

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

TESI DI LAUREA

**ANALISI E PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA DI
CONTENIMENTO E MOVIMENTAZIONE DI UN
BERSAGLIO PER LA RACCOLTA DI ISOTOPI
RADIOATTIVI DI INTERESSE MEDICO**

Relatore: Prof. GIOVANNI MENEGHETTI

Correlatori: Dott. ALBERTO ANDRIGHETTO¹

Ing. MICHELE BALLAN¹

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Legnaro¹

Laureando: SERGHEI POPA

Matricola: 1132442

ANNO ACCADEMICO 2016-2017

*A Mihail ed Alla,
i miei genitori*

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1	
Descrizione del progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro: produzione ed utilizzo di fasci esotici	3
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-β)	6
1.4 Configurazione e layout della facility.....	8
1.4.1 L'acceleratore primario – Ciclotrone	9
1.4.2 Il target di produzione e il sistema di estrazione e di ionizzazione	10
1.4.3 Separatori magnetici e post accelerazione.....	13
1.5 Applicazioni dei fasci di ioni esotici [3]	14
1.5.1 Applicazioni in fisica nucleare.....	14
1.5.2 Applicazioni nella fisica dello stato solido.....	16
1.5.3 Applicazioni in astrofisica.....	17
1.5.4 Applicazioni in medicina nucleare	17
Conclusioni.....	18
CAPITOLO 2	
Introduzione al Progetto ISOLPHARM e la produzione di Radiofarmaci	19
2.1 Introduzione.....	19
2.2 Radiofarmaci [14].....	19
2.3 Impiego dei radionuclidi in medicina nucleare [19].....	20
2.3.1 Radionuclidi per la diagnostica: la tecnica (PET)	21
2.3.2 Radionuclidi per la terapia.....	22
2.4 Il progetto ISOLPHARM per la produzione di radiofarmaci	23
Conclusioni.....	25
CAPITOLO 3	
Studio e progettazione di dettaglio del sistema Target di Raccolta del progetto SPES-ISOLPHARM	27
3.1 Introduzione.....	27
3.2 Dati di progetto e requisiti del sistema	27
3.3 I primi studi del sistema Target di Raccolta	28
3.3.1 Il primo Concept per la Camera Target Secondario	29
3.3.2 Consulenza con specialisti del settore.....	32
3.4 Progettazione di dettaglio della Camera Target Secondario.....	33

3.4.1 <i>Il sotto assieme _01 parte destra della Camera Target</i>	34
3.4.2 <i>Il sotto assieme _02 parte sinistra della Camera Target</i>	40
3.4.3 <i>Collare di collegamento fra la linea del fascio e la Camera Target Secondario</i>	50
3.4.4 <i>L'architettura della Camera Target Secondario</i>	55
3.4.5 <i>Dimensionamento della molla ad elica torsionale</i>	58
3.4.6 <i>Verifica strutturale dello spessore della Camera Target</i>	60
3.5 Il Prototipo della Camera Target	62
Conclusioni	65
CAPITOLO 4	
Studio e progettazione preliminare del Sistema di Movimentazione del Target di Raccolta..	67
4.1 Introduzione	67
4.2 Dati di progetto ed i requisiti del sistema	67
4.3 Progettazione del Sistema di Movimentazione	68
4.3.1 <i>Il Porta-capsule</i>	69
4.3.2 <i>Il primo g.d.l.-piatto superiore</i>	73
4.3.3 <i>Il secondo g.d.l.-Piatto inferiore</i>	80
4.3.4 <i>Verifica degli alberi lineari</i>	84
4.4 L'architettura ed il funzionamento del Sistema di Movimentazione	85
Conclusioni	87
CAPITOLO 5	
Le prime fasi del progetto: Target di Raccolta di piccole quantità di radioisotopi	89
5.1 Introduzione	89
5.2 Requisiti e dati del progetto	89
5.3 Introduzione al meccanismo della Faraday Cup	91
5.4 Definizione preliminare del sistema Target di Raccolta di piccole quantità di radioisotopi	95
5.4.1 <i>Utensile per lo sgancio della coppa supporto del target</i>	97
5.4.2 <i>L'impiego della crociera</i>	100
5.2 L'architettura del dispositivo ed il processo di funzionamento	101
Conclusioni	102
CONCLUSIONI	103
Bibliografia	105
APPENDICE A	
Tavole costruttive della Camera Target Secondario	107
APPENDICE B	
Tavole costruttive del Sistema di Movimentazione	109
APPENDICE C	

Tavole costruttive del Sistema per la raccolta di piccole quantità di radioisotopi	111
APPENDICE D	
Simulazione della schermatura della Camera Target Secondario.....	113
APPENDICE E	
Estratto dall'Allegato IV della D.Lgs. 230: Limiti di dose	118
APPENDICE F	
Datasheet ed estratti da Cataloghi.....	122
F.1 Maniglia Elesa.....	123
F.2 Anelli d'arresto	125
F.3 Contatti elettrici a molla.....	127
F.4 Passanti da vuoto	130
F.5 Valvole da vuoto VAT	132
F.6 Otturatori	136
F.7 Componenti MISUMI.....	137
Ringraziamenti	152

INTRODUZIONE

E' passato poco più di un secolo dalla scoperta del nucleo da parte di Rutherford ed oggi si può pienamente affermare che tale scoperta ha segnato nuovi orizzonti indispensabili all'evoluzione umana. Oggi la Fisica Nucleare non è solo uno dei campi di maggior interesse della Fisica, ma è un continuo flusso di scoperte che riguardano sia la scienza sia il mondo in cui viviamo. Grande interesse è stato posto nella medicina, nella farmacologia, nel mondo industriale, nella fisica applicata e in molti altri rami della ricerca contemporanea. L'Europa in tutto ciò assume il ruolo di leadership e sta realizzando la costruzione di una nuova generazione di *facilities* per la produzione di fasci radioattivi e lo studio della materia esotica. All'interno di tale programma anche l'Italia si rende protagonista con il progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) di Legnaro (PD). Tale iniziativa prevede la costruzione di un sistema per la produzione di fasci radioattivi ricchi di neutroni (*neutron-rich*) e di altissima purezza ed intensità, nel range di massa compreso tra 80 e 160 uma. Il progetto SPES prevede il bombardamento di un bersaglio (*target*) in carburo di uranio (UCx), con un fascio di protoni generato da un Ciclotrone, generando per fissione nucleare le specie radioattive di interesse. Come previsto dalla tecnica ISOL (Isotopes Separation On-Line), i nuclidi prodotti saranno poi ionizzati ed estratti per mezzo di una differenza di potenziale, costituendo un fascio, che verrà poi separato in massa, e riaccelerato.

Solitamente il *Target* impiegato in questo tipo di applicazioni è un monoblocco di carburo di uranio racchiuso all'interno di una scatola di grafite. Il progetto SPES ha introdotto una grande innovazione suddividendo il bersaglio in 7 sottili dischi opportunamente spazati, soluzione che permette a parità di volume impiegato di aumentare notevolmente la superficie di scambio termico tra il bersaglio e la scatola che lo contiene. Le temperature elevate ($T \approx 2000$ °C) favoriscono il rilascio degli isotopi dal target. Grazie ai moti di agitazione termica, le particelle diffondono nel bersaglio ed effondono attraverso la transfer line, fino alla sorgente di ionizzazione. La ionizzazione porta gli isotopi allo stato di carica 1+ che permette l'estrazione di un fascio applicando una differenza di potenziale. A seconda del tipo di elemento di cui si vuole produrre il fascio, vengono impiegate sorgenti di ionizzazione differenti; in particolare si possono usare sorgenti con ionizzazione superficiale, sorgenti Laser (RILS), sorgenti al Plasma (FEBIAD) o le sorgenti ECR (*Electron Cyclotron Resonance*). La fase successiva, vede il fascio passare attraverso il Wien-Filter che è un separatore di massa rendendo il fascio di altissima qualità eliminando le impurezze indesiderate. Nello stadio finale il fascio viene riaccelerato e spedito alle stazioni sperimentali. I fasci che saranno prodotti nell'ambito del progetto SPES potranno essere utilizzati in vari campi della ricerca. Tra questi di grandissimo interesse è lo studio per la produzione di una nuova generazione di radiofarmaci per la medicina nucleare per la cura e diagnosi dei tumori. Tale progetto all'interno dei laboratori di Legnaro prende il nome di ISOLPHARM. Come dice il nome sfrutta la *facility* ISOL impiegata nel progetto SPES per la realizzazione dei Radiofarmaci. Con il processo sviluppato e brevettato da INFN-LNL tali preparati possono avere un elevatissimo grado di purezza ed attività specifica; caratteristiche che determinano l'efficacia del farmaco.

Il lavoro di questa tesi si contestualizza in ISOLPHARM, che è l'applicazione del progetto SPES nel ambito della medicina nucleare. L'obiettivo primario è la realizzare di una stazione di raccolta degli ioni radioattivi su un apposito bersaglio (*target secondario*). Il macchinario in questione dovrà soddisfare numerose specifiche legate alla sicurezza, al rischio di contaminazione, maneggevolezza e alla facilità di utilizzo. Successivamente alla deposizione delle particelle di interesse, il bersaglio dovrà essere trasportato all'interno di un apposito laboratorio, dove in seguito ad un processo chimico verrà sintetizzato il Radiofarmaco.

Capitolo 1: Il primo capitolo spiega la tecnica ISOL per la produzione di fasci di ioni radioattivi. In seguito vien descritto il progetto SPES in corso all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) di Legnaro, presso il quale è stata svolta la seguente attività di Tesi. Vengono descritte le caratteristiche del progetto, gli obiettivi ed i campi di ricerca coinvolti.

Capitolo 2: Nel secondo capitolo viene introdotto il concetto di radiofarmaco e viene esposto il ruolo di questi nella medicina nucleare. Sono mostrati gli esempi di applicazione per la diagnostica oppure la terapia. Viene quindi esposto il progetto ISOLPHARM, applicazione delle tecnologie SPES per la produzione di radiofarmaci innovativi.

Capitolo 3: Questo capitolo tratta la progettazione di dettaglio della Camera Target Secondario. A tal fine, vengono innanzitutto esplicitate le caratteristiche che il componente deve possedere e che hanno portato alla definizione del primo concept. In seguito viene presentato il processo di progettazione della Camera Target che ha portato alla realizzazione delle tavole costruttive per la produzione del dispositivo.

Viene infine presentato il prototipo della Camera Target realizzato presso l'officina interna del LNL-INFN.

Capitolo 4: Nel quarto capitolo viene presentata la progettazione del Sistema di Movimentazione facente parte del Sistema Target di Raccolta. Sono descritti i componenti progettati ed i componenti scelti da fornitori esterni. Inoltre in questo capitolo viene mostrato il modo in cui viene ad interfacciarsi tale macchinario con la Camera Target, nel momento in cui il complesso verrà messo in funzione.

Capitolo 5: In quest'ultimo capitolo viene presentato uno studio preliminare di un dispositivo per la raccolta di piccole quantità di radioisotopi che verrà impegnato nelle prime fasi del progetto SPES, quando la facility non sarà ancora completa. Questo consentirà l'avviamento dei primi studi in vitro prima che sia allestita la stazione di raccolte vera e propria. Il dispositivo in oggetto è realizzato mediante la modifica di una Faraday Cup di una Diagnostic Box, per cui sono presentati i vari componenti preservati e gli oggetti progettati "ex novo".

CAPITOLO 1

Descrizione del progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro: produzione ed utilizzo di fasci esotici

1.1 Introduzione

Il termine *materia* può essere ricondotto alla parola latina “*mater*” che significa madre; l’etimologia di tale termine fa capire la sua importanza in quanto fondamento costituente di tutti i corpi e di tutte le cose (*La sostanza prima di qui tutte le altre sostanze sono formate*). Le proprietà della materia sono strettamente influenzate dalle caratteristiche degli atomi che la compongono. Atomi diversi comportano proprietà fisiche e chimiche differenti: le proprietà chimiche sono dovute principalmente alla nube elettronica esterna, mentre le proprietà fisiche sono dovute alla combinazione di più atomi disposti ed organizzati in reticoli cristallini. Essendo la massa dell’atomo concentrata per il 99,9% nel nucleo è quest’ultimo che ne determina le caratteristiche principali e l’elemento di appartenenza. I costituenti del nucleo sono definiti nucleoni, e si distinguono in protoni e neutroni. Tali particelle sono di massa molto simile ($1,67 \cdot 10^{-24}$ g) ma con cariche differenti: in particolare il protone ha una carica positiva ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C) e il neutrone carica nulla [1]. Il numero di protoni è identificato con il simbolo Z e identifica in maniera esclusiva l’elemento di appartenenza, mentre il numero di neutroni (indicato con il simbolo N) può essere variabile. La somma di questi due numeri viene detta numero di massa ed è convenzionalmente indicata con $A = Z + N$.

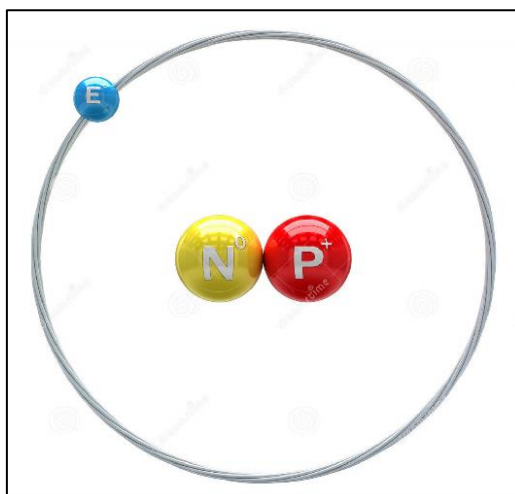


Fig. 1.1: Struttura dell'atomo

Atomi con lo stesso numero di protoni ma differente numero di neutroni sono detti *isotopi* dello stesso elemento, e vengono identificati mediante il numero di massa.

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

I nuclei stabili (non radioattivi) in genere possiedono un egual numero di protoni e di neutroni [2], dal momento che la forza attrattiva tra neutroni e protoni è leggermente più intensa di quella tra nucleoni dello stesso tipo.

Tuttavia per numeri di massa atomica ($A=Z+N$) superiore al 40 le forze elettrostatiche diventano più significative, spostando quindi la stabilità degli atomi verso quelli con numero di neutroni più elevato rispetto ai protoni. Infatti, l'aggiunta di un maggior numero di particelle neutre non alimenta l'azione della repulsione elettrostatica ma consente di aumentare solamente l'interazione nucleare. Con l'aumento della massa dell'atomo si manifesta necessariamente un aumento delle sue dimensioni e quindi della distanza tra i nucleoni. Questo si traduce in una perdita di efficacia dell'interazione nucleare forte, che è un'azione a corto raggio, rendendo quindi il nucleo instabile. Tali informazioni sono rappresentate dalla carta dei nuclidi figura 1.2 [3].

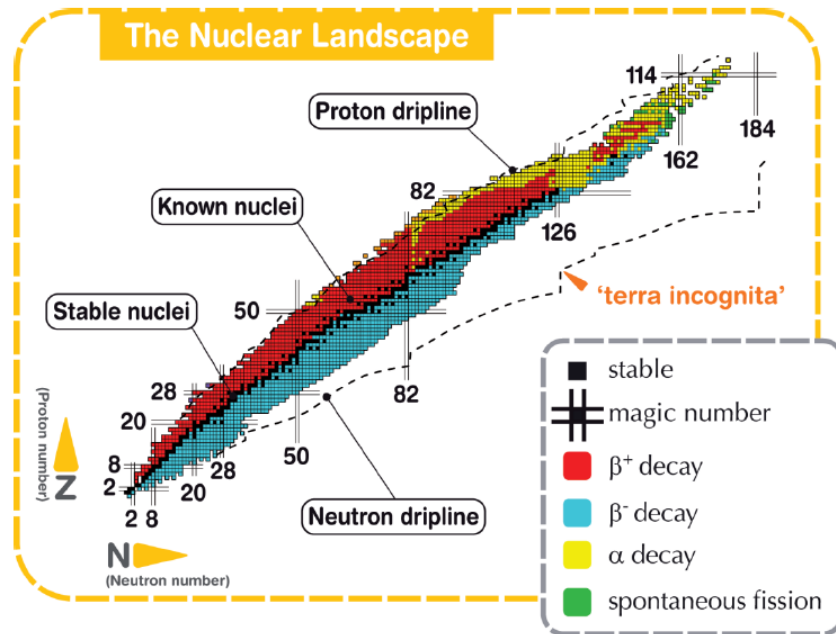


Fig. 1.2: La mappa dei nuclidi

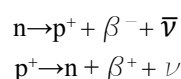
Il termine *nuclide* fu introdotto per la prima volta nel 1947 da Truman Kohman per indicare una singola specie nucleare, caratterizzata da un numero atomico Z , da un numero di massa A e da un particolare stato energetico [4]. La mappa dei nuclidi ha la funzione di identificare gli isotopi in base alle loro caratteristiche fisiologiche (N e Z). L'asse delle ascisse rappresenta il numero di neutroni (N), mentre in ordinata sono posti il numero di protoni (Z). In nero sono indicati i nuclei stabili, e come già enunciato, si osserva che a bassi numeri di massa i nuclei stabili sono distribuiti pressoché lungo una retta inclinata di 45° ($Z=N$). I nuclei con eccesso o difetto di neutroni (*proton-rich* e *neutron-rich* rispettivamente) sono distanti dalla valle di stabilità e decadono con emissione di particelle o radiazioni elettromagnetiche a seconda della loro natura. Tali nuclei instabili vengono comunemente chiamati "esotici". Si individuano quindi quattro tipologie di decadimenti nucleari possibili [5]:

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

$$\begin{aligned} ZD &= Z - 2 \\ AD &= A - 2 \end{aligned}$$

Dove ZD e AD sono rispettivamente il numero atomico e il numero di massa dopo il decadimento.

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



Nel primo caso si ha il decadimento β^- , caratteristico dei nuclidi rappresentati in blu in figura 1.2, cioè isotopi con un eccesso di neutroni e quindi al di sotto della valle di stabilità. L'emissione di particelle β^- comporta la trasformazione di un neutrone in un protone, e quindi la tendenza ad avvicinarsi alla valle di stabilità. Il decadimento consiste nella trasformazione di un neutrone in un protone, accompagnato dalla perdita di una particella β^- (elettrone) e di un antineutrino in modo da garantire il bilanciamento della reazione sia per la carica che per la massa.

Il secondo schema di reazione invece è chiamato decadimento β^+ ed è tipico dei nuclei con eccesso di protoni e quindi al di sopra della valle di stabilità (in rosso in fig. 1.2). Tali nuclidi tendono a trasformare i protoni in neutroni per riacquisire stabilità, con emissione di un positrone (β^+) e di un neutrino.

- **Fissione spontanea:** avviene in alcuni nuclei molto pesanti (in verde in fig. 1.2) e consiste nella loro spontanea suddivisione in due diversi atomi. Ad esempio l'isotopo $^{252}_{98}\text{Cf}$ da luogo spontaneamente alla reazione $^{252}_{98}\text{Cf} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{108}_{44}\text{Ru} + ^1_0n + Q$, in cui Q è l'energia liberata dal processo.
- **Emissione di raggi γ :** è in genere una forma di decadimento successiva o contemporanea ad una di quelle elencate in precedenza in quanto consiste solamente nell'emissione di radiazioni elettromagnetiche e non provoca alcuna variazione a livello delle specie atomiche interessate. Tale fenomeno è imputabile al fatto che i nuclei neoformati, chiamati nuclei figli, sono caratterizzati spesso da uno stato di eccitazione che provoca l'emissione di radiazione elettromagnetica ad alta frequenza.

I nuclei studiati, in termini di proprietà nucleari, fino ad oggi sono più di 3600, e possono essere prodotti più o meno facilmente tramite varie *facilities* in diverse parti del mondo. I nuclei instabili sono chiamati esotici e si stima, secondo modelli teorici, che possano essere fino a 6000. Tali nuclei si trovano all'interno delle *drip lines*, indicate in fig. 1.2, linee che delimitano il campo di esistenza di possibili nuclei e oltre le quali l'instabilità sarebbe tale da impedirne l'esistenza. Sono ancora molti i nuclei incogniti all'interno di questo campo, soprattutto nella regione dei nuclei *neutron-rich*. Lo studio dei nuclei instabili ha aperto nuovi campi di ricerca in fisica nucleare e ha portato ad importanti applicazioni in fisica dello stato solido, astrofisica ed infine in medicina nucleare grazie allo studio e alla produzione di radionuclidi per la terapia e la diagnosi.

1.2 Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro

Si parla per la prima volta del progetto SPES all'interno dei Laboratori Nazionali di Legnaro nel 1999, l'anno in cui avviene la presentazione del Concept. **SPES – Selective Production of Exotic Species** è un progetto multidisciplinare il cui principale obiettivo è quello di creare un sistema sperimentale in grado di produrre fasci di ioni radioattivi, chiamati RIBs (Radioactive Ion Beams), per studi di fisica nucleare fondamentale e per lo studio di nuclei atomici instabili. Tali nuclei non sono presenti naturalmente, ma sono prodotti durante le fasi conclusive della vita delle stelle, dalle quali tutti gli elementi sono generati. Al giorno d'oggi la maggior parte delle conoscenze a proposito delle proprietà nucleari deriva dallo studio dei nuclei localizzati nella valle di stabilità o da nuclei con una carenza di neutroni. Si ritiene che lo studio di nuclei atomici con un largo eccesso di neutroni o protoni possa consentire la scoperta di nuove proprietà della struttura nucleare.

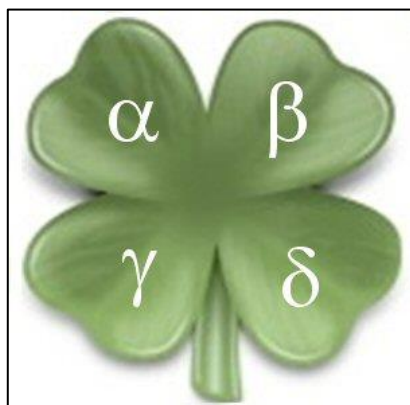


Fig.1.3: Il quadrifoglio delle 4 fasi, uno dei Loghi di SPES

Il progetto sarà articolato in 4 fasi, come suggerito da uno dei loghi di SPES [6]:

SPES-alfa: già approvato e finanziato dall'INFN, include l'acquisto, l'installazione e il commissioning di un ciclotrone con alta corrente in uscita (fino a 0.7 mA) ed alta energia (fino a 70 MeV), assieme alla relativa infrastruttura.

Il ciclotrone è dotato di due porte di uscita, una configurazione molto adatta per la doppia missione del laboratorio: ricerca di base e applicazioni tecnologiche. Uno dei due fasci sarà dedicato alla struttura ISOL; il secondo sarà dedicato alla fisica applicata. Dalla collisione di protoni su un bersaglio UC_x , il ciclotrone produrrà ioni ricchi di neutroni radioattivi.

SPES-beta: nuclei ricchi di neutroni saranno accelerati contro bersagli adeguati. Nelle collisioni, saranno prodotti nuovi nuclei estremamente ricchi di neutroni, simili a quelli generati nelle fasi stellari avanzate e non presenti sulla Terra a causa della loro breve vita. L'indagine su tali sistemi è una nuova frontiera della fisica per estendere la nostra conoscenza dei nuclei in condizioni estreme e per fornire informazioni di base per lo studio dell'evoluzione stellare. SPES-beta è stato approvato e parzialmente finanziato dal Governo italiano come progetto premiale dei LNL.

SPES-gamma riguarda la produzione di radionuclidi di interesse medicale utilizzando il ciclotrone SPES-alfa. L'obiettivo è la produzione di radiofarmaci innovativi (ad esempio quelli basati su Sr_{82}/Rb_{82} e Ga_{68}/Ge_{68}) così come la produzione di radionuclidi convenzionali con nuovi approcci basati sugli acceleratori. A questo riguardo lo stato metastabile del tecnezio-99 (Tc_{99-m}) è di particolare interesse. Questa fase di SPES è stata finanziata dal governo come progetto premiale LARAMED.

SPES-delta: prevede lo sviluppo di un acceleratore lineare ad alta intensità basato sulla tecnologia di radiofrequenza a quadrupolo (RFQ). Seguendo tale strada, si possono raggiungere correnti di fascio fino a 30 mA all'energia di 5 MeV. Questo acceleratore può produrre una sorgente di neutroni estremamente intensa, utilizzabile per l'astrofisica nucleare, la caratterizzazione dei rifiuti nucleari, o il trattamento sperimentale dei tumori per mezzo della terapia basata sulla cattura neutronica da parte del boro (BNCT). Per lo sviluppo di questo approccio, è stato siglato un accordo fra SOGIN, Università degli Studi di Pavia e INFN e il progetto MUNES (MULTidisciplinary NEutron Source) è stato finanziato dal Governo italiano.

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

La produzione di fasci di ioni radioattivi richiede la costruzione di attrezzature, dette *facilities*, capaci di produrre fasci (RIB, *Radioactive Ion Beams*) di elevata purezza, intensità ed energia. In Europa e nel resto del mondo vi sono numerose *facilities* operanti per la produzione di fasci radioattivi; la maggior parte di esse sono basate sulla tecnica ISOL [7].

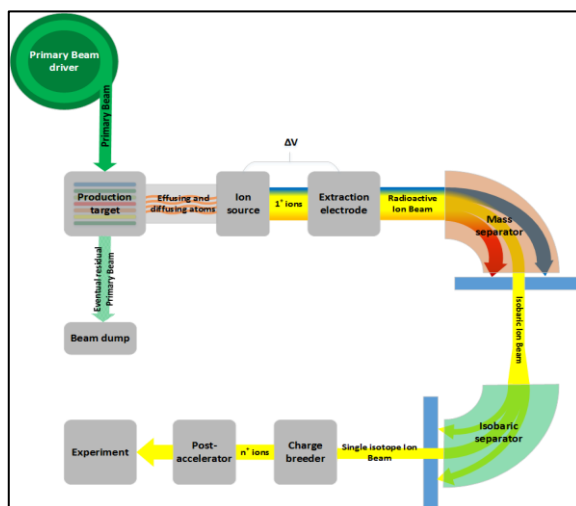


Fig. 1.4: Schema di una facility di tipo ISOL

La tecnica ISOL (*Isotope Separation On-Line*) consiste nella separazione degli isotopi in linea. *Facilities* di questa tipologia sono generalmente strutturate nel seguente modo:

- L'acceleratore primario
- Il complesso Front-END
- Separatori di massa
- Post acceleratori

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

L'intensità del fascio realizzato è descritta dalla seguente espressione (1.1):

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

dove:

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

Nella realizzazione di una *facility* di tipo ISOL gli obiettivi da perseguire sono:

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

La separazione dei prodotti radioattivi dal substrato del *target* e l'estrazione dei nuclei esotici, sono processi fortemente dipendenti dalla temperatura; infatti all'aumentare del livello termico, la velocità di diffusione delle particelle manifesta un incremento. Ciò risulta importante soprattutto per atomi radioattivi a breve emivita, in quanto un rapido rilascio evita una perdita di questi atomi per decadimento. Per questo motivo il sistema deve essere mantenuto alla maggior temperatura possibile. In ambito europeo le opportunità scientifiche offerte dai RIB ed i notevoli problemi tecnologici ad essi associati hanno portato la comunità scientifica a proporre la costruzione di una rete di *facilities* complementari, definite di *intermedia generazione*, fondamentali per arrivare alla costruzione di un'unica grande *facility* europea di tipo ISOL, chiamata EURISOL [8]. Data la portata di tale progetto, sono coinvolti nell'iniziativa i principali laboratori nucleari europei con l'obiettivo dello studio e della progettazione di una struttura per la produzione di fasci di ioni radioattivi di qualità significativamente superiore a quella attualmente disponibile. In tale direzione sono orientati anche i Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL), presso i quali è in corso la costruzione di una *facility* ISOL per la produzione di fasci di ioni esotici: il progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*) [9]. Tale progetto è coordinato a livello nazionale da INFN, ENEA (Bologna), Dipartimenti di Ingegneria Meccanica e di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Padova e a livello internazionale prevede strette collaborazioni con CERN (Svizzera) ed i Laboratori di Oak Ridge (USA).

1.4 Configurazione e layout della facility

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

Nelle seguenti figure 1.5, 1.6, 1.7 viene rappresentato il layout dei laboratori; si possono individuare il post acceleratore “ALPI” (acceleratore LINAC superconduttore), il CB (*Charge Breeder*) per aumentare lo stato di carica del fascio, l’HRMS (*High-Resolution Mass Separator*) per selezionare isobaricamente il fascio voluto ed il RFQ (*Radio-Frequency Quadrupole*) per la ri-accelerazione. Le strutture appena citate sono interfacciate al complesso SPES come mostrato nelle figure.

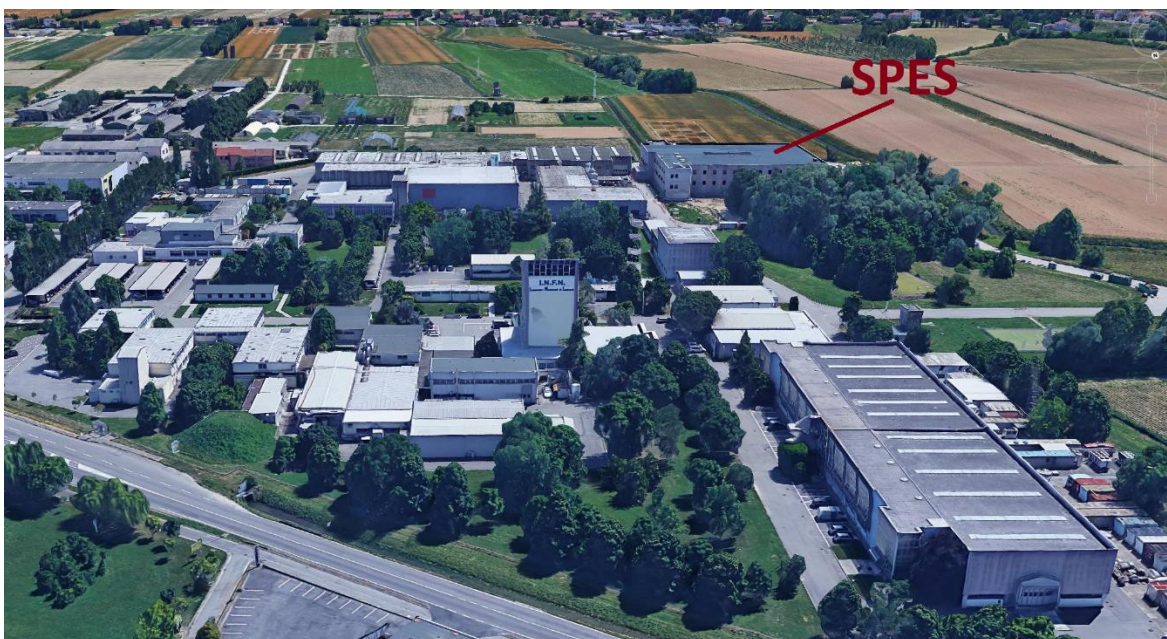


Fig. 1.5: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare-Laboratori di Legnaro. Edificio SPES

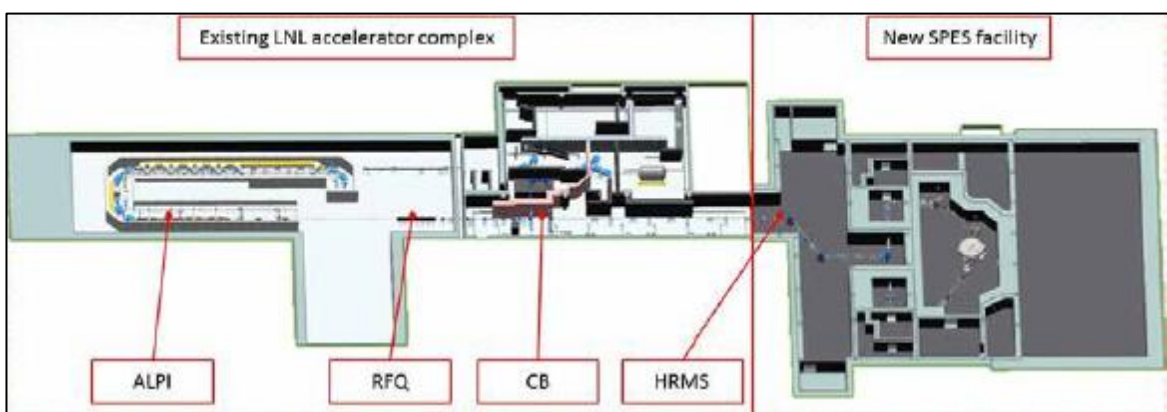


Fig. 1.6: Integrazione del progetto SPES con il complesso degli acceleratori presenti a L.N.L

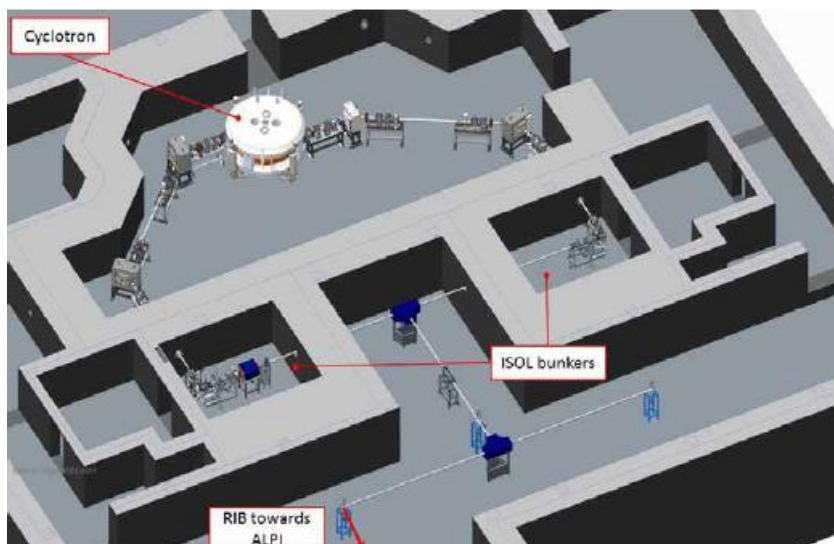


Fig. 1.7: Layout del progetto SPES

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

1.4.1 L'acceleratore primario – Ciclotrone

L'acceleratore primario ha la funzione di produrre un fascio protonico in grado di colpire il *target* di uranio in cui avviene la reazione di fissione nucleare. L'acceleratore utilizzato per la *facility* SPES è un Ciclotrone. Tale dispositivo è in grado di garantire le performance richieste per la produzione di fasci di ioni esotici ed offre la possibilità di utilizzare una seconda linea di fascio in modo completamente indipendente (caratteristica dei ciclotroni più sofisticati). Il mercato offre oggi la possibilità di produrre, con la tecnologia del ciclotrone, fasci di intensità molto vicina alle richieste del progetto SPES.

LNL-INFN ha optato per una soluzione commerciale BEST® 70p, sviluppato dalla BEST® Cyclotron. Tale apparato è in grado di fornire due fasci di protoni indipendenti fino a 70 MeV di energia ed aventi una corrente massima di 750 μA .

Il ciclotrone è stato con successo installato presso i laboratori nel maggio del 2015.



Fig. 1.8: Installazione del ciclotrone presso L.N.L (Maggio 2015)



Fig. 1.9: Il ciclotrone BEST 70p®

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

Sia il target di produzione dei radioisotopi, sia il sistema di estrazione e ionizzazione degli stessi sono contenuti all'interno di una camera di forma cilindrica (camera *target*), la quale viene raffreddata mediante un opportuno circuito idraulico per le elevate potenze in gioco (vedi figura 1.10). Sempre a causa delle alte temperature, per evitare l'ossidazione dei componenti presenti, l'interno della camera viene mantenuto in condizioni di alto vuoto (con pressioni dell'ordine dei 10⁻⁶mbar); questa condizione è inoltre necessaria per aumentare il cammino libero medio delle particelle radioattive prodotte. Il volume della camera è delimitato da una flangia (*plate*) e da un coperchio (*cover*) a forma di pentola, entrambi realizzati in lega di alluminio, mentre la tenuta a vuoto è garantita da un *O-Ring* [3].

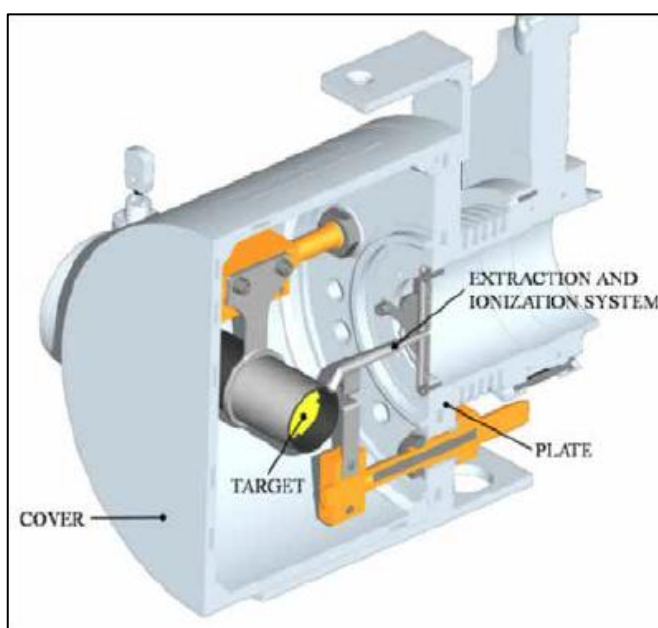


Fig. 1.10: Configurazione della camera target

Il target è composto da sette dischi coassiali in UCx, aventi 40 mm di diametro e circa 1 mm di spessore ed opportunamente distanziati in direzione assiale, al fine di dissipare attraverso radiazione termica la potenza sviluppata dal fascio di protoni. Essi sono contenuti in una scatola (*box*), un tubo cavo di grafite, avente un diametro esterno e una lunghezza di 49 e 200 mm rispettivamente (vedi figura 1.11). Il fascio di protoni, prima di impattare contro i dischi, attraversa una finestra in grafite (*window*), molto sottile per non attenuare l'intensità del fascio, ma di fondamentale importanza poiché consente di schermare la zona attiva e di evitare un eccessivo raffreddamento del materiale fissile in corrispondenza dell'ingresso del fascio. Dopo aver investito la finestra di grafite e i dischi di UCx, il fascio primario va a impattare su tre *dumper* e sul fondo

scatola (*box base*); questi elementi provvedono sia all'assorbimento definitivo del fascio, per evitare l'attivazione della camera esterna, sia ad evitare la fuoriuscita di particelle dal lato posteriore del target.

La scatola deve mantenere la temperatura media di 2000°C, in modo da migliorare l'estrazione dei prodotti di fissione. Essendo la potenza del fascio di protoni non sufficiente a portare il target al livello di temperatura richiesto, è necessario introdurre un dispositivo indipendente avente la funzione di riscaldare e schermare il *target*. Inoltre, il sistema di riscaldamento supplementare consente di evitare improvvisi sbalzi di temperatura molto pericolosi per l'integrità strutturale dei dischi. Il riscaldatore (*heater*) è composto da un tubo molto sottile (*tube*) saldato ai bordi a due ali (*wings*) direttamente collegate a morsetti in rame (*clamps*); attraverso i morsetti è possibile far dissipare per effetto Joule il desiderato quantitativo di potenza al riscaldatore. La dissipazione di potenza (dovuta all'effetto Joule) in aggiunta al calore sviluppato dalla fissione nucleare, fa in modo che la temperatura del sistema scatola-dischi sia mantenuta al valore di utilizzo. Il materiale scelto per il riscaldatore è il tantalio: si tratta di un metallo altamente resistente alla corrosione, in grado di condurre energia elettrica e termica e di raggiungere temperature molto elevate [10].

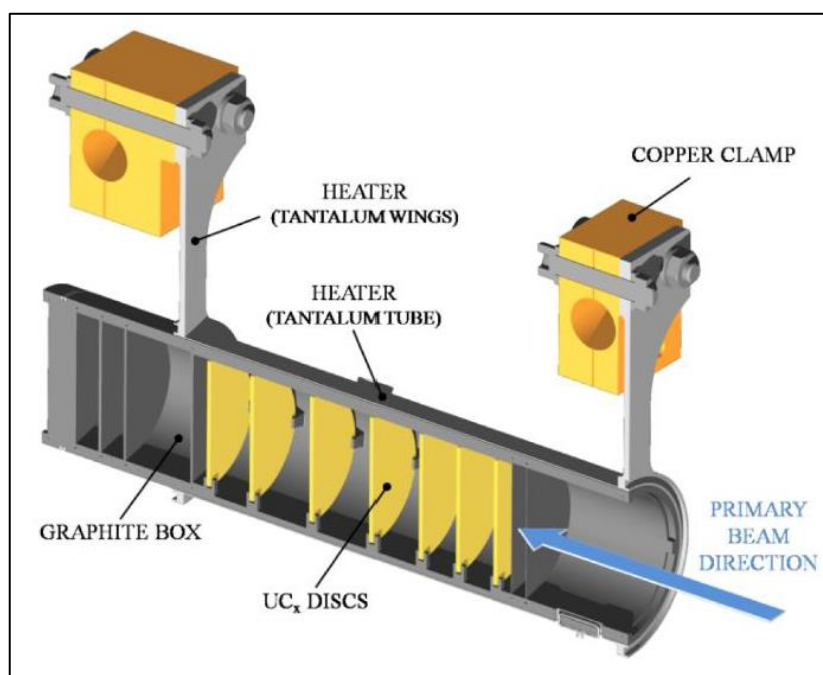


Fig. 1.11: Rappresentazione di un prototipo di bersaglio diretto del progetto SPES

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

Il processo di evacuazione avviene mediante la linea di trasferimento (*transfer line*), attraverso la quale gli isotopi in uscita dal target vengono indirizzati verso la sorgente di ionizzazione (*ion source*) dove sono ionizzati positivamente (ioni +1). Nell'attuale configurazione la linea di trasferimento (*transfer line*) è un tubo sottile di tantalio saldato al riscaldatore ad un'estremità e connesso meccanicamente alla sorgente di ionizzazione all'estremità opposta (vedi figura 1.14). Come accade per il riscaldatore, anche il sistema linea di trasferimento-sorgente di ionizzazione viene riscaldato mediante dissipazione di potenza per effetto Joule; in questo modo la temperatura della sorgente arriva fino ai 2300°C. La seguente figura (fig.1.12) mostra quanto appena descritto [11]:

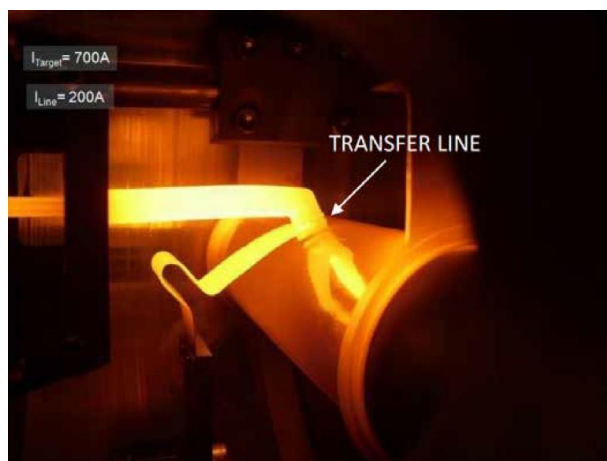


Fig. 1.12: Immagine termografica di target e transfer line in opera

Il processo di ionizzazione è necessario per accelerare i nuclei radioattivi sfruttando una differenza di potenziale. La scelta della sorgente di ionizzazione è quindi estremamente strategica, dato che influenza l'intensità e la qualità del fascio prodotto. A seconda del potenziale di ionizzazione dell'elemento possono essere utilizzati diversi metodi di ionizzazione. Il potenziale di ionizzazione è rappresentato dall'energia necessaria per portare un elettrone della sfera di valenza ad una distanza infinita dall'atomo. Metalli alcalini e alcalino-terrosi hanno bassi potenziali di ionizzazione per cui una energia relativamente bassa sarà richiesta per ottenere la loro ionizzazione. In questo caso si può optare per l'uso di una sorgente di ionizzazione superficiale (SIS – *Surface Ionization Source*). Altri tipi di sorgenti utilizzabili nel *front-end* SPES sono la sorgente di ionizzazione al plasma (PIS – *Plasma Ionization Source*), in grado di ionizzare elementi con alto potenziale di ionizzazione, ma senza selettività e la sorgente di ionizzazione laser (RILIS *Resonant Ionization Laser Ion Source*) in grado di ionizzare selettivamente elementi con medio potenziale di ionizzazione [3]. In figura 1.13 vengono visualizzati gli elementi e il metodo di ionizzazione di selezione per ciascuno. Gli elementi di transizione da $Z = 40$ a $Z = 46$ sono prodotti nel target, ma non estratti per la loro bassa volatilità (refrattari).

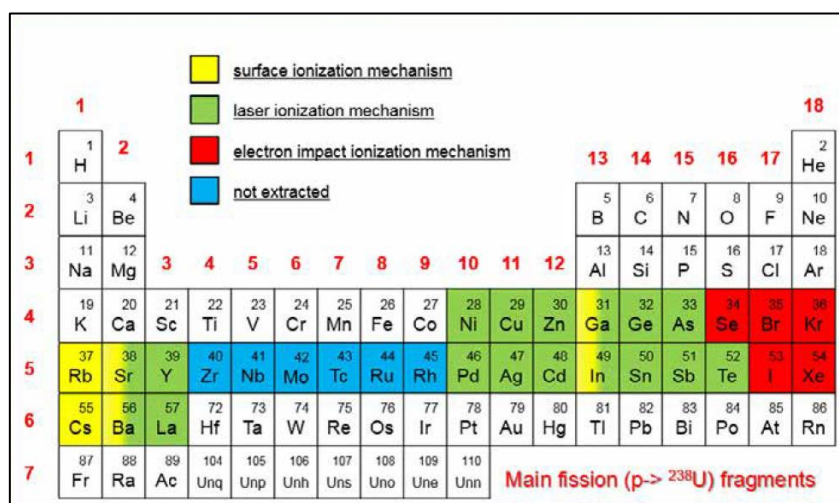


Fig. 1.13: Metodi di ionizzazione in funzione del elemento di interesse

La camera *target* è collegata al *front end* e tra i due componenti è presente una differenza di potenziale ($V_{camera} - V_{front-end}$) pari a 30 kV, per questo è necessario, al fine di evitare il contatto diretto, interporre un isolante elettrico (*electricalinsulator*). La differenza di potenziale presente attira gli ioni radioattivi verso il *front end*; in particolare il componente che accoglie gli ioni in uscita dalla sorgente di ionizzazione è un elettrodo (*electrode*) realizzato in lega di titanio (Ti6Al4V) e visibile in figura 1.14. In questo modo si forma il fascio di ioni radioattivi che verrà, dopo il passaggio attraverso i separatori elettromagnetici ed il post

acceleratore, inviato alle sale sperimentali; una delle quali sarà dedicata al progetto ISOLPHARM e dunque al suo interno sarà collocato il macchinario oggetto di questa tesi.

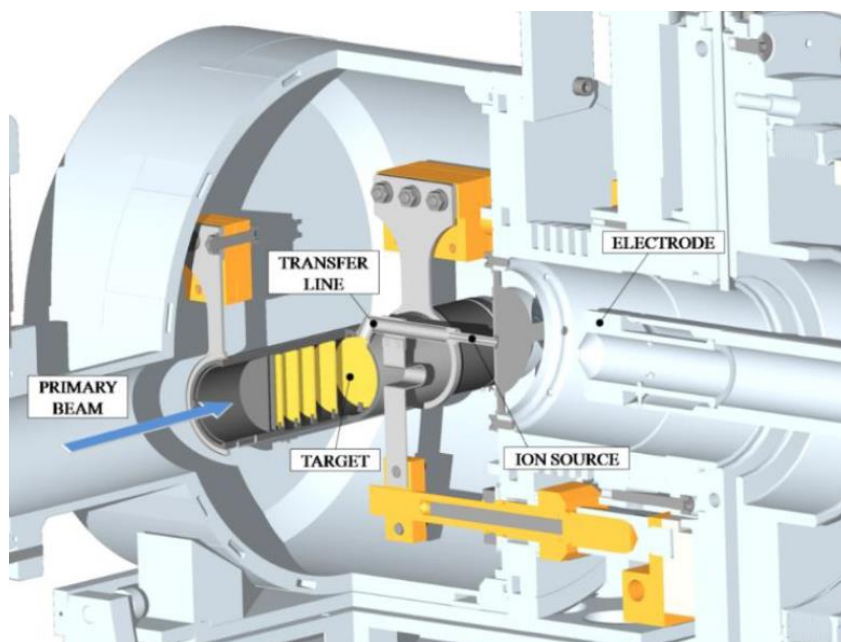


Fig. 1.14: Rappresentazione del sistema di estrazione e ionizzazione del progetto SPES

1.4.3 Separatori magnetici e post accelerazione

Il fascio estratto dalla sorgente di ionizzazione è sottoposto ad una prima fase di purificazione nella quale, attraverso un separatore di massa, viene intrappolata una grande quantità di contaminanti. La risoluzione di tale dispositivo ($M/\Delta M$, dove per M si intende la massa dell'isotopo) è pari a circa 150; si riescono così a separare in base alla massa i vari elementi. In figura 1.15 una rappresentazione del *front end* SPES.

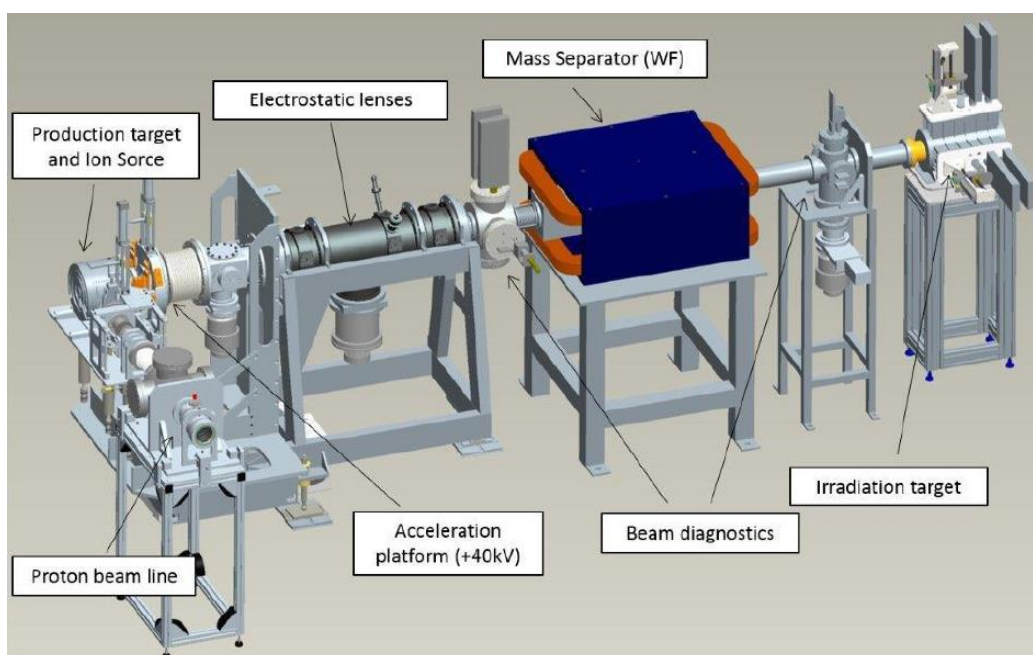


Fig. 1.15: Il Front-End SPES

Come specificato in precedenza, con il termine Front-End si indica l'insieme dei diversi dispositivi che concorrono allo scopo di permettere la produzione ed il trasporto dei fasci di ioni radioattivi. A causa delle sue caratteristiche tale sistema emette dosi di radiazioni non trascurabili, motivo per cui il Front-End è situato all'interno di un apposito bunker schermato.

A questo punto il fascio radioattivo può essere direttamente convogliato alle sale sperimentali ed utilizzato in esperimenti che richiedono fasci radioattivi di bassissima energia, oppure essere post accelerato. La post accelerazione viene ottimizzata mediante l'impiego di un *Charge Breeder*; un dispositivo in grado di incrementare la carica degli ioni prima dell'iniezione del fascio esotico attraverso PIAVE, che rappresenta il primo stadio di post accelerazione prima dell'ingresso in ALPI (acceleratore LINAC superconduttore). Il complesso PIAVE-ALPI è da molti anni in funzione ai LNL, ma negli ultimi tempi è stato sottoposto ad un numero significativo di miglioramenti. In particolare, mentre prima consentiva la produzione di fasci ioni stabili, ora può essere impiegato come un acceleratore di RIB.



Fig. 1.16-a: ALPI (acceleratore LINAC superconduttore)

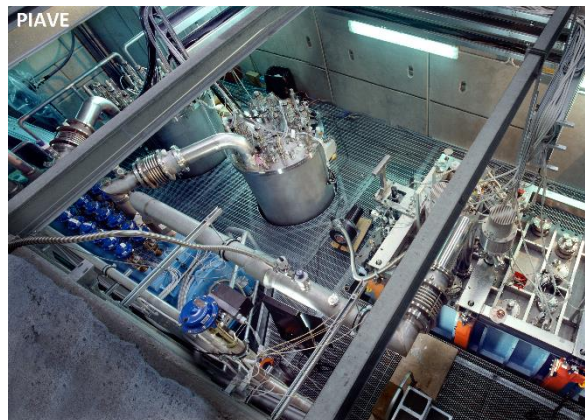


Fig. 1.16-b: Acceleratore di particelle PIAVE

1.5 Applicazioni dei fasci di ioni esotici [3]

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

1.5.1 Applicazioni in fisica nucleare

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

Miglioramento e verifica del modello standard

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

Studio della struttura di nuclei complessi

I nucleoni (protoni e neutroni) sono a loro volta costituiti da sub-particelle dette quark. Esse esercitano un'azione fisica che va oltre i nucleoni nei quali sono confinate. Si osserva in particolare che tale interazione si manifesta in maniera diversa tra nucleoni liberi e nucleoni appartenenti allo stesso nucleo, in quanto

influenzata della densità di protoni e neutroni associata al particolare tipo di nucleo. Attualmente non è stata ancora identificata una formula generale in grado di quantificare l'entità delle interazioni nucleari per tutti i tipi di nuclei, in quanto calcoli di natura quantomeccanica sono applicabili solamente ai nuclei più leggeri. La fisica nucleare quindi si è posta l'obiettivo di ottenere una trattazione unitaria in grado di:

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

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

Misure della dimensione del nucleo: i nuclei halo

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

$$R = R_0 A^{1/3} \quad (1.2)$$

dove con R è espresso il raggio del nucleo, A indica il numero di massa e R_0 rappresenta una costante pari a 1,2 fermi ($1 \text{ fermi} = 10^{-15} \text{ m}$). Tuttavia in particolari condizioni, lontane dalla stabilità, si possono incontrare notevoli deviazioni dalla legge poiché le interazioni tra i nucleoni possono diventare così piccole da non garantire la formazione di un nucleo sotto forma di aggregato. Si possono quindi formare nuclei ad anello, detti nuclei "halo". Nuclei di questo tipo presentano una diversa distribuzione dei neutroni; si tratta in particolare di nuclei con sovrabbondanza di neutroni rispetto al corrispondente isotopo stabile, inoltre uno o due di questi neutroni risentono di una debole interazione con il nucleo, e vi orbitano intorno rimanendo quindi separati da esso (neutroni di valenza).

Un esempio di nucleo "halo" è l'isotopo ^{11}Li , il cui nucleo presenta due neutroni di valenza. In questo nuclide la dimensione media del nucleo è paragonabile a quella dell'isotopo ^{48}Ca , se però si considera anche l'alone racchiuso dalle orbite dei due neutroni di valenza le dimensioni diventano confrontabili con quelle del nucleo molto più massivo dell'isotopo ^{208}Pb (figura 1.17).

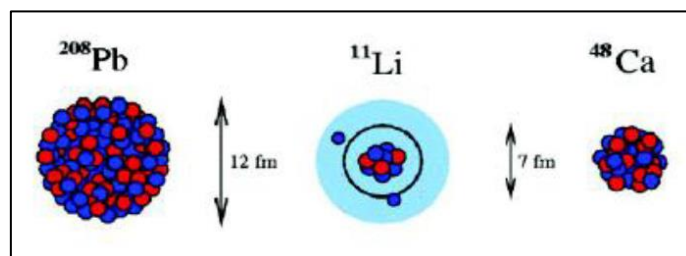


Fig. 1.17: Paragone tra la dimensione del nucleo di ^{11}Li ed altri nuclei più massivi

Il nucleo ^{11}Li è un particolare sistema a tre corpi (i due neutroni ed il core), infatti rappresenta un esempio naturale di sistema borromeico. In topologia si definisce borromeico un sistema costituito da tre anelli tra loro legati inscindibilmente in maniera tale che tuttavia la soppressione di uno comporta la separazione degli altri due (figura 1.18).



Fig. 1.18: Gli anelli Borromeici

I nuclei ad anello sono detti anche borromeici perché infatti se il costituente di uno degli anelli viene in qualche modo rimosso, l'intero sistema diviene immediatamente instabile e i due anelli rimanenti si separano e si allontanano facilmente.

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

Produzione di elementi superpesanti

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

1.5.2 Applicazioni nella fisica dello stato solido

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

Il sistema ospitante può essere drogato con radioisotopi sonda sia per diffusione mediante reazione nucleare, sia per impianto ionico. La scelta dello specifico isotopo radioattivo da utilizzare nello specifico esperimento viene effettuata in base sia alle caratteristiche chimico-fisiche sia alle proprietà nucleari di quest'ultimo [12].

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

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

Drogaggio dei semiconduttori

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

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

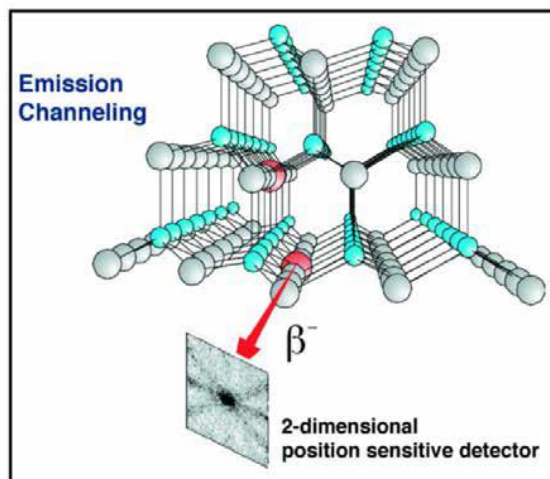


Fig. 1.19: Emission channeling degli elettroni emessi da atomi radioattivi in una riga atomica del reticolo

La tecnica diffusa da decenni per la rilevazione delle impurezze è stata il *channeling* figura 1.19: tale procedura consiste nell'indirizzare un fascio di ioni attraverso le righe atomiche dei cristalli o lungo i piani del cristallo (canali), tuttavia non è possibile determinare concentrazioni di difetti inferiori a 10^{18} atomi / cm^3 . La sensibilità subisce un notevole miglioramento se all'interno del reticolo cristallino sono impiantate impurezze radioattive che emettono particelle cariche (*emission channeling*). Misurando l'emissione lungo direzioni diverse è possibile determinare la posizione nel reticolo cristallino dell'atomo emittente con un'accuratezza di pochi decimi di Å.

1.5.3 Applicazioni in astrofisica

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

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

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

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

1.5.4 Applicazioni in medicina nucleare

I fasci di ioni radioattivi possono avere interessanti applicazioni mediche sia nel campo della diagnosi sia nel campo del trattamento di patologie tumorali. L'oggetto di questa tesi è il punto di partenza per tali applicazioni, motivo per cui queste tematiche verranno estese nel successivo capitolo.

Conclusioni

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

Numerosi sono i campi di applicazione dei fasci di ioni radioattivi. Uno di questi è la produzione di radionuclidi di interesse medico tramite la tecnica ISOL. Quest'ultimi vengono depositati su un disco in NaCl chiamato target (secondario). Il presente lavoro di tesi ha come obiettivo lo studio e la progettazione di sistemi meccanici in grado di realizzare la deposizione su tale target in maniera semplice e sicura.

CAPITOLO 2

Introduzione al Progetto ISOLPHARM e la produzione di Radiofarmaci

2.1 Introduzione

La medicina nucleare è costituita da un insieme di tecniche diagnostiche e terapeutiche basate sull'utilizzo di radionuclidi, ovvero sullo sfruttamento dell'energia emessa da nuclei di atomi instabili, e perciò radioattivi, nel corso della loro trasformazione a forme stabili (decadimento). Sono definiti radiofarmaci i radionuclidi, o i composti contenenti radionuclidi, impiegati in medicina nucleare a scopo diagnostico o terapeutico, i quali essendo a tutti gli effetti dei prodotti medicinali, sottostanno alle specifiche normative. La maggior parte dei radionuclidi utilizzati in medicina nucleare non sono presenti in natura e sono perciò prodotti artificialmente mediante reazioni nucleari. Ad oggi, i radionuclidi per medicina nucleare sono prodotti mediante *facilities* di fisica nucleare o in alcuni ospedali mediante ciclotroni ad uso medico. La difficoltà di produzione rimane tuttavia un limite all'uso di molti radionuclidi di interesse medico, anche a causa degli alti costi. Una costante ricerca è quindi indirizzata verso il miglioramento e il perfezionamento sia dei metodi esistenti sia di nuovi metodi per la produzione di radionuclidi ad alta attività specifica e caratterizzati da un alto grado di purezza [1].

La produzione di radionuclidi per la medicina nucleare tramite la tecnologia *Isotope Separation On-Line* è un brevetto dei Laboratori Nazionali di Legnaro (*Patent family: 1421927 (Italy), 2938158 (Canada), 14833237.2 (Europe), 15/115,635 (USA)*) e prende il nome di ISOLPHARM. Tale iniziativa è un ramo del progetto SPES descritto nel precedente capitolo; più dettagliatamente è l'applicazione di SPES nell'ambito della medicina nucleare. Lo scopo principale del progetto ISOLPHARM è l'estrazione di radionuclidi ad elevatissima purezza per la produzione di radiofarmaci, sfruttando i fasci di ioni radioattivi (RIBs) prodotti nella facility ISOL di seconda generazione presente agli LNL-INFN. L'obiettivo ricercato è molto complesso, e necessita di una conoscenza multidisciplinare che spazi dalla fisica nucleare, all'ingegneria meccanica e quella dei materiali, alla tecnologia più avanzata per l'automazione, fino alla chimica e tecnologia farmaceutica, per ottenere un preparato che soddisfi tutte le esigenze richieste per un radiofarmaco [2].

2.2 Radiofarmaci [2]

La biologia molecolare, l'immunologia e la genetica sono tre discipline che hanno permesso di comprendere, in maniera sempre più approfondita, i meccanismi di induzione e progressione di patologie complesse, come quelle oncologiche, cardiologiche e neurologiche, così come hanno permesso di identificare le molecole associate alla patologia, e hanno spinto la ricerca verso farmaci che possano colpire un obiettivo (*target*) specifico durante una terapia [3]. Da qui si è sviluppata la necessità di trovare farmaci in grado di localizzarsi in maniera sempre più selettiva nelle cellule in cui è presente la patologia, per consentire una diagnosi molto accurata oppure per colpire il solo tessuto patologico riducendo drasticamente l'effetto nelle cellule sane.

I radiofarmaci, medicinali composti da nuclidi instabili che esplicano la loro funzione tramite decadimento radioattivo, hanno suscitato un crescente interesse negli ultimi decenni proprio per la loro capacità di essere selettivamente trattenuti in tessuti specifici, consentendo non solo una terapia mirata, ma anche una migliore efficienza nelle tecniche diagnostiche. I radiofarmaci sono fondamentali per la medicina nucleare, che al giorno d'oggi rappresenta un ramo della medicina di elevata rilevanza; queste nuove tecniche consentono una precoce scoperta della malattia o l'analisi dello stadio di sviluppo, nonché la possibilità di studiare i processi fisiologici con una maggiore accuratezza. La diagnosi viene effettuata tramite rilevazione dell'emissione dei preparati radioattivi somministrati al paziente (detti radiotraccianti) con strumenti esterni, perciò non direttamente invasivi. L'effetto terapeutico, invece, si verifica quando un radiofarmaco, opportunamente selezionato per le sue proprietà di decadimento, va a colpire le cellule bersaglio danneggiandole con le radiazioni emesse. L'applicabilità dei radiofarmaci in terapia è molto vasta, attualmente l'uso prevalente è dato dalla cura di patologie autoimmuni e la cura di patologie tumorali difficilmente trattabili con la chemioterapia classica. I vantaggi dati dall'utilizzo dei radionuclidi sono notevoli: concentrando il farmaco nel sito bersaglio, come ad esempio una massa tumorale, è possibile ridurre al minimo i rischi per i tessuti sani.

Per raggiungere il tessuto *target*, i radionuclidi possono essere somministrati come tali, oppure essere coniugati con molecole organiche che ne consentano il trasporto all'interno delle cellule bersaglio. Nel primo caso, il radiofarmaco deve possedere caratteristiche chimiche che ne consentano una localizzazione spontanea nei tessuti bersaglio: questo è il caso di ^{89}Sr , che si accumula selettivamente nel tessuto osseo per via del suo comportamento chimico analogo al calcio, e per questo suo tropismo è impiegato come cura per il dolore osseo metastatico [4]; oppure il caso di ^{131}I , che si accumula spontaneamente nella tiroide, e per questo è impiegato nel tumore tiroideo o in casi gravi di ipertiroidismo autoimmune. [5]

Se il farmaco, invece, non presenta caratteristiche tali da accumularsi spontaneamente, deve essere legato a molecole che fungano da trasportatore verso il bersaglio, che può essere un recettore, un enzima, o altri sistemi di trasporto, e questo è impiegato in campo terapeutico tanto quanto in quello diagnostico. La molecola a cui è legato può essere simile a composti organici che svolgono funzioni fisiologiche dell'organismo, come il glucosio: il radiotracciante più utilizzato è ^{18}F FDG, cioè un atomo di ^{18}F sostituito ad un ossidrilico (gruppo -OH) di una molecola di glucosio, notevolmente impiegato nella tomografia ad emissione di positroni (PET) [6]. Le molecole di legame possono essere anche più complesse, come peptidi ed anticorpi monoclonali, o *small molecules* disegnate appositamente per uno specifico bersaglio, come per l'antigene di membrana specifico della prostata (PSMA): questo è il bersaglio del PSMA-11 e del PSMA-617 ligandi radiomarcati con ^{68}Ga e ^{177}Lu , rispettivamente per la diagnosi e la terapia del tumore alla prostata [3]. Una volta trasportato il radionuclide nell'area interessata, questo può svolgere la propria azione terapeutica grazie al suo decadimento, danneggiando le cellule malate.

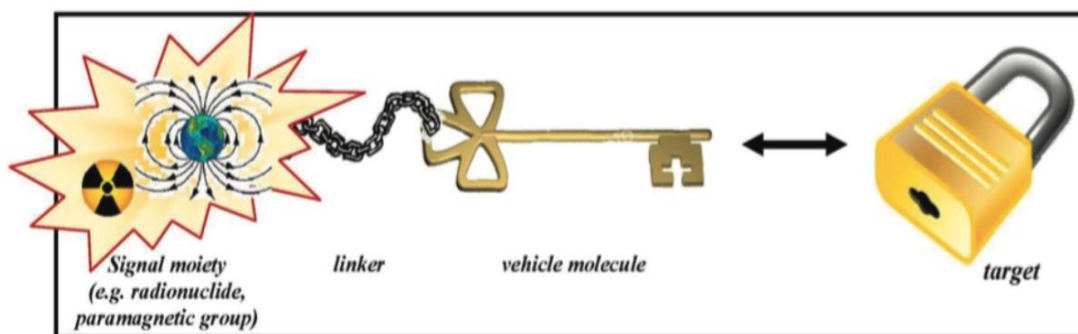


Fig. 2.1: Esempificazione della struttura e funzione di un radiofarmaco coniugato ad una molecola

2.3 Impiego dei radionuclidi in medicina nucleare [7]

Moltissimi isotopi sono stati identificati tramite *facilities* di fisica nucleare; alcuni hanno un'emivita molto breve, ma altri hanno proprietà che li rendono utili per la medicina. Le caratteristiche che devono possedere per entrare in terapia sono riassumibili in quattro punti principali:

- 1) *Proprietà di decadimento*: ogni isotopo può emettere un tipo di radiazione diverso da altri, in base al quale solo certi sono selezionati per l'uso in terapia. Generalmente le radiazioni più penetranti sono utilizzate per la diagnostica e *imaging*, perché possono essere rilevate al di fuori del corpo del paziente; al contrario radiazioni a corto raggio sono utilizzate in ambito terapeutico per depositare il massimo dell'energia all'interno di una regione definita. Idealmente, nuclidi diagnostici non dovrebbero emettere radiazioni a corto raggio, per minimizzare la dose somministrata al paziente, mentre nuclidi terapeutici non dovrebbero emettere radiazioni gamma per ridurre gli schermi da utilizzare mentre si maneggia il farmaco, e per non costringere il paziente ad un periodo di isolamento.
- 2) *Tempo di dimezzamento* ($T_{1/2}$): è il tempo durante il quale una quantità radioisotopo decade fino ad arrivare alla metà della dose iniziale. Il radioisotopo deve essere sufficientemente stabile per essere somministrato al paziente e raggiungere il bersaglio desiderato, perciò l'emivita deve essere tale da non avere decadimento quasi totale nel periodo di tempo che intercorre tra la produzione e la somministrazione. Inoltre l'emivita non deve essere eccessivamente elevata, per evitare un'eccessiva esposizione del paziente alle radiazioni; anche in caso di radionuclidi rapidamente eliminati dall'organismo è preferibile avere una breve emivita.

- 3) *Proprietà chimiche*: ogni elemento possiede caratteristiche chimiche che lo distinguono dagli altri, e i loro radioisotopi presentano il medesimo comportamento. In questo modo i gas nobili sono utili per fare studi di ventilazione, e non si legano a molecole organiche perché inerti; i radiometalli accoppiati ad altre molecole trovano un numero notevole di impieghi; i metalli alcalino-terrosi non coniugati hanno elevata affinità per le ossa, e così via.
- 4) *Facilità di produzione su larga scala*: possono esistere radioisotopi che soddisfino tutte e tre le condizioni precedenti, ma molto difficili da produrre in quantità sufficiente per l'uso in medicina. Questo potrebbe essere risolto sfruttando nuove tecnologie di produzione come la tecnica ISOL proposta con il progetto ISOLPHARM. [7]

2.3.1 Radionuclidi per la diagnostica: la tecnica (PET)

I radionuclidi usati come traccianti sono caratterizzati da un'emissione di radiazioni a lungo raggio che possono lasciare il corpo del paziente e raggiungere i sensori di apparecchiature specifiche. Queste radiazioni sono altamente penetranti, e presentano una bassa energia lineare trasferita (LET), cioè energia trasferita da una radiazione ionizzante al materiale con cui interagisce. Una delle principali tecniche di *imaging* che utilizzano radiofarmaci è la tomografia a emissione di positroni (PET). [8] Quest'ultima sfrutta l'emissione positronica per monitorare il funzionamento degli organi interni dei pazienti creando mappe tridimensionali ad alta risoluzione della parte del corpo che si vuole osservare.

La procedura PET prevede di iniziare in genere con l'iniezione per via endovenosa di alcuni isotopi traccianti a vita media-breve, legati ad una molecola metabolicamente attiva (generalmente uno zucchero). Trascorso un certo periodo di tempo nel quale la molecola contenente il tracciante ha avuto modo di diffondersi nel corpo e legarsi alle cellule con una certa concentrazione nei vari tessuti da esaminare. In seguito il soggetto viene posizionato all'interno dello scanner. [9]



Fig. 2.2: Esempio di scanner e procedura impiegati nella tecnica PET

L'isotopo di vita media-breve decade emettendo un positrone (l'antiparticella corrispondente all'elettrone avente carica +1). Dopo un percorso breve, di al massimo pochi millimetri il positrone si annichila con un elettrone, emettendo due fotoni con energia prefissata (511 keV). I fotoni sono emessi lungo una stessa retta ma con direzione opposte (sfasate quindi di 180° tra loro) e vengono poi rilevati dal dispositivo di scansione mediante particolari tubi fotomoltiplicatori. Il principio fondamentale su cui si basa l'efficacia della tecnica è la rilevazione simultanea di coppie di fotoni. Misurando la posizione in cui ciascun fotone colpisce il rivelatore (ciascuna coppia identifica una retta) è possibile determinare la posizione del corpo da cui sono stati emessi (teoricamente due coppie di fotoni identificano due rette tra loro incidenti nel punto di emissione), permettendo quindi di monitorare l'attività degli organi osservati.

Gli scanner PET utilizzano l'emissione di fotoni per determinare la densità di isotopo nei tessuti analizzati. La mappa risultante rappresenta i tessuti in cui la molecola tracciante si è concentrata maggiormente e viene letta e interpretata da uno specialista in medicina nucleare o in radiologia al fine di effettuare una diagnosi e stabilire il trattamento adeguato per l'eventuale patologia o anomalia riscontrata. Molto spesso i risultati ottenuti dalla

Tomografia ad Emissione di Positroni sono integrati e confrontati con gli esiti della Risonanza Magnetica Nucleare, ottenendo così una mappatura completa dei tessuti analizzati, comprendente informazioni sia morfologiche ed anatomiche, sia metaboliche.

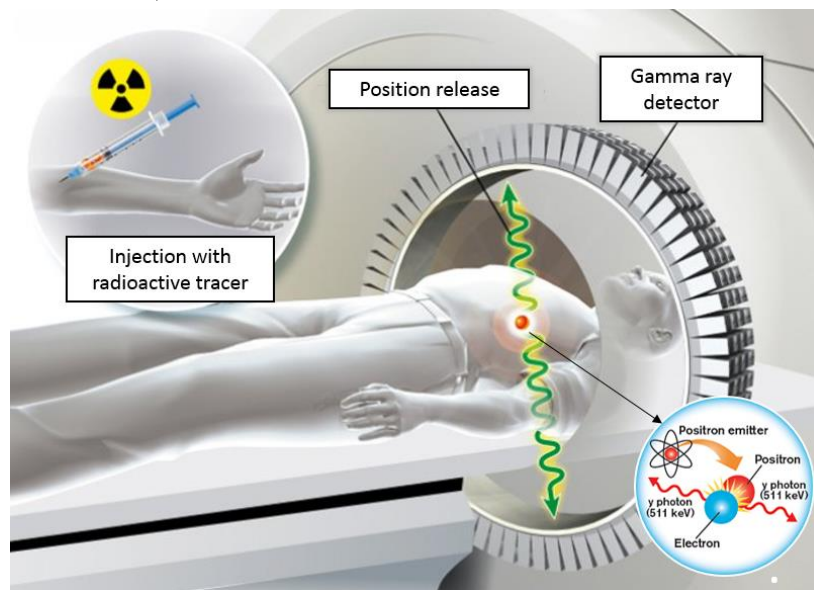


Fig. 2.3: Schema di funzionamento dello scanner PET.

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

I radionuclidi più utilizzati nella scansione PET sono isotopi a breve tempo di dimezzamento, come ^{11}C (~20 min), ^{13}N (~10 min), ^{15}O (~2 min), ^{18}F (~110 min). Per via del loro basso tempo di dimezzamento i radioisotopi devono essere prodotti in prossimità dello scansionatore PET. [9]

2.3.2 Radionuclidi per la terapia

Questa classe di radiofarmaci viene utilizzata per indurre un danno sulle cellule bersaglio, presenti principalmente nei tessuti tumorali. Tale effetto non è dovuto alla specie chimica di cui è composto il farmaco, bensì è prodotto dall'emissione di radiazioni che causano la distruzione delle cellule del tessuto malato.

I radionuclidi che risultano idonei per un uso terapeutico devono emettere radiazioni corpuscolate, come α e β non rilevabili dall'esterno. Sono poco penetranti, ma ad elevata LET (Trasferimento Lineare di Energia), perché devono provocare un danno tissutale, ma solo in prossimità alla loro localizzazione. La radioterapia deve indurre un sufficiente danno al DNA in modo da impedire i fenomeni di riparazione della doppia elica. Questo accade quando entrambi i filamenti vengono danneggiati. La lesione avviene per diretta ionizzazione degli atomi nella catena del DNA, oppure tramite formazione di radicali liberi prodotti dalla ionizzazione delle molecole d'acqua nella cellula in cui sta decadendo il radionuclide. [2]

Per la cura dei pazienti in medicina nucleare, i radionuclidi utilizzati possono essere distinti in base al loro modo di decadimento in emettitori α , β e γ .

Gli frammenti α emettono solitamente radiazioni caricate positivamente costituite da un nucleo di elio (numero di massa 4 e numero atomico 2). Come risultato la particella emessa è poco penetrante, ma ad elevatissimo LET (100keV per micron). Gli emettitori α sono in grado di creare un danno molto importante in un campo di 0,1 mm, perciò se direzionate sulle cellule malate risulta molto selettivo come approccio e con un effetto quasi dose-indipendente.

Storicamente gli emettitori alfa sono stati impiegati nella cura dell'artrite reumatoide e la spondilite anchilosante. Negli ultimi tempi l'attenzione è spostata sulla terapia mirata, in modo tale che il radionuclide sia collegato a molecole trasportatrici, come riportato in figura 2.1. Questo processo è definita Targeted Alpha Therapy (TAT) e, se i veicoli sono anticorpi monoclonali, prende il nome di Alpha Radioimmunotherapy (α -RIT). [8]

Nella medicina nucleare vengono più frequentemente impiegati i radionuclidi emettitori β anche se sono pochi i radioisotopi in grado di emettere solamente questo tipo di radiazioni; molto spesso queste vengono accompagnate da radiazioni gamma. Risulta necessario in questi casi assumere misure di radioprotezione più elevate durante la produzione ed il trasporto del radiofarmaco.

Le radiazioni β presentano una bassa energia lineare trasferita ($LET \leq 1$ keV per micron) ed un raggio d'azione solitamente di qualche millimetro. Per questi motivi sono necessari molti più "colpi" per danneggiare la cellula ed indurre l'apoptosi; in caso di tumori di dimensione rilevante, le cellule più interne sono colpite tramite il fenomeno di *cross-fire*, cioè ricevono radiazioni dalle cellule circostanti che hanno il radiofarmaco al loro interno. Questo consente di ottenere azione terapeutica anche nelle zone tumorali scarsamente irrorate.

L'ultima tipologia di isotopi utilizzati nella cura dei pazienti sono emettitori γ , impiegati con modalità diverse a seconda dell'intensità della radiazione da essi rilasciata. Ottimi risultati vengono ottenuti nel trattamento loco-regionale, ad esempio per un tumore, come nel caso della brachiterapia. Una certa dose può essere applicata nei pressi del tumore, tramite rapida esposizione a sorgenti intense (*high dose rate*, HDR) o lunga esposizione a sorgenti deboli (*low dose rate*, LDR).

La brachiterapia HDR prevede la somministrazione della dose richiesta tramite esposizione di pochi minuti ad una sorgente molto intensa, ad esempio 370 GBq di ^{192}Ir . Il movimento prevede il rapido passaggio della sorgente da un sito di isolamento al corpo del paziente tramite un catetere, detto *afterloader*, e velocemente riportata con la stessa modalità nel luogo iniziale, alla fine dell'esposizione.

Nella terapia LDR, invece, la sorgente rimane per giorni o settimane, o anche in maniera permanente, nel corpo del paziente. Sono maggiormente preferite radiazioni a corto raggio (raggi X, raggi γ a bassa energia o particelle α), perché questo consente di ridurre le radiazioni emesse nell'area circostante, diminuendo il rischio di dispersione di radiazioni non necessarie al di fuori dell'area di trattamento. [8]

2.4 Il progetto ISOLPHARM per la produzione di radiofarmaci

La medicina nucleare in primo luogo è stata riconosciuta come specialità medica potenziale nel 1946 quando è stata descritta da SAM Seidlin nel *Giornale di American Medical Association*. [10] Da allora moltissimi ospedali si sono muniti di piccoli ciclotroni in grado di produrre il fabbisogno locale di radiofarmaci soprattutto ad uso diagnostico. Il processo utilizzato negli ospedali tradizionali prevede l'irraggiamento di un target su cui sono generate le specie isotopiche di interesse che sono successivamente estratte attraverso processi chimici. Tali processi tuttavia non riescono a separare eventuali contaminanti isotopici, che inevitabilmente entreranno nel farmaco finale, riducendone l'attività specifica e quindi l'efficacia.

I radioisotopi usati in terapia sono invece prodotti dalle grandi case farmaceutiche facendo uso estensivo di reattori nucleari, in cui, oltre al problema della purezza radionuclidica, si presenta anche la questione della gestione delle scorie radioattive prodotte.

Il progetto ISOLPHARM è estremamente innovativo rispetto al classico approccio ospedaliero in quanto permette di ottenere radionuclidi *carrier-free* (particelle di interesse senza frammenti indesiderati) grazie alla separazione di massa seguita da una purificazione chimica. La prima attività permette di eliminare i contaminanti isotopici mentre la seconda i contaminanti isobarici cioè con la stessa massa, di conseguenza si ottiene un radionuclide ad altissima purezza. [11]

Per quanto riguarda la fase di produzione delle specie radioattive, il metodo ISOLPHARM si propone di sfruttare le tecnologie sviluppate nell'ambito di SPES: un fascio protonico a bassa energia (40 MeV) ma alta intensità (200 μA), che collide su un target costituito da sette dischi (di materiale ceramico refrattario, ad esempio in carburo di uranio), generando le reazioni nucleari che comportano la produzione degli isotopi radioattivi di interesse. Gli atomi generati, una volta usciti dal *target*, possono essere ionizzati ed accelerati formando così un fascio di ioni. Successivamente è possibile separare gli ioni presenti nel fascio in base alla loro massa grazie ad un separatore elettromagnetico, il *Wien filter*. Tale dispositivo si presenta come un sistema di selezione delle particelle; tramite un campo elettrico fisso e un campo magnetico variabile, consente di deviare tutti gli isotopi di massa non desiderata focalizzando e separando gli isotopi della massa voluta.

Una volta selezionati gli isotopi di una certa massa, è possibile ottenere un fascio isobarico, formato cioè da tutti gli isotopi di una certa massa prodotti ed estratti dal *target* SPES.

In alcuni casi il fascio può essere puro, cioè contenere solamente il radioisotopo di interesse. Ciò può avvenire ad esempio nel caso in cui gli eventuali contaminanti della stessa massa abbiano emivita molto breve e decadano velocemente. Più spesso, invece, i radioisotopi desiderati sono miscelati con altri isotopi della stessa

massa, dai quali non possono essere separati tramite metodi fisici; trattandosi tuttavia di elementi chimicamente diversi, è possibile separarli tramite metodi chimici. [8]

Nella seguente figura 2.4 viene mostrato uno schema esemplificativo del processo ISOLHARM.

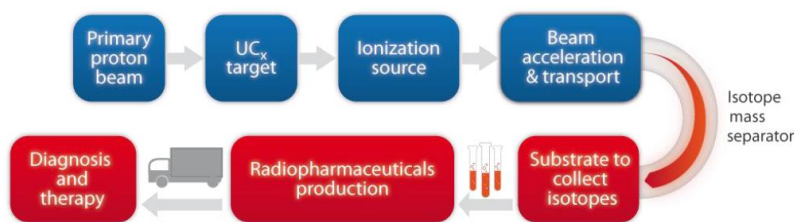


Fig. 2.4: Schema del processo di produzione

Gli atomi presenti nel fascio devono essere raccolti e resi disponibili per la preparazione di un radiofarmaco. In questa fase viene utilizzato un sottile disco di NaCl (spessore fino a 1mm e diametro fino a 40mm) chiamato "Target secondario" fig. 2.5.

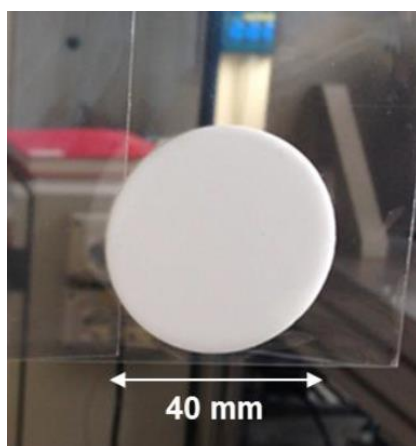


Fig. 2.5: Target secondario

Sulla superficie di tale disco vengono depositati i radionuclidi, che verranno successivamente separati chimicamente dagli eventuali contaminanti isobarici, e trattati per ottenere il radiofarmaco di interesse. Attualmente per simulare le attività di deposizione viene utilizzato il prototipo del complesso Front End presente nei laboratori, più precisamente inserendo il disco all'interno di una Faraday Cup, figura 2.6.

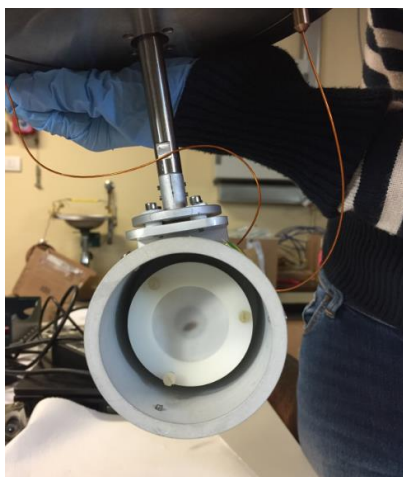


Fig. 2.6: Target Secondario montato all'interno della Faraday Cup

La Faraday Cup detta anche pozzo di Faraday è un rivelatore di metallo la cui funzione è quella di catturare gli ioni o gli elettroni liberi nel vuoto. La corrente prodotta può essere misurata e usata per determinare il numero di ioni o elettroni che sono entrati nella coppa. La coppa di Faraday viene utilizzato in spettrometria di massa, tecnica analitica applicata sia all'identificazione di sostanze sconosciute sia all'analisi in tracce di sostanze. Più dettagliatamente all'interno del progetto SPES, le coppe di Faraday misurano la corrente del fascio RIB che è un dato fondamentale per le verifiche delle caratteristiche del fascio e per il settaggio di parametri di diversi componenti lungo la linea.

Per la sua forma geometrica a tazza, la Faraday Cup (presente nel complesso Front End all'interno della Diagnostic Box 2) è stata adattata in modo da poter effettuare dei test di deposizione di sostanze stabili. Il disco target viene collocato all'interno della coppa cilindrica e fissato mediante tre viti ed un fermo circolare in materiale polimerico, che si appoggia sul bersaglio come in figura 2.6. In seguito la Faraday Cup viene accoppiata alla Diagnostic Box 2 mediante una flangia di connessione rapida. A questo punto per eseguire un test di deposizione viene creato il vuoto nel sistema Front End e per via di un attuatore pneumatico la coppa con il disco montato viene introdotta in linea. L'estrazione del bersaglio a deposizione avvenuta si esegue mediante le attività speculari a quelle descritte precedentemente.

L'approccio descritto precedentemente funziona nelle condizioni di testing preliminari, nei quali sono utilizzate particelle stabili. Chiaramente questa soluzione non potrà essere applicata on-line, quando la facility SPES produrrà i primi radioisotopi. Le condizioni di esercizio saranno molto più complesse sia per gli aspetti radioprotezionistici collegati alla presenza di un campo di radiazioni, sia per le necessità di pulizia e sterilità nel caso della produzione dei farmaci. Questo lavoro di tesi ha come obiettivo primario lo studio e la progettazione di un sistema ad hoc per la deposizione degli radioisotopi sul target. Tale sistema dovrà soddisfare tutti gli requisiti che pone un processo di produzione di radiofarmaci che verranno dettagliatamente esposte nel prossimo capitolo.

Conclusioni

In questo capitolo è stato presentato ISOLPHARM, il ramo del progetto SPES volto alla produzione di radionuclidi innovativi per la medicina nucleare sfruttando la tecnica ISOL. Tale metodo è estremamente innovativo perché consente da un lato di produrre in quantità significative isotopi difficilmente producibili con i metodi tradizionali, dall'altro di ottenere radiofarmaci con elevatissima purezza radionuclidica.

Attualmente ai *Laboratori Nazionali di Legnaro* è presente un prototipo del *Front End*, che è la parte più importante della linea di ioni radioattivi in costruzione. Tramite questo complesso vengono effettuati dei test di deposizione su degli appositi target in NaCl. Il presente lavoro di tesi è focalizzato nello studio e progettazione di un sistema ad hoc per la deposizione degli radionuclidi sul target secondario.

CAPITOLO 3

Studio e progettazione di dettaglio del sistema Target di Raccolta del progetto SPES-ISOLPHARM

3.1 Introduzione

Nei precedenti capitoli è stato descritto ampiamente il progetto SPES e la sua applicazione ISOLPHARM che ha come obiettivo lo sviluppo di radiofarmaci estremamente puri ed innovativi con un metodo brevettato dall'INFN. Per quanto riguarda la produzione delle specie radioattive di interesse medico, ISOLPHARM sfrutterà gran parte delle tecnologie già presenti nell'area di produzione SPES. Rimane invece da studiare e progettare un dispositivo che consenta la raccolta degli isotopi estratti dal target, affinché possano poi essere inviati ai laboratori di chimica e radiofarmacia. Tale dispositivo viene chiamato "target di raccolta" o "target secondario", e sarà progettato interamente "ex novo" nell'ambito di questa tesi.

Il sistema "target di raccolta" sarà costituito da una camera da vuoto in cui è alloggiato il disco su cui sono depositati gli isotopi di interesse, e il sistema di sostegno e movimentazione che la sostiene e ne consente l'accoppiamento e la rimozione dalla linea di fascio.

L'obiettivo di questo capitolo è descrivere gli step seguiti nella progettazione meccanica della Camera Target di Raccolta. Saranno dunque illustrate le considerazioni e motivate le decisioni che hanno portato alla definizione della geometria delle parti e alla scelta degli eventuali componenti commerciali e dei materiali. Il sistema di movimentazione della camera target di raccolta sarà invece descritto nel capitolo 4.

3.2 Dati di progetto e requisiti del sistema

Il sistema target di raccolta dovrà essere compatibile con gli standard adottati lungo le linee di fascio della facility SPES, descritta nei capitoli 1 e 2. In particolare il terminale della linea a cui il sistema in studio dovrà interfacciarsi è una "diagnostic box" (figura 3.1). Si tratta di un dispositivo di diagnostica che consente di misurare alcune caratteristiche del fascio che vi transita attraverso, come l'intensità di corrente, la focalizzazione o la forma [12]. Nel caso di ISOLPHAM, tale dispositivo verrà usato per verificare se il fascio soddisfa le caratteristiche richieste per la deposizione.



Fig.3.1: Box di diagnostica usata nelle linee di fascio SPES

Le linee di fascio di SPES operano ad alto vuoto (10^{-6} mbar), per evitare l'interazione del fascio RIB con l'aria e il conseguente effetto frenante. Poiché chiaramente è impossibile effettuare la sostituzione e movimentazione della camera target di raccolta mentre è in vuoto, in fase di progettazione si dovrà prevedere l'aggiunta di opportune valvole da vuoto che permettano la divisione della linea in volumi distinti. In questo modo, quando

sarà necessario disaccoppiare la camera target di raccolta, sarà sufficiente chiudere una delle valvole, ed effettuare il rientro in aria di solamente il breve tratto finale della linea.

La Camera Target di Raccolta dovrà essere in grado di alloggiare al proprio interno un disco di sale compresso (ad esempio NaCl) di diametro 40mm e spessore circa 1mm. Su questo disco, che costituisce il vero e proprio target di raccolta, saranno depositati gli isotopi di interesse medico.

La quantità di atomi depositati deve essere nota, pertanto viene richiesta una modalità di lettura della corrente di ioni raccolti sul disco

Dopo l'irraggiamento, il target di diventa una sorgente di radiazioni che è necessario schermare per motivi radioprotezionistici e di sicurezza. Diventa quindi necessario scegliere dei materiali schermanti per la realizzazione della camera, in grado di mitigare sufficientemente le radiazioni uscenti da essa.

Il componente verrà maneggiato da operatori in alcune fasi del processo, dunque è d'obbligo garantire la massima sicurezza e facilità d'uso, nell'ottica che le operazioni manuali in ambiente non schermato dalle radiazioni siano il più rapide possibile, per limitare l'esposizione degli operatori.

Nelle fasi di disaccoppiamento, si deve limitare la possibilità di contaminazione del disco e dell'ambiente, pertanto è richiesta una chiusura rapida della camera, quando questa verrà rimossa dalla linea di fascio.

Si riassumono quindi i principali requisiti che sono stati messi in luce dall'analisi delle condizioni di lavoro del componente da progettare:

- Compatibilità con il target di raccolta, un disco di Ø40mm e spessore 1mm
- Compatibilità con il livello di vuoto delle linee di fascio SPES (10^{-6} mbar)
- Necessità di schermare una sorgente radioattiva
- Possibilità di lettura della corrente di fascio depositato sul disco
- Prevenzione della contaminazione del target e dell'ambiente
- Facilità, rapidità e sicurezza nell'utilizzo

3.3 I primi studi del sistema Target di Raccolta

In seguito allo studio di dettaglio del processo ISOLPHARM e dei requisiti che questo pone ad un eventuale sistema di raccolta, è stato pensato un layout a capsula chiamata *Camera Target Secondario* (in quanto con il termine target primario si intendono i dischi in UC_x - Carburo di Uranio che producono gli radioisotopi all'inizio processo in seguito ad una fissione nucleare) che alloggerà al suo interno il disco di sale compresso descritto precedentemente. La Camera Target è il componente più importante del sistema di raccolta in quanto deve soddisfare il maggior numero di requisiti essendo il primo dispositivo a contatto con il bersaglio secondario e che dovrà essere maneggiato da un operatore umano in certe fasi del processo. Due di queste capsule verranno accolte da un meccanismo chiamato *Sistema di Movimentazione* che provvederà all'inserimento e disinserimento delle Camere Target nella linea in modo automatico.

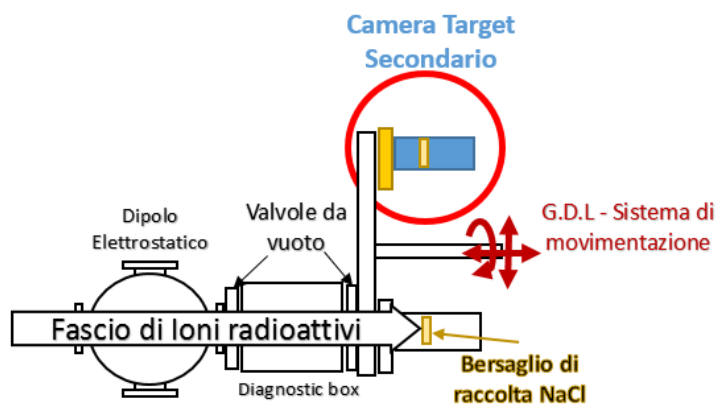


Fig.3.2: Prima schematizzazione del sistema Target di Raccolta

3.3.1 Il primo Concept per la Camera Target Secondario

A partire dall'analisi dettagliata del processo, dallo studio dei materiali più adatti e dalla configurazione geometrica in grado di soddisfare i requisiti preposti è stato realizzato il primo concept mostrato nella seguente figura 3.4:

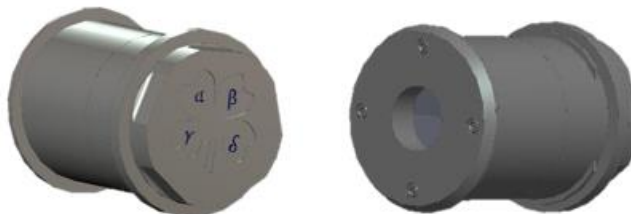


Fig. 3.4: Il primo Concept della Camera Target

Il corpo esterno è realizzato in AISI 316L, che è un acciaio inossidabile austenitico composto da un tenore di cromo tra 16% e 18%, nichel tra l'11% e 14% e molibdeno 2%. La sigla "L" indica la variante "Low Carbon" di tale acciaio e prevede un tenore di carbonio inferiore allo 0,035% che rende tale materiale saldabile ed aumenta ulteriormente le sue caratteristiche di difesa alla corrosione. In generale l'AISI 316L è un materiale con ottime proprietà meccaniche, può essere lavorato a molteplici macchine utensili ed ha un prezzo accessibile.

La geometria cilindrica del corpo, conferisce maneggevolezza ed una grande semplicità costruttiva della capsula, visto che i corpi cilindrici sono tipicamente lavorati ai torni. Si nota il tratto conico nella parte frontale necessario ad un buon accoppiamento con il vuoto. La successiva figura 3.5 mostra la vista in sezione della camera dove si possono notare in maggior dettaglio le caratteristiche del concept:

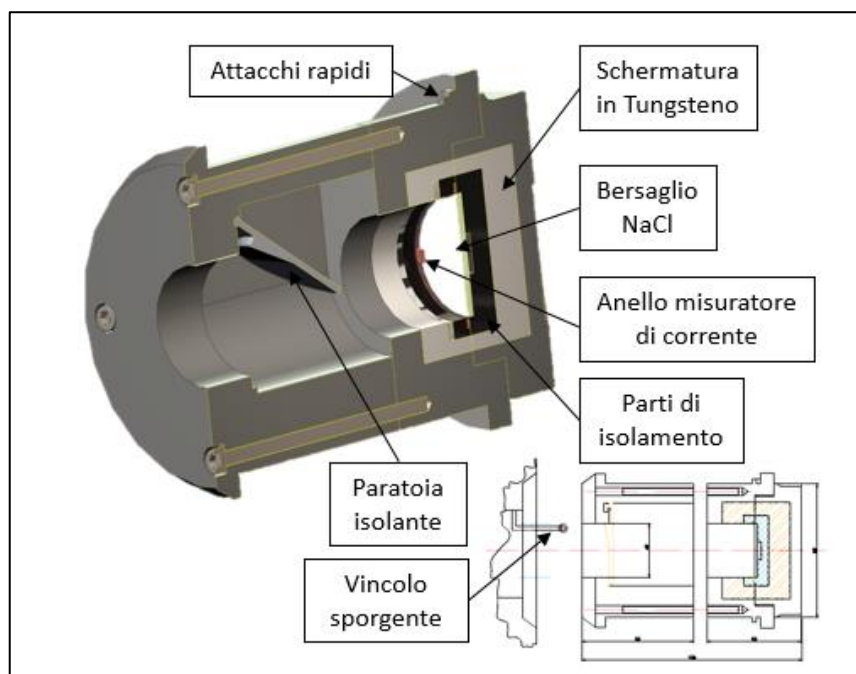


Fig.3.5: Vista in sezione del primo Concept

Come si nota in figura 3.5 si è optato per un concept a gusci concentrici. Il target di raccolta è alloggiato su di un componente isolante, in materiale plastico (polietilene o teflon). Allo stesso tempo è a contatto con un anello in rame, che oltre a consentire la captazione della corrente di fascio depositato, garantisce il fissaggio del bersaglio nella sua sede. Le parti di isolamento oltre a fare da supporto al target, impediscono il contatto

elettrico dell'anello e del disco con gli componenti esterni in metallo, garantendo la possibilità di portare fuori il segnale elettrico della corrente di fascio depositata. Per schermare le radiazioni è stato pensato un involucro in tungsteno. Il tungsteno ha una grande capacità di schermare le radiazioni (10 volte superiore a quella del piombo). Viene utilizzato in applicazioni ove sia richiesta una buona capacità di assorbimento congiunta a dimensioni ridotte che è una delle richieste del progetto. La capsula dovrà essere manipolata da un operatore in alcune fasi del processo, dunque è molto importante che essa presenti caratteristiche di compattezza e maneggevolezza dovuti ai minori ingombri del componente. Il tungsteno inoltre è un materiale più resistente, meno inquinante e lavorabile con più facilità del piombo.

All'esterno sono presenti degli attacchi rapidi a forma di denti con la funzione di aggancio facile al sistema di movimentazione. Questo tipo di accoppiamento è spesso utilizzato nelle macchinette fotografiche professionali dove l'obiettivo viene fissato alla macchinetta mediante 3 denti che si inseriscono in una maschera realizzata sulla fotocamera ed in seguito ad una rotazione del obiettivo rispetto alla sua sede viene fissato.

La paratoia ha la funzione di realizzare l'isolamento del target con l'ambiente esterno. Essa è montata su un perno che le concede una rotazione di $\pm 90^\circ$. Si immagina che al momento del accoppiamento con la linea del fascio la paratoia si apra per l'effetto di un vincolo sporgente. Il vincolo a forma di asta sagomata opportunamente, montato dalla parte della linea RIB viene a toccare la paratoia che è libera di ruotare. Si genera un momento rispetto all'asse del perno che fa ruotare la paratoia dentro la camera in funzione di quanto avanti la capsula viene spinta. Nella fase di estrazione dal sistema, avviene la situazione speculare. In fine, quando la paratoia non è più a contatto con l'asta, il foro comunicante con l'interno della capsula è completamente chiuso.

$$M = F * b \quad (3.1)$$

L'estrazione del bersaglio irraggiato avviene all'interno di una Cella Calda (figura 3.6). Una cella calda è un ambiente adeguatamente costruito e schermato per consentire la lavorazione e la manipolazione a distanza di materiale radioattivo. Si reperisce in centrali nucleari, istituti e laboratori scientifici universitari e ospedalieri (per applicazioni di medicina nucleare e radioterapia come nel caso del progetto ISOLPHARM), opifici di industrie ad avanzata tecnologia. Le principali caratteristiche costruttive di questi ambienti sono elevati spessori delle pareti, dei solai, porte, eventuali finestre ed altri accessi. Oltre alla piombatura (od altro isolamento) del volume esterno e a numerosi dispositivi per il controllo della quantità e della intensità delle radiazioni nonché per la manovra a distanza delle operazioni da eseguirsi anche gli impianti idrici, elettrici od altri, devono essere convenientemente studiati. Sono generalmente munite di un elevato numero di utensili al proprio interno in modo da conferire una vasta gamma di eventuali operazioni eseguibili. Mediante i telemanipolatori questi utensili possono essere impiegati in modalità di manipolazione remota senza intervenire fisicamente (con le mani) all'interno della cella calda. L'esempio di una cella calda fotografata presso il CERN di Ginevra viene illustrata nella seguente figura 3.6:



Fig. 3.6: Esempio di una Cella Calda

L'operazione di estrazione deve essere il più semplice possibile visto che le manovre all'interno di tale ambiente avvengono per via di manipolatori robotizzati. In figura 3.6 viene schematizzata l'attività di estrazione:

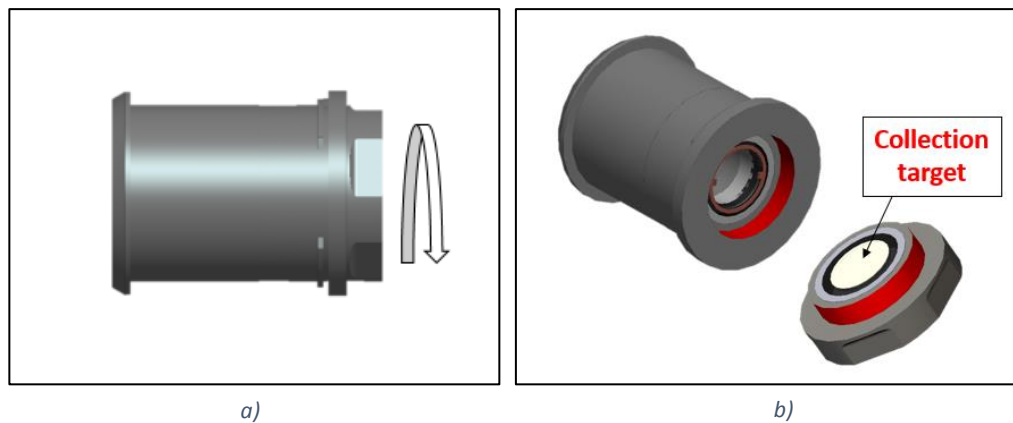


Fig. 3.7: Apertura della Camera Target

Il corpo della capsula è realizzato in due parti unite da un tratto filettato (in rosso in figura 3.7 b). Per aprire estrarre il bersaglio dalla capsula è sufficiente svitare la porzione di destra in figura 3.7.

Il Concept della Camera Target realizzato in questo modo soddisfa i requisiti presentati nel paragrafo 3.2. Le caratteristiche principali che esso presenta possono essere riassunte dai seguenti numeri:

- Peso del componente $\approx 8,7$ kg
- Lunghezza del componente ≈ 150 mm
- Diametro esterno ≈ 100 mm

Per una maggior chiarezza sulla costruzione di tale concept, nella successiva figura 3.8 si può osservare la vista esplosa del dispositivo specificando i materiali utilizzati per i diversi componenti:

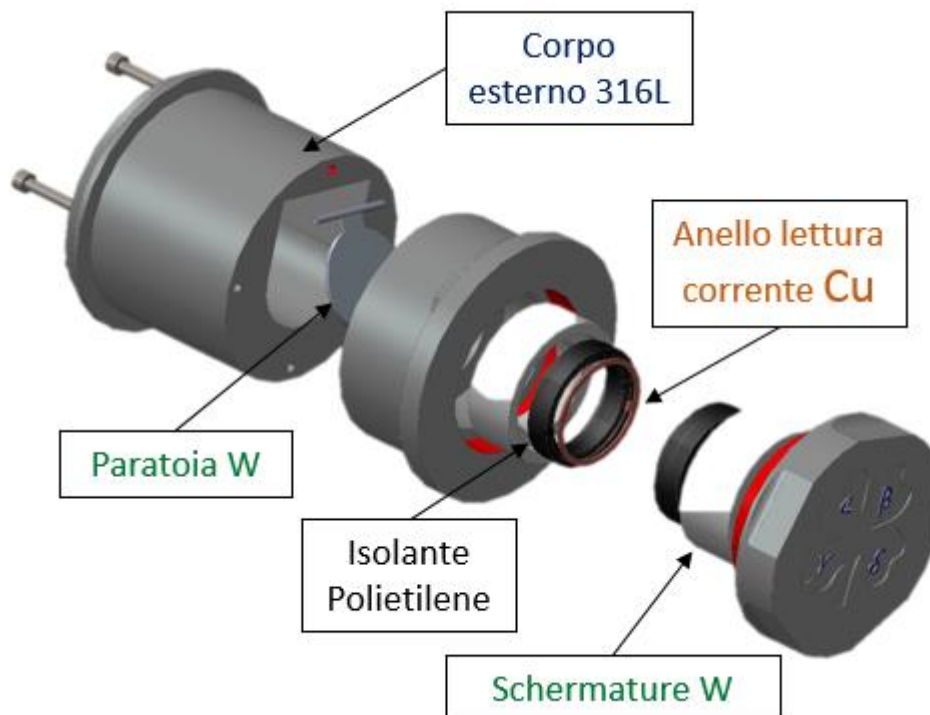


Fig.3.8: La vista esplosa del primo Concept della Camera Target

3.3.2 Consulenza con specialisti del settore

Durante tale lavoro di tesi, è stato organizzato un incontro di consulenza con gli specialisti che si occupano della produzione e somministrazione di radiofarmaci presso l'Ospedale San Giacomo Apostolo di Castelfranco Veneto, al fine di discutere la bontà della soluzione proposta. Generalmente il metodo utilizzato presso gli ospedali prevede l'irraggiamento diretto di un target per mezzo di un ciclotrone, che viene successivamente trattato chimicamente per estrarre gli isotopi di interesse medico. Non si ha chiaramente il beneficio in termini di purezza finale del radiofarmaco dato dalla separazione di massa, come nel caso di ISOLPHARM. Tuttavia entrambi i metodi prevedono dei processi di estrazione del target irraggiato dalla sede della produzione/deposizione dei radioisotopi, e successivi processi chimici in ambiente protetto, ad esempio in una cella calda. Il design proposto è stato quindi valutato sulla base dell'expertise maturata presso l'ospedale, uno dei centri nevralgici per la radiofarmacia a livello regionale. La visita guidata del reparto ha permesso di capire molti dettagli dell'ambiente lavorativo con il quale verrà interfacciato il sistema Target di Raccolta, quando la facility ISOLPHARM entrerà in funzione.

Durante l'incontro, è stato presentato il concept della Camera Target descritto nel precedente paragrafo. Gli esperti hanno analizzato tutte le caratteristiche che presenta il componente, indagando sulle scelte adoperate e comprendendo con dispositivi di natura simile. Nell'analisi i seguenti aspetti sono stati frutto di maggior discussione:

Attenzione alla dose di radiazione emessa: Per il primo concept sono state eseguite delle simulazioni preliminari di radioprotezione sfruttando dei scenari critici ma con nulla probabilità di avvenimento. Gli esperti hanno evidenziato la necessità di ridurre il più possibile la dose a cui gli operatori sono esposti, suggerendo di migliorare il compromesso tra peso del componente e spessore della schermatura in tungsteno.

Il peso della camera: Come ribadito prima, la maneggevolezza è uno dei requisiti che il componente deve possedere. Un oggetto che pesa quasi 9 kg non risulta ergonomico, soprattutto perché deve essere afferrato con un solo braccio, per minimizzare l'esposizione alle radiazioni dell'operatore. Va precisato inoltre che tale oggetto deve essere utilizzabile con facilità per tutto il personale dell'ambito del LNL-INFN. Risulta allora importante da tenere sotto controllo l'aspetto del peso del componente e cercare di rendere la camera il più leggera possibile.

Focus sulla semplicità di utilizzo: Operare con un oggetto che contiene al proprio interno una sorgente radioattiva impedisce molte operazioni e modalità di intervento di uso comune. Le attività che vedono impegnata la Camera Target devono essere "banali" in modo da poterle eseguire con la massima facilità. Queste tematiche sono state rimarcate più volte durante i colloqui, richiamando l'attenzione sulla progettazione di un dispositivo semplice "*Ciò che non c'è non può rompersi e non crea complicazioni*", citazione che guida da sempre la progettazione, a maggior ragione in un contesto in cui si adopera con radiofarmaci.

Al di là delle annotazioni appena riportate, il concept presentato è stato reputato come idoneo ad un processo di raccolta di isotopi radioattivi. La scelta dei materiali, la geometria e gli ingombri principali sono state confermate. Affinché la Camera Target Secondario trovi utilizzo nella produzione dei radiofarmaci, essa deve soddisfare le caratteristiche di biocompatibilità visto che accoglie al proprio interno il bersaglio necessario alla realizzazione della sostanza medicinale. In gergo tale requisito prende il nome di "Sterilità del componente". Nell'opinione degli specialisti anche quest'aspetto fondamentale risulta soddisfatto dal primo concept della capsula. La consulenza ha messo ben in luce gli aspetti più critici di un componente che deve lavorare nell'ambito della radiofarmacia e di cui si terrà conto nelle successive scelte progettuali. Tale esperienza ha assunto un rilevante ruolo per gli ulteriori passi del lavoro, che ha visto il concept della camera target un ottimo punto di partenza.

3.4 Progettazione di dettaglio della Camera Target Secondario

A partire dall'esperienza vissuta presso l'Ospedale San Giacomo Apostolo di Castelfranco Veneto, il design della Camera Target prosegue con la progettazione di dettaglio, che mira alla realizzazione delle tavole costruttive del componente. I disegni verranno poi usati nella costruzione dell'oggetto presso l'officina dei Laboratori Nazionali di Legnaro.

In primis si è cercato di soddisfare le annotazioni individuate durante la consulenza ed in seguito il componente è stato adattato per la produzione alle macchine utensili.

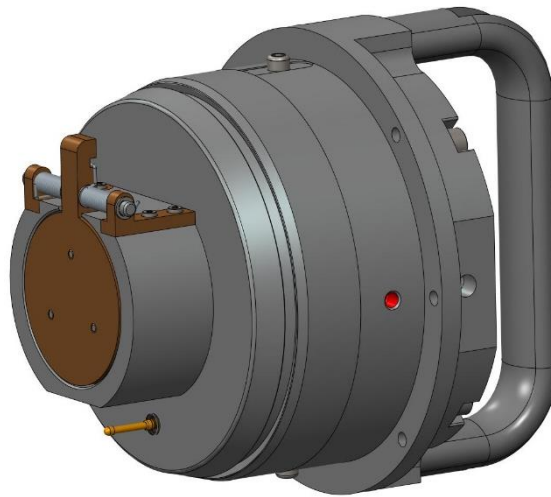


Fig. 3.9: Camera Target Secondario versione finale

Nella figura 3.9 viene mostrata la versione finale della Camera Target Secondario. Il componente ha subito moltissime modifiche rispetto al concept presentato nel paragrafo 3.3.1 che ora verranno spiegate dettagliatamente a partire dalle singole parti che compongono l'oggetto.

La capsula è sostanzialmente formata da due grandi sotto assiemi collegati da 4 viti M5x50mm, figura 3.10:



Fig.3.10: I due Sotto assiemi della Camera Target

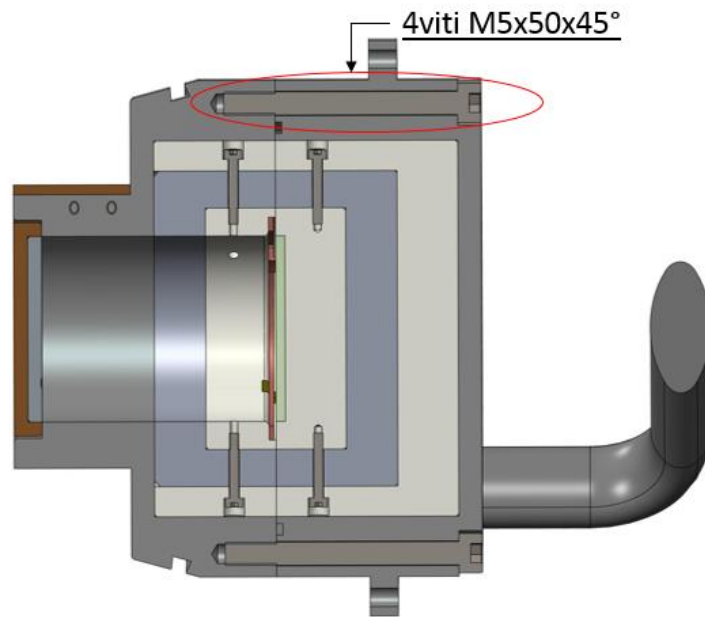


Fig. 3.11: Sezione a 45° della camera. Collegamento tra i due sotto assiemi.

Nella figura 3.11 viene mostrato il collegamento mediante le viti tra i due sotto assiemi. La camera deve essere chiusa nelle operazioni di trasporto e deposizione sul bersaglio, mentre viene aperta all'interno della cella calda quando si vuole estrarre il target irraggiato agendo appunto sui 4 organi di collegamento sopra citati.

3.4.1 Il sotto assieme _01 parte destra della Camera Target

Il sotto assieme di destra fondamentale ha il ruolo di alloggiare il disco di 40mm come è illustrato nella successiva figura 3.12:

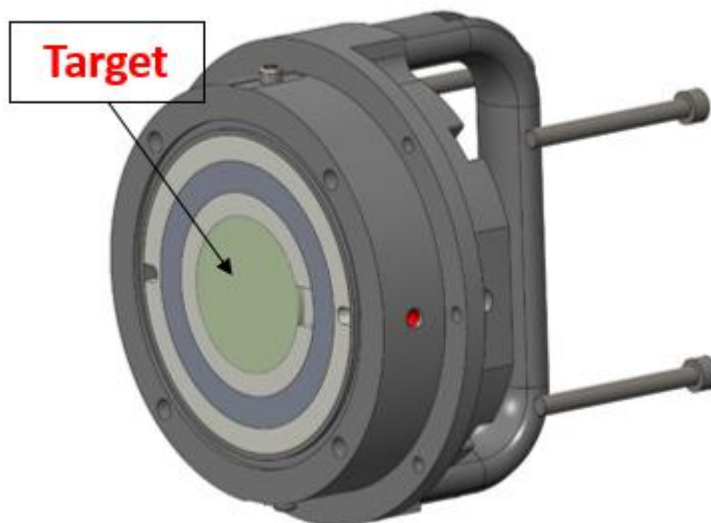


Fig. 3.12: Sotto assieme _01 parte destra della Camera Target Secondario

Tale oggetto è composto da 9 parti (viene conteggiato anche il bersaglio):

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	DIN912_M2X14	PART	STAINL_ST	0.001	4
2	DIN912_M5X25	PART	STAINL_ST	0.006	2
3	GN_565_1_20_112_SW	PART	Lega_AL		1
4	RL_IPH_02_01_001	PART	AISI316L	1.588	1
5	RL_IPH_02_01_002	PART	POLYETHYLENE	0.105	1
6	RL_IPH_02_01_003	PART	TUNGSTEN	1.054	1
7	RL_IPH_02_01_004	PART	POLYETHYLENE	0.029	1
8	RL_IPH_02_01_007	PART	STAINL_ST	0.002	2
9	RL_IPH_02_01_TARGET	PART	NaCl		1

Tab. 3.1: Distinta componenti sotto assieme di destra

La tabella 3.1 mette in luce i componenti che compongono il sotto assieme. Si possono notare i rispettivi codici, materiali, peso e quantità necessaria all'assemblaggio. Viene di seguito illustrata la vista esplosa dell'oggetto per comprendere il modo in cui vengono interfacciati i diversi componenti.

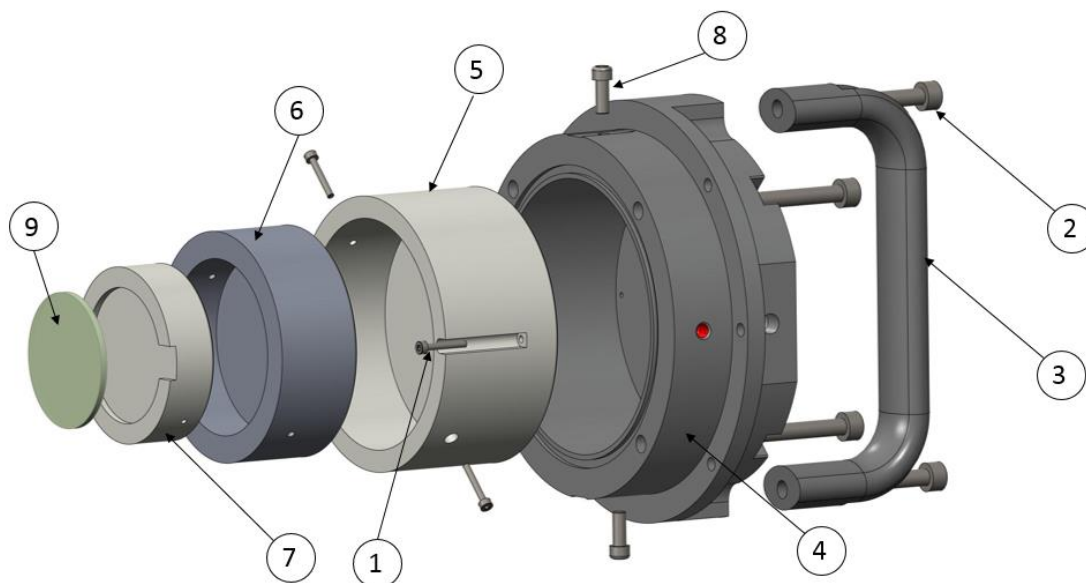


Fig. 3.13: Vista esplosa del sotto assieme di destra della Camera Target

La parte indicata con il numero 7 in figura 3.13 è il primo componente a contatto diretto con il disco target. Quest'oggetto presenta una sede ricavata di $\varnothing 40$ mm e 2mm di spessore. La tolleranza assunta è H10 che prevede uno scostamento massimo di 0,084mm dal valore nominale. Si è preferito lasciare un gioco più ampio, in quanto l'apparato per la realizzazione dei dischi ha una limitata precisione. Il materiale scelto è polietilene in quanto biocompatibile e leggero. Al lato del componente è presente un ulteriore incavo che ha lo scopo di facilitare l'estrazione del disco nel caso questo vada in leggera interferenza con le pareti della sede. A 45° rispetto l'orizzontale sono presenti diametralmente opposti due fori M2 con la funzione di fissare i vari corpi tra di loro. Nella successiva figura 3.14 si può notare il componente con le caratteristiche appena citate.

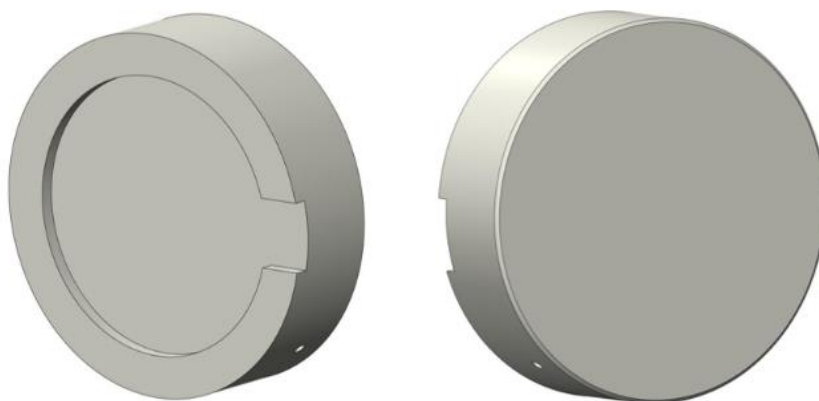


Fig. 3.14: Sede del Target

La sede del Target va montata all'interno del corpo indicato con il numero 6 di figura 3.13. Tale componente è realizzato in Tungsteno allo scopo di schermare le radiazioni in uscita dal bersaglio di raccolta. Lo spessore di tale componente (pari a 8 mm) è stato scelto sulla base di opportune simulazione di radioprotezione eseguite da personale di INFN-LNL. Si notano anche in questo caso i fori diametralmente opposti a 45° rispetto all'asse orizzontale per il passaggio delle viti di fissaggio dei oggetti assemblati.

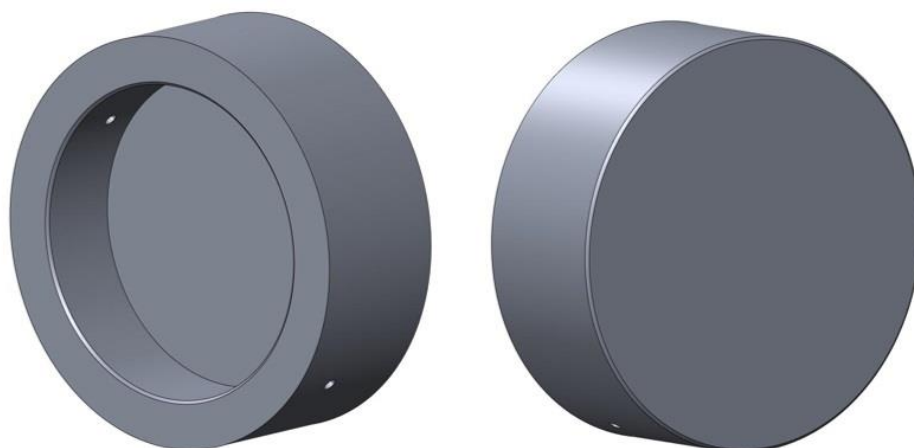


Fig. 3.15: Schermatura in Tungsteno parte destra

Da notare che le parti che formano la schermatura in Tungsteno sono tra le parti più pesanti dell'intera capsula data l'elevata densità del tungsteno 19250 kg/m^3 (due volte e mezza la densità dell'acciaio 7700 kg/m^3). Inoltre il componente di figura 3.15 non presenta filettature e geometrie complesse in quanto il tungsteno è un materiale con scarsa resistenza all'usura, caratteristica che renderebbe eventuali parti filettate inefficaci dopo pochi cicli di utilizzo. Per questo motivo il corpo esterno della Camera Target (numero 4 in figura 3.13) è realizzato in acciaio e non in tungsteno, visto che prevede una geometria più complicata e con tratti filettati. Si ricorda che il prezzo del tungsteno è molto elevato al confronto con gli altri metalli $>25\$/\text{kg}$, per cui la semplicità del oggetto contribuisce ad una minore probabilità di formare dei scarti e dunque sprechi economici.

Il corpo indicato con il numero 5 in figura 3.13 è realizzato in polietilene (densità $0,9 \text{ g/cm}^3$). L'ingrandimento di questo corpo è presentato nella successiva figura 3.16:

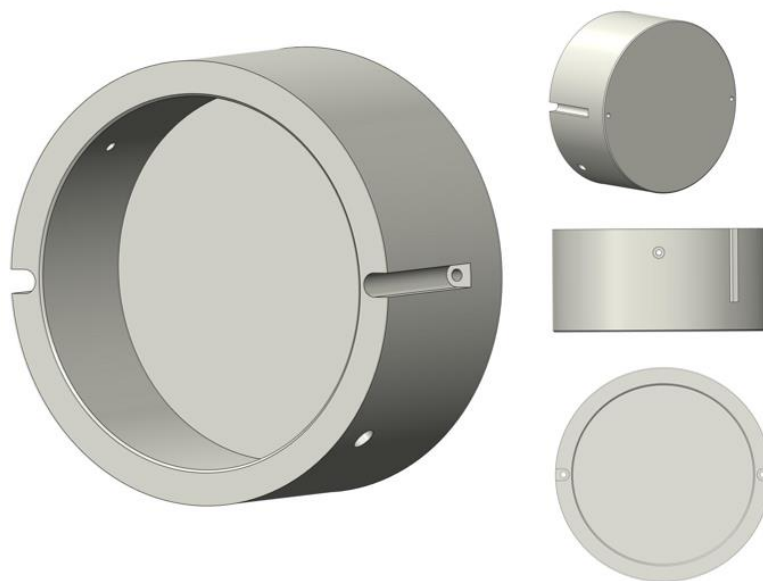


Fig. 3.16: Sede del pezzo schermante

Oltre alla funzione di accoglie al proprio interno le parti descritte precedentemente questo oggetto riempie lo spazio in surplus all'interno della capsula per cui se si dovesse estendere lo spessore di schermatura in tungsteno esso potrà essere sostituito. I tre pezzi presentati precedentemente una volta montati ed allineati tra di loro sono fissati tramite delle viti M2x14 radialmente ed in seguito utilizzando altre due viti dello stesso tipo i corpi vengono uniti longitudinalmente al corpo della capsula.

Con il numero 4 di figura 3.13 viene identificata la parte di involucro esterno della capsula (figura 3.17):

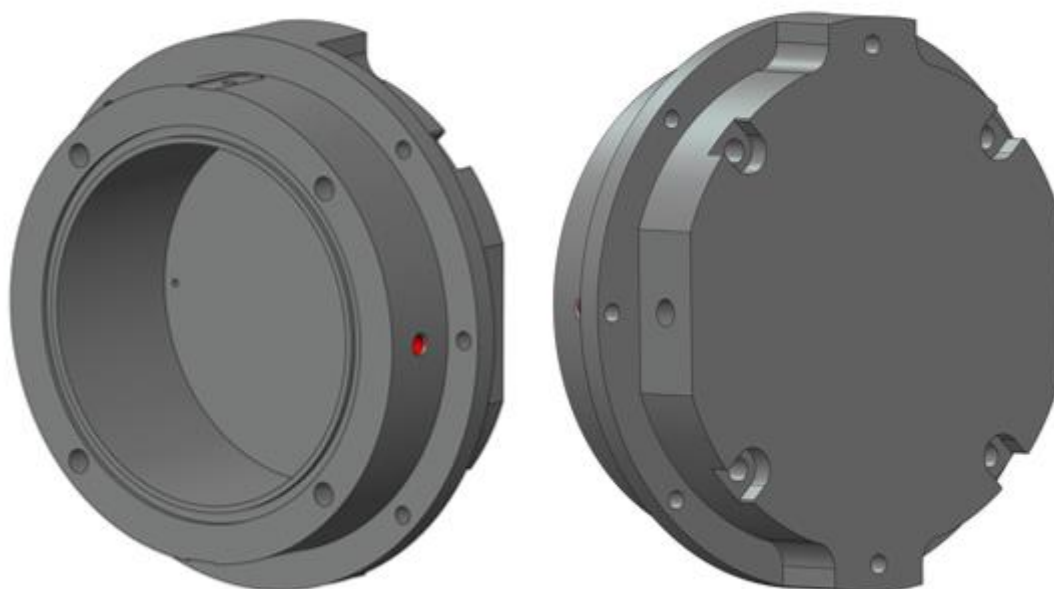


Fig. 3.17: Parte destra del corpo esterno della Camera Target

Questo componente ha una geometria più complessa rispetto alle parti interne del sotto assieme di destra. Sono presenti numerosi fori (filettati e non), incavi, aree fresate e diverse variazioni di geometria. Il materiale di qui è realizzato l'oggetto in esame è l'acciaio AISI 316L descritto nel paragrafo 3.3.1 e che conferisce al pezzo alte caratteristiche meccaniche in termine di rigidità e carico di rottura:

	R_m	$R_{p0,2}$	A	Resilienza KV
AISI 316/ AISI 316L	500÷700 MPa	≥ 200 MPa	40%	≥ 100 J

Tab. 3.2: Caratteristiche del acciaio AISI 316L (Gruppo Inox SPA)

Tale materiale può essere lavorato a moltissime macchine utensili, tradizionali e non tradizionali, come tornio, frese oppure elettroerosione inoltre la sigla L identifica tale acciaio con il termine “Low Carbon” conferendoli la possibilità di essere saldato.

Lo spessore sufficiente per resistere alla differenza di pressione di 1 bar è di pochi millimetri come verrà confermato dalla verifica eseguita nel paragrafo 3.4.6.

Sulla faccia frontale è presente un'apposita cava allo scopo di accogliere un O-Ring.

L' O-ring è un anello di elastomero a sezione circolare usato come guarnizione meccanica o sigillo. Gli O-ring sono progettati per essere inseriti in appositi alloggiamenti ed essere compressi durante l'assemblaggio di due o più parti, creando così una guarnizione di tenuta. Essi sono utilizzati molto frequentemente, sia per i loro costi limitati sia per la capacità di resistere a pressioni di decine di MPa [12]. Nel caso in esame tale anello deve garantire la tenuta da vuoto della camera. L'O-Ring scelto ha il codice: 2350 Rif. Inglese (normalizzazione ABC.AIR.STD 17/27, norme BS 1806, SDM(N) 370, S.S.M.(L) 7-17.) realizzato in materiale EPDM, adatto alle apparecchiature d'impiego nucleare.

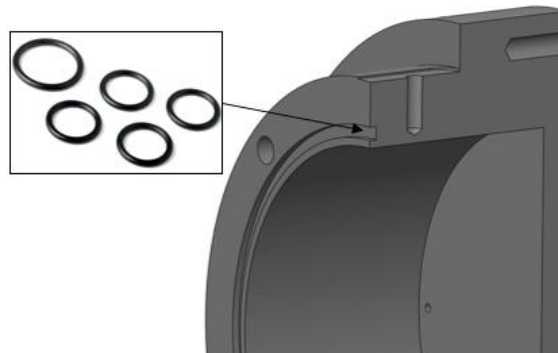


Fig. 3.18: Sede per l'O-Ring 2350 Rif. Inglese

Sulla parte destra del corpo esterno della Camera Target sono presenti dei “fastenings”, che sono delle funzionalità di aggancio rapido e semplice al sistema di movimentazione.

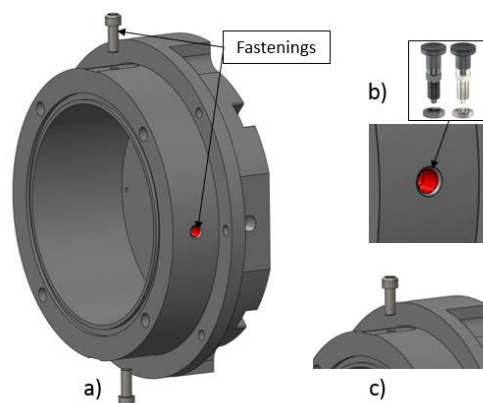


Fig. 3.19: "Fastenings" Attacchi Rapidi al sistema di movimentazione

La capsula sarà montata sul sistema di movimentazione descritto nel capitolo 4 e quest'operazione deve garantire un solido accoppiamento nel minor tempo possibile (meno di 30 secondi). Il foro colorato di rosso in figura 3.19 serve per centrare la capsula tramite degli otturatori figura 3.19 b).

Nella figura 3.19 c) si vede una vite M4x10 con la testa tornita che realizza un vincolo di fissaggio in direzione longitudinale della camera nel momento in cui questa è montata sul sistema di movimentazione. Le modalità con le quali avviene l'aggancio e lo sgancio con il sistema di movimentazione verranno spiegate in dettaglio nel capitolo che tratta tale meccanismo.

Nella parte posteriore della camera sono presenti 6 fori per viti M5. Due di questi sono filettati e vengono impiegati nel assemblare la maniglia alla Camera Target, gli altri 4 passanti e disposti a 45° rispetto agli assi servono alla chiusura definitiva e l'apertura della capsula (figura 3.20):

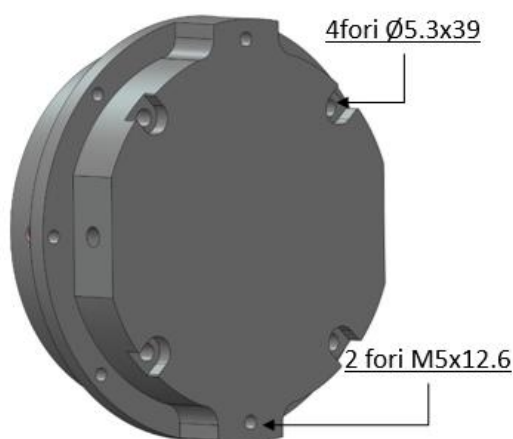


Fig. 3.20: Parte posteriore del corpo destro della capsula

La parte con il diametro più esterno del corpo $\varnothing 124$ mm serve per realizzare la “battuta” tra la capsula ed il sistema di movimentazione. Su questa porzione inoltre sono presenti dei fori realizzati nell'ottica che in futuro possano essere aggiunti ulteriori dispositivi di centraggio o manipolazione.

Le altre caratteristiche geometriche, mirano a facilitare le operazioni che vedranno impegnata la Camera Target Secondario all'interno della cella calda, dove verrà maneggiata in remoto e per via di telemanipolatori. Ad esempio i tratti piani sulla faccia posteriore potrebbero permettere il fissaggio del componente su dispositivi a morsa all'interno della cella calda, mentre i fori della corona esterna di diametro $\varnothing 124$ mm potrebbero contribuire a facilitare le operazioni necessarie all'apertura della capsula. Un possibile sviluppo futuro del progetto potrebbe essere la realizzazione di una maschera ad hoc che permetterebbe di semplificare ulteriormente le operazioni di intervento sulla Camera Target all'interno della Cella calda.

La maniglia rappresentata nella successiva figura 3.21 è stata selezionata in base a specifiche ergonomiche e di compattezza che deve soddisfare il corpo. Il materiale di cui è realizzata è alluminio con rivestimento di resina epossidica che conferisce alla parte leggerezza ed una superficie antigraffio.



Fig.3.21: Maniglia ELESA®

Mediante la dimensione del pugno chiuso di una persona prevedono una maniglia con $l \geq 100\text{mm}$ ed $h \geq 30\text{mm}$. In base a queste informazioni ed ai requisiti che deve soddisfare la Camera Target, la maniglia selezionata è GN.27178 ELESA[®], maggiori informazioni si possono trovare nell'appendice F.

Codice	Descrizione	b	$l_{10.25}$	l_2	d	a	h	h_2	r	t	δ_0
GN.27178	GN 565.1-20-112-SV	20	112	124	5.4	13	49	13.5	13	5.5	97
GN.27178	GN 565.1-20-112-SW	20	112	124	5.4	13	49	13.5	13	5.5	97

Tab. 3.3: Scelta della Maniglia ELESA

Il fatto di aggiungere una maniglia all'oggetto facilita di molto le operazioni di natura manuale. Con l'ausilio di questo pezzo la capsula può essere presa con una mano sola, mentre una geometria cilindrica con un diametro esterno maggiore di 100mm non offre questa possibilità. Inoltre afferrando la Camera Target mediante la maniglia aumenta la distanza tra il tronco della persona e la sorgente radioattiva, caratteristica che favorisce la sicurezza del personale addetto alle operazioni con la capsula.

L'assemblaggio del componente finale presentato in figura 3.12 si realizza montando in cascata le parti, seguendo l'esposizione di questo paragrafo.

3.4.2 Il sotto assieme _02 parte sinistra della Camera Target

La parte di sinistra di figura 3.10 completa la Camera Target Secondario rendendola un dispositivo indipendente, cioè una capsula chiusa. Nel sotto assieme _02 ci sono le parti con la funzione di misurare la corrente di ioni depositata sul disco target, come l'anello in rame oppure il contatto elettrico dorato allo scopo di soddisfare uno dei requisiti base del progetto. Inoltre l'oggetto di figura 3.10 realizza un isolamento con l'ambiente esterno mediante la paratoia automatica. Quest'ultima ha la funzione di aprirsi senza intervento manuale di un operatore nel momento in cui la capsula viene inserita nella linea di fascio e di chiudersi autonomamente nella successiva fase di disaccoppiamento. Mantenere il target isolato dall'ambiente esterno è uno dei requisiti del progetto, che impedisce l'inquinamento dell'ambiente esterno con particelle radioattive e viceversa ostacola il contatto del bersaglio con l'aria esterna che viene reputata "sporca". È bene infatti garantire un buon livello di sterilità, visto che la sorgente sarà utilizzata nella produzione di un radiofarmaco da iniettare ad un paziente.

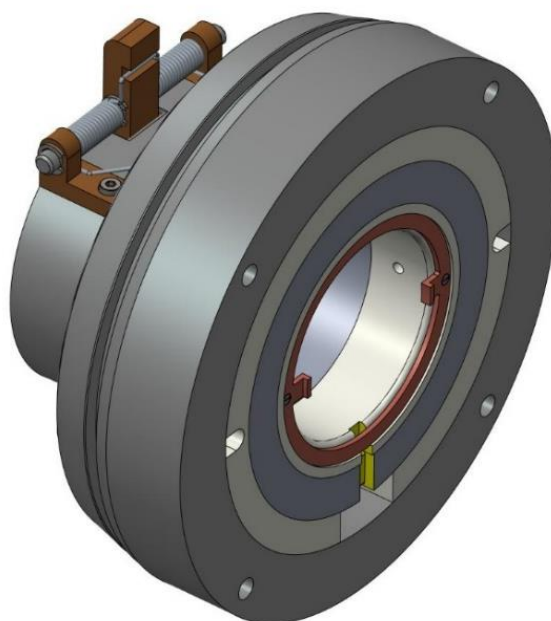


Fig. 3.22: Sotto assieme _02 parte sinistra della Camera Target Secondario

L'oggetto della precedente figura è composto da 19 elementi (comprendendo gli oggetti di collegamento come le viti o anelli radiali d'arresto):

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	RL_IPH_02_02_01_001	PART	SS	1,164	1
2	RL_IPH_02_02_01_002	PART	POLYETHYLENE	0,036	1
3	RL_IPH_02_02_01_003	PART	TUNGSTEN	0,705	1
4	RL_IPH_02_02_01_004	PART	POLYETHYLENE	0,012	1
5	RL_IPH_02_02_01_005	PART	LEGA_CU	0,004	1
6	RL_IPH_02_02_01_006	PART	POLYETHYLENE		1
7	RL_IPH_02_02_01_007	PART	POLYETHYLENE		1
8	RL_IPH_02_02_001	PART	BRONZE	0,006	1
9	RL_IPH_02_02_002	PART	BRONZE	0,006	1
10	RL_IPH_02_02_003	PART	AISI316L	0,004	1
11	RL_IPH_02_02_004	PART	C100		1
12	RL_IPH_02_02_02_001	PART	BRONZE	0,061	1
13	RL_IPH_02_02_02_002	PART	TUNGSTEN	0,061	1
14	STECKERT	PART			1
15	Viti_M1_2x4	PART	SS		2
16	DIN912_M2x14	PART	SS		4
17	DIN6799_A4_3-2	PART	AISI316		4
18	DIN7991_M2x6	PART	SS		4
19	DIN912_M2x6	PART	SS		4

Tab. 3.4: Distinta componenti sotto assieme di sinistra

Nella figura 3.23 viene illustrata la vista esplosa del componente:

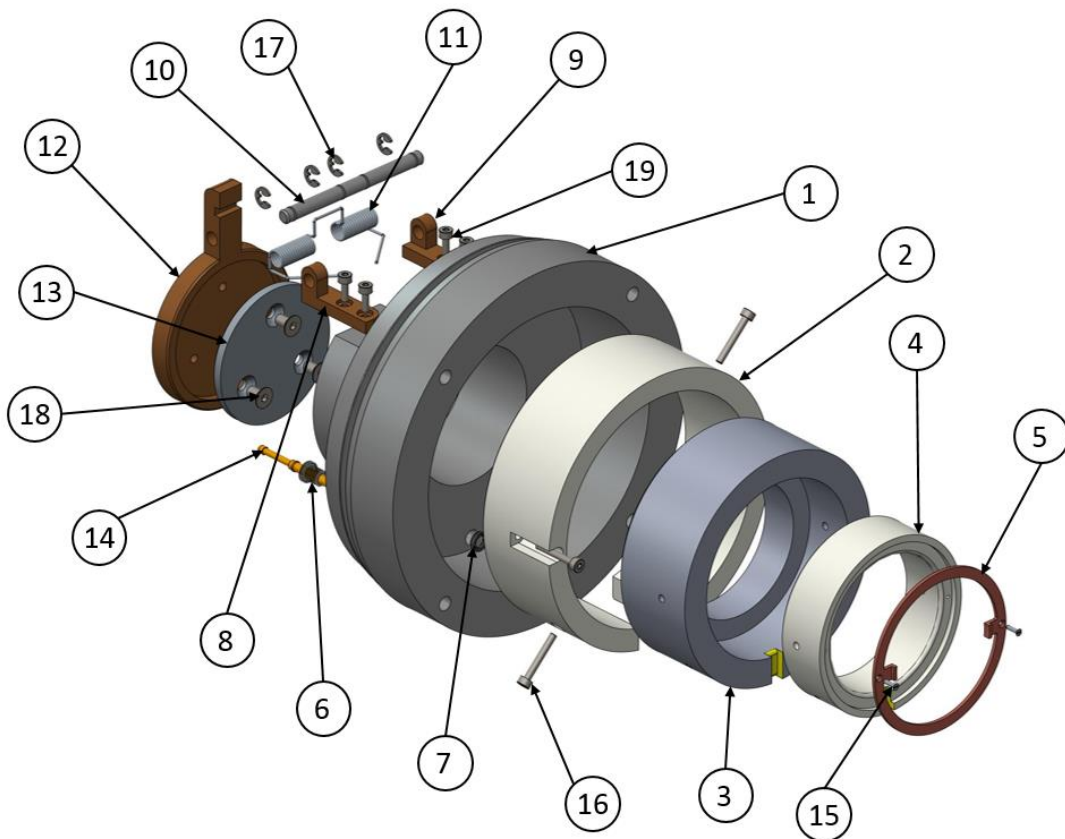


Fig. 3.23: Vista esplosa del sotto assieme di sinistra della Camera Target

Il numero 5 della precedente figura identifica il componente “anello in rame” (figura 3.24), che ha la funzione di realizzare un contatto elettrico con il target secondario, permettendo la lettura della corrente di fascio depositata:



Fig.3.24: Anello misuratore di corrente

Si è scelto di utilizzare il rame come materiale in virtù della sua ottima conducibilità elettrica e della sua resistenza alla corrosione migliore dell'argento.

Sul diametro interno dell'anello sono realizzati due denti flessibili. Tali sporgenze toccano il bersaglio realizzando un contatto elettrico. Attraverso un filo che verrà saldato nel punto giallo di figura 3.24 sarà poi possibile ricavare il segnale di corrente di fascio depositata. Inoltre i denti contribuiscono al corretto posizionamento del target.

La parte su cui poggia l'anello è realizzata in polietilene, materiale utilizzato anche per la sede del disco target. In questo modo è realizzato un isolamento rispetto alle parti metalliche della capsula che garantisce l'acquisizione del segnale elettrico desiderato attraverso l'anello in rame.



Fig. 3.25: Sede del Anello misuratore di corrente

La figura 3.25 mostra la sede del Anello misuratore di corrente. L'incavo dalla forma anulare è profondo 1.5mm e comprende 2 fori filettati M1,2x4,5 allo scopo di fissare il misuratore di corrente. La scanalatura colorata in giallo permette il passaggio del filo conduttore per il segnale elettrico.

Sulla superficie esterna in direzione radiale sono presenti 4 fori. Due di questi (disposti a 45°) sono fori filettati che servono al fissaggio con gli altri componenti che compongono il sotto assieme, mentre gli altri due contribuiscono all'evacuazione dell'aria dalla camera nel momento della generazione del vuoto. L'eliminazione delle sacche d'aria (aria intrappolata) nei componenti che lavorano in vuoto è un requisito molto importante per poter realizzare livelli di pressione dell'ordine di 10^{-6} mbar (Ultra high vacuum). A tal proposito all'interno della capsula son presenti degli appositi canali che eliminano questi volumi di aria intrappolata.

Come in tutti i componenti del sub assemblato di sinistra della Camera Target, in figura 3.25 si nota un foro centrale di $\varnothing 40$ mm (stessa dimensione del disco bersaglio), che permette il passaggio del fascio. In realtà si

prevede che il fascio arrivi molto più focalizzato, in base alle impostazioni. Per dare un'idea la dimensione dello spot lasciato dal fascio sul target potrebbe variare da alcuni decimi di mm e fino a un diametro di 1cm con un centraggio in quest'ultimo caso di circa $\pm 0,5$ mm. Con queste caratteristiche il progetto SPES-ISOLPHARM prevede nel futuro l'utilizzo di dischi $\varnothing 13$ mm come bersagli di raccolta. Essendo i corpi interni della Camera Target molto semplici essi potranno essere facilmente sostituiti nel caso si volesse operare con dei target più piccoli. In questa fase del progetto si è preferito mantenere il canale attraverso il quale passerà il fascio più ampio, per garantire la deposizione anche in casi in cui il fascio sia mal focalizzato.

Con il numero 3 nella vista esplosa (figura 3.23) viene indicata la parte di schermatura in tungsteno presente nel sotto assieme_02, che è rappresentata in figura 3.26:

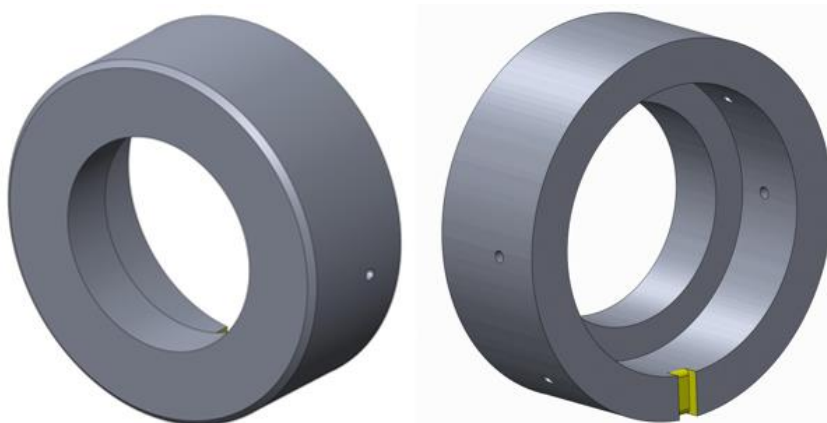


Fig. 3.26: Schermatura del sotto assieme_02 della Camera Target

Anche questo componente presenta una geometria a sviluppo anulare; è inoltre ricavato sul diametro interno uno spallamento per l'inserimento del componente in polietilene precedentemente descritto. Anche in questo caso sono presenti i fori per l'evacuazione dell'aria ed i fori di fissaggio tra i componenti. La porzione in giallo è il prolungamento del canale nel quale passa il filo conduttore per la misurazione della corrente di ioni depositati.

Come spiegato nel paragrafo 3.4.1, il tungsteno che è il materiale di cui è fatto l'oggetto è scelto in base alle sue ottime caratteristiche di schermatura delle radiazioni ed insieme al suo corrispondente della parte del sotto assieme_01 creano un guscio schermante contro le radiazioni provenienti dal disco bersaglio irraggiato.

Nella successiva figura 3.27 viene presentata la sede della parte schermante sopracitata:



Fig. 3.27: Sede della parte schermante

Tale oggetto è realizzato in polietilene e la sua funzione primaria è la stessa del suo corrispondente, descritto nel precedente paragrafo (RL_IPH_02_01_002), pertanto esso occupa lo spazio in surplus nel sotto assieme considerato come parte sinistra della capsula. Oltre ai 4 fori per il fissaggio radiale tra i componenti e l'evacuazione dell'aria, sono presenti 2 fori lamati M2 per il fissaggio con il corpo della capsula. L'intaglio della parte inferiore è previsto per concedere spazio al corpo con la bolla numero 14 (figura 3.23) all'interno della camera.



Fig. 3.22: Corpo esterno del sotto assieme_02

In figura 3.22 viene illustrato il corpo esterno del sotto assieme_02 della Capsula. Il materiale di cui è realizzato è l'acciaio AISI 316L che conferisce all'oggetto ottime caratteristiche meccaniche e lavorabilità alle macchine utensili vista la geometria più complessa rispetto alle parti esposte precedentemente.

I 4 fori disposti a 45° rispetto agli assi orizzontale e verticale sono filettati M5 e servono a realizzare il collegamento tra le due parti della Camera Target mediante le 4 viti M5x50 visto anche in figura 3.11. Il diametro $\varnothing 81$ mm accoglie al proprio interno la sede della parte schermante, mentre l'apertura di diametro $\varnothing 40$ garantisce il passaggio del fascio.

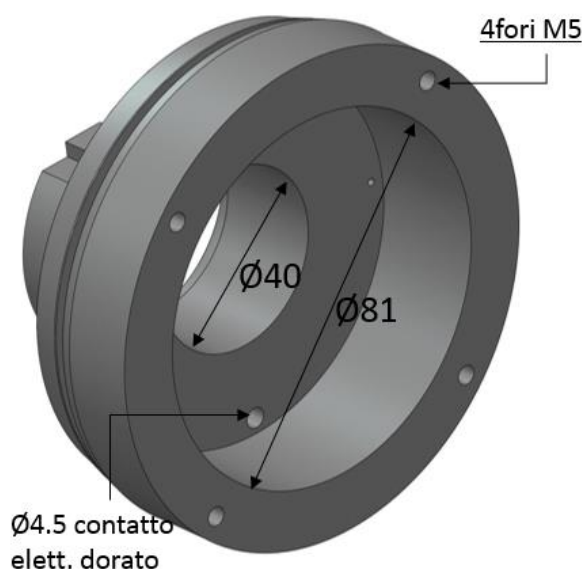


Fig. 3.29: Caratteristiche della geometria interna

Nella precedente figura si nota il particolare indicato come “Ø4.5 contatto elettrico dorato”. Tale foro realizza l’uscita finale del segnale elettrico dall’interno della camera mediante un elemento commercialmente disponibile che verrà illustrato successivamente nello stesso paragrafo.

Nella parte esterna dell’oggetto si nota facilmente il tratto conico con la cava, sede dell’O-ring che garantisce la tenuta da vuoto nell’accoppiamento con la linea RIB. Nelle applicazioni di questo tipo dove si lavora con differenze di pressione dell’ordine di 1 bar spesso vengono impiegati i tratti conici per realizzare degli accoppiamenti tra i componenti. La pressione esterna agendo sulla superficie del corpo, genera una forza che spinge la capsula verso il corpo con cui verrà accoppiata.

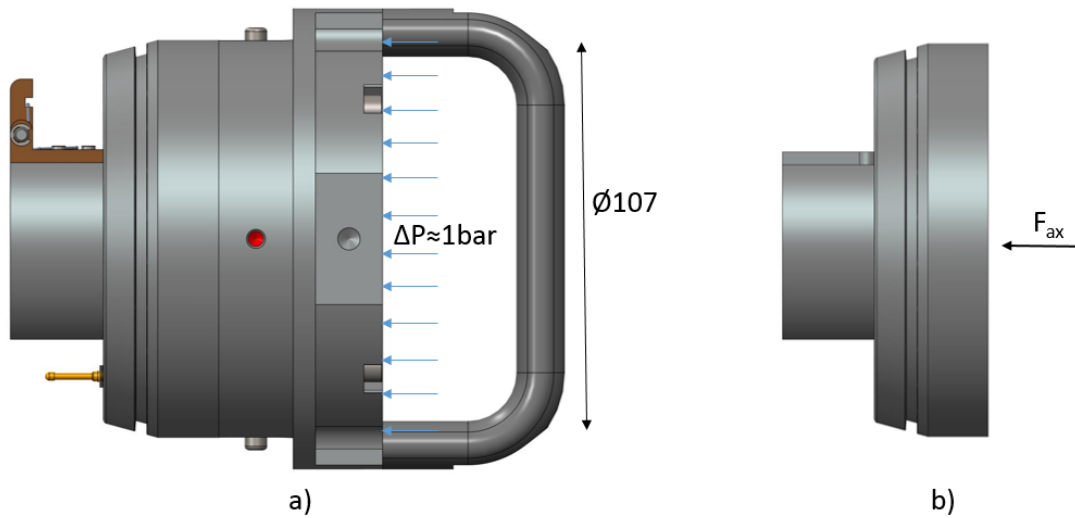


Fig. 3.30: La forza di spinta assiale agente sulla camera

$$F_{ax} = \Delta P A \tag{3.2}$$

$$A = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{\pi * 107^2}{4} = 8992 \text{mm}^2 \tag{3.3}$$

Tenendo conto anche delle conversioni nel SI (Sistema internazionale di unità di misura):

$$F_{ax} = 100000 * 8992 * 10^{-6} = 899,2 \text{ N} \tag{3.4}$$

La F_{ax} è la forza di spinta assiale, generata grazie alla differenza di pressione che agisce sulla capsula. Tale forza esplica sul tratto conico due componenti F_p ed F_r :

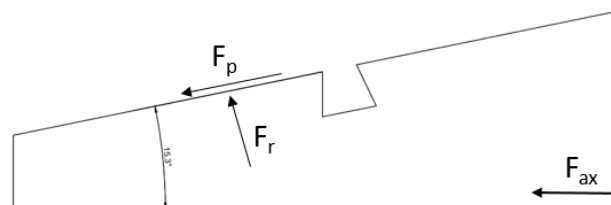


Fig.3.31: Forze agenti sul tratto conico

$$F_p = F_{ax} * \cos 15,3^\circ = 867,3 \text{ N} \tag{3.5}$$

$$F_r = F_{ax} * \sin 15,3^\circ = 237,3 \text{ N} \tag{3.6}$$

Le forze appena calcolate sono pienamente sufficiente a garantire l'accoppiamento senza aggiunta di organi meccanici come viti, bulloni ed altri tipicamente usati per connettere due corpi tra di loro.

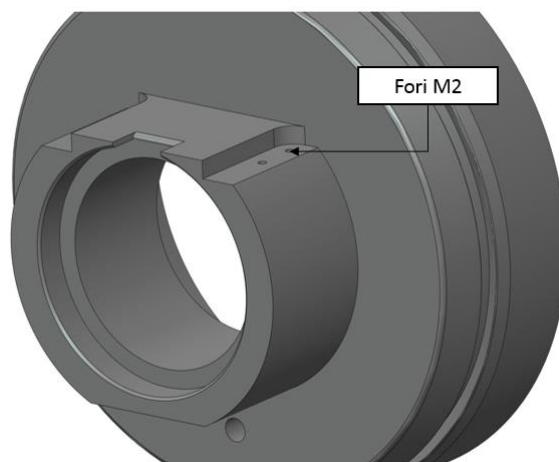


Fig.3.32: Parte anteriore, base della paratoia

In figura 3.32 si nota la particolare geometria conferita alla parte anteriore del corpo. Rispetto al primo concept questa parte è stata radicalmente trasformata, rendendo il corpo meno pesante, più compatto e semplice. Ricordando il paragrafo 3.3.1 che tratta il primo concept la paratoia si apriva nel verso interno della capsula e questa conformazione occupava molto spazio perché doveva accogliere al proprio interno gli ingombri della paratoia nel momento in cui questa si bloccava in posizione aperta. La realizzazione degli spazi necessari implicava l'aumento delle dimensioni e l'impiego di maggior quantità di materiale. Con questa nuova disposizione tutto il sistema paratoia automatica è stato ottimizzato con una sostanziosa riduzione di sviluppo longitudinale e riduzione del peso del componente.

La parte planare più estesa serve per realizzare un solido appoggio ad una molla per il ritorno in posizione chiusa della paratoia (si veda paragrafo 3.4.5), mentre le parti planari con fori M2 sono realizzate per sorreggere due pezzi speculari realizzati in bronzo che a loro volta accoglieranno il perno di rotazione del sistema paratoia automatica.

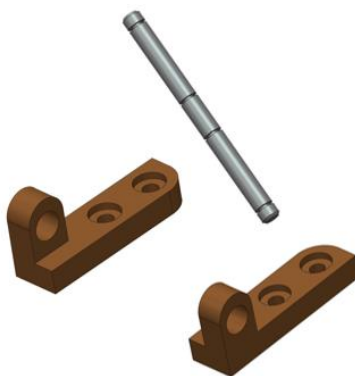


Fig. 3.33: Componenti per la rotazione della paratoia

Il bronzo è un tipico materiale utilizzato per applicazioni in cui avvengono delle rotazioni striscianti tra i corpi, come nel caso in esame, perché minimizza gli attriti e quindi l'usura dei componenti. I due supporti del perno vengono fissati al corpo della capsula mediante viti M2 mentre il perno si posiziona utilizzando dei anelli radiali d'arresto per alberi (Tipo RA UNI 7434, DIN 6799) (figura 3.34).



Fig. 3.34: Anelli radiali d'arresto per alberi

L'utilizzo di tali componenti consente di mantenere un elevato grado di semplicità del sistema, perché per l'assemblaggio è sufficiente inserirli nelle apposite sedi ricavate sul perno. Inoltre la soluzione adottata garantisce la massima compattezza del sistema paratoia. Il diametro esterno del perno è $\varnothing 4\text{mm}$, dunque l'anello d'arresto scelto è RA 3,2 che prevede la riduzione del diametro dell'albero a 3,2 mm nei tratti in cui vanno inseriti quest'ultimi.



Fig. 3.35: Albero $\varnothing 4\text{mm}$ del sistema paratoia

L'albero $\varnothing 4$ e gli anelli radiali d'arresto sono in AISI 316L acciaio inossidabile austenitico, per impedire l'ossidazione di questi oggetti nell'ambiente esterno visto che sono impiegati all'interno di un meccanismo cinematico, che deve sempre garantire il suo funzionamento.

Con il numero 12 nella vista dell'esploso (figura 3.23) è indicata un'ulteriore parte del sistema paratoia. Il pezzo è realizzato in bronzo per gli stessi motivi dei supporti del perno.

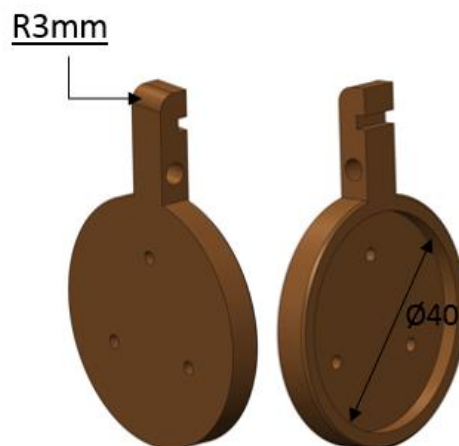


Fig. 3.36: Paratoia in Bronzo

In figura 3.36 è rappresentata la geometria del componente. Il raccordo di 3 mm indicato è la zona di contatto tra la paratoia ed un vincolo fisso che si trova nel terminale della linea che si accoppia con la camera target. Nel momento in cui la capsula andrà ad accoppiarsi con la linea, la paratoia si aprirà per effetto dello scorrimento tra tale area raccordata e il profilo del vincolo fisso. Tale operazione sarà descritta in dettaglio nel paragrafo 3.4.4.

Nella parte posteriore del corpo si nota un intaglio orizzontale che ha la funzione di accogliere il braccio della molla. Nel momento dell'estrazione dalla linea, quando la camera si sposterà all'indietro rispetto al vincolo fisso, la paratoia viene chiusa grazie al ritorno elastico della molla. Sul corpo della paratoia è ricavata una sede circolare di diametro Ø40 mm. Quest'ultima ha la funzione di accogliere una pastiglia in tungsteno (figura 3.37) in modo da conferire schermatura anche nella direzione frontale della Camera Target Secondario.

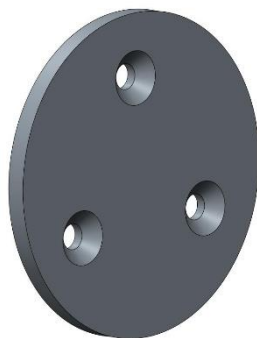


Fig. 3.37: Pastiglia in tungsteno

Come già anticipato, la chiusura automatica e il corretto funzionamento della paratoia sono garantiti da una molla ad elica di torsione, come quella rappresentata in figura 3.38. Una molla è un corpo capace di allungarsi se gli viene applicata una determinata forza, e in seguito di tornare alla propria forma originale. L'azione della molla viene schematizzata mediante la legge di Hook, che nel caso di molle a torsione è espressa da:

$$M_{el} = k * \Delta\theta \quad (3.7)$$

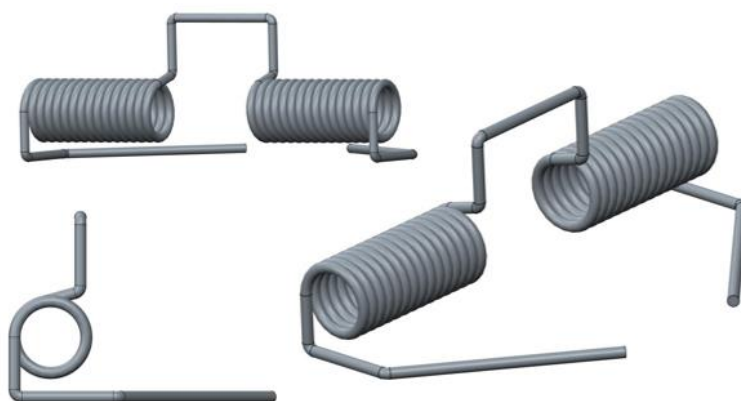


Fig.3.38: Molla ad elica torsionale

La particolare geometria di questo oggetto gli consente di interfacciarsi con il corpo esterno della capsula, con l'albero in acciaio e con la paratoia in bronzo e di sviluppare una forza necessaria a mantenere chiusa la paratoia occupando minor spazio possibile e conservando le caratteristiche di semplicità del componente. Queste molle sono costruite in modo analogo a quelle ad elica di trazione o compressione, che sono le molle maggiormente utilizzate, ma le estremità sono sagomate in modo da poter trasmettere un momento di asse parallelo all'asse della molla (cioè *torcente*). Il momento generato in questo modo esprime una forza sulla paratoia in corrispondenza dell'intaglio osservato in figura 3.36, che è la sede della parte centrale rettilinea della molla.

Essendo questo tratto ad una distanza dall'asse del perno rispetto a cui la paratoia può ruotare, viene a formarsi il braccio su cui agisce la forza esplicata dal tratto centrale rettilineo della molla. In questo modo in condizioni di riposo la paratoia si mantiene chiusa. Il dimensionamento dettagliato della molla verrà esposto nel paragrafo 3.4.5.

Il componente contrassegnato con il numero 14 in figura 3.23 indica il contatto elettrico dorato che sarà incluso nella camera target. Questa tipologia di contatti viene impiegata principalmente per i test di schede elettroniche, ma trova applicazioni anche nei carica batterie, nei sistemi medicali, nei semiconduttori o ovunque in generale sia necessario realizzare contatti mobili con grande affidabilità e durata nel tempo come nel caso in esame. Fra la parte terminale di tale oggetto ed il suo corpo è interposta una molla che ammortizza l'impatto tra le due parti che devono essere collegate e consente la compensazione di eventuali imprecisioni nella distanza tra i due componenti tra cui si vuole realizzare il contatto elettrico. .



Fig. 3.39: Contatti a molla "FEINMETALL"

Nel caso della Camera Target tale contatto viene inserito nella capsula. Si garantisce dell'isolamento elettrico con le altre parti metalliche mediante distanziatori in plastica indicati con le bolle numero 6 e 7 in figura 3.23. Al contatto viene collegato il filo conduttore connesso all'anello in rame appoggiato al target. In questo modo il segnale elettrico della corrente di radioisotopi depositati sul bersaglio viene portato fuori dalla capsula.

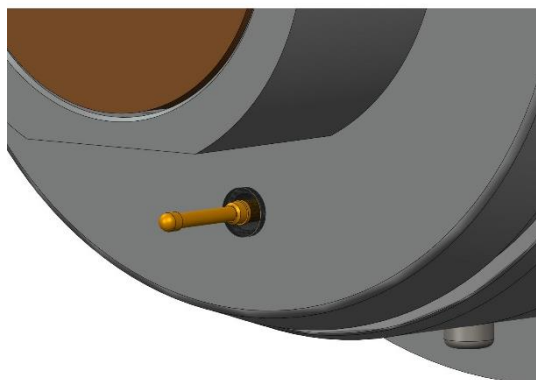






Fig. 3.40: Il contatto a molla inserito nella camera

Il contatto elettrico scelto è dell'azienda "FEINMETAL Contact Technologies" ed ha il codice commerciale: F796-12-B-230-G-300-. Maggiori dettagli si trovano nell'appendice F che tratta gli allegati dei componenti scelti a catalogo.

Tip Style	Number	Material	Plating	Ø in mm	Version
	06	B	G	2,30	-
	11	B	G	1,76	-
	12	B	G	2,30	-
	14	B	G	2,30	-

Tab. 3.5: Scelta nel catalogo Finmetal

La successiva trasmissione del segnale avviene quando la camera viene accoppiata con l'apposito terminale della linea (parte fissa della linea RIB che accoglie la camera). Maggiori dettagli a riguardo saranno descritti nel paragrafo 3.4.4.

3.4.3 Collare di collegamento fra la linea del fascio e la Camera Target Secondario

Nel primo paragrafo del seguente capitolo è stato accennato che l'ultimo componente lungo la linea prima del Sistema Target di Raccolta è una Diagnostic Box, come quella rappresentata in figura 3.1. Per poter realizzare una connessione tra questi due apparati è stato progettato un apposito componente chiamato Collare di collegamento (figura 3.41). L'inserimento della Camera Target all'interno di questo componente viene fatta per via del sistema di movimentazione automatico che verrà presentato nel capitolo 4.

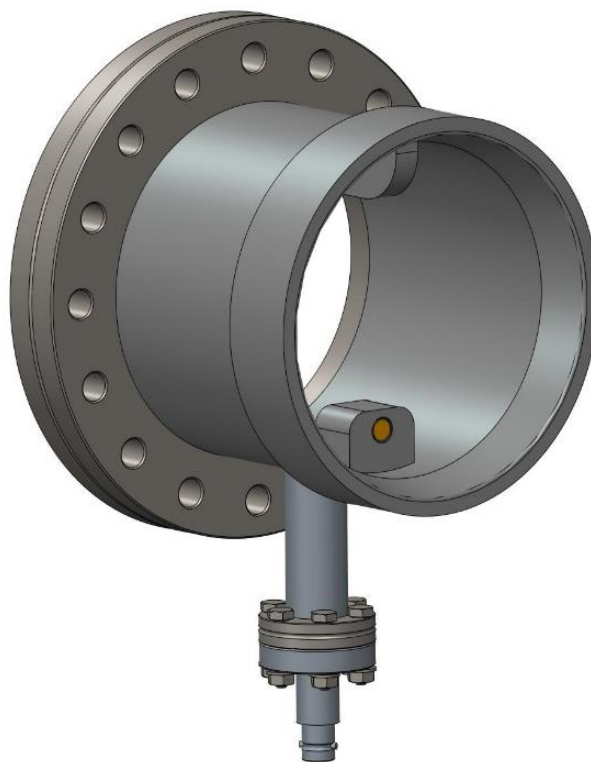


Fig. 3.41: Collare di collegamento fra la linea del fascio e la Camera Target Secondario

L'oggetto soprastante è realizzato mediante lavorazioni meccaniche ed assemblaggio di componenti commercialmente disponibili. La base del corpo è il bocchello in acciaio, realizzato mediante tornitura di un pezzo cilindrico, dal quale viene ricavata la geometria tubolare con il tratto conico ed una preforma del dente più volte nominato "vincolo fisso della linea del fascio" che ha la funzione di consentire l'apertura della paratoia automatica della Camera Target nel momento in cui quest'ultima verrà accoppiata con il Collare di collegamento. In seguito il pezzo verrà lavorato mediante taglio ad elettroerosione (a filo) che portare la

geometria del componente alla configurazione di figura 3.42 a). La parte prismatica con i spigoli raccordati verrà saldata all'oggetto tubolare in una seconda fase delle lavorazioni figura 3.42 b).

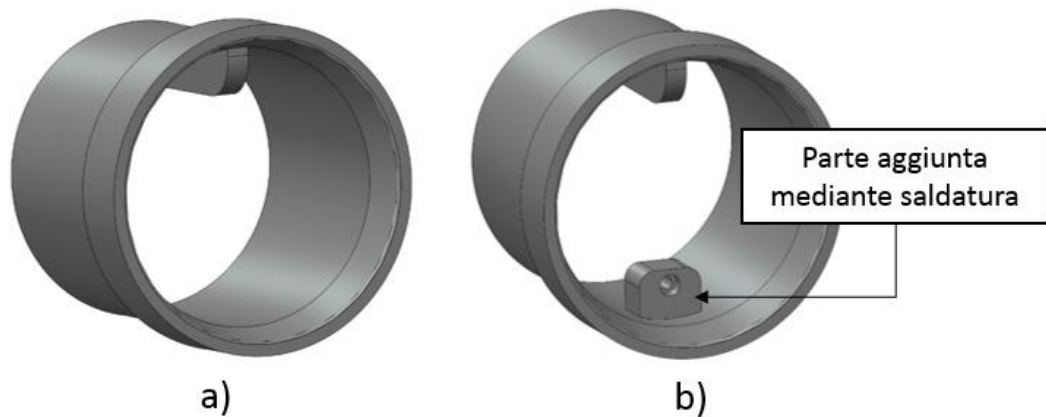


Fig. 3.42: Il Corpo del Collare di collegamento

Il tratto conico presente sul bocchello è speculare al tratto conico della Camera Target. Le due superfici realizzano l'accoppiamento tra i due rispettivi oggetti, inoltre garantiscono la tenuta del vuoto mediante l'O-ring schiacciato fra di loro.

La parte aggiunta mediante saldatura ha la funzione di accogliere i componenti di figura 3.43:

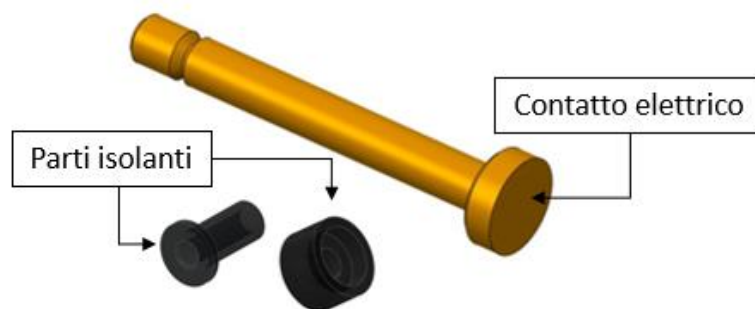


Fig. 3.43: Componente per il contatto elettrico e le sue parti isolanti

Il componente color oro ha la funzione di trasmettere il segnale elettrico mediante l'adesione con la testa del contatto elettrico dorato presente sulla Camera Target visto in figura 3.40 nel momento in cui quest'ultima verrà accoppiata alla linea RIB. Le parti nere di figura 3.43, realizzate in polietilene, servono ad isolare elettricamente il contatto elettrico dal resto degli oggetti metallici.

Il corpo cilindrico di figura 3.42 viene inoltre forato radialmente ed ad esso è saldato un tubo $\varnothing 14\text{mm}$ lungo 50mm. Mediante tale tubo verrà condotto il cavo che collegherà il contatto elettrico di figura 3.43 ed il passane elettrico da vuoto. Nella successiva figura viene illustrato schematicamente tale collegamento:

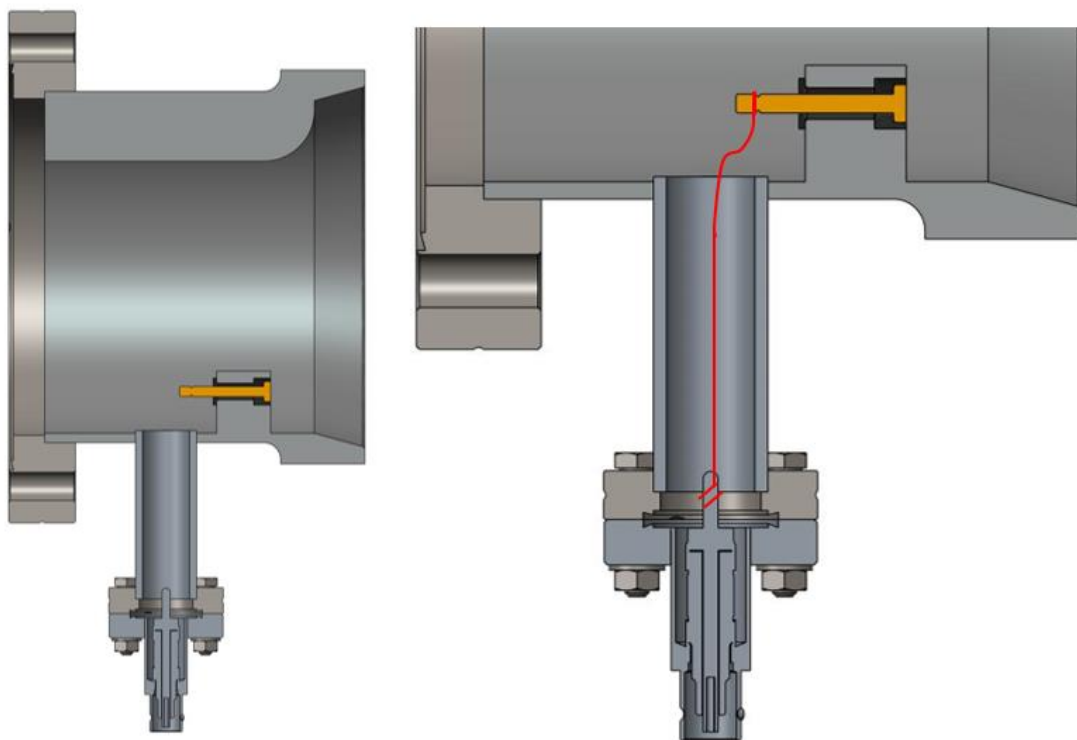


Fig. 3.44: Vista in sezione e la rappresentazione del collegamento elettrico

I passanti elettrici sopra citati sono componenti che consentono il trasferimento di potenza elettrica o di un segnale verso o da una camera ermetica. Essi consistono di giunzioni tra metalli e ceramiche dove il componente ceramico agisce da isolante elettrico tra il materiale conduttore e la flangia metallica. Il passante utilizzato nel caso in esame è della tipologia BNC (*Bayonet Neill Concelman*) della "Allectra", impiegati per trasmettere segnali di bassa potenza, con tensione massima 500V e corrente massima 3°, ampiamente al di sopra dei valori tipici del segnale di corrente che dovranno trasmettere (dell'ordine di centinaia di nA). Essi sono adottati universalmente per l'ingresso e l'uscita di segnale, negli strumenti di misura elettronici, i quali adottano come standard l'impedenza di 50 Ohm.

Tali connettori sono di facile montaggio visto che sono commercialmente disponibili nella versione in cui sono incorporati ad una flangia CF 40. Mediante quest'ultima il passante viene fissato all'apparato di interesse figura 3.44. Il data sheet completo del connettore selezionato si può trovare nell'appendice F di questa tesi.



Fig. 3.45: Passante da vuoto BNC della Allectra

Per agganciare il collare di collegamento alla Diagnostic Box della linea RIB sul diametro esterno del corpo tubolare è saldata una flangia CF 100. Una flangia in generale è un componente meccanico destinato ad un accoppiamento non permanente di altri pezzi mediante viti o bulloni. Nel caso in esame sono utilizzate flange da vuoto. Esse generalmente sono saldate all'estremità di un tubo e sono utilizzate nella connessione di camere

che lavorano in vuoto, tubi oppure pompe da vuoto. Posso essere riscontrate nelle applicazioni scientifiche o industriale.

Le flange CF (Conflat) sono impiegate nella connessione di pezzi che lavorano in alto vuoto (ultra high vacuum) e coprono l'intervallo di dimensioni con diametro nominale da DN16 a DN400. Il collegamento viene fatto mediante le facce di due flange simmetriche e per via di una guarnizione in rame interposta tra le due. Sulle facce delle flange è presente un bordo tagliente che deforma la guarnizione (più tenera dell'acciaio delle flange) nel momento in cui avviene la connessione. La deformazione della guarnizione metallica (in Rame) ricopre i piccoli difetti nella flangia realizzando tenute dell'ordine di 10^{-11} Pa.



Fig. 3.46: Rappresentazione di una flangia CF e la schematizzazione della connessione fra due flange

Mediante la flangia CF 100 presente sul collare di collegamento si potrebbe realizzare la connessione con la Diagnostic Box sulla quale si trova una medesima flangia. Effettuare un collegamento diretto tra questi due componenti è molto semplice ma non ottimale per la gestione del vuoto per il Sistema Target di Raccolta. Nel caso in esame nella linea RIB è presente un livello di pressione del 10^{-6} mbar. Per poter collegare ad un tale sistema un corpo all'interno del quale agisce la pressione atmosferica bisogna predisporre le condizioni adatte. L'accoppiamento deve essere fatto alla stessa pressione, per cui sarebbe improponibile portare a pressione ambiente un lungo tratto di linea solo per introdurre un piccolo volume come la Camera Target. Per ovviare a questo problema vengono introdotte le valvole da vuoto *UHV gate valve* di figura 3.47:



Fig. 3.47: UHV gate valve della VAT

Questi dispositivi sono in grado di disaccoppiare due ambienti tra i quali c'è una differenza di pressione come nel caso in esame. L'otturatore di queste valvole è una saracinesca comandata mediante un dispositivo elettropneumatico che all'occorrenza apre o chiude la valvola.

Solitamente tra due ambienti viene inserita una valvola come in figura, essa è predisposta ad una montaggio tra due flange tipo CF mediante prigionieri. A regime la valvola è aperta e tra i volumi dei due ambienti c'è continuità. Ad esempio nel caso di una linea che funziona in vuoto, gli ambienti sono ad una pressione dell'ordine di 10^{-6} mbar. Nel momento in cui si vuole separare i due volumi senza però perdere il vuoto in uno dei due tratti, viene utilizzata la valvola. L'otturatore chiude il canale tra i due ambienti e nella parte che si vuole separare viene fatta entrare l'aria, mediante appositi circuiti. Ovviamente nel momento in cui si arriva a livelli di pressione ambiente la parte si può staccare. Nel caso contrario, quando si vuole accoppiare due parti in cui una è già in vuoto mentre l'altra è a pressione ambiente la procedura è differente. La valvola di figura 3.46 non può aprirsi se c'è una differenza di pressione ≥ 30 mbar tra i due ambienti, dunque il volume a pressione ambiente deve essere connesso ad un circuito di prevuoto che porta la pressione fino a 10^{-2} mbar. Solo a quel punto la valvola si può aprire e realizzare la continuità tra i due ambienti.

Nel caso in esame la valvola *UHAV gate valve* viene inserita fra la Diagnostic Box ed il Collare di collegamento. La scelta è ricaduta sulla Serie 10 della VAT codice 10840-CE48, che su richiesta può essere munita di un by-pass al quale viene collegato il circuito da prevuoto. Tale circuito mediante il by-pass della valvola provvederà a portare la camera target alla pressione di 10^{-2} mbar e quindi alle condizioni necessarie per aprire l'otturatore e raggiungere la continuità tra la linea e la Camera Target.

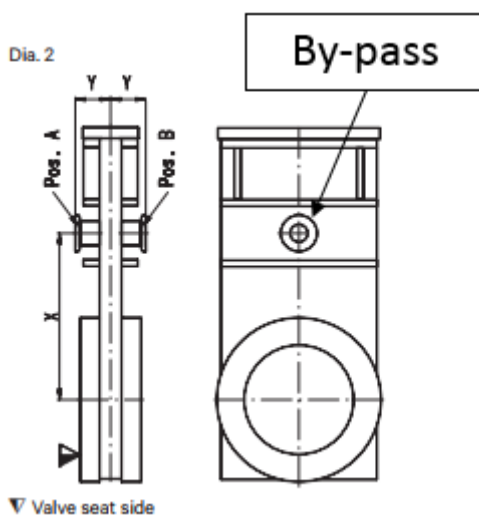


Fig. 3.48: Disegno di una valvola VAT serie 10 con By-Pass

DN		Ordering numbers (specify control voltage)				
mm	inch	ISO-F	CF-F metric threads	CF-F UNF threads	ASA-LP	JIS
63	2 1/2	10836-PE48	10836-CE48	10836-UE48	10836-TE48	10836-JE48
80	3	10838-PE48	10838-CE48	10838-UE48	10838-TE48	10838-JE48
100	4	10840-PE48	10840-CE48	10840-UE48	10840-TE48	10840-JE48
160	6	10844-PE48	10844-CE48	10844-UE48	10844-TE48	10844-JE48
200	8	10846-PE48	10846-CE48	10846-UE48	10846-TE48	10846-JE48
250	10	10848-PE48	10848-CE48	10848-UE48	10848-TE48	10848-JE48
320	12	10850-PE48	on request	on request	10850-TE48	10850-JE48

Tab. 3.6: Scelta della valvola VAT

L'ultima caratteristica del Collare di collegamento di collegamento che viene presentata è il vincolo fisso che ha la funzione di aprire la paratoia della capsula nel momento in cui questa viene inserita. La geometria di questa porzione prevede un ampio raggio di raccordo onde evitare impuntamento della paratoia durante lo scorrimento tra i due componenti.

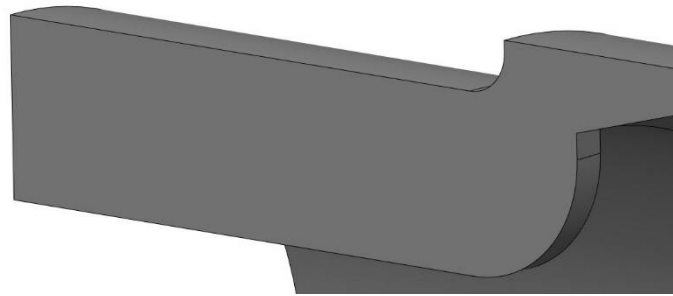


Fig. 3.49: Vista in sezione del vincolo fisso

3.4.4 L'architettura della Camera Target Secondario

Nei precedenti due paragrafi sono stati esposti tutti gli elementi che compongono la Camera Target singolarmente, evidenziando le caratteristiche più importanti delle singole parti. Per capire in dettaglio il funzionamento della Camera Target è necessario intendere come le varie parti vengono ad interfacciarsi tra di loro, con lo scopo di rendere il componente finale (la Camera Target Secondario assemblata) funzionale.

Dalle trattazioni precedenti si è capito che la capsula può essere aperta in due parti intervenendo sulle 4 viti M5 mostrate in figura 3.11. All'apertura della capsula, nella parte destra rappresentata dal sotto assieme _01 viene inserito un target di diametro $\text{Ø}40$ mm e spessore 1mm più volte nominato. Le due parti vengono chiuse avvitando le 4 viti M5. Nella successiva figura 3.50 viene mostrata la vista in sezione longitudinale della camera:

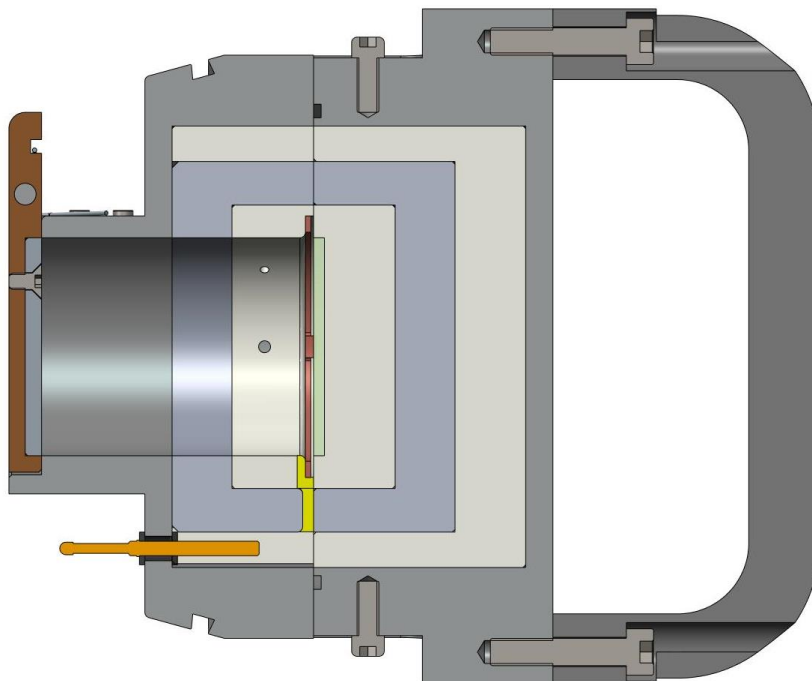


Fig. 3.50: Sezione della Camera Target

In questa vista si individuano facilmente i vari componenti illustrati nei precedenti due paragrafi e risulta più chiaro il modo in cui essi formano un assieme più complesso.

Il disco bersaglio viene mantenuto in posizione grazie alla sede realizzata sul componente in polietilene ed ai due denti dell'anello in rame che poggiano sul target. Oltre alla funzione di sostegno meccanico, l'anello di rame rileva la corrente di ioni depositati mediante gli stessi due denti che toccano il disco bersaglio. Infatti realizzando un collegamento diretto tra il target ed un metallo, in questo caso il rame, la corrente viene condotta attraverso il sale e poi attraverso il metallo fino ad essere portata fuori dalla capsula mediante l'apposito contatto elettrico. Ovviamente tra quest'ultimo e l'anello in rame è realizzato un collegamento mediante un filo isolato. Nella figura 3.51 sottostante è mostrato quanto appena descritto:

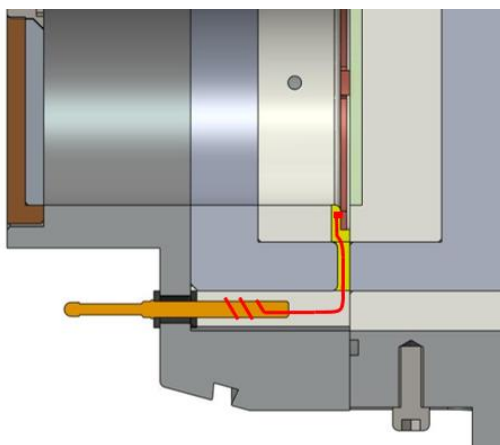


Fig. 3.51: Il sistema di misurazione della corrente depositata

Nella Sezione longitudinale di figura 3.50 si possono inoltre notare come avvengono alcuni dei collegamenti filettati, ad esempio la maniglia, le viti dalla testa tornita inseriti radialmente nel corpo esterno della capsula allo scopo di fissare la Camera Target sul Sistema di Movimentazione oppure la pastiglia in tungsteno nel sistema della paratoia che viene assemblata mediante tre viti M3 disposte a 120° .

Nella Sezione longitudinale presentata nella successiva figura 3.52 si possono notare i canali per l'evacuazione degli eventuali accumuli dell'aria tra le interfacce dei vari componenti della camera.

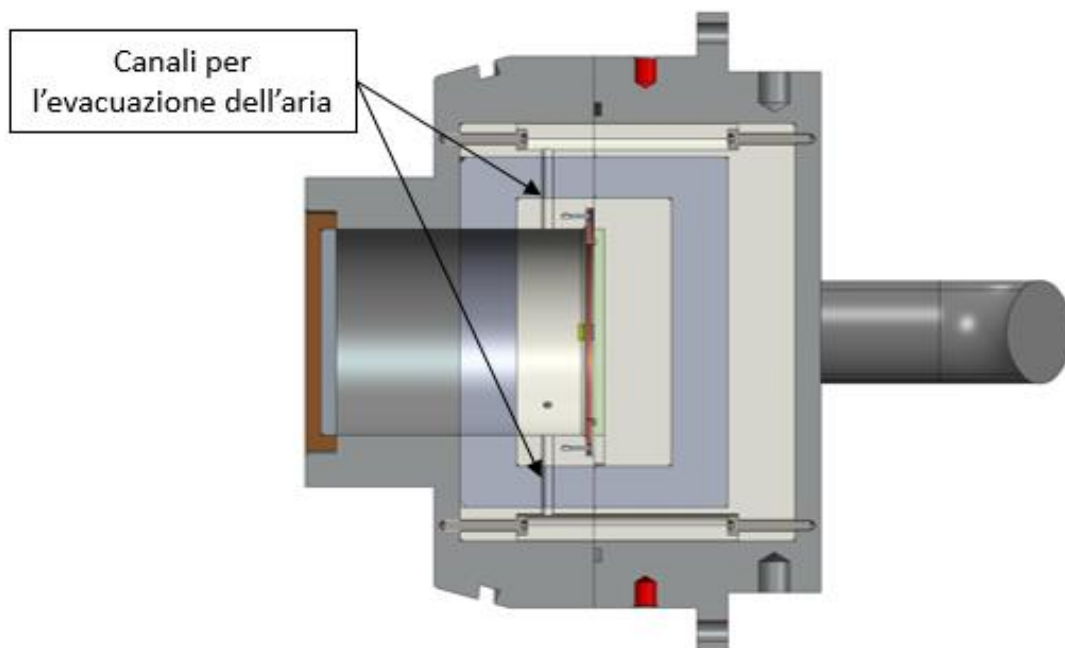


Fig. 3.52: Sezione della Camera Target

In particolare le zone dove potrebbero rimanere intrappolati volumi di aria sono quelle lamate dei componenti in polietilene tramite le quali le parti interne sono fissate al corpo della capsula in acciaio, visibili in figura 3.52. Inoltre è mostrato l'accoppiamento tra l'anello in rame ed il suo supporto in polietilene mediante le viti M1,2. Nella sezione longitudinale (sezione rispetto un piano che taglia la camera a 45°) presentata all'inizio del paragrafo 3.4 (figura 3.11), è possibile notare il fissaggio fra i corpi interni alla camera (fissati radialmente tramite viti M2) e le viti di accoppiamento tra i due sotto assiemi della capsula.

Il Sistema Paratoia automatica è il meccanismo responsabile dell'apertura e della chiusura del canale per il passaggio del fascio all'interno della capsula. Quando la capsula viene introdotta nel Collare di collegamento (per via del sistema di movimentazione al quale la capsula è agganciata) tra la leva della paratoia ed il vincolo fisso avviene il primo contatto mostrato in figura 3.53 a): *Nota**: Nelle successive figura verrà presentato l'accoppiamento tra la Camera Target ed il Collare di collegamento trascurando il Sistema di Movimentazione.

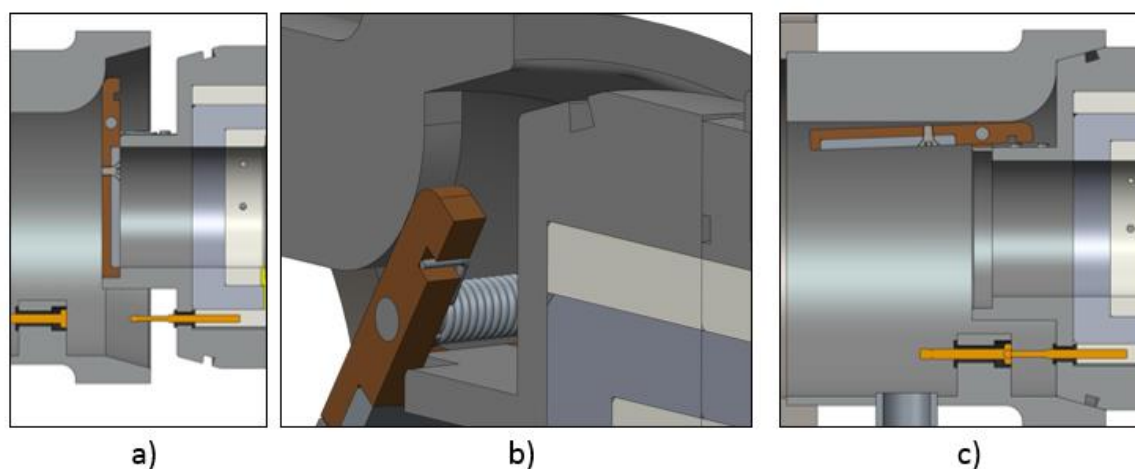


Fig. 3.53: Apertura della paratoia durante l'accoppiamento della Camera Target con il Collare di collegamento

Nella figura 3.53 b) è illustrata una fase intermedia in cui avviene lo scorrimento della leva della paratoia sulla superficie del vincolo fisso del Collare di collegamento. Più la capsula viene spinta all'interno della linea e più la paratoia viene aperta per l'azione del vincolo che esercita un momento rispetto a questa. La figura 3.53 c) mostra la paratoia completamente aperta e dunque la conclusione dell'inserimento della Camera Target all'interno del bocchello della linea. Nella medesima figura si può notare anche il contatto elettrico avvenuto tra i due corpi, che in questo modo porta il segnale elettrico fuori dal Sistema Target di Raccolta pronto ad essere trasferito ai sistemi successivi, come centraline ed in fine un calcolatore di controllo.

La Camera Target Secondario realizzata in questo modo soddisfa tutti i requisiti preposti all'inizio capitolo. La progettazione ha tenuto conto di molti dettagli individuati durante la consulenza presso l'ospedale di Castelfranco Veneto soprattutto degli aspetti rimarcati nel paragrafo 3.3.2 come la dose di radiazione emessa, il peso del componente e la sua semplicità. Inoltre il progetto è stato rivisto anche dal punto di vista della produzione, adattando i vari componenti in modo da essere compatibili con le lavorazioni meccaniche disponibili presso l'officina dei Laboratori Nazionali di Legnaro.

A questo punto la Camera Target finale presenta le seguenti caratteristiche in termini di peso ed ingombri:

- Peso del componente = 5 kg
- Lunghezza del componente = 149mm (Compresa la maniglia)
- Diametro esterno = 124 mm

Il peso del componente è stato ridotto di 3,7 kg rispetto al primo concept presentato 3.3.1 pur introducendo molte parti nuove e caratteristiche in più. Questo risultato è stato raggiunto soprattutto grazie alla trasformazione della paratoia che inizialmente era prevista con apertura all'interno della capsula. Inoltre è stata

ottimizzata la geometria, riducendo i spessori di alcuni componenti come quelli in acciaio con densità più alta e utilizzati dove possibile materiali leggeri come il polietilene.

La lunghezza del componente è rimasta la stessa. In realtà è stata introdotta la maniglia, un componente molto funzionale per l'ergonomia, senza la quale la lunghezza della sola capsula sarebbe pari a 100 mm e cioè 50 mm in meno rispetto al primo concept. La maniglia occupa un terzo della lunghezza effettiva del oggetto ma contribuisce con un enorme vantaggio che è il miglioramento della maneggevolezza della Camera Target. L'operatore può utilizzare la capsula afferrandola semplicemente per la maniglia.

Il diametro esterno è aumentato di 24 mm ma ciò non risulta un peggioramento del componente visto che le sue dimensioni rimangono comunque ben proporzionate.

Le tavole di disegno che comprendono tutte le informazioni necessarie alla realizzazione del componente si possono trovare nell'Appendice A di questa tesi.

3.4.5 Dimensionamento della molla ad elica torsionale

Come più volte ribadito, in condizioni di disimpegno della Camera Target questa rimane chiusa, grazie alla paratoia progettata. La chiusura è garantita dalla molla ad elica torsionale presente nel sistema paratoia automatica. Tale molla (raffigurata in figura 3.37) stata oggetto di un accurato dimensionamento meccanico, per stabilirne le caratteristiche realizzative.

Le molle ad elica di torsione sono costruite in modo analogo a quelle ad elica di trazione o compressione, ma le estremità sono sagomate in modo da poter trasmettere un momento di asse parallelo all'asse della molla (cioè *torcente*) figura 3.54.

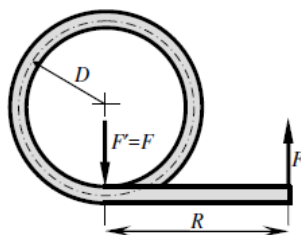


Fig. 3.54: Lo schema della molla ad elica torsionale

Le sezioni della molla risultano soggette ad una sollecitazione di flessione. Nella costruzione di queste molle si generano tensioni residue agenti in verso opposto a quelle di esercizio, di conseguenza esse possono essere progettate per operare a livelli di tensione che uguagliano o anche superano la resistenza allo snervamento del filo [13]. Queste molle sono messe in esercizio avvolte attorno ad una guida cilindrica (nel caso in esame è l'albero in acciaio Ø4), che reagisce con la forza F' mostrata in figura 3.54.

Per garantire un funzionamento sicuro del sistema paratoia automatica la molla è stata dimensionata seguendo le indicazioni trovate in letteratura (*G. Petrucci "Lezioni di costruzione di Macchine"*).

Impiegando una sezione circolare del filo i parametri geometrici della molla sono:

- il diametro della sezione del filo d ,
- il diametro medio dell'elica D ,
- il numero di spire N ,
- il braccio della forza R .

La progettazione incomincia dalla conoscenza della forza F , che viene ricavata impostando il problema di figura 3.55:

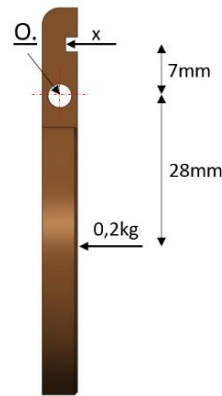


Fig. 3.55: Le forze agenti sulla paratoia

E' stato deciso di realizzare il sistema paratoia in modo che quest'ultima sia chiusa premendo con un peso di 0,2 kg contro le pareti della camera. Risulta dunque che sulla paratoia per reazione agisce un peso di 0,2 kg. Passando alle forze, la forza che agisce sulla paratoia per reazione con le pareti della camera è:

$$F_c = mg = 0,2 * 9,81 \approx 2N \quad (3.8)$$

La forza con la quale la molla deve agire sul braccio di leva della paratoia in figura 3.55 è indicata come x e questa è la forza F citata in precedenza. Impostando il bilancio dei momenti attorno al polo O si ha:

$$F = x = \frac{2 * 28}{7} = 8N \quad (3.9)$$

Il momento flettente che agisce sulla molla è pari a:

$$M_f = FR = 56 Nmm \quad (3.10)$$

La molla di figura 3.38 può essere interpretata come l'unione di due molle ad elica torsionale visto che questa presenta 2 bracci R che si congiungono nel tratto rettilineo che va ad inserirsi nel intaglio alla quota 7 mm rispetto al polo O e che genera la forza necessaria per la chiusura della paratoia. Risulta dunque che sulla sezione della molla di ciascun tratto agisce un momento flettente M_{f2} che è metà di M_f . Nel caso del sistema paratoia automatica quest'ultima compie una rotazione di 90° quando viene aperta e quindi in base alla legge di Hook (3.7) si ricava la costante elastica k:

$$k = \frac{M_{f2}}{\Delta\theta} = 17,8 Nmm/rad \quad (3.11)$$

La molla è realizzata partendo da un filo in acciaio armonico C100. Questo materiale dispone di un carico di snervamento pari a $\sigma_s = 690 MPa$ che potrebbe essere anche superato nel funzionamento di una molla ad elica di torsione senza comportare la rottura di questa. Ciononostante è stato introdotto un indice di sicurezza $n = 1,2$:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_s}{n} = 575 MPa \quad (3.12)$$

Poiché il cilindro a cui è avvolta la molla esplica una reazione $F'=F$, si può ritenere che sulle sezioni agisca un momento costante M_{f2} e l'espressione della tensione massima può essere scritta utilizzando la formula di Navier modificata:

$$\sigma = \frac{32M_{f2}}{\pi d^3} k_w \quad (3.13)$$

Essendo k_w un fattore di concentrazione delle tensioni il cui valore dipende dalla curvatura del filo e dal fatto che la tensione sia determinata sulla fibra interna od esterna. Wahl ha determinato il seguente valore per la fibra interna che risulta la più sollecitata:

$$k_{wi} = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)} \quad (3.14)$$

essendo $C=D/d$ l'indice di molla.

Per ricavare il diametro della molla viene seguita un calcolo iterativo a tentativi. Trascurando le varie iterazioni intermedie, di seguito sono presentati i risultati ottenuti con la soluzione ottimale.

Si assume $d=0,8\text{mm}$, $D=4+0,8/2=4,8\text{mm}$, $C=D/d=6$ ed in seguito è possibile calcolare k_{wi} mediante la relazione 3.14:

$$k_{wi} = 1,14 \quad (3.15)$$

Utilizzando la formula inversa della 3.13, nella quale viene introdotta σ_{adm} al posto della σ si può verificare se l'assunzione fatta sul diametro del filo risulta corretta:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_{fz}k_{wi}}{\pi\sigma_{adm}}} = 0,82\text{mm} \quad (3.16)$$

ed il valore $d=0,82\text{mm}$ viene ritenuto accettabile.

L'ultimo passaggio nel dimensionamento della molla e la decisione del numero di spire N che questa deve avere. Il calcolo viene fatto mediante la seguente relazione:

$$N = \frac{Ed^4}{64kD} = 15,5 \text{ spire} \quad (3.17)$$

dove E è il modulo di Young pari a 206000 N/mm^2 .

A questo punto si hanno tutti i dati necessari per la costruzione della molla ad elica torsionale presente in figura 3.38. La molla è uno dei componenti principali della paratoia automatica della Camera Target e per la sua geometria particolare e le caratteristiche che essa deve possedere si è preferito fare una progettazione e realizzazione "in casa" visto che le soluzioni trovate commercialmente non erano in grado di soddisfare i requisiti necessari.

3.4.6 Verifica strutturale dello spessore della Camera Target

Nella progettazione del corpo esterno della Camera Target, lo spessore delle pareti dei componenti in acciaio è stato stabilito in base alle caratteristiche geometriche le parti devono possedere. Viene presentata in seguito la verifica strutturale della capsula che opera in condizioni di differenza di pressione tra l'interno e l'esterno. La teoria che sta alla base è quella dei "Gusci Spessi" in quanto:

$$\frac{r_m}{t} = \frac{47}{13} = 3,61 < 10 \quad (3.18)$$

Dove:

- r_m è il raggio medio del componente
- t è lo spessore

Nel caso di recipiente cilindrico soggetto ad una pressione esterna P_e di 1 bar l'andamento delle tensioni longitudinale σ_l , tangenziale σ_t e radiale σ_r è dato dalle seguenti espressioni:

$$\sigma_l = \frac{-P_e r_e^2}{r_e^2 - r_i^2} \quad (3.19)$$

$$\sigma_r(r) = \frac{-P_e r_e^2}{r_e^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_i^2}{r^2}\right) \quad (3.20)$$

$$\sigma_t(r) = \frac{-P_e r_e^2}{r_e^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_i^2}{r^2}\right) \quad (3.21)$$

Sostituendo i valori $P_e=0,1\text{MPa}$, $r_e=53,5\text{mm}$ e $r_i=40,5\text{mm}$ si ottiene:

$P_e=0,1\text{MPa}$	r_i	r_e
σ_l	-0,23 MPa	
σ_r	0	-0,1 MPa
σ_t	-0,47 MPa	-0,37 MPa

Tab. 3.7: Valori di tensione nei punti r_i e r_e

Si applica ora il criterio di resistenza di Guest ne punto più sollecitato che è r_i :

$$\sigma_{id,G} = \sigma_1 - \sigma_3 = 0 - (-0,47) = 0,47 \text{ MPa} \quad (3.22)$$

Quindi essendo la tensione di snervamento dell'acciaio AISI 316 L pari a 280 MPa, la verifica risulta più che soddisfatta:

$$v_s \frac{\sigma_s}{\sigma_{id,G}} = \frac{280}{0,47} = 595 \quad (3.23)$$

Nella sezione della Camera Target sono presenti i 4 fori a 45° per le viti M5 più volte nominate, con la funzione di chiusura della capsula. Nel caso di presenza dei fori le tensioni sono amplificate per l'effetto della discontinuità.

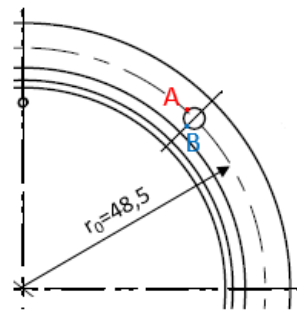


Fig. 3.56: I punti di amplificazione delle tensioni

Per ricavare il campo di tensione in questo caso si sfruttano i risultati ottenute da Kirsch su piastre ipotizzate di estensione infinita sollecitate da tensioni principali σ_1 e σ_2 con un foro in mezzeria. La nuova procedura propone di calcolare le tensioni σ_t e σ_r in corrispondenza del asse del foro $r_0=48,5$ mm utilizzando le equazioni 3.20 e 3.21:

$$\sigma_r(r_0) = -0,1 \text{ MPa}, \sigma_t(r_0) = -0,4 \text{ MPa} \quad (3.24)$$

e di sostituire quest'ultimi nelle seguenti espressioni:

$$\sigma_{r,A} = 3\sigma_r(r_0) - \sigma_t(r_0) = 0,2 \text{ MPa} \quad (3.25)$$

$$\sigma_{t,B} = 3\sigma_t(r_0) - \sigma_r(r_0) = -1,13 \text{ MPa} \quad (3.26)$$

La massima tensione in questo caso si trova nel punto B nel quale si ricalcola la tensione ideale di Guest necessaria alla verifica:

$$\sigma_{id,G} = \sigma_1 - \sigma_3 = 0 - (-1,13) = 1,13 \text{ MPa} \quad (3.27)$$

$$v_s \frac{\sigma_s}{\sigma_{id,G}} = \frac{280}{1,13} = 248 \quad (3.28)$$

Anche in questo caso, tendo conto dell'amplificazione delle tensioni per l'effetto del foro la verifica è più che soddisfatta. Viene ragionevolmente trascurata la verifica a fatica del corpo visto il coefficiente di scurezza talmente elevato e il limitato numero di cicli di utilizzo previsti.

3.5 Il Prototipo della Camera Target

La progettazione meccanica è un processo che a partire da norme tecniche, calcoli, specifiche e disegni, perviene alla definizione dei dettami, linee guida e specifiche necessarie alla produzione di un manufatto o in generale di un prodotto o servizio riassunto in un progetto.

Nel precedente paragrafo si è giunti alla completa definizione del componente e di tutte le sue caratteristiche. Il passo successivo è stata quella di realizzare le tavole costruttive di ciascuna parte con tutte le informazioni necessarie per la produzione. A titolo esemplificativo viene di seguito illustrata una tavola di disegno della Camera Target:

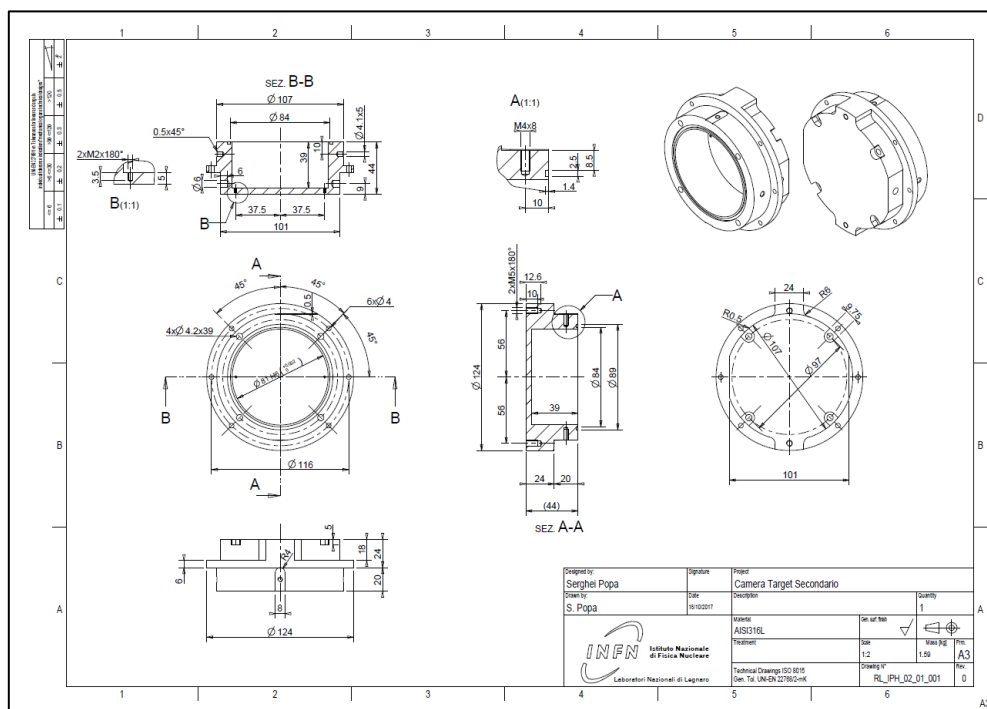


Fig. 3.57: Esempio di una Tavola di disegno

Nell' Appendice A il lettore può trovare le tavole di tutte le parti del progetto.

Tale materiale è stato fornito all' officina dei Laboratori Nazionali di Legnaro che ha realizzato tutti gli oggetti utilizzando le macchine produttive presenti in casa.

Le lavorazioni principalmente impiegate sono state la tornitura, la fresatura, la maschiatura, taglio ad elettroerosione ed altre.

La **tornitura** è un processo di produzione industriale ottenuta per asportazione di truciolo. Tale operazione viene definita da un moto rotatorio del pezzo e un moto per lo più rettilineo dell' utensile. Il tagliente dell' utensile penetra nel materiale del pezzo e ne stacca la parte in eccesso (*sovrametallo*) formando così un truciolo.

Come si può notare la maggior parte dei componenti della Camera Target hanno prevalentemente una geometria cilindrica che sono tipicamente pezzi impegnati al tornio. Partendo dunque da "tondi" sono state realizzate tutte le operazioni che hanno visto bloccare i pezzi su un mandrino messo in rotazione e asportare mediante gli utensili necessari il materiale in eccesso.

Le superfici piane dei componenti sono state realizzate mediante fresatura. La **fresatura** è una lavorazione per asportazione di materiale che consente di ottenere una vasta gamma di superfici (piani, scanalature, spallamenti, forature ecc.) mediante l' azione di un utensile tagliente a geometria definita. Le caratteristiche più importanti di questa lavorazione sono l' elevata precisione e la buona finitura superficiale dei pezzi finiti. Salta subito all' occhio che le parti piane della figura 3.32, sono da realizzare mediante l' operazione di fresatura.

Per il collegamento delle parti sono stati impiegati nel più delle volte gli accoppiamenti filettati che sono stati realizzati mediante l' operazione di maschiatura. La **maschiatura** è un' operazione meccanica che vede impiegare un apposito utensile detto "maschio" nel filettare un foro. In base all' applicazione ed al materiale può essere fatta a mano utilizzando un giramaschio a manubrio oppure una vera macchina utensile come un trapano con la funzione anche di maschiatore, una fresa oppure una apposita macchina maschiatrice.

Alcuni degli oggetti metallici presenti nell'assieme della Camera Target ad esempio i componenti in bronzo e l'anello in rame sono stati realizzati mediante il taglio ad elettroerosione a causa della loro particolare forma geometrica. L'**elettroerosione** è una tecnologia di lavorazione che utilizza le capacità erosive delle scariche elettriche ed è utilizzabile solo su buoni conduttori, essenzialmente i metalli. Il materiale da lavorare viene posizionato nella macchina e successivamente tagliato (eroso) mediante un filo in ottone guidato da un controllo numerico. A titolo illustrativo nella seguente figura vengono mostrate le lavorazioni brevemente esposte precedentemente:

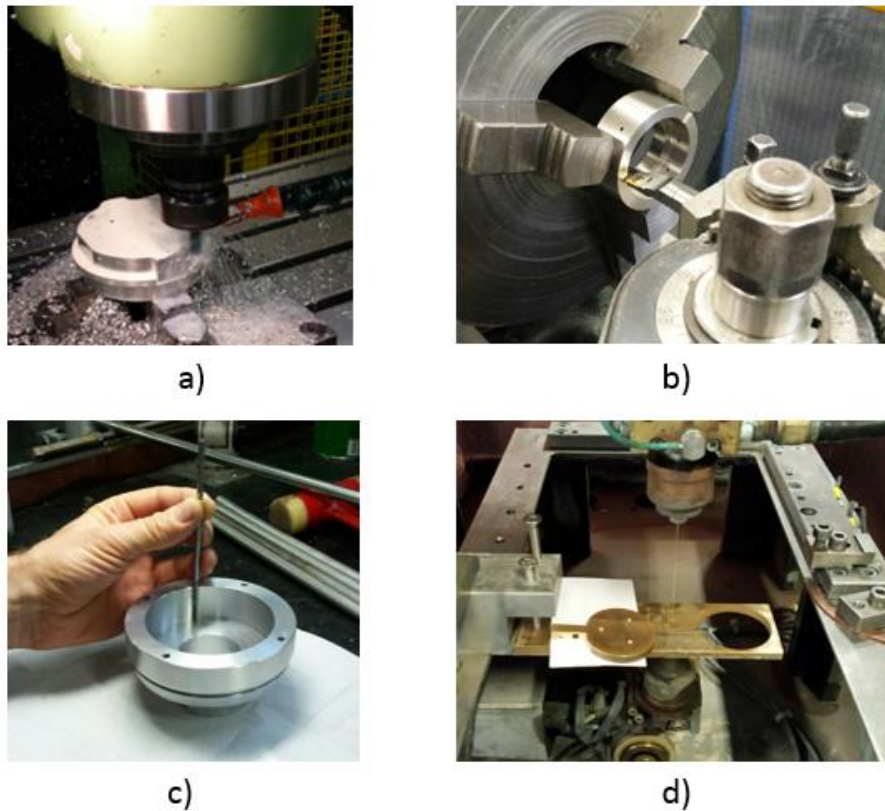


Fig. 3.58: Esempi di lavorazioni, a) Fresatura, b) Tornitura, c) Maschiatura, d) Taglio ad elettroerosione

Da notare in figura 3.58 c) la maschiatura viene fatta utilizzando un utensile prolungato. Alcuni fori in prossimità delle pareti del corpo tolgono la possibilità di effettuare la lavorazione abitualmente in quanto manca lo spazio per le manovre del mandrino porta utensile oppure altri dispositivi per la presa di quest'ultimo. Vengono costruiti in questi casi degli appositi componenti prolungatori del utensile che permettono di realizzare la maschiatura sul componente. Come si nota nella figura su questo componente la realizzazione della filettatura è stata fatta a mano.

In primo luogo si è cercato di realizzare un prototipo vero simile alla Camera Target descritta nei precedenti paragrafi. L'oggetto è stato realizzato mantenendo tutte le caratteristiche e proprietà del componente originale, sostituendo soltanto alcuni dei materiali, in modo da risparmiare in termine di costo e di accelerare i tempi di produzione. Tale prototipo, perfettamente funzionante, potrà essere usato per i test off-line con la deposizione di fasci di atomi stabili, permettendo di testarne i cicli di funzionamento in completa sicurezza.

Il tungsteno è il materiale più costoso fra quelli impiegati nella costruzione della capsula. Per questo prototipo, che non prevede l'utilizzo di sostanze radioattive, si è deciso di sostituire tale materiale con un acciaio in modo da risparmiare sui costi.

Le parti in polietilene sono state realizzate in polioossimetilene (POM) noto anche con il nome commerciale Delrin. E' un polimero cristallino costituito da catene in cui si ripetono un gruppo di metilene e un atomo di ossigeno, che fornisce una materia plastica di alta resistenza e a costo relativamente basso. Tale sostituzione è stata fatta per facilitare le lavorazioni meccaniche in quanto il polietilene è un materiale meno rigido.

I due pezzi esterni in AISI 316L che costituiscono il corpo della Camera Target sono stati realizzati in lega di alluminio 6082. Questo materiale è una lega alluminio-silicio-magnesio-manganese di impiego generale, caratterizzata da buoni valori di resistenza, buona resistenza alla corrosione, ottima saldabilità e lavorabilità

alle macchine utensile. Si è deciso di impiegare tale materiale per la sua proprietà di miglior lavorabilità rispetto all'acciaio inossidabile austenitico AISI 316 L che ha permesso di accelerare i tempi di produzione del prototipo.

In seguito vengo presentate le figure relative ai componenti realizzati:

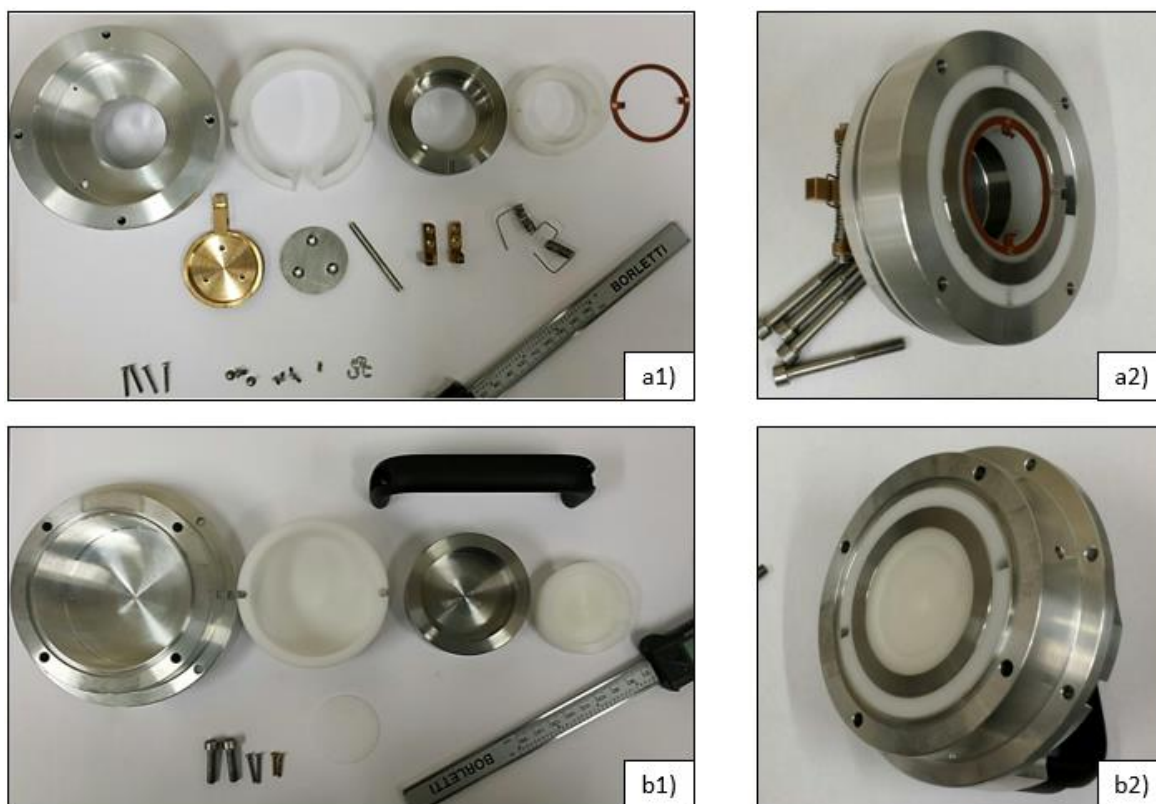


Fig. 3.59: le parti che vanno a formare a) il sotto assieme _02 e b) il sotto assieme_1 della Camera Target

Nella successiva figura 3.60 è illustrata la simulazione semplificata del funzionamento della paratoia automatica. Intervenendo sulla leva della paratoia quest'ultima si apre per l'effetto del momento che si genera mediante tale azione, opposto a quello generato dalla molla, che normalmente terrebbe la paratoia in posizione chiusa.

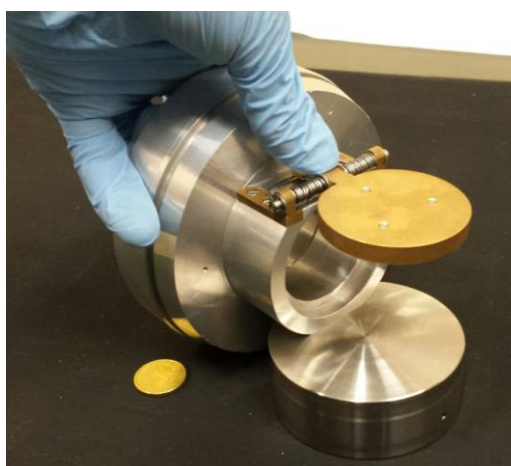


Fig. 3.60: Prova dell'apertura della paratoia automatica

Nel momento della prova si sente un'ottima resistenza esplicita dalla molla, che chiude la paratoia non appena viene rimossa l'azione sulla leva. Per di più, nel momento in cui la camera viene posizionata con la parte frontale verso il pavimento, il sistema paratoia automatica rimane chiuso, impedendo l'apertura accidentale della capsula. Ulteriori valutazioni saranno effettuate quando anche il collare di collegamento sarà realizzato, misurando la forza necessaria all'accoppiamento mediante un dinamometro.

In fine viene illustrato il prototipo della Camera Target assemblata:

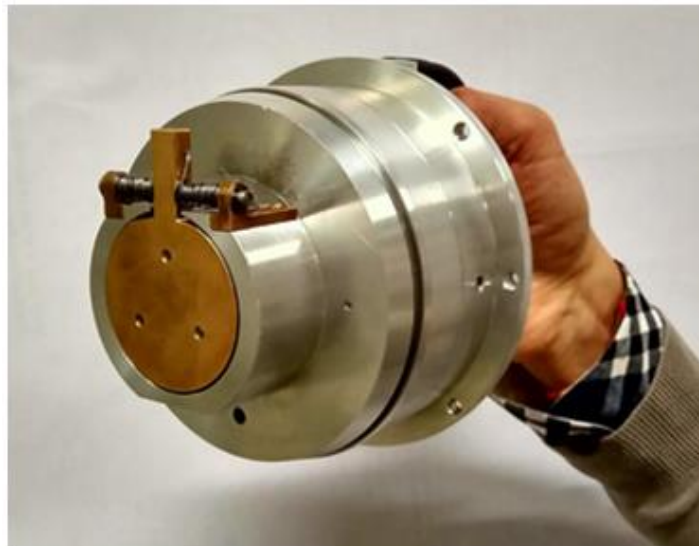


Fig.3.61: Il prototipo della Camera Target

L'oggetto così realizzato ha un'ottima e comoda maneggevolezza. Il peso del prototipo è poco più di 2 kg ottenuto grazie all'uso della lega di Alluminio al posto dell'acciaio. Nelle prime fasi della progettazione l'AISI 316 L è stato preferito alla lega di alluminio in quanto ha un miglior potere schermante soprattutto nei confronti delle radiazioni gamma. Sono state eseguite simulazioni di radioprotezione, riproducendo le situazioni in cui verrà ad operare il progetto ISOLPHARM utilizzando sia l'acciaio come corpo esterno della camera sia la lega di alluminio. Come si può notare dall'Appendice D, la lega di alluminio non presenta grosse differenze di comportamento rispetto l'acciaio per cui si suggerisce l'utilizzo di questo materiale per il corpo della capsula visto i molti vantaggi come la lavorabilità e l'ulteriore diminuzione del peso del componente. Per quanto riguarda le verifiche strutturali, essendo il carico di snervamento della lega AL 6082 T6 pari a 310 MPa superiore al limite di snervamento del AISI 316 L pari a 280 MPa, si può affermare che ovviamente il corpo verifica le condizioni di resistenza anche nel caso si volesse impegnare l'alluminio.

Conclusioni

In questo capitolo è stato presentato il Sistema Target di Raccolta che ha la funzione di garantire la deposizione degli radioisotopi sul disco bersaglio. Sono stati presentati tutti i requisiti che deve possedere tale sistema per essere adatto all'utilizzo nel progetto ISOLPHARM.

Le prime idee sono state perfezionate grazie alla consulenza dei specialisti del settore presso l'ospedale di Castelfranco Veneto in cui sono state ricevute ulteriori informazioni molto utili alla progettazione.

Il Sistema Target di Raccolta viene suddiviso fondamentalmente in due parti, che sono la Camera Target Secondario ed il Sistema di movimentazione di quest'ultima. La Camera Target è una capsula progettata per sostenere il disco bersaglio e garantire la deposizione degli isotopi di interesse medico. Tale componente ha subito moltissime modifiche che hanno portato alla definizione completa dell'oggetto visto in figura 3.9. La capsula è formata da due grandi sotto assiemi con la funzione di aprire o chiudere la camera in base alla necessità (raccolta di radioisotopi oppure estrazione del target dalla capsula).

E' stato realizzato inoltre un prototipo che ha permesso di valutare alcune delle caratteristiche del progetto. Il componente è risultato molto compatto e di comoda maneggevolezza. L'utilizzo della lega di Alluminio per il corpo esterno ha portato ad approfondire le indagini sul possibile utilizzo di questo materiale che è risultato idoneo, diminuendo il peso del componente ulteriormente.

Il terzo capitolo introduce anche il Collare di collegamento, cioè il componente progettato per permettere il collegamento tra il Sistema Target di Raccolta e la linea del fascio di ioni radioattivi. Sono state descritte le fasi e le modalità con le quali la Camera Target realizza la connessione mediante questi due componenti, coinvolgendo l'apertura e la chiusura della paratoia automatica ed il collegamento del contatto elettrico per la rilevazione della corrente di radio isotopi depositati.

Nel successivo Capitolo verrà presentato il Sistema di Movimentazione che rende completa la progettazione di una stazione dedicata per la raccolta di radioisotopi di interesse medico.

CAPITOLO 4

Studio e progettazione preliminare del Sistema di Movimentazione del Target di Raccolta

4.1 Introduzione

Nel capitolo precedente è stata descritta nel dettaglio la soluzione progettuale adottata per la camera contenente il disco bersaglio su cui verranno depositate le specie radioattive di interesse medico. Per completare la progettazione della stazione di deposizione del progetto ISOLPHARM si rende necessario studiare un sistema in grado di assicurare il sostegno meccanico e il corretto accoppiamento e disaccoppiamento della Camera Target. Tale dispositivo, indicato in seguito come “Sistema di Movimentazione” potrà accogliere due Camere Target, accoppiandole una alla volta con la linea RIB. Tale macchinario può essere definito come un dispositivo semi-automatico in quanto presenta due azionamenti motorizzati lasciando spazio all’intervento manuale per quanto riguarda l’aggancio o sgancio della capsula dall’apparato. Si prevede infatti che al termine della deposizione un operatore venga a prelevare la camera irraggiata.

Verranno in seguito presentati i componenti che compongono il dispositivo e motivate le decisioni che hanno portato alla definizione della particolare geometria delle parti, scelta dei componenti a catalogo e dei materiali.

4.2 Dati di progetto ed i requisiti del sistema

Come già sottolineato nei capitoli precedenti, ISOLPHARM è un progetto innovativo che ha come scopo la realizzazione di una facility per la produzione di radiofarmaci secondo il nuovo metodo brevettato INFN. Per l’attuazione di tale progetto, non essendoci in letteratura applicazioni simili, si è reso quindi necessario progettare “ex-novo” la Camera Target che ospita il bersaglio di raccolta. È quindi evidente che anche il sistema dedicato al sostegno meccanico e movimentazione di tale capsula dovrà essere progettato per intero.

Si rende quindi necessario analizzare quali dovranno essere i vincoli e i requisiti di progettazione, senza trascurare la semplicità e l’affidabilità dei dispositivi, fondamentali nel caso in cui si operi in ambiente a rischio radioattivo.

Un primo vincolo è rappresentato proprio dalla Camera Target Secondario: il dispositivo automatico dovrà prevedere due alloggiamenti realizzati in funzione della geometria della capsula e con caratteristiche di sgancio ed aggancio rapido del componente.

Il motivo più importante che porta alla necessità di lavorare con due capsule è la riduzione dei tempi morti fra due deposizioni successive. Se un disco bersaglio viene saturato con la quantità finita di particelle prevista per la produzione di uno specifico radiofarmaco, o con la massima attività che può accogliere al suo interno, è necessario disaccoppiare la Camera Target Secondario e inviarla velocemente ai laboratori di radiochimica. Altre volte si potrebbe scegliere di utilizzare lo stesso target di produzione per estrarre diversi isotopi di interesse medico, che devono quindi essere depositati in dischi diversi, per mantenere la purezza ottenuta con la separazione di massa. Questo implica un processo intermittente di deposizione. Per massimizzare l’efficienza in termini temporali è quindi necessario ridurre le pause fra una deposizione e l’altra, visto che mantenere la linea del fascio in funzione comporta un elevato costo. I principali vincoli tecnologici che generano i maggiori tempi di attesa sono: il tempo necessario per l’operatore a oltrepassare i sistemi di sicurezza che impediscono l’accesso alla sala sperimentale durante la deposizione, ed i tempi necessari per riportare in vuoto la nuova capsula che si accoppia alla linea RIB. Tale situazione viene ottimizzata utilizzando due Camere Target contemporaneamente. A deposizione avvenuta nella camera con il bersaglio irraggiato si può effettuare velocemente il rientro in pressione atmosferica della capsula (con gas inerte, come l’Argon) e il Sistema di Movimentazione provvederà a sostituirla accoppiandone una nuova. Si potrà iniziare da subito la creazione del vuoto nella nuova camera. Nel frattempo, non essendo più presente fascio nelle sale sperimentali, l’operatore potrà disinserire i blocchi di sicurezza, indossare il dosimetro e l’equipaggiamento necessario e recuperare le eventuali attrezzature per poter accedere alla sala sperimentale. L’operatore sostituirà poi manualmente la

camera irraggiata con una nuova, e appena lascerà la sala sperimentale, si potrà iniziare una nuova deposizione qualora il livello di vuoto in capsula sia accettabile. In questo modo le due operazioni che causano uno stop alla deposizione, sono contemporanee anziché consecutive, riducendo quindi il tempo totale dell'interruzione. Ulteriori requisiti per il sistema di movimentazione sono legati alla disposizione planimetrica delle risorse all'interno dell'edificio dedicato al progetto SPES sul territorio dei Laboratori Nazionali di Legnaro in figura 1.5. È stato espressamente richiesto dai responsabili del layout di realizzare un apparato con un ingombro inferiore ad un metro, punto che guiderà la progettazione alla realizzazione di un sistema compatto. Le dimensioni del telaio devono inoltre tenere conto della quota a cui transita la linea di fascio in tale area (2270 mm).



Fig. 4.1: Disposizione planimetrica all'interno dell'edificio SPES e la posizione dedicata al progetto ISOLPHARM

La zona all'interno dell'edificio in cui verrà posizionato il sistema Target di Raccolta è generalmente soggetta a bassi livelli di radiazioni in confronto al bunker dove verrà posizionato il sistema Front End, tanto che lascia la possibilità alle persone di eseguire alcune attività in quest'area nei momenti consentiti (es: aggancio o sgancio della capsula al sistema di movimentazione). Inoltre bassi livelli di radiazione non producono deterioramenti sui componenti impegnati come avviene per alcuni oggetti in materiale polimerico all'interno del bunker.

Il Sistema di Movimentazione dovrà garantire una messa in linea sicura della capsula, a questo proposito è necessario realizzare un macchinario preciso e affidabile. In seguito vengono riassunti i vari requisiti che saranno i principali punti guida della definizione dei componenti:

- Possibilità di accogliere due Camere Target
- Azionamenti automatici necessari all'inserimento e disinserimento delle due Camere Target dalla linea del fascio.
- Sostituzione manuale delle camere
- Ingombri inferiori ad <1m
- Quota della linea di fascio pari a 2270 mm
- Rapido sgancio/aggancio della Camera Target
- Semplicità di utilizzo,

4.3 Progettazione del Sistema di Movimentazione

La progettazione del Sistema di Movimentazione si è basata sui requisiti presentati nel precedente paragrafo. Vari concept sono stati valutati nel corso di questa tesi, di seguito sarà presentata la soluzione ottimale tra quelle studiate, dopo la consultazione con il team di specialisti che si occupa della movimentazione del target di produzione del progetto SPES.

Questo dispositivo ha la funzione di accogliere le Camere Target, per cui la sua progettazione in molti aspetti è definita in funzione delle caratteristiche di quest'ultima.

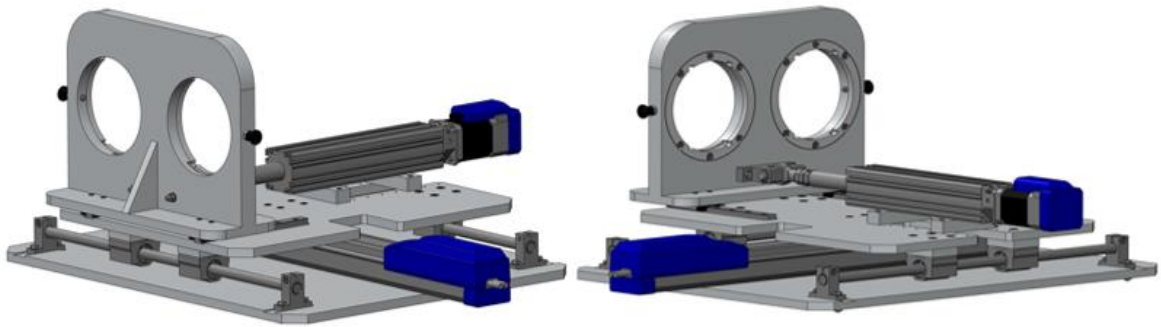


Fig. 4.2: Sistema di Movimentazione

In figura 4.2 viene illustrato il Sistema di Movimentazione realizzato. Dalla figura si notano le due sedi circolari dove andranno montate le capsule per la deposizione ed i due gradi di libertà che presenta il macchinario (definiti dai due attuatori lineari) che sono traslazioni incrociate.

In seguito verranno presentati i componenti che compongono il macchinario suddividendo l'esposizione in funzione dei tre grandi sotto assiemi che una volta assemblati realizzano il sistema:

- Il porta-capsule
- Il primo g.d.l.-piatto superiore
- Il secondo g.d.l.-piatto inferiore

4.3.1 Il Porta-capsule

Il sotto assieme porta-capsule, come è facile intuire dal nome ha la funzione di mantenere due Camere Target accoppiate al Sistema di Movimentazione tramite le due grandi sedi circolari che si possono notare nella successiva figura 4.3:

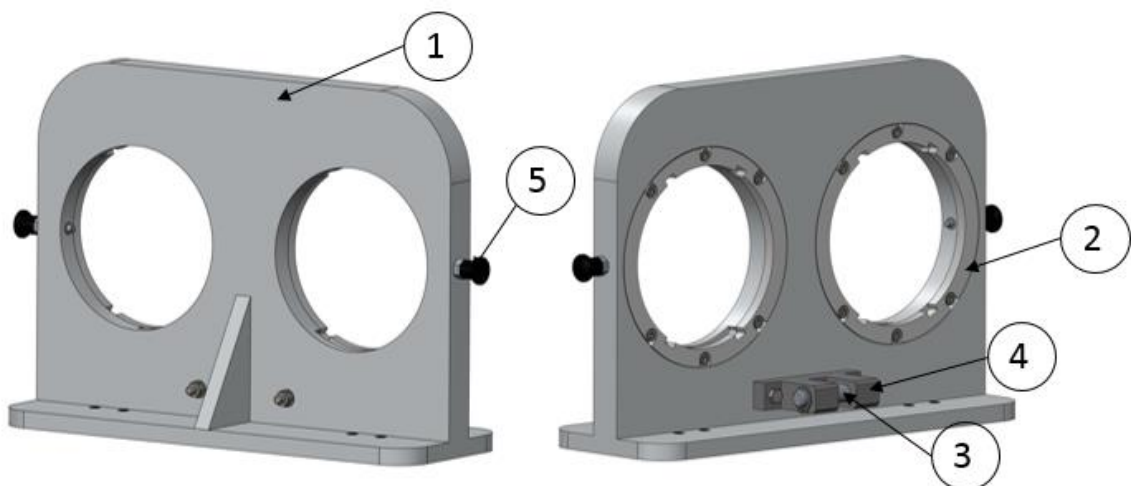


Fig. 4.3: Il sotto assieme porta-capsule

Tale oggetto è composto da 10 parti illustrate nella seguente tabella 4.1 (distinta componenti):

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	RL_IPH_SM_01_001	PART	Al6082T6	2,75	1
2	RL_IPH_SM_01_002	PART	Al6082T6	0,658	2
3	RL_IPH_SM_01_003	PART	SS	0,361	1
4	HGBPB10_W14_H30	PART	C45E		1
5	221,100,123	ASM	Acc brun/tem		2
6	SEEGER_DIN471_10	PART	SS		2
7	DIN933_A2_M5x40	PART	SS		2
8	ROS_DIN125A_M5	PART	SS		2
9	DADO_DIN934_M5	PART	SS		2
10	DIN912_M4x12	PART	SS		12

Tab.4.1: Distinta componenti del Sotto assieme porta-capsule

Il primo componente della tabella è realizzato mediante la saldatura di due piastre. Viene aggiunta una nervatura sulla faccia frontale dell'oggetto in modo da conferire più rigidità alla struttura (figura 4.4 a.). Il materiale utilizzato è la lega di alluminio Al6082T6, stesso materiale impiegato per il prototipo della Camera Target, caratterizzato da buone caratteristiche meccaniche per l'applicazione in esame. Una struttura pesante comporterebbe la scelta di attuatori più costosi, per cui si è scelta una lega leggera per ovviare a questo problema.

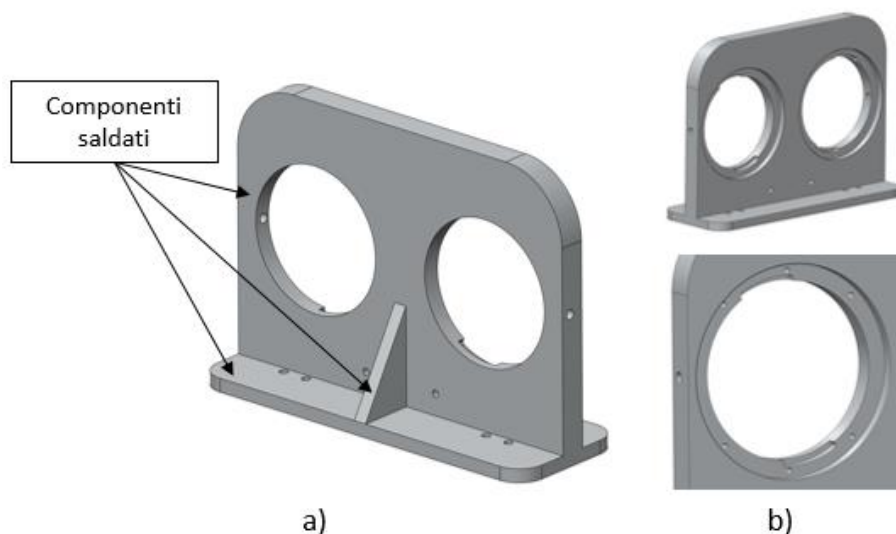


Fig.4.4: Il corpo della porta-capsule

Il corpo della Porta-Capsule ha una larghezza complessiva di 230mm ed un'altezza di 210mm ricavati in funzione delle dimensioni delle due Camere Target

Nella figura 4.4 b) viene presentata la parte posteriore del componente con una particolare attenzione alla geometria del foro. Sono presenti due scanalature: la prima diametro $\varnothing 128\text{mm}$ con la funzione di accogliere il disco chiamato "ferma-capsula" (numero 2 in figura 4.3), mentre la seconda scanalatura presente nei due tratti diametralmente opposti è una guida per la vite dalla testa tornita presente sulla Camera Target, che permette di realizzare un collegamento rapido della capsula.

Sulla Superficie della scanalatura più grande sono presenti sei fori filettati M4 mediante i quali al corpo della porta-capsule viene assemblato il disco ferma-capsula, presentato nella successiva figura 4.5:

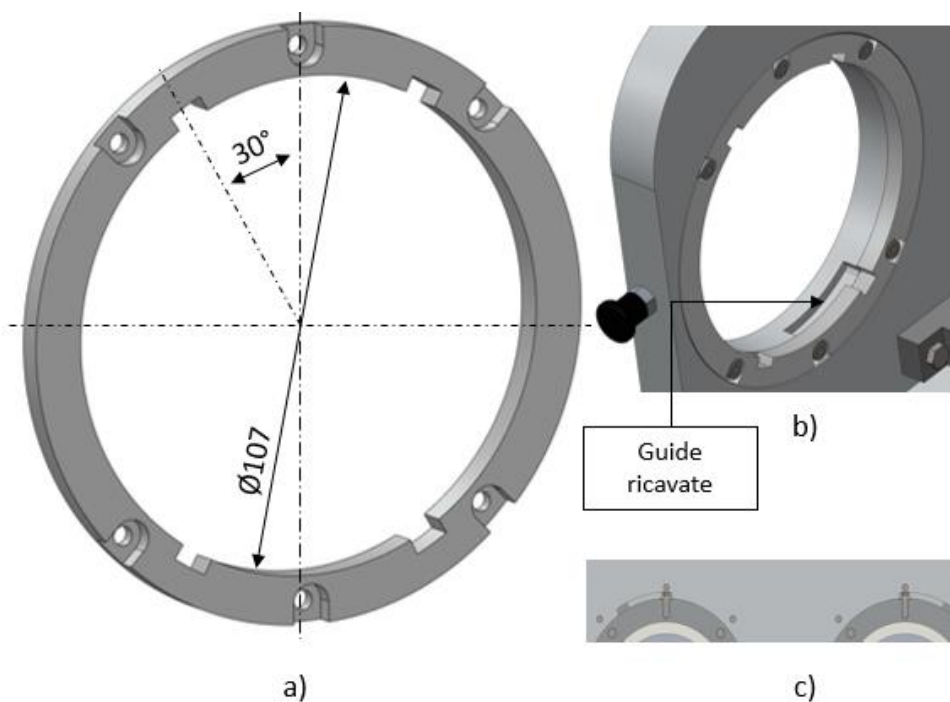


Fig. 4.5: Disco ferma-capsula

Tale anello in lega di alluminio 6082T6 presenta un ampio foro centrale di diametro $\text{Ø}107$ mm, cioè lo stesso diametro del corpo della Camera Target; si assicura quindi che la capsula si accoppi al Sistema di Movimentazione mediante questa apertura. Nella precedente figura si notano i 4 intagli rettangolari a 30° che permettono l'inserimento della capsula se allineata con due di questi. Sulla Porta-Capsule verranno assemblati due di questi dischi, uno per ogni sede della Camera Target viste in figura 4.4. Per favorire la standardizzazione il disco presenta due intagli diametralmente opposti per la sede di sinistra e due per la sede di destra visto che quest'ultime sono realizzate in modo speculare (figura 4.5 c.). Il fatto di realizzare le due porzioni speculari favorisce la comodità e la ripidità delle operazioni di aggancio e sgancio. Nel momento in cui il disco viene accoppiato al corpo della porta-capsule si crea un'unica possibilità di inserimento della Camera Target nella sua sede, allineando quest'ultima a 30° rispetto l'asse verticale. Procedendo con l'inserimento la Camera Target ha un'unica possibilità di ruotare visto che le due viti con la testa tornita presentate nella figura 3.18 del precedente capitolo come fastenings, si trovano nella guida ricavata sul corpo della porta-capsule illustrato in figura 4.5 b). In questo modo viene a formarsi un vincolo che impedisce la traslazione all'indietro della capsula. Per bloccare definitivamente la Camera Target nella sua sede sul Sistema di movimentazione, la capsula viene ruotata fino a portarla nella sua posizione finale illustrata in figura 4.5 c. (è sufficiente ruotare la capsula fino a che quest'ultima non troverà un vincolo alla rotazione) ed in seguito la si arresta mediante l'otturatore identificato dal numero 5 in figura 4.3.

Gli otturatori sono dei componenti meccanici composti da un corpo filettato, una spina, un pomello ed una molla. Normalmente la spina essendo spinta dalla molla fuoriesce dal corpo dell'otturatore e può realizzare dei bloccaggi mediante accoppiamento con le apposite sedi (generalmente fori) dei corpi da fissare. Tirando il pomello il puntale si retrae e si arresta permettendo all'oggetto forato di compiere spostamenti.

I due otturatori presenti sulla porta-capsule sono componenti commerciali scelto a catalogo dal fornitore HALDER®. Nella figura 4.6 è mostrata la struttura di tale organo meccanico e di come questo si interfaccia al sistema in esame.

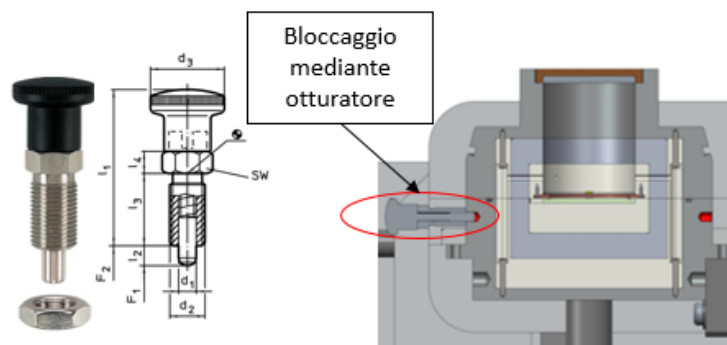


Fig. 4.6: Otturatori HALDER®

Nella successiva tabella 4.2, vengono presentate le caratteristiche del otturatore:

Dimensioni		SW	Spinta ¹⁾		min.	max.	[g]	Cod.	CAD	Prezzo	Carrello	Disponibilità						
d ₁	l ₂ min.		d ₂	d ₃									F ₁	F ₂				
[mm]		[mm]	[N]		[°C]													
Acciaio																		
4	4	M 8 x 1	16	35,0	16	5	10	4,5	12,0	-30	80	12	22110.0123		A richiesta	1		
4	6	M 8 x 1	16	35,0	16	5	10	4,0	12,5	-30	80	12	22110.0124		A richiesta	1		
5	5	M10 x 1	19	40,0	18	6	12	5,0	15,0	-30	80	20	22110.0126		A richiesta	1		
5	8	M10 x 1	19	40,0	18	6	12	5,0	18,0	-30	80	20	22110.0127		A richiesta	1		
6	6	M12 x 1,5	23	48,0	22	6	14	6,5	19,0	-30	80	31	22110.0129		A richiesta	1		
6	9	M12 x 1,5	23	48,0	22	6	14	6,0	25,0	-30	80	33	22110.0130		A richiesta	1		

Tab. 4.2: Scelta dell'otturatore

Maggiori dettagli per quanto riguarda tale componente si possono trovare nell'Appendice F.

I componenti contraddistinti dai numeri 3 e 4 in figura 4.3 formano una cerniera assemblata al corpo della porta capsule. La cerniera è un vincolo meccanico che permette all'oggetto vincolato rotazioni, eliminando ogni possibile traslazione del corpo. Nel caso in esame la cerniera viene impiegata come corpo di aggancio per l'attuatore lineare, che provvede allo spostamento della porta-capsule (il primo g.d.l.). La bolla numero 3 contraddistingue l'albero in acciaio mentre il numero 4 è rappresentato da un componente commerciale denominato "Basi cerniera /A U" del fornitore MISUMI® (figura 4.7).

Il componente è fissato al corpo della Porta Capsule mediante due viti M5x40, mentre l'albero/perno dal diametro Ø10mm viene posizionato utilizzando due anelli elastici.

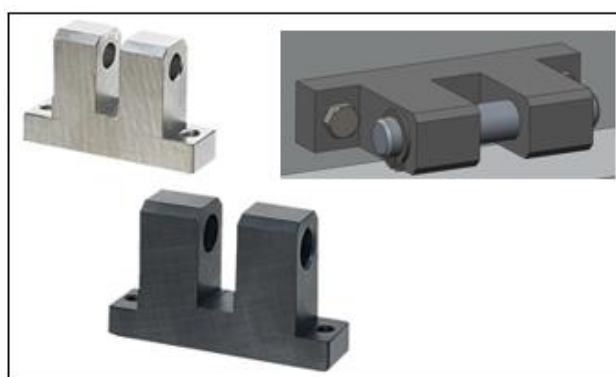


Fig. 4.7: Basi cerniera/A U MISUMI®

La Base cerniera è realizzata in acciaio C45E, che rappresenta un buon compromesso tra le richieste di resistenza e quelle di tenacità. Il componente è sovradimensionato per l'applicazione in esame, ma per ragioni legate al collegamento con l'attuatore del patto superiore è stato selezionato l'articolo con il diametro Ø10mm.

Nella successiva tabella 4.4 vengono illustrate le caratteristiche geometriche del componente in base al diametro selezionato, per maggiori informazioni consultare gli allegati (Appendice F).

Codice componente			H Incrementi di 1mm	W	A	F	B	E	K	S	T	d	N
Tipo	D	Tolleranza D											
(H7) HKPB HKPM HKPS	2	+0,01	15-20	4	25	18	H+3	10	10	5	6	3,5	-
	3	0		6	32	24	H+5	15			9	M3	
	4	+0,012	20-25	8	38	29	H+6	25	12	12	4,5	M4	
	5												50
	6	+0,015	25-30	10	65	52	H+8	38	14	10	16	5,5	M5
	8												
	(H7 con masch.) HKPBT HKPMT	10	0	30-40	12	75			50			19	
		12											
13													
	14	+0,018											

Tab.4.4: Selezione Base cerniera A/U MISUMI®

Vene inseguito presentata la vista esplosa del sotto assieme porta-capsule, che illustra il modo in cui i componenti presentati nel seguente paragrafo vengono ad interfacciarsi.

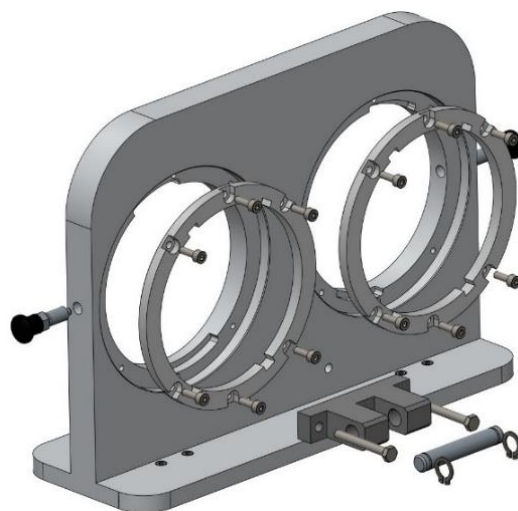


Fig. 4.8: Vista del esploso della porta-capsule

4.3.2 Il primo g.d.l.-piatto superiore

Il sotto assieme piatto superiore ha la funzione di far traslate in avanti ed indietro la porta-capsule e cioè accoppiare mediante tale traslazione la Camera Target con il Collare di collegamento.

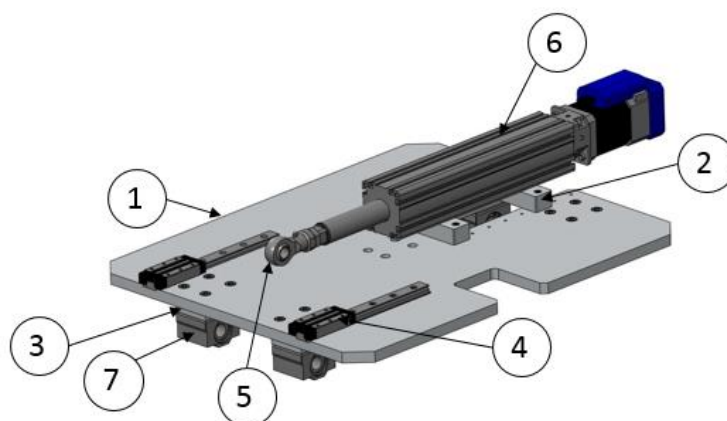


Fig.4.9: Il primo g.d.l.-piatto superiore

L'oggetto in esame è composto da 11 parti che sono elencate nella seguente tabella:

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	RL_IPH_SM_02_001	PART	Al6082T6	3,125	1
2	RL_IPH_SM_02_002	PART	Al6082T6	0,573	2
3	RL_IPH_SM_02_003	PART	Al6082T6	0,05	4
4	SECBLZ13G_150	ASM			2
5	PHSCN10A	ASM	C35E/Lega Cu		1
6	RSD212_C1_D_100	ASM			1
7	LHBBF12G	ASM			4
8	DIN84_M3X10	PART	SS		12
9	DIN912_M3x20	PART	SS		4
10	DIN912_M3x18	PART	SS		4
11	DIN912_M5x30	PART	SS		16

Tab. 4.5: Distinta componenti del sotto assieme Piatto superiore

La base del sotto assieme è la piastra identificata con il numero 1 in figura 4.9. Tale parte ha la funzione di sostenere l'attuatore e le guide sia per la porta-capsule (traslazione in avanti ed in dietro) sia le guide per il collegamento con il piatto inferiore (traslazione laterale del piatto superiore rispetto al piatto inferiore). Le dimensioni della piastra sono 400x320x10mm, mentre il materiale utilizzato è la lega di alluminio Al6082T6 le cui proprietà sono state descritte più volte nei precedenti paragrafi.

Nella successiva figura 4.10 è presentata la particolare geometria della piastra:

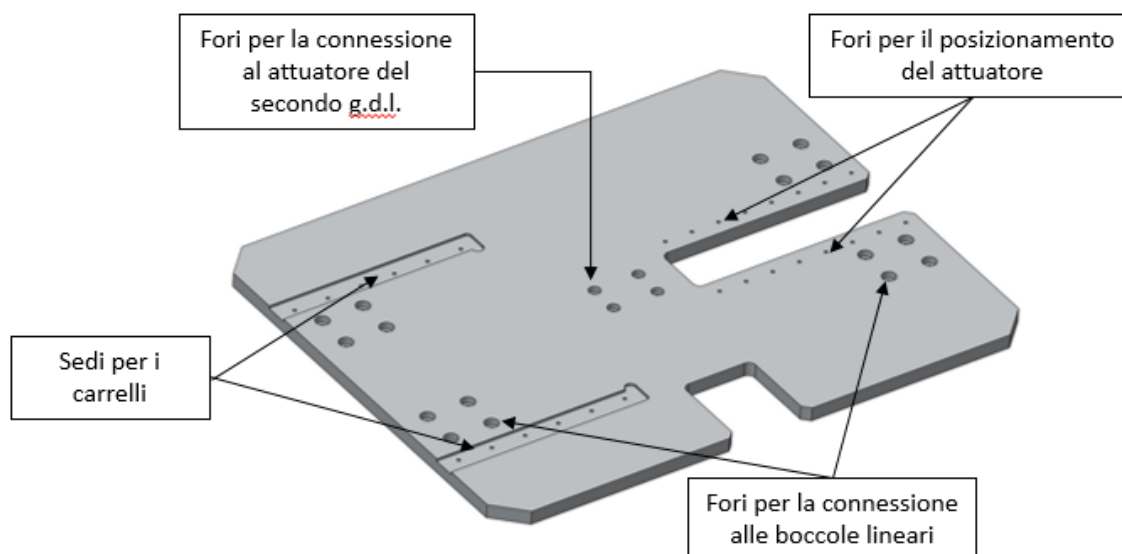


Fig. 4.10 Piastra base del primo g.d.l.

Sulla piastra come si può notare dalla precedente figura sono presenti molteplici forature. I 16 fori lamati Ø5,3mm hanno la funzione di realizzare il fissaggio della piastra con le boccole lineari identificate dalla bolla numero 7. Per facilitare il posizionamento dell'attuatore lineare sulla piastra sono stati ricavati 16 fori M3 distanziati 20mm che permettono un posizionamento modulare del attuatore. Al centro della piastra sono presenti ulteriori 4 fori lamati per il passaggio di 4 viti M4, con la funzione di collegare la piastra al secondo attuatore, che fa parte del sotto assieme del piatto inferiore. Nella successiva figura vengono mostrate in dettaglio le sedi ricavate per il posizionamento delle guide lineari identificate dalla bolla numero 4.

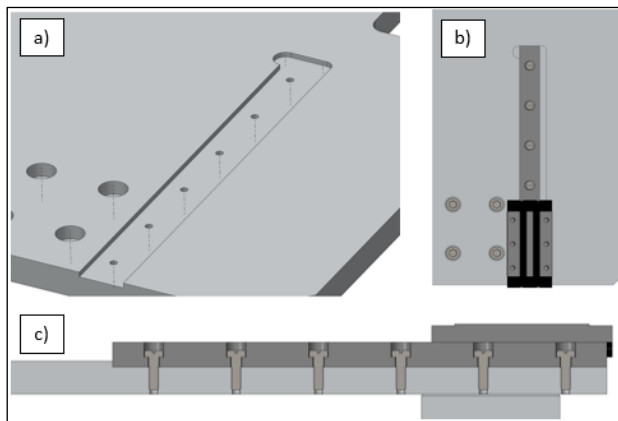


Fig. 4.11: Sede per il carrello

Per garantire il parallelismo tra i due carrelli, fondamentale per un giusto funzionamento di questi componenti, è necessario realizzare delle apposite sedi sulla superficie dove questi verranno montati figura 4.11 a. La sede viene ricavata con l'ausilio di una fresa Ø8mm ed una Ø6mm, che asportando uno spessore di 1,8mm ricava la geometria necessaria per poter inserire il carrello e mandarlo in battuta su un lato. I carrelli sono dei componenti commerciali, per cui il costruttore garantisce alti livelli di precisione in termine di tolleranze geometriche del componente. Definendo le tolleranze necessarie di rettilineità sui lati in cui i carrelli vanno in battuta quest'ultimi possono essere montate, assicurando un ottimo livello di parallelismo.

Su due lati della piastra sono presenti due intagli. Il più grande è realizzato per facilitare le operazioni di montaggio del attuatore lineare (RSD212_C1_D_100), intervenendo dalla parte inferiore della piastra figura 4.12 a., mentre il secondo evita un'interferenza tra la piastra e l'attuatore del piatto inferiore figura 4.12 b.

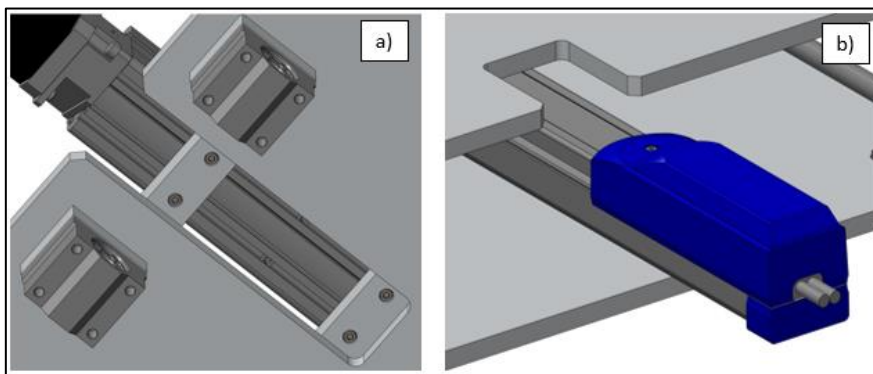


Fig. 4.12: I due incavi presenti sulla piastra

Le guide lineari nominate in precedenza sono dei componenti commerciali scelti a catalogo (MISUMI®). In generale una guida lineare consente di ottenere un moto lineare con basso coefficiente di attrito perché il moto di scorrimento reciproco tra le parti della guida è trasmesso attraverso l'utilizzo di corpi volventi, come sfere o rulli. Attraverso il ricircolo dei corpi volventi tra la rotaia e il carrello, la guida lineare consente di ottenere un moto lineare estremamente preciso. Per effetto dei vincoli tra rotaie e carrelli, le guide lineari sono in grado di supportare carichi in diverse direzioni oltre a quella verticale. Grazie a queste caratteristiche, le guide lineari consentono di migliorare notevolmente la precisione di movimento, soprattutto se utilizzate con viti a ricircolo di sfere di massima precisione come nel caso in esame.

La scelta della guida adatta viene fatta calcolando in modo approssimato i tre momenti M_A , M_B ed M_C della seguente figura:

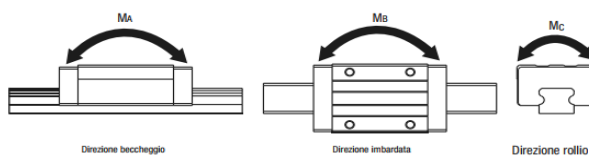


Fig. 4.13: Momenti applicati alla guida lineare

che nel caso del Sistema di Movimentazione valgono rispettivamente: $M_A=3,75\text{Nm}$, M_B si ipotizza ragionevolmente nullo (poiché il peso sostenuto poggia su due rotaie) e $M_C=6,8\text{Nm}$ (tali calcoli sono stati fatti tenendo conto delle capsule accoppiate al Sistema di Movimentazione). In base a tali valori ed in base a alle geometrie degli altri corpi che formano il macchinario la guida lineare scelta ha il codice SECBLZ13G-100 che implica una tipologia standard, con una rotaia lunga 100mm ed un carrello definito dal costruttore “extra lungo” in modo da poter assemblare in maniera stabile la porta-capsule alle guide lineari. Maggiori dettagli si possono reperire nell’Appendice F.

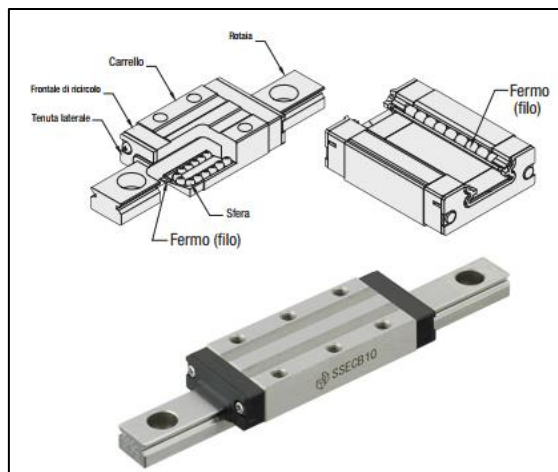


Fig. 4.14: Guida lineare MISUMI®

Gli attuatori lineari sono alcuni dei componenti più importanti dell’intero Sistema Target di Raccolta. Nel sotto assieme in esame è presente un attuttore lineare elettrico a ricircolo di sfere chiamato dal produttore “Robot ad asse singolo”, con la funzione di produrre la traslazione in avanti ed in dietro della porta-capsule. Mediante tale traslazione la Camera Target viene inserita o estratta dal Collare di collegamento e cioè dalla linea del fascio.



Fig. 4.15 Kit Robot ad asse singolo MISUMI®

Il dispositivo è composto da un motore a passo con rilevatore di posizione che genera il moto lineare agendo su un sofisticato meccanismo di vite con ricircolo di sfere.

L’attuatore è un componente commerciali MISUMI®, identificato dal codice RSD212-C1-D-3-100. La scelta è ricaduta su questo componente in quanto presenta una corsa di 100mm che soddisfa lo spostamento necessario per la messa in linea della Camera Target ed inoltre tale attuatore ha la caratteristica di poter spostare un carico orizzontale di 25kg con una forza di spinta di 150N.

La porta-capsule con due Camere Target agganciate pesa meno di 15kg per cui dividendo tale peso per 2 visto che è sorretto da due guide lineari ed in seguito per il coefficiente d'attrito ($\mu=0,005$) fornito dal costruttore per quest'ultimi dispositivi la forza sufficiente di spinta diventa:

$$F_{sp} = \frac{W_{p-c}g}{2} \mu = \frac{15 * 9,81}{2} * 0,005 = 0,4N \quad (4.1)$$

a questo valore solitamente vengono aggiunti 2N÷5N che tengono conto della resistenza di tenuta delle guide lineari.

L'attuatore risulta sovradimensionato per l'applicazione in esame, ciononostante si è preferito mantenere tale margine di sicurezza visto che esso dovrà contrastare anche la forza di strisciamento del tratto conico sul collare di collegamento e la forza necessaria all'apertura della paratoia nel momento del inserimento della Camera Target all'interno della linea del fascio. RSD212-C1-D-3-100 è una delle taglie più piccole che offre il costruttore, per cui la scelta anche se sovradimensionata è stata comunque limitata. Un ulteriore motivo che ha guidato la selezione è stata la necessità di una corsa pari a 100mm e le caratteristiche geometriche che tale modello presenta in termini di ingombri.

Tipo	Passo (mm)	Ripetibilità di posizionamento (mm)	Max capacità di carico (kg)		Max forza di spinta (N)	Durata in esercizio nominale (h)	Errore posiz. (mm)	Rigidità di rotazione stelo (gradi)	Corsa (mm)	Max velocità (mm/sec)	Alimentazione di ingresso	N. max punti posizionam.
			Orizzontale	Verticale								
RSD2	02	±0.02	45	25	600	5,000km o sup.	0.1 o inferiore	±1.0	50~300 (Passo 50)	~80	DC24V ±10%	255 punti
	06		40	12	300					~250		
	12		25	5	150					~500		

Tab.4.6: Scelta del Robot ad asse singolo MISUMI®

Come mostrato in figura 4.15 nel kit c'è la possibilità di ordinare un dispositivo di controllo di facile utilizzo per gli utenti. Tale dispositivo è accompagnato ad un software di facile interpretazione oppure può essere collegato ad un PLC (Computer a Logica Programmabile).

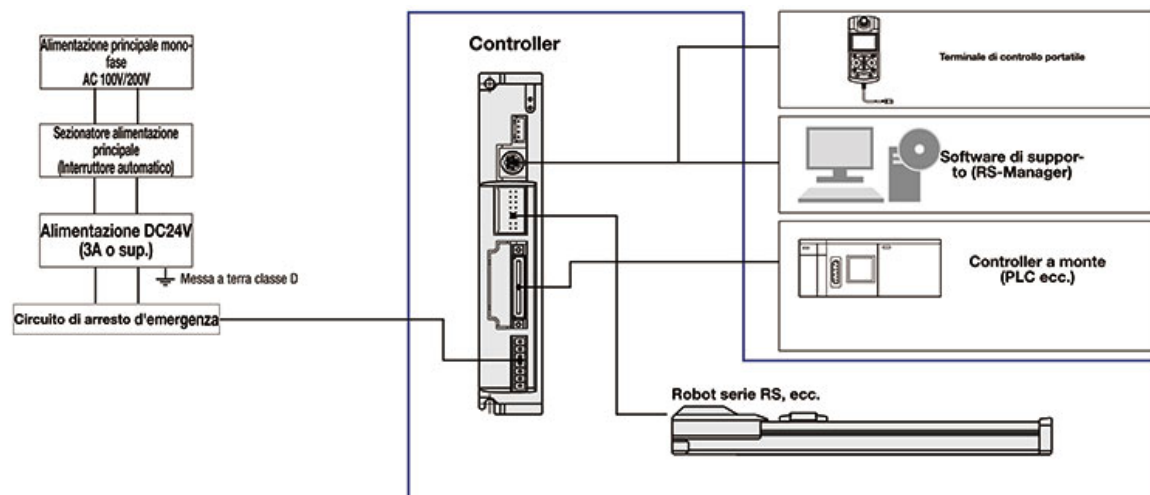


Fig.4.16: Esempio di configurazione del sistema controller-Robot serie RS MISUMI®

Il sistema mostrato nella precedente figura lascia la possibilità di realizzare sequenze semplici e in loop, garantendo un elevato livello di precisione e molteplici possibilità di azionamento controllando velocità, accelerazione e posizione dell'attuatore. Il controllo di questi dati avviene mediante un "Resolver" di cui è munito l'attuatore. Il "Resolver" è un tipo di trasduttore di spostamento induttivo, dispositivo elettromeccanico per la misura di spostamenti angolari che consente di rilevare la variazione di flusso di induzione magnetico, concatenato con un solenoide, in funzione della posizione del solenoide stesso. L'analogo digitale del resolver prende il nome di encoder.

Nella successiva figura 4.17 si può notare la struttura interna del attuatore precedentemente presentato, per maggiori informazioni a riguardo si consultino gli allegati in fondo all'elaborato (Appendice F).

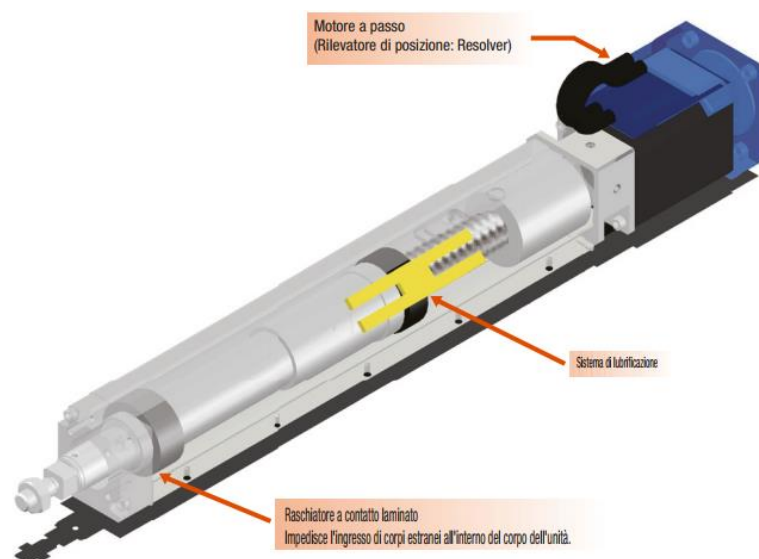


Fig. 4.17: Struttura del Robot ad asse singolo serie RS MISUMI®

Allo stelo dell'attuatore viene avvitata una testa a snodo che permette di compensare eventuali piccole imprecisioni del moto del sistema, risparmiando in questo modo sollecitazioni sul meccanismo dell'attuatore oppure delle guide lineari. Il componente presenta una sfera mobile ad una delle estremità, mediante la quale collega lo stelo dell'attuatore alla cerniera della porta-capsule. La testa a snodo scelta è un componente commercialmente disponibile MISUMI®, selezionata in base all'attuatore definito precedentemente. I due componenti vengono collegati avvitando la testa a snodo sullo stelo del attuatore che ha come parte finale una filettatura M10. Il codice del componente è PHSCN10A e nella successiva figura viene fatto un esempio di tale componente.



Fig. 4.18: Testa a snodo MISUMI®

Per il fissaggio dell'attuatore alla piastra base, vengono impiegati due componenti a forma di parallelepipedo che permettono di posizionare l'attuatore ad una quota di 15mm in più rispetto il piano della piastra superiore. In questo modo si può collegare lo stelo dell'attuatore ad un punto sull'asse del baricentro della porta-capsule e cioè nella posizione della cerniera.

Le principali caratteristiche del componente sono le dimensioni di 45x20x15mm ed i 4 fori M3 mediante i quali si fissa l'attuatore al piatto superiore.

Nel sotto assieme in esame sono presenti 4 piastre indicate con il numero 3 nella figura 4.9. Tali piastre hanno una funzione simile a quella del componente descritto precedentemente e cioè di assicurare che ci sia una certa distanza di interesse tra le boccole e gli alberi sui quali quest'ultime scorrono, onde evitare l'interferenza fra il piatto superiore ed i supporti degli alberi posizionati agli angoli del piatto inferiore. Le dimensioni dell'oggetto sono 42x36x12mm ed agli angoli sono previsti 4 fori passanti Ø5,3mm per il collegamento del piatto superiore e le boccole di scorrimento.

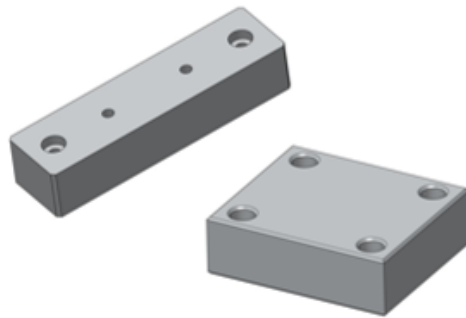


Fig. 4.19: Piastra e parallelepipedo per il posizionamento corretto del attuatore e delle boccole

Il secondo grado di libertà del Sistema di movimentazione è la traslazione laterale del piatto superiore rispetto al piatto inferiore. Tale moto avviene grazie al attuatore facente parte del secondo sotto assieme ed alle 4 boccole posizionate sulla parte inferiore della piastra base del sotto assieme in esame.

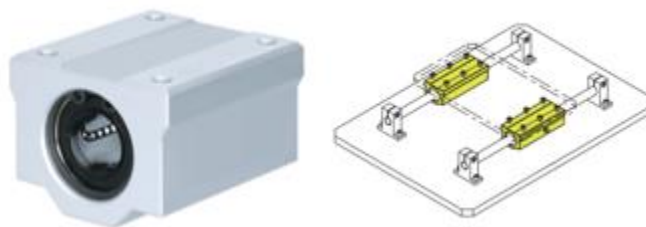


Fig. 4.20: Boccola lineare MISUMI®

Utilizzate in combinazione con alberi lineari di precisione, le boccole a ricircolo di sfere rappresentano un'ottima soluzione per applicazioni in cui c'è la necessità di realizzare spostamenti di piastre o tavoli con un peso inferiore a 30kg, mentendo elevata precisione e bassi coefficienti d'attrito. Anche in questo caso il componente selezionato è commercializzato da MISUMI®, con il codice prodotto LHBBF12G. Tale articolo è stato selezionato in funzione del diametro degli alberi lineari Ø12mm che sono le guide di scorrimento delle boccole in esame.

Nella tabella sottostante sono rappresentate le caratteristiche geometriche della boccola:

dr	Tolleranza		L		L1		h	H	H1	H2	W	W1	W2	M	d	ℓ	A	(B)	C
	Singole	Medie	Singole	Medie	Singole	Medie													
(5)	0	-	18	-	12	-	7	14	11	-	22	16	3	M3	-	-	-	-	0.5 o inf.
6	-0.008	-	25	35	15	24	9	18	15	6	30	20	5	M4	3.4	8	12	0.4	1 o inf.
8	-	-	30	43	18	28	11	22	18	-	34	24	-	-	-	-	15.5	-	-
10	0	0	35	53	21	34	13	26	21	-	40	28	6	-	-	-	17.5	-	-
12	-0.009	-0.010	36	54	26	38	15	28	24	8	42	30.5	5.75	M5	4.3	12	19	0.85	-
13	-	-	39	54	-	-	-	30	24.5	-	44	33	5.5	-	-	-	19.8	-	-
16	-	-	44	63	34	48	19	38.5	32.5	9	50	36	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 4.7: Scelta delle Boccole

È facile notare che molti componenti scelti per il Sistema di Movimentazione sono oggetti commerciali, in particolare prodotti MISUMI®. Si è preferito per quanto possibile scegliere componenti di un medesimo fornitore in modo da aggregare diversi prodotti in pochi lotti d'ordinazione.

Viene illustrata in seguito una vista dell'esplosivo del sotto assieme "il primo g.d.l.":

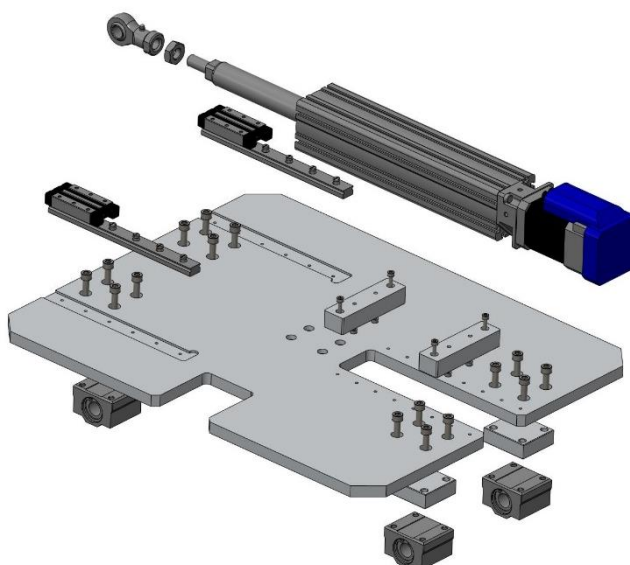


Fig. 4.21: Vista esplosa del sotto assieme Il primo g.d.l.- Piatto superiore

4.3.3 Il secondo g.d.l.-Piatto inferiore

Il sotto assieme oggetto di questo paragrafo ha la funzione di realizzare il secondo grado di libertà del Sistema di Movimentazione. Più precisamente mediante un secondo attuatore posizionato sul piatto inferiore tutto il sistema soprastante, compreso la porta-capsule, viene fatto traslare in direzione trasversale alla linea di fascio. In questo modo avviene la fase di interscambio fra le due capsule ed in seguito la messa in linea.

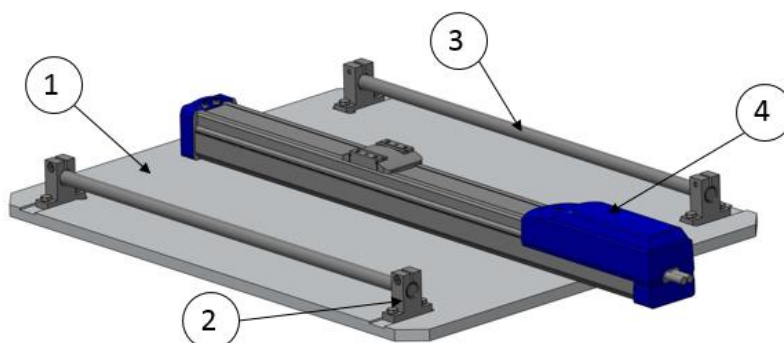


Fig. 4.22: Il sotto assieme "Piatto inferiore"

Tale sotto assieme è composto da 8 diversi codici, compresi gli organi di collegamento come viti, dadi e rosette.

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	RL_IPH_SM_03_001	PART	Al6082T6	5,352	1
2	SHA12	ASM	EN AC-51300	0,03	4
3	SFJ12_428	PART	100Cr6	1,34	2
4	RS102B_C1_D_3_300	ASM			1
5	DIN933_A2_M5_15	PART	SS		8
6	DIN933_A2_M5_20	PART	SS		8
7	ROS_DIN125A_M5	PART	SS		8
8	DIN_936_M5	PART	SS		8

Tab. 4.8: Distinta Componenti sotto assieme "Piatto inferiore"

La bolla numero 1 contraddistingue la piastra in lega di alluminio Al6082T6 dalle dimensioni 500x400x10mm. La piastra è il basamento per il montaggio delle parti che realizzano il sotto assieme. La geometria di quest'oggetto è più semplice rispetto la piastra di figura 4.10. In questo caso la quantità di fori è minore e non sono presenti i due intagli laterali. Come si può notare nella figura 4.23 che rappresenta la piastra inferiore, sono presenti 8 fori Ø5,3mm dedicati al montaggio dell'attuatore e le geometrie fresate per il montaggio dei supporti degli alberi lineari. Nel caso in esame le frese da utilizzare sono Ø9mm e Ø6mm.

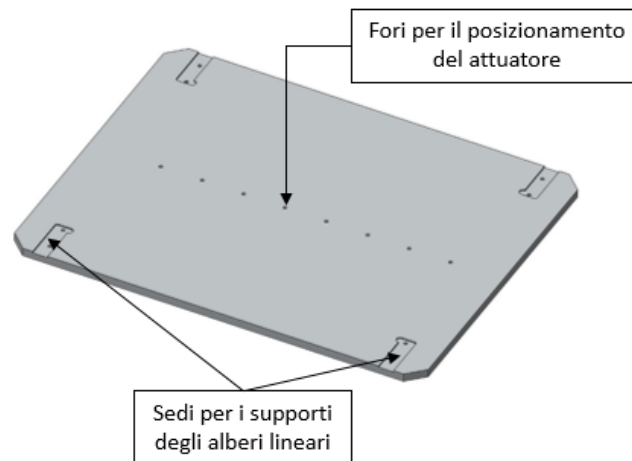


Fig. 4.23: Piastra base del sotto assieme "Piatto inferiore"

I supporti degli alberi sono componenti selezionati da cataloghi MISUMI®. Tali componenti vengono montati nelle sopracitate sedi ricavate sulla piastra base e hanno la funzione di sostenere due alberi lineari in modo da realizzare due guide parallele per le boccole del piatto superiore. Il bloccaggio dell'albero avviene intervenendo sulla vite M4 che produce un restringimento del foro Ø12mm nella parte superiore del supporto. Sono realizzate in una lega di alluminio (AlMg5) mediante presso-fusione ed hanno un costo contenuto. Il codice che identifica il componente è: SHA 12.



Fig. 4.24: Supporto per albero lineare MISUMI®

Nella figura soprastante oltre al supporto sono presenti gli alberi che vanno a formare la guida per le boccole. Tali componenti sono lunghi 428mm ed hanno un diametro Ø12mm che verrà verificato dal punto di vista strutturale nel successivo paragrafo. Questi oggetti sono realizzati in acciaio per cuscinetti in modo da conferire un perfetto scorrimento delle boccole del piatto superiore combinato ad una buona resistenza all'usura.

Il componente che realizza il moto del secondo grado di libertà del sistema è l'attuatore facente parte del sotto assieme in esame. Anche in questo caso il componente è un prodotto commercializzato MISUMI®, della serie RS-Single Axis Robot. Tale dispositivo produce un moto lineare grazie al motore a passo che aziona una vite a ricircolo di sfere. A differenza dell'attuatore presentato nel precedente paragrafo l'attuazione avviene per via di un cursore e non uno stelo sporgente. Questa configurazione permette di agganciare corpi superiormente e di movimentarli a modo di carrello, sopportando il peso degli oggetti trasportati. Nel caso in esame il peso del

piatto superiore e della porta capsule-viene scaricato sulle guide realizzate dagli alberi lineari, supporti e le boccole, mentre il cursore rimane scarico con l'unica funzione di movimentare gli oggetti ad esso collegati.

Il sistema pensato in questo modo permette di risparmiare sull'attuatore scegliendo quest'ultimo tra i modelli più piccoli che offre il costruttore.

Come nel caso precedenti tali dispositivi possono essere acquisiti come kit muniti di controllo e software oppure collegati ad un sistema PLC.



Fig. 4.25: Kit Robot ad asse singolo MISUMI®

Il robot ad asse singolo selezionato per realizzare il moto del secondo grado di libertà è identificato dal codice: RS102B-C1_D_300 MISUMI®. Nel caso in esame per realizzare uno spostamento trasversale in modo da allineare la seconda capsula con l'asse del Collare di collegamento e cioè della linea del fascio, lo spostamento da effettuare è maggiore rispetto al caso di inserimento/estrazione della Camera Target dalla linea RIB. Questo implica la scelta di un attuatore che garantisce una corsa superiore. Si è quindi optato per un modello con corsa di 300mm. Tale modello è capace di trasportare una massa di 4kg se il robot è montato verticalmente oppure 6kg se è montato orizzontalmente e cioè come nel caso in esame. Come detto prima sul dispositivo non agisce il peso dei componenti soprastanti, per cui la forza di spinta di 150N che tale attuatore riesce a generare è sufficiente alla movimentazione del sistema trasversalmente.

Il peso del piatto superiore e della porta capsule sorreggente due Camere Target e di 23kg. Tale peso agisce sulle quattro boccole collegate agli alberi lineari che formano degli accoppiamenti mobili con un coefficiente d'attrito stimato $\mu=0,005\div 0,01$. La forza di spinta necessaria per realizzare lo spostamento del sistema risulta pari a:

$$F_{sp} = \frac{W_{pc.ps}g}{4} 4\mu = 23 * 9,81 * 0,01 = 2,25N \quad (4.2)$$

scegliendo l'estremo superiore del range del coefficiente d'attrito disponibile, in modo da prevedere la situazione più gravosa.

Tipo	Passo (mm)	Ripetibilità di posizionamento (mm)	Max capacità di carico (kg)		Max forza di spinta (N)	Corsa (mm)	Max velocità (mm/sec)	Durata in esercizio nominale	Alimentazione di ingresso	N. max punti posizionam.
			Orizzontale	Verticale						
RS1	02	±0.02	6	4	150	50-400 (Passo 50)	100	10,000km o sup.	DC24V ±10%	255 punti
	06		4	2	90		300			
	12		2	1	45		600			

Tab. 4.9: Scelta del Robot ad asse lineare MISUMI®

Per quanto riguarda il controllo di questo dispositivo si faccia riferimento a quanto detto nel precedente paragrafo per l'attuatore lineare che realizza il primo grado di libertà.

Nella successiva figura viene mostrata la struttura semplificata di tale componente:

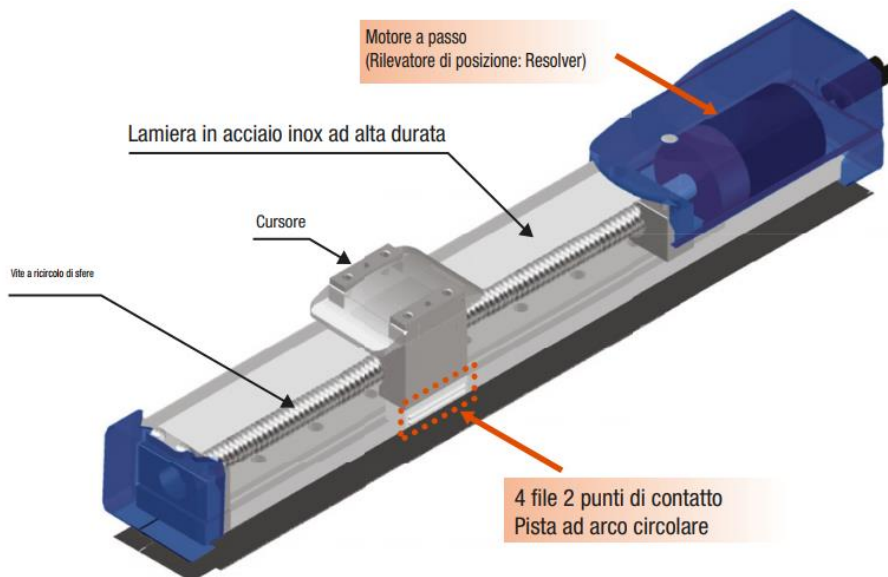


Fig. 4.26: La struttura del Robot ad asse singolo MISUMI®

Tali attuatori garantiscono un'elevata precisione nel funzionamento con una ripetibilità di $\pm 0,02\text{mm}$, caratteristica importante per permettere un corretto allineamento della Camera Target con l'asse della linea RIB. L'utilizzo di un simile dispositivo riduce moltissimo il numero di componenti richiesto per realizzare una analoga applicazione, rendendo il Sistema di Movimento un dispositivo semplice e di lunga durata (la durata in esercizio dell'attuatore può raggiungere 10000km).

L'accoppiamento dell'attuatore alla piastra inferiore avviene mediante 8 viti M5. Per dare un'idea più approfondita di come vengono assemblati le varie parti tra di loro nella successiva figura 4.27 è presentata la vista esplosa del sotto assieme:

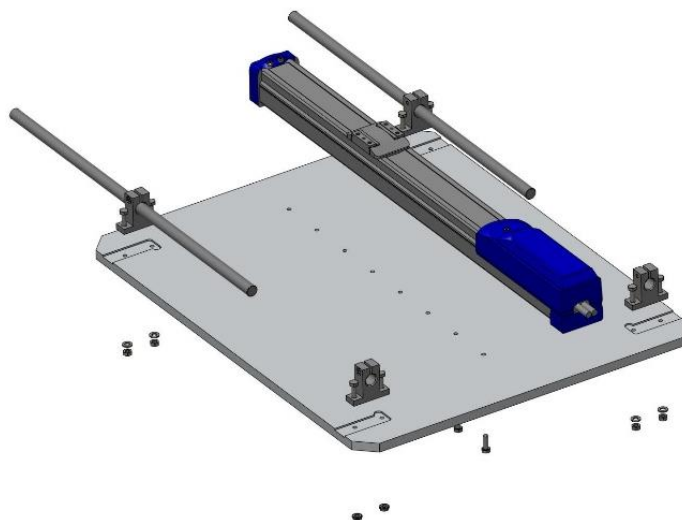


Fig. 4.27: Vista esplosa del sotto assieme "Il secondo g.d.l."

4.3.4 Verifica degli alberi lineari

I due alberi Ø12mm x 428mm presentati in figura 4.24 hanno la funzione di creare due guide lineari, parallele per le boccole collegate al piatto superiore. I due organi impiegati in questo modo sono incaricati a sostenere il peso e i carichi dinamici della parte soprastante. Viene in seguito presentata la verifica strutturale di tali componenti, che appunto conferma i diametri degli alberi scelto.

Vista la conformazione del Sistema di Movimentazione e cioè il fatto che il peso del piatto superiore non è perfettamente centrato in mezzeria si assume una situazione in cui l'80% del carico viene supportato da una sola guida:

$$F_{80\%} = 0,8 * W_{pc,ps} * g = 180,5N \quad (4.3)$$

dove $W_{pc,ps}$ è il peso della struttura soprastante alle guide (sotto assiemi "Porta Capsule" e "Piatto Superiore") pari a 23kg e g è l'accelerazione di gravità.

La forza di 180,5N si scarica sugli alberi mediante le due boccole che portano alla situazione indicata nella successiva figura:

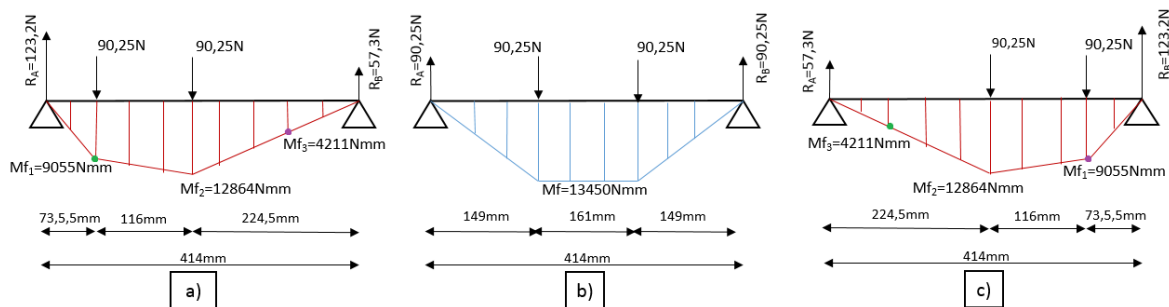


Fig. 4.28: Andamento del momento flettente nelle situazioni di esercizio

I tre casi mostrati nella precedente figura sono situazioni che la guida subisce in esercizio. Il caso "b" è il più gravoso per la statica mentre l'alternanza fra i stati "a" e "c" genera una sollecitazione a fatica del componente. Nella situazione intermedia dunque il caso "b" la tensione che viene a generarsi è:

$$\sigma_b = \frac{M_f}{W_f} = \frac{13450}{170} = 79MPa \quad (4.4)$$

dove W_f è il modulo di resistenza a flessione:

$$W_f = \frac{\pi \phi^3}{32} \quad (4.5)$$

Il materiale degli alberi lineari è 100Cr6 (acciaio per cuscinetti), temprato a induzione superficialmente. Tale materiale presenta una $\sigma_R=2240MPa$ e $\sigma_S=2034MPa$. Nel caso statico risulta dunque un coefficiente di sicurezza pari a:

$$v_{st} = \frac{\sigma_s}{\sigma_b} = \frac{2034}{79} = 25,7 \quad (4.6)$$

Nella figura 4.28 con i punti verdi e viola vengono indicate le massime variazioni del momento flettente fra le due situazioni (9055÷4211Nmm). Tale variazione genera un'alternanza tra le tensioni pari a:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{f1}}{W_f} = \frac{9055}{170} = 53,26 MPa \quad (4.7)$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{f3}}{W_f} = \frac{4211}{170} = 24,77 MPa \quad (4.8)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 39MPa \quad (4.9)$$

con un rapporto di ciclo $R \approx 0,5$.

L'albero viene verificato a vita infinita per cui si ricava il limite:

$$\sigma_{a\infty,-1} = \frac{\sigma_R}{2} = \frac{2240}{2} = 1120MPa \quad (4.10)$$

Tenendo conto dei fatto che influenzano il comportamento a fatica si ricavano i coefficienti di abbattimento $k_f=1$, $k_v=1$, $k_d=1,05$, $k_l=1,1$ [14]:

$$\sigma_{a\infty,-1}^* = \frac{\sigma_{a\infty,-1}}{k_f k_v k_d k_l} = \frac{1120}{1,05 * 1,1} = 970MPa \quad (4.11)$$

Il limite di fatica calcolato è per un ciclo con $R=-1$ per cui utilizzando il diagramma di Goodman-Smith si ricava:

$$\frac{\sigma_{a\infty,\sigma_m}^*}{\sigma_s - \sigma_m} = \frac{\sigma_{a\infty,-1}^*}{\sigma_s} \quad (4.12)$$

$$\sigma_{a\infty,\sigma_m}^* = \frac{970 * (2034 - 39)}{2034} = 951MPa \quad (4.13)$$

La verifica viene eseguita comparando il range di variazione della tensione con il limite di fatica ricavato tramite la 4.14:

$$v_d = \frac{\sigma_{a\infty,\sigma_m}^*}{\sigma_{max} - \sigma_{min}} = \frac{951}{28,5} = 33,4 \quad (4.14)$$

I calcoli sono stati eseguiti utilizzando le massime caratteristiche del materiale. Il costruttore dichiara che il trattamento termico superficiale penetra per 1mm di profondità sulla superficie dell'albero lineare, per cui sono stati eseguiti i calcoli considerando le caratteristiche meccaniche del 100Cr6 senza trattamenti termici: $\sigma_R=520MPa$ e $\sigma_S=415MPa$. Ripercorrendo lo stesso procedimento si ricavano $v_s=5,23$ e $v_d=7,7$. Inoltre è stata fatta la verifica ipotizzando un rapporto di ciclo $R=0$ con una tensione che varia tra 0 MPa e σ_b (il caso più critico ma con pochi cicli durante la vita del componente) che porta ad un coefficiente di sicurezza pari a $v_d=2,82$.

4.4 L'architettura ed il funzionamento del Sistema di Movimentazione

Nei paragrafi precedenti sono stati presentati nei dettagli tutti i componenti sviluppati per la realizzazione del Sistema di Movimentazione, argomentando tutte le scelte progettuali. Si vuole ora dare un'idea complessiva di come vengono ad interfacciarsi i vari componenti tra di loro e del funzionamento del Sistema di Movimentazione. Si ripercorrono quindi le fasi del processo della raccolta degli radioisotopi, oggetto del sistema Target di Raccolta in generale.

Il Progetto ISOLPHARM prevede la realizzazione di 4 Camere Target che verranno impiegate in modo alternato nel processo di raccolta degli radioisotopi. In seguito al contenimento di una sorgente radioattiva al proprio interno, i materiali della capsula potrebbero venire contaminati, per questo motivo a seguito dell'estrazione del bersaglio, la Camera Target che lo conteneva potrebbe dovere rimanere ferma per un periodo concedendo il tempo necessario al decadimento della radioattività residua. Si immagina quindi l'inizio delle operazioni di raccolta: saranno disponibili 4 capsule A, B, C, D "vergini". Il processo di deposizione e sostituzione delle diverse Camere Target si articola in modo sequenziale. Nelle prime due capsule "A" e "B" vengono inseriti i rispettivi bersagli di raccolta. In questa fase si lavora nel normale ambiente di laboratorio e non occorre impegnare la cella calda in quanto la capsula ed il target non sono ancora sorgenti radioattive. Le Camere di raccolta con al proprio interno il bersaglio vengono portate nelle sale sperimentali del progetto SPES, nell'area dedicata alle applicazioni di medicina nucleare (progetto ISOLPHARM). "A" e "B" vengono montate sul sistema di movimentazione in grado di accogliere entrambe le capsule.

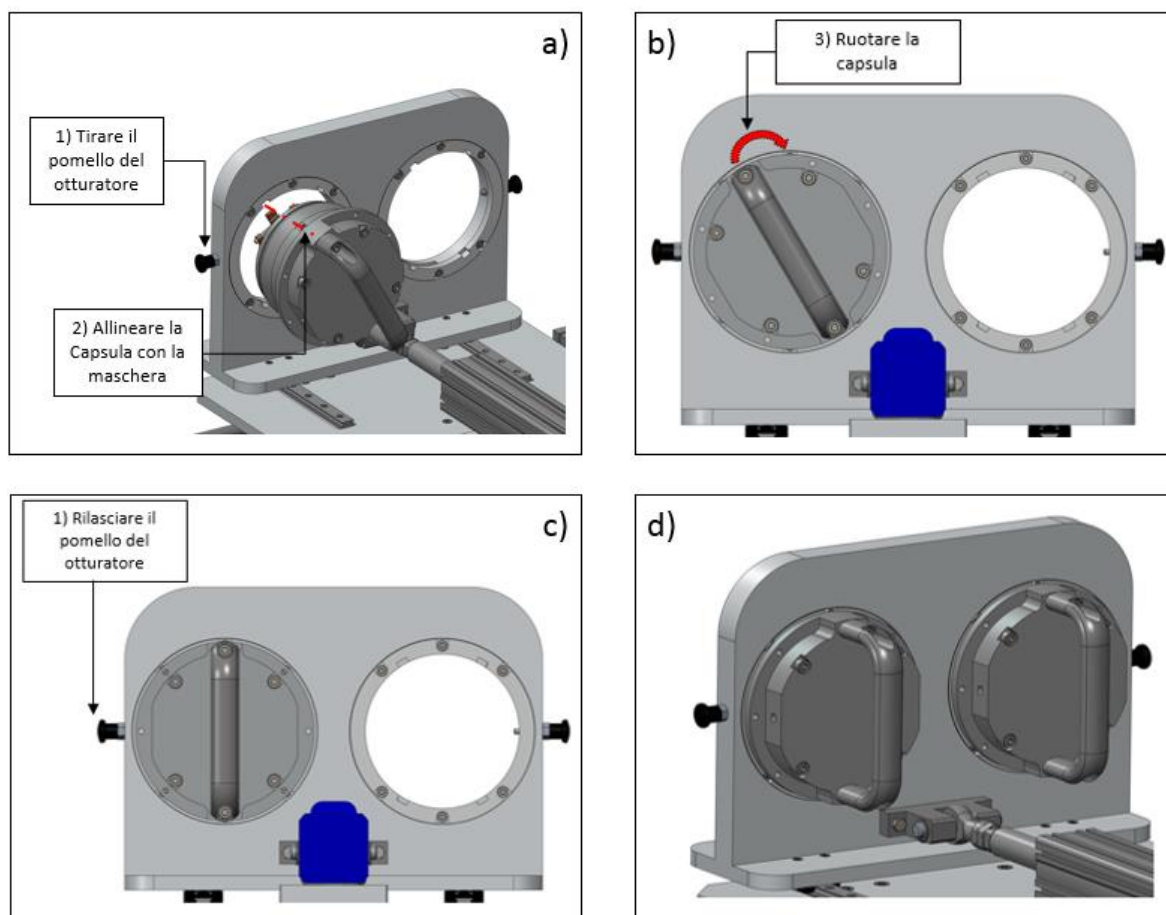


Fig. 4.29: Le fasi di montaggio della Camera Target sul Sistema di Movimentazione

Per montare la Camera Target l'operatore deve tirare il pomello del otturatore ed allineando la camera come in figura 4.29 a. procedere all'inserimento. Una volta portata in battuta, la camera viene ruotata fino a portare quest'ultima nella sua posizione di esercizio. In direzione longitudinale la capsula a questo punto è bloccata, grazie alla maschera realizzata sulla Porta Capsule. Per vincolare definitivamente la Camera Target bisogna rilasciare il pomello dell'otturatore. Il montaggio della seconda camera avviene in modo speculare.

A questo punto l'operatore può uscire dalla sala sperimentale ed attivare il sistema di deposizione. Mediante un calcolatore in grado di controllare i vari dispositivi del sistema, viene comandato l'inserimento della capsula "A" nella linea del fascio con l'ausilio del attuatore lineare posizionato sul piatto superiore del Sistema di Movimentazione.

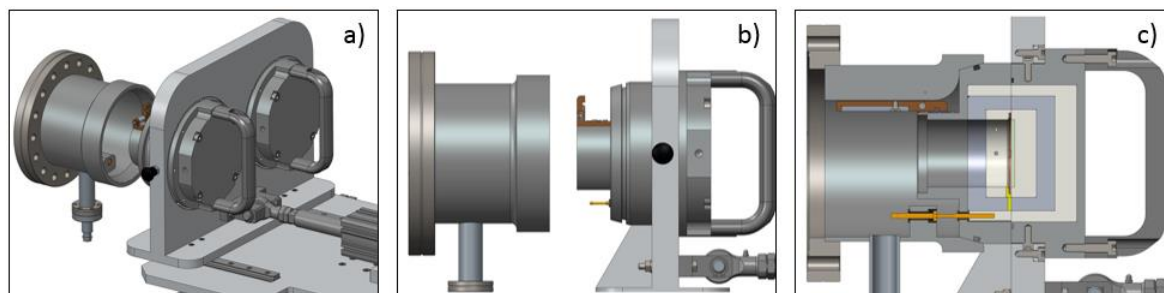


Fig. 4.30: Introduzione in linea della Camera Target

Nel momento in cui "A" è completamente inserita (figura 4.30) si attiva il sistema di generazione del vuoto che porta il livello di pressione fino a circa 10^{-6} mbar. Raggiunte le condizioni di pressione necessarie, il target viene irraggiato. La capsula "B" in questi ultimi passaggi non viene coinvolta, essa è semplicemente agganciata al sistema di movimentazione e si muove solidale con tale dispositivo, senza essere inserita nella linea RIB.

Conclusa la raccolta degli radionuclidi necessari, il fascio viene fermato ed a questo punto si procede all'estrazione della Camera Target "A" dalla linea. Si attivano le valvole da vuoto allo scopo di poter disaccoppiare il sistema di raccolta con il resto della linea e riporta la Camera Target "A" a livelli di pressione ambientale. Raggiunta la pressione atmosferica, "A" viene disaccoppiata dalla linea mediante ed al suo posto il sistema di movimentazione procede con l'inserimento della capsula "B". In primis viene attivato l'attuatore presente sul piatto inferiore che mediante uno spostamento trasversale del suo cursore allinea la Camera "B" con l'asse del Collare di Collegamento (figura 4.31 b.). Successivamente con l'ausilio del attuatore del piatto superiore "B" viene inserita in linea (figura 4.31 c.).

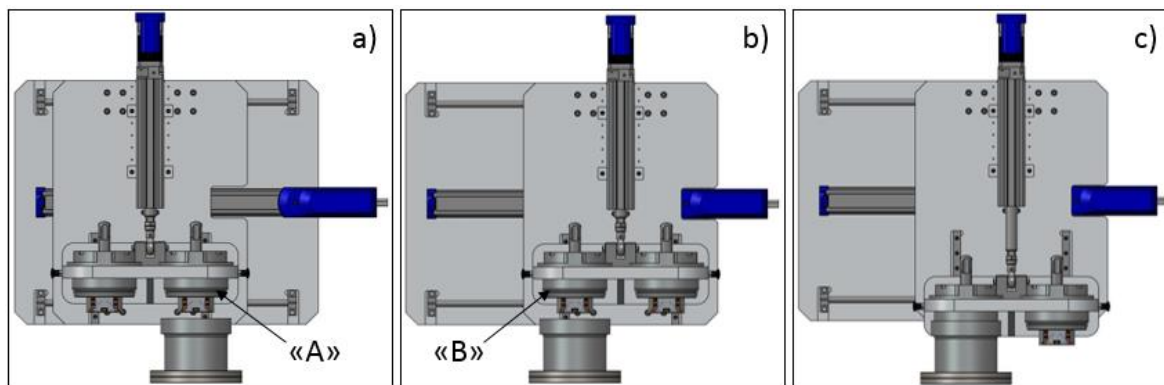


Fig. 4.31: Spostamento trasversale del Sistema di Movimentazione ed il cambio delle Camere Target

Nel tempo in cui viene ricreato il vuoto nel sistema, un operatore, seguendo le procedure di sicurezza, può entrare nella sala sperimentale e sostituire la Camera Target "A" con una nuova Camera Target "C". L'operazione prevedrà un tempo minimo di esposizione del operatore, che sganciando "A" dal sistema di movimentazione e depositando la capsula all'interno di un bidone schermato impiegherà meno di 30 secondi. Eseguita la sostituzione, il bidone viene portato nella cella calda dove avverranno le successive operazioni di estrazione del bersaglio e le operazioni chimico-farmaceutiche necessarie. Seguendo la procedura sopra esposta, in cui sono impiegate 4 Camere Target, quest'ultime verranno utilizzate nel ordine A, B, C, D, A, B, ... ecc., realizzando le deposizioni previste in sede di organizzazione degli esperimenti.

Conclusioni

Nel Capitolo 4 è stato presentato il Sistema di Movimentazione la cui principale funzione è di sostenere e movimentare 2 Camere Target. Tale sistema ne introduce una delle due nella linea per la deposizione, terminata la quale sostituisce la camera con il bersaglio irraggiato introducendo nella linea la seconda Camera Target.

Il sistema di Movimentazione è composto fondamentalmente di 3 grandi sotto assiemi: la Porta Capsule, il piatto superiore ed il piatto inferiore.

La Porta Capsule sostiene le due camere e permette un aggancio ed un sgancio rapido di queste due. Il piatto superiore ha la funzione di sostenere la Porta Capsule e grazie ad un attuatore lineare realizza il primo grado di libertà del sistema e cioè lo spostamento longitudinale che introduce o estrae le capsule dalla linea. Il piatto inferiore oltre a sostenere i corpi soprastanti realizza il secondo grado di libertà (lo spostamento trasversale per l'intercambio delle capsule) mediante l'attuatore con il cursore.

Nel seguente capitolo sono state mostrate e motivate le scelte che hanno portato alla definizione delle parti progettate e delle parti commerciali scelte a catalogo.

Infine è stato presentato il funzionamento del intero apparato ripercorrendo le fasi del processo di raccolta degli radioisotopi di interesse medico.

CAPITOLO 5

Le prime fasi del progetto: Target di Raccolta di piccole quantità di radioisotopi

5.1 Introduzione

La costruzione del progetto SPES all'interno dei Laboratori Nazionali di Legnaro prevede diverse fasi per il commissioning dell'intera *facility*. Saranno svolte molte attività di simulazione e di test prima della messa a regime del impianto. Un processo di questo tipo potrebbe richiedere alcuni anni. Poiché il progetto ISOLPHARM sfrutterà in gran parte la facility SPES, si dovranno attendere anni prima che sia possibile raccogliere i primi isotopi di interesse medico e sviluppare nuovi radiofarmaci. Anche lo sviluppo di un medicinale richiede molto tempo prima che questo possa essere somministrato ad un essere umano: si devono infatti dapprima effettuare numerosi studi in vitro, successivamente si passa alla sperimentazione animale ed infine si arriva ai primi test su volontari (generalmente malati terminali). È evidente che anche in questo caso anni di lavoro sono richiesti, tuttavia nelle primissime fasi di sperimentazione in vitro sono richieste quantità molto piccole di radioisotopi. La produzione di quantità così esigue non richiede che l'intera facility SPES sia in funzione, pertanto sfruttando i primi fasci a bassa intensità prodotti da SPES si avrebbe materiale a sufficienza per avviare i primi studi di radiochimica e radiofarmacia. In quest'ottica nasce il bisogno di realizzare un sistema per la raccolta di piccole quantità di radioisotopi, facilmente inseribile nelle prime linee di fascio SPES, prima che sia completata un'apposita stazione ad hoc, come il terminale ISOLPHARM presentato nei precedenti capitoli.

Tale dispositivo è composto da poche parti ed è stato realizzato grazie alla modifica dei componenti di una Diagnostic Box, più precisamente di una Faraday Cup, normalmente impiegata nella misura della corrente del fascio radioattivo.

Mediante la sostituzione della Faraday Cup viene aggiunta una nuova coppa nella quale verrà posizionato il disco bersaglio da irraggiare. La nuova coppa è caratterizzata da un facile e rapido smontaggio dalla Diagnostic Box impiegando un apposito utensile pensato per l'applicazione in esame.

Successivamente vengono presentate più in dettaglio le varie parti che compongono il sistema e verranno giustificate le scelte adottate nella definizione di quest'ultime.

5.2 Requisiti e dati del progetto

Una delle prime linee di fascio in costruzione è la linea chiamata "Linea RIB 1+". Una delle diramazioni di questa, porta verso un apparato chiamato STS (*SPES Tape Station*), utilizzato per identificare gli isotopi radioattivi che compongono il fascio. All'interno di tale apparato è presente un nastro movimentato da un sistema di rulli. Sul nastro vengono depositate le particelle del fascio che in seguito sono trasportate grazie al sistema a rulli in corrispondenza di un detector. Il detector della STS è in grado di contare e identificare i nuclidi raccolti nel nastro, poiché ogni isotopo decade emettendo una radiazione tipica.

Si vuole sfruttare tale diramazione già in costruzione, inserendovi il dispositivo per la raccolta di piccole dosi di radioisotopi allo scopo di iniziare già nelle prime fasi del progetto SPES con lo studio in vitro dei radionuclidi di interesse medico.

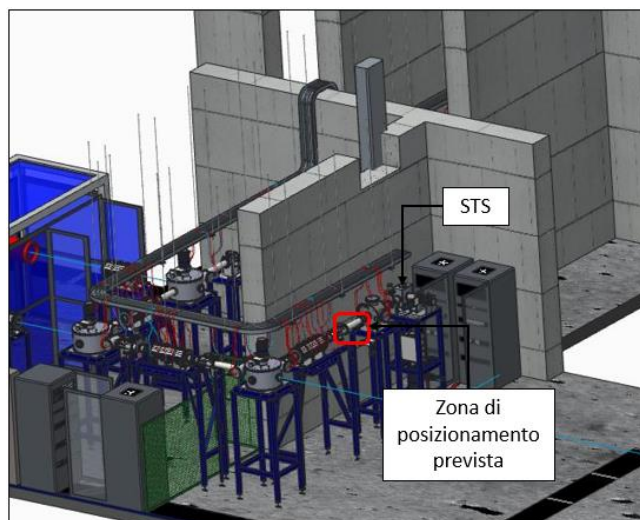


Fig. 5.1: La diramazione della linea 1+ che porta al Tape Station

Identificata la zona di posizionamento prevista (figura 5.1), è sufficiente intervenire con l'inserimento di una Crociera.

La Crociera è un componente caratterizzato da più ingressi ed uscite per l'accoppiamento a dispositivi o condotti da vuoto presenti lungo la linea RIB. Quando sono assemblate a rilevatori come Faraday Cup o Beam Profiler prendono il nome di Diagnostic Box, in quanto contengono i dispositivi di diagnostica, ossia in grado di monitorare le proprietà e lo stato del fascio.

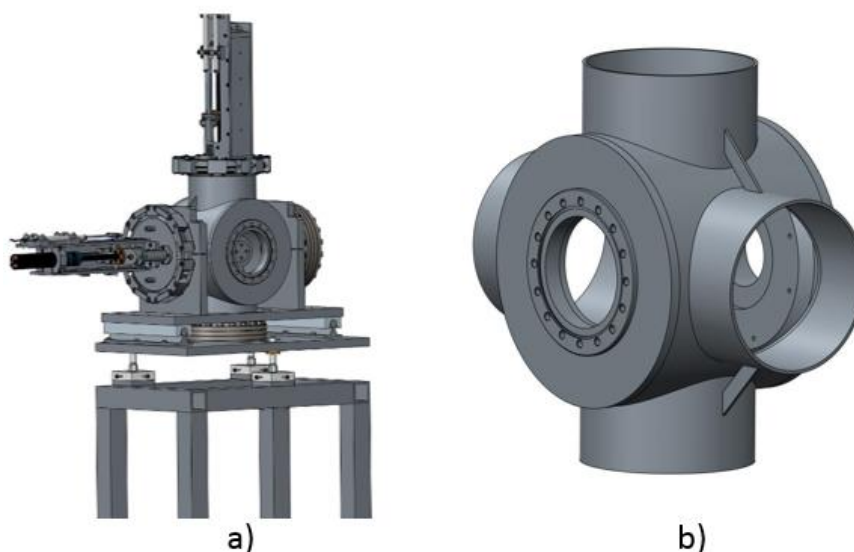


Fig. 5.2: Esempio di una Box diagnostica a) ed una crociera b).

Il Beam Profiler serve a valutare se il fascio è stato correttamente focalizzato, mentre la Faraday Cup verifica che l'intensità del fascio sia conforme alle specifiche.

Per favorire la standardizzazione dei componenti si decide di modificare l'apparato visto in figura 5.2 a. si sfrutteranno quindi la crociera, il meccanismo di attuazione della Faraday Cup, le flange ed altri particolari già presenti, adattandoli all'occorrenza. La descrizione più dettagliata dei componenti standard impiegati verrà fatta nel successivo paragrafo 5.3.

Il bersaglio di raccolta è lo stesso visto nei precedenti capitoli e cioè un disco di NaCl con un diametro $\varnothing 40\text{mm}$ ed uno spessore circa 1mm realizzato mediante pressatura. Per sostenere il disco verrà realizzata un componente a forma di coppa. Tale oggetto dovrà essere in grado di sostenere il disco in posizione e garantire la deposizione nel momento di intercettazione del fascio.

Anche nel caso in esame il prelievo del bersaglio irraggiato avverrà in modo manuale. Questo requisito presuppone di adattare la crociera in modo che il target irraggiato sia accessibile, e di realizzazione un

componente che sostiene il target facilmente rimovibile e trasportabile. L'operatore dovrà essere in grado di ritirare la coppa con il bersaglio in poco tempo ed in condizioni di sicurezza. Il campione estratto verrà in seguito depositato in un bidone schermato e trasportato alle celle calde. Il livello di radiazione in questo caso è basso, visto la piccola quantità di particelle depositate, ciononostante è necessario porre attenzione ai materiali utilizzati, in modo da garantire la schermatura delle radiazioni uscenti dal bersaglio irraggiato.

Il funzionamento della linea RIB avviene in alto vuoto (10^{-6} mbar), per cui il sistema per la raccolta di piccole quantità di radio isotopi, oggetto di questo capitolo, dovrà essere in grado di operare in un tale ambiente.

Si riassumono quindi i principali requisiti che sono stati messi in luce dall'analisi delle condizioni di lavoro del dispositivo da definire:

- Compatibilità con il target di raccolta, un disco di $\text{Ø}40\text{mm}$ e spessore 1mm
- Compatibilità con il livello di vuoto delle linee di fascio SPES (10^{-6} mbar)
- Stessi ingombri di una Faraday Cup, favorire l'utilizzo di componenti standard
- Scelta dei materiali adatti
- Facile prelievo del bersaglio irraggiato
- Facilità e sicurezza nel utilizzo da un operatore

5.3 Introduzione al meccanismo della Faraday Cup

Nel paragrafo 2.4 si è parlato di come una Faraday Cup del complesso Font End è stata adattata allo scopo di realizzare i test di deposizione con ioni stabili. Grazie ai componenti che compongono la Faraday Cup, tale sistema risulta molto versatile per via di piccole modifiche, offrendo la possibilità impiegare il sistema anche in situazioni diverse da quelle per le quali è stato pensato. Nella successiva figura 5.3 è presentata una sezione longitudinale della Faraday Cup accoppiata ad una crociera:

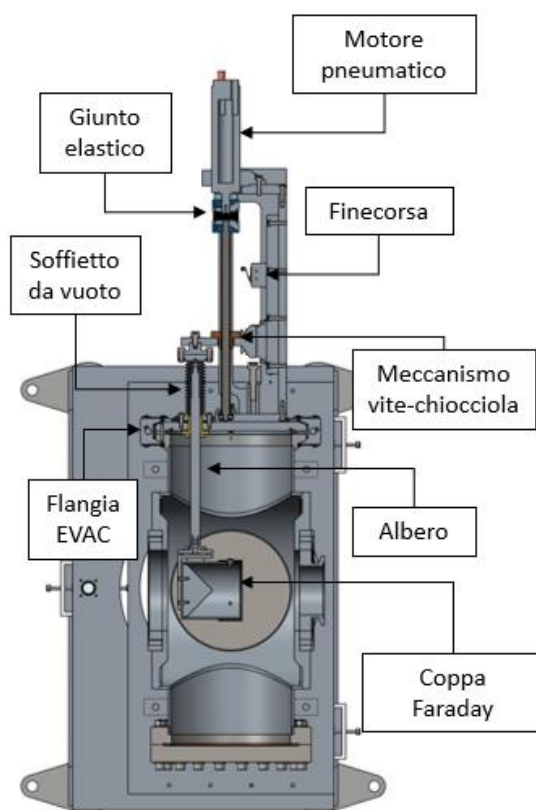


Fig. 5.3: Sezione longitudinale della Faraday Cup

Come si può intuire dalla precedente figura 5.3 la Faraday Cup ha la possibilità di bloccarsi in due posizioni "In and out": la prima è quella in cui intercetta il fascio di ioni radioattivi, mentre la seconda è arretrata,

permettendo al fascio di passare attraverso il canale della crociera senza essere intercettato. Per compiere tale spostamento nel dispositivo è presente un motore pneumatico.

I motori pneumatici sono degli attuatori meccanici che consentono di mettere in rotazione un albero motore utilizzando la forza generata dall'aria compressa. Nel caso in esame il motore utilizzato è quello specifico di tipo volumetrico a palette, che permette di ottenere una buona coppia in relazione alla notevole compattezza, inoltre tale dispositivo è sufficientemente reattivo quando viene interrotto il flusso d'aria. Nella successiva figura 5.4 viene illustrata la struttura di un motore pneumatico a palette:

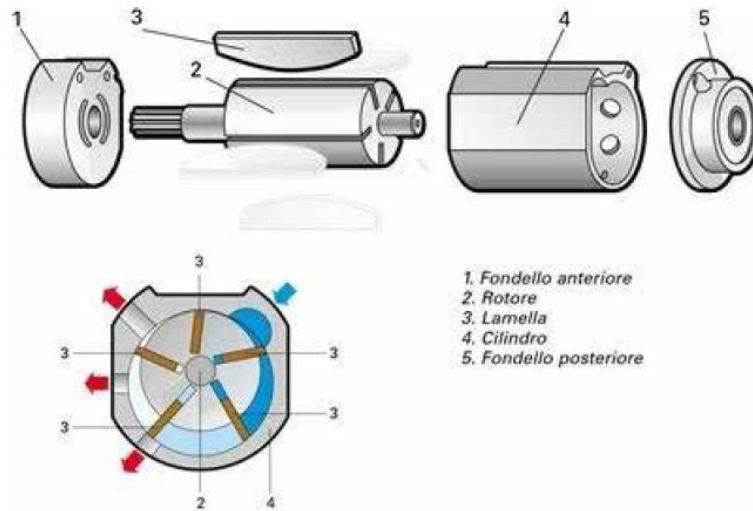


Fig. 5.4: Struttura del motore pneumatico a palette [12]

Poiché il rotore è eccentrico, all'interno del cilindro viene a formarsi una camera a mezza luna. Grazie alle palette montate sul rotore, il volume a mezza luna è suddiviso in più parti variabili, in funzione della posizione del rotore. L'aria compressa entrante nel cilindro, esercita una forza sulle palette mettendo in rotazione il rotore. Al interno del cilindro per la geometria creatosi avviene la trasformazione di espansione che permette il continuo pompaggio di aria all'interno del cilindro e la messa in rotazione del rotore.

La coppia in uscita dal motore pneumatico viene trasmessa alla vite senza fine mediante un giunto elastico a soffiello (figura 5.5).



Fig. 5.5: Esempio di giunti a soffiello

Un giunto meccanico è un dispositivo atto a rendere solidali fra loro due estremità d'albero, modo che l'uno possa trasmettere un momento torcente all'altro. I giunti realizzano accoppiamenti che possono essere rimossi solo con gli alberi fermi. Il giunto utilizzato nel caso in esame è composto da due mozzetti in alluminio tra i quali è presente un elemento elastico (il soffiello in acciaio inox), che deformandosi, permette agli alberi piccoli spostamenti assiali o angolari e attenua gli effetti conseguenti a variazioni brusche del momento torcente.

Per convertire il moto rotatorio dell'albero del motore pneumatico in moto di traslazione che introduce e retrae la Faraday Cup viene utilizzato un meccanismo a vite senza fine e chiocciola. Le estremità della vite sono

fissate rispettivamente al giunto a soffietto di figura 5.5 e alla struttura portante mediante un cuscinetto, che vincola tutti i gradi di libertà eccetto la rotazione attorno all'asse, mentre la chiocciola, componente che si inserisce nella vite, trasla quando quest'ultima viene fatta ruotare. La chiocciola trasla di una quantità proporzionale al passo della vite. [12] La successiva figura 5.6 mostra un esempio di vite senza fine accoppiato alla chiocciola.



Fig. 5.6: Esempio del meccanismo vite-chiocciola

Il moto traslatorio della chiocciola viene trasmesso all'albero sul quale viene montata la coppa faraday grazie ad un supporto meccanico realizzato in lega di alluminio. Una vista più dettagliata di come avviene tale trasmissione è presentata nella successiva figura 5.7:

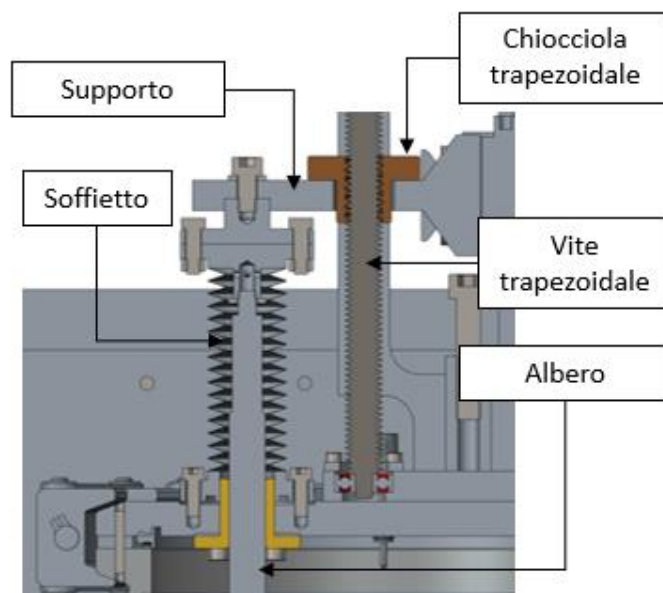


Fig.5.7: Vista di dettaglio di trasmissione del moto dalla chiocciola trapezoidale all'albero della coppa Faraday

Come si può notare nella precedente figura il supporto è collegato mediante una vite ad una flangia per il fissaggio del soffietto.

Il soffietto (figura 5.8) è un componente flessibile formato da un certo numero di membrane metalliche saldate tra loro, utilizzato allo scopo di separare due ambienti a diverse pressioni. Nel caso in esame il soffietto avvolge l'albero della movimentazione, allungandosi o accorciandosi nei momenti in cui l'albero inserisce la coppa faraday per intercettare il fascio o viceversa la retrae in posizione di riposo.



Fig.5.8: Esempio di soffietto con estremità flangiate [12]

La Faraday cup viene accoppiata alla crociera mediante una flangia con connessione a catena (*chain clamps*) del produttore EVAC® (figura 5.9).



Fig.5.9: Esempio di flangia EVAC (Chain Clamp)

Agendo su un numero limitatissimo di viti (una o due), permette di serrare due flange, anche di grandi dimensioni, in modo estremamente facile e rapido. Il serraggio mediante una vite è adottato quando vengono utilizzate guarnizioni di elastomeri, mentre servono due viti per le tenute metalliche al fine di distribuire in modo migliore la pressione di contatto.

Nella successiva figura 5.10 viene illustrata la Faraday Cup della Box di diagnostica di figura 5.2:

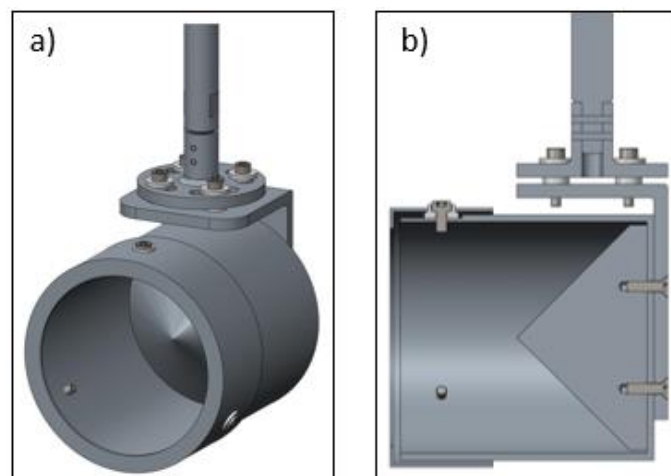


Fig. 5.10: Faraday Cup

La tazza ha una geometria cilindrica sul fondo della quale viene avvitato un pezzo conico. Tale cono presenta un angolo al vertice di 45° e alla base, è caratterizzato da una parte cilindrica per consentire l'afferraggio e la lavorazione alle macchine utensili. La tazza in fine viene collegata al sistema di movimentazione tramite il profilato ad L ed il supporto cilindrico con le 4 asole.

Il meccanismo finora presentato si adatta perfettamente alle necessità del sistema di raccolta di piccole quantità di radioisotopi in quanto permetterebbe di portare il bersaglio ad intercettare il fascio nel momento della raccolta, mentre manterrebbe quest'ultimo in una posizione arretrata nella fase di passaggio del fascio verso il tape system. La coppa Faraday presentata in figura 5.6, sarà sostituita da un supporto schermato in grado di sostenere il disco bersaglio e di soddisfare i requisiti evidenziati nel paragrafo 5.2.

5.4 Definizione preliminare del sistema Target di Raccolta di piccole quantità di radioisotopi

Nel precedente paragrafo è stato presentato il meccanismo della Faraday Cup, che verrà utilizzato anche nella movimentazione del Target di Raccolta di piccole quantità di radioisotopi. Al posto della coppa Faraday in questo caso il meccanismo sosterrà il componente illustrato nella figura sottostante:

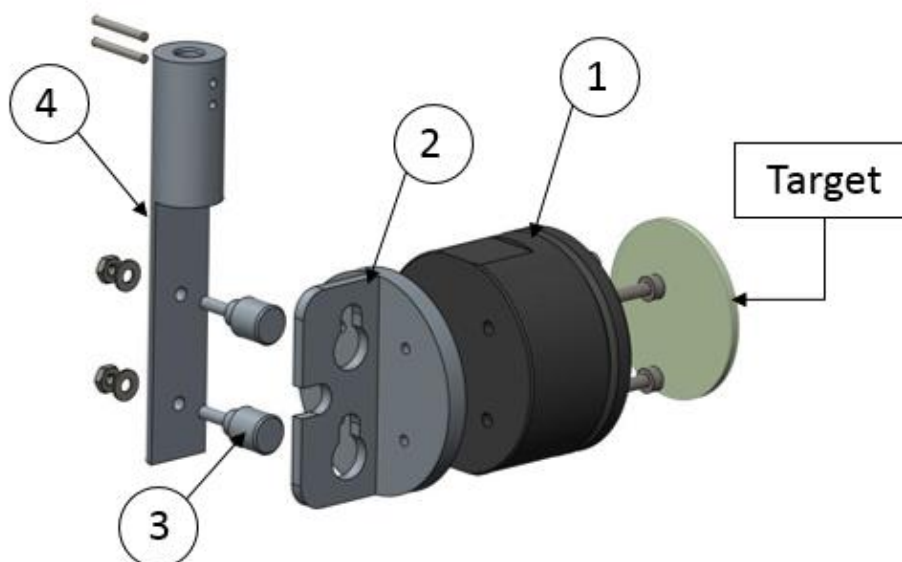


Fig. 5.11: Target di Raccolta di piccole quantità di radioisotopi

Il componente è realizzato mediante l'assemblaggio di 8 parti:

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	COPPA_SUP_TG	PART	TUNGSTEN	0,542	1
2	PROFILO_T_TG	PART	AL6082T6	0,0328	1
3	PERNO_M3	PART	316L	0,0055	2
4	ALBERO DI COLLEG.	PART	316L	0,0518	1
5	DIN912_M3x12	PART	SS		4
6	DIN933_M3	PART	SS		2
7	ROS_DIN125A_M3	PART	SS		2
8	PIN_DIN7_2x16	PART	SS		2

Tab.5.1: Distinta componenti

L'oggetto contraddistinto dal numero 1 in figura 5.11 è la coppa supporto del target di raccolta (figura 5.12). Il componente ha una forma a tazza, con una cavità centrale Ø40mm per l'inserimento del disco bersaglio. Il diametro esterno del corpo è Ø50mm, mentre l'estensione longitudinale è 30mm. Sulla superficie esterna del

corpo è presente un intaglio che si estende per 360° e due tratti spianati che servono per l'afferraggio della tazza nel momento dello sgancio dal sistema. Per quanto piccole le quantità di radioisotopi depositati sul disco bersaglio, questo diventa una sorgente radioattiva, per cui è stato scelto ancora una volta il Tungsteno come materiale schermante. Sul fondo della coppa sono presenti 4 fori lamati allo scopo di assemblare la tazza al profilo a T.

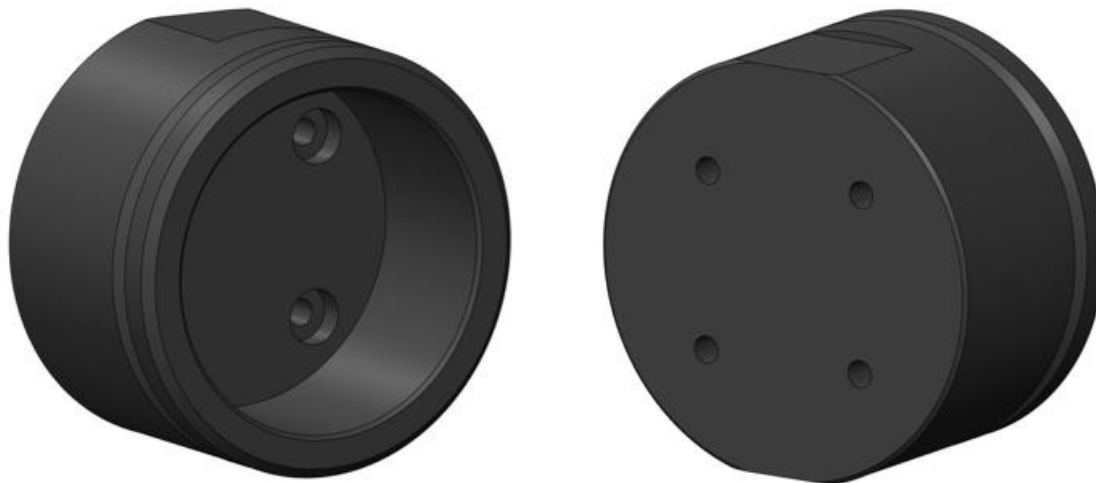


Fig. 5.12: Coppa supporto del target

Con il numero 2 in figura 5.11 è indicato il profilo a T per l'aggancio al sistema, realizzato in lega di alluminio. Tale componente è caratterizzato da un tratto cilindrico di diametro Ø50mm e spessore 5mm. Questa porzione va in appoggio alla coppa supporto del target e grazie ai 4 fori filettati M3 ne realizza la connessione. Sul corpo in esame è presente una sporgenza di 22mm e spessore 3mm, sulla superficie della quale sono ricavate le asole per l'aggancio del componente al sistema di movimentazione. Le asole sono formate da un foro di diametro maggiore Ø10mm ed un tratto fresato Ø6mm lungo 6mm. Nel tratto sporgente è presente anche un intaglio ad "U" allo scopo di favorire l'operazione di prelievo della tazza dal sistema. L'intaglio è profondo 8,5mm ed è largo 7mm. Il profilo a T appena descritto viene presentato nella successiva figura 5.13:

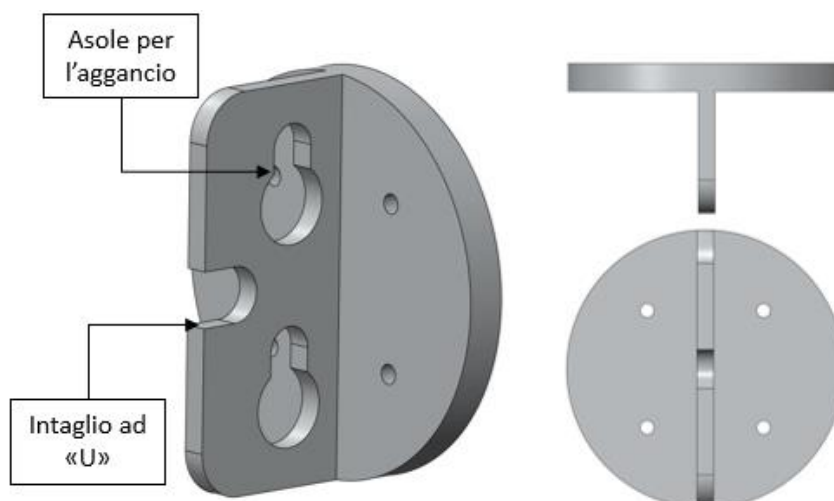


Fig. 5.13: Profilo a T per l'aggancio al sistema di movimentazione

Nelle asole ricavate sul profilo a T (figura 5.13) vanno ad inserirsi i 2 perni filettati M3x10. Ciascun perno è realizzato in acciaio inossidabile ed è caratterizzato da un'estensione totale di 22mm. Tale estensione viene

suddivisa da 3 tratti differenti. Il primo $\text{Ø}9 \times 9 \text{mm}$, il secondo $\text{Ø}6 \times 3 \text{mm}$ e l'ultimo è il tratto filettato $\text{M}3 \times 10$ menzionato in precedenza. I primi due tratti servono a realizzare un accoppiamento con le asole del profilo a T, mentre la parte filettata serve ad assemblare i perni al componente numero 4 di figura 5.11. Nella successiva figura 5.14 vengono presentati i due perni appena descritti:

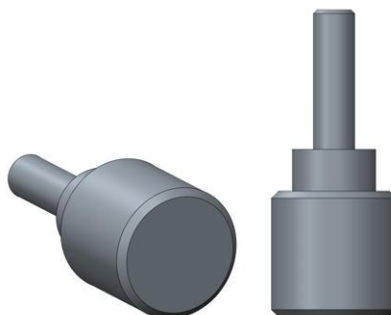


Fig. 5.14: Perni filettati $\text{M}3 \times 10$

L'ultimo componente del assieme di figura 5.11 è l'albero di collegamento contraddistinto dal numero 4, realizzato in acciaio inossidabile. Tale oggetto è lungo 93mm ed è caratterizzato da due tratti di geometria differenti. Sul tratto inferiore sono presenti due superfici piane. La superficie piana $60 \times 15,7 \text{mm}$ è la parte che va in appoggio alla sporgenza del profilo a T. Su tale superficie sono montati i due perni filettati $\text{M}3 \times 10$ (figura 5.14). I due perni vengono bloccati mediante due dadi sul secondo tratto spianato $60 \times 9,3 \text{mm}$, realizzato posteriormente.

Il tratto superiore del componente è caratterizzato da una parte cilindrica $\text{Ø}16 \times 33 \text{mm}$. All'estremità di questo tratto è presente un foro $\text{Ø}6 \text{mm}$, profondo 20mm per l'inserimento dell'albero del sistema di movimentazione. Sul tratto cilindrico inoltre sono presenti dei fori passanti $\text{Ø}2 \text{mm}$ nei quali vengono inserite le spine cilindriche lunghe 16mm che fissano l'albero del sistema di movimentazione all'assieme di figura 5.11. Nella successiva figura 5.15 viene illustrato il componente appena descritto:



Fig. 5.15: L'albero di collegamento

5.4.1 Utensile per lo sgancio della coppa supporto del target

Nel momento di raccolta di radioisotopi avvenuta, il target di piccole quantità di radioisotopi deve essere prelevato. Visto che la tazza che sostiene il target è sprovvista di un coperchio, in grado di chiudersi automaticamente nel momento del prelievo, si è pensato di realizzare un apposito utensile in grado di prevenire la fuoriuscita delle particelle e di distanziare il corpo del operatore dalla sorgente radioattiva (figura 5.16)

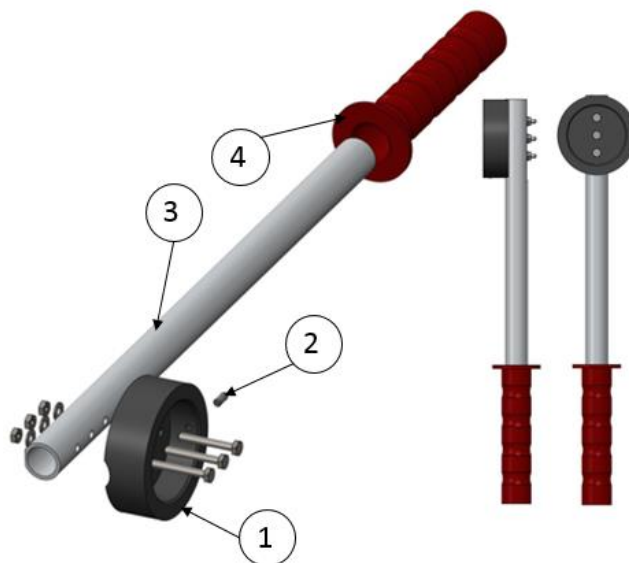


Fig.5.16: Utensile per lo sgancio della coppa supporto del target

Nella successiva tabella 5.2 sono presentati i 9 elementi di cui è composto l'utensile:

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	COPERCHIO_W	PART	TUNGSTEN	0,778	1
2	K0310_04_0	PART	SS		1
3	TUBOLARE	PART	AL6082T6	0,105	1
4	MANICO	PART	GOMMA		1
5	DIN933_A2_M4x30	PART	SS		3
6	DIN936_M4	PART	SS		3
7	ROS_DIN125A_M4	PART	SS		3

Tab.5.2: Distinta componenti

Con il numero 1 in figura 5.16 viene indicato il coperchio in tungsteno. Sullo sviluppo assiale di tale componente è presente una cavità $\varnothing 50\text{mm}$ e profondità 16mm. Tale cavità è realizzata in modo da poter accoppiare il coperchio in tungsteno alla tazza supporto del target.

Sul fondo dell'oggetto sono presenti 3 fori per il passaggio delle viti M4 che fissano la parte sul pezzo tubolare. Per realizzare tale connessione, sul fondo posteriore del coperchio è presente un settore circolare del medesimo raggio del tubo $R=10\text{mm}$. Nella figura sottostante viene mostrato il componente appena descritto:

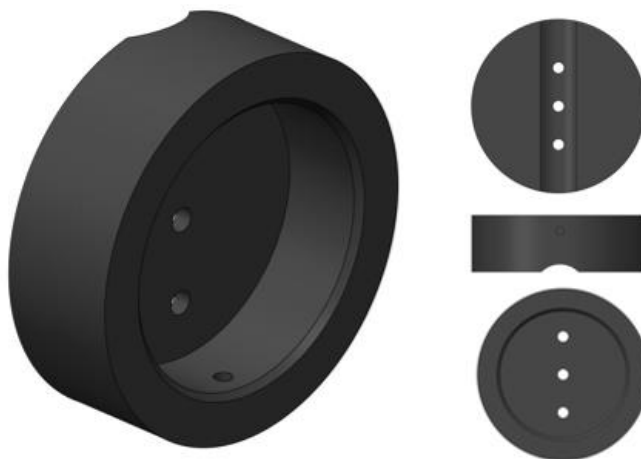


Fig. 5.17: Coperchio in tungsteno

Lungo l'estensione radiale del pezzo si nota un foro filettato M4. All'interno di quest'ultimo viene posizionato un pressore a sfera filettato (figura 5.18). Tale oggetto è un componente commerciale Kipp® utilizzato per arrestare e fissare componenti o gruppi costruttivi. Tale organo meccanico è formato da un corpo, una molla ed una sfera temprata. La molla e la sfera sono all'interno del corpo, con la sfera sporgente leggermente da quest'ultimo. Quando sulla sfera viene applicata una forza, questa schiacciando la molla rientra all'interno del corpo. In questo modo i componenti che necessitano di essere fissati mediante il pressore, possono essere portati nella configurazione desiderata. Nel momento in cui la sferetta del pressore si trova in corrispondenza di apposite sedi ricavate sui pezzi da fissare (come l'intaglio a 360° della tazza supporto del target), sulla sfera viene ad agire solo la forza della molla, che per spinta della sfera nella sede ricavata realizza il bloccaggio.

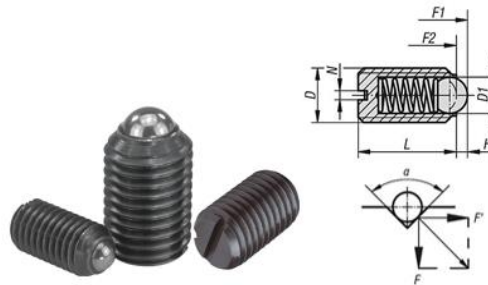


Fig. 5.18: Pressore a sfera filettato Kipp®

In funzione dell'angolo dell'intaglio, la forza di bloccaggio può essere più o meno intensa:

$$a = 60^\circ, F' = 1,732 * F \quad (5.1)$$

$$a = 90^\circ, F' = F \quad (5.2)$$

$$a = 120^\circ, F' = 0,577 * F \quad (5.3)$$

Il componente identificato contraddistinto dal numero 3 è un pezzo tubolare realizzato in alluminio 6082T6. Tale pezzo è lungo 340mm ed è caratterizzato da un diametro Ø20mm e spessore 2mm. L'estensione di 340mm garantisce la lunghezza necessaria all'introduzione dell'utensile all'interno della crociera per lo sgancio della tazza supporto del target, inoltre permette di mantenere una certa distanza tra l'operatore e la sorgente radioattiva. La radioattività è inversamente proporzionale alla distanza, per cui più distanti sono gli organi vitali del operatore rispetto al disco irraggiato più in sicurezza esso si trova.

Ad una delle estremità del componente tubolare sono previsti i tre fori Ø4,3mm per il passaggio delle viti ed il fissaggio del coperchio al tubo, tramite i rispettivi dadi e rosette. Per garantire una maggiore solidità a quest'ultimo collegamento, sulla superficie del tubo è presente un tratto spianto 1mm rispetto al diametro esterno del tubo. Nella successiva figura 5.19 viene mostrata il tubolare ed il manico in gomma:

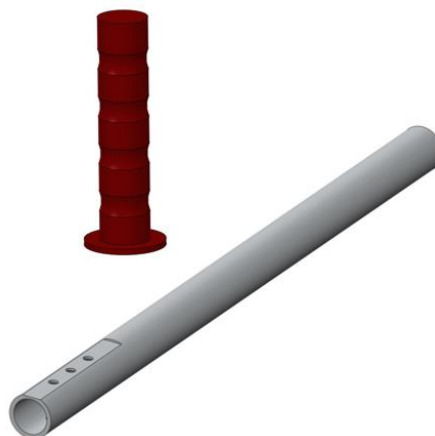


Fig. 5.19: Tubolare ed il manico dell'utensile per lo sgancio della coppa supporto del target

5.4.2 L'impiego della crociera

Nella figura 5.2 b, è stata presentata una crociera, spesso impiegata come base costruttiva delle box di diagnostica del progetto SPES. Tale componente è caratterizzato da 6 cavità incrociate che possono realizzare degli input o degli output. Nel caso in esame la crociera avrà due delle sue cavità opposte collegate alle tubazioni della linea, in modo da far passare il fascio verso il tape system. L'ingresso inferiore della crociera verrà impegnato dal sistema di generazione del vuoto, mentre quello superiore, dal sistema di movimentazione dell'assieme di figura 5.11. Una delle cavità trasversali verrà chiusa da una flangia CF-DIN-160 perché non utilizzata, mentre sull'altra verrà montato un oblò di apertura veloce presentato nella successiva figura 5.20:



Fig. 5.20: Oblo di apertura veloce Kurt J. Lesker®

L'oblo di apertura veloce è un componente commerciale della Kurt J, Lesker Company ® che garantisce un accesso veloce e conveniente all'interno dell'ambiente che funzionano in vuoto. L'apertura e la chiusura dell'oblo è realizzata con un elevatissimo livello di precisione, che abilita tale componente a funzionare anche con sistemi UHV (*Ultra-high vacuum*). L'oblo include un pomello manuale per il serraggio della porta di accesso durante il funzionamento in vuoto. Il pomello facilita di molto l'intervento, visto che normalmente utilizzando delle flange chiuse CF, per aprire o chiudere una camera, bisogna agire su un numero elevato di viti.

Nella successiva figura viene mostrata la crociera nella nuova configurazione per la raccolta delle piccole quantità di radioisotopi.

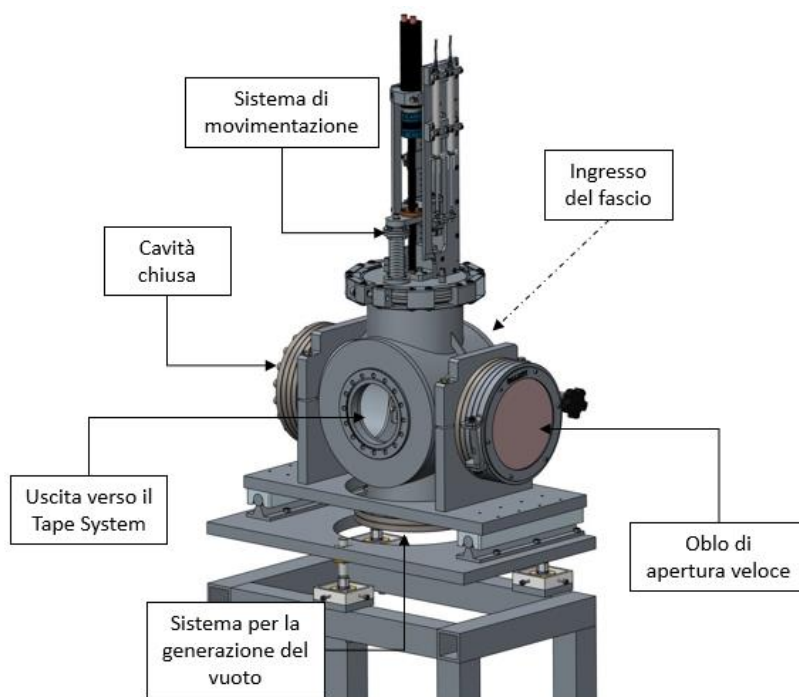


Fig. 5.21: La configurazione degli ingressi della crociera

5.2 L'architettura del dispositivo ed il processo di funzionamento

L'architettura esterna del dispositivo da accoppiare alla linea del fascio è stata presentata nella figura 5.21. Come vengono interfacciati i componenti internamente alla crociera viene illustrato nella figura 5.22:

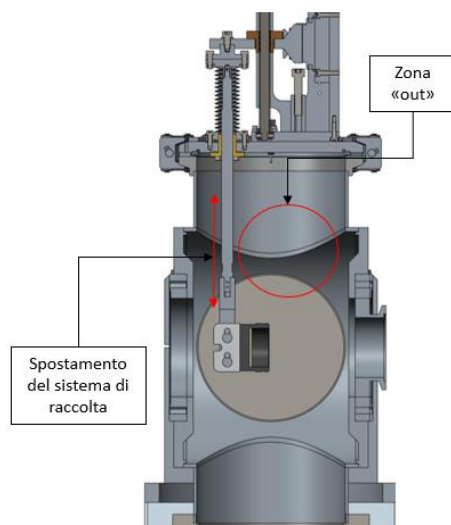


Fig. 5.22: Sezione longitudinale del sistema

Normalmente la tazza con il disco bersaglio posizionato al suo interno si trova nella zona “Out”. In tale posizione il fascio non intercetta il target di raccolta, ma passa dritto verso il sistema STS (*SPES Tape Station*). Nel momento in cui si vuole raccogliere una dose di radioisotopi, azionando il sistema di movimentazione il sistema di raccolta viene riabbassato ed allineato con l'asse del fascio. Una volta allineato il sistema, può essere avviata la deposizione. A fine della raccolta della dose necessaria vengono chiuse le valvole da vuoto ed il sistema può fare il rientro in aria. Quando il livello della pressione all'interno della crociera è pari a quella atmosferica l'operatore apre l'obolo (figura 5.23).

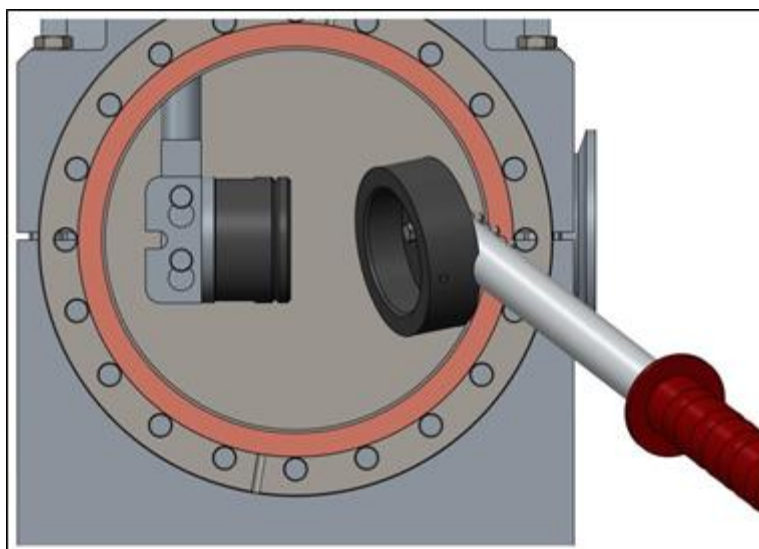


Fig. 5.23: Apertura dell'obolo

Munito dell'utensile presentato nel paragrafo 5.4.1, l'operatore può procedere con le operazioni di estrazione della coppa supporto del target che si articola nelle seguenti 3 operazioni:

- Accoppiamento coperchio dell'utensile con la tazza
- Sgancio della tazza dal sistema di movimentazione
- Deposito del utensile con la tazza in un bidone schermato

Le tre fasi sopra citate vengono presentate nella successiva figura 5.24:

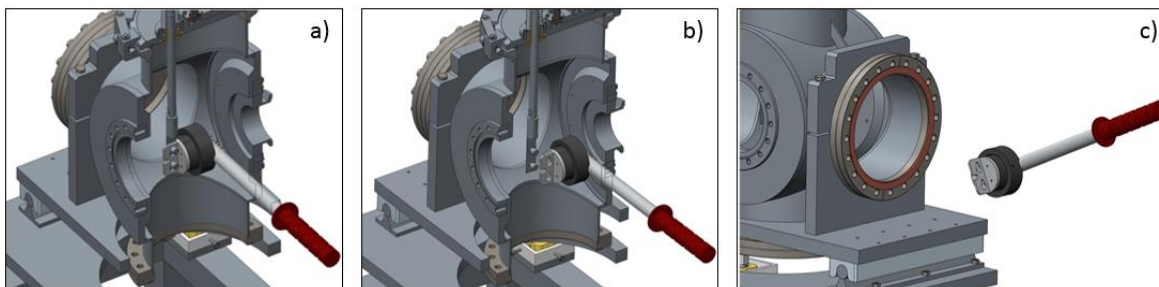


Fig. 5.24: Le fasi di estrazione del Target di raccolta di piccole quantità di radioisotopi

Inserendo l'utensile all'interno della crociera, l'operatore deve allineare il coperchio con la coppa supporto del target. Successivamente mediante una piccola spinta necessaria a far entrare il pressore a sfera nella sua sede sul diametro esterno della tazza il coperchio viene accoppiato a quest'ultima.

Per sganciare la tazza dal sistema di movimentazione, l'operatore deve agire sull'utensile in modo da spostare verso l'alto il profilo a T del sistema di raccolta rispetto ai perni filettati inseriti nelle asole. Quando l'asse dei perni viene allineato all'asse dei fori di diametro maggiore delle asole, tirando verso sè stesso l'operatore riesce a sganciare la coppa con il bersaglio irraggiato. Il passo successivo è quello di portare fuori dalla crociera l'assieme così formatosi e depositarlo all'interno di un bidone schermato.

Infine il bidone schermato andrà portato verso il laboratorio di radiochimica dove saranno avviate le sperimentazioni per la produzione del radiofarmaco.

Conclusioni

Nel capitolo 5 è stato presentato un sistema di raccolta di piccole quantità di radioisotopi nelle fasi preliminari di studio. Tale sistema verrà inserito in una delle diramazioni della linea di fascio "1+" attualmente in costruzione presso i Laboratori Nazionali di Legnaro. In questo modo si potranno avviare degli studi preliminari dell'applicazione ISOLPHARM già nelle prime fasi della costruzione del progetto SPES. A tal proposito si è deciso di sfruttare dei componenti di una box diagnostica, più precisamente di una Faraday Cup, favorendo la standardizzazione dei componenti e utilizzando tecnologie già ben consolidate. La Faraday Cup è stata sostituita da una tazza con caratteristiche di schermatura delle radiazioni, sgancio rapido e possibilità di accogliere il disco bersaglio di diametro Ø40mm. Per garantire l'operazione di sgancio in maniera rapida e semplice, è stato pensato un utensile capace di accoppiarsi alla coppa sopracitata, assumendo la funzione sia di un coperchio radioprotettivo sia di un utensile di prelievo della tazza.

Negli allegati possono essere consultate le tavole costruttive del concept presentato.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi, svolto presso i Laboratori Nazionali di Legnaro dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), si è concentrato sullo studio e la progettazione meccanica di dispositivi per la raccolta di isotopi radioattivi, ovvero degli apparati in grado di ospitare al loro interno un disco bersaglio che viene irraggiato da un fascio di ioni radioattivi "RIB" (*Radioactive Ion Beam*), al fine di contribuire alla ricerca nel ambito della medicina nucleare, più precisamente la realizzazione dei radiofarmaci.

Nella prima parte dell'elaborato è stato presentato il progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*) e le sue applicazioni. Un'attenzione particolare si è dedicata all'applicazione nel campo della medicina nucleare, caratterizzata dal progetto ISOLPHARM brevettato da LNL-INFN, contestualizzando al suo interno il presente lavoro; è stata infatti introdotta la definizione di radiofarmaco e visti gli impieghi di quest'ultimo nella diagnosi e terapia dei tumori, inoltre è stato descritto il processo per la produzione della sostanza medicinale in esame, impiegando in maniera innovativa la tecnica ISOL del progetto SPES.

Dapprima sono stati individuati i requisiti necessari che un dispositivo deve possedere nell'ottica della raccolta di radionuclidi, sulla base dei quali è stato realizzato il primo concept della Camera Target, componente pensato "ex-novo" per il contenimento del disco bersaglio. Tale concept è stato presentato ad un team di specialisti del settore presso l'Ospedale San Giacomo Apostolo di Castelfranco Veneto. Sulla base della consulenza ricevuta il concept ha subito notevoli trasformazioni tra le quali modifiche geometriche, riduzione di peso e riduzione d'ingombri. Il capitolo 3 descrive per intero il processo di progettazione che ha portato alla definizione delle singole parti che compongono la Camera Target. Successivamente sulla base delle tavole costruttive dei componenti è stato realizzato un prototipo funzionale della Camera Target (figura 1 a).

Nel quarto capitolo è stato presentato un apparato denominato "Il Sistema di Movimentazione" in grado di accogliere due Camere Target e di accoppiare in modo automatico quest'ultime al terminale della linea del fascio. Il Sistema di movimentazione è un macchinario semiautomatico, che prevede due attuatori elettrici ed un insieme di guide per la realizzazione di due gradi di libertà traslazionali del complesso per la raccolta degli radioisotopi.

In fine per realizzare l'accoppiamento della stazione di raccolta degli radionuclidi comprendente il Sistema di Movimentazione con due Camere Target ed il terminale della linea RIB, è stato progettato il componente "Collare di Collegamento".

La stazione di raccolta di radionuclidi realizzata nel corso di questa tesi è presentata nella figura 1 b.

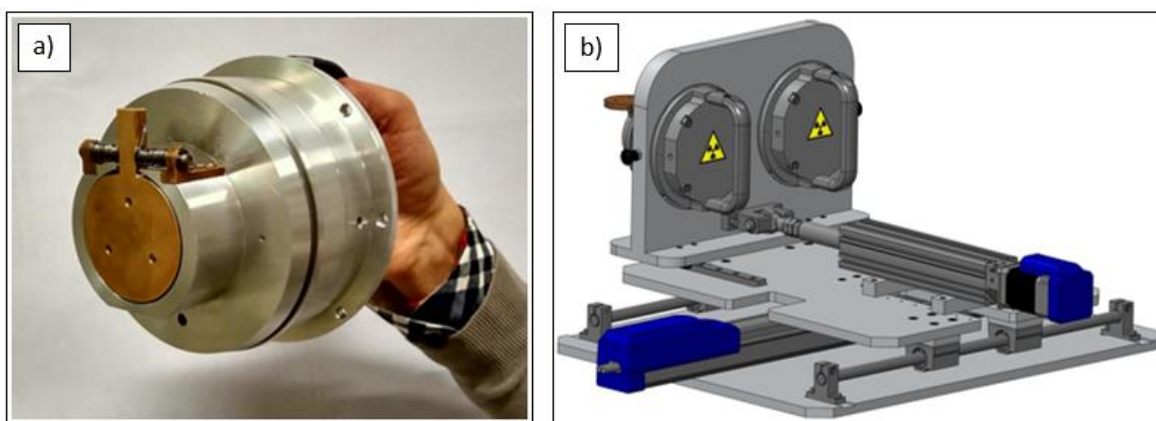


Fig.: 1 a. Il prototipo della Camera Target. 1 b. La stazione di Raccolta degli radionuclidi per la realizzazione dei radiofarmaci

Tale macchinario è un sistema "ex-novo" che apre interessanti strade agli sviluppi futuri.

Innanzitutto sarebbe importante realizzare il Collare di Collegamento e fare dei test sull'accoppiamento tra quest'ultimo e la Camera Target. Impiegando un dinamometro, si potrebbe misurare la forza necessaria all'inserimento della camera all'interno della linea, per avere una validazione sperimentale del design sviluppato.

Il passo successivo potrebbe essere quello di rifinire gli ultimi dettagli del sistema di movimentazione in modo da favorire la produzione presso l'officina interna dei laboratori dei componenti come la "Porta Capsule", la

piastra superiore, la piastra inferiore e gli altri componenti semplici presenti nell'assieme. Nel capitolo 4 sono stati indicati tutti i componenti commerciali scelti a catalogo, dunque si potrebbe procedere all'acquisto di quest'ultimi.

In fine un'ulteriore sviluppo potrebbe essere accoppiare la stazione di raccolta con il prototipo dell'apparato Front-End, presente all'interno dei laboratori. In questo modo sarebbe possibile condurre dei test di deposizione di specie stabili sul disco target prima del collocamento finale della stazione di raccolta all'interno del bunker, testando quindi una parte del processo ISOLPHARM.

L'ultimo obiettivo di tale elaborato è stato quello di effettuare uno studio preliminare di un dispositivo per la raccolta di piccole quantità di radioisotopi che verrà impiegato nelle primissime fasi del funzionamento del progetto SPES (figura 2), quando la facility non sarà ancora completa.

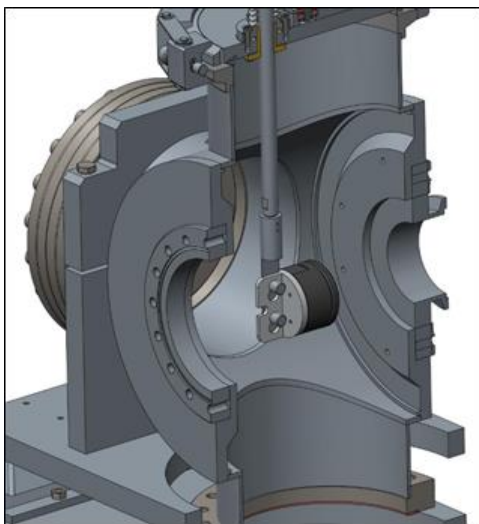


Fig. 2: Sistema per la raccolta di piccole quantità di radioisotopi

Bibliografia

- [1] C. Todesco, Sviluppo di un processo farmaceutico per la produzione di ^{131}I e ^{125}I con tecnologia ISOL, Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea A.A. 2015/2016.
- [2] E. Vettorato, Studio dello scambiatore ionico sodico nonatitanato per la purificazione di un radiofarmaco a base di ^{90}Y dal contaminante ^{90}Sr , prodotto con tecnologia ISOL, Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea, A.A. 2015/2016.
- [3] K. Kopka, Radiopharmaceutical Chemistry between Imaging and Endoradiotherapy, www.mdpi.com/journal/pharmaceuticals, 2014.
- [4] I. Kuroda, Effective use of Strontium-89 in osseous metastases, *Ann Nucl Med*, 2012.
- [5] A. Wyszomirska, Iodine-131 for therapy of thyroid diseases. Physical and biological basis, *Nuclear Med Rev*, 15,2, 120-123, 2012.
- [6] M. Welch e C. S. Redvanly, Handbook of Radiopharmaceuticals and Applications, Chichester (Eng): Wiley and Sons Ltd, 2003.
- [7] F. Azaiez, A. Bracco, J. Dobeš e et al., Nuclear Physics for Medicine, NuPECC, 2014.
- [8] F. Borgna, Potenzialità della tecnologia Isotope Separation On-Line (ISOL) per la realizzazione di un radiofarmaco a base di ^{89}Sr e preliminare sviluppo tecnologico della forma farmaceutica, Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea Magistrale A.A. 2013-2014.
- [9] M. Ballan, Progettazione e test di componenti e sistemi per l'operazione e la sicurezza del sistema target-sorgente del progetto SPES, Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea Specialistica A.A. 2013-2014.
- [10] A. Dott. Mandal, Cronologia di Medicina Nucleare, *News medical life sciences*, 2015.
- [11] F. Borgna, M. Ballan, S. Corradetti e et. al., «A preliminary study for the production of high specific activity radionuclides for nuclear medicine obtained with the isotope separation on line technique,» *Elsevier*, n. 127, pp. 214-226, 2017.
- [12] L. Martin, Progettazione Meccanica delle Box di Diagnostica del Front-End del Progetto SPES, Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea Magistrale A.A. 2014-2015.
- [13] G. Petrucci, «Lezioni di Costruzione di Macchine».
- [14] B. Atzori, Appunti di Costruzione di Macchine, Padova: Cortina, 2001.
- [15] M. Manzolaro, Analisi termica e strutturale del bersaglio diretto per la produzione di fasci radioattivi per il progetto SPES, Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea Specialistica a.a. 2006-2007.
- [16] G. Diavola, Fasci di ioni radioattivi ai laboratori nazionali del sud dell'INFN: il progetto EXCYT, Il Saggiatore, 1999.
- [17] I.N.F.N., «LNL-INFN Il Progetto SPES,» [Online]. Available: <https://web.infn.it/spes/>.

- [18] M. Lindroos, Review of ISOL-type radioactive beam facilities, EPAC, 2004.
- [19] EURISOL-GANIL, «Ganil-The Eurosol project,» [Online]. Available: http://www.ganil-spiral2.eu/eurisol-us?set_language=en.
- [20] A. Andrighetto e al., The SPES Project At LNL, AIP (American Institute of Physics), 2009.
- [21] G. Menegetti, M. Manzolaro e A. Andrighetto, Design of the SPES Target Heating System: theoretical analyses and comparison with experimental data, TCN CAE, 2008.
- [22] M. Deicher, Radioactive isotopes in solid state physics, Vol.33 No 3, Europhysics News, 2002.

APPENDICE A

Tavole costruttive della Camera Target Secondario

APPENDICE B

Tavole costruttive del Sistema di Movimentazione

APPENDICE C

Tavole costruttive del Sistema per la raccolta di piccole quantità di radioisotopi

APPENDICE D

Simulazione della schermatura della Camera Target Secondario

In seguito vengono presentati i risultati delle analisi preliminari condotte da ing. Michele Ballan (LNL-INFN), per il calcolo della dose equivalente di radiazioni presente attorno alla Camera Target, al fine di valutare l'efficacia della schermatura in tungsteno e di confrontare la differenza fra l'utilizzo dell'acciaio oppure della lega di Alluminio per il corpo esterno della capsula.

Le analisi sono state condotte con il software FLUKA (*FLUktuierende KAskade*), che è un codice Monte Carlo totalmente integrato per la simulazione del trasporto e interazione con la materia di particelle elementari e nuclei, sviluppato da INFN e CERN.

Le simulazioni prevedono uno scenario in cui la stessa Camera Target viene irraggiata per 3 giorni di seguito, depositando un'attività di 1,46 Ci di ^{64}Cu , quantità sufficiente a trattare almeno 20/30 pazienti. L'isotopo ^{64}Cu è stato scelto perché il più critico tra quelli che verranno prodotti nell'ottica del progetto SPES-ISOLPHARM. Tale radioisotopo è teragnostico, per cui esso emette sia radiazioni β^- impiegate nella terapia sia radiazioni γ utilizzate nella diagnosi dei tumori.

Le simulazioni condotte hanno analizzato 3 configurazioni della Camera Target:

- Versione 1: Il primo Concept della Camera Target
- Versione 2: Camera Target con il corpo esterno in AISI 316L
- Versione 3: Camera Target con il corpo esterno in lega di Alluminio

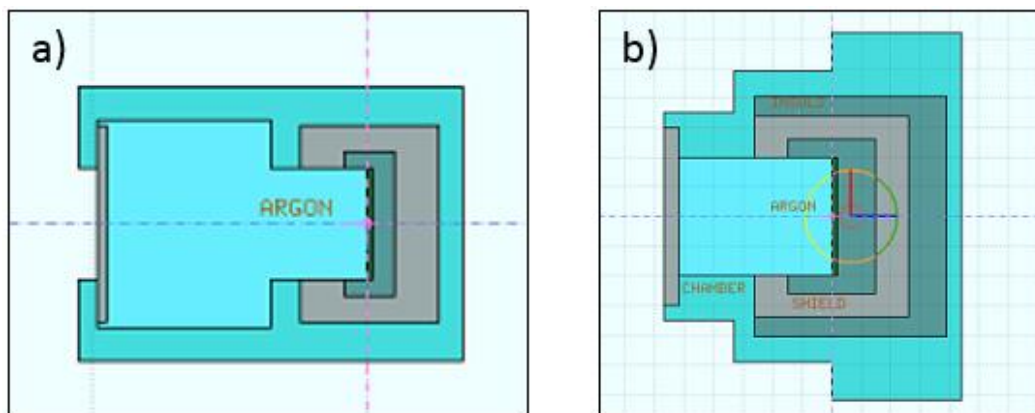


Fig. D.1: a) Geometria Versione 1. b) Geometria Versione 2 e 3

Per capire come ogni singola particella depositata distribuisce la dose radioattiva che genera vengono illustrate nelle figure D.2, D.3 e D.4, i plot in scala a colori di dose radioattiva (pSv/particella depositata), nella sezione longitudinale della Camera Target (piano z-x). Lo zero corrisponde alla faccia del disco dove sono depositate le particelle.

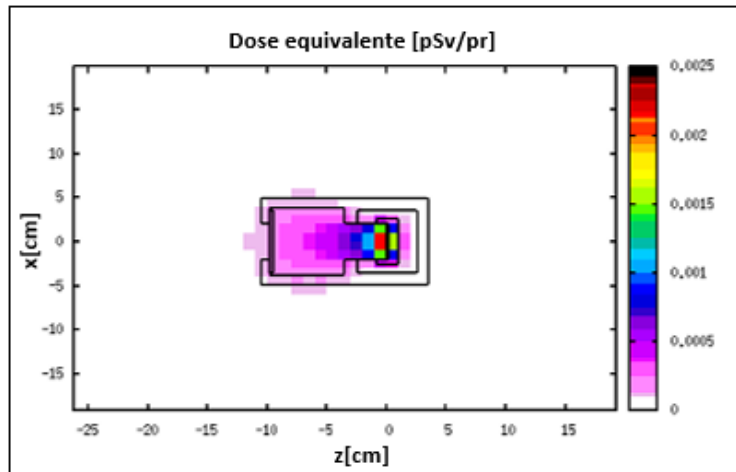


Fig. D.2: Dose equivalente [pSv/pr] per la Versione 1

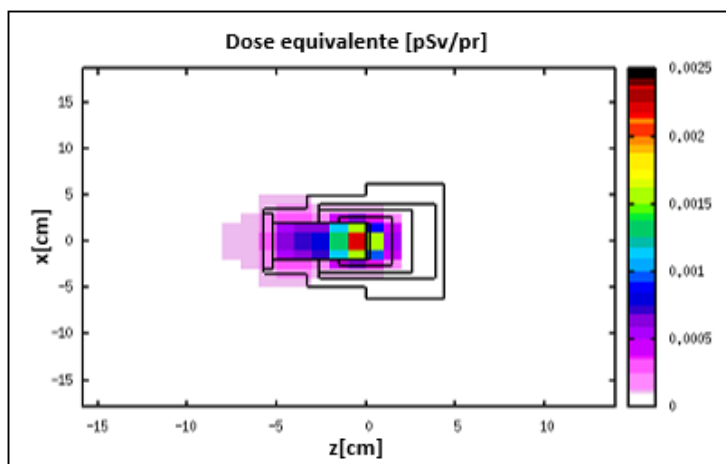


Fig. D.3: Dose equivalente [pSv/pr] per la Versione 2

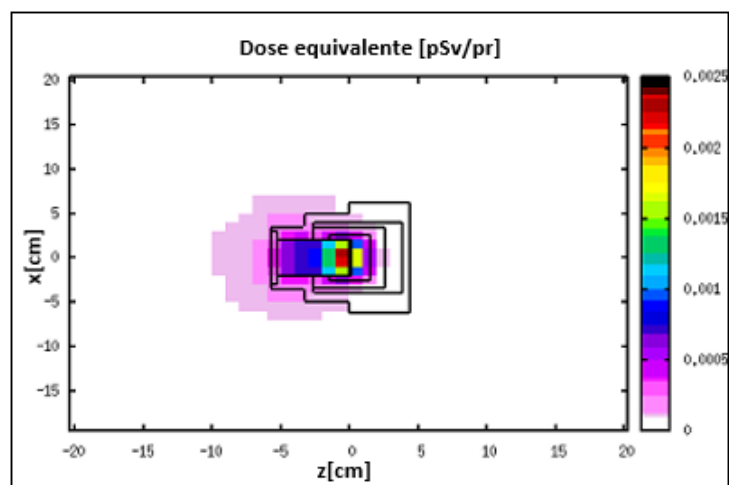


Fig. D.4: Dose equivalente [pSv/pr] per la Versione 3

Nel successivo grafico vengono raccolti i risultati finali delle simulazioni condotte:

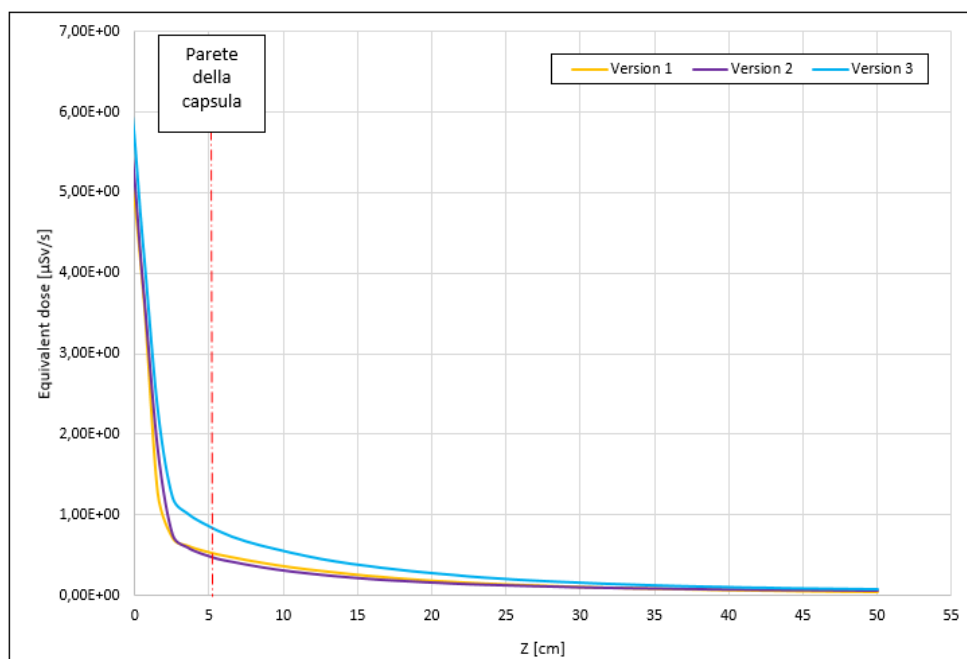


Fig. D.5: Grafico dei risultati delle simulazioni

Il grafico di figura D.5 illustra l'andamento della dose equivalente lungo l'asse z, ossia l'asse coincidente con la direzione del fascio. La parte rappresentata corrisponde a quella posteriore della capsula, ponendo lo 0 in corrispondenza della faccia irraggiata del disco target. Tale parte è stata scelta visto che l'operatore interviene posteriormente alla Camera Target nel momento della sostituzione di quest'ultima. Si nota facilmente come ad una distanza di 50mm dalla superficie di deposizione del disco bersaglio, la dose equivalente di radiazione è 0,8 pSv/s per la versione 3 con il corpo della camera in lega di Alluminio. Nel caso in cui l'operazione di intervento per la sostituzione della capsula fosse di 30 secondi, l'operatore prenderebbe una dose equivalente di 24 µSv (in corrispondenza delle mani). Essendo la dose di esposizione totale per gli addetti che operano nel campo radioattivo di 20 mSv/anno, risulta che l'operatore potrebbe realizzare 833 interventi al Sistema Target di Raccolta.

I risultati presentati sono frutto di uno studio qualitativo che mostra come non c'è una netta differenza tra l'utilizzo dell'acciaio oppure della lega di alluminio per il corpo esterno della capsula. Per quanto riguarda i livelli di radiazione in uscita della Camera Target e del giusto spessore di tungsteno da impiegare, si rimanda ad uno studio approfondito di radioprotezione. Sulla base di questi dati, si consiglia l'utilizzo della lega di Alluminio per il corpo esterno della Camera Target, al fine di alleggerire la struttura.

APPENDICE E

Estratto dall'Allegato IV della D.Lgs. 230: Limiti di dose

ALLEGATO IV

DETERMINAZIONE, AI SENSI DELL'ARTICOLO 96, DEI LIMITI DI DOSE PER I LAVORATORI, PER GLI APPRENDISTI, GLI STUDENTI E GLI INDIVIDUI DELLA POPOLAZIONE NONCHÉ DEI CRITERI DI COMPUTO E DI UTILIZZAZIONE DELLE GRANDEZZE RADIOPROTEZIONISTICHE CONNESSE.

0. Definizioni

Ai fini del presente allegato valgono, oltre a quelle di cui al Capo II, le definizioni di cui ai paragrafi seguenti.

0.1. Dose equivalente. Fattori di ponderazione delle radiazioni

0.1.1. La dose equivalente $H_{T,R}$ nel tessuto o nell'organo T dovuta alla radiazione R è data da:

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$$

dove:

$D_{T,R}$ è la dose assorbita media nel tessuto o nell'organo T, dovuta alla radiazione R;
 w_R è il fattore di ponderazione per la radiazione R, che dipende dal tipo e dalla qualità del campo di radiazioni esterno, oppure dal tipo e dalla qualità delle radiazioni emesse da un radionuclide depositato all'interno dell'organismo.

0.1.2. I valori del fattore di ponderazione delle radiazioni w_R sono i seguenti:

Fotoni, tutte le energie		1
Elettroni e muoni, tutte le energie		1
Neutroni con energia	< 10 keV	5
	con energia 10 keV - 100 keV	10
	con energia > 100 keV - 2 MeV	20
	con energia > 2 MeV - 20 MeV	10
	con energia > 20 MeV	5
Protoni, esclusi i protoni di rinculo, con energia > 2 MeV		5
Particelle alfa, frammenti di fissione, nuclei pesanti		20.

0.1.3. Quando il campo di radiazioni è composto di tipi ed energie con valori diversi di w_R , la dose equivalente totale, H_T , è espressa da:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

0.1.4. Per esprimere la dose equivalente totale in modo alternativo, la dose assorbita può essere espressa come distribuzione continua di energia, in cui ciascun elemento della dose assorbita, dovuto ad un'energia compresa tra E ed E + dE, va moltiplicato per il valore di w_R ricavato dal paragrafo 0.1.2 o, nel caso dei neutroni, come approssimazione della funzione continua di cui al paragrafo 0.1.5, integrando sull'intero spettro di energia.

0.1.5. Per i neutroni, ove sorgano difficoltà nell'applicazione dei valori a gradino riportati nel paragrafo 0.1.2, possono essere utilizzati i valori risultanti dalla funzione continua descritta dalla seguente relazione:

$$w_R = 5 + 17 \exp(-(\ln 2E)^2/6)$$

dove E è l'energia del neutrone espressa in MeV.

0.1.6. Per i tipi di radiazioni e per le energie non comprese nella tabella si può ottenere un valore approssimato di w_R calcolando il fattore di qualità medio \bar{Q} , definito nel paragrafo 04, lettera b), ad una profondità di 10 mm nella sfera ICRU di cui al paragrafo 0.4, lettera j).

0.1.7. Il fattore di qualità Q è una funzione del trasferimento lineare di energia non ristretto L_∞ , di cui al paragrafo 0.4, lettera a), impiegato per la ponderazione delle dosi assorbite in un punto al fine di tener conto della qualità della radiazione.

0.2. Dose efficace

0.2.1. La dose efficace è definita come somma delle dosi equivalenti ponderate nei tessuti ed organi del corpo causate da irradiazioni interne ed esterne ed è data da:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

dove:

H_T è la dose equivalente nell'organo o tessuto T;

w_T è il fattore di ponderazione per l'organo o il tessuto T;

w_R è il fattore di ponderazione per la radiazione R;

$D_{T,R}$ è la dose assorbita media, nel tessuto o nell'organo T, dovuta alla radiazione R.

0.2.2. I valori del fattore di ponderazione w_T per i diversi organi o tessuti sono i seguenti:

Gonadi	0,20
Midollo osseo (rosso)	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
Rimanenti organi o tessuti	0,05.

0.2.3. I valori dei fattori di ponderazione w_T , determinati a partire da una popolazione di riferimento costituita di un ugual numero di persone di ciascun sesso e di un'ampia gamma di età si applicano, nella definizione della dose efficace, ai lavoratori, alla popolazione e ad entrambi i sessi.

0.2.4. Ai fini del calcolo della dose efficace, per rimanenti organi e tessuti s'intendono: ghiandole surrenali, cervello, vie respiratorie extratoraciche, intestino tenue, reni, tessuto muscolare, pancreas, milza, timo e utero.

0.2.5. Nei casi eccezionali in cui un unico organo o tessuto tra i rimanenti riceva una dose equivalente superiore alla dose più elevata cui è stato sottoposto uno qualsiasi dei dodici organi per cui è specificato il fattore di ponderazione, a tale organo o tessuto si applica un fattore di ponderazione specifico pari a 0,025 e un fattore di ponderazione di 0,025 alla media della dose negli altri rimanenti organi o tessuti come definiti sopra.

0.3. Definizione di particolari grandezze dosimetriche. Sfera ICRU

a) Trasferimento lineare di energia non ristretto (L_∞): grandezza definita dalla formula $L_\infty = dE/dl$, in cui dE è l'energia media ceduta dalla particella carica nell'attraversamento della distanza dl . Nel presente allegato il mezzo attraversato è l'acqua e L_∞ è indicato come L .

b) Fattore di qualità medio \bar{Q} : valore medio del fattore di qualità in un punto del tessuto quando la dose assorbita è impartita da particelle aventi diversi valori di L . Tale fattore è calcolato secondo la relazione

$$\bar{Q} = \frac{1}{D} \int_0^{\infty} Q(L)D(L)dL$$

dove $D(L)dL$ è la dose assorbita a 10 mm di profondità nell'intervallo di trasferimento lineare di energia L e $L + dL$, $Q(L)$ è il fattore di qualità in tale punto. La relazione tra il fattore di qualità, $Q(L)$, ed il trasferimento lineare non ristretto di energia L in keV μm^{-1} nell'acqua è riportata di seguito:

L (keV· μm^{-1})	Q(L)
< 10	1
10-100	0,32·L- 2,2
> 100	300/ \sqrt{L} .

c) Fluenza Φ : quoziente di dN diviso per da , $\Phi = dN/da$, in cui dN è il numero di particelle che entrano in una sfera di sezione massima da ;

d) Campo espanso: un campo derivato dal campo di radiazioni reale, in cui la fluenza e le distribuzioni direzionale e di energia hanno valori identici, in tutto il volume interessato, a quelli del campo reale nel punto di riferimento;

e) Campo espanso e unidirezionale: campo di radiazioni in cui la fluenza e la distribuzione d'energia sono uguali a quelle del campo espanso, ma la fluenza è unidirezionale;

f) Equivalente di dose ambientale $H^*(d)$: equivalente di dose in un punto di un campo di radiazioni che sarebbe prodotto dal corrispondente campo espanso e unidirezionale nella sfera ICRU a una profondità d , sul raggio opposto alla direzione del campo unidirezionale; l'unità di misura dell'equivalente di dose ambientale è il sievert;

g) Equivalente di dose direzionale $H'(d, \Omega)$: equivalente di dose in un punto di un campo di radiazioni che sarebbe prodotto dal corrispondente campo espanso, nella sfera ICRU, a una profondità d , su un raggio in una determinata direzione Ω ; l'unità di misura dell'equivalente di dose direzionale è il sievert;

h) Equivalente di dose personale $H_p(d)$: equivalente di dose nel tessuto molle, ad una profondità appropriata d , al di sotto di un determinato punto del corpo; l'unità di misura dell'equivalente di dose personale è il sievert;

i) Energia potenziale alfa (dei prodotti di decadimento del ^{222}Rn e del ^{220}Rn): l'energia totale alfa emessa durante il decadimento dei discendenti del ^{222}Rn fino al ^{210}Pb escluso e durante il decadimento dei discendenti del ^{220}Rn fino al ^{208}Pb stabile. L'unità di misura dell'energia potenziale alfa è il joule (J); l'unità di esposizione a una data concentrazione in un determinato periodo di tempo, è il Jhm^{-3} .

j) Sfera ICRU: corpo introdotto dalla ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) allo scopo di riprodurre approssimativamente le caratteristiche del corpo umano per quanto concerne l'assorbimento di energia dovuto a radiazioni ionizzanti; esso consiste in una sfera di 30 cm di diametro costituita da materiale equivalente al tessuto con una densità di $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ e la seguente composizione di massa: 76,2 % di ossigeno, 11,1 % di carbonio; 10,1 % di idrogeno e 2,6 % di azoto;

k) Concentrazione di energia potenziale alfa in aria: somma dell'energia potenziale alfa di tutti i prodotti di decadimento a breve tempo di dimezzamento del ^{222}Rn o del ^{220}Rn presenti nell'unità di volume di aria. L'unità di misura della concentrazione di energia potenziale alfa è il $\text{J}\cdot\text{m}^{-3}$;

l) Concentrazione equivalente all'equilibrio in aria (di una miscela non in equilibrio dei prodotti di decadimento a breve tempo di dimezzamento del ^{222}Rn o del ^{220}Rn): concentrazione in aria del ^{222}Rn o del ^{220}Rn in equilibrio radioattivo con i relativi prodotti di decadimento a breve tempo di dimezzamento che ha la stessa concentrazione di energia potenziale alfa della miscela non in equilibrio dei prodotti di decadimento del ^{222}Rn o del ^{220}Rn .

1. Limiti di dose efficace per i lavoratori esposti

1.1. Il limite di dose efficace per i lavoratori esposti è stabilito in 20 mSv in un anno solare.

2. Limiti di dose equivalente per particolari organi o tessuti per i lavoratori esposti

2.1. Per i lavoratori esposti, fermo restando il rispetto del limite di cui al paragrafo 1, devono altresì 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 cm², indipendentemente dalla superficie esposta;
- c) 500 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie.

APPENDICE F

Datasheet ed estratti da Cataloghi

F.1 Maniglia Elesa



GN 565 - GN 565.1 - GN 565.5

Maniglie

Alluminio o acciaio INOX

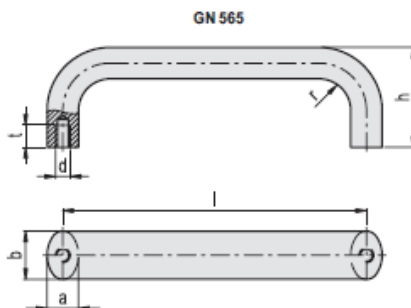


ESECUZIONI STANDARD

- **GN 565:** alluminio, barra a sezione ovale.
Fori ciechi filettati.
- **GN 565.1:** alluminio, barra a sezione ovale.
Fori passanti per viti a testa cilindrica con cava esagonale.
- **GN 565.5-A:** acciaio INOX AISI 304, barra a sezione ovale, finitura mat da sabbatura.
Fori ciechi filettati.
- **GN 565.5-B:** fusione in acciaio INOX AISI CF-8, finitura mat da sabbatura.
Fori passanti per viti a testa cilindrica con cava esagonale.
Suffissi finitura per GN 565 e GN 565.1:
- **BL:** alluminio naturale;
- **EL:** alluminio anodizzato, naturale, finitura mat.
- **SW:** alluminio con rivestimento resina epossidica, colore nero RAL 9005, finitura mat;

ESECUZIONI SPECIALI A RICHIESTA

- GN 565.5-A-GP:** fusione INOX, finitura lucida.
Lunghezze e colori diversi.



GN 565

Codice BL	Codice EL	Codice SW	Descrizione	b	h±0.25	d	a	h	r	trm	Δ
GN.27091	GN.27131	GN.27092	GN 565-20-100-*	20	100	M6	13	49	13	10	87
GN.27095	GN.27132	GN.27096	GN 565-20-112-*	20	112	M6	13	49	13	10	97
GN.27070	GN.27071	GN.27072	GN 565-20-117-*	20	117	M6	13	49	13	10	100
GN.27073	GN.27074	GN.27075	GN 565-20-120-*	20	120	M6	13	49	13	10	105
GN.27101	GN.27133	GN.27102	GN 565-20-128-*	20	128	M6	13	51	13	10	107
GN.27105	GN.27134	GN.27106	GN 565-20-160-*	20	160	M6	13	51	13	10	127
GN.27161	GN.27162	GN.27163	GN 565-20-180-*	20	180	M6	13	51	13	10	138
GN.27164	GN.27165	GN.27166	GN 565-20-200-*	20	200	M6	13	51	13	10	150
GN.27167	GN.27168	GN.27169	GN 565-20-235-*	20	235	M6	13	51	13	10	172
GN.27107	GN.27141	GN.27108	GN 565-26-112-*	26	112	M8	17	55	17	12	160
GN.27076	GN.27077	GN.27078	GN 565-26-117-*	26	117	M8	17	55	17	12	166
GN.27079	GN.27080	GN.27081	GN 565-26-120-*	26	120	M8	17	55	17	12	170
GN.27082	GN.27083	GN.27084	GN 565-26-125-*	26	125	M8	17	55	17	12	178
GN.27109	GN.27142	GN.27110	GN 565-26-128-*	26	128	M8	17	55	17	12	183
GN.27111	GN.27143	GN.27112	GN 565-26-160-*	26	160	M8	17	57	17	12	211
GN.27085	GN.27086	GN.27087	GN 565-26-179-*	26	179	M8	17	57	17	12	230
GN.27115	GN.27144	GN.27116	GN 565-26-192-*	26	192	M8	17	57	17	12	245
GN.27121	GN.27145	GN.27122	GN 565-26-300-*	26	300	M8	17	57	17	12	350
GN.27125	GN.27146	GN.27126	GN 565-26-400-*	26	400	M8	17	57	17	12	445
GN.27088	GN.27089	GN.27090	GN 565-26-500-*	26	500	M8	17	57	17	12	538

292

* Completare aggiungendo il suffisso del tipo di finitura BL (naturale), EL (anodizzato) o SW (nero).



Proprietà dei modelli riservata ai fornitori di legge. Disegni e immagini non riproducibili se non citando la fonte.

Settembre 2016



F.2 Anelli d'arresto

ANELLI D'ARRESTO

ANELLI AUTOBLOCCANTI PER ALBERI E FORI SENZA GOLA

G



**ANELLI
AUTOBLOCCANTI TIPO G**

Vengono utilizzati per il montaggio su alberi lisci senza gole. Avendo grande larghezza radiale e notevole spessore, sono in grado di sostenere spinte assiali relativamente elevate. Questi anelli sono gli unici auto-bloccanti facilmente montabili e smontabili.

ZA



ZJ



**ANELLI
AUTOBLOCCANTI TIPO Z**

Per alberi e per fori, hanno piccola larghezza radiale e spessori inferiori rispetto agli altri anelli auto-bloccanti. Sostengono forze assiali relativamente basse ed è indispensabile che il materiale dell'albero o del foro abbia durezza inferiore a quella dell'anello.

ST



ANELLI TIPO ST

Sono anelli a montaggio radiale, che vengono prodotti soltanto per alberi di piccolo diametro. A causa della loro elevata rigidità, dovuta alla notevole larghezza radiale, si bloccano sul fondo della gola con forza considerevole.

D



**ANELLI
AUTOBLOCCANTI TIPO D**

Hanno una forma arcuata e vengono montati su alberi lisci, senza cave, spingendoli assialmente in modo tale da provocare il cedimento elastico delle linguette. Quando viene esercitata una spinta in senso contrario, esse incidono l'albero e l'anello si blocca. L'albero deve pertanto avere una durezza inferiore a quella dell'anello.

ANELLI A MONTAGGIO RADIALE

RA



**ANELLI TIPO RA
DIN 6799 (UNI 7434)**

Sono gli anelli per gli alberi a montaggio radiale più largamente utilizzati. Per consentire razionali possibilità in grande quantità, possono essere forniti per l'utilizzo degli apparecchi distributori.

S



ANELLI TIPO ST

Sono composti da due parti uguali accoppiabili e vengono montati radicalmente. A causa della loro forma sono equilibrati e pertanto sono gli anelli più adatti per montaggio su alberi rotanti ad alto numero di giri.

KS



**ANELLI AUTOBLOCCANTI
TIPO KS**

Presentano caratteristiche di montaggio simili a quelle del tipo D, hanno contorno circolare con grande larghezza radiale e sono in grado di sostenere forze assiali relativamente elevate.

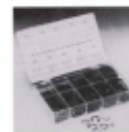
H



ANELLI TIPO H

Sono gli unici anelli a montaggio radiale dotati di elevata elasticità. Da questo deriva un angolo di avvolgimento della gola relativamente grande. La larghezza radiale dello sballamento è inferiore rispetto agli anelli RS e ST.

SORT RA

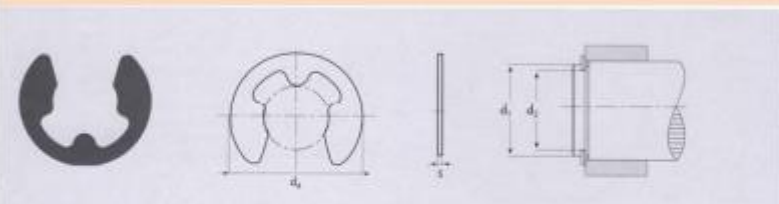


**CASSETTA
ASSORT. RA**

Contiene gli anelli tipo RA di maggiore utilizzo.

ANELLI D'ARRESTO

ANELLI TIPO RA **DIN 6799**
UNI 7434

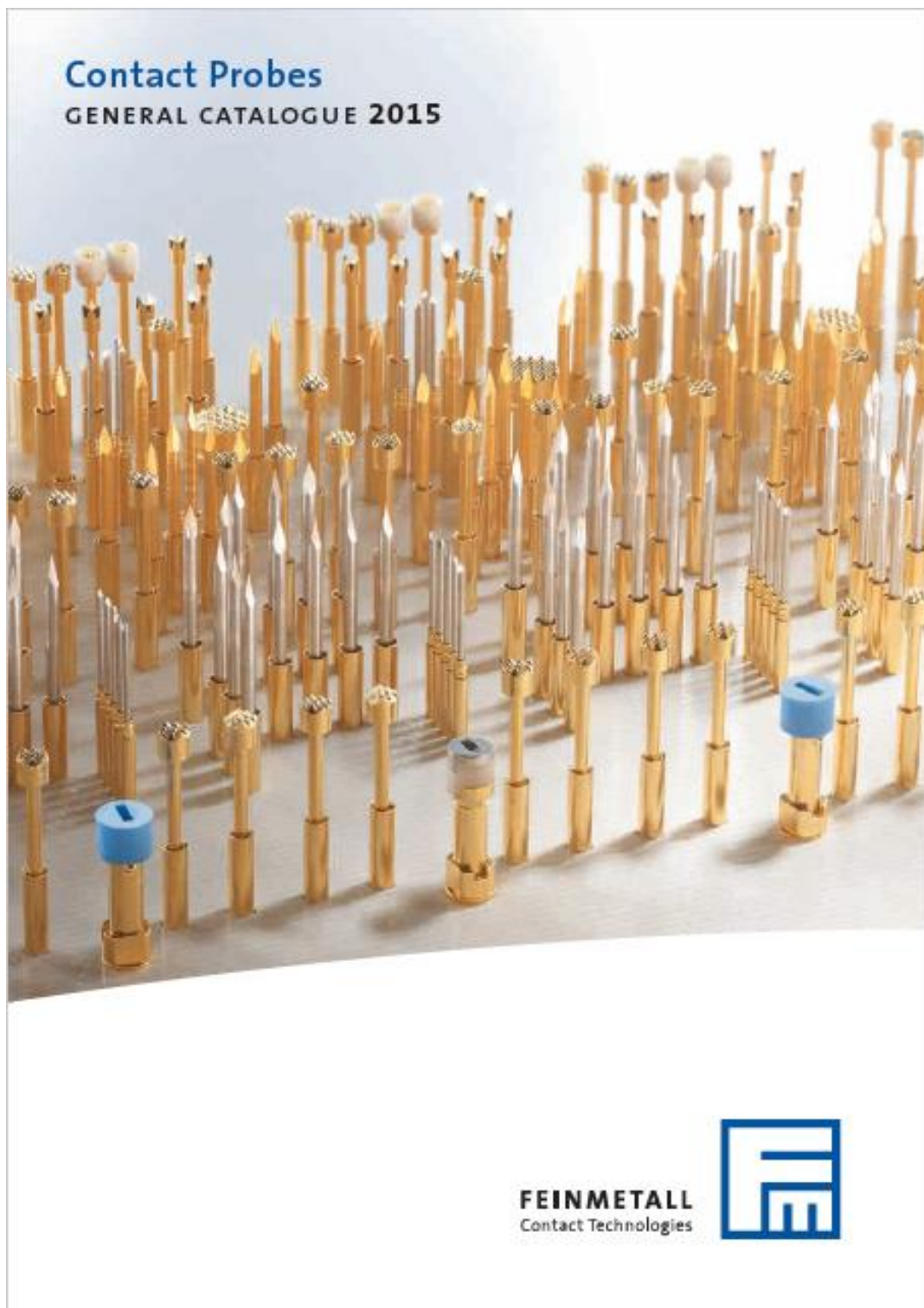


ES.COD.Ø5 = RA5

MATERIALE
Acciaio per molle
TRATTAMENTO
SUPERFICIALE
Fosfatati ed oliati
Bruniti ed oliati

TIPO	CONFEZIONE	DIMENSIONI				TIPO	CONFEZIONE	DIMENSIONI			
d_2	STANDARD	s	d_1	$d_1 \pm$	$d_2 \pm$	d_2	STANDARD	s	d_1	$d_1 \pm$	$d_2 \pm$
WA-RA 0,8						RA 8	2.000	1,0	9,0	12,0	15,75
RA 1,2	10.000	0,3	1,4	2,0	2,90	RA 9	1.000	1,1	10,0	14,0	18,20
RA 1,5	10.000	0,4	2,0	2,5	3,90	RA 10	1.000	1,2	11,0	15,0	19,70
RA 1,9	10.000	0,5	2,5	3,0	4,40	RA 12	1.000	1,3	13,0	18,0	22,70
RA 2,3	5.000	0,6	3,0	4,0	5,90	RA 15	500	1,5	16,0	24,0	28,70
RA 3,2	5.000	0,6	4,0	5,0	6,90	RA 19	250	1,75	20,0	31,0	36,50
RA 4	5.000	0,7	5,0	7,0	8,85	RA 24	250	2,0	25,0	38,0	43,50
RA 5	2.500	0,7	6,0	8,0	10,85						
RA 6	2.500	0,7	7,0	9,0	11,80						
RA 7	2.500	0,9	8,0	11,0	13,80						

F.3 Contatti elettrici a molla



Tip Styles

						
01 Conical Shaft 90°	02 Conical Head 90°	03 Conical Shaft 60°	04 Conical Head 60°	05 Concave	06 Serrated Head	07 Hexagonal Head 90°
						
08 Hexagonal Head 60°	09 Inverted Hexagonal Crown 120°	10 Flexible Needle	11 Spherical Shaft	12 Spherical Head	14 4-Point Crown Head (self cleaning)	15 Triangular Head 60°
						
16 Flat Shaft	17 Flat Head	18 Conical Shaft 30°	20 4-Point Crown Head (apex)	21 4-Point Crown Shaft (self cleaning)	27 Conical Head 120°	28 4-Point Crown Head
						
29 4-Point Crown Shaft	30 Triangular Shaft 60°	32 Rigid Needle 10°	33 Lance Shaft 38°	34 Rigid Needle Head 15°	35 3-Point Crown (apex)	36 4-Point Crown Head with middle pin
						
37 4-Point Crown (apex)	38 Lance Shaft 140°	39 Conical Shaft 30° (flat)	40 4-Point Crown Shaft	41 4-Point Crown Head (self cleaning)	42 5-Point Crown Head	43 Lance Shaft 90°
						
45 Conical Head 120° (with eccentric cut)	46 W-Profile	50 Concave Head (with drill hole)	55 Concave (self cleaning)	60 3-Point Crown (induced)	61 Head for Multipoint Connectors (female)	62 Triangular Shaft 30°
						
63 4-Point Crown Head (self cleaning)	64 Serrated Head (induced)	65 Reduced Rigid Needle	NEW 66 Serrated Head (self cleaning)	NEW 68 4-Point Crown Head with middle pin	80 Reduced Spade	81 Reduced Spad (apex)
						
82 Spade Shaft	83 Spade Head	84 Spade Head (apex)	85 Square Spade	86 Asymmetric Spade	89 Special Spade Variant	90 Ball Head

Special Versions

						
(17)H H = Synthetic Head with Ring	(17)T T = Insulated BeCu Head	C C = High Current (Groove Mark)	SP SP = Step Probe	PT PT = Position Test	IK IK = Insulating Cap	IP IP = Insulated Pin

6

Specifications subject to change without notice

ICT/FCT Probes



F796

Long Travel Probe 138 mil Robust Version

Centers (mm/mil)	3,50 / 138
Current	10,0 A
Temperature	-20°C...+80°C
R typically	25 mOhm

Spring Force (cN ±20%)

Version	Preload	Nominal
standard	80	300

Travel (mm)

Version	Nominal	Maximum
standard	8,0	10,0
Pointing Accuracy	±0,13 mm	

Materials and Plating

Plunger	see tip style
Barrel	Bronze, gold plated
Spring	Music wire, silver plated
Receptacle	Nickel silver, Gold plated

Accessories

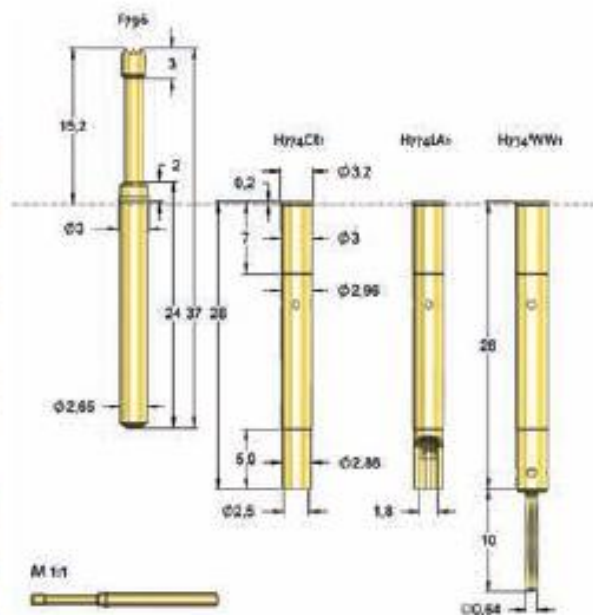
Insertion tool receptacle	FEWZ-774ED
Insertion tool probe	FDWZ-300
Spacers	see page 30

Drill Size (mm)

H774	2,98 - 2,99
------	-------------

Projection Height (mm)

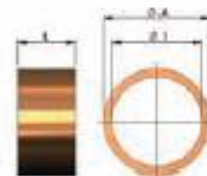
H774	15,2
------	------



The F796 is the long travel version of the F773. These probes can be combined well in dual stage fixtures.

Spacers H773 for 138 mil Probes

Order Code	Outer-Ø	Inner-Ø	length
H773DS/01	3,2	2,7	0,1
H773DS/05	3,2	2,7	0,5
H773DS/10	3,2	2,7	1,0
H773DS/20	3,2	2,7	2,0
H773DS/30	3,2	2,7	3,0
H773DS/50	3,2	2,7	5,0



Type	Tip-Ø	Spring Force
F796	06 B 230 G	300
Tip style	Horizontal	Front
Material	B = BeCu	Special Version
Tip-Ø	200 = 2.0 mm (øg)	
Finish	G = Gold	
Receptacle	Order Code according drawing	

ORDER EXAMPLE

Tip Style	Number	Material	Plating	Ø in mm	Version
	06	B	G	2,30	-
	11	B	G	1,75	-
	12	B	G	2,30	-
	14	B	G	2,30	-

F.4 Passanti da vuoto

CCORDERIA E FLESSIBILI...
REZZA PER SOVRAPRESSIONE SEZIONE 15: CAMERE DA VUOTO...
METALLICHE SECTION 1: TRAVERSÉES SUB-D CONNECTEURS CÂBLES ET PINS SECTION 4
ERSÉES COAXIALES BNC SMA SMA-18GHZ MHV SAFE HIGH VOLTAGE (SHV) TYPE N MICR
MULTI-CONDUCTEURS AVEC PRISES ISOLANTS CÉRAMIQUES SECTION 5: TRAVERSÉES THER
DE CÂBLES CONNECTEURS ET OUTILS SECTION 7: HUBLOTS ET FIBRES OPTIQUES POUR L
RSÉES DE ROTATION ET TRANSLATION MANIPULATEURS XYZ MOTEURS SOUS VIDE SECTI
XIBLES SECTION 12: BRIDES ET RACCORDS KF CONNECTEURS FLEXIBLES SECTION 13:
S DE RUPTURE SECTION 15: CHAMBRES À VIDE ET ULTRA-VIDE FABRICATIONS SPÉCIALES
RCHFÜHRUNGEN STECKER PINS UND KABEL KAPITEL 2: CIRCULAR MINIATURE (CM) DU
VERSIONEN MIT STECKER ISOLIER-ZWISCHENSTÜCKE KAPITEL 5: THERMOELEMENT DURC
KAPITEL 6: IN-VAKUUM KAPTON DRÄHTE KABEL STECKER UND WERKZEUGE KAPITEL 7: S
KUUM VENTILE KAPITEL 9: LINEARDURCHFÜHRUNGEN DREHDURCHFÜHRUNGEN XYZ-MI
KAPITEL 11: CF FLANSCH BAUTEILE UND WELLSCHLÄUCHE KAPITEL 12: KF FLANSCH
ADAPTER ZWISCHEN FLANSCHSYSTEMEN ÜBERDRUCK-BERSTSCHLEIBEN KAPITEL 15: UHV UP
UND BIMETALL FLANSCH SECTION 1: SUB-D FEEDTHROUGHS CONNECTORS PINS AN
AND MATCHING CABLES SECTION 3: CO-AXIAL BNC SMA SMA-18GHZ MHV SAFE HIG
FEEDTHROUGHS 500V TO 60KV MULTI-WAY TYPES WITH SOCKETS CERAMIC BREAKS SEC
SECTION 6: IN-VACUUM KAPTON WIRES CABLES CONNECTORS AND TOOLS SECTION
VACUUM VALVES SECTION 9: LINEAR AND ROTARY MOTION DRIVES XYZ MANIPULATO
TION 11: CF FLANGES FITTINGS AND FLEXIBLE CONNECTORS SECTION 12: KF FLANGES
14: ADAPTORS BETWEEN SERIES PRESSURE BURST DISCS SECTION 15: UHV AND HIGH VA
MILLAGGIO SEZIONE 3: PASSANTI CO-ASSIALI BNC SMA SMA-18GHZ SHV TIPO N MICR
TORI ISOLATORI CERAMICI SEZIONE 5: PASSANTI TERMOCOPPIA ALTA CORRENTE E CA
SEZIONE 7: FINESTRE E FIBRE OTTICHE DA VUOTO ED ULTRA ALTO VUOTO SEZIONE 8: VA
LATORI XYZ MOTORI A PASSO PER VUOTO SEZIONE 10: STRUMENTI DI MISURA E CONTR
ERIA E FLESSIBILI KF SEZIONE 13: FLAN
E FABBRICAZIONI SPECIALI SEZIONE 16
CULAIRES MINIATURES (CM) ET DUAL IN
IALES SECTION 4: TRAVERSÉES DE PUIS
E TENSION MIXTE FILS ÉLECTRIQUES S
E SECTION 8: VANNES POU
ONTRÔLES SECTION 11: BRI
SECTION 14: ADAPTATEUR
ALUMINIUM ET BRIDES BI-MÉ
UNGEN UND PASSENDE KABEL KAPITEL 6:
TEL 4: STROMDURCHFÜHRUNGEN 500V BIS 60KV MULTI-PIN VERSIONEN MIT STE
CHFÜHRUNGEN HOCHSTROM- UND KOMBINATIONS-VERSIONEN THERMOELEMENT-DR
KAPTON DRÄHTE KABEL STECKER UND WERKZEUGE KAPITEL 7: SICHTFENSTER UND FASERO
VAKUUM UND UHV KAPITEL 8: UHV UND HOCHVAKUUM VENTILE KA
DURCHFÜHRUNGEN DREHDURCH

alectra

HIGH VACUUM AND UHV COMPONENTS

Sub-D
1

CM-DL
F/T
2

Coax
F/T
3

Power
Hv
4

Thermo-
couple
5

Cables
Accessories
6

Weldable
Fabrication
7

Valves
8

Motion
Manipulation
9

Process
Control
10

CF
Hardware
11

KF
Hardware
12

ISO-K
Hardware
13

Adaptors
Sockets
14

HV / UHV
Chambers
15

Alloy
B-Metal
16

3.2 COAXIAL: BNC

DE: Info@allectra.com
 UK: uk@allectra.com
 F: fr@allectra.com

Standard BNC Feedthroughs, Single & Double Sided Grounded & Floating Shield / BNC Vacuum Cables

Standard BNC feedthroughs are a general purpose coaxial economic solution where defined impedance and high voltage are not required

- Up to 4 Feedthroughs fit on a 40 CF or 40 KF flange
- Single or Double Sided
- In-Vacuum cables are available for both types

General Specification 241-BNC(D)

Type	Grounded Shield BNC
Impedance	not matched
Pin-ø	2.4 mm (for single sided types)
Voltage	500V DC
Current	3A
Temp.	-200°C to 450°C
Leak rate	<5x10 ⁻¹⁰ mbar l/s
Air Side Connectors are included (for RG58 cable)	

BNC Standard Type 500V Coaxial GROUND SHIELD 1 to 4 pins SINGLE SIDED, CF and KF flanges REDUCED			
FLANGE	PINS	PART NUMBER	EURO
WELD	1	241-BNC	32,00
16CF	1	241-BNC-C16	70,00
40CF	1	241-BNC-C40	90,00
40CF	2	241-BNC-C40-2	135,00
40CF	3	241-BNC-C40-3	180,00
40CF	4	241-BNC-C40-4	225,00
16KF	1	241-BNC-K16	70,00
40KF	1	241-BNC-K40	90,00
40KF	2	241-BNC-K40-2	125,00
40KF	3	241-BNC-K40-3	180,00
40KF	4	241-BNC-K40-4	225,00
50KF	4	241-BNC-K50-4	228,00

Air side sockets are included

Weldable BNC feedthrough

BNC feedthrough on a 16CF Flange

IVCX cables fit single sided BNC feedthroughs.

In Vacuum Coax cable (IVCX) with user end.

Double Sided BNC on 16CF Flange.

241-BNCD Dimensions

Weld ø:	19 mm
In Vacuum Length	43 mm for weldable 40 mm for CF40 29 mm for CF16

BNC vacuum side connector with 50 Ohm Kapton Cable

Co-axial In-Vacuum Cables, IVCX type for SINGLE SIDED BNC			
LENGTH MM	SOCKETS	PART NUMBER	EURO
500 mm	1	380-IVCX-500	210,00
1000 mm	1	380-IVCX-1000	225,00

BNC Standard Type 500V Co-axial GROUND SHIELD 1 to 4 pins DOUBLE SIDED CF and KF flanges REDUCED			
FLANGE	PINS	PART NUMBER	EURO
WELD	1	241-BNCD	165,00
16CF	1	241-BNCD-C16	220,00
40CF	2	241-BNCD-C40-2	400,00
63CF	4	241-BNCD-C63-4	740,00
16KF	1	241-BNCD-K16	220,00
40KF	1	241-BNCD-K40	230,00

Air side sockets are included

BNC Co-axial Cable for DOUBLE SIDED types In-Vacuum Socket with Co-axial Kapton cable			
LENGTH MM	SOCKETS	PART NUMBER	EURO
NONE	SOCKET ONLY	245-CON-BNC	44,00
500 mm	1	380-BNC-MX-500	101,00
1000 mm	1	380-BNC-MX-1000	124,00
500 mm	2	380-BNC-MM-500	162,00
1000 mm	2	380-BNC-MM-1000	181,00

- 3.2 - ...BNC 50 Ohm types: Page 3.3.....High Voltage MHV Feedthroughs: Page 3.6.....

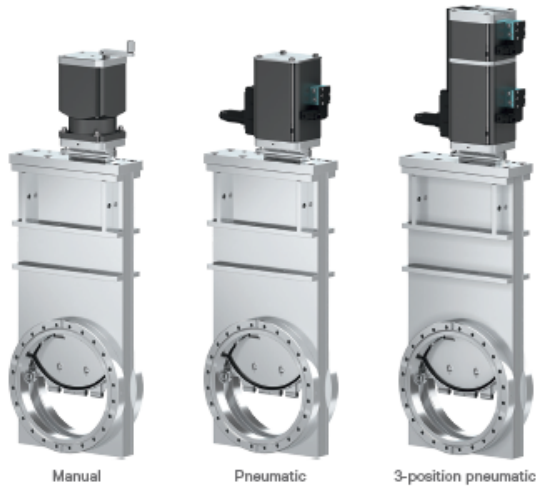
F.5 Valvole da vuoto VAT



UHV GATE VALVE, SERIES 10.8

UHV GATE VALVE, SERIES 10.8

The standard valve for UHV isolation applications in research and industry.



Free of lubricants

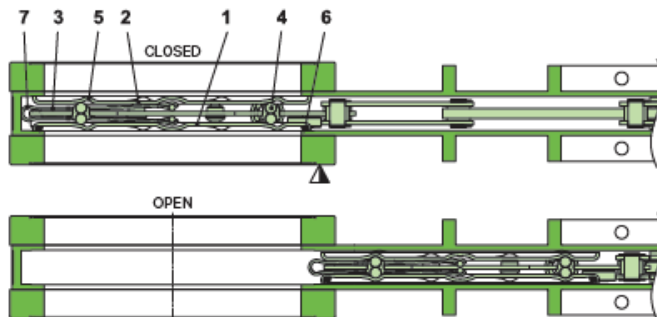
DN 63–200 with vulcanized gate seal
(see glossary)

Easy maintenance

MAIN FEATURES

Sizes	DN 63–320 mm (2½"–12")
Actuators	manual with crank handle pneumatic: double acting 3-position pneumatic: double acting
Body material	stainless steel
Feedthrough	bellows
Standard flanges	ISO-F, CF-F, ASA-LP, JIS
Sealing technology	VATLOCK (see glossary)

FUNCTIONAL PRINCIPLE



- 1 Gate
- 2 Counter-plate
- 3 Leaf springs
- 4 Ball pairs
- 5 Ball detents
- 6 Gate seal
- 7 Spring stop
- ▽ Valve seat side

UHV GATE VALVE, SERIES 10.8



TECHNICAL DATA

Leak rate	Valve body Valve seat	$< 5 \cdot 10^{-10}$ mbar ls ⁻¹ $< 1 \cdot 10^{-9}$ mbar ls ⁻¹
Pressure range	DN 63–200 DN 250–320	1–10 ⁻¹⁰ mbar to 1.6 bar (abs) 1–10 ⁻¹⁰ mbar to 1.2 bar (abs)
Differential pressure on the gate	DN 63–200 DN 250–320	≤ 1.6 bar ≤ 1.2 bar
Differential pressure at opening		≤ 30 mbar
Cycles until first service		50 000
Temperature ¹⁾	Valve body Manual actuator Pneumatic actuator Solenoid valve Position indicator	≤ 250 °C open / ≤ 200 °C closed ≤ 250 °C ≤ 200 °C ≤ 50 °C ≤ 80 °C
Heating and cooling rate		≤ 50 °C h ⁻¹
Material	Valve body Mechanism DN 63–200 DN 250–320 Bellows	AISI 304 (1.4301) AISI 316L (1.4404) AISI 304 (1.4301) AISI 316L (1.4404, 1.4435)
Seal	Bonnet Gate	metal FKM (Viton®)
Feedthrough		bellows
Mounting position		any
Solenoid valve		24 V DC, 5.4 W (others on request)
Position Indicator: contact rating	Voltage Current	≤ 50 V AC/DC ≤ 1.2 A
Valve position indication		Visual (mechanical)

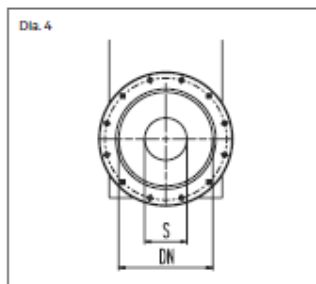
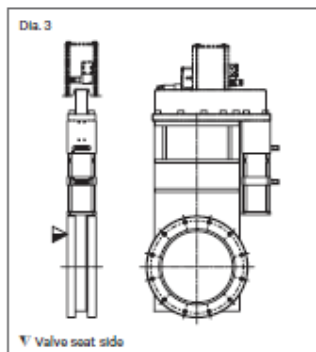
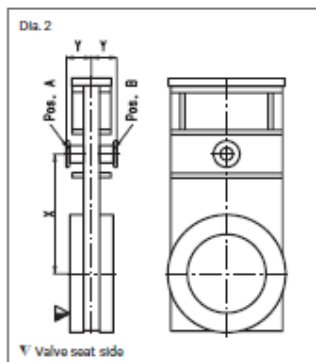
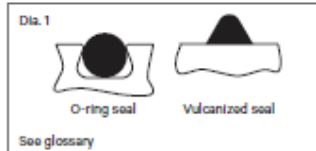
			Valve with manual actuator			Valve with pneumatic actuator ²⁾						
DN (Nominal I.D.)		Conductance (molecular flow) (depending on A-dimension and flange type)	Turns per stroke	Weight		Compressed air min. – max. overpressure		Volume of pneumatic actuator		Closing or opening time s	Weight	
mm	Inch			kg	lbs	bar	psi	l	ft ³		kg	lbs
63	2½	600	10	9	20	4–7	58–102	0.08	0.0028	1	9	20
80	3	765	10	9	20	4–7	58–102	0.08	0.0028	1	9	20
100	4	1740	13	11	24	4–7	58–102	0.11	0.0038	1.20	12	26
160	6	5880	17	16	35	4–7	58–102	0.14	0.0049	1.50	17	37
200	8	12200	17	29	64	4–7	58–102	0.25	0.0087	2	29	64
250	10	21690	40	51	112	5–7	73–102	0.35	0.0122	4	52	115
320	12	29130	45	89	196	5–7	73–102	0.48	0.0167	5	91	200

¹⁾ Maximum values: depending on operating conditions and sealing materials.

²⁾ Technical data for valve with 3-position pneumatic actuator on request.



**OPTIONS,
CUSTOMIZED SOLUTIONS**



ACTUATOR

- Solenoid valve for impulse actuation: last valve position is maintained at power failure
- Solenoid valve separate, for external mounting
- Other solenoid valve voltage (standard 24VDC)
- Manual emergency operation on solenoid valve lockable
- Double position Indicator (2 switches each for the positions «open» and «closed»)
- Bakeable position indicator: manual actuator bakeable to max. 250 °C, pneumatic actuator to max. 200 °C
- Position Indicator with change-over contact

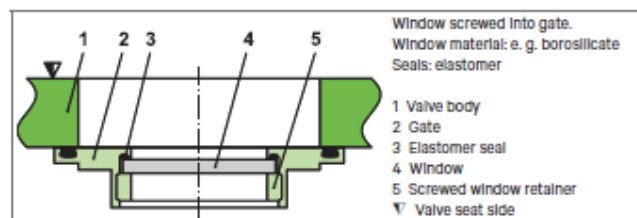
VALVE

- Customer specified flanges with/without watercooling
- Other sealing materials
- O-ring seal in gate (Dia. 1) with DN 63, 100, 160, 200 Instead of the vulcanized seal
- Ports for roughing (by-pass), venting or for gauges (Dia. 2): possible positions A and B

DN valve	mm	63	80	100	160	200	250	320
	Inch	2 1/2	3	4	6	8	10	12
Recommended port CF-F		40	40	40	40	40	40	40
X	mm	110	110	120	205	260	335	415
	Inch	4.33	4.33	4.72	8.07	10.24	13.19	16.34
Y	mm	44	64	64	64	68	62	72
	Inch	1.73	2.52	2.52	2.52	2.68	2.44	2.83

Other ports on request

- Space saving compact version: DN 200 + 250 only (Dia. 3)
- Special gate for the installation of various foils
- Window in gate (Dia. 4) with DN 63, 100, 160, 200



DN valve	mm	63	100	160	200		
	Inch	2 1/2	4	6	8		
Optically free diameter «S»	mm	40	43	68	90		
	Inch	1.57	1.69	2.67	3.54		
Thickness of glass	mm	4	4	6	6		
	Inch	0.15	0.15	0.23	0.23		

UHV GATE VALVE, SERIES 10.8



SPARE PARTS

We can offer a wide variety of spare parts. Please contact us for details and an offer.

Thank you for specifying the fabrication number of the valve indicated on the identification tag when asking for spare parts.

ACCESSORIES

- Flange connections for installation of the valve: see series 32 and 33
- Heater

ORDERING INFORMATION FOR STANDARD VALVES

Valve with manual actuator crank handle

DN		Ordering numbers				
mm	Inch	ISO-F	CF-F metric threads	CF-F UNF threads	ASA-LP	JIS
63	2 1/2	10836-PE01	10836-CE01	10836-UE01	10836-TE01	10836-JE01
80	3	10838-PE01	10838-CE01	10838-UE01	10838-TE01	10838-JE01
100	4	10840-PE01	10840-CE01	10840-UE01	10840-TE01	10840-JE01
160	6	10844-PE01	10844-CE01	10844-UE01	10844-TE01	10844-JE01
200	8	10846-PE01	10846-CE01	10846-UE01	10846-TE01	10846-JE01
250	10	10848-PE01	10848-CE01	10848-UE01	10848-TE01	10848-JE01
320	12	10850-PE01	on request	on request	10850-TE01	10850-JE01

with position indicator: 108...-E08

Valve with pneumatic actuator double acting with solenoid valve with position indicator

DN		Ordering numbers (specify control voltage)				
mm	Inch	ISO-F	CF-F metric threads	CF-F UNF threads	ASA-LP	JIS
63	2 1/2	10836-PE44	10836-CE44	10836-UE44	10836-TE44	10836-JE44
80	3	10838-PE44	10838-CE44	10838-UE44	10838-TE44	10838-JE44
100	4	10840-PE44	10840-CE44	10840-UE44	10840-TE44	10840-JE44
160	6	10844-PE44	10844-CE44	10844-UE44	10844-TE44	10844-JE44
200	8	10846-PE44	10846-CE44	10846-UE44	10846-TE44	10846-JE44
250	10	10848-PE44	10848-CE44	10848-UE44	10848-TE44	10848-JE44
320	12	10850-PE44	on request	on request	10850-TE44	10850-JE44

without solenoid valve, without position indicator: 108...-E14

without solenoid valve, with position indicator: 108...-E24

with solenoid valve, without position indicator: 108...-E34 (specify control voltage)

Valve with 3-position pneumatic actuator double acting with solenoid valve with position indicator

DN		Ordering numbers (specify control voltage)				
mm	Inch	ISO-F	CF-F metric threads	CF-F UNF threads	ASA-LP	JIS
63	2 1/2	10836-PE48	10836-CE48	10836-UE48	10836-TE48	10836-JE48
80	3	10838-PE48	10838-CE48	10838-UE48	10838-TE48	10838-JE48
100	4	10840-PE48	10840-CE48	10840-UE48	10840-TE48	10840-JE48
160	6	10844-PE48	10844-CE48	10844-UE48	10844-TE48	10844-JE48
200	8	10846-PE48	10846-CE48	10846-UE48	10846-TE48	10846-JE48
250	10	10848-PE48	10848-CE48	10848-UE48	10848-TE48	10848-JE48
320	12	10850-PE48	on request	on request	10850-TE48	10850-JE48

without solenoid valve, with position indicator: 108...-E28

ORDERING INFORMATION FOR VALVES WITH OPTIONS

Basic ordering number plus *-X*: -X to be specified

Example: 10846-CE44-X, X = port CF-F 40 In position A

F.6 Otturatori

Componenti per macchine e attrezzature
Otturatori / Arresti

Otturatori compatti con dado esagonale e con arresto EH 22110.



Descrizione prodotto

Sono usati per posizionamenti ripetibili di tavole girevoli o cursori.
Le esecuzioni con e senza arresto hanno le medesime dimensioni.
Lo scarico del filetto ne consente l'avvitamento totale.

Materiale

- Corpo**
- Acciaio brunito
 - Acciaio inox 1.4305
- Puntale**
- Acciaio temperato
 - Acciaio inox 1.4305 nichelato
- Pomello**
- Plastica PA 6 nero, opaco

Assemblaggio

La lunghezza del filetto può essere adattata con gli appositi anelli distanziali (EH 22120).

Funzionamento

Tirando il pomello e ruotandolo di 90° possono essere bloccati in posizione retratta (il puntale non sporge).

Maggiori informazioni

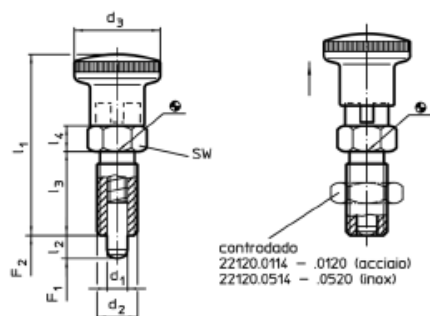
Note

Pomello non smontabile.
Il controdado è da ordinarsi separatamente.

Altri prodotti

- Flange, in zinco pressofuso, per otturatori
- Boccole di montaggio, per otturatori ed arresti
- Anelli distanziali, per otturatori

Disegno



Caratteristiche


d ₁	l ₂ min.	d ₂	Dimensioni			SW	Sprinta ¹⁾		T _{amb}		g	Cod.	
			d ₃	l ₁	l ₃		l ₄	F ₁	F ₂	min.			max.
[mm]													
Acciaio													
4	4	M 8 x 1	16	35,0	16	5	10	4,5	12,0	-30	80	12	22110.0123
4	6	M 8 x 1	16	35,0	16	5	10	4,0	12,5	-30	80	12	22110.0124
5	5	M10 x 1	19	40,0	18	6	12	5,0	15,0	-30	80	20	22110.0126
5	8	M10 x 1	19	40,0	18	6	12	5,0	18,0	-30	80	20	22110.0127
6	6	M12 x 1,5	23	48,0	22	6	14	6,5	19,0	-30	80	31	22110.0129
6	9	M12 x 1,5	23	48,0	22	6	14	6,0	25,0	-30	80	33	22110.0130
8	8	M16 x 1,5	28	58,0	26	8	17	8,5	26,0	-30	80	65	22110.0132

¹⁾ Valori medi statistici

F.7 Componenti MISUMI

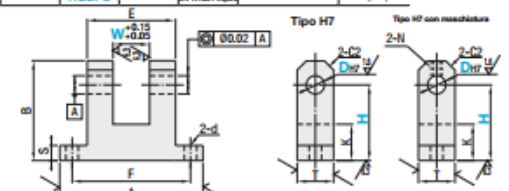
Basi cerniera Standard a U

Caratteristiche: profilo a U, per uso generico e altezza configurabile in incrementi di 1mm.



W fissa		W e H configurabili		Materiale	Treatmento superficiale	Norma
H7	H7 con mascheratura	H7	H7 con mascheratura	Al 1.1191 Equiv.	Ossido nero Nichelatura chimica	UNI EN 1.4301 Equiv.
HKPB	HKPBT	HGBPB	HGBPBT			
HKPM	HKPMT	HGBPM	HGBPMT			
HKPS		HGBPS		UNI 1.4301 Equiv.		

3/ (√/√/√/√)



W fissa

Codice componente		H Incrementi di 1mm	W	A	F	B	E	K	S	T	d	N	Prezzo unitario			
Tipo	D												H7	H7 con mascheratura	HKPB	HKPM
H7 HKPB HKPM HKPS	2	+0.01 0	15-20	4	25	18	H+3	10	10	5	6	3.5	-	-	-	
	3	0	20-25	6	32	24	H+5	15			9	4.5	M3	-	-	
	4	+0.012 0	25-30	8	38	29	H+6	20	12	10	12	4.5	M4	-	-	
	5	0		50	41	H+8	25	12								
	6	+0.015 0	30-40	10	65	52	H+10	38	14	10	16	5.5	M5	-	-	
	8	0		12	75	H+12	50	19								
	10	0		16	63	H+14	65	15								
	12	+0.018 0	35-45	12	75	63	H+12	50	15	15	22	6.5	M6	-	-	
	14	0												20	100	82
	16	+0.021 0	40-50	16	100	82	H+14	H+17	65	18	25	9	M6	-	-	
20	0	30												30	30	

Per le dimensioni dettagliate del perno girevole, vedere P.908.

W e H configurabili

Codice componente		W Incrementi di 1mm	H Incrementi di 5mm	A	F	B	E	K	S	T	d	N	Prezzo unitario			
Tipo	D												H7	H7 con mascheratura	HGBPB	HGBPM
H7 HGBPB HGBPM HGBPS	2	+0.01 0	3-5	15-20	25	18	H+3	10	10	5	6	3.5	-	-		
	3	0	3-9	20-25	32	24	H+5	15			9	4.5	M3	-	-	
	4	+0.012 0	4-12	25-30	38	29	H+6	20	12	10	12	4.5	M4	-	-	
	5	0	5-15		50	41	H+8	25						12		
	6	+0.015 0	6-18	30-40	65	52	H+10	38	14	10	16	5.5	M5	-	-	
	8	0	8-24		75	62	H+12	50						19		
	10	0	10-30		63	H+12	65	15								
	12	+0.018 0	12-30	35-45	75	63	H+12	50	15	15	22	6.5	M6	-	-	
	14	0	14-30											20	100	82
	15	+0.021 0	15-30	40-50	100	82	H+14	H+17	65	18	25	9	M6	-	-	
16	0	16-30	30											30		
20	+0.021 0	20-30	40-50	100	82	H+14	H+17	65	18	25	9	M6	-	-		
25	0	25-35											30	30		

Per le dimensioni dettagliate del perno girevole, vedere P.908. Per il tipo H7 con mascheratura, si richiede (E-HY2)H+2.

Ordering Example

Codice componente	-	W	-	H	
Example	HKPM12	-	W12	-	H35
	HGBPB8	-	W12	-	H35

Guide lineari

Guide lineari in scala ridotta



Nome prodotto	Standard	Prodotti economici - Carrelli standard	Carrelli standard con fori di riferimento
Pagina	533	535	537



Lunghi	Prodotti economici - Carrelli lunghi	Carrelli lunghi con fori di riferimento
539	541	543



Carrelli corti/Carrelli corti con fori di riferimento	Carrelli standard larghi	Carrelli lunghi larghi	Carrelli extra lunghi
545-547	549	551	553



Rotale larghe, carrelli standard	Prodotti economici - Rotale larghe, carrelli standard	Rotale larghe, carrelli standard con fori di riferimento
555	557	559



Rotale larghe, carrelli lunghi	Rotale larghe, carrelli lunghi con fori di riferimento	Rotale larghe, carrelli standard larghi	Rotale larghe, carrelli lunghi larghi
561	563	565	567

Guide lineari per carico medio/pesante



Nome prodotto	Carico medio, in acciaio al carbonio/In acciaio inox	Prodotti economici - Carico medio, in acciaio al carbonio	Carico medio, ferro in plastica, in acciaio al carbonio/acciaio inox	Carico medio, con fori di riferimento, in acciaio al carbonio
Pagina	589, 589	571	573, 591	597

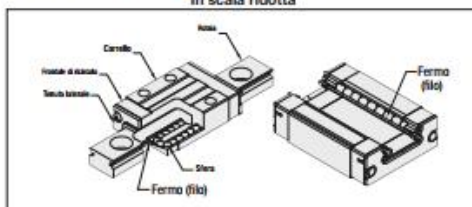


Carico medio, in acciaio al carbonio/In acciaio inox	Prodotti economici - Carico pesante, in acciaio al carbonio	Carico pesante, ferro in plastica, in acciaio al carbonio/acciaio inox	Carico pesante, con fori di riferimento, in acciaio al carbonio
575, 589	577	579, 593	597

Struttura e precisione delle guide lineari

Struttura e caratteristiche delle guide lineari

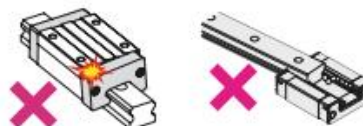
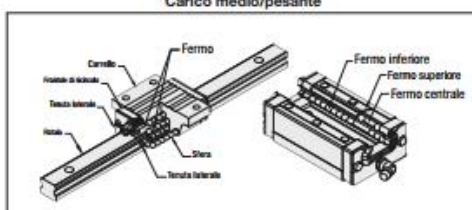
In scala ridotta



- Le guide lineari utilizzano sfere in acciaio che rotolano su piste rettificata con precisione; l'azione di ricircolo è assicurata da appositi frontali in plastica.
- Le tenute frontali impediscono l'ingresso di sostanze estranee nei carrelli.
- Il tipo in scala ridotta ha due file di sfere in acciaio a contatto in una pista a 4 punti di contatto.
- I tipi per carico medio/pesante hanno quattro file di sfere in acciaio a contatto in una pista a 2 punti di contatto.
- I coefficienti di carico sono gli stessi per tutte e quattro le direzioni (radiali, radiali inverse e laterali). Utilizzabili in tutte le direzioni.
- Avvertenze

Il frontale di ricircolo non deve essere sottoposto a urti. Eventuali urti possono influire sul ricircolo delle sfere e provocare anomalie di scorrimento. Le sfere non fuoriescono dalle guide lineari MISUMI quando smontate dalle rotaie in quanto i carrelli sono dotati di appositi fermi. Tuttavia, le sfere potrebbero cadere se si smontano rapidamente i carrelli dalla rotaia o si inserisce la rotaia nel carrello in posizione inclinata. Smontare e montare i carrelli con cautela.

Carico medio/pesante



Precisione

Precisione dimensionale

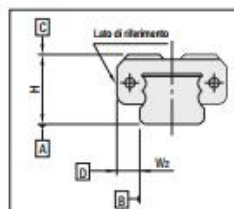
Tipo	Standard di precisione	Prodotti esistenti				Prodotti economici
		Grado di precisione	Grado elevato	Grado standard	Grado standard	
In scala ridotta	Tolleranza alt. H	±10	±20	±20	±40	
	Variazione coppia altezza H	7	15	40	30	
	Tolleranza largh. Wz	±15	±25	±25	±40	
Per carico medio/pesante	Standard di precisione	Grado elevato	Intermediario	Grado standard	Grado standard	
	Tolleranza alt. H	±40	±20	±100	±120	
	Variazione coppia altezza H	15	15	20	40	
	Tolleranza largh. Wz	±20	±30	±100	±100	
	Variazione coppia larghezza Wz	24, 28	15	25	20	40
		33, 42	15	25	30	40
		30, 36, 40, 42	-	25	-	40

[Variazione coppia altezza H]

Differenza tra i valori min/max della dimensione H (altezza) per una serie di carrelli associati a una rotaia.

[Variazione coppia larghezza Wz]

Differenza tra i valori min/max della dimensione W (larghezza) per una serie di carrelli associati a una rotaia.



Parallelismo di corsa

Unità: µm

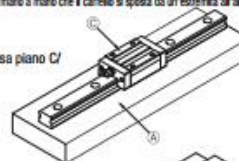
Lungh. rotaia (mm)	sup. a	o inf.	In scala ridotta				Carico medio/pesante			
			Prodotti esistenti	Prodotti economici	Prodotti esistenti	Prodotti economici				
50	80	2	3	13	13	7	6	7	10	
50	125	2	3	13	13	7	6	7	10	
80	125	3	7	15	15	7	6.5	7	10	
125	200	3	7	15	15	7	7	7	10	
200	250	3.5	9	17	17	7	8	7	10	
250	315	4	11	18	18	8	9	12	10	
315	400	5	11	18	18	8	11	12	12	
400	500	5	12	19	19	9	12	14	13	
500	630	6	13.5	21	21	11	14	18	15	
630	800	6	14	21.5	21.5	13	16	21	17	
800	1000	-	-	-	-	14.5	18	23	19	
1000	1250	-	-	-	-	16	20	25	22	
1250	1600	-	-	-	-	-	23	27	23	
1600	2000	-	-	-	-	-	26	28.5	24	

[Parallelismo di corsa]

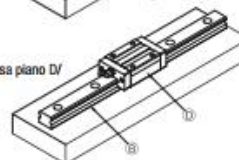
Misurato con la rotaia fissata saldamente a una base di riferimento standard.

Una variazione relativa della superficie superiore del carrello C sulla superficie inferiore della rotaia A e una variazione relativa della superficie di riferimento del carrello D sulla superficie di riferimento della rotaia B vengono misurate mano a mano che il carrello si sposta da un'estremità all'altra della rotaia.

• Parallelismo di corsa piano C/ piano A



• Parallelismo di corsa piano D/ piano B



Precarico guide lineari e carico ammesso

Selezione del gioco radiale (Precarico)

Tipo		Precarico	Misura (mm. di H)	Gioco radiale (µm)
In scala ridotta	Prodotti esistenti	Precarico leggero	6-20	-3-0
		Gioco ridotto		0-+15
	Prodotti economici	Gioco normale		-3-+7
Carico medio/ pesante	Prodotti esistenti	Gioco normale	24	-4-+2
			28	-5-+2
			33	-6-+3
		Intercambiabili, precarico leggero	24, 28	-4-0
			30, 36, 40, 42	-5-0
			42	-7-0
	Prodotti economici	Gioco normale	24	-4-+6
			28, 30	-5-+5
			33, 36, 40	-6-+6
45	-7-+7			

Misure con * disponibili per il tipo per carico super pesante/ultra pesante.

- Il gioco e il precarico delle guide lineari MISUMI sono controllati mediante piccole regolazioni delle sfere.
- Una maggiore rigidità e una deformazione elastica ridotta si ottengono grazie al precarico (gioco negativo).
- Generalmente, selezionando alcuni precarichi si garantiscono effetti positivi sulla precisione e sulla durata delle guide lineari.
- I carrelli e le rotaie MISUMI sono garantite per gioco radiale (precarico) e precisione quando acquistate in kit. Accertarsi che i carrelli e le rotaie appartengano a un kit.

Forza di attrito (Forza di spinta richiesta)

La forza di attrito delle guide lineari (spinta richiesta) varia in base al carico, alla velocità e alle proprietà di lubrificazione. In particolare quando viene applicato il carico momentaneo, la forza di attrito del tipo con precarico aumenta.

Sebbene la resistenza di tenuta varia in base alle condizioni di lubrificazione e alla tolleranza di applicazione a pressione del lubrificante, non è proporzionale al carico e mantiene un valore costante.

La forza di attrito si ottiene con la formula seguente.

$$F = \mu \cdot W + f$$

F : Attrito (N)
 μ : Coefficiente di attrito dinamico
 W : Carico applicato
 f : Resistenza di tenuta (2N - 5N)

Tabella 1. Coeff. attrito dinamico

Tipo	Coeff. attrito dinamico (μ)
Guide lineari in scala ridotta	0.004-0.006
Guide lineari per carico medio	0.002-0.003

Carico ammesso

• Coefficiente di carico dinamico (C)

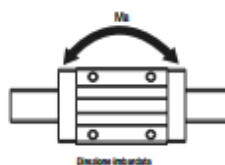
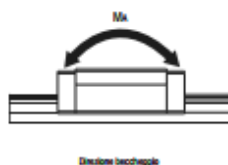
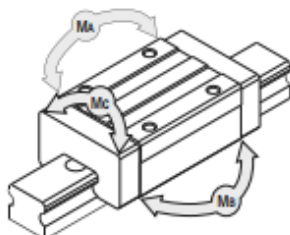
Il coefficiente di carico dinamico è definito come un carico applicato in una direzione costante e in condizioni identiche di movimento su un gruppo di campioni di guide lineari, dove il 90% del campione raggiungerà 50x10⁶m senza alcun danno dovuto alla fatica di rotolamento.

• Coefficiente di carico statico (Co)

Il coefficiente di carico statico è definito come un carico applicato su guide lineari non in movimento dove la somma della deformazione plastica dell'elemento di rotolamento e la deformazione plastica della superficie di rotolamento diventa pari a 0.0001 volte il diametro dell'elemento di rotolamento (sfere).

• Momento statico ammesso (Ma, Mb, Mc)

Il momento statico ammesso è il carico momentaneo statico critico definito dal valore di deformazione permanente simile al coefficiente di carico statico Co.



$$\text{Carico ammesso (N)} \leq C_0 \cdot F_s$$

$$\text{Momento ammesso (N \cdot m)} \leq (M_A, M_B, M_C) / f_s$$

f_s: Fattore di sicurezza statica C₀: Coefficiente di carico statico (N)
 M_A, M_B, M_C: Momento statico ammesso (N · m)

• Fattore di sicurezza statica (f_s)

Il coefficiente di carico statico C₀, nello stato statico o a bassa velocità, viene diviso per il fattore di sicurezza statica f_s nella Tabella 2 in base alle condizioni di esercizio.

Tabella 2. Fattore di sicurezza statica (Limite inferiore f_s)

Condizioni di utilizzo	Limiti inferiori di f _s
In condizioni di esercizio normali	1-2
Quando è richiesta una corsa uniforme	2-4
In condizioni in cui sussistono possibilità di vibrazioni e impatti	3-5

Guide lineari in scala ridotta

Carrelli extra lunghi, precarico leggero/Gioco ridotto

Caratteristiche: tipo con **carrello extra lungo** conforme agli standard originali MISUMI. Coefficienti carico e momento ammessi superiori al tipo con carrello lungo.

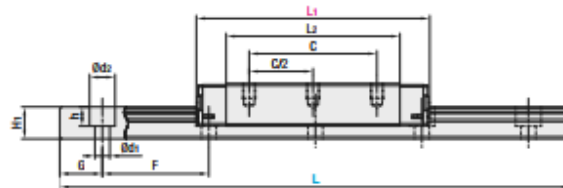
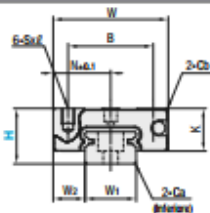
Originali MISUMI



Materiali standard	Materiale Durezza	Tipo		Dimensione L
		Precarico leggero Grado elevato	Gioco ridotto Grado standard	
Acciaio inox S59HC-		SSECB	SSECBZ	Selezionabile
		SSECBL	SSECB LZ	Configurabile
Acciaio al carbonio S59HC-		SECB	SECBZ	Selezionabile
		SECBL	SECB LZ	Configurabile

Temperatura: -20 ~ 80°C

⚠ I carrelli e le rotaie non sono venduti separatamente. Per questo tipo, precisi e giochi radiali sono garantiti solo se si utilizzano carrelli e rotaie dello stesso lot.



⚠ Per il tipo con L configurabile, le dimensioni C differiscono da quelle riportate nella tabella sotto. Per i dettagli, vedere RIF. P. 531.

Precursori per l'uso

- ⚠ I carrelli sono dotati di forni (fil) per impedire la caduta delle sfere. Per le modalità d'uso dei carrelli, vedere RIF. P.525.
- ⚠ I giochi radiali e le precisioni non sono garantiti se i carrelli e le rotaie vengono scambiati rispetto alle combinazioni originali.
- ⚠ I piani di riferimento sono dotati di guide dritte. Assicurarsi che combacino con le linee di riferimento durante l'uso.
- ⚠ Le rotaie non possono essere collegate tra loro in lunghezza.
- ⚠ La precisione delle guide lineari è garantita dopo il montaggio della rotaia (dopo aver fissato le viti) sulla rotaia e averla sciolta sul piano di riferimento.

Curvature minori della rotaia verranno compensate dopo il montaggio e non influiscono sulla precisione.

Accessori
* 101 fornito con viti e esagono incassato (Ø10x6).

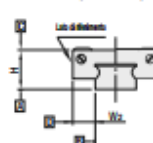
Altri

- * Trattabile con grasso al sapone di litio (Shullergo Grease PSI di Ryudo Yuki Co., Ltd.).
- * Per il calcolo della durata operativa, vedere RIF. P. 527.
- * Per i calcoli della durata operativa, utilizzare il nostro software di calcolo gratuito alla pagina <http://download.misumi-panna.it/soft.html>.

Codice componente	Tipo	H	L	Dimensione carrello										Dim. tel. di riferimento				Dimensione rotaia			
				W	L1	B	C	Sxg	L2	K	Ca	N	C2	(p)	W1	W2	H1	Ca	F	G	
Acciaio inox Selez. standard SSECB SSECBZ SSECB LZ	SSECBZ SSECB LZ	8	40~130	17	37.5	12	20	M2x2.5	27.5	6.5	0.3	8.5	20	2	7	5	4.7	0.3	2.4x4.2x2.3	15	5
		10	55~275	20	49.6	15	26	M3x3	38.6	7.8	0.3	10	26	2.5	9	5.5	5.5	0.3	3.5x6x3.5	20	7.5
Acciaio al carbonio SECB SECBZ SECB LZ	SECBZ SECB LZ	13	70~470	27	54.8	20	30	M3x3.5	40.8	10	0.5	13.5	30	3	12	7.5	7.5	0.5	3.5x6x4.5	25	10
		16	110~670	32	70.3	25	40	M3x4	55.3	12	0.5	16	40	4	15	8.5	9.5	0.5	3.5x6x4.5	40	15

H	Coefficiente di carico C		Momento statico ammessi			Massa	
	co (kN)	Co (kN)	MA (N·m)	MB (N·m)	MC (N·m)	Carrello (kg)	Rotaia (kg)
8	1.5	3.3	10.1	10.1	12.4	0.02	0.19
10	2.5	5.0	18.8	18.8	23.7	0.04	0.31
13	3.8	7.6	34.0	34.0	47.3	0.07	0.61
16	6.9	13.5	80.7	80.7	104.3	0.12	1.02

Standard di precisione e precarico



Specifiche	Precarico leggero, grado elevato	Gioco ridotto, grado standard
Gioco radiale	+3-0	0~-15
Tolleranza alt. H	±20	±20
Variazione coppia altezza H	15	40
Tolleranza largh. W2	±25	±25
Variazione coppia larghezza W2	20	40
Parallelismo di corsa piano C/piano A	Vedere P. 525	
Parallelismo di corsa piano D/piano A	Vedere P. 525	

⚠ Il tipo con gioco ridotto presenta un gioco tra rotaia e carrello.
Per applicazioni che richiedono precisi/gioco, selezionare il tipo con precarico leggero.

Tabella di confronto con i carrelli standard

- Carrello più corto rispetto al tipo standard con 2 carrelli.
- Coefficiente di carico C (Dinamico) migliore fino al 167% rispetto al tipo con 1 carrello. La dimensione L può essere ridotta usando un carrello lungo.
- Coefficiente di carico C (Statico) equivalente e superiore rispetto al tipo con 1 carrello/2 carrelli. Il tipo con 2 carrelli può rendere la lunghezza del carrello della guida più compatta.

H	Lunghezza complessiva carrello (L1)				Coefficiente di carico C (Dinamico) kN				Coefficiente di carico Co (Statico) kN			
	Standard 1 carrello	Standard 2 carrelli	Extra lungo 1 carrello	Confronto con Standard 1 carrello	Standard 1 carrello	Standard 2 carrelli	Extra lungo 1 carrello	Confronto con Standard 1 carrello	Standard 1 carrello	Standard 2 carrelli	Extra lungo 1 carrello	Confronto con Standard 1 carrello
8	23.6	47.2	37.5	+13.9	0.9	1.8	1.5	167%	1.5	3	3.3	220%
10	30	60	49.6	+19.6	1.5	3	2.5	167%	2.5	5	5	200%
13	33.9	67.8	54.8	+20.9	2.2	4.4	3.6	164%	3.3	6.6	7.6	230%
16	42.4	84.8	70.3	+27.9	3.6	7.2	6.9	192%	5.4	10.8	13.5	250%

Robot/Attuatori ad asse singolo

<p>Robot/Attuatori ad asse singolo</p>	
	<p>Nome prodotto Attuatori ad asse singolo LX15, 20, 25, 30, 45 Standard/Coperti, Senza staffa, Unità di lubrificazione MX</p> <p>Pagina 415, 417, 421, 425, 429</p>
	
	<p>Modelli di ventaglio pneumatico standard motore per attuatori ad asse singolo LX 416, 420, 424, 427</p> <p>Attuatori ad asse singolo LX28 - A Base motore laterale 430-435</p>
	
	<p>Attuatori ad asse singolo LX28 - A Base motore laterale 436-438</p> <p>Encoder lineari (scale lineari) 438</p>
	
	<p>Attuatori ad asse singolo motorizzati LX20, 25, 30, 45 Standard/Coperti 441, 443, 445, 447</p>
	
	<p>Cavi per attuatori ad asse singolo motorizzati 452</p>
	
	<p>Robot ad asse singolo RS1/RS2/RS3 - D98 457-465</p> <p>Robot ad asse singolo RS1/RS2/RS3 - Attacco motore laterale 469-488</p>
	
	<p>Robot ad asse singolo RS01/RS02/RS03 465-474</p> <p>Robot ad asse singolo RS001/RS002/RS003 475-480</p>

Robot ad asse singolo RSD2 - A stelo

Controller (C180)

Alzatore (C180)

Carri (C180)

Cavo

Scudo d'isolamento (C180)

(Rilascio motore a sinistra)

Componenti: Alzatore, controller, cavo

Accessori

Specifiche I/O del controller		
15V, PNP	CC-LINK	Devic. I/O
Break down (C180)	Controllo di velocità, controllo fine, End stop	
	Controllo CC-LINK	Controllo Devic. I/O

Materiale robot/Trattamento superficiale

Componenti	Corpo	Stelo	Copertura
(1) Materiale	Aluminio	Acciaio	ABS
(2) Rivestimento	Vernice a base acrilica	-	-

Specifiche generali

Velocità di asse	Motore	Rilevatore di posizione	Temperatura ambiente e umidità di esercizio
30 (C10 rotella)	A passo	Resolver (Incrementale)	0-40°C, 25-85%RH (Senza condensa)

Specifiche del controller: P487-506

Specifiche standard: Domande frequenti_P503

Tipo	Passo (mm)	Ripetibilità di posizionamento (mm)	Max capacità di carico (kg)	Max forza di grip (N)	Velocità massima (mm/s)	Errore posiz. (mm)	Rigidità di rotazione stelo (grad)	Corsa (mm)	Max velocità (mm/sec)	Alimentazione di ingresso	N. max punti posizionam.
RSD2	07	±0.02	45	25	600	0.1 o inferiore	x1.0	50-300 (Passo 5)	-30	DC24V a 10%	255 punti
	05		40	12	300				-250		
	12		25	5	150				-300		

1. La vita utile per asse in verticale può variare a seconda della capacità di carico. Fare riferimento a "Carichi sulle guide". 2. La velocità massima possono variare a seconda della capacità di carico. Fare riferimento a "Carichi sulle velocità/massima capacità di carico".

Dimensioni/Massa

Tipo	Dimensioni/Massa	Direzione di attacco motore: Dritta						Direzione di attacco motore: R/L					
		Corsa (mm)						Corsa (mm)					
RSD2	L1 (mm)	50	100	150	200	250	300	50	100	150	200	250	300
	L (mm)	182.5	212.5	262.5	312.5	362.5	412.5	182.5	212.5	262.5	312.5	362.5	412.5
	Massa (kg) (Nota 8)	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	2.7	1.8	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9

8. In caso di freno aggiuntivo 0.2kg alla massa totale.

Robot ad asse singolo RS1 - Dritti

Caratteristiche: Attuatori piccoli ed economici:

Applicabili ai controlli con comandi a distanza (Specifica CC-Link/DeviceNet), controllo I/O parallelo e controllo con comandi online (Specifica RS232C).

Controller

Attuatore

Cavo

Coppia protetto il plastico abrasivo. (Specificare caso estrati)

Manuale d'istruzioni CC-Link

Componenti: Attuatore, controller, cavo

Accessori

Specifiche I/O del controller		
A) I/O	NPN, PNP	CC-Link, DeviceNet
Relazione I/O	1:1, 2:1, 4:1, 8:1, 16:1, 32:1, 64:1, 128:1, 256:1	1:1, 2:1, 4:1, 8:1, 16:1, 32:1, 64:1, 128:1, 256:1

Materiale robot/Trattamento superficie

Componenti	Rotale	Corsore	Spinta laterale
(1) Materiale	Acciaio	Aluminio	Aluminio
(2) Trattamento	-	-	Anodizzato

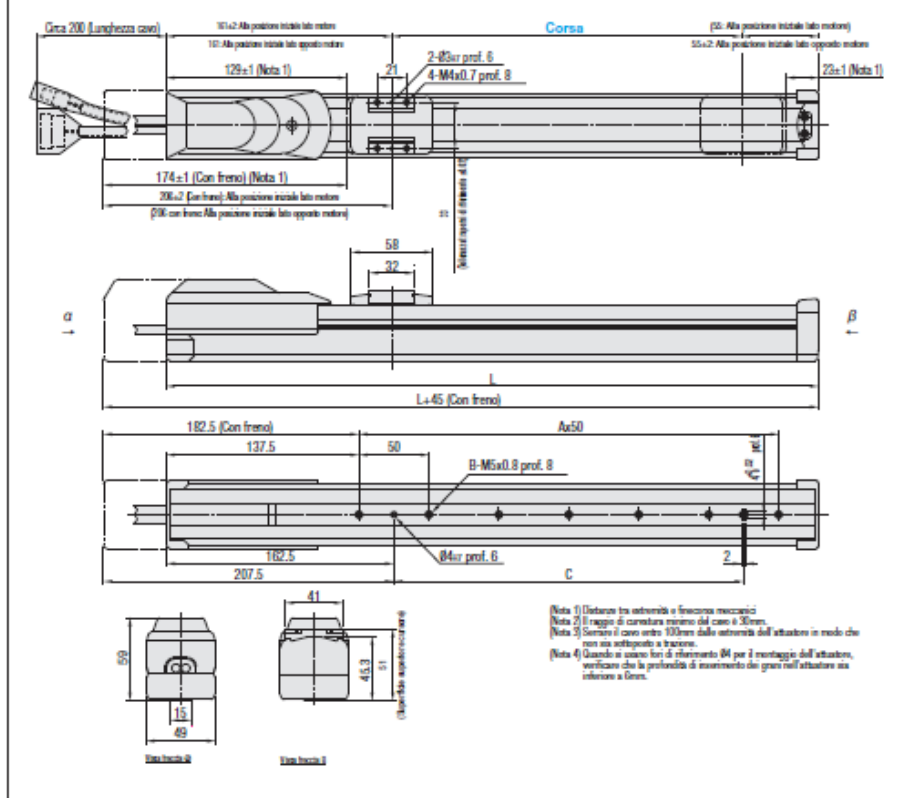
Specifiche generali

Vite a ritraccio di sfere	Motore	Riduttore di posizione	Temperatura ambiente e autorità di esercizio
B5 (C10 rullata)	A passo	Raster (irriducibile)	3-40°C, 5-35 %RH (senza condensa)

Specifiche del controller **LA P.497-506** Specifiche per ambienti sterili disponibili sul nostro sito Web.

Specifiche standard Domande frequenti **LA P504**

Tipo	Passo (mm)	Ripetibilità di posizionamento (mm)	Max capacità di carico (kg)		Max forza di spinta (N)	Corsa (mm)	Max velocità (mm/sec)	Durata in esercizio nominale	Alimentazione di ingresso	N. max punti posizionali	
			Orizzontale	Verticale							
RS1	02	±0.02	6	4	150	50-400 (Passo 50)	100	10,000km o sup.	DC24V ±10%	255 punti	
	06		4	2							90
	12		2	1							45



Dimensioni/Massa

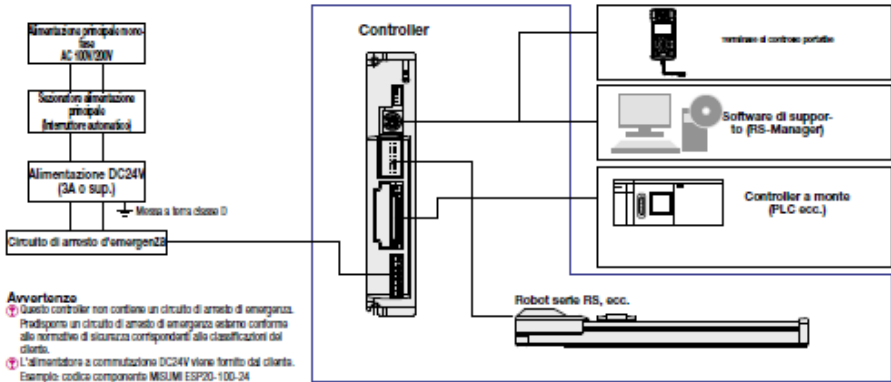
Tipo	Dimensioni/Massa	Corsa (mm)							
		50	100	150	200	250	300	350	400
RS1	L (mm)	266	316	366	416	466	516	566	616
	A (mm)	2	3	4	5	6	7	8	9
	B (mm)	3	4	5	6	7	8	9	10
	C (mm)	50	100	150	200	250	300	350	400
	Massa (kg)	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3

Il freno aggiunge 0.2kg alla massa totale.

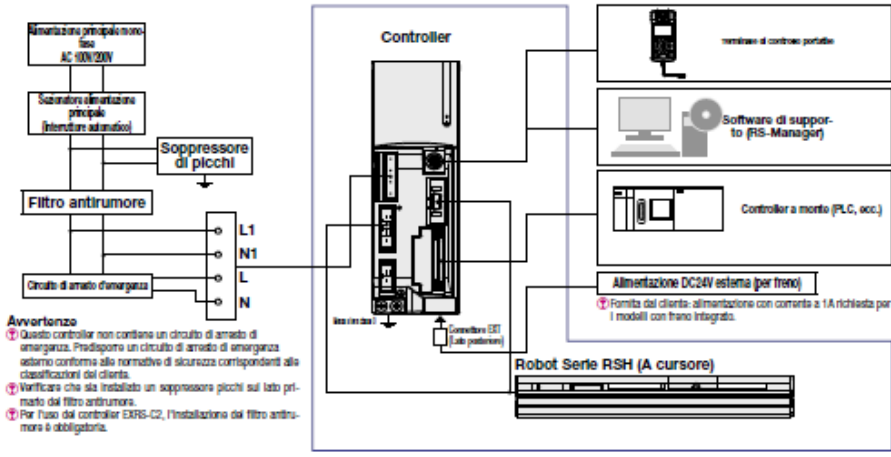
Controller dedicato per robot ad asse singolo - Esempio di configurazione/Domande frequenti

Dimensioni compatte, funzionalità multiple e alte prestazioni

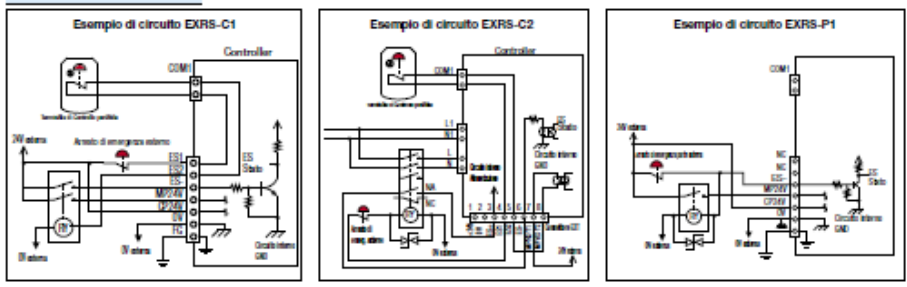
■ Esempio di configurazione del sistema controller EXRS-C1



■ Esempio di configurazione del sistema controller EXRS-C2



Esempio di struttura del circuito di arresto di emergenza. ⚠ Vedere il manuale di istruzioni per i circuiti con terminali di controllo portatile e comando a uomo presente.



Controller per robot ad asse singolo - Esempio di applicazione

Dimensioni compatte, funzionalità multiple e alte prestazioni

■ Collegamento a margherita

Facile modifica multiasse mediante il collegamento a margherita di più controller

Possibilità di modificare i parametri dei controller di più PC da un solo PC semplicemente cambiando l'indirizzo stazione nella schemata di RS-Manager.

Collegamento a margherita

È possibile collegare tra loro fino a 16 controller.

RS-Manager - [コントローラ1 - COM] (RS-Manager 1000-011)

Modificare il controller da selezionare mediante l'indirizzo allocato automaticamente a ciascun controller.

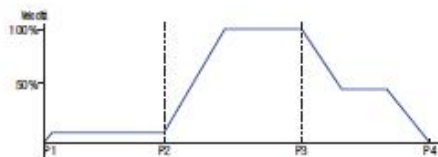
■ Operazione in sequenza

Possibilità di realizzare sequenze semplici e in loop mediante diramazione

Variazione di velocità entro le gamme di corsa effettiva eseguita mediante connessione ABS o INC.

■ Esempio di impostazione dati punto

Punto N.	Tipo funzionamento	Posizione (mm)	Velocità (%)	Accelerazione (%)	Decelerazione (%)	Diramazione
P1	ABS	0	100	100	100	2
P2	CollegamentoABS	100	10	100	100	3
P3	CollegamentoABS	200	100	100	100	4
P4	CollegamentoABS	300	40	100	100	1



- Quando vengono immessi dati punto come quelli riportati a sinistra, il cursore esegue i movimenti come illustrato nel grafico lineare in basso a sinistra.
- Quando il posizionamento è completo in P4, il cursore inizia a muoversi all'indietro verso la posizione 0mm (P1) e completa una sequenza circolare.
- La sequenza ciclica continua anche se avviata da qualsiasi punto arbitrario (da P1 a P4).
- Quando viene avviato da P1 con diramazione P4 impostata su "0", il movimento viene completato nel momento in cui il cursore raggiunge la posizione 0mm (P4) come una sequenza semplice.
- Questo apra consente di eseguire operazioni cicliche semplicemente specificando il punto di posizionamento una sola volta, anziché specificare ogni punto del PLC ecc., riducendo così il carico di comunicazione.

Unità alloggiamento Blocco largo - Single/Medie

Per i clienti che usano prodotti con standard di settore
 La parte racchiusa nel riquadro rosso si riferisce alle specifiche standard di settore (cilindro esterno in EN 1.3505 Equiv., gabbia portafreze in resina). Considerare queste specifiche quando si seleziona il prodotto.

Caratteristiche: progettazione che riduce le fasi di montaggio delle boccole lineari. Quattro fori di montaggio consentono un solido montaggio con il carico.

Standard di settore

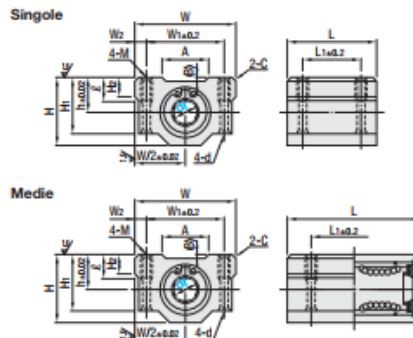
Single



Medie



Tipo		Boccola lineare utilizzata (car P315)		Alloggiamento		Temp. ambiente d'esercizio
Single	Medie	Single	Medie	Materiale	Tolleranza superf. (Rz)	
LHBB	LHBB	LMU	LMUD	Leghe di alluminio	Indicizzato trapezoidale	-25 - 80°C
LHBBF	LHBB	LMUF				-25 - 110°C



13/15/17
 (Alloggiamento)

Caratteristiche delle boccole medie
 Lunghezza corpo pari a circa 1.4 volte e momento ammissibile pari a circa 4.3 volte rispetto al tipo singolo; sdatte dove lo spazio non è sufficiente per il tipo doppio.

dr	Tolleranza		L		L1		h	H	H1	H2	W	W1	W2	M	d	ℓ	A	(B)	C
	Single	Medie	Single	Medie	Single	Medie													
(5)	-0.008	-	18	-	12	-	7	14	11	-	22	16	3	M3	-	-	-	-	0.5 o inf.
6			25	35	15	24	9	18	15	-	30	20	5	M4	3.4	8	12	16	1 o inf.
8			30	43	18	28	11	22	18	6	34	24					15.5	17.5	0.4
10	0	0	35	53	21	34	13	26	21		40	28	6				17.5	19	0.85
12	-0.009	-0.010	36					28	24	8	42	30.5	5.75	M5	4.3	12	19	19.8	1.5 o inf.
13			39	54		26	38	15	30	24.5	44	33	5.5				21	0.5	1
16			44	63	34	48	19	38.5	32.5	9	50	36	7	M6	5.2		36	1	0.75
20			50	73	40	56	21	41	35	11	54	40					39.9	0.75	1.5
25	0	0	67	93	50	66	26	51.5	42	12	76	54	11	M8	7	18	61	1.5	2 o inf.
30	-0.010	-0.012	72	100	58	70	30	59.5	49	15	78	58					81		
(35)	0	-	80	-	60	-	34	68	54	18	90	70	10				53		
(40)	0	-	90	-	60	-	40	78	62	20	102	80					61		
(50)	-0.012	-	110	-	80	-	52	102	80	25	122	100		M10	8.7	25	81		

Per le precisioni per l'uso, vedere P303. L'aspetto di dr5 è diverso rispetto ai disegni. dr tra () disponibili solo per il tipo singolo.
 La superficie di riferimento si trova sul lato opposto rispetto all'etichetta ID del prodotto.

Codice componente	Tipo	dr	Prezzo unitario		
			LHBB	LHBBF	LHBB
	(Single)	5			
	(Single)	6			
	(Single)	8			
	(Single)	10			
	(Single)	12			
	(Single)	13			
	(Single)	16			
	(Medie)	20			
	(Medie)	25			
	(Medie)	30			
	(Medie)	35			
	(Medie)	40			
	(Medie)	50			

dr	Coefficiente di carico				Momento statico ammissibile (N·m)		Massa (g)	
	C (Dinamico) N		Co (Statico) N		Single	Medie	Single	Medie
5	167	-	206	-	-	-	14	-
6	206	226	265	310	-	1.42	34	48
8	265	310	380	452	-	2.12	52	78
10	372	508	549	718	-	4.37	92	142
12	412	634	598	814	-	6.2	102	144
13	510	640	784	826	-	6.2	120	172
16	775	1164	1180	1448	-	13.1	220	323
20	882	1554	1370	2068	-	18.3	255	382
25	980	1725	1570	3068	-	25.3	600	866
30	1570	2440	2740	3974	-	42.7	735	1061
35	1670	-	3140	-	-	-	1100	-
40	2160	-	4020	-	-	-	1590	-
50	3820	-	7940	-	-	-	3340	-

kg=1000, 101972



Ordering example
 Codice componente
 LHBB12
 LHBBD16 (Grasso tipo L)
 LHBB12L (Grasso tipo L)
 LHBBD16G (Grasso tipo G)
 LHBBD20H (Grasso tipo H)

Tipi di grasso alternativi disponibili.
 Per giorni consegna, prezzo e prestazioni, vedere P304

Cuscinetti teste a snodo

Standard/L corta

Tipo	Standard				L corta				Materiale		
	Maschiati	Flettati	Maschiati	Flettati	Maschiati	Flettati	Maschiati	Flettati	Supporto	Anello interno a sfere	Boccola (Innata)
① Acciaio	PHSC	PHSL	PHSO	PHSL	PHSCM	PHSLM	PHSON	PHSOL	② Acciaio	③ Acciaio	④ Acciaio
② Senza lubrificazione	PHSCM	PHSLM	PHSOM	PHSOLM	PHSCMN	PHSLMN	PHSONN	PHSOLN	⑤ Inossidabile	⑥ Inossidabile	⑦ Inossidabile
③ Inossidabile	PHSS	PHSL	PHSOS	PHSOL	PHSCN	PHSLN	PHSON	PHSOLN	⑧ Inossidabile	⑨ Inossidabile	⑩ Inossidabile

Proprietà meccaniche
 - Carico di rottura: 275-314kN/m²
 - Carico di rottura: 275-314kN/m²
 - Trattamento superficiale non presente sull'estremità di entrata e di uscita con L corta.

Accoppiamenti alberi applicabili
 - Acciaio: 275-314kN/m²
 - Inossidabile: 275-314kN/m²
 - Inossidabile: 275-314kN/m²

Tolleranze di dimensioni (albero)
 - Acciaio: H7/k6
 - Inossidabile: H7/k6
 - Inossidabile: H7/k6

Condizione albero
 - Acciaio: 100-110
 - Inossidabile: 100-110
 - Inossidabile: 100-110


Codice componente	Tipo	d	D	D1	D2	Standard	Corta	L	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28	L29	L30	L31	L32	L33	L34	L35	L36	L37	L38	L39	L40	L41	L42	L43	L44	L45	L46	L47	L48	L49	L50	L51	L52	L53	L54	L55	L56	L57	L58	L59	L60	L61	L62	L63	L64	L65	L66	L67	L68	L69	L70	L71	L72	L73	L74	L75	L76	L77	L78	L79	L80	L81	L82	L83	L84	L85	L86	L87	L88	L89	L90	L91	L92	L93	L94	L95	L96	L97	L98	L99	L100	L101	L102	L103	L104	L105	L106	L107	L108	L109	L110	L111	L112	L113	L114	L115	L116	L117	L118	L119	L120	L121	L122	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L130	L131	L132	L133	L134	L135	L136	L137	L138	L139	L140	L141	L142	L143	L144	L145	L146	L147	L148	L149	L150	L151	L152	L153	L154	L155	L156	L157	L158	L159	L160	L161	L162	L163	L164	L165	L166	L167	L168	L169	L170	L171	L172	L173	L174	L175	L176	L177	L178	L179	L180	L181	L182	L183	L184	L185	L186	L187	L188	L189	L190	L191	L192	L193	L194	L195	L196	L197	L198	L199	L200	L201	L202	L203	L204	L205	L206	L207	L208	L209	L210	L211	L212	L213	L214	L215	L216	L217	L218	L219	L220	L221	L222	L223	L224	L225	L226	L227	L228	L229	L230	L231	L232	L233	L234	L235	L236	L237	L238	L239	L240	L241	L242	L243	L244	L245	L246	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256	L257	L258	L259	L260	L261	L262	L263	L264	L265	L266	L267	L268	L269	L270	L271	L272	L273	L274	L275	L276	L277	L278	L279	L280	L281	L282	L283	L284	L285	L286	L287	L288	L289	L290	L291	L292	L293	L294	L295	L296	L297	L298	L299	L300	L301	L302	L303	L304	L305	L306	L307	L308	L309	L310	L311	L312	L313	L314	L315	L316	L317	L318	L319	L320	L321	L322	L323	L324	L325	L326	L327	L328	L329	L330	L331	L332	L333	L334	L335	L336	L337	L338	L339	L340	L341	L342	L343	L344	L345	L346	L347	L348	L349	L350	L351	L352	L353	L354	L355	L356	L357	L358	L359	L360	L361	L362	L363	L364	L365	L366	L367	L368	L369	L370	L371	L372	L373	L374	L375	L376	L377	L378	L379	L380	L381	L382	L383	L384	L385	L386	L387	L388	L389	L390	L391	L392	L393	L394	L395	L396	L397	L398	L399	L400	L401	L402	L403	L404	L405	L406	L407	L408	L409	L410	L411	L412	L413	L414	L415	L416	L417	L418	L419	L420	L421	L422	L423	L424	L425	L426	L427	L428	L429	L430	L431	L432	L433	L434	L435	L436	L437	L438	L439	L440	L441	L442	L443	L444	L445	L446	L447	L448	L449	L450	L451	L452	L453	L454	L455	L456	L457	L458	L459	L460	L461	L462	L463	L464	L465	L466	L467	L468	L469	L470	L471	L472	L473	L474	L475	L476	L477	L478	L479	L480	L481	L482	L483	L484	L485	L486	L487	L488	L489	L490	L491	L492	L493	L494	L495	L496	L497	L498	L499	L500	L501	L502	L503	L504	L505	L506	L507	L508	L509	L510	L511	L512	L513	L514	L515	L516	L517	L518	L519	L520	L521	L522	L523	L524	L525	L526	L527	L528	L529	L530	L531	L532	L533	L534	L535	L536	L537	L538	L539	L540	L541	L542	L543	L544	L545	L546	L547	L548	L549	L550	L551	L552	L553	L554	L555	L556	L557	L558	L559	L560	L561	L562	L563	L564	L565	L566	L567	L568	L569	L570	L571	L572	L573	L574	L575	L576	L577	L578	L579	L580	L581	L582	L583	L584	L585	L586	L587	L588	L589	L590	L591	L592	L593	L594	L595	L596	L597	L598	L599	L600	L601	L602	L603	L604	L605	L606	L607	L608	L609	L610	L611	L612	L613	L614	L615	L616	L617	L618	L619	L620	L621	L622	L623	L624	L625	L626	L627	L628	L629	L630	L631	L632	L633	L634	L635	L636	L637	L638	L639	L640	L641	L642	L643	L644	L645	L646	L647	L648	L649	L650	L651	L652	L653	L654	L655	L656	L657	L658	L659	L660	L661	L662	L663	L664	L665	L666	L667	L668	L669	L670	L671	L672	L673	L674	L675	L676	L677	L678	L679	L680	L681	L682	L683	L684	L685	L686	L687	L688	L689	L690	L691	L692	L693	L694	L695	L696	L697	L698	L699	L700	L701	L702	L703	L704	L705	L706	L707	L708	L709	L710	L711	L712	L713	L714	L715	L716	L717	L718	L719	L720	L721	L722	L723	L724	L725	L726	L727	L728	L729	L730	L731	L732	L733	L734	L735	L736	L737	L738	L739	L740	L741	L742	L743	L744	L745	L746	L747	L748	L749	L750	L751	L752	L753	L754	L755	L756	L757	L758	L759	L760	L761	L762	L763	L764	L765	L766	L767	L768	L769	L770	L771	L772	L773	L774	L775	L776	L777	L778	L779	L780	L781	L782	L783	L784	L785	L786	L787	L788	L789	L790	L791	L792	L793	L794	L795	L796	L797	L798	L799	L800	L801	L802	L803	L804	L805	L806	L807	L808	L809	L810	L811	L812	L813	L814	L815	L816	L817	L818	L819	L820	L821	L822	L823	L824	L825	L826	L827	L828	L829	L830	L831	L832	L833	L834	L835	L836	L837	L838	L839	L840	L841
-------------------	------	---	---	----	----	----------	-------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Supporti albero - A T spaccati (Fusione)

Standard/Larghi

Caratteristiche: il tipo di supporto albero più economico e diffuso. Il tipo largo è dotato di una sezione di tenuta dell'albero più lunga rispetto al tipo standard e di una migliore forza di presa.

Standard

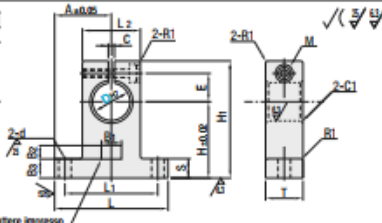


RoHS

Tipo	(M) Materiale	(S) Trattamento superficiale	(A) Accessori
SHAT	EN 1.1191	Qualità nero	Altri esig. incassato 1 pz.
SHAM	Equlq.	Nichelatura chimica	
SHASS	EN 1.4301 Equlq.	-	Altri e esig. incassato 1 pz.
SHA	EN AC-51300	Anodizzato trasparente	(Facolt. inox)
SHAKD	Equlq.	Anodizzato nero	

Il taglio viene lavorato dopo l'assemblaggio del bene di montaggio D alla tolleranza IT6. La tolleranza può diventare all'Alfeca 1q in base alle condizioni di lavorazione. La tolleranza non essere cambiata impresso.


Carattere impresso



Codice componente		D	H	L	H1	T	L1	d	L2	A	S	E	C	B1	B2	B3	Altri di serie	Massa g	Prezzo unitario					
Tipo	N.																		SHAT	SHAM	SHASS	SHA	SHAKD	
SHAT SHAM SHASS SHA SHAKD	3	3																69(24)	-	-	-	-	-	
	4	4																69(24)	-	-	-	-	-	
	5	5	20			32,8												69(24)	-	-	-	-	-	
	6	6																69(24)	-	-	-	-	-	
	8	8	15			28				18		6	7,8	2				59(20)	-	-	-	-	-	
	10	10	20			32,8												69(24)	-	-	-	-	-	
	12	12				35		5,5										69(24)	-	-	-	-	-	
	13	13	23			37,5				20			9,5					87(30)	-	-	-	-	-	
	15	15	27			44												69(24)	-	-	-	-	-	
	16	16	25			42		16	38		25	24	8	12				119(40)	-	-	-	-	-	
	18	18	31			51												119(40)	-	-	-	-	-	
	20	20	30			50		20	45		30	30	10	14	2,5			282(70)	-	-	-	-	-	
	25	25	35			60												151(66)	-	-	-	-	-	
	30	30	42			70		24	56		38	35	17					214(74)	-	-	-	-	-	
	35	35	50			84		28	64	9	44	42	21					282(70)	-	-	-	-	-	
	40	40	60			98		32	74	11	50	49	15	24				376(136)	-	-	-	-	-	
	50	50	70			126		40	100	14	60	57	27					474(164)	-	-	-	-	-	
																			530(189)	-	-	-	-	-
																			780(270)	-	-	-	-	-
																			1213(420)	-	-	-	-	-
																		2167(750)	-	-	-	-	-	

I valori tra () sono la massa dei prodotti in alluminio. SHAT, SHAM e SHASS disponibili solo nelle misure con *.

Larghi

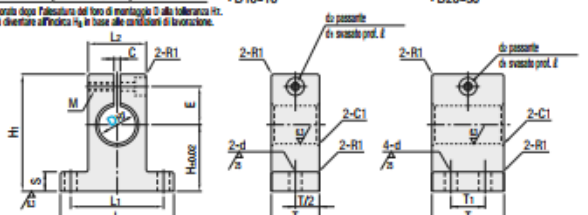


RoHS

Tipo	(M) Materiale	(S) Trattamento superficiale	(A) Accessori
SHATN	EN 1.1191	Qualità nero	Altri esig. incassato 1 pz.
SHAMN	Equlq.	Nichelatura chimica	
SHASSN	EN 1.4301 Equlq.	-	Altri e esig. incassato 1 pz.
SHAN	EN AC-51300 (Equlq.)	Anodizzato trasparente	(Facolt. inox)

Il taglio viene lavorato dopo l'assemblaggio del bene di montaggio D alla tolleranza IT6. La tolleranza può diventare all'Alfeca 1q in base alle condizioni di lavorazione.

D 10-16 D 20-30



Codice componente		D	H	L	H1	T	L1	d	L2	S	E	C	Altri di serie	d1	d2	l	Massa g	Prezzo unitario				
Tipo	N.																	SHATN	SHAMN	SHASSN	SHAN	
SHATN SHAMN SHASSN SHAN	10	20	44	40	20		32	18	8	13		2	5	9	5,5	5,5	129(44)					
	12	25	52	48	25		40	25	15	15		2	6	11	6,6	6,5	124(43)					
	20	30	62	59	30	18	46	30	10	19			8	14	9	9	244(84)					
	25	30	66	61	35	20	50	35	12	22			8	14	9	9	408(140)					
	30	30	65	63	40	20	65	44	12	24	3		8	14	9	9	525(181)					
																		790(272)				

I valori tra () sono la massa dei prodotti in alluminio.

Ordering Code component
 Esempio SHASSN30
 SHAT1220
 SHATN20
 SHASSN16

Ringraziamenti

A conclusione di questo indimenticabile percorso, sono davvero molte le persone alle quali vorrei dedicare un pensiero mediante un sentito ringraziamento.

Il grazie più grande va ai miei genitori, papà Mihail e mamma Alla, che hanno sempre creduto in me, facendo numerosi sacrifici per darmi la possibilità di studiare e di raggiungere un traguardo così importante, senza mai far trasparire quanto sforzo abbia richiesto loro questo cammino insieme a me; la gioia che ho visto sul loro viso per i miei piccoli successi mi ha ripagato smisuratamente.

Un caloroso abbraccio vorrei dedicarlo alla mia dolce sorellina Maria, alla quale voglio tanto bene e auguro un futuro meraviglioso ed appaganti momenti di felicità.

In quest'occasione non possono mancare i ringraziamenti ai miei coinquilini. Oltre ad essere tra i miei più cari amici, sono stati come una famiglia per me. Grazie davvero a Federico, Beecika, Anna, Rosa, Elisa ed al coinquilino aggiunto Stem.

Un grazie speciale ai compagni di tante battaglie tra i banchi dell'università: grazie a Emanuele, Giulio, Orkhan, Luca, Massimo, Enrico, Giovanni ed in particolare a Daniele, il mio insostituibile compagno di studio.

Un sentitissimo grazie a tutti i miei amici e conoscenti che hanno contribuito a formare la persona che oggi sono.

Ringrazio ora le persone che mi hanno supportato ed accompagnato nella realizzazione del presente lavoro di tesi.

Un doveroso ringraziamento, accompagnato da tutta la mia stima, va al professor Giovanni Meneghetti, per avermi proposto questo lavoro di tesi. La sua professionalità, discrezione e precisione lo hanno reso un esempio da seguire per me.

Ringrazio il mio responsabile presso LNL-INFN, nonché correlatore, Alberto Andrighetto per avermi concesso quest'importante opportunità, in cui è stato possibile crescere dal punto di vista professionale imparando da persone gentili e con molta esperienza.

Ringrazio di cuore il mio correlatore LNL-INFN, in cui in così breve tempo ho trovato anche un amico, Michele Ballan. Le sue competenze, l'immensa disponibilità ed il suo continuo supporto sono stati fondamentali per riuscire a portare a termine questo lavoro. Inoltre vorrei ringraziarlo per i preziosi ed indispensabili insegnamenti che mi ha trasmesso, accompagnati da una grande cortesia sempre riservatami.

In fine vorrei ringraziare Michele Lollo per la sua disponibilità, competenza e per i suoi preziosi suggerimenti nella realizzazione dei componenti; la realizzazione del prototipo è frutto del suo prezioso e preciso lavoro.

*“Il premio per una cosa ben fatta è l'averla fatta”
(Ralph Waldo Emerson)*

Serghei Popa
Legnaro 29.11.2017