezza e semplicità. Come sviluppo futuro si ritiene comunque opportuno svolgere dei test di avvolgimento su tamburo per validarne la funzionalità.

5.2.3 - Piastra mobile

Le catene viste in precedenza, sono attaccate con delle forcelle a gambo filettato alla piastra mobile. Il gambo filettato serve per tensionare in ugual modo tutte e quattro le catene. Tale piastra scende verticalmente a piombo con lo sfilo delle catene. Deve compiere una corsa di circa 3500 mm fino ad agganciare la camera target, con l'attacco schunk maschio che vi è attaccato sotto. In Figura 5.5 è riportato il sotto assieme della piastra mobile. L'attacco schunk è attaccato sotto alla piastra tramite una flangia, grazie alla quale è possibile fare un ulteriore offset di posizione di ± 15 mm e regolare inoltre l'angolazione di $\pm 40^\circ$. La modalità dell'attacco flangiato è riportata nella sezione 3D di Figura 5.6. Nella piastra vi sono quattro puntoni a testa conica che fungono da battuta quando la piastra è in posizione sollevata. Così nel punto morto superiore le catene mantengono i puntoni conici in battuta nelle relative sedi, e la piastra è fissa. Vi sono infine dei supporti per il passaggio dei tubi per l'aria compressa che servono per azionare l'attacco schunk.

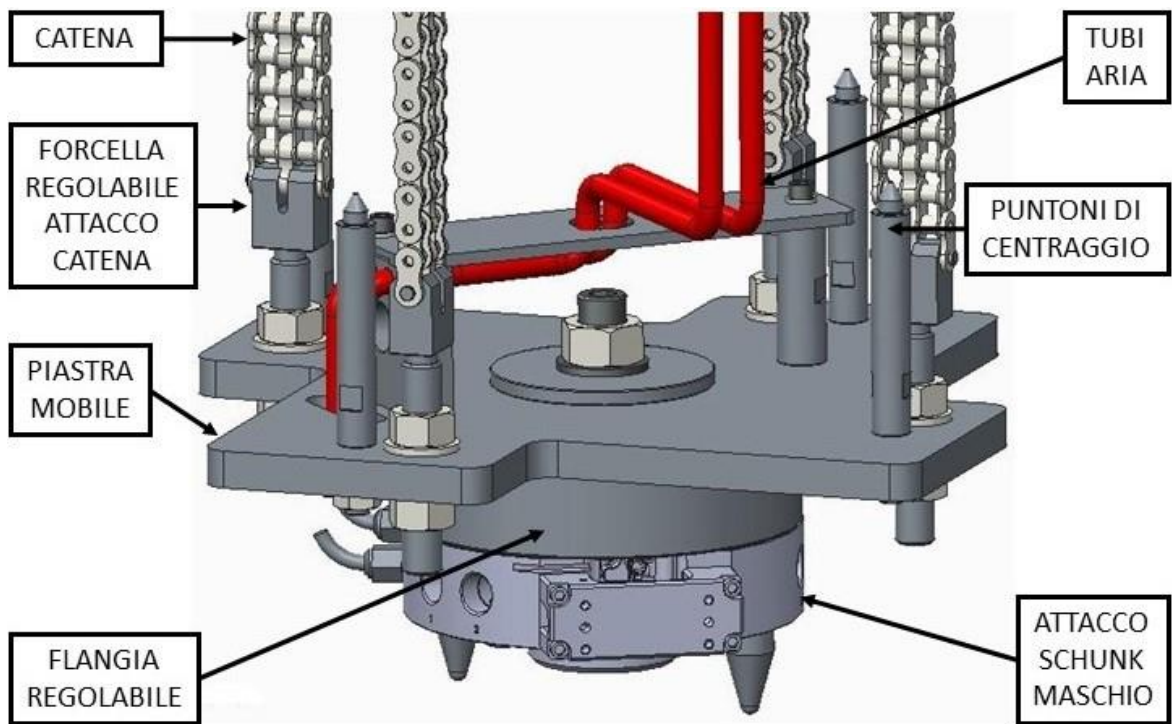


Fig. 5.5 Sotto assieme piastra mobile.

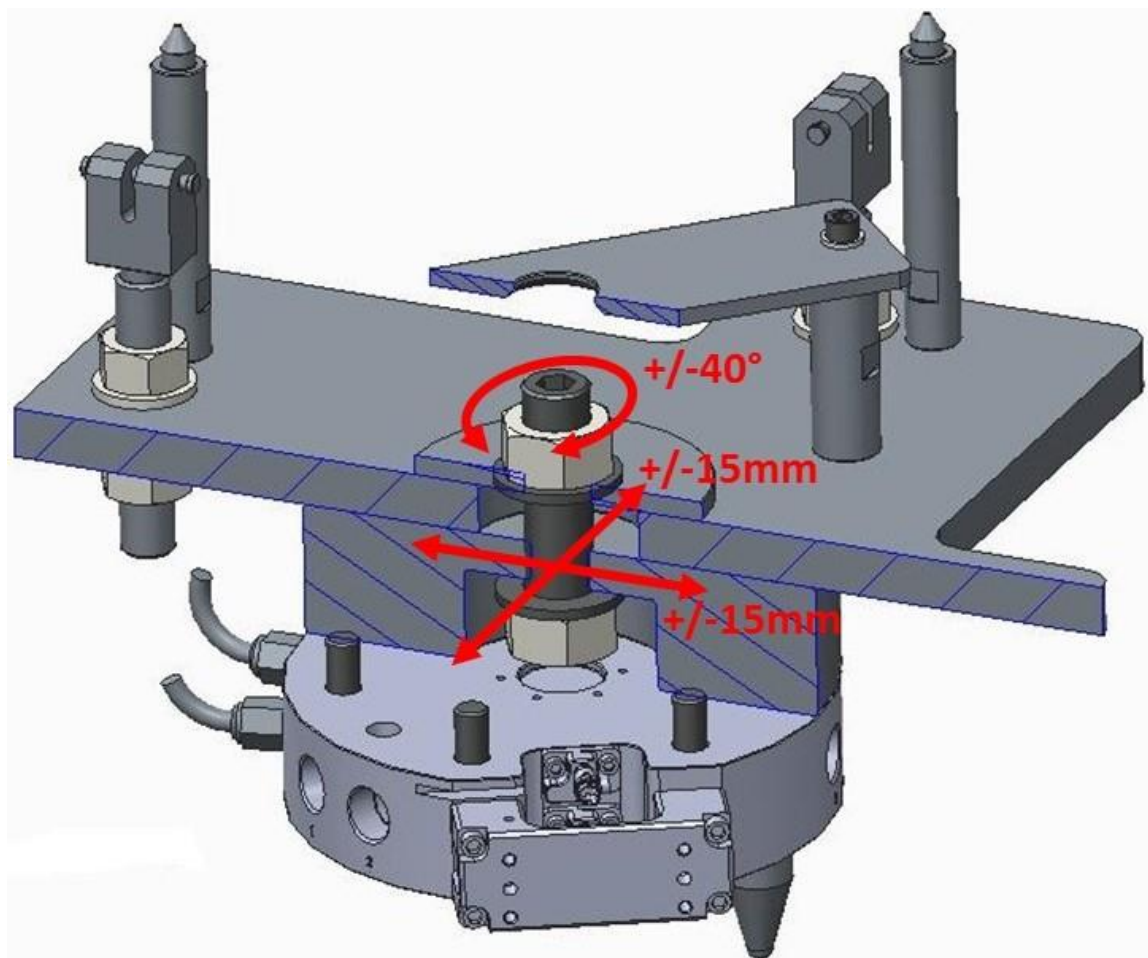


Fig. 5.6 Sezione dell'attacco flangiato regolabile.

5.2.4 - Ridondanza degli azionamenti

Il sistema progettato deve garantire la rimozione completa della camera target dal bunker. Il verificarsi di un guasto al sistema di sollevamento nella fase di estrazione, con la camera target attaccata, rappresenterebbe un grave problema per la manipolazione della stessa. Per prevenire dunque un eventuale guasto al motore elettrico che aziona il meccanismo, e garantire la riuscita dell'operazione di estrazione, il sistema è stato progettato in modo da poter avere un azionamento ridondante. Per la ridondanza si è pensato ad un motore pneumatico collegato al secondo ingresso del riduttore a vite senza fine. Il secondo azionamento deve necessariamente essere collegato a monte del riduttore. Si è scelto dunque un riduttore a vite senza fine con due ingressi all'albero veloce. Nel presente lavoro di tesi il sistema di sollevamento è progettato con il solo motore elettrico, ma come spiegato è già predisposto per accogliere la ridondanza. In Figura 5.7 è rappresentato il cinematismo di sollevamento con schematizzata la ridondanza.

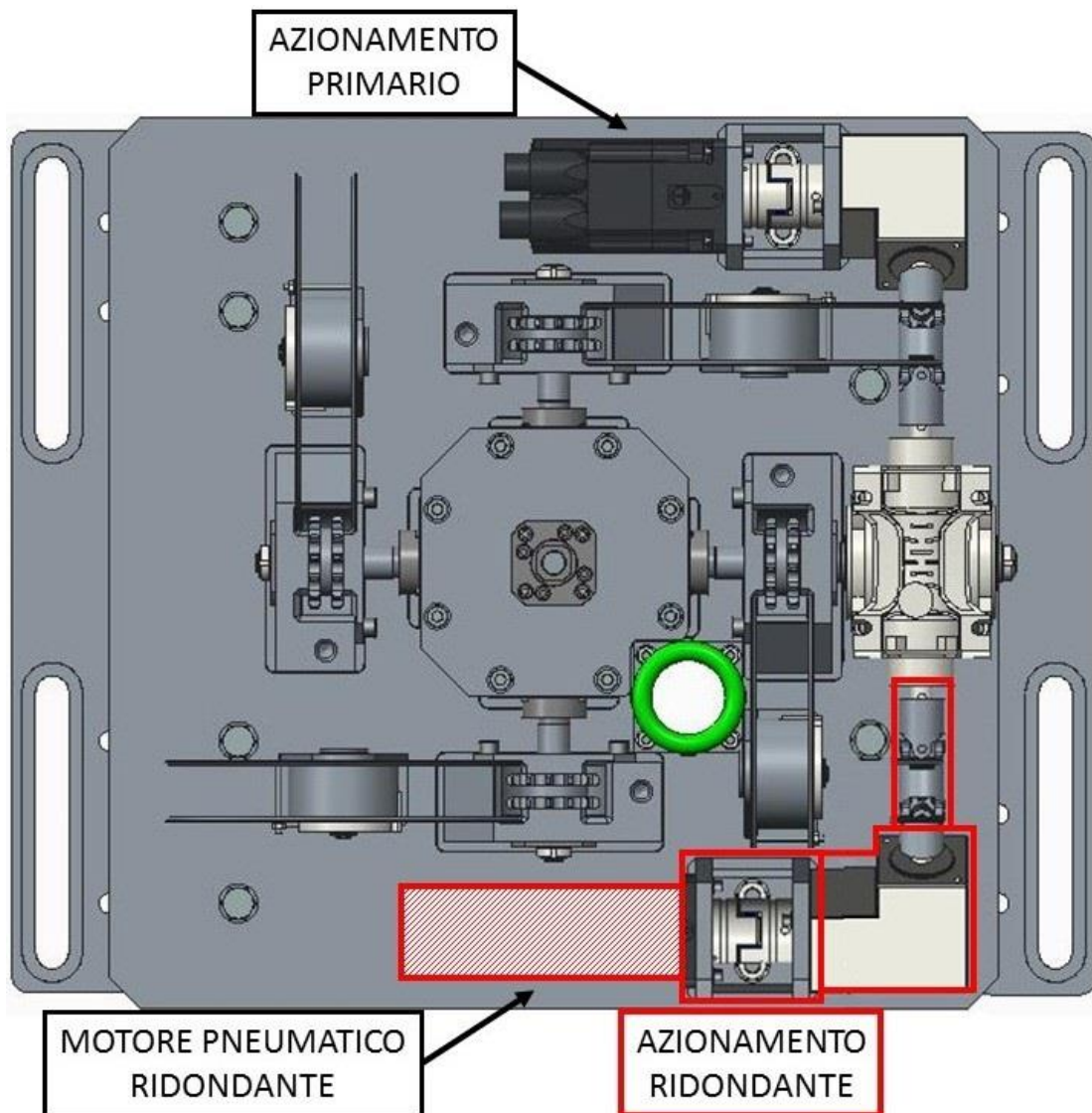


Fig. 5.7 Ridondanza del cinematismo di sollevamento.

5.2.5 - Componenti del sistema di sollevamento

Il sistema di sollevamento si sviluppa su di una piastra quadra 550x550x16 in alluminio, dove sono fissati tutti i principali componenti. I componenti standard utilizzati sono:

- 1 ruota dentata conica 32 denti, modulo 3, per accoppiamento con rapporto di trasmissione 1:2 (Figura 5.8).
- 4 ruote dentate coniche 16 denti, modulo 3, per accoppiamento con rapporto di trasmissione 1:2 (Figura 5.8).

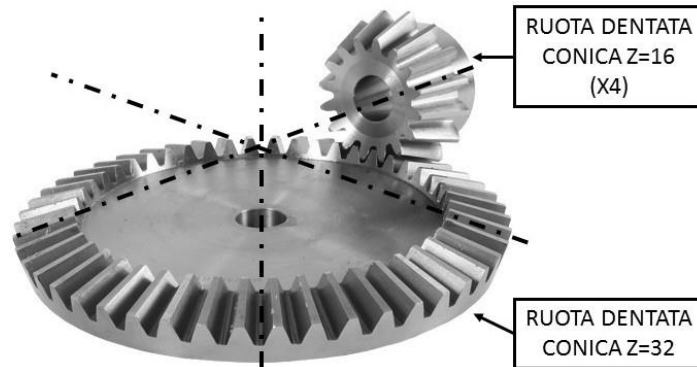


Fig. 5.8 Ruote dentate coniche.

- 5 cuscinetti radiali THK_FK15 reggispinta assiale (Figura 5.9).



Fig. 5.9 Cuscinetto radiale THK FK15 reggispinta assiale.

- 5 cuscinetti radiali THK_FF15 (Figura 5.10).



Fig. 5.10 Cuscinetto radiale THK FF15.

- 4 pignoni a doppia corona con 13 denti serie 1/2" x 5/16" per catena DIN 8187 – ISO/R 606 (Figura 5.11).



Fig. 5.11 Pignone a doppia corona Z13 1/2" x 5/16".

- 4 spezzoni da 3700mm di catena a rulli serie europea QRC 08B-2 (Figura 5.12).



Fig. 5.12 Catena a rulli serie europea QRC 08B-2.

- 1 riduttore a vite senza fine MOTIVE della serie BOX50_B14 con rapporto di riduzione 1:80 (Figura 5.13).



Fig. 5.13 Riduttore a vite senza fine MOTIVE BOX50_B14.

- 1 giunto doppio alta velocità serie H MF_05HD_SHOD142C (Figura 5.14).



Fig. 5.14 Giunto doppio alta velocità serie H MF_05HD_SHOD142C.

- 1 rinvio angolare rapporto trasmissione 1:1 serie FIAMA_66/6_INOX_A_M-M_1:1 (Figura 5.15).



Fig. 5.15 Rinvio angolare serie FIAMA_66/6_INOX_A_M-M_1:1.

- 1 servomotore Schneider electric serie BMH0701T16A2A, tensione alimentazione 240V, corrente alimentazione 2.85 A (Figura 5.16).



Fig. 5.16 Servomotore BMH0701T16A2A.

- 1 giunto elastico tipo ROTEX_11-14 (Figura 5.17).



Fig. 5.17 Giunto elastico ROTEX 11-14.

- 1 attacco tipo SCHUNK maschio.

5.3 - Calcoli cinematici sul sistema

Per scegliere i componenti da utilizzare, e verificare strutturalmente le varie parti che costituiscono il sistema di sollevamento, si sono fatti innanzitutto i conti cinematici sul cinematismo. Si sono così calcolate le forze e le coppie in gioco, la velocità di discesa e risalita del sollevamento, e le potenze scambiate tra i vari organi del cinematismo. In questo paragrafo verranno esposti i calcoli cinematici fatti, e verranno giustificate le scelte dei vari componenti.

5.3.1 - Calcoli cinematici

Come prima cosa, si è scelta una classe di motori elettrici passo-passo compatibili con i PLC utilizzati nei laboratori. Si è visto che tali motori lavorano bene attorno ai 1000 giri/minuto per garantirne un buon raffreddamento. I calcoli sono dunque stati svolti con questa velocità di rotazione del motore. Il riduttore a vite senza fine scelto ha un rapporto di riduzione di 1:80. I pignoni a doppia corona che movimentano le catene hanno un diametro primitivo di 53.06mm. Nello svolgimento dei calcoli si è fatta un'ipotesi cautelativa di lavoro. Essendo la piastra mobile attaccata alle quattro catene, non si può sapere precisamente come si ripartisce la massa da sollevare nelle quattro catene. Per questo motivo si è ipotizzato che solamente due di queste siano in tensione. Le due catene ipotizzate in tensione sono relative all'albero lento in uscita dal riduttore a vite senza fine, e quella all'albero lento coassiale al primo. Si è fatta questa scelta perché l'albero lento in uscita dal riduttore è quello maggiormente sollecitato a torsione, dovendo mettere in moto anche gli altri, e in via cautelativa lo si vuole verificare anche sotto il carico flettente trasmesso dalla catena che movimentata. La massa totale da sollevare di circa 50Kg (30Kg la camera target più 20Kg della piastra mobile e catene), viene equamente divisa nelle due catene ipotizzate in tiro.

Calcolo della velocità di sollevamento

Nominando n_2 il numero di giri al minuto dei pignoni si ottiene:

$$n_2 = n_1 * \tau_{12} = 1000 * \frac{1}{80} = 12.5 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$$

Dove n_1 sono i giri motore e τ_{12} il rapporto di riduzione del riduttore a vite senza fine. La velocità di sollevamento V_s si ottiene come:

$$\omega_2 = \frac{2\pi * n_2}{60} = 1.31 \frac{rad}{s}$$

$$V_s = \omega_2 * \frac{D_p}{2} = 0.035 \frac{m}{s}$$

$$t_s = \frac{h_{ct}}{V_s} = 100s = 1.67min$$

Dove D_p è il diametro primitivo del pignone, h_{ct} è la corsa per raggiungere la camera target e t_s è il tempo di discesa/risalita. Il tempo di discesa/risalita è elevato per evitare oscillazioni della piastra mobile in movimento.

Calcolo delle forze e coppie in gioco

In Figura 5.18 è riportato lo schema di calcolo dove sono nominati i vari organi rotanti. Con 1m è nominato l'albero veloce a monte del rinvio angolare, con 1v l'albero veloce a valle del rinvio angolare, la parte dell'albero lento a monte del primo pignone, nominato P1, è nominata 2im, quella a valle 2iv, con 0 è nominato l'albero di rinvio della ruota conica maggiore, ed in fine l'albero all'uscita è nominato 2u. In Tabella 5.1 sono riportati i rendimenti dei vari organi di collegamento. Il rendimento del giunto cardanico viene trascurato (assunto unitario), in quanto non è stimato attorno a 0.98 per angoli di lavoro di 90°. Nel caso di specie lavora a 17°, dunque è ancora più elevato e per questo trascurato.

Componenti	η
Catena-pignone	0.9
Ruote coniche	0.85
Riduttore	0.53
Rinvio angolare	0.9

Tab. 5.1 Rendimenti degli organi di giunzione.

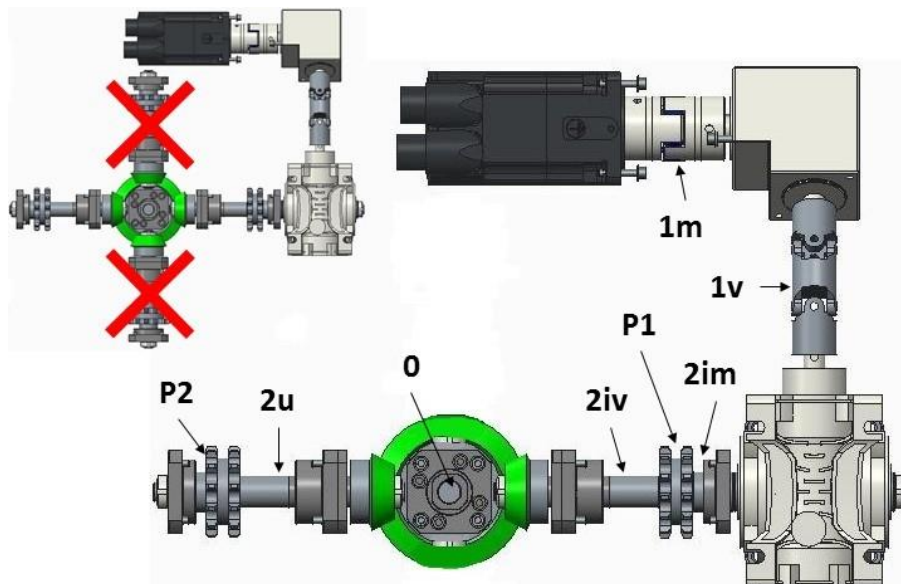


Fig. 5.18 Schema di calcolo del cinematismo.

Vengono ora calcolate le varie potenza scambiate, partendo dal carico e risalendo fino al motore elettrico. Non essendoci particolari esigenze di arrivare alla velocità di regime

rapidamente, si presuppone una legge di moto con accelerazioni molto modeste. Per questo motivo i conti verranno svolti alla velocità di regime.

La potenza di sollevamento P_{soll} è calcolata come:

$$P_{soll} = F_{soll} * V_s = 8.59 W$$

$$F_{soll} = \frac{1}{2} * M_{tot} * g = 245.3 N$$

Dove la F_{soll} è la forza di sollevamento della catena avvolta sul pignone P2. La massa totale da sollevare, di 50Kg, viene dimezzata per determinare la forza di sollevamento in quanto si suppone equamente ripartita su due catene.

$$P_{2u} = \frac{P_{soll}}{\eta_{catena-pignone}} = 9.54 W$$

$$Mt_{2u} = \frac{P_{2u}}{\omega_2} = 7282.4 Nmm$$

Dove Mt_{2u} è il momento torcente sull'albero 2u.

Si è risaliti in questo modo fino alla potenza necessaria per il motore elettrico. In Tabella 5.2 sono riportate le potenze ed i momenti torcenti per ogni componente della catena cinematica.

Componenti	Potenza [W]	Momento torcente [Nmm]
Sollevamento	8.59	/
2u	9.54	7282.4
2iv	13.25	10114.5
2im	22.79	17396.9
1v	43	410.5
1m	47.78	456.3

Tab. 5.2 Potenze e coppie scambiate tra gli organi del cinematismo.

Calcolate le grandezze di interesse, si può giustificare la scelta dei vari componenti standard, e fare poi le verifiche strutturali dove necessario.

5.3.2 - Scelta e verifica dei componenti standard

- **Motore elettrico.** Visto il numero di giri richiesto e la coppia necessaria si è scelto un servo-motore fornito dalla Schneider electric, modello BMH0701T16A2A, alimentato a 230V. In Figura 5.19 è riportata la curva coppia-giri/min per tale servomotore, sul grafico è segnato il punto di lavoro con un pallino rosso. In Appendice C è riportato invece il datasheet.

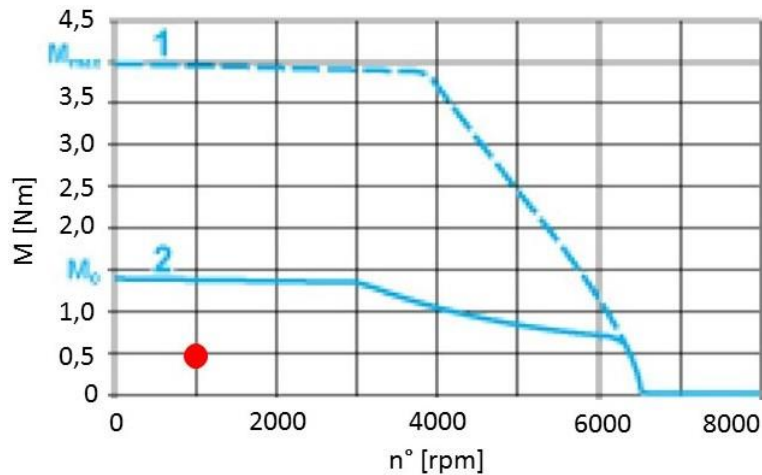


Fig. 5.19 Curva coppia-giri minuto del servomotore.

- Rinvio angolare.** Il rinvio angolare scelto, ha rapporto di trasmissione 1:1. E dai calcoli fatti deve trasmettere 456.3 Nmm ad un regime di rotazione di 1000 giri/min. si è scelto un rinvio angolare marca "Fiama", tipo 66/6_INOX_A_M-M_1:1. In Figura 5.20 è riportata la curva coppia-giri/min consigliata dall'azienda produttrice, sul grafico è segnato il punto di lavoro con un pallino rosso. In Appendice C è riportato invece il datasheet. Come si vede dal punto di utilizzo, le prestazioni del rinvio sono notevolmente superiori. Si è tuttavia optato per questa serie, e non una più piccola, per la compatibilità tra i diametri dell'albero motore e quelli del rinvio stesso che ne rendono più semplice l'accoppiamento con un giunto elastico.

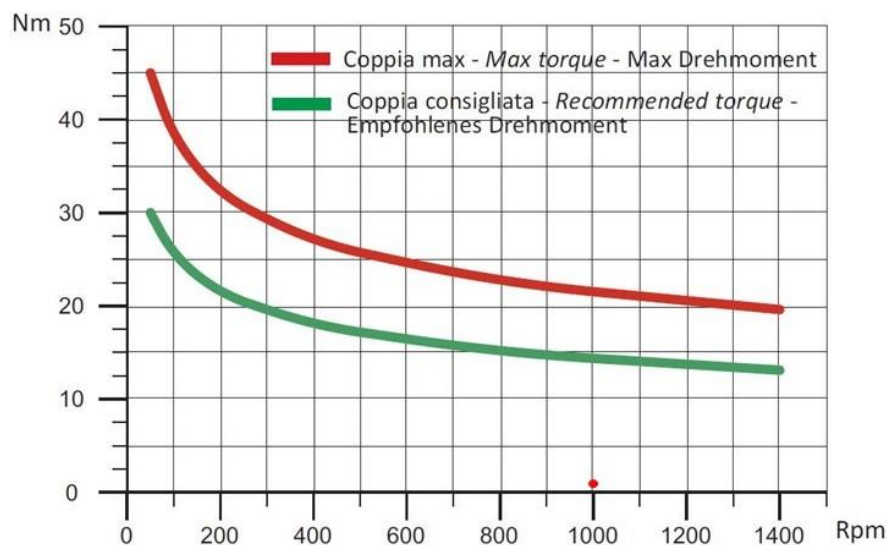


Fig. 5.20 Curva coppia-giri minuto consigliati per il rinvio angolare.

- Riduttore.** Il riduttore a vite senza fine utilizzato è di tipo BOX_50 B14 della marca "Motive", con rapporto di riduzione 1:80. All'albero veloce c'è una potenza di 43 W, all'albero lento deve trasmettere una coppia di 17.4 Nm a 12.5 rpm. In Figura 5.21 sono riportati i principali parametri di ingresso e uscita del riduttore. In Appendice C vi è il datasheet completo. Come si vede, il riduttore è sovradimensionato. Si è scelto di utilizzare comunque tale riduttore perché ha un rapporto di riduzione adeguato alle richieste di progetto, e soprattutto perché ne è garantita la non reversibilità del moto

da parte del produttore. Queste ultime due sono le caratteristiche principali che ne hanno determinato la scelta.



TABELLE PRESTAZIONALI BOX						
P_1	n_2 [rpm]	M_2 [Nm]	f_s	i		
0,18 kW	373,3	3,8	3,2	7,5	BOX030	63A-2
	280,0	5,0	2,5	10		63A-2
	186,7	6,7	1,7	15		63A-2
	186,7	7,6	2,3	7,5		63B-4
	140,0	9,9	1,8	10		63B-4
	140,0	8,5	1,3	20		63A-2
	112,0	9,5	1,4	25		63A-2
	93,3	10,6	1,1	30		63A-2
	93,3	13,4	1,3	15		63B-4
	70,0	13,1	0,9	40		63A-2
	70,0	17,0	1,0	20		63B-4
	56,0	19,1	1,0	25		63B-4
	46,7	21,3	0,8	30		63B-4
	93,3	12,8	2,4	30		63A-2
	70,0	15,5	1,8	40		63A-2
	70,0	18,8	2,0	20		63B-4
	56,0	18,5	1,4	50	63A-2	
	56,0	22,7	1,7	25	63B-4	
	46,7	25,7	1,7	30	63B-4	
	45,0	29,2	1,5	20	BOX040	71A-6
	35,0	30,9	1,3	40		63B-4
	36,0	35,2	1,3	25		71A-6
	30,0	39,9	1,3	30		71A-6
	28,0	37,1	1,0	50		63B-4
	22,5	48,1	1,0	40		71A-6
	46,7	21,3	2,1	60		63A-2
	35,0	25,9	1,5	80		63A-2
	35,0	33,5	2,3	40	63B-4	
	28,0	27,6	1,2	100	63A-2	
	28,0	37,6	1,9	50	63B-4	
	23,3	42,7	1,6	60	BOX050	63B-4
	17,5	51,9	1,2	80		63B-4
	18,0	58,5	1,4	50		71A-6
	14,0	55,3	0,9	100		63B-4
	15,0	66,4	1,1	80		71A-6
	11,3	80,7	0,9	80		71A-6
	4,7	217,0	1,1	300		63B-4
	3,5	279,8	1,0	400		BOX030+BOX063
	2,8	334,4	0,8	500	63B-4	
	3,5	279,8	0,8	400	63B-4	

Fig. 5.21 Tabella prestazionale dei riduttori BOX.

- Ruote dentate coniche.** Le ruote scelte sono standard secondo UNI 7847, con rapporto di riduzione 1:2. In Appendice C è riportata la tabella con i principali parametri geometrici delle ruote. Come detto, ci sono quattro ronchetti ($Z=16$) ingranati, con assi planari a 90° , su una conica maggiore ($Z=32$). Nella modalità di utilizzo non ha alcuna importanza il rapporto di riduzione adottato. Questo perché l'albero lento dell'ingranamento è in realtà un albero di rinvio. Uno dei quattro ronchetti è l'ingresso, e gli altri tre sono le uscite, dunque il rapporto di trasmissione è sempre 1:1. Si sono dunque scelti tali ingranaggi verificando innanzitutto la compatibilità tra spazio disponibile e ingombri delle ruote, che siano prodotti standard disponibili a catalogo e poi si è scelto il modulo medio della dentatura che è 3 mm. Il modulo medio verrà verificato a rottura nel prossimo paragrafo.

- **Pignoni.** I pignoni sono ovviamente presi in funzione delle catene adottate. L'unico parametro scelto è il numero di denti ($Z=13$), che consenta il minor ingombro possibile. Inoltre i pignoni standard sono verificati al massimo carico di esercizio della catena che vi è accoppiata. Dunque si andrà a verificare solo il carico sulla catena di sollevamento. In Appendice C è riportata la tabella con i principali parametri geometrici dei pignoni.
- **Catene.** Le catene scelte sono standard serie europea QRC a doppia maglia. Deve sollevare 25 Kg nell'ipotesi cautelativa con qui sono stati fatti i conti cinematici (due sole catene in tensione). In Figura 5.22 è riportata la tabella con i dati caratteristici della catena adottata. In Appendice C è riportato il datasheet della catena. Come si vede la catena è notevolmente sovradimensionata. Ma la scelta è ricaduta su questa taglia, e sulla doppia maglia, per fornire una buona rigidità laterale alla piastra mobile del sistema di sollevamento. Per evitare l'effetto pendolo durante il movimento.

DOPPIA												
ISO N.	mm	P	inch	b_1 min. mm	d_2 mm	d_1 max. mm	σ^2 max. mm	g max. mm	e mm	f cm ²	kg/m =	caric. rott., N. min.
068-2	9.525		3/8"	5.72	3.28	6.35	23.8	8.26	10.24	0.55	0.78	15.500
088-2	12.7		1/2"	7.75	4.45	8.51	31.0	11.81	13.92	1.00	1.35	28.500
108-2	15.875		5/8"	9.65	5.08	10.16	36.2	14.73	16.59	1.34	1.85	41.000
128-2	19.05		3/4"	11.68	5.72	12.07	42.2	16.13	19.46	1.78	2.50	53.000
168-2	25.4		1"	17.02	8.28	15.88	68.0	21.08	31.88	4.21	5.40	99.500
208-2	31.75		1 1/4"	19.56	10.19	19.05	79.7	26.42	35.45	5.91	7.20	162.000
248-2	38.1		1 1/2"	25.40	14.63	25.40	101.8	33.40	48.36	11.09	13.50	293.000
288-2	44.45		1 3/4"	30.99	15.90	27.94	124.7	37.08	59.56	14.81	16.60	344.000
328-2	50.8		2"	30.99	17.81	29.21	126.0	42.29	58.55	16.23	21.00	440.000

Fig. 5.22 Dati catena europea QRC.

- **Cuscinetti.** Sono stati utilizzati cuscinetti con unità di supporto già integrata. Il datasheet dei cuscinetti radiali e radiali reggispinta assiali sono riportati in Appendice C. Come si vedrà dalle verifiche strutturali, le spinte sui cuscinetti sono un ordine di grandezza inferiore rispetto a quelle permesse da datasheet.

5.4 - Verifiche strutturali

Studiata la cinematica del meccanismo di sollevamento, calcolate le forze e le coppie scambiate tra i vari organi e motivata la scelta dei principali componenti standard, si procede ora alla verifica strutturale delle parti del meccanismo.

5.4.1 - Ruote dentate coniche

L'accoppiamento conico da verificare è composto da un rocchetto $Z=16$ e una conica $Z=32$, in acciaio da nitrurazione C45. Con modulo medio 3mm e una larghezza di dente 15mm. Viene verificato l'ingranamento tra l'albero "2iv" e quello di rinvio "0", nominati in precedenza nei calcoli cinematici.

La relazione modificata di Lewis per ruote coniche è [15]:

$$m_m = \sqrt[3]{\frac{2 * \xi * Mt_{2iv}}{\lambda_m * Z * \sigma_{am} * y}} = 1.71mm$$

$$\lambda_m = \frac{b}{m_m} = 5$$

$$\sigma_{am} = \frac{R_m}{g_R} * \frac{A}{A + V} = 230.9 \text{ MPa}$$

Dove m_m è il modulo medio minimo della dentatura per la verifica a rottura, ξ è il coefficiente correttivo per la rastremazione del dente che per ingranaggi comuni è 1.4, Mt_{2iv} è il momento torcente pari a 10114.5 Nmm, $y=0.308$ coefficiente di Lewis funzione del numero di denti, b è la larghezza del dente, R_m il carico a rottura del C45 che è 700 MPa, g_R il coefficiente di sicurezza che per ingranaggi lenti e senza urti è 3. $A=3$ m/s per ingranaggi poco precisi, e $V=0.0314$ m/s. Essendo il modulo medio minimo della relazione di Lewis minore di quello adottato pari a 3mm, l'accoppiamento conico è verificato a rottura. Non si fanno le verifiche ad usura in quanto l'intero sistema di estrazione verticale è, come detto, un apparato di emergenza, e dunque se ne prevedono massimo uno o due utilizzi nell'arco della sua vita.

5.4.2 - Albero di ingresso "2i"

L'albero maggiormente sollecitato è l'albero lento in uscita dal riduttore a vite senza fine, nominato "2i" nei calcoli cinematici. Su questo albero si fanno ora le verifiche strutturali. Come prima cosa si calcolano le forze scambiate dalla coppia conica. In Figura 5.23 sono riportate le forze di interesse.

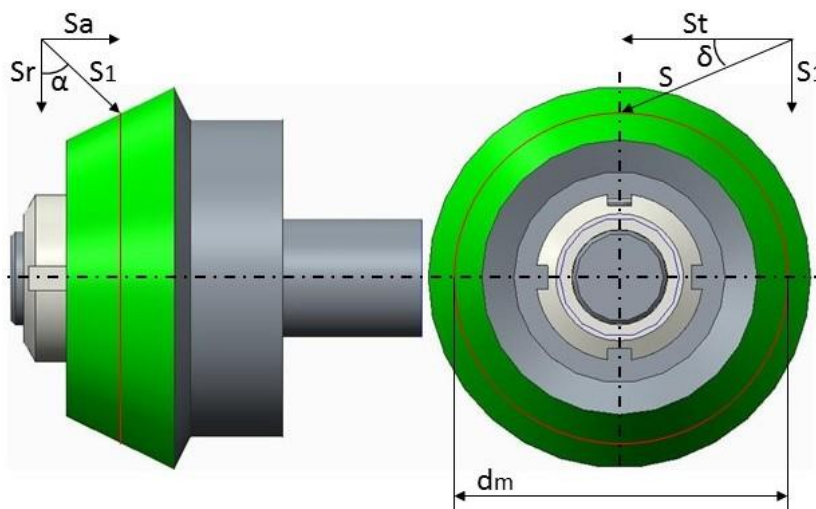


Fig. 5.23 Forze scambiate al rocchetto.

$$S_t = \frac{2 * Mt_{2iv}}{d_m} = 421.4 \text{ N}$$

$$S = \frac{S_t}{\cos\alpha} = 448.5 \text{ N}$$

$$S_1 = S_t * \operatorname{tg}\alpha = 153.4 \text{ N}$$

$$S_a = S_1 * \operatorname{sen}\delta = 68.7 \text{ N}$$

$$S_r = S_1 * \operatorname{cos}\delta = 137.2 \text{ N}$$

Dove d_m è il diametro medio pari a 48mm, Mt_{2iv} è il momento torcente pari a 10114.5 Nmm, α è l'angolo medio di pressione pari a 20° e δ è il semi angolo del cono medio della dentatura

conica. Non si considera il contributo assiale e flettente della forza S_a . In Figura 5.24 è riportato lo schema di calcolo dell'albero "2i".

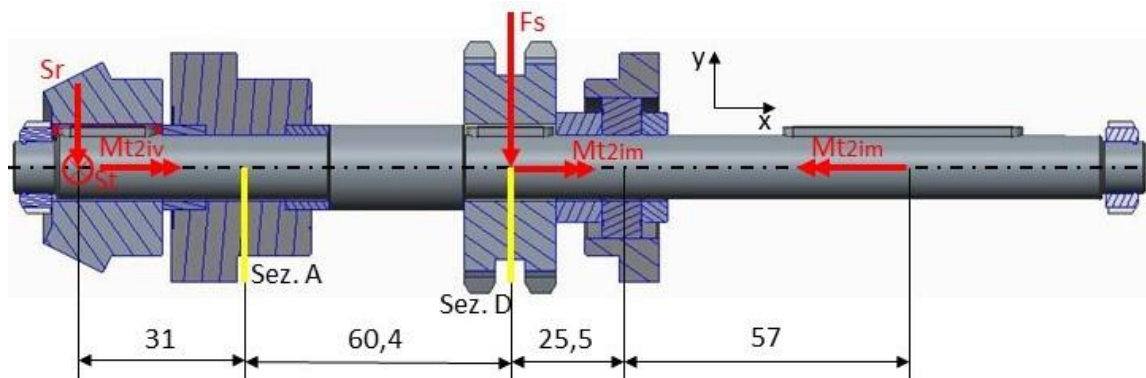


Fig. 5.24 Schema di calcolo per albero "2i".

Si sono calcolate le reazioni vincolari in mezzeria dei cuscinetti, e calcolati i momenti flettenti nel piano $x-y$ e $x-z$. In Figura 5.25 ne sono riportati gli andamenti.

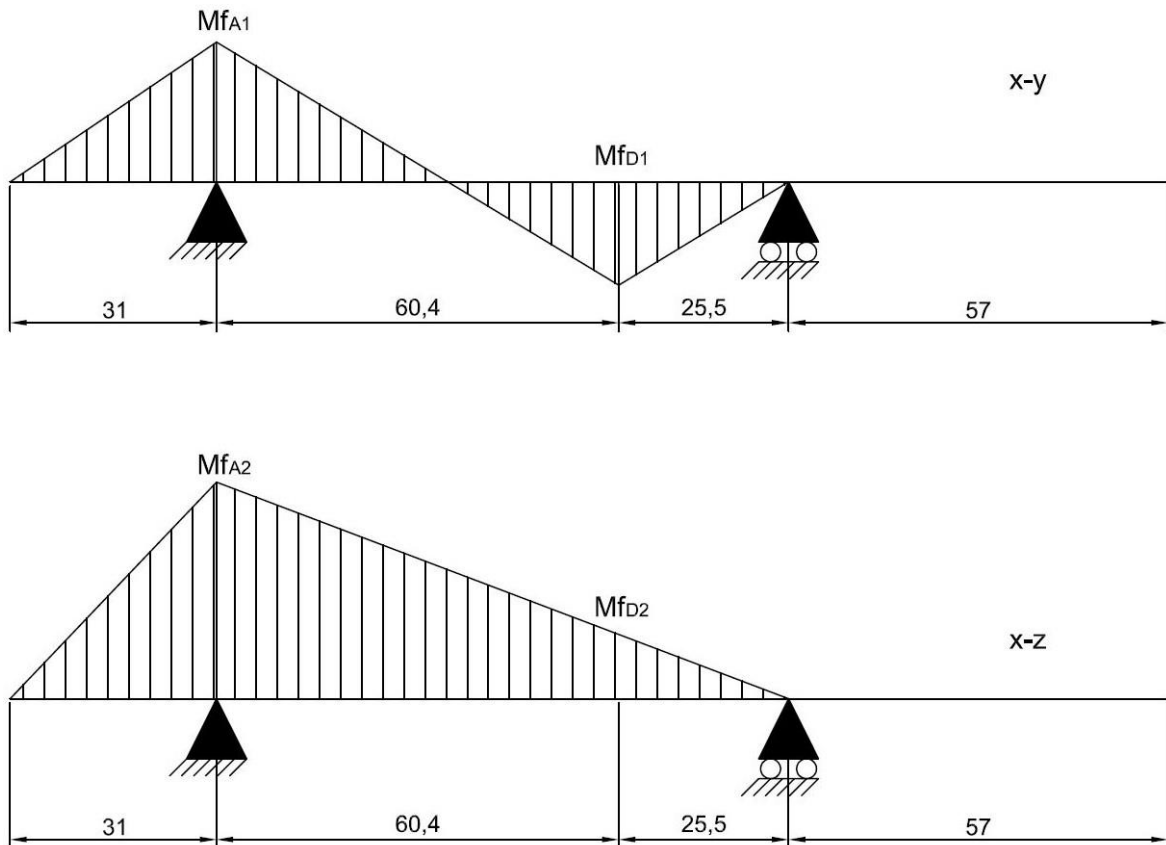


Fig. 5.25 Andamento del momento flettente nel piano $x-y$ e $x-z$.

In Figura 5.26 è riportato l'andamento del momento torcente sempre l'ungo l'albero "2i".

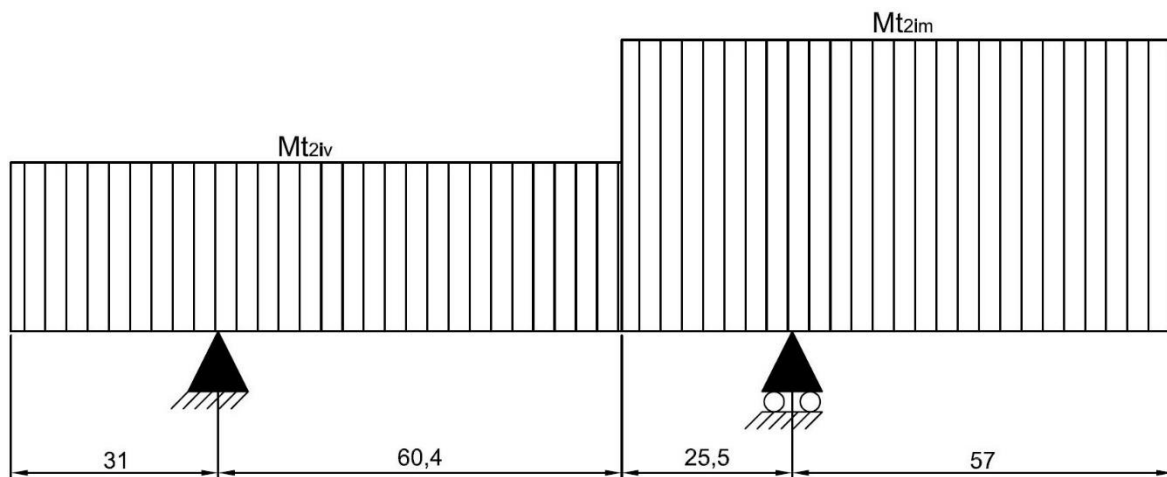


Fig. 5.26 Andamento del momento torcente.

In Tabella 5.3 sono riportati i valori di picco dei momenti calcolati.

M_{fA1}	4253.2 Nmm
M_{fD1}	3133.7 Nmm
M_{fA2}	13063.4 Nmm
M_{fD2}	3878.6 Nmm
M_{t2iv}	10114.5 Nmm
M_{t2im}	17396.9 Nmm

Tab. 5.3 Valori dei momenti flettenti e torcenti calcolati.

Per le stesse ragioni espone nella verifica delle ruote dentate coniche non si esegue la verifica a fatica, ma solamente quella statica.

Verifica nella sezione A

Le verifiche vengono fatte secondo UNI 2017.

$$M_{fA} = \sqrt{M_{fA1}^2 + M_{fA2}^2} = 13738.3 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{fA} = \frac{32 * M_{fA}}{\pi * \phi^3} = 41.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mt2iv} = \frac{16 * M_{t2iv}}{\pi * \phi^3} = 15.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{fA}^2 + 3\tau_{Mt2iv}^2} = 49.2 \text{ MPa}$$

Dove ϕ è il diametro dell'albero, dove sono calettati pignone e cuscinetto, meno la profondità della cava linguetta, $\phi=15-3=12\text{mm}$. In Figura 5.26 è riportato il diametro utile considerato per la verifica.

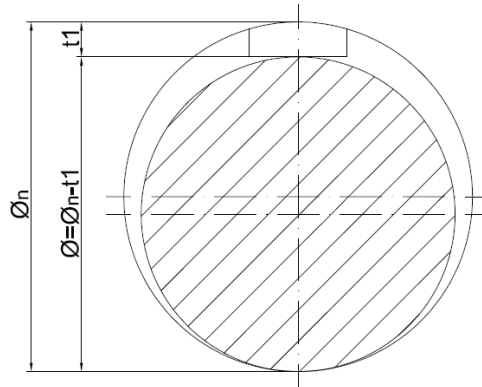


Fig. 5.26 Diametro utile per la verifica di alberi con sede per linguetta.

Materiale C40 diametro da 16mm a 40mm, $\sigma_{p0.2}=400$ MPa [15] e $g_R=3$.

$$\sigma_{am} = \frac{2}{3} * \frac{\sigma_{p0.2}}{g_R} = 88.9 \text{ MPa}$$

Essendo $\sigma_{id} < \sigma_{am}$ la sezione A è verificata.

Verifica nella sezione D

Le verifiche vengono fatte secondo UNI 2017.

$$M_{fD} = \sqrt{M_{fD1}^2 + M_{fD2}^2} = 4986.3 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{fD} = \frac{32 * M_{fD}}{\pi * \phi^3} = 15 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mt_{2im}} = \frac{16 * M_{t_{2im}}}{\pi * \phi^3} = 26.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{fD}^2 + 3\tau_{Mt_{2im}}} = 48 \text{ MPa}$$

Dove ϕ è il diametro dell'albero, dove sono calettati pignone e cuscinetto, meno la profondità della cava linguetta, $\phi=15-3=12$ mm.

Materiale C40 diametro da 16mm a 40mm, $\sigma_{p0.2}=400$ MPa [15] e $g_R=3$.

$$\sigma_{am} = \frac{2}{3} * \frac{\sigma_{p0.2}}{g_R} = 88.9 \text{ MPa}$$

Essendo $\sigma_{id} < \sigma_{am}$ la sezione D è verificata.

5.4.3 - Linguette

Tutte le linguette sono alloggiato sul diametro $\phi=15$ mm, la profondità della cava sull'albero è dunque uguale per tutte ed è $t_1=3$ mm. Il calettamento è acciaio-acciaio C40 e la pressione ammissibile è $P_{adm}=90$ MPa [15]. Verranno ora verificate in base alla lunghezza le tre linguette sull'albero "2i".

Verifica della linguetta del rocchetto, lunghezza di progetto $l=22\text{mm}$:

$$M_{\text{torcente}}=10114.5 \text{ Nmm}$$

$$l \geq \frac{2 * M_{\text{torcente}}}{\phi * t_1 * P_{\text{adm}}} = 5 \text{ mm}$$

Verifica della linguetta del pignone, lunghezza di progetto $l=20\text{mm}$:

$$M_{\text{torcente}}=7282.4 \text{ Nmm}$$

$$l \geq \frac{2 * M_{\text{torcente}}}{\phi * t_1 * P_{\text{adm}}} = 3.6 \text{ mm}$$

Verifica della linguetta del riduttore, lunghezza di progetto $l=55\text{mm}$:

$$M_{\text{torcente}}=17396.9 \text{ Nmm}$$

$$l \geq \frac{2 * M_{\text{torcente}}}{\phi * t_1 * P_{\text{adm}}} = 8.6 \text{ mm}$$

Tutte e tre le linguette risultano verificate.

5.5 - Conclusioni

In questo capitolo si è visto nel dettaglio il sistema di sollevamento della camera target, spiegandone l'utilizzo, il principio di funzionamento e tutti i componenti standard che lo compongono motivandone la scelta. Si è visto come sia essenzialmente un sistema a piombo con quattro catene di sollevamento azionate da un servomotore. Si è studiata la catena cinematica che porta il moto dal servomotore alla piastra mobile che scende verticalmente. Si sono infine fatte le verifiche strutturali dei principali componenti considerando l'albero più sollecitato. Gli sviluppi per il sistema di sollevamento, saranno l'inserimento di un azionamento pneumatico ridondante, e si dovranno fare dei test sul sottosistema di avvolgimento catene per verificarne la funzionalità. Come detto in precedenza, tale sistema, insieme a quello di centraggio studiato nei capitoli precedenti, costituiscono la macchina di estrazione verticale della camera target.

Conclusioni

Nel lavoro di tesi esposto si è studiato una sistema meccanico per l'estrazione verticale del bersaglio di produzione del progetto SPES ai laboratori nazionali di Legnaro. Si è fatta una prima introduzione al progetto SPES parlando della produzione di fasci di ioni esotici, per poi focalizzare l'attenzione nel layout generale delle infrastrutture e degli apparati di movimentazione già esistenti. Si sono esposti i vari sistemi di movimentazione e stoccaggio della camera target, ponendo maggior attenzione alla movimentazione verticale e ai vincoli progettuali che vi sono. Si è visto come l'estrazione verticale sia una movimentazione di emergenza in caso di malfunzionamento degli altri apparati atti a tale lavoro. Le linee guida della progettazione sono state la creazione di un apparato in grado di raggiungere verticalmente la camera target, ad una distanza di 3.5 metri, con una precisione di +/- 5mm. Tale sistema doveva essere il più contenuto possibile negli ingombri, e in grado di sollevare circa 50 Kg. Si sono dunque studiati i CAD dei locali in cui tale sistema deve operare, e si è predisposto un layout per l'intera movimentazione verticale. Il layout è stato pensato dall'apertura dell'accesso al bunker (locale di produzione dei fasci di ioni esotici), all'estrazione della camera target fino al suo stoccaggio in un sarcofago schermato. Il risultato della progettazione è stato un sistema composto da due sottosistemi principali, il sistema di centraggio e quello di sollevamento. Si è disposto che l'intera macchina verticale venga movimentata da un carroponte con scarsa precisione di posizionamento, venga alloggiata nel foro di accesso al bunker e successivamente entri in funzione il sistema di centraggio per garantire la precisione di posizione necessaria. Posizionato il sistema in modo preciso dal sistema di centraggio, entra in azione quello di sollevamento che raggiungerà la camera target, la aggancerà, e la solleverà. Dopodiché il carroponte solleverà l'intero sistema verticale con la camera target, si posizionerà a ridosso di un finecorsa sopra al sarcofago di stoccaggio, e di nuovo il sistema di sollevamento entrerà in azione per riporre la suddetta camera nel sarcofago.

Il sistema di centraggio è un cinematismo azionato da un pistone pneumatico, con due ruote di battuta retraibili, e una terza ruota che spinge le due di battuta al ridosso di due pareti. Lo scopo di tale sistema è posizionare in modo preciso e ripetibile il sistema di sollevamento sottostante. Nella fase di collaudo, con sistema centrato, si cala l'attacco della camera target e si esegue un offset della posizione del sistema di sollevamento affinché questo sia nella corretta posizione di aggancio. Negli utilizzi successivi, il centraggio deve riposizionare l'intero sistema nella stessa posizione di collaudo con un errore massimo di +/-5mm. Tale sistema è stato costruito e testato. I risultati dei test sono stati promettenti, evidenziando una precisione di riposizionamento di +/-0.09mm, precisione molto superiore alla minima richiesta che era di +/-5mm.

Il sistema di sollevamento è un sistema a "piombo" con quattro catene, attaccato sotto a quello di centraggio. È azionato da un servomotore, il quale mette in movimento un cinematismo di quattro alberi, che con i pignoni che vi sono calettati fa sfilare o avvolgere le quattro catene. Le catene fanno abbassare o alzare una piastra, la quale con un apposito aggancio, raggiunge la camera target, la aggancia e la solleva.

Come sviluppi futuri, per il sistema si centraggio si prevede la progettazione di un controllo pneumatico ad elettrovalvole per lo sfilo del pistone di azionamento. Mentre per il sistema di sollevamento, si prevede di costruire uno dei quattro apparati di avvolgimento catene ed eseguire dei test per verificarne la funzionalità. Si deve prevedere l'alloggiamento di un azionamento ridondante di tipo pneumatico nel caso di guasto al servomotore, ed infine si dovranno fare le tavole costruttive 2D dei componenti.

Appendice A

Datasheet e cataloghi dei componenti utilizzati nella realizzazione del sistema di centraggio

Verranno di seguito riportati i datasheet ed i cataloghi relativi ai vari componenti standard utilizzati nella progettazione e realizzazione del sistema di centraggio.

A.1 - Datasheet

A.1.1 - Attuatore pneumatico



CILINDRI ANTIROTAZIONE CON STELI GEMELLATI - TWIN PISTON ROD CYLINDERS

CARATTERISTICHE TECNICHE E STANDARD QUALITATIVI - OPERATING FEATURES AND QUALITATIVE STANDARDS



I cilindri a steli gemellati della serie "A2..." rappresentano la soluzione più semplice per evitare la rotazione del carico applicato al cilindro stesso. Gli ingombri sono pressochè identici a quelli di un cilindro a norme ISO 15552, dei quali utilizzano gli stessi accessori, unitamente alla massima affidabilità di funzionamento ed alla semplicità d'installazione li rendono largamente impiegati nelle applicazioni dove necessita l'antirotaazione.

Disponibili negli alesaggi 25, 32, 40, 50, 63, 80 e 100mm, di serie sono ammortizzati e predisposti per l'utilizzo di sensori per il rilevamento della posizione.

Oltre la serie "A2..." è disponibile anche la versione a 3 steli gemellati "A3..." e la versione con lo stelo passante semplice "A2...SP", "A3...SP".

Twin piston rod no rotating cylinders "A2..." series represents the simplest solutions for cylinder rod guidance.

Overall dimensions are almost the same of ISO 15552 standars cylinders, of whom they uses the same fixing accessories.

They are a reliable system to avoid piston rod rotation and they are esy to fit in any application.

Available in the following bores: 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 mm, pneumatic cushion and presetted for the use with Airon's sensor as standard.

Beside "A2..." series there is 3 piston rod version "A3..." and the through-rod version "A2...SP", "A3...SP".

Informazioni tecniche - Technical informations

Fluido: aria filtrata 40 µm lubrificata o non lubrificata (se lubrificata usare olio per circuiti pneumatici).

Fluid: filtered air 40 µm lubricated or not lubricated (when lubricated use oil for pneumatic circuits).

Temperatura fluido ed ambiente - Fluid and room temperature: -10 + +80 °C

(consultare la tabella varianti dei cilindri e temperature di utilizzo dei finecorsa).

(consult the variants tables of cylinders and the referring temperatures of magnetic switch).

Pressione di esercizio - Working pressure: 1 + 10 bar (0,1 + 1 MPa)

Velocità massima - Maximum speed: 1 m/s

Masse A2P - Inertial mass A2P

Alesaggio - Bore (mm)	25	32	40	50	63	80	100
Mb (g)	279	716	1058	1521	2602	4691	7003
Mu (g / mm)	1,02	2,9	3,7	5	7,4	10,2	10,6

Masse A2P...SP - Inertial mass A2P...SP

Alesaggio - Bore (mm)	25	32	40	50	63	80	100
Mb (g)	329	799	1214	1798	2879	5231	7543
Mu (g / mm)	1,63	3,78	5,27	7,45	9,85	14	14,4

Masse A3P - Inertial mass A3P

Alesaggio - Bore (mm)	32	40	50	63
Mb (g)	752	1128	1597	2730
Mu (g / mm)	3,4	5,14	5,88	8,98

Masse A3P...SP - Inertial mass A3P...SP

Alesaggio - Bore (mm)	32	40	50	63
Mb (g)	835	1284	1874	3007
Mu (g / mm)	4,28	6,7	8,33	11,4

Per il calcolo della massa dei cilindri si utilizza la seguente formula:

To evaluate the inertial mass of cylinders please use the following formula:

$$M_t = M_b + (M_u \cdot C)$$

M_t = Massa totale (g) - total mass
 M_b = Massa cilindro corsa 0 (g) - Cylinder mass stroke 0
 M_u = Massa per millimetro di corsa (g / mm) - Mass per millimeter of stroke
 C = Corsa del cilindro (mm) - Stroke of cylinder

NB: Le differenze tra le masse, per le versioni magnetiche e non magnetiche, sono trascurabili.

NB: The differences between the masses from magnetic and non-magnetic versions, are negligible.

Materiali standard - Standard material

Testate:	alluminio anodizzato	Covers:	anodized aluminium
Stelo:	acciaio C 45 cromato rettificato	Piston rod:	C45 chromium plated steel retified
Camicia:	alluminio profilato estruso ed anodizzato	Barrel:	anodized profiled aluminium
Tenute:	steli in poliuretano, altre in gomma NBR	Seals:	piston rod of poliurethane, others of NBR
Ammortizzo:	pneumatico (eccetto A2N 25)	Cushioning:	pneumatic (except A2N 25)
Piastra:	acciaio FE 370 brunito	Plate:	FE 370 black galvanized
Tiranti:	acciaio inox aisi 430F	Tie rods:	aisi 430F stainless steel

MASSIMO CARICO AMMISSIBILE - MAXIMUM ALLOWABLE LOAD

Diagramma di flessione e torsione - Deflection and torque diagram

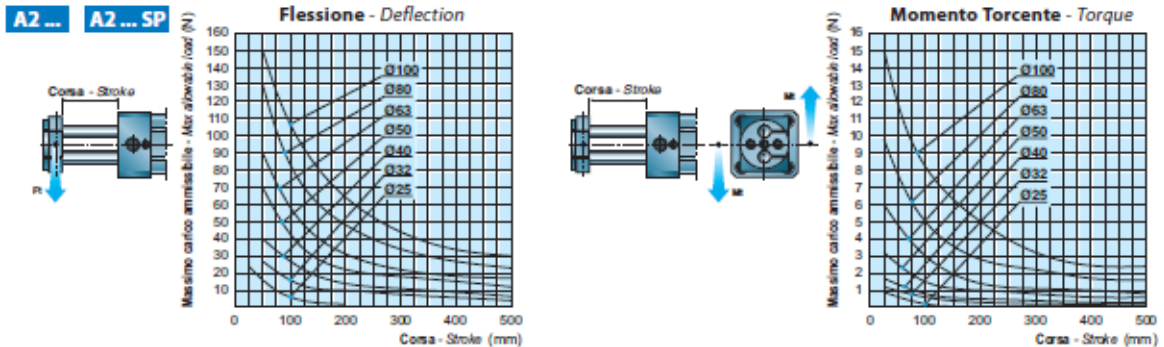
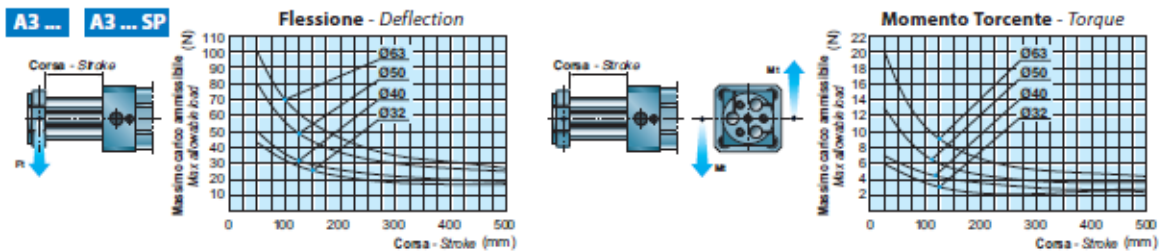


Diagramma di flessione e torsione - Deflection and torque diagram



CODICI DI ORDINAZIONE - ORDER CODES

A2 Cilindro a 2 steli gemellati.
Two piston rod cylinder.
(Ø 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 mm)

A3 Cilindro a 3 steli gemellati.
Three piston rod cylinder.
(Ø 32, 40, 50, 63 mm)

P Versione base, camicia tonda per alesaggio Ø25 e camicia profilata a lobi dal Ø32 al 100mm.
Standard cylinder with round barrel for Ø25 and profiled barrel from Ø32 to 100 mm.

F Cilindro con camicia profilata per sensori a scomparsa dal Ø32 al 100mm.
Cylinder with profiled barrel for foldaway magnetic switches from Ø32 to 100 mm.

T Cilindro con camicia tonda e tiranti dal Ø32 al 100mm.
Round barrel with tie rod cylinder from Ø32 to 100 mm.

alesaggio bore (mm) Ø25; 32; 40; 50; 63; 80; 100.	corsa - stroke (mm): corse standard: standard stroke: 25; 40; 50; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 300; 400; 450; 500 mm.
---	--

A 2 P . 0 3 2 . 0 1 0 0 .

Varianti -Variants		Codice Code
Esecuzione: Version:	1 stelo passante With one through piston rod	SP
	Acciaio INOX AISI 304 Stainless steel AISI 304	A4
Tenuta stelo: Rod seal:	*) Elastomero fluorurato *) Fluorine rubber	VS
Tutte le tenute: All seals:	*) Elastomero fluorurato *) Fluorine rubber	GV
Piastra: Plate:	Acciaio INOX AISI 304 Stainless steel AISI 304	P4
Pistone: Piston:	Non magnetico Non magnetic	SM
Ammortizzo pneumatico: Pneumatic cushioning:	Solo anteriore Front only	AA
	Solo posteriore Rear only	AP
	Non presente Not present	NA
Fissaggio: Fixing:	A vite anteriore (Ø25 e Ø32) Front screw (Ø25 and Ø32 bore)	VA
Prolunga antinfortunistica: Safety extension:	EN 349 EN 349	PA
Viteria: Screws:	acciaio INOX AISI 304 stainless steel AISI 304	F4

*) = Temperatura max 150°C - Max temperature 150°C

Per tipologie e caratteristiche tecniche dei sensori vedere la relativa sezione a pagina 1-159.
For types and specifications of the sensors see the section on page 1-159.

Come ordinare - Code example

Cilindro antrotazione base con camicia profilata per sensori a scomparsa, Ø 32 mm corsa 100 mm.
Twin piston rod cylinder with profiled barrel for foldaway magnetic switches, bore 32 mm and stroke 100 mm.

A2F.032.0100

Codice kit Guarnizioni - Seals kit code

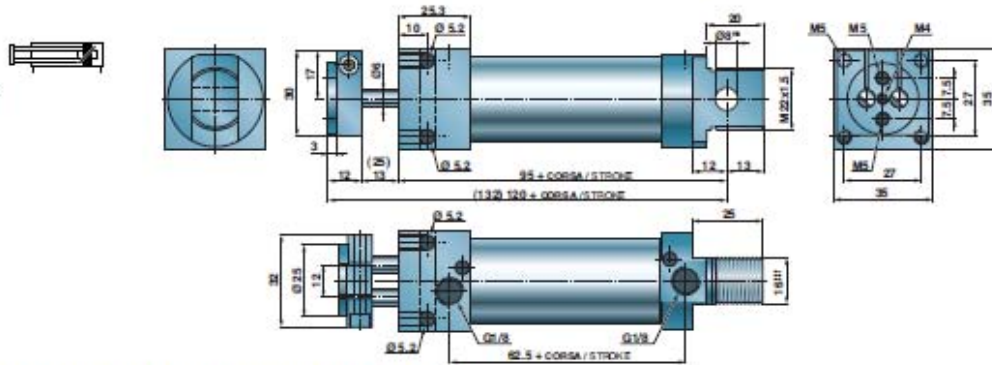
Codice kit guarnizioni = **SG** + tipo cilindro + alesaggio + eventuali varianti.
Seals kit code = **SG** + cylinder type + bore + possible versions.

SG.A2F.032.VS

A2P.025 Ø25 DIMENSIONI DI INGOMBRO - OVERALL DIMENSIONS

A2P.025

Alesaggio / Bore
Ø25



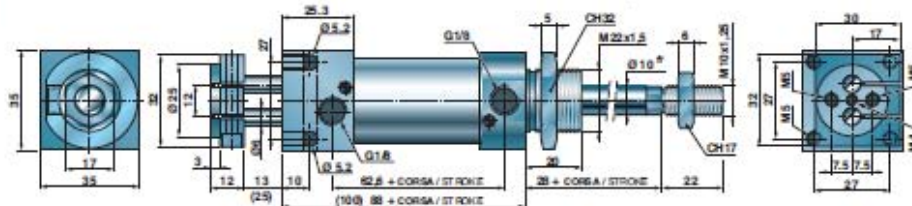
Le quote tra parentesi sono riferite alla versione con prolunga antinfortunistica.
Dimensions in brackets are related to the accident prevention version.

A2P.025 ... SP Ø25 DIMENSIONI DI INGOMBRO - OVERALL DIMENSIONS

A2P.025 ... SP

Alesaggio / Bore
Ø25

Il cilindro è corredato di dado testata e dado stelo.
The cylinder is supplied with head nut and piston-rod nut.



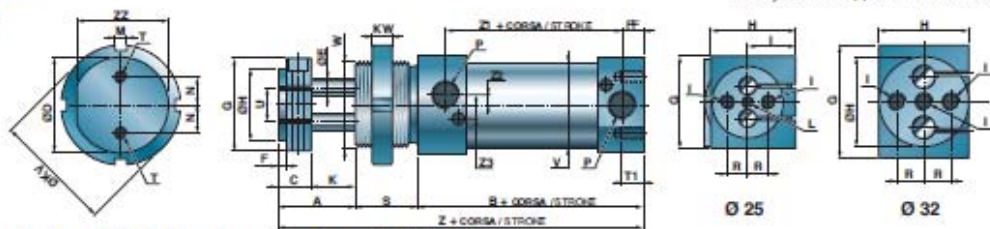
Le quote tra parentesi sono riferite alla versione con prolunga antinfortunistica.
Dimensions in brackets are related to the accident prevention version.

A2P ... VA Ø25+32 DIMENSIONI DI INGOMBRO - OVERALL DIMENSIONS

A2P ... VA

Alesaggio / Bore
Ø25 + 32

Il cilindro è corredato di dado testata.
The cylinder is supplied with head nut.



Le quote tra parentesi sono riferite alla versione con prolunga antinfortunistica.
Dimensions in brackets are related to the accident prevention version.

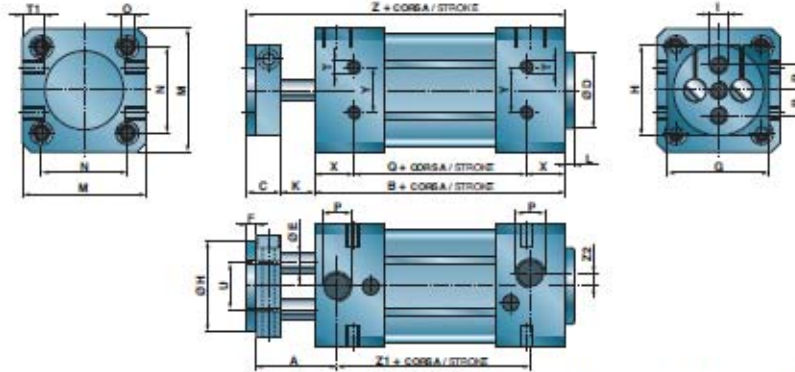
Alesaggio / Bore (mm)	A	B	C	ØE	F	H	ØH	I	L	M	N	T	S	V	W	K	KW	Z1	P	R	FF	T	ZZ	G	U	ØD	Z	Z2	Z3	KV
25	28 (37)	79.7	12	6	3	30	25	M5	M4	38	10	8	22	29	M30x1.5	16 (25)	7	62.6	G1/8	7.5	7.5	M4	32.5	32	12	34	130 (139)	3.5	4.8	42
32	31 (40)	111	15	8	4	32	32	M6	-	50	10	8	30	36	M36x2	16 (25)	8	92	G1/8	9.5	13	M4	36.5	40	18	38	172 (181)	-	-	55

Tolleranze nominali sulla corsa - nominal tolerances of stroke

Le tolleranze sulla corsa nominale sono di 0 / +1,5 mm per tutte le corse.
Nominal tolerances of stroke are 0 / +1,5 mm for all strokes.

DIMENSIONI DI INGOMBRO - OVERALL DIMENSIONS A2 Ø32+100

A2
 Alesaggio / Bore
 Ø32 ÷ 100

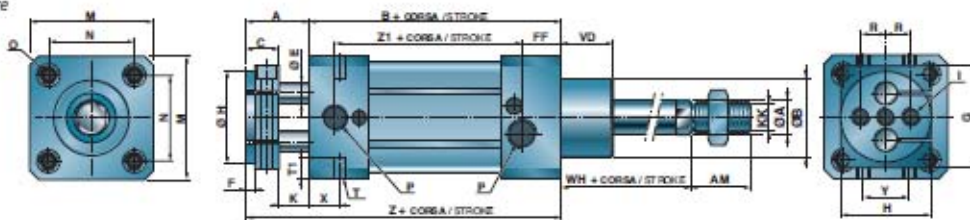


Le quote tra parentesi sono riferite alla versione con prolunga antinfortunistica.
 Dimensions in brackets are related to the accident prevention version.

Alesaggio / Bore (mm)	A	B	C	ØD	ØE	F	G	H	ØH	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	T1	U	K	X	Y	Z	Z1
32	26 (40)	102	15	30	8	4	40	32	32	M6	4	45	32,5	M6	G1/8	72	9,5	32	M5	8	18	11 (25)	15	16	128 (142)	78
40	30 (40)	112	15	35	10	4	45	40	40	M8	4	55	38	M6	G1/4	77	11,5	40	M6	10	21	15 (25)	17,5	21	142 (152)	86,5
50	34 (43)	117	18	40	12	5	55	50	50	M8	4	65	46,5	M8	G1/4	85	15	50	M8	10	26	16 (25)	16	24	151 (160)	82,5
63	36 (47)	125	22	45	16	5	70	63	63	M10	4	80	56,5	M8	G3/8	89	19	63	M8	10	35	14 (25)	18	33	161 (172)	89,5
80	38 (47)	136	22	45	20	5	95	80	80	M12	4	100	72	M10	G3/8	98	25	80	M10	13	46	16 (25)	19	40	174 (183)	100
100	38 (47)	143	22	55	20	5	110	100	100	M12	4	115	89	M10	G1/2	105	35	100	M10	13	70	16 (25)	19	58	181 (190)	106

DIMENSIONI DI INGOMBRO - OVERALL DIMENSIONS A2 ... SP Ø32+100

A2 ... SP
 Alesaggio / Bore
 Ø32 ÷ 100



Il cilindro è corredato di dado stelo.
 The cylinder is supplied with piston-rod nut.

Le quote tra parentesi sono riferite alla versione con prolunga antinfortunistica.
 Dimensions in brackets are related to the accident prevention version.

Alesaggio / Bore (mm)	A	ØA	AM	B	ØB	C	R	FF	H	ØH	I	M	N	O	KK	P	VD	WH	X	T	T1	Y	Z	Z1	ØE	F	G	K
32	26(40)	12	22	102	30	15	9,5	14	32	32	M6	45	32,5	M6	M10x1.25	G1/8	20	26	15	M5	8	16	128 (142)	77,5	8	4	40	11 (25)
40	30(40)	16	24	112	35	15	11,5	16	40	40	M8	55	38	M6	M12x1.25	G1/4	22	30	17,5	M6	10	21	142 (152)	86	10	4	45	15 (25)
50	34(43)	20	32	117	40	18	15	21	50	50	M8	65	46,5	M8	M16x1.5	G1/4	28	37	16	M8	10	24	151 (160)	82,5	12	5	55	16 (25)
63	36(47)	20	32	125	45	22	19	22	63	63	M10	80	56,5	M8	M16x1.5	G3/8	28	37	18	M8	10	33	161 (172)	89,5	16	5	70	14 (25)
80	38(47)	25	40	136	45	22	25	23	80	80	M12	100	72	M10	M20x1.5	G3/8	34	46	19	M10	13	40	174 (183)	100	20	5	95	16 (25)
100	38(47)	25	40	143	55	22	35	26	100	100	M12	115	89	M10	M20x1.5	G1/2	38	51	19	M10	13	58	181 (190)	102	20	5	110	16 (25)

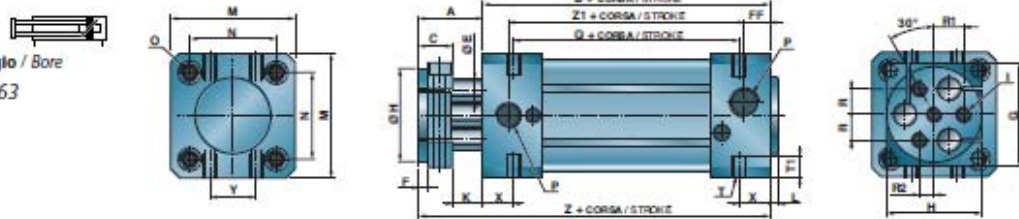
Tolleranze nominali sulla corsa - nominal tolerances of stroke

Alesaggio - Bore	32	40	50	63	80	100
Fino a 500 mm - Up to 500 mm (mm)		0 / +2			0 / +2,5	
Da 501 a 1250 mm - From 501 to 1250 mm (mm)		0 / +3,2			0 / +4	

A3 Ø32+63 DIMENSIONI DI INGOMBRO - OVERALL DIMENSIONS

A3

Alasaggio / Bore
Ø32 + 63



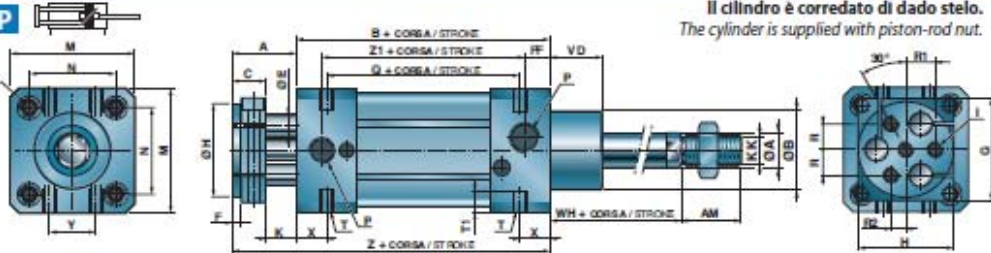
Le quote tra parentesi sono riferite alla versione con prolunga antinfortunistica.
Dimensions in brackets are related to the accident prevention version.

Alasaggio Bore (mm)	A	B	C	H	ØH	I	L	M	N	O	P	Q	R	R1	R2	T	T1	X	Y	Z	ØE	G	K	Z1	FF	F
32	26 (40)	102	15	32	32	M6	4	45	32.5	M6	G1/8	72	8.7	10	5	M6	8	15	16	128 (142)	8	40	11 (25)	69.6	14	4
40	30 (40)	112	15	40	40	M6	4	55	38	M6	G1/4	77	10.8	12.5	6.3	M6	8	17.5	21	142 (152)	12	45	15 (25)	81	15.5	4
50	34 (43)	122	18	50	50	M8	4	65	46.5	M8	G1/4	90	13.4	15.5	7.8	M8	8	16	24	156 (165)	12	55	16 (25)	82	21	5
63	36 (47)	125	22	63	63	M10	4	80	56.5	M8	G3/8	89	15.2	19	9.5	M10	10	18	33	161 (172)	16	70	14 (25)	79.5	22	5

A3 ... SP Ø32+63 DIMENSIONI DI INGOMBRO - OVERALL DIMENSIONS

A3 ... SP

Alasaggio / Bore
Ø32 + 63



Le quote tra parentesi sono riferite alla versione con prolunga antinfortunistica.
Dimensions in brackets are related to the accident prevention version.

Alasaggio Bore (mm)	A	ØA	AM	B	ØB	C	FF	H	ØH	I	M	N	O	KK	P	Q	R	R1	R2	VD	WH	X	T	T1	Y	Z	Z1	ØE	F	G	K
32	26 (40)	12	22	102	30	15	14	32	32	M6	45	32.5	M6	M10x1.25	G1/8	72	8.7	10	5	20	26	15	M6	8	16	128 (142)	69.6	8	4	40	11 (25)
40	30 (40)	16	24	112	35	15	15.5	40	40	M8	55	38	M6	M12x1.25	G1/4	77	10.8	12.5	6.3	22	30	17.5	M6	8	21	142 (152)	81	12	4	45	15 (25)
50	34 (43)	20	32	122	40	18	21	50	50	M8	65	46.5	M8	M16x1.5	G1/4	90	13.4	15.5	7.8	28	37	16	M8	8	24	151 (160)	82	12	5	55	16 (25)
63	36 (47)	20	32	125	45	22	22	63	63	M10	80	56.5	M8	M16x1.5	G3/8	89	15.2	19	9.5	28	37	18	M8	10	33	161 (172)	79.5	16	5	70	14 (25)

Tolleranze nominali sulla corsa - nominal tolerances of stroke

Alasaggio - Bore	32	40	50	63
Fino a 500 mm - Up to 500 mm (mm)		0 / +2		0 / +2,5
Da 501 a 1250 mm - From 501 to 1250 mm (mm)		0 / +3,2		0 / +4

ACCESSORI CILINDRI A2 ed A3 - A2 AND A3 CYLINDERS ACCESSORIES

Tutti gli accessori che possono essere montati su questi attuatori sono gli stessi dei cilindri a norma ISO 15552 (con lo stesso codice di ordinazione) ad eccezione di quelli riportati nella seguente tabella.

All the accessories that you can utilize on this cylinder are the same of ISO 15552 version (they have the same order code).
The accessories into the table below are different to ISO 15552 accessories, so they have a different order code.

Nota: Non è previsto il montaggio della cerniera femmina CA...

Note: CA... front female hinge is not available for cylinders series A2, A3

Alasaggio Bore (mm)	FV ...		PB ...	
A2	Ø 63	FV.063.A2	PB.063.A2	
	Ø 80	FV.080.A2	PB.080.A2	
	Ø 100	FV.100.A2	PB.100.A2	
A3	Ø 50	FV.050.A3	PB.050.A3	
	Ø 63	FV.063.A3	PB.063.A3	

A.1.2 - Sfere portanti



The advertisement features a dark blue background with several large, semi-transparent blue spheres of varying sizes. In the foreground, three circular insets provide detailed views of different bearing ball assemblies. The leftmost inset shows black and silver components. The middle inset shows silver components. The rightmost inset shows white components. Below these insets, the text "SFERE PORTANTI" is written in white capital letters. At the bottom center, the RGPBALLS logo is displayed, consisting of a globe icon surrounded by a ring of dots, followed by the text "RGPBALLS" and "A WORLD OF SPECIAL BALLS" below it.

SFERE PORTANTI

 **RGPBALLS**
A WORLD OF SPECIAL BALLS

COSTRUZIONE

Le sfere portanti RGP sono sistemi multidirezionali per la movimentazione lineare dei carichi.

Sono composte da una sfera di grandi dimensioni che ruota su una quantità definita di sfere di piccolo diametro, il tutto racchiuso in una sede emisferica.

Grazie alla cura con la quale vengono eseguite le lavorazioni dei vari componenti, l'attrito risulta essere particolarmente contenuto permettendo così che la forza necessaria a movimentare i carichi sia notevolmente ridotta.

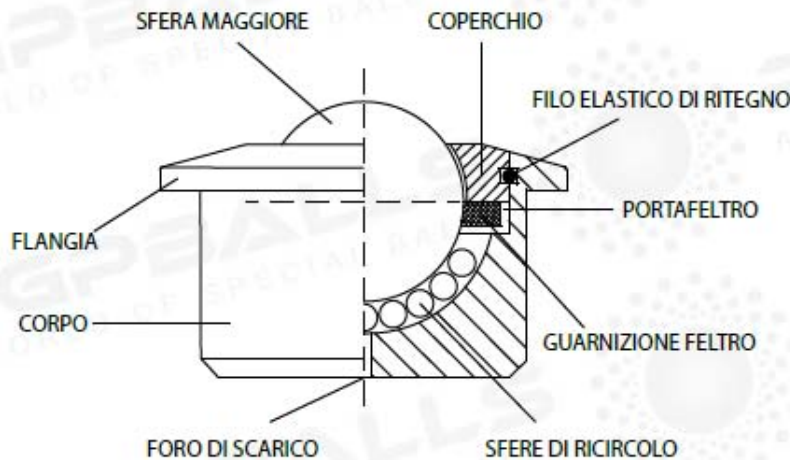
La gamma di produzione comprende supporti con la sfera maggiore da 8 mm. fino a un massimo di 90 mm. che possono essere realizzati in diversi tipi di materiali quali acciaio, acciaio inossidabile, lamiera stampata e materiali plastici.

Tra le versioni realizzate sono disponibili diverse tipologie di rivestimenti utili a preservare nel tempo la resistenza all'ossidazione.

Anche le sfere utilizzate possono essere scelte tra diversi tipi di materiali in funzione dell'applicazione finale. Esiste infatti la possibilità di assemblare tutti i componenti con differenti materiali, per rispondere alle diverse tipologie di utilizzo.

RGP produce principalmente due diverse tipologie di sfere portanti:

- **con alloggiamento in acciaio tornito da barra e temprato** - sono normalmente impiegate in presenza di carichi pesanti, forti sollecitazioni, urti e condizioni gravose in genere. Per portate elevate sono disponibili analoghe versioni studiate appositamente per queste applicazioni.
- **con componenti in lamiera stampata** - sono invece preferibili in applicazioni per carichi di minore entità. Uniscono una buona scorrevolezza a portate adeguate, permettendo un costo finale più contenuto.



In molte versioni è prevista una guarnizione in feltro che aiuta a mantenere pulita la sfera maggiore quando questa è in rotazione evitando così che le impurità possano venire a contatto delle sfere di ricircolo. Sono presenti uno o più fori di scarico sul fondo per agevolare la fuoriuscita di impurità, liquidi, condensa, ecc.

Normalmente vengono fornite pre-lubrificate per favorire la conservazione qualora non utilizzate. Non richiedono lubrificazioni che vanno eventualmente applicate periodicamente in base all'utilizzo. Per condizioni di impiego particolarmente critiche con eventuale presenza di sporco, si consiglia di provvedere periodicamente alla pulizia applicando un comune sbloccante/lubrificante come ad esempio il WD-40.

CONDIZIONI DI IMPIEGO

Le sfere portanti RGP possono essere posizionate con qualsiasi orientamento, ma se diverso da quello convenzionale (con la sfera rivolta verso l'alto), vanno considerate minori prestazioni in termini di portata e scorrevolezza. Alcune versioni destinate ad applicazioni specifiche, sono invece idonee al solo utilizzo convenzionale. Nelle schede tecniche di ciascuna versione è presente l'indicazione delle portate secondo la posizione di impiego.

La temperatura di utilizzo è normalmente compresa tra -20°C a +100°C (+70°C in modo continuativo e +100°C intermittenti).

Tali valori non influiscono sul corretto funzionamento delle sfere portanti. Temperature sino a +150°/200°C divengono raggiungibili eliminando la guarnizione parapolvere interna. Per un utilizzo ad alte temperature è solitamente consigliabile la versione con tutti i componenti in acciaio inox AISI 420C, senza guarnizione in feltro.

Va considerato che più è elevata la temperatura di utilizzo e più i fattori di carico diminuiscono.

Le sfere portanti nelle versioni con sfere in materiale plastico o completamente realizzate in materiale plastico, sono idonee all'utilizzo a temperatura ambiente.

Il coefficiente di attrito considerato per le sfere portanti in acciaio impiegate in ambiente ottimale e in applicazioni progettate correttamente, è il seguente:

COEFFICIENTE DI FRIZIONE (espresso come % della massa trasportata)	
Alto rendimento	0.5 %
Medio rendimento	2 %
Basso rendimento	3 %

DISPOSIZIONE E POSIZIONAMENTO

La tipologia e l'entità del carico da collocare su ogni singola sfera si calcolano dividendo per 3 il peso totale del carico da movimentare. La cifra risultante rappresenta il maggior peso che ogni sfera portante è in grado di sopportare.

Verificare che il piano d'appoggio sia sufficientemente rigido ed allineato in modo che tutte le sfere portanti che supportano contemporaneamente il carico, siano sottoposte alla stessa sollecitazione prevista.

Allo stesso modo verificare che la superficie del carico da movimentare sia sufficientemente rigida per evitare che le sfere portanti che lo supportano possano solcarla. Considerare comunque un idoneo margine di sicurezza.

Per determinare la distanza tra una sfera portante e l'altra è necessario dividere per 3,5 il lato orizzontale di minor lunghezza del carico. Ad esempio, per una lastra con dimensioni di 700x1000 mm, la distanza

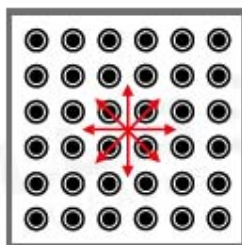
risulterà essere 200 mm (700 : 3,5). Questo è lo spazio necessario tra una sfera portante e l'altra ed è lo spazio che assicura che sulla lunghezza minima del supporto ci siano sufficienti sfere portanti a sostenere il carico.

Per il fissaggio e il posizionamento si utilizzano le classiche tipologie di inserimento in fori prestabiliti o in appoggio sulla base, tramite viti e rivetti nelle versioni con fori di fissaggio o tramite filetti interni od esterni.

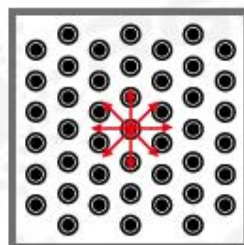
Per il bloccaggio nelle sedi sono disponibili due versioni di anelli di fissaggio in modalità fissa o amovibile.

La disponibilità di una versione con scanalatura ad altezza prestabilita (SPM-R) per l'inserimento degli anelli di fissaggio a norma DIN 471, consente il bloccaggio in fori praticati su piani d'appoggio di spessore variabile. Su richiesta è possibile realizzare questa scanalatura ad altezze diverse e su diverse tipologie di sfere portanti.

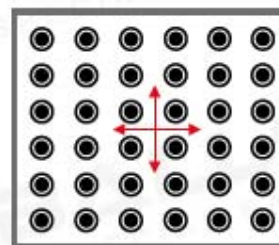
Le disposizioni delle sfere portanti che normalmente si utilizzano sono tre:



A) DISPOSIZIONE QUADRATA



B) DISPOSIZIONE A DIAMANTE



C) DISPOSIZIONE ALLUNGATA

APPLICAZIONI

Le sfere portanti RGP sono utilizzate nelle più svariate applicazioni. Le più comuni comprendono:

- attrezzature aeroportuali di carico e scarico
- macchine per la lavorazione della lamiera
- presse idrauliche
- tavole a sfere
- piattaforme ed attrezzature elevatrici
- trasportatori meccanici
- macchine per la lavorazione del marmo e della ceramica
- carrelli trasportatori
- porta pallets e containers
- pareti mobili
- cancelli scorrevoli
- porte e finestre scorrevoli
- attrezzature per robotica, elettronica ed automazione in genere
- cavalletti porta automobili



SFERE PORTANTI

SERIE "SPM" MASSICCA CON FLANGIA



Alloggiamento con flangia in acciaio tornito e temprato.
Coperchio in acciaio tornito.*
Guarnizione in feltro.**
Foro di scarico sul fondo.
Fornibile in acciaio, acciaio zincato, acciaio inox.
Sfere in acciaio al cromo, acciaio inox AISI420 C, materiale plastico.

pag. 10-11

* SPM 12 - 15 - 25 in lamiera stampata.

** Eccetto SPM 12 - 15 - 25 e versioni con la sfera in materiale plastico.

SERIE "SPM" MASSICCA CON FLANGIA SCANALATURA SEEGER DIN 471



Alloggiamento con flangia in acciaio tornito e temprato.
Scanalatura per anello di fissaggio DIN 471
Coperchio in acciaio tornito.*
Guarnizione in feltro.**
Foro di scarico sul fondo.
Fornibile in acciaio, acciaio zincato, acciaio inox.
Sfere in acciaio al cromo, acciaio inox AISI420 C, materiale plastico.

pag. 12

* SPM 15 in lamiera stampata.

** Eccetto SPM 15 e versioni con la sfera in materiale plastico.

SERIE "SPM-SBM" SUPER MASSICCA PER CARICHI ELEVATI



Alloggiamento in acciaio ad alte prestazioni tornito, cementato e temprato.
Coperchio in acciaio tornito smontabile.*
Guarnizione in feltro.
Foro di scarico sul fondo.
Fornibile in acciaio, acciaio zincato, acciaio inox.
Sfere in acciaio al cromo, acciaio inox AISI420 C.

pag. 13

* Eccetto SPM 60.

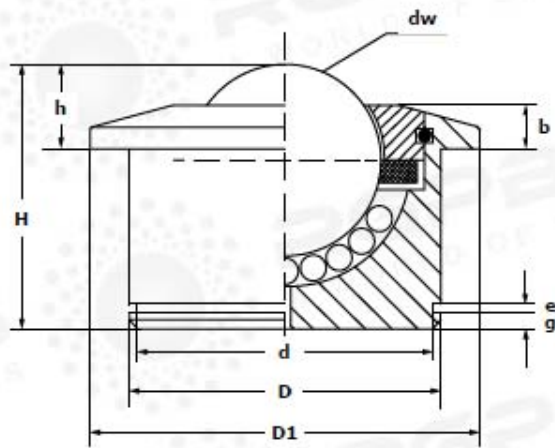
SERIE "SPM CARGO" PER IMPIEGHI AEROPORTUALI, DEPOSITI, PEDANE PER SPEDIZIONIERI



Alloggiamento con flangia in acciaio tornito e temprato.
Coperchio in acciaio tornito.
Senza guarnizione in feltro per garantire una miglior scorrevolezza e minor attrito.
Piattello inox a più fori sul fondo per agevolare la fuoriuscita di liquidi, condensa e impurità.
Fornibile in acciaio zincato con rivestimento sigillante per aumentare la resistenza alla corrosione, acciaio inox.
Sfere in acciaio inox AISI420 C.

pag. 14

Serie "SPM" massiccia con flangia e scanalatura seeger DIN 471



TIPO	g	d	e
SPM 15	2	22,09 +0,1 -0,2	1,3 +0,1 -0
SPM 22	3	34 +0 -0,25	1,85 +0,1 -0,2
SPM 30	4	42,5 +0 -0,25	1,85 +0,1 -0,37
SPM 45	4,5	59 +0 -0,3	2,15 +0,1 -0

- Alloggiamento con flangia in acciaio tornito da barra e temprato, per garantire portate elevate e una maggior resistenza alle sollecitazioni.
- Scanalatura sull'alloggiamento per l'inserimento di anelli di fissaggio a norme DIN 471.*
- Coperchio rinforzato in acciaio tornito (SPM 15 in lamiera stampata).
- Guarnizione in feltro (eccetto SPM 15).
- Foro di scarico sul fondo.
- Tutte le versioni indicate possono essere prodotte anche con la sfera grande in materiale plastico.**

* La scanalatura è realizzabile a richiesta con dimensioni e altezze differenti.

** Per le caratteristiche tecniche, consultare la scheda a pagina 11.

ARTICOLO	TIPO	VERSIONE	DIMENSIONI						PORTATA (Kg)		PESO (Kg)
			dw	D	D1	h	H	b			
SPM01500AR	SPM 15 A-R	Corpo in acciaio, sfere in acciaio al cromo	15	24 ± 0,08	31	9,5 ± 0,2	21	5,5	50	35	0,060
SPM02200AR	SPM 22 A-R		22	36 ± 0,08	45	9,8 ± 0,2	30,5	4	180	125	0,185
SPM03000AR	SPM 30 A-R		30	45 ± 0,08	55	13,8 ± 0,3	36,8	8,5	350	250	0,355
SPM04500AR	SPM 45 A-R		45	62 ± 0,1	75	19 ± 0,4	53,5	10	600	420	0,990
SPM01500BR	SPM 15 B-R	Corpo in acciaio zincato, sfere in acciaio al cromo	15	24 ± 0,08	31	9,5 ± 0,2	21	5,5	50	35	0,060
SPM02200BR	SPM 22 B-R		22	36 ± 0,08	45	9,8 ± 0,2	30,5	4	180	125	0,185
SPM03000BR	SPM 30 B-R		30	45 ± 0,08	55	13,8 ± 0,3	36,8	8,5	350	250	0,355
SPM04500BR	SPM 45 B-R		45	62 ± 0,1	75	19 ± 0,4	53,5	10	600	420	0,990
SPM01500CR	SPM 15 C-R	Corpo in acciaio zincato, sfere in acciaio inox 420C	15	24 ± 0,08	31	9,5 ± 0,2	21	5,5	40	25	0,060
SPM02200CR	SPM 22 C-R		22	36 ± 0,08	45	9,8 ± 0,2	30,5	4	130	90	0,185
SPM03000CR	SPM 30 C-R		30	45 ± 0,08	55	13,8 ± 0,3	36,8	8,5	240	170	0,355
SPM04500CR	SPM 45 C-R		45	62 ± 0,1	75	19 ± 0,4	53,5	10	400	280	0,990
SPM01500SSR	SPM 15SS-R	Corpo, componenti e sfere in acciaio inox 420C	15	24 ± 0,08	31	9,5 ± 0,2	21	5,5	40	25	0,060
SPM02200SSR	SPM 22SS-R		22	36 ± 0,08	45	9,8 ± 0,2	30,5	4	130	90	0,185
SPM03000SSR	SPM 30SS-R		30	45 ± 0,08	55	13,8 ± 0,3	36,8	8,5	240	170	0,355
SPM04500SSR	SPM 45SS-R		45	62 ± 0,1	75	19 ± 0,4	53,5	10	400	280	0,990

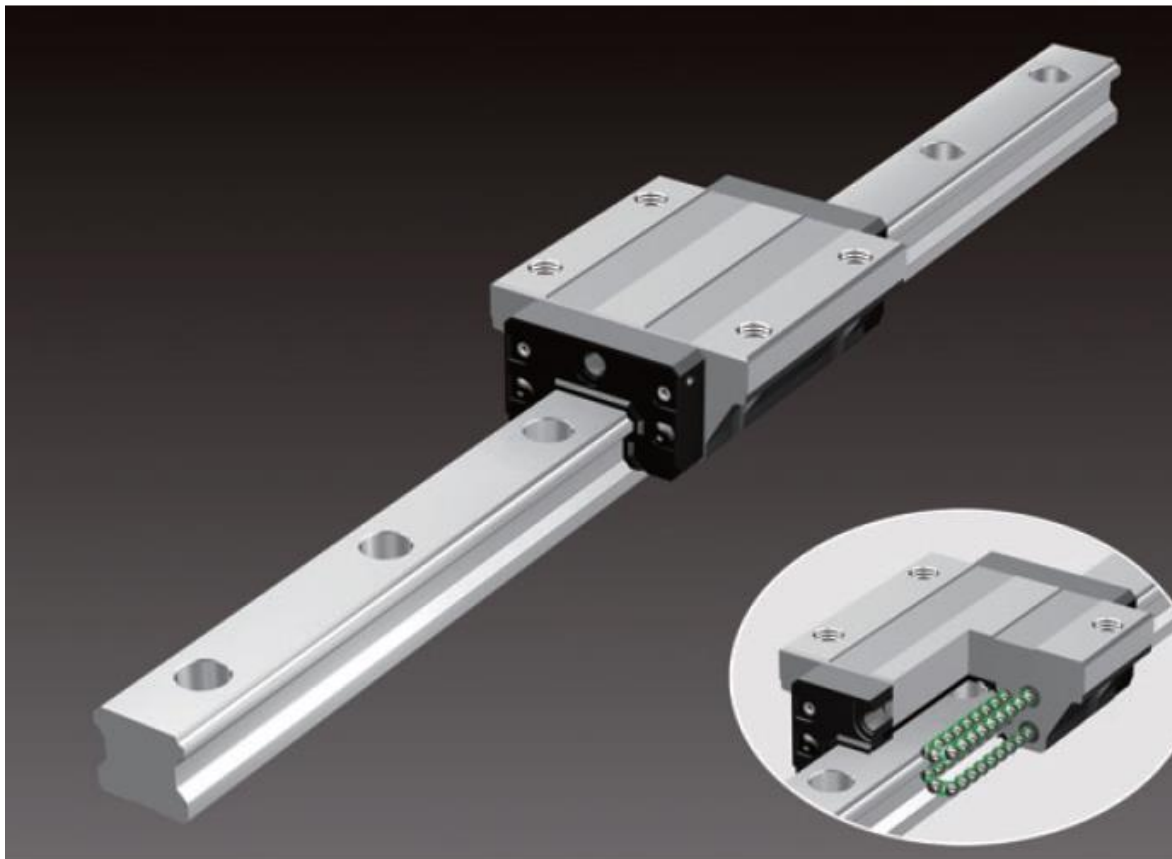


Compliant with
New Accuracy Standards

Caged Ball LM Guide

Ball Cage Effect
Global Standard Size

SHS



THK CO., LTD.
TOKYO, JAPAN

CATALOG No.235-13E

Ball Cage Effect

The early forms of ball bearings were full-ball types without ball cages. Friction between balls caused loud noise, made high-speed rotation impossible and shortened the service life. Twenty years later, a Caged Ball design was developed for ball bearings. The new design enabled high-speed rotation at a low noise level, and extended the service life despite the reduced number of balls used. It marked a major development in the history of ball bearings.

Similarly, the quality of needle bearings was significantly improved by the caged needle structure.

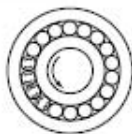
With cage-less, full-ball types of ball bearings, balls make metallic contact with one another and produce loud noise. In addition, they rotate in opposite directions, causing the sliding contact between two adjacent balls to occur at a speed twice the ball-spinning rate. It results in severe wear and shortens the service life.

In addition, without a cage, balls make point contact to increase bearing stress, thus facilitating breakage of the oil film. In contrast, each caged ball contacts the cage over a wide area. Therefore, the oil film does not break, the noise level is low and balls can rotate at a high speed, resulting in a long service life.

- Long Service Life and Long-term Maintenance-free Operation
- Superbly High Speed
- Low Noise, Acceptable Running Sound
- Smooth Motion
- Low Dust Generation



Rotary ball bearing



Conventional structure

- Adjacent balls contact each other at a point. As a result, contact stress is high and the oil film breaks due to friction.
- The service life becomes shorter.



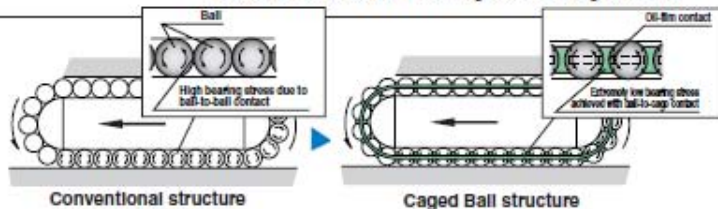
Caged Ball structure

- The service life is prolonged due to the elimination of wear caused by friction between balls.
- The absence of friction between balls results in reduced heat generation during high-speed rotation.
- The absence of friction between balls eliminates collision noise of the balls.
- The even spacing of the balls enables them to move smoothly.
- Retention of lubricant in the ball cage ensures a long service life.

Caged Ball LM Guide

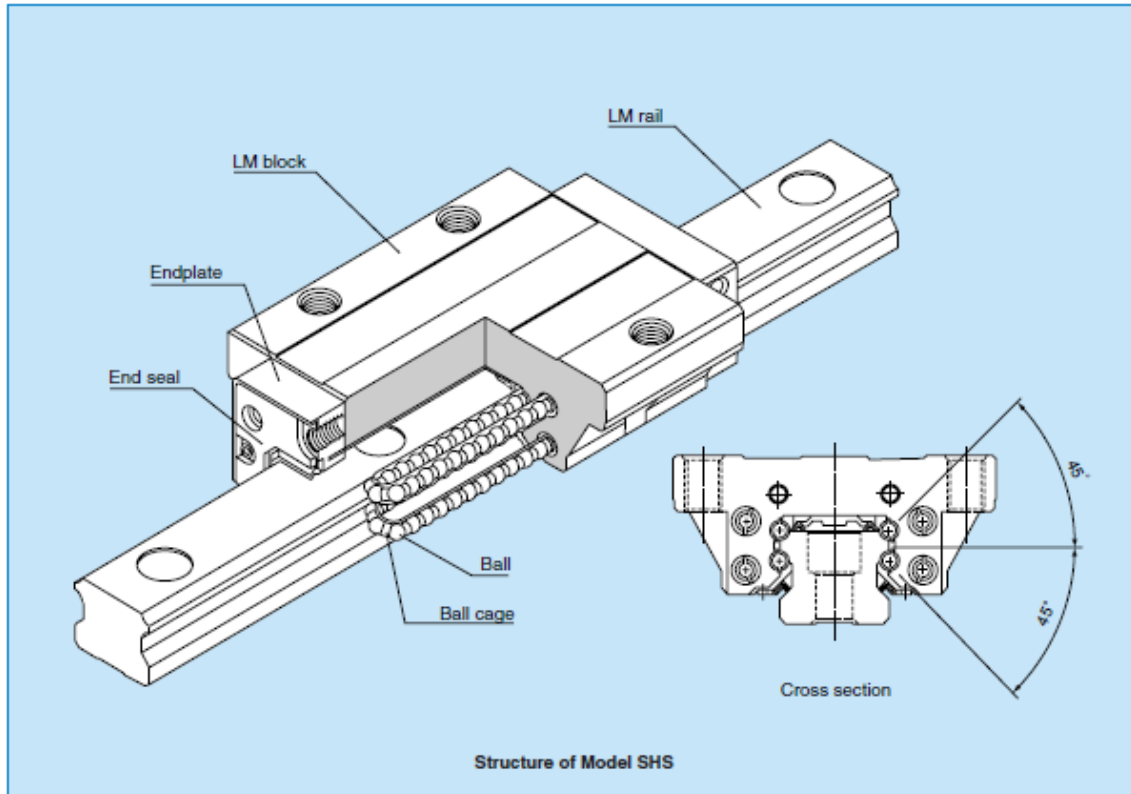
With the Caged Ball LM Guide, the use of a ball cage allows lines of evenly spaced balls to circulate, thus eliminating friction between the balls.

In addition, grease held in a space between the ball circulation path and the ball cage (grease pocket) is applied on the contact surface between each ball and the ball cage as the ball rotates, forming an oil film on the ball surface. This minimizes the risk of oil-film break.



Global Standard Type Caged Ball LM Guide

SHS



Balls roll in four rows of raceways precision-ground on an LM rail and an LM block, and ball cages and endplates incorporated in the LM block allow the balls to circulate.

Each row of balls is placed at a contact angle of 45° so that the rated loads applied to the LM block are uniform in the four directions (radial, reverse-radial and lateral directions), enabling the LM Guide to be used in all orientations. In addition, the LM block can receive a well-balanced preload, increasing the rigidity in the four directions while maintaining a constant, low friction coefficient. With the low sectional height and the high rigidity design of the LM block, SHS achieves highly accurate and stable linear motion.

● 4-way equal load

Each row of balls is placed at a contact angle of 45° so that the rated loads applied to the LM block are uniform in the four directions (radial, reverse-radial and lateral directions), enabling the LM Guide to be used in all orientations and in extensive applications.

● Self-adjustment capability

The self-adjustment capability through Face-to-Face configuration of THK's unique circular-arc grooves (DF set) enables a mounting error to be absorbed even under a preload, thus achieving highly accurate, smooth linear motion.

● Global standard size

SHS is designed to have dimensions almost the same as that of model HSR, which THK as a pioneer of the linear motion system has developed and is practically a global standard model.

● Low center of gravity, high rigidity

As a result of downsizing the LM rail section, the center of gravity is lowered and the rigidity is increased.

THK 2



SHS Outline

Model SHS - Product Overview

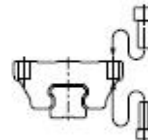
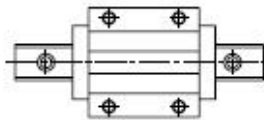
Model SHS has the same dimensions as model HSR, which is the de facto global standard full-ball LM guide, and can be mounted in any orientation since it is 4-way equal load type.

Major applications: Machining center / NC lathe / drilling machine / electric discharge machine / conveyance system.

Model SHS-C

The flange of the LM block has tapped holes. It can be mounted from the top or the bottom. It can be used in places where the table cannot have through holes for mounting bolts.

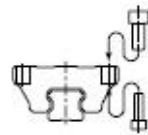
- SHS 15C ● SHS 35C
- SHS 20C ● SHS 45C
- SHS 25C ● SHS 55C
- SHS 30C ● SHS 65C



Model SHS-LC

The LM block has the same sectional shape as model SHS-C, but has a longer overall LM block length (L) and a greater rated load capacity.

- SHS 15LC ● SHS 35LC
- SHS 20LC ● SHS 45LC
- SHS 25LC ● SHS 55LC
- SHS 30LC ● SHS 65LC



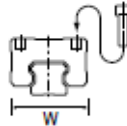
SHS OUTLINE

Model SHS - Product Overview

Model SHS-V

The LM block has a smaller width (W) and is equipped with tapped holes. It is suitable for places where space for the table width is limited.

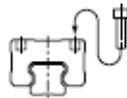
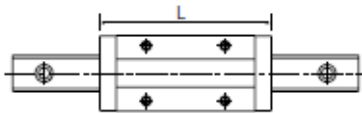
- | | |
|-----------|-----------|
| ● SHS 15V | ● SHS 35V |
| ● SHS 20V | ● SHS 45V |
| ● SHS 25V | ● SHS 55V |
| ● SHS 30V | ● SHS 65V |



Model SHS-LV

The LM block has the same sectional shape as model SHS-V, but has a longer overall LM block length (L) and a greater rated load capacity.

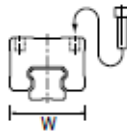
- | | |
|------------|------------|
| ● SHS 15LV | ● SHS 35LV |
| ● SHS 20LV | ● SHS 45LV |
| ● SHS 25LV | ● SHS 55LV |
| ● SHS 30LV | ● SHS 65LV |



Model SHS-R

The LM block has a smaller width (W) and the mounting holes are tapped. It succeeds the height dimension of full-ball type LM Guide HSR-R.

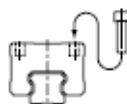
- | | |
|-----------|-----------|
| ● SHS 15R | ● SHS 35R |
| ● SHS 25R | ● SHS 45R |
| ● SHS 30R | ● SHS 55R |



Model SHS-LR

The LM block has the same sectional shape as model SHS-R, but has a longer overall LM block length (L) and a greater rated load capacity.

- | | |
|------------|------------|
| ● SHS 25LR | ● SHS 45LR |
| ● SHS 30LR | ● SHS 55LR |
| ● SHS 35LR | |

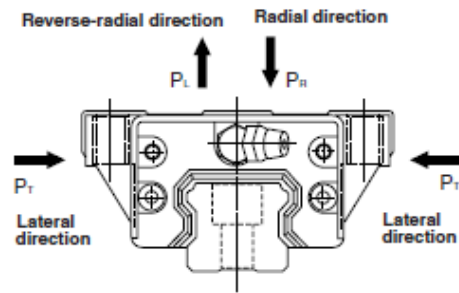


*1: Dimensional table for model SHS
 Model SHS-C / SHS-LC
 → pages 11-12
 Model SHS-V / SHS-LV
 → pages 13-14
 Model SHS-R / SHS-LR
 → pages 15-16

Rated Loads in All Directions

Model SHS is capable of receiving loads in all four directions: radial, reverse-radial and lateral directions.

The basic load ratings are uniform in the four directions (radial, reverse-radial and lateral directions), and their actual values are provided in the dimensional table*1 for SHS.



Equivalent Load

When the LM block of model SHS receives loads in all directions simultaneously, the equivalent load is obtained from the equation below.

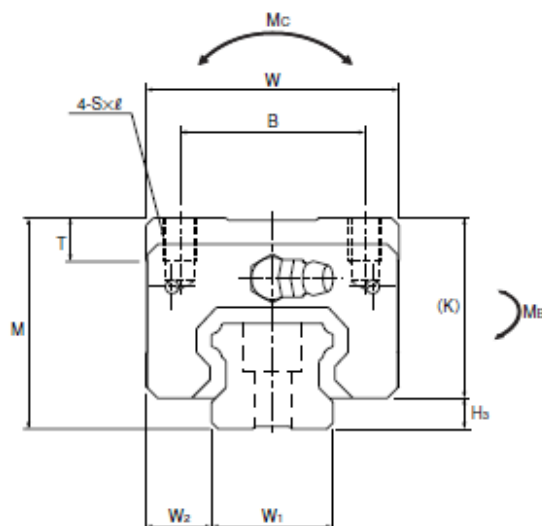
$$P_E = P_R (P_L) + P_T$$

where

P_E : Equivalent load	(N)	P_R : Radial load	(N)
- Radial direction		P_L : Reverse-radial load	(N)
- Reverse-radial direction		P_T : Lateral load	(N)
- Lateral direction			

Models SHS-R/SHS-LR

Dimensional Table for Models SHS-R/SHS-LR



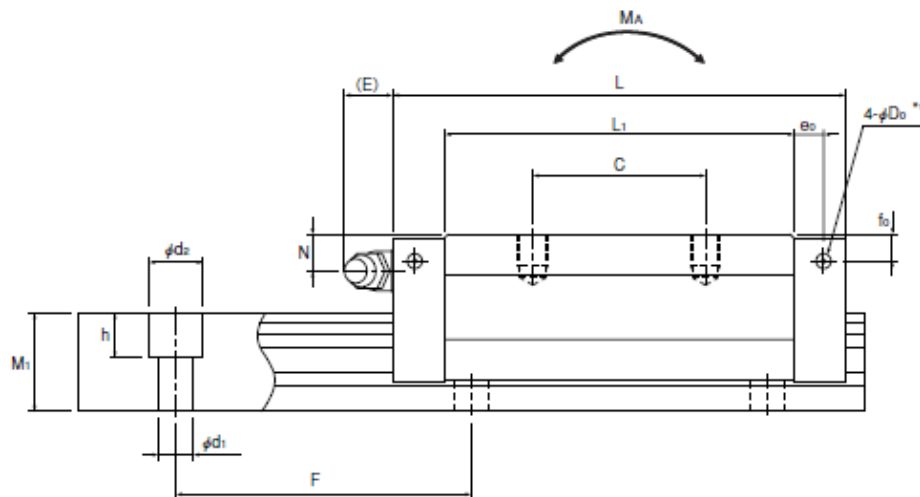
Model No.	Outer dimensions			LM block dimensions									Grease nipple
	Height M	Width W	Length L	B	C	S×ℓ	L	T	K	N	E		
SHS 15R	28	34	64.4	26	26	M4×5	48	5.9	25	9.5	5.5	PB1021B	
SHS 25R	40	48	92	35	35	M6×8	71	8	34.2	11.5	12	B-M6F	
SHS 25LR			109				88						
SHS 30R	45	60	106	40	40	M8×10	80	8	38	11	12	B-M6F	
SHS 30LR			131				105						
SHS 35R	55	70	122	50	50	M8×12	93	14.7	47.5	15	12	B-M6F	
SHS 35LR			152				123						
SHS 45R	70	86	140	60	60	M10×17	106	14.9	61.1	20.5	16	B-PT1/8	
SHS 45LR			174				140						
SHS 55R	80	100	171	75	75	M12×18	131	19.4	67.3	21	16	B-PT1/8	
SHS 55LR			213				173						

Example of model number coding

SHS45 LR 2 QZ KKHH C0 +1200L P Z - II

- 1 Model number
- 2 Type of LM block
- 3 No. of LM blocks used on the same rail
- 4 With QZ Lubricator
- 5 Contamination protection accessory symbol (see page 19)
- 6 Radial clearance symbol (see page 7)
- 7 LM rail length (in mm)
- 8 Accuracy symbol (see page 8)
- 9 With steel tape
- 10 No. of rails used on the same plane

Note This model number indicates that an LM block and an LM rail constitute one set (i.e., the required number of sets when 2 rails are used in parallel is 2). Those models equipped with QZ Lubricator cannot have a grease nipple.



Unit: mm

Pilot holes for side nipples			LM rail dimensions							Basic load rating		Static permissible moment [kN-m] ³					Mass	
e _s	f _s	D _s	H _s	Width W _g -0.005	W _s	Height M _s	Pitch F	d _s ×d _s ×h	Length Max ²	C [kN]	C ₀ [kN]	M _A		M _B		M _C	LM block [kg]	LM rail [kg/m]
												1 block	Double blocks	1 block	Double blocks	1 block		
4	8	3	3	15	9.5	13	60	4.5×7.5×5.3	2500	14.2	24.2	0.175	0.898	0.175	0.898	0.16	0.22	1.3
6	9.5	3	5.8	23	12.5	20	60	7×11×9	3000	31.7 36.8	52.4 64.7	0.566 0.848	2.75 3.98	0.566 0.848	2.75 3.98	0.563 0.896	0.66 0.8	3.2
5.5	9	5.2	7	28	16	23	80	9×14×12	3000	44.8 54.2	66.6 88.8	0.786 1.36	4.08 6.6	0.786 1.36	4.08 6.6	0.865 1.15	1.04 1.36	4.5
6.5	12.5	5.2	7.5	34	18	26	80	9×14×12	3000	62.3 72.9	96.6 127	1.38 2.34	6.76 10.9	1.38 2.34	6.76 10.9	1.53 2.01	1.8 2.34	6.2
8	18	5.2	8.9	45	20.5	32	105	14×20×17	3090	82.8 100	126 166	2.05 3.46	10.1 16.3	2.05 3.46	10.1 16.3	2.68 3.53	3.24 4.19	10.4
10	18	5.2	12.7	53	23.5	38	120	16×23×20	3060	128 161	197 259	3.96 6.68	19.3 31.1	3.96 6.68	19.3 31.1	4.9 6.44	5.05 6.57	14.5

Note *1 Pilot holes for side nipples are not drilled through in order to prevent foreign material from entering the product. THK will mount grease nipples per your request. Therefore, do not use the side nipple pilot holes for purposes other than mounting a grease nipple.

*2 The maximum length under "Length" indicates the standard maximum length of an LM rail.

*3 Static permissible moment: 1 block: permissible static moment value with 1 LM block
Double blocks: permissible static moment value with 2 blocks closely contacting with each other

SHS

Standard Length and Maximum Length of the LM Rail

The table below shows the standard LM rail lengths and the maximum lengths of model SHS variations. If the maximum length of the desired LM rail exceeds them, connected rails will be used. Contact THK for details.

For the G dimension when a special length is required, we recommend selecting the corresponding G value from the table. The longer the G dimension is, the less stable the G area may become after installation, thus adversely affecting accuracy.



Standard Length and Maximum Length of the LM Rail for Model SHS

Unit: mm

Model No.	SHS 15	SHS 20	SHS 25	SHS 30	SHS 35	SHS 45	SHS 55	SHS 65
Standard LM rail length (L ₀)	160	220	220	280	280	570	780	1270
	220	280	280	360	360	675	900	1570
	280	340	340	440	440	780	1020	2020
	340	400	400	520	520	885	1140	2620
	400	460	460	600	600	990	1260	
	460	520	520	680	680	1095	1380	
	520	580	580	760	760	1200	1500	
	580	640	640	840	840	1305	1620	
	640	700	700	920	920	1410	1740	
	700	760	760	1000	1000	1515	1860	
	760	820	820	1080	1080	1620	1980	
	820	940	940	1160	1160	1725	2100	
	940	1000	1000	1240	1240	1830	2220	
	1000	1060	1060	1320	1320	1935	2340	
	1060	1120	1120	1400	1400	2040	2460	
	1120	1180	1180	1480	1480	2145	2580	
	1180	1240	1240	1560	1560	2250	2700	
	1240	1360	1300	1640	1640	2355	2820	
	1360	1480	1360	1720	1720	2460	2940	
	1480	1600	1420	1800	1800	2565	3060	
1600	1720	1480	1880	1880	2670			
		1840	1960	1960	2775			
		1960	2040	2040	2880			
		2080	2200	2200	2985			
		2200	2360	2360	3090			
			1960	2520	2520			
			2080	2680	2680			
			2200	2840	2840			
			2320	3000	3000			
			2440					
Standard pitch F	60	60	60	80	80	105	120	150
G	20	20	20	20	20	22.5	30	35
Max length	2500	3000	3000	3000	3000	3090	3060	3000

Note 1: The maximum length varies with accuracy grades. Contact THK for details.

Note 2: If connected rails are not allowed and a greater length than the maximum values above is required, contact THK.

A.2 - Cataloghi

A.2.1 - Boccole in bronzo

BOCCOLE AUTOLUBRIFICANTI SINTERIZZATE



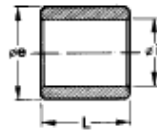
Composizione = bronzo / bronzo-ferro / ferro / acc. Inox AISI 304 o 316

Adatte per elevate velocità e carichi ridotti - Possibilità di lubrificante a secco (grafite o bisolfuro di molibdeno)
Buon coefficiente d'attrito - Funzionamento silenzioso - Tolleranze ristrette.

Tolleranze consigliate per gli alberi: h7 - Tolleranze consigliate per le sedi: H7

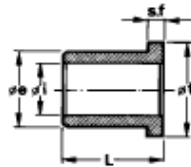
Tolleranze standard sul foro: F7 per bronzo - E7 per ferro - Sul diametro esterno bronzo e ferro: r7

		Bronzo 90% Cu - 10% Sn	Ferro 99,9%
Densità	(gr./cm ³)	6,4 ~ 6,8	5,7 ~ 5,9
Carico statico	(kg./cm ²)	200	500
carico dinamico	(PV=kg./cm ² x m/sec.)	18	13
Velocità lineare max	(m./sec.)	7	5
Volume olio impregnazione	(%)	22	22
Durezza	(HB=kg./cm ²)	25	35
Coefficiente d'attrito		0,030	0,025
Resistenza alla trazione	(kg./xmm ²)	10 ~ 20	18 ~ 26
Allungamento	(%)	1 ~ 2,5	2 ~ 4
temperatura max (standard)	(°C)	-20 ~ +120	-20 ~ +120
Temperatura max grafite /MOS2	(°C)	-40 ~ +300	-



BRONZO STANDARD tipo C

Codice	Ø i mm	Ø e mm	L mm	Codice	Ø i mm	Ø e mm	L mm	Codice	Ø i mm	Ø e mm	L mm
3C6	3	6	4-5-6-8	12C18	12	18	12-18-25	30C38	30	38	30-38-45-50
3C8	3	8	6	14C18	14	18	14-15-18-19-22-26	30C40	30	40	25-30-40-50
4C8	4	8	4-8-10-12	14C20	14	20	14-15-20-25-28-30	35C40	35	40	30-35-40-45
4C10	4	10	4-10-12	15C20	15	20	12-15-20-24-25-28-40	35C42	35	42	35-42-50
5C8	5	8	8-10	15C21	15	21	15-21-30	35C45	35	45	25-35-45-50
5C10	5	10	5-10-12-14	15C22	15	22	15-22-30	40C50	40	50	40-50-80
5C12	5	12	5-12-14	16C20	16	20	15-16-20-28-30	45C55	45	55	45-55-60-65
6C8	6	8	8	16C21	16	21	16-21-30	50C60	50	60	50-60-70
6C10	6	10	6-10-12-14	16C22	16	22	16-22-25-30	55C70	55	70	75
6C12	6	12	6-12-15-25	18C24	18	24	18-24-28-30-40	60C70	60	70	50-60-70-80
6C14	6	14	6-12-14-16	18C25	18	25	18-25-30-36	60C75	60	75	60-75-80
8C12	8	12	8-10-12-14-16	20C23	20	23	20-24	65C80	65	80	80
8C14	8	14	8-14-16	20C24	20	24	20-24-30	70C80	70	80	70-80-90
8C16	8	16	8-10-16-18-25	20C25	20	25	15-20-22-25-28-34-40	75C90	75	90	60
10C13	10	13	10-12-18	20C26	20	26	20-26-30-40	80C95	80	95	70-80-90
10C14	10	14	10-14-15-18-20	20C28	20	28	20-28-40	85C100	85	100	100
10C15	10	15	10-15-20	20C30	20	30	20	90C100	90	100	90-100
10C16	10	16	10-15-16-20-25	22C28	22	28	22-28-30-40	100C120	100	120	90-120
12C14	12	14	16	25C30	25	30	20-25-30-35-40	120C130	120	130	65
12C15	12	15	7,5-8-12,8-15-18	25C32	25	32	25-32-35-40	140C155	140	155	25-65
12C16	12	16	12-15-16-20-23-30	25C35	25	35	15-25-35-40-50	160C175	160	175	50
12C17	12	17	12-24	30C35	30	35	25-30-35-40				



BRONZO STANDARD tipo F

Codice	Ø i mm	Ø e mm	Ø f mm	S.f.	L mm	Codice	Ø i mm	Ø e mm	Ø f mm	S.f.	L mm
5F10	5	10	12	2	7-12-20	17F25	17	25	32	4	17-25-35
6F12	6	12	14	2	8-13-20	18F25	18	25	32	4	18-25-35
7F12	7	12	16	2,5	8-14-20	20F28	20	28	35	4	20-25-35
8F14	8	14	18	3	8-14-20	22F32	22	32	40	5	40
9F14	9	14	18	3	9-14-20	25F30	25	30	40	4	16
10F14	10	14	18	3	10-14-20	25F32	25	32	40	5	25-32-40
10F15	10	15	19	2	20	25F35	25	35	45	5	25-35-45
10F16	10	16	20	3	10-16-20	28F40	28	40	50	5	50
12F16	12	16	20	2	12-16-25	30F35	30	35	40	3	30-35-40
12F18	12	18	22	3	12-18-25	30F40	30	40	50	5	30-42-55
13F18	13	18	20	2,5	13	35F45	35	45	55	5	25-35-45-50
14F20	14	20	25	3	12-14-20-25	40F50	40	50	60	6	40-50-60
15F20	15	20	24	2,5	12-17,5-30	45F55	45	55	65	6	45-55-65
15F22	15	22	28	3	15-22-30	50F60	50	60	70	6	50-60-70
16F22	16	22	28	3,5	16-22-30	60F75	60	75	85	6	60
16F223	16	22	28	4	32	80F95	80	95	105	8	70

A.2.2 - Testine snodate

Teste a snodo

Rod ends



Sigla ¹⁾ Designation ¹⁾		Dimensioni mm Dimensions mm																	Gradi Degrees	Distanza dagli spigoli Distance from edges (mm.)	Carico Ratings load		Peso Weight	
senza tenuta without seal	con tenuta with seal	d	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	B	C ₁	D	h ₁	W	l ₃	l ₄	l ₅	l ₆	l ₇	≈ α	r _{15min}	Dinamico C Dinamic C	Statico C ₀ Static C ₀	C ₀ KN	≈ Kg
SI 5 E ²⁾	-	5	7	21	M 5x0,8	10	13	-	6	4,4	-	30	10	11	40,5	5	-	13	0,3	3,4	8,1	0,016		
SI 6 E ²⁾	-	6	8	21	M 6x1	10,5	13	10	6	4,4	14	30	11	11	40,5	5	10,5	13	0,3	3,4	8,15	0,021		
SI 8 E ²⁾	-	8	10,2	24	M 8x1,25	12	15	13	8	6	16	36	13	15	48	5	12	15	0,3	5,5	12,9	0,039		
SI 10 E ²⁾	-	10	13,2	29	M 10x1,5	15	18	16	9	7	19	43	15	20	57,5	6,5	14	12	0,3	8,15	17,6	0,061		
SI 12 E ²⁾	-	12	15	34	M 12x1,75	17	20	18	10	8	22	50	18	24	67	6,5	17,5	11	0,3	10,8	24,5	0,096		
SI 15 ES ³⁾	SI 15 ES 2RS	15	18,4	40	M 14x2	20	24	22	12	10	26	61	21	30	81	8	20	8	0,3	17	36	0,18		
SI 17 ES ³⁾	SI 17 ES 2RS	17	20,7	46	M 16x2	23	28	25	14	11	30	67	24	34	90	10	23	10	0,3	21,2	45	0,22		
SI 20 ES ³⁾	SI 20 ES 2RS	20	24,1	53	M 20x1,5	27,5	35	29	16	13	35	77	32	40	103,5	10	27,5	9	0,6	30	60	0,35		
SI 25 ES	SI 25 ES 2RS	25	29,3	64	M 24x2	33,5	42	35,5	20	17	42	94	36	48	126	12	32	7	0,6	48	83	0,64		
SI 30 ES	SI 30 ES 2RS	30	34,2	73	M 30x2	40	50	40,7	22	19	47	110	41	56	146,5	15	37	6	0,6	62	110	0,93		
SI 35 ES	SI 35 ES 2RS	35	39,7	82	M 36x3	47	58	47	25	21	55	125	50	60	166	15	42	6	0,6	80	146	1,3		
SI 40 ES	SI 40 ES 2RS	40	45	92	M 39x3	52	65	53	28	23	62	142	55	67	188	18	48	7	0,6	100	180	2		
SI 45 ES	SI 45 ES 2RS	45	50,7	102	M 42x3	58	70	60	32	27	68	145	60	65	196	20	52	7	0,6	127	240	2,5		
SI 50 ES	SI 50 ES 2RS	50	56	112	M 45x3	62	75	66	35	30	75	160	65	69	216	20	59	6	0,6	156	290	3,5		
SI 60 ES	SI 60 ES 2RS	60	66,8	135	M 52x3	70	88	80	44	38	90	175	75	73	242	20	75	6	1	245	450	5,9		
SI 70 ES	SI 70 ES 2RS	70	77,8	160	M 56x4	80	98	92	49	42	105	200	85	80	280	20	87	6	1	315	610	8,6		
SI 80 ES	SI 80 ES 2RS	80	89,4	180	M 64x4	95	110	105	55	47	120	230	100	85	320	25	100	6	1	400	695	12		

Su richiesta, disponibili in acciaio inox (anello interno AISI 440 C - fusione AISI 304)

Appendice B

Comandi di Ansys APDL utilizzati

Vengono qui riportati gli script APDL utilizzati per le analisi strutturali numeriche dei componenti del sistema di centraggio, esposte nel paragrafo 3.5. In tutte le analisi fatte, si è partiti importando la geometria del componente da studiare in Ansys. Le geometrie importate sono state precedentemente modellate con CAD 3D e poi trasformate in formato IGES per l'importazione.

B.1 - Script APDL della sagoma angolare delle ruote di battuta

```
!-----initializing-----
FINISH
/CLEAR, START
/TITLE, analisi strutturale sagoma angolare ruota di battuta
/CONFIG,NRES,100000 !maximum number of substeps allowed on the result file

!-----geometry import-----

/AUX15

IOPTN,IGES,NODEFEAT      !no defeaturing
IOPTN,MERG,YES          !automatic merging of entities
IOPTN,SOLID,YES         !solid is created automatically
IOPTN,SMALL,YES        !small areas are deleted
IOPTN,GTOLER,0.00001   !merging tolerance

IGESIN,'angolare_ruota','igs'

FINISH
!-----model definition-----
/PREP7                  !enters the model creation preprocessor

ET,1,PLANE183          !3-D 20-Node Structural Solid
KEYOPT,1,1,0
KEYOPT,1,3,3           !OPZIONE SULL'ELEMENTO, CON SPESSORE
KEYOPT,1,6,0
R,1,8                  !DEFINISCO SPESSORE 8 PER ELEMENT TYPE 1
MP,EX,1,206000         !MODULO E
MP,PRXY,1,0.3          !MODULO POISSON
```

ET,2,LINK180 !ELEMENTO LINK180
KEYOPT,2,2,1 !RIGIDO
SECTYPE,2,LINK !INTERPELLA SEZIONE DEL LINK180
SECDATA,100 !AREA
MP,EX,2,500000
MP,PRXY,2,0.3

!-----GEOMETRY definition-----

!CANCELO PARTE DELLA GEOMETRIA E LASCIO SOLO LA SUPERFICIE DI INTERESSE
VDELE,1,1,1,0 !CANCELLA VOLUME

ADELE,26,48,1,1 !CANCELLA L'AREA E MANTIENI SOLO LE LINEE DEL CERCHIO

LDIV,59,0.5,,0 !DIVIDI RAGGIO RACCORDO IN 2 PARTI

!-----CREO GEOMETRIA PER I CARICHI E VINCOLI-----

!FORO_FULCRO

L,1,2
LDIV,23,0.5,,0
LDIV,2,0.2,,5,0
LDIV,1,0.2,,5,0
L,6,5
L,10,5
L,11,5
L,12,5
L,16,5
L,17,5
L,18,5
L,22,5

!FORO_RUOTA

L,13,14
LDIV,41,0.5,,0
LDIV,6,0.2,,5,0
LDIV,5,0.2,,5,0
L,27,25
L,30,25
L,32,25
L,37,25
L,39,25
L,42,25
L,44,25
L,47,25

!FORO_PUNTONE

L,7,8
LDIV,60,0.5,,0

LDIV,4,0.2,,5,0
LDIV,3,0.2,,5,0
L,52,49
L,54,49
L,55,49
L,56,49
L,57,49
L,58,49
L,59,49
L,60,49

ALLS,ALL

!VINCOLO IL FULCRO

DK,5,UX

DK,5,UY

DK,5,UZ

!VINCOLO IL FORO RUOTA

DK,25,UX

DK,25,UY

DK,25,UZ

!VINCOLO IL FORO PUNTONE

DK,49,UZ

!-----

!FORZA PUNTUALE SUL KP DEL FORO PUNTONE

FK,49,FX,-2798,

FK,49,FY,3284,

!-----

ALLSELL

APLOT,ALL

/REPLOT,FAST

!MESH AREA

ALLSEL,BELOW,AREA

TYPE,1

MSHAPE,1,3D

!-----

ESIZE,1 !DIMENSIONE ELEMENTO

!-----

LESIZE,22,0.25,,, !AFFINA MESH

LESIZE,59,0.25,,,

LESIZE,12,0.5,,,0.4

LESIZE,13,0.5,,,2.5

MSHKEY,0 !MESH FREE

AMESH,25,25,1 !MESH DELL'AREA

ALLSELL

APLOT,ALL

!MESH LINEE DI VINCOLO

```

ALLSEL,BELOW,LINE
TYPE,2
ESIZE,,1          !DIMENSIONE ELEMENTO
MSHKEY,0          !MESH FREE
LMESH,23,24,1     !MESH DELLE LINEE
LMESH,33,40,1
LMESH,41,42,1     !MESH DELLE LINEE
LMESH,51,58,1
LMESH,60,61,1     !MESH DELLE LINEE
LMESH,70,77,1

```

```

ALLSELL
APLOT,ALL

```

```

!-----SOLUTION-----
/SOL
SOLVE
FINISH

```

B.2 - Script APDL dell'angolare attacco pistone

```

!-----initializing-----
FINISH
/CLEAR, START
/TITLE, analisi_strutturale_angolare_attacco_pistone
/CONFIG,NRES,100000 !maximum number of substeps allowed on the result file

```

```

!-----geometry import-----

```

```

/AUX15

```

```

IOPTN,IGES,NODEFEAT    !no defeaturing
IOPTN,MERG,YES         !automatic merging of entities
IOPTN,SOLID,YES        !solid is created automatically
IOPTN,SMALL,YES        !small areas are deleted
IOPTN,GTOLER,0.00001  !merging tolerance

```

```

IGESIN,'angolare_attacco_cilindro','igs'

```

```

FINISH

```

```

!-----model definition-----
/PREP7          !enters the model creation preprocessor

```

```

ET,1,SOLID186        !3-D 20-Node Structural Solid
MP,EX,1,206000       !MODULO E
MP,PRXY,1,0.3        !MODULO POISSON

```

```

!DIVISIONE DELL'AREA 22 CON SUPERFICIE CIRCOLARE

```

```

VDELE,1,1,1,0       !CANCELLA VOLUME
WPROTA,0,0,90        !RUOTA WP
CYL4,60,0,0,0,40,360,, !CREA AREA CIRCOLARE con le coordinate DEL WP
ADELE,1,1,1,0       !CANCELLA L'AREA E MANTIENI SOLO LE LINEE DEL CERCHIO

```

```

ADELE,22,22,1,0      !CANCELLA L'AREA dove poggia il cerchio
AL,47,48,49,50      !CREA AREA
AL,47,48,49,50,1,7,28,29 !CREA AREA
LDIV,7,0.5,,,0      !CREA I 2 KP PER LA FRECCIA E LA VM
LDIV,43,0.5,,,0
LDIV,44,0.5,,,0
L,13,14
ASBL,39,54,,DELETE,KEEP
LDIV,54,0.5,,,0
ALLS,ALL
VA,ALL              !RICREA IL VOLUME

```

```

!VINCOLO L'AREA DELLA BASE
DA,32,ALL,,

```

```

!PRESSIONE SULL'AREA CIRCOLARE
SFA,1,1,PRES,1.051,0

```

```

ALLSELL
APLOT,ALL
/PNUM,AREA,1
/REPLOT,FAST
/ANGLE,1,90,XS,1
/ANGLE,1,-30,YS,1
/REPLOT,FAST

```

```

!MESH
ALLSEL,BELOW,VOLU
TYPE,1
MSHAPE,1,3D
ESIZE,1      !DIMENSIONE ELEMENTO
AESIZE,3,0.5 !affinamento mesh
AESIZE,4,0.5 !affinamento mesh
MSHKEY,0     !MESH FREE
VMESH,1,1,1  !MESH DEL VOLUME

```

```

!-----SOLUTION-----

```

```

/SOL
SOLVE
FINISH

```

B.3 - Script APDL del cordone di saldatura dell'angolare attacco pistone

```

!-----initializing-----
FINISH
/CLEAR, START
/TITLE, analisi_strutturale_angolare_attacco_pistone
/CONFIG,NRES,100000 !maximum number of substeps allowed on the result file

```

!-----geometry import-----

/AUX15

IOPTN,IGES,NODEFEAT !no defeaturing
IOPTN,MERG,YES !automatic merging of entities
IOPTN,SOLID,YES !solid is created automatically
IOPTN,SMALL,YES !small areas are deleted
IOPTN,GTOLER,0.00001 !merging tolerance

IGESIN,'angolare_attacco_cilindro','igs'

FINISH

!-----model definition-----

/PREP7 !enters the model creation preprocessor

ET,1,SOLID186 !3-D 20-Node Structural Solid
MP,EX,1,206000 !MODULO E
MP,PRXY,1,0.3 !MODULO POISSON
!DIVISIONE DELL'AREA 22 CON SUPERFICIE CIRCOLARE
VDELE,1,1,1,0 !CANCELLA VOLUME
WPROTA,0,0,90 !RUOTA WP
CYL4,60,0,0,0,40,360,, !CREA AREA CIRCOLARE con le coordinate DEL WP
ADELE,1,1,1,0 !CANCELLA L'AREA E MANTIENI SOLO LE LINEE DEL CERCHIO
ADELE,22,22,1,0 !CANCELLA L'AREA dove poggia il cerchio
AL,47,48,49,50 !CREA AREA
AL,47,48,49,50,1,7,28,29 !CREA AREA
LDIV,7,0.5,,,0 !CREA I 2 KP PER LA FRECCIA E LA VM
LDIV,43,0.5,,,0
LDIV,44,0.5,,,0
L,13,14
ASBL,39,54,,DELETE,KEEP
LDIV,54,0.5,,,0
ALLS,ALL
!-----creo area controllo saldatura-----
LANG,5,18,90,,
LANG,56,19,90,,
LGEN,2,17,17,1,0,-8,0,,
L,21,25
L,31,22
L,30,31
L,33,25
ASBL,24,57,,
ASBL,6,59,,
ADELE,21,21,1,0
AL,1,2,3,4,5,61,60,62,58,6
AL,16,57,61,64
AL,17,64,60,63
AL,63,15,62,59
ADELE,26,26,1,0
ADELE,7,7,1,0
VA,ALL !RICREA IL VOLUME


```
AL,56,62,60,61
AL,9,59,56,57
AL,9,16,17,15
VA,9,10,11,13,12,7
```

```
ALLSEL
```

```
!VINCOLO L'AREA DELLA BASE
DA,32,ALL,,
```

```
!PRESSIONE SULL'AREA CIRCOLARE
SFA,1,1,PRES,1.051,0
```

```
ALLSEL
APLOT,ALL
/PNUM,AREA,1
/REPLOT,FAST
/ANGLE,1,90,XS,1
/ANGLE,1,-30,YS,1
/REPLOT,FAST
```

```
!MESH
ALLSEL,BELOW,VOLU
TYPE,1
MSHAPE,1,3D
ESIZE,1      !DIMENSIONE ELEMENTO
AESIZE,9,0.5 !AFFINAMENTO MESH SULL'AREA PIEDE CORDONE SALDATURA
MSHKEY,0     !MESH FREE
VMESH,1,2,1  !MESH DEL VOLUME
!-----SOLUTION-----
/SOL
SOLVE
FINISH
```

```
VSEL,S,,,2,2,1,,
NSLV,S,1
ESLN,S,1,ALL
```

```
LSEL,S,,,16,16,1,,
NSLL,S,1
```

```
!ASEL,S,,,9,9,1,,
!NSLA,S,1
```


Appendice C

Datasheet e cataloghi dei componenti utilizzati nella progettazione del Sistema di sollevamento

Verranno di seguito riportati i datasheet ed i cataloghi relativi ai vari componenti standard utilizzati nella progettazione del sistema di sollevamento.

C.1 - Datasheet

C.1.1 - Servomoteur Schneider electric

Fiche produit
Caractéristiques

BMH0701T16A2A

MOTEUR 70MM IEC 1,4NM IP54 400W CLAV.
ENC. SINCOS MONOT.16 CONN.ANG.



Principales

Fonction produit	Servo moteur
Nom abrégé de l'appareil	BMH
Vitesse mécanique maximum	8000 Tr/mn
Couple continu à l'arrêt	1.4 N.m pour LXM32.D18M2 6 A à 115 V monophasé 1.4 N.m pour LXM32.U90M2 3 A à 230 V monophasé
Couple crête à l'arrêt	4.2 N.m pour LXM32.D18M2 6 A à 115 V monophasé 4 N.m pour LXM32.U90M2 3 A à 230 V monophasé
Puissance de sortie nominale	450 W pour LXM32.U90M2 3 A à 230 V monophasé 350 W pour LXM32.D18M2 6 A à 115 V monophasé
Couple nominal	1.35 N.m pour LXM32.D18M2 6 A à 115 V monophasé 1.1 N.m pour LXM32.U90M2 3 A à 230 V monophasé
Vitesse nominale	2500 tr/mn pour LXM32.D18M2 6 A à 115 V monophasé 4000 tr/mn pour LXM32.U90M2 3 A à 230 V monophasé
Compatibilité produit	LXM32.U90M2 à 230 V monophasé LXM32.D18M2 à 115 V monophasé
Extrémité d'arbre	À l'aide des touches
Degré de protection IP	IP54 (standard)
Résolution du retour vitesse	32768 points/tour
Frein de parking	Sans
Support de montage	Bride conforme à la norme internationale
Raccordement électrique	Connecteurs orientables à angle droit

Complémentaires

Compatibilité de gamme	Lexium 32
[Us] tension d'alimentation	240 V
Nombre de phases réseau	Triphasé
Courant continu à l'arrêt	2.85 A
Alimentation continue	1.05 W
Courant maximal Irms	9.6 A pour LXM32.D18M2 9.6 A pour LXM32.U90M2
Courant permanent maximum	9.56 A
Second arbre	Sans avec deuxième extrémité d'arbre
Diamètre de l'axe	11 mm
Longueur de l'axe	23 mm
Largeur clavette	18 mm
Type de retour	Single turn SinCos Hiperface
Taille bride moteur	70 mm
Nombre de taille moteur	1
Constante de couple	0.49 N.m/A à 120 °C
Constante de fem	31.17 V/krpm à 120 °C
Nombre de pôles de moteur	10

Le présent document comporte des caractéristiques générales sous des caractéristiques techniques générales sur la performance des produits auxquels il se réfère.
 Il ne constitue pas une garantie de performance et ne doit pas être utilisé pour la conception de systèmes. Les utilisateurs doivent consulter les notices et les documents techniques pour obtenir les données complètes et appropriées. Schneider Electric ne s'engage pas à garantir les performances dans les conditions de leur application ou utilisation spécifiques.
 La société Schneider Electric Industries SAS, et ses sociétés filiales ou associées, ainsi que ses sociétés affiliées, ne peut être tenue pour responsable de la mauvaise utilisation de l'information contenue dans le présent document.

Inertie du rotor	0.59 kg.cm ²
Résistance du stator	3.2 Ohmà 20 °C
Inductance du stator	9.1 mHà 20 °C
Constante de temps électrique du stator	2.8 msà 20 °C
Force radiale maximale Fr	360 Nà 6000 Tr/mn 380 Nà 5000 Tr/mn 410 Nà 4000 Tr/mn 460 Nà 3000 Tr/mn 520 Nà 2000 Tr/mn 660 Nà 1000 Tr/mn
Force axiale maximale Fa	0,2 x Fr
Type de refroidissement	Convection naturelle
Longueur	122 mm
Diamètre de collier de centrage	60 mm
Profondeur de collier de centrage	2.5 mm
Nombre de trous de fixation	4
Diamètre des trous de fixation	5.5 mm
Diamètre des trous de fixation	82 mm
Poids	1.6 kg

Environnement

Caractéristiques environnementales

Statut environnemental	Produit Green Premium
RoHS (code date: AnnéeSemaine)	Compliant - since 0936 - Schneider Electric declaration of conformity
REACH	Référence ne contenant pas de SVHC au-dessus du seuil
Profil environnemental du produit	Disponible
Instructions de fin de vie du produit	Pas d'opération de recyclage spécifiques

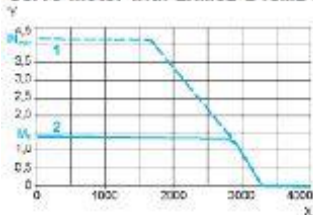
Contractual warranty

Période	18 mois
---------	---------

115 V Single-Phase Supply Voltage

Torque/Speed Curves

Servo motor with LXM32•D18M2 servo drive

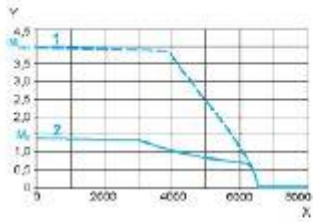


- X Speed in rpm
- Y Torque in Nm
- 1 Peak torque
- 2 Continuous torque

230 V Single-Phase Supply Voltage

Torque/Speed Curves

Servo motor with LXM32•U90M2 servo drive



- X Speed in rpm
- Y Torque in Nm
- 1 Peak torque
- 2 Continuous torque

C.1.2 - Riduttore a vite senza fine

RIDUTTORI A VITE SENZA FINE SERIE BOX



CARATTERISTICHE TECNICHE

Dal tipo BOX75 in su, sono montati di serie dei cuscinetti a rulli conici sulle 2 estremità della vite senza fine. Tali supporti sono particolarmente adatti a resistere nel tempo agli stress meccanici dovuti al carico assiale della corona sulla vite senza fine.

Inoltre, l'abbinamento dei 2 cuscinetti a rulli conici con 2 nilos (montati dal tipo 75 per garantire una buona lubrificazione anche del cuscinetto che non è bagnato dall'olio) o, in alternativa, speciali schermi RS sugli stessi cuscinetti conici, permette il montaggio dell'intera gamma, dalla taglia 25 alla taglia 150, in posizione V5 e V6, senza alcuna modifica del riduttore.

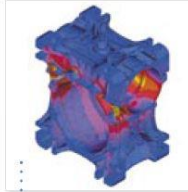
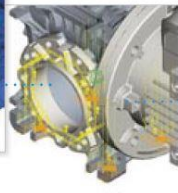
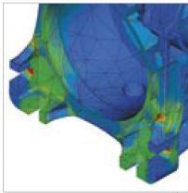


La forma particolare della carcassa è stata studiata per ottimizzare il drenaggio dell'acqua durante il lavaggio ed evitarne il ristagno.



I riduttori a vite senza fine della serie BOX sono costruiti con una carcassa in pressofusione d'alluminio fino alla taglia 90, ed in ghisa dalla grandezza 110.

La struttura è stata progettata con SW CAD tridimensionali parametrici e l'ausilio di programmi di analisi delle capacità di dissipazione termica e della resistenza strutturale alla deformazione / rottura sotto effetto della coppia di funzionamento e dei carichi esterni, con positivi risultati sulle superfici di tenuta.



2 cuscinetti schermati sull'albero lento permettono inoltre il montaggio B6 o B7 di serie. In definitiva, la serie BOX può essere montata in qualsiasi posizione senza specificare nulla all'atto dell'ordine.

CARATTERISTICHE TECNICHE

La lubrificazione viene già effettuata dalla motive con olio sintetico a lunga durata fino al BOX90 e olio minerale dal BOX110.

MODELLO DEPOSITATO

A corredo, viene dato di serie un tappo di sfiato. I tappi ciechi di rabbocco e quello di livello vengono montati dalla Motive in tutte le posizioni possibili, agevolando la gestione dello stock del cliente il quale potrà decidere all'ultimo momento la posizione di montaggio posizionando il tappo prima della messa in servizio.

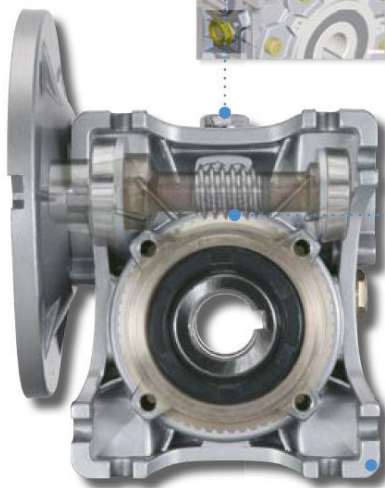
Per aumentare rendimenti e durata, la vite senza fine viene cementata, temprata, e la dentatura rettificata per una bassissima rugosità.

La corona elicoidale è costruita in una lega di bronzo ZCuSn12 specifica fusa in conchiglia.

Uno strato di vernice epossidica annulla gli effetti negativi della porosità dell'alluminio e ne evita l'ossidazione.



2 cappellotti plastici sull'uscita, di serie, proteggono il BOX durante il trasporto e lo stoccaggio, e poi l'utilizzatore da contatti accidentali con parti in movimento.



Le superfici di fissaggio sono fresate per ottenerne la perfetta planarità durante il montaggio.

RENDIMENTO

Un elemento molto importante nei riduttori a vite senza fine è il rendimento η , definito come il rapporto tra la potenza meccanica che esce dall'albero lento e quella che viene immessa all'albero veloce

$$\eta = \frac{P_{a2}}{P_{a1}}$$

Alcune delle cause che concorrono alla riduzione di questo valore si possono identificare nelle varie forme di attrito radente e volvente.

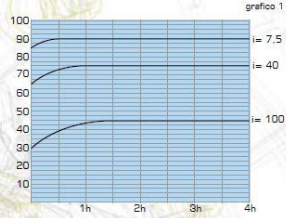
Nella pratica, il rendimento dipende essenzialmente da:

- angolo d'elica
- materiale usato per la costruzione delle eliche
- precisione della dentatura
- finitura superficiale
- lubrificazione
- velocità di strisciamento
- vibrazioni del carico
- temperatura

Il rendimento di un gruppo combinato di riduttori (BOX+BOX) è il prodotto dei rendimenti dei singoli riduttori che lo compongono.

Rendimento dinamico η_d

È il valore di rendimento rilevabile dopo un periodo di rodaggio a seguito del quale sia il rendimento dinamico che la temperatura si stabilizzano. Il grafico 1 riporta, a titolo indicativo, il tempo necessario per raggiungere il massimo valore di rendimento dinamico



Rendimento statico η_s

È il rendimento che si ha all'avviamento, particolarmente importante nella scelta dei riduttori in quelle applicazioni caratterizzate da un tipo di servizio intermittente (es. sollevamenti), nelle quali non potranno mai essere raggiunte le condizioni di regime.

Per tali applicazioni, è necessario incrementare adeguatamente la potenza del motore al fine di compensare il fatto che $\eta_s < \eta_d$ e perciò nello spunto la potenza effettiva in uscita è inferiore a quella nominale

IRREVERSIBILITÀ

Alcuni riduttori BOX consentono di trattare il carico in posizione anche in assenza di alimentazione. Questa caratteristica, chiamata irreversibilità, è inversamente proporzionale al rendimento del riduttore e all'inclinazione dell'elica, e direttamente proporzionale al rapporto di riduzione.

Il rendimento dei profili delle dentature è il fattore maggiormente significativo nel determinare il rendimento globale del riduttore, ed è in larga misura legato all'angolo d'elica del profilo.

Un riduttore a vite senza fine è perciò considerato globalmente irreversibile quando l'angolo dell'elica è inferiore all'angolo di attrito.

Per scegliere la soluzione più adeguata alle esigenze di una determinata applicazione, è necessario esaminare le differenze tra irreversibilità statica e irreversibilità dinamica

Irreversibilità statica

Un riduttore ha una scarsa reversibilità statica quando è possibile metterlo in movimento dall'albero lento soltanto con elevatissimi momenti torcenti e/o di vibrazioni del carico.

L'irreversibilità statica è inversamente proporzionale al rendimento statico. Teoricamente:

$\eta_s < 50\%$	irreversibilità statica
$50\% < \eta_s < 55\%$	reversibilità statica scarsa
$\eta_s \geq 55\%$	reversibilità statica buona

Irreversibilità dinamica

È la condizione più difficile da ottenere. Si verifica quando, al cessare delle cause che mantengono in rotazione la vite, cessa istantaneamente il moto di rotazione dell'albero lento. L'irreversibilità dinamica è inversamente proporzionale al rendimento dinamico. Teoricamente:

$\eta_d < 40\%$	irreversibilità dinamica totale
$40\% < \eta_d < 50\%$	irreversibilità dinamica buona
$50\% < \eta_d < 60\%$	reversibilità dinamica incerta
$\eta_d \geq 60\%$	reversibilità dinamica buona

La tabella nr. 1 analizza i casi di irreversibilità in funzione dell'elica con inevitabile approssimazione

Nota bene: la totale irreversibilità del riduttore può essere ottenuta anche tramite l'impiego di motori autofrenanti delle serie Delphi AT. Affidarsi totalmente alla sola irreversibilità teorica del riduttore può essere pericoloso nei casi in cui essa sia un fattore indispensabile per la sicurezza dell'applicazione.

DATI DI INGRANAMENTO

tipo	i	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
BOX 025	Z ₁	24	30	36	42	48	54	60	70	80	90	100
	Z ₂	180/11,57°	180/11,57°	111/18,36°	90/27,44°	72/33,69°	54/42,98°	45/51,69°	36/62,17°	27/77,04°	18/90,00°	12/100,00°
	C _r (Nm)	63,35	52,18	51,17	47,45	50,56	46,98	46,98	34,49	32,07	34,80	38,66
	η_d (1400)	89,90%	89,20%	80,24%	78,00%	85,30%	82,50%	82,50%	74,80%	70,00%	74,80%	80,00%
BOX 030	Z ₁	30	36	42	48	54	60	70	80	90	100	
	Z ₂	180/18,36°	144/22,50°	90/45,00°	72/54,00°	54/62,98°	45/72,00°	36/81,00°	27/90,00°	18/100,00°	12/100,00°	
	C _r (Nm)	84,41	82,46	81,00	87,85	226,03	80,16	67,48	58,58	44,58	46,98	56,98
	η_d (1400)	82,00%	80,70%	81,00%	78,00%	88,00%	82,00%	85,00%	78,00%	75,00%	80,00%	84,00%
BOX 040	Z ₁	40	48	54	60	66	72	80	90	100		
	Z ₂	180/22,50°	144/27,00°	90/54,00°	72/63,00°	54/72,00°	45/81,00°	36/90,00°	27/100,00°	18/100,00°		
	C _r (Nm)	199,24	107,84	185,05	128,51	464,41	181,80	126,80	113,08	91,13	58,48	56,98
	η_d (1400)	87,90%	85,30%	81,00%	78,00%	89,70%	85,00%	85,00%	80,00%	80,00%	80,00%	84,00%
BOX 050	Z ₁	50	60	66	72	78	84	90	100			
	Z ₂	180/27,00°	144/31,50°	90/63,00°	72/72,00°	54/81,00°	45/90,00°	36/100,00°	27/100,00°	18/100,00°		
	C _r (Nm)	352,58	217,36	330,06	285,40	208,90	324,18	281,86	207,18	168,11	148,02	105,45
	η_d (1400)	89,00%	87,30%	81,00%	80,00%	80,00%	70,00%	88,90%	85,00%	80,00%	80,00%	84,00%
BOX 063	Z ₁	60	72	78	84	90	96	100				
	Z ₂	180/31,50°	144/36,00°	90/72,00°	72/81,00°	54/90,00°	45/99,00°	36/100,00°	27/100,00°	18/100,00°		
	C _r (Nm)	644,41	428,50	586,72	595,72	495,86	583,70	587,70	481,05	389,47	280,91	227,62
	η_d (1400)	86,10%	86,80%	82,40%	81,80%	79,70%	79,00%	70,60%	87,50%	84,30%	87,90%	81,10%
BOX 075	Z ₁	75	90	96	102	108	114	120	130	140		
	Z ₂	180/36,00°	144/40,50°	90/81,00°	72/90,00°	54/99,00°	45/108,00°	36/117,00°	27/126,00°	18/135,00°		
	C _r (Nm)	1288,82	681,80	1027,63	858,93	777,54	1002,61	848,60	788,15	516,78	404,64	353,63
	η_d (1400)	91,30%	89,50%	85,20%	83,30%	81,80%	75,80%	78,80%	70,70%	85,30%	80,00%	80,00%
BOX 090	Z ₁	90	108	114	120	126	132	140	150	160		
	Z ₂	180/40,50°	144/45,00°	90/90,00°	72/99,00°	54/108,00°	45/117,00°	36/126,00°	27/135,00°	18/144,00°		
	C _r (Nm)	2017,61	1158,41	2258,08	1412,89	1235,78	2195,35	1885,09	1217,80	1045,59	648,28	603,00
	η_d (1400)	90,00%	89,20%	84,00%	82,00%	80,00%	80,00%	79,00%	78,00%	80,00%	80,00%	84,00%
BOX 110	Z ₁	120	144	150	156	162	168	174	180	190		
	Z ₂	180/45,00°	144/50,25°	90/100,00°	72/109,50°	54/119,00°	45/128,25°	36/137,50°	27/146,75°	18/156,00°		
	C _r (Nm)	4844,98	2321,25	3983,88	2646,64	1846,57	3882,09	2581,03	1811,22	1645,58	1178,68	1101,58
	η_d (1400)	92,40%	90,71%	84,76%	82,80%	80,80%	80,00%	79,00%	78,00%	80,00%	80,00%	84,00%
BOX 130	Z ₁	150	180	186	192	198	204	210	216	222		
	Z ₂	180/50,25°	144/55,50°	90/110,50°	72/120,00°	54/129,25°	45/138,50°	36/147,75°	27/157,00°	18/166,25°		
	C _r (Nm)	8876,03	6507,03	6230,10	4486,83	3588,10	6057,87	4389,77	3523,58	2870,51	1952,60	1493,21
	η_d (1400)	90,00%	88,00%	84,00%	83,00%	81,00%	81,00%	80,00%	79,00%	78,00%	80,00%	80,00%
BOX 150	Z ₁	180	216	222	228	234	240	246	252	258		
	Z ₂	180/55,50°	144/60,75°	90/121,00°	72/130,50°	54/140,00°	45/149,25°	36/158,50°	27/167,75°	18/177,00°		
	C _r (Nm)	14411,41	9014,25	8892,70	7027,85	5617,08	11911,79	8684,59	5535,47	4562,33	3489,44	2900,18
	η_d (1400)	90,00%	88,77%	84,00%	83,00%	81,00%	81,00%	80,00%	79,00%	78,00%	80,00%	80,00%



Z₁ nr di principi della vite
 Z₂ nr denti della corona = Z₁ · i
 β angolo elica
 m modulo
 η_d (1400) rendimento dinamico con n₁=1400rpm
 Cr resistenza meccanica massima non ciclica

β	irreversibilità	
	dinamica	statica
β > 20°	reversibilità dinamica alta	reversibilità statica alta
10° < β < 20°	reversibilità dinamica alta	reversibilità statica alta, rapido ritorno
5° < β < 10°	reversibilità dinamica alta, irreversibilità scarsa	reversibilità statica alta, rapido ritorno
5° < β < 5°	reversibilità dinamica scarsa, ma semplice in caso di vibrazioni	irreversibilità statica molto scarsa, ma semplice in caso di vibrazioni
5° < β < 5°	reversibilità dinamica scarsa, buona irreversibilità	irreversibilità statica scarsa
1° < β < 5°	irreversibilità dinamica totale	irreversibilità statica totale

C.1.3 - Rinvio angolare

FIAMA
since 1938

66/6

**RINVII AD ANGOLO
GEARBOX
WINKELGETRIEBE**



- Sono realizzati nei rapporti di riduzione: 1:1 - 1:2 in riduzione (standard) - 2:1 in moltiplica (a richiesta sulle versioni A-B-C, non disponibile nella versione D). (Fig. 5-6)
- Corpo in alluminio, anodizzato; alberi in acciaio.
- Momento torcente **45 Nm**
- Carico radiale **75 kg** - carico assiale **7,5 kg** (Fig. 7)

• Modelli:

- Versione A con 2 uscite
- Versione B con 3 uscite o Versione C (rotazione contraria) con 3 uscite
- Versione D con 3 uscite, 2 ad albero cavo

- 2 uscite peso gr. 1020; 3 uscite peso gr. 1150.
- Alberi di uscita: M = maschio / F = femmina $\varnothing 14$ (☛ vedi "Versioni con dimensioni di ingombro" da pag. 38)

> Disponibili a richiesta:

- Versione con corpo e alberi in inox AISI 303.
- Modelli con ingranaggi conici a dentatura **spiroidale** (Fig. 2) nelle versioni A-B-C, rapporto 1/1. I rinvii spiroidali "SP" si distinguono per precisione, silenziosità ed una coppia trasmissibile maggiore del 30%

- Available with reduction ratios: 1:1 - 1:2 in reducing (standard) - 2:1 in multiplying (on request available in version A-B-C, not available in version D). (Fig. 5-6)

- Aluminium case, anodised; steel shafts.

- Torque **45 Nm**

- Radial load **75 kg** - axial load **7,5 kg** (Fig. 7)

• Models:

- Version A with 2 outputs
- Version B with 3 outputs or Version C (opposite rotation) with 3 outputs
- Version D with 3 outputs, 2 through hollow shafts

- 2 outputs, weight 1020g; 3 outputs, weight 1150g.

- Output shafts: M = male / F = female $\varnothing 14$ (☛ see "Versions with dimension drawings" from pg. 38)

> Available on request:

- Version with case and output shafts in stainless steel AISI 303

- Models with spiral bevel gears (Fig. 2) in versions A-B-C, ratio 1/1. The "SP" spiral gearboxes allow high precision, silent operation, and 30% increased output torque.

Es handelt sich um Winkelvorgelege mit Kegelrädern, geeignet für die Drehübertragungen zwischen senkrecht zur waagrecht geordnete Wellen.

- Es sind verschiedenen Unteretzungen lieferbar 1:1 - 1:2 in Reduktion (Standard) - 2:1 multipliziert (auf Anfrage in Version A-B-C, nicht lieferbar in Version D). (Fig. 5-6)

- Druckgussgehäuse, eloxiert; Wellen aus Stahl.

- Drehmoment **45 Nm**

- Radiallast **75 kg** - Axiallast **7,5 kg** (Fig. 7)

• Ausführungen:

- Version A mit 2 Ausgangswellen
- Version B mit 3 Ausgangswellen oder Version C (Rückwärtsdrehung) mit 3 Ausgangswellen
- Version D mit 3 Ausgangswellen, 2 Hohlwellen

- 2 Ausgänge, Gewicht gr. 1020; 3 Ausgänge, Gewicht gr.

- Ausgangswellen: M = Vollwellen / F = Hohl-Wellen $\varnothing 14$ (☛ siehe "Ausführungen mit Abmessung" ab S. 38)

> Lieferbar auf Anfrage:

- Ausführung mit Gehäuse und Ausgangswellen in Edelstahl AISI 303

- Modelli mit einem **Spiralverzahnung** (Fig. 2) in Ausführungen A-B-C, Übersetzung 1/1. Spiral-Kegelradgetriebe "SP" zeichnen sich aus für höhere Präzision, Geräuschlosigkeit und +30% Drehmoment

ESEMPIO DI ORDINAZIONE - PART NR. CONFIGURATION - BESTELLMUSTER:

OPZIONALE - OPTIONAL - OPZIONAL

DENTATURA SPIROIDALE - SPIRAL BEVEL GEARS - SPIRALKEGELRÄDER

SP

ACCIAIO INOSSIDABILE - STAINLESS STEEL - EDELSTAHL

INOX

VERSIONE - VERSION - VERSION (☛ p. 38)

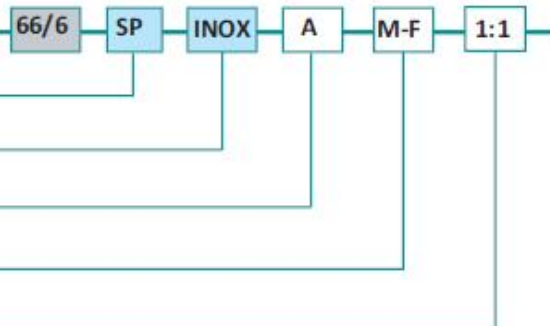
A - B - C - D

ALBERI - SHAFTS - WELLEN (☛ p. 38)

M - F - F $\varnothing 14$ (standard)

RAPPORTI - RATIOS - ÜBERSETZUNGEN:

1/1 - 1/2 - 2/1



- Per la scelta del rinvio, consigliamo di consultare le figure, le tabelle e i dati tecnici riportati nelle "Informazioni generali" di questo catalogo (pag. 16 - 18).

- To choose the most suitable gearbox, we advise to consult the figures, tables, and the technical data shown in the "General Information" of this catalog (p.16 - 18).

- Für eine korrekte Auswahl, empfehlen wir die Figuren, die Tabellen und die Daten, in den "Allgemeine Informationen" dieses Katalogs (S. 16 - 18) nachzuschlagen.

RAFFIGURAZIONE DEI RAPPORTI DI RIDUZIONE E MOLTIPLICA - REPRESENTATION OF REDUCTION AND MULTIPLYING RATIOS - DARSTELLUNG VON UNTERSATZUNG UND ÜBERSATZUNG

Fig. 5

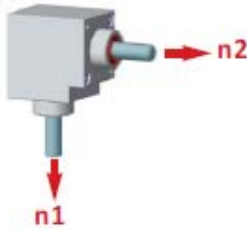
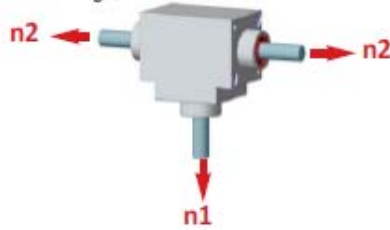


Fig. 6



Esempio - Example - Beispiel

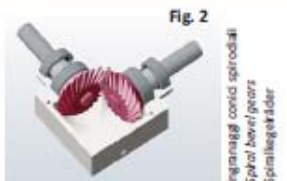
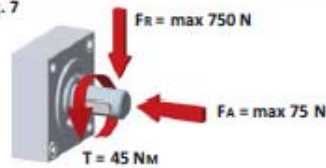
1:2 in riduzione - reduction - ins Langsame:
 $n1 = 1000$ RPM
 $n2 = 500$ RPM

* 2:1 in moltiplica - multiplication - ins Schnelle:
 $n1 = 1000$ RPM
 $n2 = 2000$ RPM

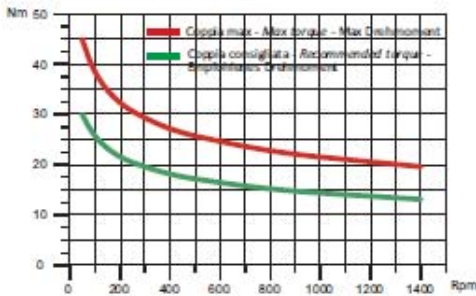
* a richiesta disponibile nella versione A-B-C;
 non disponibile nella versione D.
 on request available in version A-B-C;
 not available in version D.
 auf Anfrage in Version A-B-C, nicht lieferbar
 in Version D.

RAFFIGURAZIONE DEI CARICHI E INGRANAGGI - REPRESENTATION OF LOADS AND BEVEL GEARS - DARSTELLUNG VON LASTEN UND KEGELRÄDER

Fig. 7



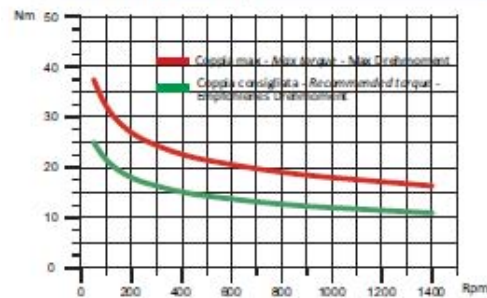
COPPIA IN USATA CON RAPPORTO 1/1 - OUTPUT TORQUE WITH RATIO 1/1 - DREHMOMENT MIT ÜBERSATZUNG 1/1



T_M dc	45	37,9	31,9	26,8	22,5	19,6
T_k dc	30	25,3	21,3	17,9	15	13,1
T_M dp	58,5	49,2	41,4	34,8	29,2	25,4
T_k dp	39	32,8	27,7	23,2	19,5	17
rpm	50	100	200	400	800	1400

Rendimento - Efficiency - Leistung = 90%

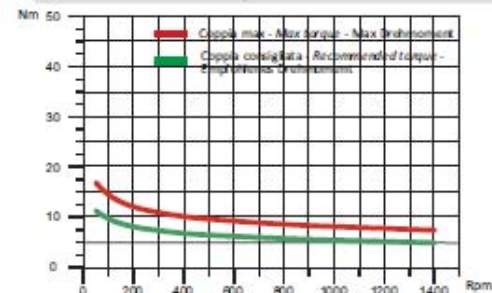
COPPIA IN USATA CON RAPPORTO 1/2 - OUTPUT TORQUE WITH RATIO 1/2 - DREHMOMENT MIT ÜBERSATZUNG 1/2



T_M dc	37,5	31,6	26,5	22,3	18,8	16,3
T_k dc	25	21,1	17,7	14,9	12,5	10,9
rpm	50	100	200	400	800	1400

Rendimento - Efficiency - Leistung = 90%

COPPIA IN USATA CON RAPPORTO 2/1 - OUTPUT TORQUE WITH RATIO 2/1 - DREHMOMENT MIT ÜBERSATZUNG 2/1



T_M dc	16,9	14,2	11,9	10	8,5	7,4
T_k dc	11,3	9,5	8	6,7	5,7	4,9
rpm	50	100	200	400	800	1400

Rendimento - Efficiency - Leistung = 90%

- Per abbreviazioni e sigle consultare il «glossario» nelle «Informazioni generali» di questo catalogo (pag. 18).

- For abbreviations and acronyms consult the «glossary» in the «General Information» of this catalog (p. 18).

- Für Abkürzungen und Akronyme den «Glossar» konsultieren in den «Allgemeine Informationen» dieses Katalogs (S. 18).

Support Unit

Models EK, BK, FK, EF, BF and FF

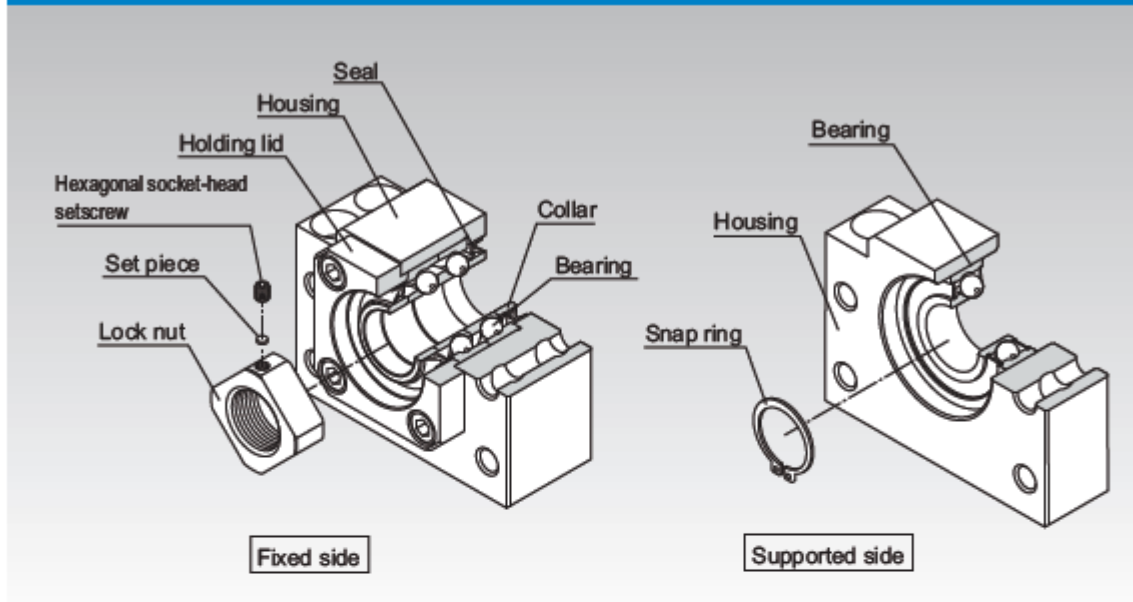


Fig.1 Structure of the Support Unit

Structure and Features

The Support Unit comes in six types: models EK, FK, EF, and FF, which are standardized for the standard Ball Screw assembly provided with the finished shaft ends, and models BK and BF, which are standardized for ball screws in general.

The Support Unit on the fixed side contains a JIS Class 5-compliant angular bearing provided with an adjusted preload. The miniature type Support Unit models EK/FK 4, 5 and 6, in particular, incorporate a miniature bearing with a contact angle of 45° developed exclusively for miniature Ball Screws. This provides stable rotational performance with a high rigidity and an accuracy.

The Support Unit on the supported side uses a deep-groove ball bearing.

The internal bearings of the Support Unit models EK, FK and BK contain an appropriate amount of lithium soap-group grease that is sealed with a special seal. Thus, these models are capable of operating over a long period.

[Uses the Optimal Bearing]

To ensure the rigidity balance with the Ball Screw, the Support Unit uses an angular bearing (contact angle: 30°; DF configuration) with a high rigidity and a low torque. Miniature Support Unit models EK/FK 4, 5 and 6 are incorporated with a miniature angular bearing with a contact angle of 45° developed exclusively for miniature Ball Screws. This bearing has a greater contact angle of 45° and an increased number of balls with a smaller diameter. The high rigidity and accuracy of the miniature angular bearing provides the stable rotational performance.

[Support Unit Shapes]

The square and round shapes are available for the Support Unit to allow the selection according to the intended use.

[Compact and Easy Installation]

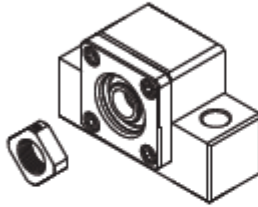
The Support Unit is compactly designed to accommodate the space in the installation site. As the bearing is provided with an appropriately adjusted preload, the Support Unit can be assembled with a Ball Screw unit with no further machining. Accordingly, the required man-hours in the assembly can be reduced and the assembly accuracy can be increased.

Type

[For the Fixed Side]

Square Type Model EK

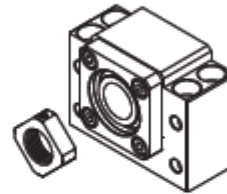
Specification Table⇒[A15-326](#)



(Inner diameter: $\phi 4$ to $\phi 20$)

Square Type Model BK

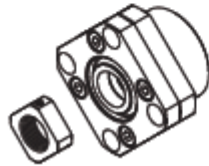
Specification Table⇒[A15-328](#)



(Inner diameter: $\phi 10$ to $\phi 40$)

Round Type Model FK

Specification Table⇒[A15-330](#)

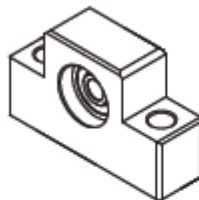


(Inner diameter: $\phi 4$ to $\phi 30$)

[For the Supported Side]

Square Type Model EF

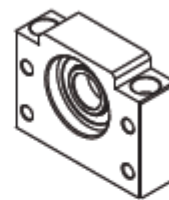
Specification Table⇒[A15-334](#)



(Inner diameter: $\phi 6$ to $\phi 20$)

Square Type Model BF

Specification Table⇒[A15-336](#)



(Inner diameter: $\phi 8$ to $\phi 40$)

Round Type Model FF

Specification Table⇒[A15-338](#)



(Inner diameter: $\phi 6$ to $\phi 30$)

A15-318 THK

Types of Support Units and Applicable Screw Shaft Outer Diameters

Inner diameter of fixed-side Support Unit (mm)	Inner diameter of supported-side Support Unit (mm)	Applicable Model No. of fixed-side Support Unit	Applicable model No. of the supported side Support Unit	Type BNK with Unfinished Shaft Ends(Applicable Model No.)	Recommended Shapes of Shaft Ends(Applicable Shaft Outer Diameter ϕ D)	
					Shaft End H (mm)	Shaft End J (mm)
4	—	EK 4 FK 4	—	BNK0401 BNK0501	ϕ 6	—
5	—	EK 5 FK 5	—	BNK0601	ϕ 8	—
6	6	EK 6 FK 6	EF 6 FF 6	BNK0801 BNK0802 BNK0810	ϕ 8	—
8	6	EK 8 FK 8	EF 8 FF 6	BNK1002	ϕ 12	—
10	8	EK 10 FK 10 BK 10	EF 10 FF 10 BF 10	BNK1004 BNK1010 BNK1202 BNK1205 BNK1208	ϕ 14 ϕ 15	ϕ 14 ϕ 15
12	10	EK 12 FK 12 BK 12	EF 12 FF 12 BF 12	BNK1402 BNK1404 BNK1408 BNK1510 BNK1520 BNK1616	ϕ 16 ϕ 18	ϕ 16 ϕ 18
15	15	EK 15 FK 15	EF 15 FF 15	BNK2010 BNK2020	ϕ 20 ϕ 25	—
		BK 15	BF 15	—	—	ϕ 20
17	17	BK 17	BF 17	—	—	ϕ 25
20	20	EK 20 FK 20	EF 20 FF 20	BNK2520	ϕ 28 ϕ 30 ϕ 32	—
		BK 20	BF 20	—	—	ϕ 28 ϕ 30 ϕ 32
25	25	FK 25	FF 25	—	ϕ 36	—
		BK 25	BF 25	—	—	ϕ 36
30	30	FK 30	FF 30	—	ϕ 40	ϕ 40
		BK 30	BF 30	—		
35	35	BK 35	BF 35	—	—	ϕ 45
40	40	BK 40	BF 40	—	—	ϕ 50
						ϕ 55

Note1) The Supports Units in this table apply only to those Ball Screw models with recommended shaft ends shapes H, J and K, indicated on **A15-324**.

Note2) For Recommended Shapes of Shaft Ends H, J, and K; refer to pages **A15-340** to **A15-345**.

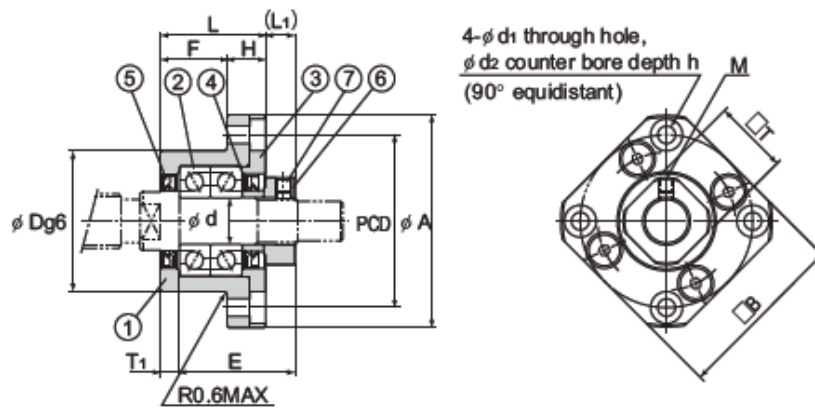
Model Numbers of Bearings and Characteristic Values

Angular ball bearing on the fixed side					Deep-groove ball bearing on the supported side			
Support Unit model No.	Bearing	Axial direction			Support Unit model No.	Bearing model No.	Radial direction	
		Basic dynamic load rating Ca (kN)	Note) Permissible load (kN)	Rigidity (N/μm)			Basic dynamic load rating C(kN)	Basic static load rating Ca(kN)
EK 4 FK 4	AC4-12 (DF P5)	0.93	1.1	27	—	—	—	—
EK 5 FK 5	AC5-14 (DF P5)	1	1.24	29	—	—	—	—
EK 6 FK 6	AC6-16 (DF P5)	1.38	1.76	35	EF 6 FF 6	606ZZ	2.19	0.87
EK 8 FK 8	79M8A (DF P5)	2.93	2.15	49	EF 8	606ZZ	2.19	0.87
EK 10 FK 10 BK 10	7000 equivalent (DF P5)	6.08	3.1	65	EF 10 FF 10 BF 10	608ZZ	3.35	1.4
EK 12 FK 12 BK 12	7001 equivalent (DF P5)	6.66	3.25	88	EF 12 FF 12 BF 12	6000ZZ	4.55	1.96
EK 15 FK 15 BK 15	7002 equivalent (DF P5)	7.6	4	100	EF 15 FF 15 BF 15	6002ZZ	5.6	2.84
BK 17	7203 equivalent (DF P5)	13.7	5.85	125	BF 17	6203ZZ	9.6	4.6
EK 20 FK 20	7204 equivalent (DF P5)	17.9	9.5	170	EF 20 FF 20	6204ZZ	12.8	6.65
BK 20	7004 equivalent (DF P5)	12.7	7.55	140	BF 20	6004ZZ	9.4	5.05
FK 25 BK 25	7205 equivalent (DF P5)	20.2	11.5	190	FF 25 BF 25	6205ZZ	14	7.85
FK 30 BK 30	7206 equivalent (DF P5)	28	16.3	195	FF 30 BF 30	6206ZZ	19.5	11.3
BK 35	7207 equivalent (DF P5)	37.2	21.9	255	BF 35	6207ZZ	25.7	15.3
BK 40	7208 equivalent (DF P5)	44.1	27.1	270	BF 40	6208ZZ	29.1	17.8

Note) "Permissible load" indicates the static permissible load.

A15-320 THK

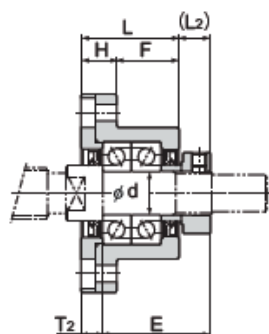
Model FK Round Type Support Unit on the Fixed Side



Mounting method A

Models FK 10 to 30

Model No.	Shaft diameter d	L	H	F	E	D	A	PCD	B
FK 10	10	27	10	17	29.5	34 -0.009 -0.025	52	42	42
FK 12	12	27	10	17	29.5	36 -0.009 -0.025	54	44	44
FK 15	15	32	15	17	36	40 -0.009 -0.025	63	50	52
FK 20	20	52	22	30	50	57 -0.01 -0.029	85	70	68
FK 25	25	57	27	30	60	63 -0.01 -0.029	98	80	79
FK 30	30	62	30	32	61	75 -0.01 -0.029	117	95	93



Mounting method B

Unit: mm

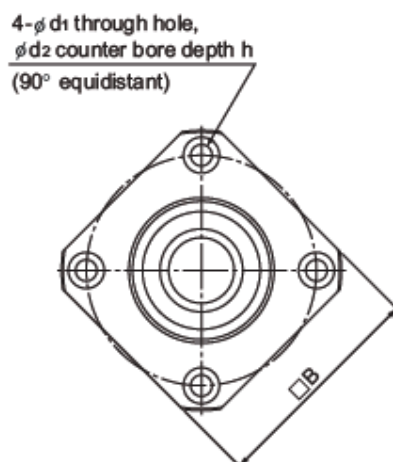
	Installation procedure A		Installation procedure B		d ₁	d ₂	h	M	T	Bearing used	Mass kg
	L ₁	T ₁	L ₂	T ₂							
	7.5	5	8.5	6	4.5	8	4	M3	16	7000 equivalent (DF P5)	0.21
	7.5	5	8.5	6	4.5	8	4	M3	19	7001 equivalent (DF P5)	0.22
	10	6	12	8	5.5	9.5	6	M3	22	7002 equivalent (DF P5)	0.39
	8	10	12	14	6.6	11	10	M4	30	7204 equivalent (DF P5)	1.09
	13	10	20	17	9	15	13	M5	35	7205 equivalent (DF P5)	1.49
	11	12	17	18	11	17.5	15	M6	40	7206 equivalent (DF P5)	2.32

Ball Screw Peripherals

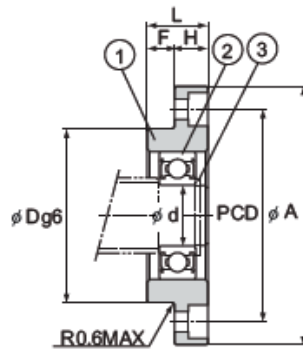
Part No.	Part name	No. of units
1	Housing	1
2	Bearing	1 set
3	Holding lid	1
4	Collar	2
5	Seal	2
6	Lock Nut	1
7	Hexagonal socket-head setscrew (with a set piece)	1

THK A15-333

Model FF Round Type Support Unit on the Supported Side



Model No.	Shaft diameter d	L	H	F	D	A
FF 6	6	10	6	4	22 -0.007 -0.02	36
FF 10	8	12	7	5	28 -0.007 -0.02	43
FF 12	10	15	7	8	34 -0.009 -0.025	52
FF 15	15	17	9	8	40 -0.009 -0.025	63
FF 20	20	20	11	9	57 -0.01 -0.029	85
FF 25	25	24	14	10	63 -0.01 -0.029	98
FF 30	30	27	18	9	75 -0.01 -0.029	117



Unit: mm

	PCD	B	d ₁	d ₂	h	Bearing used	Snap ring used	Mass kg
	28	28	3.4	6.5	4	606ZZ	C6	0.04
	35	35	3.4	6.5	4	608ZZ	C8	0.07
	42	42	4.5	8	4	6000ZZ	C10	0.11
	50	52	5.5	9.5	5.5	6002ZZ	C15	0.2
	70	68	6.6	11	6.5	6204ZZ	C20	0.27
	80	79	9	14	8.5	6205ZZ	C25	0.67
	95	93	11	17.5	11	6206ZZ	C30	1.07

Ball Screw Peripherals

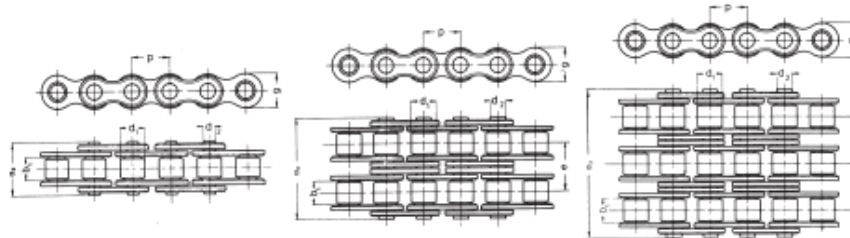
Part No.	Part name	No. of units
1	Housing	1
2	Bearing	1
3	Snap ring	1

C.2 - Cataloghi

C.2.1 - Catene a rulli europee



CATENE A RULLI SERIE EUROPEA TPM®



SEMPLICE

ISO N.	mm	P	inch	b ₁ min. mm	d ₂ mm	d ₁ max. mm	a ² max. mm	g max. mm	f cm ²	kg/m =	caric., rott., N. min.
081-1	12.7	1/2"	3.3	3.59	7.75	10.2	9.90	0.20	0.28	7.200	
083-1	12.7	1/2"	4.88	4.09	7.75	12.9	10.30	0.32	0.42	9.200	
084-1	12.7	1/2"	4.88	4.09	7.75	14.8	11.15	0.35	0.59	11.000	

CATENE A RULLI SERIE EUROPEA QRC®

CATENE PRODOTTE DA AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001

SEMPLICE

ISO N.	mm	P	inch	b ₁ min. mm	d ₂ mm	d ₁ max. mm	a ² max. mm	g max. mm	f cm ²	kg/m =	caric., rott., N. min.
04-1	6	-	2.80	1.85	4.00	7.4	5.00	0.07	0.12	2.800	
05B-1	8	-	3.00	2.31	5.00	8.6	7.11	0.11	0.18	4.700	
06B-1	9.525	3/8"	5.72	3.28	6.35	13.5	8.26	0.28	0.41	8.200	
08B-1	12.7	1/2"	7.75	4.45	8.51	17.0	11.81	0.50	0.70	16.400	
10B-1	15.875	5/8"	9.65	5.08	10.16	19.6	14.73	0.67	0.95	20.500	
12B-1	19.05	3/4"	11.68	5.72	12.07	22.7	16.13	0.89	1.25	26.500	
16B-1	25.04	1"	17.02	8.28	15.88	36.1	21.08	2.10	2.70	52.500	
20B-1	31.75	1 1/4"	19.56	10.19	19.05	43.2	26.42	2.95	3.60	85.500	
24B-1	38.1	1 1/2"	25.40	14.63	25.40	53.4	33.40	5.54	6.70	153.900	
28B-1	44.45	1 3/4"	30.99	15.90	27.94	65.1	37.08	7.40	8.30	180.000	
32B-1	50.8	2"	30.99	17.81	29.21	67.4	42.29	8.11	10.50	230.000	

DOPPIA

ISO N.	mm	P	inch	b ₁ min. mm	d ₂ mm	d ₁ max. mm	a ² max. mm	g max. mm	e mm	f cm ²	kg/m =	caric., rott., N. min.
06B-2	9.525	3/8"	5.72	3.28	6.35	23.8	8.26	10.24	0.55	0.78	15.500	
08B-2	12.7	1/2"	7.75	4.45	8.51	31.0	11.81	13.92	1.00	1.35	28.500	
10B-2	15.875	5/8"	9.65	5.08	10.16	36.2	14.73	16.59	1.34	1.85	41.000	
12B-2	19.05	3/4"	11.68	5.72	12.07	42.2	16.13	19.46	1.78	2.50	53.000	
16B-2	25.4	1"	17.02	8.28	15.88	68.0	21.08	31.88	4.21	5.40	99.500	
20B-2	31.75	1 1/4"	19.56	10.19	19.05	79.7	26.42	35.45	5.91	7.20	162.000	
24B-2	38.1	1 1/2"	25.40	14.63	25.40	101.8	33.40	48.36	11.09	13.50	293.000	
28B-2	44.45	1 3/4"	30.99	15.90	27.94	124.7	37.08	59.56	14.81	16.60	344.000	
32B-2	50.8	2"	30.99	17.81	29.21	126.0	42.29	58.55	16.23	21.00	440.000	

C.2.2 - Coppie coniche

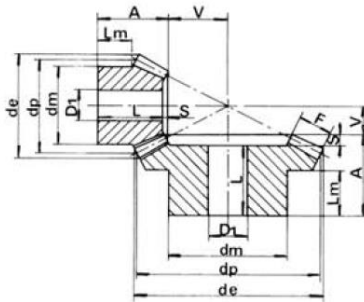


COPPIE CONICHE A DENTI DIRITTI

Coppie Coniche

Angolo di pressione: 20°
ad assi normali secondo UNI 6588

RAPPORTO 1:2



MATERIALE: C 45 - UNI 7847											
M	Z	dp	de	F	A	dm	D ₁	L	V	S	L _m
1.5	16	24	26.68	8	19.5	21	10	18	16.33	1.5	11.3
	32	48	49.34	8	20.0	32	12	17	7.45	3	10
2	16	32	35.57	10	23.0	26	10	21	22.41	2	11.9
	32	64	65.78	10	25.0	40	12	21	10.21	4	10
2.5	16	40	44.47	12	27.5	34	12	25	28.38	2.5	14.4
	32	80	82.23	12	25.0	50	15	20	12.97	5	10
3	16	48	53.36	15	28.0	40	15	25	33.64	3	11.6
	32	96	98.68	15	30.0	60	15	24	15.31	6	10
3.5	16	56	62.26	18	33.5	48	15	30	38.83	3.5	14.4
	32	112	115.12	18	31.0	70	20	24	17.77	7	10
4	16	64	71.15	20	36.0	50	15	32	44.81	4	13.4
	32	128	131.57	20	32.0	80	20	24	20.42	8	10
4.5	16	72	80.05	22	39.5	60	20	35	51.00	4.5	15.4
	32	144	148.00	22	36.0	90	20	27	23.21	9	10
5	16	80	88.94	25	50.0	60	20	45	56.06	5	21.1
	32	160	164.46	25	38.0	100	20	28	25.52	10	10

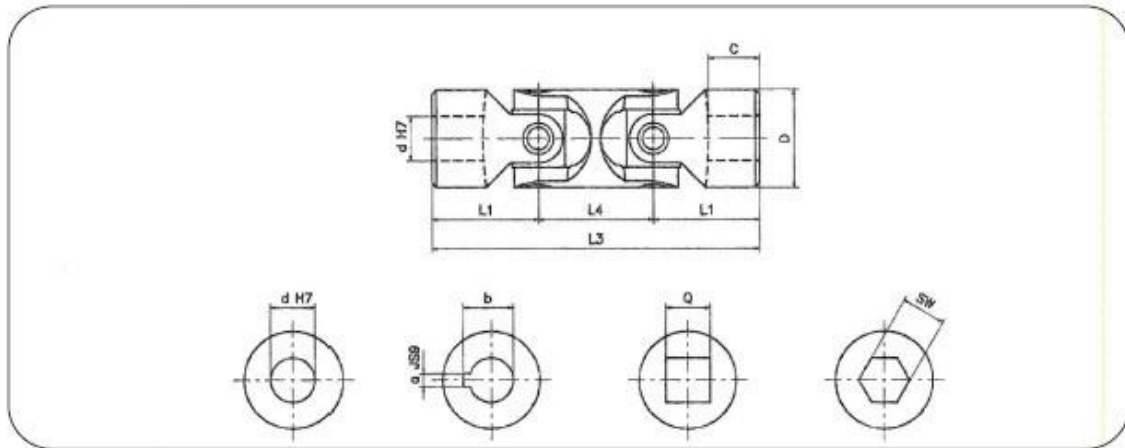
C.2.3 - Giunto cardanico



GIUNTI DOPPI ALTA VELOCITA' CON CUSCINETTI A RULLINI HIGH SPEED DOUBLE JOINTS WITH NEEDLE ROLLER BEARINGS

serie «H»
series (DIN 808)

- Cuscinetti a rullini lubrificati a vita. Nessuna manutenzione
Roller bearings lubricated for life. No maintenance required.
- Precisi e versatili, silenziosi e scorrevoli;
Vasto campo di applicazione.
*Precise and versatile, silent and smooth running;
wide application field.*
- Angolo max 90°. Giri max. 4000/min.
Max angle 90°. Max speed 4000 R.P.M.
- "HD" corrispondenti DIN 808 - "HBD" corrispondenti DIN 808/7551
"HD" to DIN 808 - "HBD" to DIN 808/7551
- Esecuzioni speciali a richiesta.
Special executions on request.



Mod. Type	Codice / Code	d	D	L3	L1	L4	C	Codice / Code	Codice / Code	a	b	Codice / Code	Q	* SW	Peso Weight Kg
03HD	SHOD 1000	10	22	74	24	26	12	SHOD 101C	SHOD 102C	3	11,4	SHOD 102Q	10	10	0,15
04HD	SHOD 1200	12	25	86	28	30	13	SHOD 121C	SHOD 122C	4	13,8	SHOD 122Q	12	12	0,25
05HD	SHOD 1400	14	28	96	30	36	14	SHOD 141C	SHOD 142C	5	16,3	SHOD 142Q	14	14	0,40
1HD	SHOD 1600	16	32	104	34	36	16	SHOD 161C	SHOD 162C	5	18,3	SHOD 162Q	16	16	0,45
2HD	SHOD 1800	18	36	114	37	40	17	SHOD 181C	SHOD 182C	6	20,8	SHOD 182Q	18	18	0,70
3HD	SHOD 2000	20	42	128	41	46	18	SHOD 201C	SHOD 202C	6	22,8	SHOD 202Q	20	20	1,00
4HD	SHOD 2200	22	45	145	47,5	50	22	SHOD 221C	SHOD 222C	6	24,8	SHOD 222Q	22	22	1,55
5HD	SHOD 2500	25	50	163	54	55	26	SHOD 251C	SHOD 252C	8	28,3	SHOD 252Q	25	25	2,00
6HD	SHOD 3000	30	58	190	61	68	29	SHOD 301C	SHOD 302C	8	33,3	SHOD 302Q	30	30	2,90
6HD1	SHOD 3200	32	58	198	65	68	33	SHOD 321C	SHOD 322C	10	35,3	SHOD 322Q	30	30	3,00
7HD	SHOD 3500	35	70	212	70	72	35	SHOD 351C	SHOD 352C	10	38,3	—	**	**	4,75
8HD	SHOD 4000	40	80	245	80	85	39	SHOD 401C	SHOD 402C	12	43,3	—	**	**	7,20
9HD	SHOD 5000	50	95	290	95	100	46	SHOD 501C	SHOD 502C	14	53,8	—	**	**	12,00
04HBD	SHBD 1200	12	22	88	31	26	18	SHBD 121C	SHBD 122C	4	13,8	SHBD 102Q	10	10	0,20
1HBD	SHBD 1600	16	25	104	37	30	21	SHBD 161C	SHBD 162C	5	18,3	SHBD 122Q	12	12	0,30
3HBD	SHBD 2000	20	32	124	43	38	24	SHBD 201C	SHBD 202C	6	22,8	SHBD 162Q	16	16	0,50
5HBD	SHBD 2500	25	42	156	54	48	31	SHBD 251C	SHBD 252C	8	28,3	SHBD 202Q	20	20	1,20
6HBD	SHBD 3000	30	50	188	66	56	38	SHBD 301C	SHBD 302C	8	33,3	SHBD 252Q	25	25	1,70
8HBD	SHBD 4000	40	70	238	83	72	47	SHBD 401C	SHBD 402C	12	43,3	—	**	**	4,30

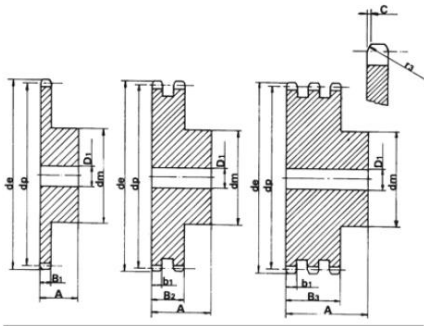
C.2.4 - Pignoni per catene a rulli europee



1/2" x 5/16"

per catene a rulli secondo
DIN 8187 - ISO/R 606

PIGNONI



PIGNONE

RAGGIO DENTE r_3	13	mm
LARGHEZZA RAGGIO C	1.3	mm
LARGHEZZA DENTE PIGNONE B_1	7.2	mm
LARGHEZZA DENTE PIGNONE b_1	7	mm
LARGHEZZA DENTE PIGNONE B_2	21	mm
LARGHEZZA DENTE PIGNONE B_3	34.9	mm

CATENA

PASSO	12.7	mm
LARGHEZZA INTERNA	7.75	mm
RULLO \emptyset	8.51	mm

MATERIALE: C 45 UNI 7845

Z	SEMPLICI			DOPPI			TRIPLI				
	d_e	d_p	d_m	D_1	A	d_e	D_1	A	d_e	D_1	A
8	37.2	33.18	20	10	25	20	10	32	20	10	46
9	41.0	37.13	24	10	25	24	10	32	24	12	46
10	45.2	41.10	26	10	25	28	10	32	28	12	46
11	48.7	45.07	29	10	25	32	12	35	32	14	50
12	53.0	49.07	33	10	28	35	12	35	35	14	50
13	57.4	53.06	37	10	28	38	12	35	38	14	50
14	61.8	57.07	41	10	28	42	12	35	42	14	50
15	65.5	61.09	45	10	28	46	12	35	46	14	50
16	69.5	65.10	50	12	28	50	14	35	50	16	50
17	73.6	69.11	52	12	28	54	14	35	54	16	50
18	77.8	73.14	56	12	28	58	14	35	58	16	50
19	81.7	77.16	60	12	28	62	14	35	62	16	50
20	85.8	81.19	64	12	28	66	14	35	66	16	50
21	89.7	85.22	68	12	28	70	16	40	70	20	55
22	93.8	89.24	70	12	28	70	16	40	70	20	55
23	98.2	93.27	70	14	28	70	16	40	70	20	55
24	101.8	97.29	70	14	28	75	16	40	75	20	55
25	105.8	101.33	70	14	28	80	16	40	80	20	55
26	110.0	105.36	70	16	30	85	20	40	85	20	55
27	114.0	109.40	70	16	30	85	20	40	85	20	55
28	118.0	113.42	70	16	30	90	20	40	90	20	55
29	122.0	117.46	80	16	30	95	20	40	95	20	55
30	126.1	121.50	80	16	30	100	20	40	100	20	55
31	130.2	125.54	90	16	30	100	20	40	110	20	55
32	134.3	129.56	90	16	30	100	20	40	110	20	55
33	138.4	133.60	90	16	30	100	20	40	110	20	55
34	142.6	137.64	90	16	30	100	20	40	110	20	55
35	146.7	141.68	90	16	30	100	20	40	110	20	55
36	151.0	145.72	90	16	35	110	20	40	120	25	55
37	154.6	149.76	90	16	35	110	20	40	120	25	55
38	158.6	153.80	90	16	35	110	20	40	120	25	55
39	162.7	157.83	90	16	35	110	20	40	120	25	55
40	166.8	161.87	90	16	35	110	20	40	120	25	55

Bibliografia

- [1] M. Manziolaro, Study, design and test of the target-ion source system for the INFN SPES, PhD Thesis, XXIII PhD Cycle, Department of Mechanical Engineering, University of Padua, 2011.
- [2] «www.eurisol.org,» [Online].
- [3] M. Lindroos, Review of ISOL-type radioactive beam facilities, EPAC, 2004.
- [4] A. Andrichetto et al., The SPES Project At LNL, AIP (American Institute of Physics), 2009.
- [5] G. Meneghetti et al., Design of the SPES Target Heating System: theoretical analyses and comparison with experimental data, TCN CAE, 2008.
- [6] B. Marsh, Proceedings of the CAS–CERN Accelerator School: Ion Sources, Senec, Slovakia, 29 May – 8 June 2012, edited by R. Bailey, CERN-2013-007, pp. 203-254.
- [7] M. Manziolaro et al., Thermal-electric coupled-field finite element modeling and experimental testing of high-temperature ion sources for the production of radioactive ion beams, Review of Scientific Instruments 87.2 (2016): 02B502.
- [8] Borgna F., Potenzialità della tecnologia Isotope Separation On-Line (ISOL) per la realizzazione di un radiofarmaco a base di ^{89}Sr e preliminare sviluppo tecnologico della forma farmaceutica, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Padova, 2012/2013.
- [9] G. Vivian, A. Andrichetto documento DOC_00000XX gestione del locale A16 per il progetto SPES 2015.
- [10] «www.knauf.it,» [Online].
- [11] A. Andrichetto, S. Corradetti, documento DOC_00000029, documento descrittivo/funzionale della cella calda per progetto SPES.
- [12] A. Visentin, tesi di laurea magistrale, progettazione e sviluppo di un sistema di movimentazione per il posizionamento della camera target per il progetto SPES.
- [13] Rayjuras, iris 2 project status, sneap, 2008
- [14] G. Fanti, appunti di misure meccaniche e termiche, quarta edizione, 2014
- [15] L. Caligaris, S. Fava, C. Tomasello, Manuale di meccanica, HOELPI.