



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Ingegneria Industriale DII
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

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

Relatore: Ch.mo Prof. Giovanni Meneghetti

Correlatori Dott. Alberto Andrighetto
@ 7) °

Laureando Davide Turcat
Matricola: 1101966

Anno Accademico 2016/2017

| | |
|----------------|---|
| Sommario | 1 |
|----------------|---|

Capitolo 1 Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro: produzione ed utilizzo di fasci di ioni esotici..... 5

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

Capitolo 2 Il layout del progetto SPES, i sistemi di estrazione e di movimentazione ed il sistema di estrazione verticale..... 27

| | |
|---|----|
| 2.1 - Introduzione | 27 |
| 2.2 - Ž ¥ ª ¢ ® š ¨ ° ® ± ° ° ± ® š ¨ ¸ j ¨ ¨ ¬®. « ¢. j ¨ ° ° « ¨ ¨ ' \$ ¨ ¨ '..... | 27 |
| 2.2.1- Zona di produzione degli ioni esotici..... | 29 |
| 2.3 - Il Front-End (FE) | 32 |
| 2.3.1- La camera target..... | 33 |
| 2.4 - I sistemi di movimentazione della camera target..... | 37 |
| 2.4.1- Il sistema di movimentazione della coupling table..... | 38 |
| 2.4.2- Il sistema di movimentazione orizzontale..... | 40 |
| 2.4.3- Il sistema di movimentazione del deposito temporaneo..... | 44 |
| 2.5 - Il sistema di movimentazione verticale | 45 |
| 2.5.1- La sala A16..... | 46 |
| 2.5.2- Rischi da radioprotezione..... | 49 |
| 2.5.3- La Hotcell..... | 50 |
| 2.5.4- La macchina verticale..... | 51 |
| 2.6 - Conclusioni | 57 |

Capitolo 3 Il sistema di centraggio..... 59

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

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

aprendo nuovi campi di ricerca e portando alla creazione di nuove tecnologie. Molte di queste hanno poi conosciuto applicazioni in un vasto numero di campi, come la chimica e la fisica applicata, arrivando talvolta addirittura a influenzare usi e costumi della società. Il progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*) prevede la costruzione di una nuova generazione di *facility* per la produzione di fasci radioattivi, con lo scopo di esplorare la materia esotica e di fornire uno strumento per la produzione di fasci di ioni radioattivi ricchi di neutroni (*neutron-rich*) e di alta qualità, nel range di massa compreso tra 80 e 160 u.m.a.

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

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

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

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

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

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

Capitolo 2 In questo capitolo viene esposta una panoramica del layout del progetto SPES, analizzando gli ambienti e le infrastrutture presenti. Ci si focalizza poi nella descrizione di tutti i sistemi di movimentazione della camera target, ponendo maggior attenzione al sistema di estrazione. Viene descritta la funzione, i vincoli imposti dalle infrastrutture e viene infine mostrato il layout del sistema di estrazione. Viene brevemente descritto il sistema di estrazione verticale, risultato della progettazione fatta. Si vedrà come questo sia composto da due principali sottosistemi, il sistema di centraggio e il sistema di sollevamento che verranno studiati separatamente nei prossimi capitoli;

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

Capitolo 4: In questo capitolo verrà descritta la realizzazione del sistema di centraggio. Verranno brevemente riportate le modalità di assemblaggio e taratura iniziale. Si mostrerà poi il telaio realizzato per svolgere i test di centraggio. Sono infine riportate le procedure di collaudi. In questo capitolo, i risultati ottenuti dimostrano la funzionalità del sistema realizzato;

Capitolo 5: In questo capitolo verrà descritto il sistema di sollevamento, con particolare dettaglio la sua funzione e i vari componenti di cui è fatto, giustificandone la scelta. Verranno riportate le procedure di collaudi, il sistema di sollevamento, le catene, il cinematismo che le aziona e come aggancia la camera target. Verranno infine riportati i conti cinematici e le verifiche strutturali analitiche fatte per le principali parti.

Capitolo 1

Le proprietà della materia sono strettamente influenzate dalle caratteristiche degli atomi che la costituiscono, dalle loro interazioni e dalla loro disposizione nello spazio. Il livello atomico quindi costituisce la base fondamentale per poter studiare e comprendere la materia. In un atomo il nucleo è costituito da particelle, genericamente dette nucleoni, tra le quali si possono distinguere i protoni e i neutroni. Tali particelle sono di massa molto simile tra loro (circa 1.67×10^{-24} g), la differenza risiede nel fatto che i protoni sono dotati di carica elettrica (circa 1.6×10^{-19} C), mentre i neutroni sono elettricamente neutri. Il numero di protoni (Z) presenti in un atomo è detto numero atomico e il numero di neutroni (N) può essere variabile. La somma di questi due numeri viene detta numero di massa ed è convenzionalmente indicata con $A = Z + N$. Atomi con lo stesso numero di protoni ma diverso numero di neutroni sono detti isotopi dello stesso elemento, e vengono identificati mediante il numero di massa.

1.1 - Le forze nucleari

Poiché nel nucleo sono presenti particelle cariche dello stesso segno, tra di esse insorge una forza elettrostatica di repulsione che tende a rendere instabile il nucleo causando la sua rottura. Per contrastare questa forza di repulsione, si manifesta una forza nucleare detta interazione forte, la quale contrasta efficacemente la repulsione elettrostatica tra protoni carichi positivamente. Tale interazione si manifesta con particolare intensità in distanze tipiche delle dimensioni nucleari, per questo motivo la rottura di un nucleo richiede molta energia. Il ramo della fisica che si occupa dello studio delle proprietà dei nuclei è detto fisica nucleare.

I nuclei stabili (non radioattivi) in genere possiedono un egual numero di protoni e di neutroni [1], dal momento che la forza attrattiva tra neutroni e protoni è leggermente più intensa di quella tra nucleoni dello stesso tipo. Tuttavia per numeri di massa atomica superiore al 40 le forze elettrostatiche diventano più significative, spostando quindi la stabilità degli atomi verso quelli con numero di neutroni maggiore rispetto a quello dei protoni.

La stabilità dei nuclei dipende dal bilancio tra le forze attrattive e repulsive. Per nuclei con numero di massa superiore a 40, la repulsione elettrostatica diventa significativa, spostando la stabilità verso nuclei con un numero di neutroni maggiore rispetto a quello dei protoni. Questo perché la forza attrattiva nucleare è saturante, mentre la forza elettrostatica di repulsione è a lungo raggio e si accumula su tutti i protoni presenti nel nucleo.

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 β^- (elettrone) e di un antineutrino in modo da garantire il bilanciamento della reazione sia per la carica che per la massa.

È tipico dei nuclei con eccesso di protoni e quindi al di sopra della valle di stabilità (in figura 1.1).

Tali nuclidi tendono a trasformare i protoni in neutroni per acquisire stabilità, con l'emissione di un β^+ (positrone) e di un neutrino.

- < Fissione spontanea: avviene in alcuni nuclei molto pesanti (in figura 1.1) e dà luogo spontaneamente alla reazione:

${}^A_Z X \rightarrow {}^A_1 H + {}^{A-1}_{Z-1} Y + Q$, in cui Q è l'energia liberata.

- < I nuclei radioattivi possono decadere contemporaneamente ad una di quelle elencate in precedenza in quanto esiste un certo numero di livelli delle specie atomiche interessate. Tale fenomeno è imputabile al fatto che i nuclei neoformati, chiamati nuclei figli, sono caratterizzati dallo stesso stato di eccitazione dei nuclei genitori.

Attualmente sono state studiate le proprietà nucleari di circa 3600 nuclei, che possono essere prodotti con più o meno facilità nelle diverse parti del mondo. I nuclei radioattivi sono chiamati esotici e in base a stime calcolate secondo modelli teorici, si ritiene che possano essere prodotti in grandi quantità.

La carta dei nuclidi (figura 1.1) fornisce inoltre alcune indicazioni su particolari numeri di protoni o neutroni, detti numeri magici. Tali numeri corrispondono a configurazioni nucleari (numero di nucleoni) che rendono il nucleo particolarmente stabile. Numeri magici sono ad esempio 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126. Nuclei che hanno sia il numero di protoni che il numero di neutroni uguale ad uno dei numeri magici sono ancora più stabili e sono detti nuclei doppiamente magici. I nuclei doppiamente magici presenti in natura sono quattro e sono: ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, ${}^{208}_{82}\text{Pb}$.

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

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

Lo 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.

1.2 - I nuclei esotici

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

Lo 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.

Lo 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.

Lo 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.

Lo studio dei nuclei localizzati nella valle di stabilità o da nuclei con una carenza di neutroni. Si ritiene che lo studio di nuclei atomici con un largo eccesso di neutroni o protoni possa consentire la scoperta di nuove proprietà della struttura nucleare.

Sono state previste quattro fasi per il progetto:

- < SPES- (fino a 70 MeV) ciclotrone sarà provvisto di due porte di uscita per consentire la realizzazione della doppia missione del laboratorio: la ricerca di base e le applicazioni tecnologiche. Uno dei due fasci sarà dedicato alla ricerca di fisica nucleare, per la produzione di ioni ricchi di neutroni per collisione di protoni su target di ^{238}U , il secondo sarà dedicato a studi di fisica applicata;
- < SPES- collisioni verranno prodotti nuclei nuovi, con un largo eccesso di neutroni, simili a quelli generati nelle fasi terminali della vita delle stelle e che non sono presenti sulla Terra, a causa della loro brevissima vita. La ricerca in questo ambito rappresenta una nuova frontiera della fisica per estendere la conoscenza di nuclei in condizioni estreme;
- < SPES- innovativi (come quelli basati su ^{82}Rb e ^{68}Ge) e di radionuclidi medici;
- < SPES- acceleratore lineare ad alta intensità basato su *sub-frequency quadrupole technology* & / % nucleare, alla caratterizzazione dei rifiuti nucleari o a trattamenti sperimentali di tumori.

1.3- La produzione di fasci di ioni radioattivi

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

- < il complesso *target* sistema di estrazione e ionizzazione;
- < il *frontend*;
- < i separatori di massa ed isobari;
- < il post acceleratore.

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

Gli obiettivi che stanno alla base del dimensionamento sono:

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

La separazione dei prodotti radioattivi dal substrato target sono processi fortemente termico, la velocità di diffusione delle particelle manifesta un incremento. Ciò risulta importante soprattutto per atomi radioattivi a breve emivita, in quanto un rapido rilascio evita una perdita di questi atomi per decadimento. Per questo motivo il sistema deve essere mantenuto alla maggior temperatura possibile.

In ambito europeo le opportunità scientifiche offerte dai RIB ed i notevoli problemi tecnologici ad essi associati hanno portato la comunità scientifica a proporre la costruzione di una rete di *facility* complementari, definite *intermedia generazione* fondamentali per arrivare alla *facility* europea di tipo ISOL, chiamata EURISOL [2]. Data la 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 progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*) Tale progetto è coordinato a livello nazionale da Padova e a livello internazionale prevede strette collaborazioni con il laboratori del CERN (Svizzera) e di Oak Ridge (USA).

1.4 - La facility

La *facility* è principalmente dedicata alla produzione di radioisotopi *proton-rich* con masse da 80 a 160 una a seguito di fissione nucleare con una resa massima di 10¹⁰ 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 base di uranio (U). Essendo il livello di radioattività stimato nel target di produzione molto elevato, è necessaria la progettazione di speciali infrastrutture in modo da garantire la sicurezza in termini di radioprotezione. In Fig. 1.3 viene mostrata una schematica rappresentazione della *facility*.

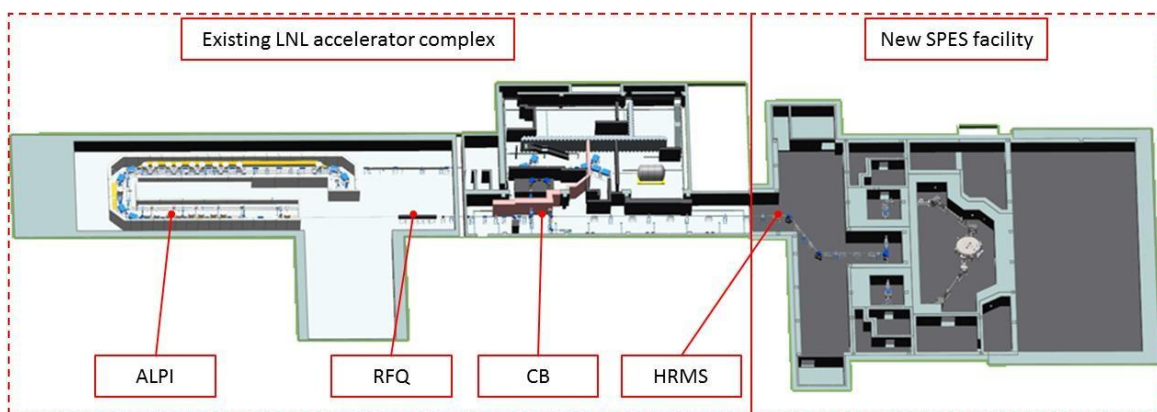


Fig. 1.3 Layout del progetto SPES.



Fig. 1.6

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, la quale viene raffreddata mediante un sistema di estrazione e ionizzazione degli stessi (vedi Figura 1.3) viene raffreddata mediante un sistema di estrazione e ionizzazione degli stessi (vedi Figura 1.3) a pressioni del 0,1-0,2 mbar, condizione necessaria per aumentare il cammino libero medio delle particelle radioattive prodotte.

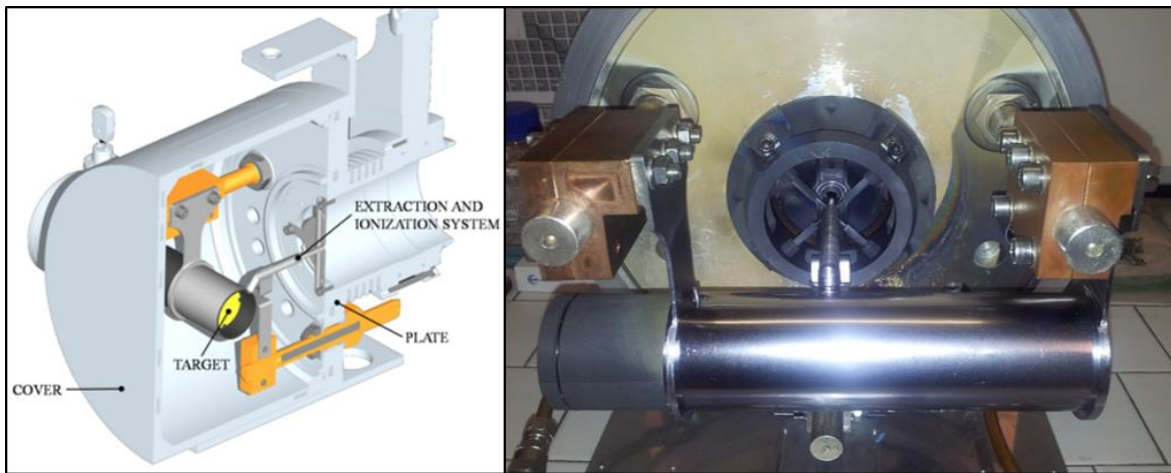


Fig. 1.7 Rappresentazione della camera target del progetto SPES.

Il target è composto da sette dischi coassiali, in Cu di 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 di grafite, un tubo cavo di grafite avente un diametro esterno e una lunghezza di 49 e 200 mm rispettivamente (vedi Figura 1.8). Il fascio di protoni, prima di impattare contro i dischi, fondamentale importanza poiché consente di schermare la zona attiva e di evitare un eccessivo investimento la finestra di grafite e i dischi, di fascio primario vappiattare su trumpee sul fondo scatola base dal lato posteriore del target.

La *box* deve mantenere la temperatura media di 2000 °C, in modo da migliorare l'estrazione dei prodotti di fissione. Essendo la potenza del fascio di protoni non sufficiente a portare il target al livello di temperatura richiesto, è necessario introdurre un riscaldamento 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 riscaldamento è composto da un tubo molto sottile saldato ai bordi a due ali direttamente collegate a morsetti in rame; attraverso i morsetti è possibile far dissipare per effetto Joule il desiderato quantitativo di potenza al riscaldatore. La dissipazione di potenza nucleare, fa in modo che la temperatura del sistema sia mantenuta al valore di utilizzo. Il materiale scelto per il riscaldatore è il tantalio, altamente resistente alla corrosione, in grado di condurre energia elettrica e termica e di raggiungere temperature molto elevate [5].

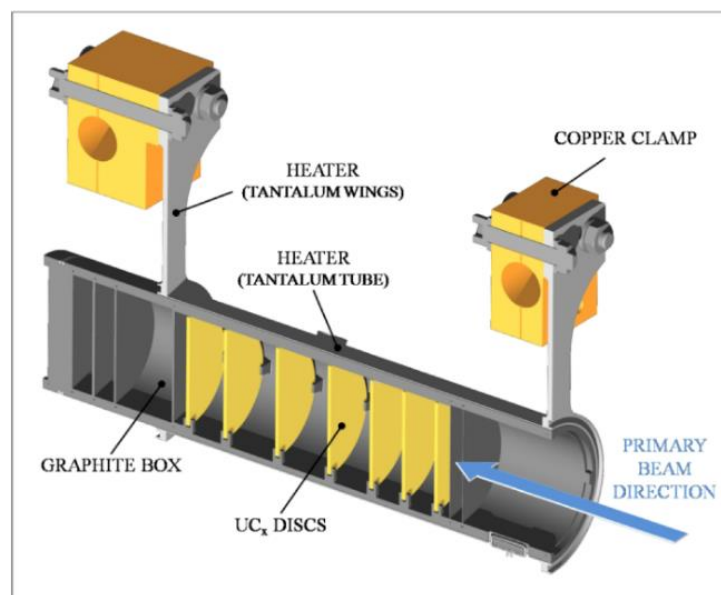


Fig. 1.8 Il target SPES.

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

Il processo di estrazione avviene mediante la linea di trasferimento (line), attraverso la quale gli isotopi in uscita dal target vengono indirizzati verso la sorgente di ionizzazione (source). La linea di trasferimento è un tubo sottile di tantalio saldato al riscaldatore, anche il sistema di trasferimento e ionizzazione viene riscaldato mediante dissipazione di potenza per effetto Joule; in questo modo la temperatura della sorgente arriva fino ai 2200 °C.

La sorgente di ionizzazione è rappresentata da un tubo sottile di tantalio saldato al riscaldatore. Gli alcalino-terrosi hanno bassi potenziali di ionizzazione per cui una energia relativamente bassa sarà richiesta per ottenere il RIB.

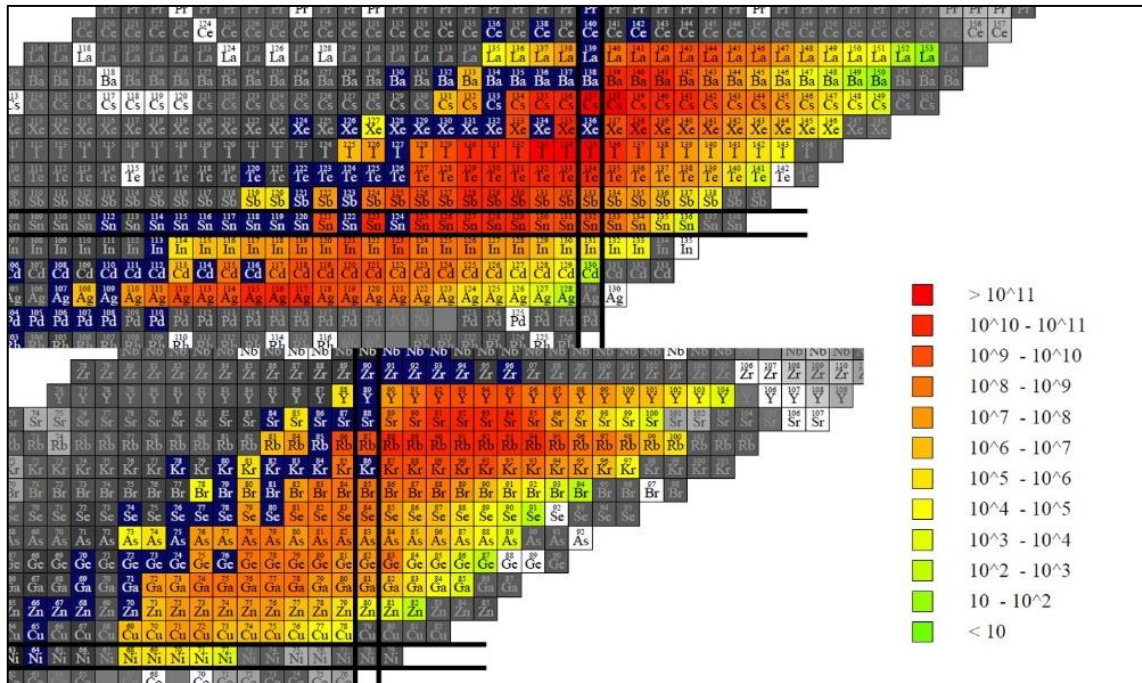


Fig. 1.10 Radionuclidi che produrrà il progetto SPES. La legenda riferisce ai numeri di particelle prodotte per secondo.

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

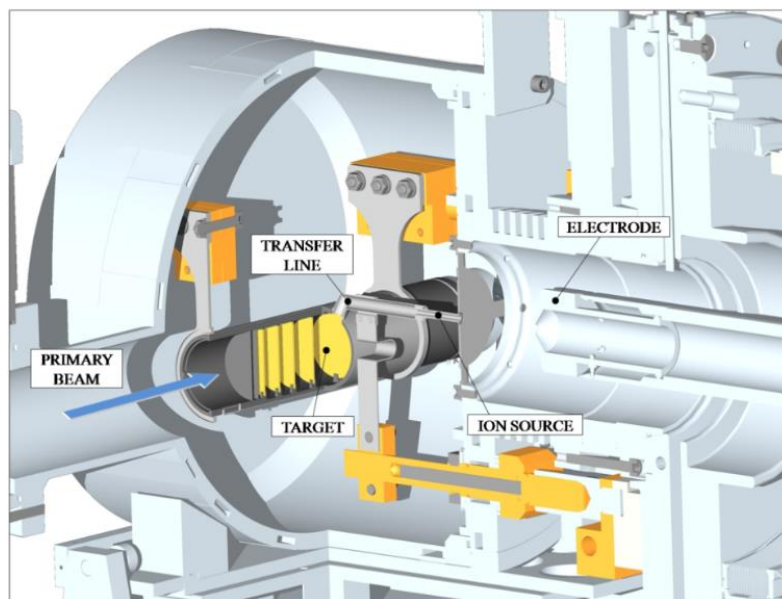


Fig. 1.11 Rappresentazione del sistema di estrazione e ionizzazione del progetto SPES.

1.4.3- Sorgenti di ionizzazione

Di seguito sono elencati le tipologie di sorgenti di ionizzazione che verranno utilizzate

Surface Ion Source (SIS)

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

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

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

Resonant Ionization Laser Ion Source (RILIS)

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

