







**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA**

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea

**Progettazione meccanica e test di una macchina per  
l'estrazione orizzontale del bersaglio di produzione  
del progetto SPES**

Relatore: Ch.mo Prof. Giovanni Meneghetti

Correlatori: Dott. Alberto Andrighetto  
Ing. Davide Turcato

Laureando: Zanettin Alberto  
Matricola: 1128980

Anno Accademico 2017/2018



# Indice

<b>Sommario .....</b>	<b>1</b>
-----------------------	----------

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

1.1 - Introduzione .....	3
1.2 - Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro .....	5
1.3 - La produzione di fasci di ioni radioattivi (SPES- $\beta$ ) .....	6
1.4 - Configurazione della <i>facility</i> .....	7
1.4.1 - L'acceleratore primario .....	8
1.4.2 - Il target di produzione e il sistema di estrazione e di ionizzazione .....	9
1.4.3 - Sorgenti di ionizzazione .....	12
1.4.4 - Separatori magnetici e post accelerazione .....	13
1.5 - Applicazioni dei fasci di ioni esotici .....	15
1.6 - Conclusioni .....	17

## **Capitolo 2 Il layout del progetto SPES, i sistemi di movimentazione e la macchina di emergenza per l'estrazione orizzontale della camera target .....**

2.1 - Introduzione .....	19
2.2 - L'infrastruttura del progetto SPES .....	19
2.2.1 - Zona di produzione degli ioni esotici .....	21
2.3 - Il locale A6 .....	24
2.4 - Il Front-End (FE) .....	25
2.4.1 - La camera target .....	26
2.5 - I sistemi di movimentazione della camera target .....	29
2.5.1 - L'apparato di movimentazione della coupling table .....	30
2.5.2 - La macchina orizzontale (HHM) .....	32
• <i>Il sistema di movimentazione di camera e sarcofago</i> .....	33
• <i>Il sarcofago</i> .....	33
2.5.3 - Il sistema di movimentazione del deposito temporaneo (TSS) .....	34
• <i>Rastrelliera di stoccaggio</i> .....	35
• <i>Manipolatore cartesiano</i> .....	36
• <i>Braccio telescopico</i> .....	36
• <i>Muretto di schermatura</i> .....	37
• <i>Schema della sequenza di stoccaggio</i> .....	38
2.5.4 - La macchina di estrazione verticale (VHM) .....	42
2.6 - La macchina di emergenza per l'estrazione orizzontale della camera target .....	44
2.7 - Conclusioni .....	55

## **Capitolo 3 La macchina di emergenza per l'estrazione orizzontale della camera target .....**

3.1 - Introduzione .....	57
3.2 - Funzionamento della macchina di emergenza .....	57
3.2.1 - Il sistema di inserimento ed estrazione della camera target .....	58
3.2.2 - Componenti standard del sistema di inserimento ed estrazione .....	65
3.2.3 - Il mezzo di trasporto .....	68
3.2.4 - Il sistema di accoppiamento/disaccoppiamento del transpallet .....	69
3.2.5 - Il sistema di centraggio della macchina di emergenza .....	70
3.2.6 - Il sistema di schermatura .....	72
3.3 - Dimensionamento e verifiche strutturali .....	73
3.3.1 - Sottoassieme mensola .....	73
3.3.2 - Sottoassieme "B" .....	79
3.3.3 - Supporto cuscinetto vite trapezia verticale .....	80

3.3.4 -	Il sistema di trasmissione del moto verticale .....	82
3.3.5 -	Il sistema di trasmissione del moto orizzontale.....	84
3.3.6 -	Schema pneumatico del sistema di azionamento dell'organo di presa e dimensionamento del serbatoio dell'aria compressa.....	86
3.4 -	Stabilità longitudinale e trasversale .....	90
3.4.1 -	Stabilità trasversale.....	90
3.4.2 -	Stabilità longitudinale .....	98
3.5 -	Conclusioni.....	98
<b>Capitolo 4 Realizzazione e test della macchina di emergenza .....</b>		<b>99</b>
4.1 -	Introduzione.....	99
4.2 -	Assemblaggio del sistema di estrazione della camera target.....	99
4.3 -	Assemblaggio del sistema di centraggio .....	103
4.4 -	Test di estrazione e inserimento della camera target.....	105
4.5 -	Analisi dati.....	109
4.6 -	Conclusioni.....	113
<b>Capitolo 5 Elementi di radioprotezione e ciclo di vita della camera target.....</b>		<b>115</b>
5.1 -	Introduzione.....	115
5.2 -	Elementi di radioprotezione .....	115
5.2.1 -	Radiazioni ionizzanti .....	116
5.2.2 -	Grandezze radioprotezionistiche.....	116
5.2.3 -	Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti .....	119
5.2.4 -	Protezione dall'esposizione esterna .....	122
5.2.5 -	Classificazione dei lavoratori ai fini della radioprotezione .....	123
5.3 -	Le fasi operative del progetto SPES .....	124
5.4 -	Rischi radio-protezionistici nel locale A6.....	124
5.4.1 -	Simulazione radioattività locale A6 e calcolo delle schermature .....	125
5.4.2 -	Indumenti di protezione da sostanze radioattive.....	130
5.5 -	Il ciclo di vita della camera target .....	131
5.6 -	Conclusioni.....	137
<b>Conclusioni .....</b>		<b>139</b>
<b>Appendice A Datasheet mezzo di trasporto e componenti standard.....</b>		<b>141</b>
A.1 -	Sollevatore semovente.....	142
A.2 -	Transpallet elettrico.....	144
A.3 -	Guida lineare .....	147
A.4 -	Cuscinetti THK.....	153
A.5 -	Rinvii angolari .....	161
A.6 -	Vite trapezia.....	168
A.7 -	Coppie coniche .....	172
A.8 -	Cuscinetti SKF.....	172
A.9 -	Piedini di livellamento MISUMI .....	173
A.10 -	Gancio Schunk .....	174
A.11 -	Volantini MISUMI.....	176
<b>Bibliografia .....</b>		<b>177</b>







# 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. L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, ed in particolare i Laboratori Nazionali di Legnaro, partecipa attivamente al programma con il progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*). Esso 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.

Il cuore del progetto SPES è costituito dal bersaglio in carburo di uranio: su di esso andrà ad impattare un fascio di protoni proveniente da un ciclotrone in modo da generare le specie radioattive desiderate mediante un processo di fissione nucleare. Il bersaglio di produzione è inserito all'interno della *TIS unit* (o camera *target*), che a sua volta è accoppiata al sistema in grado di generare un fascio di specie radioattive ionizzate. Tale sistema è chiamato *Front-End*. Una volta generati, i prodotti di fissione vengono ionizzati, accelerati ed infine separati in massa al fine di ottenere un fascio di ioni della particolare specie desiderata. La *TIS unit* deve essere sostituita periodicamente. Tuttavia, al momento della sostituzione il suo livello di radioattività è molto alto e per questo motivo è categoricamente escluso ogni tipo di intervento umano. Per questo motivo all'interno dei LNL sono stati progettati, sviluppati e testati diversi sistemi per la movimentazione automatica della camera *target* di SPES.

Il primo è costituito da tutti i sistemi di movimentazione installati direttamente sul *Front-End*, essi consentono infatti la disconnessione della *TIS unit* dall'acceleratore primario.

Il secondo è la HHM (*Horizontal Handling Machine*, o Macchina di Movimentazione Orizzontale). Essa è costituita da un veicolo a guida autonoma industriale chiamato AGV (*Automatic Guided Vehicle*) sul quale è installato un sistema di manipolazione cartesiano. Lo scopo della macchina è duplice, ovvero quello di rimuovere la camera *target* esausta dal *Front-End* e successivamente di andare a posizionarne una di nuova.

Il terzo sistema di movimentazione è costituito dal TSS (*Temporary Storage System*, o Sistema di Deposito Temporaneo). Esso riceve la camera *target* esausta trasportata dalla HHM e, tramite un altro sistema di manipolazione, si occupa del suo stoccaggio all'interno di un deposito schermato. Il TSS può stoccare un massimo di 54 *TIS*.

Il quarto sistema di movimentazione è costituito dalla VHM (*Vertical Handling Machine*, o Macchina di Movimentazione Verticale). Essa consiste in un dispositivo da utilizzarsi in caso di guasto della HHM. Si prevede che l'estrazione in questo caso avvenga verticalmente dal locale sovrastante il bunker di produzione in cui è installato il *Front-End*. Anche in questo caso la

camera contenente il bersaglio di produzione andrà stoccata all'interno di un piccolo deposito schermato.

Il quinto ed ultimo sistema, oggetto di questo lavoro di tesi, è costituito dalla MHM (*Manual Handling Machine*, o Macchina di Movimentazione Manuale). Il suo utilizzo è previsto nelle fasi iniziali del progetto (ovvero quando si dovranno rimuovere bersagli a bassa radioattività) oppure per la movimentazione di *TIS unit* stoccate in precedenza il cui livello di radioattività è sufficientemente diminuito da consentirne la movimentazione manuale. Questa macchina si caratterizza per l'assenza di controllo PLC e per la presenza di movimentazione e azionamenti manuali.

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

**Capitolo 1:** Il capitolo iniziale descrive inizialmente in cosa consiste la metodologia ISOL per la produzione di fasci di ioni radioattivi. Successivamente vengono presentate le principali caratteristiche del progetto SPES, in fase di sviluppo presso i Laboratori Nazionali di Legnaro. Vengono elencate infine 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. Successivamente vengono descritti tutti i sistemi di movimentazione della camera target. Analizzati i possibili guasti di HHM, si illustrano i motivi che hanno spinto a dotarsi di una macchina di emergenza completamente manuale (MHM). Nell'ultima parte verrà introdotta brevemente la macchina di emergenza, risultato della progettazione fatta, descrivendone il funzionamento dal punto di vista delle operazioni necessarie per estrarre la camera target dal Front-End;

**Capitolo 3:** In questo capitolo si descriverà dettagliatamente la macchina di emergenza, spiegandone la funzione, le modalità di utilizzo e le parti che la compongono. Successivamente si esporranno i dimensionamenti e le verifiche strutturali dei componenti principali. Infine, si analizzerà la stabilità longitudinale e trasversale della macchina di emergenza allo scopo di ricavare la velocità critica di marcia;

**Capitolo 4:** In questo capitolo verrà descritta la realizzazione della macchina di emergenza dal punto di vista del suo assemblaggio. Infine, si presenteranno la procedura di esecuzione dei test, le misure fatte e l'elaborazione dati. Come si vedrà alla fine del capitolo, i risultati ottenuti dimostrano la funzionalità della macchina realizzata;

**Capitolo 5:** In quest'ultimo capitolo verranno presentati i principali argomenti di radioprotezione allo scopo di descrivere in modo esaustivo le criticità a cui può andare incontro il personale che si trova ad operare in ambienti radioattivi. Verranno forniti i limiti di dose, previsti dalla legge, a cui l'operatore può essere esposto e le attenzioni da porre, come il tipo di vestiario e i sistemi di schermatura, per contenere il pericolo di contaminazione. In un secondo tempo si analizzerà il ciclo di vita della camera target dal punto di vista delle movimentazioni richieste, dall'inserimento nel front-end allo stoccaggio nel temporary storage, e al successivo trasferimento nella hot-cell disponibile nel laboratorio PB4 sito in superficie.

# Capitolo 1

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

### 1.1 - Introduzione

La materia di cui sono costituiti i vari materiali dipende dagli atomi che la costituiscono, dalla disposizione nello spazio e dalle varie interazioni tra gli stessi. In particolare, gli atomi vengono suddivisi in vari elementi che sono determinati dal tipo di nucleo che lo compongono, il quale comprende più del 99.9% della materia di tutto l'atomo. Il tipo di elemento è determinato dal numero di protoni di cui è costituito il nucleo, mentre la massa, dalla somma del numero di protoni ( $Z$ ) e da quello dei neutroni ( $N$ ). Atomi dello stesso elemento con numero di neutroni diversi, avranno, quindi, masse diverse ma essenzialmente identiche proprietà chimiche. Tali atomi sono chiamati isotopi con massa generalmente indicata con  $A=Z+N$ .

I protoni sono carichi positivamente, mentre i neutroni non sono carichi [1]. Attorno al nucleo girano gli elettroni. Il numero di protoni ( $Z$ ) identifica univocamente l'atomo, mentre il numero di neutroni ( $N$ ) può variare. La somma di questi due, indicata come  $A$ , è il numero di massa. Le particelle con la stessa carica presenti nel nucleo, determinano l'insorgenza di forze repulsive coulombiane, le quali, causando instabilità, determinano la sua disgregazione. Nonostante ciò, la presenza della forza, denominata interazione forte, che si presenta con particolare intensità nel nucleo, ne conferisce stabilità e integrità opponendosi alla repulsione elettrostatica dei protoni di carica positiva. La fisica nucleare, si prefigge l'obiettivo di studiare e definire le proprietà dei nuclei.

Un'uguale quantità di neutroni e protoni caratterizzano i nuclei stabili, cioè quelli non radioattivi, perché rispetto a nucleoni della stessa tipologia, hanno interazioni più intense.

Se, però, la massa atomica supera il valore 40, vincono i legami elettrostatici, rendendo più stabili gli atomi che presentano nel nucleo una quantità maggiore di neutroni rispetto ai protoni, perché aumentare i neutroni non determina un aumento di repulsione, ma permette solo di aumentare le distanze tra i vari nucleoni. Come detto prima, però, la forza nucleare forte agisce solo a breve distanza e così facendo, l'aumento di neutroni determina una maggiore instabilità del nucleo. (Figura 1.1) La carta dei nuclidi posiziona i vari isotopi secondo il numero dei loro protoni e neutroni, in particolare nell'asse delle ordinate sono rappresentati i protoni ( $Z$ ) e in quello delle ascisse i neutroni ( $N$ ). Si possono identificare subito i nuclei stabili,

è distante da questa retta, denominata valle di stabilità, e se presentano una maggiore abbondanza nel nucleo di neutroni, vengono definiti *neutron-rich*, altrimenti se presentano più protoni che neutroni, sono definiti *proton-rich*. Questi nuclei possono decadere emettendo radiazioni o particelle, in base alla loro natura.

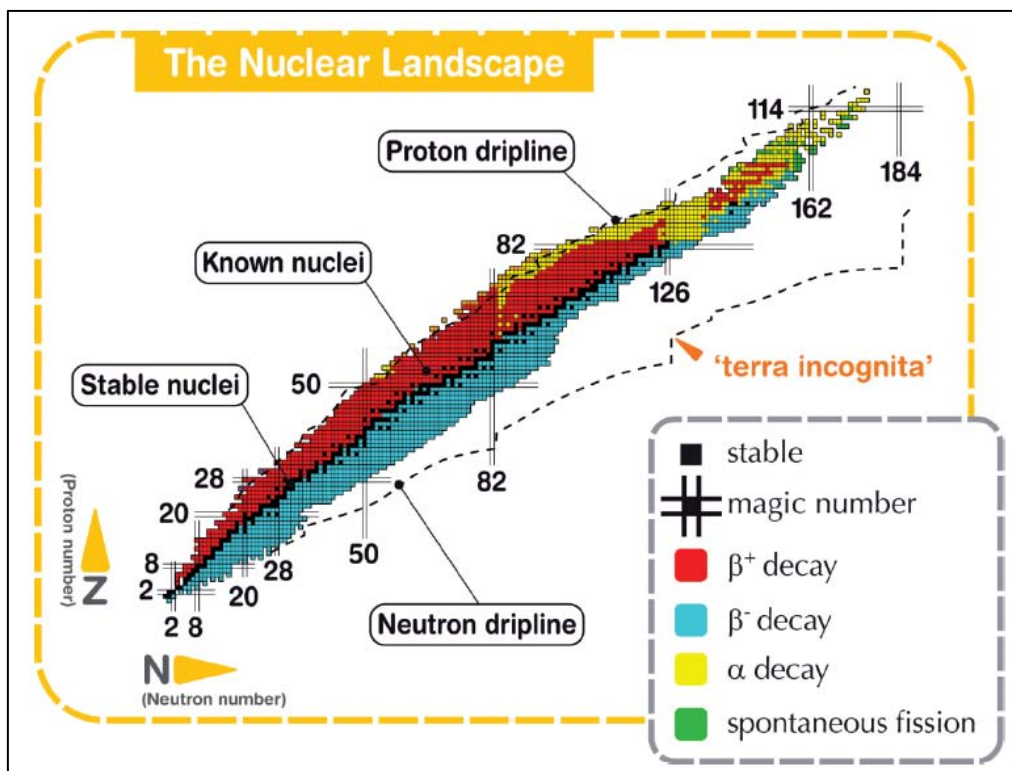


Figura 1.1 Carta dei nuclidi [2].

Il decadimento dei nuclei può essere di 4 nature diverse [1]:

- Decadimento alfa: attraverso l'emissione di una particella  $\alpha$ , cioè un nucleo di  ${}^4\text{He}$ , formato quindi da  $2p+2n$ . Questo è un fenomeno caratteristico degli atomi con  $Z > 83$ . Tutto ciò comporta ad una riduzione di  $A$  e anche di  $Z$  in base a:  
 $Z_D = Z - 2$   
 $A_D = A - 4$   
 Dove  $Z_D$  e  $A_D$  sono i corrispettivi valori dopo il decadimento.
- Decadimento beta: può avvenire in due modi:  
 $n \rightarrow p^+ + \beta^- + \bar{\nu}$   
 $p^+ \rightarrow n + \beta^+ + \nu$   
 La prima reazione comporta un decadimento di tipo  $\beta^-$ , tipico dei nuclei *neutron-rich*, al di sotto della valle di stabilità, colorati in blu nella carta dei nuclidi. Tale decadimento permette quindi l'emissione di neutroni tendendo alla valle di stabilità. In particolare, questa reazione di decadimento porta alla perdita di un elettrone ( $\beta^-$ ) e un antineutrino in seguito alla trasformazione di un neutrone in protone. Così carica e massa risultano bilanciate. La seconda reazione comporta un decadimento di tipo  $\beta^+$ , tipico dei nuclei *proton-rich*, al di sopra della valle di stabilità, colorati in rosso nella carta dei nuclidi. In particolare, questa reazione di decadimento porta alla perdita di un positrone ( $\beta^+$ ) e un neutrino in seguito alla trasformazione di un protone in neutrone. Così carica e massa risultano bilanciate.
- Fissione spontanea: accade solo in nuclei molto pesanti, rappresentati in verde nella carta dei nuclidi. Tale fenomeno è spontaneo e porta alla divisione in due atomi diversi come accade per esempio in questo caso: 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  $\gamma$ : è una forma di decadimento che non comporta variazione delle specie atomiche ma solo emissione di radiazioni elettromagnetiche, avvenendo in concomitanza o successivamente alle tipologie di decadimento sopra riportate. Ciò è dovuto in quanto i nuclei figli neoformati, presentano uno stato di eccitazione tale da emettere radiazioni elettromagnetiche ad alta frequenza.

Ad oggi, nelle varie *facility* del mondo, sono state indagate le proprietà di circa 3600 nuclei. In base a calcoli teorici i nuclei radioattivi, chiamati esotici, potrebbero essere circa 6000. Rifacendoci alla carta dei nuclidi, notiamo la presenza di *driplines* linee che determinano il limite oltre il quale le instabilità renderebbero impossibile la presenza di tali nuclei radioattivi. Tuttavia, sono molti i nuclei sconosciuti, soprattutto nella zona *neutron-rich*. Nella carta dei nuclidi, si trovano indicazioni circa i cosiddetti numeri magici, cioè numeri di protoni e neutroni che danno particolare stabilità all'atomo. Tali numeri sono per 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:  $^4\text{He}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ . Studiare i nuclei instabili ha portato a numerosi progressi in diversi ambiti come la fisica nucleare, astrofisica e fisica dello stato solido ed inoltre nella produzione di radionuclidi terapeutici e diagnostici per la medicina nucleare.

## 1.2 - Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro

Il progetto SPES [3], acronimo di Selective Production of Exotic Species, si pone l'obiettivo di realizzare una *facility* in grado di produrre fasci di ioni radioattivi, detti RIB (Radioactive Ion Beam), che verranno utilizzati in svariati campi applicativi, dalla fisica alla medicina nucleare. In particolare, sarà possibile studiare nuclei atomici instabili, chiamati esotici. Ciò permetterà di ampliare l'attuale conoscenza riguardante la struttura del nucleo. Il progetto è organizzato in quattro fasi distinte:

- SPES- $\alpha$ : questa fase iniziale vedrà la realizzazione della struttura atta ad ospitare l'acceleratore e le relative sale adibite ai vari esperimenti. Come acceleratore viene utilizzato un ciclotrone in grado di lavorare con energie elevate, fino a  $70 \text{ MeV}^1$ . In particolare, due differenti uscite del ciclotrone permetteranno di realizzare sia esperimenti di fisica nucleare che di fisica applicata;
- SPES- $\beta$ : in questa seconda fase si otterrà la produzione di nuclei esotici ricchi di neutroni. Verranno utilizzati differenti target per ottenere differenti specie di nuclei.
- SPES -  $\gamma$ : questa parte del progetto vedrà l'utilizzo del ciclotrone per la produzione di radionuclidi che serviranno per nuovi studi sui radiofarmaci.
- SPES -  $\delta$ : in questa ultima fase verrà sviluppata una sorgente neutronica, utilizzando il ciclotrone o un acceleratore ad alta intensità. La sorgente troverà poi impiego in svariati campi applicativi che spaziano dall'astrofisica al trattamento di tumori.

---

<sup>1</sup> 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.

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

I fasci di ioni radioattivi per essere prodotti richiedono generalmente un apparato molto complesso. In particolare, per la tipologia di esperimenti per cui sono sviluppati, tali fasci devono avere elevata purezza (cioè costituiti dal solo isotopo desiderato), elevata intensità ed energia. Nel mondo vari tipi di *facilities* sono in corso di sviluppo o in operazione. Una buona parte di queste per la produzione di tali fasci utilizza la tecnica ISOL [4] (*Isotope Separation On-Line*), generalmente composte da (Figura 1.2):

- Un acceleratore primario;
- Un sistema target-sorgente di estrazione e ionizzazione;
- Un front end
- Separatori di massa
- Un post-acceleratore

L'acceleratore primario genera un fascio di particelle stabili utilizzate come proiettili da inviare sul target, o bersaglio. Esso può essere costituito da vari tipi di materiali, ma i più richiesti sono di materiale fissile in quanto uno spettro molto più ampio di particelle può essere prodotto. Vari tipi di reazioni nucleari avvengono al suo interno a seconda dell'energia del fascio e dal target: fissione, spallazione, frammentazione, le quali vanno a generare gli isotopi radioattivi. Essi poi evaporano dal target, migrano verso la sorgente di ionizzazione e, quindi, vengono ionizzati e successivamente accelerati con la produzione di RIB. Per selezionare l'isotopo desiderato, quindi, oltre ad agire a livello di sorgente di ionizzazione, che permette di ionizzare solo alcuni elementi, si utilizzano i separatori di massa che, agendo su un campo magnetico imposto, determinano il raggio di curvatura della particella desiderata. Quindi i fasci RIB sono o inviati agli esperimenti a basse energie o aumentati di stato di carica e quindi nuovamente accelerati in modo da raggiungere energie più alte se richieste dall'esperimento.

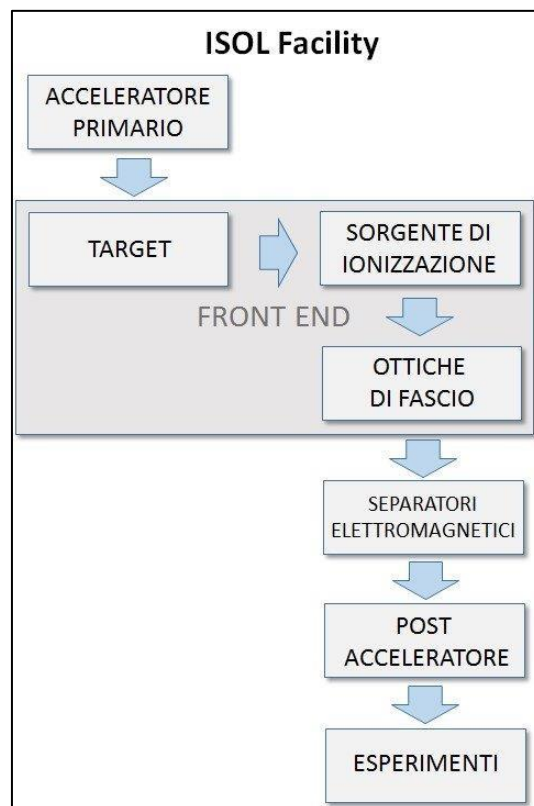


Figura 3.2 Schema di una facility di tipo ISOL.

Più alta è l'intensità del fascio radioattivo prodotto inviato agli esperimenti e migliore sarà la statistica dell'esperimento stesso. Di conseguenza tale valore è determinante per capire la fattibilità dell'esperimento. Essa è generalmente descritta dall'equazione 1.1:

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

dove:

- $\sigma$  è chiamata sezione d'urto della reazione nucleare, cioè la probabilità che tale reazione avvenga;
- $\Phi$  è la corrente del fascio primario;
- $N$  è lo spessore del *target*;
- $\varepsilon_1$  è l'efficienza di *release* del *target*;
- $\varepsilon_2$  è l'efficienza di ionizzazione;
- $\varepsilon_3$  è un fattore raggruppante l'efficienza del processo di estrazione e trasporto.

È chiaro quindi come per una facility ISOL sia fondamentale un sistema target-sorgente efficiente. In particolare, si deve prestare molta attenzione a:

- riduzione del tempo di rilascio e trasporto dell'isotopo radioattivo dal target alla sorgente;
- ottimizzazione della produzione mantenendo elevata la purezza del fascio.

Per il primo punto si può agire in modo molto efficace sulla temperatura a cui viene mantenuto il target, in quanto aumentandola si favoriscono i processi di diffusione atomica. Per tale motivo maggiore e più uniforme è la temperatura del target, migliori sono le prestazioni e la produzione, specialmente di quegli elementi a tempo di dimezzamento più breve che possono decadere durante tale processo e diminuendo quindi l'efficienza totale del sistema. È necessario però che tale livello di temperatura sia sostenibile dal target e da tutti i materiali di cui è composto.

Le più importanti *facility ISOL* in funzione nel mondo sono ISOLDE al CERN (Svizzera), Alto ad Orsay (Francia) e TRIUMPH a Vancouver (Canada).

#### 1.4 - Configurazione della *facility*

Le richieste maggiori di fasci prodotti dal progetto SPES sono determinate a partire da un target in Carburo di Uranio  $UC_x$ , nel quale il materiale fissile è costituito da  $^{238}U$ . Esso produce masse tra gli 80 e 160 uma nella parte *neutron-rich* della tavola degli isotopi, con un totale massimo di circa  $10^{13}$  fissioni/secondo. Un elevato livello di radioattività è prodotto durante tale processo e, quindi, è necessario prevedere un sistema di infrastrutture e apparati in grado di garantire la sicurezza di persone e materiali. In Figura 1.3 si mostra una rappresentazione sommaria della *facility* in costruzione del progetto SPES.

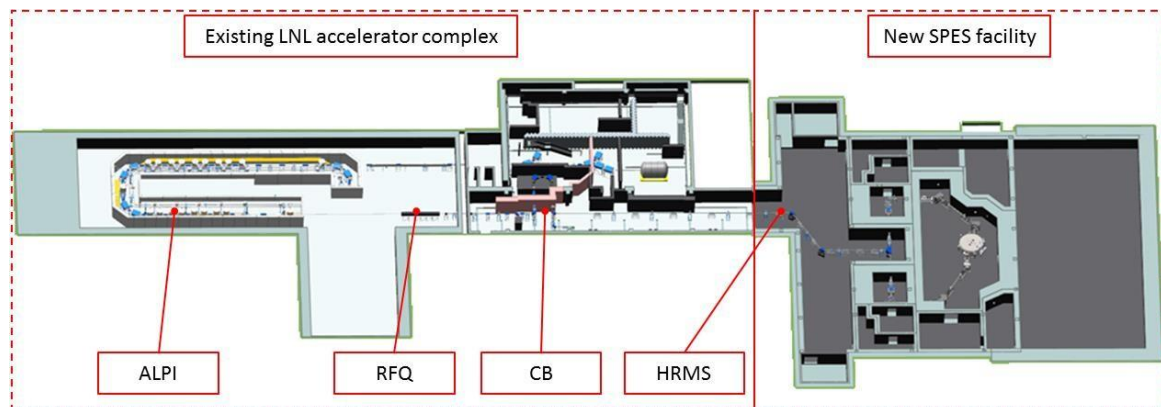


Figura 3.3 Layout del progetto SPES.

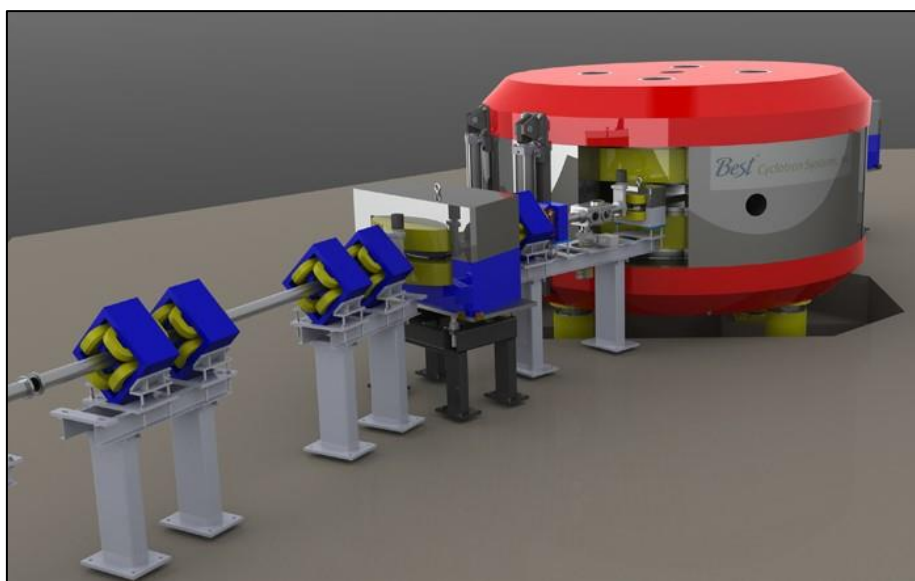


**Figura 3.4** Posizione dell'edificio per SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

I principali componenti che compongono SPES verranno quindi descritti di seguito.

#### 1.4.1 - L'acceleratore primario

L'acceleratore primario produce il fascio primario utilizzato come proiettile per la rottura degli atomi del bersaglio. Nel caso particolare è costituito da un fascio di protoni prodotti dal ciclotrone 70p sviluppato dalla Best Cyclotron e mostrato in Figura 1.5. A differenza di altri ciclotroni commerciali utilizzati anche in ambito ospedaliero, esso ha la caratteristica di produrre un fascio protonico di elevata intensità fino a  $750 \mu\text{A}$  di corrente ed energia di 70 MeV, per una potenza totale di 52.5 kW. Una caratteristica peculiare di tale ciclotrone è la possibilità di fornire simultaneamente due fasci a due diversi utenti, in modo da poter rendere SPES fruibile anche da utilizzatori interessati a tale fascio di protoni come, ad esempio, per la produzione di radiofarmaci.



**Figura 3.5** Il ciclotrone BEST 70p.

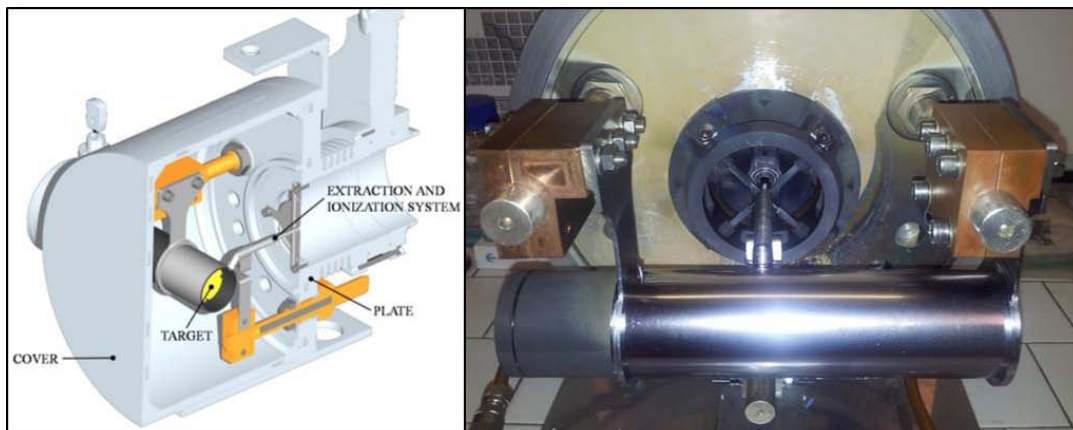




**Figura 3.6** Fasi dell'installazione del ciclotrone BEST 70p nell'edificio SPES a maggio 2015.

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

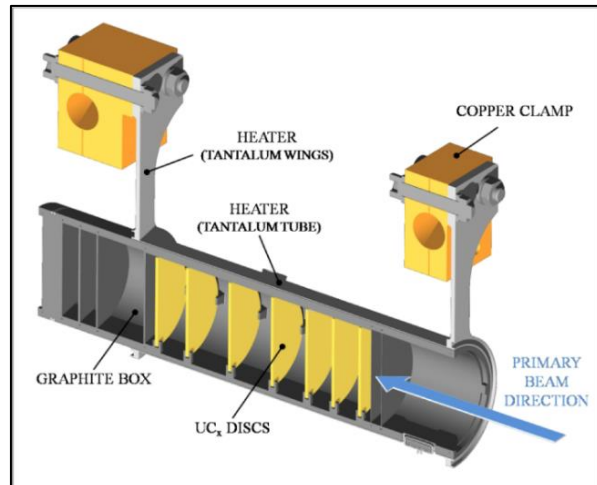
Il sistema target-sorgente, cuore della *facility* SPES, è contenuto all'interno di una camera (Figura 1.7), denominata appunto camera *target*. Essa è raffreddata da un circuito di acqua in modo da rimuovere la potenza rilasciata dal fascio protonico e dal sistema di riscaldamento ohmico. Il target viene mantenuto in condizioni di alto vuoto ( $10^{-6}$  mbar) sia per evitare ossidazione dei componenti per le alte temperature in gioco, necessarie all'evaporazione degli isotopi radioattivi, sia per un efficiente trasporto del fascio protonico e radioattivo.



**Figura 3.7** Rappresentazione CAD (destra) e foto (sinistra) della camera target del progetto SPES.

Il target è costituito da sette dischi di diametro 40 mm e spessore 0.8 mm in UCx opportunamente distanziati assialmente in modo da dissipare termicamente l'elevata potenza rilasciata dal fascio protonico. Essi sono mantenuti in posizione da un sistema di supporti all'interno di un cilindro cavo in grafite di spessore 2 mm, lunghezza circa 200 mm e diametro esterno 49 mm (Figura 1.8). Due dischetti di spessore 0.2 mm prima, e tre componenti a forma di bicchiere poi, di spessore 1 mm circa, tutti in grafite, mantengono il sistema confinato in modo da non disperdere gli isotopi prodotti al di fuori del target e fermare completamente il fascio. Tale sistema viene inserito all'interno di un tubo di tantalio di spessore 0.2 mm e diametro esterno 50 mm opportunamente supportato [5].

l'evaporazione della maggior parte degli atomi prodotti. Nel caso in cui non venga inviata la massima potenza di fascio protonico e nella fase di condizionamento del target, il tubo in tantalio, denominato per l'appunto riscaldatore permette al target di raggiungere le temperature desiderate grazie ad elevate correnti continue che lo percorrono e che sviluppano quindi calore per effetto Joule.



**Figura 3.8** Il target SPES.

Il processo di evaporazione delle specie esotiche e successivo trasporto verso la sorgente di ionizzazione richiede un tempo che non permette al più la produzione di atomi radioattivi con tempo di dimezzamento fino a decine di millisecondi. La connessione del target alla sorgente avviene attraverso una linea di trasferimento, denominata *transfer line*, costituita da un tubo di tantalio di diametro esterno circa 9 mm e spessore 0.8 mm, anch'essa mantenuta a temperature superiori ai 2000°C (Figura 1.11).

La linea di trasferimento e la sorgente vengono riscaldate per effetto Joule da un secondo circuito di corrente continua.

Come già detto, il primo stadio di selezione del fascio viene fatto a livello di sorgente. A seconda dell'elemento da ionizzare, che avrà quindi un certo potenziale di ionizzazione viene scelta una opportuna sorgente di ionizzazione. I metalli alcalini ed alcalini-terrosi, ad esempio, hanno basse energie di ionizzazione mentre gli alogeni e i gas-nobili hanno alte energie di ionizzazione.

La Figura 1.9 rappresenta il tipo di elemento con il metodo preferibile da utilizzare per la sua ionizzazione. Gli elementi evidenziati in blu non possono essere ionizzati in quanto la loro temperatura di evaporazione è troppo elevata e per questo motivo sono per l'appunto chiamati refrattari. La Figura 1.10 illustra, invece gli isotopi che potranno essere prodotti nel progetto SPES.

		1																18						
		surface ionization mechanism																laser ionization mechanism		electron impact ionization mechanism		not extracted		
1	1	2																	18	2				
	H	He																						
2	3	4																	5	6	7	8	9	10
	Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
3	11	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18						
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar																
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36						
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54						
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86						
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	Main fission (p-> <sup>238</sup> U) fragments													
	Fr	Ra	Ac	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une	Unn														

**Figura 3.9** Principali elementi prodotti attraverso un target in carburo di uranio e i rispettivi metodi di ionizzazione.

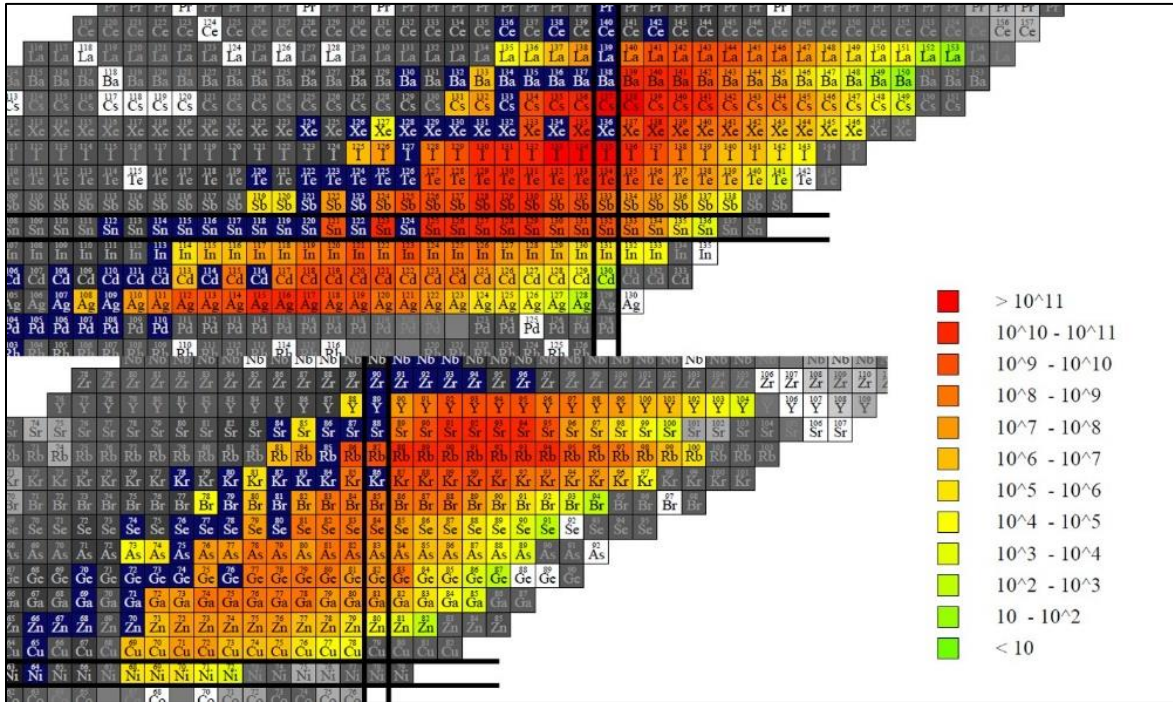


Figura 3.10 Isotopi prodotti nel progetto SPES (produzione a particelle al secondo).

La differenza di potenziale tra sorgente di ionizzazione ed elettrodo di estrazione di 40 kV permette la prima fase di accelerazione del fascio RIB. Tale elettrodo è in lega di titanio ( $Ti_6Al_4V$ ) e visibile in Figura 1.11 in quanto leggero, poco attivabile e resistente alle temperature in gioco.

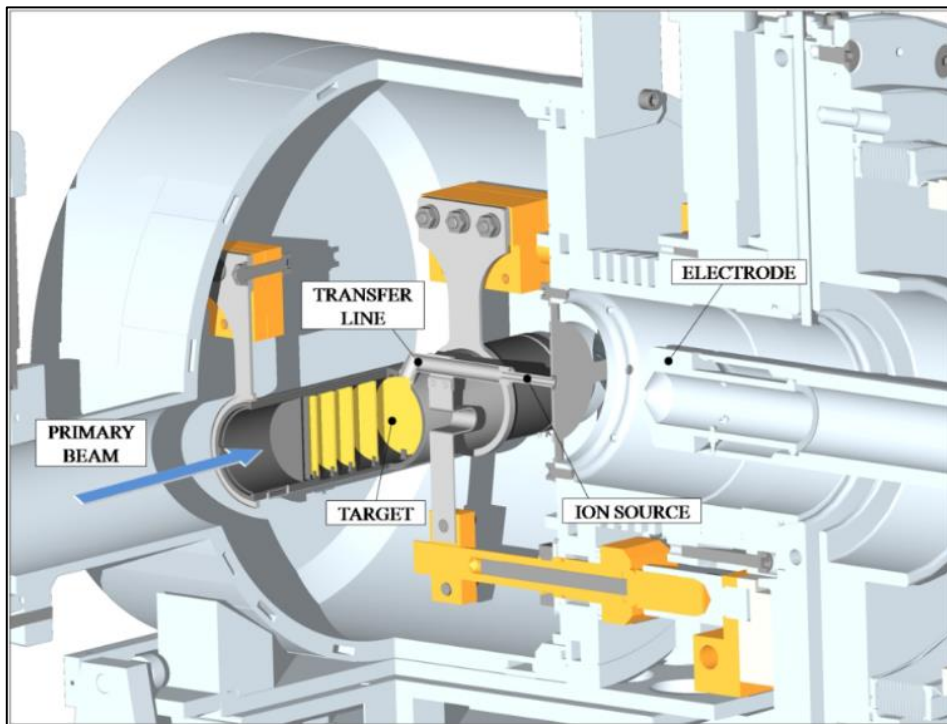


Figura 3.11 Rappresentazione del sistema target-sorgente e di estrazione del progetto SPES.

### 1.4.3 - Sorgenti di ionizzazione

Le principali tipologie di sorgenti di ionizzazioni utilizzate in SPES vengono descritte di seguito.

#### **Surface Ion Source (SIS)**

La sorgente di ionizzazione superficiale (SIS) permette la ionizzazione degli elementi con energia di ionizzazione inferiore alla funzione di lavoro del materiale di cui è costituita (circa 5 eV). Per questo motivo è utilizzata solo per i metalli alcalini e alcalino-terrosi che posseggono le energie di ionizzazione più basse. Essa è per contro molto selettiva. La ionizzazione avviene per semplice impatto dell'atomo contro le superfici calde della sorgente.

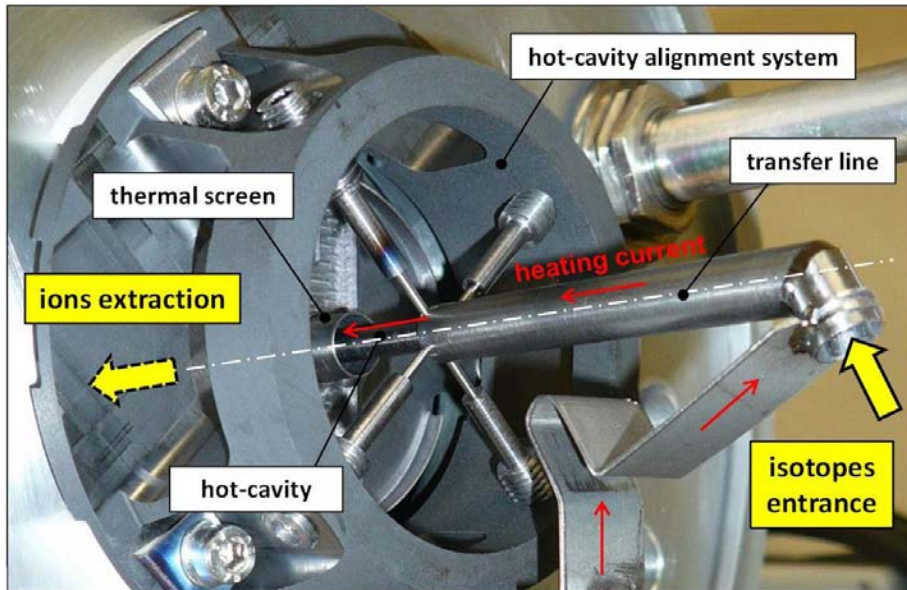


Figura 3.12 Rappresentazione e schema di funzionamento della sorgente di ionizzazione superficiale del progetto SPES [6].

#### **Resonant Ionization Laser Ion Source (RILIS)**

Il metodo RILIS è probabilmente il miglior metodo per produrre fasci di ioni radioattivi per facility di tipo ISOL. Attraverso la sovrapposizione di vari fasci laser dell'opportuna frequenza, vengono ionizzati solo gli atomi di uno specifico elemento. Gli unici contaminanti sono costituiti dagli elementi alcalini e alcalini-terrosi che vengono comunque ionizzati per ionizzazione superficiale in quanto l'architettura della sorgente è identica alla SIS. Lo schematico di questo metodo di ionizzazione viene presentato in Figura 1.13.

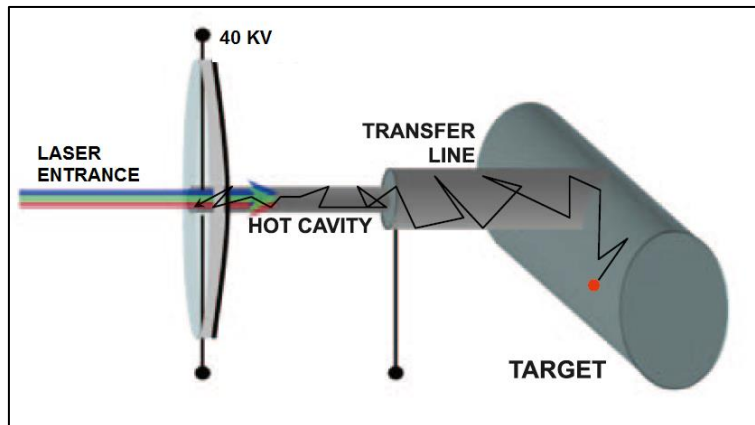
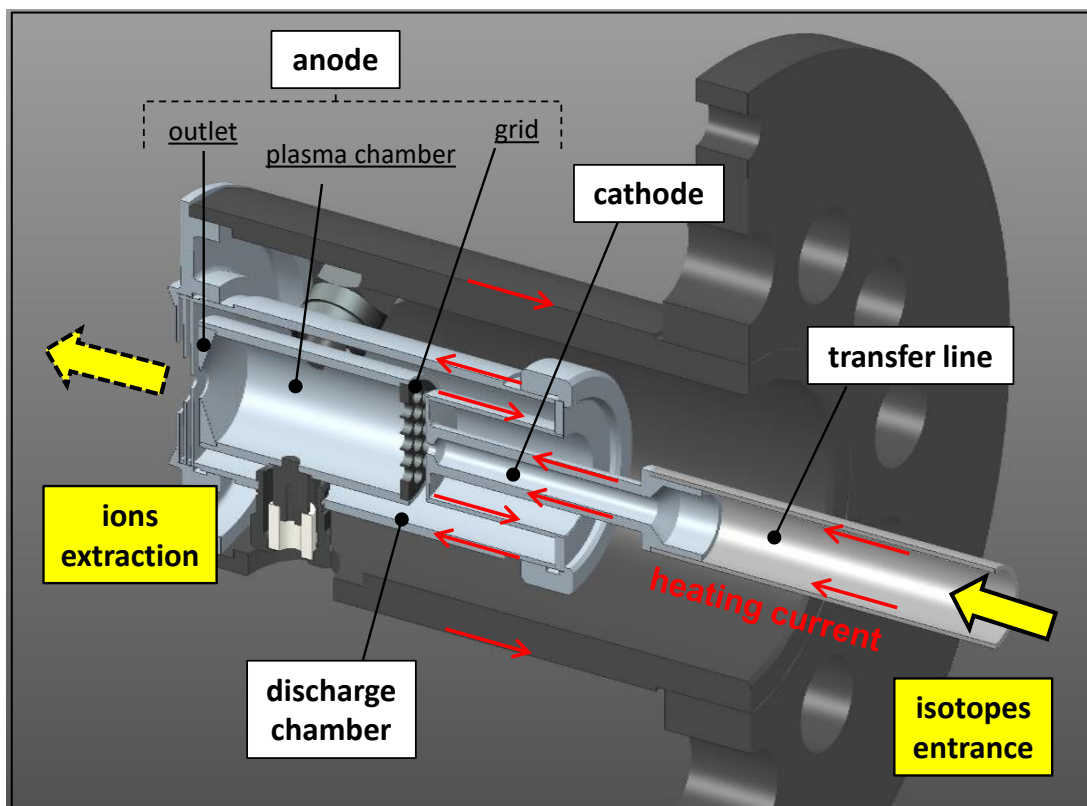


Figura 3.13 Schema di funzionamento della RILIS [7].

Con questa metodologia di ionizzazione non possono essere ionizzati gli elementi con energia di ionizzazione maggiore, cioè i gas nobili e gli alogeni.

### **Plasma ion source (PIS)**

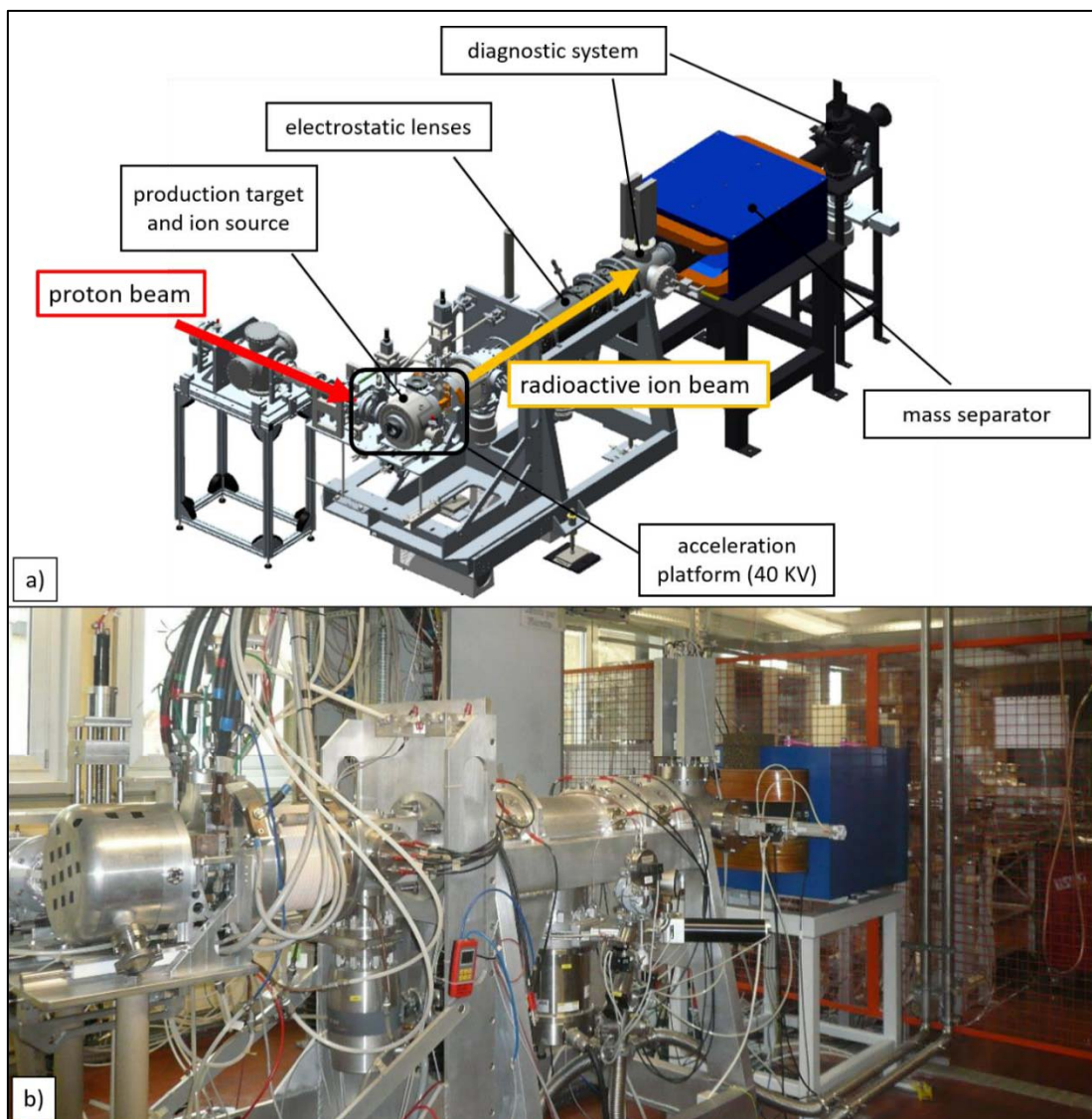
Per il progetto SPES, la sorgente di ionizzazione utilizzata per gli elementi con energia di ionizzazione maggiore è una sorgente al plasma di tipo FEBIAD (*forced electron beam induced arc discharge*). La ionizzazione avviene attraverso gli elettroni emessi per effetto termoionico da un catodo ad elevata temperatura e successivamente accelerati da una differenza di potenziale di un centinaio di Volt. L'impatto di questi elettroni con l'atomo neutro provoca l'emissione di un elettrone dall'atomo e la conseguente ionizzazione. Ioni ed elettroni creano quindi un plasma a densità bassa che favorisce il processo di ionizzazione. La sorgente FEBIAD utilizzata in SPES è uno sviluppo della precedente sorgente MK5 utilizzata a ISOLDE (CERN). Il vantaggio principale di tale sorgente è la possibilità di ionizzare tutti gli elementi, cosa che però costituisce anche uno svantaggio in quanto si ha la massima presenza di contaminanti.



**Figura 3.14** Schema di funzionamento di una sorgente di ionizzazione di tipo FEBIAD [6].

#### 1.4.4 - Separatori magnetici e post accelerazione

Dopo che il fascio è stato accelerato attraverso la differenza di potenziale tra foro di uscita della sorgente di ionizzazione ed elettrodo estrattore, si passa ad una prima fase di selezione degli ioni prodotti. Essa avviene attraverso un separatore di velocità di tipo Wien Filter che filtra la maggior parte dei contaminanti del fascio di massa differente da quella dell'isotopo desiderato. In Figura 1.15 viene rappresentato il *front end* del progetto SPES con evidenziato il Wien Filter.



**Figura 3.15** Front end di SPES versione CAD per l'utilizzo on-line **a)** e apparato attualmente installato ai Laboratori per la produzione di fasci di stabili (versione off-line) **b)**.

Un separatore molto più efficiente, denominato HRMS, è in questo periodo in fase di studio per la selezione degli isotopi isobari. La risoluzione richiesta dovrebbe essere pari a 20000, cosa che ad esempio permetterebbe la separazione degli isotopi come il  $^{132}\text{Cs}$  e lo  $^{132}\text{Sn}$ .

Ora il fascio RIB è o direttamente inviato alle sale sperimentali a bassa energia nel caso in cui gli utenti non richiedano energie elevate oppure può essere successivamente riaccelerato. In questo caso il primo step è l'aumento dello stato di carica del fascio attraverso l'utilizzo di un *Charge Breeder*. Successivamente esso viene iniettato in ALPI, un acceleratore lineare di tipo LINAC già in funzione ai Laboratori, per mezzo di un RFQ attualmente in fase di sviluppo e realizzazione.

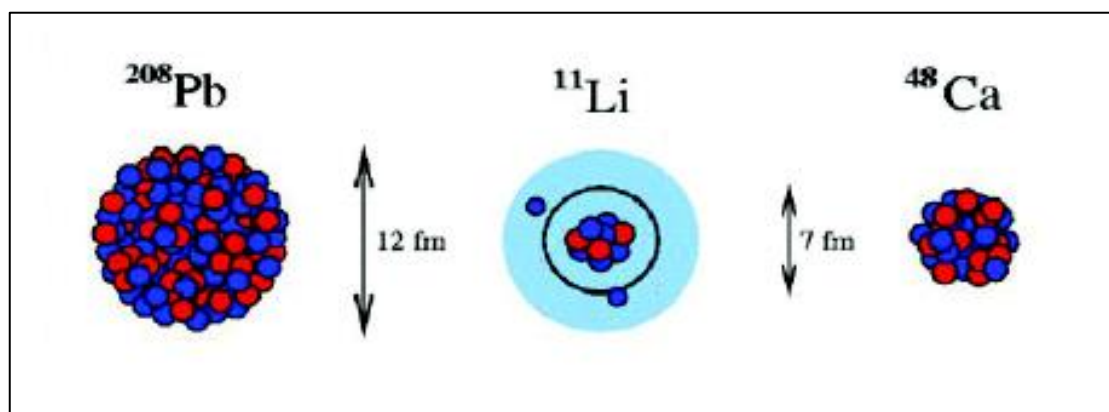


**Figura 3.16** Un tratto del linac ALPI a sinistra. Sono raffigurati i criostati, recipienti contenenti le cavità superconduttive mantenute a temperature prossime allo 0 K (a  $T=-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A destra: l'interno di un criostato con 4 cavità in rame.

### 1.5 - Applicazioni dei fasci di ioni esotici

Lo studio dei nuclei esotici trova impiego in svariati campi e per questo negli ultimi anni si è registrato un crescente interesse della comunità scientifica sull'argomento.

In particolare, in fisica nucleare le sorgenti di ioni radioattivi potrebbero dare un valido contributo al perfezionamento dell'attuale modello standard, attraverso la misura del tempo di decadimento di vari tipi di isotopi. Fasci ad alta energia saranno inoltre fondamentali per la misura delle dimensioni di particolari tipi di nuclei, chiamati *halo*. In questi nuclei si registra un numero eccessivo di neutroni rispetto al corrispondente stabile. Inoltre, la presenza di un legame debole di alcuni di questi neutroni con il proprio nucleo definisce delle orbite di rotazione su cui gravitano i neutroni di valenza. Per meglio capire, si consideri l'isotopo  $^{11}\text{Li}$ : il suo nucleo è circa delle stesse dimensioni del nucleo dell'isotopo  $^{48}\text{Ca}$ . Tuttavia, tenendo conto anche delle due orbite di valenza che caratterizzano l'isotopo di Litio, la grandezza del nucleo risulta paragonabile a quelle dell'isotopo  $^{208}\text{Pb}$  (Figura 1.17).

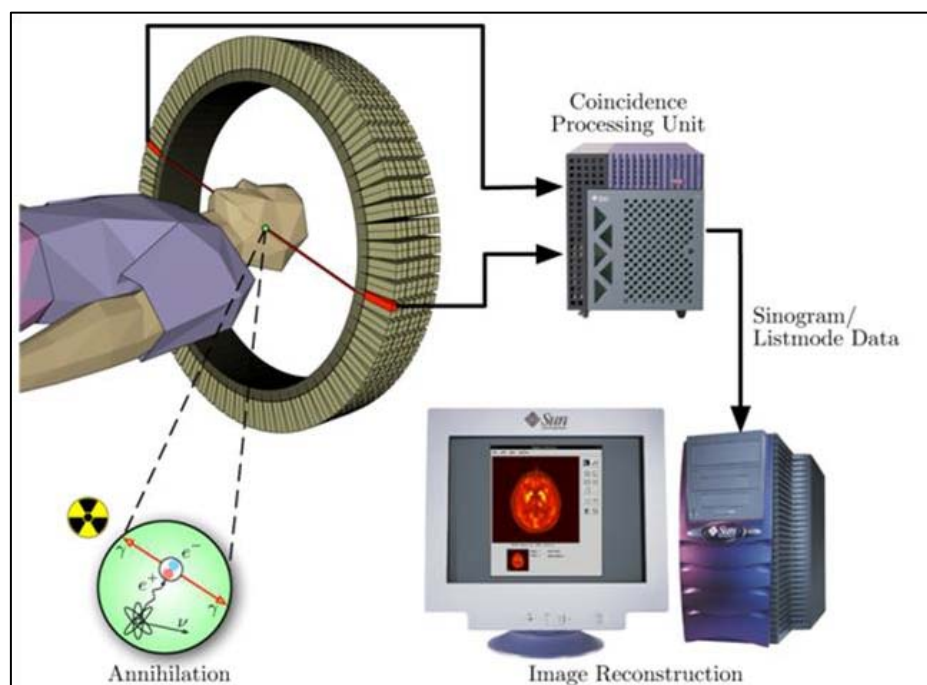


**Figura 3.17** Paragone tra la dimensione del nucleo di  $^{11}\text{Li}$  e quella di altri nuclei più massivi.

L'utilizzo di fasci ad elevata energia potrebbe inoltre dare un valido contributo alla produzione di nuovi elementi con elevato numero di massa. Recentemente sono stati infatti sintetizzati elementi detti superpesanti attraverso reazioni nucleari, riuscendo così ad estendere i costituenti della tavola periodica.

Svariate applicazioni sono possibili anche in ambito di fisica dello stato solido. Ad esempio, la tecnica del Radio Tracer Diffusion (Figura 1.18) permette di studiare il decadimento di nuclei radioattivi impiantati in un sistema solido. È inoltre possibile approfondire le interazioni tra atomi sonda e la struttura che li circonda. Si possono quindi ricavare varie informazioni sul reticolo cristallino, come i campi elettrico e magnetico al suo interno o la presenza di difetti. Lo studio dei difetti in una struttura cristallina può inoltre portare un valido contributo allo sviluppo di semiconduttori di dimensioni contenute. Gli isotopi droganti radioattivi sono infatti in grado di alterare le proprietà dei semiconduttori in cui vengono inseriti, sia ottiche che elettriche.

Infine, i fasci di ioni radioattivi trovano applicazione anche in campo medico, sia per quanto riguarda la diagnosi sia nel trattamento di tumori. La tomografia ad emissione positronica sfrutta l'emissione di positroni per controllare il funzionamento degli organi interni. Viene utilizzata per creare mappe in alta definizione di varie parti del corpo di interesse. Secondo la procedura utilizzata, degli isotopi traccianti a vita breve vengono iniettati nel paziente. Una volta diffusa la molecola nel corpo, si attende il legame della stessa con le cellule e si posiziona quindi il paziente nello scanner. Il decadimento dell'isotopo avviene con l'emissione di un positrone. Questo si annichila con un elettrone e vengono emessi due fotoni con energia simile a quella dei raggi gamma. I fotoni vengono quindi rilevati dallo scanner: risulta così possibile determinare la posizione di emissione degli stessi e quindi monitorare l'attività degli organi oggetto di studio. Si ottengono mappe dei tessuti in cui la particella tracciante si è concentrata in maggiore quantità: sarà quindi possibile effettuare diagnosi e trattamenti adeguati al paziente.



**Figura 3.18** La tecnica di analisi PET.



Il progetto SPES prevede inoltre la produzione di radioisotopi di grande utilità nell'ambito della medicina nucleare. Attraverso una collaborazione con gli ospedali sarà possibile ottenere radioisotopi *neutron-rich-emitters*, molto promettenti in campo terapeutico. Ciò che caratterizza lo studio è la possibilità di ottenere radiofarmaci molto puri, privi di contaminanti [8]. Infine, la produzione di fasci radioattivi permetterà di approfondire lo studio della vita delle stelle, durante la quale vengono sintetizzati molteplici nuovi elementi. Ricavare informazioni sul decadimento e le masse di nuclei lontani dalla valle di stabilità permetterà di sviluppare un modello in grado di descrivere il processo di nucleosintesi e quindi meglio comprendere la sintesi dell'Universo.

### **1.6 - Conclusioni**

Numerose facility sono state costruite negli ultimi anni, sotto la spinta di un crescente interesse da parte della comunità scientifica internazionale riguardo ai fasci radioattivi. In quest'ottica si inserisce anche il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro, che vedrà la realizzazione di una facility di tipo ISOL. Una fase intermedia del progetto vedrà l'utilizzo di un target in Carbro di Uranio, colpito da un fascio ad elevata energia (40 MeV) che permetterà di ottenere  $10^{13}$  fissioni/s.



# Capitolo 2

## Il layout del progetto SPES, i sistemi di movimentazione e la macchina di emergenza per l'estrazione orizzontale della camera target

### 2.1 - Introduzione

Nella prima parte di questo capitolo verrà presentato il layout del progetto SPES. In particolare, verrà posta attenzione sul locale A6 e alle apparecchiature presenti al suo interno che consentono la produzione dei RIB. In seguito, si descriveranno i sistemi di movimentazione, necessari per minimizzare l'intervento umano dentro al locale A6 considerata l'elevata radioattività dell'ambiente che circonda la camera target anche dopo il bombardamento protonico. I sistemi di movimentazione oggetto di analisi sono:

- il sistema di movimentazione della coupling table per accoppiare/disaccoppiare la camera target dal Front-End;
- la macchina per la rimozione orizzontale della camera target dal Front-End;
- il sistema di estrazione verticale della camera target;
- il sistema di movimentazione del deposito temporaneo, in cui sono custodite le camere target utilizzate;

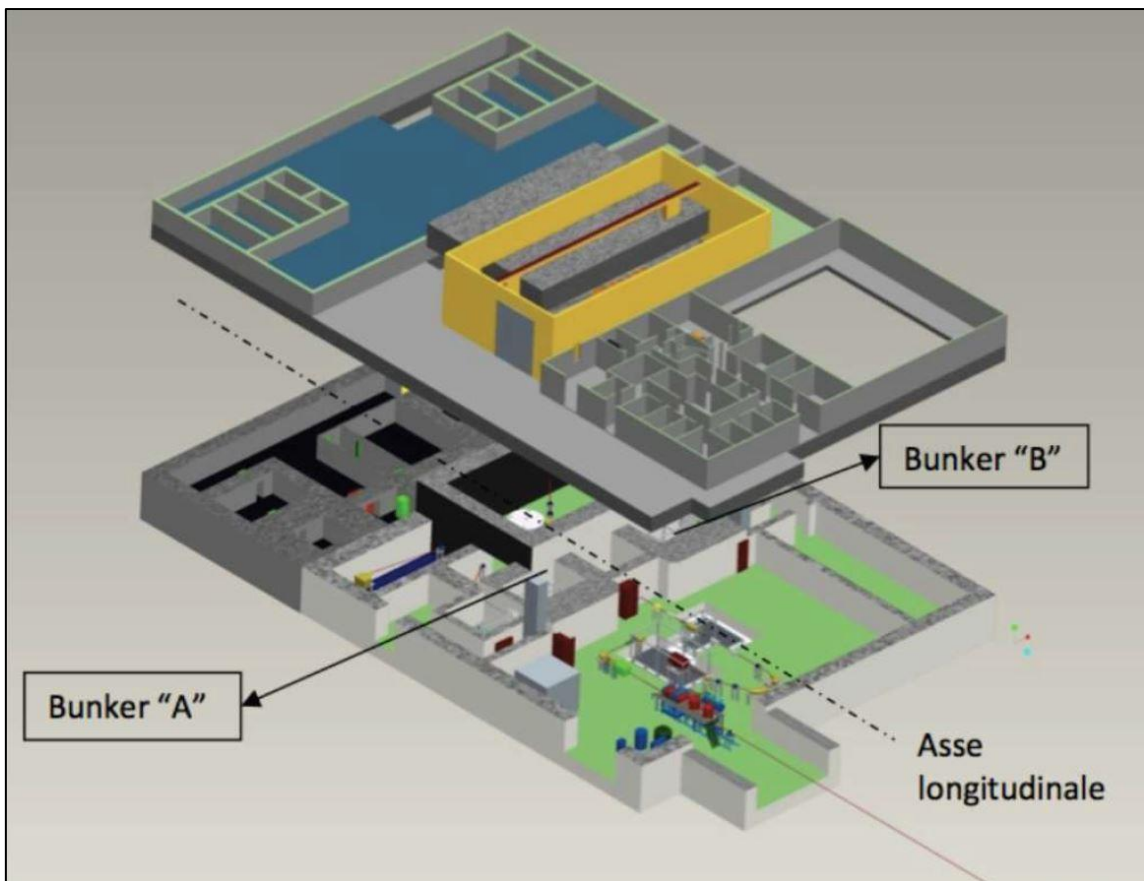
Nell'ultima parte verrà introdotta brevemente la macchina di emergenza, oggetto di questo lavoro di tesi, descrivendone il funzionamento dal punto di vista delle operazioni necessarie per estrarre la camera target dal Front-End.

### 2.2 - L'infrastruttura del progetto SPES

Per infrastruttura del progetto SPES si intende l'insieme di tutti i dispositivi utilizzati per la produzione del fascio di ioni esotici e l'edificio nel quale avviene tale operazione. Attualmente è stata ultimata la costruzione esterna dell'edificio SPES mentre la parte interna è ancora in fase di costruzione (Figure 2.1 e 2.2). Sono inoltre in fase di realizzazione e di test i sistemi necessari alla produzione del fascio e alla movimentazione dei componenti.



**Figura 2.1** Edificio SPES.



**Figura 2.2** Planimetria tridimensionale dell'edificio SPES.

### 2.2.1 - Zona di produzione degli ioni esotici

Nella zona di produzione degli ioni esotici è contenuta tutta l'attrezzatura necessaria alla produzione del fascio. Dato l'elevato livello di radioattività raggiunto nel locale in cui viene irradiato il bersaglio target si richiedono strutture che consentano un elevato livello di sicurezza al fine di tutelare l'incolumità del personale. Per isolare la zona di produzione dagli ambienti esterni sono previsti pareti e solai di grande spessore.

Si prevedono due zone di produzione degli ioni esotici (Figura 2.3). In questo modo, il sistema può funzionare in modo continuo: una parte può essere utilizzata mentre quella speculare è in fase di raffreddamento o sostituzione del target. Le due zone speculari e il fascio di particelle prodotto dall'acceleratore primario può essere indirizzato sia da una parte sia dall'altra.

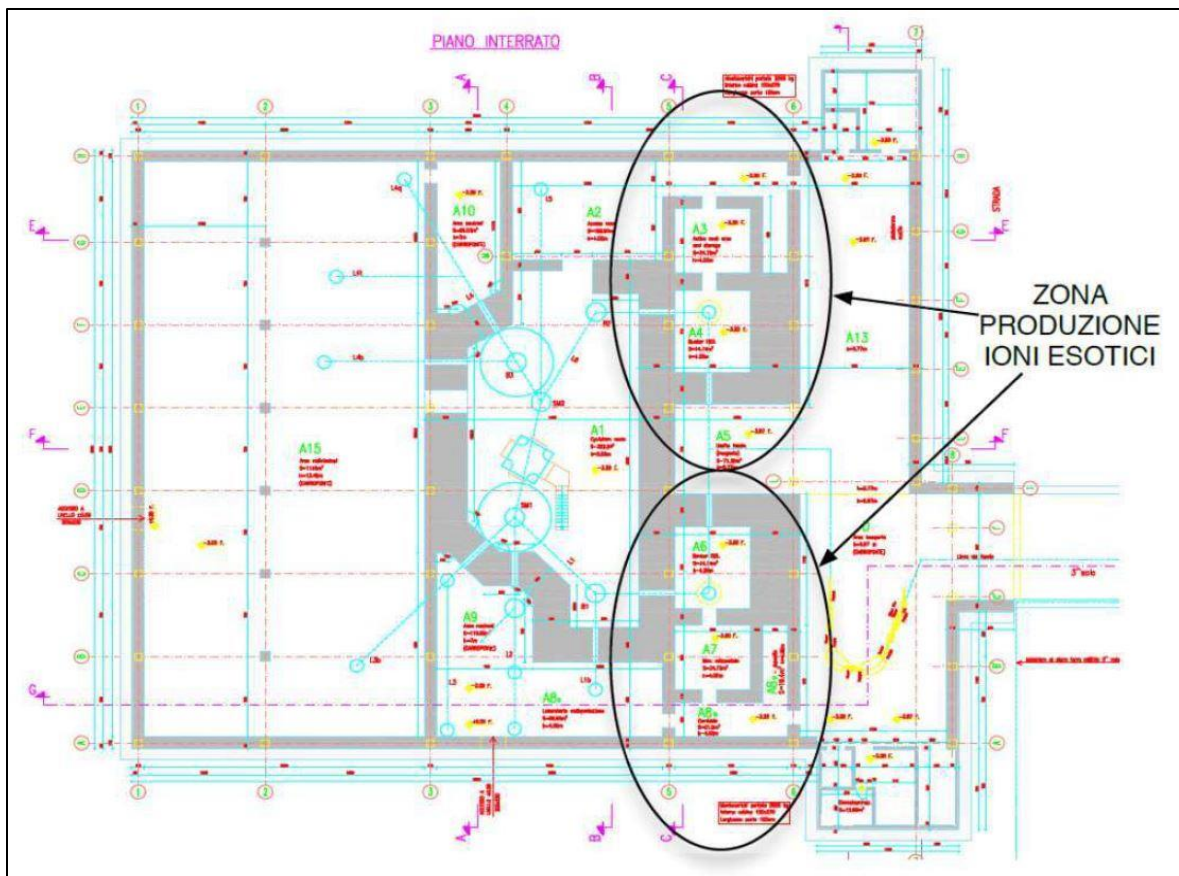
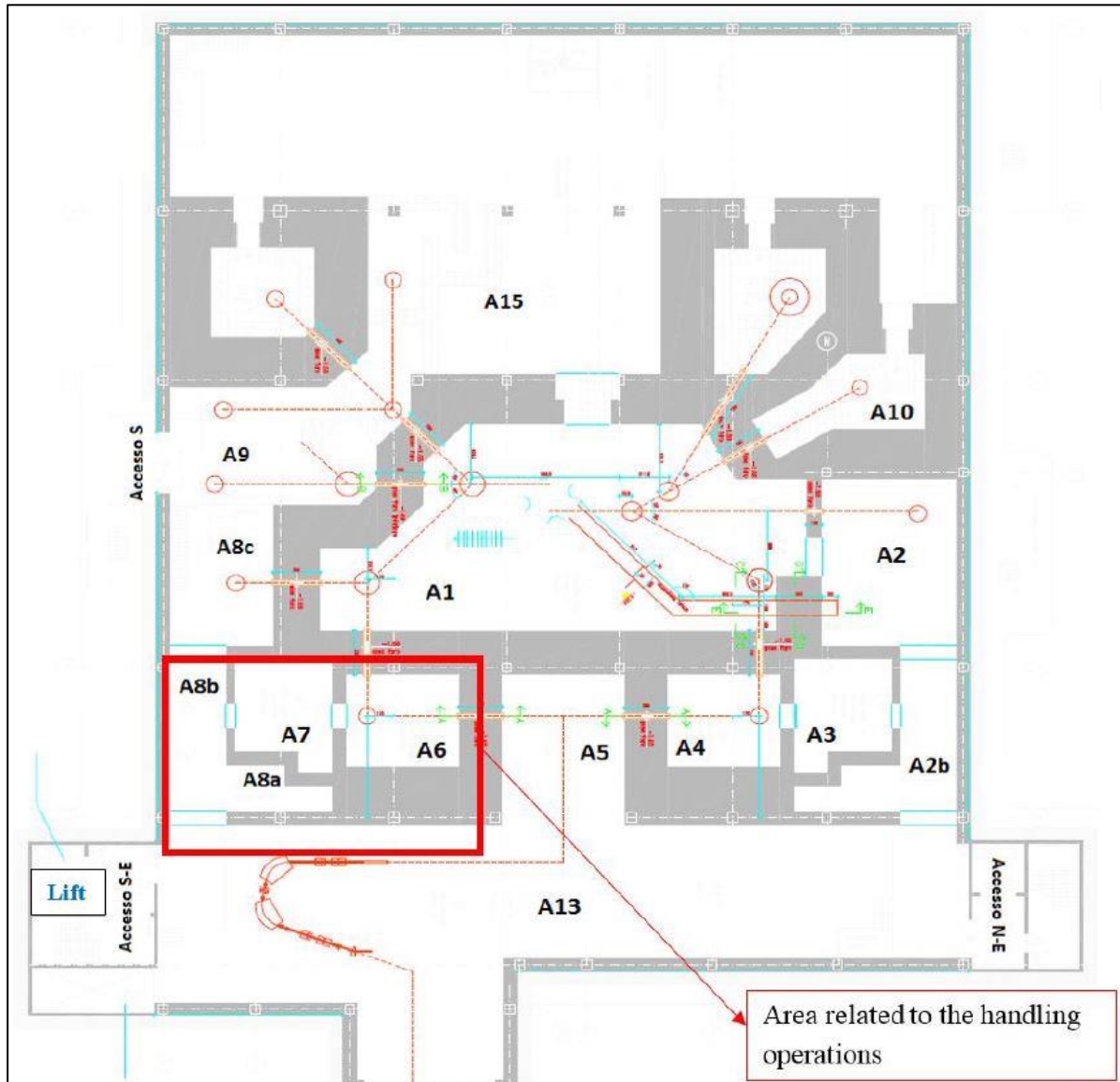


Figura 2.3 Planimetria del piano interrato dell'edificio SPES.

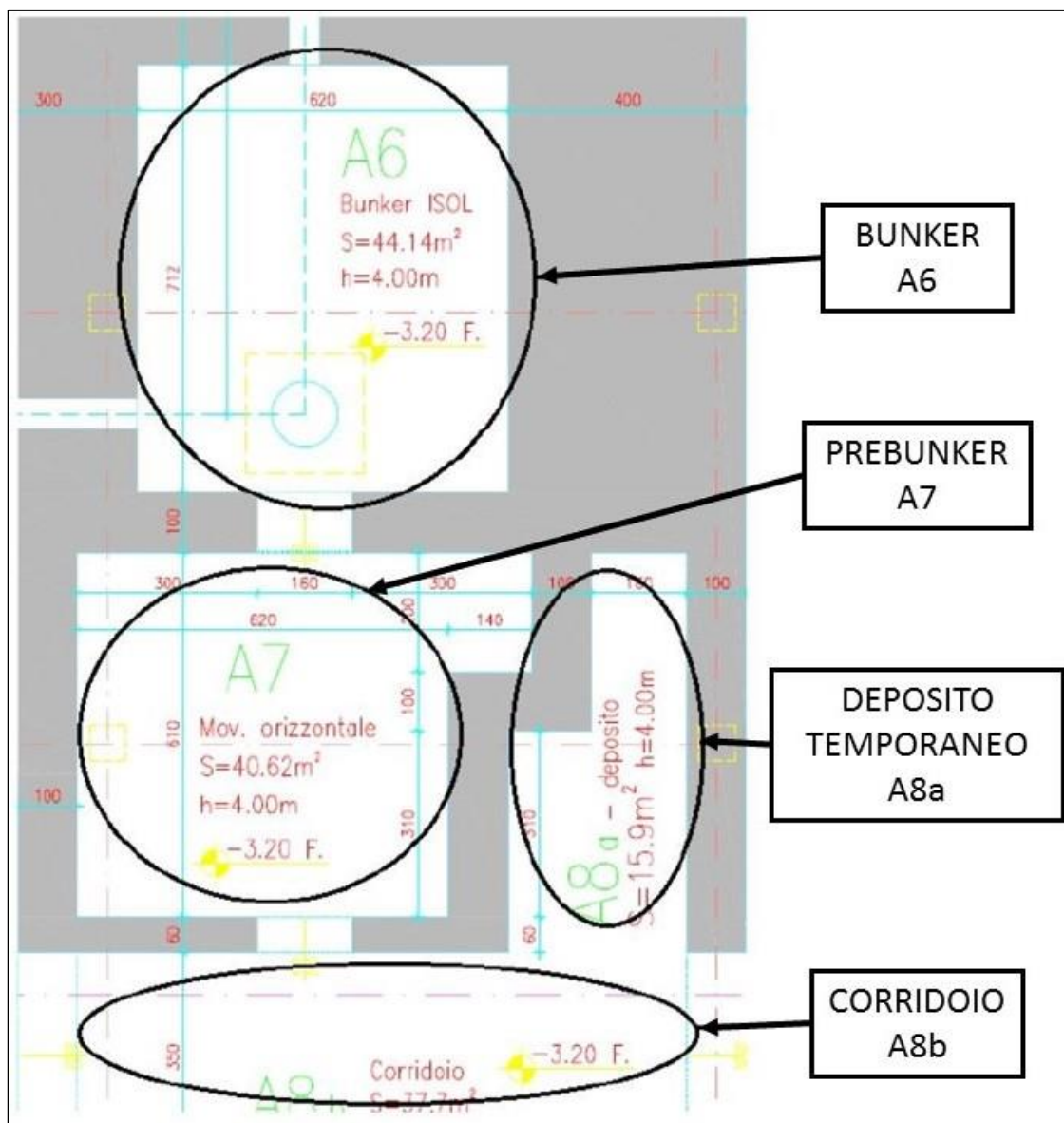
La procedura ordinaria prevede la sostituzione del target ad intervalli di tempo regolari, secondo il seguente ciclo di lavoro della durata di 30 giorni:

1. *Inserimento della camera contenente il target;*
2. *Irradiation step*  
Periodo della durata di 15 giorni durante il quale il target viene irradiato dal fascio protonico proveniente dal ciclotrone;
3. *Cooling time*  
Periodo di 15 giorni durante il quale avviene la diminuzione del livello di radioattività della camera target;
4. *Estrazione e stoccaggio della camera target.*

I tempi di irraggiamento e di raffreddamento sono stati definiti in modo che la radioattività dei componenti, posti all'interno del bunker, diminuisca in un periodo di tempo ragionevole e per poter intervenire rapidamente in caso di malfunzionamento,  
In Figura 2.4 e Figura 2.5 sono illustrati i locali in cui avvengono la produzione dei fasci di ioni esotici e le operazioni di movimentazione della camera target.



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



**Figura 2.5** Pianta della zona di produzione e movimentazione.

Le quattro aree rappresentate in Figura 2.5 sono:

- *Bunker A6*, contenente il Front End.
- *Prebunker A7*. Il locale è adibito alle operazioni di movimentazione della camera e permette anche di isolare ulteriormente le altre aree dalle radiazioni;
- *Corridoio A8b*. Esso 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 locale A6

Nel locale A6 [9], denominato bunker, avviene l'irraggiamento della camera target mediante il fascio di protoni, proveniente dal ciclotrone, e l'estrazione del fascio RIB secondario verso le sale di post-accelerazione e sperimentali. In Figura 2.6 sono quotate le dimensioni del locale A6 (6,2x7,1 m<sup>2</sup> con un'altezza da pavimento di 4m) e gli spessori delle pareti.

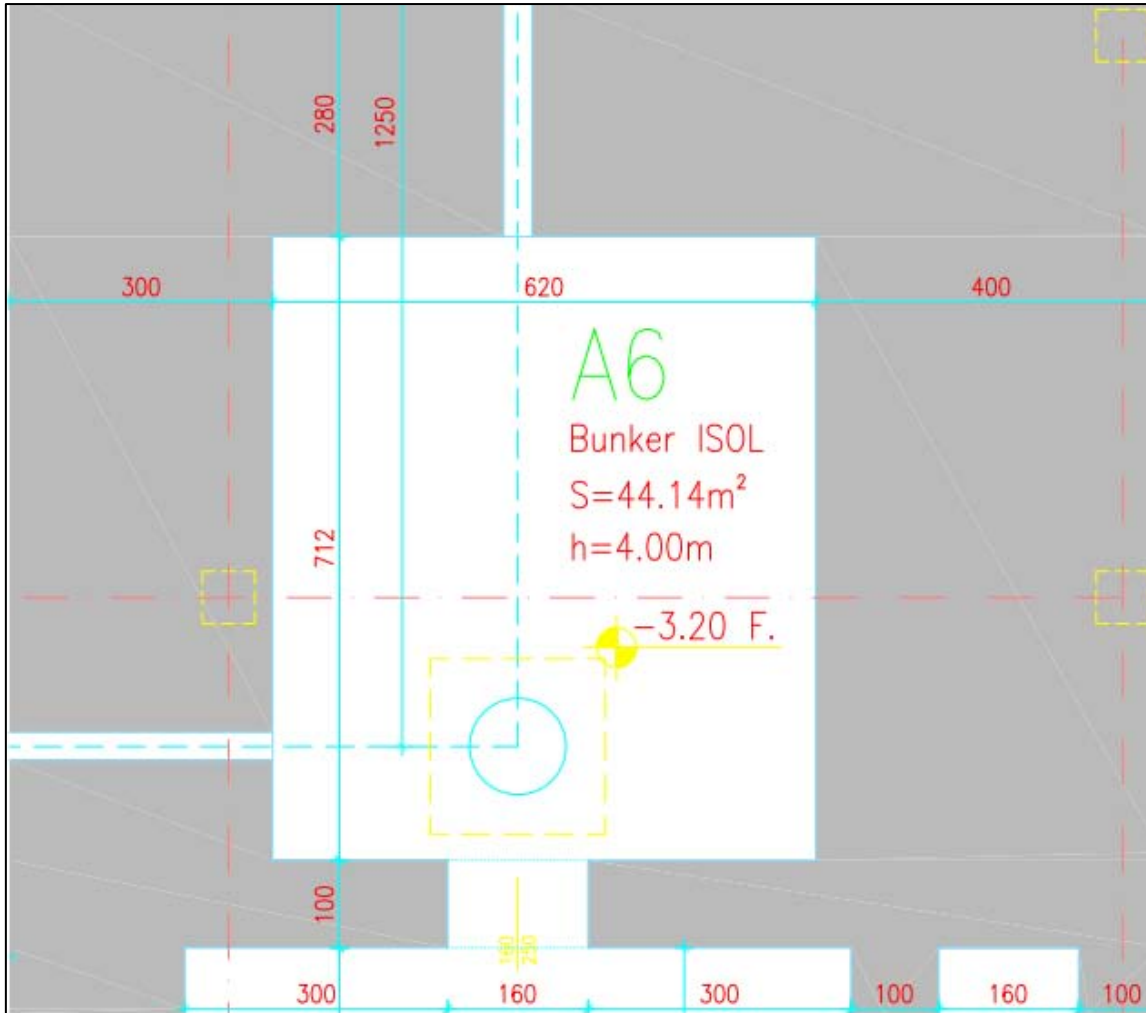


Figura 2.6 Pianta del locale A6.

Il locale A6 prevede 2 accessi:

- una porta di ingresso/uscita dal locale A7: tale accesso è il principale ed utilizzato per ogni operazione da effettuare nel locale;
- un camino tappato con possibilità di apertura verso il locale A16 collocato al primo piano: tale accesso è ad uso esclusivo del sistema di movimentazione verticale della camera target.

Nel locale A6 sarà alloggiato il sistema Target-Front-End (TFE) del progetto SPES, descritto nel prossimo paragrafo. Per consentire la produzione di radioisotopi, il sistema TFE necessita di numerosi servizi impiantistici, ad esempio sistema di aria compressa, sistema di acqua di raffreddamento, sistema di aspirazione e filtrazione polveri, linee di potenza elettrica principali e di servizio.



## 2.4 - Il Front-End (FE)

Il Front-End è l'insieme dei dispositivi che consentono la produzione ed il trasporto di fasci di ioni radioattivi. Esso si compone di tre parti (Figura 2.7):

- *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.

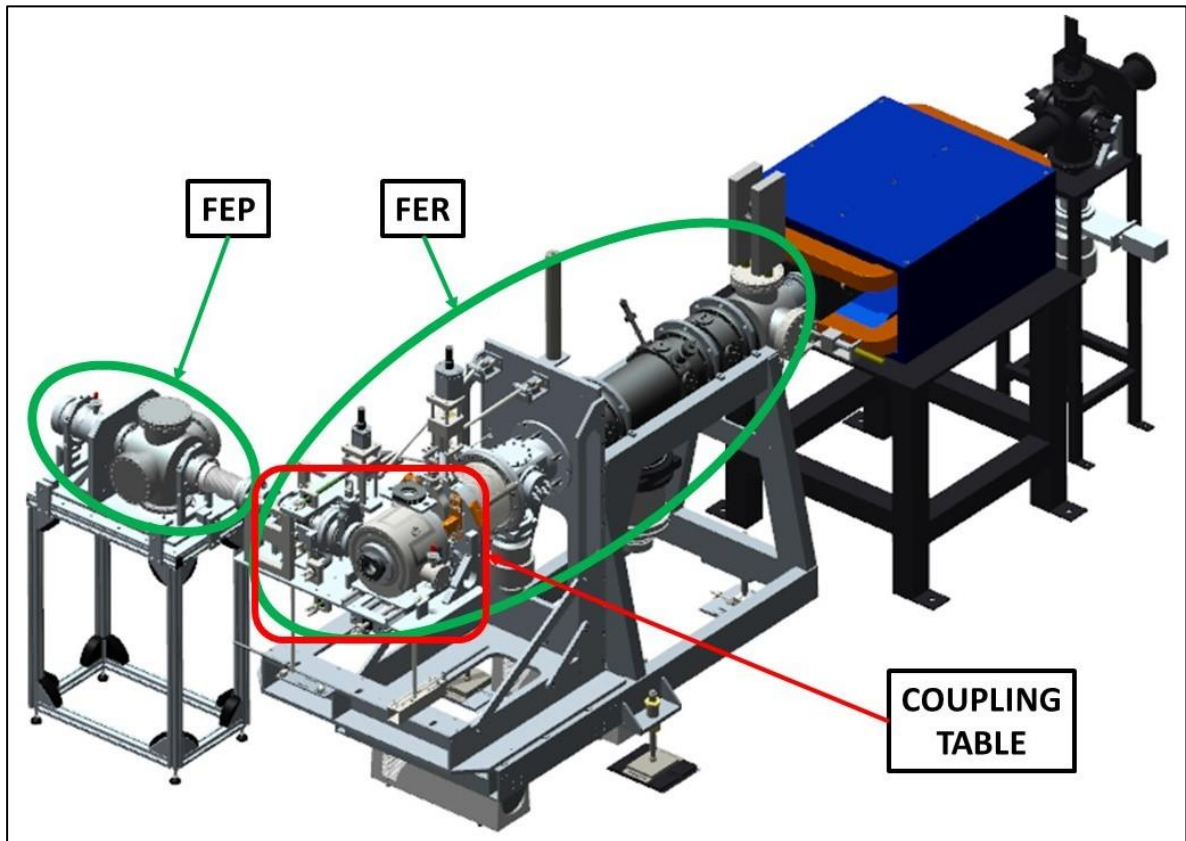


Figura 2.7 Rappresentazione del Front-End di SPES e dispositivi attigui.

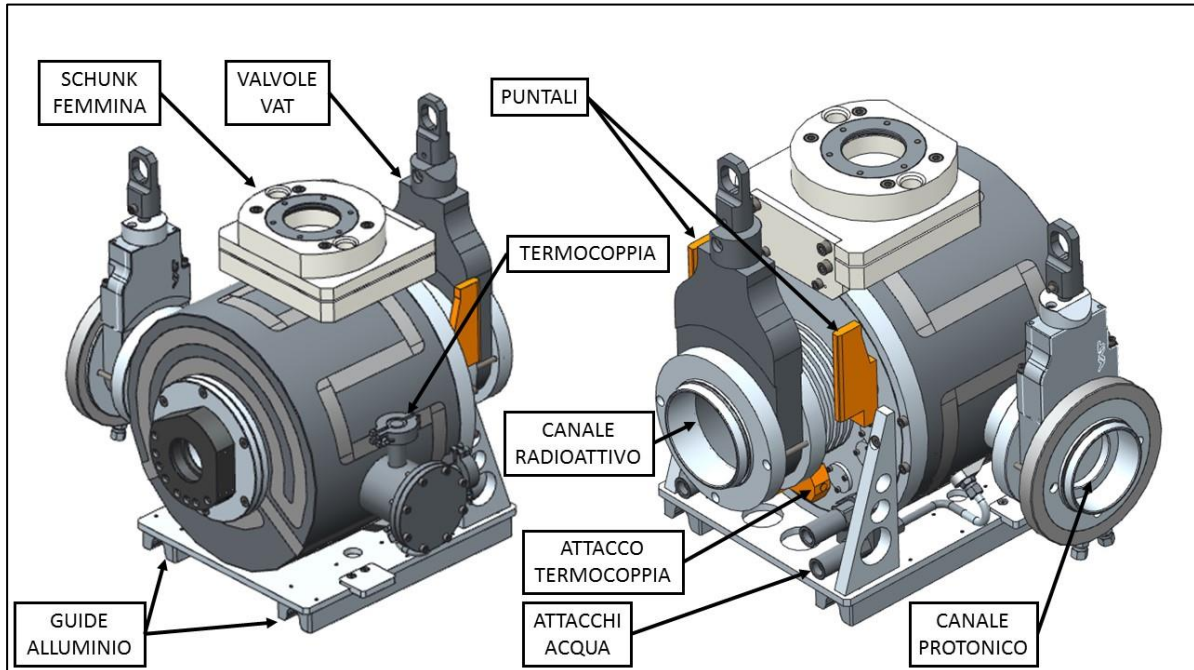
Diversamente da quanto avviene per la camera target, la quale viene periodicamente sostituita, l'insieme dei componenti del Front-End rimangono fissi all'interno del bunker e sono sottoposti soltanto alla manutenzione programmata. Le zone più vicine alla camera target sono soggette ad un notevole danneggiamento dovuto all'assorbimento di un'alta dose radioattiva proveniente dal target.

L'intero sistema deve essere tenuto in condizioni di alto vuoto. 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 data l'elevata temperatura alla quale la camera viene fatta lavorare.

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 coupling table, 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.

#### 2.4.1 - La camera target

La camera target è l'elemento fondamentale del processo di produzione del fascio di ioni esotici (Figura 2.8). 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.



**Figura 2.8** Vista anteriore e posteriore della camera target con i principali elementi meccanici.

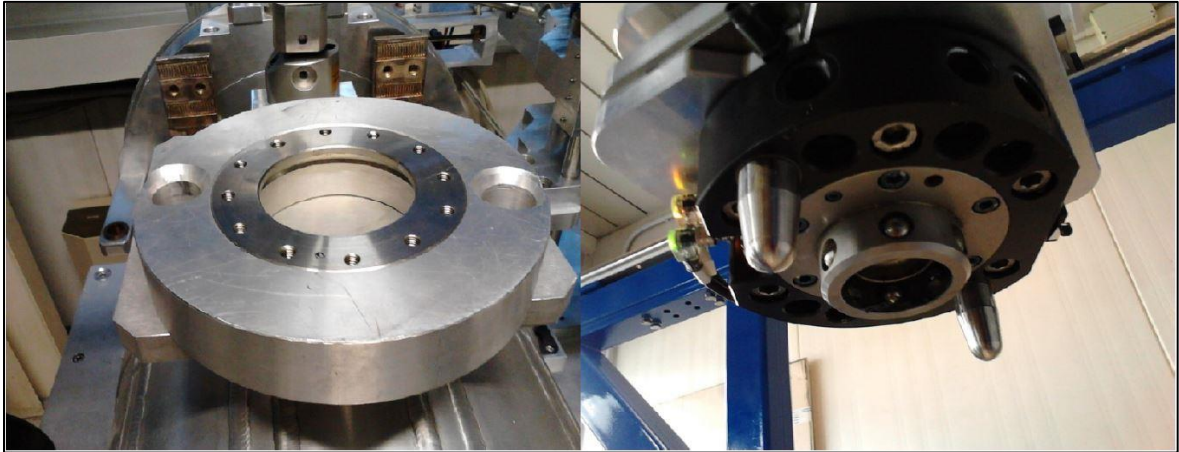
La camera target è un componente che viene sostituito periodicamente, quindi è dotato di una serie di elementi che ne permettono la connessione e la disconnessione rapida dal Front-End, senza la necessità di un intervento umano. Gli elementi meccanici che compongono la parte esterna della camera target e che ne permettono la connessione ai vari impianti sono (Figura 2.8):

- Gancio Schunk;
- Guide in alluminio anodizzato;
- Valvole VAT (valvole per l'alto vuoto);
- Flange di collegamento dei canali protonico e radioattivo;
- Puntali per il passaggio della corrente elettrica;
- Attacchi rapidi per i circuiti di raffreddamento;
- Attacco della termocoppia e altri segnali;

I puntali sono elementi costruiti in rame e permettono di fornire corrente elettrica al target quando la camera è posizionata sulla coupling table e accoppiata al Front-End.

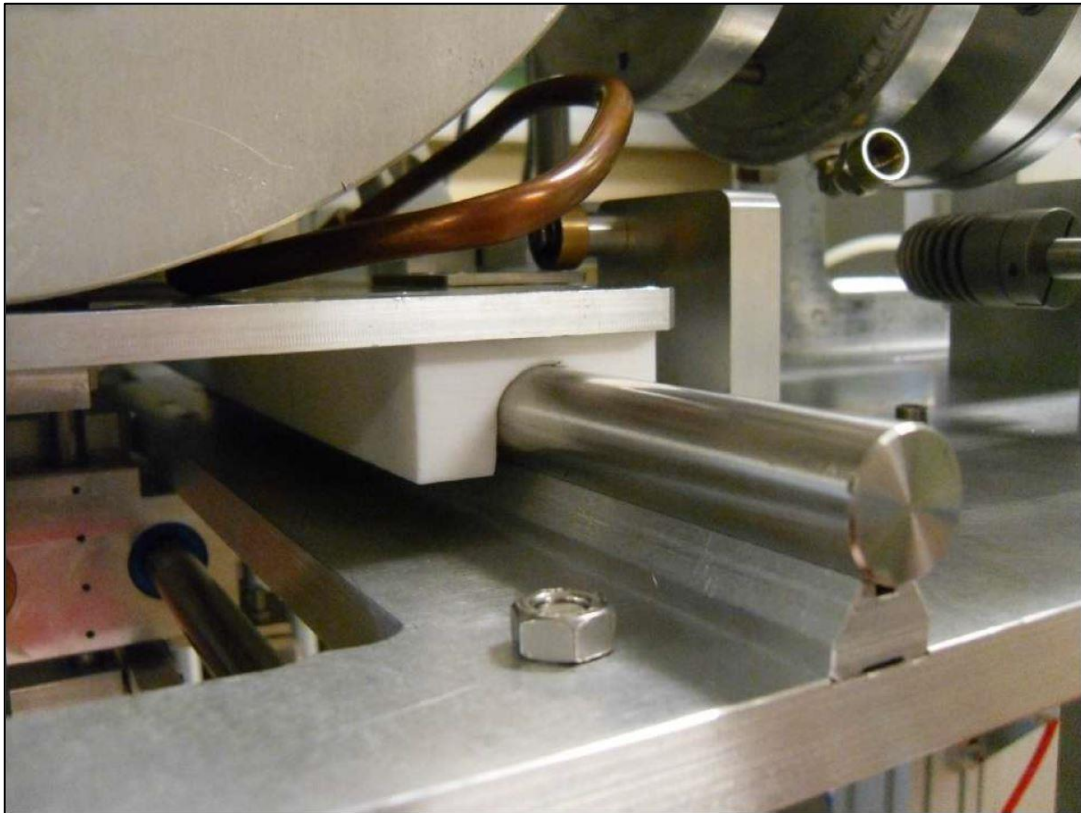
Sono presenti anche gli attacchi rapidi per la serpentina per l'acqua di raffreddamento e per la termocoppia, oltre ad alcuni connettori liberi, che permetteranno l'installazione di altri dispositivi.

Il gancio Schunk viene utilizzato per afferrare la camera con i dispositivi di movimentazione previsti. Il connettore femmina (Figura 2.9 a sinistra), montato sulla camera, ha degli appositi fori che permettono ai puntali del connettore maschio (Figura 2.9 a destra), dotati di inviti conici, di inserirsi garantendo il giusto allineamento.



**Figura 2.9** Schunk femmina (a sinistra) e Schunk maschio (a destra).

Sotto la camera target sono installate due guide in alluminio anodizzato. È così possibile far scorrere la camera sulle rotaie presenti sulla coupling table, 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 2.10).

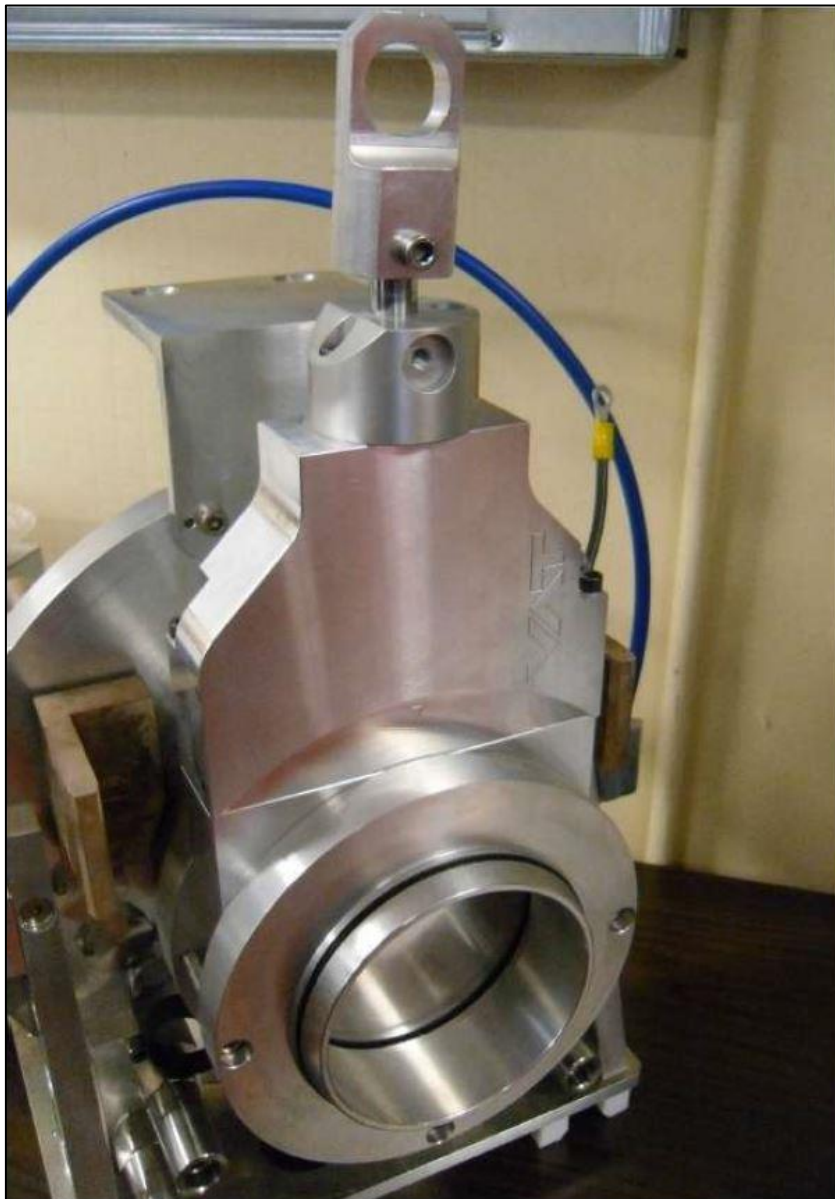


**Figura 2.10** Rotaia con guida in alluminio anodizzato su cui scorre la camera target.

Le valvole VAT (Figura 2.11) sono dispositivi atti alla chiusura di un condotto a tenuta stagna e 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.



**Figura 2.11** Valvola VAT installata sulla camera target.

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.

## 2.5 - I sistemi di movimentazione della camera target

Dal momento che la camera target deve essere cambiata ogni 15 giorni, e gli interventi da parte di operatori sono da escludere categoricamente all'interno del bunker, i sistemi di movimentazione sono totalmente automatizzati.

Vi sono in tutto quattro dispositivi per la movimentazione della camera target, dall'inserimento nel Front-End, quando la camera è nuova, allo stoccaggio nel deposito temporaneo, quando giunge a fine vita e si deve attendere un determinato tempo di decadimento prima di poterla analizzare.

Tali dispositivi sono riportati in Figura 2.12:

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

La macchina orizzontale ha la funzione di depositare e prelevare la camera target dal Front-End e di trasportarla fino al deposito temporaneo. Una volta che la TIS è collocata sulla coupling table, il sistema di movimentazione della stessa ha la funzione di accoppiare e disaccoppiare la TIS dal Front-End. L'apparato di estrazione verticale ha anch'esso la funzione di depositare e prelevare la camera target dal front end, però dalla sala sovrastante. La presenza di due sistemi, per lo svolgimento di questa operazione, consente di far fronte alle diverse circostanze che si possono verificare, come situazioni di emergenza, rotture di uno dei due dispositivi o necessità di svolgere alcune operazioni particolari.

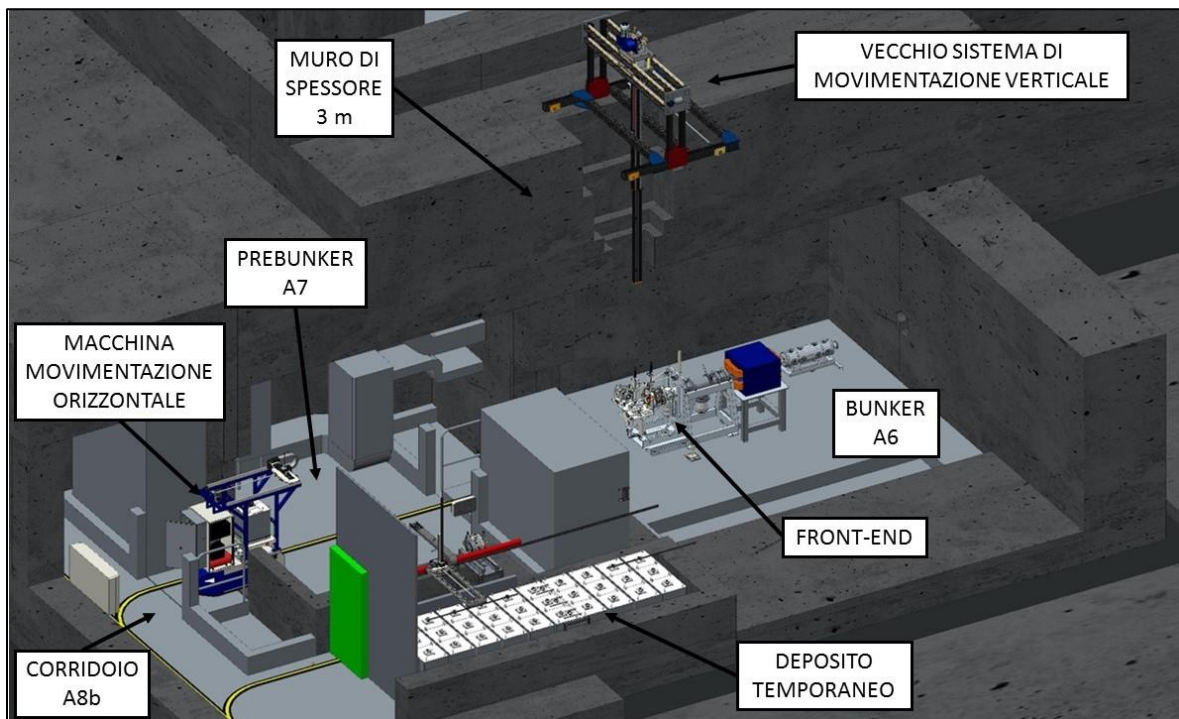


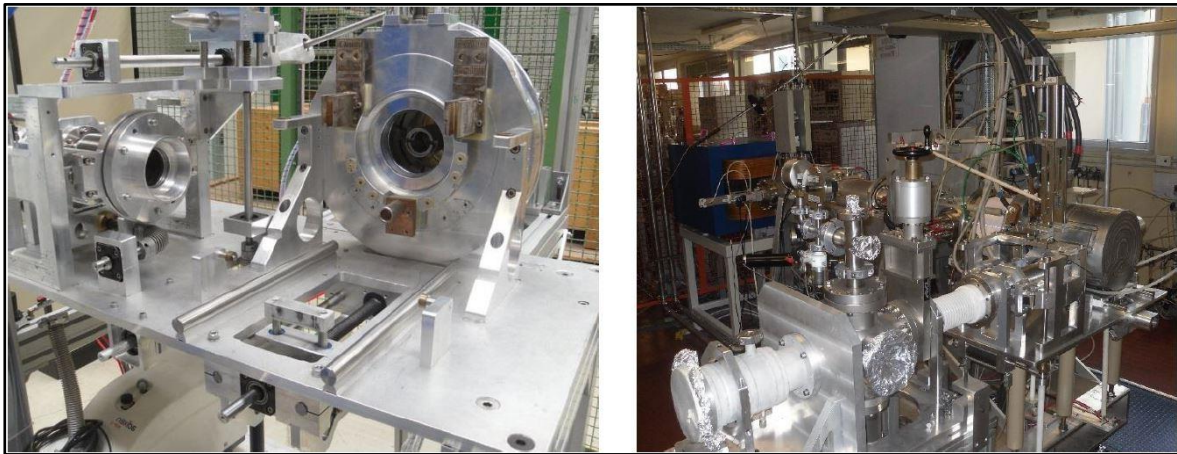
Figura 2.12 Sistemi di movimentazione della camera target.

### 2.5.1 - L'apparato di movimentazione della coupling table

Una volta depositata la TIS sul Front-End, entra in azione il sistema di movimentazione della coupling table. Dato che questo sistema è all'interno del bunker, dovrà lavorare in condizioni critiche 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. È quindi necessario ricorrere a componentistica meccanica, azionamenti pneumatici, e a sensori puramente resistivi.

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 2.13 a sinistra);
- Il Front-End offline utilizzato per lo svolgimento di test sui fasci di particelle (Figura 2.13 a destra).

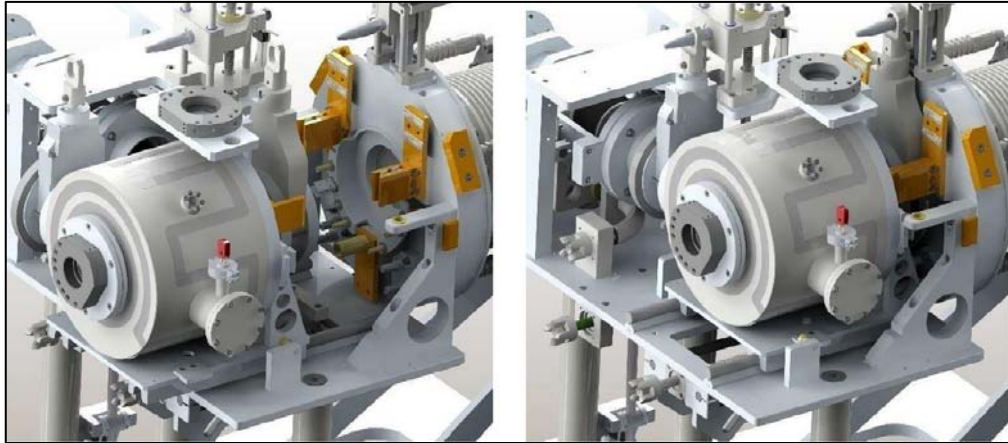


**Figura 2.13** Test bench (a sinistra) e Front-End (a destra).

La camera si definisce disaccoppiata quando è in posizione di deposito o prelievo (Figura 2.14 a sinistra), mentre è accoppiata quando è inserita nel Front-End ed è pronta a ricevere il fascio (Figura 2.14 a destra). Per accoppiare la camera sono necessarie le seguenti operazioni:

- Connessione al canale radioattivo, mediante un'operazione di traslazione in avanti;
- Connessione al canale protonico;
- Apertura delle 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.

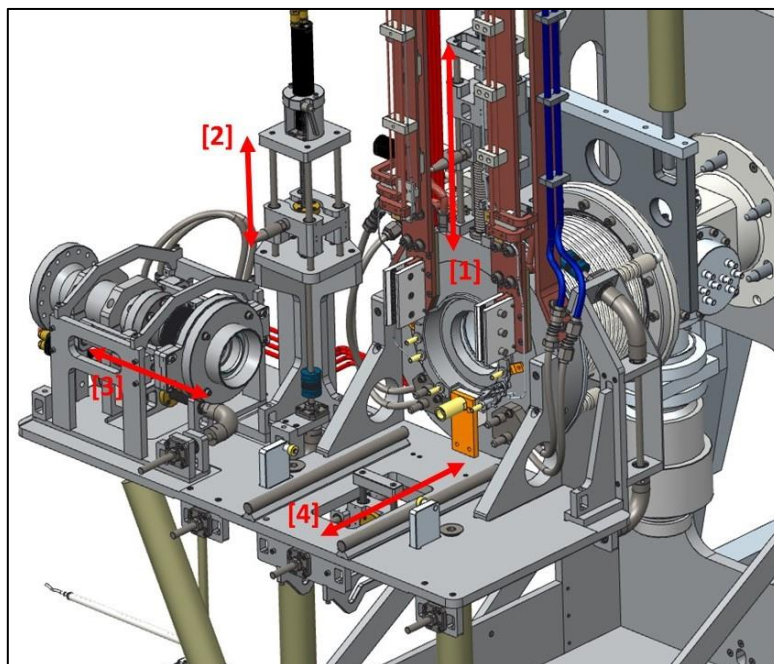


**Figura 2.14** Camera disaccoppiata (a sinistra) e camera accoppiata (a destra).

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 2.15):

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, consentendone il moto avanti e indietro.



**Figura 2.15** Movimentazioni della coupling table.

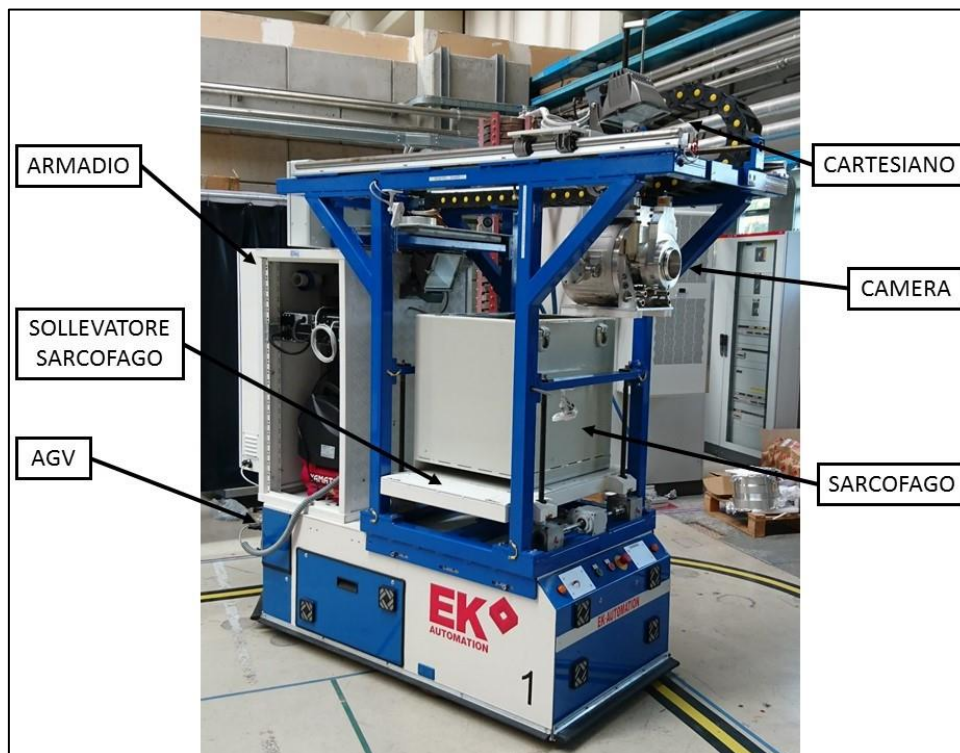
Per verificare l'effettivo compimento delle operazioni sono presenti degli switch di finecorsa e dei potenziometri posizionati in modo da intervenire al termine di ogni movimentazione. Per evitare problemi dovuti alle radiazioni si utilizzano delle aste per poter attivare gli switch mantenendoli il più 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 sulla macchina 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.

#### 2.5.2 - La macchina orizzontale (HHM)

La macchina orizzontale si basa su un veicolo AGV (Automatic Guided Vehicle), cioè a guida automatica (Figura 2.16). È così possibile raggiungere varie destinazioni in modo completamente automatizzato senza la necessità di presenza umana, 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);



**Figura 2.16** Macchina orizzontale.



- ***Il sistema di movimentazione di camera e sarcofago***

È un manipolatore cartesiano che si muove lungo due assi ortogonali. La movimentazione è fatta da due sistemi a martinetto con vite trapezia.

La massa del coperchio del sarcofago è di 100kg e la sua movimentazione rappresenta l'operazione più gravosa. Ogni martinetto è provvisto di un azionamento ridondante per motivi di sicurezza ed affidabilità. Il sistema di movimentazione comprende anche un sollevatore del sarcofago. 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 affinché 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.

- ***Il sarcofago***

La camera target al momento della sua sostituzione è un elemento fortemente radioattivo. Per questo motivo durante le movimentazioni, essa viene posta all'interno di un sarcofago (Figura 2.17), al fine di schermare le radiazioni da essa prodotte.



**Figura 2.17** Il sarcofago che contiene la camera target.

Il sarcofago in Figura 2.18 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 2.18), 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.

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.

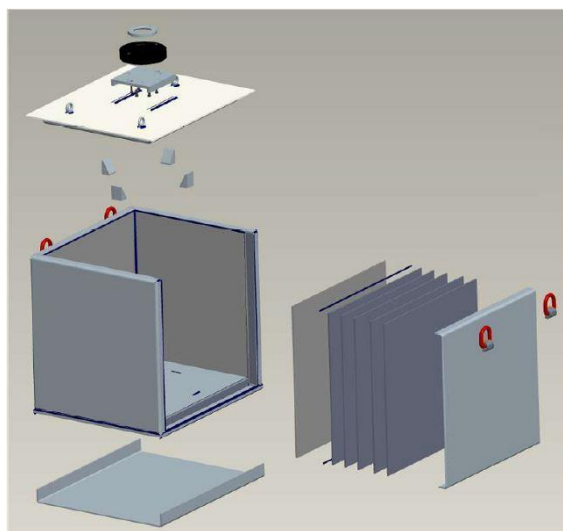
Ai lati del sarcofago sono presenti quattro ganci per consentirne lo spostamento mediante l'utilizzo di una gru, mentre alla base è possibile inserire le forche di un muletto, o quelle di un transpallet, grazie alla presenza di un apposito rialzo.

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. 2.18** Sarcofago in sezione.



**Fig. 2.19** Sarcofago esploso.

### 2.5.3 - Il sistema di movimentazione del deposito temporaneo (TSS)

Il TSS del progetto SPES [10] è il luogo nel quale le TIS unit esauste verranno depositate per un tempo di permanenza di diversi anni, in modo da permettere il decadimento dei nuclei radioattivi a vita breve e ridurre quindi il relativo tasso di dose. Trascorso questo tempo le TIS unit verranno estratte dal deposito temporaneo e portate all'interno di una Cella Calda per essere ispezionate e preparate per lo smaltimento.

Il TSS sarà installato all'interno del locale A8a (vedi Figura 2.4). I bersagli di produzione esausti che provengono dal locale A6 (o bunker), prima di essere stoccati, dovranno quindi passare attraverso il locale A7 (o prebunker) e il locale A8b (o corridoio).

Elemento di interfaccia tra il front end di SPES e il TSS è la HHM descritta nei precedenti paragrafi. Essa preleverà quindi quest'ultima dal Front end e, dopo averla stoccata all'interno del sarcofago per la durata del viaggio, la depositerà in prossimità del TSS. Nel deposito sono previste 54 posizioni di stoccaggio organizzate secondo 9 file da tre postazioni su due piani.

I sistemi di schermatura presenti sono stati progettati con l'obiettivo di minimizzare la dose nel locale A8b e prevedendo inoltre delle zone schermate per la manutenzione del sistema.

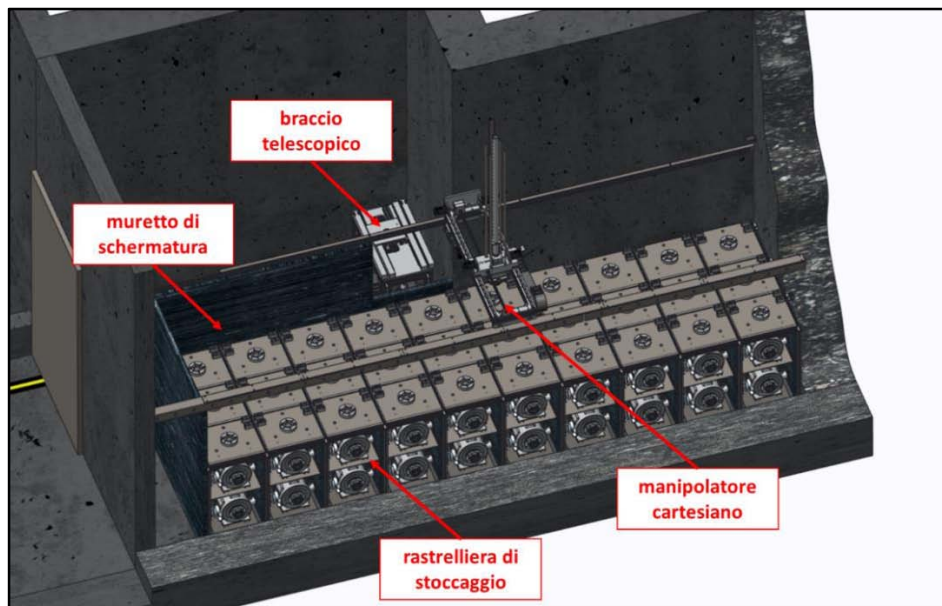
Il TSS, mostrato in dettaglio in Figura 2.20 è composto dai dispositivi di seguito elencati.

- **Rastrelliera di stoccaggio**

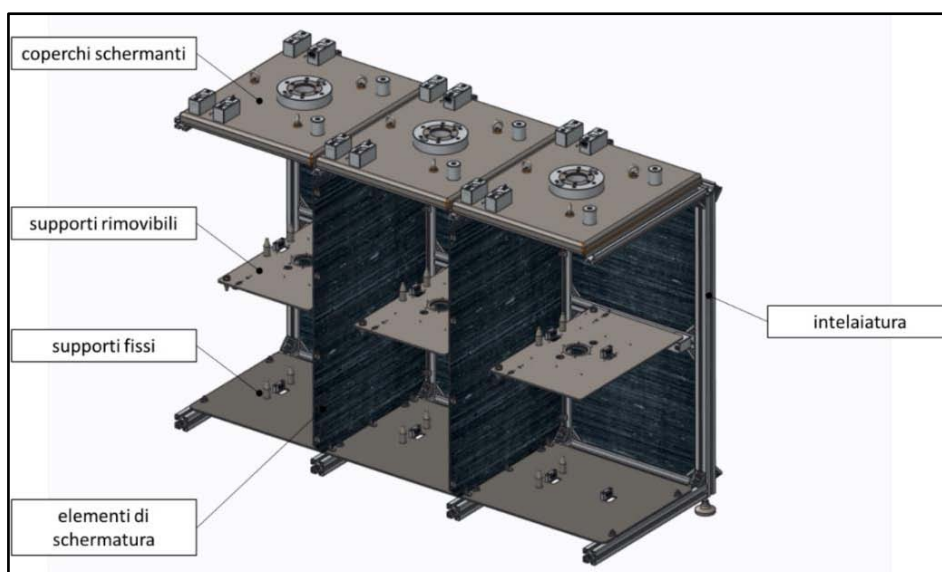
Essa consiste in un'intelaiatura capace di ospitare 54 TIS unit attivate. La disposizione di stoccaggio è organizzata in 9 file da tre postazioni su due piani.

La rastrelliera è composta a sua volta da dei supporti fissi (per le TIS unit poste al piano inferiore), da dei supporti rimovibili (per le TIS unit poste al piano superiore) e da dei coperchi schermanti.

I supporti rimovibili e i coperchi schermanti sono afferrabili dal manipolatore cartesiano e sono inoltre impilabili sopra ad altri coperchi. Quindi, per depositare una TIS unit in una determinata posizione al piano inferiore sarà necessario prima rimuovere i relativi coperchio schermante e supporto rimovibile mentre per depositare una TIS in una determinata posizione al piano superiore basterà rimuovere il relativo coperchio. I principali elementi che costituiscono la rastrelliera di deposito sono rappresentati in Figura 2.21.



**Figura 2.20** Principali elementi costituenti il TSS [10].



**Figura 2.21** I principali elementi che costituiscono una fila della rastrelliera di deposito [10].

- **Manipolatore cartesiano**

Il manipolatore cartesiano, mostrato in Figura 2.22, consiste in un organo di presa che, tramite dei sistemi di movimentazione a vite trapezia, può traslare nelle tre direzioni spaziali. Come già accennato, il manipolatore può afferrare le TIS unit, i coperchi schermanti ed i supporti intermedi della rastrelliera di stoccaggio.

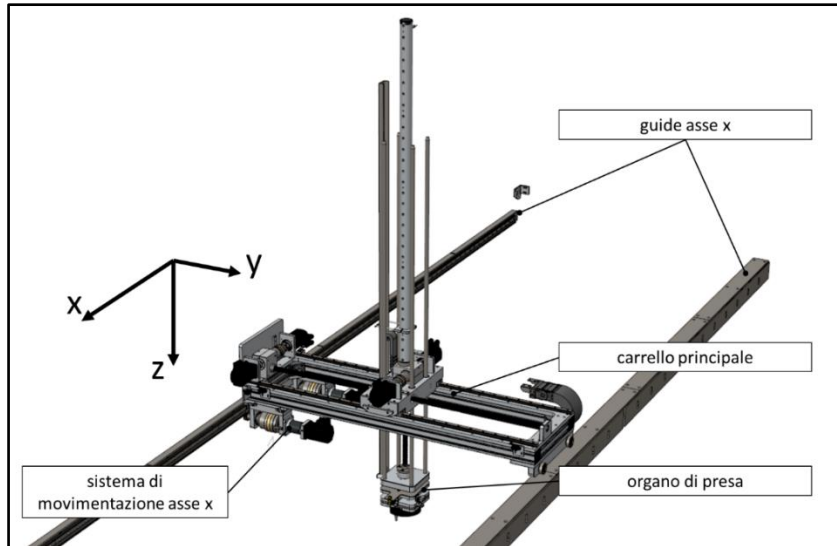


Figura 2.22 Schema di funzionamento del braccio telescopico [10].

- **Braccio telescopico**

Si tratta di un dispositivo che ha lo scopo di fornire un'interfaccia tra l'area di lavoro della HHM e l'area di lavoro del manipolatore cartesiano del TSS (vedi Figura 2.23). Una volta che la HHM avrà posizionato la TIS unit attivata sul dispositivo, il supporto traslerà e ruoterà fino a portarsi in una posizione raggiungibile dal manipolatore cartesiano. Il braccio telescopico è quindi composto essenzialmente da un supporto traslante e rotante. Il suo funzionamento è mostrato in dettaglio in Figura 2.24.

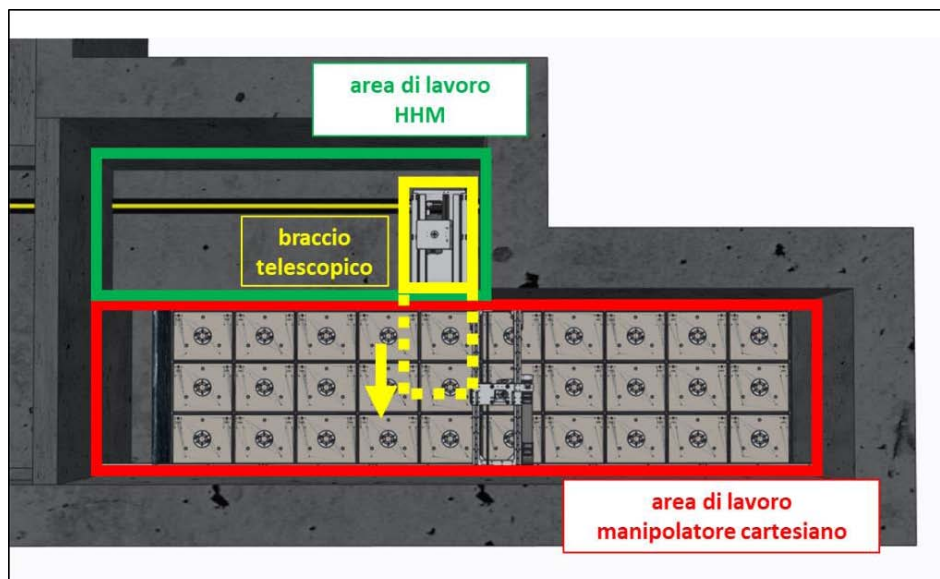


Figura 2.23 Schema di funzionamento del braccio telescopico [10].

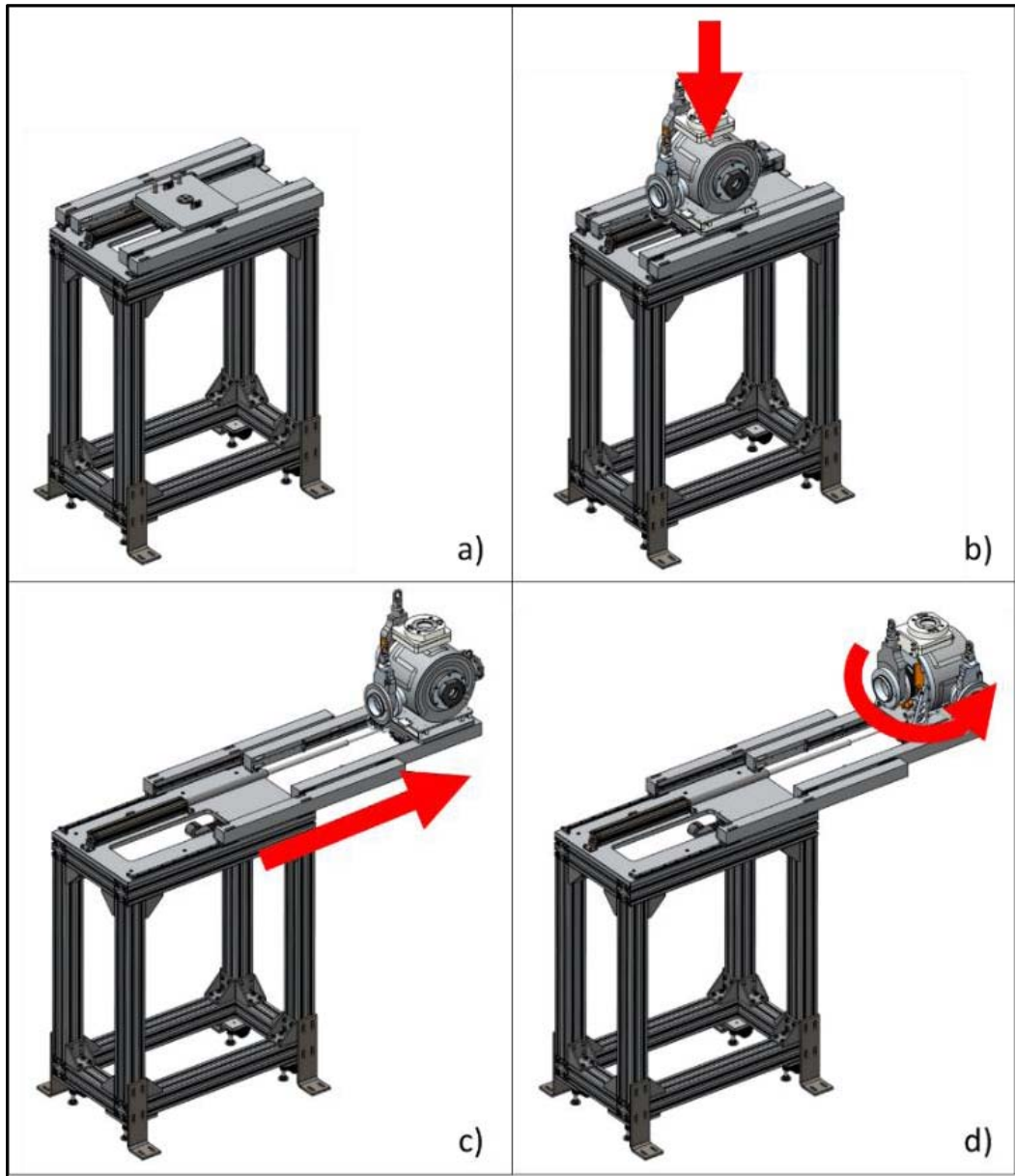
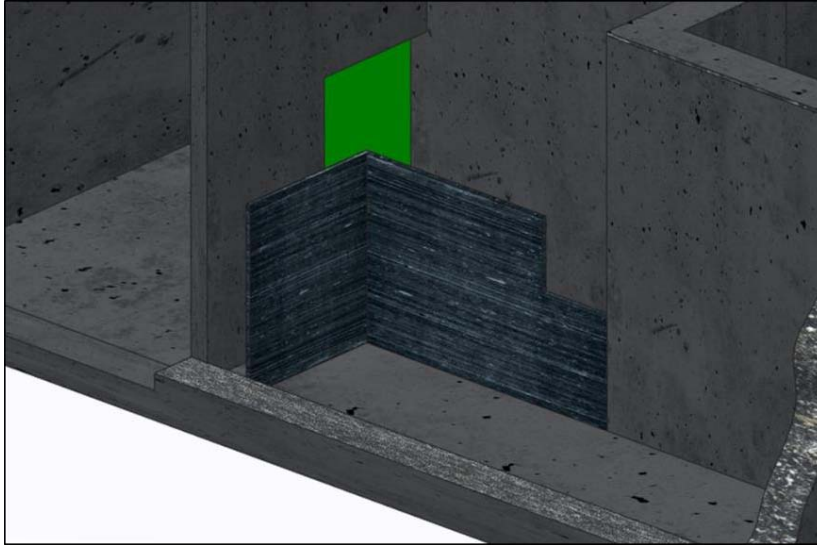


Figura 2.24 Schema di funzionamento del braccio telescopico [10].

- **Muretto di schermatura**

Esso sarà costituito da mattoncini di piombo di spessore 5 cm ed è stato ideato con lo scopo di schermare le radiazioni provenienti dal deposito. La sua particolare forma permette la presenza di zone in cui è possibile la presenza di personale per manutenzioni, sia ordinarie che non, anche all'interno del locale A8a. Analisi dosimetriche hanno infatti evidenziato che in queste aree il rateo di dose è compatibile con tali operazioni, necessarie per il mantenimento in funzione del manipolatore cartesiano e del braccio telescopico. Il muretto di schermatura è rappresentato in Figura 2.25.

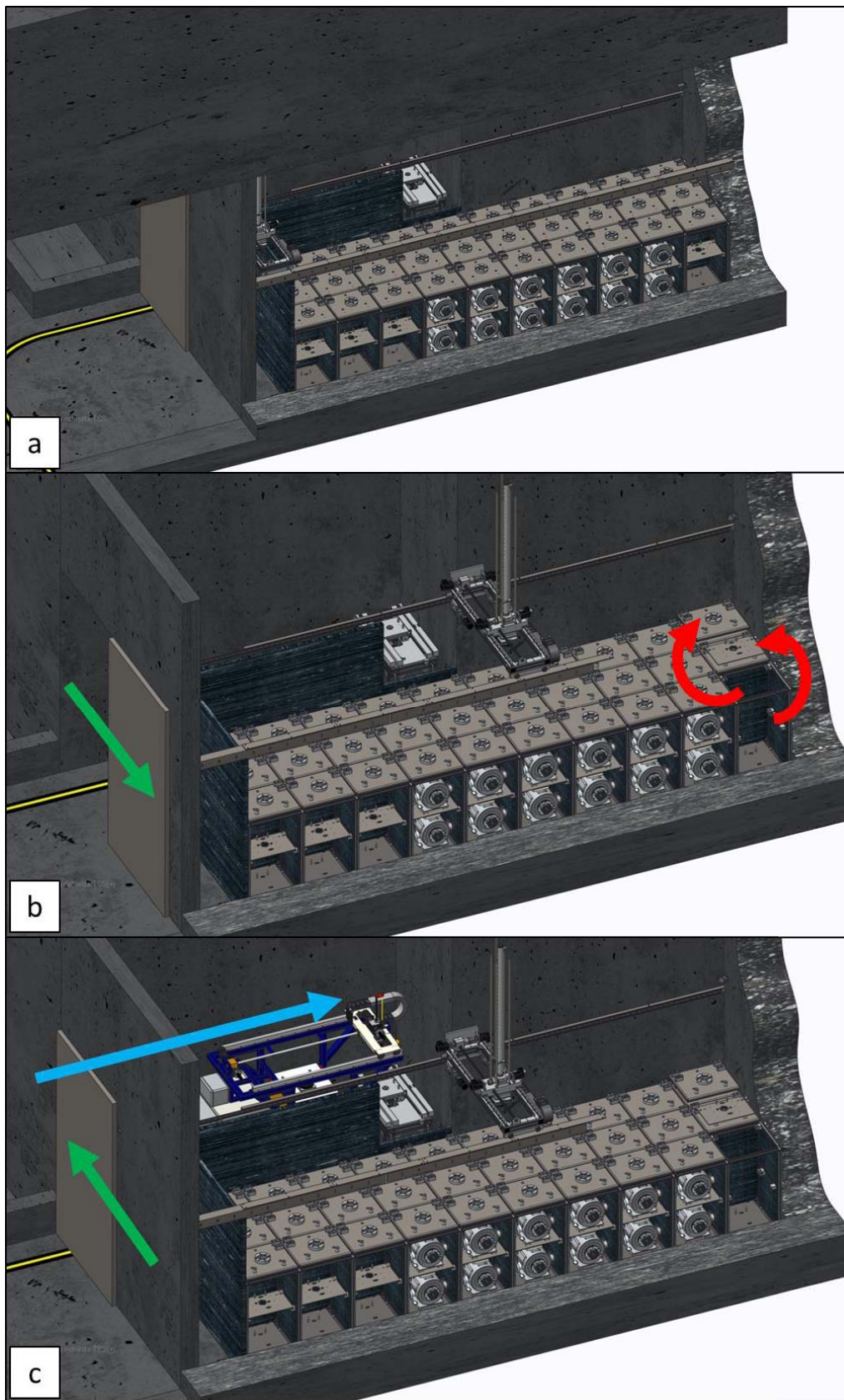


**Figura 2.25** Il muretto di schermatura [10].

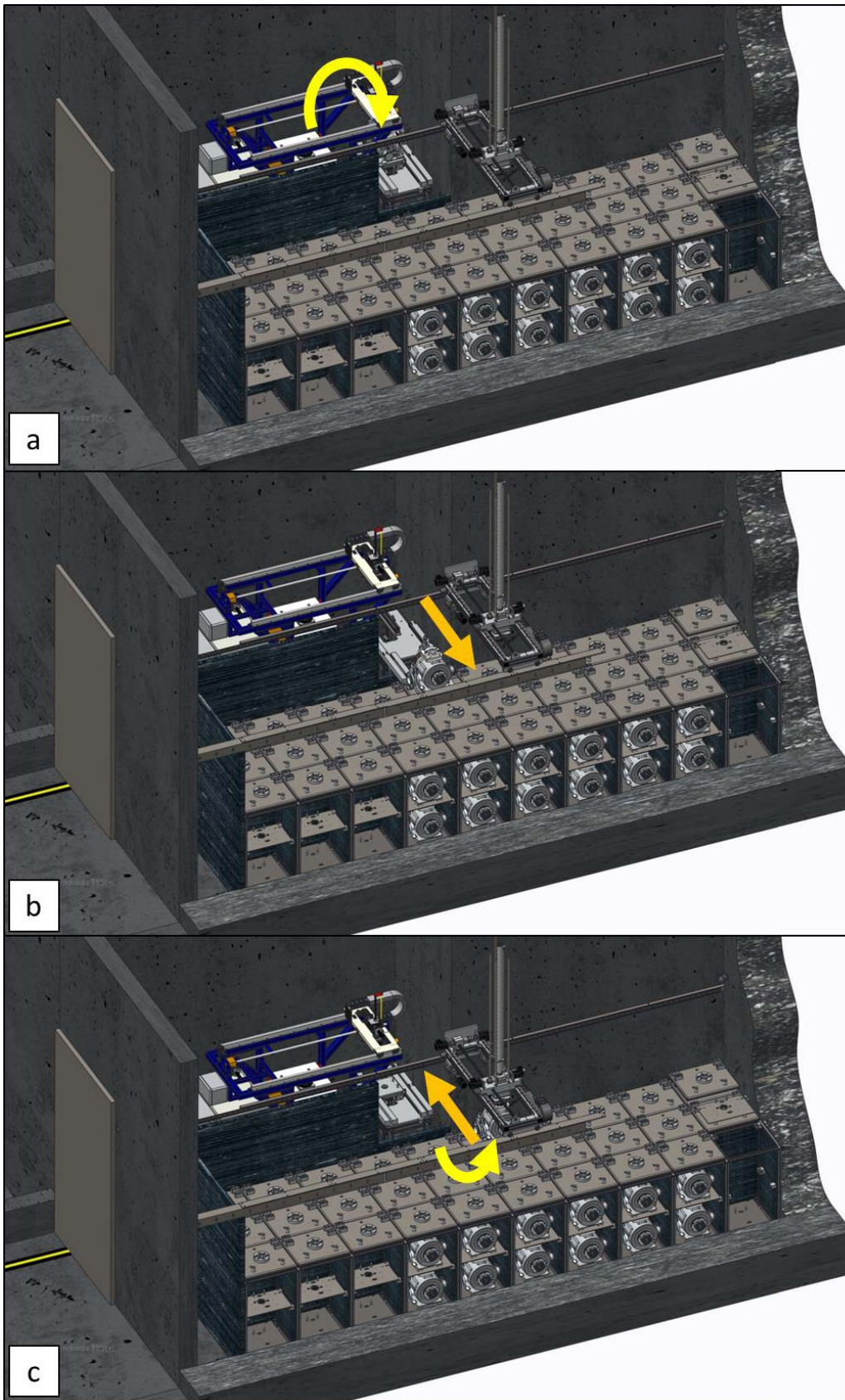
- **Schema della sequenza di stoccaggio**

Di seguito vengono riassunte schematicamente le operazioni necessarie per lo stoccaggio di una TIS unit esausta proveniente dal front end. Si suppone che il posto assegnato per il nuovo bersaglio sia al piano inferiore della prima fila e nella terza colonna.

- Punto di partenza (Figura 2.26a). La porta di accesso al locale A8a è chiusa, i coperchi schermanti della rastrelliera di stoccaggio sono tutti correttamente posizionati, il braccio telescopico è completamente ritratto ed il manipolatore cartesiano si trova nella posizione di riposo, in prossimità dell'area di manutenzione.
- Preparazione deposito (Figura 2.26b). Il manipolatore cartesiano rimuove dapprima il coperchio schermante e poi il supporto intermedio, andando poi ad impilarli sopra i coperchi adiacenti. Viene inoltre aperta la porta di accesso al locale A8a per consentire così l'accesso della HHM.
- Ingresso della HHM (Figura 2.26c). La macchina di movimentazione entra nel locale A8a e la porta di accesso viene successivamente chiusa.
- Deposito TIS unit sul braccio telescopico (Figura 2.27a). La HHM, tramite il suo manipolatore, rimuove la TIS unit dal sarcofago schermante e la va a depositare sul supporto del braccio telescopico.
- Estensione del braccio telescopico (Figura 2.27b). Il supporto del braccio telescopico (e con esso la TIS unit) trasla e ruota fino a portarsi in una posizione compatibile con l'afferraggio da parte del manipolatore cartesiano.
- Prelievo della TIS unit dal braccio telescopico (Figura 2.27c). Il manipolatore cartesiano preleva la TIS unit dal braccio telescopico, sollevandola. Al termine di questa operazione il braccio telescopico ritorna nella posizione iniziale.
- Deposito della TIS unit nella posizione di stoccaggio (Figura 2.28a). Il manipolatore cartesiano deposita la TIS unit nella posizione prescelta.
- Chiusura della rastrelliera di stoccaggio (Figura 2.28b). Il manipolatore cartesiano riposiziona il supporto intermedio e il coperchio schermante nella loro posizione originale. Al termine di tale operazione si apre la porta di accesso al locale A8a per consentire così l'uscita della HHM.
- Fine operazione (Figura 2.28c). La macchina di movimentazione esce dal locale A8a e va verso il suo parcheggio. Il manipolatore cartesiano si porta nuovamente nella posizione di riposo. Si chiude infine la porta di accesso al locale A8a.

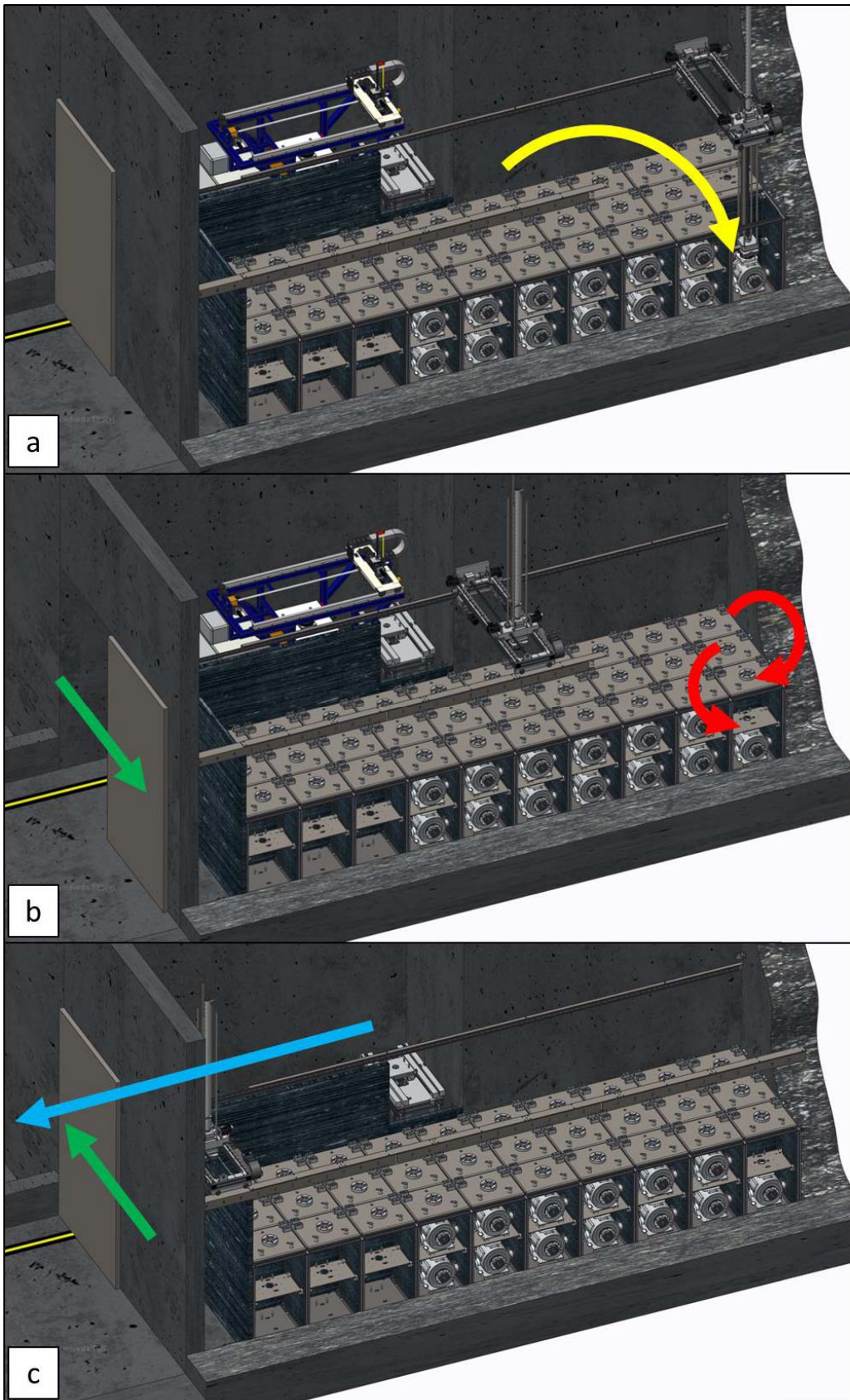


**Figura 2.26** Operazioni necessarie per lo stoccaggio di una nuova TIS unit/1 [10].



**Figura 2.27** Operazioni necessarie per lo stoccaggio di una nuova TIS unit/2 [10].





**Figura 2.28** Operazioni necessarie per lo stoccaggio di una nuova TIS unit/3 [10].

#### 2.5.4 - La macchina di estrazione verticale (VHM)

La macchina di movimentazione verticale [11] è il secondo sistema progettato per il prelievo della camera target dalla coupling table. Tale sistema, da utilizzare in caso di emergenza, consente di rimuovere la camera, prelevandola dal piano superiore al bunker, per poi inserirla in un sarcofago stoccato temporaneamente. Il bunker, situato nel piano interrato, è separato dal piano terra da una soletta di 3 metri di spessore, permettendo la completa schermatura dalle radiazioni. Per mettere in collegamento il bunker con la sala A16 sovrastante (Figura 2.29), nella soletta è stata realizzata una serie di fori quadri (Figura 2.30). L'apertura e la chiusura della luce avvengono per mezzo di tappi in cemento dello stesso spessore della soletta: l'apertura rimane scoperta il minor tempo possibile, solo per le operazioni di estrazione della camera.

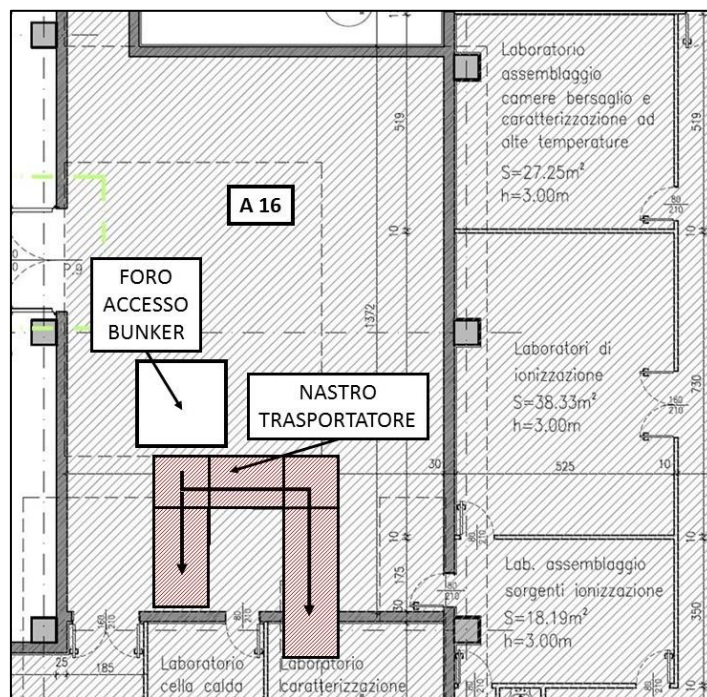


Figura 2.29 Pianta della sala A16 [11].

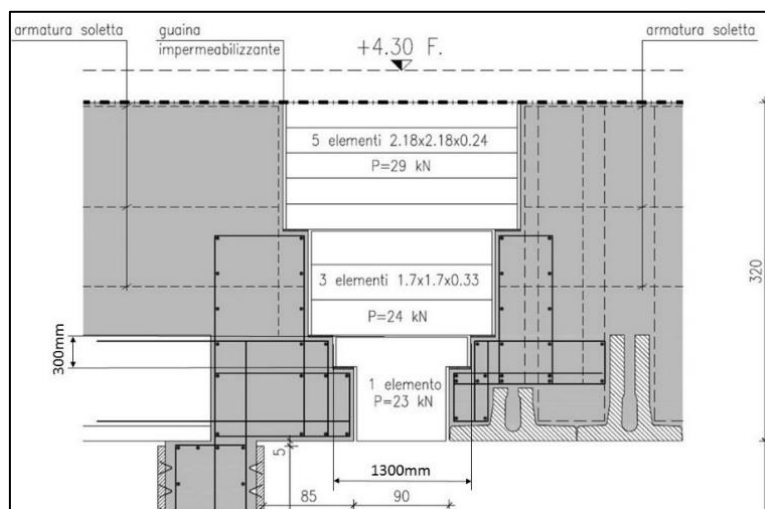


Figura 2.30 Sezione del foro accesso bunker [11]

Vengono elencate le operazioni necessarie per l'estrazione verticale:

### 1) Rimozione dei tappi in cemento armato

Si prevede che la movimentazione dei tappi in cemento (aventi massa pari a circa 3000kg), per aprire l'accesso al bunker, verrà fatta con un carroponte (Figura 2.31). 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;

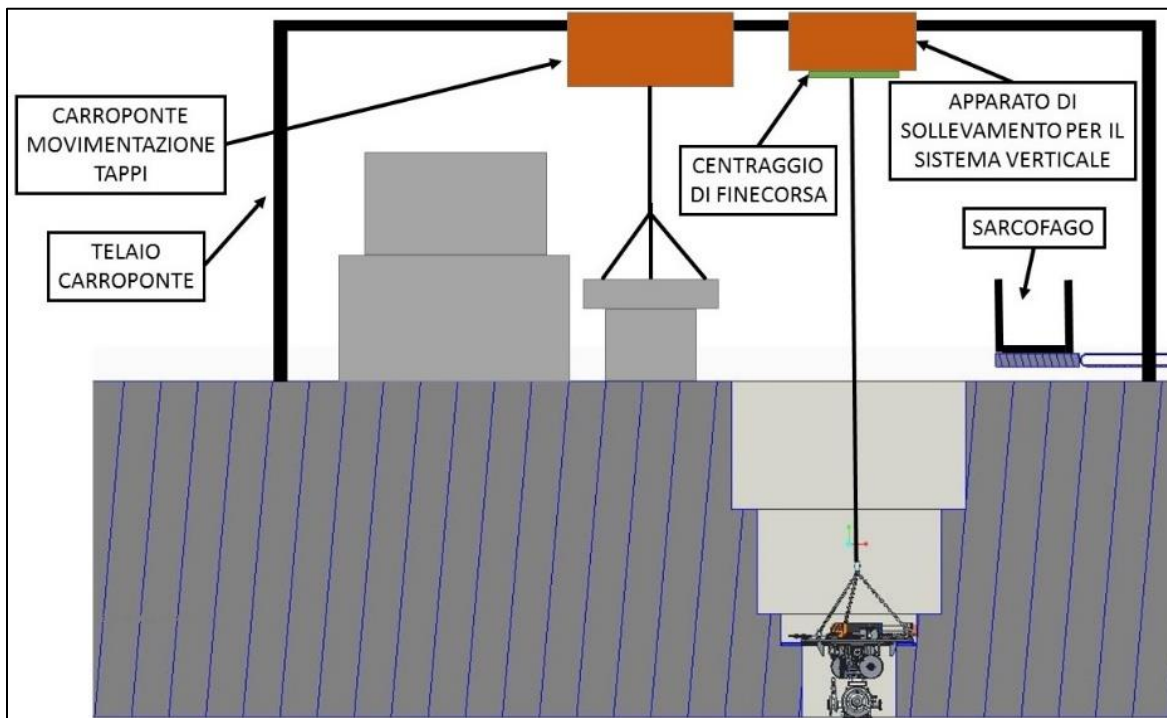


Figura 2.31 Layout della movimentazione verticale [11].

### 2) Estrazione verticale della camera target

Rimossi i tappi in cemento, il sistema di estrazione verticale viene calato nell'ultima tasca dei fori di accesso al bunker. Per calare l'intero sistema verticale sull'ultima tasca del foro (Figura 2.31), 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.

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  $\pm 5$  mm. Eseguito il centraggio viene azionato il sistema di sollevamento, il quale effettuerà la presa della camera target e la sua rimozione.

Il sistema è costituito da due parti principali (Figura 2.32):

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

### 3) Stoccaggio nel sarcofago di emergenza

Una volta eseguita l'estrazione verticale, la 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, nominato Hot-cell, dove si possono fare degli studi sulla camera target.

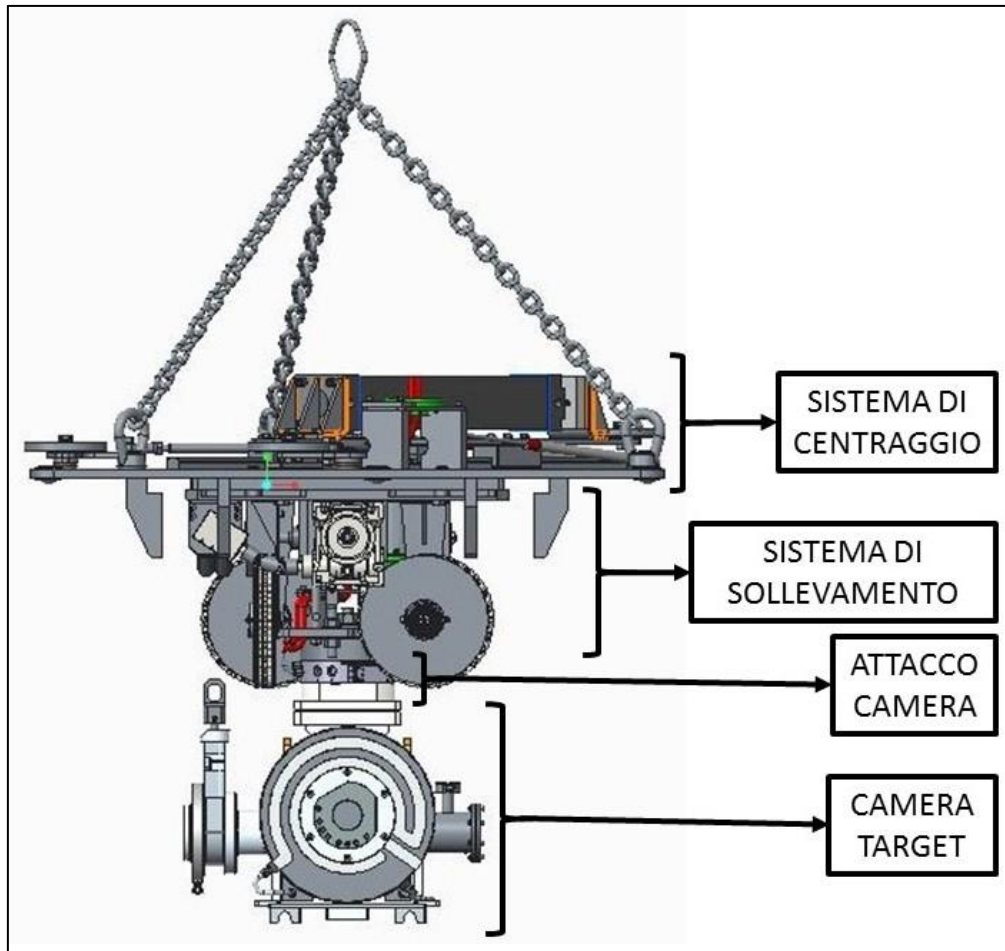


Figura 2.32 Principali componenti del sistema verticale [11].

## 2.6 - La macchina di emergenza per l'estrazione orizzontale della camera target

La macchina di estrazione orizzontale, precedentemente illustrata, è un sistema complesso in quanto completamente automatizzato. È bene sottolineare che all'aumentare della complessità di un sistema aumenta la probabilità di guasti e malfunzionamenti. Inoltre, l'ambiente ostile, in cui HHM si troverà ad operare, contribuisce in maniera rilevante al danneggiamento degli elementi principali di controllo del mezzo e del cartesiano. Di conseguenza HHM presenta degli accorgimenti ad hoc (azionamenti e elementi ridondanti) che consentano di portare a termine in sicurezza le operazioni di inserimento, estrazione e stoccaggio anche in presenza di guasti, tali però da non compromettere il funzionamento del PLC della macchina.

È di fondamentale importanza analizzare gli scenari incidentali, dal punto di vista del rischio radiologico, dovuti ai possibili guasti a cui può andare incontro HHM.

La causa primaria di guasto è imputabile all'esposizione dei principali elementi della macchina alle radiazioni gamma emesse dalla camera target e dai componenti costituenti il front end. Le rotture di tipo meccanico sono da ritenersi possibili ma meno probabili.

A seconda della posizione in cui si trova HHM (Figura 2.33) si possono verificare i seguenti guasti:

- **Guasti al sistema di movimentazione di camera e sarcofago**
  - a) Alimentazione cartesiano non funzionante a causa danneggiamento sistema di controllo batteria dovuto a esposizione radiazioni ionizzanti;
  - b) PLC fuori uso;
  - c) Rottura meccanica;
  - d) Rottura motori cartesiano;
  - e) Sistema di aggancio/sgancio bloccato;
  - f) Rottura qualsiasi pezzo elettronico;
- **Guasti al veicolo AGV:**
  - a) Alimentazione non funzionante a causa danneggiamento sistema di controllo batteria;
  - b) PLC fuori uso;
  - c) Rottura motore elettrico;
  - d) Perdita della traiettoria (danneggiamento magneti/strips o danno/malfunzionamento sensore ottico);
  - e) Rottura qualsiasi pezzo elettronico;

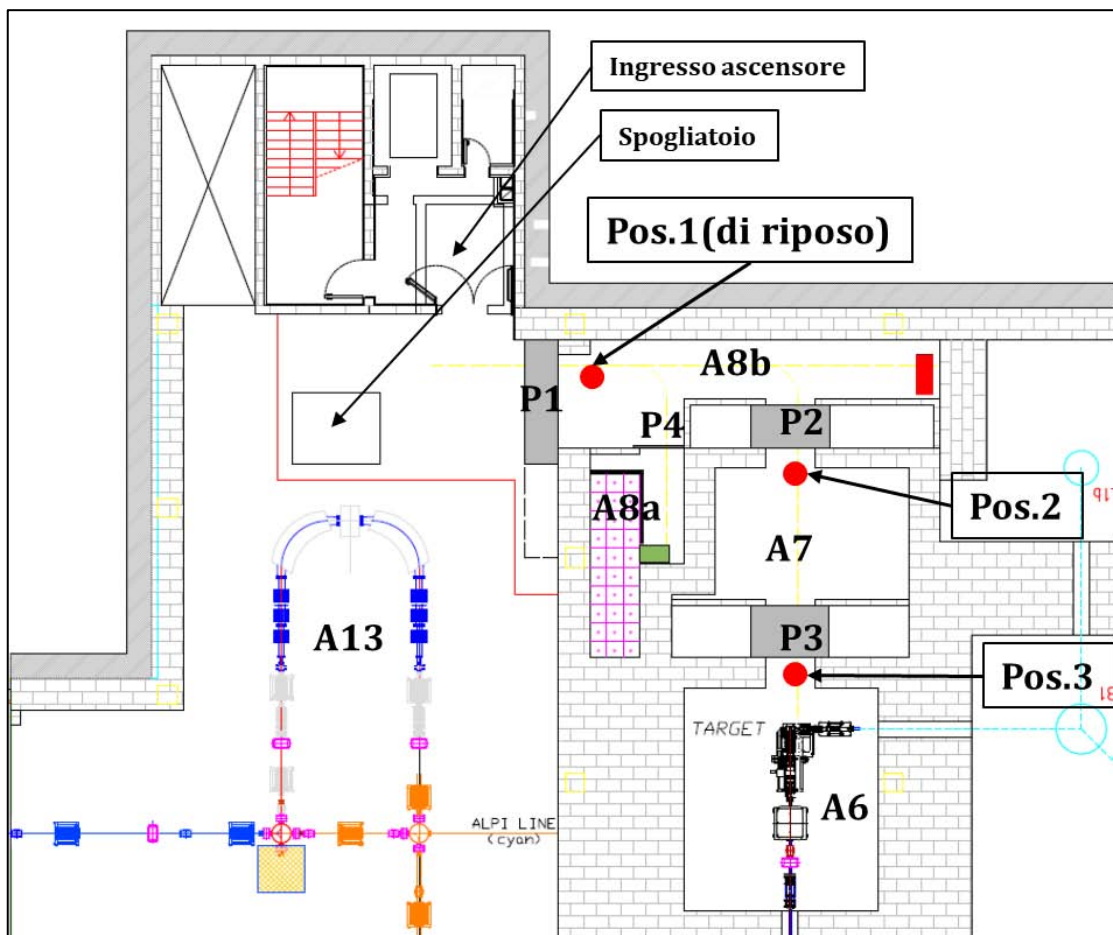


Figura 2.33 Posizioni operative di HHM (indicate in figura con dei pallini rossi).

L'analisi dei guasti, riportata sinteticamente in Tabella 2.1, è stata condotta in termini qualitativi utilizzando la tecnica dell'albero degli eventi [12]. Si sono individuati i casi in cui la camera target rimane con schermatura o senza in condizioni di stallo, per studiare le conseguenze radiologiche qualora si rendesse necessario un intervento umano. L'analisi è stata svolta nel caso di TIS con target in SiC e assumendo la medesima, dal punto di vista delle radiazioni emesse, come rappresentativa dei componenti dell'intero front-end. Per la definizione delle grandezze radio protezionistiche si faccia riferimento al paragrafo 5.3.

La tabella va interpretata nel seguente modo:

- nella prima colonna si specifica se la camera target è stata irraggiata o meno;
- nella seconda colonna viene indicata la posizione occupata da HHM al momento del guasto (vedi Figura 2.33);
- nella terza colonna si specifica la posizione della camera target: la camera target può trovarsi sul FRONT END(FE) o su HHM;
- nella quarta colonna si specifica se la camera target è schermata o meno nel bunker, cioè se al momento del guasto nel bunker la camera si trova all'interno del sarcofago o è esposta all'aria;
- nella quinta colonna vengono analizzate le possibili cause di guasto;
- nella sesta colonna vengono analizzate le conseguenze derivanti dal particolare guasto ipotizzato. I valori di dose riportati fanno riferimento all'utilizzo di bersagli in carburo di silicio;
- nella settima colonna viene indicata la gravità del guasto dal punto di vista della radioprotezione. A seconda della posizione in cui si verificherà il guasto, per indicare la gravità dell'intervento umano viene utilizzata una scala numerica: ad ogni numero è associato un certo range di rateo di dose equivalente, espresso in  $\mu Sv/h$  (Tabella 2.2);

Gravità	Equivalent Dose rate ( $\mu Sv/h$ )
1	<10
2	10<DR<100
3	100<DR<1000
4	DR>1000

**Tabella 2.2** Scala di gravità in funzione del rateo di dose equivalente [12].

- nella penultima colonna sono indicate le possibili soluzioni o raccomandazioni.

Stato TIS unit	Posizione HHM	Posizione TIS unit	Condizioni TIS unit	Evento	Evento incidentale	Conseguenze	Gravità	Soluzioni / raccomandazioni	Id													
Non irraggiata	Qualsiasi	Qualsiasi	Qualsiasi	AGV in stallo	Qualsiasi	Nessuna	1	/	a													
										Alimentazione AGV non funzionante	Trascurabili (la porta P3 è chiusa)	1	Carrello che alzi la macchina e possa far uscire AGV manualmente	b.1.1								
										PLC non funzionante				b.1.2								
	Rottura motore elettrico	b.1.3																				
	Irraggiata	Qualsiasi	Qualsiasi	Qualsiasi	AGV in stallo	Qualsiasi	Nessuna	1	Joystick	b.1.4												
											Perdita della traiettoria: -danneggiamento magnete/strip; -danno/malfunzionamento del sensore ottico;	2	Carrello che alzi la macchina e possa far uscire AGV manualmente	b.2.1								
											Alimentazione non funzionante			b.2.2								
											PLC non funzionante			b.2.3								
											Pos.3	FE	Non schermata	AGV in stallo	Qualsiasi	11 µSv/h (2m di distanza)	2	Joystick (l'operatore potrebbe dover entrare per sistemare percorso ottico dopo la rimozione della TIS)	b.2.4			
																				Rottura motore elettrico	2	Joystick
Perdita della traiettoria: -danneggiamento magnete/strip; -danno/malfunzionamento del sensore ottico;																				b.2.4		

Tabella 2.1 (segue) Albero degli eventi [12].

Stato TIS unit	Posizione HHM	Posizione TIS unit	Condizioni TIS unit	Evento incidentale		Conseguenze	Gravità (Tab2)	Soluzioni / raccomandazioni	Id
Irraggiata	Pos.3	HHM	Non schermata	Cartesiano in stallo	Alimentazione non funzionante	Nessuna	1	Batteria di backup prevista	b.4.1
					PLC non funzionante	500 µSv/h (a contatto)	3	Utilizzo sistema di sbloccaggio di emergenza	b.4.2
				Sarcofago non è alzato	Nessuna	1	TIS viene riposizionata sul FE e AGV torna indietro per essere riparato	b.4.4	
				Rottura motori (assi bloccati)	500 µSv/h (a contatto)	3	Utilizzo sistema di sbloccaggio di emergenza	b.4.5	
			Gripper bloccato (guasto impianto aria compressa, danno al compressore, fallimento elettrovalvola, PLC non funzionante)						
			Schermata	Cartesiano in stallo	Gripper bloccato (rottura meccanica)	Nessuna	1	Possibile sistema sbloccaggio pneumatico	b.4.7
						Nessuna	1	Installare un sensore di pressione e integrare il segnale nel PLC	b.4.6

Tabella 2.1 (segue) Albero degli eventi [12].



Stato TIS unit	Posizione HHM	Posizione TIS unit	Condizioni TIS unit	Evento incidentale		Conseguenze	Gravità (Tab2)	Soluzioni / raccomandazioni	Id
Irraggiata	Pos.1 Pos.2 Pos.3	HHM	Schermata	AGV in stallo	Alimentazione AGV non funzionante	Nessuna	1	Possibilità di un carrello che alzi la macchina e possa far uscire AGV manualmente	b.5.1
					PLC non funzionante	Nessuna	1		b.5.2
					Perdita della traiettoria (danneggiamento magnet/strips o danno/malfunzionamento del sensore ottico)	Nessuna	1	joystick (L'operatore potrebbe dover entrare per sistemare percorso ottico)	b.5.3
					Rottura motore elettrico	Nessuna	1	Possibilità di un carrello che alzi la macchina e possa far uscire AGV manualmente	b.5.4

**Tabella 2.1** Albero degli eventi [12].

Si consideri il seguente scenario:

- macchina HHM non utilizzabile perché soggetta ad un guasto non risolvibile nel breve periodo, come ad esempio il danneggiamento del PLC;
- macchina verticale non disponibile a causa di problemi sorti nella rimozione dei tappi di cemento;
- necessità nel breve periodo di estrarre la camera target per motivi di sicurezza e depositarla in un sarcofago apposito.

Per far fronte a questo scenario, e analoghi, è nata l'idea di munirsi di una macchina di emergenza in grado di estrarre la camera target dalla coupling table e depositarla in un sarcofago di emergenza o direttamente sullo slider del temporary storage. La macchina di backup deve soddisfare determinati requisiti:

- *Azionamenti manuali*  
Il requisito nasce dall'analisi dei possibili guasti a cui può andare incontro HHM. L'assenza di PLC e componentistica elettronica consente di eliminare tutte le cause di guasto dovute all'esposizione a radiazioni ionizzanti e ai problemi intrinseci di programmazione. Il danneggiamento sarebbe imputabile solamente a rotture meccaniche con una probabilità di accadimento estremamente bassa.
- *Movimentazione manuale macchina*  
La movimentazione manuale della macchina di emergenza per mezzo di un operatore consente di evitare l'utilizzo di PLC per il controllo della traiettoria e dell'allineamento/centraggio della macchina in corrispondenza del punto di prelievo/estrazione della camera target.
- *Prelievo orizzontale della camera target*  
Il prelievo della camera target deve avvenire mediante un'estrazione orizzontale come in HHM, per sopperire al problema della movimentazione dei tappi in cemento armato.

Essendo una macchina completamente manuale si devono adottare delle precauzioni al fine di tutelare l'incolumità dell'operatore. Queste vengono definite dalla radioprotezione (si veda Capitolo 5), cioè la disciplina applicata alla protezione dell'uomo e dell'ambiente dagli eventuali effetti dannosi delle radiazioni ionizzanti. L'utilizzo della macchina di emergenza è limitato solamente a quei casi in cui il livello di radioattività, presente nei locali, risulti inferiore ad una soglia limite prevista da normativa. Per quanto riguarda l'operatore esso deve ricevere una adeguata formazione circa le procedure da adottare e i pericoli presenti in un ambiente radioattivo.

Dai tre requisiti fondamentali sopracitati è stata sviluppata la macchina di emergenza oggetto di questo lavoro di tesi. Gli obiettivi di questa tesi sono stati:

#### 1) *La progettazione della macchina di emergenza nella sua interezza*

Si sono definiti il cinematismo, gli azionamenti e gli elementi di trasmissione del moto del sistema di estrazione della camera target.

È stato condotto il dimensionamento dell'intera macchina. Si è individuata la modalità di trasporto della macchina ed è stato progettato il relativo sistema di centraggio e posizionamento.

I diversi vincoli di progetto (ingombri limite, spazio di manovra, distanza minima operatore-camera target...) sono stati a mano a mano integrati nella progettazione.

#### 2) *Realizzazione prototipo macchina*

Nell'officina dei laboratori INFN LNL è stato possibile realizzare tutti i componenti strutturali progettati. Successivamente è eseguito l'assemblaggio della macchina e si sono condotti i relativi test per verificare la ripetibilità dell'operazione di estrazione e inserimento.

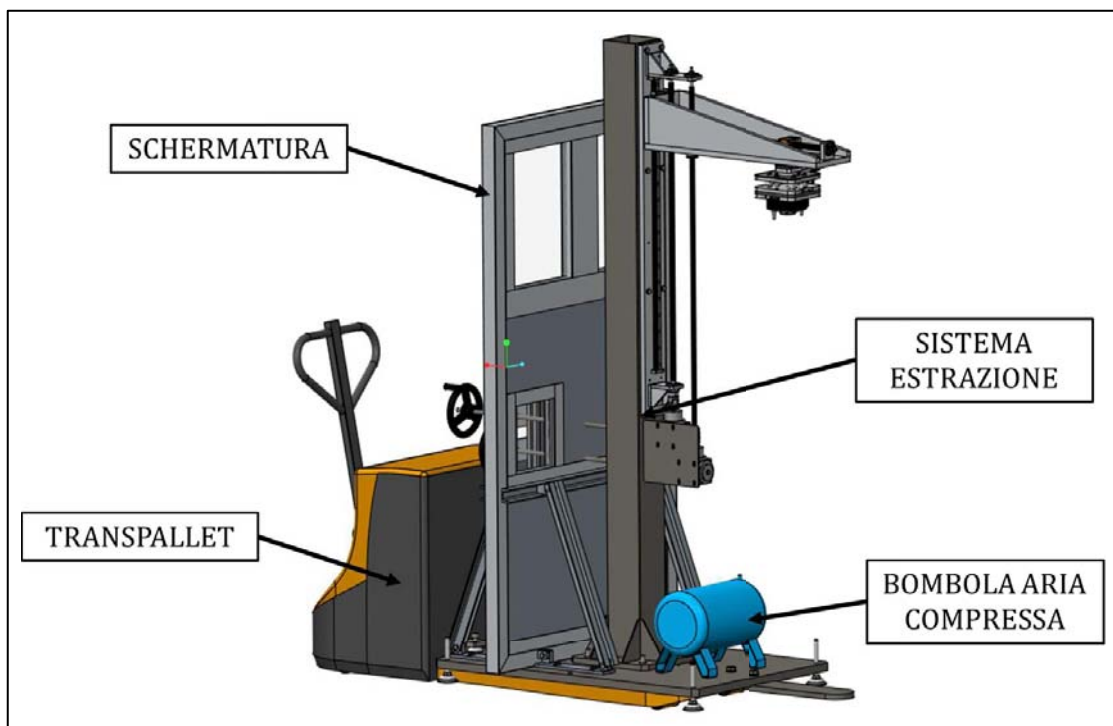
Inoltre, nella progettazione si sono considerati altri due aspetti fondamentali:

- *Sistema di estrazione a due gradi di libertà*

Il sistema di estrazione della macchina di emergenza deve avere due gradi di libertà. Il primo grado di libertà (spostamento verticale dell'organo di presa) consente l'estrazione della camera mentre il secondo grado di libertà consente all'organo di presa di raggiungere la camera target in qualsiasi posizione occupata sulla tavola di ammaraggio.

- *Semplicità macchina*

Caratteristica peculiare della macchina progettata è la semplicità, sinonimo di affidabilità nei sistemi meccanici. Per semplificare i cinematismi del sistema di estrazione sono stati limitati al minimo indispensabile gli elementi di trasmissione del moto (viti trapezie, rinvii angolari, guide lineari, ...). Le parti strutturali e meccaniche sono state progettate al fine di ottenere una macchina semplice ma al contempo funzionale e facilmente realizzabile.



**Figura 2.34** Macchina di emergenza per l'estrazione orizzontale della camera target.

La macchina di emergenza progettata (Figura 2.34) è costituita da due sistemi principali:

- *Il sistema di presa della camera target*

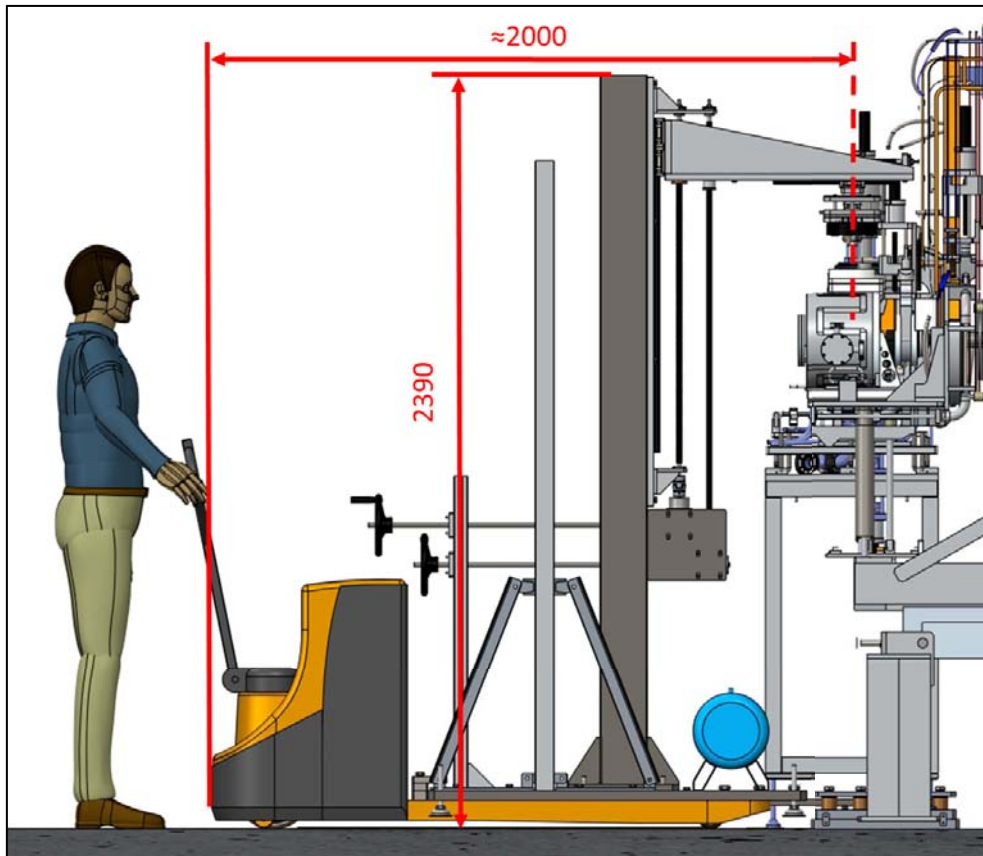
È un sistema a due gradi di libertà azionabile mediante due volantini. La macchina è provvista di una bombola di aria compressa necessaria per il funzionamento dell'organo di presa, costituito dal modulo compensatore e dal gancio schunk maschio. L'azionamento avviene per mezzo di valvole pneumatiche a controllo manuale.

- *Il mezzo di trasporto*

Il costo contenuto, l'elevata maneggevolezza e la conduzione manuale hanno determinato la scelta di un transpallet elettrico come mezzo di movimentazione del sistema di estrazione della camera target.

Le due parti sono accoppiabili/disaccoppiabili per mezzo di un sistema di aggancio/sgancio rapido (si veda Paragrafo 3.2.4).

La macchina di emergenza viene denominata anche con la sigla MHM cioè *Manual Handling Machine*, o Macchina di Movimentazione Manuale.



**Figura 2.35** Ingombri principali della macchina di emergenza (quote in mm).

Per definire gli ingombri massimi della macchina (Figura 2.35) si sono presi in considerazione i seguenti vincoli:

- larghezza e altezza dei portali di accesso dei vari locali. L'altezza delle porte è pari a 2500mm mentre la larghezza minima è pari a 1200mm;
- raggio di curvatura massimo, per svoltare dal corridoio A8b al locale A7. Questo valore determina il passo massimo del transpallet;
- distanza minima operatore-camera target. La dose radioattiva proveniente dal target varia approssimativamente con il reciproco del quadrato della distanza dalla fonte irradiante. Si è scelta una distanza di compromesso pari a circa 2m;

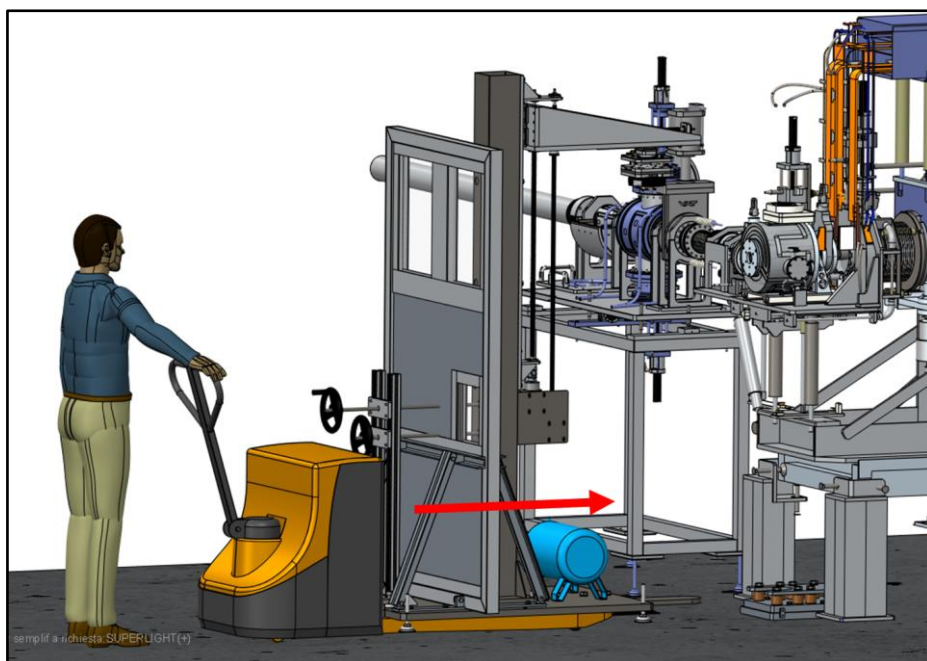
Nella prima fase del programma di prove del progetto SPES (si veda Capitolo 5) si utilizzeranno bersagli in carburo di silicio. Dopo 15 giorni dallo spegnimento del fascio protonico e ad una distanza di circa 2m dalla camera irradiante il livello di radioattività non rappresenta problemi particolari. Le successive fasi del programma di prove prevedranno l'utilizzo di bersagli in carburo di uranio. Dopo 15 giorni dallo spegnimento del fascio e ad una distanza di 2m il livello di radioattività raggiunto nel locale A6 vieta qualsiasi intervento umano.

Nel caso di camera target con bersagli in carburo di uranio, la macchina sarà provvista di una schermatura in piombo con finestre in vetro piombato (Figura 2.34). La schermatura prevede tre finestre: le finestre superiori consentono all'operatore di guidare la macchina all'interno dei locali mentre la finestra, più piccola e posta a circa 1m da terra, consente di eseguire l'allineamento e il centraggio della macchina di emergenza.

Il sistema di centraggio (Paragrafo 3.2.5) è costituito dalla "pinna" di centraggio, montata sulla macchina di backup e dalla battuta di centraggio posta sotto il front-end.

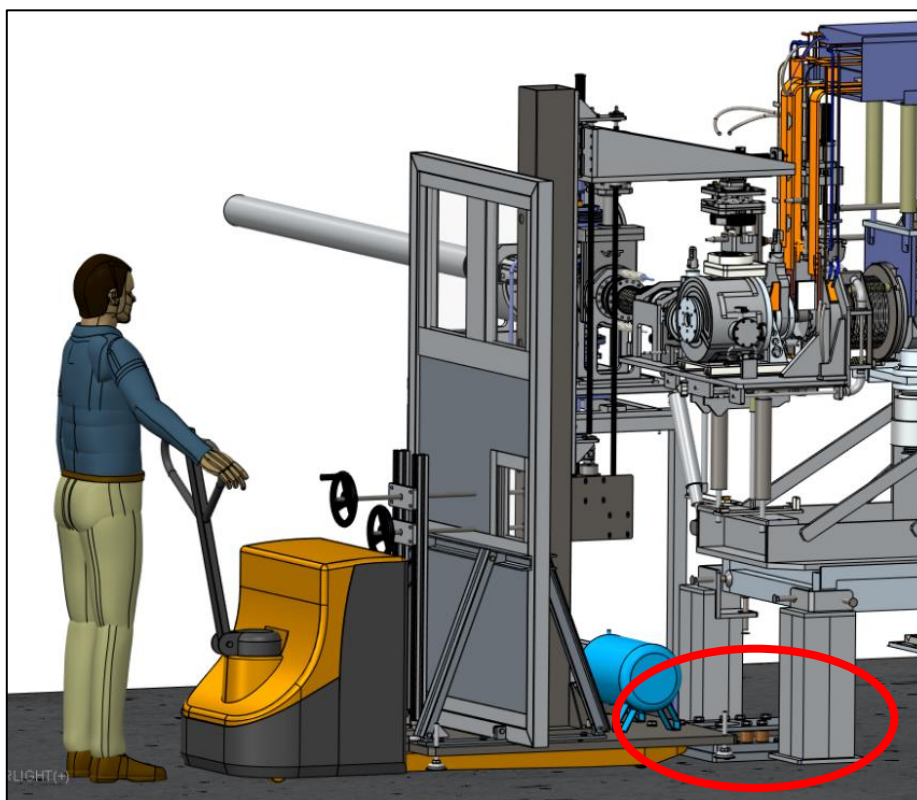
Nelle figure successive viene mostrata la procedura di estrazione della camera target pensata per tale macchina:

- *Avvicinamento macchina di backup al front-end*



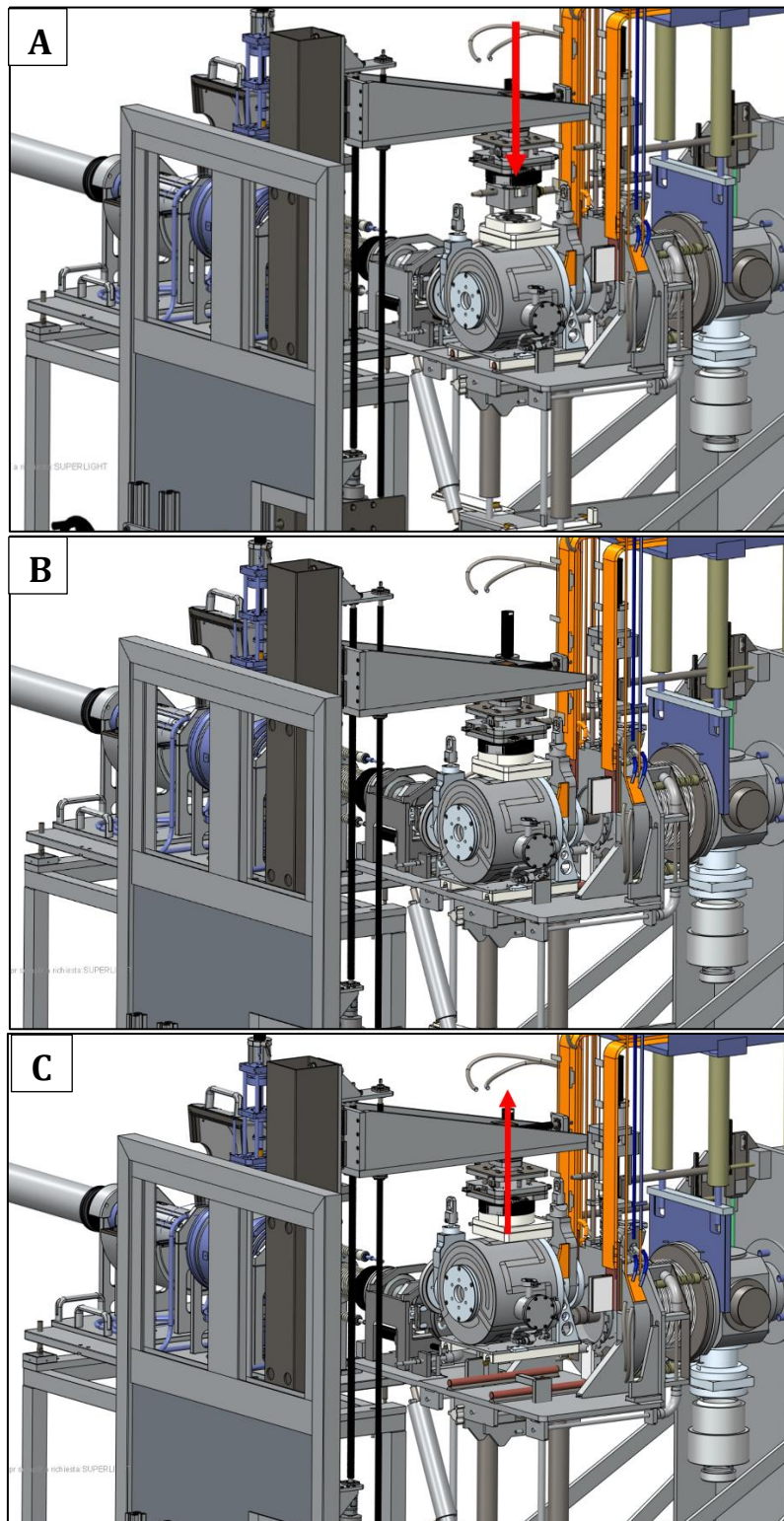
**Figura 2.36** Avvicinamento macchina di backup al Front-End.

- *Allineamento e centraggio della macchina di backup*



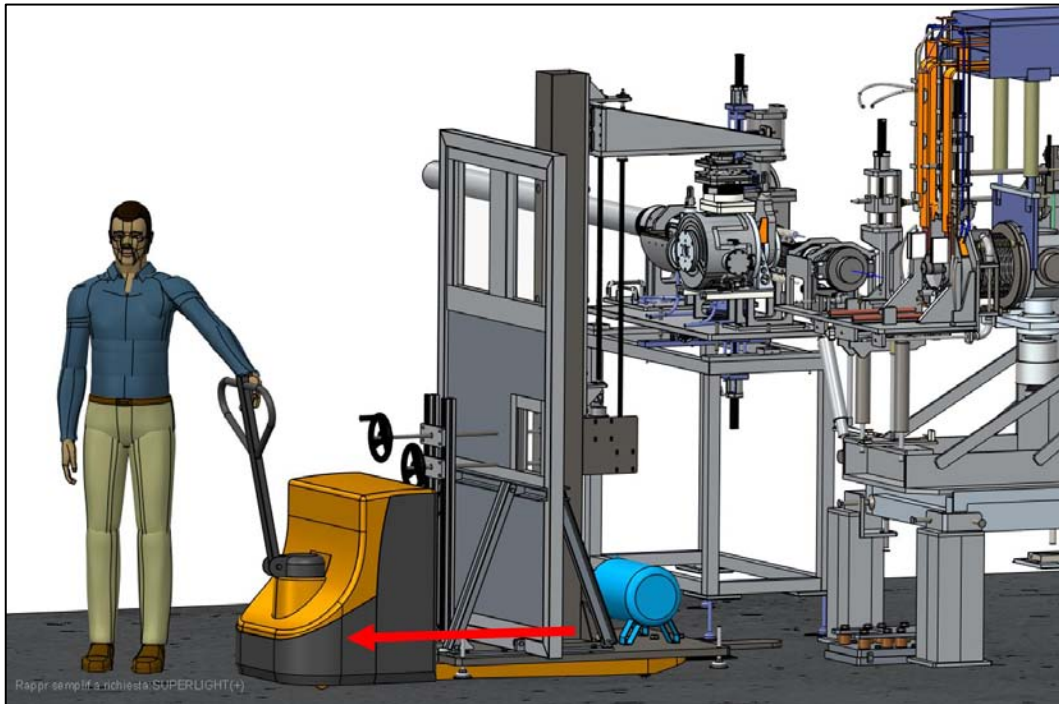
**Figura 2.37** Allineamento e centraggio della macchina di backup.

- Azionamento sistema di estrazione della macchina di backup



**Figura 2.38** Fasi di azionamento del sistema di estrazione della macchina di backup. Nella fase "A" la mensola viene abbassata finché l'organo di presa si accoppia con il connettore femmina della camera target, nella fase "B" avviene l'azionamento pneumatico del gancio schunk maschio, nella fase "C" avviene il sollevamento della camera target.

- *Trasporto camera target verso il temporary storage o sarcofago di emergenza*



**Figura 2.39** *Trasporto camera target presso temporary storage o sarcofago di emergenza.*

## 2.7 - Conclusioni

In questo capitolo è stato presentato il layout del progetto SPES, descrivendo gli ambienti in cui andranno a operare tutti i sistemi di movimentazione della camera target e ponendo particolare attenzione al locale A6.

Successivamente si sono analizzate le possibili cause di guasto di HHM e si sono spiegati i motivi che hanno spinto a munirsi di una macchina di emergenza manuale. Infine, si è introdotta la macchina di backup, progettata in questo lavoro di tesi, e oggetto di approfondimento nei prossimi capitoli.



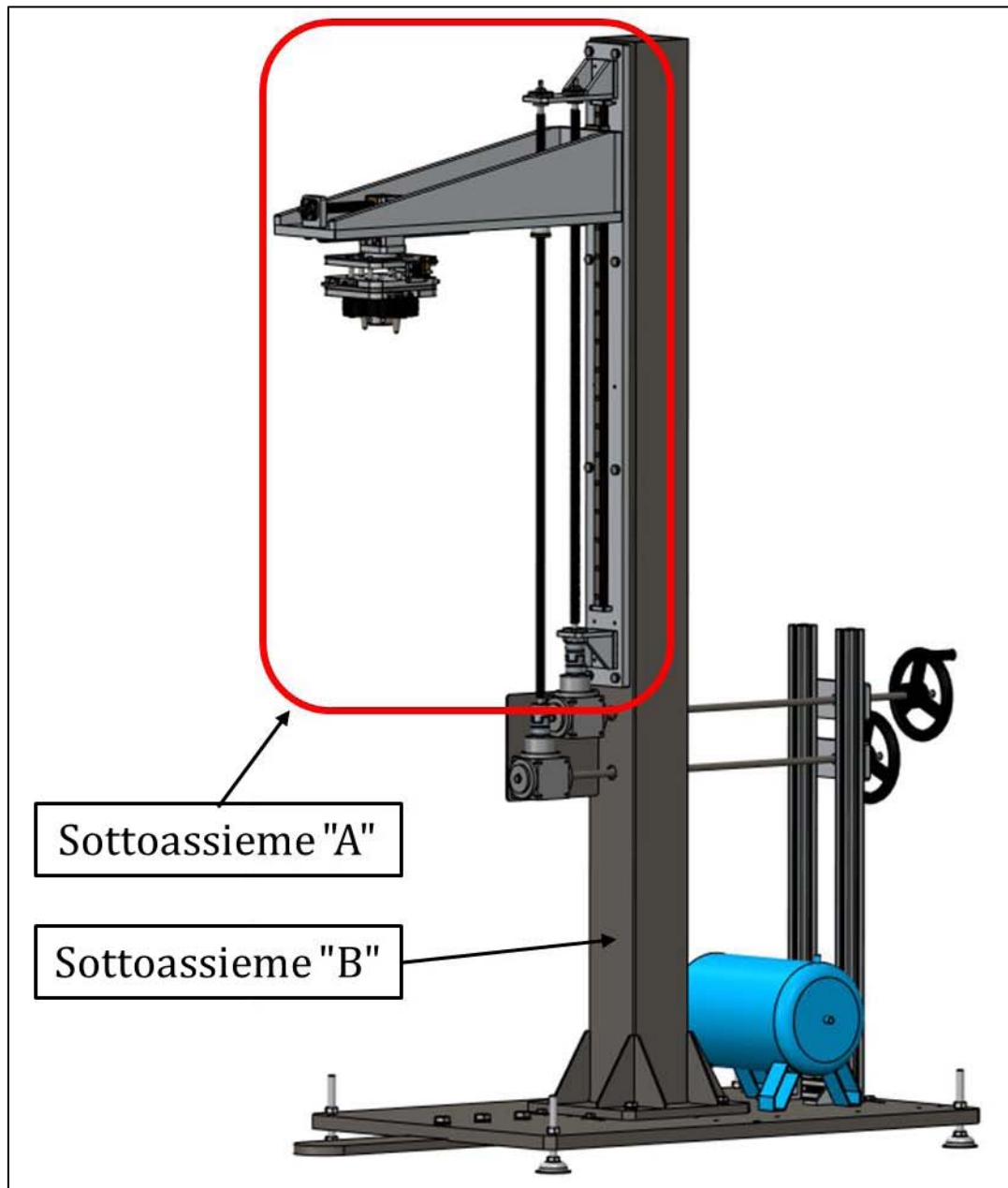




### 3.2.1 - Il sistema di inserimento ed estrazione della camera target

Il sistema di inserimento/estrazione della camera target è un sistema:

- a due gradi di libertà;
- azionabile manualmente. Tale specifica è diretta conseguenza dell'analisi dei guasti condotta su HHM nel paragrafo 2.6.



**Figura 3.2** Sistema di inserimento ed estrazione della camera target.

Si possono individuare due macro sottoassiemi:

Sottoassieme A

Tale sottoassieme (Figura 3.3) rappresenta il cuore del sistema di sollevamento della camera target poiché consente la movimentazione dell'organo di presa nelle direzioni orizzontale e verticale dello spazio.

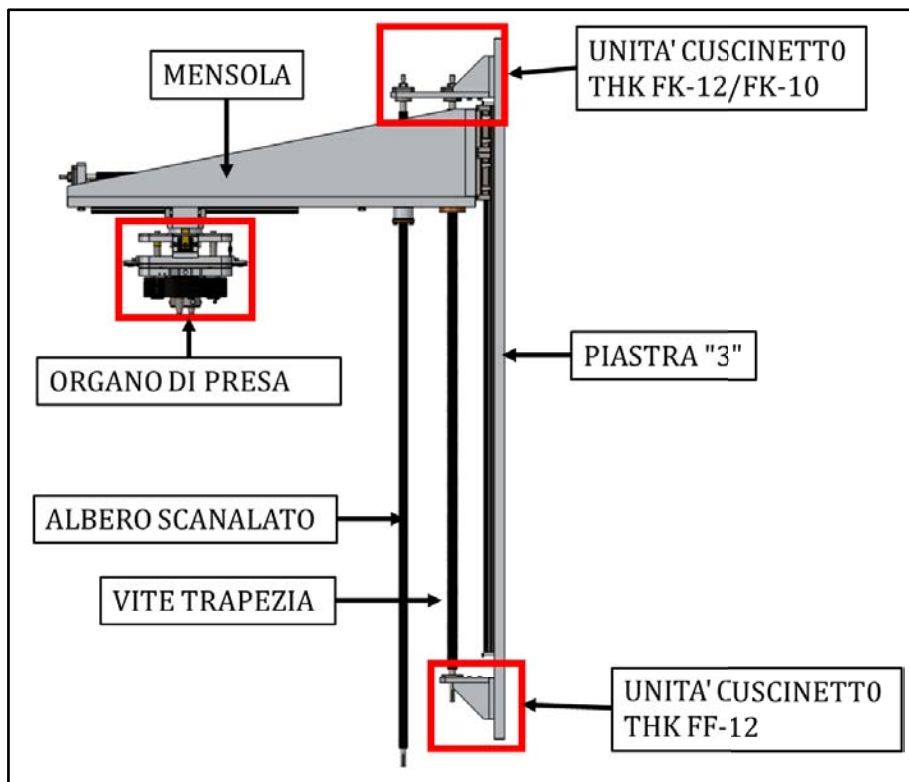
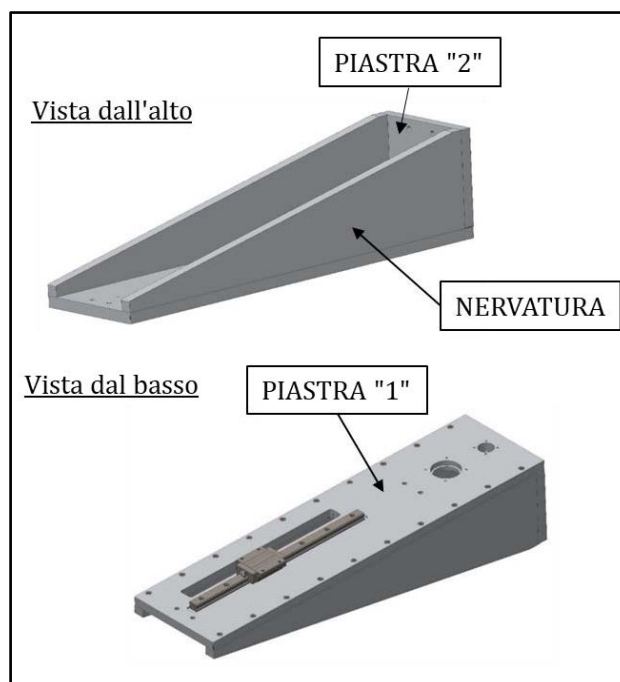


Figura 3.3 Sottoassieme "A".

L'elemento "mensola" alloggia il sistema di trasmissione del moto orizzontale dell'organo di presa e ha lo scopo di sorreggere la camera target. La struttura portante è una trave a sezione variabile realizzata collegando tra di loro due piastre e due nervature, aventi spessore 20mm, per mezzo di viti mordenti M6 TCEI (Figure 3.4). In questo modo è possibile ottenere una struttura caratterizzata da ottime tolleranze geometrico-dimensionali e elevata precisione costruttiva, risultato non uguagliabile se si fosse utilizzato un processo di saldatura per l'unione dei diversi elementi costruttivi. Il materiale impiegato per la realizzazione dei componenti è la lega di alluminio Al 6082 T651 avente le caratteristiche riportate in Tabella 3.1.

Lega EN AW	Stato fisico	Spessore (mm)	$f_o$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
6082	T651	6 ≤ t ≤ 12,5	255	300
		12,5 < t ≤ 100	240	295

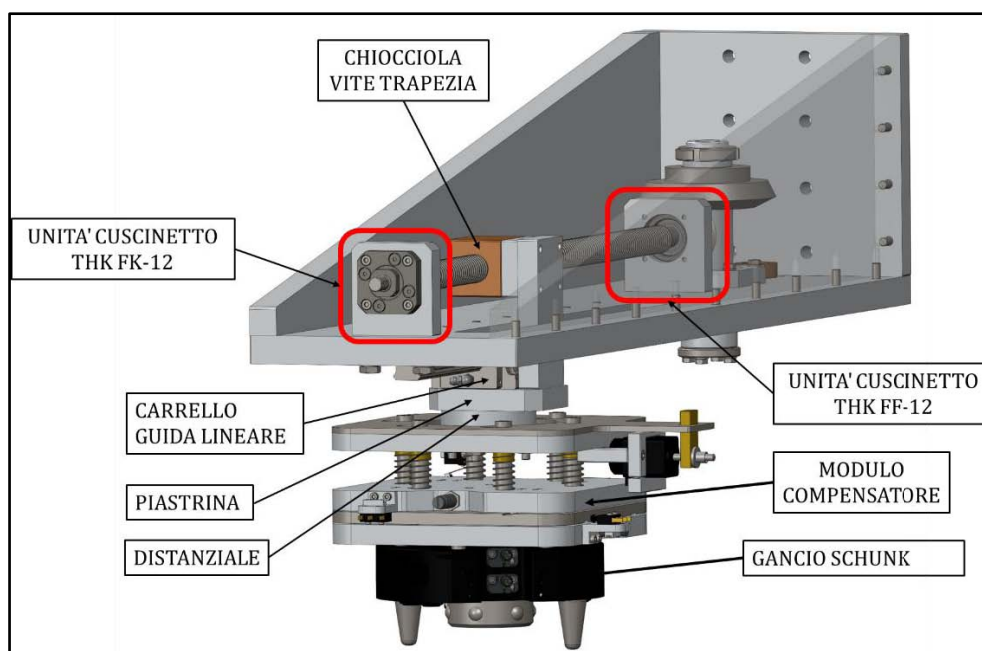
Tabella 3.1 Proprietà meccaniche dei prodotti laminati in lega di alluminio. Per  $f_o$  si intende la tensione di snervamento, per  $f_u$  si intende la tensione di rottura (fonte CNR-DT 208/2011).



**Figura 3.4** *Struttura portante della mensola.*

Sulla base inferiore della piastra “1”, mediante fresatura, è stata realizzata una tasca allo scopo di ottenere lo spallamento necessario per un posizionamento preciso della guida lineare THK SHS 20C rappresentata in Figura 3.4.

Al carrello della guida lineare è collegato l’organo di presa della camera target, mediante una piastrina, dotata di 4 grani M6, e un distanziale (Figura 3.5). L’organo di presa è costituito da un gancio Schunk, azionabile grazie ad un impulso di aria compressa, e da un modulo compensatore che consente di correggere errori di centraggio del gancio Schunk, dovuti a disallineamenti angolari e planari ( $\pm 7$  mm nelle direzioni  $x$  e  $y$ ).



**Figura 3.5** *Componenti mensola.*

Il carrello della guida lineare orizzontale realizza il primo grado di libertà del sistema di inserimento/estrazione della camera target e si rende necessario per due motivi:

- 1) posizionata la camera target sulla tavola di ammaraggio del front-end, in corrispondenza del punto di inserimento/prelievo, è possibile eseguire un'accurata taratura della posizione di centraggio del gancio schunk-maschio rispetto a quella del gancio schunk-femmina installato sulla camera target;
- 2) nel caso in cui fosse avvenuto il disaccoppiamento della camera target dai canali protonico e radioattivo, ma a causa di un guasto il sistema di movimentazione installato sulla tavola di ammaraggio del front end non ne consentisse il raggiungimento del punto di prelievo/inserimento sarebbe sempre possibile il prelievo della camera target agendo sulla posizione del carrello orizzontale.

Per spostare il carrello è impiegato un sistema di movimentazione lineare a vite trapezia, in grado di trasformare il moto rotatorio all'ingresso in moto lineare all'uscita. L'efficienza del sistema è inferiore a 0,5: di conseguenza il moto retrogrado non è possibile.

In Figura 3.5 è illustrato il collegamento del carrello della guida lineare alla chiocciola della vite trapezia.

La vite trapezia è sorretta da due unità-cuscinetto (Figura 3.5):

- l'unità cuscinetto sinistra è costituita da un cuscinetto obliquo THK-FK12 e dal relativo supporto;
- l'unità cuscinetto destra (lato pignone) è costituita da un cuscinetto radiale ad una corona di sfere THK-FF12 e dal relativo supporto;

Il moto rotatorio della vite trapezia è possibile grazie alla rotazione dell'albero cavo illustrato in Figura 3.6.

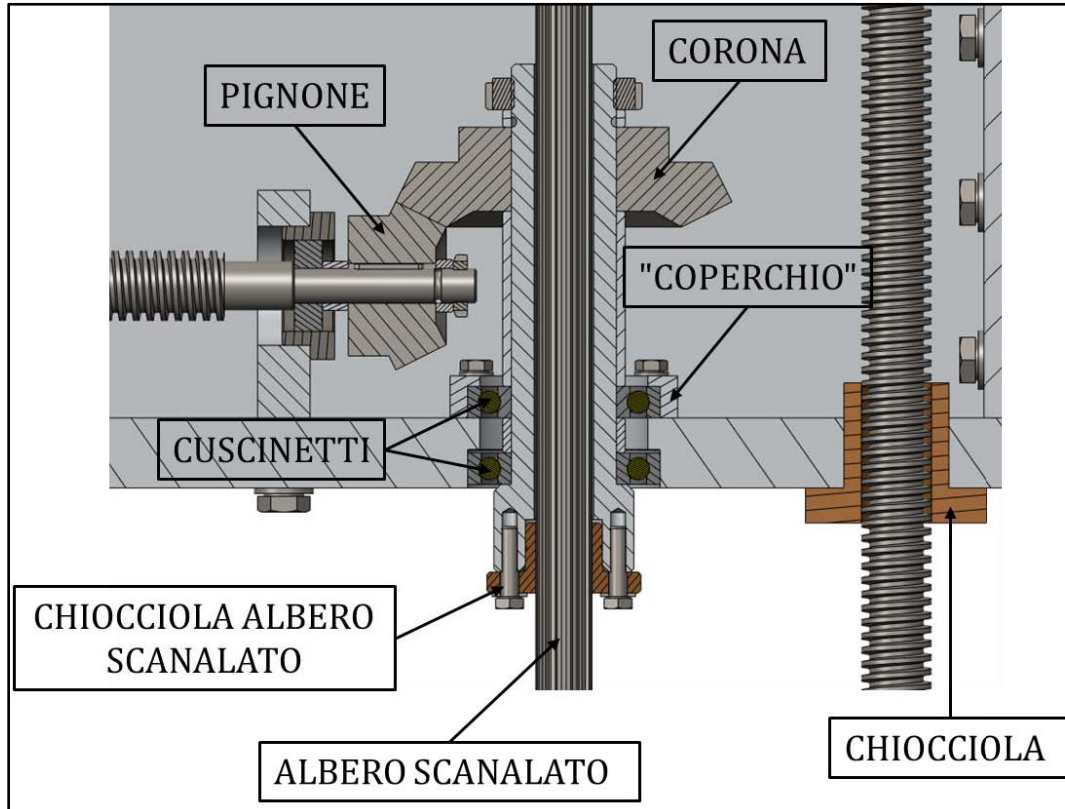


Figura 3.6 Componenti standard impiegati per la trasmissione del moto.

L'albero cavo è supportato da due cuscinetti radiali ad una corona di sfere SKF 16006 EXPLORER (Figura 3.6):

- la sede del primo cuscinetto è ricavata mediante fresatura nella piastra "1";
- il secondo cuscinetto è alloggiato nella sede ricavata nella piastrina denominata "coperchio".

Sulla sua estremità inferiore è fissata la chiocciola di un albero scanalato. Tale sistema consente sia la trasmissione di coppia sia lo scorrimento assiale: fornendo coppia all'albero scanalato viene posto in rotazione anche l'albero cavo. Per trasmettere coppia e rotazione alla vite trapezia è impiegato un sistema di ruote coniche a denti dritti:

- il pignone è montato per mezzo di linguetta sull'estremità destra della vite trapezia e bloccato assialmente per mezzo di una ghiera autobloccante;
- la corona è montata per mezzo di linguetta sull'albero cavo e bloccata assialmente per mezzo di una ghiera autobloccante;

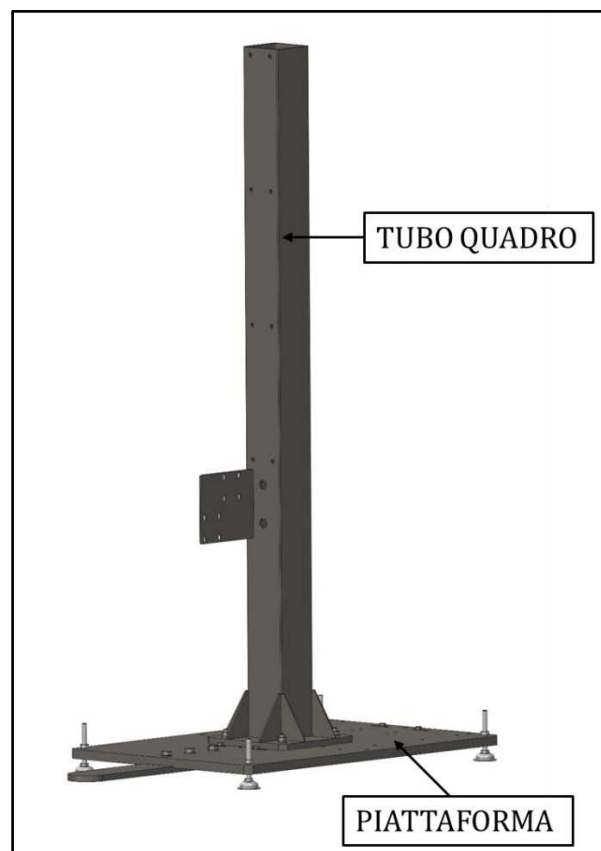
La traslazione verticale della mensola è resa possibile grazie alla presenza di una guida lineare, costituita da due carrelli montati sulla stessa rotaia, e da un sistema di trasmissione del moto a vite trapezia.

La vite trapezia è sorretta da due unità-cuscinetto (Figura 3.3):

- l'unità cuscinetto superiore è costituita da un cuscinetto obliquo THK-FK12 e dal relativo supporto. Su tale supporto è montato anche il cuscinetto THK-FK10 dell'albero scanalato;
- l'unità cuscinetto inferiore è costituita da un cuscinetto radiale ad una corona di sfere THK-FF12 e dal relativo supporto;

I supporti della vite trapezia e la rotaia sono fissati ad un piatto di alluminio denominato piastra "3" in Figura 3.3.

#### Sottoassieme B

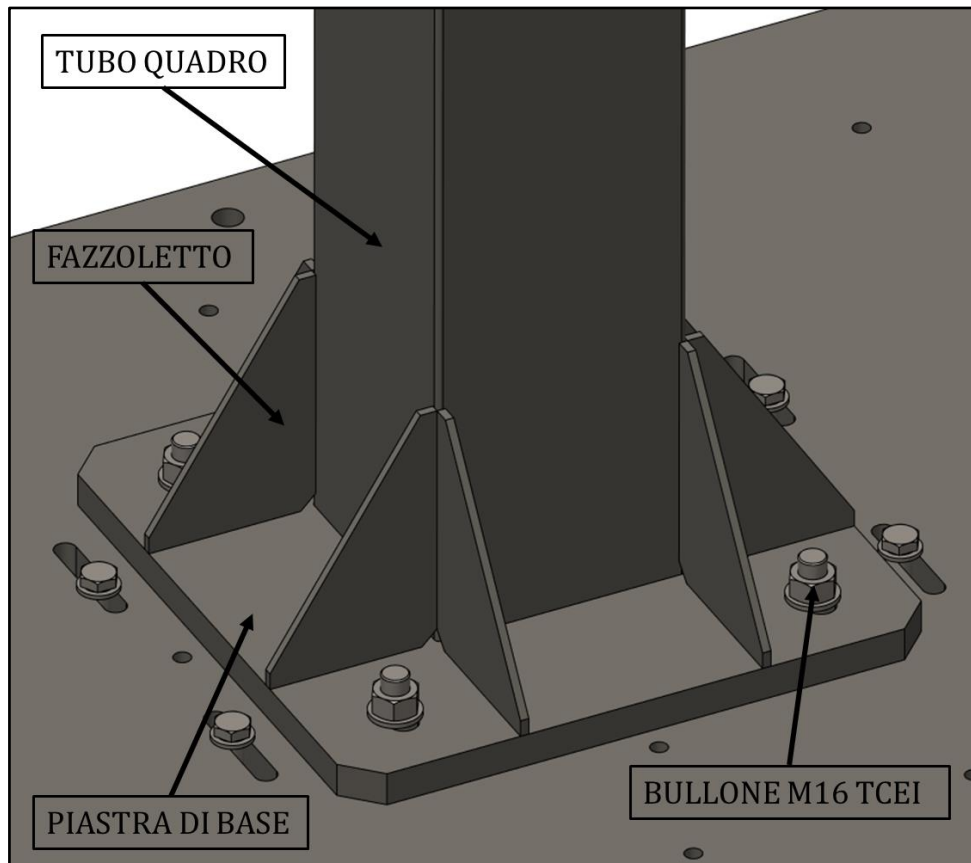


**Figura 3.7** Elementi principali costituenti il sottoassieme "B".

Il sottoassieme B è la struttura portante del sottoassieme A. In Figura 3.10 sono indicate le parti fondamentali; i dettagli in rosso rappresentano il sottoassieme A e gli elementi necessari per la trasmissione del moto dai volantini alla vite trapezia e albero scanalato.

La piastra "3" è fissata ad una faccia del tubo quadro mediante 8 bulloni M12. Per consentire ciò sulla faccia opposta sono stati realizzati dei fori per l'accesso di una chiave a bussola.

Alla base del tubo quadro, in Fe360, è saldata una piastra di base in ferro: il nodo è rinforzato utilizzando 8 fazzoletti saldati tra il tubo quadro e la piastra di base.

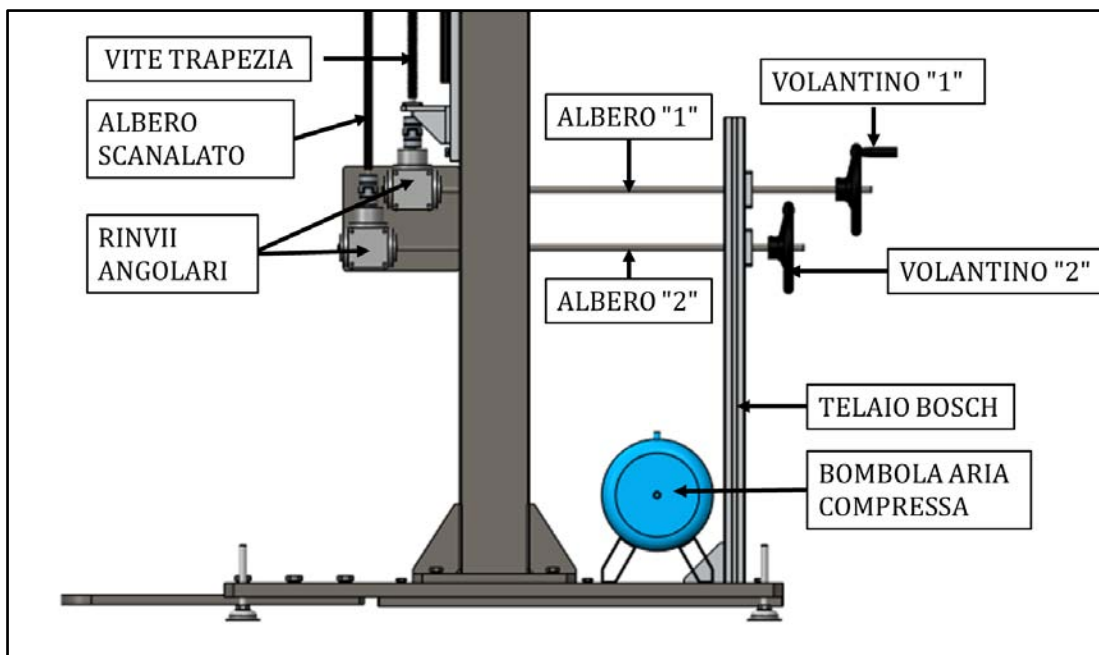


**Figura 3.8** Elementi costituenti il nodo di incastro e collegamento piastra di base alla piattaforma mediante bulloni M16.

La piastra di base è fissata alla piattaforma in alluminio mediante 4 bulloni M16 TCEI. La lamatura della testa delle viti è stata eseguita nella base inferiore della piattaforma.

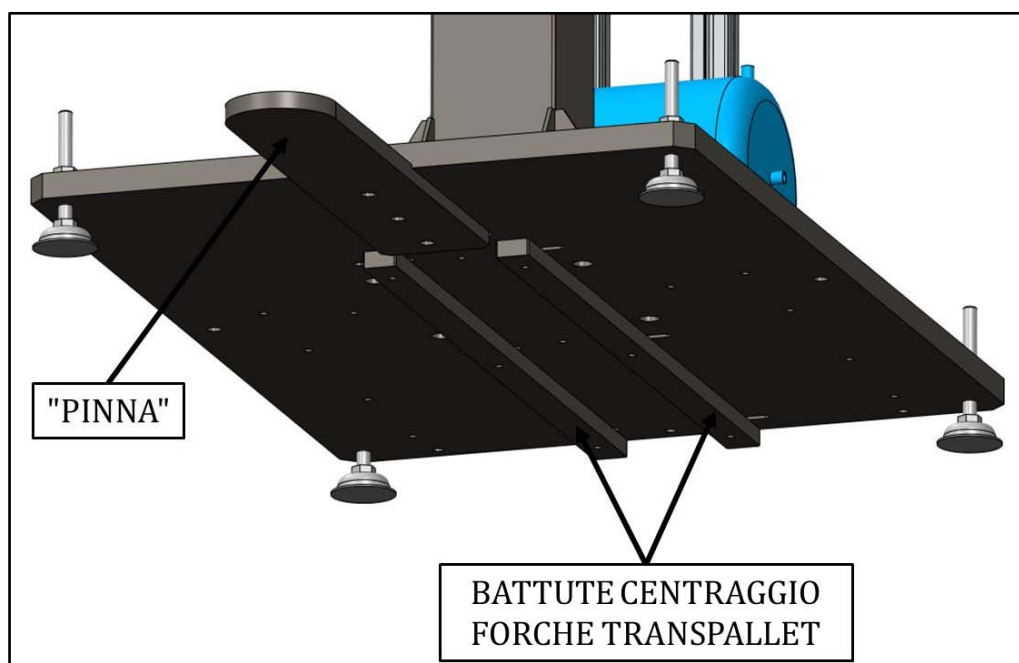
Per evitare la rotazione delle viti durante il serraggio, tra il gambo della vite e il relativo foro e tra la testa della vite e il foro ottenuto per lamatura è stato realizzato un accoppiamento ad interferenza. Per consentire libertà di posizionamento del sistema di sollevamento rispetto il punto di inserimento/estrazione della camera target sulla tavola di ammaraggio del front end, la piastra di base è provvista di 4 fori asolati.

La trasmissione del moto avviene agendo su due volantini (Figura 3.9). Il moto viene trasferito dagli alberi dei volantini alla vite trapezia verticale e all'albero scanalato mediante due rinvii angolari. Gli alberi dei volantini sono supportati da un lato dai rinvii e dall'altro lato da due unità-bronzina fissate su un telaio costruito con profili bosch. Per compensare eventuali disallineamenti angolari e planari, tra gli alberi dei rinvii e vite trapezia e albero scanalato si interpongono dei giunti elastici.



**Figura 3.9** *Trasmissione del moto dai volantini alla vite trapezia e all'albero scanalato.*

Quando il sistema di sollevamento non viene utilizzato, la piattaforma poggia su quattro piedini di livellamento. Sulla piattaforma sono montati anche gli elementi necessari per il centraggio delle forche del transpallet rispetto alla piattaforma e la "pinna" necessaria per centrare l'intera macchina di backup sulla battuta meccanica (Figura 3.10). Tali elementi verranno descritti nei prossimi paragrafi.



**Figura 3.10** *Battute di centraggio per le forche del transpallet e "pinna" di centraggio della macchina di backup.*



### 3.2.2 - Componenti standard del sistema di inserimento ed estrazione

Per la realizzazione dell'intero sistema di movimentazione della camera target sono stati utilizzati i seguenti componenti standard:

- 1 guida lineare THK SHS 25C 2SS +1060L (Figura 3.11);



**Figura 3.11** Guida lineare THK SHS 25C 2 SS comprensiva di due carrelli.

- 1 guida lineare THK SHS 20C SS +400L;
- 1 vite trapezia CONTI KRP 20 AR con chiocciola CONTI FTN 20 AR (Figura 3.12);



**Figura 3.12** Vite trapezia KRP 20AR con chiocciola FTN 20AR.

- 1 vite trapezia CONTI KRP 20 AR con chiocciola CONTI QBF 20 AR (Figura 3.13);



**Figura 3.13** Chiocciola QBF 20AR.

- 1 albero scanalato e relativo manicotto THK DPM 1520 +1500L. In seguito a problemi dovuti al tempo di consegna dell'articolo THK, il sistema albero scanalato/manicotto è stato progettato e realizzato nell'officina dei laboratori INFN-LNL (si veda paragrafo 3.3.5);
- 2 cuscinetti obliqui a sfere THK-FK12 (Figura 3.14) e 1 cuscinetto obliquo a sfere THK-FK10;



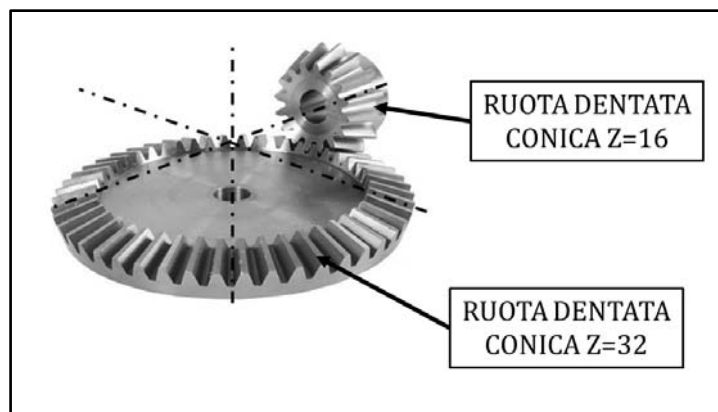
**Figura 3.14** Cuscinetto radiale THK FK12 reggispinta assiale.

- 2 cuscinetti radiali THK FF12(Figura 3.15);



**Figura 3.15** Cuscinetto radiale THK FF12.

- 1 ruota dentata conica UNI 6588 a 32 denti dritti, modulo 3, per accoppiamento con rapporto di trasmissione 1:2 (Figura 3.16);
- 1 ruota dentata conica UNI 6588 16 denti dritti, modulo 3, per accoppiamento con rapporto di trasmissione 1:2 (Figura 3.16);



**Figura 3.16** Ruote dentate coniche.

- 2 rinvii angolari con rapporto di trasmissione 1:1 serie SERVOMECH BG-86-R2-SH-10-F-SU;



**Figura 3.17** Rinvio angolare SERVOMECH BG-86-R2-SH-10-F-SU.

- 2 cuscinetti 16006 SKF explorer;



**Figura 3.18** Cuscinetto 16006 SKF explorer.

- 2 boccole di bronzo;
- 2 giunto elastico tipo ROTEX;



**Figura 3.19** Giunto elastico ROTEX.

- 4 piedini di livellamento M20x190;



**Figura 3.20** Piedini di livellamento.

- 2 volantini MISUMI PHLK 200-16;



**Figura 3.21** Volantino MISUMI PHLK 200-6.

- 1 attacco tipo SCHUNK maschio;
- profili in alluminio Bosch.

### 3.2.3 - Il mezzo di trasporto

Il mezzo di trasporto impiegato è un transpallet elettrico. La scelta di tale mezzo è dovuta ai seguenti motivi:

- pur essendo dotato di un motore elettrico di trazione, la movimentazione del mezzo è affidata esclusivamente al controllo dell'operatore. La scelta di un transpallet elettrico si deve alla presenza di un sistema di frenatura integrato che facilita l'operatore nell'arrestare l'elevata inerzia del carico trasportato. In caso di guasto del motore di trazione è sempre possibile rimuovere il mezzo manualmente sbloccando il freno elettromagnetico;
- ingombro limitato;
- elevata maneggevolezza;
- prezzo estremamente inferiore a quello di un veicolo AGV;

Per sviluppare gli argomenti di questa tesi è stato considerato il transpallet CROWN WP3015-1.6 di cui si riporta in appendice il datasheet. Nulla vieta di valutare altri transpallet elettrici; tuttavia le principali caratteristiche (scartamento, careggiate anteriore e posteriore e passo) devono discostarsi in modo limitato dalle caratteristiche del transpallet considerato.

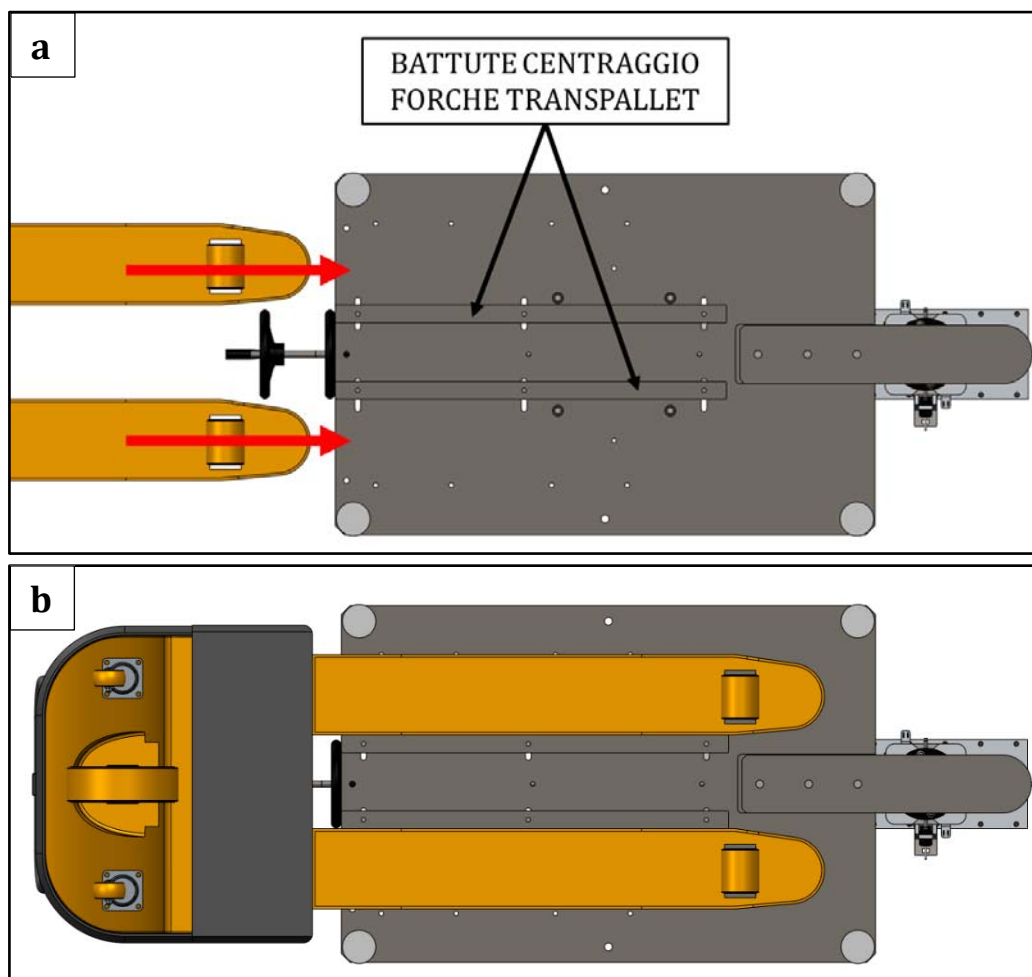
### 3.2.4 - Il sistema di accoppiamento/disaccoppiamento del transpallet

Per non vincolare il transpallet esclusivamente al trasporto del sistema di movimentazione della camera target e poterlo impiegare per altre mansioni è stato progettato un sistema di accoppiamento/disaccoppiamento rapido.

Per descriverne il suo funzionamento si faccia riferimento alla seguente procedura:

#### 1) *Centraggio delle forche transpallet rispetto piattaforma sistema di sollevamento*

Il corretto posizionamento del transpallet rispetto alla piattaforma è possibile grazie alla presenza di due battute, realizzate con due piatti in acciaio inox, montate sotto la piattaforma. A mano a mano che le forche avanzano sotto la piattaforma, i fianchi interni vanno in battuta contro i fianchi esterni dei due piatti garantendo così il centraggio del transpallet (Figura 3.22).

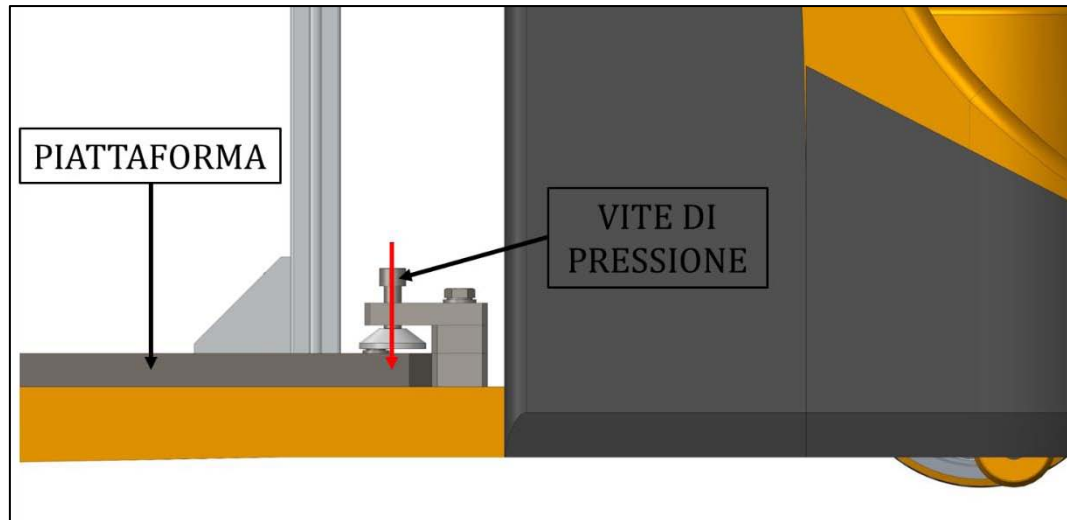


**Figura 3.22** Centraggio delle forche del transpallet rispetto la piattaforma del sistema di estrazione.

L'avanzamento prosegue finché la piattaforma non va a contatto con il sistema di accoppiamento/disaccoppiamento montato sul transpallet.

## 2) *Aggancio piattaforma alle forche del transpallet*

Agendo sulle viti di pressione, provviste di piedini, del sistema di aggancio/sgancio rapido viene esercitata una pressione sufficiente al bloccaggio della piattaforma rispetto le forche del transpallet (Figura 3.23).



**Figura 3.23** Sistema di aggancio/sgancio rapido.

A questo punto possono essere alzati i piedini di livellamento e il sistema di movimentazione della camera target è pronto per potere essere trasportato e utilizzato.

## 3) *Sgancio piattaforma dalle forche del transpallet*

Quando la macchina di backup ritorna nella posizione di riposo, agendo sul sistema di aggancio/sgancio rapido è possibile disaccoppiare la piattaforma del sistema di estrazione dalle forche del transpallet.

### 3.2.5 - Il sistema di centraggio della macchina di emergenza

Il sistema di centraggio ha la funzione di allineare correttamente la macchina di backup rispetto la posizione di inserimento/prelievo della camera target sulla tavola di ammaraggio del front end. Il sistema di centraggio è un accoppiamento meccanico maschio-femmina: il maschio ("pinna" di centraggio) è ancorato sulla macchina mentre la femmina (battuta meccanica) è fissa a terra.

La "pinna" di centraggio è un piatto in acciaio inox, profilato nella parte a sbalzo, montato nella base inferiore della piattaforma (Figura 3.24). Tale elemento consente il centraggio dell'intera macchina rispetto la battuta meccanica: in altre parole la battuta meccanica rappresenta l'invito femmina della "pinna" di centraggio.

Gli elementi principali sono illustrati in Figura 3.25. La piastra "3" costituisce la base della battuta e viene vincolata a terra mediante 6 tasselli ad espansione M12. La piastra "2" e gli elementi ad essa collegati rappresentano la parte principale della battuta. Sulla piastra "2" è montato un sistema di boccole necessario per evitare strisciamenti relativi durante l'inserimento della pinna di centraggio.

Per ottenere un posizionamento preciso della piastra "2" rispetto la piastra "3" è possibile utilizzare 4 viti di regolazione. La piastra "1" ha la funzione di ridistribuire su tutte le viti M20 le sollecitazioni che sorgono in seguito all'urto della pinna di centraggio contro le boccole. Il materiale impiegato per la realizzazione delle piastre è la lega di alluminio Al 6082.

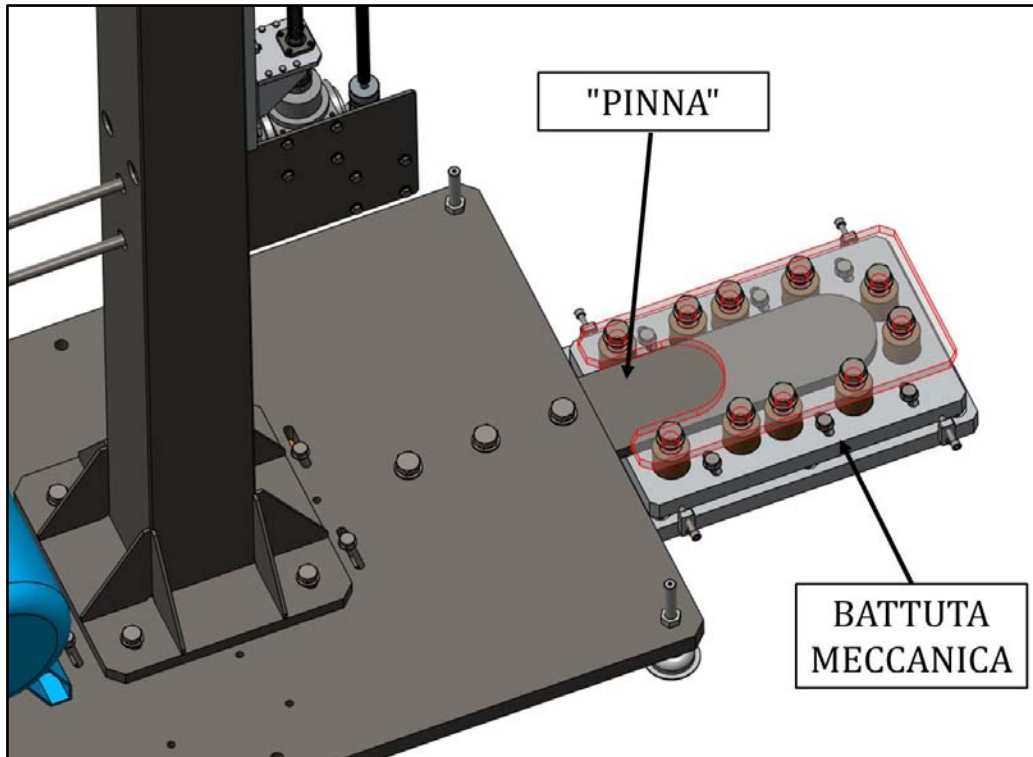


Figura 3.24 Centraggio della macchina di backup sulla battuta meccanica.

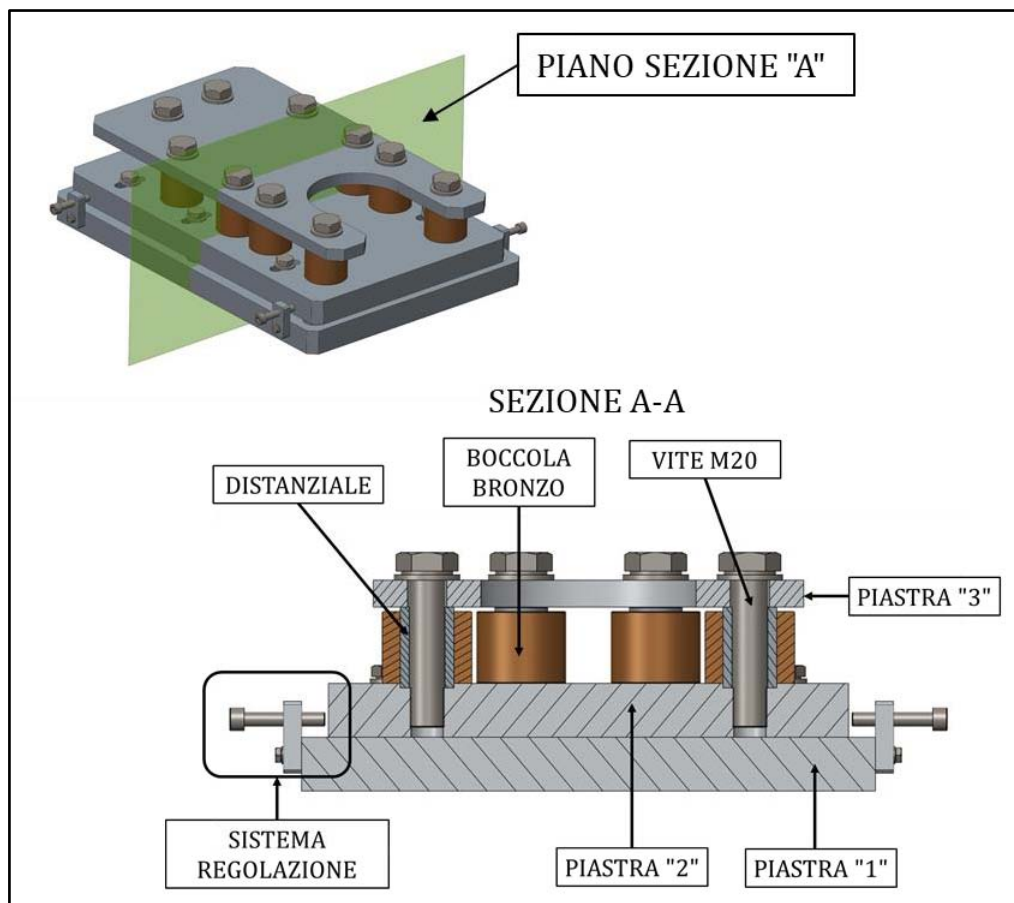


Figura 3.25 Componenti principali battuta meccanica.

### 3.2.6 - Il sistema di schermatura

La schermatura (Figura 3.26) è da impiegare nel caso di TIS unit con bersaglio in carburo di uranio (si veda paragrafo 5.4.1). La schermatura è costituita da pannelli di piombo di 10mm sovrapposti a sandwich. Per consentire le operazioni di movimentazione della macchina di emergenza, lo schermo è provvisto di due finestre superiori disposte simmetricamente. Una terza finestra, posta al centro a destra, consente all'operatore di condurre l'operazione di centraggio della macchina di emergenza. Le finestre sono realizzate in vetro piombato.

Per quanto riguarda lo spessore complessivo degli strati di piombo e vetro piombato, la scelta è fatta a seconda dell'effetto schermante che si vuole ottenere: la definizione degli spessori e delle dimensioni delle finestre è stata possibile eseguendo simulazioni con il codice Monte Carlo Fluka (paragrafo 5.3).

La struttura portante della schermatura è una cornice ottenuta saldando 4 tubi quadrati. I pannelli di piombo sono posti tra due fogli di lamiera dello spessore di 5mm sorretti a loro volta da piatti di 10mm saldati tra i tubi verticali del telaio.

La schermatura è provvista di quattro staffe per consentirne il montaggio sulla piattaforma del sistema di estrazione.

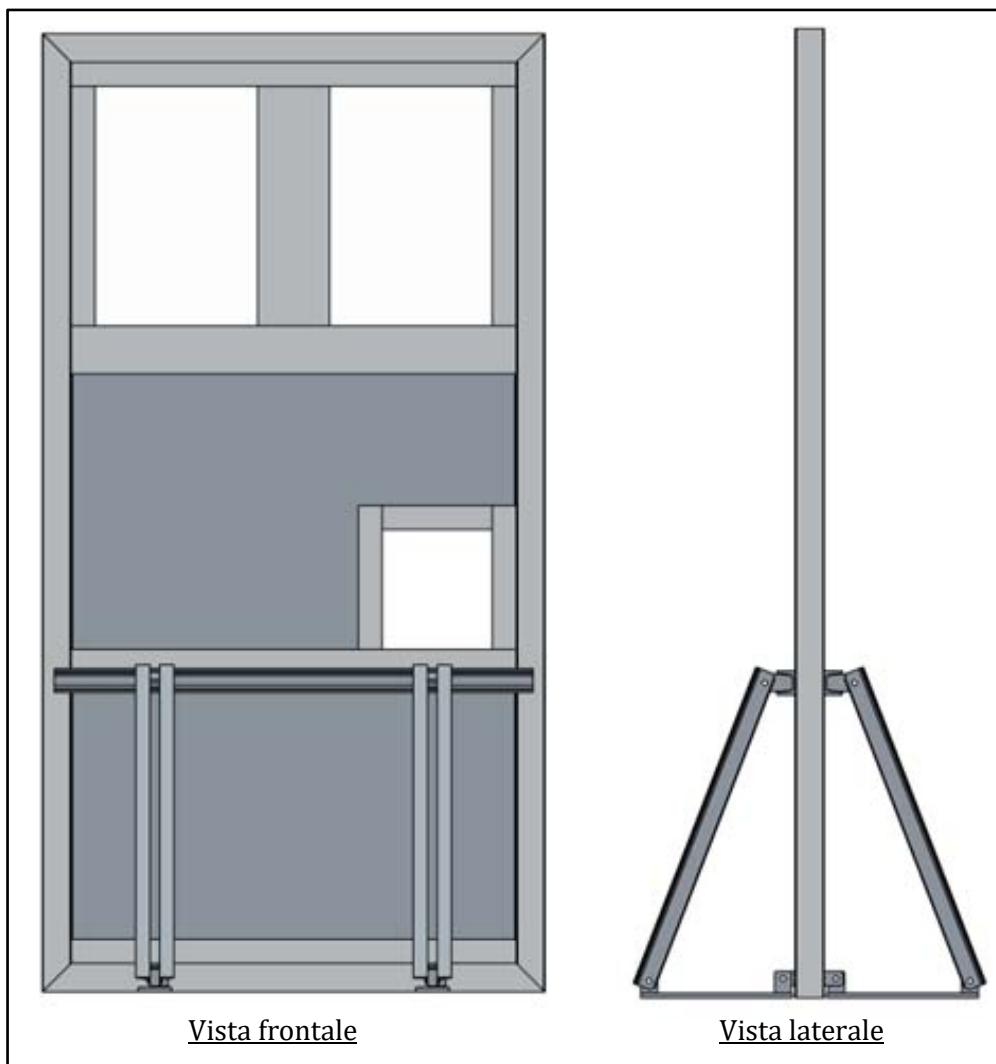


Figura 3.26 Sistema di schermatura.



### 3.3 - Dimensionamento e verifiche strutturali

In questa sede vengono riportati i dimensionamenti, le verifiche strutturali e le considerazioni degne di nota degli elementi meccanici e strutturali che costituiscono il sistema di sollevamento della camera target.

#### 3.3.1 - Sottoassieme mensola

Si riporta nel seguito il dimensionamento della struttura portante della mensola (Figura 3.27a) e le verifiche strutturali della medesima e dei collegamenti presenti.

Il dimensionamento della struttura portante della mensola viene eseguito applicando la teoria tecnica della trave. Inoltre, vengono fatte le seguenti ipotesi:

- *Trave monolitica*  
La struttura portante è costituita da diversi elementi uniti tra di loro per mezzo di viti mordenti. Si ipotizza che la struttura sia un pezzo monolitico assimilabile a una trave a sezione variabile. Nel prosieguo della trattazione per trave si intende la struttura costituita dalla piastra "1" e dalle due nervature;
- *Assenza di intagli*  
Si trascura la presenza di fori e intagli presenti nelle parti costituenti la struttura della mensola;
- *Contributo taglio trascurabile*

La trave è collegata alla piastra "2" per mezzo di un incastro ideale. Il fondo della mensola si ipotizza infinitamente rigido.

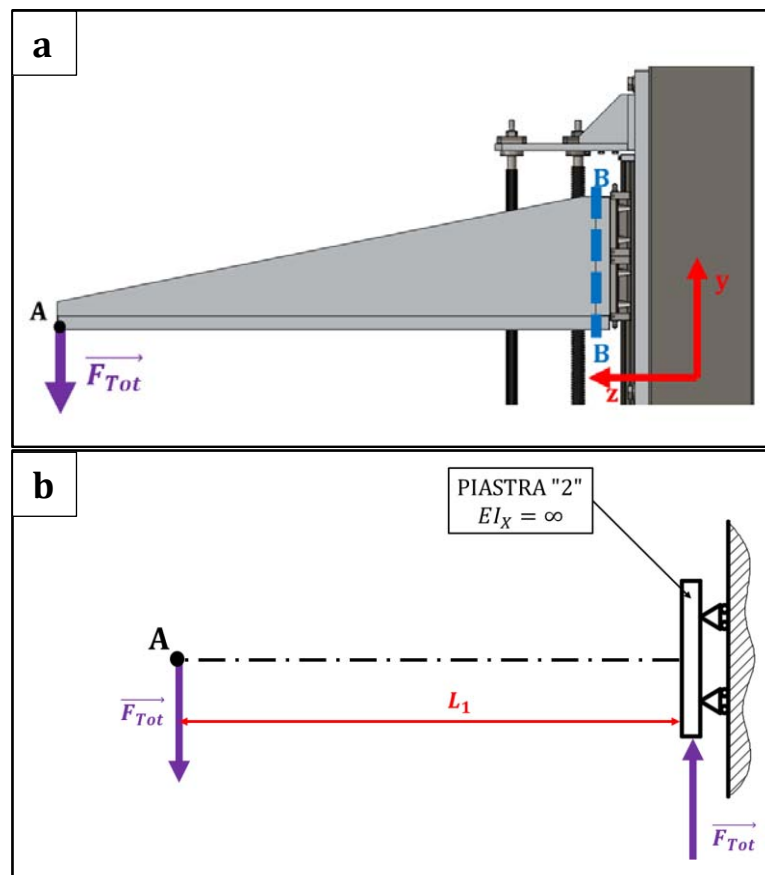


Figura 3.27 Mensola e relativo schema di calcolo utilizzato per il calcolo delle frecce del punto A.

Il dimensionamento è stato eseguito al fine di ottenere una struttura ad elevata rigidità flessionale, caratteristica fondamentale dei sistemi di prelievo precisi.

In vantaggio di sicurezza, si è applicata una forza concentrata  $\vec{F}_{tot}$  nell'estremità libera della trave (punto A), in corrispondenza del suo piano di simmetria.

Il carico  $\vec{F}_{tot}$  consta di due contributi:

- il primo contributo di  $\vec{F}_{tot}$  si deve al peso della camera target, pari a circa 30 Kg<sub>f</sub> [1]. Cautelativamente il carico da movimentare viene aumentato a 50 Kg<sub>f</sub>;
- il secondo contributo di  $\vec{F}_{tot}$  si deve:
  - 1) al peso del sistema di presa (modulo compensatore + gancio schunk) pari a circa 12kg<sub>f</sub>;
  - 2) al peso della mensola comprensiva delle parti costituenti il sistema di movimentazione. Questo contributo non è noto a priori e viene definito completamente solo dopo avere dimensionato l'intero sistema di trasmissione del moto orizzontale.

Come valore di primo tentativo si è assunto  $F_{Tot} = 100 \text{ kg}_f$ , valore confermato a dimensionamento ultimato.

Per valutare spostamenti e rotazioni è stato applicato il principio dei lavori virtuali. Trascurando l'effetto del taglio e considerando il solo effetto del momento flettente si possono ricavare le seguenti espressioni:

$$v_A = F_{Tot} \int_0^{L_1} \frac{(L_1 - z)^2}{EI(z)} dz ; f(z) = \frac{(L_1 - z)^2}{EI(z)}$$

$$\vartheta_{x,A} = F_{Tot} \int_0^{L_1} \frac{L_1 - z}{EI(z)} dz ; f(z) = \frac{L_1 - z}{EI(z)}$$

Dove:

- $I_x(z) = \frac{H(z)^3 B - h(z)^3 b}{3} - A(z) y_G^2(z)$
- $A(z) = H(z) B - h(z) b$
- $H(z) = H_0 - \alpha z$  dove  $\alpha = \frac{H_0 - H(L_1)}{L_1}$
- $b = B - t_o$
- $h(z) = H(z) - t_v$
- $y_G(z) = \frac{H(z)^2 B - h(z)^2 b}{2(H(z) B - h(z) b)}$

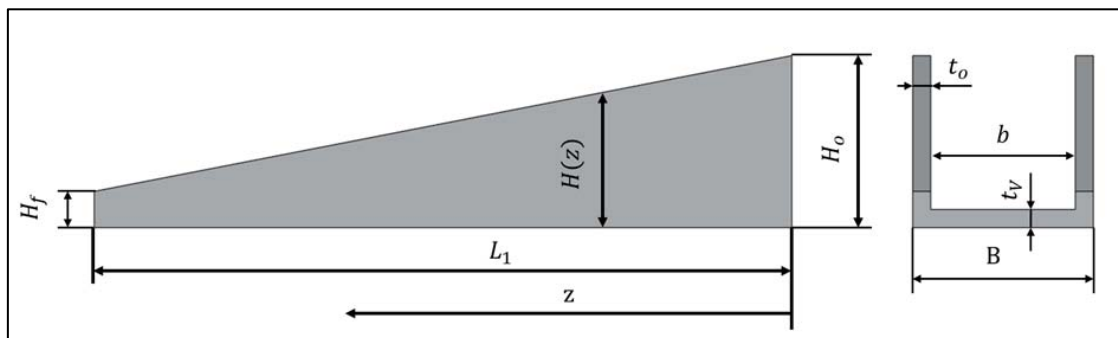


Figura 3.28 Parametri dimensionali della mensola utilizzati nel modello di calcolo.

In vantaggio di sicurezza si suppone che il carico da movimentare abbia una eccentricità pari a 100mm. Di conseguenza nasce il momento torcente  $M_{T,c} = F_c e = 5 \times 10^4 \text{ Nmm}$ .

La rotazione dovuta alla torsione si può valutare con la seguente espressione ricavata trascurando l'ingobbamento:

$$\vartheta_{z,A} = \int_0^l \frac{M_{T,c}}{GI_T(z)} dz \quad ; \quad f(z) = \frac{M_{T,c}}{GI_T(z)}$$

dove:

$$I_t = \frac{1}{3}(2H(z)t_o^3 + Bt_v^3)$$

Per la risoluzione numerica degli integrali si applica la formula di Cavalieri-Simpson:

$$\int_a^b f(z) dz \approx \frac{h}{3} \left[ f(a) + 4 \sum_{i=1, i \text{ dispari}}^{m-1} f(a + ih) + 2 \sum_{i=2, i \text{ pari}}^{m-2} f(a + ih) + f(b) \right]$$

dove:

$$h = \frac{b - a}{m}$$

Gli estremi di integrazione valgono  $a = 0$  e  $b = L_1$ . Il parametro  $L_1$  viene suddiviso in un numero  $m$  pari di intervalli:  $m$  viene variato fino al raggiungimento della convergenza della soluzione. La lunghezza della mensola costituisce un parametro fondamentale e la sua definizione deve essere fatta valutando diversi fattori:

- l'organo di presa deve potere raggiungere la camera target in qualsiasi posizione occupata sulla tavola di ammaraggio del front-end;
- tale parametro influenza il posizionamento della struttura di sostegno della mensola (tubo quadro) sulla piattaforma montata sul transpallet. La posizione del tubo a sua volta è legata alla presenza della bombola d'aria, del telaio di supporto dei volantini e di una eventuale schermatura di piombo;
- la lunghezza della mensola influenza l'entità delle frecce;

Di conseguenza, tale parametro dimensionale è una scelta di compromesso da definire per tentativi.

Utilizzando i parametri dimensionali:

$$\begin{aligned} L_1 &= 770 \text{ mm} \\ H_o &= 190 \text{ mm} \\ H_f &= 40 \text{ mm} \\ t_o &= 20 \text{ mm} \\ t_v &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

nel punto di applicazione di  $\overrightarrow{F_{tot}}$  si ottengono le frecce:

$$\begin{aligned} f_{y,A} &= -0,14 \text{ mm} \\ \vartheta_{x,A} &= 0,027^\circ \\ \vartheta_{z,A} &= 0,074^\circ \end{aligned}$$

Vanno fatte alcune considerazioni per valutare la bontà dei risultati ottenuti:

- la teoria tecnica della trave è applicabile nel caso di travi a sezione debolmente variabile. La trave dimensionata non soddisfa questa ipotesi;
- la mensola non è una struttura monolitica priva di intagli;

- nel modello di calcolo, cautelativamente, si è applicata all'estremità libera della trave una forza concentrata che riassume il peso del carico da movimentare e il peso dell'intera mensola. Questa ipotesi a vantaggio di sicurezza non rispecchia la realtà;
- il sistema di movimentazione (vite trapezia, guida lineare, ...) contribuisce nella definizione della rigidezza flessionale della mensola;

Di conseguenza i valori calcolati rappresentano una stima utile per avere indicazioni circa l'ordine di grandezza delle frecce reali. Alla luce di quanto detto, i valori delle frecce calcolate si ritengono accettabili.

La struttura portante della mensola viene dimensionata utilizzando i parametri dimensionali riportati sopra. Poiché nella sua vita operativa la mensola sarà sottoposta a un numero di cicli di sollecitazione esiguo e l'entità del carico non è rilevante, viene effettuata una verifica statica della sezione più sollecitata trascurando il fenomeno della fatica.

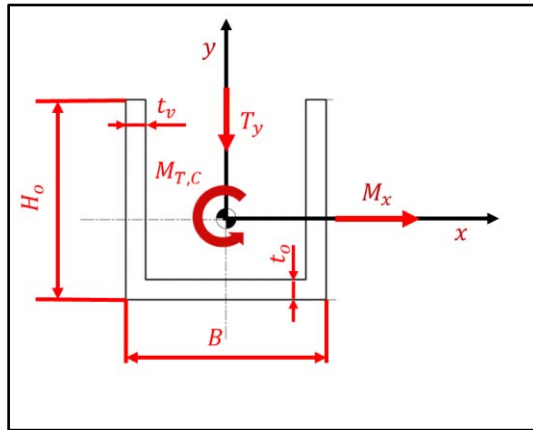


Figura 3.29 Sollecitazioni agenti nella sezione della trave B-B.

SEZIONE B-B

$$\sigma_{f,B} = \frac{M_x}{W_x} = 2,37 \text{MPa} \quad \text{dove } W_x = \frac{I_x}{y_B} = 3,25 \times 10^5 \text{mm}^3$$

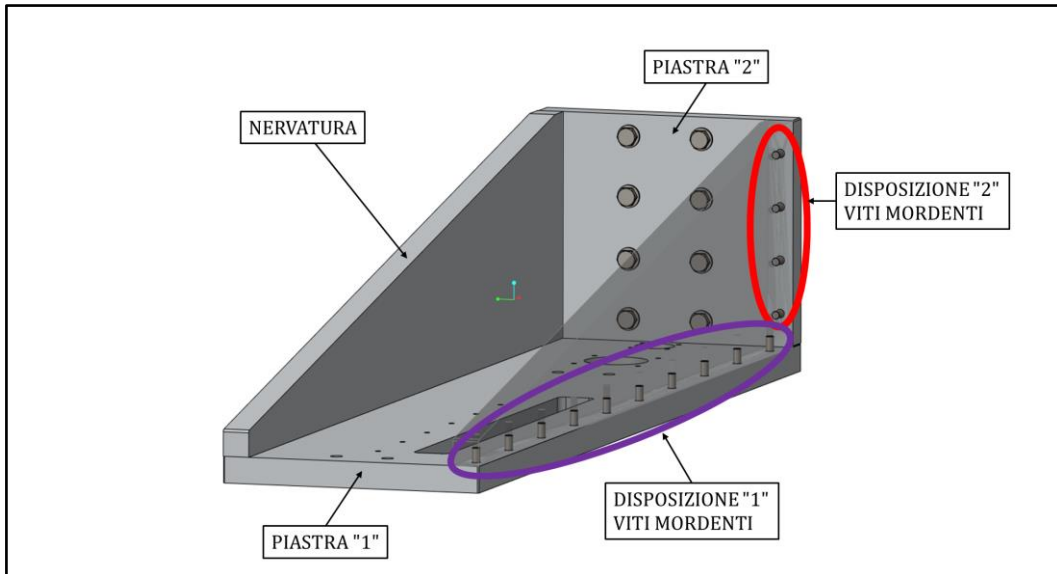
$$\tau_B = \frac{M_{T,c} t_v}{I_T} = 0,67 \text{MPa} \quad \text{dove } I_T = \frac{1}{3} (2H_0 t_o^3 + B t_v^3) = 1,5 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$\sigma_{id,B} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2} = 2,64 \text{MPa}$$

$$v_{s,A} = \frac{\sigma_s}{\sigma_{id,B}} = \frac{240}{2,64} = 91$$

Le imprecisioni del modello di calcolo vengono conteggiate nella definizione del limite inferiore del coefficiente di sicurezza: poiché il coefficiente di sicurezza calcolato risulta elevato, la verifica strutturale si può ritenere assoluta.

Gli elementi di giunzione impiegati per collegare le parti costituenti la struttura della mensola sono viti mordenti M6 TCEI. Di seguito viene riportata la verifica delle disposizioni di viti mordenti raffigurate in Figura 3.30.



**Figura 3.30** Elementi costituenti la struttura portante della mensola e disposizioni delle viti mordenti.

La normativa italiana, CNR-UNI10011, fornisce un metodo di calcolo della pretrazione dovuta al serraggio di un bullone,  $N_S$ , presupponendo che la vite si avviti in una madrevite di acciaio. In questo caso le viti vengono avvitate su madreviti in alluminio. Poiché la madrevite in alluminio costituisce l'elemento più debole del collegamento, per la verifica si adotta l'ipotesi semplificativa, fuori normativa ma a vantaggio di sicurezza, che la vite stessa sia di *Al*. Per quanto riguarda la lunghezza minima della madrevite in alluminio essa viene assunta cautelativamente pari a 2 volte il diametro nominale della vite.

- DISPOSIZIONE "2" VITI MORDENTI

Per il funzionamento ad attrito delle viti è necessario che siano verificate le seguenti disuguaglianze:

$$\begin{cases} V_f \leq V_{f,N} \\ V_{f,N} = V_{f,0} \left(1 - \frac{N}{N_S}\right) \text{ dove } V_{f,0} = \frac{\mu N_S}{\gamma_f} \\ N \leq 0.8 \cdot N_S \end{cases}$$

Per valutare  $N$  è necessario trasportare le forze  $\vec{F}_{Tot}$  e  $\vec{F}_c$  nel baricentro  $G_{V,1}$  delle aree resistenti delle viti mordenti (Figura 3.31 e Figura 3.32).

Trasportando  $\vec{F}_{Tot}$  in  $G_{V,2}$  compare il momento ribaltante  $M_{R,Tot} = F_{Tot} b = 7,7 \times 10^5 \text{ Nmm}$ .

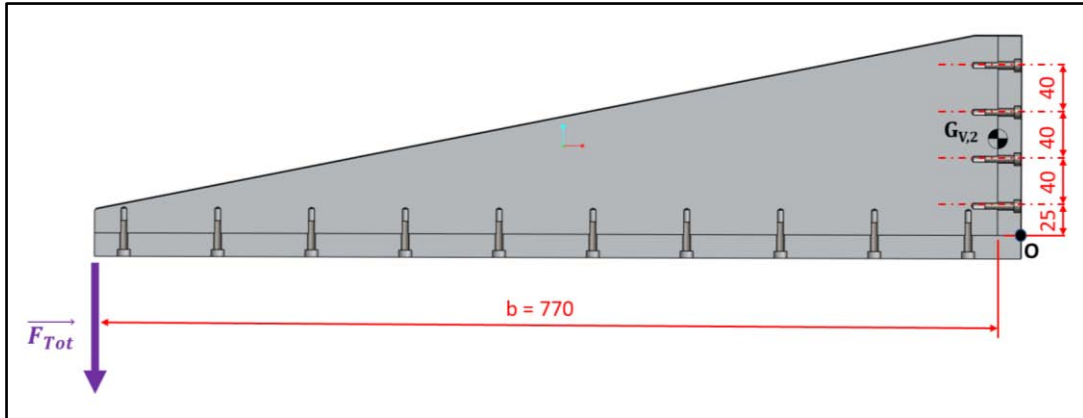


Figura 3.31 Disposizione "2" viti mordenti (quote in mm).

La piastra "1" e le nervature si considerano un unico pezzo infinitamente rigido avente punto di ribaltamento "O". Anche la piastra "2" si ritiene infinitamente rigida. È possibile utilizzare la seguente espressione per valutare il carico  $N$  agente sulla vite più sollecitata:

$$N = \frac{M_{R,Tot}}{n_f \sum_i y_i^2} y_i = 1513N$$

Dove  $y_i$  indica la posizione della vite  $i$ -esima rispetto il punto di ribaltamento "O" e  $n_f$  indica il numero di file di viti mordenti pari a 2.

La forza di taglio  $V'_f$  dovuta a  $F_{Tot}$  vale:

$$V'_f = \frac{F_{Tot}}{n_v n_s} = 125N$$

Dove  $n_v$  indica il numero di viti mordenti pari a 8 e  $n_s$  indica il numero di aree resistenti per vite pari a 1.

Trasportando  $\vec{F}_c$  in  $G_{V,2}$  compare il momento torcente  $M_{R,c} = F_c e = 5 \times 10^4 Nmm$ .

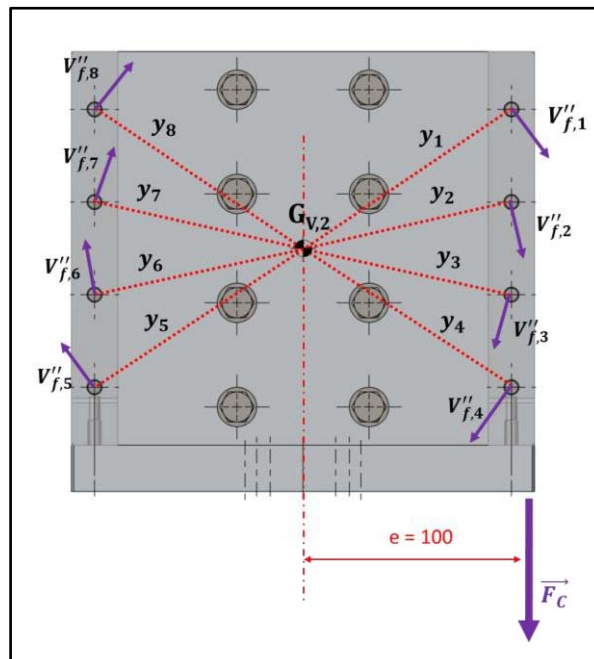


Figura 3.32 Disposizione "2" viti mordenti (quote in mm).

La forza di taglio  $V_f''$  dovuta a  $M_{R,c}$  si può valutare con la seguente espressione:

$$V_f'' = \frac{M_{R,c}}{n_s \sum_i y_i^2} y_i$$

Dove  $y_i$  rappresenta la distanza dal baricentro  $G_{V,2}$  delle viti mordenti.

$$\begin{aligned} V_{f,1}'' &= 67N \\ V_{f,2}'' &= 57N \end{aligned}$$

In vantaggio di sicurezza la forza di taglio agente sulla vite più sollecitata si valuta sommando  $V_{f,1}'$  a  $V_{f,1}''$ :

$$V_{f,1} = V_{f,1}' + V_{f,1}'' = 192N$$

A questo punto è possibile valutare  $V_{f,N}$ :

$$\begin{aligned} V_{f,0} &= \frac{\mu N_s}{\gamma_f} = 926N \\ V_{f,N} &= V_{f,0} \left(1 - \frac{N}{N_s}\right) = 563N \end{aligned}$$

Per il funzionamento ad attrito delle viti è necessario che siano verificate le seguenti disuguaglianze:

$$\begin{cases} V_f \leq V_{f,N} \rightarrow 192N \leq 563N \\ N \leq 0.8 \cdot N_s \rightarrow 1513N \leq 0,8 \cdot 3859 = 3087N \end{cases}$$

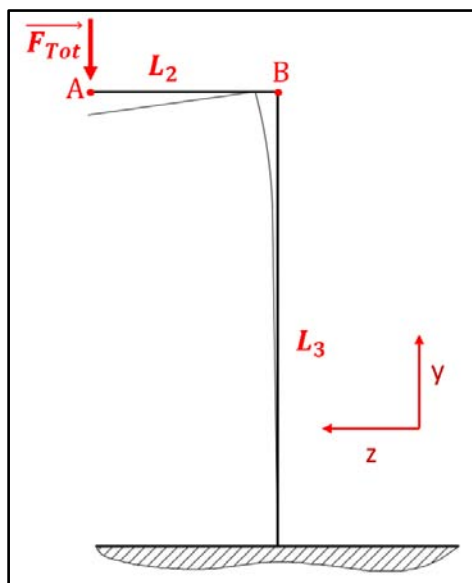
La disposizione "2" delle viti mordenti è verificata. La verifica della disposizione "1" di viti mordenti non presenta problemi particolari, pertanto non viene riportata in questa sede.

### 3.3.2 - Sottoassieme "B"

Il sostegno verticale del sistema di sollevamento della camera target è stato realizzato utilizzando un tubo quadro in Fe360 avente lato pari a 150 mm, spessore pari a 5mm e lunghezza  $L_3 = 2250 \text{ mm}$ . La lunghezza del tubo è influenzata dal posizionamento del sistema di sollevamento. La sua posizione è stata definita in modo che la distanza tra la punta dei perni di centraggio dell'organo di presa e il gancio schunk femmina della camera target sia pari a 70mm. La scelta della sezione è stata fatta al fine di ottenere una struttura con ottima rigidità flessionale ma con ingombri ragionevoli. Lo schema di calcolo utilizzato è quello di una trave a mensola incastrata ad una estremità (Figura 3.33).

Per valutare il contributo del tubo quadro nel calcolo delle frecce nel punto A, il tratto  $\overline{AB}$  (mensola) è stato ipotizzato infinitamente rigido. Il contributo della mensola è stato calcolato nel paragrafo precedente. Le frecce complessive sono state ottenute applicando il principio di sovrapposizione degli effetti:

$$\begin{aligned} f_{z,A} &= 1,11 \text{ mm} \\ f_{x,A} &= 0,06 \text{ mm} \\ f_{y,A} &= -1,05 \text{ mm} \\ \vartheta_{x,A} &= 0,084^\circ \\ \vartheta_{z,A} &= 0,077^\circ \end{aligned}$$

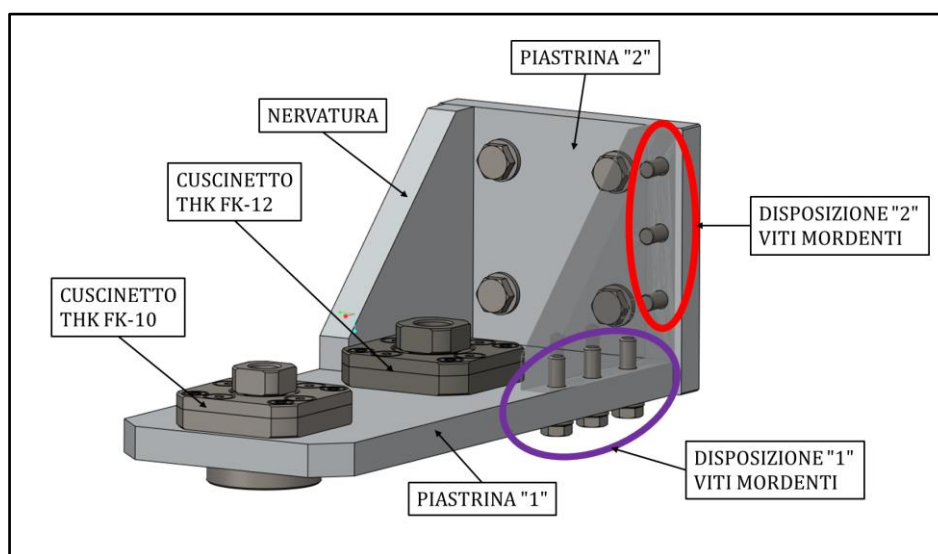


**Figura 3.33** Schema di calcolo sostegno verticale.

La sezione maggiormente sollecitata è quella in prossimità dell'incastro: la verifica è stata eseguita applicando il modello di calcolo di asta pressoinflessa e seguendo la procedura suggerita dalla norma CNR UNI 10011. Le verifiche delle saldature, realizzate per l'unione del tubo quadro alla piastra base, e dei bulloni, necessari per il collegamento della piastra di base alla piattaforma, non presentano problemi particolari, pertanto non vengono riportate in questa sede.

### 3.3.3 - Supporto cuscinetto vite trapezia verticale

Il supporto dei cuscinetti THK FK-12 e THK FK-10 è ottenuto unendo la piastrina "1" alla piastrina "2" mediante due nervature. Gli elementi di giunzione utilizzati sono viti mordenti M5 TCEI e viti mordenti M5 esagonali. Il supporto è fissato alla piastra "3" (Figura 3.34) per mezzo di 4 viti M6.



**Figura 3.34** Elementi e disposizioni delle viti mordenti del supporto cuscinetti THK FK-12 e THK FK-10.



I comportamenti della piastrina "1" e della nervatura sono assimilabili rispettivamente a quelli di un puntone e di un tirante. Lo schema di calcolo utilizzato è quello di una trave reticolare vincolata alla piastrina "2" ipotizzata infinitamente rigida (Figura 3.35).

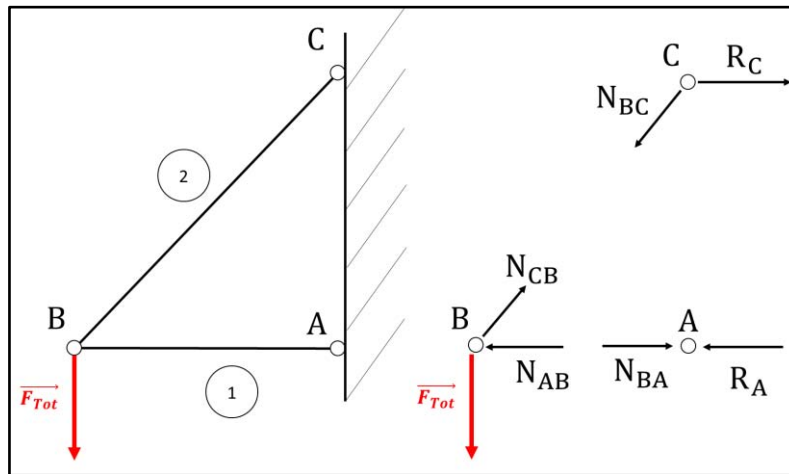


Figura 3.35 Schema di calcolo del supporto cuscinetti THK FK-12 e THK FK-10.

Nell'analisi i lati  $\overline{AB}$  e  $\overline{AC}$  si possono ritenere uguali.

*Elemento "1"*

L'elemento "1" è sottoposto ad uno sforzo normale di compressione:

$$N_1 = N_{AB} = N_{BA} = R_A = R_C = \frac{F_{Tot} \overline{AB}}{\overline{AC}} = 1000N$$

$$\sigma_{N1} = \frac{N_1}{A_1} = 1,25MPa$$

*Elemento "2"*

L'elemento "2" è sottoposto ad uno sforzo normale di trazione:

$$N_2 = N_{BC} = N_{CB} = F\sqrt{2}$$

Per valutare  $A_2$  si considera l'area della sezione di gola della nervatura avente lati uguali  $L=70mm$  e spessore  $s=10mm$ .

$$\sigma_{N2} = \frac{N_2}{A_2} = \frac{F\sqrt{2}}{s \frac{L\sqrt{2}}{2}} = 2,86MPa$$

Il coefficiente di sicurezza vale:

$$v_s = \frac{\sigma_{S,Al 6082}}{\sigma_{N2}} = 84$$

Le imprecisioni del modello di calcolo vengono conteggiate nella definizione del limite inferiore del coefficiente di sicurezza: poiché il coefficiente di sicurezza calcolato risulta elevato, la verifica strutturale si può ritenere assoluta.

La verifica delle disposizioni di viti mordenti non presenta problemi particolari, pertanto non viene riportata in questa sede.

### 3.3.4 - Il sistema di trasmissione del moto verticale

Per consentire la traslazione verticale della camera target si utilizzano i seguenti elementi meccanici:

- volante azionabile manualmente;
- rinvio angolare;
- vite trapezia;
- guida lineare.

Valutate le sollecitazioni agenti e la coppia da trasmettere è possibile eseguire il dimensionamento e la scelta dei diversi componenti. Si riportano nel seguito le scelte progettuali e le verifiche degne di nota.

#### • *Azionamento volante "1"*

La coppia da applicare al volante "1" per sollevare la mensola e la camera target si può valutare applicando il principio dei lavori virtuali.

L'applicazione del principio, in condizioni di regime, consente di ottenere la seguente espressione:

$$C_m = \frac{m_{Tot}g}{\eta_{SM}} n$$

Dove  $\eta_{SM}$  è il rendimento globale del sistema di trasmissione del moto verticale, mentre  $n$  rappresenta il rapporto di trasmissione complessivo. Nel caso di n-componenti meccanici in serie si può utilizzare la seguente espressione:

$$\eta_{SM} = \eta_V \eta_{GL} \eta_R \eta_A \eta_B$$

- $\eta_V$  è il rendimento della vite trapezia pari a 0,26;
- $\eta_{GL}$  è il rendimento della guida lineare assunto pari a 0,9;
- $\eta_R$  è il rendimento del rinvio angolare pari a 0,9;
- $\eta_A$  è il rendimento che conteggia lo scorrimento dell'albero scanalato nella chiocciola fissata all'albero cavo e il non perfetto allineamento tra vite trapezia, guida lineare e albero scanalato. Gli errori di montaggio influenzano notevolmente il rendimento complessivo. Tale rendimento è assunto cautelativamente pari a 0,7;
- $\eta_B$  è il rendimento dell'unità boccola (non lubrificata) assunto cautelativamente pari a 0,7;

Il rapporto di trasmissione complessivo vale:

$$n = n_V n_R$$

- $n_V$  è il rapporto di trasmissione della vite trapezia:

$$n_V = \frac{p_V}{2\pi} = \frac{4}{2\pi} = 0,64$$

- $n_R$  è il rapporto di trasmissione del riduttore pari a 1;

La massa totale da sollevare (mensola e camera target) si assume pari a 100kg. La coppia motrice stimata vale  $C_m = 6Nm$ .

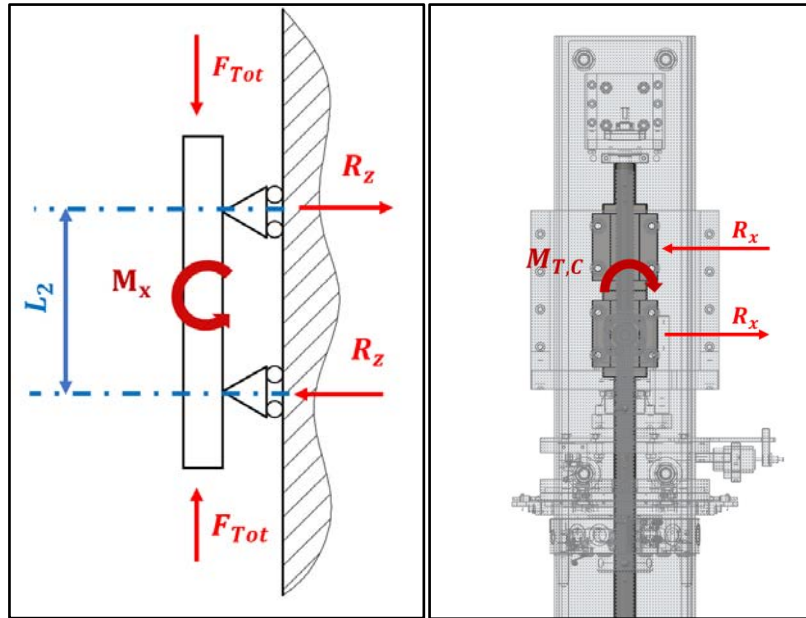
Alla maniglia girevole del volante è necessario applicare una forza pari a:

$$F_m = \frac{C_m}{b} = 75N$$

Particolare attenzione va posta nel limitare il tratto a sbalzo dell'albero del volante "1", al fine di ottenere delle frecce in corrispondenza della sede del volante di entità tale da non ostacolarne la rotazione.

- Guida lineare verticale

Poiché la velocità di avanzamento dei carrelli è esigua e il numero di cicli carico/scarico a cui sarà sottoposto il sistema di sollevamento nella sua vita operativa è estremamente basso è possibile trascurare il fenomeno della fatica. Di conseguenza per la verifica strutturale si valuta il coefficiente di carico statico.



**Figura 3.36** Schema di calcolo e sollecitazioni agenti sui carrelli della guida lineare verticale.

Per sorreggere la mensola viene scelta la guida lineare THK-SHS 25C costituita da due carrelli montati sulla stessa rotaia. I carrelli sono sottoposti alle seguenti sollecitazioni:

$$R_z = \frac{M_x}{L_2} = \frac{F_{Tot}L_3}{L_2} = 8978N$$

$$R_x = \frac{M_{T,C}}{L_2} = 543N$$

Il carico equivalente agente sul carrello si valuta con la seguente espressione:

$$R_{eq} = R_z + R_x = 9521N$$

Per valutare il coefficiente di sicurezza si utilizza la seguente espressione:

$$v_s = \frac{f_T f_c C_o}{R_{eq}} = 4,5$$

Dove:

- $f_T$   $f_T = 1;$
- $f_c$  è il fattore di contatto. Nel caso di due carrelli montati a contatto  $f_c = 0,81;$
- $C_o$  è la capacità di carico statico pari a 52,4kN.

Nel caso di carichi applicati senza vibrazioni o impatti THK fornisce il limite inferiore di  $v_s$  :

$$v_{s,min} = 1 \div 3$$

Di conseguenza la guida lineare è verificata.

### 3.3.5 - Il sistema di trasmissione del moto orizzontale

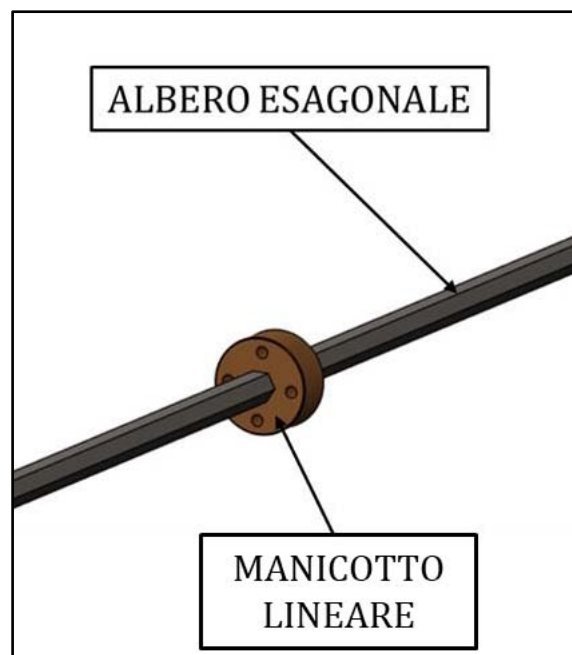
Per consentire il moto orizzontale della camera target si utilizzano i seguenti elementi meccanici:

- volantino azionabile manualmente;
- rinvio angolare;
- sistema albero scanalato e relativa chiocciola;
- rinvio angolare realizzato nella struttura portante della mensola;
- vite trapezia;
- guida lineare.

Valutate le sollecitazioni agenti e la coppia da trasmettere è possibile eseguire il dimensionamento e la scelta dei diversi componenti. Si riportano nel seguito le scelte progettuali e le verifiche degne di nota.

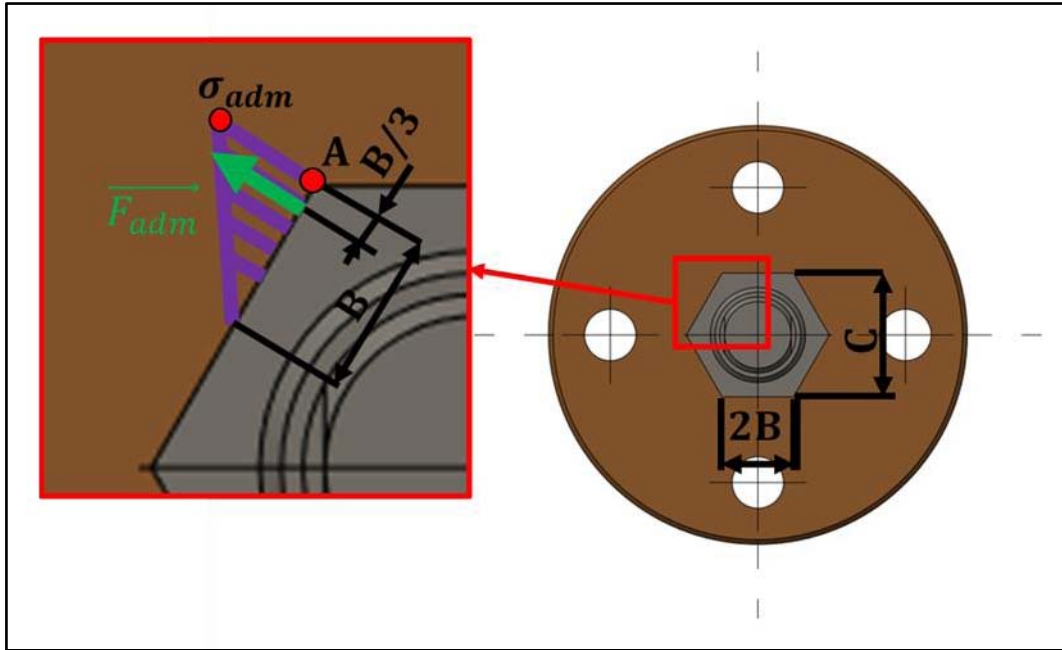
- *Dimensionamento manicotto lineare dell'albero scanalato*

Viene proposta una soluzione alternativa al sistema albero scanalato-manicotto commercializzato da THK. La soluzione pensata prevede l'utilizzo di una barra esagonale trafilata in acciaio inossidabile da utilizzare come albero scanalato. Il manicotto è stato realizzato partendo da un cilindro in lega di bronzo CuSn7Zn4Pb7 mediante lavorazioni di tornitura, foratura e elettroerosione. Per mezzo dell'elettroerosione è stato ricavato il foro esagonale che consente lo scorrimento e la trasmissione di coppia dall'albero esagonale al manicotto (Figura 3.37).



**Figura 3.37** Albero scanalato esagonale e relativo manicotto.

L'elemento più debole dal punto di vista delle caratteristiche meccaniche è il manicotto. La tensione di snervamento della lega CuSn7Zn4Pb7 vale  $\sigma_S = 120 \text{ MPa}$ . Per stimare la massima coppia trasmissibile viene considerata la pressione superficiale esercitata dalle facce dell'albero esagonale sui fianchi del foro del manicotto, supponendo di bloccarne la rotazione. Si ipotizza una distribuzione di pressione superficiale lineare.



**Figura 3.38** Parametri dimensionali manicotto e andamento della pressione superficiale di contatto tra i fianchi dell'albero scanalato e del foro del manicotto.

Nel punto A (Figura 3.38) agisce la pressione superficiale:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_s}{\nu_s} = \frac{120}{3} = 40 \text{MPa}$$

La forza risultante vale:

$$F_{adm} = \frac{\sigma_{adm} B t}{2} = \frac{40 \times 3,76 \times 20}{2} = 1504 \text{N}$$

Dove  $t$  rappresenta lo spessore del manicotto pari a 20mm,  $2B=7,51\text{mm}$  e  $C=13\text{mm}$ .

Il momento torcente ammissibile vale:

$$M_{adm} = n F_{adm} \frac{4}{3} B = 3 \times 1504 \times \frac{4}{3} \times 3,76 = 22620 \text{Nmm} \approx 23 \text{Nm}$$

Dove  $n$  rappresenta il numero di coppie di forze.

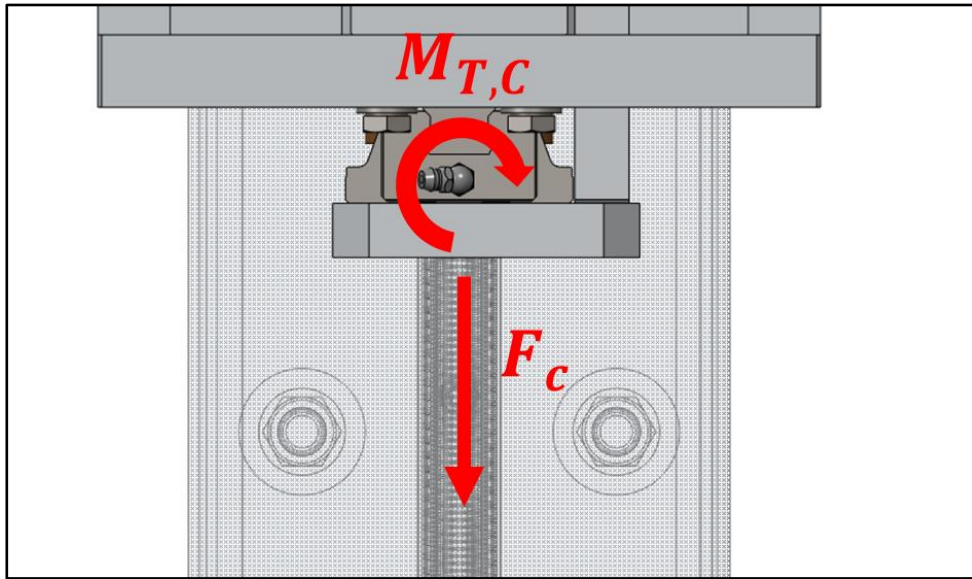
- *Rinvio angolare "mensola"*

Il sistema di trasmissione rappresentato in Figura 3.6 è un rinvio angolare. L'albero in ingresso è sorretto ad una estremità da due cuscinetti ad una corona di sfere. Nell'estremità libera è collegata con linguetta la ruota conica a denti dritti  $Z=32$ , mantenuta in posizione per mezzo di distanziali e ghiera autobloccante.

Con la disposizione dei vincoli utilizzata si ottiene un albero a sbalzo, soluzione non ammissibile per la trasmissione di elevate coppie ma accettabile per il sistema progettato. Infatti, la coppia in ingresso è esigua, l'azionamento del sistema di trasmissione sarà sporadico e il regime di rotazione raggiunto non è elevato.

La corona ( $Z=16$ ) è montata con linguetta sull'estremità destra della vite trapezia orizzontale. Per consentire l'ingranamento della coppia conica anche in presenza di errori di accoppiamento, dovuti ad un centraggio non preciso degli alberi delle rispettive ruote, è stato scelto un modulo  $m=3$ .

- Guida lineare orizzontale



**Figura 3.39** Sollecitazioni agenti sul carrello della guida lineare orizzontale.

Per sorreggere la camera target e il relativo organo di presa viene scelta la guida lineare THK-SHS 20C. Il carrello è sottoposto alle seguenti sollecitazioni:

$$R_y = F_c = 500N$$

$$M_{T,c} = F_c e = 5 \times 10^4 Nmm$$

Il carico equivalente agente sul carrello si valuta con la seguente espressione:

$$R_{eq} = R_y + C_o \frac{M_{T,c}}{M_{T,adm}} = 5819N$$

Per valutare il coefficiente di sicurezza si utilizza la seguente espressione:

$$v_s = \frac{f_T f_c C_o}{R_{eq}} = 6,6$$

Dove:

- $f_T$  è il fattore di temperatura. Per temperature operative inferiori a 100°C  $f_T = 1$ ;
- $f_c$  è il fattore di contatto. Nel caso di un carrello  $f_c = 1$ ;
- $C_o$  è la capacità di carico statico pari a 38,4kN;
- $M_{T,adm}$  è il momento statico ammissibile;

Nel caso di carichi applicati senza vibrazioni o impatti THK fornisce il limite inferiore di  $v_s$  :

$$v_{s,min} = 1 \div 3$$

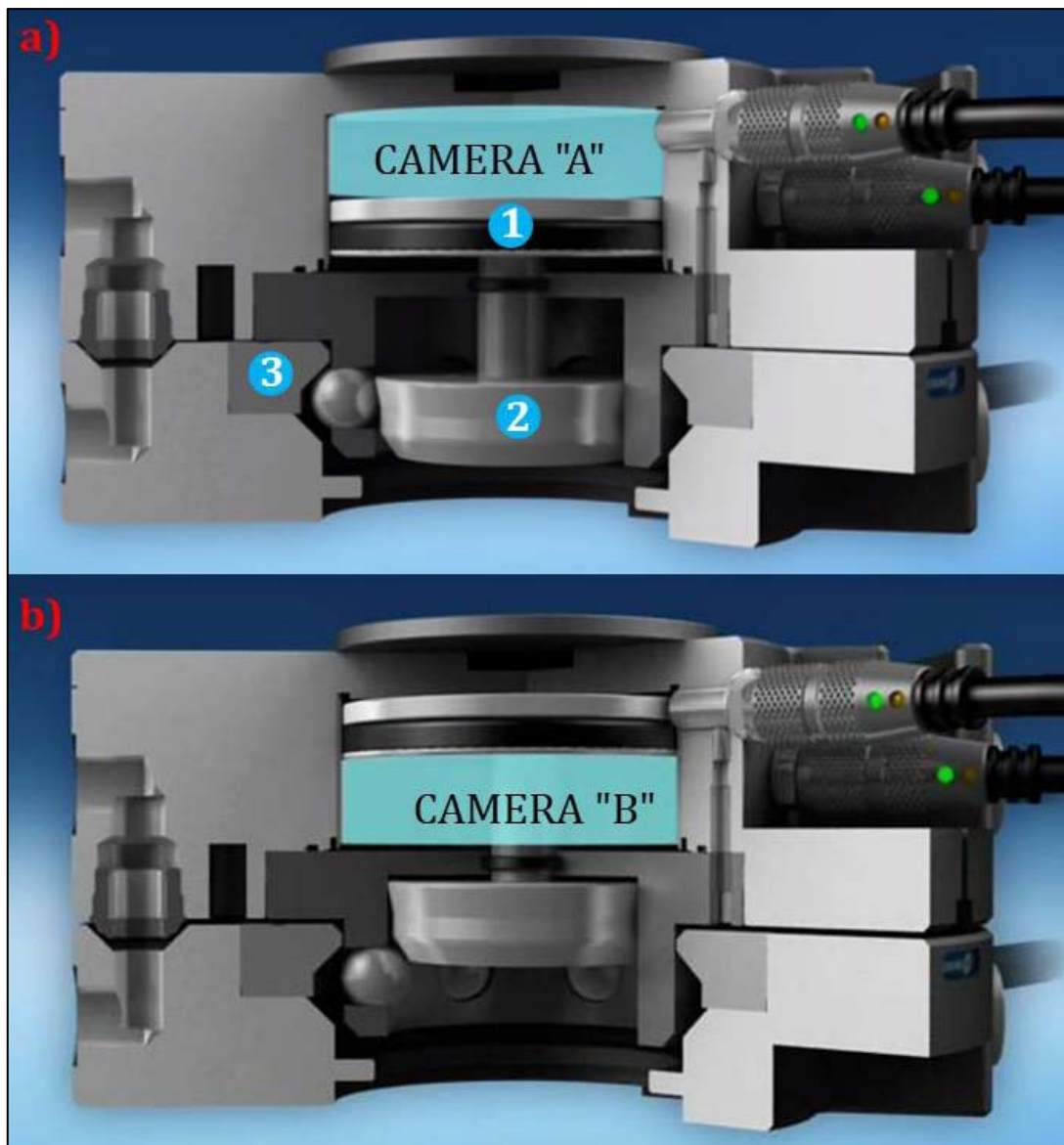
Di conseguenza la guida lineare è verificata.

### 3.3.6- Schema pneumatico del sistema di azionamento dell'organo di presa e dimensionamento del serbatoio dell'aria compressa

Il gancio Schunk maschio è un cilindro pneumatico a doppio effetto. Mettendo in pressione la camera "A" (Figura 3.40a), il pistone di bloccaggio "2" provoca la fuoriuscita delle sfere dalla loro sede e il loro conseguente bloccaggio sotto l'anello di chiusura "3" montato sul connettore Schunk femmina.

Particolarità di questo sistema di presa è il bloccaggio irreversibile delle sfere. In questo modo è possibile portare a termine le operazioni di movimentazione anche in caso di perdite di pressione nel circuito dell'aria compressa.

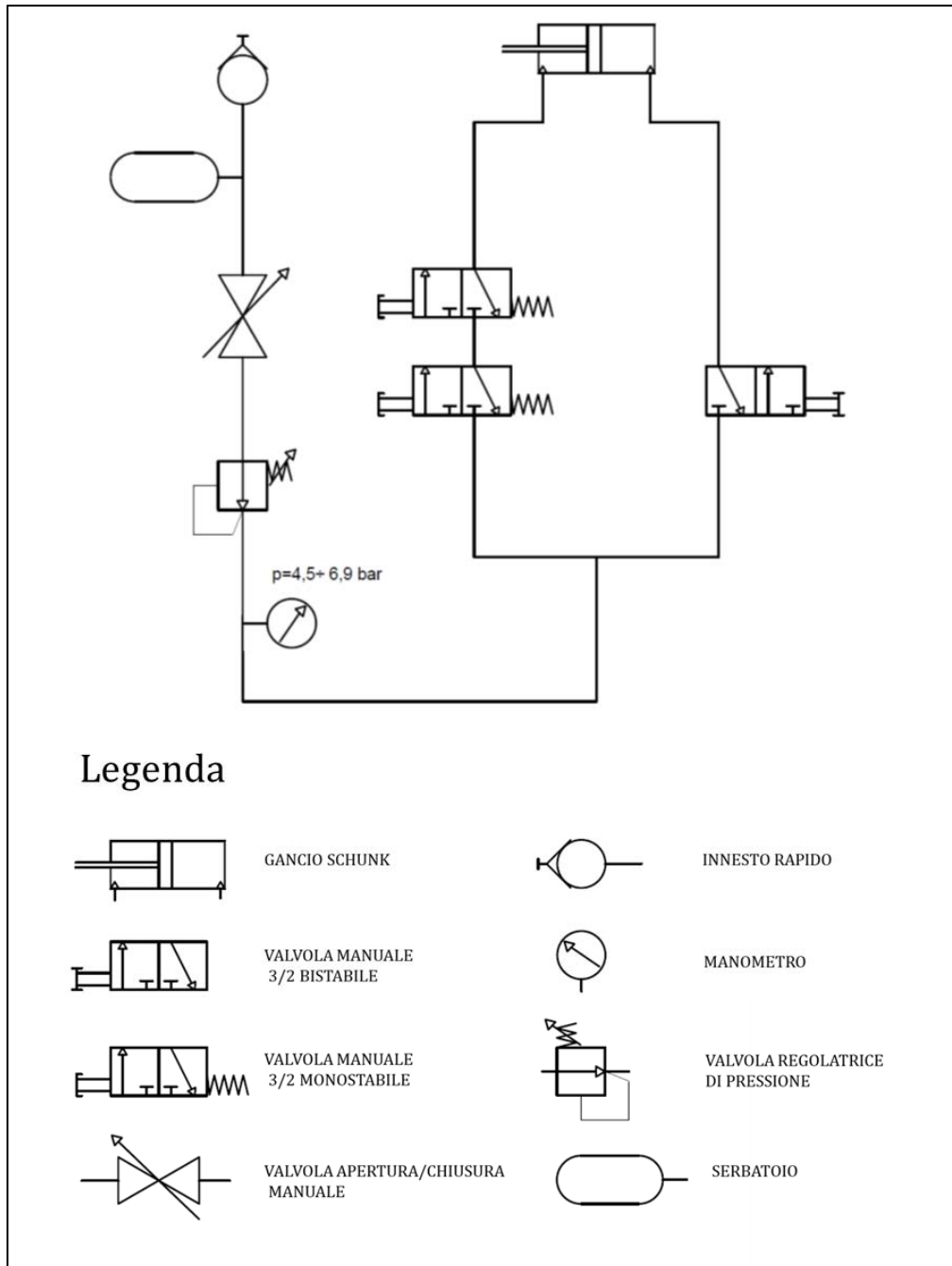
Per separare il gancio Schunk maschio dal connettore femmina bisogna portare in pressione la camera "B" (Figura 3.40b).



**Figura 3.40** Fasi di aggancio e sgancio del sistema di presa. L'elemento "1" è il pistone, l'elemento "2" è il pistone di bloccaggio mentre l'elemento "3" è l'anello di chiusura delle sfere [13].

È stato utilizzato un gancio Schunk SWA-076 avente carico ammissibile di 100kg e pressione di esercizio compresa tra 4,5 bar e 6,9 bar.

In Figura 3.41 è illustrato lo schema pneumatico del sistema di azionamento dell'organo di presa: le valvole pneumatiche sono normalmente chiuse, cioè nella posizione di riposo non si ha passaggio di aria compressa.



**Figura 3.41** Schema pneumatico del sistema di azionamento dell'organo di presa.

Agendo sulla valvola ad azionamento manuale bistabile è possibile azionare il gancio schunk e consentire l'aggancio della camera target.

Per sganciare la camera target è necessario:

- 1) chiudere la valvola bistabile. In questo modo la camera "A" si scarica e raggiunge la pressione atmosferica;
- 2) premere contemporaneamente i pulsanti delle valvole pneumatiche monostabili al fine di portare in pressione la camera "B". L'azionamento delle due valvole monostabili avviene utilizzando entrambi le mani: in questo modo si evitano sganci dovuti a disattenzioni dell'operatore. La fase di sgancio richiede solamente un impulso di pressione.



Il consumo d'aria nella fase di spinta (Figura 3.40a) si può valutare con la seguente espressione:

$$Q[Nl] = \frac{\pi}{4} d^2 S (p + 1) 10^{-6}$$

dove:

- $d$  è l'alesaggio del cilindro pari a 60mm;
- $S$  è la corsa del cilindro per la quale si intende calcolare il consumo d'aria e pari a 12mm;
- $p$  è la pressione (relativa) di lavoro pari a 6 bar.

Di conseguenza si ottiene:

$$Q' = \frac{\pi}{4} \times 60^2 \times 12 \times (1 + 6) \times 10^{-6} = 0,24 \text{ Nl}$$

A questo contributo bisogna sommare il consumo di aria necessario per portare in pressione l'intero circuito pneumatico. Per semplicità si calcola solo il contributo dei tubi di collegamento aventi diametro pari a 4mm e lunghezza complessiva di 3000mm:

$$Q'' = \frac{\pi}{4} \times 4^2 \times 3000 \times (1 + 6) \times 10^{-6} = 0,26 \text{ Nl}$$

Il consumo totale di aria vale:

$$Q = Q' + Q'' = 0,5 \text{ Nl}$$

Cautelativamente  $Q$  viene amplificato di un fattore  $v_s$  pari a 1,5:

$$Q_p = Q v_s = 0,75 \text{ Nl}$$

Inoltre, in vantaggio di sicurezza, il consumo di aria nella fase di rientro dello stelo (Figura 3.40b) è posto pari al consumo di aria nella fase di spinta del pistone "1".

Si consideri un serbatoio di aria compressa avente volume  $V_s$  e pressione iniziale  $p_{in}$ . Per valutare il numero di cicli aggancio-sgancio che causano una riduzione della pressione da  $p_{in}$  a  $p_f$  si può utilizzare la seguente espressione:

$$N = \frac{V_s p_{in} - p_f V_s}{2Q_p}$$

Nel caso in cui  $V_s = 5l$ ,  $p_{in} = 10bar$  e  $p_f$  uguale al valore minimo della pressione di esercizio del gancio Schunk si ottiene  $N=18$  cicli.

Per condurre l'estrazione della camera target dal Front-End e il successivo deposito nel locale A8a, o direttamente in un sarcofago di emergenza, si esegue un ciclo aggancio-sgancio. Di conseguenza il serbatoio è in grado di coprire 18 interventi della macchina di emergenza.

Tuttavia, per sicurezza il serbatoio dell'aria compressa verrà controllato all'inizio di ogni intervento e riportato alla massima pressione ammissibile.

### 3.4 - Stabilità longitudinale e trasversale

Nel corso dell'attività operativa, la macchina di backup sarà sottoposta ad un insieme di sollecitazioni che possono influenzarne la stabilità e quindi la sicurezza. È pertanto necessario studiare l'equilibrio longitudinale e trasversale della macchina, allo scopo di prevenire il rischio di ribaltamento.

#### 3.4.1 - Stabilità trasversale

L'analisi di stabilità trasversale viene condotta secondo le seguenti ipotesi:

- il sistema di movimentazione e il transpallet sono accoppiabili/disaccoppiabili mediante un sistema di aggancio/sgancio rapido. Si ipotizza che i due elementi costituiscano un tutt'uno avente baricentro  $G_M$ ;
- definito  $G_{MC}$  il baricentro della macchina con il carico da movimentare applicato, si suppone che esso appartenga al piano di simmetria della macchina;
- il moto del baricentro  $G_{MC}$  sia circolare e uniforme;

A un certo istante si immagini di effettuare una brusca frenata. In questa condizione, nel sistema di riferimento  $P_{rc}xyz$  solidale alla macchina, in corrispondenza di  $G_{MC}$  sono applicate (Figura 3.42):

1) Forza peso complessiva,  $\vec{F}_p$ , il cui modulo vale:

$$F_p = m_M g + m_C g \quad (3.1)$$

dove:

- $m_M$  è la massa della macchina di backup;
- $m_C$  è la massa del carico da movimentare;

2) Forza centrifuga,  $\vec{F}_c$ , il cui modulo vale:

$$F_c = \frac{(m_M + m_C) V^2}{R_{G,MC}} \quad (3.2)$$

dove:

- $V$  è la velocità di marcia della macchina, mantenuta fino all'istante in cui l'impianto frenante viene azionato;
- $R_{G,MC}$  è il raggio di curvatura relativo a  $G_{MC}$ ;

3) Forza inerzia,  $\vec{F}_{in}$ , generata in seguito alla frenata:

$$\vec{F}_{in} = -(m_M + m_C) \vec{a} \quad (3.3)$$

La decelerazione è assunta pari a  $1,1 \text{ m/s}^2$ .

Affinché si verifichi la condizione di stabilità trasversale, la retta d'azione  $r$  della forza risultante  $\vec{F}_R = \vec{F}_p + \vec{F}_c + \vec{F}_{in}$  deve intersecare la base di appoggio del transpallet (Figura 3.42). La base di appoggio (Figura 3.43) è l'area del trapezio che si ottiene congiungendo i punti di contatto  $P_{rs}$ ,  $P_{rd}$ ,  $P_{fd}$  e  $P_{fs}$  con il terreno rispettivamente delle due ruote stabilizzatrici posteriori e delle due ruote anteriori.

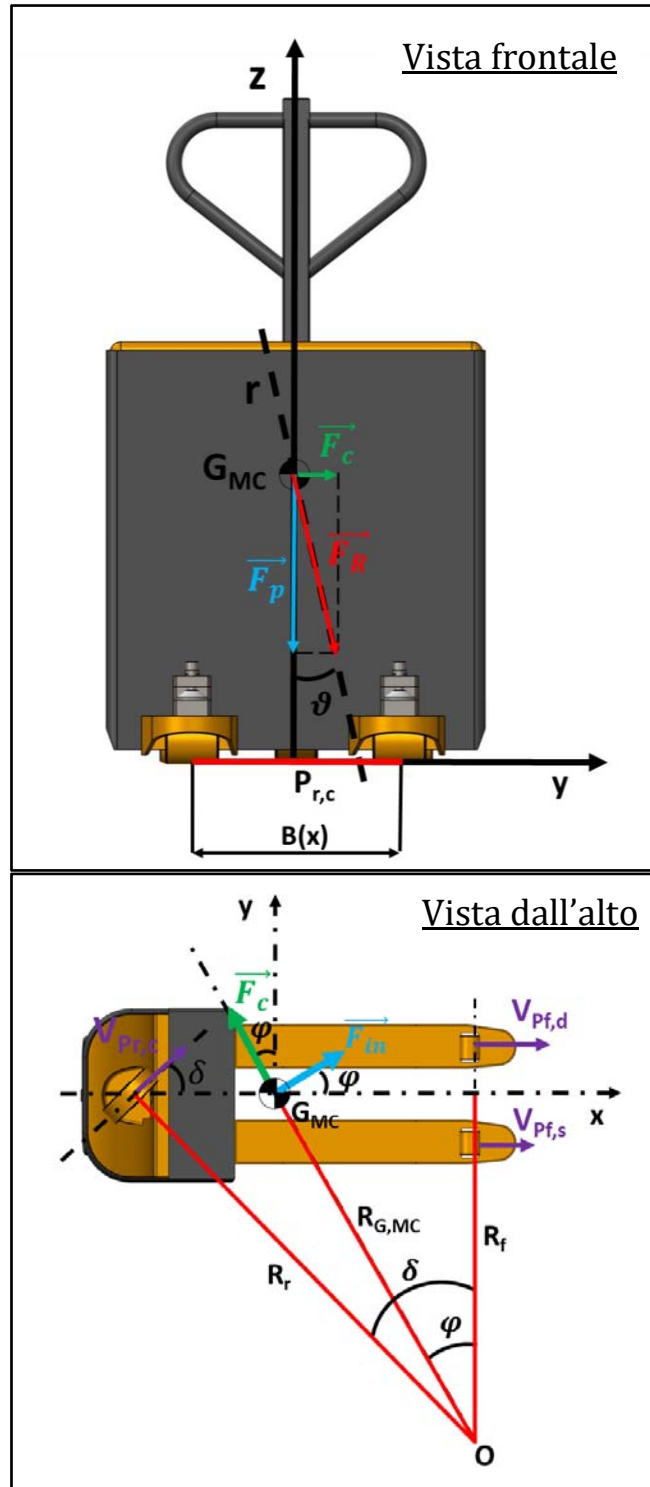


Figura 3.42 Parametri analisi, forze applicate e retta d'azione della forza risultante.

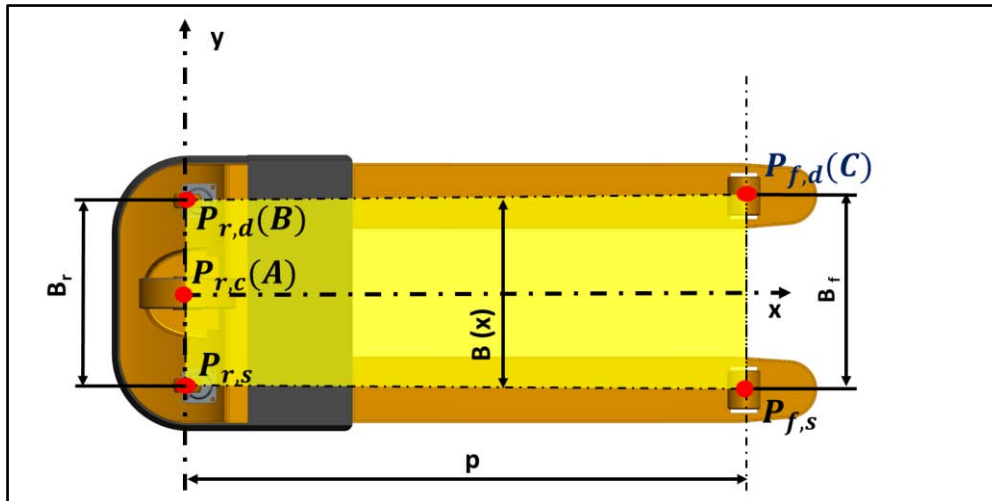


Figura 3.43 Poligono di stabilità.

La procedura adottata per lo studio dell'equilibrio trasversale si può riassumere nei seguenti punti:

- 1) *Determinazione delle coordinate del baricentro  $G_{MC}$  rispetto il sistema di riferimento  $P_{rc}xyz$*   
 Il primo passo consiste nel determinare la posizione del baricentro  $G_T$  del transpallet a vuoto nota, da catalogo, la distribuzione di carichi sugli assi anteriore e posteriore (Figura 3.44):

$$x_{G,T} = b = \frac{N_f p}{N_f + N_r} \quad (3.4)$$

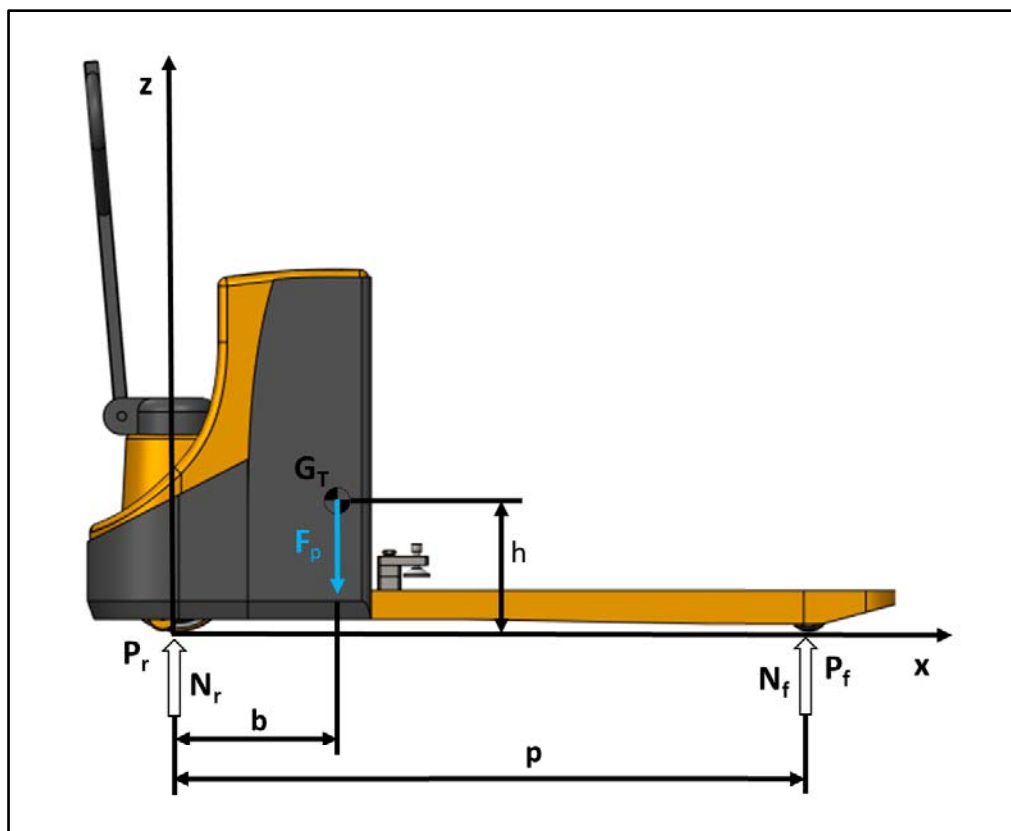


Figura 3.44 Determinazione posizione  $G_T$ .

Successivamente si determina la posizione  $G_{SM}$  del baricentro del sistema di movimentazione della camera target, utilizzando il comando "Proprietà massa" disponibile nel programma di modellazione 3D Creo Parametric 2.0 utilizzato.

A questo punto è possibile determinare il baricentro della macchina  $G_M$ :

$$x_{G,M} = \frac{x_{G,T} m_T + x_{G,HS} m_{SM}}{m_T + m_{SM}} \quad (3.5)$$

Poiché non è reperibile da catalogo la coordinata  $y_{G,T}$  del baricentro del transpallet, operando in vantaggio di sicurezza si assume che la coordinata  $y_{GM}$  del baricentro della macchina sia quella del baricentro del sistema di movimentazione.

Nota la posizione del baricentro del carico da movimentare è possibile determinare le coordinate del baricentro  $G_{MC}$  (Figura 3.45):

$$\begin{cases} x_{G,MC} = \frac{x_{G,M} m_M + x_{G,C} m_C}{m_M + m_C} \\ y_{G,MC} = \frac{y_{G,M} m_M + y_{G,C} m_C}{m_M + m_C} \end{cases} \quad (3.6)$$

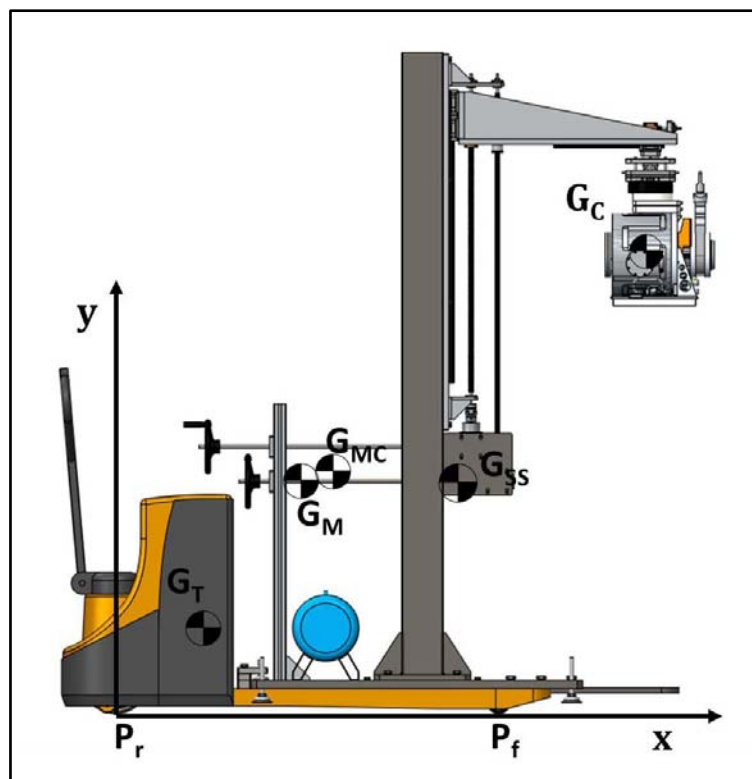


Figura 3.45 Disposizione baricentri  $G_T, G_{SM}, G_M, G_C$  e  $G_{MC}$ .

L'analisi di stabilità è stata effettuata considerando il transpallet elettrico CROWN WP3015-1.6, avente le seguenti caratteristiche dimensionali (vedi Appendice):

- lunghezza forche: 1200mm;
- scartamento forche: 540mm;
- careggiata posteriore ( $B_r$ ): 476 mm;
- careggiata anteriore ( $B_f$ ): 370 mm;
- passo ( $p$ ) = 1372 mm;

Le coordinate del baricentro  $G_{MC}$  valutate rispetto il sistema di riferimento  $P_{rc}xyz$  risultano:

$$\begin{cases} x_{G,MC} = 744 \text{ mm} \\ y_{G,MC} = 0 \text{ mm} \\ z_{G,MC} = 873 \text{ mm} \end{cases}$$

Considerando anche la presenza della schermatura di piombo:

$$\begin{cases} x_{G,MC} = 798 \text{ mm} \\ y_{G,MC} = 0 \text{ mm} \\ z_{G,MC} = 946 \text{ mm} \end{cases}$$

2) *Determinazione dell'equazione della retta d'azione della forza risultante  $\vec{F}_R$*

Il primo passo consiste nella proiezione di  $\vec{F}_R$  lungo gli assi del sistema di riferimento solidale alla macchina  $P_{rc}xyz$  (Figura 3.42):

$$\vec{F}_R = \begin{pmatrix} F_{Rx} \\ F_{Ry} \\ F_{Rz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -F_{c,x} + F_{in,x} \\ F_{c,y} + F_{in,y} \\ -F_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -F_c \sin\varphi + F_{in} \cos\varphi \\ F_c \cos\varphi + F_{in} \sin\varphi \\ -F_p \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

È possibile esprimere  $\vec{F}_R$  come:

$$\vec{F}_R = \|\vec{F}_R\| \vec{n} \quad (3.8)$$

dove:

$$- \|\vec{F}_R\| = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2 + F_{Rz}^2} \quad (3.9)$$

$$- \vec{n} = \left( \frac{F_{Rx}}{\|\vec{F}_R\|}, \frac{F_{Ry}}{\|\vec{F}_R\|}, \frac{F_{Rz}}{\|\vec{F}_R\|} \right) \quad (3.10)$$

La retta d'azione  $r$  è la retta passante per il baricentro  $G_{MC} = (x_{G,MC}, y_{G,MC}, z_{G,MC})$  e parallela al vettore  $\vec{n}$ . Di conseguenza l'equazione vettoriale parametrica della retta  $r$  vale:

$$r: (x, y, z) = (x_{G,MC}, y_{G,MC}, z_{G,MC}) + t(n_x, n_y, n_z), t \in \mathbb{R} \quad (3.11)$$

Tale equazione equivale al sistema di equazioni parametriche:

$$r: \begin{cases} x = x_{G,MC} + tn_x \\ y = y_{G,MC} + tn_y \\ z = z_{G,MC} + tn_z \end{cases}, t \in \mathbb{R} \quad (3.12)$$

Esplicitando  $t$  dalla terza equazione è possibile ricavare l'equazione cartesiana della retta nello spazio:

$$r: \begin{cases} x = x_{G,MC} + n_x \left( \frac{z}{n_z} - \frac{z_{G,MC}}{n_z} \right) \\ y = y_{G,MC} + n_y \left( \frac{z}{n_z} - \frac{z_{G,MC}}{n_z} \right) \end{cases}$$

$$r: \begin{cases} x = x_{G,MC} - n_x \frac{z_{G,MC}}{n_z} + n_x \frac{z}{n_z} \\ y = y_{G,MC} - n_y \frac{z_{G,MC}}{n_z} + n_y \frac{z}{n_z} \end{cases} \quad (3.13)$$

### 3) Determinazione della velocità di marcia critica

Viene effettuata l'intersezione tra la retta d'azione  $r$  e la base di appoggio del transpallet, avente equazione  $z=0$ . Si ricava così il punto  $P$  avente coordinate  $(x,y)$ :

$$P: \begin{cases} x = x_{G,MC} - n_x \frac{z_{G,MC}}{n_z} + n_x \frac{z}{n_z} \\ y = y_{G,MC} - n_y \frac{z_{G,MC}}{n_z} + n_y \frac{z}{n_z} \\ z = 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

Variando  $R_{G,MC}$ , a parità di velocità di marcia, è possibile rappresentare nel piano  $x-y$  la traiettoria del punto  $P$  e verificare per quali valori di  $R_{G,MC}$  esso non appartiene al poligono di stabilità.

Dal punto di vista pratico è conveniente determinare qual è la velocità critica di marcia al variare di  $R_{G,MC}$ , cioè quel valore di velocità da non raggiungere al fine del mantenimento dell'equilibrio trasversale.

La condizione critica si ottiene imponendo il passaggio del punto  $P$  lungo i lati  $\overline{AB}$  e  $\overline{BC}$  del poligono di stabilità (Figura 3.41).

- Il lato  $\overline{AB}$  ha equazione:

$$x_{lim} = 0 \quad (3.15)$$

Sostituendo le coordinate del punto  $P$  (3.14) nella precedente equazione si ottiene:

$$x_{G,MC} - n_x \frac{z_{G,MC}}{n_z} = 0 \quad (3.16)$$

Sostituendo in (3.16) le componenti del versore normale (3.10) è possibile esplicitare  $F_c$ :

$$F_{c,cr} = \frac{F_{in} \cos \varphi - x_{G,MC} \frac{F_{Rz}}{z_{G,MC}}}{\sin \varphi} \quad (3.17)$$

L'equazione (3.17) consente di valutare qual è il valore della forza centrifuga che causa l'incipiente instabilità trasversale della macchina di backup.

L'angolo  $\varphi$  si determina nel seguente modo:

$$\varphi = \arcsen \frac{(R_{G,MC})_{min}}{R_{G,MC}} = \arcsen \frac{p - x_{G,MC}}{R_{G,MC}} \quad (3.18)$$

Variando  $R_{G,MC}$  è possibile determinare la velocità tangenziale critica  $(V_{G,MC})_{cr,\overline{AB}}$ :

$$(V_{G,MC})_{cr,\overline{AB}} = \sqrt{\frac{F_{c,cr} R_{G,MC}}{m_M + m_c}} \quad (3.19)$$

L'applicabilità di  $(V_{G,MC})_{cr,\overline{AB}}$  è valida per valori di  $R_{G,MC}$  compresi tra:

$$p - x_{GMC} \leq R_{G,MC} \leq (R_{G,MC})_{lim} \quad (3.20)$$

$(R_{G,MC})_{lim}$  si ottiene imponendo la seguente condizione limite:

$$\begin{cases} x_{lim} = 0 \\ y_{lim} = y_B \end{cases} \quad (3.21)$$

Sostituendo le coordinate del punto P (3.14) in (3.21):

$$\begin{cases} x_{G,MC} - n_x \frac{z_{G,MC}}{n_z} = 0 \\ y_{G,MC} - n_y \frac{z_{G,MC}}{n_z} = y_B \end{cases} \quad (3.22)$$

Esplicitando le equazioni in funzione di  $F_c$ :

$$\begin{cases} F_c = \frac{F_{in} \cos \varphi - x_{G,MC} \frac{F_{Rz}}{z_{G,MC}}}{\sin \varphi} \\ F_c = \frac{-F_{in} \sin \varphi + [y_{G,MC} - y_B] \frac{F_{Rz}}{z_{G,MC}}}{\cos \varphi} \end{cases} \quad (3.23)$$

Uguagliando le due equazioni si ricava  $\varphi_{lim}$  mediante processo iterativo:

$$\varphi_{n+1} = \arctan \frac{F_{in} \cos \varphi_n - x_{G,MC} \frac{F_{Rz}}{z_{G,MC}}}{-F_{in} \sin \varphi_n + [y_{G,MC} - y_B] \frac{F_{Rz}}{z_{G,MC}}} \quad (3.24)$$

È così possibile ricavare  $(R_{G,MC})_{lim}$ :

$$(R_{G,MC})_{lim} = \frac{(R_{G,MC})_{min}}{\arcsen(\varphi)} \quad (3.25)$$

• Il lato  $\overline{BC}$  ha equazione:

$$y_{lim} = \frac{B_r}{2} + \frac{B_f - B_r}{2p} x_{lim} \quad \text{dove } x_{lim} \in [0, p] \quad (3.26)$$



Sostituendo le coordinate del punto P (3.14) nella precedente equazione si ottiene:

$$y_{G,MC} - n_y \frac{z_{G,MC}}{n_z} = \frac{B_r}{2} + \frac{B_f - B_r}{2p} \left( x_{G,MC} - n_x \frac{z_{G,MC}}{n_z} \right) \quad (3.27)$$

Sostituendo in (3.27) le componenti del versore normale (3.10) è possibile esplicitare  $F_{c,cr}$ :

$$F_{c,cr} = - \frac{- \left( \frac{B_f - B_r}{2p} \right) F_{in} \cos \varphi + F_{in} \sin \varphi + \left[ \frac{B_r}{2} + \left( \frac{B_f - B_r}{2p} \right) x_{G,MC} - y_{G,MC} \right] \frac{F_{rz}}{z_{G,MC}}}{\left[ \left( \frac{B_f - B_r}{2p} \right) \sin \varphi + \cos \varphi \right]} \quad (3.28)$$

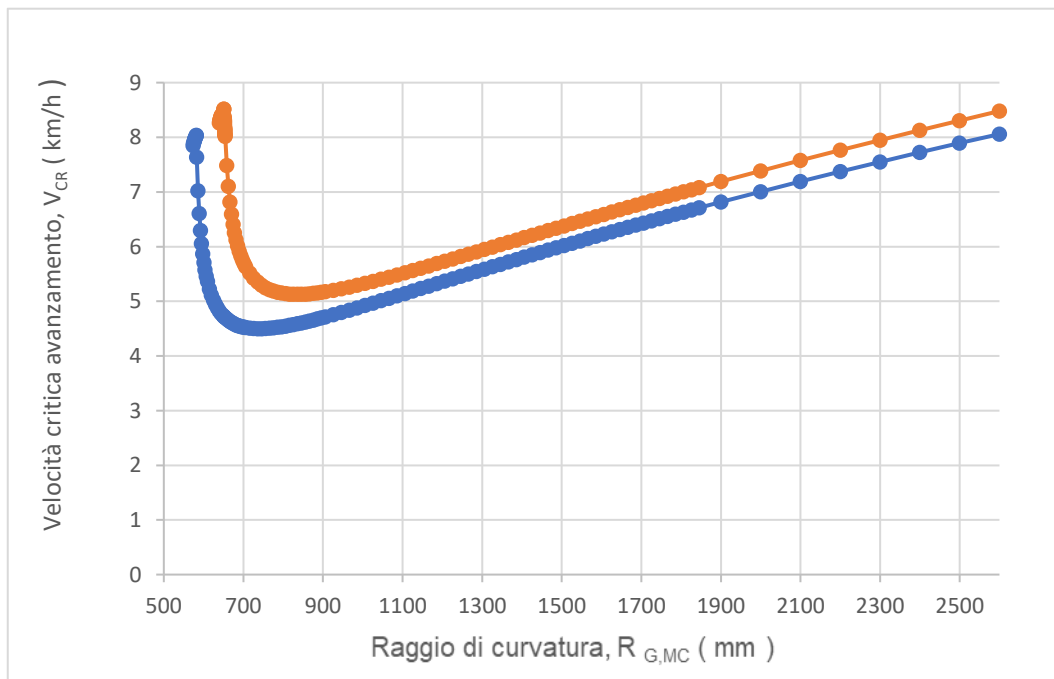
L'angolo  $\varphi$  si determina mediante l'equazione (3.18). Variando  $R_{G,MC}$  è possibile determinare la velocità tangenziale critica  $(V_{G,MC})_{cr}$ :

$$(V_{G,MC})_{cr, \overline{BC}} = \sqrt{\frac{F_{c,cr} R_{G,MC}}{m_M + m_c}} \quad (3.29)$$

La valutazione della velocità tangenziale critica nel tratto  $\overline{BC}$  è valida per valori di  $R_{G,MC}$ :

$$R_{G,MC} \geq (R_{G,MC})_{lim} \quad (3.30)$$

A questo punto è possibile determinare l'andamento di  $(V_{G,MC})_{cr, \overline{BC}}$  in funzione di  $R_{G,MC}$ . In Figura 3.46 è graficato l'andamento della velocità critica di avanzamento in funzione del raggio di curvatura baricentrico.



**Figura 3.46** Andamento della velocità critica di avanzamento in funzione del raggio di curvatura baricentrico. La curva è stata ricavata utilizzando le dimensioni del transpallet riportate a pagina 93 e le coordinate  $G_{MC}$  riportate a pagina 94. La curva arancione è relativa alla macchina di backup priva di schermatura di piombo, la curva blu è relativa alla macchina di backup con schermatura.

All'aumentare del raggio di curvatura, nella prima parte dell'andamento, si assiste ad un lieve aumento della velocità critica seguito da una repentina riduzione. Il motivo di ciò può essere spiegato tracciando il raggio vettore  $\overrightarrow{G_{MC}P}$ , congiungente  $G_{MC}$  e il generico punto P del perimetro del poligono di stabilità, orientato secondo la direzione del raggio vettore baricentrico  $\overrightarrow{OG_{MC}}$ . Il modulo del vettore  $\overrightarrow{G_{MC}P}$  aumenta spostandosi lungo il lato  $\overline{AB}$  del poligono di stabilità per poi diminuire nel tratto iniziale di  $\overline{BC}$ . Di conseguenza il modulo di  $\overrightarrow{F_{C,CR}}$  subisce un aumento iniziale e una successiva riduzione. Nella seconda parte dell'andamento, all'aumentare di  $R_{G,MC}$  si osserva un aumento della velocità critica poiché diventa rilevante l'influenza di  $R_{G,MC}$  su  $F_{C,CR}$  (la forza centrifuga è inversamente proporzionale al raggio).

Noti i vincoli spaziali dell'ambiente di manovra, gli ingombri della macchina di backup e le caratteristiche dimensionali del transpallet è possibile definire un range di  $R_{G,MC}$  ammissibile. Infine, utilizzando il diagramma riportato in Figura 3.46 si può valutare la velocità di avanzamento.

Nell'ambiente di lavoro in cui si troverà ad operare la macchina di backup, la manovra più critica è la svolta dal corridoio A8b nel locale A7. Immaginando di seguire una traiettoria circolare, si stima  $R_{G,MC} = 1360mm$ . La condizione più critica si presenta quando la macchina di backup è provvista di schermatura di piombo. Cautelativamente la velocità di marcia viene fissata a  $3 \div 4 km/h$ , equivalente alla velocità raggiunta in una camminata a passo lento.

### 3.4.2 - Stabilità longitudinale

La macchina di backup si muova di moto rettilineo uniforme. Ad un certo punto si immagini di effettuare una brusca frenata. Ricordando le equazioni (3.14) e imponendo  $\varphi = 0$  e  $F_c = 0$  si ottengono le coordinate del punto P:

$$P: \begin{cases} x_p = x_{G,MC} - n_x \frac{z_{G,MC}}{n_z} = x_{G,MC} + \frac{F_{in}}{F_p} z_{G,MC} \\ y_p = y_{G,MC} \end{cases} \quad (3.31)$$

Le coordinate del punto P sono:

- *macchina di backup senza schermatura:*  
 $x_p = 830 mm$  e  $y_p = 0$
- *macchina di backup con schermatura:*  
 $x_p = 904 mm$  e  $y_p = 0$

Di conseguenza il punto P appartiene al poligono di stabilità e l'equilibrio longitudinale è verificato.

## 3.5 - Conclusioni

Nella prima parte di questo capitolo è stata presentata la macchina di emergenza per l'estrazione orizzontale della camera target descrivendone il funzionamento e le scelte progettuali adottate. Si sono dimensionati il sistema di trasmissione del moto, i principali elementi costituenti il sistema di estrazione e l'impianto pneumatico che consente l'azionamento dell'organo di presa. Successivamente sono state condotte le verifiche strutturali ponendosi, a vantaggio di sicurezza, nella condizione più gravosa di lavoro e non si sono riscontrate particolari problematiche. Infine, è stata condotta l'analisi di stabilità longitudinale e trasversale al fine di ricavare la velocità di marcia da utilizzare in sicurezza. Cautelativamente la velocità di marcia viene fissata a  $3 \div 4 km/h$ , equivalente alla velocità raggiunta in una camminata a passo lento. Nel prossimo capitolo verranno descritti l'assemblaggio del sistema di sollevamento, i test e i relativi risultati.

# Capitolo 4

## Realizzazione e test della macchina di emergenza

### 4.1 - Introduzione

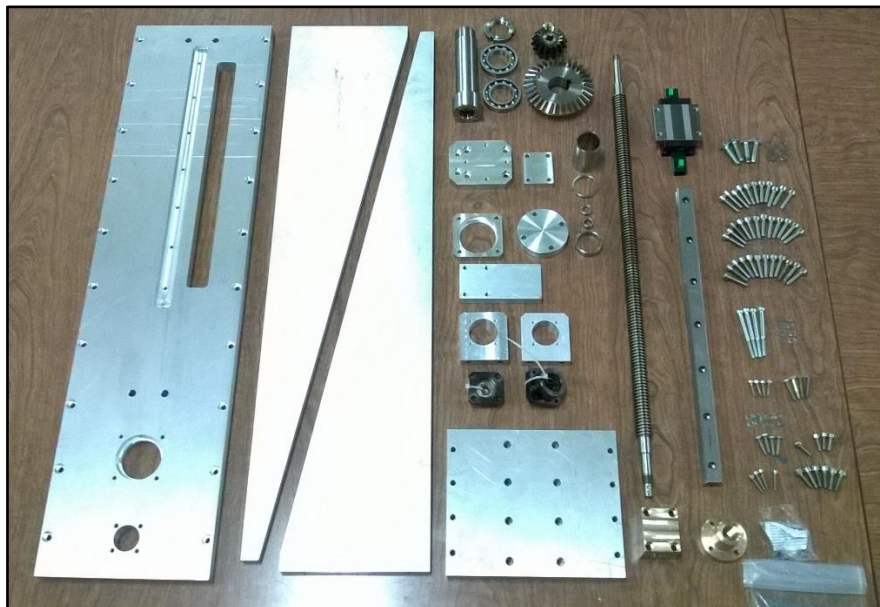
Nella prima parte di questo capitolo si presenterà la realizzazione della macchina di emergenza. Verranno descritti l'assemblaggio degli elementi costituenti il sistema di estrazione e l'assemblaggio del sistema di centraggio. Successivamente si analizzerà la procedura impiegata per eseguire il prelievo della camera target dal Front-End e il suo inserimento sulla coupling table. Infine, si riporteranno i risultati del test realizzato allo scopo di valutare la ripetibilità delle operazioni di prelievo e inserimento della camera target.

### 4.2 - Assemblaggio del sistema di estrazione della camera target

In questo paragrafo è illustrato l'assemblaggio dei sottoassiemi "A" e "B" descritti nel paragrafo 3.2.1.

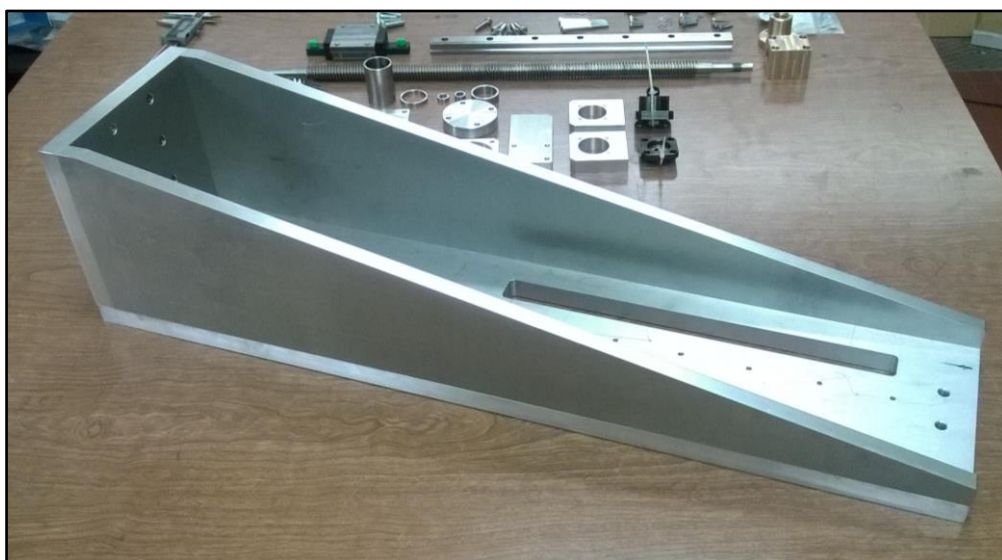
- Sottoassieme "A"

In Figura 4.1 sono rappresentati i componenti standard e i componenti realizzati nell'officina dei LNL impiegati nell'assemblaggio del sottoassieme "mensola".



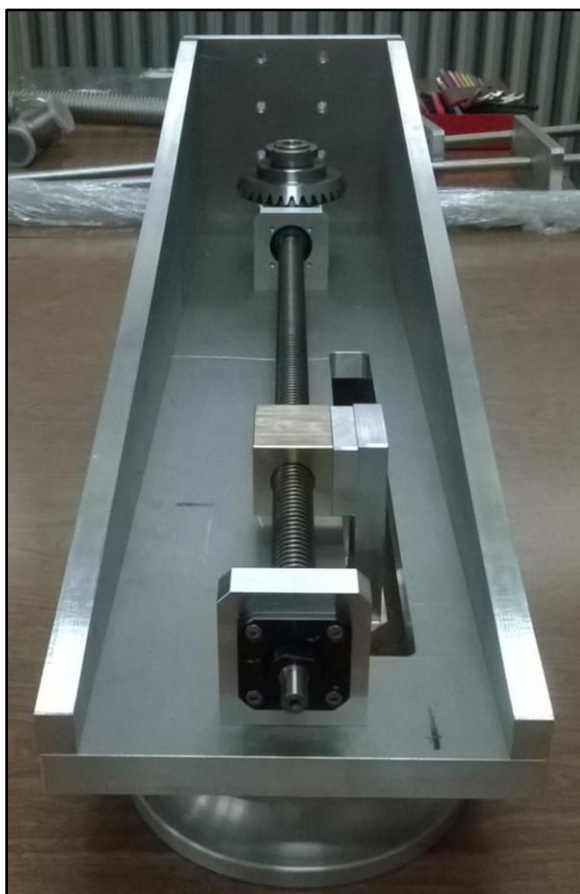
**Figura 4.1** Componenti del sottoassieme "mensola".

Per prima cosa è stata assemblata la struttura portante della mensola (Figura 4.2) unendo i diversi elementi con viti M6 TCEI.

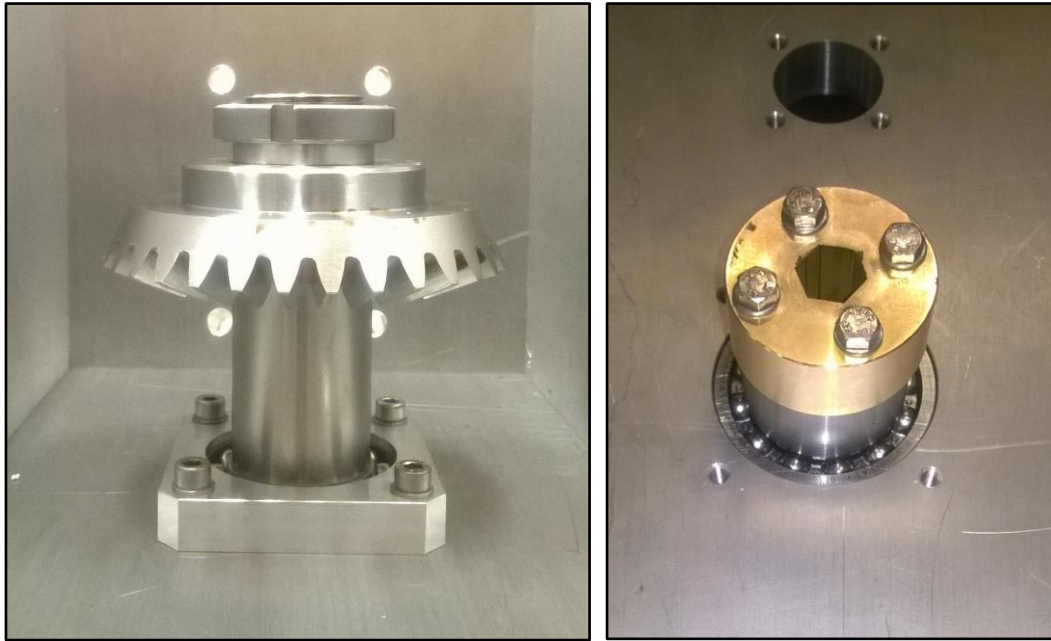


**Figura 4.2** *Struttura portante mensola.*

Successivamente è stato montato il sistema di movimentazione orizzontale dell'organo di presa (Figura 4.3) sulla struttura portante della mensola.



**Figura 4.3** *Sottoassieme "mensola".*



**Figura 4.4** Componenti del sistema di trasmissione del moto orizzontale.

Infine, si è concluso l'assemblaggio del sottoassieme "A" (paragrafo 3.2.1) fissando la mensola sui carrelli della guida lineare verticale e montando il sistema di movimentazione verticale (Figura 4.5).



**Figura 4.5** Sottoassieme "A".

- Sottoassieme "B"

Per prima cosa sul tubo quadro si sono realizzati i diversi fori per consentire il fissaggio del sottoassieme "A" e il passaggio degli alberi dei volantini.

Successivamente l'estremità inferiore del tubo quadro è stata saldata alla piastra di base (Figura 4.6a): il nodo di incastro è stato irrigidito mediante saldatura di otto fazzoletti. Per supportare i due rinvii angolari è stata saldata una lamiera quadrata su una faccia del tubo. Infine, allo scopo di prevenire l'ossidazione, la struttura in ferro è stata verniciata a polvere presso un'azienda specializzata.



**Figura 4.6** A sinistra è mostrata la struttura in ferro da verniciare, mentre a destra è mostrato il sottoassieme "B".

La struttura in ferro verniciata (Figura 4.6b) è stata montata sulla piattaforma, provvista di 4 piedini di livellamento, mediante 4 bulloni M16 TCEI (figura 4.7).



**Figura 4.7** Nodo di incastro.

Successivamente il sottoassieme "A" è stato collegato al sottoassime "B" mediante 8 bulloni M12. Infine, sulla piattaforma sono stati montati il telaio bosh (per supportare i volantini), la pinna di centraggio e le battute di centraggio per le forche del transpallet (Figura 4.8). Terminato l'assemblaggio del sistema di estrazione è stato montato l'organo di presa sul carello della guida lineare orizzontale.



**Figura 4.8** Sistema di estrazione della camera target.

#### **4.3 - Assemblaggio del sistema di centraggio**

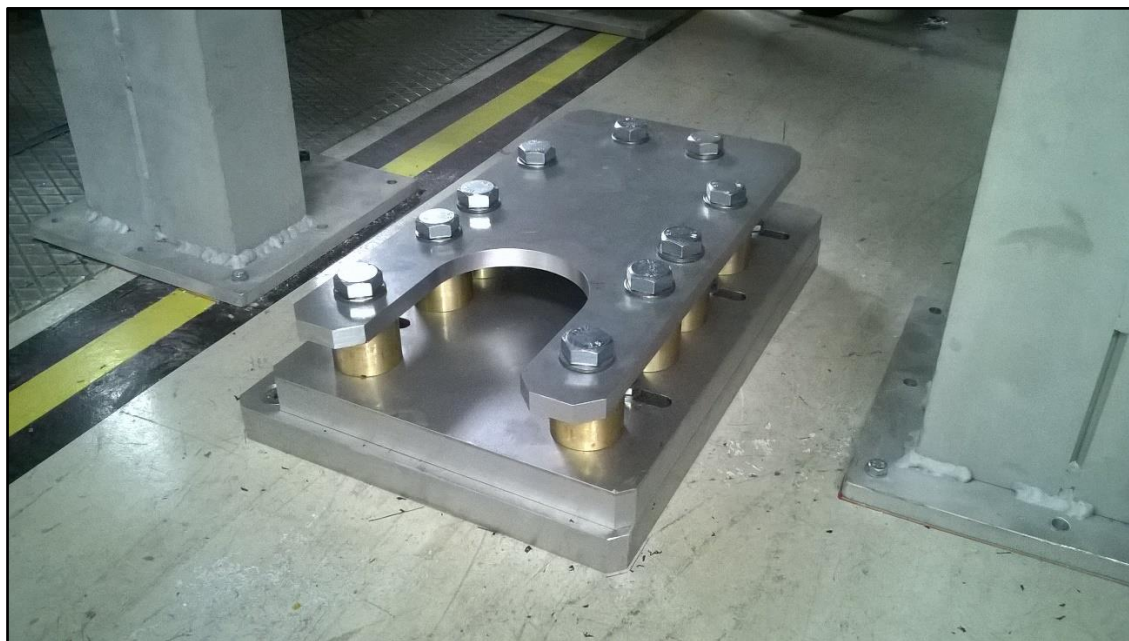
Il sistema di centraggio ha la funzione di posizionare correttamente la macchina di backup rispetto la posizione di inserimento/prelievo della camera target sulla tavola di ammaraggio del Front-End. Il sistema è un accoppiamento meccanico maschio-femmina: l'elemento maschio è ancorato sulla macchina mentre l'elemento femmina (battuta meccanica) è fissata a terra sotto il Front-End.

In Figura 4.9 sono illustrati i componenti della battuta meccanica realizzati nell'officina dei LNL.



**Figura 4.9** Componenti della battuta meccanica.

In Figura 4.10 è mostrata la battuta meccanica assemblata e fissata a terra mediante 6 tasselli ad espansione M12 sotto il Front-End.



**Figura 4.10** Battuta meccanica.



#### 4.4 - Test di estrazione e inserimento della camera target

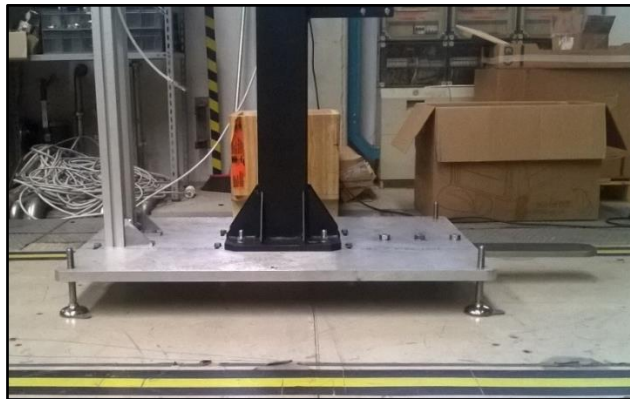
In questa sede viene descritta la procedura impiegata nel test condotto al fine di valutare la ripetibilità delle operazioni di prelievo e inserimento della camera target.

Prima di eseguire il test si sono svolte le seguenti operazioni:

- le forche del transpallet sono state centrate rispetto la piattaforma del sistema di estrazione regolando la posizione delle battute di centraggio, montate sotto di essa;
- si è calibrata la posizione dell'organo di presa rispetto il punto di prelievo/inserimento della camera target. Ciò è stato possibile regolando la posizione della battuta meccanica e agendo sul sistema di movimentazione orizzontale dell'organo di presa.

Compiute le regolazioni necessarie è stato condotto il test di ripetibilità: esso consiste nell'eseguire 30 cicli di estrazione-inserimento della camera target sul Front-End. Di seguito si descrive la procedura di estrazione.

Nella posizione di riposo del sistema di estrazione/inserimento, la base inferiore della piattaforma è posta ad una altezza da terra di poco superiore a quella delle forche del transpallet, al fine di agevolare il loro avanzamento.

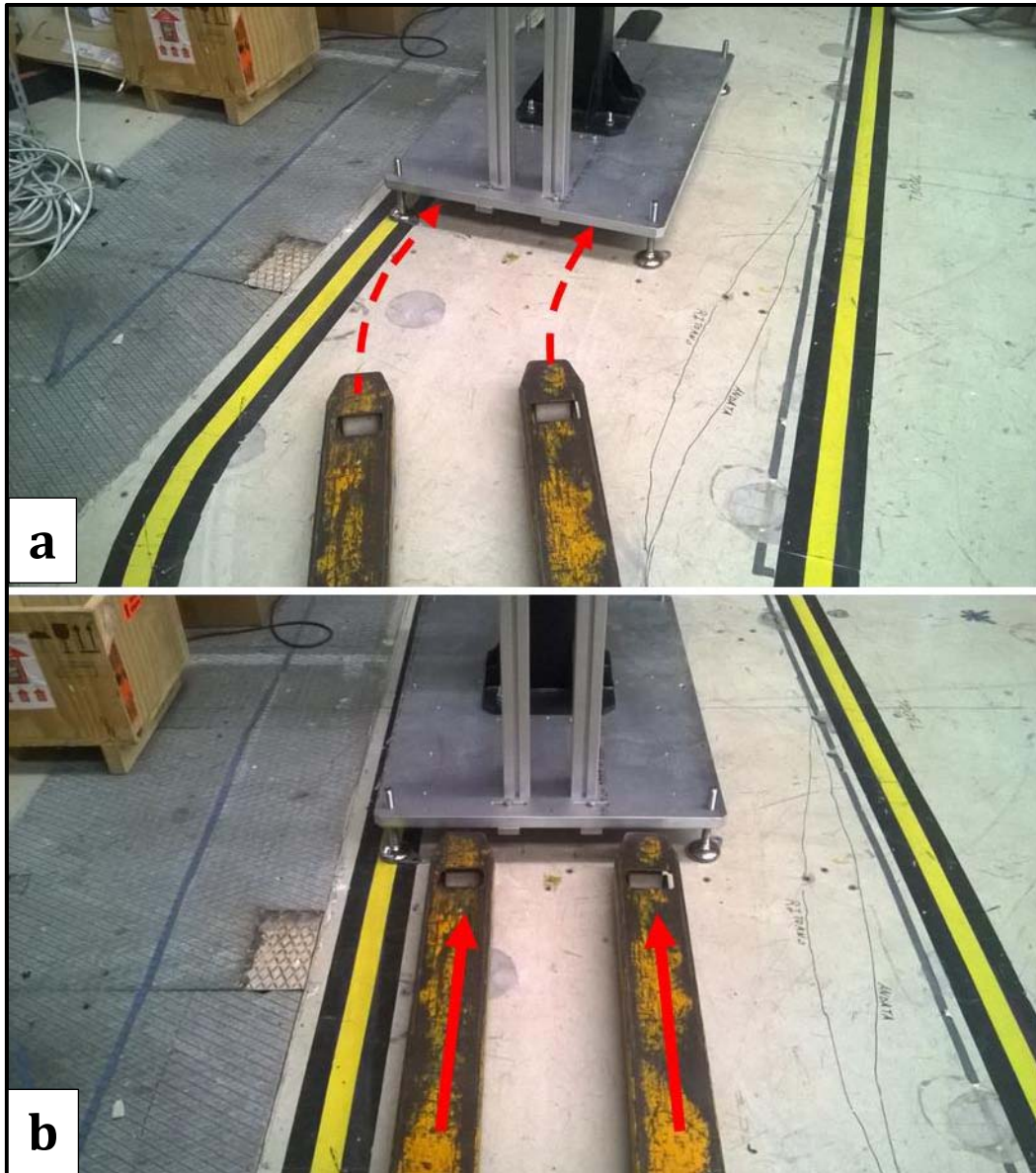


**Figura 4.11** Posizione di riposo del sistema di estrazione.

Agendo sul sistema di sollevamento del transpallet, le forche vengono portate dalla posizione di riposo ad un'altezza tale da rendere agevole l'accoppiamento con il sistema di estrazione. A questo punto hanno inizio le operazioni di allineamento e centraggio (Figura 4.12 e Figura 4.13).

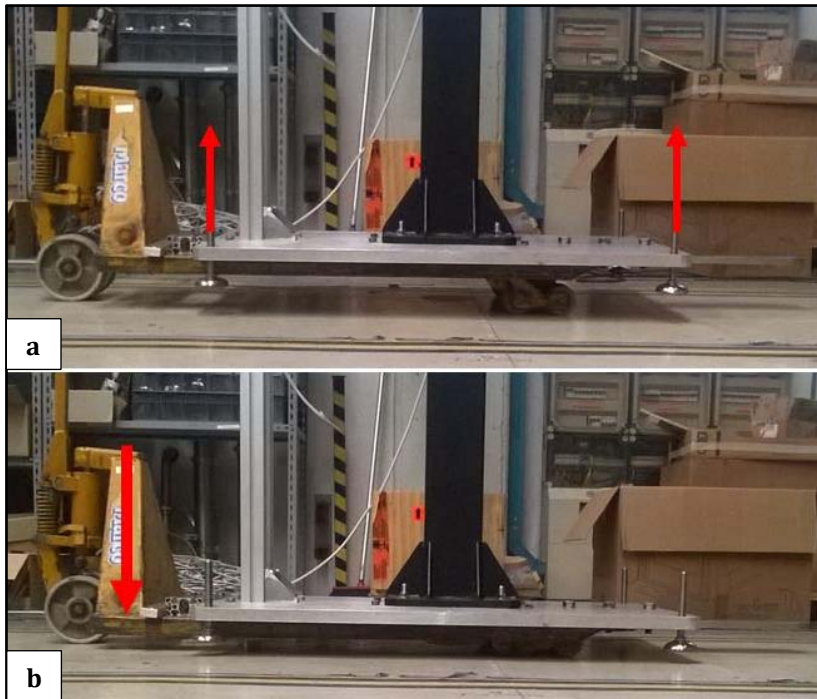


**Figura 4.12** Allineamento del transpallet rispetto il sistema di estrazione.



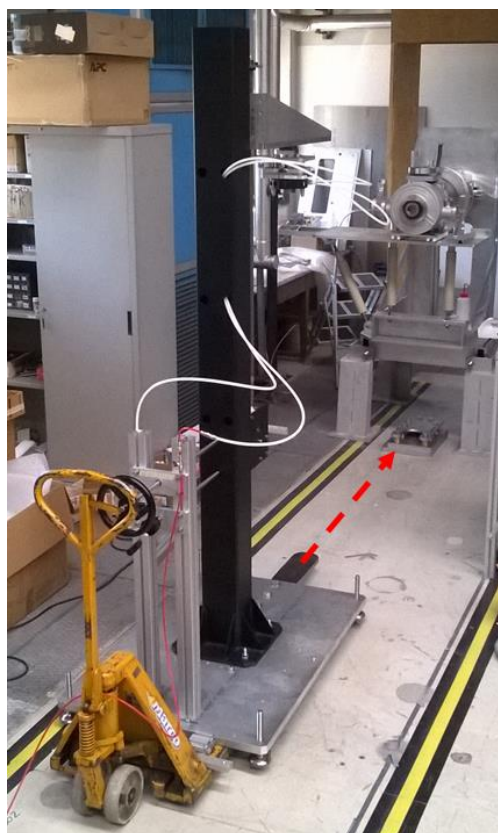
**Figura 4.13** Allineamento e centraggio delle forche del transpallet rispetto le battute di centraggio montate sulla base inferiore della piattaforma.

Completato l'accoppiamento del transpallet con il sistema di estrazione, viene azionato il sistema di sollevamento delle forche in modo che la piattaforma gravi completamente su di esse (Figura 4.14a). A questo punto i piedini di livellamento vengono ritratti di una quantità tale da evitare il loro contatto con il terreno una volta che le forche vengono riportate nella loro posizione di riposo (Figura 4.14b).



**Figura 4.14** *Ritrazione dei piedini di livellamento (a) seguita dal raggiungimento della posizione di riposo delle forche (b).*

La macchina di backup è ora pronta ad eseguire l'allineamento e il centraggio rispetto la battuta meccanica (Figura 4.15 e Figura 4.16)



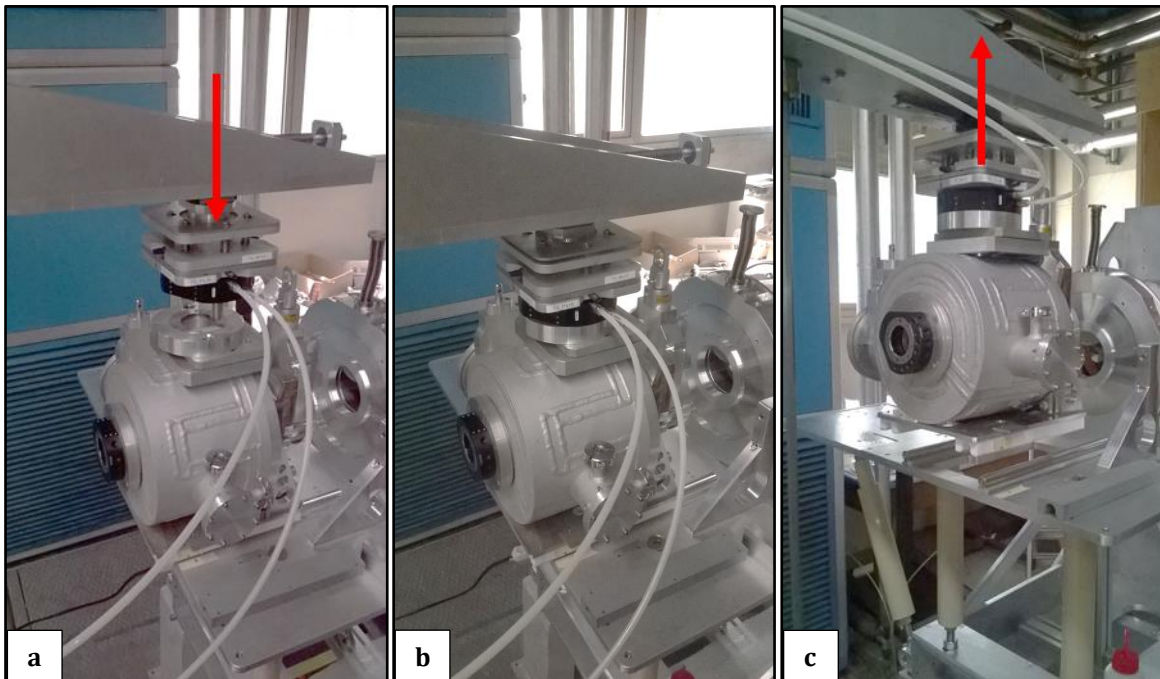
**Figura 4.15** *Allineamento della macchina di emergenza rispetto la battuta meccanica.*



**Figura 4.16** *Macchina di emergenza allineata e centrata rispetto la battuta meccanica.*

Eseguiti l'allineamento e il centraggio della macchina di emergenza, può avvenire il prelievo della camera target dal Front-End.

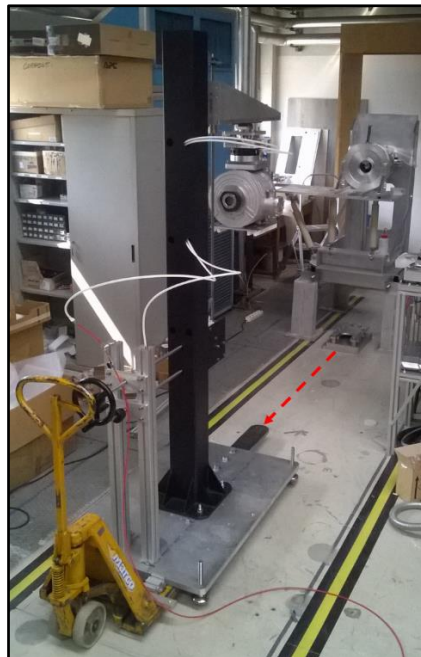
Azionando il volantino principale, l'organo di presa trasla verso il basso (Figura 4.17a) fino ad accoppiarsi con il connettore femmina montato sulla camera target (Figura 4.17b).



**Figura 4.17** *Fasi estrazione camera target.*

Successivamente, la camera target viene sollevata separandosi dalle guide in alluminio anodizzato montate sulla coupling table (Figura 4.17c).

Infine, la macchina di emergenza viene allontanata dal Front-End con la TIS unit agganciata (Figura 4.18).



**Figura 4.18** Fase terminale operazione di estrazione della camera target.

A questo punto si esegue l'inserimento della camera target sulla coupling table in corrispondenza del punto di inserimento. Il ciclo di prova termina con l'allontanamento della macchina di emergenza scaricata dal Front-End. Può avvenire così un nuovo ciclo estrazione-inserimento seguendo la procedura descritta in questo paragrafo.

#### **4.5 - Analisi dati**

L'obiettivo dei test condotti è quello di valutare la precisione di inserimento ed estrazione della macchina di emergenza, al fine di verificare il rispetto delle specifiche di progetto. Le richieste di progetto sono la capacità di riposizionamenti successivi con un errore di posizionamento massimo di  $\pm 7$  mm ed un errore angolare massimo di  $\pm 0.7^\circ$ .

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  $\sigma$ , dei valori misurati attorno alla media  $\mu$  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 4.19 è spiegato con una rappresentazione grafica il concetto di accuratezza e ripetibilità.

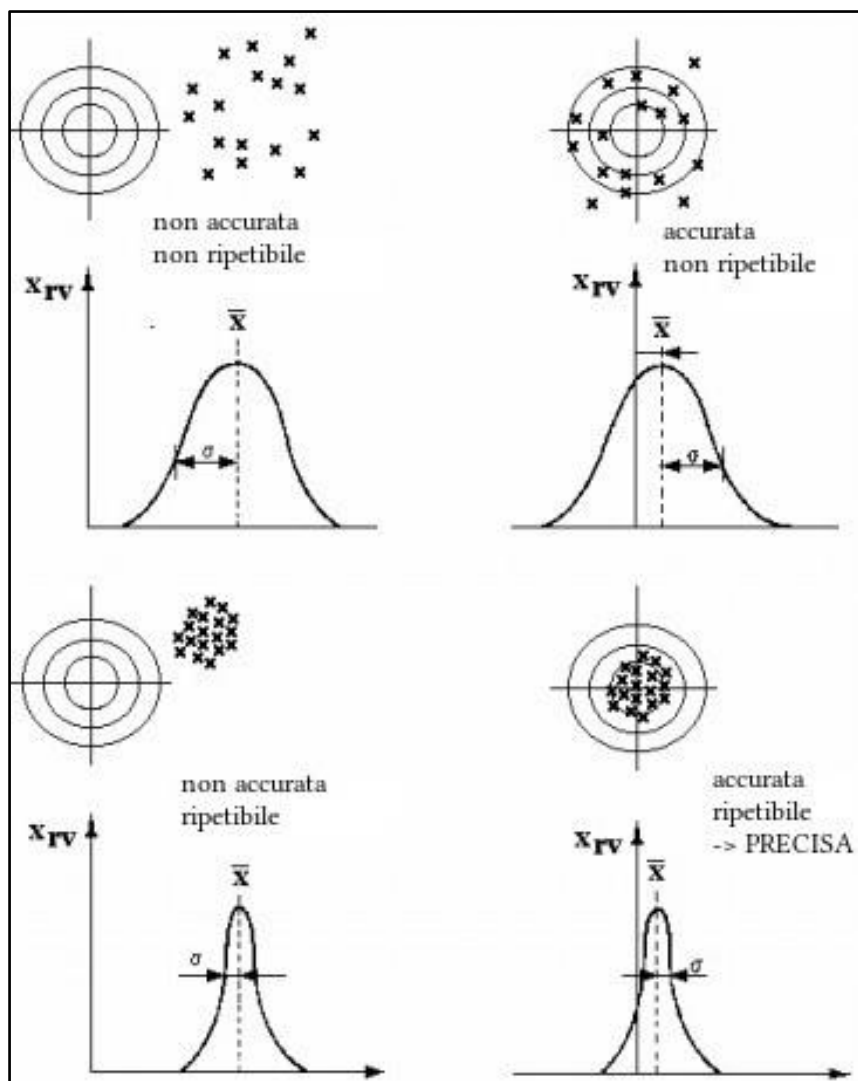
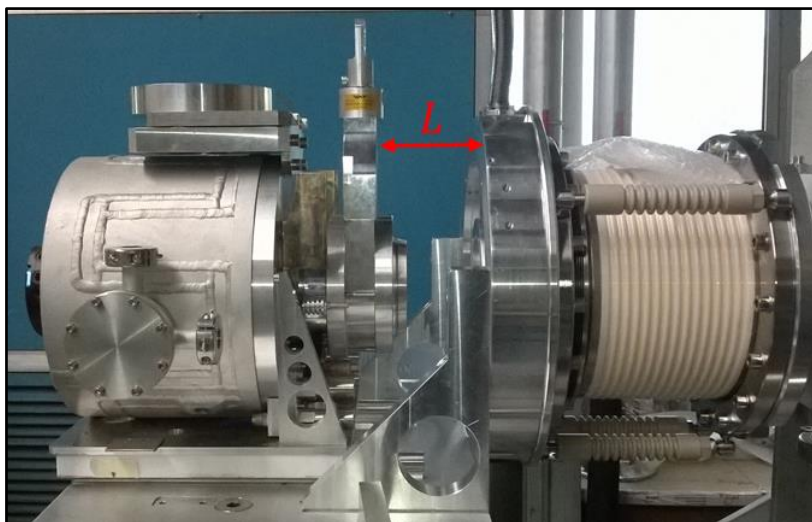


Figura 4.19 Accuratezza e ripetibilità [14].

Sono stati condotti 30 cicli di inserimento ed estrazione della camera target. In tutte le prove l'estrazione è avvenuta con successo. Per quanto riguarda l'operazione di inserimento della camera target sulla coupling table si riporta di seguito l'analisi dati inerente alla ripetibilità di posizionamento.

All'inizio del test la camera target è stata posizionata sulla coupling table nella corretta posizione. La ripetibilità è stata valutata considerando la distanza "L" (tra la valvola VAT della camera e la flangia di ingresso del canale radioattivo) per comodità di misura (Figura 4.20). Dopo ogni inserimento della camera target è stata misurata questa distanza utilizzando un calibro centesimale. In Tabella 4.1 sono elencati i valori di "L" misurati ad ogni ciclo.



**Figura 4.20** Parametro "L".

N° CICLO	L	N° CICLO	L
1	127,27	16	126,72
2	126,94	17	127,58
3	126,8	18	127,86
4	127,24	19	127,87
5	127,4	20	127,8
6	127,08	21	127,23
7	127,28	22	126,9
8	126,81	23	127,29
9	128,14	24	127,65
10	127,03	25	128,1
11	127,1	26	127,41
12	127,33	27	127,31
13	127,84	28	127,1
14	127,1	29	126,94
15	127,98	30	127,38

**Tabella 4.1** Valori (mm) parametro "L".

Successivamente è stata fatta la media dei valori riportati in Tabella 4.1:

$$\bar{L} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_k$$

Il valore medio risulta  $\bar{L} = 127,35$  mm. La media è stata sottratta ad ogni valore assoluto per ottenere gli errori di posizionamento relativi alla posizione media:

$$\varepsilon_{L_{relativo}} = L_k - \bar{L}$$

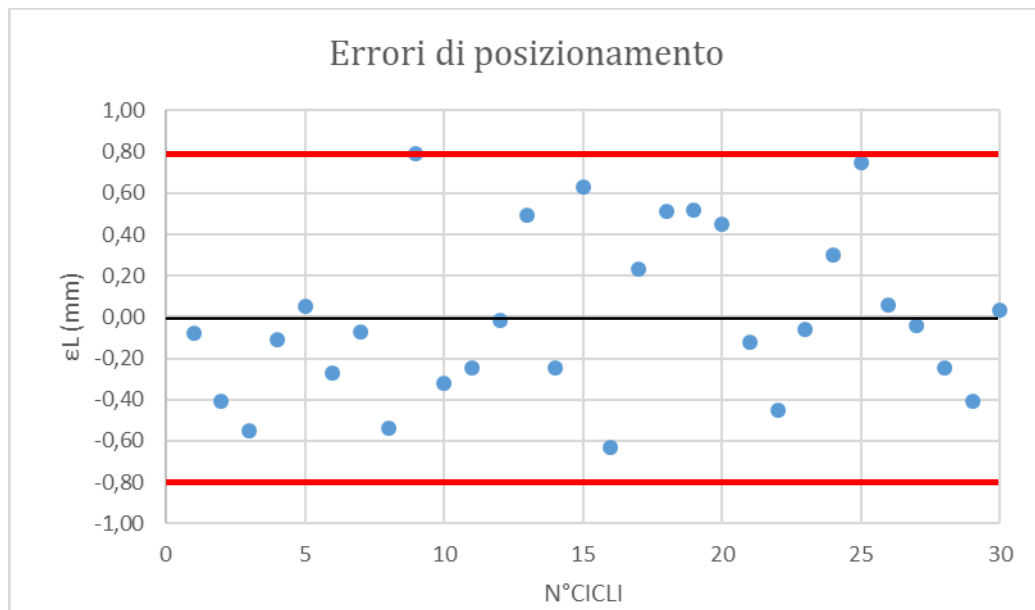
Questo al fine di valutare la ripetibilità di posizionamento. Gli errori relativi di riposizionamento  $\varepsilon_{L_{relativo}}$  sono riportati in Tabella 4.2.

N° CICLO	L	εL
1	127,27	-0,08
2	126,94	-0,41
3	126,8	-0,55
4	127,24	-0,11
5	127,4	0,05
6	127,08	-0,27
7	127,28	-0,07
8	126,81	-0,54
9	128,14	0,79
10	127,03	-0,32
11	127,1	-0,25
12	127,33	-0,02
13	127,84	0,49
14	127,1	-0,25
15	127,98	0,63
16	126,72	-0,63
17	127,58	0,23
18	127,86	0,51
19	127,87	0,52
20	127,8	0,45
21	127,23	-0,12
22	126,9	-0,45
23	127,29	-0,06
24	127,65	0,30
25	128,1	0,75
26	127,41	0,06
27	127,31	-0,04
28	127,1	-0,25
29	126,94	-0,41
30	127,38	0,03

**Tabella 4.2** Calcolo degli errori relativi di riposizionamento.



Nel grafico di Figura 4.21 sono riportati gli errori di posizionamento per ogni misurazione effettuata.



**Figura 4.21** Errori di posizionamento relativi.

Come si vede dal grafico, l'errore di ripetibilità (valutato rispetto il valore medio) è in un range

Nell'ipotesi che i dati si distribuiscano secondo una distribuzione di Student è possibile valutare l'incertezza di ripetibilità con la seguente espressione [14]:

$$i_d = \frac{s t}{\sqrt{n}}$$

Dove:

- $n$  è il numero di misurazioni pari a 30;
- $s$  è lo scarto tipo. In questo caso  $s = 0,39$  mm;
- $t$  è il valore di Student. Poiché  $\nu = n - 1 = 29$  e con un livello di confidenza di 95% risulta  $t=2$ ;

Si ottiene una incertezza di ripetibilità pari a  $i_d = \pm 0,14$  mm. Si deduce che il posizionamento della camera target è accurato e ripetibile.

#### 4.6 - Conclusioni

In questo capitolo si è vista la realizzazione della macchina di emergenza per l'estrazione orizzontale della camera target. Si è illustrata la procedura di inserimento ed estrazione della camera target ed infine si sono elaborati i dati dei test. Dall'elaborazione dati si è verificato che la macchina progettata soddisfa le specifiche di progetto, in termini di precisione e di ripetibilità.



# Capitolo 5

## Elementi di radioprotezione e ciclo di vita della camera target

### 5.1 - Introduzione

Nella prima parte di questo capitolo verranno presentati i principali argomenti di radioprotezione allo scopo di descrivere in modo esaustivo le criticità a cui può andare incontro il personale che si trova ad operare in ambienti radioattivi. Verranno forniti i limiti di dose, previsti dalla legge, a cui l'operatore può essere esposto e le attenzioni da porre, come il tipo di vestiario e i sistemi di schermatura, per contenere il pericolo di contaminazione. In un secondo tempo si analizzerà il ciclo di vita della camera target dal punto di vista delle movimentazioni richieste, dall'inserimento nel front-end allo stoccaggio nel temporary storage, e al successivo trasferimento nella hot-cell disponibile nel laboratorio PB4 sito in superficie.

### 5.2 - Elementi di radioprotezione

La Radioprotezione è una disciplina applicata alla protezione dell'uomo e dell'ambiente dagli eventuali effetti dannosi delle radiazioni ionizzanti [15] [16].

Tale disciplina si esprime in una serie di principi, raccomandazioni, requisiti, prescrizioni, tecnologie, modalità operative e verifiche volte a proteggere la popolazione (individui in generale, lavoratori, soggetti sottoposti a pratiche mediche di diagnosi e cura facenti uso delle radiazioni ionizzanti).

La protezione dagli effetti delle radiazioni si fonda a livello generale sull'isolamento delle sorgenti radioattive dall'ambiente e dal contatto con l'uomo, e in particolare sull'adozione di soluzioni progettuali, costruttive e tecnologiche, nonché sull'individuazione di comportamenti e prescrizioni atte a ridurre l'esposizione individuale e collettiva della popolazione in misura appropriata.

In ragione dei rischi derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, l'ICRP (Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica) ha elaborato un sistema di limitazioni delle dosi ai fini della radioprotezione basato su tre principi fondamentali:

#### 1) *Principio di Giustificazione dell'attività*

I tipi di attività che comportano esposizione alle radiazioni ionizzanti debbono essere preventivamente giustificati (vantaggi economici, sociali o di altro tipo rispetto al danno sanitario che ne può derivare) e periodicamente riconsiderati ogniqualvolta emergano nuove e importanti prove sulla loro efficacia e sulle loro conseguenze;

## 2) *Principio di Ottimizzazione*

L'esposizione alle radiazioni ionizzanti deve essere mantenuta al livello più basso ragionevolmente ottenibile (principio ALARA, "as low as reasonably achievable"), tenuto conto dei fattori economici e sociali;

## 3) *Principio di Limitazione delle Dosi*

La somma delle dosi derivanti da tutte le pratiche non deve superare i limiti prescritti, in accordo con le disposizioni vigenti e i relativi provvedimenti applicativi;

### 5.2.1 - Radiazioni ionizzanti

Principale obiettivo del progetto SPES (Selective Production of Exotic Species) è la produzione di fasci di ioni radioattivi, chiamati RIB (Radioactive Ion Beam), per studi di fisica nucleare fondamentale e per lo studio di nuclei atomici instabili [1]. A tal fine, un fascio protonico, fornito dall'acceleratore primario, viene fatto collidere contro un bersaglio di materiale fissile, contenuto all'interno della camera TARGET. In quest'ultimo, a seguito di reazioni nucleari di vario tipo (fissione, spallazione, frammentazione, ecc.), si ha la generazione di isotopi radioattivi, principalmente del tipo neutron-rich. I radioisotopi così prodotti possono uscire dal target ed essere ionizzati; grazie alla carica acquisita possono quindi essere estratti ed accelerati mediante una differenza di potenziale, formando un fascio di particelle radioattive (RIB). I radioisotopi sono isotopi instabili che decadono attraverso l'emissione di particelle e di radiazioni al fine di raggiungere uno stato più stabile. Ciascun radioisotopo ha un proprio tempo di decadimento necessario per trasformarsi in un isotopo stabile (tale tempo può essere compreso tra una frazione di secondo e miliardi di anni). A seconda dei casi i radioisotopi possono emettere:

- particelle  $\alpha$ , corrispondenti a due neutroni e due protoni (cioè un nucleo di elio);
- particelle  $\beta$ , corrispondenti a elettroni;
- radiazioni  $\gamma$ . Solitamente, oltre all'emissione di particelle, il radioisotopo emette pura energia in forma elettromagnetica per portarsi ad uno stato più stabile;
- neutroni;

Una radiazione viene definita *ionizzante* quando possiede energia sufficiente per produrre, direttamente o indirettamente, ionizzazione negli atomi del mezzo attraversato. Le radiazioni si dividono in [15]:

- *Radiazioni direttamente ionizzanti*

Mediante interazione elettrostatica questa tipologia di radiazione provoca il distacco degli elettroni dagli atomi e dalle molecole del materiale mediante che pertanto diventano ioni. Le radiazioni  $\alpha$  e  $\beta$  sono radiazioni direttamente ionizzanti;

- *Radiazioni indirettamente ionizzanti*

I fotoni (radiazioni  $\gamma$  e i raggi X) e le particelle prive di carica elettrica (i neutroni) sono radiazioni indirettamente ionizzanti: interagendo con la materia possono produrre particelle direttamente ionizzanti o dare luogo a reazioni nucleari capaci di produrre lo stesso effetto.

Quando una radiazione ionizzante attraversa un mezzo materiale è in grado, cedendo la sua energia, di generare coppie di ioni positivi ed elettroni lungo il suo percorso. Quando la materia interessata è il tessuto umano, il deposito di energia è responsabile del danno biologico.

### 5.2.2 - Grandezze radioprotezionistiche

Al fine di determinare i rischi da radiazioni è necessario valutare il danno che la radiazione stessa può provocare. Problema fondamentale della Radioprotezione consiste nel definire grandezze atte a quantificare i rischi da esposizione ai diversi tipi di radiazione ionizzante [15] [16].

Le grandezze in uso nella radioprotezione si possono suddividere in:

### 1) Grandezze Fisiche

Caratterizzano i campi di radiazione e sono definite in qualsiasi punto del campo. La loro misura è direttamente ottenuta da un campione primario. La grandezza fisica maggiormente utilizzata per quantificare l'interazione tra radiazioni e materia è la *dose assorbita*. Essa è definita come il rapporto tra l'energia media ceduta dalla radiazione alla materia in un certo elemento di volume e la massa di materia contenuta in tale elemento di volume:

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm} = \left[ \frac{J}{kg} \right] = [Gy] \quad (5.1)$$

La dose assorbita si misura in Gray [Gy]. Si definisce *Rateo di Dose Assorbita* la dose assorbita per unità di tempo:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} = \left[ \frac{Gy}{s} \right] \quad (5.2)$$

### 2) Grandezze Protezionistiche

La dose assorbita non è sufficiente per valutare gli effetti biologici delle radiazioni, dato che il rischio da esposizione alle radiazioni ionizzanti dipende:

- dal tipo di radiazione incidente (ad esempio una dose di radiazione alfa è molto più dannosa della stessa dose di radiazione beta o gamma);
- dalla radiosensibilità dei vari organi e tessuti irradiati;

Si definiscono così le seguenti grandezze:

#### *Dose Equivalente*

Tale grandezza, introdotta per tenere conto della dipendenza del danno biologico dal tipo di radiazione assorbita, fornisce una misura del rischio associato all'esposizione a una particolare radiazione e permette di confrontare i rischi derivanti dall'esposizione a tipi di radiazione diversi.

La diversa pericolosità delle radiazioni incidenti viene esplicitata mediante il fattore di ponderazione delle radiazioni incidenti,  $w_R$ , che tiene conto dell'efficacia biologica della particolare radiazione rispetto a quella di riferimento (fotoni), cui viene assegnato per definizione un valore uguale a 1 (si veda Tabella 5.1).

La dose equivalente,  $H_{t,R}$ , si ottiene come il prodotto della dose assorbita in un organo o tessuto,  $D_{t,R}$ , per il fattore di ponderazione  $w_R$ :

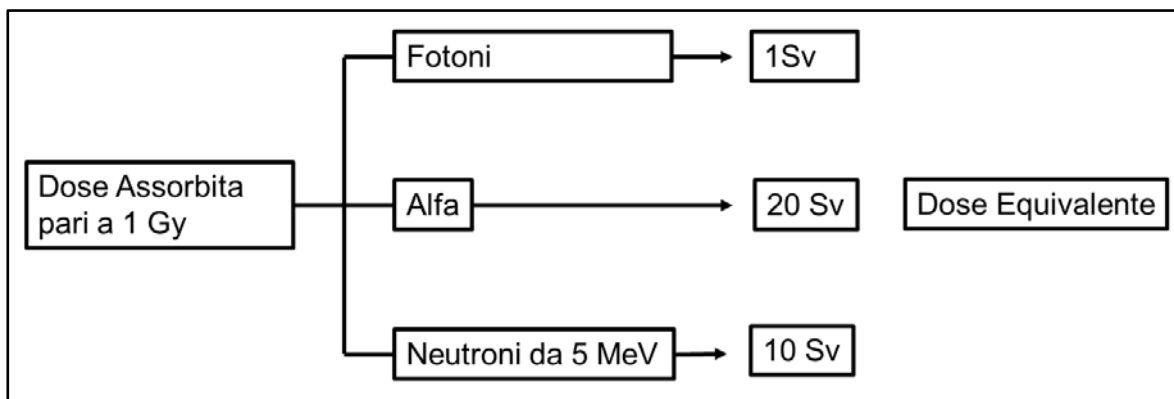
$$H_{t,R} = w_R D_{t,R} = [Sv] \quad (5.3)$$

L'unità di misura è il Sievert [Sv]. In Figura 5.1 vengono confrontati diversi tipi di radiazioni ionizzanti mediante la grandezza dose equivalente.

Si definiscono inoltre:

- *Rateo di dose Equivalente*  
È la dose assorbita per unità di tempo. L'unità di misura è  $[Sv s^{-1}]$ ;
- *Dose Equivalente Totale  $H_T$*   
Impiegata quando il campo di radiazione è dato dalla somma delle dosi equivalenti pesate sulle diverse radiazioni:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (5.4)$$



**Figura 5.1** Confronto tra diversi tipi di radiazioni ionizzanti dal punto di vista della dose equivalente [16].

Tipo di radiazione	$w_R$
Fotoni (X, gamma), tutte le energie	1
Elettroni e muoni, tutte le energie	1
Neutroni con $E(\text{energia}) < 10 \text{ keV}$	5
Neutroni con $10 \leq E(\text{keV}) \leq 100$	10
Neutroni con $0,1 < E(\text{MeV}) \leq 2$	20
Neutroni con $2 < E(\text{MeV}) \leq 20$	10
Neutroni con $E(\text{MeV}) > 20$	5
Protoni	5
Particelle alfa, frammenti di fissione, Nuclei pesanti	20

**Tabella 5.1** Fattore di ponderazione delle radiazioni incidenti,  $w_R$  [16].

### Dose Efficace

Il danno radio-indotto dipende anche dalla risposta dei vari organi o tessuti irraggiati. Per tenere conto della radiosensibilità dei diversi organi e tessuti del corpo umano è stato introdotto il concetto di dose efficace,  $E$ , come la somma delle dosi equivalenti ponderate sui tessuti e organi del corpo causate da irradiazioni interne ed esterne:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} = [Sv] \quad (5.5)$$

In Tabella 5.2 sono elencati i valori del fattore di ponderazione per l'organo o il tessuto  $T$ . Nel caso di esposizione interna, cioè nel caso in cui la sorgente di radiazioni sia localizzata all'interno del corpo a seguito di inalazione di aria contaminata o ingestione di cibi contaminati etc, l'irraggiamento si protrae fin quando il radionuclide introdotto è presente nel corpo. La dose che interessa un certo organo o tessuto in tale periodo è detta *Dose Equivalente Impegnata*:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt \quad (5.6)$$

Dove  $t_0$  è l'istante di tempo in cui avviene l'introduzione e  $\tau$  è il periodo (in anni) su cui si calcola l'integrazione.

Per i lavoratori, il calcolo della dose impegnata viene effettuato su un periodo di  $\tau=50$  anni a partire dall'introduzione.

Si definisce *Dose Efficacie Impegnata*  $E(\tau)$  la quantità:

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau) \quad (5.7)$$

<i>Organi o Tessuto</i>	$w_T$ (ICRP103)
Gonadi	0,05
Midollo osseo (emopoietico)	0,12
Colon	0,12
Polmone (vie respiratorie toraciche)	0,12
Stomaco	0,12
Vescica	0,05
Mammelle	0,05
Fegato	0,05
Esofago	0,05
Tiroide	0,05
Pelle	0,01
Superficie ossea	0,01
Cervello	0,01
Rene	0,01
Ghiandole salivari	0,01
Rimanti organi o tessuti	0,10
Totale complessivo	1

**Tabella 5.2** *Fattore di ponderazione per l'organo o il tessuto T secondo ICRP103 [16].*

### 3) Grandezze operative

Sono definite dall' ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) per il monitoraggio ambientale e personale. Esse danno una stima delle quantità dosimetriche e sono riferite ad un punto specifico. Nel progetto SPES, la grandezza utilizzata per il monitoraggio della radioattività presente nel bunker è l'Equivalente di dose ambientale  $H^*(10)$ , la cui unità di misura è il Sievert.

#### 5.2.3 - Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti

L'esposizione alle radiazioni ionizzanti può essere:

- di tipo acuto, nel caso di elevate intensità di dose in periodi di breve durata;
- di tipo cronico, con esposizioni a bassi valori di intensità di dose per lunghi periodi, come avviene normalmente nella pratica lavorativa.

I possibili effetti sull'uomo sono conseguentemente di entità e di tipo diverso e vengono normalmente distinti in tre principali categorie [15] [16]:

##### 1) *Danni Somatici Deterministici*

I danni somatici deterministici (Tabella 5.3) sono quelli per i quali la frequenza di manifestazione e la gravità variano con la dose e che si manifestano se viene superato un determinato valore di dose (dose-soglia). Sono in genere di tipo immediato, nel senso che si manifestano con un periodo di latenza breve (pochi giorni o qualche settimana), rispetto al momento in cui è avvenuta l'esposizione acuta, anche se in alcuni casi l'insorgenza può avvenire in modo tardivo (qualche mese, alcuni anni). Tra i danni somatici deterministici sono da citare la cataratta, la sindrome acuta da radiazioni, l'infertilità.

La conseguenza più devastante è la morte dell'individuo, causata dalla sindrome acuta da radiazioni.

Il rischio di morte nel caso di irradiazione a corpo intero aumenta con l'aumentare della dose mentre il tempo medio di sopravvivenza è inversamente proporzionale a essa (Tabella 5.4). Il tempo medio di sopravvivenza è definito come il tempo medio che intercorre tra l'esposizione e la morte dovuta a irradiazione a corpo intero.

La dose letale può essere espressa in termini di una quantità chiamata  $LD_{50,30}$  o  $LD_{50,60}$ :

- $LD_{50,30}$  rappresenta la dose necessaria affinché il 50 per cento degli individui esposti a quella dose di radiazioni muoia entro 30 giorni dalla esposizione;
- $LD_{50,60}$  rappresenta la dose necessaria affinché il 50 per cento degli individui esposti a quella dose di radiazioni muoia entro 60 giorni dalla esposizione;

Ricerche hanno confermato che la morte negli esseri umani sopraggiunge con l'esposizione di una dose assorbita assoluta di 10Gy. Il valore di  $LD_{50,60}$  per l'uomo viene stimato tra 3 e 5 Gy: i sopravvissuti a tale dose presenteranno conseguenze gravi.

Soglia di Dose			
Tessuto e Effetto	Dose equivalente totale ricevuta in una singola breve esposizione (Sv)	Dose equivalente totale ricevuta per esposizioni frazionarie o protratte (Sv)	Dose annuale ricevuta per esposizioni frazionate o protratte per molti anni (Sv/anno)
<b>TESTICOLI</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sterilità temporanea</li> <li>• Sterilità permanente</li> </ul>	0,15 3,5	NA NA	0,4 2,0
<b>OVAIE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sterilità</li> </ul>	2,6-6	6,0	>0,2
<b>CRISTALLINO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opacità osservabili</li> <li>• Deficit visivo (cataratta)</li> </ul>	0,5-2 5,0	5 >8	>0,1 >0,15
<b>MIDOLLO OSSEO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Depressione emopoiesi</li> <li>• Aplasia mortale</li> </ul>	0,5 1,5	NA NA	>0,4 >1

**Tabella 5.3** Stima della soglia di dose per effetti deterministici in vari organi. NA indica "Non Applicabile", in quanto la soglia dipende sia dall'intensità di dose sia dalla dose totale [16].



Dose Assorbita	2-5Gy	5-20 Gy	>50Gy
Tempo dall'irradiazione	Sindrome Ematologica	Sindrome Gastrointestinale	Sindrome Cerebrale
Primo giorno	Nausea Vomito Diarrea	Nausea Vomito Diarrea	Nausea Vomito Diarrea Cefalea Eritema Disorientamento
Seconda settimana		Vomito Diarrea Cachessia Prostrazione Morte	Agitazione Atassia Sonnolenza Coma Convulsioni Shock Morte
Terza e quarta settimana	Malessere Astenia Anoressia Vomito Febbre Nausea Emorragia Depilazione Recupero-Morte		

**Tabella 5.4** *Sindrome acuta da radiazioni* [16].

### 2) *Danni somatici stocastici*

L'esposizione a basse dosi non determina la comparsa di danni immediati, ma aumenta le probabilità statistiche di comparsa di danni (leucemie e tumori). I danni somatici stocastici:

- non richiedono il superamento di una dose di soglia per la loro insorgenza (non esistono livelli di sicurezza assoluta per l'esposizione alle radiazioni);
- sono a carattere probabilistico: l'esposto non è automaticamente destinato a sviluppare cancro o danno genetico ma è soggetto a un rischio maggiore di uno non esposto;
- la dose non determina la gravità;
- sono indistinguibili da tumori indotti da altri cancerogeni;
- hanno periodi di latenza lunghi o molto lunghi;

### 3) *Danni genetici stocastici*

Questi danni coinvolgono il patrimonio ereditario dell'individuo irraggiato in età fertile (e quindi la progenie) e sono anch'essi di tipo stocastico (mutazioni genetiche e aberrazioni cromosomiche). L'esposizione alle radiazioni ionizzanti dell'embrione e del feto può causare effetti di intensità variabile e dipendenti dal momento in cui è avvenuta l'irradiazione. Si possono verificare:

- malformazioni di organi nel periodo di organogenesi in cui si formano gli abbozzi dei vari organi e tessuti (fino alla fine del 2° mese di gravidanza);
- effetti di tipo stocastico, quali neoplasie (soprattutto leucemie), che si manifestano alla nascita o in epoca post-natale, o sviluppo difettoso del sistema nervoso centrale (con conseguente ritardo mentale) per esposizioni a partire dal 3° mese di gravidanza fino alla nascita.

#### 5.2.4 - Protezione dall'esposizione esterna

Lo scopo principale della Radioprotezione è quello di ridurre al livello più basso l'esposizione alle radiazioni ionizzanti minimizzando così il rischio. Nel caso di sorgenti esterne, questo si raggiunge tramite uno dei seguenti parametri o una loro opportuna combinazione [15] [16]:

- *Tempo*

L'esposizione alla radiazione può essere ridotta limitando il tempo di permanenza in un'area ove esista una sorgente radiogena attiva. Il tempo massimo di permanenza per un individuo in un'area, noto il rateo di dose, è:

$$\text{Limite di Tempo} = \frac{\text{Limite di Dose}}{\text{Rateo di Dose}}$$

- *Decadimento*

Nel caso di radioattività indotta, per consentire il decadimento dei nuclei instabili è necessario far trascorrere un certo tempo prima di accedere all'area, salvo necessità di un intervento urgente;

- *Distanza*

L'emissione di radiazioni da una sorgente è un processo completamente casuale. È quindi casuale la direzione con cui le radiazioni vengono emesse cioè la distribuzione è isotropa. Aumentando la distanza da una sorgente di radiazioni si ha una considerevole diminuzione dell'esposizione. Il modo con cui si riduce l'intensità della radiazione con la distanza dipende dalla dimensione, dalla forma della sorgente e dall'assorbimento della radiazione da parte dell'aria.

Per le radiazioni alfa e beta l'assorbimento da parte dell'aria è il fattore più importante per la riduzione della loro intensità all'aumentare della distanza.

Per le radiazioni gamma e neutronica, la variazione dell'intensità in funzione della distanza è determinata principalmente dai fattori geometrici. Nel caso di sorgenti puntiformi l'intensità del campo è inversamente proporzionale al quadrato della distanza;

- *Schermature*

Le schermature vengono utilizzate per ridurre significativamente le esposizioni alle radiazioni ionizzanti. L'installazione di schermi tra una sorgente di radiazioni e il personale impegnato in operazioni nelle vicinanze della sorgente stessa è molto spesso indispensabile per limitare l'esposizione esterna. Il materiale utilizzato per gli schermi e il loro spessore dipende dal tipo di radiazione e dalla sua energia.

1) *Radiazioni Alfa*

Le radiazioni  $\alpha$  hanno energie che variano tra 4 e 7 MeV. Vengono fermate completamente dalla parte esterna della pelle (formata da cellule morte) e quindi non rappresentano alcun tipo di pericolo di irradiazione esterna. Percorrono meno di 5cm in aria, 0.2mm in acqua e penetrano nel tessuto ad una profondità di circa 40 $\mu$ m prima di fermarsi acquistando 2 elettroni per diventare un atomo di elio. La loro schermatura non è necessaria. Se invece vengono inalate o ingerite possono causare un danno cellulare molto maggiore rispetto a quello delle radiazioni gamma o beta;

2) *Radiazioni Beta*

Generalmente non rappresentano un serio problema per l'esposizione esterna in ambito lavorativo presso gli acceleratori di particelle. In caso di attivazione di parti degli apparati sperimentali provocata dal fascio accelerato, la radiazione beta rimane confinata all'interno degli apparati stessi. Rischi di irraggiamento esterno possono sussistere soprattutto per la pelle e il cristallino dell'occhio;

### 3) Radiazione gamma

Normalmente la frequenza di questa radiazione è maggiore di  $3 \times 10^{18}$  Hz, dunque possiede un'energia oltre i 10 keV e una lunghezza d'onda minore di  $10^{-10}$  m, molto inferiore al diametro di un atomo. I raggi gamma sono più penetranti della radiazione prodotta dalle altre forme di decadimento radioattivo, ovvero decadimento alfa e decadimento beta, a causa della minor tendenza ad interagire con la materia. La radiazione gamma è costituita da fotoni, i quali non essendo dotati di carica non sono direttamente ionizzanti. La schermatura dei raggi  $\gamma$  richiede materiali molto più spessi di quelli necessari per schermare particelle  $\alpha$  e  $\beta$  (le quali possono essere bloccate da un semplice foglio di carta ( $\alpha$ ) o da una lastra sottile metallica ( $\beta$ )). I raggi gamma vengono assorbiti meglio dai materiali con un alto numero atomico e con alta densità come piombo, tungsteno e uranio. Il loro costo elevato fa sì che il calcestruzzo, anche se meno indicato, venga di norma impiegato con uno spessore equivalente a quello che sarebbe necessario in piombo. Il piombo viene utilizzato ove ci sia solo una piccola area da schermare o nel caso di problemi di ingombro.

### 4) Radiazione neutronica

I neutroni interagiscono solo con i nuclei degli atomi e quindi possono penetrare grandi spessori di materiale. I neutroni sono diffusi e rallentati in modo molto efficace da collisioni elastiche con nuclei leggeri, specialmente di idrogeno. Una scelta costosa per il materiale schermante potrebbe essere il polietilene mentre una soluzione meno costosa il calcestruzzo.

#### 5.2.5 - Classificazione dei lavoratori ai fini della radioprotezione

In base all'Allegato III del D. Lgs. 230/95, i lavoratori sono distinti in *lavoratori esposti* e *lavoratori non esposti* [17]:

1) Sono classificati *lavoratori esposti* i soggetti che, in ragione dell'attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, sono suscettibili di superare in un anno solare uno o più dei seguenti valori:

- a) 1 mSv di dose efficace;
- b) 15 mSv di dose equivalente per il cristallino;
- c) 50 mSv di dose equivalente per la pelle, calcolato in media su  $1 \text{ cm}^2$  qualsiasi di pelle, indipendentemente dalla superficie esposta;
- d) 50 mSv di dose equivalente per mani, avambracci, piedi, caviglie.

I *lavoratori esposti* vengono ulteriormente suddivisi in *due categorie A e B*.

Sono classificati in *categoria A* i lavoratori esposti che sono suscettibili di un'esposizione superiore, in un anno solare, ad uno dei seguenti valori:

- a) 6 mSv di dose efficace;
- b) i tre decimi di uno qualsiasi dei seguenti limiti di dose equivalente:
  - 150 mSv/anno di dose equivalente al cristallino
  - 500 mSv/anno di dose equivalente alla pelle
  - 500 mSv/anno di dose equivalente a mani, avambracci, piedi, caviglie

Il limite di dose efficace per i *lavoratori esposti di categoria A* è di 20 mSv in un anno solare. Per i *lavoratori esposti di categoria A* devono inoltre essere rispettati, in un anno solare, i seguenti limiti di dose equivalente:

- a) 150 mSv per il cristallino;
- b) 500 mSv per la pelle; tale limite si applica alla dose media, su qualsiasi superficie di  $1 \text{ cm}^2$  indipendentemente dalla superficie esposta;
- c) 500 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie.

I lavoratori esposti non classificati in Categoria A sono classificati in Categoria B.

- 2) Sono considerati lavoratori non esposti i soggetti sottoposti, in ragione dell'attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, ad una esposizione che non sia suscettibile di superare uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico:
- 1 mSv/anno di dose efficace;
  - 15 mSv/anno di dose equivalente al cristallino;
  - 50 mSv/anno di dose equivalente alla pelle;

### 5.3 - Le fasi operative del progetto SPES

A fini cautelativi, per avere modo di testare il funzionamento dell'insieme dei dispositivi che concorrono alla produzione ed al trasporto di fasci di ioni radioattivi e il funzionamento degli impianti ausiliari, nelle prime fasi di accensione dell'apparato si prevede di utilizzare bersagli non fissili e fasci di protoni a bassa intensità. Di conseguenza le operazioni seguiranno il seguente programma articolato in diversi step:

- **STEP 1**

La prima fase di funzionamento dell'apparato prevede l'utilizzo di bersagli in carburo di silicio e l'impiego di un fascio protonico avente energia di 40MeV e intensità di 34 $\mu$ A;

- **STEP 2**

La seconda fase di funzionamento dell'apparato prevede l'utilizzo di bersagli in carburo di uranio e l'impiego di un fascio protonico avente energia di 40MeV e intensità di 34 $\mu$ A;

- **STEP 3**

L'ultima fase di funzionamento dell'apparato prevede l'utilizzo di bersagli in carburo di uranio e l'impiego di un fascio protonico avente energia di 40MeV e intensità di 200 $\mu$ A;

In tutte le fasi di funzionamento verranno effettuati 10 irraggiamenti per anno. Ciascun periodo di irraggiamento dura 15 giorni ed è seguito da un periodo di tempo di 15 giorni ("cooling time") prima dell'inizio del successivo irraggiamento.

### 5.4 - Rischi radio-protezionistici nel locale A6

Nel locale A6 avviene l'irraggiamento della camera target mediante il fascio di protoni, proveniente dal ciclotrone, e l'estrazione del fascio RIB verso le sale di post-accelerazione e sperimentali. A causa dell'attivazione del target e dei materiali del Front-End, durante l'irraggiamento e per un certo periodo di tempo dopo il fermo del fascio, la radioattività ambientale di tale sala supera i limiti di legge compatibili con la presenza di personale. A causa degli elevati stress termici e del danneggiamento da radiazioni, la camera target va rimossa dal Front-End dopo ogni ciclo di funzionamento e portata in un deposito temporaneo fino a che la sua attivazione residua non ne consenta lo smaltimento in una cella calda. L'operazione di rimozione va effettuata 15 giorni dopo lo spegnimento del fascio, nelle condizioni di massimo raffreddamento del Front-End.

Per schermare il bunker dall'ambiente esterno e ridurre il rischio di contaminazione radioattiva si sono adottate due strategie:

- isolamento schermante in cemento armato;
- elevato livello di depressione atmosferica rispetto a tutti gli altri locali confinanti. In questo modo in caso di perdite il flusso di aria fluisce dalla zona a minore contaminazione alla zona a più elevata contaminazione. Per realizzare tale condizione, le porte e ogni ulteriore accesso per cavi di servizio e utenze sono a tenuta stagna.

Nel paragrafo successivo vengono discusse le strategie da adottare durante le operazioni di rimozione della camera target.

#### 5.4.1 - Simulazione radioattività locale A6 e calcolo delle schermature

Per valutare la radioattività presente nel bunker e progettare le schermature necessarie a proteggere l'operatore durante le operazioni di rimozione della camera, è stato utilizzato il codice Monte Carlo FLUKA [18], che consente di simulare il trasporto e l'interazione di particelle elementari con la materia e di descrivere in modo accurato la produzione di frammenti radioattivi in bersagli pesanti.

Con Fluka sono state simulate la sorgente di protoni e le principali strutture geometriche del Front-End e della camera target.

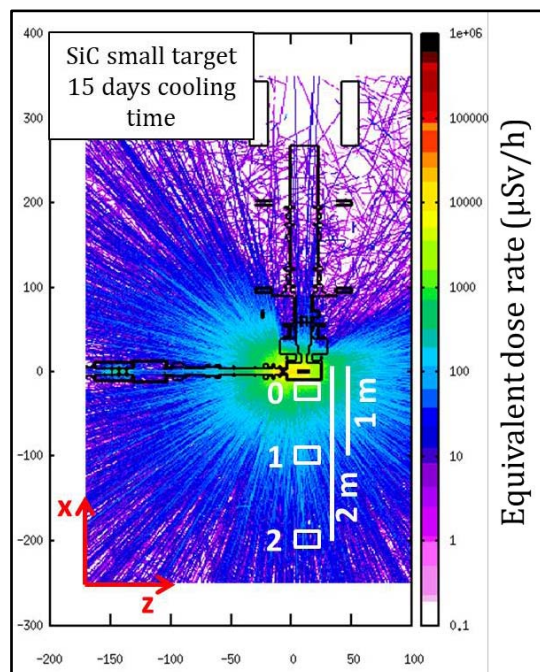
La camera target è modellizzata come un involucro cilindrico di alluminio spesso 1 cm, all'interno del quale è posto il bersaglio in carburo di silicio o di uranio a seconda della fase di operazione relativa allo STEP 1 o 2 (si veda paragrafo 5.3).

È stata poi condotta una simulazione tempo-variante ai fini di calcolare il rateo equivalente di dose ambientale  $H^*(10)$  in funzione del tempo di cooling [19]. Il rateo di  $H^*(10)$  è stato calcolato in particolare nei punti di accesso del personale durante le operazioni di sostituzione della camera previste nelle prime due fasi operative di SPES con fascio primario a bassa intensità.

A tal fine si sono individuate diverse posizioni dell'operatore rispetto la camera target: a contatto e ad una distanza di 1m e 2m. In tali posizioni sono stati collocati dei fantocci di aria aventi forma di parallelepipedo e dimensioni  $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$ .

#### STEP 1

In Figura 5.2 è rappresentato il modello FLUKA del Front-End, comprensivo di camera target con bersaglio in carburo di silicio, e una mappa orizzontale del rateo di  $H^*(10)$ . Dai risultati delle simulazioni emerge che il contributo rilevante dal punto di vista del livello di radiazione si deve alla camera target.



**Figura 5.2** Modello Fluka del Front End complessivo di camera target. In figura è rappresentata la mappa orizzontale del rateo di  $H^*(10)$  e le diverse posizioni dell'operatore (schematizzate con un fantoccio a forma di parallelepipedo) a contatto, 1 m e 2m dalla camera target [19].

In Figura 5.3 e Figura 5.4 è rappresentato l'andamento nel tempo del rateo di  $H^*(10)$ , calcolato per diverse distanze tra operatore e camera target durante il *cooling time*.

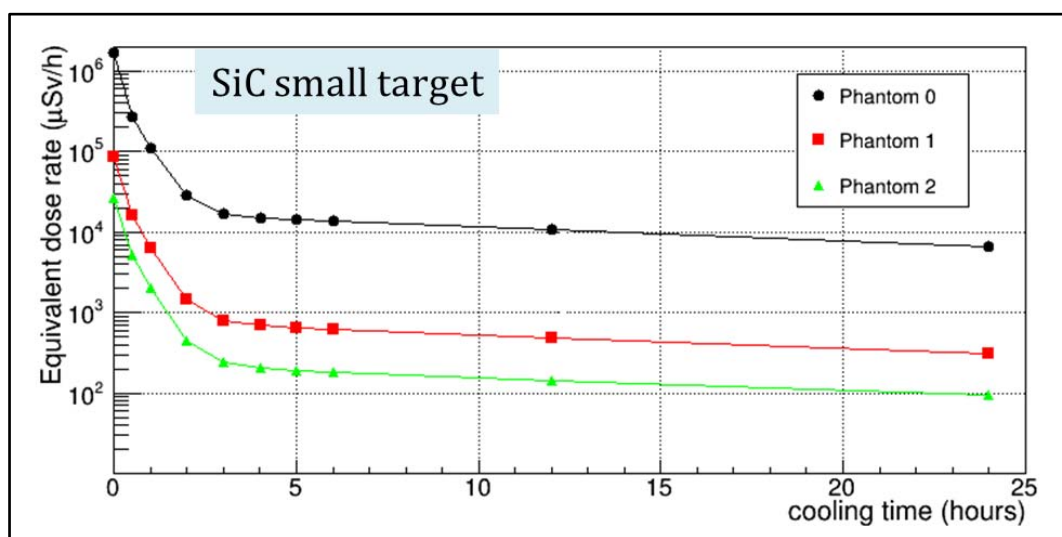


Figura 5.3 Andamento temporale del rateo di  $H^*(10)$  nel primo giorno di *cooling time* [19].

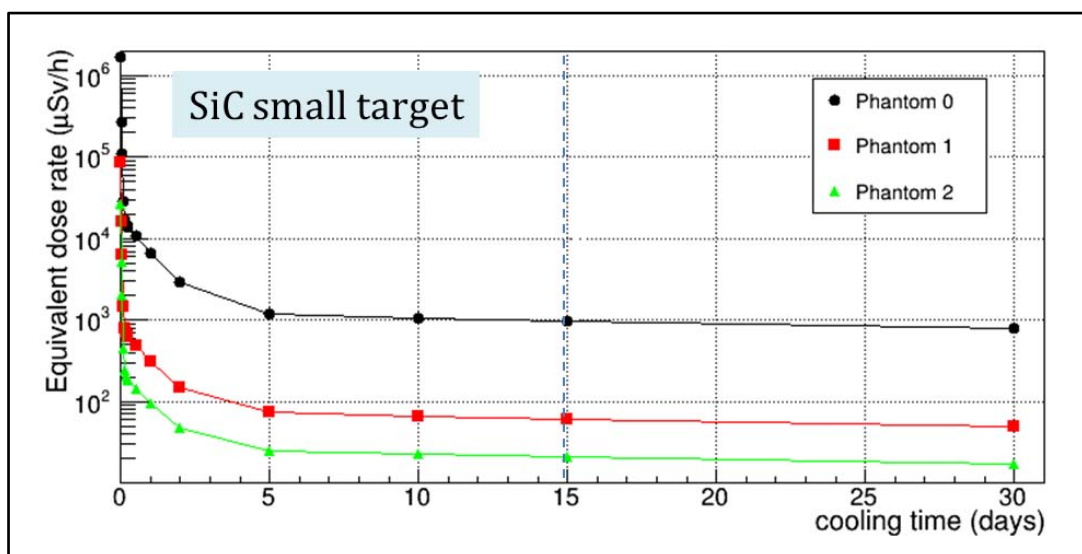


Figura 5.4 Andamento temporale del rateo di  $H^*(10)$  durante un periodo di *cooling time* pari a 30 giorni [19].

Dai grafici si evince che:

- dopo 15 giorni, le dosi calano di oltre un fattore 1000;
- le dosi a 2 m di distanza a 15 giorni sono inferiori a  $25 \mu\text{Sv/h}$ ;
- non è possibile estrarre manualmente la camera poiché anche dopo 15 giorni le dosi a contatto sono superiori a  $900 \mu\text{Sv/h}$  e diminuiscono lentamente;

Alla luce di quanto detto, la macchina di emergenza è stata progettata in modo da garantire una distanza di circa 2m tra operatore e camera target. In questa condizione non si prevede la necessità di installare sulla macchina una schermatura di piombo.

## STEP 2

In Figura 5.5 è rappresentato l'andamento temporale del rateo di  $H^*(10)$  durante il *cooling* in assenza di schermatura e considerando il solo contributo della camera target con bersagli in carburo di uranio.

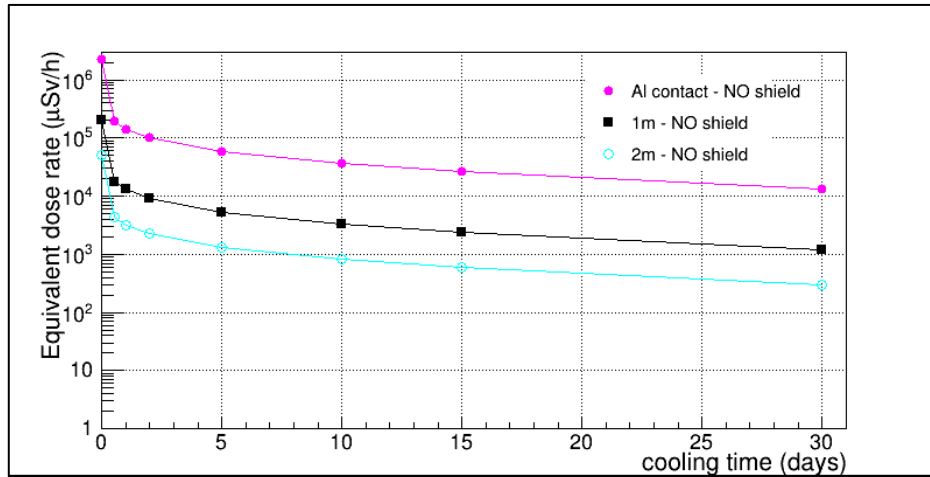


Figura 5.5 Andamento temporale del rateo di  $H^*(10)$  durante un periodo di *radioactive cooling time* pari a 30 giorni nel caso di bersagli in carburo di uranio e in assenza di schermatura [19].

L'elevato livello di radiazione che permane nel locale A6 durante il periodo di *radioactive cooling* determina la necessità di utilizzare una schermatura di piombo nella macchina di emergenza. Le simulazioni che seguono sono state condotte considerando la schermatura rappresentata in Figura 5.6 nella quale si riportano le principali quote.

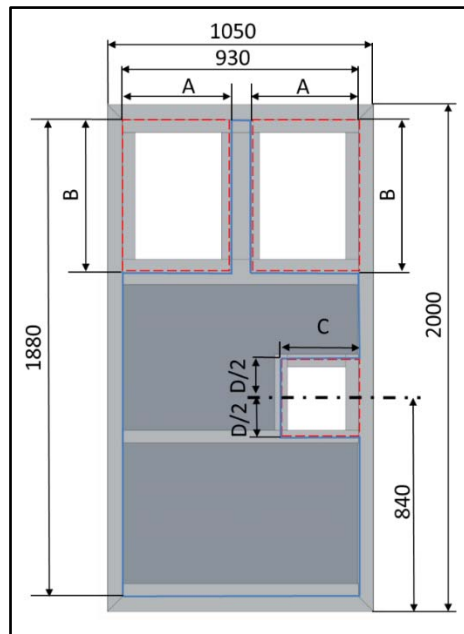


Figura 5.6 Parametri dimensionali schermatura. L'area delimitata in blu è occupata da una serie di lastre di piombo sovrapposte, l'area delimitata in rosso è occupata da vetro piombato. La cornice esterna è ottenuta per mezzo di tubi quadri aventi lato 60mm e spessore 5mm.

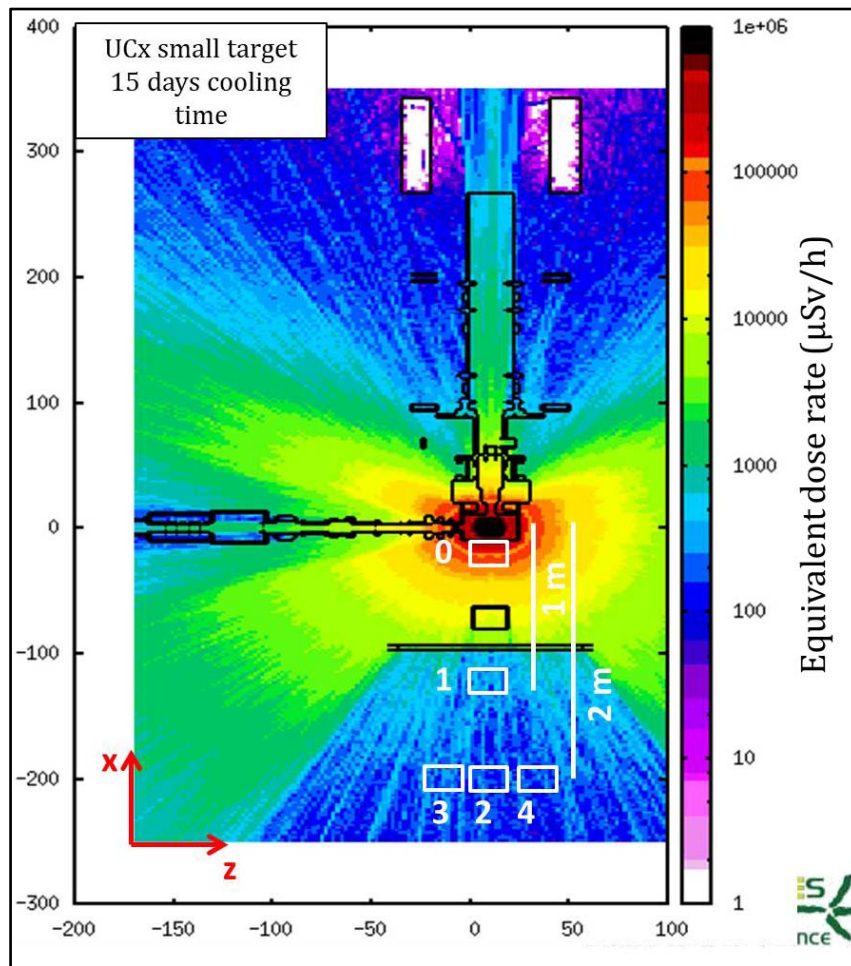
In Tabella 5.5 si sono individuate quattro combinazioni di parametri oggetto di analisi:

- nella configurazione 1 la schermatura è provvista di uno strato di piombo di 30mm e uno strato di vetro piombato di 40mm;
- nella configurazione 2 la schermatura è provvista di uno strato di piombo di 30 mm e uno strato di vetro piombato di 60mm;

Configurazione		A	B	C	D/2
1	a	410	595	350	175
	d	300	400	300	150
2	a	410	595	350	175
	d	300	400	300	150

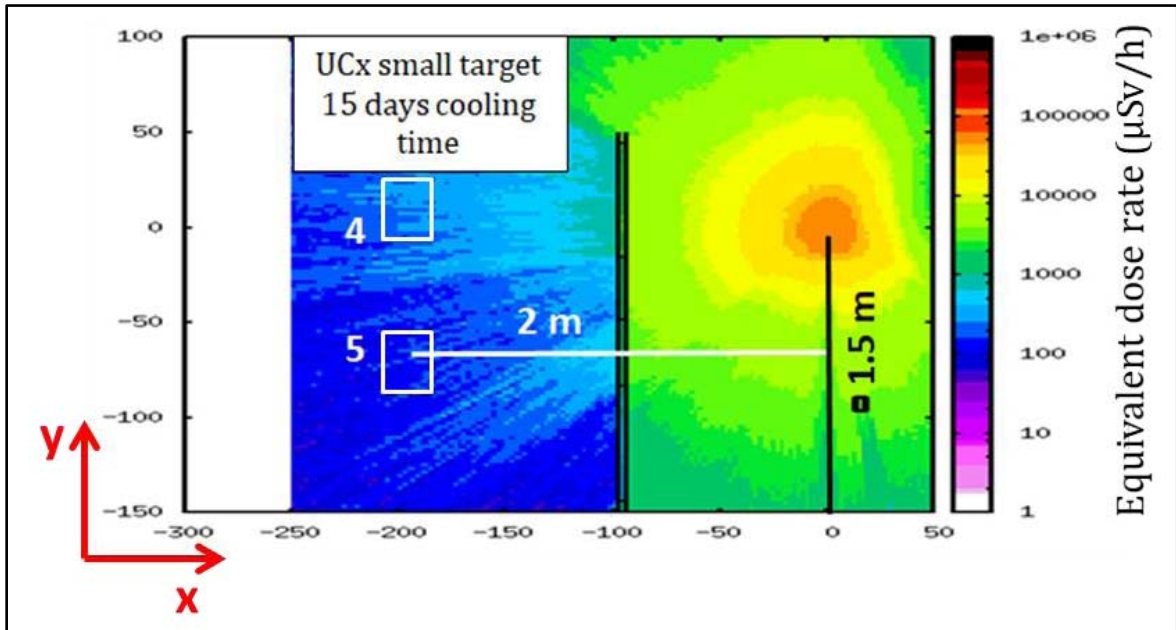
**Tabella 5.5** Parametri dimensionali delle configurazioni oggetto di studio.

In Figura 5.7 e Figura 5.8 sono rappresentate due diverse distribuzioni spaziali del rateo di  $H^*(10)$  sovrapposte al modello FLUKA del Front-End, comprensivo di camera target con bersagli in carburo di uranio, e della schermatura in piombo nella configurazione 1a (la più cautelativa).



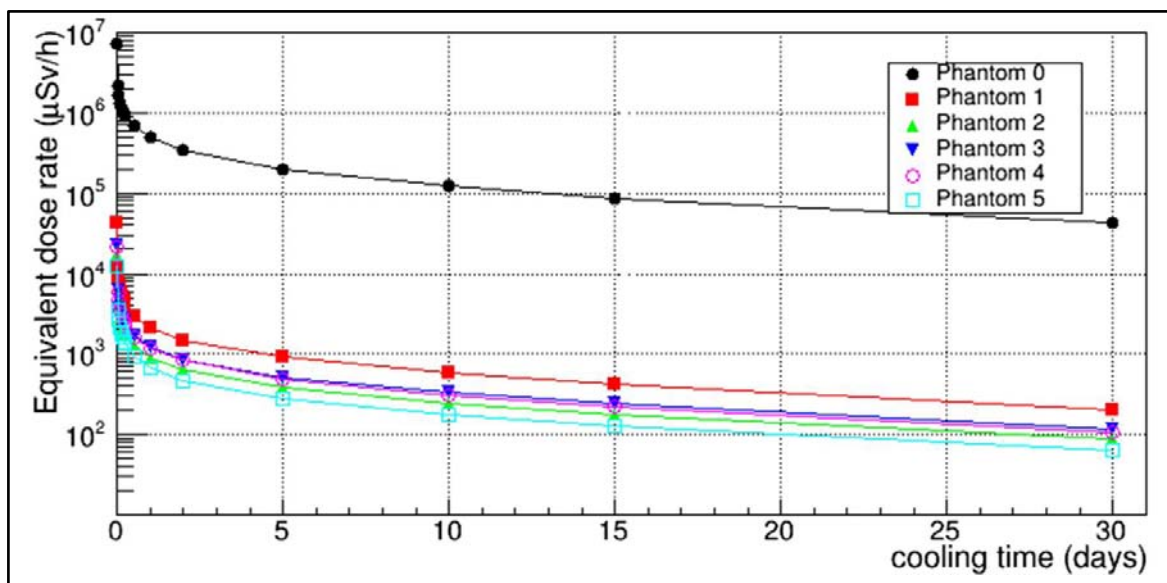
**Figura 5.7** Modello Fluka di Front End (complessivo di camera target), tubo di ferro (rettangolo nero) e schermatura in piombo (configurazione 1a). In figura è rappresentata una vista orizzontale della distribuzione del rateo di dose  $H^*(10)$  e le diverse posizioni dell'operatore (schematizzate con un fantoccio a forma di parallelepipedo) a contatto, 1 m e 2 m dalla camera target [19].





**Figura 5.8** Modello Fluka di Front End (complessivo di camera target) e schermatura in piombo (configurazione 1a). In figura è rappresentata una vista verticale della distribuzione del rateo di  $H^*(10)$  dose equivalente e le diverse posizioni dell'operatore (schematizzate con un fantoccio a forma di parallelepipedo) a 2m dalla camera target [19].

In Figura 5.9 è rappresentato l'andamento temporale del rateo di  $H^*(10)$  durante il radioactive cooling, calcolato per diverse distanze tra operatore schermato e camera target.



**Figura 5.9** Andamento temporale del rateo di  $H^*(10)$  dopo 30 giorni di radiocative cooling nel caso di bersagli in carburo di uranio e in presenza di schermatura di piombo (configurazione 1a) [19].

Nel caso 2d (massimo spessore degli strati di piombo e vetro piombato, minima estensione delle finestre) i valori decrescono fino al 15-35% rispetto al caso 1a e il rateo di dose non supera mai 150  $\mu\text{Sv/h}$  (Tabella 5.6). Di conseguenza la configurazione 2d è candidata per essere realizzata e montata sulla macchina di emergenza.

Configurazione \ Posizione fantoccio	Posizione fantoccio					
	0	1	2	3	4	5
1a	$8.6 \times 10^4$	$4.3 \times 10^2$	$1.8 \times 10^2$	$2.4 \times 10^2$	$2.2 \times 10^2$	$1.4 \times 10^2$
1d	$8.6 \times 10^4$	$3.0 \times 10^2$	$1.4 \times 10^2$	$1.7 \times 10^2$	$1.6 \times 10^2$	$1.4 \times 10^2$
2a	$8.6 \times 10^4$	$2.8 \times 10^2$	$1.4 \times 10^2$	$1.8 \times 10^2$	$1.6 \times 10^2$	$1.3 \times 10^2$
2d	$8.6 \times 10^4$	$2.9 \times 10^2$	$1.4 \times 10^2$	$1.5 \times 10^2$	$1.5 \times 10^2$	$1.2 \times 10^2$

**Tabella 5.6** Rateo di  $H^*(10)$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ), calcolato dopo 15 giorni di radioactive cooling, per diverse posizioni del fantoccio e per diverse configurazioni della schermatura di piombo [19].

#### 5.4.2 - Indumenti di protezione da sostanze radioattive

Il personale autorizzato può accedere al locale A6 solamente nel caso in cui il fascio sia spento e la dose di radiazioni non superi i limiti previsti dalla legge per l'intervento umano. Nel locale A6 si presentano due tipologie di pericolo:

- Pericolo derivante da esposizione esterna a radiazioni ionizzanti, in particolare radiazioni  $\gamma$ ;
- Pericolo derivante da contaminazione interna da particelle radioattive, quali polveri contaminate.

Per limitare l'esposizione a radiazioni ionizzanti vengono utilizzati indumenti speciali che contengono materiali a base di piombo o polietilene ad elevata densità. Il vestiario consta di tuta con cappuccio, guanti protettivi, stivali. Per eliminare il pericolo di inalazione di polveri radioattive vengono impiegati opportuni respiratori. L'operatore è munito di dosimetro per misurare la dose ricevuta durante la permanenza nel locale.



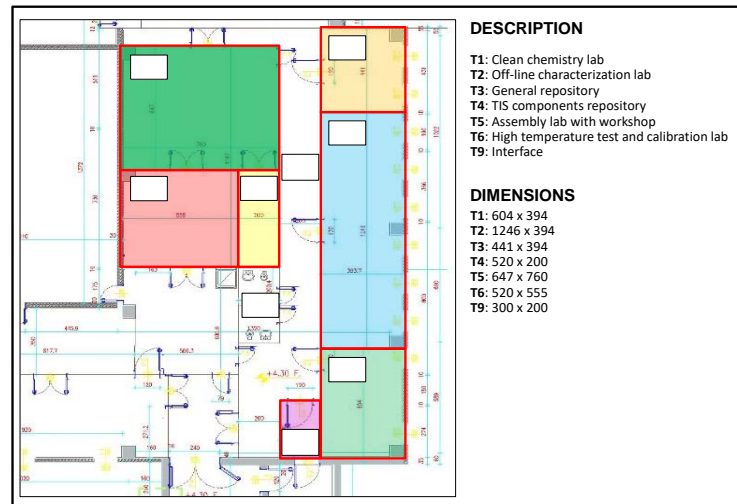
**Figura 5.10** Vestiario operatore qualificato a condurre operazioni in ambiente radioattivo.

## 5.5 - Il ciclo di vita della camera target

In questa sede viene descritto il ciclo di vita della camera target, dall'assemblaggio all'inserimento nel Front End e dallo stoccaggio nel temporary storage al successivo trasporto nella hot-cell. Si possono individuare quattro fasi all'interno del ciclo di vita della camera target:

- *Assemblaggio dell'unità TIS*

Nel laboratorio T5 (*Assembly lab with workshop*), situato in superficie, (Figura 5.11) si conducono le attività di controllo-qualità e di pulizia dei diversi componenti costituenti la camera target (stoccati nel laboratorio T4) e l'attività di assemblaggio dell'unità TIS [20]. Successivamente nel laboratorio T6 (*High temperature test and calibration lab*) l'unità TIS viene sottoposta a test di collaudo condotti ad elevata temperatura e in condizione di vuoto spinto. Verificata il corretto funzionamento, l'unità TIS viene trasferita nel locale PB1 (*Changing room*) (Figura 5.12) adibito a spogliatoio e al controllo del livello di contaminazione del personale operante nei laboratori PB2, PB3 e PB4. In seguito, l'unità TIS viene portata nel laboratorio PB3 (*Production Lab*) dove avviene l'inserimento dei bersagli in carburo di silicio o uranio (prodotti nello stesso laboratorio) all'interno dell'unità. Terminato l'assemblaggio la camera target rimane stoccata nel laboratorio PB3 in attesa di essere utilizzata.



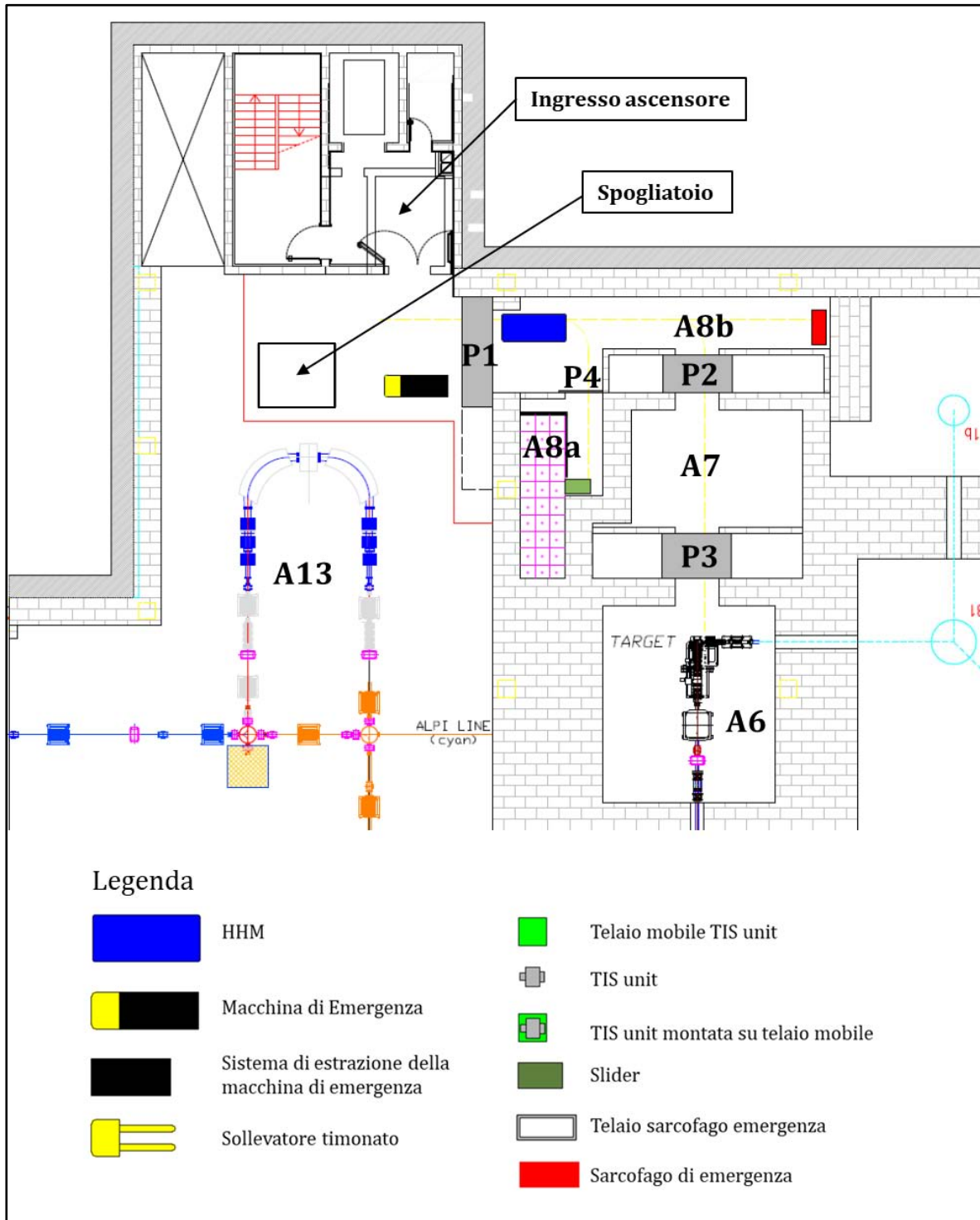
**Figura 5.11** Laboratori, siti in superficie, in cui avvengono le attività di controllo-qualità, assemblaggio e collaudo dell'unità TIS [20].



**Figura 5.12** Laboratori in cui avvengono la produzione dei bersagli in carburo di silicio/uranio, la fase finale di assemblaggio dell'unità TIS e l'ispezione delle camere esauste [20].

- *Trasporto dell'unità TIS nel locale A6*

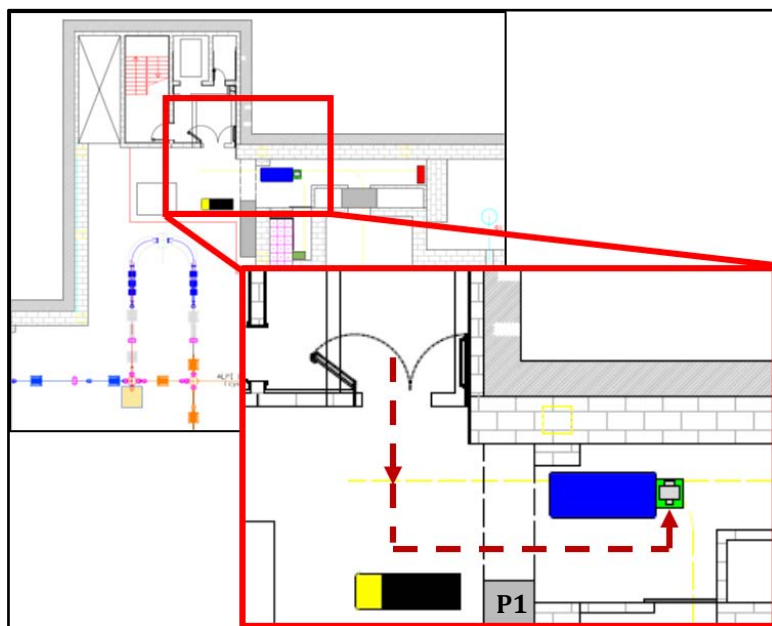
In Figura 5.13 sono indicati i locali destinati alla produzione degli ioni esotici, alla movimentazione e allo stoccaggio temporaneo della camera target. Le posizioni di HHM e della macchina di emergenza, riportate in Figura 5.13, sono da considerarsi di riposo.



**Figura 5.13** *Pianta della zona di produzione, movimentazione e stoccaggio del progetto SPES. Le posizioni di HHM e della macchina di emergenza occupate in figura sono da ritenersi di riposo.*

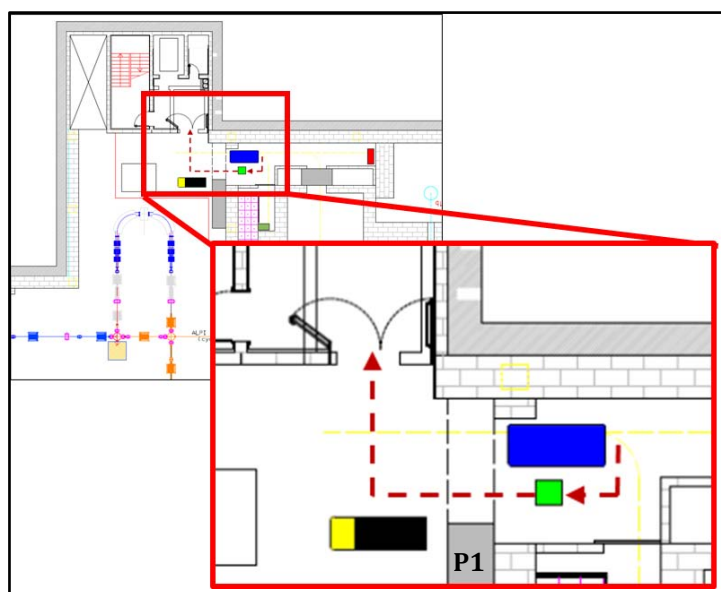
Nel caso si richieda l'utilizzo di una nuova unità TIS, essa viene trasferita dal locale PB3 al locale TZ (*Transport zone*) (Figura 5.12), adibito a zona di trasporto, mediante un telaio mobile provvisto di ruote orientabili. Il telaio, avente altezza di circa 1400mm, presenta sulla sommità una tavola dotata di perni di centraggio per consentire il corretto posizionamento e bloccaggio della camera target.

Utilizzando l'ascensore per il trasporto del personale, la camera target (bloccata sul telaio mobile) viene trasportata dai laboratori siti in superficie all'ingresso del locale A8b previa apertura della porta P1 (Figura 5.14).



**Figura 5.14** Allineamento e centraggio del telaio della camera target rispetto organo di presa di HHM.

Il telaio mobile viene allineato e centrato rispetto l'organo di presa del cartesiano di HHM mediante un sistema di centraggio (battute meccaniche) installato sul telaio stesso (Figura 5.14).



**Figura 5.15** Trasporto telaio scarico verso l'ingresso dell'ascensore.

Per mezzo del manipolatore cartesiano, HHM procede al prelievo della camera target e al successivo inserimento nel sarcofago di sicurezza montato sulla macchina stessa. Il telaio scarico viene riportato nei laboratori in superficie utilizzando l'ascensore del personale (Figura 5.15).

A questo punto HHM può eseguire l'inserimento della camera target sulla tavola di ammaraggio del Front-End. La HHM percorre tutto il locale A8b per entrare successivamente nel locale A7 previa apertura della porta P2 (Figura 5.16).

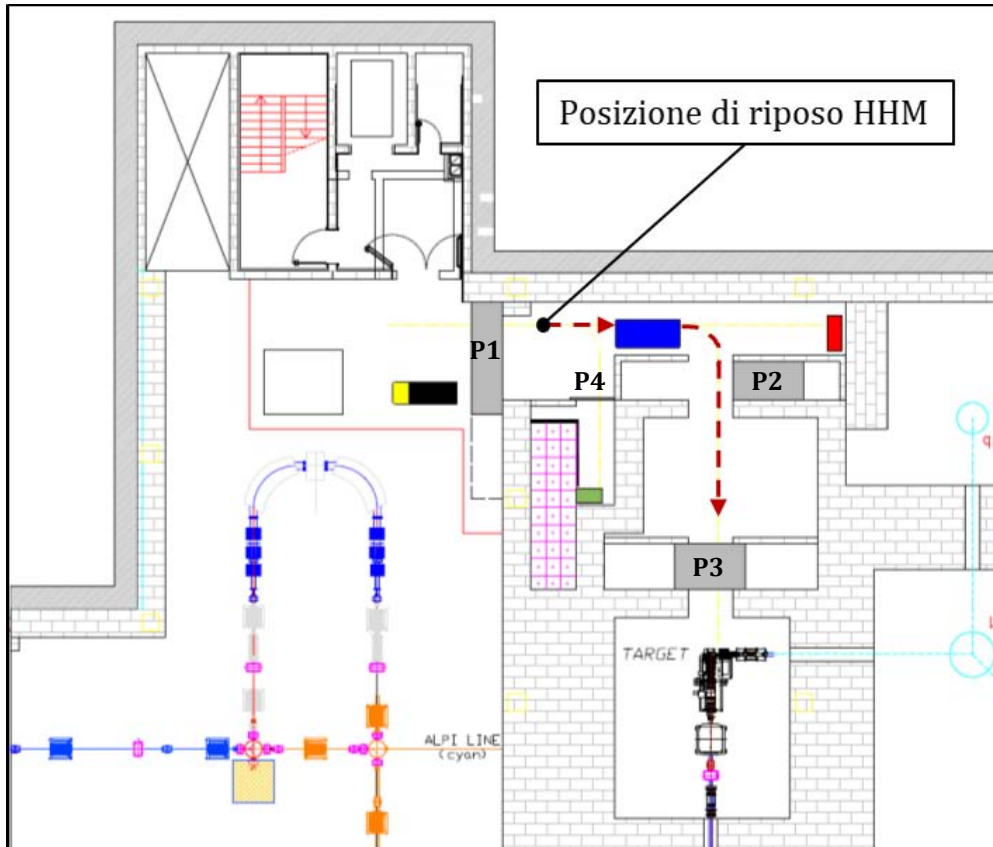


Figura 5.16 Entrata di HHM nel locale A7.

Aperta la porta P3, HHM accede al locale A6 ed esegue l'operazione di inserimento della camera target. Il cartesiano di HHM preleva la camera target dal sarcofago di sicurezza e la posiziona sulla coupling table del Front-End, in corrispondenza del punto di deposito/prelievo.

Successivamente avviene l'accoppiamento della camera target ai canali radioattivo e protonico per mezzo dei sistemi di movimentazione installati sul Front-End.

Una volta accoppiata la camera target ai canali radioattivo e protonico, HHM ripercorre a ritroso gli ambienti percorsi all'andata per poter raggiungere nuovamente la posizione di riposo. Le porte si aprono e si richiudono al suo passaggio.

- *Stoccaggio unità TIS nel locale A8a*

La camera target viene irradiata per 15 giorni al termine dei quali segue un periodo di radioactive cooling anch'esso di 15 giorni. A questo punto avviene l'estrazione della camera target esausta per mezzo di HHM: la camera target disaccoppiata viene prelevata dal cartesiano di HHM e riposta all'interno del sarcofago di sicurezza.

Successivamente HHM lascia il locale A6 e si dirige presso il locale A8a per eseguire lo stoccaggio della camera target esausta nel temporary storage.

Previo apertura della porta P4, HHM entra nel locale A8a (Figura 5.17) ed esegue l'allineamento e centraggio rispetto il supporto del braccio telescopico (slider) [10].

Successivamente HHM, tramite il suo manipolatore, rimuove la TIS unit dal sarcofago schermante e la deposita sul supporto del braccio telescopico. Il manipolatore cartesiano preleva la TIS unit dal braccio telescopico e la deposita all'interno della rastrelliera di stoccaggio.

Terminata l'operazione di stoccaggio la macchina di movimentazione esce dal locale A8a e raggiunge il suo parcheggio. Si chiude infine la porta di accesso al locale A8a.

Può avvenire ora l'inserimento di una nuova camera seguendo la procedura descritta nel punto precedente.

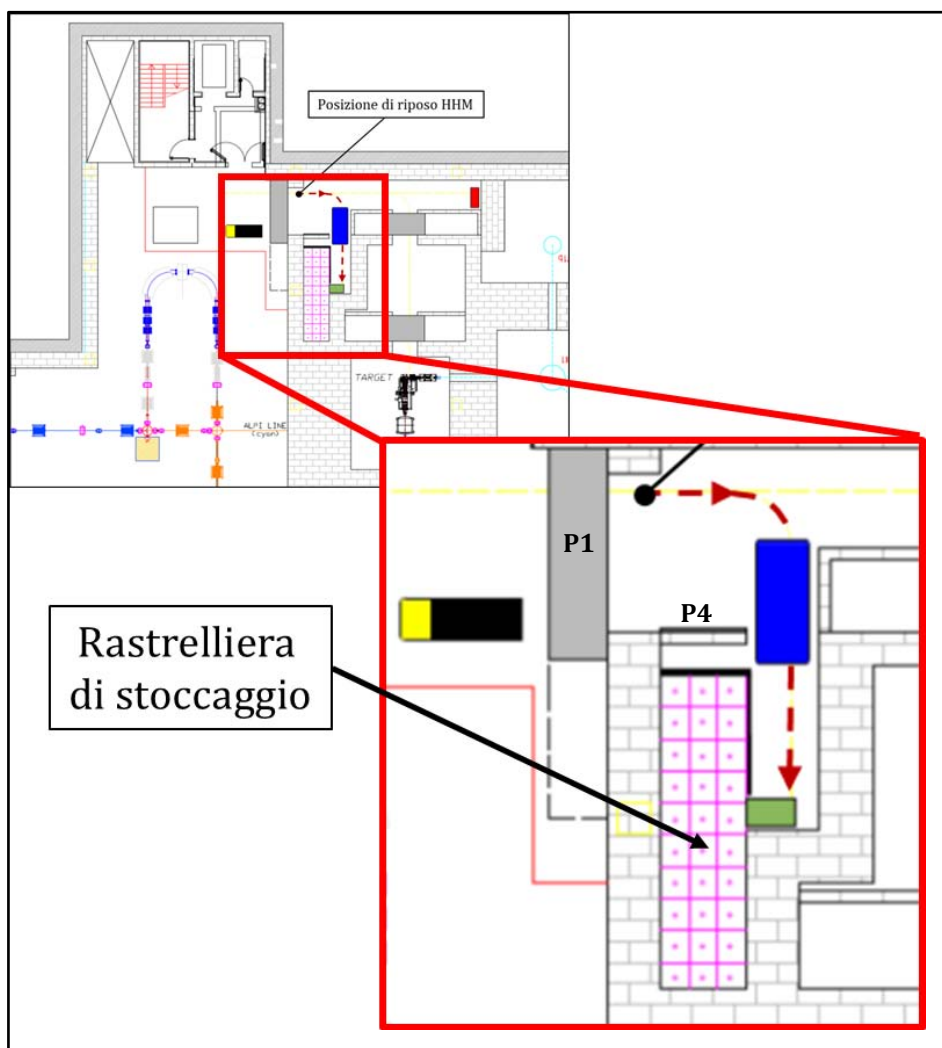
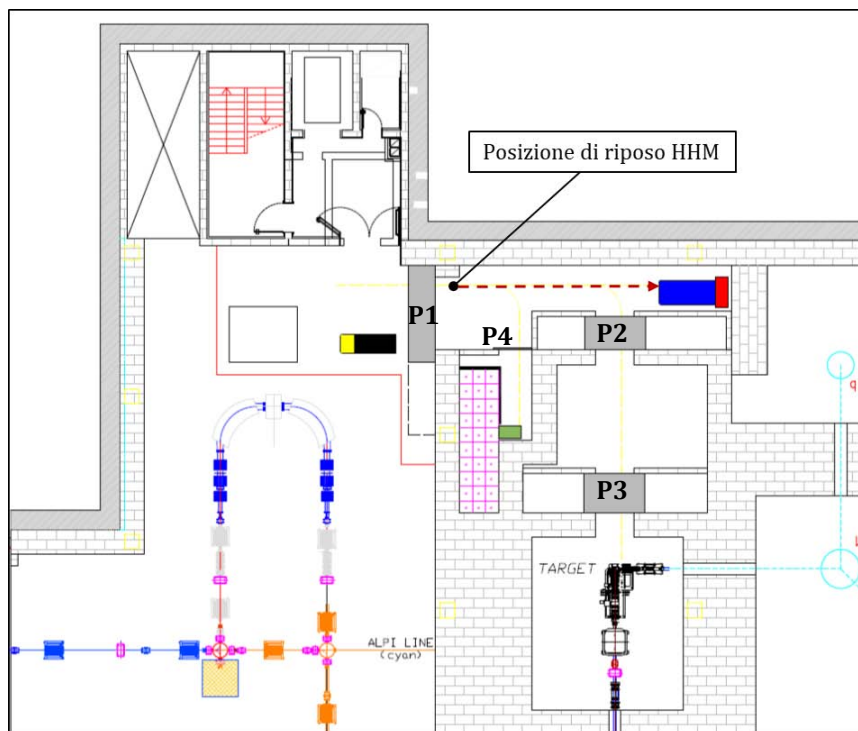


Figura 5.17 Entrata di HHM nel locale A8a.

- *Trasporto camera target esausta nel laboratorio PB4*

Dopo un certo numero di anni, le camere target vengono estratte dal temporary storage e portate nel laboratorio PB4 (*Hot cell lab*) per essere ispezionate e preparate allo smaltimento. Lasciata la posizione di riposo, HHM entra all'interno del locale A8a e preleva la camera dal supporto del braccio telescopico. Alla fine del corridoio A8b è collocato un sarcofago di emergenza in piombo, posto su un telaio alto circa 1400mm. Il sarcofago, con chiusura automatica o manuale del coperchio, è dotato di ruote proprie, di opportuni fori per forche e di un manico ripieghevole per il trasporto a terra.

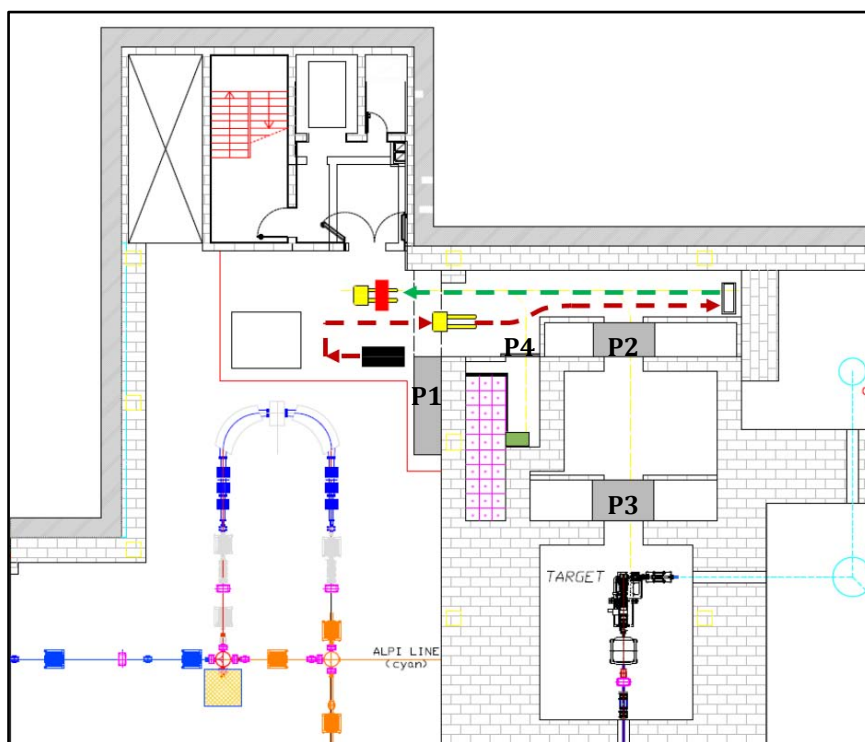
Posizionatasi dinanzi al sarcofago, HHM ripone in esso la camera target (Figura 5.18).



**Figura 5.18** Posizionamento HHM per inserimento della camera target nel sarcofago di emergenza.

Nella posizione di riposo della macchina di emergenza, agendo sul sistema di aggancio/sgancio rapido, il sollevatore timonato viene disaccoppiato dal sistema di estrazione. Per consentirne il transito nel locale A8b, HHM entra all'interno del locale A8a (Figura 5.19).

Lasciata la posizione di riposo, il sollevatore timonato viene utilizzato per portare a terra il sarcofago di emergenza e trasportarlo all'ingresso dell'ascensore del personale (Figura 5.19).

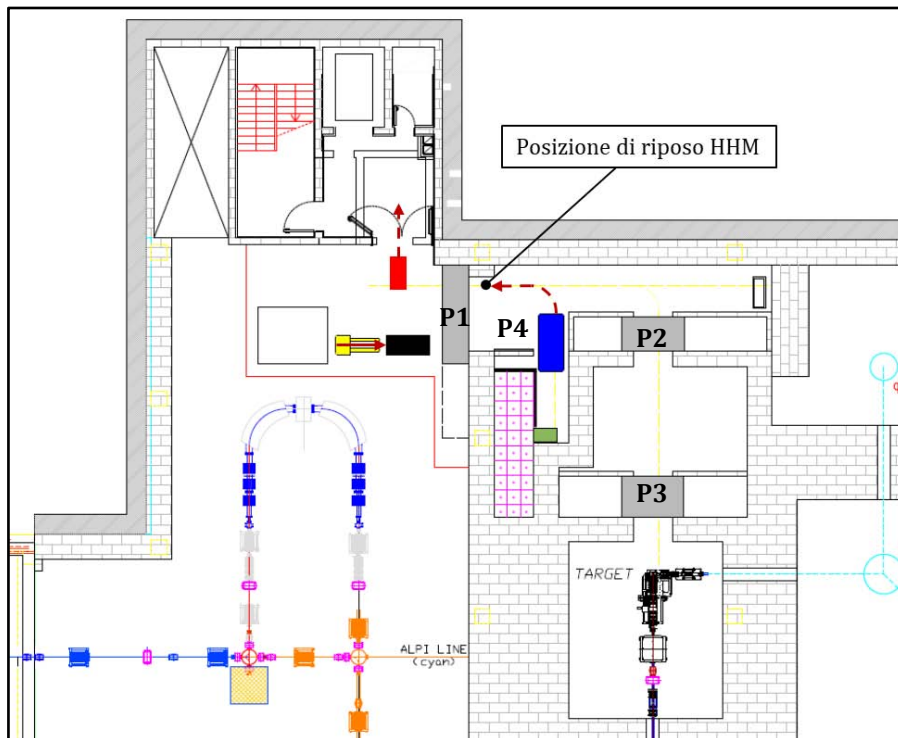


**Figura 5.19** Trasporto sarcofago di emergenza mediante sollevatore timonato.



Infine, il sarcofago, dotato di ruote, viene spinto grazie al manico ripieghevole all'ingresso dell'ascensore del personale (Figura 5.20). Raggiunto il piano terra, il sarcofago viene portato nel laboratorio PB4 dove è presente la hot-cell (Figura 5.12).

Alla fine delle operazioni HHM ritorna nella sua posizione di riposo e il sollevatore timonato viene accoppiato nuovamente al sistema di estrazione di emergenza.



**Figura 5.20** *Movimentazione sarcofago di sicurezza presso ingresso ascensore e ripristino delle posizioni iniziali di HHM e sollevatore timonato.*

Per quanto riguarda la macchina di emergenza essa è in grado di svolgere le stesse operazioni di HHM. In caso di necessità essa provvederà a stoccare la camera target esausta/danneggiata direttamente nel sarcofago di emergenza.

## 5.6 - Conclusioni

Nella prima parte di questo capitolo si sono presentati i principali argomenti di radioprotezione necessari per interpretare i risultati delle simulazioni riportati nel Paragrafo 5.4. L'analisi di questi dati ha portato alle seguenti considerazioni:

- nel caso di TIS unit con bersagli in carburo di silicio, è stato possibile definire una distanza minima di sicurezza tra operatore e camera target pari a 2 m. Tale parametro ha influenzato l'ingombro longitudinale della macchina di emergenza;
- nel caso di TIS unit con bersagli in carburo di uranio, si è vista la necessità di munire la macchina di emergenza di una schermatura di piombo. Inoltre, è stato possibile definire le dimensioni dello schermo e gli spessori più congrui di piombo e vetro piombato.

Infine, è stata presentato il ciclo di vita della camera target descrivendo l'assemblaggio e l'inserimento della TIS unit nel Front-End, lo stoccaggio nel temporary storage e il trasporto finale delle camere esauste nella hot-cell.



# Conclusioni

Nel lavoro di tesi esposto è stata progettata e realizzata una macchina di emergenza per l'estrazione orizzontale del bersaglio di produzione del progetto SPES ai laboratori nazionali di Legnaro. Per prima cosa è stato introdotto il progetto SPES parlando della produzione di fasci di ioni esotici. In seguito, è stato analizzato il layout generale delle infrastrutture e degli apparati di movimentazione già esistenti. Particolare attenzione è stata posta sul locale A6, luogo in cui avvengono le operazioni di estrazione e inserimento della camera target. Successivamente si sono esposti i vari sistemi di movimentazione e stoccaggio della camera target.

Analizzati i possibili guasti di HHM, si sono illustrati i motivi che hanno spinto a dotarsi di una macchina di emergenza completamente manuale in grado di eseguire le stesse operazioni della macchina principale.

Obiettivo di progettazione è stato quello di realizzare una macchina in grado di eseguire in modo ripetibile operazioni di estrazione ed inserimento della camera target con una precisione di  $\pm 7\text{mm}$  raggiungibile grazie all'utilizzo di un modulo compensatore.

La macchina progettata consta di due elementi separati: il sistema di estrazione e il transpallet. Il sistema di estrazione è dotato di 2GDL ed è costituito da tutti gli elementi necessari a muovere nello spazio l'organo di presa. Il transpallet costituisce il mezzo di trasporto del sistema di estrazione. Il loro accoppiamento e disaccoppiamento avviene grazie ad un sistema di aggancio/sgancio rapido.

Per eseguire le operazioni di inserimento ed estrazione della camera target in modo ripetibile è stato progettato un sistema di allineamento e centraggio della macchina di emergenza.

Gli ingombri della macchina sono stati definiti analizzando i vincoli spaziali, dettati dalle dimensioni di locali e corridoi da attraversare, e da vincoli radioprotezionistici.

Essendo una macchina completamente manuale si devono adottare delle precauzioni al fine di tutelare l'incolumità dell'operatore. Il suo utilizzo è limitato solamente a quei casi in cui il livello di radioattività, presente nei locali, risulta inferiore ad una soglia limite prevista da normativa.

Per valutare la radioattività presente nel bunker e progettare le schermature necessarie a proteggere l'operatore durante le operazioni di rimozione della camera, è stato utilizzato il codice Monte Carlo FLUKA, che consente di simulare il trasporto e l'interazione di particelle elementari con la materia e di descrivere in modo accurato la produzione di frammenti radioattivi in bersagli pesanti.

Analizzando i risultati delle simulazioni condotte nel caso di TIS unit con bersaglio in carburo di silicio è stato possibile definire una distanza di sicurezza che l'operatore deve mantenere dalla camera target. Nel caso di TIS unit con bersaglio in carburo di uranio si è visto che la distanza di sicurezza individuata non è sufficiente a garantire l'incolumità dell'operatore e che la macchina di emergenza deve essere provvista di una schermatura in piombo.

Ultimata la progettazione dell'intera macchina, nell'officina dei LNL si sono realizzati i componenti strutturali mentre i componenti standard sono stati acquistati. Successivamente è stato possibile assemblare l'intera macchina.

Infine, si sono condotti dei test per valutare la ripetibilità delle operazioni di inserimento ed estrazione della camera target.

Dall'elaborazione dati si è verificato che la macchina progettata soddisfa le necessità di progetto, in termini di precisione e di ripetibilità.

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri, nel breve periodo si prevede di acquistare un transpallet elettrico, di realizzare il sistema di aggancio/sgancio rapido e l'impianto pneumatico dell'organo di presa. La schermatura verrà realizzata quando inizieranno le prove sui bersagli in carburo di uranio (STEP 2).

# Appendice A

## Datasheet mezzo di trasporto e componenti standard

Verranno di seguito riportati i datasheet relativi al mezzo di trasporto e ai vari componenti standard utilizzati nella progettazione e realizzazione della macchina di emergenza.

## A.1 - Sollevatore semovente



### TNBEX 12/16 Sollevatore semovente alzata mm 1.600 , con pedana

Portata Kg 1.200  
Elevazione mm 1.600  
Movimentazione elettrica con controllo sul timone  
Cassone batteria Corazzata

#### Dettagli

			TNBEX 12/16
<b>CARATTERISTICHE</b>			
Portata nominale	Q	Kg	1.200
Baricentro	C	mm	600
Sistema Guida			accompagnamento
Pedana uomo a bordo richiudibile e braccetto			SI
<b>DIMENSIONI</b>			
Sollevamento	h3	mm	1.520
Alzata libera normale		mm	1.520
Lunghezza Forche	l	mm	1.150
Larghezza esterna forche	b5	mm	570
Larg. Forche x Spessore	e/s	mm	180/60
Lunghezza totale	l1	mm	1.889
Lunghezza Motrice	l2	mm	739
Larghezza	b1	mm	890
Ingombro minimo in altezza	h1	mm	1.976
Ingombro massimo in altezza	h4	mm	1.976
Raggio di volta	Wa	mm	1.280
Altezza manico MAX/min	h14	mm	1.320/940
Altezza minima forche	h13	mm	81
Corridoio di stivaggio pallet 800x1200	AST	mm	2.145
<b>PRESTAZIONI</b>			
Traslazione con carico/senza carico		Km/h	5.2/5.5
Velocità sollevamento carico/senza carico		mm/s	110/170

Velocità discesa carico/senza carico	y	mm/s	120/130
Pendenza superabile con carico/senza carico			6/12
<b>TELAIO</b>			
Ruote parte conducente/carico (M=motrice)		nr	2+1M/4
Ruote stabilizzatrici poliuretano		mm Ø	150x54
Ruota Motrice		mm Ø	252x89
Rulli anteriori Nylon		mm Ø	80x70
Passo	y	mm	1.278
Interasse ruote lato timone	b10	mm	650
Interasse rulli forche	b11	mm	390
<b>AZIONAMENTO</b>			
Motore Trazione s2 60min		Kw	1,3
Motore sollevamento s3 15%		Kw	2,2
Controllo Marce			Variatore elettronico
Batteria		V/Ah	24/210
<b>PESI</b>			
Peso a vuoto		Kg	810
Peso Batteria		Kg	185
<b>RADDRIZZATORE</b>			
Carica batteria		V-A	24-40

### Informazioni Aggiuntive

<b>GTIN/EAN</b>	8053853156204
<b>Peso Kg</b>	810.0000
<b>Portata Kg</b>	1200
<b>Colore</b>	ROSSO RAL 3000
<b>Paese di Produzione</b>	
<b>Garanzia</b>	1 Anno

CARMECCANICA S.r.l. - VIA F.LANA, 5 - 25015 FLERO (BS) - ITALY

P.IVA 03473840175

Tel +39 030.358.08.18 (r.a) Fax: +39 030.358.27.20

## A.2 - Transpallet elettrico

**CROWN**

# WP 3000 SERIE

### Specifiche tecniche

Transpallet con guida da terra







		Crown Equipment Corporation						
Informazioni generali	1.1	Produttore	Crown Equipment Corporation					
	1.2	Modello				WP 3015-1,6	WP 3020-2,0	
	1.3	Alimentazione	elettrico					
	1.4	Tipo di guida	con operatore a terra					
	1.5	Portata		Q	t	1,6	2,0	
	1.6	Baricentro del carico		c	mm	vedere tabella 1		
Pesi	1.8	Distanza del baricentro	sollevate	x	mm	vedere tabella 1		
	1.9	Interasse	sollevate	y	mm	vedere tabella 1		
	2.1	Peso	senza batteria		kg	vedere tabella 1		
	2.2	Carico sull'asse	carico, anteriore/posteriore		kg	vedere tabella 1		
	2.3		vuoto, anteriore/posteriore		kg	vedere tabella 1		
	Ruote	3.1	Tipo di ruote	Vulkolan + PU				
3.2		Ruote	davanti		mm	Ø 250 x 85		
3.3			dietro		mm	Ø 82 x 110		
3.4		Ruote supplementari	ruote pivotanti		mm	Ø 90 x 50		
3.5		Ruote	n° davanti e dietro (x=motrice)			1x + 2/2		
3.6		Carreggiata	davanti	b10	mm	476		
3.7			dietro	b11	mm	350 / 370 / 500		
Dimensioni	4.4	Altezza di sollevamento		h3	mm	130		
	4.9	Altezza barra del timone	min./max. in posizione di marcia	h14	mm	780 / 1197 (1268)		
	4.15	Altezza forche	abbassate	h13	mm	83		
	4.19	Lunghezza totale		l1	mm	vedere tabella 1		
	4.20	Lunghezza del telaio ****	abbassate	l2	mm	546 (611)	611 (686)	
	4.21	Larghezza totale		b1	mm	712		
	4.22	Dimensioni forche		AxLxP	mm	77 x 170 x 1160		
	4.22a	Lunghezza estremità forche			mm	368		
	4.25	Scartamento forche		b5	mm	520 / 540 / 670		
	4.32	Altezza da terra	centro interasse	m2	mm	26		
	4.33	Largh. corridoio di lavoro ****	pallet 1000x1200 trasversale, sollevate	Ast	mm	1964	2029	
4.34	Largh. corridoio di lavoro ****	pallet 800x1200 longitudinale, sollevate	Ast	mm	1941	2006		
4.35	Raggio di sterzata	sollevate	Wa	mm	vedere tabella 1			
Prestazioni	5.1	Velocità di marcia	carico/vuoto		km/h	5,5 / 6,0		
	5.2	Velocità sollevamento	carico/vuoto		m/s	0,04 / 0,06		
	5.3	Velocità di abbassamento	carico/vuoto		m/s	0,06 / 0,06		
	5.8	Pendenza max superabile	carico/vuoto (val. nom. per 5 min)		%	10 / 25		
	5.10	Freno di servizio				elettrico		
Motori	6.1	Motore di trazione	valore nominale a S2 60 min. / classe H		kW	1,5		
	6.2	Motore di sollevamento	valore nominale a S3 15 %		kW	1,3		
	6.3	Dim. massime portabatteria		PxLxA	mm	146 x 660 x 604 * (212 x 624 x 627) **	212 x 624 x 627 * (284 x 624 x 627) **	
	6.4	Tensione batteria	capacità nominale K5		V/Ah	24 / 150 (250)	24 / 250 (375)	
	6.5	Peso batteria			kg	153 (212)	212 (309)	
8.1	Tipo di regolatore	trazione			transistor			

Tabella 1		WP 3015-1,6						WP 3020-2,0										
1.6	Baricentro carico		c	mm	400	500	600	600	400	500	600	600	700	800	800	900	1000	1200
1.8	Distanza baricentro <sup>1</sup>	sollevate	x	mm	544	744	894	944	544	744	894	944	1144	1244	1344	1544	1744	2144
1.9	Interasse <sup>2</sup> ****	sollevate	y	mm	900	1100	1250	1300	965	1165	1315	1365	1565	1665	1765	1965	2165	2565
2.1	Peso <sup>3</sup>	senza batteria		kg	315	320	323	325	315	320	323	325	334	349	354	366	383	407
2.2	Carico sull'asse <sup>4</sup>	carico	davanti	kg	562	606	670	670	725	788	829	881	955	959	1020	1069	1030	940
			dietro	kg	1506	1467	1406	1408	1802	1744	1706	1656	1591	1597	1546	1509	1395	1209
2.3	Carico sull'asse <sup>5</sup>	vuoto	davanti	kg	331	344	356	358	394	409	417	421	436	444	454	467	483	504
			dietro	kg	127	119	110	110	133	123	118	116	110	112	112	111	112	115
4.19	Lunghezza tot. <sup>6</sup> ****	abbassate	l1	mm	1346	1546	1696	1746	1411	1611	1761	1811	2011	2111	2211	2411	2611	3011
4.22	Lunghezza forche		l	mm	800	1000	1150	1200	800	1000	1150	1200	1400	1500	1600	1800	2000	2400
4.35	Raggio sterzata <sup>7</sup> ****	sollevate	Wa	mm	1088	1288	1438	1488	1153	1353	1503	1553	1753	1853	1953	2153	2353	2753

<sup>1</sup> Forche abbassate +56 mm<sup>2</sup> Forche abbassate +72 mm<sup>3</sup> Forche sollevate +16 mm<sup>4</sup> con espulsione batteria opzionale +32 mm<sup>5</sup> con griglia reggicarico opzionale +50 mm<sup>6</sup> aggiungere 65 mm per vano da 250 Ah sul WP 3015,

aggiungere 75 mm per vano da 375 Ah sul WP 3020

<sup>7</sup> Portata a potenza ridotta pari a 1830 kg<sup>8</sup> Portata a potenza ridotta pari a 1500 kg<sup>9</sup> tutti i valori di peso sono validi per vani batteria piccoli<sup>10</sup> Configurazione A, tipo di cella secondo BS<sup>11</sup> Configurazione B, tipo di cella secondo DIN 43535<sup>12</sup> il calcolo Ast si basa su una lunghezza forche di 1000 mm<sup>13</sup> il calcolo Ast si basa su una lunghezza forche di 1150 mm

con vani batteria opzionali grandi, utilizzare i valori fra parentesi

A.3 - Guida lineare

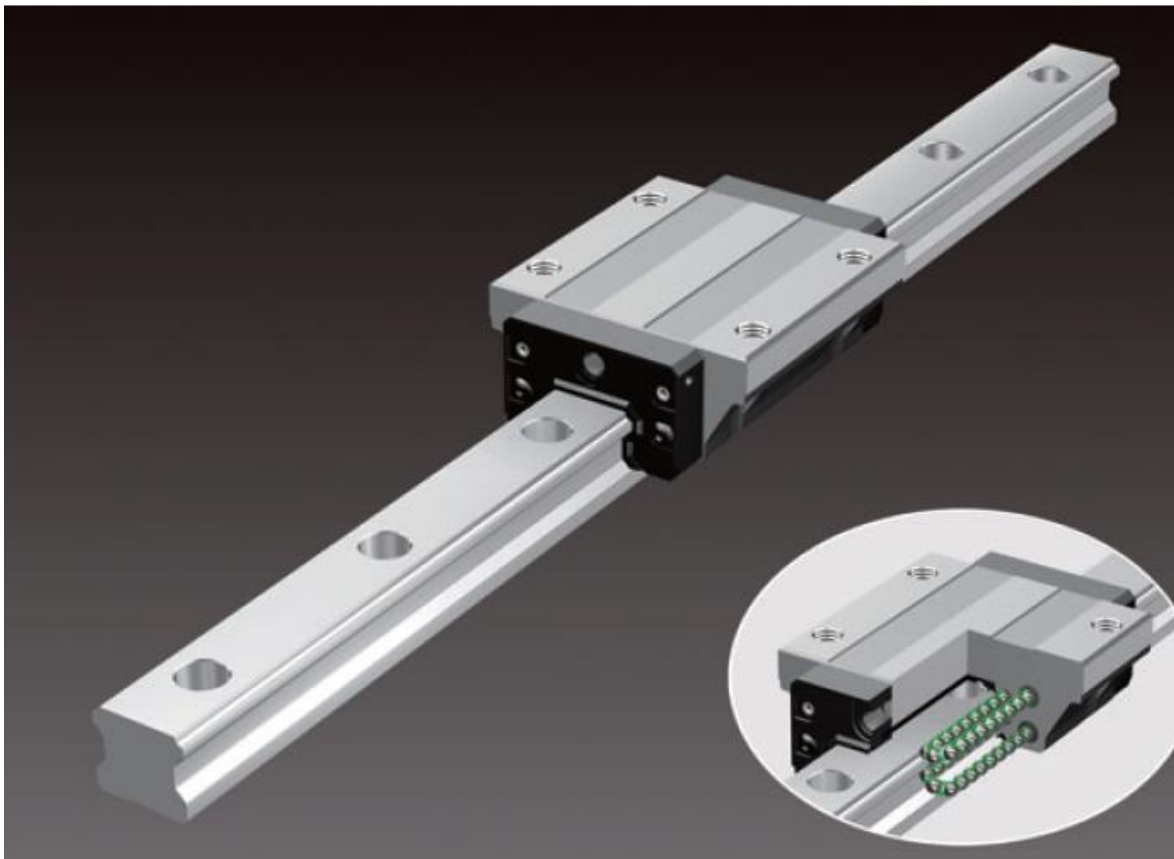


Compliant with  
New Accuracy Standards

# Caged Ball LM Guide

Ball Cage Effect  
Global Standard Size

# SHS



**THK CO., LTD.**  
TOKYO, JAPAN

CATALOG No.235-13E



# SHS Outline

## Model SHS - Product Overview

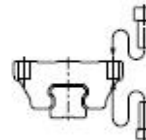
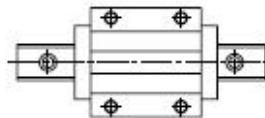
Model SHS has the same dimensions as model HSR, which is the de facto global standard full-ball LM guide, and can be mounted in any orientation since it is 4-way equal load type.

**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.

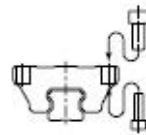
- SHS 15C    ● SHS 35C
- SHS 20C    ● SHS 45C
- SHS 25C    ● SHS 55C
- SHS 30C    ● SHS 65C



### 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.

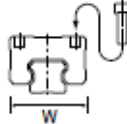
- SHS 15LC    ● SHS 35LC
- SHS 20LC    ● SHS 45LC
- SHS 25LC    ● SHS 55LC
- SHS 30LC    ● SHS 65LC



### 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.

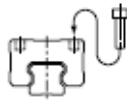
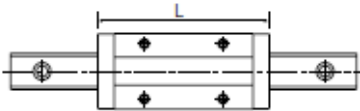
- SHS 15V      ● SHS 35V
- SHS 20V      ● SHS 45V
- SHS 25V      ● SHS 55V
- SHS 30V      ● SHS 65V



### 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.

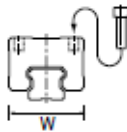
- SHS 15LV      ● SHS 35LV
- SHS 20LV      ● SHS 45LV
- SHS 25LV      ● SHS 55LV
- SHS 30LV      ● SHS 65LV



### 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.

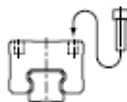
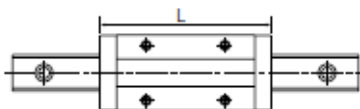
- SHS 15R      ● SHS 35R
- SHS 25R      ● SHS 45R
- SHS 30R      ● SHS 55R



### Model SHS-LR

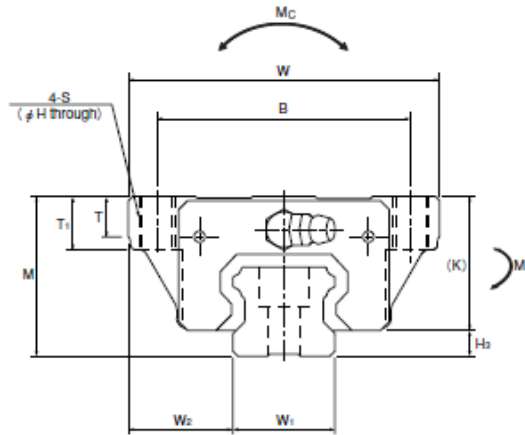
The LM block has the same sectional shape as model SHS-R, but has a longer overall LM block length (L) and a greater rated load capacity.

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



# Models SHS-C/SHS-LC

## Dimensional Table for Models SHS-C/SHS-LC



Model No.	Outer dimensions			LM block dimensions											Grease nipple
	Height M	Width W	Length L	B	C	S	H	L <sub>1</sub>	T	T <sub>1</sub>	K	N	E		
SHS 15C SHS 15LC	24	47	64.4 79.4	38	30	M 5	4.4	48 63	5.9	8	21	5.5	5.5	PB1021B	
SHS 20C SHS 20LC	30	63	79 98	53	40	M 6	5.4	59 78	7.2	10	25.4	6.5	12	B-M6F	
SHS 25C SHS 25LC	36	70	82 109	57	45	M 8	6.8	71 88	8.1	12	30.2	7.5	12	B-M6F	
SHS 30C SHS 30LC	42	90	106 131	72	52	M10	8.5	80 105	11.5	15	35	8	12	B-M6F	
SHS 35C SHS 35LC	48	100	122 152	82	62	M10	8.5	93 123	11.5	15	40.5	8	12	B-M6F	
SHS 45C SHS 45LC	60	120	140 174	100	80	M12	10.5	106 140	14.1	18	51.1	10.5	16	B-PT1/8	
SHS 55C SHS 55LC	70	140	171 213	116	95	M14	12.5	131 173	16	21	57.3	11	16	B-PT1/8	
SHS 65C SHS 65LC	90	170	221 272	142	110	M16	14.5	175 226	18.8	24	71	19	16	B-PT1/8	

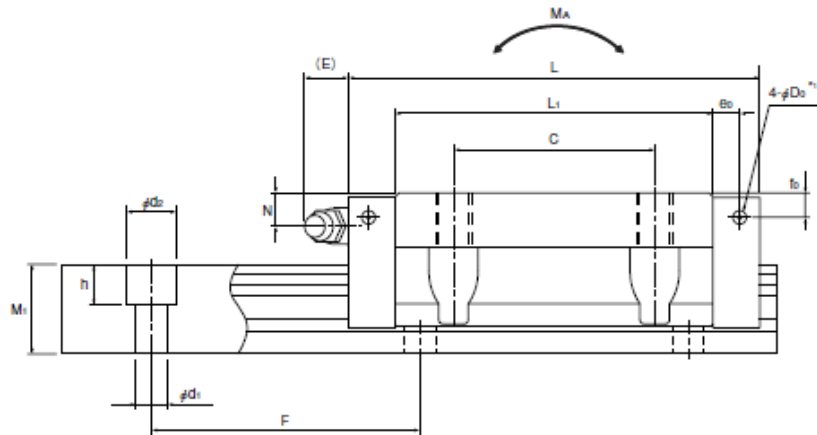
### Example of model number coding

**SHS25 LC 2 QZ KKHH C0 +1200L P Z - II**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

- 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] <sup>*3</sup>					Mass		
e <sub>s</sub>	f <sub>s</sub>	D <sub>s</sub>	H <sub>s</sub>	Width W <sub>1</sub> ↓ <sub>0.05</sub>	W <sub>2</sub>	Height M <sub>1</sub>	Pitch F	d <sub>1</sub> ×d <sub>2</sub> ×h	Length Max <sup>**</sup>	C	C <sub>0</sub>	M <sub>1</sub>		M <sub>2</sub>		M <sub>3</sub>	LM block [kg]	LM rail [kg/m]
												1 block	Double blocks	1 block	Double blocks			
4	4	3	3	15	16	13	60	4.5×7.5×5.3	2500	14.2	24.2	0.175	0.898	0.175	0.898	0.16	0.23	1.3
										17.2	31.9	0.296	1.43	0.296	1.43	0.212	0.29	
4.3	5.3	3	4.6	20	21.5	16.5	60	6×9.5×8.5	3000	22.3	38.4	0.334	1.75	0.334	1.75	0.361	0.46	2.3
										28.1	50.3	0.568	2.8	0.568	2.8	0.473	0.61	
6	5.5	3	5.8	23	23.5	20	60	7×11×9	3000	31.7	52.4	0.566	2.75	0.566	2.75	0.563	0.72	3.2
										36.8	64.7	0.848	3.98	0.848	3.98	0.696	0.89	
5.5	6	5.2	7	28	31	23	80	9×14×12	3000	44.8	66.6	0.786	4.08	0.786	4.08	0.865	1.34	4.5
										54.2	88.8	1.36	6.6	1.36	6.6	1.15	1.66	
6.5	5.5	5.2	7.5	34	33	26	80	9×14×12	3000	62.3	96.6	1.38	6.76	1.38	6.76	1.53	1.9	6.2
										72.9	127	2.34	10.9	2.34	10.9	2.01	2.54	
8	8	5.2	8.9	45	37.5	32	105	14×20×17	3090	82.8	126	2.05	10.1	2.05	10.1	2.68	3.24	10.4
										100	166	3.46	16.3	3.46	16.3	3.53	4.19	
10	8	5.2	12.7	53	43.5	38	120	16×23×20	3060	128	197	3.96	19.3	3.96	19.3	4.9	5.35	14.5
										161	259	6.68	31.1	6.68	31.1	6.44	6.97	
10	12	5.2	19	63	53.5	53	150	18×26×22	3000	205	320	8.26	40.4	8.26	40.4	9.4	10.7	23.7
										253	408	13.3	62.6	13.3	62.6	11.9	13.7	

**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 <sub>0</sub> )	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.



# Support Unit

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

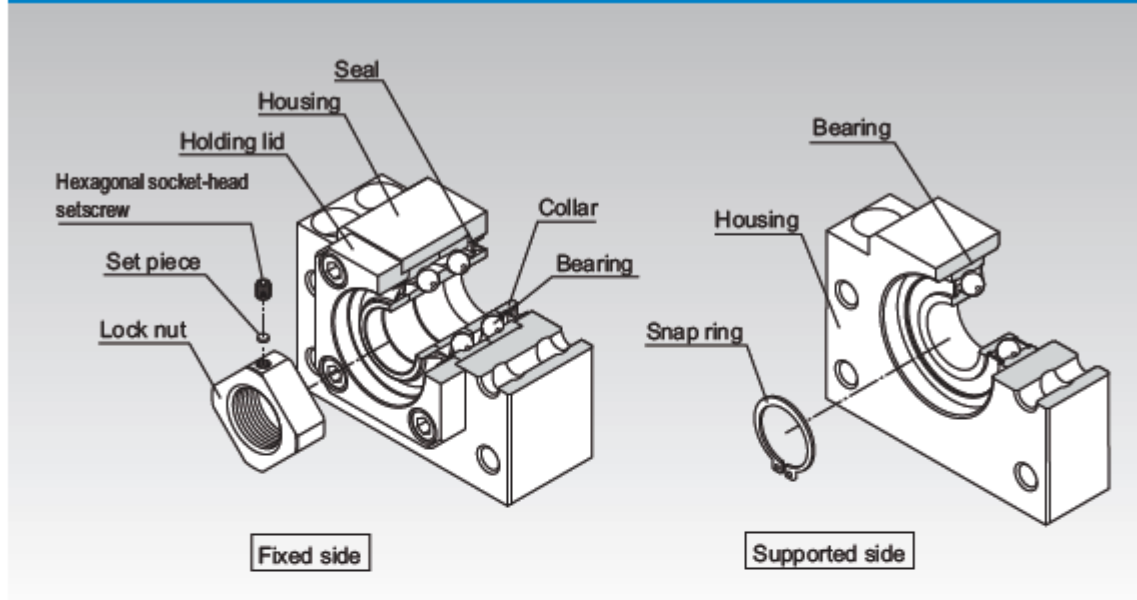


Fig.1 Structure of the Support Unit

## 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.

---

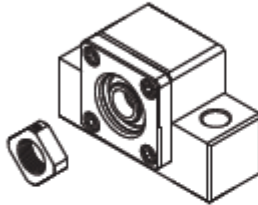
## Type

---

[For the Fixed Side]

### Square Type Model EK

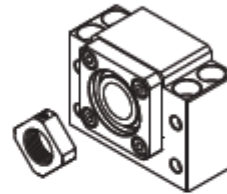
Specification Table⇒[A15-326](#)



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

### Square Type Model BK

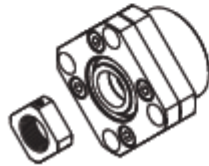
Specification Table⇒[A15-328](#)



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

### Round Type Model FK

Specification Table⇒[A15-330](#)

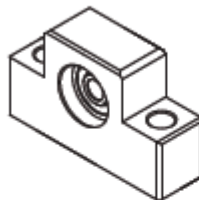


(Inner diameter:  $\phi 4$  to  $\phi 30$ )

[For the Supported Side]

### Square Type Model EF

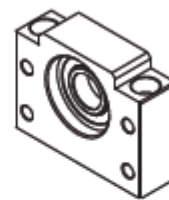
Specification Table⇒[A15-334](#)



(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 $\phi$ D)	
					Shaft End H (mm)	Shaft End J (mm)
4	—	EK 4 FK 4	—	BNK0401 BNK0501	$\phi$ 6	—
5	—	EK 5 FK 5	—	BNK0601	$\phi$ 8	—
6	6	EK 6 FK 6	EF 6 FF 6	BNK0801 BNK0802 BNK0810	$\phi$ 8	—
8	6	EK 8 FK 8	EF 8 FF 6	BNK1002	$\phi$ 12	—
10	8	EK 10 FK 10 BK 10	EF 10 FF 10 BF 10	BNK1004 BNK1010 BNK1202 BNK1205 BNK1208	$\phi$ 14 $\phi$ 15	$\phi$ 14 $\phi$ 15
12	10	EK 12 FK 12 BK 12	EF 12 FF 12 BF 12	BNK1402 BNK1404 BNK1408 BNK1510 BNK1520 BNK1616	$\phi$ 16 $\phi$ 18	$\phi$ 16 $\phi$ 18
15	15	EK 15 FK 15	EF 15 FF 15	BNK2010 BNK2020	$\phi$ 20 $\phi$ 25	—
		BK 15	BF 15	—	—	$\phi$ 20
17	17	BK 17	BF 17	—	—	$\phi$ 25
20	20	EK 20 FK 20	EF 20 FF 20	BNK2520	$\phi$ 28 $\phi$ 30 $\phi$ 32	—
		BK 20	BF 20	—	—	$\phi$ 28 $\phi$ 30 $\phi$ 32
25	25	FK 25	FF 25	—	$\phi$ 36	—
		BK 25	BF 25	—	—	$\phi$ 36
30	30	FK 30	FF 30	—	$\phi$ 40	$\phi$ 40
		BK 30	BF 30	—		
35	35	BK 35	BF 35	—	—	$\phi$ 45
40	40	BK 40	BF 40	—	—	$\phi$ 50
						$\phi$ 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**.

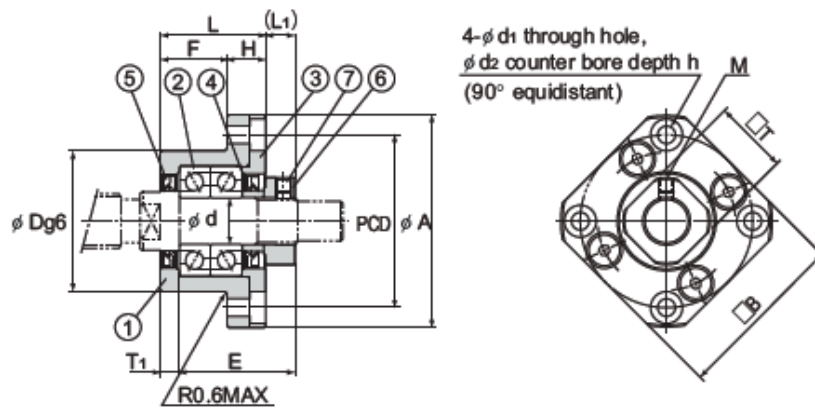
## Model Numbers of Bearings and Characteristic Values

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**

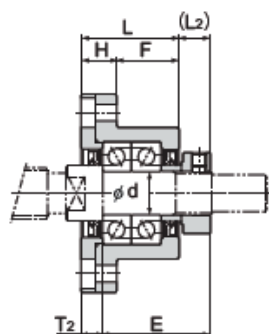
## Model FK Round Type Support Unit on the Fixed Side



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

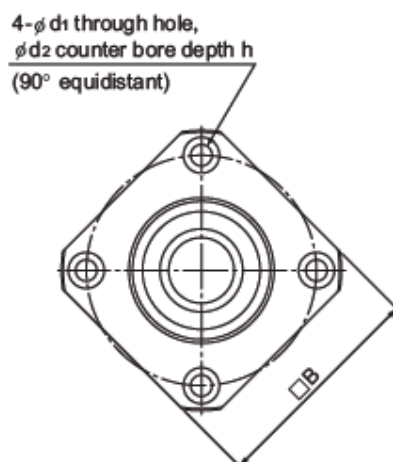
	Installation procedure A		Installation procedure B		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	h	M	T	Bearing used	Mass kg
	L <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>							
	7.5	5	8.5	6	4.5	8	4	M3	16	7000 equivalent (DF P5)	0.21
	7.5	5	8.5	6	4.5	8	4	M3	19	7001 equivalent (DF P5)	0.22
	10	6	12	8	5.5	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

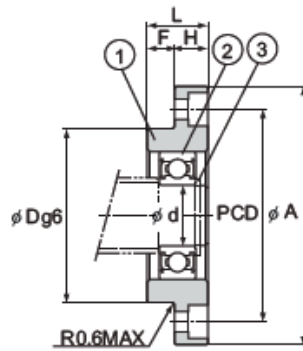
Part No.	Part name	No. of units
1	Housing	1
2	Bearing	1 set
3	Holding lid	1
4	Collar	2
5	Seal	2
6	Lock Nut	1
7	Hexagonal socket-head setscrew (with a set piece)	1

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 <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	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

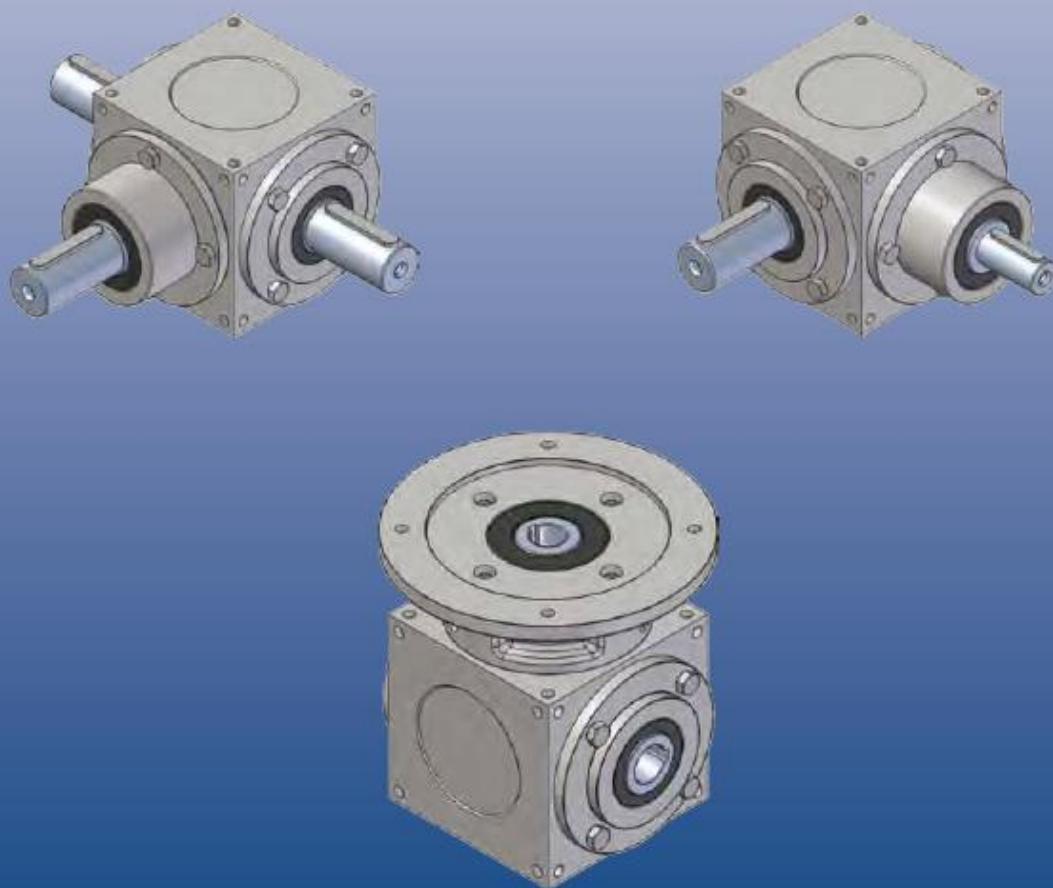
Part No.	Part name	No. of units
1	Housing	1
2	Bearing	1
3	Snap ring	1



A.5 - Rinvii angolari

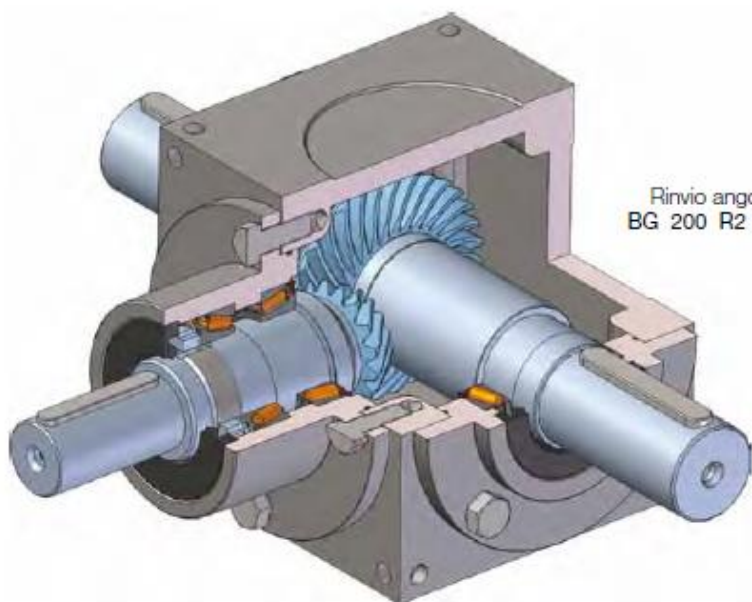


# Rinvii angolari

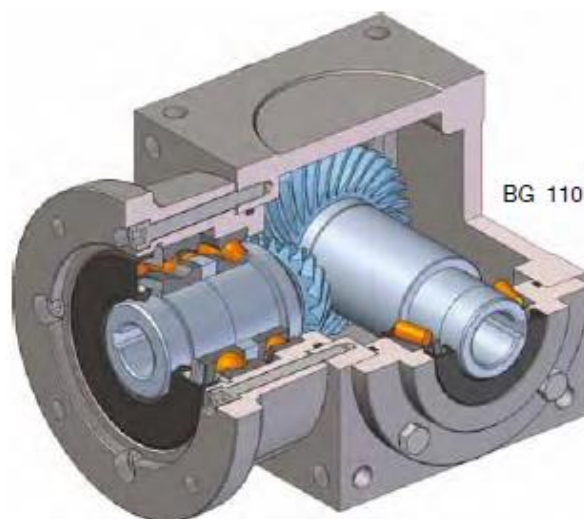


**Catalogo**

**Rinvii angolari Serie BG**



Rinvio angolare  
BG 200 R2 S M2



Rinvio angolare  
BG 110 R2 MF (IEC 80 B14) H

**Rinvii angolari Serie BG**

**Forme costruttive**

	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro STANDARD (designazione: S)</p> <p>uscita: albero sporgente, cilindrico con linguetta da uno dei due lati (designazione: M1)</p>	<b>BG • • S M1</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro MAGGIORATO (designazione: R)</p> <p>uscita: albero sporgente, cilindrico con linguetta da uno dei due lati (designazione: M1)</p>	<b>BG • • R M1</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro STANDARD (designazione: S)</p> <p>uscita: albero sporgente, cilindrico con linguetta da ambo i lati (designazione: M2)</p>	<b>BG • • S M2</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro MAGGIORATO (designazione: R)</p> <p>uscita: albero sporgente, cilindrico con linguetta da ambo i lati (designazione: M2)</p>	<b>BG • • R M2</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro STANDARD (designazione: S)</p> <p>uscita: albero cavo, foro cilindrico con sede per linguetta (designazione: H)</p>	<b>BG • • S H</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro STANDARD (designazione: S)</p> <p>uscita: albero sporgente con supporto, cilindrico con linguetta, da uno dei due lati diametro STANDARD (designazione: S1)</p>	<b>BG • • S S1</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro STANDARD (designazione: S)</p> <p>uscita: albero sporgente con supporto, cilindrico con linguetta, da uno dei due lati diametro MAGGIORATO (designazione: R1)</p>	<b>BG • • S R1</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro MAGGIORATO (designazione: R)</p> <p>uscita: albero sporgente con supporto, cilindrico con linguetta, da uno dei due lati diametro MAGGIORATO (designazione: R1)</p>	<b>BG • • R R1</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro STANDARD (designazione: S)</p> <p>uscita: due alberi sporgenti con supporto, cilindrici con linguetta, controrotanti diametro STANDARD (designazione: S2)</p>	<b>BG • • S S2</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro STANDARD (designazione: S)</p> <p>uscita: due alberi sporgenti con supporto, cilindrici con linguetta, controrotanti diametro MAGGIORATO (designazione: R2)</p>	<b>BG • • S R2</b>
	<p>entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta diametro MAGGIORATO (designazione: R)</p> <p>uscita: due alberi sporgenti con supporto, cilindrici con linguetta, controrotanti diametro MAGGIORATO (designazione: R2)</p>	<b>BG • • R R2</b>

## Rinvii angolari Serie BG

### Forme costruttive



entrata: attacco per motore IEC  
 flangia ed albero cavo con foro cilindrico e sede per linguetta  
 (designazione: MF)  
 uscita: albero sporgente, cilindrico con linguetta  
 da uno dei due lati (designazione: M1)

**BG • • MF M1**



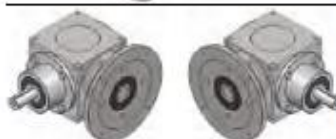
entrata: attacco per motore IEC  
 flangia ed albero cavo con foro cilindrico e sede per linguetta  
 (designazione: MF)  
 uscita: albero sporgente, cilindrico con linguetta  
 da ambo i lati (designazione: M2)

**BG • • MF M2**



entrata: attacco per motore IEC  
 flangia ed albero cavo con foro cilindrico e sede per linguetta  
 (designazione: MF)  
 uscita: albero cavo, foro cilindrico con sede per linguetta  
 (designazione: H)

**BG • • MF H**



entrata: attacco per motore IEC  
 flangia ed albero cavo con foro cilindrico e sede per linguetta  
 (designazione: MF)  
 uscita: albero sporgente con supporto, cilindrico con linguetta,  
 da uno dei due lati  
 diametro STANDARD (designazione: S1)

**BG • • MF S1**



entrata: attacco per motore IEC  
 flangia ed albero cavo con foro cilindrico e sede per linguetta  
 (designazione: MF)  
 uscita: albero sporgente con supporto, cilindrico con linguetta,  
 da uno dei due lati  
 diametro MAGGIORATO (designazione: R1)

**BG • • MF R1**



entrata: attacco per motore IEC  
 flangia ed albero cavo con foro cilindrico e sede per linguetta  
 (designazione: MF)  
 uscita: due alberi sporgenti con supporto, cilindrici con linguetta,  
 controrotanti  
 diametro STANDARD (designazione: S2)

**BG • • MF S2**



entrata: attacco per motore IEC  
 flangia ed albero cavo con foro cilindrico e sede per linguetta  
 (designazione: MF)  
 uscita: due alberi sporgenti con supporto, cilindrici con linguetta,  
 controrotanti  
 diametro MAGGIORATO (designazione: R2)

**BG • • MF R2**

## Rinvii angolari Serie BG

### Sommario caratteristiche tecniche

GRANDEZZA	BG 86	BG 110	BG 134
Dimensione lato carcassa [mm]	86	110	134
Rapporto di riduzione	1 : 1    1 : 1.5    1 : 2    1 : 3    1 : 4		
Rendimento totale ( $\eta$ )	0.90 $\leq$ $\eta$ $\leq$ 0.93 (*)		
Entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta, diametro STANDARD [mm]	$\varnothing$ 16 j6	$\varnothing$ 20 j6	$\varnothing$ 24 j6
Entrata: albero sporgente, cilindrico con linguetta, diametro MAGGIORATO [mm]	$\varnothing$ 24 j6	$\varnothing$ 26 j6	$\varnothing$ 32 j6
Entrata: attacco per motore IEC	IEC 71 B5 IEC 80 B5 IEC 80 B14	IEC 80 B5 IEC 80 B14 IEC 90 B5 IEC 90 B14	IEC 90 B5 IEC 100-112 B5 IEC 100-112 B14
Uscita: albero sporgente, cilindrico con linguetta	$\varnothing$ 24 j6	$\varnothing$ 26 j6	$\varnothing$ 32 j6
Uscita: albero cavo con foro cilindrico e sede per linguetta	$\varnothing$ 16 H7	$\varnothing$ 20 H7	$\varnothing$ 24 H7
Uscita: albero sporgente con supporto, cilindrico con linguetta, diametro STANDARD [mm]	$\varnothing$ 16 j6	$\varnothing$ 20 j6	$\varnothing$ 24 j6
Uscita: albero sporgente con supporto, cilindrico con linguetta, diametro MAGGIORATO [mm]	$\varnothing$ 24 j6	$\varnothing$ 26 j6	$\varnothing$ 32 j6
Materiale carcassa, supporto per albero sporgente e coperchi	fusione in ghisa grigia EN-GJL-250 (UNI EN 1561)		
Materiale albero sporgente entrata	acciaio C45E +H +QT (UNI EN 10083-2), bonificato		
Materiale albero cavo entrata	acciaio C45E +H +QT (UNI EN 10083-2), bonificato		
Materiale albero sporgente uscita	acciaio C45E +H +QT (UNI EN 10083-2), bonificato		
Materiale albero cavo uscita	acciaio 39 NiCrMo 3 (UNI EN 10083-3), bonificato		
Ingranaggi coppia conica	profilo dentatura: Gleason spiroidale materiale: acciaio 20 MnCr 5 (UNI EN 10084), cementato e temprato dentatura rodato in coppia		
Entrata - albero sporgente: cuscinetti	2 x 6005	2 x 32006	2 x 32007
Entrata - flangia ed albero cavo per attacco del motore IEC: cuscinetti	6005 + 6205	6007 + 6207	6008 + 6208
Uscita principale - albero sporgente o cavo: cuscinetti	2 x 6005	2 x 32006	2 x 32007
Uscita supplementare - albero sporgente con supporto: cuscinetti	2 x 6005	2 x 32006	2 x 32007
Massa rinvio [kg] (rinvio con albero entrata sporgente e albero uscita sporgente da ambo i lati)	3.5	9	18

\* valore riferito a rinvii angolari senza uscita supplementare

## Rinvii angolari Serie BG

### Prestazioni nominali - momento torcente e potenza

GRANDEZZA		BG 86		BG 110		BG 134	
$n_1$ g/min	$n_2$ g/min	$P_{1max}$ [kW]	$T_{2max}$ [Nm]	$P_{1max}$ [kW]	$T_{2max}$ [Nm]	$P_{1max}$ [kW]	$T_{2max}$ [Nm]
<b>Rapporto di riduzione R 1</b>							
50	50	0.32	60	0.97	180	1.62	300
250	250	0.94	35	3.78	140	7.85	291
500	500	1.62	30	6.21	115	13.0	241
1000	1000	2.7	25	10.3	95	21.1	196
1500	1500	3.24	20	13.0	80	28.1	173
2000	2000	3.89	18	16.2	75	34.3	159
3000	3000	5.18	16	22.7	70	45.6	141
<b>Rapporto di riduzione R 1.5</b>							
50	33	0.23	65	0.49	135	0.81	225
250	167	0.72	40	2.25	125	3.95	220
500	333	1.08	30	4.32	120	7.75	215
1000	667	1.80	25	6.84	95	14.7	204
1500	1000	2.48	23	9.18	85	20.6	191
2000	1333	2.88	20	11.5	80	25.2	175
3000	2000	3.89	18	15.1	70	33.4	155
<b>Rapporto di riduzione R 2</b>							
50	25	0.15	55	0.31	115	0.51	190
250	125	0.54	40	1.42	105	2.44	181
500	250	0.94	35	2.70	100	4.71	175
1000	500	1.62	30	5.13	95	9.02	167
1500	750	2.02	25	7.29	90	13.0	160
2000	1000	2.38	22	9.18	85	16.7	155
3000	1500	3.24	20	12.1	75	23.4	144
<b>Rapporto di riduzione R 3</b>							
50	17	0.06	35	0.14	80	0.23	126
250	83	0.29	32	0.63	70	1.07	119
500	167	0.54	30	1.17	65	2.04	113
1000	333	1.01	28	2.19	61	3.91	109
1500	500	1.40	26	3.16	59	5.66	105
2000	667	1.58	22	4.07	57	7.30	101
3000	1000	2.16	20	5.94	55	10.3	95
<b>Rapporto di riduzione R 4</b>							
50	12.5	0.04	30	0.09	65	0.14	104
250	62.5	0.18	26	0.37	55	0.59	84
500	125	0.34	25	0.67	50	1.11	82
1000	250	0.65	24	1.21	45	2.12	79
1500	375	0.93	23	1.75	43	3.08	76
2000	500	1.19	22	2.26	42	3.98	74
3000	750	1.62	20	3.24	40	5.63	70
Potenza di limite termico [kW]		3.4		5.5		8	

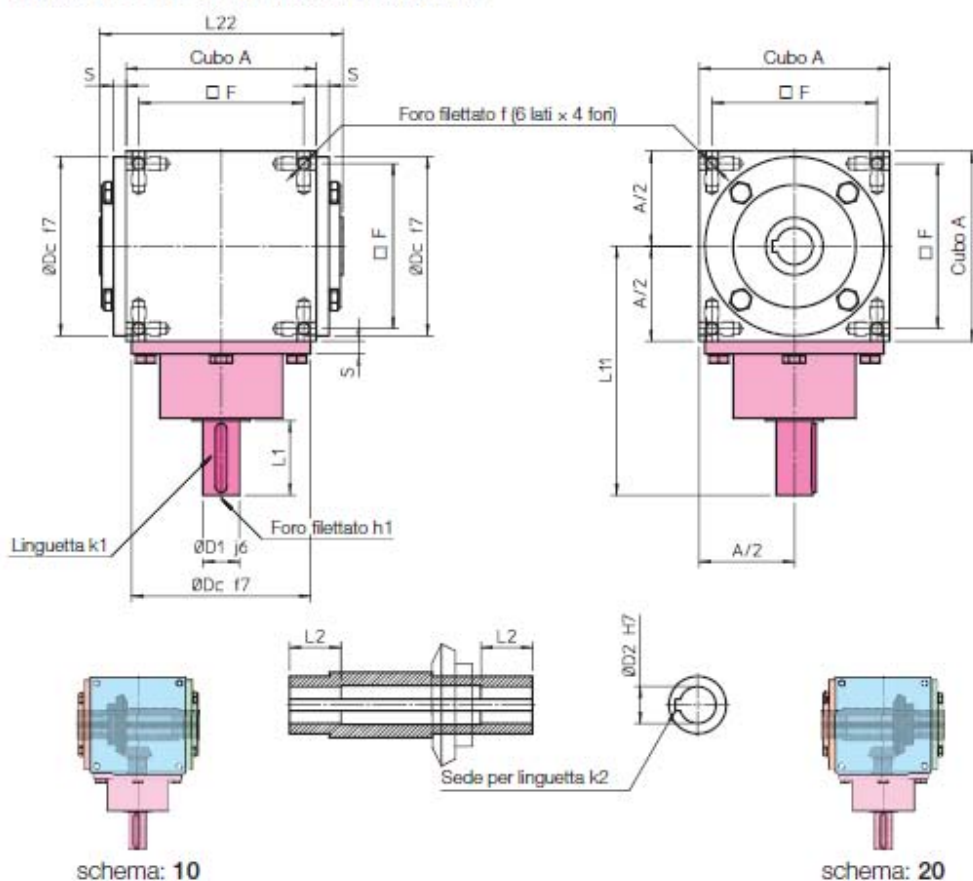
I valori di momento torcente e potenza, riportati nella tabella **Prestazioni nominali** si riferiscono ad una durata minima di 10 000 ore e alle seguenti condizioni di funzionamento:

- carico applicato: uniforme e senza variazioni
- macchina motrice di azionamento: motore elettrico
- verso di rotazione: unidirezionale
- 1 (uno) avviamento all'ora
- ore di funzionamento giornaliero: 8
- temperatura ambiente: 20°C
- valore di potenza termica limite calcolata considerando un funzionamento continuo per 3 ore alle prestazioni nominali

## Rinvii angolari Serie BG

### Dimensioni d'ingombro: BG • • S H

entrata: albero sporgente, diametro STANDARD

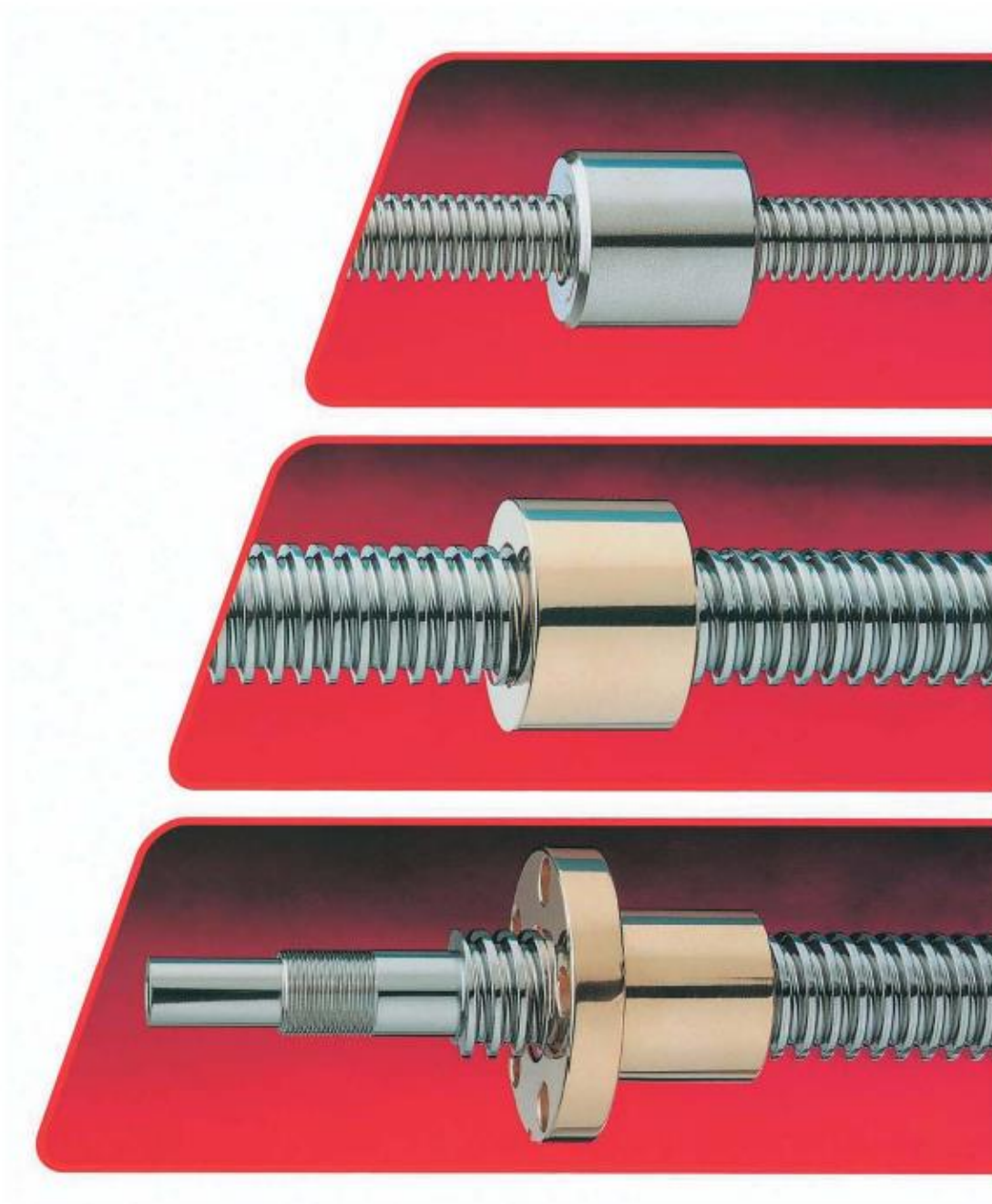


GRANDEZZA	BG 86	BG 110	BG 134	BG 166	BG 200	BG 250
Cubo A	86 × 86 × 86	110 × 110 × 110	134 × 134 × 134	166 × 166 × 166	200 × 200 × 200	250 × 250 × 250
∅ D1	16	20	24	32	42	55
∅ D2	16	20	24	32	42	55
∅ Dc	84	100	122	156	185	230
□ F	70 × 70	90 × 90	114 × 114	144 × 144	174 × 174	216 × 216
L1	30	40	50	65	85	100
L11	116	150	182	217	267	318
L2	30	30	35	45	50	55
L22	120	144	174	212	250	300
S	10	8	9	11	11	11
f	M8, prof. 20	M10, prof. 25	M10, prof. 25	M12, prof. 30	M14, prof. 35	M16, prof. 40
h1	M6, prof. 12	M8, prof. 20	M8, prof. 20	M10, prof. 25	M10, prof. 25	M12, prof. 25
k1	5 × 5 × 25	6 × 6 × 35	8 × 7 × 45	10 × 8 × 60	12 × 8 × 80	12 × 8 × 80
k2	5 × 5	6 × 6	8 × 7	10 × 8	12 × 8	16 × 10

A.6 - Vite trapezia



VITI TRAPEZOIDALI





### Viti trapezie tipo KRP – materiale INOX A2 - AISI 304

Codice per vite DESTRA	Codice per vite SINISTRA	Diametro per passo	n° principi	Classe di precisione $\mu\text{m}/300\text{ mm}$	Rettilineità mm / mm	Peso kg/mt
<input type="checkbox"/> KRP 10 T R ...	<input type="checkbox"/> KRP 10 T L ...	Tr 10x2	1	200	0,7 / 1000	0,48
<input type="checkbox"/> KRP 10 A R ...	<input type="checkbox"/> KRP 10 A L ...	Tr 10x3	1	200	0,7 / 1000	0,42
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 12 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 12 A L ...	Tr 12x3	1	200	0,7 / 1000	0,65
<input type="checkbox"/> KRP 14 R R ...	<input type="checkbox"/> KRP 14 R L ...	Tr 14x3	1	200	0,7 / 1000	0,93
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 14 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 14 A L ...	Tr 14x4	1	200	0,7 / 1000	0,86
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 16 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 16 A L ...	Tr 16x4	1	200	0,7 / 1500	1,17
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 18 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 18 A L ...	Tr 18x4	1	200	0,7 / 1500	1,53
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 20 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 20 A L ...	Tr 20x4	1	200	0,6 / 2000	1,94
<input type="checkbox"/> KRP 22 A R ...	<input type="checkbox"/> KRP 22 A L ...	Tr 22x5	1	200	0,6 / 2000	2,29
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 24 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 24 A L ...	Tr 24x5	1	200	0,4 / 2000	2,78
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 25 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 25 A L ...	Tr 25x5	1	200	0,4 / 2000	3,05
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 26 A R ...	<input type="checkbox"/> KRP 26 A L ...	Tr 26x5	1	200	0,4 / 2000	3,33
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 28 A R ...	<input type="checkbox"/> KRP 28 A L ...	Tr 28x5	1	200	0,4 / 2000	3,92
<input type="checkbox"/> KRP 30 P R ...	<input type="checkbox"/> KRP 30 P L ...	Tr 30x5	1	200	0,4 / 3000	4,57
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 30 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 30 A L ...	Tr 30x6	1	200	0,4 / 3000	4,38
<input type="checkbox"/> KRP 32 A R ...	<input type="checkbox"/> KRP 32 A L ...	Tr 32x6	1	200	0,4 / 3000	5,06
<input type="checkbox"/> KRP 35 P R ...	<input type="checkbox"/> KRP 35 P L ...	Tr 35x5	1	200	0,3 / 3000	6,40
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 35 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 35 A L ...	Tr 35x6	1	200	0,3 / 3000	6,16
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 36 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 36 A L ...	Tr 36x6	1	200	0,3 / 3000	6,56
<input type="checkbox"/> KRP 40 P R ...	<input type="checkbox"/> KRP 40 P L ...	Tr 40x5	1	200	0,3 / 3000	8,51
<input type="checkbox"/> KRP 40 O R ...	<input type="checkbox"/> KRP 40 O L ...	Tr 40x6	1	200	0,3 / 3000	8,26
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 40 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 40 A L ...	Tr 40x7	1	200	0,3 / 3000	8,03
<input type="checkbox"/> KRP 44 A R ...	<input type="checkbox"/> KRP 44 A L ...	Tr 44x7	1	200	0,3 / 3000	9,90
<input type="checkbox"/> KRP 50 P R ...	<input type="checkbox"/> KRP 50 P L ...	Tr 50x5	1	200	0,3 / 3000	13,70
<input type="checkbox"/> KRP 50 O R ...	<input type="checkbox"/> KRP 50 O L ...	Tr 50x6	1	200	0,3 / 3000	13,35
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 50 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 50 A L ...	Tr 50x8	1	200	0,3 / 3000	12,90
<input type="checkbox"/> KRP 55 A R ...	<input type="checkbox"/> KRP 55 A L ...	Tr 55x9	1	200	0,3 / 3000	15,51
<input type="checkbox"/> KRP 60 O R ...	<input type="checkbox"/> KRP 60 O L ...	Tr 60x6	1	200	0,3 / 3000	19,67
<input type="checkbox"/> KRP 60 N R ...	<input type="checkbox"/> KRP 60 N L ...	Tr 60x7	1	200	0,3 / 3000	19,36
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 60 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 60 A L ...	Tr 60x9	1	200	0,3 / 3000	18,74
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 70 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 70 A L ...	Tr 70x10	1	200	0,3 / 3000	25,80
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 80 A R ...	<input checked="" type="checkbox"/> KRP 80 A L ...	Tr 80x10	1	200	0,3 / 3000	34,39
<input checked="" type="checkbox"/> KRP 90 A R ...	<input type="checkbox"/> KRP 90 A L ...	Tr 90x12	1	200	1 / 300	43,07
<input checked="" type="checkbox"/> KRP A0 A R ...	<input type="checkbox"/> KRP A0 A L ...	Tr 100x12	1	200	1 / 300	53,99

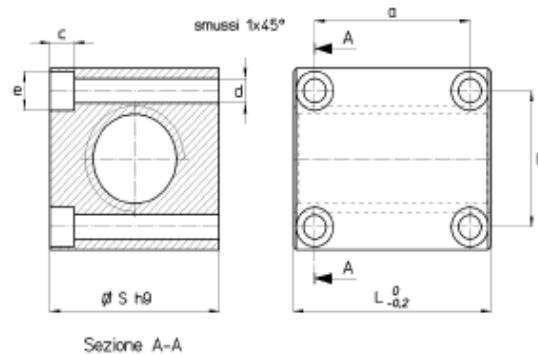
■ = Merce a magazzino.

□ = Merce non a magazzino, fornibile a richiesta.

## Chiocciola trapezia tipo QBF – quadra in bronzo forata

Materiale: EN 1982 Cu Sn12-C – CC483K

Chiocciola in bronzo allo stagno viene utilizzata per movimentazioni in presenza di carichi modesti e raccomandata per la comodità di fissaggio, con buona resistenza all'usura.



Codice per chiocciola DESTRA	Codice per chiocciola SINISTRA	Diametro per passo	n° principi	S mm	L mm	a mm	b mm	c mm	d mm	e mm	Vite a brugola per fissaggio UNI 5931	Peso kg/cad.	At mm <sup>2</sup> (1)
QBF 16 A R	QBF 16 A L	Tr 16x4	1	35	40	26	24	5,2	5	9,5	M5	0,340	770
QBF 20 A R	QBF 20 A L	Tr 20x4	1	40	50	38	28	6,5	6	10	M6	0,576	1412
QBF 25 A R	QBF 25 A L	Tr 25x5	1	45	55	40	33	6,5	6	10	M6	0,725	1943
QBF 30 A R	QBF 30 A L	Tr 30x6	1	50	60	49	38	6,5	6	10	M6	0,977	2544
QBF 40 A R	QBF 40 A L	Tr 40x7	1	60	75	55	49	8,5	8	9,9	M8 (3)	1,608	4013

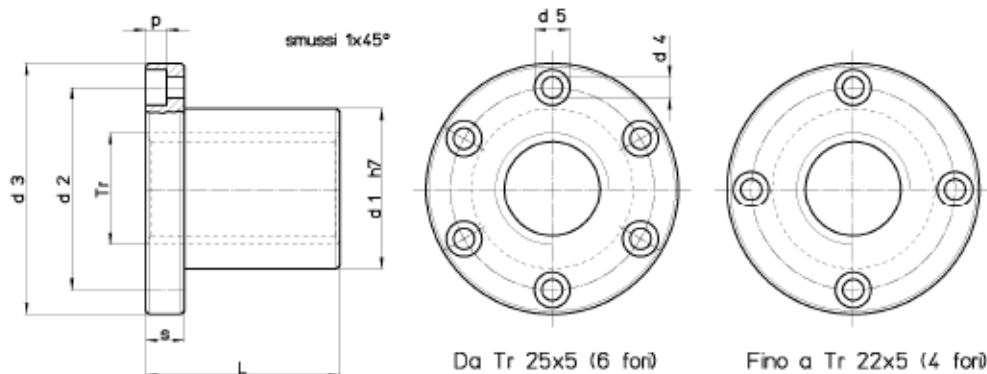
(1) Superficie di appoggio totale tra i denti della vite e i denti della chiocciola sul piano perpendicolare all'asse.

(3) Vite di fissaggio M8 speciale con diametro testa vite ridotta.

## Chiocciola trapezia tipo FTN – flangiata in bronzo

Materiale: EN 1982 Cu Sn5 Zn5 Pb5-C – CC491K

Chiocciola flangiata in bronzo adatta per movimentazioni in presenza di carichi modesti rispetto alle FXN, HDL e HAL. Si consiglia una buona lubrificazione. Le dimensioni della flangia le rende perfettamente intercambiabili con le FXN, HDL, HAL e le FCS (variano la lunghezza totale e lo spessore flangia). Esternamente le FTN sono identiche alle FXN.



Codice per chiocciola DESTRA	Codice per chiocciola SINISTRA	Diametro per passo	n° principi	d1 mm	d2 mm	d3 mm	d4 mm	d5 mm	p mm	L mm	s mm	n° fori per viti	Viti di fissaggio (classe 8.8)	Peso kg/cad.	At mm² (1)
FTN 10 A R	FTN 10 A L	Tr 10x3	1	18	26	37	4,5	7,5	4,2	22	8	4	M4	0,088	294
FTN 12 A R	FTN 12 A L	Tr 12x3	1	18	26	37	4,5	7,5	4,2	22	8	4	M4	0,082	362
FTN 14 A R	FTN 14 A L	Tr 14x4	1	20	30	42	5,5	9,5	5,2	25	10	4	M5	0,123	470
FTN 16 A R	FTN 16 A L	Tr 16x4	1	22	32	45	5,5	9,5	5,2	30	10	4	M5	0,149	660
FTN 18 A R	FTN 18 A L	Tr 18x4	1	25	35	48	5,5	9,5	5,2	35	10	4	M5	0,188	880
FTN 20 A R	FTN 20 A L	Tr 20x4	1	30	40	52	5,5	9,5	5,2	40	10	4	M5	0,267	1130
FTN 22 A R	FTN 22 A L	Tr 22x5	1	30	40	52	5,5	9,5	5,2	40	10	4	M5	0,247	1225
FTN 25 A R	FTN 25 A L	Tr 25x5	1	35	48	62	6,5	11	6,5	45	12	6	M6	0,393	1590
FTN 28 A R	FTN 28 A L	Tr 28x5	1	40	53	68	6,5	11	6,5	50	12	6	M6	0,532	2000
FTN 30 R R	FTN 30 R L	Tr 30x3	1	40	53	68	6,5	11	6,5	50	12	6	M6	0,482	2238
FTN 30 Q R	FTN 30 Q L	Tr 30x4	1	40	53	68	6,5	11	6,5	50	12	6	M6	0,487	2200
FTN 30 P R	FTN 30 P L	Tr 30x5	1	40	53	68	6,5	11	6,5	50	12	6	M6	0,492	2160
FTN 30 A R	FTN 30 A L	Tr 30x6	1	40	53	68	6,5	11	6,5	50	12	6	M6	0,497	2120
FTN 35 R R	FTN 35 R L	Tr 35x3	1	50	63	78	8,5	14	8,5	60	15	6	M8	0,862	3160
FTN 35 Q R	FTN 35 Q L	Tr 35x4	1	50	63	78	8,5	14	8,5	60	15	6	M8	0,869	3110
FTN 35 P R	FTN 35 P L	Tr 35x5	1	50	63	78	8,5	14	8,5	60	15	6	M8	0,876	3060
FTN 35 A R	FTN 35 A L	Tr 35x6	1	50	63	78	8,5	14	8,5	60	15	6	M8	0,883	3015
FTN 35 M R	--	Tr 35x8	1	50	63	78	8,5	14	8,5	60	15	6	M8	0,898	2920
FTN 40 R R	FTN 40 R L	Tr 40x3	1	55	68	84	8,5	14	8,5	65	15	6	M8	1,030	3930
FTN 40 Q R	FTN 40 Q L	Tr 40x4	1	55	68	84	8,5	14	8,5	65	15	6	M8	1,039	3880
FTN 40 P R	FTN 40 P L	Tr 40x5	1	55	68	84	8,5	14	8,5	65	15	6	M8	1,048	3828
FTN 40 O R	FTN 40 O L	Tr 40x6	1	55	68	84	8,5	14	8,5	65	15	6	M8	1,057	3778
FTN 40 A R	FTN 40 A L	Tr 40x7	1	55	68	84	8,5	14	8,5	65	15	6	M8	1,066	3727
FTN 40 M R	--	Tr 40x8	1	55	68	84	8,5	14	8,5	65	15	6	M8	1,075	3675
FTN 45 A R	FTN 45 A L	Tr 45x8	1	55	72	90	8,5	14	8,5	65	15	6	M8	0,999	4186
FTN 50 R R	FTN 50 R L	Tr 50x3	1	65	80	100	10,5	17	10,5	80	20	6	M10	1,679	6095
FTN 50 Q R	FTN 50 Q L	Tr 50x4	1	65	80	100	10,5	17	10,5	80	20	6	M10	1,693	6030
FTN 50 P R	FTN 50 P L	Tr 50x5	1	65	80	100	10,5	17	10,5	80	20	6	M10	1,707	5970
FTN 50 O R	FTN 50 O L	Tr 50x6	1	65	80	100	10,5	17	10,5	80	20	6	M10	1,721	5905
FTN 50 A R	FTN 50 A L	Tr 50x8	1	65	80	100	10,5	17	10,5	80	20	6	M10	1,749	5780
FTN 55 A R	--	Tr 55x9	1	65	80	100	10,5	17	10,5	80	20	6	M10	1,475	6345
FTN 60 O R	FTN 60 O L	Tr 60x6	1	75	95	120	12,5	19	12,5	100	25	6	M12	2,865	8950
FTN 60 N R	FTN 60 N L	Tr 60x7	1	75	95	120	12,5	19	12,5	100	25	6	M12	2,886	8875
FTN 60 A R	FTN 60 A L	Tr 60x9	1	75	95	120	12,5	19	12,5	100	25	6	M12	2,927	8718

(1) Superficie di appoggio totale tra i denti della vite e i denti della chiocciola sul piano perpendicolare all'asse.

40 C1 riserviamo il diritto di modificare dimensioni e caratteristiche senza preavviso.

## A.7 - Coppie coniche

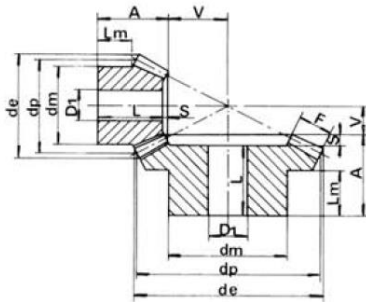


# COPPIE CONICHE A DENTI DIRITTI

### Coppie Coniche

Angolo di pressione: 20°  
ad assi normali secondo UNI 6588

RAPPORTO 1:2



MATERIALE: C 45 - UNI 7847

M	Z	d <sub>p</sub>	d <sub>e</sub>	F	A	d <sub>m</sub>	D <sub>1</sub>	L	V	S	L <sub>m</sub>
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

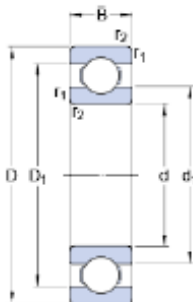
## A.8 - Cuscinetti SKF



16006

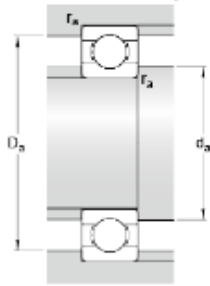
SKF Explorer

### Dimensioni



d	30	mm
D	55	mm
B	9	mm
d <sub>1</sub>	≈ 37.7	mm
D <sub>1</sub>	≈ 47.3	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 0.3	mm

### Dimensioni dello spallamento



$d_a$	min.	32	mm
$D_a$	max.	53	mm
$r_a$	max.	0.3	mm

### Dati di calcolo

Coefficiente di carico dinamico	C	11.9	kN
Coefficiente di carico statico di base	$C_0$	7.35	kN
Carico limite di fatica	$P_u$	0.31	kN
Velocità di riferimento		28000	r/min
Velocità limite		17000	r/min
Fattore di calcolo	$k_r$	0.02	
Fattore di calcolo	$f_0$	15	

### Massa

Massa cuscinetto	0.089	kg
------------------	-------	----

## A.9 - Piedini di livellamento MISUMI

### Piedi di livellamento per profilati in alluminio

**Standard**

**RoHS**

**NFJN  
NFJNS  
NFJNF** (Acciaio inox)

$M$  (FL grossa)

$l_2$

M	D	( $l_1$ )	( $l_2$ )	E	B	t
5	30	3.5	4	5.4	8	1.6
6	30	4	5		10	
8	38	5.5	6.5	11	13	
10	38	7	8		17	
12	60	8	10	18	19	
16	75	10	13	20	24	2.0
20	75	13	16		30	

Tipo	Materiale	Trattamento superficiale
NFJN	EN 1.0038 equiv.	Cromatura trivalente
NFJNF	EN 1.0038 equiv.	Cromatura trivalente
NFJNS	EN 1.4301 equiv.	Lucidatura elettrolitica

⚠ Gli alberi delle viti possono ruotare indipendentemente dalla base e inclinarsi di 3 - 5 gradi.

**Dim. A selezionabile**

Codice componente	M-A	L	Carico verticale ammesso (kN)	Massa (g)	Prezzo unitario
Tipo			NFJN, NFJNS		NFJN/NFJNS
	5-30	40.5	1.5	15	
	5-60	70.5	1.5	19	
	6-40	51	2.1	21	
	6-80	91	2.1	28	
	8-50	68.1	3.9	50	
	8-100	118.1	3.9	65	
	10-75	94.6	4.3	88	
	10-100	119.6	4.3	100	
	12-75	103	4.9	166	
	12-100	128	4.9	184	
	12-125	153	4.9	200	
	12-150	178	4.9	219	
	16-75	107	5.9	287	
	16-100	132	5.9	317	
	16-130	162	5.9	356	
	16-150	182	5.9	383	
	16-180	212	5.9	422	
	20-100	135	8.8	493	
	20-130	163	8.8	557	
	20-150	183	8.8	605	
	20-180	213	8.8	671	

**Dim. A configurabile**

Codice componente	M	A	L	Prezzo unitario
Tipo	Incrementi di 10mm			
NFJNF	10	80-200	A+19.6	
	12	80-250	A+28	
	16	80-300	A+32	
	20	110-300	A+35	

⚠ Le punte delle viti sono colorate.

Ordering Example: **NFJN12-100** - **A**

**NFJNF10** - **80**

## A.10 - Gancio Schunk

**SWS**  
Robot Accessories | Changing | Quick-change System

---

### Modular. Robust. Flexible.

## SWS Quick-change system

Pneumatic tool changing system with patented locking system.

### Field of Application

Can be used wherever short changeover times between a handling device and a tool (pallets, gripper) are required

### Advantages – Your benefit

- Many sizes for almost every robot size: there is always the matching unit for your application
- Patented fail-safe locking mechanism for safe connection between quick-change master and quick-change adapter
- Manual emergency unlocking possible no counter-forces from springs
- All functional components made from hardened steel for a greater change system load bearing capacity
- Wide range of electric, pneumatic, and fluid modules for manifold energy transmission possibilities
- Integrated pneumatic feed-through for safe energy supply of the handling modules and tools
- Possibility of transmission of fluid systems with self-sealing couplings possible
- Adapter coding via electric module possible
- Suitable storage racks for all sizes of standardized storage modules
- ISO flange pattern for easy assembly with most types of robots without needing additional adapter plates



A 001 - SWK 001  
SWA 001

 Sizes Quantity: 15	 Handling weight 1.4 - 450 kg	 Moment load M <sub>1</sub> 2.8 - 9870 Nm	 Moment load M <sub>2</sub> 3.45 - 8460 Nm
--	--	--	---

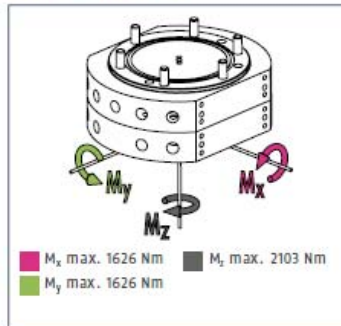
42

## SWS 076

Robot Accessories | Changing | Quick-change System



### Forces and moments



- ① This is the max. sum of all forces and moments (from acceleration or deceleration, process forces or moments, emergency stop situations, etc.) which are permitted to act on the tool change system while still ensuring proper functioning.

### Technical data

Description	SWK-076-000-000-SG	SWA-076-000-000
	Quick-change master	Quick-change adapter
Recommended handling weight	[kg] 100	100
Piston stroke monitoring	integrated	
Locking force	[N] 12000	
Repeat accuracy	[mm] 0.015	0.015
Mass	[kg] 2.25	1.4
max. locking distance	[mm] 2	2
Air connection thread	5x G1/8"	5x G1/8"
Pneumatic feed-through		
Main connection lock / unlock	G1/8"	
max. permissible XY offset	[m] ±2	±2
max. permissible angular offset	[°] ±1	±1
min. / max. ambient temperature	[°C] 5/60	5/60
min. / max. operating pressure	[bar] 4,5/6,9	4,5/6,9
Robot side connection	ISO 9409-1-125-6-M10	ISO 9409-1-125-6-M10

# A.11 - Volantini MISUMI

## Volantini a razze

**Volantini a razze**

Profilo foro albero D.I.	Tipo			Mozzo		Volantino		Foro di montaggio maniglia inserto		Maniglia		Filettatura maniglia	
	Maniglie fisse	Maniglie ripiegabili	Senza maniglia	Materiale	Trattamento superficie	Materiale	Trattamento superficie	Materiale	Trattamento superficie	Materiale	Trattamento superficie	Materiale	Trattamento superficie
*1 Senza foro	PHLN	PHLFN	-	EN-JL 1030 Equiv.	Ossido nero	Resina fenolica	-	Ottone	-	-	-	-	-
Foro H9 + Masch	PHLM	PHLFM	-	EN 1.4305 Equiv.	-	Resina fenolica	-	Ottone	-	Resina fenolica	EN 1.0711 Equiv.	Cromatura trivalente	-
Foro H9 + Sede chiov. + Masch.	PHLK	PHLFK	-	EN 1.4305 Equiv.	Ossido nero	Resina fenolica	-	Ottone	-	Resina fenolica	EN 1.0711 Equiv.	Cromatura trivalente	-
Foro quadrato	PHLW	PHLFW	-	EN 1.4305 Equiv.	Ossido nero	Resina fenolica	-	Ottone	-	Resina fenolica	EN 1.0711 Equiv.	Cromatura trivalente	-
Con spac.	PHLP	-	-	EN 1.1191 Equiv.	Cromatura nera	Polipropilene	-	-	-	-	-	-	-

**D80-D200**

**D250**

**PHLP**

Le maniglie fisse sono GRW a P.1151.  
 Le maniglie ribaltabili sono GRMBM a P.1151.  
 Le maniglie fisse e le maniglie ribaltabili ruotano.

\*1 è il tipo "senza foro"; presenza di un foro pilota per la produzione.  
 Foro passante D80 125: Ø6, con profondità di circa 10mm  
 D140-250: Ø6 a Ø8, con profondità di circa 10mm

Codice componente	Tipo	D	Foro H9 + Masch.		Foro H9 + Sede chiov. + Masch.		Foro quadrato		Con spac.		H	A	D1	D2	D3	L	L1	d1	h1	X	Y	R	d5	R.F1	R.F2	P	B		G		Massa (g)	
			Selezione d	di	b	t	di	dz	PHL	PHL																	PHL	PHL	PHL	PHL		
Senza foro	Foro H9 + Sede chiov. + Masch.	80	*10, *12, 14	10	3	1.4	10	10	32	13	20	28.5	30.2	25	25	21.1	9	7	8.5	4.5	4	26	3	19.6	40	55	135	177				
PHLN	Masch.	100	10, *12, *15	5	12	4	1.8	12	36	25	35	37.1	28	28	25.6	10	9	10	5.5	8	5	37	5	19.7	55	81.5	330	410				
PHLFN	PHLK	125	*12, *16, 18	6	15	5	2.3	14	40	17	40	44.9	-	30	-	11	-	-	-	-	-	55	-	23	67	104	485	640				
PHLM	PHLW, PHLFW	140	*15, 18, *20	6	16	5	2.3	14	47	20	45.3	-	35	-	31.1	11	-	-	-	-	-	73	-	22.6	67	104	640	795				
PHLFM	Con spac.	160	16, 18, 20	6	16	5	2.3	14	50	23	35	49.9	-	40	-	-	-	-	-	-	-	80	-	24	75	780	935					
PHLSM	PHLP	200	16, 18, 20	6	16	5	2.3	14	54	23	35	50	40	-	-	-	-	-	-	-	-	80	-	24	75	780	935					
Senza foro, senza maniglia	PHLN-R	250	-	-	-	-	-	-	66	26	44	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	980	-			

\*1 Solo dimensioni d con \* disponibili per il tipo in acciaio inox.  
 \*2 Solo D80, 100 e 125 con spaccatura.

Ordering Example  
 PHLN80 - d  
 PHLM100 - 12  
 PHLP125 - 12



# Bibliografia

- [1] M. Manzolaro, *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](http://www.eurisol.org),» [Online].
- [3] A. Andrichetto et al., *The SPES Project At LNL*, AIP (American Institute of Physics), 2009.
- [4] M. Lindroos, *Review of ISOL-type radioactive beam facilities*, EPAC, 2004.
- [5] G. Meneghetti et al., *Design of the SPES Target Heating System: theoretical analyses and comparison with experimental data*, TCN CAE, 2008.
- [6] M. Manzolaro 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.
- [7] 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.
- [8] Borgna F., *Potenzialità della tecnologia Isotope Separation On-Line (ISOL) per la realizzazione di un radiofarmaco a base di  $^{89}\text{Sr}$  e preliminare sviluppo tecnologico della forma farmaceutica*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Padova, 2012/2013.
- [9] D.Scarpa e A.Andrichetto, *DOC\_0000068, Gestione dei locali A6,A7 e A8 del progetto SPES*, Internal report, SPES Document Repository.
- [10] F.D'Agostini, *DOC\_00000XXX, Il Temporary Storage System del progetto SPES*, Internal report, SPES Document Repository.
- [11] D.Turcato, *Studio e progettazione del sistema di estrazione verticale del bersaglio di produzione del progetto SPES*, Tesi di Laurea Magistrale, Università degli Studi di Padova, 2016/2017.
- [12] M. Allegrini e L. De Ruvo, «Studio dei principali eventi incidentali a carico del sistema AGV + Cartesiano (ALFA),» *Internal report, SPES Document Repository.*
- [13] SCHUNK Inc, «[www.youtube.com/watch?v=Gc\\_TtWASzRY](http://www.youtube.com/watch?v=Gc_TtWASzRY),» [Online].
- [14] G.Fanti, *Appunti di misure meccaniche e termiche*, quarta edizione, 2014.
- [15] I.Ciucci, «Radiazioni ionizzanti,» *Dipartimento di Ingegneria meccanica, Nucleare e della Produzione, Università di Pisa.*
- [16] *Corso di Radioprotezione, Internal e-learning training course, LNL Radiation Protection service.*
- [17] *Decreto Legislativo del Governo 17 marzo 1995 n.230 modificato dal D.Lgs. 26 maggio 2000 n.187, dal D.Lgs. 26 maggio 2000 n.241 e dal D.Lgs. 9 maggio 2001 n.257.*
- [18] A.Ferrari-P.R.Sala-A.Fassò-J.Ranft, «Fluka: a multi-particle transport code,» CERN-2005-10, INFN/TC 05/11, SLAC-R-773, 2004.
- [19] A. Donzella, «Calcoli di rateo di dose durante le operazioni di sostituzione del target con la macchina di emergenza nelle prime fasi di operazioni di SPES,» *SPES meeting*, 2017/2018.
- [20] M. Manzolaro, S. Corradetti e L. De Ruvo, *DOC\_0000054, The SPES target-ion source system life cycle*, Internal report, SPES Document Repository.





