

Ai miei genitori

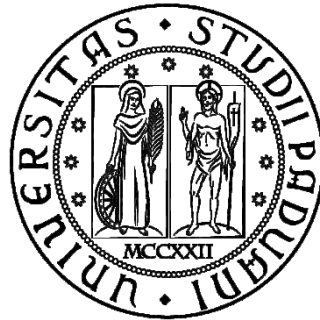
Ai miei fratelli

A mia sorella

*“tutto quello che oggi è una realtà,
prima era solo parte di un sogno
impossibile”*

W.Blake

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

TESI DI LAUREA

ANALISI E SVILUPPO DEL SISTEMA
DI MOVIMENTAZIONE
ORIZZONTALE DELLA CAMERA
TARGET DEL PROGETTO SPES

Relatore: Prof. Giovanni Meneghetti

Correlatore: Dott. Alberto Andrighetto

Laureando: Matteo Vagnoni

ANNO ACCADEMICO 2012-2013

INDICE

CAPITOLO 1

IL PROGETTO SPES AI LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO: PRODUZIONE ED UTILIZZO DI FASCI DI IONI ESOTICI

1.1 Introduzione.....	1-5
1.2 Il Progetto Spes.....	1-9
1.3 L'acceleratore Primario.....	1-9
1.4 La Zona Di Produzione.....	1-10
1.4.1 Il Front-End.....	1-10
1.4.2 Il Canale Protonico (FEP).....	1-11
1.4.3 Il Canale Radioattivo (FER).....	1-12
1.4.4 Il Blocco Target E Camera Target.....	1-13
1.5 Separatori Elettromagnetici E Post Accelerazione.....	1-14
1.6 Applicazione Dei Fasci Di Ioni Esotici.....	1-15
1.6.1 Applicazioni In Fisica Nucleare.....	1-16
1.6.2 Applicazioni In Fisica Dello Stato Solido.....	1-18
1.6.3 Applicazioni Mediche: La Tomografia Ad Emissione Positronica.....	1-19
1.6.4 Applicazioni In Astrofisica.....	1-21
1.7 Conclusioni.....	1-22

CAPITOLO 2

INFRASTRUTTURE E SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE DELLA CAMERA TARGET

2.1 Introduzione.....	2-23
2.2 Infrastrutture Ospitanti La Zona Di Produzione.....	2-24
2.3 La Camera Target.....	2-26
2.4 Studio Del Miglior Sistema Per La Movimentazione Orizzontale.....	2-27
2.5 Sostituzione Camera Target (C.T.).....	2-29
2.5.1 Procedure Di Aggancio Della Camera Target Al Front-End.....	2-31
2.5.2 Procedure Macchina Movimentazione Orizzontale.....	2-33
2.6 Sarcofago E Caratteristiche Generali.....	2-37

2.7 Messa A Magazzino E Stoccaggio Automatico	2-38
2.8 Descrizione Preliminare Della Macchina Di Movimentazione Verticale (M.M.V.)	2-39
2.9 Descrizione Preliminare Della Macchina Movimentazione Orizzontale (M.M.O.)	2-42

CAPITOLO 3

MACCHINA MOVIMENTAZIONE ORIZZONTALE

3.1 Introduzione	3-49
3.2 Sistema Ausiliario Per La Movimentazione [1]	3-50
3.2.1 Caratteristiche Elettromeccaniche	3-51
3.3 Presentazione Del Veicolo Elettrico	3-54
3.4 Caratteristiche Generali.....	3-55
3.5 Telaio.....	3-57
3.6 Motoruote E Ruote Folli	3-58
3.7 Sistema Di Guida Su Rotaia.....	3-61
3.8 Impianto Pneumatico Per Aggancio Rapido (<i>SCHUNK</i>).....	3-65
3.9 Sistema Di Aggancio Al Front –End	3-67
3.10 Organi Di Sicurezza.....	3-71
3.11 Software Per Il Controllo Del Veicolo.....	3-73
3.12 Carter Di Protezione E Cofanature Varie.....	3-77

CAPITOLO 4

RELAZIONE DI CALCOLO

4.1 Introduzione	4-79
4.2 Riepiloghi Generali.....	4-81
4.2.1 Riepilogo Dei Materiali e Delle Masse	4-81
4.2.2 Riepilogo Dei Profili Utilizzati	4-83
4.3 Verifica Del Telaio Base.....	4-85
4.3.1 Verifica Delle Tensioni Ammissibili Sulle Travi Scelte	4-85
4.3.2 Verifica Tensioni Piastra Posteriore Telaio	4-93
4.3.3 Verifica Saldature Punti Critici.....	4-94
4.3.4 Verifica Perno Della Ruota.....	4-96

4.4	Verifica Del Sistema Di Discesa Delle Ruote Guida	4-97
4.4.1	Verifica Statica Asta Di Manovella.....	4-98
4.4.2	Verifica Statica Perno Di Manovella.....	4-99
4.4.3	Verifica Supporto A “L” Reggispinta.....	4-99
4.4.4	Verifica Vite Di Scorrimento Trapezoidale E Chiocciola	4-101
4.4.5	Verifica Dei Cuscinetti Del Sistema Di Discesa Ruote Guida.....	4-105
4.5	Verifica Del Sistema Di Aggancio.....	4-107
4.5.1	Verifica Molla Aggancio E Verifica Perno Di Rotazione Perno Di Bloccaggio	4-108
4.5.2	Verifica Piastra Laterale Di Invito	4-110
4.6	Verifica Telaio Portante Per Sollevamento	4-111
4.7	Verifica Supporto Ad “L” e Compensatore.....	4-112
4.8	Dimensionamento Batterie	4-114

CAPITOLO 5

TEST DI MOVIMENTAZIONE

5.1	Introduzione.....	5-115
5.2	Modulo Compensatore	5-117
5.2.1	Analisi Delle Specifiche Iniziali.....	5-117
5.2.2	Progettazione Logico Funzionale Del Compensatore	5-118
5.2.3	Utensile Schunk E Modifiche Apportate.....	5-122
5.3	Supporto Ad “L” Della Camera Target	5-124
5.4	Complessivo Del Sistema Di Aggancio	5-125
5.5	Produzione Delle Parti.....	5-126
5.6	Assemblaggio	5-129
5.7	Test Di Movimentazione	5-131

CONCLUSIONI

6.1	Introduzione E Riepilogo Lavoro Svolto	6-135
6.2	Realizzazione Delle Parti	6-135
6.3	Utilizzo Affiancato Ad Un Agv	6-136

APPENDICE

7.1 Tavole Tecniche Compensatore	7-137
7.2 Report Economico	7-147
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFIA	7-149

CAPITOLO 1

IL PROGETTO SPES AI LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO: PRODUZIONE ED UTILIZZO DI FASCI DI IONI ESOTICI [0]

1.1 INTRODUZIONE

Tutto ciò che esiste e che possiamo percepire con i nostri sensi è materia, sia essa allo stato solido, liquido o aeriforme. Si definiscono sostanze i diversi tipi di materia caratterizzati da proprietà fisiche e chimiche specifiche. La materia ha una struttura discontinua, cioè costituita da piccole particelle, gli atomi, tutti della stessa specie nelle sostanze semplici (elementi), o diversi e presenti in un determinato rapporto nelle sostanze composte (composti). L'atomo può quindi essere considerato la più piccola parte di un elemento, mentre la molecola, formata da più atomi, e la più piccola parte di una sostanza - elemento o composto - che mantiene le caratteristiche fisiche e chimiche della sostanza stessa, e che può esistere allo stato libero.

L'atomo è costituito da un nucleo centrale in cui, in un volume ridotto, è concentrata tutta la massa, formata da protoni (particelle a carica positiva) e da neutroni (particelle elettricamente neutre), chiamati entrambi "nucleoni"; attorno al nucleo, carico positivamente, si muovono gli elettroni, di massa trascurabile ed aventi carica uguale a quella dei protoni ma di segno opposto (particelle a carica negativa). La stabilità del nucleo è garantita dalla presenza di una forza di attrazione tra i nucleoni molto intensa, definita "interazione forte": tale forza si manifesta con efficacia a distanza inferiori alle dimensioni nucleari e bilancia la repulsione elettrostatica tra i protoni carichi positivamente. L'interazione forte vincola il moto dei nucleoni attorno alla massa nucleare centrale e, a causa della sua notevole intensità, la rottura del nucleo atomico richiede moltissima energia.

La fisica nucleare si occupa del comportamento e della stabilità dei nuclei, che in natura non si trovano come semplici agglomerati di nucleoli, bensì come ordinate e bilanciate combinazioni di protoni e neutroni.

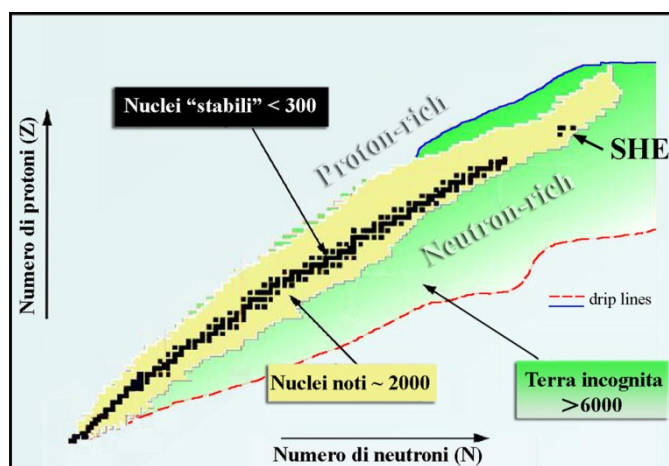


Figura 1. 1 - Carta dei nuclidi [0]

I nuclei stabili possiedono all'incirca uguale numero di neutroni e protoni e costituiscono la cosiddetta “valle di stabilità” nella carta dei nuclidi (Figura 1.1): il motivo fondamentale della maggiore stabilità dei nuclei con numero di protoni uguale al numero di neutroni e da ricercarsi nel fatto che l’interazione neutrone-protone è leggermente più intensa rispetto alle interazioni protone-protone e neutrone-neutrone. Per i nuclei con numero di massa $A \geq 40$ (si ricorda che $A = Z + N$, con $Z = \text{numero di protoni}$ ed $N = \text{numero di neutroni}$), la forza coulombiana sposta la linea di stabilità lontano dalla retta in cui giacciono i nuclei con numero di protoni uguale al numero di neutroni, verso nuclei ricchi di neutroni (che essendo privi di carica, non alimentano la forza repulsiva elettrostatica). Inoltre, la forza coulombiana limita anche l’esistenza di elementi super pesanti (SHE, *Super Heavy Elements*), dato che il corto raggio di azione della forza nucleare forte non permette un’efficace opposizione della forza elettrostatica, agente invece a più lungo raggio. I nuclei decadono con emissione di particelle (alfa, beta, neutrini, etc.) e raggi γ . Tali nuclei instabili vengono comunemente chiamati “esotici” ed al momento circa 2000 di essi sono stati prodotti e caratterizzati in laboratori di ricerca di tutto il mondo. Calcoli teorici prevedono tuttavia l’esistenza di un numero di nuclei esotici molto più elevato (più di 6000), quindi è possibile che un gran numero di essi sia presente nella cosiddetta “terra incognita”, tuttora inesplorata, che comprende la regione ricca di neutroni (*neutron-rich*) e quella dei nuclei superpesanti. La carta dei nuclidi individua e classifica i nuclei in base al numero di protoni (Z) ed al numero di neutroni (N). I nuclei definiti “stabili” (quadrantini neri) sono quelli non radioattivi oppure aventi tempo di decadimento comparabile all’età della terra (o perfino superiore). La regione di colore giallo è quella dei nuclei artificiali, che possono avere vita più o meno breve a seconda dei casi. Aggiungendo neutroni o protoni ad un nucleo ci si allontana dalla valle di stabilità fino a raggiungere i limiti, detti *drip lines*, caratterizzati da una diminuzione della forza di attrazione tra neutroni e protoni tale da non garantire più la stabilità del nucleo: calcoli teorici hanno dimostrato che al di fuori delle

drip lines i nuclei emettono nucleoni molto rapidamente per formare nuovi nuclei, con combinazioni di protoni e neutroni tali da poter rientrare nell'area di potenziale stabilità, nella quale l'interazione forte è nuovamente capace di garantire il grado di coesione necessario. La regione indicata in verde, ancora inesplorata, è definita "terra incognita" ed è caratterizzata dalla presenza di nuclei radioattivi con rapporti N/Z molto piccoli (*proton-rich*) o molto grandi (*neutron-rich*). La Figura 1.1 mostra che l'area *protonrich* è relativamente ben definita teoricamente, mentre quella *neutron-rich* è molto più vasta ed indefinita. Come si vedrà nei paragrafi successivi lo studio dei nuclei instabili, ed in particolare dei fasci di ioni esotici, ha suscitato un crescente interesse dovuto alle sue molteplici applicazioni non solo nel campo della fisica nucleare ma anche in astrofisica, medicina e fisica dello stato solido.

Per l'utilizzo pratico e la produzione di ioni radioattivi di questo tipo è necessaria la costruzione di sistemi acceleratori ed attrezzature capaci di garantire fasci ionici (RIB, *Radioactive Ion Beams*) di elevata purezza, intensità ed energia (*facilities*). Le *facilities* già operanti e quelle in via di costruzione prevedono due tecniche differenti per la produzione del RIB; il metodo IN-FLIGHT o FSR (*Fragment Recoil Separator*) ed il metodo ISOL (*Isotope Separation On-line*). I due metodi si distinguono in base alla dimensione del *target* di produzione e richiedono ognuno una differente tecnologia di estrazione degli isotopi radioattivi prodotti. La maggior parte delle *facilities* operanti in Europa ed in altre parti del mondo sono basate sul metodo ISOL.

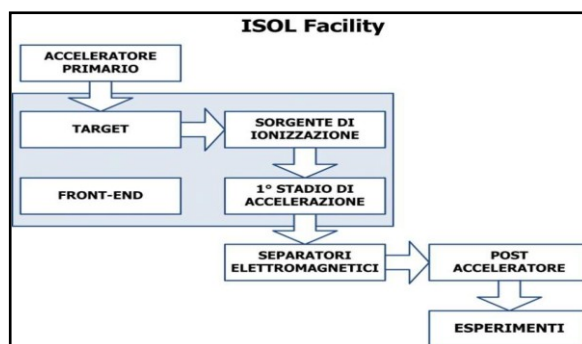


Figura 1. 2 - Schema di una facility di tipo ISOL [0]

La tecnica ISOL (*Isotope Separation On-Line*), schematizzata in figura 1.2, utilizza la separazione degli isotopi in linea. I principali costituenti di tale tipologia di *facility* sono:

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

Un fascio di particelle della voluta energia, proveniente dall'acceleratore primario, viene fatto collidere con un bersaglio (*target*) di materiale fissile: in questo modo si ottiene la produzione degli isotopi

radioattivi tramite reazioni nucleari (fissione, spallazione, frammentazione, ecc...). Attraverso un opportuno sistema i radioisotopi prodotti vengono estratti e ionizzati: in questo modo potranno essere accelerati per differenza di potenziale. Il primo stadio di accelerazione avviene nel *front end* che attira gli ioni e li invia verso dei separatori elettromagnetici all'interno dei quali il fascio viene opportunamente selezionato e purificato. I separatori sono quindi necessari se si vuole ottenere un fascio chimicamente ed isobaricamente puro. Successivamente, gli ioni vengono post accelerati al livello di energia richiesto dal particolare esperimento. L'intensità del fascio radioattivo prodotto è usualmente descritta dalla seguente equazione:

$$I = \sigma \cdot \Phi \cdot N \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3$$

dove σ è la sezione d'urto per le reazioni nucleari, 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 e ε_3 è l'efficienza del processo di estrazione. Una corretta configurazione del complesso target - sistema di estrazione e ionizzazione è cruciale per un efficiente funzionamento di una facility di tipo ISOL. Gli obiettivi che stanno alla base del dimensionamento sono:

- 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: in particolare, all'aumentare del livello termico, la diffusione delle particelle risulta accelerata. Chiaramente, più breve è la vita media degli atomi radioattivi, più rapido deve essere il tempo di rilascio, e di conseguenza, il sistema deve essere mantenuto alla più alta 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. Tale progetto rappresenta un'iniziativa che vede coinvolti i principali laboratori nucleari europei, e ha come obiettivo lo studio e la progettazione di una struttura per la produzione di fasci radioattivi di qualità significativamente superiore a quella attualmente disponibile. In tale direzione sono orientati anche i Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL), nei quali è prevista la costruzione di una *facility* ISOL per la produzione di fasci di ioni esotici: il progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*). Tale programma è coordinato a livello nazionale e prevede la collaborazione di sei sezioni: INFN, l'ENEA (Bologna), i Dipartimenti di Ingegneria Meccanica e di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Padova e, a livello internazionale, strette collaborazioni con il CERN (Svizzera) ed i Laboratori di Oak Ridge (USA).

1.2 IL PROGETTO SPES

Il principale obiettivo del progetto SPES è di fornire un acceleratore che permetta di svolgere ricerca all'avanguardia in fisica nucleare attraverso lo studio di nuclei lontani dalla valle di stabilità. Il progetto è basato sulla produzione di nuclei radioattivi *neutron-rich* attraverso la fissione nucleare (con una resa massima di 10^{13} fissioni/s) indotta bombardando un *target*, realizzato in carburo di uranio, con un fascio di protoni di 40 MeV a 200 μ A di corrente (per una potenza totale di 8 kW). Poiché il livello di radioattività stimato nel *target* di produzione è molto elevato, è necessaria la progettazione di speciali infrastrutture in modo da garantire la sicurezza in termini di radio protezione.

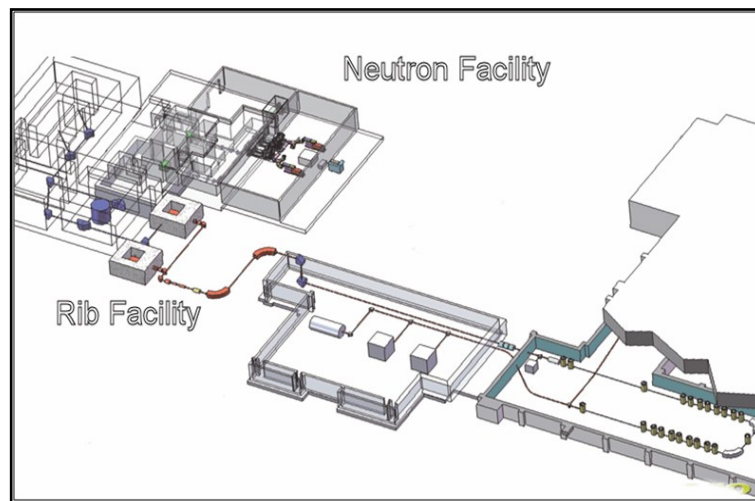


Figura 1. 3 - Layout del progetto SPES [0]

La *facility* SPES prevede inoltre la realizzazione di un acceleratore di neutroni (*Neutron Facility*) attraverso l'impiego di un secondo fascio di protoni ad alta energia. La *Neutron Facility* è un obiettivo secondario del progetto SPES, ma permette comunque importanti applicazioni mediche ed interdisciplinari. In Figura 1.3 viene mostrato il layout del progetto SPES nel quale è visibile sia la *facility* per la produzione del fascio di ioni esotici, sia la *Neutron Facility*.

Viene di seguito fornita una descrizione dei componenti principali appartenenti alla RIB *facility* attualmente in fase di costruzione ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

1.3 L'ACCELERATORE PRIMARIO

L'acceleratore primario ha la funzione di produrre un fascio primario di particelle, il quale deve essere direzionato verso il *target* dove la reazione nucleare ha luogo.

La *facility* SPES utilizzerà come acceleratore primario 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, per alimentare la *Neutron*

Facility. Il mercato offre oggi la possibilità di produrre, con la tecnologia del ciclotrone, fasci di intensità molto vicina alle richieste del progetto SPES, portando alla scelta di una soluzione commerciale. Un esempio di ciclotrone commerciale adatto al progetto SPES è il Cyclone[®] 70, sviluppato dalla IBA e mostrato in figura 1.4 che è in grado di fornire due fasci di protoni indipendenti fino a 70 MeV di energia ed aventi una corrente massima di $750\ \mu\text{A}$.

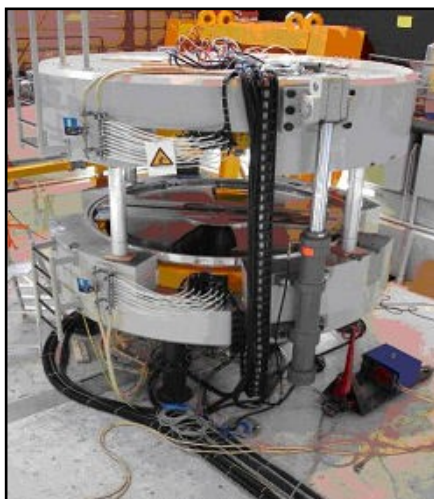


Figura 1. 4 - Il ciclotrone [0]

1.4 LA ZONA DI PRODUZIONE

L'area di produzione del fascio radioattivo si compone essenzialmente di due parti:

- Il front-end;
- La camera target.

1.4.1 IL FRONT-END

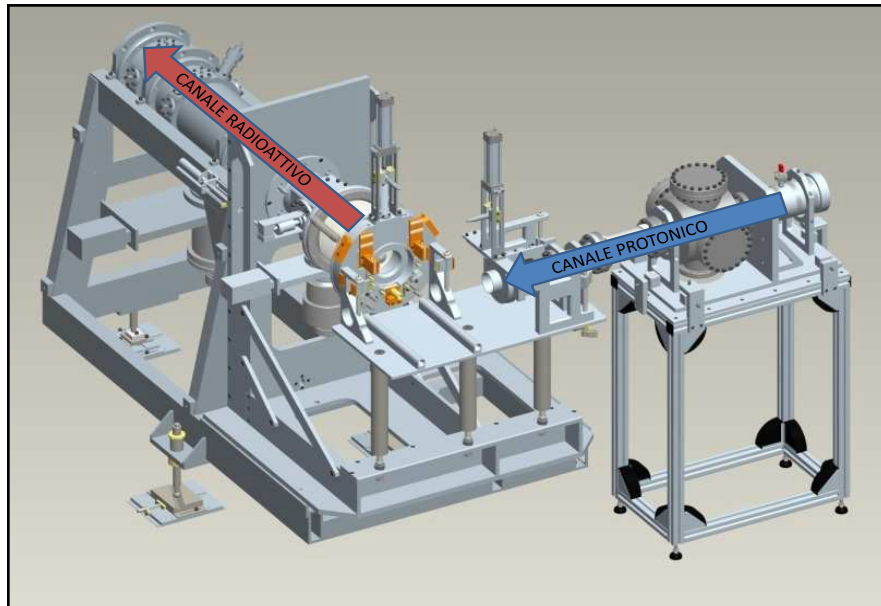
Il front-end (Figura 1.5) è l'insieme di più elementi complementari tra loro e aventi ciascuno una specifica funzione che concorrono allo scopo di consentire la produzione e il trasporto dei fasci di ioni radioattivi. Si compone essenzialmente di due parti: il front-end protonico (FEP), impropriamente detto canale protonico (il canale protonico in senso stretto corrisponde a tutto ciò che è compreso tra la sorgente di ioni, il ciclotrone, e il front-end), responsabile del trasporto del fascio protonico; e il canale radioattivo (FER) responsabile del trasporto del fascio radioattivo e caratterizzato dallo stesso vizio di denominazione chiarito in precedenza.

Il front-end svolge le seguenti funzioni:

- Garantisce sostegno e stabilità al canale protonico, alla camera target e agli apparati necessari al trasporto del fascio radioattivo;

- Realizza un grado di vuoto sufficientemente spinto per il corretto funzionamento di tutti gli organi al suo interno e a esso collegati;
- Consente un rapido aggancio della camera target;
- Provvede all'apporto verso la camera target di energia elettrica, a per il riscaldamento del blocco target e di acqua per il raffreddamento della camera stessa.

Figura 1. 5 - Front-end [0]



L'alto livello di vuoto, dell'ordine di 10^{-5} mbar, facilita il cammino dei due fasci ed evita l'ossidazione dei componenti del target, aspetto di grande importanza dato che la camera target lavora ad alte temperature. Il vuoto si ottiene in due passaggi: inizialmente una pompa volumetrica tipo scroll raggiunge vuoti dell'ordine di 10^{-2} - 10^{-3} mbar, successivamente, azionando una pompa turbomolecolare si raggiungono le pressioni richieste in esercizio. Vuoti superiori a valori di 10^{-5} - 10^{-6} mbar non sono raggiungibili per problemi di degassamento superficiali, legati al materiale scelto per la costruzione del front-end (alluminio). L'alluminio è stato preferito all'acciaio poichè quest'ultimo ha la tendenza ad attivarsi in modo significativo in presenza di radiazioni.

1.4.2 *IL CANALE PROTONICO (FEP)*

Il canale protonico collega il ciclotrone alla camera target permettendo l'isolamento elettrico tra le due estremità. Come vedremo infatti, per estrarre il fascio radioattivo è necessario applicare una differenza di potenziale tra il luogo di formazione del fascio e la zona di arrivo di circa 60 kV.

Il collimatore (Figura 1.6) è il primo elemento della catena ed è formato da una serie di blocchi di graffite con un foro cilindrico con diametro che varia da 70 mm a 40 mm: i blocchi sono posti in modo tale che il diametro del foro sia decrescente nel verso del fascio, in questo modo riduce l'area d'impatto del fascio stesso adattandola alla dimensione dei dischi di uranio. Nella struttura esterna, che contiene i dischi di graffite, è stato ricavato un condotto per la circolazione di acqua di raffreddamento.

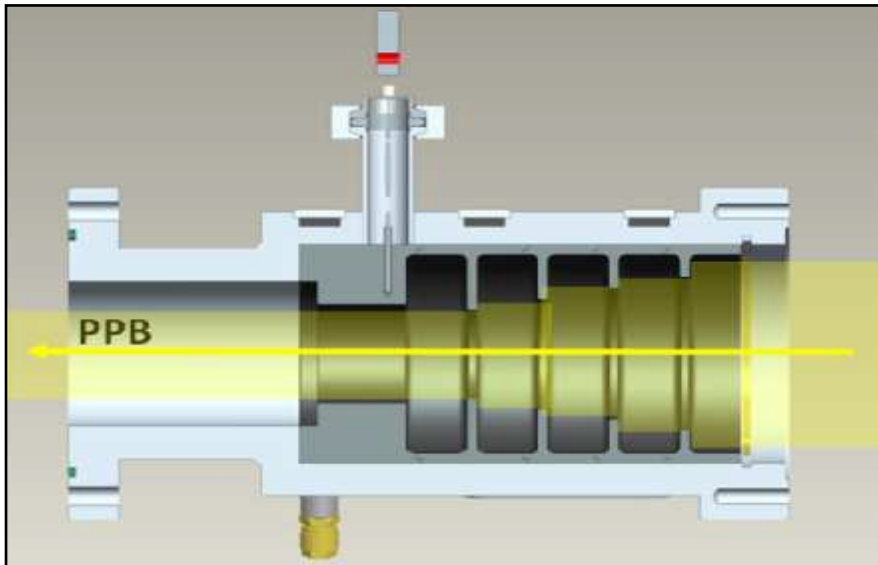


Figura 1. 6 – Collimatore [0]

Il blocco di diagnostica consente l'installazione della Faraday cup, uno strumento di misura della potenza del fascio protonico, ed inoltre fissa nell'imbocco sottostante la pompa turbo-molecolare. L'isolatore, in allumina (Al_2O_3), provvede al collegamento degli organi precedenti al front-end mantenendo l'isolamento elettrico e termico.

1.4.3 *IL CANALE RADIOATTIVO (FER)*

Il canale radioattivo riceve e affina il fascio radioattivo. E' composto di due parti:

- parte di telaio fissata con il gruppo di quadripoli che affina il fascio;
- parte di telaio amovibile che comprende la tavola di ammaraggio che sostiene la camera target e tutti gli oggetti vicini ad essa.

Le zone più prossime alla camera target sono soggette a un forte irraggiamento e di conseguenza a un danneggiamento che dipende dalla radiazione assorbita, la quale varia con il quadrato della distanza dalla fonte irradiante. Proprio per questo motivo si stima la sostituzione della camera target ogni 15 giorni di lavoro. Le zone prossime alla camera vengono sostituite ogni 7 anni di lavoro mentre il resto del front-end è a una distanza tale per cui è trascurabile il danneggiamento da radiazione. Il telaio fisso è assicurato a terra tramite dei piedini regolabili in altezza che poggiano su basi che consentono un

buon allineamento dell'intera struttura al piano di appoggio. Il gruppo di quadripoli focalizza elettrostaticamente il fascio radioattivo. Infine c'è la parte amovibile del telaio che contiene i componenti più sollecitati dell'intero front-end. La sua funzione principale è quella di collegare la camera target al front-end effettuando tutte le connessioni pneumatiche ed elettriche.

1.4.4 *IL BLOCCO TARGET E CAMERA TARGET*

La configurazione prescelta per il bersaglio di produzione prevede il bombardamento diretto del materiale fissile con un fascio protonico di alta potenza (8 kW). Il problema principale di questo tipo di configurazione è rappresentato dalla grande difficoltà che si incontra nel dissipare la potenza rilasciata dal fascio protonico nell'attraversamento del target. Per ovviare a questo problema, dopo vari studi su diverse tipologie di target, si è arrivati a utilizzare un bersaglio costituito da 7 dischi di carburo di uranio (UCx) di 40 mm di diametro ciascuno con uno spessore poco superiore a 1 millimetro e di massa complessiva di circa 30 g. La soluzione scelta si è rivelata adeguata ad ottimizzare la dissipazione di calore a livello del bersaglio e quindi a migliorare notevolmente la capacità di raffreddamento del sistema target. I dischi di UCx sono tenuti sotto vuoto all'interno di un cilindro in grafite e la trasmissione del calore dai dischi al cilindro è affidata esclusivamente alla radiazione termica. Grazie a questa modalità di trasmissione del calore, il flusso termico risulta direttamente proporzionale alla superficie coinvolta nello scambio. A questo punto è facile comprendere i vantaggi della nuova soluzione adottata: 'spezzettare' un dato volume in più parti, aumentando di conseguenza la superficie di scambio termico in gioco, rende il processo più controllabile.

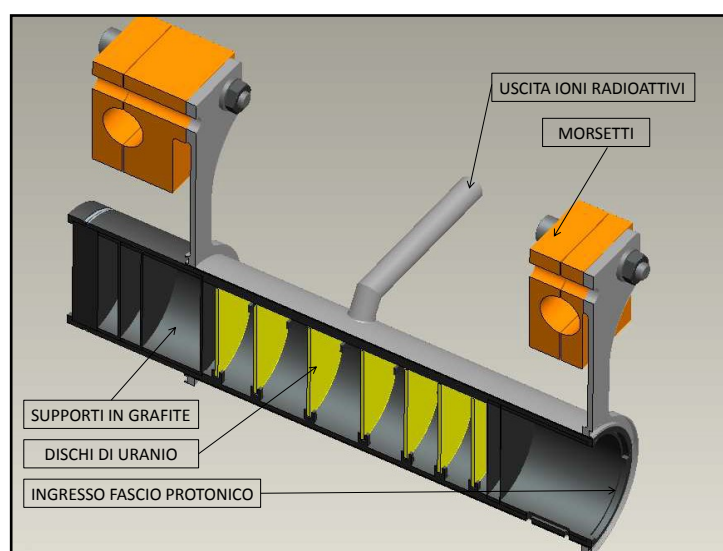


Figura 1. 7 - Sezione del blocco target [0]

Come accennato precedentemente, il fascio protonico primario di 40 MeV e 200 μ A (8 kW di potenza) incide sul bersaglio, costituito da un contenitore cilindrico di grafite contenente 7 dischi in carburo

d'uranio e 3 dischi consecutivi di grafite. I dischi in carburo d'uranio, aventi 4 cm di diametro e 1,3 mm di spessore costituiscono il materiale fissile, mentre i dischi di grafite servono per 'fermare' i protoni a bassa energia dopo l'attraversamento delle sette pastiglie in carburo di uranio. Il fascio di protoni, prima di impattare contro i dischi, attraversa due finestre in grafite molto sottili. Questo passaggio è di fondamentale importanza per non attenuare l'intensità del fascio, in quanto consente di schermare la zona attiva e di evitare un eccessivo raffreddamento del materiale fissile in corrispondenza dell'ingresso del fascio. Gli isotopi radioattivi così prodotti vengono in seguito inviati alla sorgente di ionizzazione attraverso il tubo di trasferimento, denominato 'camino'. Dato che il tempo impiegato da un radioisotopo a diffondere all'esterno del materiale fissile e a effondere verso la sorgente di ionizzazione diminuisce al crescere della temperatura, per avere un efficiente rilascio è necessario che l'intero target sia mantenuto a una temperatura di utilizzo di circa 2000°C. Nella scelta del materiale per il bersaglio è quindi di massima importanza controllare non solo le caratteristiche nucleari, ma anche le proprietà termiche, in particolare l'emissività e la temperatura di fusione del composto usato (nel caso specifico l'UCx).

Il fascio e il bersaglio descritti hanno dei vantaggi non indifferenti rispetto a quelli usati nelle altre facilities:

- Il bersaglio è costituito da soli 30 g di materiale fissile;
- Il materiale bersaglio viene distribuito in 7 dischi di diametro di 4 cm, in modo da ottimizzare la dissipazione termica e nel contempo garantire che il sistema funzioni alle elevate temperature di esercizio (2000°C);
- La finestra in grafite e i tre dischi in grafite, del sistema "dump", rendono termicamente isolata la zona calda del target;
- Il sistema bersaglio e sorgente sono riscaldati utilizzando tecnologie semplici;
- La riduzione dei costi di progetto e di ricerca relativi al contenitore dovuta all'impiego della struttura esterna che contiene il target utilizzata nelle altre facilities.

1.5 SEPARATORI ELETTRROMAGNETICI E POST ACCELERAZIONE

Il fascio estratto dalla sorgente di ionizzazione viene 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 300 e consente così di separare i vari elementi in base alla massa. Il separatore di massa è seguito da un separatore isobaro, avente una risoluzione pari a 15000, che permette quindi di separare gli isotopi come il ^{132}Cs e lo ^{132}Sn tra loro isobari. Per migliorare la capacità di selezione dei separatori isobari è

necessario operare con un'energia in ingresso dell'ordine dei 200 keV : questo è reso possibile montando sia il target che il primo separatore su una piattaforma HV a 250 kV .

A questo punto il fascio radioattivo può essere direttamente convogliato alle sale sperimentali (nel caso di 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 nei LNL, ma negli ultimi tempi è stato sottoposto ad un numero significativo di miglioramenti. In particolare, mentre prima consentiva la produzione di fasci di ioni stabili, ora può essere impiegato come un acceleratore di RIB. In Figura 1.8 è riportata una rappresentazione schematica in cui sono visibili i componenti principali che costituiscono la facility SPES per la produzione di fasci di ioni esotici.

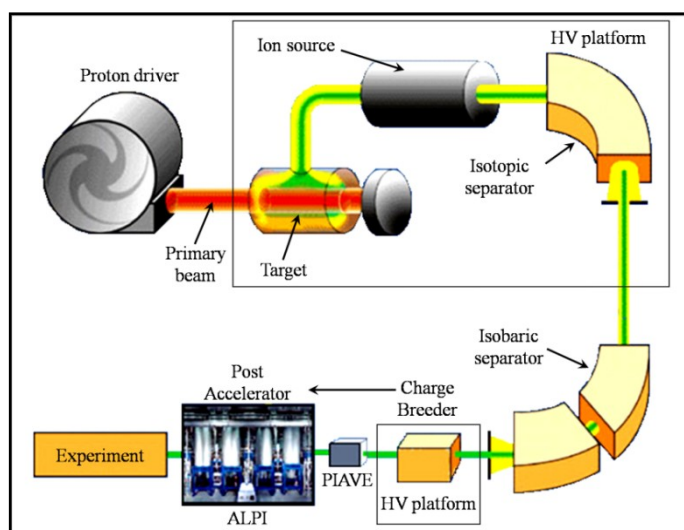


Figura 1. 8 - Rappresentazione schematica della facility SPES [0]

Si ricorda che la corrente finale del fascio radioattivo dipende dall'efficienza di molti processi chimico-fisici: complessivamente ci si aspetta, alle sale sperimentali, un fascio avente un rapporto di circa $10^6\div 10^9\text{ isotopi/s}$ (molto inferiore alle $10^{13}\text{ fissioni/s}$ date dalla fissione nucleare).

1.6 APPLICAZIONE DEI FASCI DI IONI ESOTICI

Nel corso degli anni, i fasci di ioni esotici hanno suscitato un crescente interesse a causa delle loro molteplici applicazioni non solo nel campo della fisica nucleare ma anche in astrofisica, medicina e fisica dello stato solido. Nel presente paragrafo vengono brevemente descritte le principali applicazioni dei fasci di ioni radioattivi nelle quattro aree citate.

1.6.1 APPLICAZIONI IN FISICA NUCLEARE

Miglioramento e verifica del Modello Standard

Il modello standard della fisica delle particelle è una teoria che descrive insieme tre delle quattro forze fondamentali, cioè l'interazione nucleare forte, l'elettromagnetismo e l'interazione nucleare debole (queste ultime due unificate nell'interazione elettro-debole), nonché la funzione e le proprietà di tutte le particelle (note ed osservate) che costituiscono la materia. Nonostante il suo successo, tale modello non è del tutto soddisfacente poiché dipende in modo sostanziale da alcune assunzioni fatte *ad-hoc*. Elaborati esperimenti di fisica nucleare, suggeriti da convincenti basi teoriche, sono stati ideati allo scopo di chiarire l'origine di queste assunzioni e pervenire così all'unificazione delle interazioni fondamentali. Tali esperimenti prevedono precise misure delle proprietà di decadimento di alcuni nuclei che possono essere effettuate proprio utilizzando, come sorgente pura di ioni, i fasci di ioni radioattivi prodotti dalle facilities.

Studio della struttura di nuclei complessi

I nucleoni (protoni e neutroni) sono costituiti da sub-particelle chiamate quark che esercitano un effetto fisico anche oltre i nucleoni nei quali sono confinati: in particolare, le interazioni tra i nucleoni all'interno del nucleo sono diverse da quelle esistenti tra due nucleoni liberi, in quanto esse dipendono anche dalla densità di protoni e neutroni associata al particolare tipo di nucleo. Al momento, non esiste una formula generale che consenta di quantificare l'entità delle interazioni nucleari per tutti i nuclei rappresentati nella figura 1.9, in quanto i calcoli quantomeccanici sono applicabili unicamente ai nuclei più leggeri. L'obiettivo della fisica nucleare è di ottenere una trattazione unitaria che:

- a) permetta di derivare l'effettiva interazione tra le particelle nucleari;
- b) elimini le incongruenze dei modelli correnti;
- c) sia applicabile anche ai nuclei aventi rapporto protoni/neutroni estremo (nuclei esotici).

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

Misura della dimensione del nucleo: i nuclei "halo"

La dimensione del nucleo è legata al numero totale di nucleoni che lo costituiscono A dalla semplice relazione $R=R_0A^{1/3}$, dove R è il raggio nucleare ed R_0 una costante pari a 1.2 fermi ($1\text{fm}=10^{-15}\text{m}$). Tuttavia, allontanandosi dalla valle di stabilità, si possono incontrare notevoli deviazioni da tale legge, in quanto le energie di legame tra le particelle di uno stesso nucleo possono diventare così piccole da causare la formazione di nuclei particolari, chiamati "ad anello" (nuclei "halo"). I nuclei "halo" sono caratterizzati da una diversa collocazione dei neutroni: possiedono infatti molti più neutroni dei rispettivi isotopi stabili e inoltre, uno o due neutroni, essendo debolmente legati al nucleo, orbitano attorno ad esso (neutroni di valenza).

Un esempio di nucleo “*halo*” è il ^{11}Li : esso ha una dimensione media del nucleo paragonabile a quella del ^{48}Ca , se però si considera l’alone, racchiuso dalle orbite dei due elettroni di valenza presenti, il nucleo assume dimensioni paragonabili a quelle del ^{208}Pb (vedi Figura 1.9).

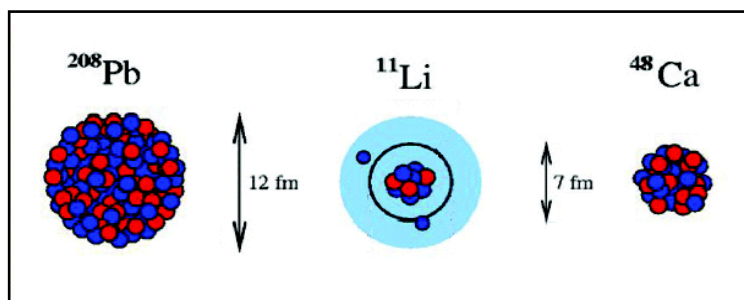


Figura 1. 9 - Paragone tra la dimensione del nucleo di Li^{11} e quella di altri nuclei più massivi [0]

Il nucleo ^{11}Li è un sistema a tre corpi (i due neutroni “esterni” ed il core) e rappresenta un esempio naturale di sistema Borromeico (vedi Figura 1.10). In topologia, i tre anelli borromeici sono legati l’un l’altro in modo tale che la rottura di uno permetta la separazione degli altri due.



Figura 1. 10 - Anelli borromeici [0]

I nuclei ad anello sono anche chiamati “nuclei Borromeici” proprio perché se uno dei loro costituenti viene a mancare, gli altri diventano immediatamente instabili e si possono a loro volta allontanare facilmente.

Attualmente, per la misura della distribuzione di protoni, sulla base di esperimenti di spettroscopia atomica, si usano fasci radioattivi di bassa energia e luce laser collineata. Per la determinazione della distribuzione di tutti i nucleoni, vengono invece impiegati fasci radioattivi ad alta energia.

Produzione di elementi superpesanti

Gli elementi naturali sono circa 90: dall’Idrogeno all’Uranio. Negli ultimi anni, l’utilizzo di reazioni di fusione nucleare ha permesso la sintesi di nuovi elementi di elevato peso atomico, estendendo il numero dei costituenti della Tavola Periodica sino all’elemento avente numero atomico

112 e prospettando un'ulteriore estensione a 116. In particolare questi elementi, chiamati superpesanti (nei quali si ha una fortissima repulsione colombiana), sembra riescano a formarsi attorno alla cosiddetta "Isola di Stabilità" (una combinazione di 114 protoni e 184 neutroni che pare garantire la stabilità del nucleo). La recente disponibilità di fasci intensi, costituiti da nuclei instabili ricchi di neutroni (n-rich) accoppiati a target stabili, anch'essi ricchi di neutroni, potrebbe sbarrare definitivamente la strada ad uno studio e ad una indagine accurata di tale fenomeno.

1.6.2 APPLICAZIONI IN FISICA DELLO STATO SOLIDO

La tecnica *Radio Tracer Diffusion*, nata nel 1920, consiste nell'impiantare all'interno di un sistema solido dei nuclei radioattivi e di studiarne il decadimento, rilevando le particelle o la radiazione gamma da essi emessa. Tale tecnica permette di captare segnali anche da pochissimi atomi e rappresenta uno dei metodi più comuni per studiare i processi di diffusione atomica nei solidi.

Il sistema ospitante può essere drogato con i radioisotopi "sonda" per diffusione, tramite reazione nucleare, oppure per impianto ionico. La scelta dell'atomo radioattivo da utilizzare per un determinato esperimento viene fatta in base alla natura chimica e alle proprietà nucleari di quest'ultimo.

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

- osservare, tramite i prodotti di decadimento, l'interazione tra l'atomo sonda e l'intorno reticolare che lo circonda;
- ottenere informazioni riguardanti il campo elettrico e magnetico all'interno del cristallo;
- studiare i processi diffusivi e le interazioni tra gli atomi sonda;
- indagare i tipi di difetti presenti nel cristallo.

Drogaggio dei semiconduttori

Lo sviluppo di semiconduttori di piccole dimensioni, aventi caratteristiche ottiche ed elettriche ottimali, richiede un controllo completo dei difetti che governano tali proprietà, sia intrinseci (come le vacanze interstiziali) che estrinseci (come i droganti e le impurità atomiche): per tale motivo sia la ricerca di base che quella applicata stanno concentrando notevoli sforzi sullo studio dei difetti e dell'attivazione elettrica dei droganti in diversi semiconduttori.

Analogamente agli isotopi stabili, gli isotopi radioattivi influenzano le proprietà elettroniche ed ottiche dei semiconduttori in base alla loro natura chimica ed alla loro posizione all'interno del reticolo cristallino. In particolare, poiché le proprietà elettroniche ed ottiche dei semiconduttori dipendono oltre che dal tipo di semiconduttore anche dalle sue dimensioni, si è dimostrato che in semiconduttori molto piccoli tali proprietà possono essere sensibilmente alterate da un difetto presente con concentrazione minore di 10^{12} atomi/cm³. Per controllare in maniera affidabile le prestazioni dei semiconduttori sono quindi necessarie tecniche sperimentali che combinino un'alta sensibilità chimica con un'alta sensibilità per la determinazione di basse concentrazioni di difetti.

Per decenni la principale tecnica di rilevazione delle impurezze all'interno di un cristallo è stata il *channeling*: in tale tecnica un fascio di ioni viene guidato lungo le righe atomiche o lungo i piani del cristallo (canali), non rendendo però possibile determinare concentrazioni di difetti inferiori a 10^{18} atomi/cm³. La sensibilità di tale tecnica può essere profondamente aumentata impiantando all'interno del cristallo impurezze radioattive che emettono particelle cariche (*emission channeling*). La misura dell'emissione lungo differenti direzioni cristalline permette la determinazione del sito cristallografico dell'atomo emittente con un'accuratezza di pochi decimi di Å.

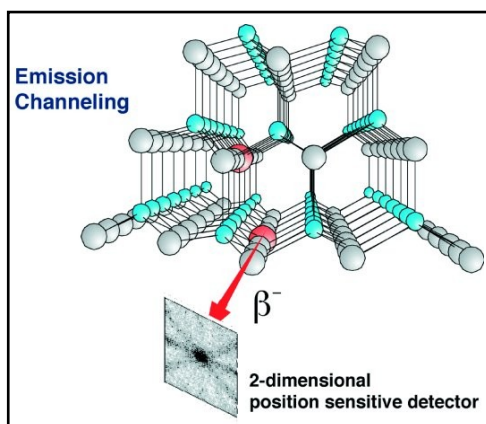


Figura 1. 11 - Emission channeling degli elettroni emessi da atomi radioattivi situati in una riga atomica del reticolo [0]

1.6.3 *APPLICAZIONI MEDICHE: LA TOMOGRAFIA AD EMISSIONE POSITRONICA*

Prima di procedere si forniscono alcune fondamentali definizioni:

- l'antimateria è la materia composta da antiparticelle, ossia particelle aventi la stessa massa e caratteristiche opposte a quelle che costituiscono la materia ordinaria;
- il positrone (detto anche antielettrone) è l'equivalente di antimateria dell'elettrone ed ha carica elettrica pari a +1. Quando un positrone si annichila con un elettrone, la loro massa viene convertita in energia sotto forma di due fotoni ad altissima energia nella banda dei raggi gamma. Un positrone può essere generato dal decadimento radioattivo con emissione di positroni o dall'interazione con la materia di fotoni con energia superiore a 1,022 MeV.

Sebbene utilizzata principalmente per studiare le interazioni tra particelle elementari, l'antimateria ha anche un'applicazione tecnologica: la Tomografia ad Emissione Positronica (PET, *Positron Emission Tomography*) una tecnica di medicina nucleare e diagnostica medica che utilizza l'emissione di positroni per realizzare immagini tridimensionali o mappe ad alta risoluzione degli organi interni dei pazienti.

La procedura PET inizia con l'iniezione (generalmente per via endovenosa) nel soggetto da esaminare, di un isotopo tracciante di breve vita media, legato chimicamente ad una molecola attiva a livello metabolico. Dopo un tempo di attesa durante il quale la molecola metabolicamente attiva (spesso uno zucchero), raggiunge una determinata concentrazione all'interno dei tessuti organici da analizzare, il soggetto viene posizionato nello scanner.



Figura 1. 12 - Scanner impiegato nella tecnica di rilevazione [0]

L'isotopo di breve vita media decade, emettendo un positrone. Dopo un percorso che può raggiungere al massimo pochi millimetri, il positrone si annichila con un elettrone, producendo una coppia di fotoni (di energia paragonabile a quella dei raggi gamma) emessi in direzioni opposte fra loro (sfasate di 180° lungo una stessa retta). Questi fotoni sono successivamente rilevati dal dispositivo di scansione grazie anche all'impiego di speciali tubi fotomoltiplicatori. Punto cruciale della tecnica è la rilevazione simultanea di coppie di fotoni: i fotoni che non raggiungono il rivelatore in coppia, cioè entro un intervallo di tempo di pochi nanosecondi, non sono presi in considerazione. Dalla misurazione della posizione in cui i fotoni colpiscono il rivelatore (ogni coppia di fotoni individua una retta), si può ricostruire la posizione del corpo da cui sono stati emessi (teoricamente con due coppie di fotoni, e dunque con due rette, è possibile individuare il punto di emissione dei fotoni), permettendo la determinazione dell'attività o dell'utilizzo chimico all'interno delle parti del corpo investigate.

Lo scanner utilizza la rilevazione delle coppie di fotoni per mappare la densità dell'isotopo nel corpo: la mappa risultante rappresenta i tessuti in cui la molecola campione si è maggiormente concentrata e viene letta e interpretata da uno specialista in medicina nucleare o in radiologia al fine di determinare una diagnosi ed il conseguente trattamento. Spesso, e sempre più frequentemente, le scansioni della Tomografia a Emissione di Positroni sono confrontate con le scansioni a Risonanza Magnetica Nucleare, fornendo informazioni sia anatomiche e morfologiche che metaboliche (in sostanza, su come il tessuto o l'organo siano conformati e su cosa stiano facendo). La PET è usata estensivamente in

oncologia clinica (per avere rappresentazioni dei tumori e per la ricerca di metastasi) e nelle ricerche cardiologiche e neurologiche.

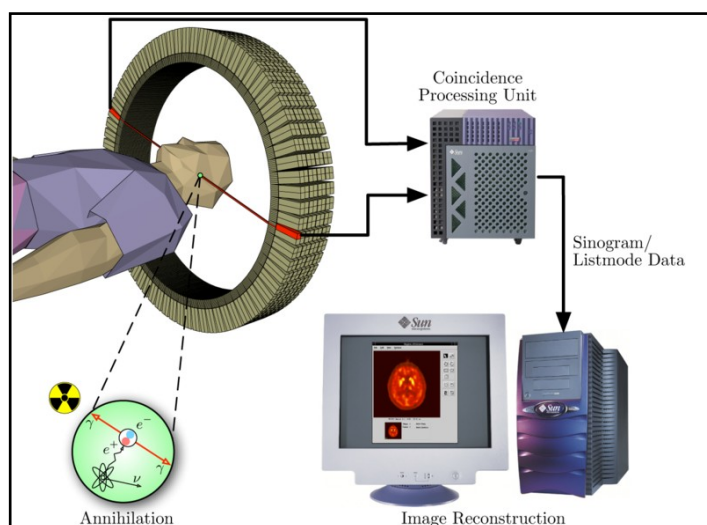


Figura 1. 13 - Schema riassuntivo della tecnica di analisi PET [0]

Ad ogni modo, mentre gli altri metodi di scansione, come la TAC e la RMN permettono di identificare alterazioni organiche e anatomiche nel corpo umano, le scansioni PET sono in grado di rilevare alterazioni a livello biologico molecolare che spesso precedono l'alterazione anatomica, attraverso l'uso di marcatori molecolari che presentano un diverso ritmo di assorbimento a seconda del tessuto interessato.

Con una scansione PET è possibile visualizzare e quantificare con discreta precisione il cambio di afflusso sanguigno nelle varie strutture anatomiche (attraverso la misurazione della concentrazione dell'emettitore di positroni iniettato). I radionuclidi utilizzati nella scansione PET sono generalmente isotopi con breve tempo di dimezzamento, come ^{11}C (~20 min), ^{13}N (~10 min), ^{15}O (~2 min) e ^{18}F (~110 min). Per via del loro basso tempo di dimezzamento, i radioisotopi devono essere prodotti da un ciclotrone posizionato in prossimità dello scansionatore PET .

La PET gioca un ruolo sempre maggiore nella verifica della risposta alla terapia, specialmente in particolari terapie anti-cancro e si prospettano dunque per essa sempre maggiori applicazioni e sviluppi.

1.6.4 APPLICAZIONI IN ASTROFISICA

L'astrofisica nucleare gioca un ruolo fondamentale nella comprensione della struttura, dell'evoluzione e della composizione dell'Universo e dei suoi costituenti.

Le stelle generano energia attraverso reazioni nucleari coinvolgenti sia nuclei stabili che radioattivi. A volte il consumo del carburante nucleare procede stabilmente e dura bilioni di anni, altre volte invece è esplosivo e dura pochi minuti o pochi secondi. Nelle differenti fasi della consunzione delle stelle vengono sintetizzati nuovi elementi chimici, sia tramite processi di nucleo sintesi, che seguono strettamente la valle di stabilità, sia attraverso processi che si svolgono in un territorio sconosciuto.

Per sviluppare un modello che descriva il meccanismo di nucleosintesi, è necessario misurare le rese delle reazioni nucleari relative ai principali cicli astrofisici e le caratteristiche di decadimento di molti 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.

1.7 CONCLUSIONI

L'importanza assunta negli anni dai fasci radioattivi, sia per la ricerca teorica che applicata, ha spinto la comunità scientifica internazionale a costruire numerose 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 EURISOL). La realizzazione operativa di tale progetto prevede l'allestimento di una facility "intermedia" in grado di ottenere come prestazioni 10^{13} fissioni/s in un target formato da sette dischi in Carbuco di Uranio bombardati da un fascio protonico di 40 MeV a $0,2 \text{ mA}$.

Il presente lavoro di tesi si inserisce all'interno del progetto SPES: in particolare si effettuerà uno studio del sistema di estrazione e ionizzazione. Sono già state illustrate le condizioni estreme di lavoro che tale struttura deve sopportare e risulta davvero di cruciale importanza avere una conoscenza dettagliata delle condizioni di lavoro elettriche, termiche e strutturali.

È di fondamentale rilievo, oltre alla conoscenza delle leggi che controllano la fisica del sistema, disporre di uno strumento in grado di prevederne il comportamento nei casi in cui, a causa della complessità del problema, un approccio analitico risulti incapace di fornire risultati soddisfacenti: tale strumento è rappresentato dal metodo degli Elementi Finiti.

CAPITOLO 2

INFRASTRUTTURE E SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE DELLA CAMERA TARGET

2.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo si vogliono illustrare tutte le informazioni necessarie allo svolgimento della tesi: perciò verranno elencate tutte le possibili problematiche, le soluzioni adottate, le infrastrutture che ospiteranno la macchina del progetto SPES, le procedure standard di sostituzione della camera, gli ostacoli affrontati e le soluzioni adottate per poter sviluppare il progetto della macchina di movimentazione orizzontale.

Infine al termine del capitolo verrà brevemente presentata in tutte le sue caratteristiche e organi principali la macchina di movimentazione orizzontale, chiamata per semplicità M.M.O., in modo da dare un'idea di cosa sia e di come viene utilizzata.

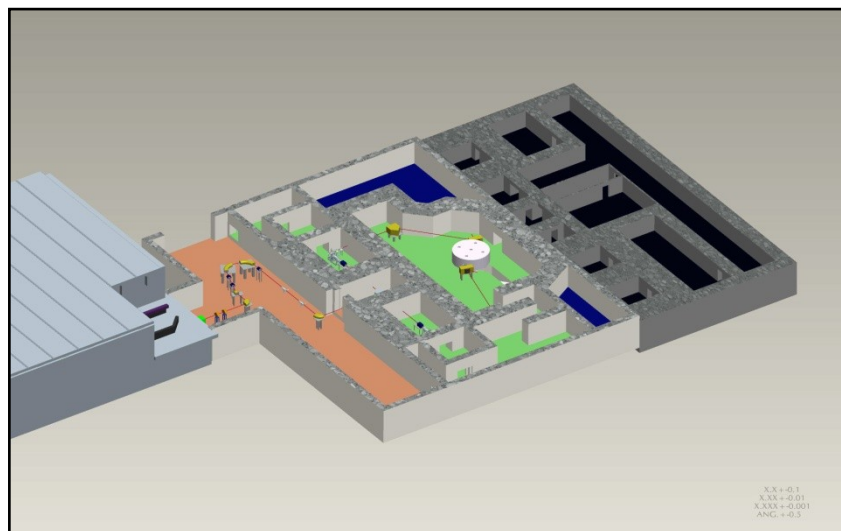


Figura 2.1 Layout impianto SPES [0].

2.2 INFRASTRUTTURE OSPITANTI LA ZONA DI PRODUZIONE

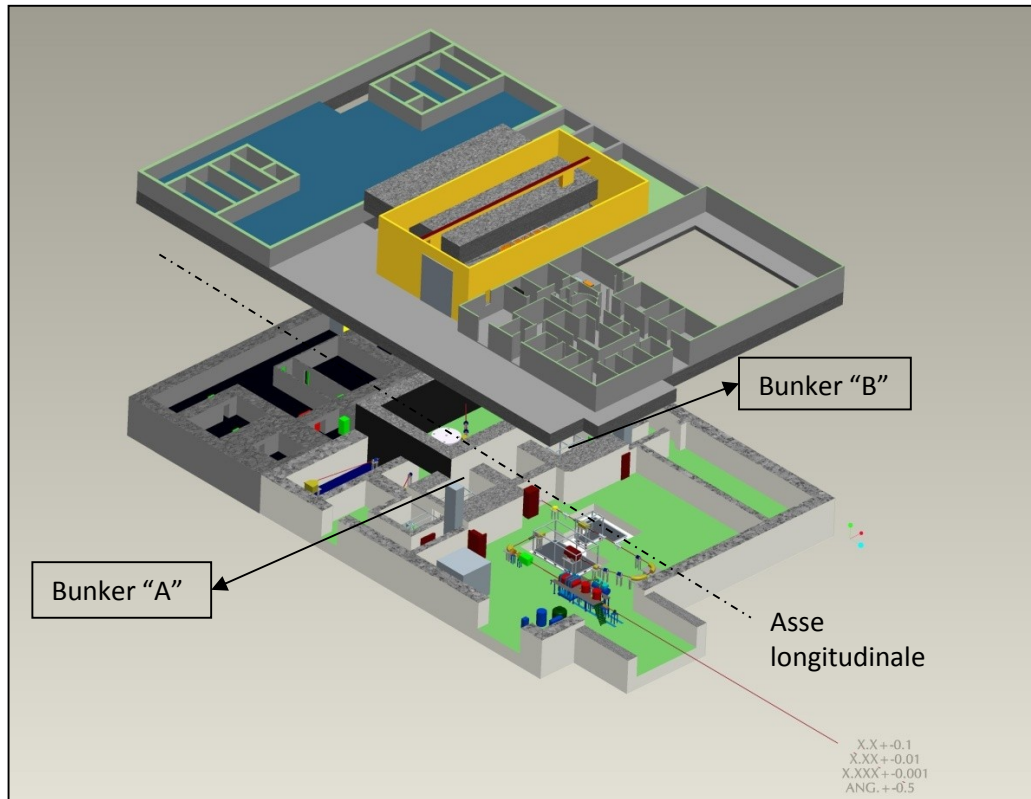


Figura 2 . 2 Bunker zone [0].

L'infrastruttura principale che ospita la zona di produzione è chiamata la "bunker zone" poiché è posta al di sotto del livello del terreno e perché, per una questione di sicurezza, sarà costruita con muri in cemento armato spessi circa 3 metri.

Come raffigurato in fig. 2.2, il livello interrato è speculare lungo l'asse longitudinale e le camere dove è posizionato il front-end e dove avviene la reazione radioattiva vengono chiamate "bunker "A" e" B" e si alterneranno nella produzione dei fasci radioattivi ogni 15 giorni.

La struttura soprastante la "bunker zone" è composta principalmente da macchinari, che servono per analizzare il fascio radioattivo, e dalla macchina di movimentazione verticale (M.M.V.), la quale svolge il compito di posizionare e prelevare, insomma di movimentare con estrema precisione, la camera target.

La fig. 2.3 non rappresenta altro che un ingrandimento della pianta della zona di lavoro della M.M.O., composta dal bunker "A" o camera "calda", che è in comunicazione con la camera "tiepida" tramite una porta scorrevole di cemento armato; in modo analogo la camera "fredda" comunica con la camera "tiepida".

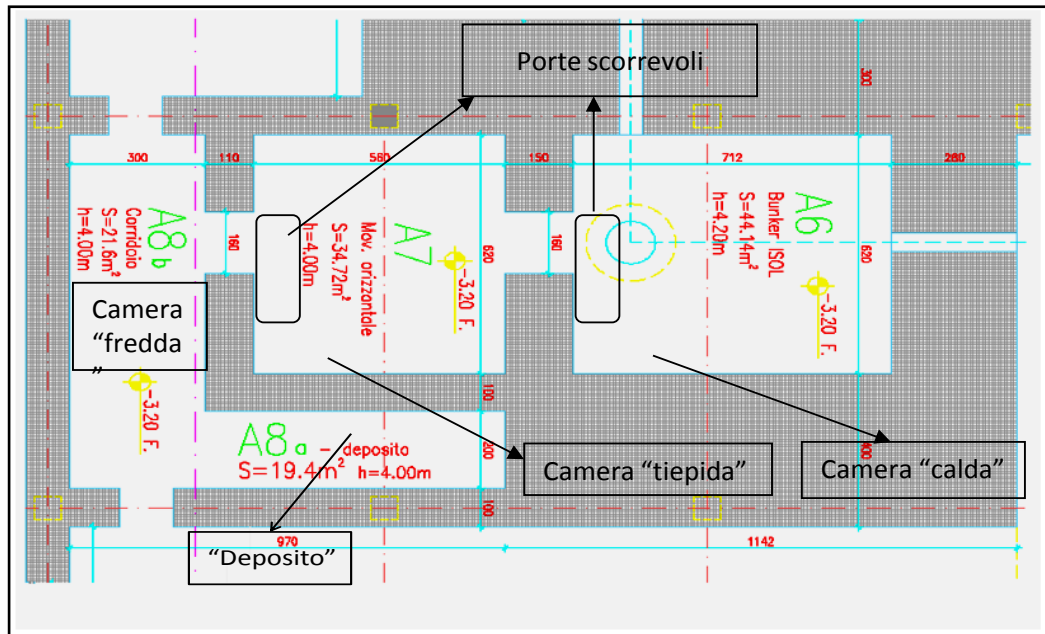


Figura 2. 3 Spezzone pianta bunker zone [0].

Le porte, schematizzate in fig. 2.3, hanno il compito di creare una ambiente isolato e schermato tra le diverse camere. Sono infatti sono costruite con lo stesso spessore dei muri, (circa 1,5m tra camera tiepida e calda e 1,1 tra tiepida e fredda) e data la loro mole sono comandate da potenti motori elettrici. Si può intuire che la loro presenza crea una sorta di disturbo costruttivo sul pavimento: le porte sono infatti ideate in modo che, nella fase di apertura, si trascinino una sezione di pavimento per compensare il dislivello dato dalle guide scorrevoli. Quanto appena detto implica che il macchinario da progettare per movimentare la C.T. userà una tecnologia ideale a risolvere questo problema.

La M.M.O. dovrà trasportare il sarcofago, con all'interno la camera target, dalla zona di carico della camera "fredda" (molto probabilmente saranno previste più zone di carico), alla zona di scarico della camera "calda", con una precisione millimetrica e un'affidabilità elevata. L'operazione inversa è assai più importante dato che la camera è irraggiata e quindi in una condizione critica, perciò l'affidabilità elevata è un parametro non irrilevante poiché non è permesso un intervento umano in caso di guasti o errori. In quest' ultima operazione di "scarico" la M.M.O. dovrà trasportare la camera irraggiata in una zona di deposito (fig 2.3) nel corridoio della camera "fredda", in modo da poter stoccare i sarcofagi con le camere irraggiate.

2.3 LA CAMERA TARGET

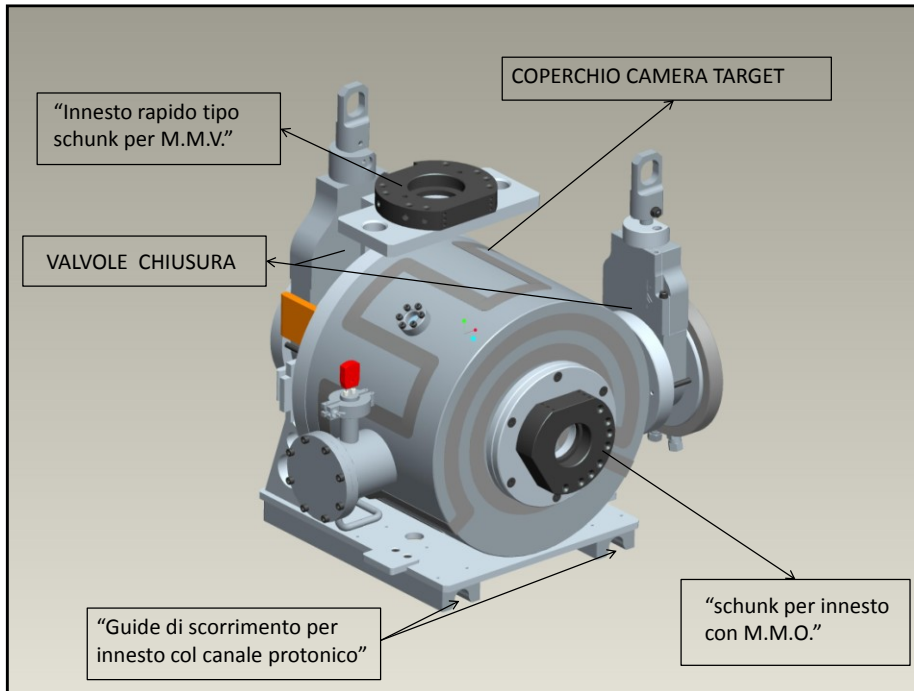


Figura 2 . 4 Camera target [0].

La camera target (fig.2.4) può essere considerata come la zona di produzione vera e propria degli isotopi radioattivi, perciò è l'elemento che più viene danneggiato dalle radiazioni e dalla alta temperatura. Tale oggetto è costruito interamente in lega di alluminio, materiale che si "attiva" poco se sottoposto a radiazioni, ed è composta da vari elementi cardini:

- telaio base;
- guide di scorrimento per l'innesto col canale protonico;
- utensile schunk per poterla agganciare e movimentare;
- valvole che mettono in comunicazione i due canali;
- coperchio con circuito di raffreddamento ;
- connettori in rame per il passaggio di corrente.

Con il bersaglio all'interno e con tutti gli elementi elencati la C.T. raggiunge il peso di 30 Kg circa. Il diametro del coperchio cilindrico è di circa 300 mm ed ha una profondità e un'altezza di circa 400 mm. All'interno di essa vengono sviluppate reazioni nucleari, in alto vuoto, con emissione di radiazioni, che compromettono la lega d'alluminio e contaminano il volume circostante: questo rappresenta il motivo principale che obbliga il reparto "movimentazione" allo studio del migliore sistema per sostituire la camera.

La camera target perciò ha il compito di garantire il vuoto durante tutto il ciclo di lavoro, deve garantire la circolazione del fluido che refrigera le pareti, dato che il target raggiunge temperature di

circa 2000° C, e garantisce il passaggio di corrente tramite elettrodi in rame argentato per raggiungere le suddette temperature.

Nello svolgere tutte queste funzioni la C.T. si deteriora e deve essere sostituita ed inscatolata ad ogni lavorazione. La C.T. deve essere quindi prelevata con una sistema telescopico frontale o cartesiano dall'alto (es. piccolo carro ponte) tramite uno dei due agganci rapidi schunk e posizionata all'interno del sarcofago per il decadimento delle radiazioni (il decadimento può durare circa 2 anni).

2.4 STUDIO DEL MIGLIOR SISTEMA PER LA MOVIMENTAZIONE ORIZZONTALE

La sezione “movimentazione” del gruppo SPES si è dapprima imposta l'obiettivo di studiare e ricercare un sistema, implementato con una buona tecnologia, che vada a sposarsi nella maniera più ottimale e in modo da raggiungere una soddisfazione completa, col la soluzione del problema, sempre mantenendosi all'interno dei criteri fondamentali di affidabilità del funzionamento, di elevata accuratezza nel posizionamento finale e di efficienza senza restrizioni temporali particolari.

Quindi l'idea iniziale, che questo lavoro si propone di sviluppare, è stata quella di creare una sorta di oggetto in grado di muoversi sul pavimento del bunker, su cui si possa installare un sistema ausiliario per muovere la C.T. sopra di esso e che allo stesso tempo un oggetto in grado anche di fornire le “power sources” necessarie ad alimentare il sistema ausiliario oltre che ad alimentare se stesso (energia elettrica, pneumatica o idraulica).

I vincoli iniziali per lo studio di fattibilità sono stati:

- di ingombro e nati come diretta conseguenza delle aperture delle porte: ciò implicava che l'ipotetico volume (schematizzato come parallelepipedo) doveva avere le dimensioni massime pari a 2 metri di lunghezza, 1,5 metri di larghezza ed un'altezza variabile da 0.5 - 0.7 metri;
- di portata di questo ipotetico “carrello”: la C.T. deve essere inscatolata all'interno di un sarcofago dalle pareti di piombo e del peso complessivo di circa 700 Kg;
- inerenti al tipo di tecnologia da usare: in campo radioattivo i componenti elettronici subiscono dei deterioramenti inusuali, perciò è preferibile installare sistemi più meccanici che elettronici;
- di movimentazione: l'oggetto in esame deve trasportare la C.T. da una zona di carico e posizionarla correttamente sulla tavola di ammaraggio, aspettare il ciclo di lavoro della stessa, riagganciarla e trasportarla in una zona di stoccaggio;
- di traiettoria: per svolgere il compito citato l'oggetto in esame deve attraversare le camere calda, tiepida e fredda, (rif. Fig. 2.3) con la possibilità di raggiungere altre zone.

Analizzando i sopracitati vincoli costruttivi possiamo capire che l'oggetto da realizzare è in sostanza un carrello ad azionamento elettrico che deve portare un oggetto da "A" a "B" oppure da "B" a "C", con la prerogativa fondamentale di un corretto centraggio davanti al front-end.

La prima ipotesi è stata quella di costruire un carrello completamente rigido che lavorasse su una coppia di rotaie appositamente posizionata lungo la camera calda-tiepida e un'altra coppia di rotaie posta a 90° sulla camera fredda (Fig 2.6). Nella zona di intersezione è stato ipotizzato di installare quattro piattaforme girevoli, in modo da variare la direzione di lavoro e quindi occupare tutta l'area di lavoro, oppure installare dei binari curvilinei. L'utilizzo dei binari garantisce il posizionamento finale con scostamenti minimi e risponde all'esigenza di un sistema di posizionamento più "meccanico" che "elettronico": in questo modo le zone di carico e scarico saranno così ben definite, poichè dovranno per forza trovarsi sulla traiettoria dei binari.

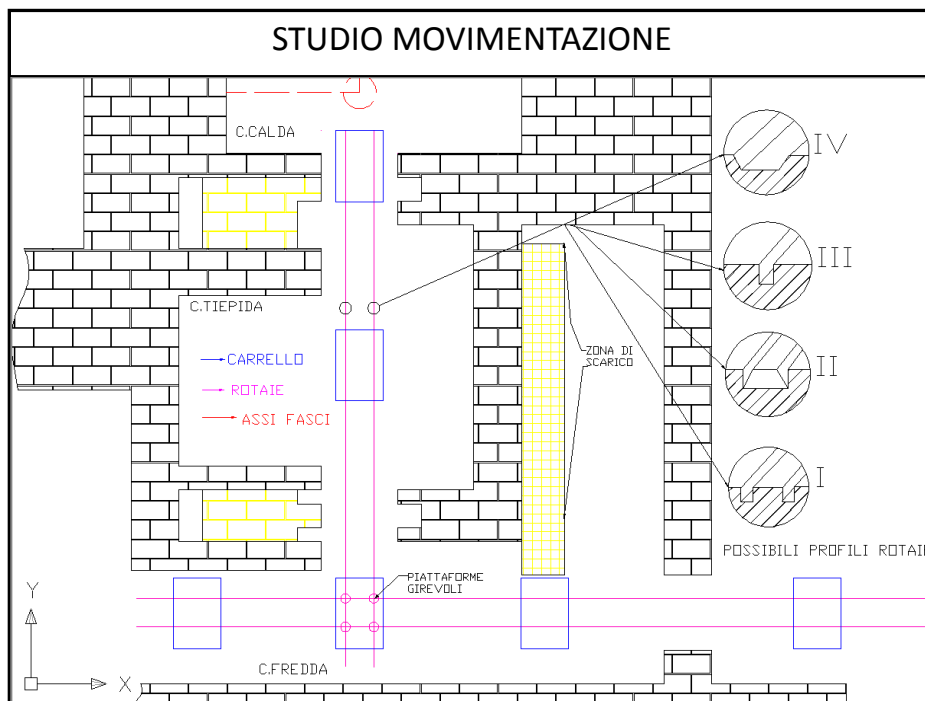


Figura 2.5 Studio movimentazione .

I diversi profili di accoppiamento ruota-binario garantiscono varie soluzioni, ma tutti hanno un impatto costruttivo e creano quindi una disomogeneità, una discontinuità del piano di lavoro (pavimento): per questo motivo essi sono considerati indesiderati. Infatti questo sistema inevitabilmente obbliga il carrello a sostare sui binari nei momenti di riposo, e nei momenti di manutenzione e ciò potrebbe essere sconveniente a meno di binari ausiliari.

Nella seconda ipotesi si è pensato di creare un carrello semi-rigido, quindi con la possibilità di essere governato in una modalità automatica e una modalità manuale. A differenza dell'altra ipotesi si prevede l'installazione di binari affogati nel pavimento (come nel caso precedente), solo nelle camere tiepida e calda, in modo che il carrello possa essere libero di muoversi nella camera fredda: In questo

modo si ottiene una maggiore flessibilità sul posizionamento della zona di carico, della zona di scarico e della zona di manutenzione. Se da un lato il sistema illustrato mantiene intatta la precisione di posizionamento fornita dai binari, dall'altra provoca un disturbo maggiore sul pavimento poiché prevede la creazione di un canale trapezoidale rovesciato (tipo IV Fig 2.6) come sede di scorrimento delle rotaie: tale soluzione può rivelarsi sconveniente.

La terza soluzione aveva come obiettivo la riduzione al minimo dei disagi imposti dall'installazione di rotaie di scorrimento: si è pensato quindi di progettare un carrello tipo "AVG" (advanced guided vehicle), governato da motoruote ad azionamento elettrico standard, di installare rotaie di tipo III (fig 2.6), con un canale di scorrimento di circa 5-10 millimetri, ed un sistema di inseguimento delle stesse composto da quattro ruote retrattili che entrano in funzione solo nella camera tiepida-calda.

Quindi è iniziata quindi la progettazione di un carrello con le caratteristiche sottolineate dalla terza soluzione: si tratta di un carrello ad azionamento elettrico, con una elevata flessibilità di posizionamento, dotato di un sistema di guida per il posizionamento finale di tipo meccanico con rotaie, provvisto di un sistema di aggancio meccanico al front-end e di tutte le risorse energetiche necessarie.

2.5 *SOSTITUZIONE CAMERA TARGET (C.T.)*

Le procedure descritte in questo paragrafo sono già state studiate, applicate e verificate dalla task di movimentazione, perciò sono operazioni valide che vengono tutt'ora implementate nel ciclo di studio di bersagli non radioattivi.

Il PLC "schneider" gestisce e controlla con feedback attivi e in maniera automatica tutte le operazioni elementari necessarie ad un corretto posizionamento e per una corretta lavorazione del bersaglio. La C.T. viene dapprima posizionata sulla sede di "lavoro" tramite la macchina di movimentazione orizzontale o verticale, permane sulla sede di produzione per circa due settimane e dopo di che deve essere necessariamente sostituita e stoccata in un apposito magazzino in modo da permettere il decadimento degli oggetti radioattivi. E' quindi di facile comprensione il motivo per il quale si è dovuto progettare e quindi utilizzare una macchina che si possa muovere sul pavimento del bunker, che abbia la possibilità di essere governata in remoto e ad una distanza di sicurezza, e che debba avere il compito di svolgere una serie di operazioni in automatico e con una elevata affidabilità.

Il doppio sistema di movimentazione, verticale ed orizzontale, è stato pensato in questa maniera per poter affrontare eventuali criticità o eventuali blocchi di produzione-movimentazione, garantendo perciò una ridondanza di sistemi che non fanno altro che aumentare la sicurezza in caso di emergenze.

Quasi tutte le operazioni di posizionamento e prelievo della C.T. possono essere eseguite con la calma dovuta, e senza vincoli temporali indotti dalla produzione: visto l'ambiente ostile agli umani (e agli errori), l'obiettivo primario è portare a termine tutte le operazioni con successo.

Analizzando la figura 2.5 ci rendiamo subito conto della tipologia di movimento da eseguire e della difficoltà che si può riscontrare nel posizionare la camera target sulla tavola di ammaraggio.

Le specifiche di posizionamento sono:

- La C.T. deve essere appoggiata alla tavola di ammaraggio ad una quota "y" pari a 1,5 metri;
- Le guide di scorrimento della C.T. lungo l'asse "z" hanno una tolleranza di circa un millimetro lungo la direzione "x";
- La quota "z" di posizionamento è variabile con un' ampia tolleranza poiché un secondo sistema la aggancia al resto del macchinario;

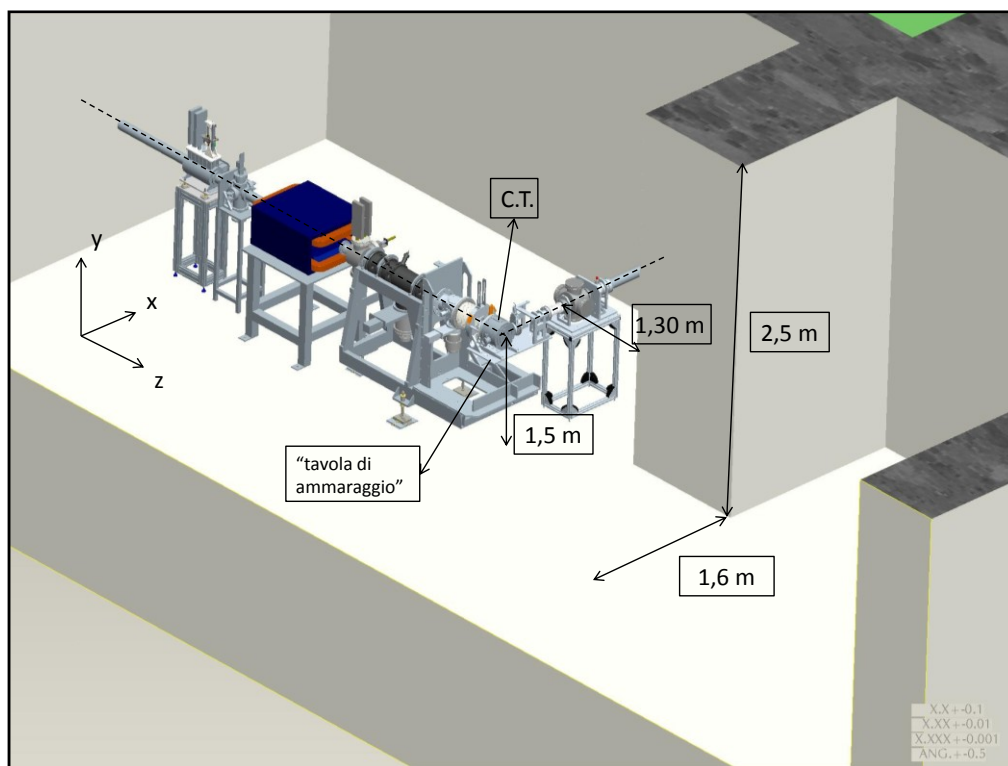


Figura 2 . 6 Distanze caratteristiche front-end [0].

- Il canale radioattivo, ossia quello tratteggiato lungo la direzione "z", è posto nella mezziera della porta di accesso perciò la M.M.O. dovrà arrivare in posizione già centrata;
- La porta di accesso ha un'altezza di 2,5 metri e una larghezza di 1,6 metri;
- Nella fase di prelievo, la precisione del posizionamento è dettata dal nostro aggancio rapido "schunk" il quale ci impone una tolleranza sul piano "zy" di ± 1 mm ed un errore (rotazionale) di non allineamento lungo l'asse "y" di $\pm 2^\circ$.

Per tutte queste motivazioni è stato necessario effettuare uno studio sul miglior sistema per movimentare la camera.

2.5.1 PROCEDURE DI AGGANCIO DELLA CAMERA TARGET AL FRONT-END

La procedura descrive come la C.T., che è stata appoggiata sui propri binari dalla M.M.O. (posizione 1 della Fig 2.9), venga collegata al front-end in modo corretto, efficace e senza la possibilità di commettere errori di procedura o inserimento.

Un motore rotativo pneumatico aziona la vite senza fine posta al di sotto della tavola di ammaraggio la quale, tramite un riscontro rettangolare, muove la camera nel senso della freccia (Fig 2.9) fino a che i connettori elettrici (arancioni) e quelli per il raffreddamento sono inseriti.

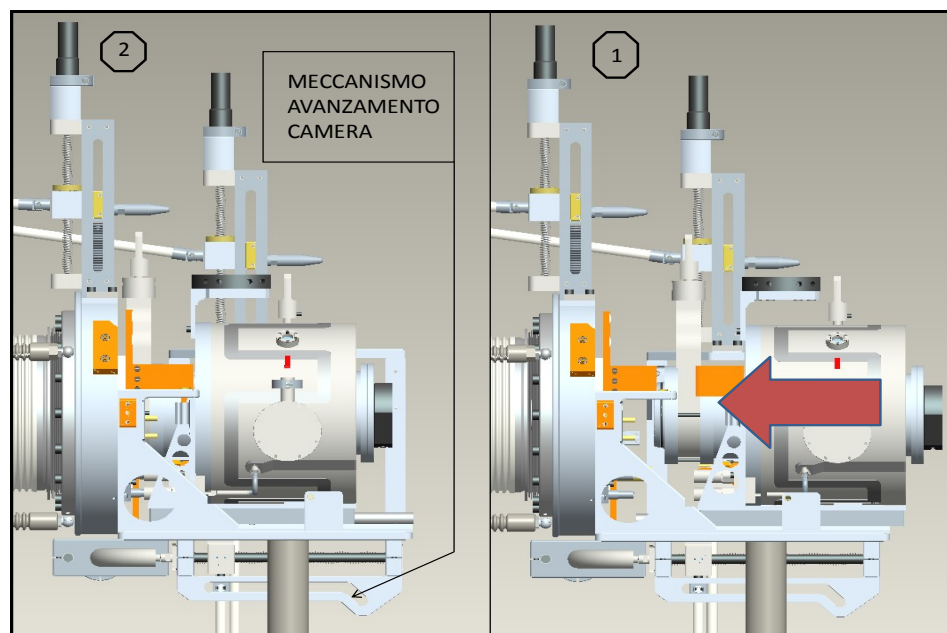


Figura 2.7 Collegamento camera al canale radioattivo [0].

Successivamente, un meccanismo del tutto simile al precedente collega il canale protonico alla camera fino al proprio fine corsa meccanico (fig.2.10).

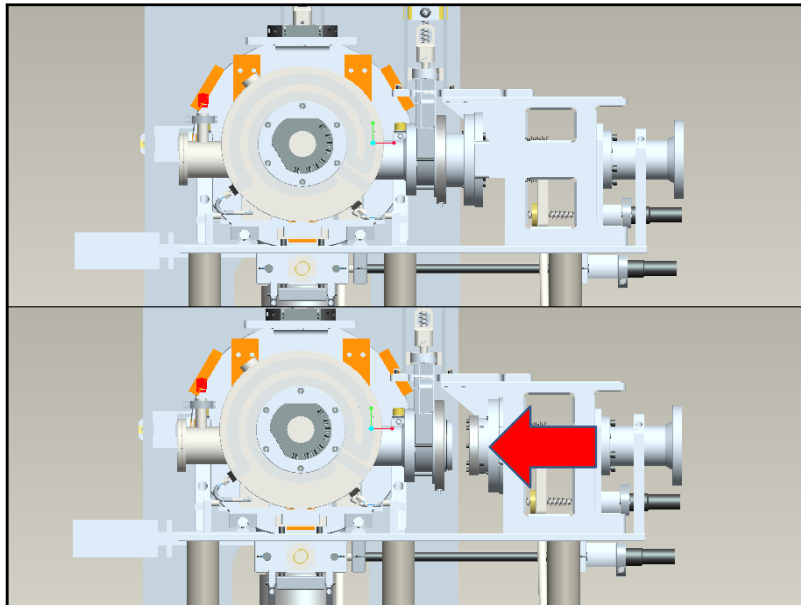


Figura 2 . 8 Collegamento camera al canale protonico [0].

Infine, come ultima operazione, vengono aperte tramite una meccanismo a vite (Fig 2.11) le valvole intermedie tra i due canali e la camera.

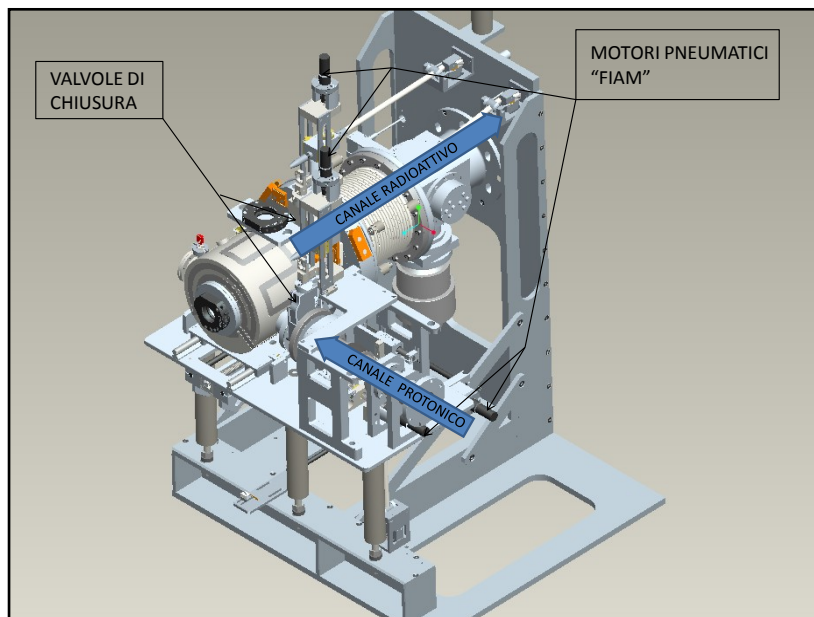


Figura 2 . 9 Sezione finale front-end [0].

Queste tre operazioni se portate a termine correttamente consentono l'accensione delle pompe per la formazione del vuoto e permettono di dar via alla produzione: possiamo quindi capire che, queste tre operazioni seppur banali ed elementari, sono importantissime per un corretto funzionamento della facility SPES.

2.5.2 *PROCEDURE MACCHINA MOVIMENTAZIONE ORIZZONTALE*

In questa sezione si vuole illustrare un aspetto prettamente gestionale del progetto SPES, relativo a come il carrello elettrico e il sistema ausiliario riescono ad espletare tutte le operazioni elementari di movimentazione, riuscendo a rispondere alle esigenze di movimentazione che il progetto stesso richiede. Di seguito verranno analizzate in particolare tutte le operazioni che si dovranno gestire (tramite PLC o manualmente) dal momento in cui il carrello è nella posizione di carico (C.T. non irraggiata) al momento di scarico in rastrelliera (C.T. irraggiata).

Si suppone che nella fase di avviamento del ciclo di produzione degli ioni isotopi radioattivi, il carrello automatico e il sistema ausiliario, che per convenienza d'ora in poi chiameremo M.M.O. (macchina movimentazione orizzontale), si trovino nella posizione di carico del sarcofago. A questo punto un carrellista posizionerà il sarcofago con all'interno la C.T.; attraversando la camera fredda un operatore dovrà, tramite controllo remoto, portare la M.M.O. fino ad una postazione intermedia nella camera tiepida; l'operatore è incaricato anche a posizionare correttamente il carrello sopra le rotaie e ad attivare la modalità automatica. D'ora in poi il PLC si incaricherà di avanzare la macchina fino al riscontro posto a terra sul front-end, di prelevare la C.T. dal sarcofago e di scaricarla sulle guide della tavola di ammaraggio, in una posizione ben definita. Dopo di che, aspettati circa venti giorni (tempo di produzione degli ioni e quindi di irraggiamento della camera), la M.M.O. si ripresenta in maniera automatica sulla sommità della C.T. che viene prelevata e subito inscatolata nel sarcofago, il quale non è mai stato spostato dalla propria sede; poi il carrello indietreggia fino al punto di stazionamento precedente (nella camera tiepida). Nella fase conclusiva, l'operatore governa in maniera manuale il carrello, ad una distanza di sicurezza o in un'altra stanza con l'ausilio di telecamere, fino alla zona di stoccaggio (rastrelliera).

Per affrontare con più chiarezza tutte le problematiche relative al caso, ossia la gestione dei movimenti, le traiettorie del veicolo e la definizione delle diverse zone di stazionamento, si è compilato un listato di operazioni elementari che il PLC¹ e operatore dovrebbero svolgere, con riferimento all'ultimo aggiornamento della pianta del bunker (Fig 2.8).

¹ PLC : controllore logico programmabile

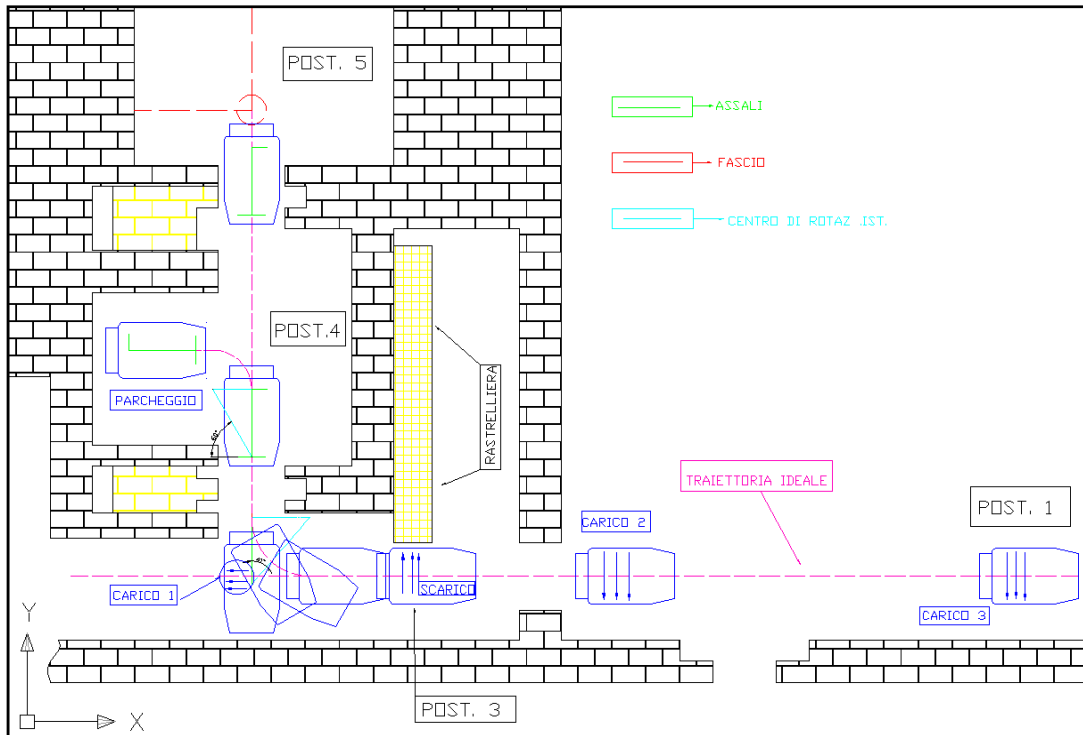


Figura 2 . 10 Traiettoria e punti di stazioneamento.

Di seguito vengono elencate le operazioni elementari in sequenza che si devono effettuare per effettuare un ciclo di movimentazione della camera target:

SEQUENZE DI DEPOSITO CAMERA NEL FRONT-END

STAZIONE 1

Descrizione: Carrellista scarica sarcofago a bordo macchina

Operazioni :

- Portare il sarcofago in posizione di fine corsa meccanico;
- Azionare il sistema di vincolo del sarcofago;
- La macchina è in modalità manuale (governata da operatore);
- Disinserire freno stazioneamento;
- L'operatore aziona le motoruote di trazione tramite Joystic su pulsantiera remota e guida la macchina fino alla postazione 4 (in questa procedura l'operatore è vicino alla macchina);
- Arrivo alla stazione 4.

STAZIONE 4

Descrizione: Siamo in modalità manuale (operatore vicino alla macchina che la governa)

Operazioni:

- Centrare la macchina negli opportuni riferimenti terra-telaio;
- L'operatore aziona motori (di discesa delle ruote con bordino negli appositi binari) tramite apposito interruttore posto nella pulsantiera remota;
- L'operatore si assicura che i sensori di controllo diano l'ok del corretto posizionamento;

- Inserire freno di stazionamento tramite pulsantiera remota (P.R.);
- L'operatore cambia modalità funzionamento macchina mediante interruttore sulla P.R.;
- Uscita dell'operatore dalla camera tiepida;
- Chiusura porta tra camera fredda e tiepida;
- L'operatore Passa da MANUALE ad AUTOMATICO;
- L'operatore innesta il ciclo di operazioni per il posizionamento della C.T.

Operazioni in automatico svolte dal PLC:

- Alzare il piano sarcofago in posizione di lavoro;
- Abbassare braccio;
- Agganciare lo schunk;
- Alzare braccio;
- Portare carrello a fine corsa posteriore (sopra le batterie);
- Abbassare braccio;
- Sganciare schunk (coperchio depositato);
- Alzare braccio;
- Avanzare carrello sopra al sarcofago;
- Abbassare braccio;
- Agganciare lo schunk (camera agganciata);
- Abbassare il piano sarcofago in posizione "zero";
- Aprire porta tra camera tiepida e camera calda;
- Disinserire freno di stazionamento;
- Avanzare la macchina fino alla stazione 5 (di fronte al front end);
- Verificare il corretto aggancio meccanico macchina (che sia agganciata al fine corsa meccanico ed allineata col front end; un sensore posto su di esso darà l'ok del corretto funzionamento);
- Inserire freno di stazionamento.

STAZIONE 5

Descrizione: Posizionamento camera nel front-end

Operazioni:

- Alzare il braccio con la camera;
- Avanzare il carrello fino al fine corsa meccanico;
- Abbassare braccio (la camera è sulla coupling table);
- Sganciare schunk;
- Alzare braccio;
- Sganciare macchina dall'aggancio meccanico front-end;
- Disinserire freno stazionamento;
- Azionare motori di trazione per portarsi nella postazione 4;
- Chiudere la porta tra camera calda e tiepida;
- Inserire freno di stazionamento.

SEQUENZE DI PRELIEVO CAMERA E DEPOSITO IN RASTRELLIERA

STAZIONE 4

Descrizione: Posizionamento nella camera calda della macchina per il prelievo camera irraggiata.

Siamo sempre in modalità Automatica (controllata PLC)

Operazioni :

- Aprire porta tra camera tiepida e calda;
- Disinserire i freno di stazionamento;
- Avanzare fino alla postazione 5;

STAZIONE 5

Descrizione: Prelievo della camera e inscatolamento nel sarcofago

Operazioni:

- Verificare corretto allineamento e posizione di aggancio meccanico;
- Inserire freno di stazionamento;
- Abbassare il braccio;
- Agganciare lo schunk ;
- Alzare il braccio;
- Spostare il carrello sopra al sarcofago;
- Alzare piano sarcofago;
- Abbassare il braccio (siamo già dentro il sarcofago);
- Sganciare lo schunk;
- Alzare il braccio;
- Avanzare fino al fincorsa posteriore (sopra alle batterie);
- Abbassare braccio;
- Agganciare lo schunk;
- Alzare il braccio;
- Spostare carrello sopra al sarcofago;
- Abbassare braccio;
- Sganciare lo schunk;
- Abbassare piano sarcofago;
- Alzare braccio;
- Sganciare la macchina dall'aggancio meccanico;
- Disinserire freno di stazionamento;
- Portarsi in posizione 4;
- Chiudere la porta tra camera tiepida e calda;
- Inserire freno di stazionamento;
- L'operatore deve passare alla modalità MANUALE tramite P.R.;
- L'operatore aziona motori per sollevamento ruote con bordino;
- Aprire porta tra camera tiepida e fredda;
- Disinserire freno staz.;
- L'operatore guida la macchina tramite P.R.(in una stanza con telecamere per la guida del veicolo) fino alla postazione 3;
- Inserire freni di stazionamento;
- Passare alla modalità AUTOMATICA (entra in funzione il PLC);
- Operatore innesta il ciclo di scarico sarcofago in rastrelliera automatico.

STAZIONE 3

Descrizione: Deposito/scarico sarcofago nella rastrelliera.

Operazioni gestite in AUTOMATICO dal PLC:

- Svincolare il sarcofago dalla sicurezza;
- Estrarre il sarcofago fino alla posizione di prelievo;
- Verificare che il sarcofago sia scaricato (sia tramite l'ok dei sensori, che visivamente dalla telecamera di controllo);

- Operatore passa in modalità MANUALE tramite P.R.;
- Disinserire freni di stazionamento;
- L'operatore aziona motori di traslazione e si porta in postazione 1 (o postazione di carico);
- Inserire freni di stazionamento.

Per rendere più chiare tutte le fasi che compongono questo listato sono stati realizzati dei video attraverso il software di progettazione (ProEngineering wildfire 4.0) utilizzato per la realizzazione di questo lavoro di tesi (vedi CD in allegato).

2.6 SARCOFAGO E CARATTERISTICHE GENERALI

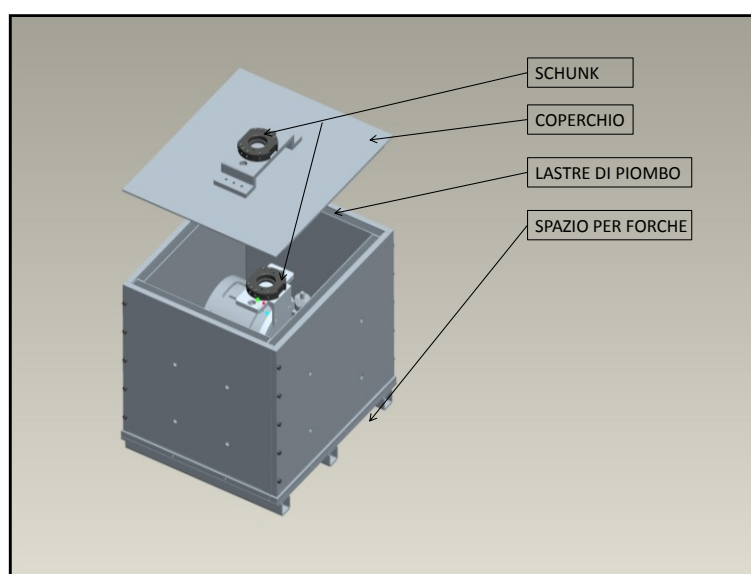


Figura 2 . 11 Sarcofago [0].

Nei precedenti paragrafi è stato spesso menzionato un oggetto definito sarcofago senza però accennare a quale sia la sua funzione e il suo scopo.

Si ricorda che la camera target nelle fasi finali del ciclo di produzione degli ioni esotici possiede un livello di radioattività elevato e perciò deve essere racchiusa in una scatola: questo spiega perché in tutte le fasi della movimentazioni occorre prendere in considerazione questa sorta di scatola protettiva che aggrava e complica tutte le operazioni di trasporto nella zona di produzione (bunker).

Il ruolo di questo sarcofago essenzialmente è quello di:

- Assicurare la schermatura della camera target con lastre di piombo;
- Essere sufficientemente robusto e quindi evitare deformazioni causate dal peso elevato;
- Garantire la compatibilità con le diverse macchine di movimentazione;

- Garantire dei riferimenti costanti di posizionamento per la C.T. all'interno (guide con bloccaggio).

Il sarcofago è costituito essenzialmente da una gabbia in lamiera “portante”, che garantisce la robustezza, e da fogli di piombo quadrati di spessore sufficiente a schermare i raggi. Sostanzialmente è stato costruito un cubo con le pareti di piombo con le dimensioni di larghezza, altezza e profondità rispettivamente di 706 mm, 600mm e 624mm. La faccia superiore funge da coperchio: in questo modo viene consentita l'estrazione e l'immissione della camera irraggiata e, nella fase di chiusura, la formazione di un volume di controllo chiuso che impedisce la fuori uscita delle radiazioni. Il coperchio è dotato di una chiusura rapida ad azionamento pneumatico e di uno schunk per poterlo muovere; sulla faccia inferiore sono posti dei profili rettangolari per consentire l'inserimento delle forche del carrello elevatore.

2.7 MESSA A MAGAZZINO E STOCCAGGIO AUTOMATICO

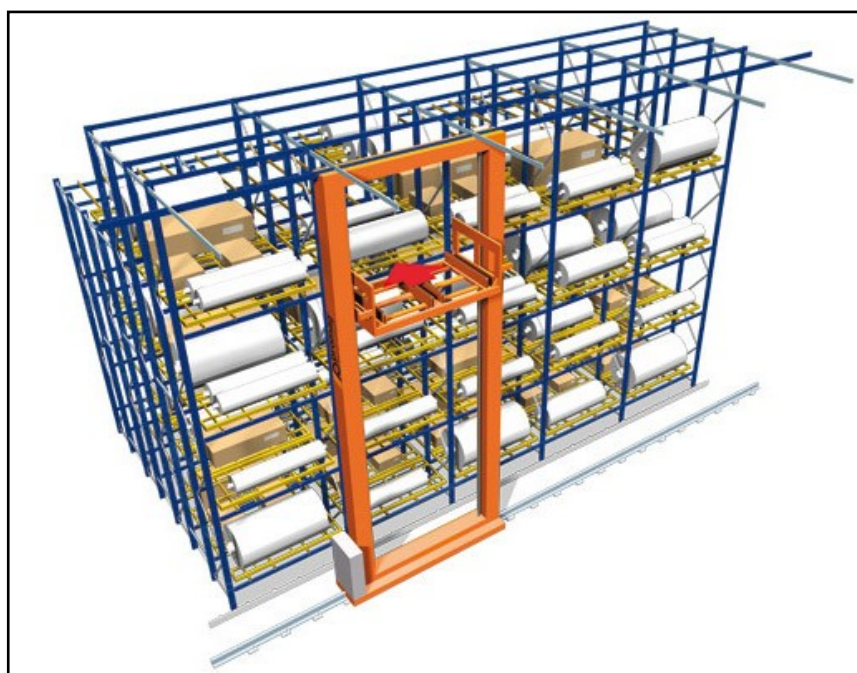


Figura 2 . 12 Esempio di magazzino.

Una volta chiusa la camera irraggiata all'interno del sarcofago, il complessivo di Fig 2.11 deve essere riposto in una apposita zona per poter consentire il decadimento della componente radioattiva. Il tempo necessario al target e alla camera di smaltire la loro radioattività è di circa due anni: dopo questo lasso

di tempo è possibile effettuare i test ed tutte le ricerche sul lavoro svolto e valutare le condizioni dei materiali per un eventuale riutilizzo.

La M.M.O. perciò deve essere dotata di un sistema e una interfaccia che consentano lo scaricamento automatico su di una rastrelliera che raccoglie i sarcofagi esausti. L'idea di base è quindi, una volta scaricato il sarcofago sul punto di raccolta, di far arrivare lo stesso al magazzino tramite nastro trasportatore .

Dalla Fig 2.8 si capisce dove questi oggetti verranno accumulati, quale tipo di sistema si dovrà utilizzare ed i vincoli geometrici da rispettare per la progettazione. Quindi riepilogando, il sistema di stoccaggio deve essere studiato per rispondere alle seguenti esigenze:

- Prelevare la il sarcofago dalla M.M.O;
- Classificare l'oggetto ricevuto in base alla data o al tipo di bersaglio;
- Movimentare il sarcofago (con una sorta di traslo elevatore) e collocarlo in una apposita cella;
- Spostare il sarcofago da una cela all'altra (se necessario);
- Prelevare dal vano i sarcofagi stoccati passati i due anni;
- Generare nello stoccaggio un database per la gestione dei dati degli stessi;

2.8 *DESCRIZIONE PRELIMINARE DELLA MACCHINA DI MOVIMENTAZIONE VERTICALE (M.M.V.)*

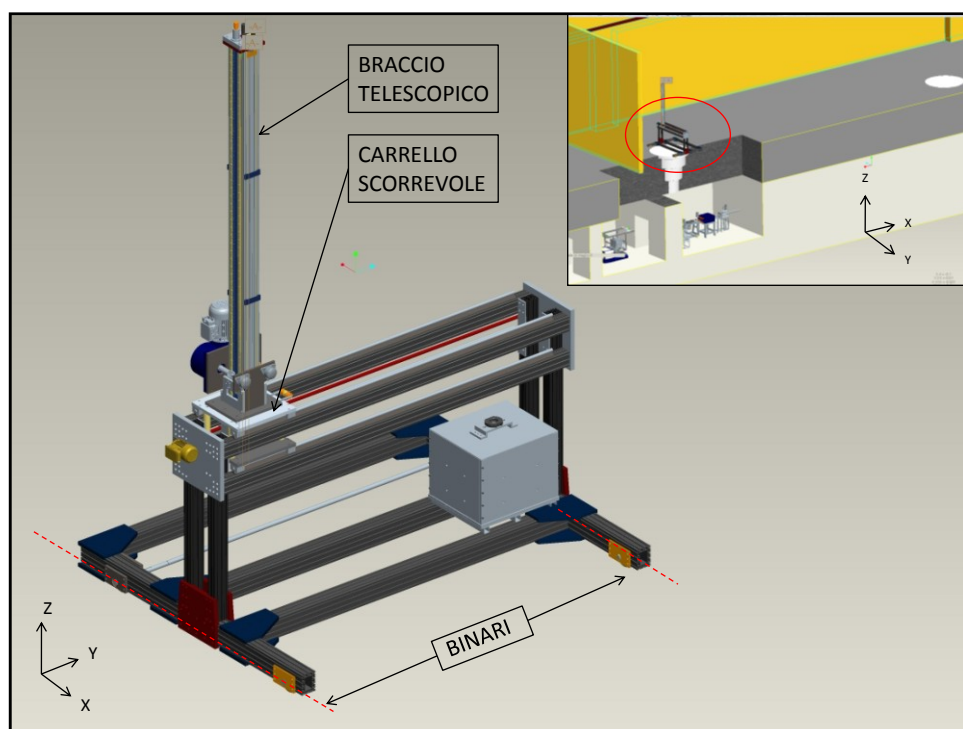


Figura 2 . 13 Schema di lavoro macchina movimentazione verticale [0].

La macchina di movimentazione verticale Fig 2.13 è il primo oggetto pensato e progettato per movimentare la camera target dalla tavola di ammaraggio al piano soprastante la camera calda.

Essenzialmente è costituita da un telaio base (colore nero) con la forma di un ponte, realizzato con profili in alluminio standard fissati tra loro tramite piastre bullonate. La M.M.V² ha la possibilità di muoversi nella direzione del lato lungo del capannone: infatti essa è appoggiata tramite delle ruote con profilo ad “U” su dei binari (simili a quelli che si possono apprezzare in tutte le stazioni ferroviarie) che ne sostengono il peso. Grazie a questo accoppiamento, ad un grado di libertà, la macchina riesce a servire le due zone di produzione speculari poste al di sotto delle botole di accesso (rappresentate in bianco nella fig 2.13).

Il telaio base sorregge il carrello scorrevole tramite un vincolo di tipo corsoio (1 g.d.l.), realizzando così un movimento lungo la direzione ortogonale ai binari e garantendo la possibilità di spostare sia il coperchio del sarcofago sia la camera all’interno del telaio base.

A sua volta il carrello scorrevole sostiene l’elemento più delicato e importante, ossia il braccio telescopico: grazie a questo sistema, costituito da profili concentrici, è possibile raggiungere la C.T. (o a posizionarla) al di sotto del telaio base e ad una profondità di circa 5 m. (fig 2.14)

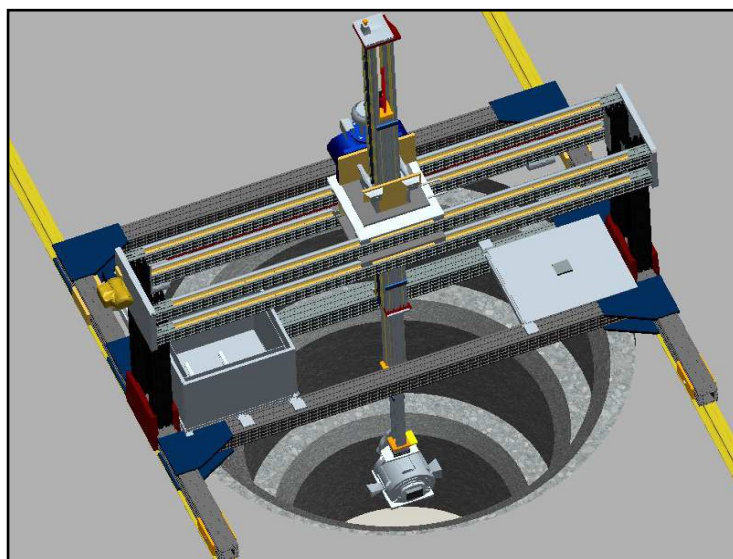


Figura 2 . 14 Introduzione della C.T. nella camera calda [0].

In definitiva questo macchinario è azionato tramite motori elettrici con sensori che rilevano la posizione del cartesiano nelle tre direzioni. Il braccio telescopico ha una portata di circa 150 Kg (peso del coperchio) ed il telaio base sostiene il peso del sarcofago che viene trasportato a bordo. Le dimensioni della M.M.V. sono: 3170 mm di interasse dei binari, 2500 mm circa di lunghezza e 4700 mm di altezza.

² M.M.V. : macchina di movimentazione verticale

La macchina è stata pensata e progettata con lo stesso obiettivo della macchina di movimentazione orizzontale, ossia di movimentare la C.T. nella fase di posizionamento, di prelievo e di inscatolamento. Viene ora fornita una sequenza di operazioni elementari che la macchina svolge durante un normale ciclo di lavoro, in modo concluderne il quadro illustrativo.

La sequenza inizia con:

- Scaricamento del sarcofago all'interno del telaio base tramite carrello elevatore;
- Apertura coperchio tramite braccio telescopico;
- Posizionamento sopra al foro di introduzione della C.T.;
- Prelievo della camera e posizionamento sulla tavola di ammaraggio;
- Ri-prelievo della camera dopo il ciclo di produzione e inscatolamento all'interno del sarcofago;
- Chiusura del sarcofago;
- Posizionamento della macchina nella zona di scarico (all'interno del capannone giallo).

Analizzando quindi il progetto SPES dal punto di vista della movimentazione, osserviamo la presenza di un sistema ridondante (M.M.V. e M.M.O.) che assicura lo svolgere dell'operazione di spostare la camera ed il suo sarcofago. In questo modo è possibile risolvere situazioni di emergenza o di blocco macchina, cioè problematiche impreviste che possono sorgere durante un normale ciclo di lavorazione del bersaglio.

La progettazione anche in questo caso è stata svolta seguendo criteri standard di sicurezza, precisione nel posizionamento e affidabilità nella ripetizione dei movimenti, ricordando la natura del progetto SPES e l'ambiente radioattivo nel quale la macchina di trova a dover operare.

2.9 DESCRIZIONE PRELIMINARE DELLA MACCHINA MOVIMENTAZIONE ORIZZONTALE (M.M.O.)

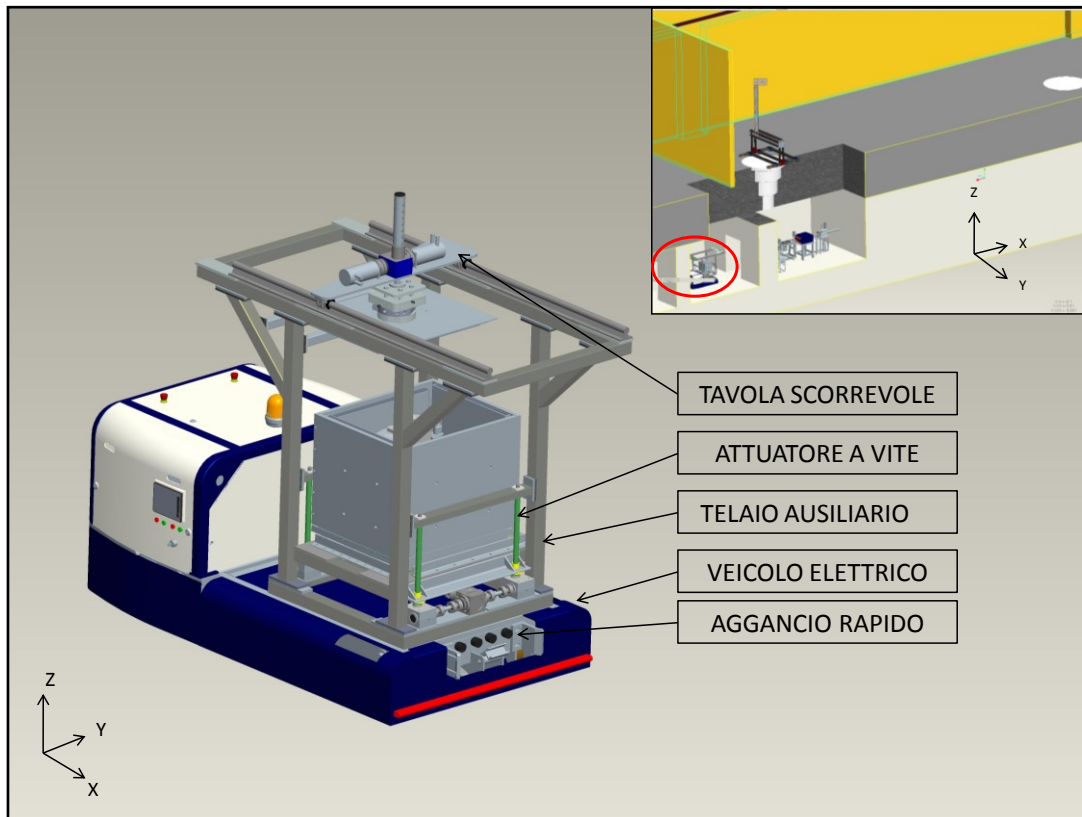


Figura 2.15 Macchina movimentazione orizzontale .

L'ultimo tassello che manca nella presentazione esaustiva del sistema di movimentazione della camera target, all'interno del progetto SPES, è la macchina di movimentazione orizzontale: di seguito verranno descritti i principali organi e le loro principali funzioni.

Dalla fig. 2.15 si nota subito che essa è composta principalmente da due sezioni:

- Carrello elettrico: ha la funzione di trasportare e movimentare in sicurezza il sistema ausiliario di posizionamento ed estrazione della camera all'interno della zona "bunker", e di fornire a se stesso ed al sistema soprastante le risorse energetiche necessarie (corrente elettrica in C.C., sistemi di controllo del veicolo, PLC, aria compressa per l'utensile schunk ecc...);
- Sistema ausiliario: è incaricato di movimentare il coperchio e la C.T. all'interno del volume della macchina; un cartesiano a due gradi di libertà, controllato da motori ad azionamento elettrico e da sensori di posizionamento, è incaricato a questo compito.

Il sistema ausiliario (fig 2.16) è in sostanza l'attrezzo o l'utensile che il carrello automatico utilizza per la movimentazione della camera. Esso è vincolato al telaio del veicolo grazie a dei bulloni di ancoraggio, e viene governato dal PLC installato a bordo del veicolo.

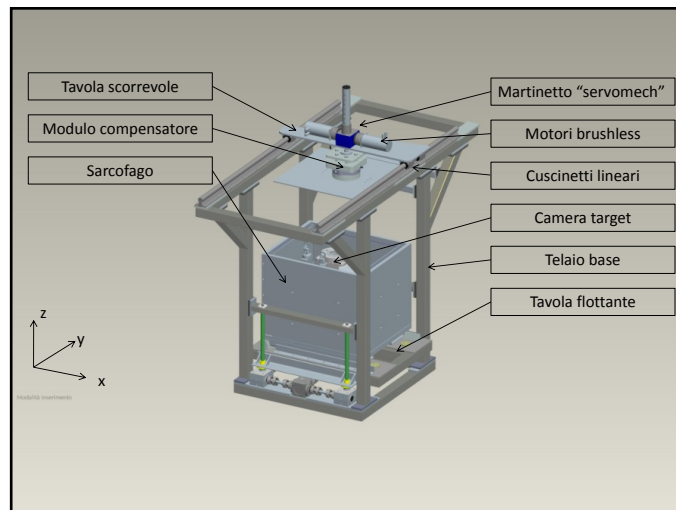


Figura 2 . 16 Sistema ausiliario[1].

Dalla fig.2.16 si può notare un telaio base portante costruito con tubolari a sezione quadrata 40x40 mm, una tavola flottante tramite viti senza fine che sorregge il peso del sarcofago; la tavola scorrevole movimenta la camera lungo la lunghezza e la appoggia sulla tavola di ammaraggio. Tutte le movimentazioni sono azionate tramite motoriduttori in corrente continua con appositi sensori di finecorsa e di verifica del posizionamento.

La parte inferiore della macchina di movimentazione orizzontale (fig 2.17) non è altro che un veicolo ad azionamento elettrico (a batterie) dotato di un telaio portante (fig 2.18), quattro ruote, due di trazione-sterzo e due folli (fig 2.19), un sistema di inseguimento di una traiettoria rettilinea (fig 2.20), e un sistema di aggancio rapido per vincolare la M.M.O. di fronte alla tavola di ammaraggio (fig 2.21). Il veicolo è inoltre dotato di tutti i sistemi di sicurezza imposti dalla normativa nel caso in cui venga utilizzato in presenza di operatori ossia: lampeggiante, avvisatore acustico, bumper di stop e pulsanti di emergenza.

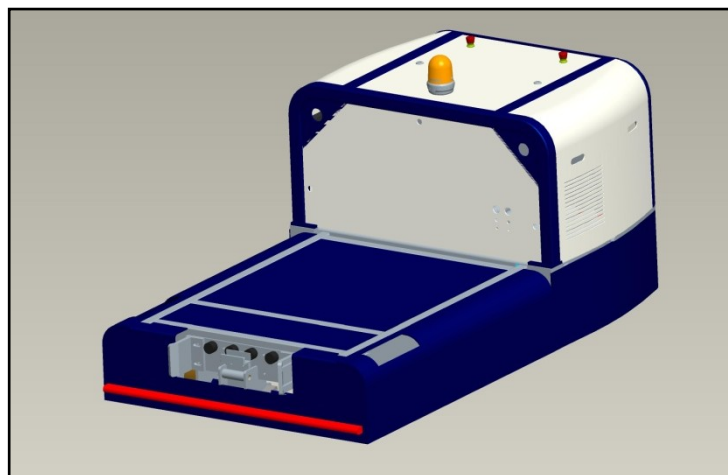


Figura 2 . 17 Veicolo elettrico.

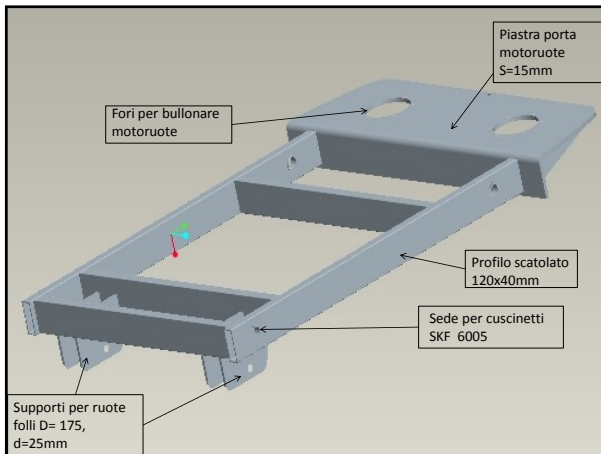


Figura 2 . 18 Telaio base.

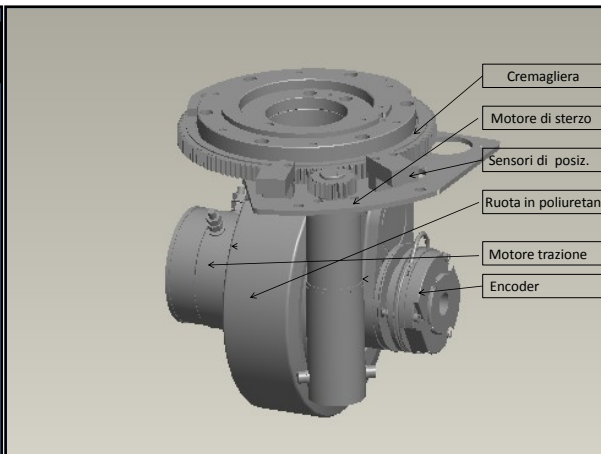


Figura 2 . 19 Motoruota MR240 FRS [2].

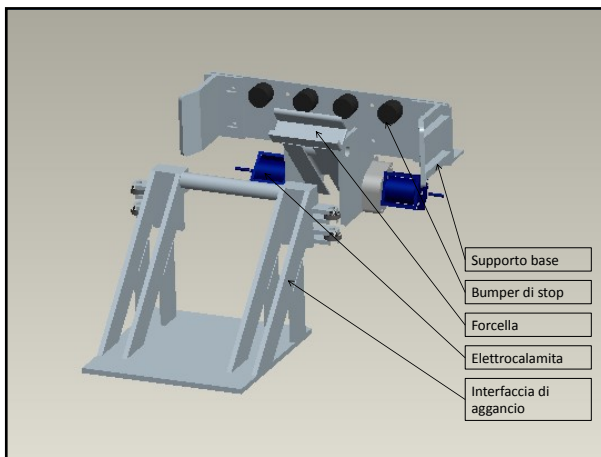


Figura 2 . 20 Sistema di aggancio al front-end.

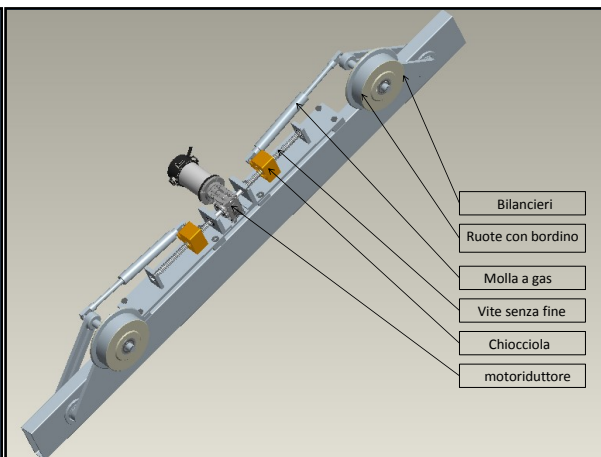


Figura 2 . 21 Sistema discesa ruote guida.

Lo scheletro del veicolo elettrico (fig 2.18) è costruito con tubolari a sezione rettangolare 120 x 40 x 4 (mm) in acciaio S355J0 e con una piastra dello spessore di 15mm ed è dimensionato per sorreggere 1500 kg di peso sul perimetro dello stesso: sullo scheletro vengono montati tutti gli organi mostrati nelle figure precedenti e tutti i sistemi che compongono il veicolo.

La trazione e lo sterzo sono garantiti dall'oggetto, mostrato in figura 2.19, ossia una motoruota con motore di trazione orizzontale e motore di sterzo verticale, tutti in corrente continua a 24 V: la motoruota viene montata e vincolata al telaio nella parte posteriore.

Il sistema di aggancio al front-end è un elemento essenziale poiché rende la M.M.O. solidale al front-end e garantisce una rigidità maggiore e quindi una stabilità aggiuntiva per svolgere le operazioni di movimentazione del telaio ausiliario.

Il sistema di figura 2.21, costituito principalmente da ruote con bordino (per rotaie) flottanti, vincola il veicolo a seguire una traiettoria rettilinea impostata dalle rotaie installate a terra, in modo da poter eseguire operazioni di movimentazione ripetute senza perdere di precisione nel posizionamento finale.

Per quanto concerne il sistema di controllo, questo veicolo utilizza un controllo elettronico TFI 4Q ad alta frequenza a recupero di energia per i motori di trazione, di sterzo e di guida su rotaia: un joystick invia i segnali di pilotaggio (nella modalità manuale) al controllore da 0V a 2.5 V. Il PLC si incarica di inviare questi segnali nella fase in cui la M.M.O. lavora in automatico. Un software di taratura e set up dei parametri gestisce il controllore (velocità, accelerazioni, sterzate ecc...). Di seguito viene mostrato uno schema semplice ed intuitivo che permette di capire meglio come agiscono gli organi di controllo.

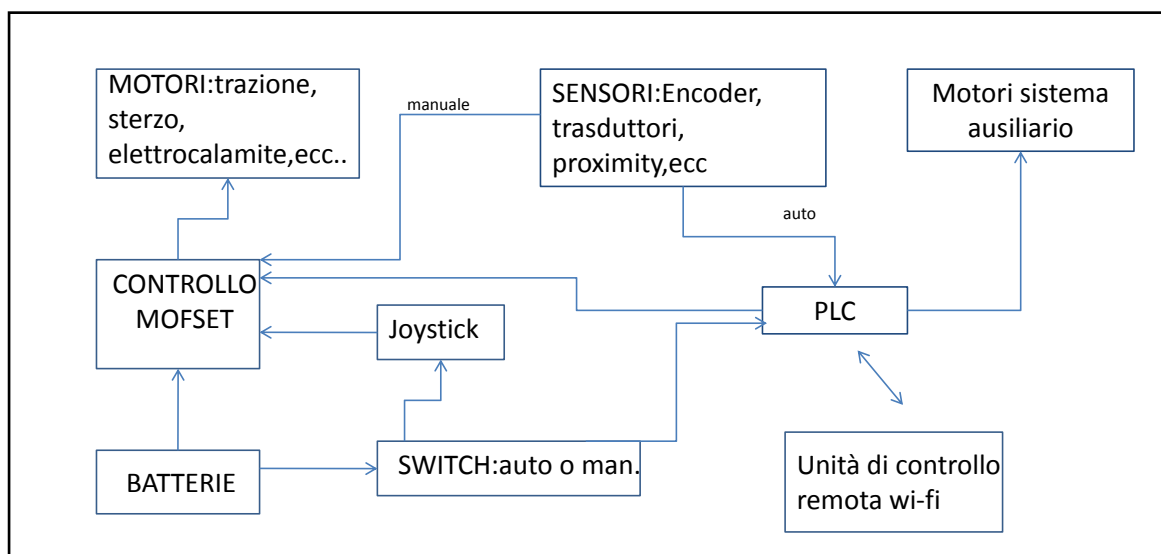


Figura 2 . 22 Schema controllo veicolo.

Quindi è possibile impostare tutta una serie di operazioni svolte in automatico per il raggiungimento dell'obiettivo di posizionare con cicli di carico-scarico la camera target.

Di seguito vengono riportate una serie di immagini che descrivono la successione delle operazioni di posizionamento della camera dal momento del carico del sarcofago sulla M.M.O. al momento dello scaricamento in rastrelliera: l'insieme di queste operazioni si possono suddividere in fase di carico e in fase di scarico. Nella prima fase si esegue la sottostante procedura:

- Il sarcofago, comprensivo della C.T. e del coperchio, viene portato tramite carrello elevatore nella zona di carico e depositato sulla M.M.O. su degli appositi riferimenti, in modo che venga rispettata la coassialità longitudinale. Come possiamo notare dalla figura 2.23 in questa istantanea le porte evidenziate in giallo, sono chiuse.

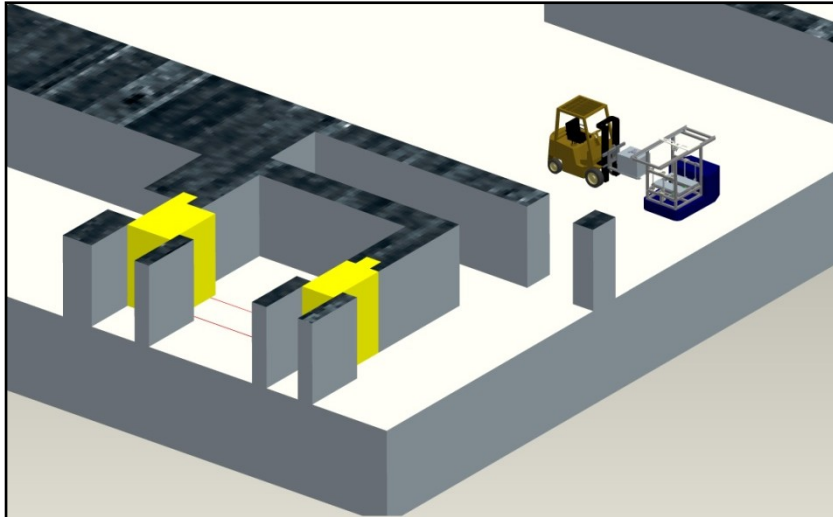


Figura 2 . 23 M.M.O. - fase di carico del sarcofago.

- Successivamente la macchina si allontana dalla zona di carico e si avvicina alla porta che separa camera fredda e tiepida: dopo un attimo di attesa la porta si apre e la macchina, governata da un operatore non presente in figura, può recarsi nella camera tiepida.

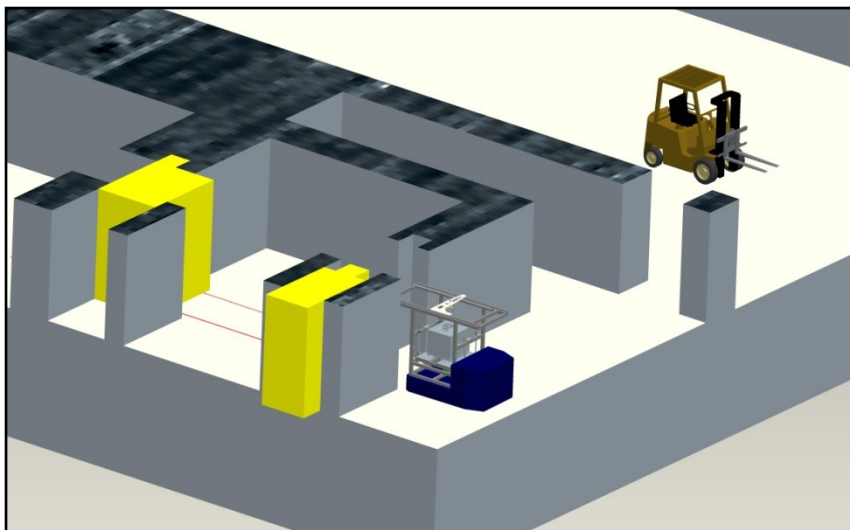


Figura 2 . 24 M.M.O. - Curva e attesa aperta porta.

- Una volta che l'operatore ha posizionato correttamente la macchina sui binari, attiva la procedura automatica ed esce dalla camera tiepida, chiudendo la porta che separa camera tiepida e fredda.

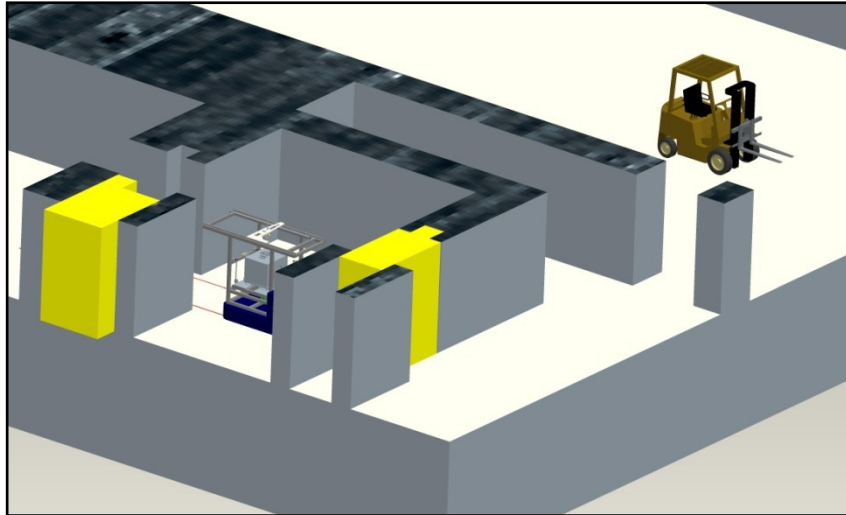


Figura 2 . 25 M.M.O. - Attivazione procedura automatica e apertura porta.

- A questo punto il PLC esegue tutte le operazioni assegnate avanzando la macchina verso il front-end, aprendo il sarcofago, e scaricando la camera target sulla tavola di ammaraggio. Si può notare come tutte queste operazioni vengano necessariamente eseguite con la porta aperta.

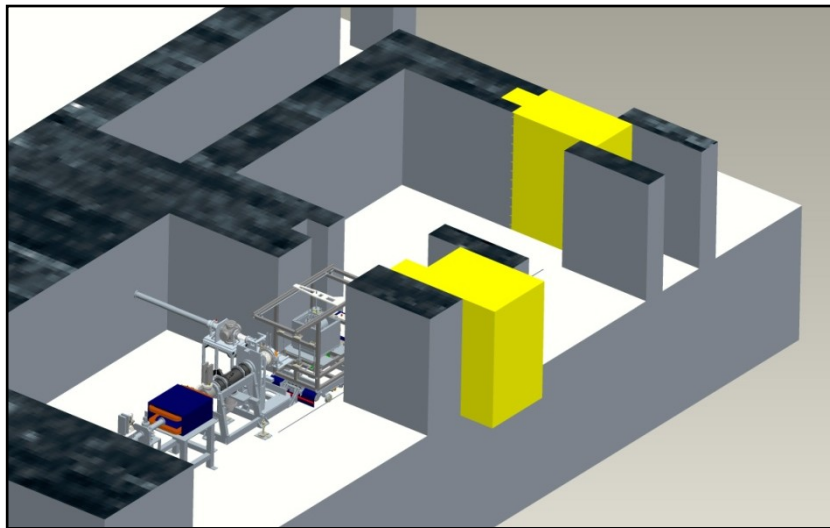


Figura 2 . 26 M.M.O. - Fase di scaricamento.

- Una volta eseguite tutte le operazioni di scarico, la macchina si allontana ed attende le fine della lavorazione radioattiva, all'interno della camera calda. Ovviamente durante la produzione di ioni radioattivi le porte in giallo restano chiuse.

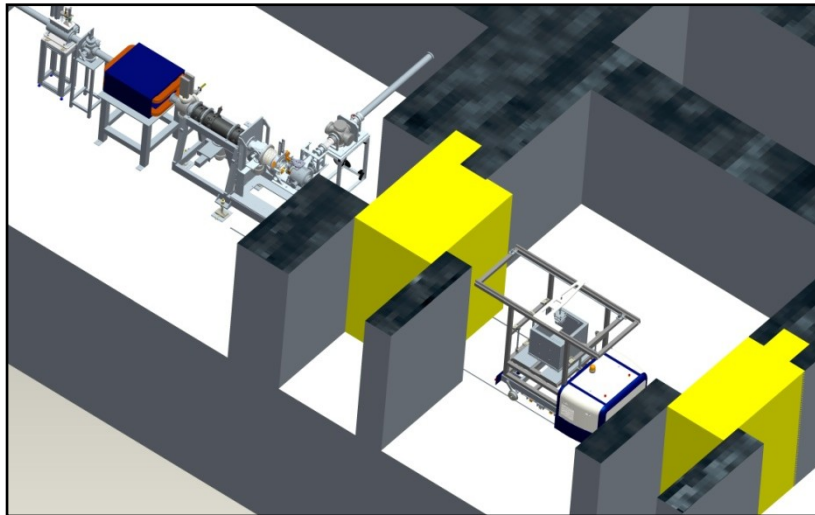


Figura 2 . 27 M.M.O. - Fase di attesa della lavorazione.

- Nella fase di scarico, la camera è irraggiata quindi non ci può essere l'ausilio di un operatore: a questo punto la porta "calda" si apre e la macchina preleva la camera e la deposita all'interno del sarcofago. Dopo averla inscatolata, la M.M.O. si dirige verso la rastrelliera adita a stoccare i sarcofagi. Il trasporto è gestito da un operatore che controlla il macchinario da una postazione di controllo remoto, percorrendo la giusta traiettoria con l'ausilio di telecamere e sensori di distanza.

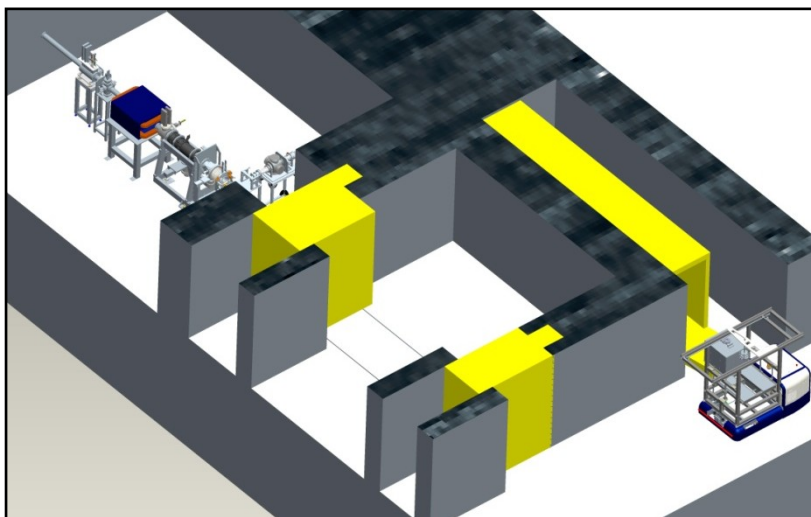


Figura 2 . 28 M.M.O. - Scaricamento in rastrelliera.

In ausilio a queste immagini, sono stati prodotti dei video che racchiudono tutte le istantanee della movimentazione della camera, dal posizionamento del sarcofago in M.M.O. allo scaricamento in rastrelliera. I video sono presenti sul sito del progetto SPES [0].

CAPITOLO 3

MACCHINA MOVIMENTAZIONE ORIZZONTALE

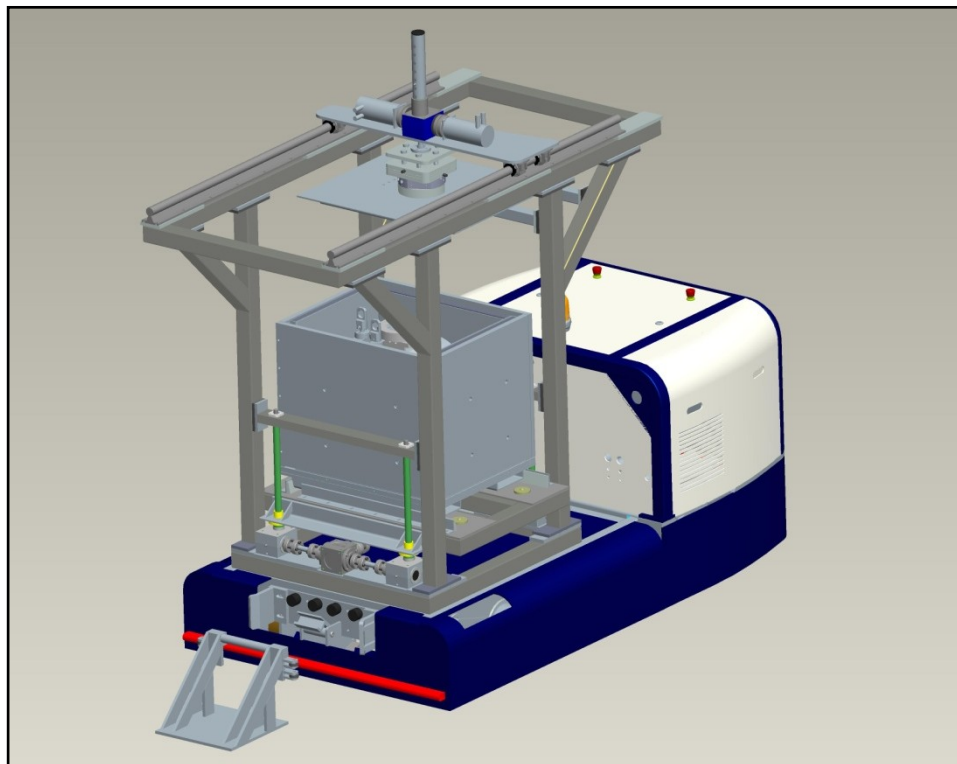


Figura 3. 1 - Macchina movimentazione orizzontale

3.1 INTRODUZIONE

Questo capitolo è dedicato alla descrizione della macchina di movimentazione orizzontale nella sua completezza, andando ad analizzare dapprima il sistema ausiliario rappresentato in figura 2.16 , e poi esponendo le scelte ed i componenti utilizzati nella progettazione del veicolo elettrico illustrato in figura 2.17.

La modellazione di tutte le parti macchina utilizzate nella progettazione è stata eseguita per mezzo del modellatore Pro-E, utilizzando parti meccaniche scelte da cataloghi specifici, di facile reperibilità e privilegiando fornitori che risiedevano nella provincia di Padova.

Tutte le soluzioni meccaniche adottate nella fase di progettazione sono state attentamente valutate sia dal punto di vista ingegneristico che dal punto di vista della qualità prezzo, così da raggiungere il giusto compromesso.

Tutte le scelte effettuate sono state accuratamente verificate tramite calcoli ingegneristici, che verranno esposti nel capitolo successivo.

3.2 *SISTEMA AUSILIARIO PER LA MOVIMENTAZIONE [1]*

Il macchinario descritto in questo paragrafo è parte integrante della macchina di movimentazione orizzontale, anche se viene denominato “ausiliario” poiché non possiede le “power sources” installate a bordo, ma ha bisogno di un macchinario “primario” che fornisce potenza elettrica, potenza pneumatica e segnali di controllo: è quindi visto come una attrezzatura che si aggancia del veicolo elettrico.

Il compito principale del sistema ausiliario è quello di movimentare la camera target al di sopra del veicolo elettrico in modo da svolgere tutte le operazioni di carico e scarico enunciate nel capitolo precedente, portandole a termine tutte con successo.

Dalla figura 3.1 è possibile apprezzare la bontà di tale macchinario e la semplicità costruttiva con cui esso è stato progettato: spesso nella meccanica adottare soluzioni semplici vuol dire assicurarsi un minimo numero di guasti e perciò, ricordando l’ambiente radioattivo ostile alla presenza degli umani, è opportuno adottare questa filosofia di progettazione.

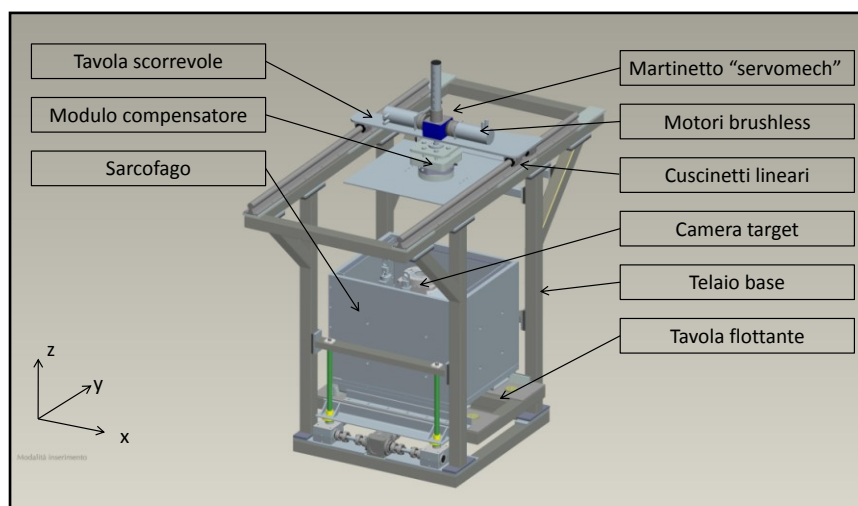


Figura 3. 2 – Sistema ausiliario [1]

3.2.1 *CARATTERISTICHE ELETTROMECCANICHE*

Il telaio presentato dalla figura 3.1 è il risultato finale della progettazione di un ingegnere mecatronico, perciò tutte le scelte effettuate sono state valutate tenendo presente questo concetto binario di meccanica implementata all'elettronica, per il raggiungimento soddisfacente di precisione nel posizionamento.

Dal punto di vista meccanico il telaio rappresentato in figura 3.1 è una sorta di robot cartesiano a 2 assi ed ha i seguenti requisiti:

- Ingombro complessivo massimo di 1700 x 800 x h2400 (limiti imposti dall'edilizia dello stabile);
- Resistenza strutturale verso il basso di 800 kg di peso;
- Ottima rigidezza flessionale sia lungo l'asse longitudinale che lungo l'asse trasversale;
- Tavola flottante in direzione "z";
- Tavola mobile in direzione "y";
- Sistema di espulsione sarcofago ;
- Martinetto di sollevamento camera in direzione "z";
- Utensile "schunk" per l'aggancio rapido accoppiato con un compensatore di quota.

La resistenza e la rigidezza strutturale del telaio base e della tavola flottante è garantita dall'utilizzo di tubi in acciaio a sezione rettangolare 60x60 collegati tra loro tramite saldature o giunti bullonati.

La tavola flottante in direzione "z" è sostenuta da martinetti meccanici opportunamente dimensionati del tipo mostrato in figura 3.2, azionati tramite rinvii angolari a 'T', a loro volta azionati da motoriduttori elettrici in corrente continua. I motoriduttori inoltre garantiscono una velocità di traslazione della tavola flottante di circa 0.05 m/s.

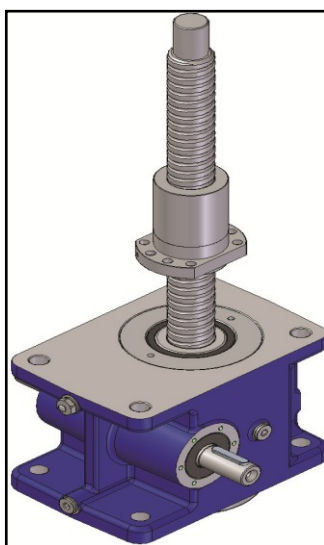


Figura 3. 3 - Martinetto meccanico Servomech [3]

La tavola mobile lungo l'asse "y" è libera di effettuare operazioni di carico e scarico della camera su tutta la lunghezza longitudinale del telaio base: essa sostenuta e movimentata, sulla sommità del telaio base, per mezzo di cuscinetti lineari SKF con piste a sezione cilindrica affiancate a una vite di manovra a ricircolo di sfere, come in figura 3.3.

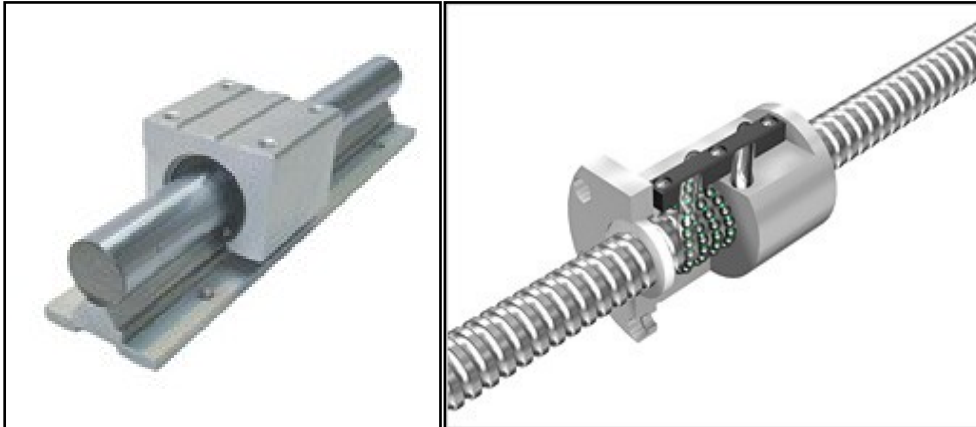


Figura 3. 4 - Esempio di cuscinetti lineari e viti a ricircolo

Ovviamente l'azionamento della vite di manovra viene effettuato tramite motoriduttore a vite senza fine, posto anch'esso sulla sommità del telaio base ed impone una velocità di traslazione di 0.05 m/s. In tutte le connessioni tra alberi moventi e cedenti sono stati installati dei giunti rigidi di collegamento opportunamente selezionati.

Il sistema di espulsione del sarcofago serve ad estrarre in maniera automatica il sarcofago contenente la camera irraggiata: esso è posizionato ed ancorato al di sotto della tavola flottante ed è costituito da un magnete scorrevole in direzione trasversale, in grado di agganciare il sarcofago dalla parte inferiore e spingerlo sulla rastrelliera per lo stoccaggio. Si può notare la presenza di sfere portanti che annullano, o quasi, gli attriti tra tavola e base del sarcofago, in modo da facilitare l'estrazione.

Il sistema di sollevamento C.T³ è sviluppato con lo stesso martinetto meccanico mostrato in figura 3.2 ma lavora in maniera differente: esso dispone di una portata superiore al peso della camera (circa 50 kg) ed è azionato tramite motore elettrico in corrente continua. All'estremità inferiore della vite senza fine è fissato tramite flangia bullonata, il modulo compensatore – shunk mostrato in figura 3.4;

³ C.T. : Camera target

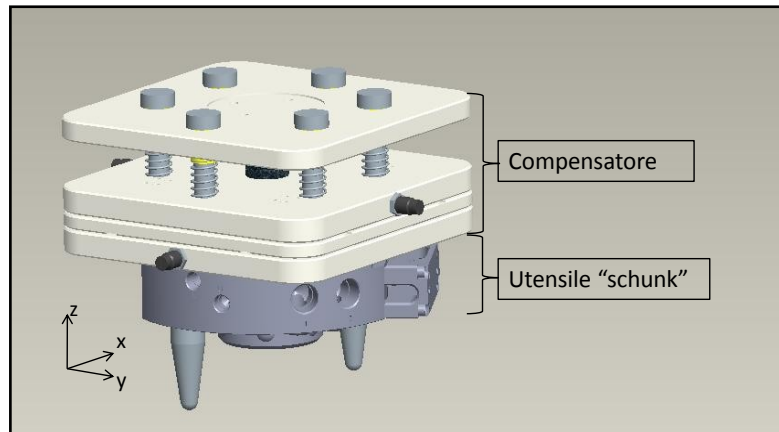


Figura 3. 5 - Modulo compensatore

Il compensatore ha il compito di garantire l'aggancio della camera anche nel caso in cui non venga effettuato un corretto posizionamento del martinetto di sollevamento o nel caso in cui la camera non si dovesse trovare nella posizione desiderata per l'innesto. E' stato deciso di installare questo "correttore di quote" in direzione 'x', 'y', e 'z', poiché aumenta la probabilità di portare a termine le procedure automatizzate con esito positivo. L'utensile 'schunk' entra in funzione quando il martinetto raggiunge una quota prefissata 'z', ossia quando la sezione mostrata in figura viene in contatto con la sezione femmina bullonata alla camera target: l'azionamento avviene tramite il circuito di potenza pneumatica fornita dal veicolo elettrico.

Per quanto concerne la parte elettrica di questo sistema meccanico si deve innanzitutto sottolineare il fatto che esso è un oggetto installato su di un veicolo elettrico ad azionamento con batterie, perciò non si dispone di grosse quantità di energia. Tutte le scelte di carattere "elettromeccanico" quindi, come per esempio la tipologia di motori elettrici da installare, la tipologia di sensoristica, ecc..., sono state convogliate verso l'utilizzo di componentistica in corrente continua. Utilizzare una tecnologia in corrente alternata non è sbagliato, ma comporta dei pregi e dei difetti che devono essere attentamente valutati.

L'autonomia di questo sistema è un aspetto molto cruciale che influenza le scelte costruttive. E' stato stimato che il veicolo elettrico debba avere un'autonomia di circa due ore, perciò tutto il complessivo di M.M.O⁴. deve avere questa caratteristica. Ciò è possibile analizzando il carico di lavoro (non così oneroso) del sistema ausiliario (di cui si è parlato nel paragrafo 2.5.2) che ci indica un tempo di lavoro complessivo approssimabile a trenta minuti di tempo.

Tutte le operazioni elementari di movimentazione effettuate all'interno del sistema ausiliario vengono gestite tramite un Programmable logic controller (PLC) di marca Schneider installato all'interno del veicolo elettrico appositamente programmato. Ovviamente essendo operazioni automatizzate, il PLC, necessiterà di segnali di finecorsa, e sensori, in modo da garantire un posizionamento il più accurato

⁴ M.M.O. : macchina di movimentazione orizzontale

possibile. Inoltre il PLC installato offre la possibilità di monitorare in tempo reale lo stato di avanzamento delle operazioni di scarico e carico con la possibilità di intervenire manualmente in caso di emergenze o situazioni critiche.

L'azionamento di tutti i meccanismi di movimentazione vengono effettuati tramite motoriduttori brushless in corrente continua mostrati in figura 3.5 controllati con segnali in PWM così da garantire un controllo efficace.

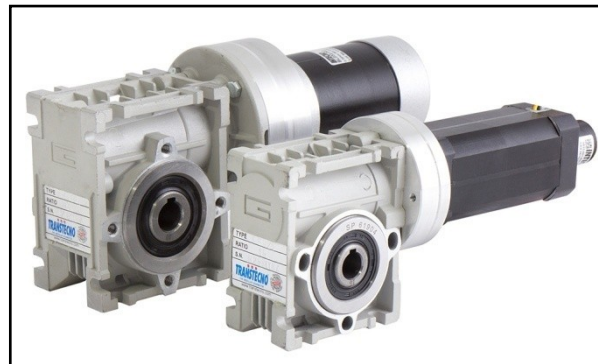


Figura 3. 6 - Esempio di motoriduttori brushless

3.3 *PRESENTAZIONE DEL VEICOLO ELETTRICO*

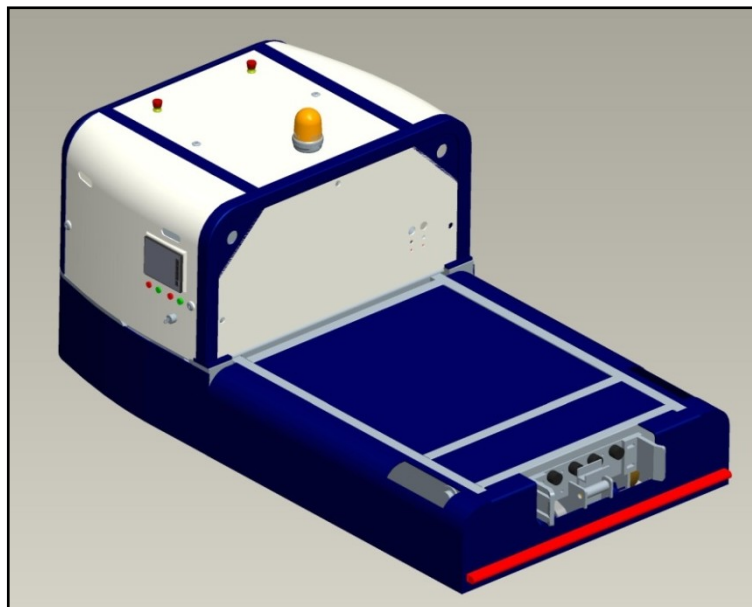


Figura 3. 7 - Veicolo elettrico

Il veicolo elettrico mostrato in figura 3.7 è il risultato dello studio per la movimentazione della camera target all'interno della "bunker zone". Si procederà ora alla descrizione del veicolo giustificando tutte

le scelte progettuali adottate e descrivendo, per ogni sezione, lo scopo ed il funzionamento. Come accennato nel secondo capitolo esso è costituito principalmente dalle seguenti sottosezioni:

- Telaio base;
- Motoruote e ruote folli;
- Sistema di guida su rotaia;
- Impianto pneumatico per l'utensile "schunk";
- Sistema di aggancio rapido al front-end;
- Organi di sicurezza standard;
- Hardware per il controllo della traiettoria del veicolo;
- Carter di protezione e cofanature;

3.4 CARATTERISTICHE GENERALI

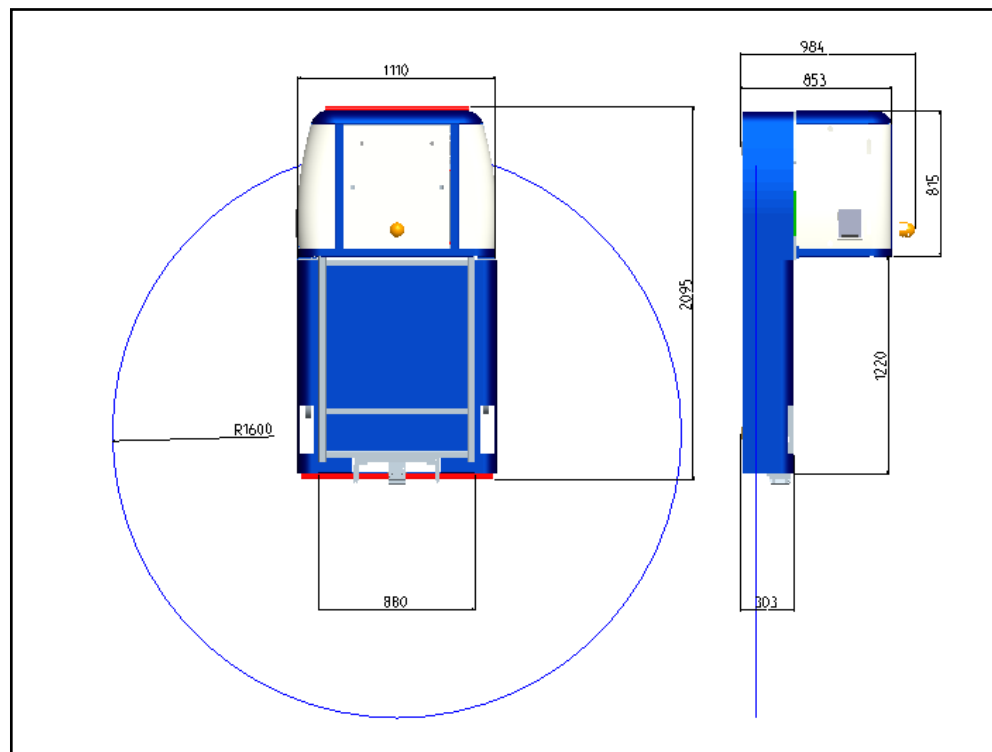


Figura 3. 8 - Dimensioni veicolo elettrico

Il veicolo elettrico, ad azionamento manuale tramite joystick o semi-automatico tramite PLC, è stato progettato per movimentare una unità di carico su di un pavimento che, dal punto di vista qualitativo, deve essere piano, resistente e molto compatto per evitare che le ruote, percorrendo la stessa pista, provochino l'usura della superficie. Sono ammesse piccole pendenze ma la superficie di lavoro deve essere essenzialmente piana. Il veicolo impiegato per il trasporto della camera target è stato studiato per percorrere traiettorie rettilinee e curvilinee da una stazione di carico ad una di scarico, andando a coprire un raggio d'azione che è stato descritto nel paragrafo 2.5.2.

Principali caratteristiche:

- Funzionamento elettrico in corrente continua 24 V;
- Veicolo a quattro ruote, due folli in poliuretano e due motoruote sterzanti di trazione in poliuretano;
- Potenza di trazione 1,4 kW;
- Velocità di traslazione massima di 0.5 m/s ;
- Lunghezza totale del veicolo di 2050 mm compresi i bumper di stop;
- Altezza del pianale di carico pari a 303 mm;
- Portata del pianale di carico di 1500 kg;
- Altezza del vano porta batterie pari a 850 mm;
- Larghezza pari a 1120 mm;
- Raggio di sterzata di 1600 mm;
- Autonomia di circa due ore;
- Impianto di fornitura di aria compressa a 6-7 bar.

Il veicolo è inoltre dotato di tutti i sistemi imposti dalla normativa in materia di sicurezza e possiede le risorse energetiche e pneumatiche per il controllo e l'azionamento del sistema ausiliario descritto nel paragrafo 3.2.

3.5 TELAIO

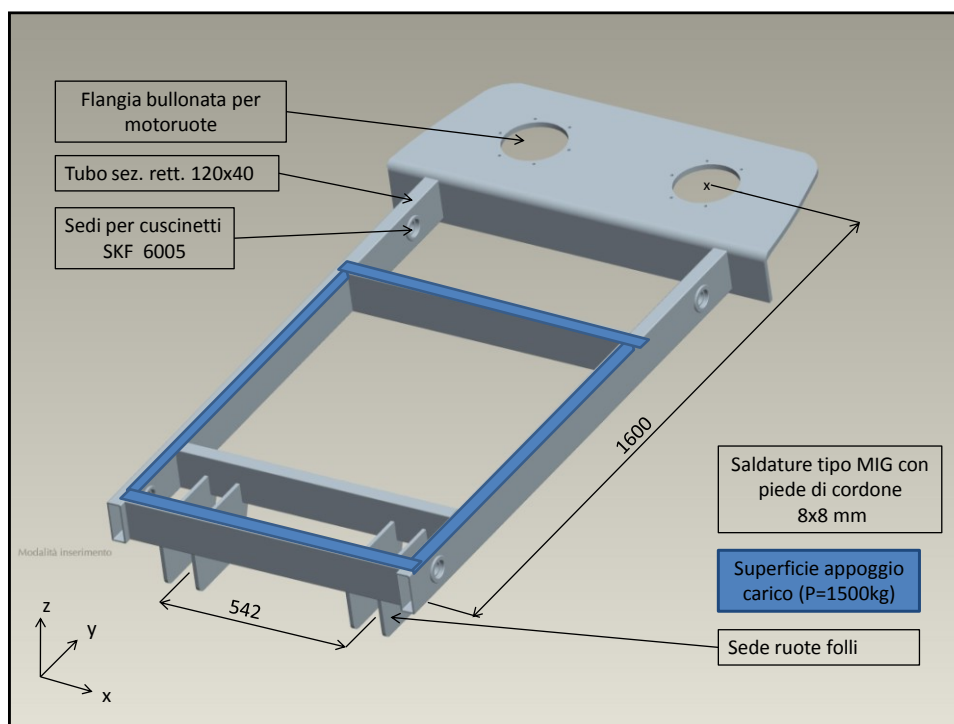


Figura 3. 9 - Telaio base

Il telaio base è la struttura portante del veicolo ad azionamento elettrico. E' stato progettato come una struttura reticolare tridimensionale costituita da tubi in acciaio S355J2H a sezione rettangolare 120x40 mm saldati tra loro. Nella zona posteriore è stata posizionata una piastra a sezione rettangolare piegata ad "L", in modo da poter vincolare le motoruote per mezzo della flangia bullonata mostrata in figura 3.9 . La zona di giunzione tra i due diversi profilati è stata collegata per mezzo di saldature e nervature di rinforzo: le saldature verranno verificate nel capitolo successivo.

E' stato deciso di utilizzare profilati a sezione rettangolare in acciaio poiché di facile reperibilità, garantiscono un'ottima resistenza e rigidità meccanica, sono facilmente lavorabili per mezzo di asportazione di truciolo e facilmente saldabili. Inoltre mantengono le loro proprietà nel tempo ed hanno bisogno di una scarsa manutenzione.

La decisione di utilizzare la sezione rettangolare cava è dipesa del tipo di carico da sostenere: infatti come possiamo notare dalla figura 3.9 il carico sollecita le travi longitudinali principalmente a flessione e la geometria del profilato scelto si presta molto bene a questo tipo di configurazione.

Nella zona anteriore sono state posizionate quattro piastre in direzione verticale, con un interasse indicato in figura in modo da poter inserire le ruote folli per mezzo di perno di spinta di diametro pari a 20 mm.

Per aumentare la resistenza e la rigidità del telaio sono state applicate delle nervature (non presenti in figura) sia tra le giunzioni a "T" che sotto la piastra ad "L".

Alle estremità delle travi longitudinali sono state applicate, tramite foratura e saldatura, quattro boccole appositamente sagomate in modo da creare la sede per una coppia di cuscinetti SKF 6005 2RS; i cuscinetti poi saranno utilizzati come sede della manovella del sistema di guida su rotaia (tale argomento verrà trattato nel paragrafo 3.7).

Il passo e la carreggiata del telaio e quindi del veicolo elettrico, sono state dapprima ipotizzate tenendo conto della geometria edilizia della “bunker zone”, per poi essere corrette cercando di rendere il veicolo il più compatto possibile senza comprometterne la stabilità e l’efficacia.

Si è giunti alla conclusione che le dimensioni finali fossero quelle mostrate in figura, conclusione sostenuta da una simulazione effettuata in Pro-E, in cui è stata verificata l’effettiva capacità del veicolo di compiere la traiettoria descritta nel capitolo precedente.

3.6 *MOTORUOTE E RUOTE FOLLI*

Nel corso della progettazione di questo carrello elettrico sono state valutate varie soluzioni per quanto riguarda la trazione e lo sterzo. All’inizio dello studio era stato ipotizzato di costruire un veicolo con l’assale posteriore di trazione ed assale anteriore, composto da una o due ruote folli, che si occupassero dello sterzo ma, volendo seguire il criterio di un veicolo compatto, è stato scelto di installare delle motoruote elettriche.

Le motoruote ad azionamento elettrico, o anche chiamate drive wheels, sono delle ruote motorizzate che consentono di dare trazione ad un oggetto che si deve muovere; sono principalmente composte un motore elettrico a corrente continua o alternata, da un riduttore di velocità, da un telaio su cui vengono calettati gli organi e da un sistema di sterzo con corona e pignone nel caso fossero anche sterzanti.

In figura 3.8 possiamo apprezzare un esempio di motoruota ad asse orizzontale con sistema di sterzo:

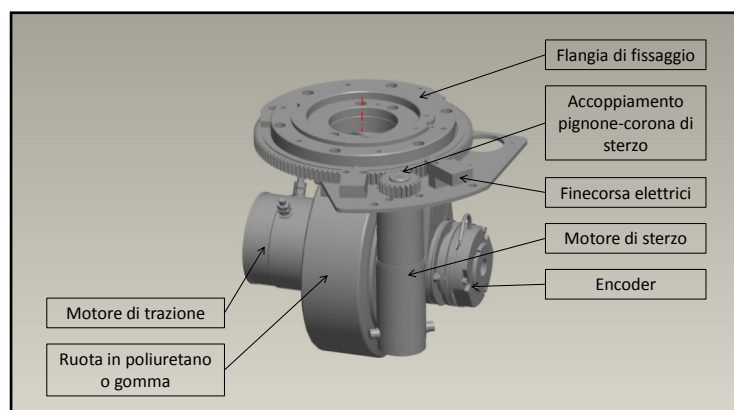


Figura 3. 10 - Motoruota ad asse orizonatale MR240 FRS [2]

Esistono vari tipo di motoruote: di sola trazione, di solo sterzo, ad asse orizzontale o ad asse verticale- E' stato scelto di installare le motoruote ad asse orizzontale poiché esse sono molto compatte e perciò poco ingombranti, quindi adatte all'applicazione appena descritta.

I dati fondamentali su cui basare la scelta della motoruota sono essenzialmente:

- La portata della motoruota;
- La potenza del motore della motoruota;
- Velocità di uscita alla ruota e quindi di traslazione.

Come dati iniziali di progetto si era a conoscenza solo della portata del carico pari a 1500 kg e della velocità di traslazione massima pari a 1 m/s perciò, consultando vari cataloghi, si è giunti alla conclusione che la scelta migliore fosse la seguente motoruota:

MR240FRS				
DATI TECNICI / PERFORMANCE FEATURES				
			500W, 24V, 3000rpm, PM (magneti permanenti)	750W, 24V, 3000rpm, sep-ex (eccitazione separata)
Rapporto di riduzione motoruota <i>Drive wheel gear ratio</i>	i	32	26	32
Capacità massima di traino <i>Max vehicle weight</i>	kg	1954	945	1744
Carico massimo ammesso sulla ruota <i>Max wheel load</i>	kg	1000	1000	1000
Coppia alla ruota <i>Wheel torque</i>	Nm	86	41	76
Corrente assorbita <i>Current adsorbed</i>	A	36	30	40
Velocità in piano <i>Vehicle speed on flat</i>	m/min	61	90.5	74
Freno e/m con coppia frenante <i>e/m brake torque</i>	Nm	10	10	10
Diametro ruota in poliuretano <i>Polyurethan tyre diameter</i>	mm	250	250	250
Potenza motore sterzo <i>Steering motor power</i>	W	85	85	85
Velocità motore sterzo <i>Steering motor speed</i>	rpm	4000	4000	4000
Rapporto di riduzione sistema di sterzo <i>Steering system ratio</i>	i	442	442	442
Velocità di sterzata <i>Steering speed</i>	°/sec	54	54	54
Peso <i>Weight</i>	kg	50	50	50

Figura 3. 11 - Dati tecnici Motoruota [2]

I disegni tecnici di questa motoruota sarà inserito poi nell'appendice finale contenente tutti i disegni tecnici delle parti meccaniche utilizzate.

Per quanto riguarda l'assale anteriore è stato necessario scegliere dai cataloghi una coppia di ruote in grado di sopportare il carico imposto dalla portata del carrello, più precisamente è stata scelta una ruota di marca Blicle con supporto in ghisa grigia e con rivestimento in poliuretano colato.

Di seguito, in figura 3.10, viene mostrata un tabella con le principali caratteristiche geometriche e meccaniche; da notare che queste ruote hanno già il cuscinetto inserito, quindi per il montaggio basta inserire un perno di $\varphi_{est} = 25$ mm.

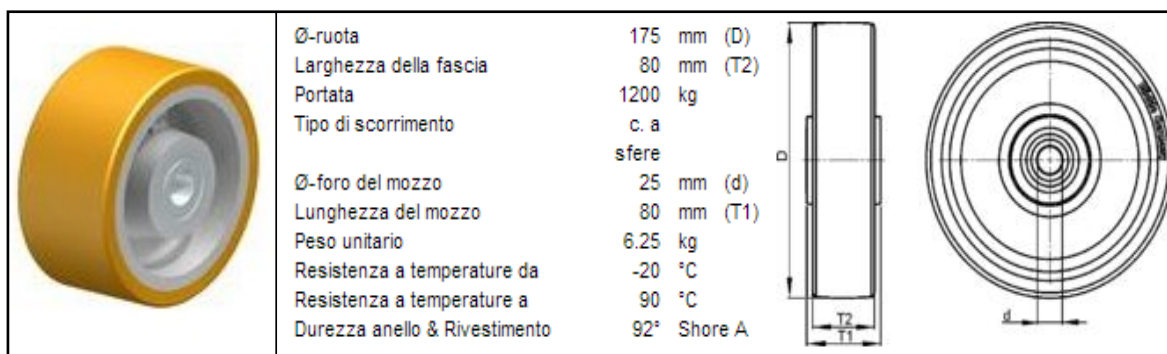


Figura 3. 12 - Ruote anteriori GTH 177/25 K [4]

Queste ruote, che hanno portata di 1200kg , sono inoltre idonee alla finitura superficiale della pavimentazione della “bunker zone”.

Analizzando il sistema enunciato fino ad ora, possiamo affermare che esso è a tutti gli effetti un veicolo a quattro ruote: quindi è possibile applicare su di esso tutte le leggi della meccanica del veicolo che possiamo trovare in letteratura. In particolar modo, si vogliono ricordare le regole da imporre per una corretta sterzata del veicolo.

Si definisce sterzata cinematica il moto di un veicolo su una traiettoria curva, determinata dal puro rotolamento delle ruote. Da questa definizione segue che, in condizioni di sterzata cinematica, la velocità delle ruote è contenuta nel loro piano medio e gli angoli di deriva sono tutti nulli, perciò le ruote non possono esercitare forze trasversali per equilibrare la forza centrifuga dovuta alla traiettoria curvilinea. La sterzata cinematica è quindi una pura astrazione ed è possibile solo se la velocità sulla traiettoria curva tende a zero. Per questa applicazione le velocità di traslazione sono molto basse, quindi non ha molto senso utilizzare le leggi della dinamica; tuttavia deve essere rispettata la condizione di sterzata mostrata in figura 3.13:

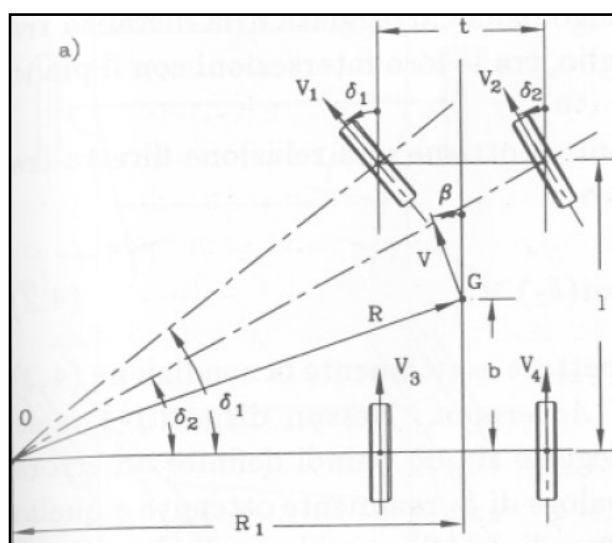


Figura 3. 13 - Schema di veicolo in condizione di sterzata. [5]

Perché le condizioni di sterzata siano verificate, il centro di istantanea rotazione O di tutte le ruote deve coincidere: tale punto è anche il centro di curvatura del veicolo (Fig 3.11).

In queste condizioni, i due angoli di sterzo non possono essere uguali: devono infatti valere le relazioni:

$$\tan\delta_1 = \frac{l}{R_1 - \frac{t}{2}} \qquad \tan\delta_2 = \frac{l}{R_1 + \frac{t}{2}}$$

Eliminando R_1 dalle precedenti, si ottiene una relazione diretta tra gli angoli δ_1 e δ_2 , nota come *relazione di Ackermann*:

$$\cot\delta_2 - \cot\delta_1 = \frac{t}{l}$$

Per il veicolo elettrico progettato, verrà installato a bordo un controllore a microprocessore che implementerà in automatico questa condizione di sterzata fondamentale.

3.7 SISTEMA DI GUIDA SU ROTAIA

Il sistema di guida su rotaia nasce principalmente per aumentare l'accuratezza nel posizionamento finale, in modo da movimentare la camera target diminuendo il pericolo di blocchi macchina.

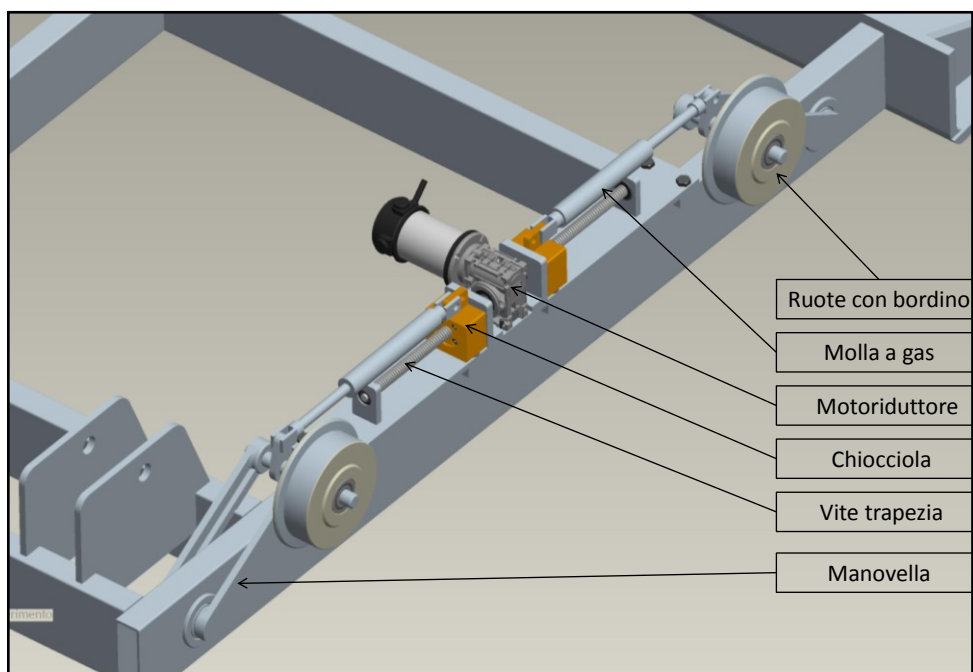


Figura 3. 14 - Sistema di guida su rotaia - vista dal basso.

Come si può apprezzare dalla figura 3.12, il sistema è completamente montato sulla trave longitudinale, per mezzo di cuscinetti, viti e piastre saldate ed è composto da:

- Una coppia di manovelle assemblate insieme;
- Ruote con bordino in nylon colato;

- Molla a gas GSI-14-28 in acciaio inox 316;
- Vite trapezoidale $\varphi=16 \times 4$ (mm);
- Chiocciola in bronzo
- Motoriduttore a vite senza fine in corrente continua;
- Cuscinetti.

La manovella mostrata in figura 3.13, è stata concepita per poter innestare le ruote all'interno del canale della rotaia quando la M.M.O. si trova nella camera tiepida.

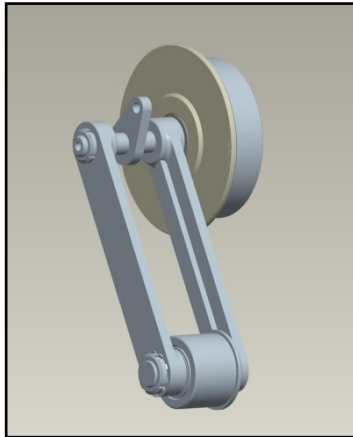


Figura 3. 15 - Manovella - Ruota

E' costituita da due perni collegati con dei supporti forati. Il perno alla base (piede di manovella) è libero di oscillare dalla posizione di riposo di 25° fino alla posizione di lavoro di 47 ° rispetto all'asse orizzontale, grazie a cuscinetti radiali SKF 6005 2RS. I supporti forati sono costruiti in acciaio per conferire elevata resistenza e sono state applicate delle nervature per aumentare la rigidità. I due supporti forati vengono accoppiati e vincolati tra loro per mezzo di due ghiera filettate poste all'interno. La ruota con bordino in nylon (Fig 3.14) è libera di ruotare sul perno di estremità per mezzo di cuscinetti e vincola il veicolo a muoversi su una traiettoria rettilinea.



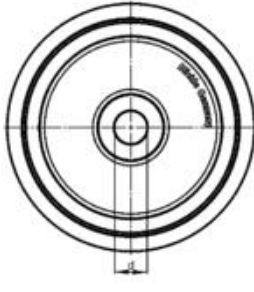
	Ø-ruota	150 mm (D)		
	Ø-ruota con bordino	175 mm (D1)		
	Larghezza della fascia	46 mm (T2)		
	Largh. fascia senza bordino	36 mm (T3)		
	Dimensione del bordino	13 mm (T4)		
	Portata	900 kg		
	Tipo di scorrimento	c. a sfere		
	Ø-foro del mozzo	20 mm (d)		
	Lunghezza del mozzo	52 mm (T1)		
	Resistenza a temperature da	-30 °C		
Resistenza a temperature a	80 °C			
Durezza anello & Rivestimento	80° Shore D			

Figura 3. 16 - Ruota con bordino in nylon [3]

Sul pavimento della zona “bunker” verranno affogati dei profilati pieni in acciaio, a sezione rettangolare, in modo da formare un canale di alloggio per il bordino della ruota di nylon e formare così un vincolo ruota su rotaia.

La parte movente di questo sistema, di ruota su rotaia a scomparsa, è composto da un motoriduttore della serie Robin a vite senza fine (Fig 3.15). Si è scelto di applicare questa tipologia di motoriduttore, anche conoscendo gli scarsi rendimenti che offre, perché ci mette a disposizione due alberi di uscita coassiali e opposti. La potenza del motore elettrico, il rapporto di trasmissione, coppia di uscita e la dimensione dell’albero di uscita sono i parametri preliminare per la scelta del motoriduttore più appropriati: durante la progettazione questi dati sono stati dapprima stimati o comunque supposti per poi essere verificati tramite relazione di calcolo.

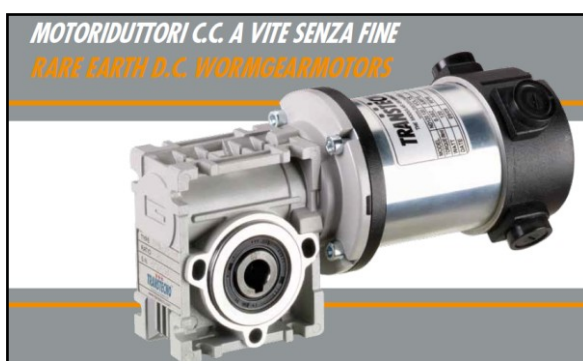


Figura 3. 17 - Copertina catalogo motoriduttori a vite [6]

Per l’applicazione descritta è stato scelto un motoriduttore in corrente continua con le seguenti caratteristiche:

Potenza (W)	n_2 (min^{-1})	M_2 (Nm)	Sf	i	Modello	φ_{out} (mm)
250	60	14	0.7	50	180/026	12

Il motoriduttore trasmette la coppia necessaria ad azionare la vite trapezoidale per mezzo di una linguetta, la quale a sua volta aziona la chiocciola in bronzo; anche il supporto della chiocciola è stato costruito in bronzo, poiché deve garantire la coincidenza planare con la piastra base. Per la scelta dell’accoppiamento vite-chiocciola (Fig 3.15) si è fatto uso di un catalogo per azionamenti lineari NEFF.



Figura 3. 18 - Esempio Accoppiamento vite-chiocciola

La vite scelta ha un diametro esterno di 16 mm per un passo di 4 mm, il diametro per la sede del cuscinetto vale 12 mm ed alle estremità è sorretta da due cuscinetti SKF.

Osservando con attenzione la figura 3.12, si può intuire che il cuscinetto di estremità, vicino al motoriduttore, sia sollecitato assialmente: ciò ha portato alla scelta di installare un cuscinetto obliquo SKF 7201 BE, mentre nell'estremità opposta si è scelto di installare un cuscinetto radiale SKF 6200 2RS, ossia autolubrificante.

In sostanza il complessivo motoriduttore, vite trapezoidale e chiocciola, serve ad azionare la ruota guida nel canale della rotaia: questo azionamento avviene per mezzo di una molla a gas che esercita una spinta continua e di intensità pari alla taglia della molla. In fase di progettazione si è scelto di voler esercitare, tramite la molla, una forza di circa 2500 Ne quindi, consultando vari cataloghi on-line, è stata selezionata la seguente molla di marca ACE:

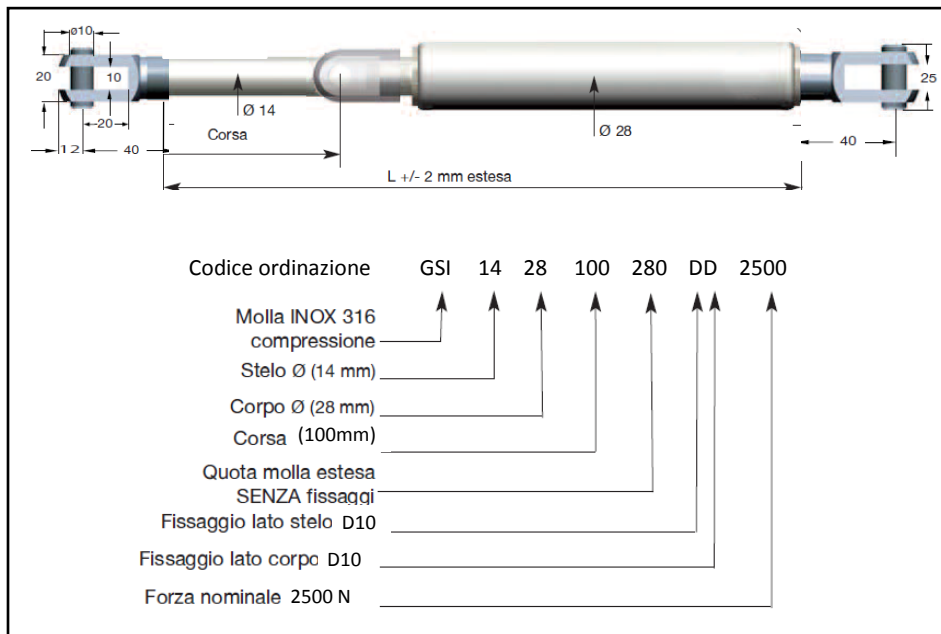


Figura 3. 19 - Molla a gas in acciaio inox 316 [7]

Come descritto dalla figura 3.19, la molla a gas ha una corsa di 100 mm e un forza di spinta nominale di 2500 N: questa è l'intensità di forza che poi si utilizzerà per la verifica degli sforzi dei vari componenti.

Applicando la regola di Grubler, ossia $gdl = 3 (m-1) - 2C_1 - C_2$, dove m sono il numero di membri, C_1 e C_2 sono rispettivamente coppie cinematiche di classe 1 (rotoidali e prismatiche) e coppie di classe 2 (camma piana), si può affermare che il sistema ha un grado di libertà.

Come accennato nel capitolo precedente, il sistema viene azionato manualmente quando la macchina di movimentazione orizzontale arriva nella camera tiepida. Osservando il sistema mostrato in figura 3.12, ci si accorge della necessità di finecorsa, in modo da evitare la collisione della chiocciola contro i supporti della vite trapezoidale. Per questo motivo, nella parte interna della slitta, sono stati installati

degli “switch” di tipo on-off che segnalano a controllore a microprocessore di tagliare l’alimentazione. Il controllore a microprocessore verrà trattato successivamente ed è l’organo che gestisce i motori elettrici.

Oltre a questi “switch”, che fungono da finecorsa elettrici, sono stati installati degli altri interruttori in prossimità di tutte e quattro le manovelle perché si vuole offrire, all’operatore o al PLC, un segnale di feedback sul corretto posizionamento delle ruote guida all’interno del canale di guida. Infatti questo “switch” si attiva solo quando la manovella mobile raggiunge la corretta quota angolare di posizionamento.

3.8 IMPIANTO PNEUMATICO PER AGGANCIO RAPIDO (SCHUNK)

Nel paragrafo 3.2.1 è stato illustrato il funzionamento del compensatore di quote utensile “schunk” (modulo compensatore) ed è stato spiegato come il compensatore agisce nel complessivo, ma non si è analizzato il funzionamento dell’utensile.

Questo particolare aggancio schunk viene utilizzato se esiste una procedura di movimentazione automatizzata e necessita di aria alla pressione di 6-7 bar: per questo motivo il veicolo elettrico progettato è provvisto di un piccolo impianto pneumatico in grado di fornire aria pressurizzata.

Di seguito viene mostrato lo schema dell’impianto installato:

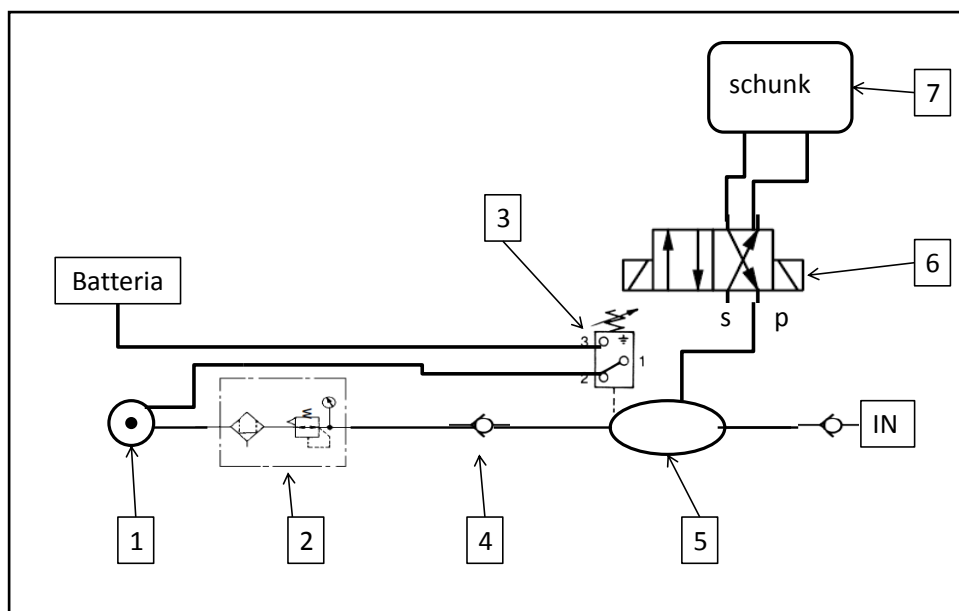


Figura 3. 20 – Schema impianto pneumatico

Componenti impianto pneumatico:

1. Unità pompante “Nardi”, tipo Silverstone, 24 V;
2. Regolatore con micro filtro disoleatore AMR 3000;
3. Pressostato SMC, tipo IS 1000-10;
4. Valvola unidirezionale SMC;
5. Serbatoio “Baglioni” 15 l;
6. Elettrovalvola a cassetto 4/2;
7. Utensile “schunk”;

IV. Presa esterna.

Si vuole sottolineare il fatto che l’utensile “schunk” non necessita di una portata di aria ma solo di una pressione per attuare l’innesto: perciò l’impianto che verrà descritto è un sistema di emergenza per ricaricare il serbatoio in caso di guasti o di imprevisti

L’unità pompante “NARDI” (Fig 3.21), scelta da catalogo, garantisce la ricarica del serbatoio dell’aria fino ad una pressione di 10 bar. Il compressore alternativo viene azionato da un motore 24 V in corrente continua.

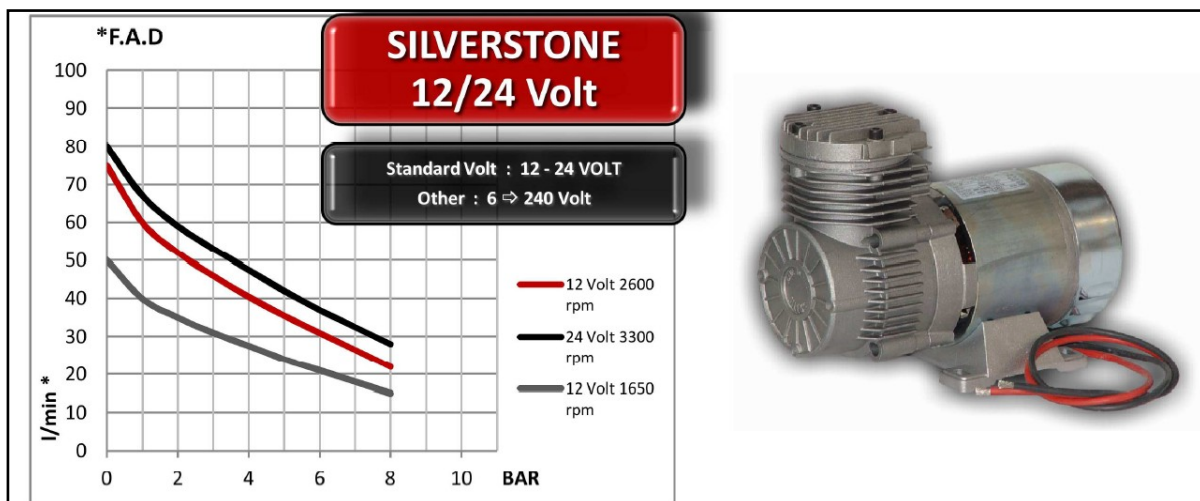


Figura 3. 21 - Unità pompante 24 V [8]

L’aria pompata da questo compressore attraversa una valvola di regolazione della pressione (Fig 3.20) e di filtraggio dell’aria, in modo da non far circolare delle impurità dannose per il circuito. La valvola verrà impostata sulla pressione di esercizio di 7 bar, cosicché l’impianto possa fornire la pressione prestabilita. In serie alla valvola descritta, viene posizionata una valvola di non ritorno o unidirezionale (Fig 3.20), in modo da imporre una direzione al flusso di aria. Seguendo il circuito, l’aria viene fatta pervenire in un piccolo serbatoio da 15 litri, in modo da accumularla e renderla disponibile per azionare lo “schunk”. Il riempimento del serbatoio, alla pressione di esercizio, può anche essere effettuato tramite l’attacco rapido “IN” dello schema di figura 3.18.



Figura 3. 22 – Pressostato, valvola regolatrice ed elettrovalvola 4/2 SMC [9]

Una volta che il serbatoio è in pressione, il pressostato oltre a comunicare l’arresto del compressore, abilita la M.M.O. ad eseguire le procedure impostate in automatico. Perciò il PLC, appositamente programmato, comunicherà l’azionamento dello “schunk” in determinate posizioni tramite segnali inviati all’ elettrovalvola 4/2.

3.9 *SISTEMA DI AGGANCIAMENTO AL FRONT –END*

Come già spiegato nel secondo capitolo, la macchina di movimentazione ha la funzione di trasportare la camera target e il sarcofago all’interno della “bunker zone”, passando attraverso delle postazioni nelle quali vengono effettuate delle operazioni importanti.

Una di queste postazioni è la numero cinque di figura 2.10, in cui viene effettuata l’operazione di scarico della camera target sulla tavola di ammaraggio: quindi, nella destinazione appena citata, sarà posizionata un’interfaccia a cui il veicolo si deve agganciare. Questo è il motivo per cui è stato progettato un sistema tale da assicurare un corretto accoppiamento tra front-end e veicolo nella fase di avvicinamento.

Il sistema che si descriverà in questo capitolo è essenzialmente composto da due elementi: il corpo di aggancio, con elemento mobile che è vincolato alla macchina, e l’interfaccia di aggancio vincolata a terra nella camera “calda”.

Tale sistema è stato progettato e posizionato sulla parte anteriore del veicolo poiché deve svolgere le seguenti funzioni:

- Ripristinare un errato allineamento tramite le piastre laterali di invito;
- Vincolare il veicolo in un punto ben stabilito della zona di scarico, in modo da poter azionare il sistema ausiliario nella giusta configurazione;
- Rilasciare un segnale di corretto posizionamento, attraverso un sensore, in modo da abilitare le operazioni automatiche gestite dal PLC.

Corpo di aggancio con elemento mobile:

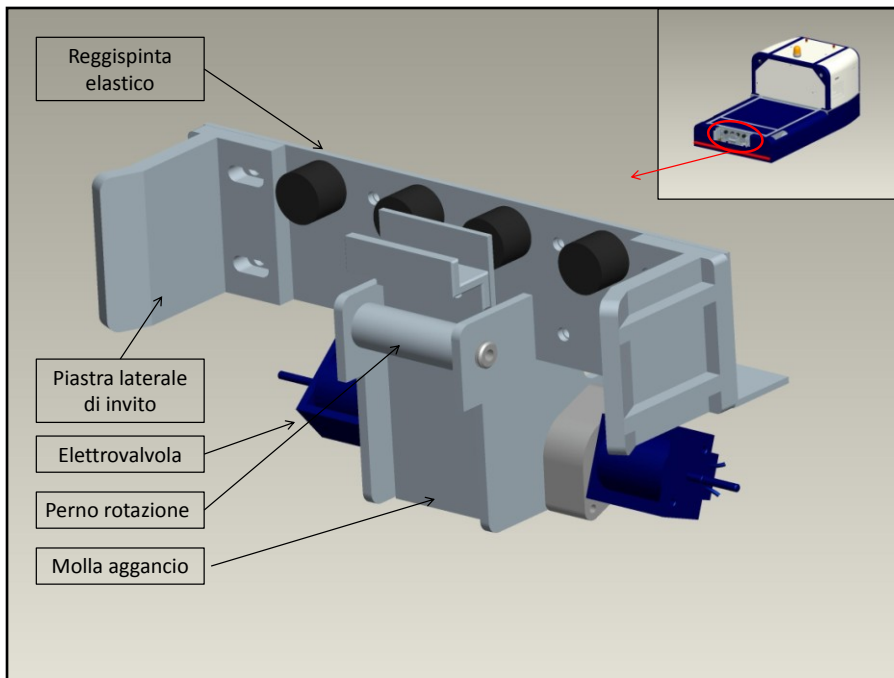


Figura 3. 23 - Sistema aggancio rapido, corpo vincolato al veicolo.

L'immagine 3.23 evidenzia come il sistema sia composto da:

- Un supporto base dove sono vincolati tutti i componenti: tale piastra è vincolata al telaio del veicolo elettrico tramite bulloni M10;
- Due piastre laterale di invito: esse sono saldamente vincolate al telaio del veicolo e geometricamente modellate per correggere difetti di allineamento nella fase di unione, ed hanno quindi la resistenza meccanica per vincere uno scorrimento per attrito tra pavimento e carrello a pieno carico;
- Quattro reggispinta elastici: sono semplici tasselli di gomma appositamente progettati per smorzare l'energia d'impatto del veicolo a pieno carico;
- Molla di aggancio (Fig.3.22): è la parte mobile del meccanismo ed è progettata per accogliere l'elemento cilindrico dell'interfaccia di aggancio e quindi vincolarlo alla propria sede ad "U"; è composta da un piatto flessibile, costruito con acciaio per molle al silicio, e un cilindro che funge da sede per le boccole di rotazione. Inoltre in una estremità della molla è bullonato un elemento in modo che formi con la molla una geometria ad "U", e nell'altra estremità è bullonata una sorta di asola che serve per il bloccaggio;
- Boccole di bronzo per la rotazione della molla;
- Perno di rotazione;
- Molla di richiamo;
- Elettrocalamita di bloccaggio;

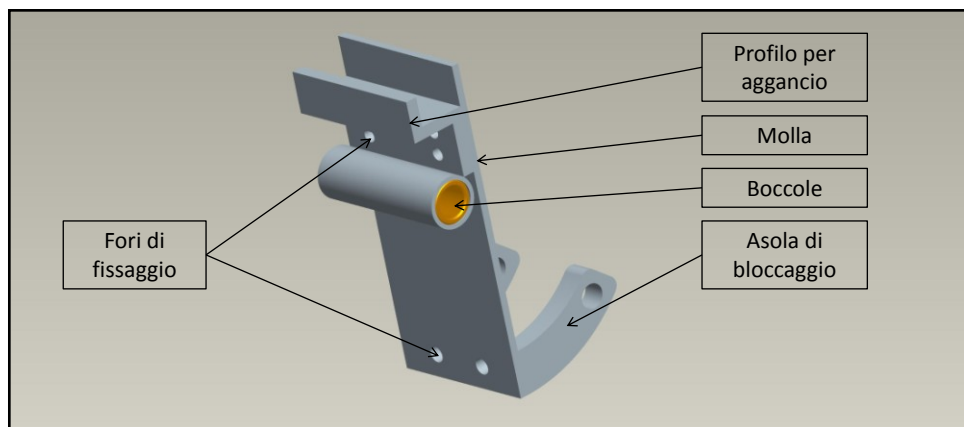


Figura 3. 24 - Molla di aggancio

Interfaccia vincolata al pavimento del front-end:

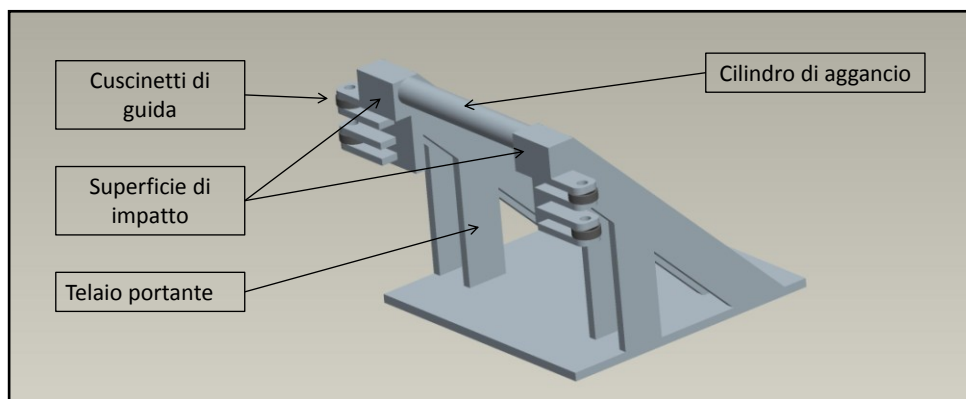


Figura 3. 25 - Sistema di aggancio, interfaccia di aggancio.

Descrizione del funzionamento:

Dopo aver innestato il sistema di guida nella camera tiepida, il PLC comanderà al veicolo di muoversi verso l'interfaccia di aggancio con una velocità impostata di 0.1 m/s. In questa fase la molla di richiamo del corpo vincolato al veicolo, mantiene la molla di aggancio nella posizione libera o di riposo, ossia aperta a ricevere il cilindro di aggancio. Arrivati in prossimità dell'interfaccia di aggancio, la molla ed il cilindro entreranno in contatto e tale contatto, sommato alla velocità del veicolo, fa muovere il sistema nella posizione di bloccaggio.

In questa fase transitoria perciò la molla di aggancio, con il suo profilo ad "U", ruoterà in posizione verticale, in modo innescare i perni di bloccaggio spinti dall'elettrocalamita. Nell'istante finale perciò troveremo il cilindro dell'interfaccia di aggancio (Fig. 3.23) all'interno della sede del profilo di aggancio (Fig. 3.22), ed i perni di fissaggio dell'elettrocalamita all'interno dei fori dell'asola di bloccaggio.

Nel caso in cui la macchina dovesse arrivare con un errore di allineamento, tale sistema riesce a ripristinare l'errore grazie all'inerzia della macchina e alla coppia di trazione fornita dalle ruote.

Una volta avvenuto l'impatto tra finecorsa meccanico (interfaccia di aggancio) e la parte vincolata al veicolo, una coppia di sensori di tipo proximity controlla e segnala il corretto accoppiamento in modo da abilitare le operazioni di scaricamento.

Terminate le operazioni di scarico della camera target, il PLC abilita il passaggio di corrente per azionare il solenoide, in modo da estrarre i perni di bloccaggio: così facendo il veicolo elettrico completo del suo sistema ausiliario, torna ad essere libero di traslare sulle "rotaie" e quindi di allontanarsi dal front-end per le operazioni successive.

Elettrocalamita di bloccaggio

L'elettrocalamita è l'elemento che interviene per il bloccaggio della rotazione della molla di figura 3.22. Essa è costituita da un perno, che tramite una molla preme sull'asola di scorrimento, e da un solenoide per il richiamo di questo perno.

Nell'istante finale dell'impatto del veicolo con l'interfaccia avremo che il perno di bloccaggio ed il foro presente sull'asola diventeranno collineari: quindi il perno entrerà nel foro creando un accoppiamento bloccato.



Figura 3. 26 – Solenoide richiamo perno di bloccaggio [10]

Corsa nominale (mm)	Potenza (W)	Forza di richiamo (N)	Tensione (V)	Mod. esecuzione
15	85	46	24	tirante

3.10 ORGANI DI SICUREZZA

Nello studio e progettazione del problema di movimentare la camera, si è giunti alla conclusione di costruire un veicolo, che sia governato sia in modalità manuale, sia in modalità automatica. In entrambi i casi di funzionamento, si devono rispettare delle norme di sicurezza per prevenire eventuali collisioni con cose o persone che sono presenti nell'ambiente in cui esso opera.

E' prevista perciò l'installazione di tutti gli organi in materia di sicurezza, necessari ad evitare lesioni a persone e collisioni impreviste che possono danneggiare il veicolo. E' stata quindi prevista l'installazione a bordo macchina di:

- Indicatori visivi come i lampeggianti e indicatori luminosi di direzione;
- Indicatori sonori come le cicaline che indicano organi in movimento;
- Bumper di stop che bloccano l'avanzare della macchina in caso di urto con qualche oggetto o persona;
- Pulsanti di emergenza per l'arresto immediato di tutte le operazioni eseguite in quell'istante.

Si riportano di seguito alcuni componenti selezionati da catalogo e previsti per l'installazione a bordo macchina. Nella figura 3.27 sono mostrati due tipologie di indicatori. Il primo a sinistra è un indicatore sonoro e luminoso: la sezione sonora può essere programmata ad attivarsi quando, per esempio, il veicolo si muove in retromarcia, mentre la parte luminosa è un semplice indicatore dello stato della batteria.

L'indicatore a destra si attiva invece quando il sistema ausiliario esegue le operazioni di movimentazione della camera all'interno del veicolo.



Figura 3. 27 - Indicatori luminosi [11]

In figura 3.28 , viene mostrato un pulsante classico di emergenza per arresto delle operazioni eseguite in automatico, e per l'arresto del veicolo. In caso di emergenza occorre premere il pulsante con forza, e per il riarmo è necessario ruotare la manopola rossa.

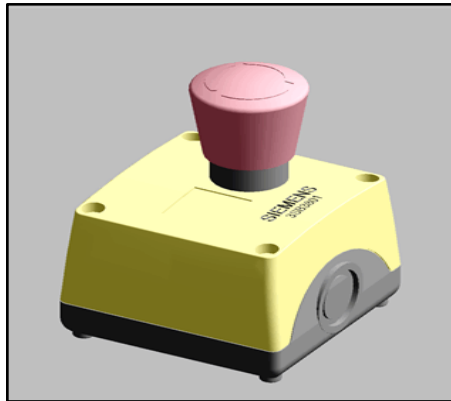


Figura 3. 28 - Pulsante di emergenza. [10]

Nella figura 3.29 , sono mostrati dei bumper di sicurezza. Essi sono elementi antiurto che vengono impiegati su AGV, carrelli da trasporto, e macchine semoventi per proteggere l'uomo e la macchina. Il loro compito non è solo quello di assorbire gli urti ma di produrre allo schiacciamento , un segnale elettrico da inviare al controllo per bloccare il movimento.

Per l'applicazione descritta in precedenza, sono stati utilizzati dei bordi elettrosensibili, costituiti da tre elementi: una parte sensibile, una guaina esterna di gomma nitrilica NBR e un profilo di alluminio di fissaggio.



Figura 3. 29 - Bordi elettrosensibili [12]

Sul veicolo progettato, sono stati disposti due bordi sensibili della serie 08 NBR, uno nella parte anteriore e l'altro nella parte posteriore, aventi le seguenti caratteristiche:

- Contatto allo schiacciamento → 5mm;
- Deformazione massima → 7mm;
- Profilo di fissaggio in alluminio → 35 x 15 mm;

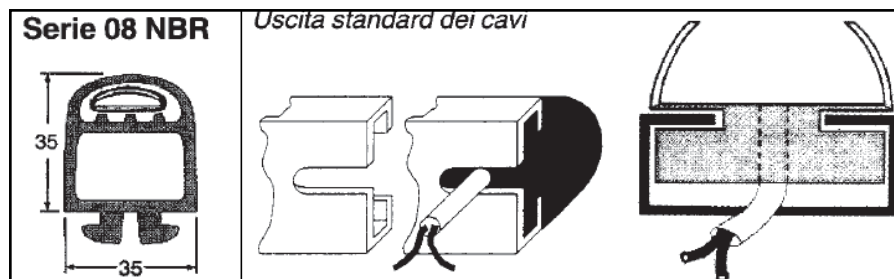


Figura 3. 30 - Sezione bordi sensibili [12]

3.11 SOFTWARE PER IL CONTROLLO DEL VEICOLO

Il progetto per la movimentazione orizzontale prevede l'utilizzo di un veicolo elettrico azionato tramite motori elettrici, essendo appunto un veicolo a batterie. Come ogni organo meccanico che viene movimentato tramite motori elettrici, è necessario installare un software per il controllo e la gestione dei segnali di potenza provenienti dai sensori.

Inoltre si ricorda che il veicolo è equipaggiato con un PLC, che gestisce le operazioni attuate dal sistema ausiliario, e perciò deve essere compatibile e integrato con il software di controllo.

Per rispondere a queste esigenze, prima è stato verificato il numero e la tipologia di motori da gestire e poi la soluzione migliore e meno costosa.

Motorizzazione scelta.

- Trazione: motore a magneti permanenti, 700W, 24 V, d113 mm completo di freno elettromagnetico;
- Sterzo: motore a magneti permanenti, 85W, 24V, 4000g/min, d.60 mm;
- Motoriduttori per sistema di guida su rotaia: motori a magneti permanenti, 250 W, 24 V;
- Motoriduttori per il sistema ausiliario: tre motori, 300W, 24V

Autonomia ipotizzata: 120 minuti.

Consultando varie aziende che producono questi controlli e rispettando i sopraindicati dati in input, si è deciso di equipaggiare il veicolo con un impianto elettronico con i seguenti componenti.

Impianto elettronico

- Un controllo elettronico modello TFI 4Q, caratterizzato da: corrente erogata pari a 140 A a 24 V per la gestione della trazione; tecnologia mosfet, ad alta frequenza; gestione con

microprocessore a recupero di energia; abilitazione per il pilotaggio del freno elettromagnetico

- Un controllo elettronico modello TFI 4Q caratterizzato da: corrente erogata pari a 60 A a 24 V per la gestione del motore di sterzo; tecnologia mosfet ad alta frequenza; gestione con microprocessore a recupero di energia;
- Un controllo elettronico modello TFI 4Q caratterizzato da: corrente erogata pari a 90 A a 24 V per la gestione del motore di sterzo; tecnologia mosfet ad alta frequenza; gestione con microprocessore a recupero di energia;
- Un teleruttore generale di linea modello MAC 15D.

Accessori

- Cavi motore di potenza e cavi per segnali;
- Interfaccia di programmazione da PC modello USB 2006;
- Software per la taratura e set-up dei parametri;
- Joystick per il pilotaggio del veicolo;
- Scatola nera per la memorizzazione delle informazioni di bordo;
- Fusibili ed accessori correlati all'impianto;
- Fungo di emergenza.

Alimentazione

- Quattro moduli di batterie per la trazione, ermetiche al GEL, 6V, 240 Ah C20, 180 Ah C5, con dimensioni a norme DIN 244 x 192 x h 275 mm. Peso modulo di 32,5 kg.

Alimentazione alternativa

- Quattro moduli di batterie per la trazione ad acido libero, con piastre positive tubolari, 6V, 240 Ah C20, 180Ah C5, con dimensioni a norme DIN 242 x 190 x h 275 mm. Peso del modulo pari a 29,8 kg.

Caricabatterie

- Caricabatterie ad alta frequenza modello CB 7 HF, alimentazione universale monofase 115/230V in A.C., con uscita a 30 A, 24 V, con gestione della carica elettronica a microprocessore, timer di carica finale programmabile, timer di sicurezza programmabile, carica di equalizzazione, carica di mantenimento, autodiagnosi e auto start, segnalazione guasti. Il caricabatterie può essere installato sia a bordo macchina sia a terra.

I controlli elettronici bidirezionali TFI 4Q ad alta frequenza sono stati progettati per l'azionamento di motori in corrente continua a magnete permanente. L'elemento che li caratterizza è l'assenza di

teleruttori di marcia: l'inversione infatti viene effettuata da un ponte intero di mosfet che inverte la corrente del motore. Inoltre viene svolta la frenata in corrente con recupero di energia che interviene a rilascio dei comandi o in inversione di marcia. Sull'impianto è presente solo il relè di linea che garantisce l'isolamento del chopper della batteria in situazioni di emergenza, rispettando le normative vigenti in materia di sicurezza. Un doppio sistema di rilevamento fault, hardware e software, offre una migliore protezione da sovraccarichi di corrente. Il chopper svolge la funzione di sterzo elettrico con allineamento di due potenziometri, e offre la possibilità di introdurre un controllo ridondante di sterzata con la gestione di 4 segnali di potenziometro. Tutti i parametri di funzionamento possono essere modificati tramite consolle di programmazione o PC, utilizzando un'apposita interfaccia. Il controllo permette la visualizzazione dello stato di carica della batteria tramite 3 led. [12].

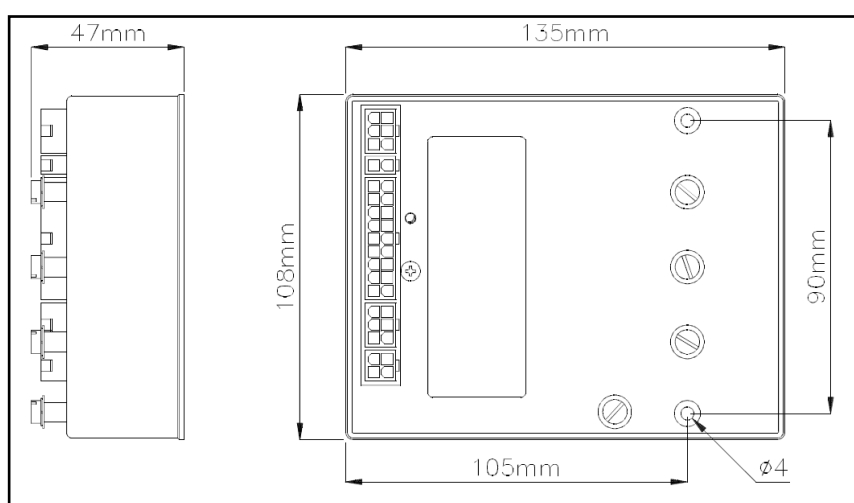


Figura 3. 31 - Ingombro del controllo elettronico [13]

Il caricabatteria monofase CB 7 HF ha caratteristiche di affidabilità efficienza e versatilità. Grazie ad un software che permette di selezionare varie curve di carica, è adatto per ricaricare batterie ad acido libero, gel e acido assorbito. Sono disponibili sei curve di carica personalizzabili con un massimo di sei fasi per ogni curva. Le curve sono selezionabili tramite pulsante e, all'accensione, il caricabatteria si predispose per la ricarica con l'ultima curva utilizzata. Particolari curve di carica richieste possono essere implementate utilizzando l'apposita interfaccia USB 2006.06 [13].



Figura 3. 32 - Caricabatterie CB7HF, [13].

Sensori e trasduttori

I sensori, come i trasduttori, sono un componente essenziale dell'automazione moderna, dato che gli impianti devono rilevare molte grandezze fisiche. Nella nostra applicazione sono stati utilizzati perlopiù rilevatori di stato o sensori di prossimità, in modo da inviare al PLC segnali per avviare o spegnere determinati azionamenti.

Il veicolo è principalmente dotato: di interruttori di tipo on-off per impostare una determinata corsa e quindi fungere da finecorsa; di sensori di prossimità, quindi senza contatto fisico, che inviano un segnale elettrico in funzione alla presenza o meno di un corpo o oggetto; di sensori di tipo encoder (come nel caso delle motoruote), che inviano un segnale elettrico in base alla rotazione di un oggetto.

Infine è prevista l'installazione di sensori laser di rilevamento della distanza e quindi della posizione, in modo da facilitare la movimentazione in manuale da remoto (come spiegato nel capitolo secondo).

Oltre a questi sensori o trasduttori, sono state installate delle telecamere per monitorare l'effettivo funzionamento sia del carrello che del sistema ausiliario nelle varie fasi di movimentazione. Questa soluzione è stata adottata perché, se ci dovesse essere qualche blocco macchina o emergenza, si riuscirebbe a capire l'entità del problema. Inoltre grazie alla postazione di controllo, è possibile monitorare e governare il PLC in remoto e quindi risolvere eventuali problemi della M.M.O.

Funzionamento

Il carrello viene pilotato con dei segnali provenienti dal joystick di comando che variano in maniera proporzionale: in particolare verrà assegnata, come riferimento, una tensione di 2.5V per la posizione di standby; un segnale proporzionale da 2.5 V a 0V come segnale di massima escursione sia per la marcia indietro che per la direzione sinistra; un segnale proporzionale che vada da 2.5V a 5V sia per la marcia avanti che per la direzione destra.

Ovviamente, nelle fasi automatizzate del processo, il PLC dovrà fornire al controllo TFI 4Q gli stessi segnali con gli stessi voltaggi, in modo da avere lo stesso pilotaggio ma con la possibilità di controllare il veicolo da remoto.

In figura 3.33 viene mostrato uno schema per facilitare la comprensione di come i vari organi comunicano tra di loro.

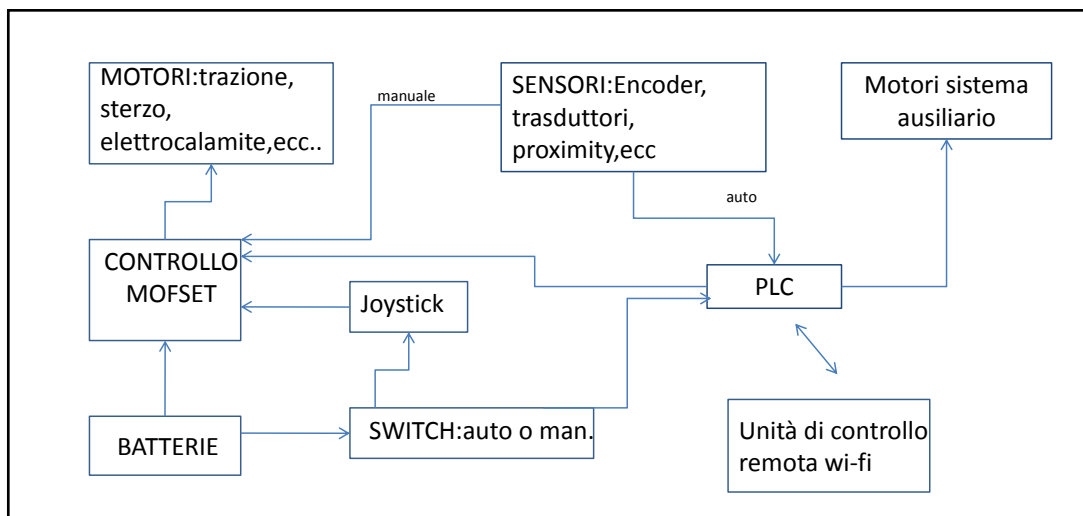


Figura 3. 33 - Schema sistema di controllo M.M.O.

3.12 CARTER DI PROTEZIONE E COFANATURE VARIE

Con l'entrata in vigore del DPR 459/1996, una macchina è intesa come:

un insieme di pezzi o di organi, di cui almeno uno mobile, collegati fra loro, anche mediante attuatori, con circuiti di potenza o altri sistemi di collegamento, connessi solidamente per un' applicazione ben determinata, segnatamente per la trasformazione, il trattamento, lo spostamento o il condizionamento dei materiali[14].

E' quindi necessario proteggere o comunque racchiudere gli organi in movimento, i circuiti e quant'altro all'interno di un volume di "controllo", in modo da rendere non accessibile il contenuto, e perciò rientrare all'interno dei requisiti di sicurezza per una marcatura "CE".

Difatti il veicolo progettato possiede, come descritto in precedenza, tutti gli accessori di sicurezza necessari ed è anche provvisto di carter e cofanature varie per la protezione dei componenti interni.

I carter di protezione, di cui mostreremo le immagini successivamente nella figura 3.34, sono stati modellati mediante modellatore solido Pro-E. Nella modellazione si è cercato di ottenere un buon compromesso tra un design soddisfacente ed un'efficacia del oggetto stesso.

Mantenendo il passo con i tempi odierni e cercando di non appesantire ulteriormente il veicolo, si è deciso di costruire queste "carterature" con materie plastiche, modellate tramite processo di termoformatura. La termoformatura in sottovuoto permette la lavorazione delle lastre di abs,

polistirolo, metacrilato e pet. Posizionato lo stampo nella termo formatrice, le resistenze in ceramica, posizionate sul forno superiore ed inferiore permettono di portare la lastra alla temperatura necessaria per iniziare il ciclo di lavoro. Successivamente il vuoto permette al materiale di aderire allo stampo prendendo la forma del particolare da realizzare.

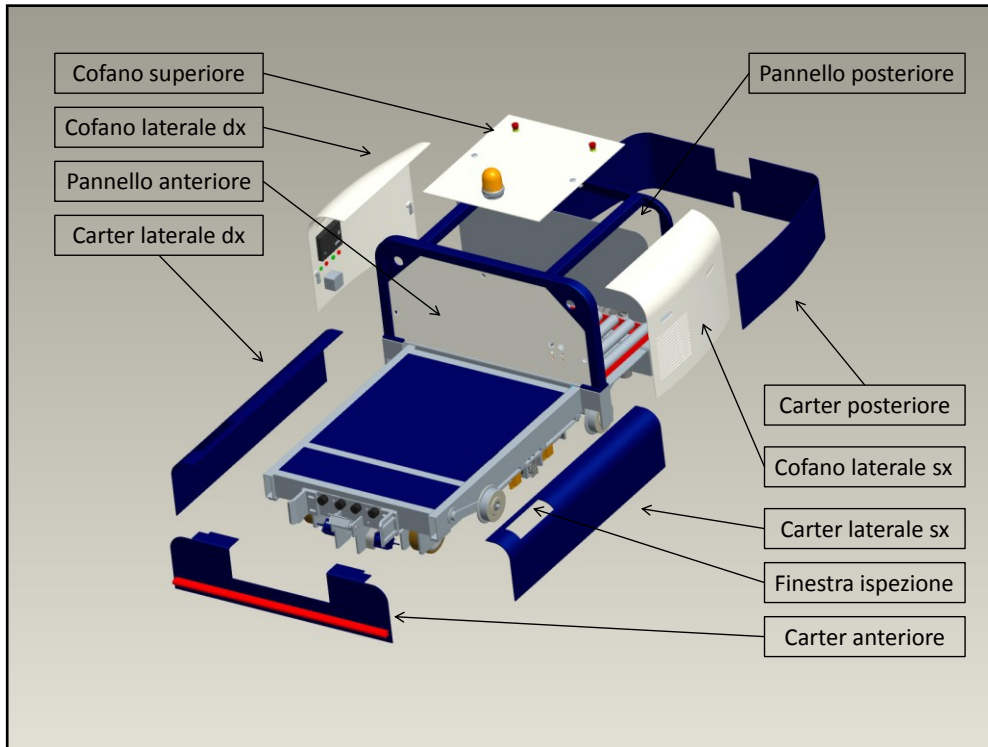


Figura 3. 34 - Esploso carter

CAPITOLO 4

RELAZIONE DI CALCOLO

4.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo verranno esposti tutti i calcoli e le verifiche progettuali effettuate durante la fase di modellazione della macchina di movimentazione orizzontale. Verranno perciò inseriti i conti, le analisi e gli schemi atti a chiarire tutte le scelte effettuate.

La verifica è l'operazione intesa ad appurare se la struttura, così come progettata, sia o meno in grado di assolvere i compiti per cui è stata concepita. Quindi si andrà alla ricerca di un valore che indica il grado di sicurezza della struttura, in modo da capire se la struttura è funzionale o collassa sotto l'azione dei carichi.

La norma 10011 fornisce le indicazioni su che tipo di verifiche effettuare e quali possono essere le criticità di una costruzione meccanica. Il progettista inoltre può e deve integrare tali verifiche standard a ulteriori verifiche che ritiene di importanza rilevante, al fine di ottenere un progetto ottimale ed esaustivo.

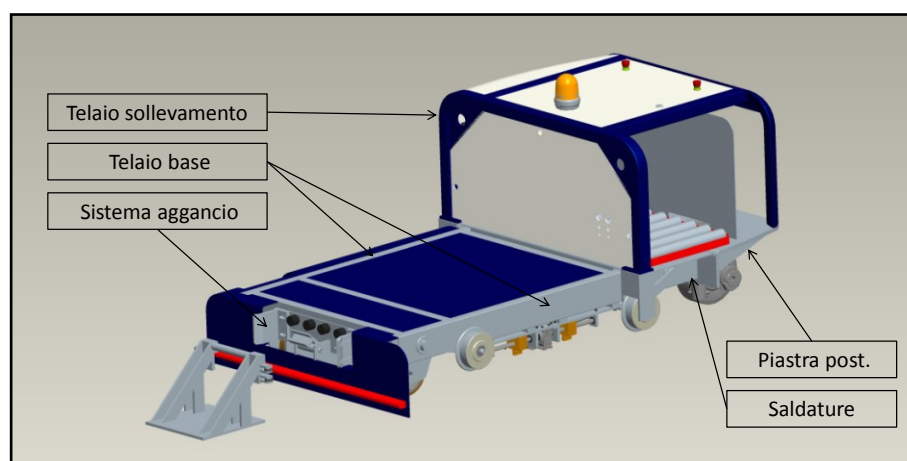


Figura 4. 1 Zone sottoposte a verifica strutturale

Le zone evidenziate dalla figura 4.1 sono aree critiche, poiché il non corretto dimensionamento delle parti meccaniche o dei materiali utilizzati porterebbe ad un collasso dell'intero progetto o di una

determinata zona. Questa serie di verifiche sono state affrontate secondo il seguente ordine e motivate dalle seguenti argomentazioni.

- *Riepilogo delle masse e dei profili utilizzati:* in una analisi di sforzi e deformazioni si ha sempre la necessità di conoscere le masse in gioco e le caratteristiche dei materiali per poter individuare eventuali aree deboli;
- *Verifica del telaio base:* esso è l'elemento cardine del progetto del veicolo elettrico ed un suo collasso porterebbe al fallimento completo dell'intero progetto;
- *Verifica del sistema discesa ruote guida:* tale sistema impone un'attenzione particolare poiché è stato concepito per soddisfare le necessità di precisione del progetto SPES;
- *Verifica sistema di aggancio:* è l'interfaccia di collegamento tra veicolo e front-end, perciò deve essere funzionale e garantire una precisione finale di posizionamento;
- *Dimensionamento batterie:* si stima la dimensione delle batterie per poter verificare l'ingombro all'interno del veicolo;
- *Verifica supporto ad "L" camera target:* tale supporto permette di bullonare l'innesto rapido "schunk" alla camera target perciò deve essere adeguatamente dimensionato;
- *Verifica compensatore "schunk":* tale oggetto permette la correzione di un errato posizionamento con uno scarto di $\pm 7\text{mm}$ e deve avere la portata sufficiente a sorreggere il coperchio del sarcofago.

4.2 RIEPILOGHI GENERALI

4.2.1 RIEPILOGO DEI MATERIALI E DELLE MASSE

Le masse di seguito, riportate nella maggior parte dei casi, sono state riprese dal software di modellazione PRO-E. In mancanza di dati, le masse sono state stimate da me o non sono state inserite.

Telaio base:

Tubo a sez. rett. 120 x 40 mm	S355J2H	14.06 kg	2	28.12 kg
Tubo a sez. rett 120 x 40 mm	S355J2H	7.5 kg	3	22.5 kg
Piatto 300 x 10 mm	S355J2H	3.29 kg	4	13.16 kg
Piastra post. s=15 mm	S355J2H	56.0 kg	1	67.60 kg
Boccola leva ruote guida	S355J2H	0.84 kg	4	3.36 kg
Angolari post. s=15 mm	S355J2H	2.08 kg	2	4.16 kg
Angolare post. S=15 mm	S355J2H	2.06 kg	1	2.06 kg
Piastra a saldare filettata M10	S355J2H	0.35 kg	14	4.9 kg
Piastra a saldare filettata M10	S355J2H	0.45 kg	4	1.80 kg
Piastra a saldare filettata M10	S355J2H	0.18 kg	3	0.54 kg
Piastre gancio di traino s=10	S355J2H	7.9 kg	1	7.9 kg
			TOTALE	<hr/> 156.1 kg

Sistema di ruote guida su rotaia:

Braccio est. bilanciante	S355J2H	1.9 kg	4	7.6 kg
Braccio int. Bilanciante	S355J2H	1.08 kg	4	4.32 kg
Cuscinetto 6005	-	0.1 kg	8	0.8 kg
Piastra porta rinvio	S355J2H	3.62 kg	2	7.24 kg
Porta cuscinetto 7201 BE	S355J2H	0.44 kg	4	1.76 kg
Porta cuscinetto 6200	S355J2H	0.15 kg	4	0.60 kg
Slitta sistema guida	Cu Sn6	0.8 kg	4	3.2 kg
Chiocciola D16	Cu Sn6	0.1 kg	4	0.4 kg
Motoriduttore CM 026	-	3.2 kg	2	6.4 kg
Molla a gas GSI 14-28-100	-	0.47 kg	2	0.94 kg
			TOTALE	<hr/> 32.86 kg

Sistema aggancio rapido:

Piastra porta aggancio	S355J2H	3.2 kg	1	3.2 kg
Supporti guida , piatto s=10m	S355J2H	2.03 kg	2	4.06 kg
Molla, Piatto 100x5 mm	60Si7	2 kg	1	2 kg

Piastra s=8mm	S355J2H	1.16 kg	2	2.32 kg
Asola scorrimento	S355J2H	0.26 kg	2	0.52 kg
Tubolare $\varphi=33.7 \times 25.7$ mm	S355J2H	0.25 kg	1	0.25 kg
Boccola $\varphi=20$ mm	Cu Sn6	0.05 kg	2	0.1 kg
Elettromagnete	-	1.1 kg	2	2.2 kg
Supporto elettromagnete	Al6061	0.89 kg	2	1.78 kg
Ammort.elast. $\varphi=40$, h=30mm	-	0.05 kg	4	0.2 kg
TOTALE				16.63 kg

Interfaccia aggancio rapido:

Piatto s=10 mm 320x320mm	S355J2H	7.9 kg	1	7.9 kg
Piatto s=10 mm h=50 mm	S355J2H	1.31+0.48 kg	4	7.16 kg
Blocco impatto	S355J2H	4.2 kg	1	4.02 kg
Cuscinetto SKF 6201	-	0.05 kg	4	0.2 kg
TOTALE				19.28 kg

Vano portabatterie:

Telaio ant. tubol. 50x50 mm	S355J2H	22.4 kg	1	22.4 kg
Telaio post	S355J2H	7.7 kg	1	7.7 kg
Porta batterie piatto s=5mm	S355J2H	22.06 kg	1	22.06 kg
Cofano laterale	Polimerico	2.3 kg	2	4.6 kg
Cofano superiore	Polimerico	3.8 kg	1	3.8 kg
Rulliera	S355J2H	20 kg	1	20 kg
Pannello elettrico	S355J2H	11 kg	1	11 kg
TOTALE				91.56 kg

Compensatore:

Piastra fresata 180x180x12 mm	Al 6061	1 kg	3	3 kg
Piastra fresata 180x180x8 mm	Al 6061	1.93 kg	1	1.93 kg
Schunk MS QC-76	-	2.7 kg	1	2.7 kg
Schunk FM riprogettato	Al 6061	3.17 kg	1	3.17 kg
Deceleratore M10x1	-	0.043 kg	4	0.172 kg
Vite spallata M10	Acc. INOX	0.01 kg	6	0.06 kg
Molla $\varphi_{est}=17.25$ mm	Acc. INOX	-	-	-
Boccola $\varphi_{est}=15$ mm	Cu Sn6	-	-	-
Guida MR 7MN	-	0.035 kg	4	0.14 kg
Carrello MR 7MN	-	0.009 kg	8	0.072 kg
Reggispinta elastico	-	-	1	-
TOTALE				11.25kg

Supporto a "L" per schunk:

Piastra lavorata orizzontale	Al 6061	1.5kg	1	1.5 kg
Piastra lavorata verticale	Al 6061	1kg	1	1 kg
			TOTALE	<hr/> 2.5 kg

Accessori vari:

Motoruote MR240FRS	-	50 kg	2	100 kg
Ruote Folli GTH 177/25K	-	6.25 kg	2	12.5 kg
Serb. aria VECO 1237-151	S355J2H	9 kg	1	9 kg
Unità pompante ESPRIT	-	9kg	1	9 kg
Batterie gel DIN 244x192x275mm	-	32.5 kg	4	130 kg
Controllore	-	2 kg	1	2 kg
PLC	-			
Bulloneria varia	-	-	-	50 kg
			TOTALE	<hr/> 310.5kg

4.2.2 RIEPILOGO DEI PROFILI UTILIZZATI

Nella progettazione di questo veicolo elettrico è stato deciso di utilizzare un acciaio da costruzione meccanica poiché permette di mantenere costanti le proprietà tecnologiche e meccaniche e di controllarle in qualsiasi momento tramite ispezione. Inoltre l'acciaio è facilmente lavorabile ed ha un'ottima elasticità. La conservazione di queste caratteristiche non dipende dalle condizioni di montaggio della struttura e si mantiene nel tempo. Inoltre esso consente un notevole risparmio di tempi e costi di costruzione dato che è facilmente reperibile.

Per questa applicazione è stato deciso di utilizzare un acciaio di ottima qualità come l' S355J2H.

Di seguito si riporta una tabella con le principali caratteristiche meccaniche dell'acciaio sopracitato e dei principali profilati utilizzati con le relative caratteristiche.

Tipo acciaio	Carico di snervam. min. MPa	Resistenza a trazione MPa	Allungamento %	Resilienza J	E MPa	v	ρ kg/m³
S355J2H	355	490-630	22	27	210000	0.3	7860

Profilo: tubo a sezione rettangolare

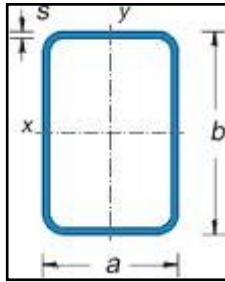


Figura 4. 2 - Tubo a sez. rettangolare [15]

b x a	s	Peso	Sezione metallica	Momento di inerzia		Modulo di resistenza		Raggio di inerzia	
mm	mm	Kg/m	Mm	J_x mm ⁴	J_y mm ⁴	W_x mm ³	W_y mm ³	I_x mm	I_y mm
120 x 40	4	9.5	1220	$201 \cdot 10^4$	$33.4 \cdot 10^4$	$33.5 \cdot 10^3$	$16.7 \cdot 10^3$	40.6	16.5

Profilo: tubo a sezione quadra

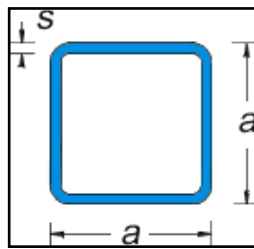


Figura 4. 3 - Tubo a sezione quadra [15]

a	s	Peso	Sezione metallica	Momento di inerzia	Modulo di resistenza	Raggio di inerzia
mm	mm	Kg/m	Mm	J mm ⁴	W mm ³	I_x mm
50	3	4.48	564	$20.8 \cdot 10^4$	$8.34 \cdot 10^3$	19.2

Profilo: Profilati UPN

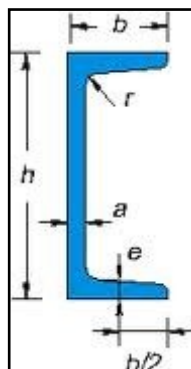


Figura 4. 4 - Profilati UPN [15]

h x b	a	e	r	Sezione metallica	Momento di inerzia		Modulo di resistenza		Raggio di inerzia	
mm	mm	mm	mm	mm	J_x	J_y	W_x	W_y	I_x	I_y
				mm	mm ⁴	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm
50 x 38	5	7	7	712	26.5·10 ⁴	9.1·10 ⁴	10.06·10 ³	3.74·10 ³	1.93	1.13

Sono state utilizzate anche altre sezioni di acciaio come quella cilindrica e quella piana, ma le loro caratteristiche geometriche sono state calcolate caso per caso in ogni verifica effettuata, data la varietà delle loro dimensioni.

4.3 VERIFICA DEL TELAIO BASE

In questo paragrafo si è verificata l'effettiva sollecitazione agente sul telaio base, in base alle condizioni di carico esterne imposte, calcolando i diagrammi di momento flettente, taglio, sforzo normale e deformazioni.

Per valutare tali diagrammi sono state seguite le nozioni, i criteri ed i metodi suggeriti dai più comuni libri di scienza delle costruzioni [17], ed in particolare sono stati utilizzati gli appunti di scienza delle costruzioni [17]. Una volta capito quali potrebbero essere le sezioni più sollecitate della trave, sono state effettuate delle verifiche secondo il criterio di Von Mises enunciati dal libro di costruzioni di macchine del Prof. Atzori [16].

Inoltre dato che il telaio base è costruito da sezioni di travi saldate tra loro, sono state verificate le saldature di collegamento sempre nei punti che si ritenevano più gravosi.

Come si è visto nel paragrafo 3.5, il telaio base è costituito da tubi a sezione rettangolare saldati tra loro e da una piastra posteriore realizzata in acciaio a sezione rettangolare. Per eseguire questa verifica si è proceduto scomponendo il carico globale imposto, prima sulla trave longitudinale poi su quelle trasversali, andando a calcolare tutti i diagrammi degli sforzi, in modo tale da effettuare tutte le verifiche necessarie.

4.3.1 VERIFICA DELLE TENSIONI AMMISSIBILI SULLE TRAVI SCELTE

Le forze agenti sulle costruzioni costituiscono in generale dei sistemi nello spazio. Opportune ipotesi semplificative consentono tuttavia di esaminare solo parte della struttura, il che spesso riconduce il problema ad uno stato piano.

Nella figura 4.4 è riportato uno schizzo dello stato di carico reale del telaio base con i relativi carichi distribuiti e vincoli, e la situazione geometrica dello stesso.

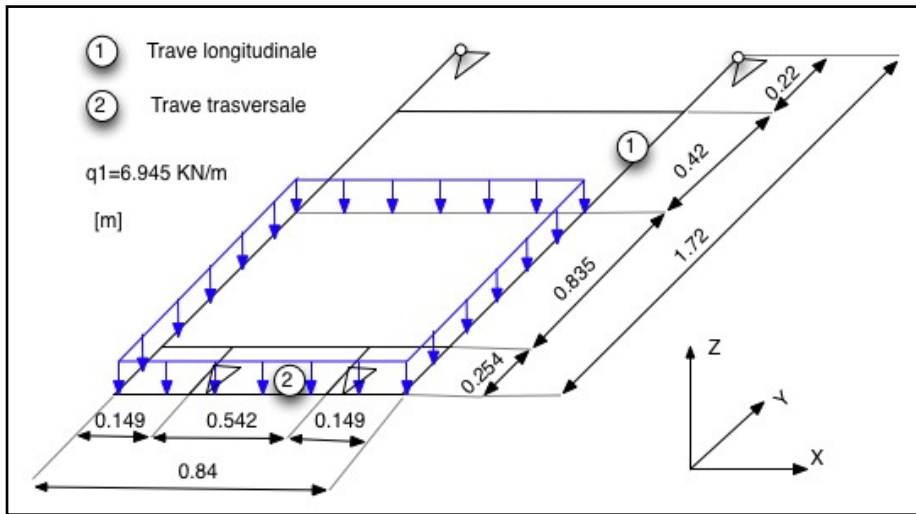


Figura 4. 5 Schizzo della situazione di carico del telaio base

Una volta capito come schematizzare il problema reale in un problema di analisi di uno stato piano, sono stati analizzati gli stati di carico della trave longitudinale “1” e della trave trasversale “2”, andando a richiamare le equazioni cardinali della statica. Per quanto riguarda la trave “1”, sono state ipotizzate delle semplificazioni e quindi diverse configurazioni che vanno ad aumentare il grado di sicurezza della trave. E’ da specificare che il carico q_1 , schematizzato in figura, è stato calcolato imponendo una portata di carico del telaio pari a 1500kg e poi distribuiti sul perimetro degli elementi portanti.

Caso I: trave longitudinale semplicemente appoggiata con carico distribuito semplificato.

Si riporta ora uno schema della trave vincolata con una cerniera all’estremità ed appoggiata ad un carrello nella parte opposta, come mostrato nella figura 4.6.

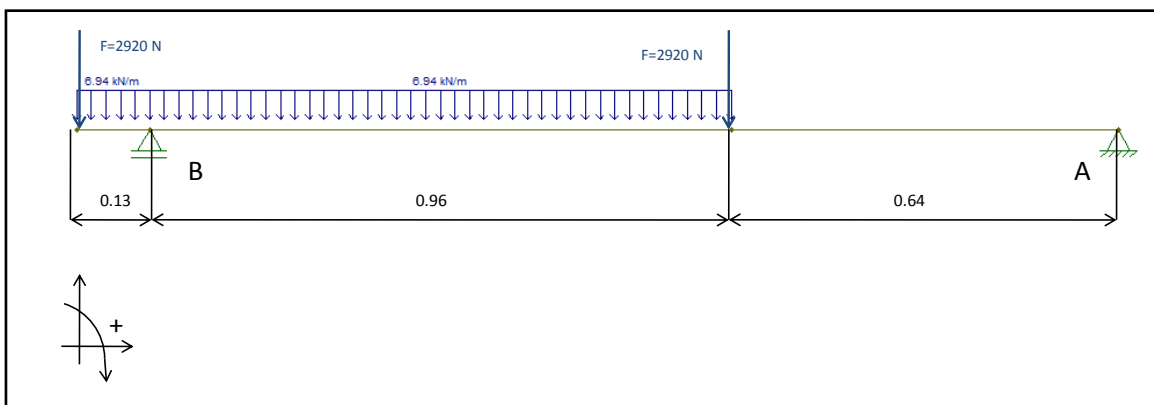


Figura 4. 6 Schema cerniera-appoggio

Equazioni della statica:

$$\sum F_x=0$$

$$\sum F_y=0$$

$$\sum M_o=0$$

$$\sum M_A=0$$

$$V_B \cdot (0.64+0.96) - q \cdot (0.96+0.13) - F \cdot 0.64 - F \cdot (0.13+0.96+0.34) = 0 \quad \rightarrow \quad V_B = 9931 \text{ N}$$

$$\sum F_y=0$$

$$V_A + V_B - q \cdot 1 - 2F = 0 \quad \rightarrow \quad V_A = 3479 \text{ N}$$

Una volta ricavate le reazioni vincolari possiamo graficare l'andamento del momento flettente, del taglio e dello sforzo normale.

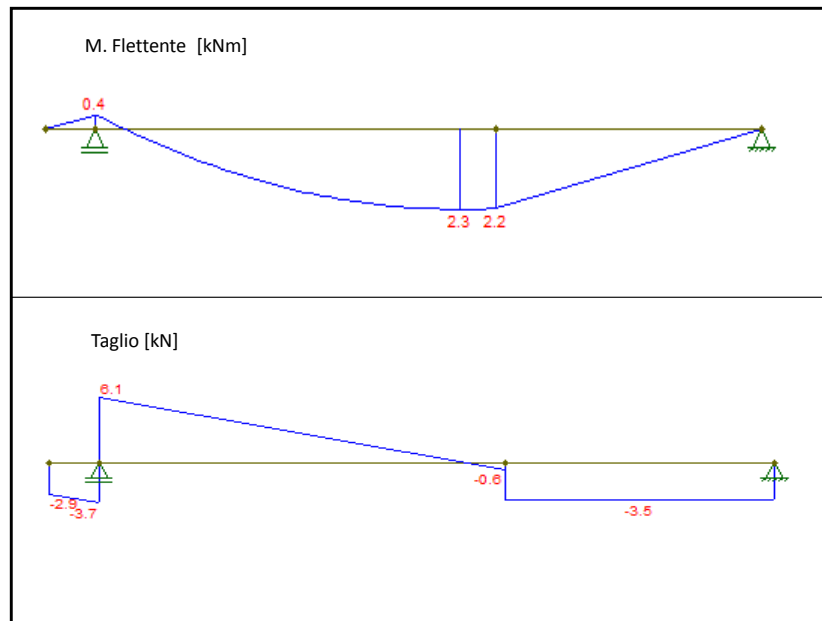


Figura 4. 7 Diagrammi

A questo punto è possibile verificare che le tensioni nella trave siano adeguate. Le tensioni ideali secondo Von Mises di una trave sollecitata a flessione e taglio sono pari a:

$$\sigma_{id \text{ V.M.}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \rightarrow \quad \text{per } Mf_{\max} \quad \sigma_x = \sigma_{id} \quad \text{e} \quad \tau_{xy} = 0 \quad [16]$$

$$Wf_{\text{sez. rett.}} = 33.5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$Mf_{\max} = 2.3 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = \frac{Mf_{\max}}{Wf} = 68.65 \text{ MPa} \quad v_s = \frac{\text{Carico snerv.}}{\sigma_{fl}} = \frac{355}{68.65} = 5.2 \quad [16]$$

Possiamo perciò notare che siamo molto al di sotto delle condizioni critiche. Il grafico dello sforzo normale non è stato riportato dato che la trave è scarica in quel senso.

Il valore della freccia massima calcolata nel punto di peggior carico è pari a : 1.33 mm.

Caso II : trave appoggiata su due carrelli e incernierata all'estremità con carico distribuito.

In questo caso si è voluto analizzare la trave tenendo conto che essa è saldata, quindi appoggiata su due carrelli, rendendola così una volta iperstatica. Inoltre per semplificare il calcolo delle reazioni vincolari, è stato supposto che il carico distribuito fosse costante su di essa.

Nella figura seguente si riporta lo schema adottato per la valutazione delle reazioni vincolari:

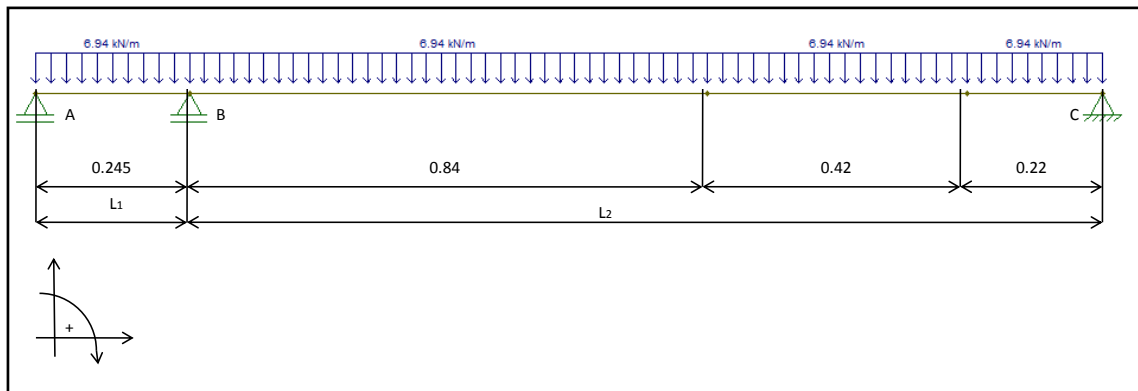


Figura 4. 8 Schema cerniera-appoggio- appoggio

Per ricavare le reazioni vincolari degli appoggi e della cerniera, si è ricorso all'utilizzo delle equazioni della cinematica, oltre a quelle della statica, della trave andando a sostituire l'appoggio in "B" con una cerniera e introducendo un'incognita iperstatica di momento flettente "x" uguale, sia a destra che a sinistra del nodo ed imponendo che:

$$\varphi_{Bdx} = \varphi_{Bsx}$$

A questo punto è necessario ricondurre i due pezzi di trave "spezzati" in "B" a degli schemi notevoli in modo da poter utilizzare il principio di sovrapposizione degli effetti e di conseguenza valutare le rotazioni in "B". Quindi avremo:

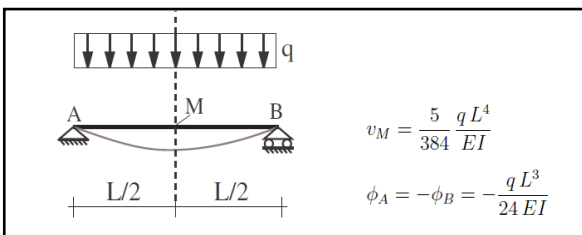


Figura 4. 9 - Schema notevole [17]

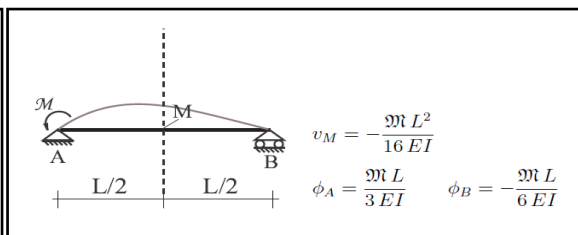


Figura 4. 10 - Schema notevole [17]

$$-\frac{x l_1}{3EI} - \frac{q l_1^3}{24EI} = \frac{x l_2}{3EI} + \frac{q l_2^3}{24EI}$$

La risoluzione di questa equazione ci dà come risultato: $x = +1511 \text{ Nm}$ che non è altro che l'incognita aggiuntiva che mancava per risolvere le isostatiche associate alla trave in figura 4.7

A questo punto è possibile richiamare le equazioni cardinali della statica per poter calcolare V_A , V_B , V_C :

$$\sum M_{B-AB}=0 \rightarrow V_A \cdot L_1 - q \cdot L_1 \cdot L_1/2 + x = 0 \rightarrow V_A = -5317 \text{ N}$$

$$\sum M_{B-BC}=0 \rightarrow -x + q \cdot L_2 \cdot L_2/2 - V_C \cdot L_2 = 0 \rightarrow V_C = 4093 \text{ N}$$

$$\sum F_Y=0 \rightarrow -V_A - q \cdot (L_1+L_2) + V_B + V_C \rightarrow V_B = 13172 \text{ N}$$

Una volta ricavate le intensità delle reazioni vincolari, è possibile valutare l'andamento del momento flettente, sforzo normale e taglio come mostrato nella figura seguente:

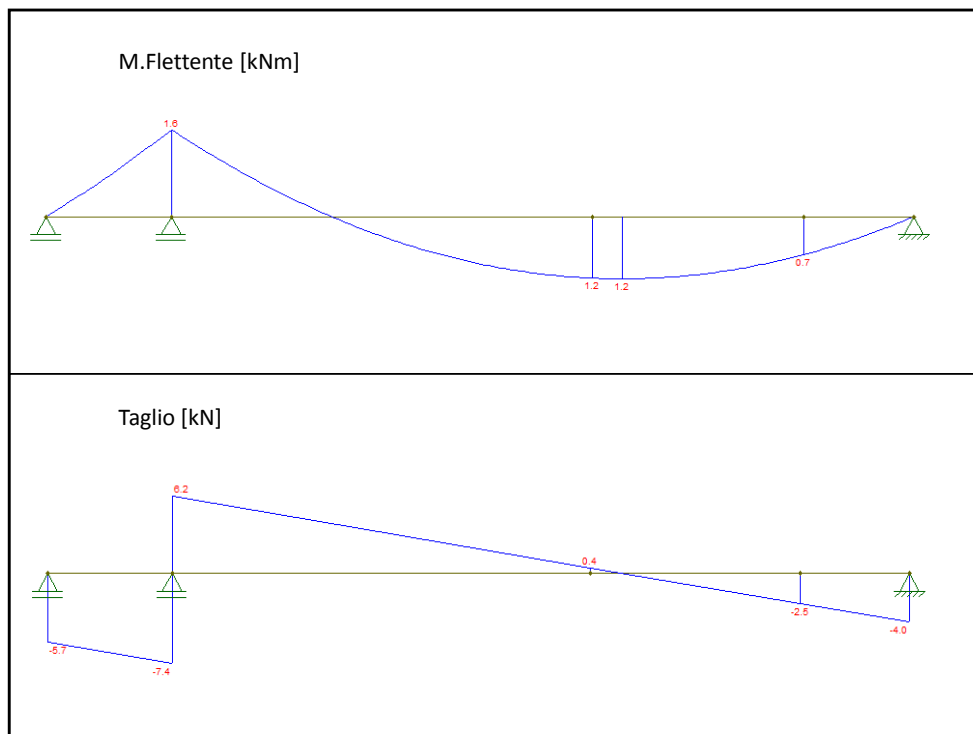


Figura 4. 11 – Diagrammi

I diagramma dello sforzo normale non è stato riportato poiché la trave non è soggetta né a compressione né a trazione.

Si può notare che il punto della trave più sollecitato si trova ad una quota $x=1.145 \text{ m}$ ed il valore del momento flettente è par a 1.2 kNm , che è leggermente inferiore al caso valutato precedentemente.

Analizzando l'isostatica associata al "pezzo" di trave BC è possibile valutare con facilità il valore della freccia, sommando i contributi presenti: essa nel punto di sollecitazione massima vale $f=5.18 \cdot 10^{-2} [\text{mm}]$.

Caso Ia: trave trasversale con condizioni di carico imposte nel caso I

In questo caso per la verifica strutturale della trave trasversale “2” della figura 4.4 si è imposto il solo valore del carico distribuito e i soli appoggi, come viene schematizzato nella figura 4.12.

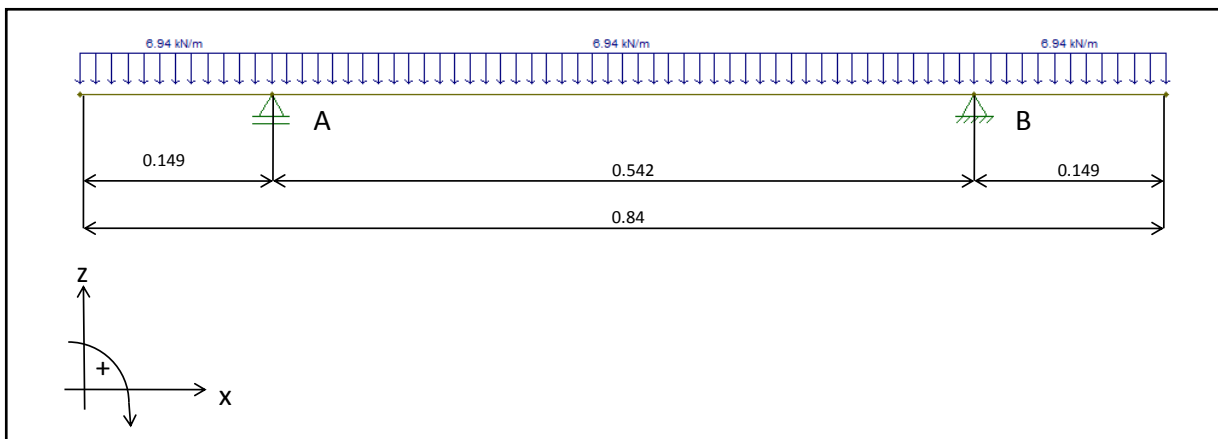


Figura 4. 12 - Schema trave con solo carico distribuito

Analizzando questo schema notiamo subito che esso è simmetrico e che le reazioni vincolari sono facilmente calcolabili senza l'ausilio delle equazioni cardinali della statica. Esse valgono:

$$V_A = V_B = 2917 \text{ N}$$

I diagrammi del momento flettente e del taglio sono di facile costruzione, vista la semplicità dello schema e sono rappresentati nella figura 4.13 sottostante:

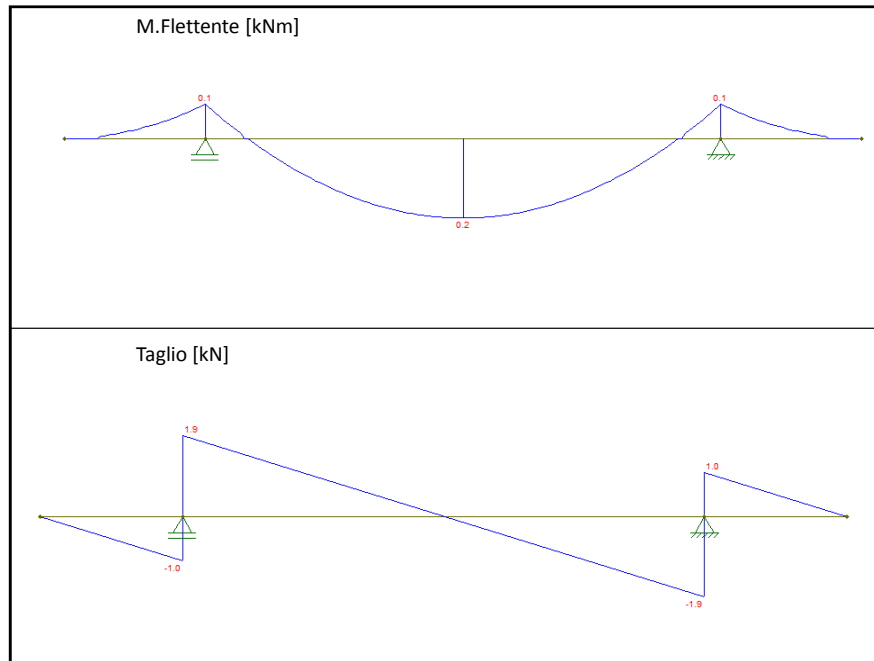


Figura 4. 13 - Diagrammi trave trasversale

Questi diagrammi evidenziano che il momento flettente è massimo in corrispondenza della mezzeria degli appoggi e vale 220 Nm, e che, in corrispondenza degli appoggi, si scaricano le forze di taglio maggiori ma l'intensità di queste non è preoccupante.

Sarebbe buona norma ora, calcolare le tensioni presenti nella zona più sollecitata in modo da verificare, tramite il grado di sicurezza, la criticità di questa sezione, ma si vuole prima analizzare un caso con carichi esterni più gravosi.

Caso IIa: trave trasversale con carico distribuito e risultanti delle forze della trave longitudinali.

In questa schematizzazione sono state aggiunte, rispetto alla condizione precedente, delle forze puntuali rivolte verso l'alto e posizionate alle estremità della trave, come si può osservare dalla figura 4.14 seguente:

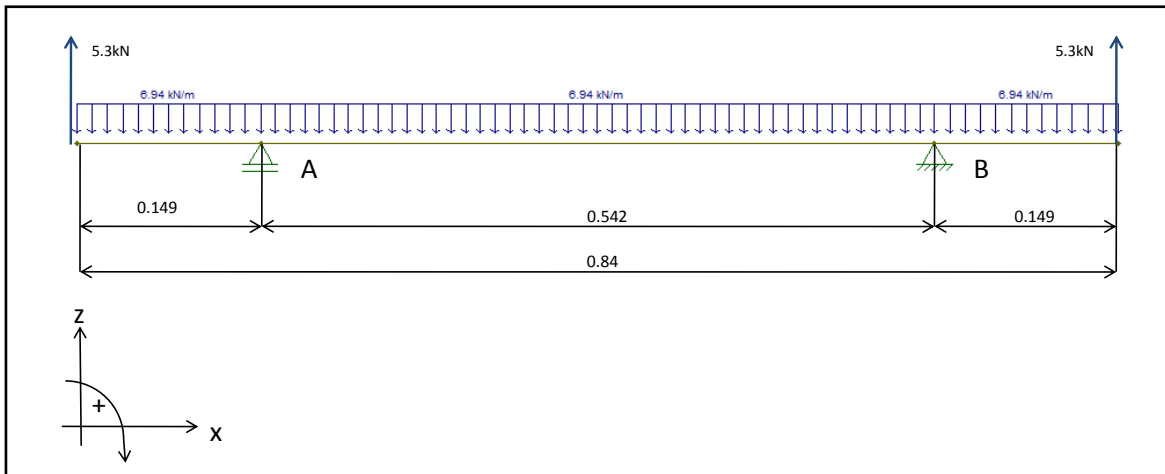


Figura 4. 14 - Schema trave trasversale gravoso

Le nuove forze sono state introdotte poiché si vuole rendere la schematizzazione soprastante il più vicina possibile alla realtà. Tali forze sono le risultanti dei vincoli imposti nel calcolo della trave longitudinale che costituisce il punto in comune tra loro. Pertanto il valore di $V_{A \text{ long}}$ pari a 5316 N è stato ripreso dallo schema della trave longitudinale esposto precedentemente.

Anche per questa trave si procede in maniera analoga a quanto fatto fino ad ora, perciò richiamando le equazioni della statica si calcolano ora le reazioni vincolari:

$$\sum F_z = 0 \rightarrow V_{A \text{ long}} \cdot 2 - q \cdot 0.84 = 2 \cdot V_A \rightarrow V_A = V_B = 2399 \text{ N}$$

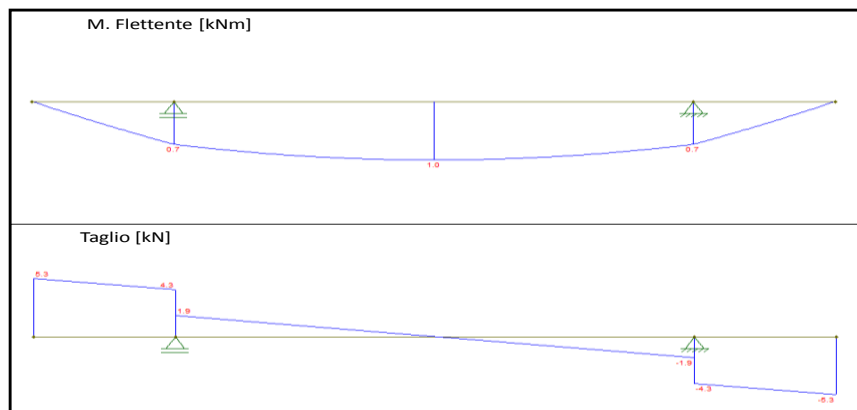


Figura 4. 15 - Diagrammi trave trasversale caso IIa

A questo punto è necessario calcolare la tensione ideale del punto più sollecitato per poi confrontarla con la tensione di snervamento. Come spesso riscontrato nei casi precedenti, nel punto di momento flettente massimo il taglio vale zero e, considerando che il modulo di resistenza a flessione è sempre lo stesso (geometria della trave non è cambiata), avremo che la tensione vale:

$$\sigma_x = \frac{M_{f_{max}}}{W_f} = \frac{1 \cdot 10^6}{33500} = 29.85 \text{ MPa} , \quad v_s = \frac{\text{Carico snerv.}}{\sigma_{fl}} = \frac{355}{29.85} = 11.9$$

Perciò si può affermare che dal punto di vista strutturale sezioni di trave impiegate per sostenere 15 q.li di carico sono correttamente dimensionate : perciò questa verifica è stata soddisfatta.

4.3.2 VERIFICA TENSIONI PIASTRA POSTERIORE TELAIO

Questa verifica riguarda le sezione finale del telaio base ed è stata eseguita seguendo le nozioni del libro di costruzioni di macchine [16]. Rileggendo il capitolo 3.5 è possibile osservare come il momento flettente calcolato nella trave del paragrafo precedente, vada a scaricarsi anche su questa sezione. E' perciò logico calcolare le tensioni nella sezione resistente dell'oggetto rappresentato nella figura 4.16 seguente:

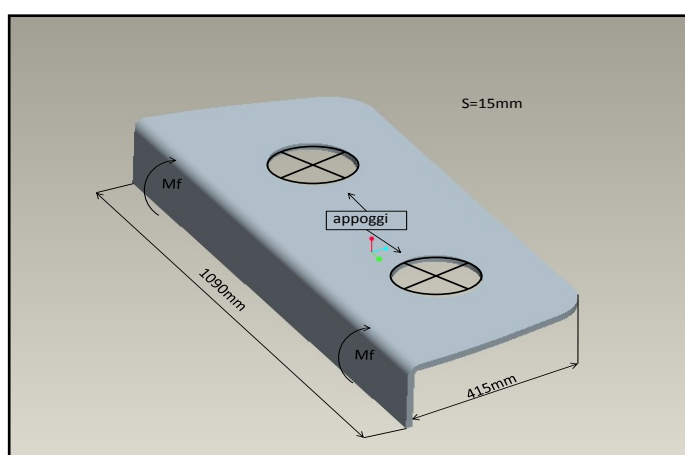


Figura 4. 16 - Piastra posteriore

Per verificare che la sezione resistente sia correttamente dimensionata, si ha bisogno dei valori del momento flettente e del taglio applicati. Questi carichi esterni li leggiamo dai diagrammi della trave longitudinale esposti precedentemente nei diversi casi studiati. I valori sono stati letti ad una quota "x" pari a 0.22 m dal nodo di destra ed hanno i seguenti valori:

- caso I → $M_f = 0.8 \text{ kNm}$, $T = 3.5 \text{ kN}$
- caso II → $M_f = 0.7 \text{ kNm}$, $T = 2.5 \text{ kN}$

Con i valori appena scritti è possibile calcolare i valori delle σ e τ , ma prima occorre calcolare le caratteristiche geometriche della sezione resistente:

$$W_f = \frac{bh^3}{6} = \frac{1090 \cdot 15^3}{6} = 40875 \text{ mm}^3 \quad , \quad A = b \cdot h = 1090 \cdot 15 = 16350 \text{ mm}$$

Ora è possibile calcolare i valori delle tensioni:

caso I: ossia il più gravoso

$$\sigma_{xl} = \frac{M_f}{W_f} = \frac{0.8 \cdot 2 \cdot 10^6}{40875} = 39.14 \text{ MPa} \quad , \quad \tau_{xy} = \frac{3T}{2A} = \frac{4 \cdot 3500}{3 \cdot 16350} = 0.28 \text{ MPa} \quad [16]$$

$$\sigma_{id VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = 40 \text{ MPa} ,$$

$$v_s = \frac{\text{Carico snerv.}}{\sigma_{fl}} = \frac{355}{40} = 8.9$$

Come possiamo notare il taglio è trascurabile rispetto al momento flettente e non influisce sul calcolo della tensione ideale. Il calcolo del coefficiente di sicurezza nella sezione analizzata, con la formula utilizzata precedentemente, porta una v_{VM} pari a 10.36.

Tale coefficiente risulterà poi maggiorato, poiché non si è tenuto conto di nervature poste al di sotto della piastra atte a aumentare la rigidità della piastra posteriore.

4.3.3 VERIFICA SALDATURE PUNTI CRITICI

Per la verifica delle saldature si fa riferimento alla procedura descritta dalla norma CNR UNI 10011 [18] per costruzioni in acciaio. E' facile intuire che il telaio base è costituito da sezioni di varia geometria, saldate tra loro in modo da garantire resistenza e rigidità meccanica. Il piede di cordone si è stabilito debba essere di 8 mm per tutte le saldature effettuate tramite tecnica di tipo MIG a filo continuo.

La zona sotto verifica è quella di intersezione tra la trave longitudinale e la piastra posteriore poiché è una zona dove c'è discontinuità della geometria e poiché sono presenti sia momento flettente che taglio. Di seguito viene mostrata la zona in dettaglio:

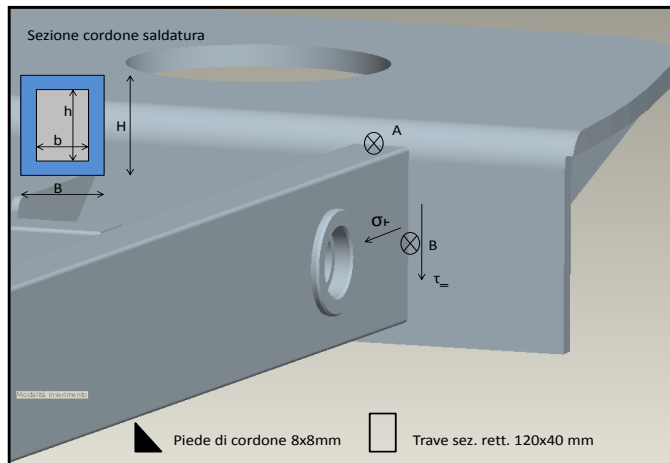


Figura 4. 17 - Dettaglio zona saldata

In questa zona sono presenti carichi esterni di momento flettente e taglio, pari a quelli utilizzati per verificare la piastra posteriore. Perciò per il calcolo si riprende la situazione di carico massimo dei due casi descritti nel paragrafo 4.3.2 . Dunque avremo:

$$\text{caso II} \rightarrow M_f = 0.7 \text{ kNm} , T = 2.5 \text{ kN}$$

Per il calcolo delle tensioni derivanti da azioni di trazione o compressione, agenti normalmente all'asse della saldatura o da azioni di taglio, deve essere considerata come sezione resistente la sezione

longitudinale della saldatura stessa. Ai fini del calcolo essa ha come lunghezza quella intera della saldatura e come larghezza il minore dei due spessori collegati, misurato in vicinanza della saldatura, per i giunti di testa e lo spessore dell'elemento a completa penetrazione nel caso di giunti a T. [3]

La tensione ideale, calcolata secondo la seguente formula, dovrà risultare minore dei limiti riportati in tabella:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_{\tau}^2 - \sigma_i \sigma_{\tau} + 3\tau_{\tau}^2} \quad , [3]$$

Tensione ammissibile , [3]	
Giunto	$\sigma_{id} \leq$
I classe	σ_{adm}
II classe	$0.85 \sigma_{adm}$
$\sigma_{adm} \rightarrow S355J2H = 240 \text{ MPa}$	

Calcoliamo dapprima le caratteristiche geometriche, ossia le sezione resistente della saldatura, nella seguente maniera:

$$a = \frac{8}{\sqrt{2}} = 5.65 \text{ mm} \quad ,$$

$$A_{res} = (B \cdot H) - (b \cdot h) = \{ [(2 \cdot 5.65) + 40] \cdot [(2 \cdot 5.65) + 120] \} - (40 \cdot 120) = 1935.69 \text{ mm}^2$$

$$W_f = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} = 59661.3 \text{ mm}^4,$$

$$\tau_{\tau} = \frac{T}{A_{res}} = \frac{2500}{1935.69} = 1.29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_i = \frac{M_f}{W_f} = \frac{0.7 \cdot 10^6}{59661.3} = 11.73 \text{ MPa}$$

Ora è possibile verificare che le tensioni interne siano inferiori a quelle ammissibili.

$$|\sigma_i| + |\tau_{\tau}| \leq 0.70 \sigma_{adm} \quad \rightarrow \text{condizione verificata} \quad [18]$$

$$|\sigma_i| \leq 0.7 \sigma_{adm} \quad \rightarrow \text{verificato} \quad , \quad |\tau_{\tau}| \leq 0.7 \sigma_{adm} \quad \rightarrow \text{verificato} \quad [18]$$

Imponendo le condizioni sopracitate si è verificato che la sezione del cordone della saldatura è idonea, sia nel punto "A" (figura 4.16) che nel punto "B", poiché nel punto "A" si instaurano le condizioni più gravose essendo presenti sia la τ che la σ , mentre nel punto "B" nascono solo tensioni dovute al taglio.

Non sono state effettuate altre verifiche poiché tutte le altre saldature sono soggette a carichi inferiori di quello sopra citato. Questa affermazione è stata confermata andando ad analizzare nel dettaglio i diagrammi degli sforzi delle sezioni presenti. Nella pratica comune tutte le giunzioni a "T" presenti in una determinata costruzione meccanica presentano un irrobustimento della sezione tramite nervature: è perciò plausibile considerare gli altri giunti non verificati molto al di sotto delle condizioni limite.

4.3.4 VERIFICA PERNO DELLA RUOTA

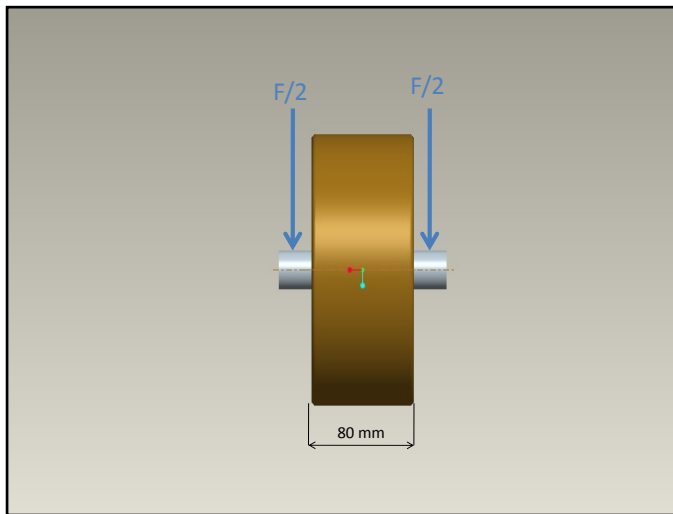


Figura 4. 18 - Schema carico ruota

Materiale perno : S355JH2

La forza F schematizzata in figura nasce dalla reazione vincolare V_B calcolata nel paragrafo 4.3.1 del valore di 9931N . Il perno ha un diametro di 25 mm ed è lungo 132 mm . Il modello che si adotterà è quello di una trave appoggiata con carico in mezzzeria.

$$M_f = \frac{F \cdot l}{2} = \frac{9931 \cdot 80}{2} = 397240\text{ Nmm}$$

$$W_f = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi 25^3}{32} = 1534\text{mm}^3$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 490\text{mm}^2$$

$$\sigma_x = \frac{M_{f_{max}}}{W_f} = 259\text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = \frac{4T}{3A} = \frac{4 \cdot 9931}{3 \cdot 490} = 27.1\text{ MPa}$$

$$\sigma_{id\ VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = 263.2\text{ MPa}$$

$$v = 1.34$$

4.4 VERIFICA DEL SISTEMA DI DISCESA DELLE RUOTE GUIDA

Tale sistema è stato abbondantemente descritto nel paragrafo 3.7 dove venivano spiegati i vari funzionamenti, le modalità e i momenti in cui viene utilizzato. In questa sede si andrà a valutare il sistema dal punto di vista della resistenza strutturale. Si riporta in figura 4.17 uno schema utile a capire la cinematica, le effettive forze in gioco e le effettive tensioni da verificare.

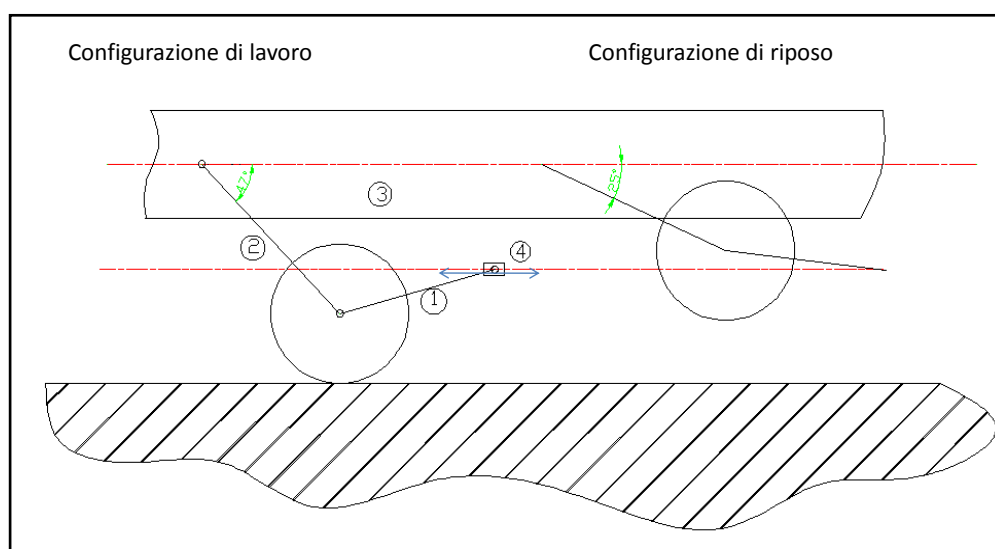


Figura 4. 19 - Schema sistema guida su rotaia

Il sistema raffigurato sopra non è altro che una catena cinematica semplice e chiusa, ossia ciascun membro presenta uno o due accoppiamenti e si instaurano percorsi chiusi tra i membri. Nell'analizzare la cinematica di questo sistema si ricorda che ogni corpo nel piano (caso sovrastante) possiede 3 gradi di libertà (una rotazione e due traslazioni). Attraverso l'equazione di Groubler è possibile determinare il grado di libertà della catena cinematica e stabilire perciò il tipo di sistema, ma prima dobbiamo definire i corpi e le coppie cinematiche:

- $m =$ numero di membri \rightarrow 4
- $C_1 =$ coppie di classe 1 (rotoidali e prismatiche) \rightarrow 4
- $C_2 =$ coppie di classe 2 (camma) \rightarrow 0

$$\text{Eq. Grubler} \rightarrow \text{gdl} = 3(m-1) - 2C_1 - C_2 = 1 \quad [19]$$

Il nostro sistema possiede un grado di libertà. Tale conclusione poteva essere raggiunta osservando che il nostro sistema non è altro che un accoppiamento biella-manovella inversi a quelli standard, ossia con il membro 4 che svolge la funzione di movente.

4.4.1 VERIFICA STATICA ASTA DI MANOVELLA

La biella schematizzata in figura 4.17 (membro 1), nel nostro specifico caso, è una molla a gas che spinge con una forza media di 2500N (nella posizione di lavoro) la manovella "2" verso il terreno sottostante. Perciò la suddetta manovella si comporta come un'asta sottoposta a compressione dalla risultante delle forze della molla e della reazione vincolare data dal terreno. Perciò si effettuerà ora una verifica della suddetta asta andando ad analizzare le forze in gioco:

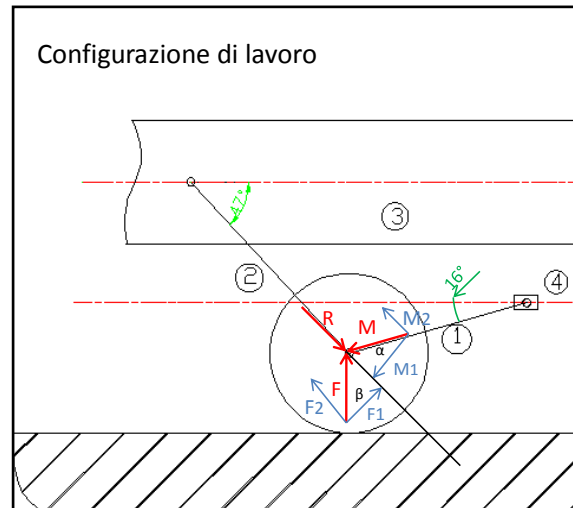


Figura 4. 20 - Forze in gioco sistema guida

Facendo riferimento al sistema sopra descritto possiamo affermare che:

$$\vec{M} + \vec{R} + \vec{F} = 0$$

L'unico dato disponibile è $M=2500N$ perciò calcoliamo le componenti M_1, M_2, F_1, F_2

$$M_1 = M \cos \alpha = 2500 \cos 27^\circ = 2228N$$

$$M_2 = M \sin \alpha = 2500 \sin 27^\circ = 1135N$$

$$F_1 = M_1 \rightarrow F = \frac{F_1}{\cos \beta} = \frac{2228}{\cos 47^\circ} = 3266N$$

$$F_2 = F \sin \beta = 2388N \rightarrow \text{l'incognita } R \text{ vale} \rightarrow F_2 + M_2 = 3523N$$

A questo punto possiamo verificare la suddetta manovella al carico di punta. Essa è composta da due ferri piatti messi in parallelo (figura 3.15) di dimensioni $b \times h$ pari a $43 \times 10 \text{mm}$, di cui solo uno riceve la totale spinta calcolata precedentemente. Perciò si può scrivere:

$$A_{\text{res}} = 43 \times 10 = 430 \text{mm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{3523}{430} = 8.2 \text{MPa} \quad , \quad v = 43$$

4.4.2 VERIFICA STATICA PERNO DI MANOVELLA

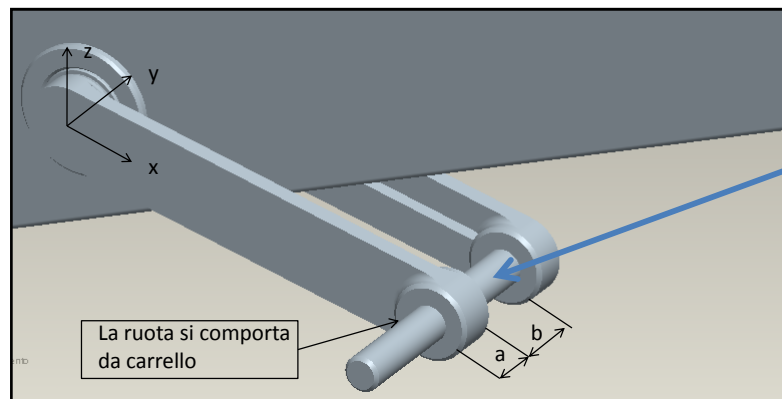


Figura 4. 21 - Perno di manovella

Nella situazione soprastante è necessario verificare che il perno di spinta, su cui viene concentrata la forza schematizzata in blu, sia sufficientemente resistente dato che è sottoposto sia a flessione che a taglio. Infatti per la verifica, è possibile schematizzare la situazione come se il perno fosse una mensola incastrata, dato che effettivamente il braccio più esterno è vincolato a stare ad una quota “x” dal terreno.

I dati in input sono: $F=2500\text{N}$ (dati dalla molla a gas), $a=25\text{mm}$, $b=50\text{mm}$, $\varphi=20\text{mm}$

Perciò verificheremo in questa maniera:

$$W_f = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi 20^3}{32} = 785.4 \text{ mm}^3 \quad , \quad A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi 20^2}{4} = 314.2 \text{ mm}^2$$

All’incastro si presenteranno sia tensioni di taglio che normali, perciò imporrò una tensione ideale di Von Mises per calcolare l’effettiva situazione.[16]

$$\sigma_x = \frac{M_f}{W_f} = \frac{2500 \cdot (25+25)}{785.4} = 159.2 \text{ MPa} \quad ,$$

$$\tau_{xy} = \frac{4T}{3A} = \frac{4 \cdot 2500}{3 \cdot 314.2} = 10.60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{id\ VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = 160.3 \text{ MPa} \quad , \quad v_{VM} = 2.21$$

4.4.3 VERIFICA SUPPORTO A “L” REGGISPINTA

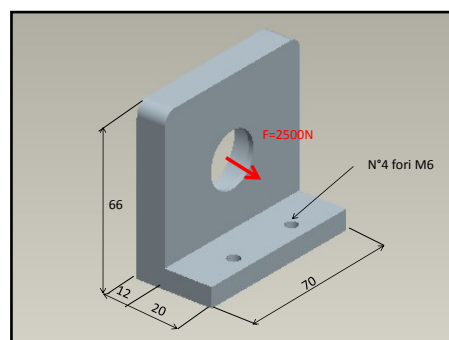


Figura 4. 22 - Supporto ad "L"

In questo paragrafo andremo a verificare la sezione resistente del supporto ad “L” sopra descritto.

Inoltre si verificherà la resistenza delle viti di trazione.

Per semplicità e perché non influisce sul calcolo, gli effetti del taglio verranno trascurati.

Verifica statica a flessione:

$$W_f = \frac{bh^3}{6} = \frac{70 \cdot 12^3}{6} = 20160 \text{ mm}^3, \quad M_f = F \cdot b = 2500 \cdot 26 = 65000 \text{ Nm}$$

$$\sigma_x = \frac{M_f}{W_f} = \frac{65000}{20160} = 3.23 \text{ MPa}$$

In questa maniera si è verificato che la sezione di base resista al momento flettente instaurato dalla vite trapezoidale di scorrimento. Sulla vite trapezoidale è collegata la molla a gas che assicura la spinta alla ruota, ed è la forza di 2500N usata nel calcolo.

Facendo riferimento alla figura 4.20, si nota la presenza di 4 fori filettati M6 (due sono nascosti): quindi è necessaria una verifica a scorrimento del supporto filettato.

Supponendo una rotazione rigida della piastra attorno allo spigolo inferiore, la distribuzione di carico risulta lineare con la distanza dallo spigolo stesso. Posto inoltre che la tensione sia circa uniforme sul bullone, è possibile concentrare le caratteristiche di elasticità sull'asse del bullone stesso.

In questo si può scrivere:

$$\sigma_i = \frac{M_f \cdot y_i}{J} = \frac{F \cdot b \cdot y_i}{\sum A \cdot y_i^2};$$

E' possibile quindi esplicitare N_i , ossia la forza assiale, per le due file di bulloni:

$$N_i = \sigma_i \cdot A = \frac{F \cdot b \cdot y_i}{\sum A \cdot y_i^2} \cdot A;$$

I fori sono ad una distanza di 7 mm e 27 mm dallo spigolo inferiore di rotazione; il braccio in questo caso è di 34 mm perciò sostituendo i valori avremo:

$$N_1 = 1475 \text{ N}$$

$$N_2 = 382 \text{ N}$$

Ora calcoliamo la forza assiale trasmissibile da un singolo bullone imponendo una vite M6 di classe 8.8, con $A_{res} = 20.1 \text{ mm}^2$ e carico di rottura pari a 800MPa

$$N_s = 0.8 \cdot f_{k,N} \cdot A_{res} = 12864 \text{ N}$$

$$N_1 = 1475 \text{ N} < N_s$$

Assumendo $\mu = 0.3$ e $\gamma = 1.25$, è possibile calcolare la massima forza di taglio trasmissibile da ogni singolo bullone:

$$V_{f_{N1}} = \mu \frac{N_s}{\gamma} \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N_s}\right) = 2733 \text{ N}; \quad [18]$$

La forza di taglio presente su ogni bullone vale:

$$T = \frac{F}{4 \text{ bulloni}} = 625 \text{ N}$$

$$V_{f_{N1}} > T \rightarrow \text{verifica ad attrito soddisfatta}$$

4.4.4 VERIFICA VITE DI SCORRIMENTO TRAPEZOIDALE E CHIOCCIOLA

La portata di una vite trapezoidale dipende in generale dalla finitura della superficie, dal materiale, dalla condizione di usura, dalla pressione superficiale, dal rapporto di lubrificazione, dalla velocità di scorrimento, dalla temperatura, dalla durata di inserzione e dalle possibilità di asportazione del calore. La pressione superficiale dipende in primo luogo dalla velocità di scorrimento dell'azionamento a vite. Durante le operazioni di movimentazione, la pressione superficiale non deve superare il valore di 5 N/mm^2 . È possibile calcolare la velocità ammessa dalla superficie di supporto della chiocciola e dal valore P_v (pressione superficiale) del relativo materiale della chiocciola. [20] Prima di eseguire la verifica si richiamano le principali caratteristiche geometriche e meccaniche della vite trapezoidale e della chiocciola, scelte nella fase di progettazione.

Vite trapezoidale: materiale 1.0401 (C15)

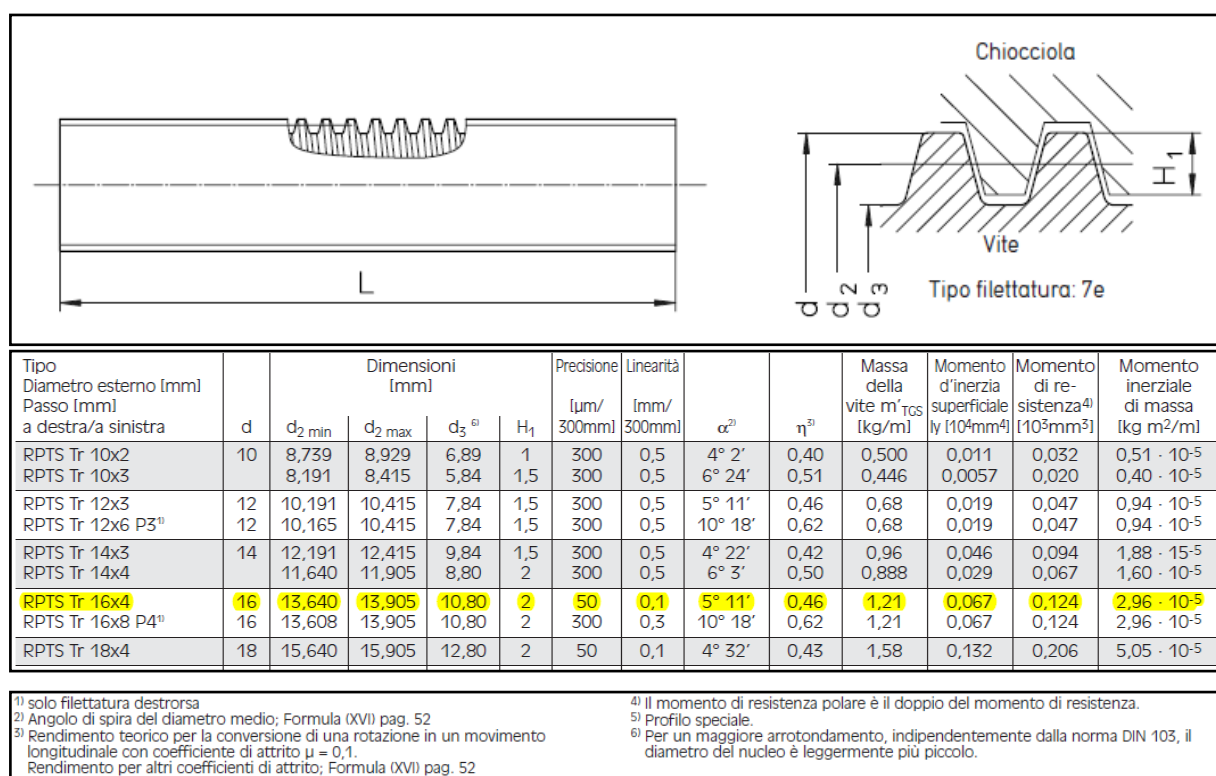


Figura 4. 23 - Vite trapezoidale [20]

Chiocciola: materiale 2.1090 (G-CuSn 7Zn Pb (Rg7))

Carico di snervamento: 120 MPa

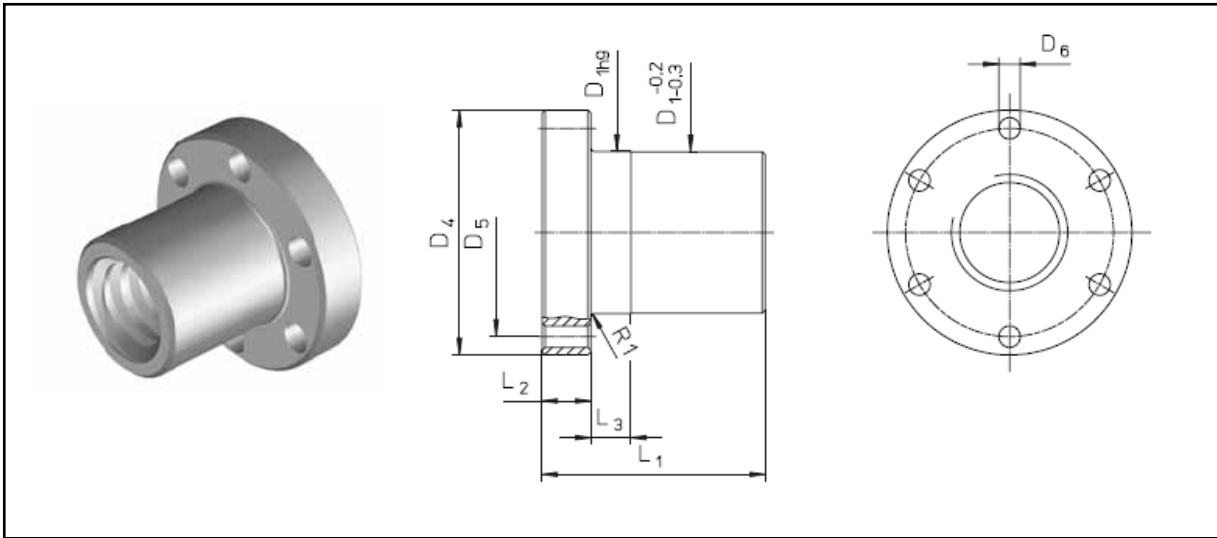
Resistenza a trazione: 240 MPa

Allungamento alla rottura: 15%

Durezza Brinell: 65

Densità: 8.8 kg/dm^3

Modulo E: 90000 MPa
 Valore Pv 300 MPa · m/min



Tipo	Dimensioni [mm]							Massa [kg]	Superficie di supporto [mm ²]
	D ₁	D ₄	D ₅	6 x D ₆	L ₁	L ₂	L ₃		
EFM Tr 16x4	28	48	38	6	44	12	8	0,25	670
EFM Tr 18x4	28	48	38	6	44	12	8	0,25	770
EFM Tr 20x4	32	55	45	7	44	12	8	0,30	870
EFM Tr 24x5	32	55	45	7	44	12	8	0,30	1040

Figura 4. 24 - Chiocciola flangiata [20]

Procediamo ora con la verifica della chiocciola:

Superficie di supporto necessaria:

$$A_{erf} = \frac{F_{ax}}{P_{zul}} = \frac{2500}{5} = 500 \text{ mm}^2$$

A_{erf} = superficie di supporto necessaria [mm²]

F_{ax} = Forza assiale [N] data dalla molla a gas

P_{zul} = Pressione superficiale ammessa = 5 MPa

Velocità di scorrimento massima ammessa:

$$v_{Gzul} = \frac{Pv}{P_{zul}} = \frac{300}{5} = 60 \text{ m/min}$$

Valore Pv = 300

Numero di giri massimo ammesso:

$$n_{max} = \frac{V_{Gzul} \cdot 1000}{\pi D} = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 14} = 1364 \text{ g/min}$$

D = diametro medio 14mm per vite 16x4

Velocità di avanzamento ammessa:

$$S_{zul} = \frac{n_{zul} \cdot P}{1000} = \frac{1364 \cdot 4}{1000} = 5,45 \text{ m/min}$$

P = passo della vite

Per la nostra applicazione si è scelto un motoriduttore in corrente continua a vite senza fine, della serie NDCM, di marca Robin con le seguenti caratteristiche:

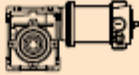
P_1 [W]	n_2 [min ⁻¹]	M_2 [Nm]	sf	i		Versione motore Motor version
250						
(3000 min ⁻¹)	600	4	2.8	5	180/026	
	400	5	2.1	7.5	180/026	
	300	7	1.6	10	180/026	
	200	10	1.1	15	180/026	
	150	13	0.9	20	180/026	
	100	17	0.7	30	180/026	
	75	16	0.7	40	180/026	
	60	14	0.7	50	180/026	
	50	13	0.7	60	180/026	

Figura 4. 25 - Dati tecnici motoriduttore [6]

A questo punto è facile verificare che la velocità massima ammessa dall'accoppiamento vite trapezoidale- chiocciola lavori ad una velocità ben al di sotto del limite calcolato.

E' inoltre facile verificare che la scelta di utilizzare una vite trapezoidale 16x4 sia corretta, poiché l' A_{erf} calcolata precedentemente è inferiore a quella dettata dalla figura 4.22. Infatti la chiocciola scelta possiede una superficie di supporto di 670 mm², quindi superiore ai 500 mm² calcolati per il nostro carico.

In presenza di elementi snelli e rotanti come le viti, esiste il pericolo di risonanza e di oscillazioni. Il procedimento descritto di seguito consente di valutare la frequenza della risonanza, partendo dal presupposto che l'installazione sia sufficientemente rigida. In caso di giri vicini al numero di giri critico, aumentano in egual misura i rischi di flessione laterale. Il numero di giri critico deve pertanto essere valutato anche in relazione alla forza di flessione critica.[20]

Verifica al numero di giri critico:

Massimo numero di giri ammesso

$$n_{zul}=0.8 \cdot n_{kr} \cdot f_{kr} > 1500 \text{ 1/min}$$

n_{zul} = massimo numero di giri ammesso [1/min]

n_{kr} = num. di giri critico teorico (vedere fig.4.24)

f_{kr} = fattore di correzione che tiene conto di come la vite è posizionata.

Il numero di giri di esercizio deve rappresentare al massimo l'80% del numero massimo di giri

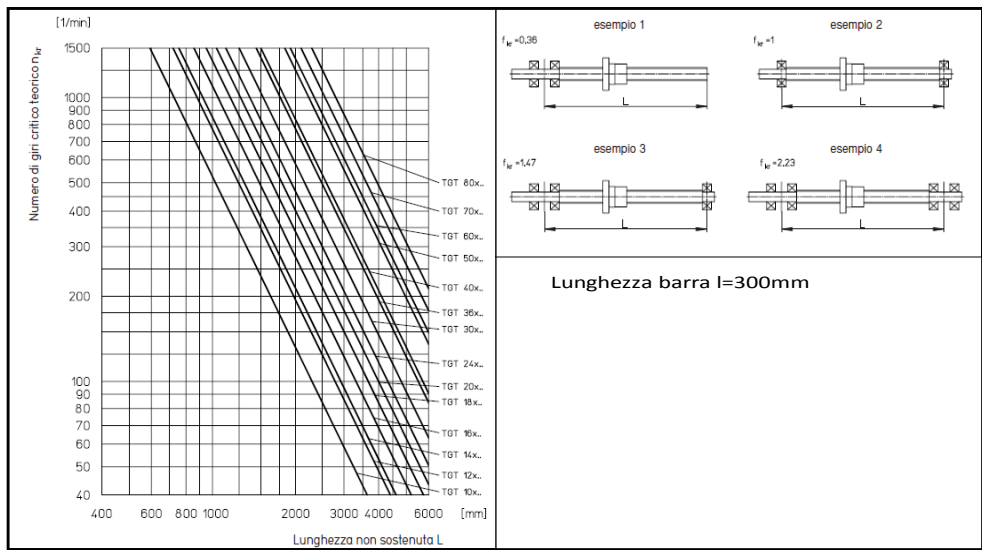


Figura 4. 26 - Diagramma n°giri critico e fattori correttivi [20]

Nell'applicazione da verificare, la lunghezza della vite è di 300mm e dà come risultato un numero di giri critico superiore a 1500 g/min.

In presenza di elementi snelli come le viti, esiste il pericolo di flessione laterale nel caso di pressione assiale. Con il procedimento descritto è possibile determinare la forza assiale ammessa secondo Eulero. Prima di determinare la forza di pressione ammessa è necessario tenere in considerazione i fattori di sicurezza relativi all'impianto.

Massima forza assiale ammessa:

$$F_{zul} = 0.8 \cdot F_k \cdot f_k = 15\text{kN} > 2500\text{N}$$

F_k = Forza di flessione [kN] (fig.4.25)

f_k = fattore di correzione che tiene conto di come la vite è posizionata.

La forza di esercizio deve rappresentare al massimo l'80% della forza massima ammessa

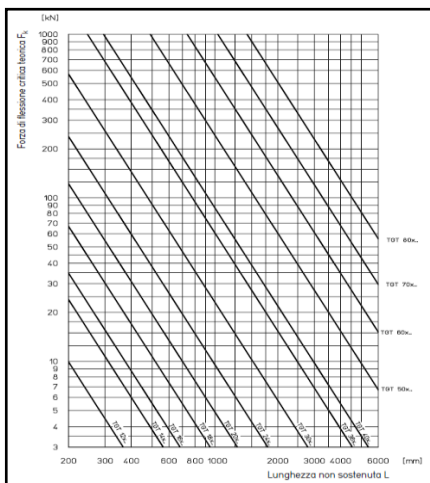


Figura 4. 27 - Forza di flessione critica [20]

La forza in gioco nell'applicazione descritta nel paragrafo 3.7 è molto inferiore a quella che potrebbe supportare la vite trapezoidale 16x4.

La coppia motrice necessaria di un azionamento a vite dipende dal carico assiale, dal passo della vite, dal rendimento dell'azionamento a vite e dal tipo di cuscinetti. In caso di tempi brevi di accelerazione e alte velocità, è necessario verificare la coppia di accelerazione. In linea di massima, con azionamenti a vite trapezoidali, è necessario fare attenzione a superare la coppia di spunto al momento dell'avvio. [20]

Coppia motrice necessaria:

$$M_d = \frac{F_{ax} \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_A} + M_{rot} = 4.34 \text{ Nm}$$

$$M_{rot} = J_{rot} \cdot \alpha_0$$

$$= 7.7 \cdot d^4 \cdot L \cdot 10^{-13} = 1.513 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}$$

F_{ax} = Forza assiale totale [N]

η_A = Rendimento dell'intero azionamento =

$\eta_{TGT} \cdot \eta_{\text{cuscinetto fisso}} \cdot \eta_{\text{cuscinetto mobile}}$

$\eta_{TGT} \rightarrow$ (figura 4.21)

P = Passo della vite [mm]

M_{rot} = Coppia di accelerazione rotatoria

J_{rot} = Momento inerziale di massa rotatorio [kgm²]

D = diametro interno delle viti

L = Lunghezza della vite

A_0 = Accelerazione angolare [1/s²]

Dalla figura 4.23 si può constatare che il motoriduttore scelto risponde ai requisiti di coppia minima appena calcolata.

4.4.5 VERIFICA DEI CUSCINETTI DEL SISTEMA DI DISCESA RUOTE GUIDA

Per dimensionare un cuscinetto volvente idoneo ad un determinato impiego, si confronta la sollecitazione alla quale il cuscinetto stesso è sottoposto con la sua capacità di carico. Si deve raggiungere una determinata sicurezza nei confronti di un'eccessiva deformazione plastica e di un prematuro affaticamento del materiale delle piste e dei corpi volventi. Un cuscinetto caricato eccessivamente non è utilizzabile staticamente o a velocità estremamente basse, per deformazione plastica delle superfici volventi. [21]

Nella applicazione descritta in questa verifica si parlerà solamente di sollecitazione statica e per statico ci si riferisce quindi alla condizione di funzionamento dello stesso e non alla natura del carico.

Spesso nelle applicazioni meccaniche i cuscinetti sono caricati da una forzante, che è la composizione di una forza assiale più una forza radiale: perciò si è obbligati a confrontare la forzante P_o con la caratteristica statica del cuscinetto C_o .

Per stabilire se il cuscinetto scelto è sufficientemente dimensionato per il carico statico imposto, si fa il rapporto tra P_o/C_o . Il valore ricavato f_s è definito come fattore di sicurezza a carico statico e viene valutato in base alle esigenze di servizio (elevate, normali, limitate) di figura 4.27.

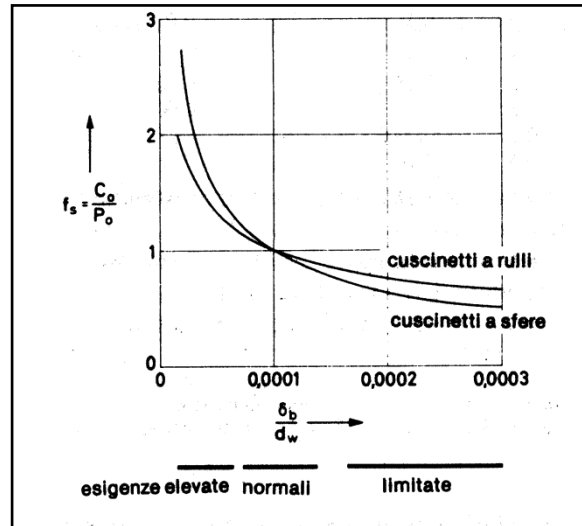


Figura 4. 28 - Fattore di sicurezza a carico statico [21]

Nel caso di esigenze normali di silenziosità (caso corrente), per un cuscinetto soggetto transitoriamente anche a rotazione completa, si potrà ammettere il carico $P_o=C_o$, ossia $f_s = 1$.

Caratteristiche cuscinetti scelti:

DES. SKF	DIMENSIONI			COEFFICIENTE DI CARICO			VEL. DI BASE(1/min)·1000		
	d(mm)	D(mm)	B(mm)	C(kN)	C _o (kN)	Fat(N)	Grasso	Olio	2RS1
6200 (radiale)	10	30	9	50.7	23.6	100	24	38	17
6005 (radiale)	25	47	12	112	65.5	275	15	18	9.5
7201BE (obliquo)	12	32	10	76.1	38	160	18	26	-

I cuscinetti SKF 6005 sono montati in coppia alla base del perno di manovella raffigurato in figura 4.20, e perciò si dividono la forza R calcolata nel paragrafo 4.4.1 pari a 3523 N. Quindi il fattore di sicurezza f_s è superiore ad 1 e perciò verificato .

Gli altri due cuscinetti sono installati come sostegno radiale e assiale della vite trapezoidale trattata nel paragrafo 4.4.4. Ora si procederà con il calcolo delle reazioni vincolari dello schema adottato in figura 4.28

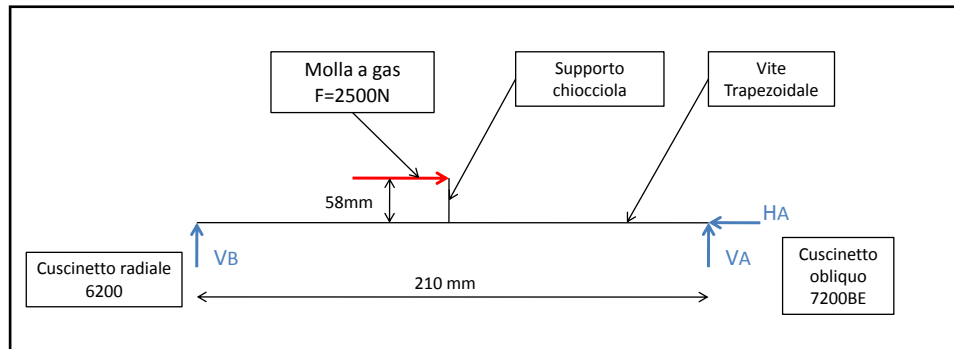


Figura 4. 29 - Schema vite trapezoidale

Analizzando lo schema proposto in figura 4.28 si riesce immediatamente a calcolare il momento flettente di 145000 Nmm e le reazioni vincolari che valgono:

$$V_A = 690 \text{ N}$$

$$V_B = 690 \text{ N}$$

$$H_A = 2500 \text{ N}$$

Pertanto la risultante è :
$$P_o = \frac{H_A}{\cos(\arctan(1690/2500))} = 2409 \text{ N}$$

Perciò è possibile affermare, analizzando i dati ottenuti, che i cuscinetti lavorano con un fattore di sicurezza maggiore di 1, perciò sono stati verificati positivamente.

4.5 VERIFICA DEL SISTEMA DI AGGANCIO

Il sistema di aggancio rapido descritto nel capitolo 3.9 è progettato per vincolare la macchina nella posizione di carico e scarico della camera target sul front-end. Esso è costituito da una forcella ad “U” che può oscillare da una posizione “libera” ad una posizione “bloccata” come rappresentato in figura 4.30.

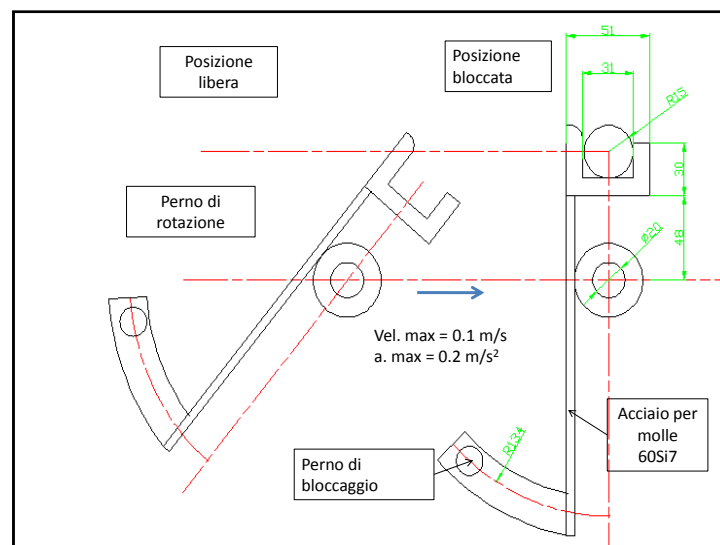


Figura 4. 30 - Schema forcella aggancio rapido

Il sistema deve:

- smorzare l'energia posseduta dal carrello a pieno carico tramite dei tasselli reggispinta elastici;
- bloccare il carrello, tramite apposita interfaccia, di fronte al front-end;
- avere la possibilità di tranciare il perno per svincolare la macchina in caso di emergenza;
- riallineare la parte anteriore nel caso il carrello arrivasse non centrato.

Nei paragrafi successivi andremo a verificare il perno di rotazione, il perno di bloccaggio e la piastra laterale bullonata con viti M10.

4.5.1 VERIFICA MOLLA AGGANCIAMENTO E VERIFICA PERNO DI ROTAZIONE E PERNO DI BLOCCAGGIO

Come si evince dalla figura 4.29, gli organi che necessitano di verifica sono i due perni presenti ed il piatto (DIN 4620) progettato con acciaio per molle a base di silicio.

Lo schema che si adotta per calcolare le forze in gioco è quello di una trave appoggiata con un carico non in mezzzeria. Perciò avremo:

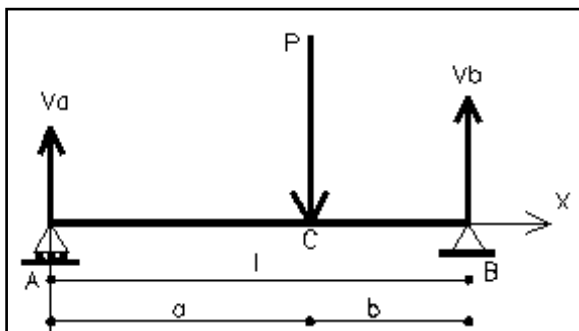


Figura 4. 31 - Schema notevole trave appoggiata

$$V_a = \frac{aP}{l} ; \quad V_b = \frac{bP}{l}; \quad T_1 = A ; \quad T_2 = B$$

$$f = \frac{Pa^2b^2}{3EI}$$

$$M_{\text{tot carrello}} = 2200 \text{ Kg}$$

$$V_{\text{impatto}} = 0.1 \text{ m/s}$$

$$\text{Sez. molla} = b \times h = 100 \times 6 \text{ mm}$$

$$E = 206 \text{ GPa}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 1042 \text{ mm}^4 ; \quad K = \frac{3EI}{a^2b^2} = 6.5 \cdot 10^6$$

$$E_{\text{cin}} = \frac{mv^2}{2} = 11 \text{ J}$$

$$E_{\text{cin}} = \frac{kf^2}{2} = \quad \rightarrow \quad f = \sqrt{\frac{2E_{\text{cin}}}{k}} = 0.00183 \text{ mm}$$

$$P = K \cdot f = 11895 \text{ N} \quad \rightarrow \quad V_a = 4195 \text{ N}, \quad V_b = 7700 \text{ N}, \quad M_{f,\text{max}} = 562130 \text{ N mm}$$

$$\sigma_x = \frac{M_f}{W_f} = \frac{6M_f}{bh^2} = \frac{6 \cdot 562130}{100 \cdot 6^2} = 937 \text{ MPa}; \quad \tau_{xy} = \frac{2T}{3A} = 8.56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{id VM}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = 937 \text{ MPa}$$

Caratteristiche meccaniche molla: [23]

60Si7	Carico rottura (MPa) 1380-1630	C. di scostamento (MPa) 1180	Allungamento % min 6
-------	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------------

Quindi la molla è verificata.

Verifica perno di rotazione:

Il perno di rotazione consente la rotazione parziale della forcella di aggancio ed è fatto lavorare su delle boccole di bronzo. Tale perno è soggetto prevalentemente ad un'azione flettente e tagliante della forza P, schematizzata nella figura 4.30.

Caratteristiche lega alluminio serie 3000:

3003	Carico di snervam. (MPa) 210	Allungamento (%) 195	$\tau_{adm} = \sigma / \sqrt{3}$ (MPa) 121
------	---------------------------------	-------------------------	---

Si è deciso di progettare in lega di alluminio per favorire la rottura tramite traino della M.M.O. in caso di emergenza. Le dimensioni del perno sono di:

$$D_{est} = 25 \text{ mm}, \quad d_{int} = 10 \text{ mm}, \quad l = 100 \text{ mm}$$

$$W_f = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = 1494.7 \text{ mm}^3 ;$$

$$T = \text{forza di lavoro} = P/2 = 5947 \text{ N}$$

$$M_f = 5947 \cdot 50 = 297350 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = \frac{M_f}{W_f} = \frac{297350}{1494.7} = 198 \text{ MPa} ;$$

La tensione normale appena ricavata risulta essere inferiore al carico di snervamento, perciò il perno di rotazione è verificato.

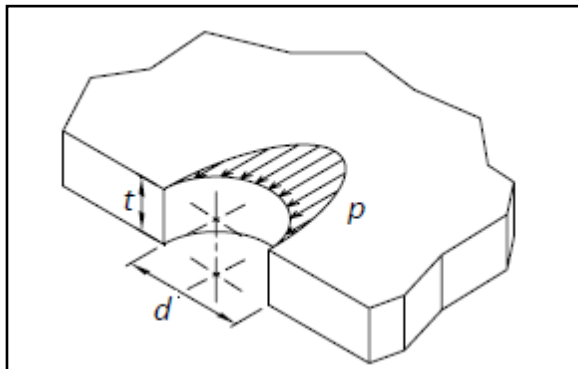
Verifica a taglio del perno di bloccaggio:

il perno di bloccaggio è costruito con lo stesso acciaio descritto all'inizio del capitolo, perciò con un carico di snervamento pari a 355MPa ed ha un diametro di 16mm. E' soggetto alla forza che nasce dalla reazione vincolare $V_a = 4195$, schematizzata nella figura 4.20. Perciò si avrà:

$$A_{res} = \frac{\pi d^2}{4} = 201.06 \text{ mm}^2 ;$$

$$\tau_{xy} = \frac{4T}{3A} = 27.75 \text{ MPa} \rightarrow \text{inferiore a } \tau_{adm}$$

Verifica a rifollamento:



$$\sigma_{rif} = V_a / t \cdot d \leq \sigma_{rif,adm}$$

$$= \frac{4195}{10 \cdot 16} = 26.21 \text{ MPa}$$

Figura 4. 32 – Distribuzione pressione

4.5.2 VERIFICA PIASTRA LATERALE DI INVITO

Come descritto nel capitolo 3.9 la piastra di invito deve avere la resistenza meccanica per spostare il carrello con la sua massima portata, qualora esso arrivasse a destinazione con un leggero disallineamento. Quindi si andrà alla ricerca della forza laterale necessaria per trascinare il carrello, e poi la si applicherà alla piastra per verificarne la solidità.

Un dato importante da conoscere è il coefficiente di attrito che intercorre tra il pavimento e le ruote anteriori, che sono costruite con l'anello esterno in poliuretano. In letteratura troviamo solo il valore del coefficiente d'attrito per strisciamento tra poliuretano ed acciaio, pari a $\mu=0.7$.

Perciò la forza da vincere per spostare il carrello è data dal prodotto della portata per il coefficiente.

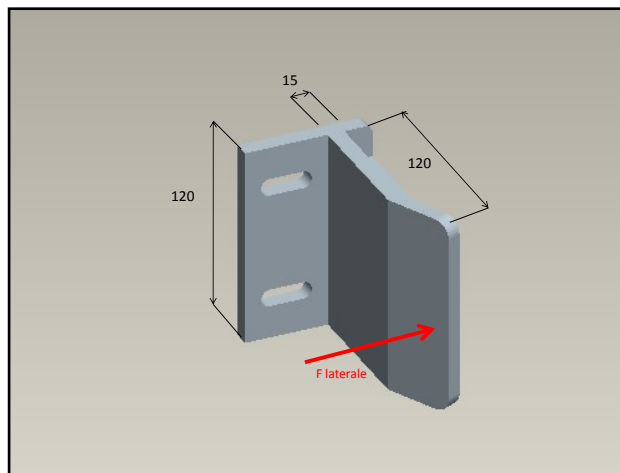


Figura 4. 33 - Supporti guida sistema aggancio

$$F_{\text{laterale}} = \text{portata} \cdot \mu = 15000 \cdot 0.7 = 10500 \text{ N}$$

$$\sigma_x = \frac{M_f}{W_f} = \frac{6M_f}{bh^2} = \frac{6 \cdot 10500 \cdot 120}{120 \cdot 15^2} = 280 \text{ MPa} < \text{Carico di snervamento S355J2H}$$

Perciò il supporto è in grado di vincere la forza che nasce da un non corretto allineamento con il front – end .

I reggispinta elastici installati per smorzare eventuali oscillazioni, devono sopportare almeno il carico V_b descritto in figura 4.20: perciò saranno installati quattro dei componenti evidenziati in tabella.

Part number	ØG	ØD	H	T	Compression Stiffness (N/mm)	Max load (N)
D-ZY12-60-40/SS	M12	60	40	33	-	-
D-ZY12-75-25/SS	M12	75	25	37	2000	2300
D-ZY12-75-40/SS	M12	75	40	37	810	2300
D-ZY12-75-50/SS	M12	75	50	37	-	-
D-ZY12-75-55/SS	M12	75	55	37	-	-

Figura 4. 34 - Reggispinta elastico [23]

4.6 VERIFICA TELAIO PORTANTE PER SOLLEVAMENTO

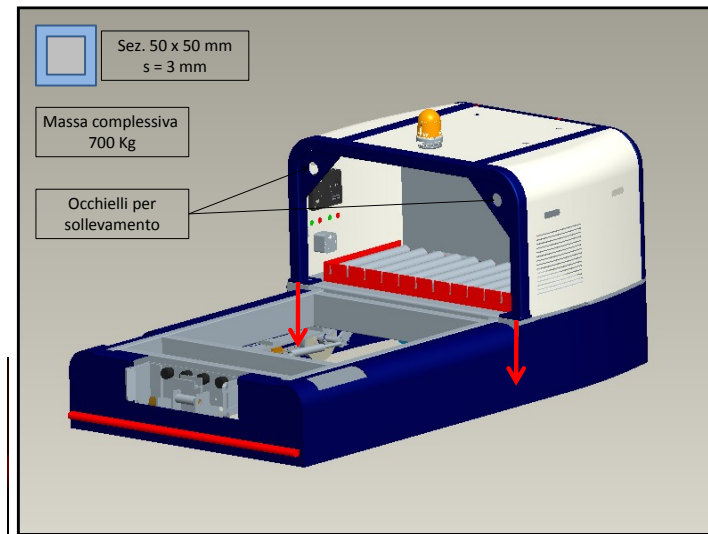


Figura 4. 35 - Schema telaio sollevamento

Il telaio sottoposto a verifica in questa sezione deve sopportare il peso del carrello scarico, nel caso in cui esso dovesse essere sollevato. E' costruito in acciaio S355JH2, descritto all'inizio del capitolo, verrà verificato solo a trazione. Perciò avremo:

$$\sigma_x = \frac{F}{A} = \frac{7000}{564} = 12.42 \text{ MPa} ;$$

Il telaio evidenziato in figura 4.35 è collegato al resto della macchina tramite 4 bulloni M12 che verranno verificati anch'essi a trazione: perciò avremo:

$$A_{\text{res M12}} = 84.3 \text{ mm}$$

$$\sigma_x = \frac{F}{A} = \frac{7000}{4 \cdot 84.3} = 20.79 \text{ MPa}$$

4.7 VERIFICA SUPPORTO AD "L" E COMPENSATORE

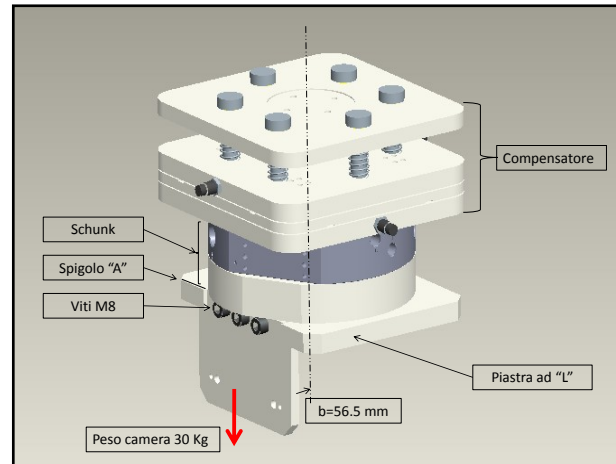


Figura 4. 36 - Compensatore e supporto ad "L"

Il supporto ad "L" è stato progettato per vincolare alla camera un utensile di aggancio e sgancio rapido per la movimentazione. Esso deve sostenere il peso proprio della camera target, e perciò verranno verificati i bulloni M8. Schematizziamo il problema imponendo un momento flettente pari al prodotto della forza peso per il braccio (distanza tra l'asse e la piastra laterale): perciò avremo:

$$M_f = F \cdot b = 300 \cdot 56.5 = 16959 \text{ Nmm};$$

Imponendo la rotazione della piastra superiore attorno allo spigolo "A", è possibile valutare il valore dello sforzo normale da assegnare alle viti per poi verificarle. Quindi si avrà:

$$F_{norm} = \frac{M_f}{n \cdot b} = \frac{169590}{3 \cdot 7.5} = 753.4 \text{ N}$$

Una volta calcolata la forza agente sui bulloni, si verificheranno le viti a trazione: perciò si scriverà:

$$\sigma_x = \frac{f_{norm}}{A_{res \text{ M8}}} = \frac{753.4}{38.6} = 19.6 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{verificato}$$

Per quanto riguarda il compensatore, esso è stato progettato per correggere un minimo posizionamento errato delle operazioni eseguite in automatico. Come descritto nel paragrafo 4.10, esso consente la compensazione di quote in direzione 'x', 'y', 'z': perciò si verificherà che l'oggetto dimensionato abbia la stessa portata di carico dello "schunk" di figura 4.35.

Verifica micro guide lineari:

per consentire lo spostamento nelle direzioni 'x' e 'y' sono state installate delle micro guide lineari a ricircolo di sfere, avente come dato di progettazione la portata dello "schunk" di 120 kg di peso. Quindi sono state scelte delle guide con le seguenti caratteristiche:

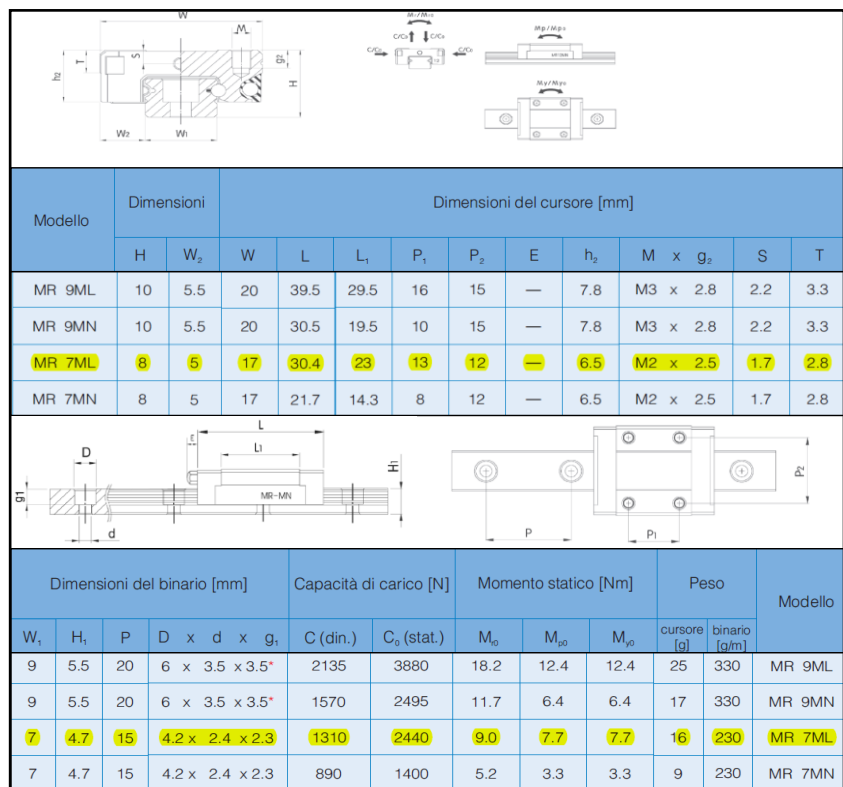


Figura 4. 37 - Tabella microguide [24]

Quello che interessa è che il carico statico delle micro guide scelte sia al di sopra della portata da sopportare: infatti, avendo installato 4 carrellini su 2 binari per ogni direzione di movimento, avremo che il carico da sopportare è ampiamente al di sotto di quello sopportabile.

Verifica viti collegamento:

Per quanto concerne le viti di collegamento, andremo a verificare che esse non cedano sotto l'azione di un carico normale all'asse della vite. La forza da sopportare per ogni cursore è di 300 N, ossia il valore della portata massima ripartita sul numero di cursori. Le viti da verificare sono quattro e sono M2 perciò avremo che:

$$\sigma_x = \frac{F}{4A_{res}} = \frac{300}{4 \cdot 1.76} = 42.61 MPa \rightarrow \text{verificato}$$

Sarebbe stata necessaria un'altra verifica del supporto scorrevole in alluminio, ma visto che gli elementi più sollecitati, ossia le viti M2, sono state verificate è stato deciso di non farla.

Questo oggetto progettato verrà sottoposto a test di affidabilità e funzionalità che verranno riportati nel capitolo cinque

4.8 DIMENSIONAMENTO BATTERIE

Come esposto nel capitolo 3, questo carrello è stato progettato come una sorta di AGV, perciò ad azionamento elettrico tramite delle batterie. Una volta stabiliti tutti i motori elettrici da dover alimentare, è stato possibile definire la grandezza della batteria. Si è ipotizzato comunque che il carrello possa avere una autonomia di almeno due ore.

Si riporta un elenco di tutti gli utilizzatori con una stima del fattore di utilizzo, considerando la natura dell'applicazione. Si ricorda che tutti i motori installati sono in corrente continua.

FUNZIONE	POTENZA (W)	CORRENTE (A)	N°	VOLTAGGIO (V)	FATTORE UTILIZZO	ASSORBIMENTO (Ah)
Trazione	700	36	2	24	0.8	115
Sterzo	85	5	2	24	0.2	4
Motoriduttore	250	15	2	24	0.2	12
Elettrovalvole	85	5	2	24	0.1	2
PLC	6	1	1	24	1	1
Motori sist. Ausiliario	300	16,6	3	24	0.5	49.8
TOTALE						183.8

I fattori di utilizzo sono stati stimati, dato che il sistema ausiliario non è ancora stato completamente dimensionato.

Come conseguenza del calcolo appena compiuto si è scelto di installare:

DIMENSIONE MODULO (mm)	TIPO	VOLTAGGIO	AMPERAGGIO	PESO	QUANTITA'
244 x 192 x h275	GEL	6V	240Ah C20 180Ah C5	32.5 kg	4

Caricabatterie ad alta frequenza modello CB 7 HF, con le seguenti caratteristiche:

- alimentazione universale monofase 115/230 V;
- uscita 30 A , 24V;
- Gestione della carica elettronica a microprocessore;
- Timer di carica finale programmabile;
- Timer di sicurezza programmabile;
- Carica di equalizzazione;
- Carica di mantenimento;
- Autodiagnosi e auto start;
- Segnalazione guasti.

CAPITOLO 5

TEST DI MOVIMENTAZIONE

5.1 *INTRODUZIONE*

La progettazione di speciali infrastrutture garantisce che il progetto SPES venga attuato con le necessarie condizioni di sicurezza. Con lo stesso obiettivo è stato necessario prevedere dei processi automatizzati per la produzione e per la movimentazione dei nuclei radioattivi.

Generalmente con il termine di automazione si indica una funzionalità operativa conseguita con mezzi artificiali in grado di operare in maniera autonoma, determinate attività. Solitamente le motivazioni che spingono all'automazione sono di tipo economico, di riduzione dei tempi, o miglioramento delle condizioni di lavoro; in questo caso invece alcune procedure automatizzate sono obbligatorie poiché l'ambiente radioattivo impedisce il normale svolgimento delle attività legate alla produzione.

Come descritto nel secondo capitolo, l'automazione richiesta è legata alla movimentazione di un oggetto radioattivo, nell'area chiamata "bunker zone", ed il mezzo artificiale progettato è proprio la macchina di movimentazione orizzontale.

Le operazioni di movimentazione della camera sono semplici ma allo stesso tempo delicate, per questo motivo devono essere eseguite con la calma necessaria e utilizzando le precauzioni possibili in termini di ridondanze tecnologiche o di sistemi di sicurezza. Un'operazione che si ritiene critica, e per critica si intende con un'elevata possibilità di errore, è quella legata all'interfacciamento della camera target con la coupling table, sia nel momento di posizionamento che nel momento di prelievo.

In figura 5.1 sono mostrate due istantanee della fase di accoppiamento della camera target con la tavola del front-end; in particolare quella a sinistra è stata scattata tramite il modellatore Pro-E, mentre quella a destra è stata scattata durante la fase di test con l'apposito vertical bench. E' proprio in questa fase che possono nascere problemi legati ad un non corretto allineamento della camera con le guide guide (in fase di scaricamento), oppure di non corretto allineamento dell'asse dello schunk femmina vincolato alla camera e lo schunk maschio collegato alla M.M.O⁵.(nella fase di prelievo).

⁵ M.M.O. : macchina di movimentazione orizzontale

Per questa serie di motivi, si è deciso di installare tra lo schunk maschio, ed il “vertical arm”, un oggetto che riesca a compensare eventuali errori provocati da un errato allineamento con le guide o un errato posizionamento reciproco tra camera target e macchina di movimentazione verticale.

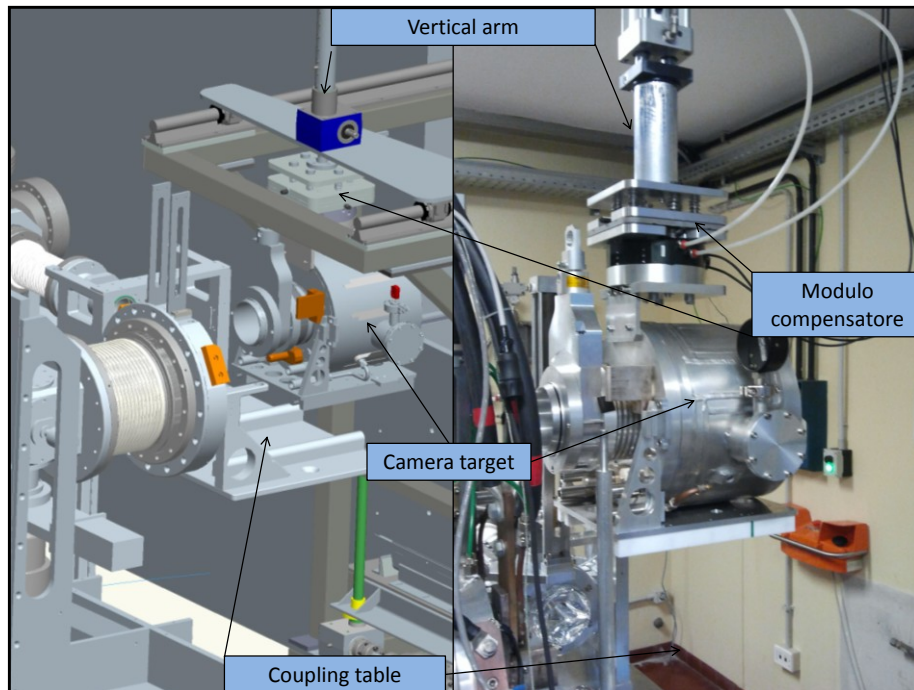


Figura 5. 1 – Fase di posizionamento camera target

L'oggetto in discussione, viene chiamato modulo compensatore, ed è composto da due parti principali:

- L'aggancio rapido schunk
- Il compensatore di quota in direzione x, y, z,

L'aggancio rapido schunk, con una portata di 120 kg, era già designato come utensile per la presa finale della camera, ma si è voluto aggiornare il sistema di presa verticale in modo da incrementare le possibilità di riuscita dell'operazione di prelievo e deposito. L'aggiornamento prevede infatti di interporre tra schunk e attuatore lineare, il compensatore di quote studiato e progettato proprio per questa applicazione.

5.2 MODULO COMPENSATORE

Il compensatore di quote Fig 5.2 è un oggetto studiato e progettato appositamente per ripristinare lievi errori di posizionamento nel piano “xy”, in maniera tale di portare a termine l’operazione automatizzata di aggancio della camera.

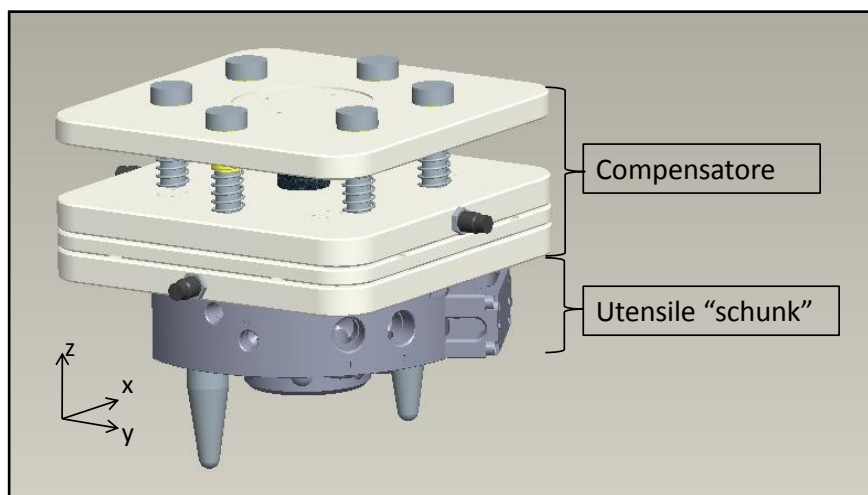


Figura 5. 2 - Modulo compensatore

5.2.1 ANALISI DELLE SPECIFICHE INIZIALI.

L’oggetto in fase di studio dovrà fornire allo schunk la possibilità di agganciare la camera anche con un disallineamento di $\pm 7\text{mm}$ sia in direzione “x” che in direzione “y”; una volta agganciata la C.T. l’oggetto da progettare dovrà tornare il posizione di riposo o di equilibrio in modo ripristinare gli errori commessi in precedenza.

La compensazione in direzione “z” non è strettamente necessaria, ma è utile poiché consente al vertical arm di posizionare la C.T.⁶ con una certa tolleranza, inoltre offre la possibilità di avere un feedback di controllo inserendo un sensore apposito.

Per il funzionamento dell’oggetto è possibile utilizzare risorse elettriche e pneumatiche dato che sono disponibili all’interno della macchina di movimentazione orizzontale.

Come sottolineato in precedenza, il fattore temporale non è un vincolo di progetto, nel senso che tutte le operazioni di movimentazione vengono portate a termine con la “calma” necessaria, visto il contesto radioattivo.

Il materiale primario per la costruzione di questo oggetto deve essere l’alluminio, poiché resiste in maniera ottimale al bombardamento radioattivo imposto, a differenza dell’acciaio o altre leghe.

⁶ C.T. : camera target

L'oggetto da progettare dovrà essere il più compatto possibile in modo da ridurre al minimo gli ingombri. L'affidabilità meccanica dell'oggetto deve essere un elemento caratteristico. Questa affidabilità sarà poi verificata tramite test ripetuti tramite "vertical bench test".

5.2.2 PROGETTAZIONE LOGICO FUNZIONALE DEL COMPENSATORE

Nelle fasi iniziali di ogni progettazione, poche idee sono valide e molte sono da scartare via; infatti solo il 2-3 % vengono prese in considerazione e poi sottoposte a studio di fattibilità.

L'idea presa in considerazione è stata quella di creare un oggetto con dei piani scorrevoli in tutte e tre le direzioni, in modo da dare allo schunk tre g.d.l.⁷ con limitati da finecorsa meccanici.

Per fornire questo scorrimento, questo movimento, si è pensato di utilizzare del materiale di comune reperibilità, come accoppiamenti cilindrici con boccole di bronzo, o guide lineari a ricircolo di sfere, molle e smorzatori lineari.

In figura 5.3 viene mostrato una sezione parziale del compensatore di quote in modo da capire l'effettivo funzionamento del sistema progettato.

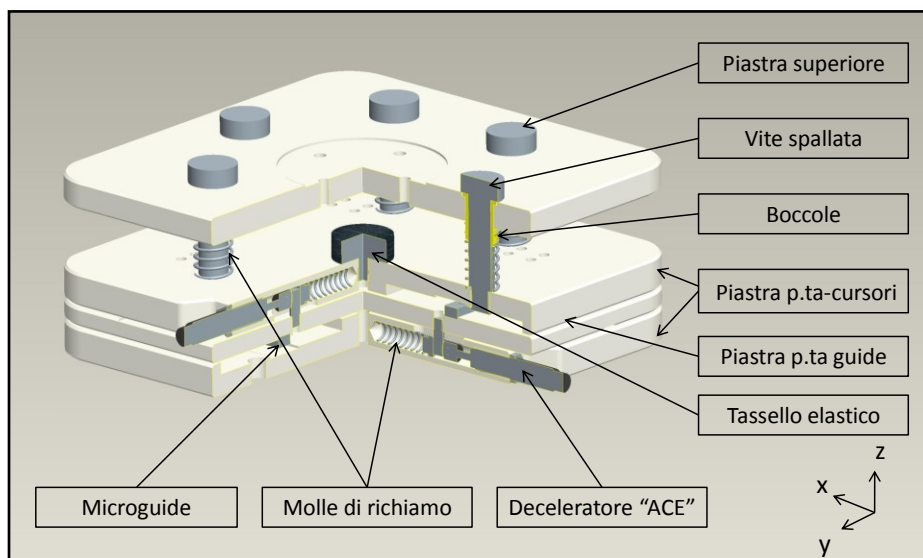


Figura 5. 3 - Compensatore di quote, sezione parziale

Sulla sommità del compensatore viene bloccato per mezzo di viti, l'attuatore a vite del telaio ausiliario descritto nel terzo capitolo, quindi la piastra superiore svolge la funzione di corpo vincolato, rispetto al quale vengono assegnati i gradi di libertà voluti.

⁷ g.d.l. : gradi di libertà

L'accoppiamento boccola-vite spallata consente ai componenti sottostanti, di scorrere lungo la direzione "z" con una escursione di 20 mm e la distribuzione di sei accoppiamenti del genere garantisce la perfetta complanarità tra la piastra superiore e la piastra porta cursori.

Il tassello elastico è stato inserito in quella particolare posizione per poter dissipare l'energia di spinta verticale, con il conseguente effetto di smorzare urti imprevisti.

La zona più complessa, dal punto di vista progettuale, è quella composta dall'accoppiamento delle micro guide lineari, con le molle ed i deceleratori. Per facilitare la compressione del sistema, viene esposta in figura 5.4, la sezione comprendente la piastra porta guide, la piastra porta cursori, le molle e i deceleratori.

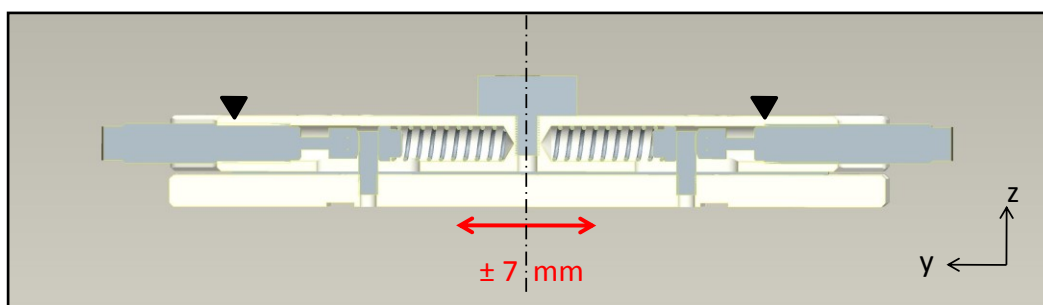


Figura 5. 4 - Sistema massa-molla-smorzatore, sezione trasversale, posizione di riposo

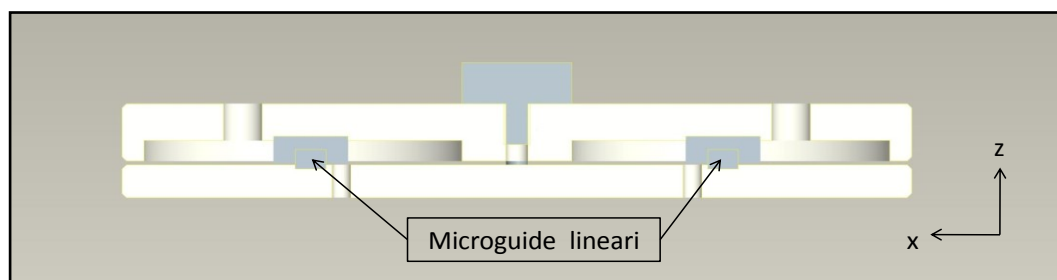


Figura 5. 5 - Sezione longitudinale compensatore

La figura 5.4 rappresenta un classico sistema massa, molla, smorzatore, ad un grado di libertà (in direzione "y"); in questo caso la piastra porta cursori è il corpo vincolato a "terra", quindi fisso, invece la piastra porta guide è il corpo libero di oscillare a cavallo della posizione di riposo, in direzione \pm "y".

La coppia di molle, installate in opposizione, sono state scelte da catalogo con una lunghezza di 29 mm, in modo da fornire alla piastra inferiore una forza di richiamo verso la posizione di equilibrio, nel caso venisse spostata.

La figura 5.5 invece mostra che le due piastre sono vincolate tra loro tramite una coppia di microguide lineari a ricircolo di sfere. Con questo accoppiamento infatti si garantisce il moto in direzione "y" con un attrito prossimo allo zero ma costante durante il movimento.

- Materiali: Corde per pianoforte: inox a norma DIN 17224 N. 1,4310. BS2056 EN58A Inox commerciale ricotto 302AMS - Avvolgimento a destra - Estremità: Filo $\leq 0,8\text{mm}$ avvicinate non molate Filo $> 0,8\text{mm}$ avvicinate molate - Carichi: i valori di carico indicati sono basati su una durata di vita di 50.000 cicli al 50% del carico ammissibile - Tolleranze: tutte le dimensioni e forze sono a norma DIN 2095 (Grado 2)							
Riferimenti	Ø Filo d	Ø Esterno D0	N. spire utili	Lunghezza a vuoto Lo	Rigidità C N/mm	Deflessione max. Sn (mm)	Carico max. Fn (N)
CD2195	1,00	9,00	3,50	13,00	4,88	5,70	28,00
CD2196	1,00	9,00	5,50	19,00	3,10	8,90	28,00
CD2197	1,00	9,00	8,50	28,50	2,00	14,20	28,00
CD2198	1,00	9,00	12,50	40,50	1,37	20,60	28,00
CD2199	1,00	9,00	18,50	59,00	0,93	30,70	28,00
CD2200	1,00	11,00	3,50	17,50	2,49	9,50	23,00
CD2201	1,00	11,00	5,50	26,00	1,59	14,80	23,00
CD2202	1,00	11,00	8,50	39,00	1,03	23,00	23,00
CD2203	1,00	11,00	12,50	56,00	0,70	33,60	23,00
CD2204	1,00	11,00	18,50	81,50	0,47	49,50	23,00

Figura 5. 6 - Molla di richiamo [23]

I deceleratori in miniatura ACE sono componenti idraulici autonomi ed esenti da manutenzione. La gamma di modelli da MC5 a MC75 ha un ingombro in lunghezza particolarmente contenuto ed una forza di riarmo ridotta. Sono deceleratori riempiti di olio termostabile e sono dotati di arresto meccanico integrato. Sono previsti specificatamente per manipolatori compatti e veloci, attuatori rotanti, pick and place di dimensioni contenute [25]. La coppia di deceleratori perciò, svolge la funzione di fine corsa meccanico, ma soprattutto smorza l'energia cinetica trasmessa alla piastra nell'oscillazione. Tali deceleratori inoltre hanno la possibilità di essere regolati variando l'escursione Δy .

Tabella delle Capacità									
Tipo N° di serie	Energia max.		Misura d'Efficienza me Autocompensanti		Min. Forza di Riarmo N	Max. Forza di Riarmo N	Tempo di Riarmo s	1 Max. Disassamento	Peso kg
	W_3 Nm/Ciclo	W_4 Nm/Ora	me min. kg	me max. kg					
MC5EUM-1-B	0,68	2 040	0,5	4,4	1	5	0,2	2	0,003
MC5EUM-2-B	0,68	2 040	3,8	10,8	1	5	0,2	2	0,003
MC5EUM-3-B	0,68	2 040	9,7	18,7	1	5	0,2	2	0,003
MC9EUM-1-B	1	2 000	0,6	3,2	2	4	0,3	2	0,005
MC9EUM-2-B	1	2 000	0,8	4,1	2	4	0,3	2	0,005
MC10EUM-L-B	1,25	4 000	0,3	2,7	2	4	0,6	3	0,010
MC10EUM-H-B	1,25	4 000	0,7	5	2	4	0,6	3	0,010
MC30EUM-1	3,5	5 600	0,4	1,9	2	6	0,3	2	0,010
MC30EUM-2	3,5	5 600	1,8	5,4	2	6	0,3	2	0,010
MC30EUM-3	3,5	5 600	5	15	2	6	0,3	2	0,010
MC25EUM-L	2,8	22 600	0,7	2,2	3	6	0,3	2	0,020
MC25EUM	2,8	22 600	1,8	5,4	3	6	0,3	2	0,020
MC25EUM-H	2,8	22 600	4,6	13,6	3	6	0,3	2	0,020
MC75EUM-1	9	28 200	0,3	1,1	4	9	0,3	2	0,030
MC75EUM-2	9	28 200	0,9	4,8	4	9	0,3	2	0,030
MC75EUM-3	9	28 200	2,7	36,2	4	9	0,3	2	0,030

Figura 5. 7 - Deceleratori ACE [25]

Il sistema sopra descritto è certamente un sistema che da luogo a delle vibrazioni libere smorzate della piastra porta guide, perciò dalla letteratura è possibile utilizzare il seguente modello per analizzare il moto della piastra del compensatore [26]:

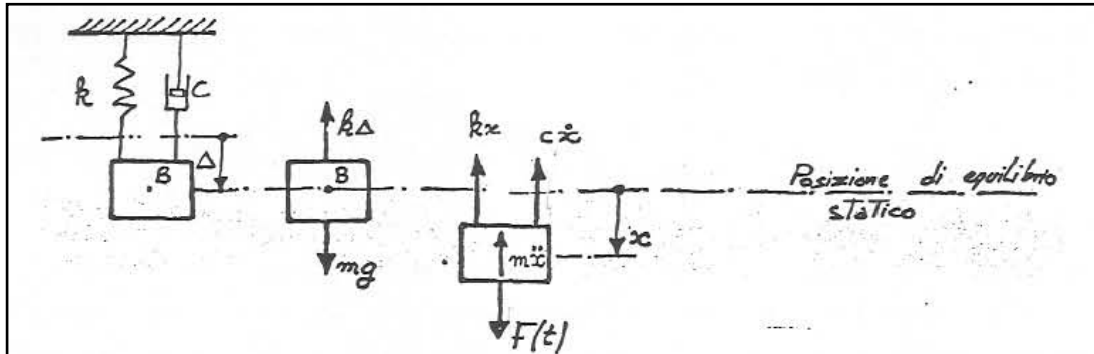


Figura 5. 8 - Oscillatore armonico smorzato e rappresentazione delle forze. [26]

Applicando il 2° principio della dinamica al sistema si ha:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t)$$

Se $F(t)=0$ si ottiene l'equazione omogenea delle oscillazioni libere del sistema la cui soluzione più generale è:

$$x = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}$$

dove A_1 e A_2 sono le costanti che dipendono dalle condizioni iniziali.

Per determinare le costanti s_1 e s_2 basta considerare l'equazione algebrica associata:

$$ms^2 + ms + k = 0$$

Le cui radici sono:

$$s_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}$$

E sono reali e distinte, reali e coincidenti, o complesse e coniugate in corrispondenza rispettivamente a valori positivi, nulli o negativi del radicando.

Il radicando si annulla per:

$$\left(\frac{c}{2m}\right)^2 = \frac{k}{m} = \omega_n^2$$

Il valore dello smorzamento c che annulla il radicando è chiamato smorzamento critico; esso indica il valore dello smorzamento al di sopra il quale la dissipazione di energia è tale da non permettere al sistema di oscillare.

$$c_c = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n = \frac{2k}{\omega_n}$$

Il rapporto adimensionale tra lo smorzamento c e quello critico c_c viene detto rapporto di smorzamento viscoso

$$\zeta = \frac{c}{c_c}$$

Il caso descritto in precedenza è un esempio di moto con rapporto di smorzamento sovracritico ossia con $\zeta > 1$; in questo caso le due radici sono reali, distinte ed entrambe negative. L'equazione che offre la soluzione rappresenta un moto che non ha neppure caratteristiche di vibrazione, ma che è costituito da un graduale ritorno del sistema verso la posizione di equilibrio.

Il moto sovracritico varia al variare delle condizioni iniziali x_0 e \dot{x}_0 , in ogni caso il sistema attraversa al più una sola volta la posizione di equilibrio.

La figura successiva rappresenta l'andamento esponenziale decrescente del moto aperiodico

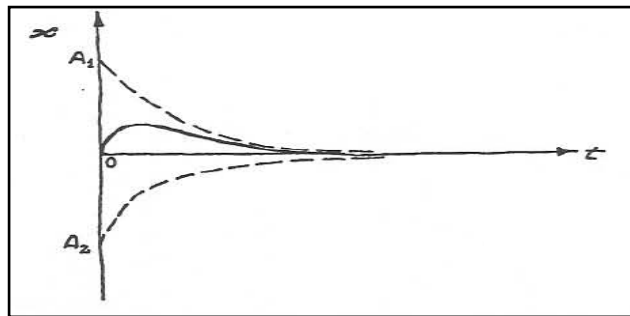


Figura 5.9 - Moto libero aperiodico di un sistema con smorzamento sovracritico [26]

Tale andamento è proprio quello che è richiesto in fase di progettazione poiché il compensatore in volta azionato, deve tornare in posizione di equilibrio, senza vibrare.

Il compensatore progettato e mostrato in figura 5.3 instaura un moto aperiodico, sia in direzione “x” che in direzione “y”. Per creare questo movimento combinato, si è posizionata la stessa tipologia di sistema, sfasata di 90° rispetto a quella mostrata in figura 5.4.

5.2.3 *UTENSILE SCHUNK E MODIFICHE APPORTATE*

L'aggancio rapido di marca schunk è spesso utilizzato nell'automazione industriale per agganciare, quindi movimentare, e poi posizionare oggetti tramite un braccio robotizzato o un cartesiano di pick and place.

Esso è composto da una sezione “maschio” che è agganciata all'attuatore della macchina di movimentazione orizzontale, e da una sezione “femmina” che è vincolata all'oggetto da movimentare, che nel caso del progetto SPES è proprio la camera target.

La sezione maschio originariamente era dotata di corni di centraggio che avevano una sezione più piccola di quella mostrati in figura 5.10; visto che a monte di tale aggancio è stato installato un compensatore di quote, si è deciso di maggiorare questi corni in modo da aumentare il disallineamento

compensabile tra maschio e femmina. Ovviamente questo tipo di intervento fa sì che anche la sezione femmina deve essere modificata, in modo da garantire l'accoppiamento delle due sezioni. Si è perciò deciso di ricreare la sezione femmina con dei fori di centraggio maggiorati come mostrato in figura.

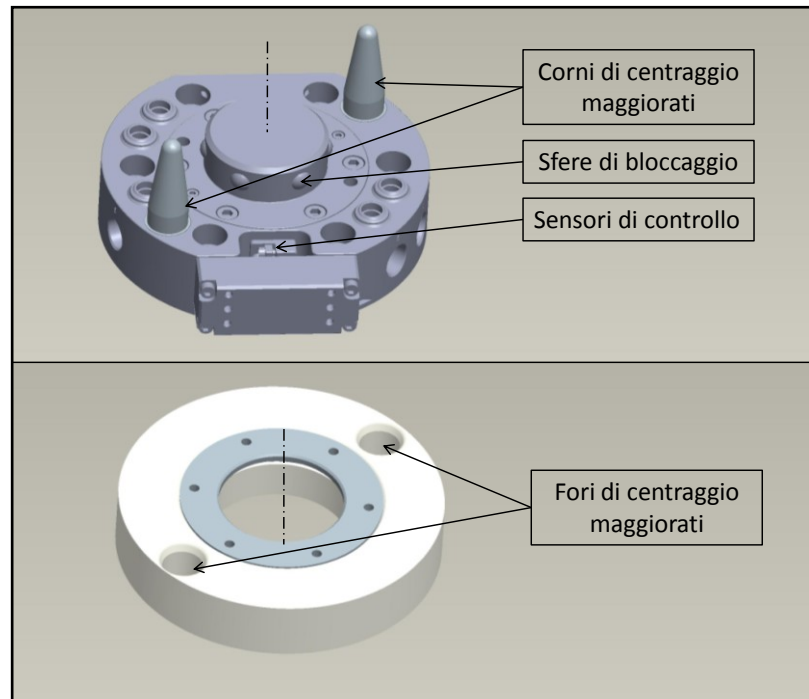


Figura 5. 10 - Sezione maschio e femmina dell'utensile schunk modificato

L'utensile mostrato deve avere la capacità di movimentare la camera target che ha un peso di 30 kg circa, ma deve anche sopportare il peso del coperchio del sarcofago, perciò tra le varie taglie disponibili in commercio si è scelta quella che sopporta 120 kg.

Questa tipologia di utensile riesce anche a sopportare momenti flettenti causati da carichi non centrati nell'asse, ma nel caso della M.M.O. tutte le masse sono centrate sull'asse di movimentazione "z" e perciò questa caratteristica non è sfruttata.

5.3 *SUPPORTO AD “L” DELLA CAMERA TARGET*

Come spiegato nel paragrafo 5.2.3 precedente, l’utensile schunk è composto da una semiparte “maschio” vincolata all’attuatore lineare della M.M.O. , e un’altra semiparte femmina che deve essere vincolata alla camera target.

Prima di questo lavoro di tesi, la C.T. era già provvista dell’utensile schunk, con portate e dimensioni differenti, perciò si è svolto un lavoro di aggiornamento degli elementi necessari a movimentare la C.T. con il nuovo macchinario per la movimentazione orizzontale.

Il sistema precedente, prevedeva l’utilizzo di un supporto ad “L” vincolato alla camera, su cui veniva bullonato lo schunk, con una portata di 70 kg. Inoltre la piastra in alluminio, era dotata di fori di centraggio, per il vecchio sistema di aggancio.

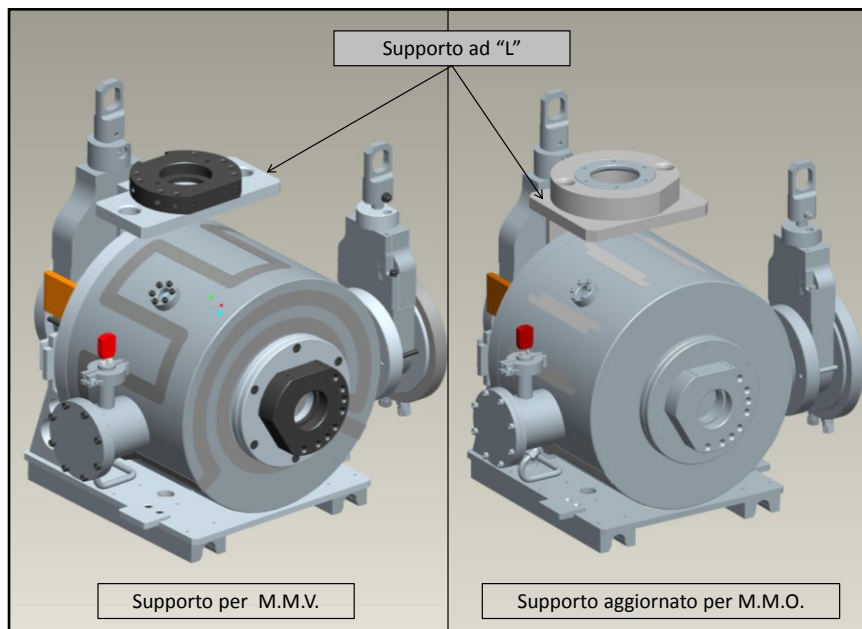


Figura 5. 11 - Aggiornamento sistema di aggancio camera target

Il nuovo sistema prevede che la piastra ad “L” sia ancora vincolata alla camera per mezzo di bulloni M6, ma è stata scomposta in due sotto-piastre una verticale ed una orizzontale bullonate tra loro. Sulla piastra orizzontale poi è stato vincolato lo schunk maggiorato, tramite viti M10, ed i fori per il centraggio sono stati spostati direttamente sulla sezione femmina dello schunk anziché posizzarli sulla piastra orizzontale come nel vecchio sistema.

5.4 COMPLESSIVO DEL SISTEMA DI AGGANCIAMENTO

Questo paragrafo potrebbe risultare ripetitivo, ma è stato inserito per proporre al lettore un'idea globale del lavoro svolto sul sistema di aggancio della macchina di movimentazione orizzontale.

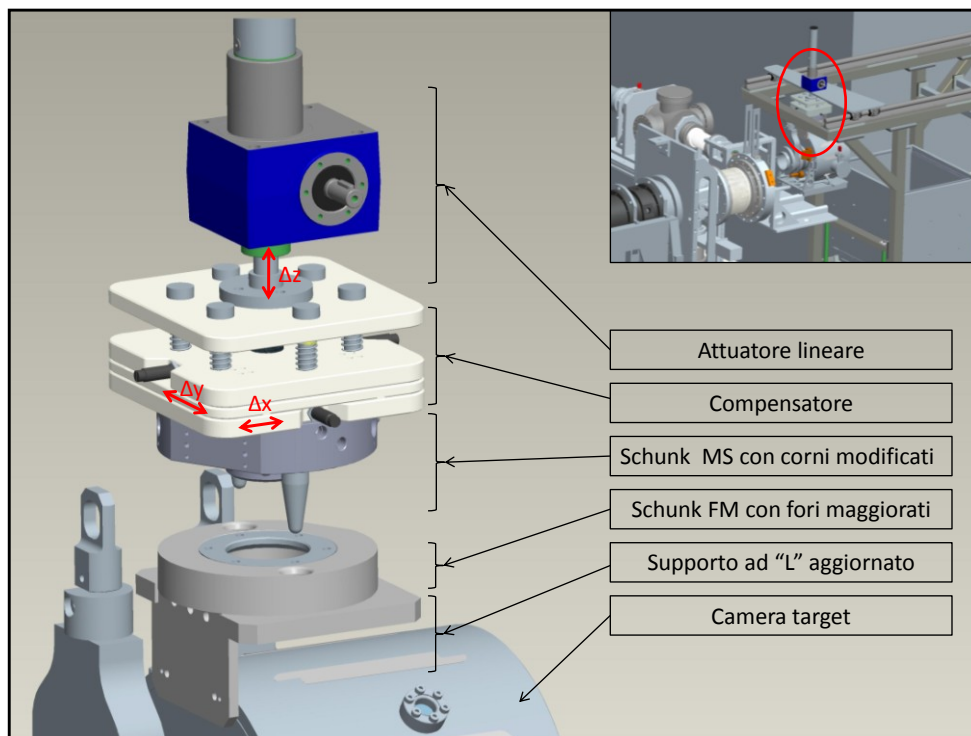


Figura 5. 12 – Complessivo del sistema di aggancio

E' stato già più volte ripetuto come questa zona sia importante, poiché un corretto interfacciamento tra schunk maschio e femmina porta al successo delle operazioni di movimentazione, mentre un errato interfacciamento porta ad un fallimento delle operazioni.

Tale sistema è stato aggiornato nel seguente modo per migliorare la probabilità di portare a termine con successo le operazioni. Per questo motivo è stato inserito un compensatore di quote tra l'attuatore e lo schunk, in modo che l'azione combinata dell'escursione Δx e Δy possano correggere eventuali errori; i corni maggiorati, aumentano il range di errore commetibile; lo schunk femmina, con in fori maggiorati, permette l'accoppiamento con lo schunk maschio modificato; la piastra ad "L" è stata modificata sia per poter bullonare il nuovo schunk, sia per diminuire le lavorazioni per crearla. Si è voluto diminuire le lavorazioni poiché esso viene scartato dopo la produzioni di ioni radioattivi, perché si è contaminato.

5.5 PRODUZIONE DELLE PARTI

I disegni costruttivi delle parti interessate sono vengono eseguiti e ricavati dopo avere eseguito una corretta modellazione delle parti necessarie al funzionamento del sistema. Tutte le tavole relative al compensatore sono state inserite in appendice 7.1. Nel precedente paragrafo si è parlato dei componenti utilizzati e del funzionamento del compensatore, ma non si è parlato di come i membri fissi e mobili fossero stati ottenuti.

Per quanto riguarda in compensatore, le parti modellate secondo le esigenze del progetto sono tre:

- La piastra superiore → ST_HH119_001
- La piastra porta cursori → ST_HH119_002
- La piastra porta guide → ST_HH119_003

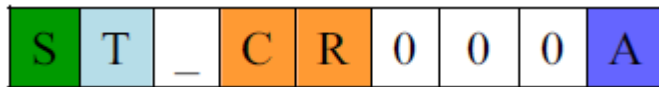
Per quanto riguarda la staffa ad “L” i componenti prodotti sono stati i seguenti:

- Piastra verticale → ST_CR000_018B
- Piastra orizzontale → ST_CR000_022
- Schunk FM modificato → ST_CR000_023
- Anello in acciaio → ST_CR000_024
- Corno nuovo

Le lavorazioni richieste sono state eseguite dalle officine meccaniche presenti ai laboratori nazionali di Legnaro e in parte eseguite da me personalmente, utilizzando una lega leggera di alluminio della serie 6000 per tutti i particolari, tranne che per i corni e per l’anello, i quali sono stati costruiti con acciaio inossidabile AISI 316.

Prima di inviare gli oggetti al reparto di produzione, si è dovuto assegnare alle parti uno specifico codice di codifica per il progetto SPES; il codice assegnato classifica la parte in base al progetto ed alla task operativa che ha progettato la parte.

Esempio:



Nel primo campo una lettera indica l’Esperimento (S: SPES).

Nel secondo campo una lettera indica la Task (T: Target)

Seguono un trattino basso e due lettere che indicano nello specifico quale macrocomponente si sta considerando (in questo caso CR: Target Chamber).

Nel campo seguente la sigla 000 indica che si sta trattando di un macro-componente.

Nell’ultimo campo viene indicata la versione del componente.

Il compensatore descritto appartiene al macrocomponente HH che sta per Horizontal Handling (macchina movimentazione orizzontale) ed in numero 119 denomina proprio l’assemblato compensatore.

Una volta eseguiti tutti i disegni tecnici, contenenti le quote dimensionali, rugosità superficiale, tolleranze dimensionali, e tolleranze geometriche, si è potuto iniziare con la fase di produzione dei componenti necessari per il sistema di aggancio della camera.

Le macchine utensili utilizzate per eseguire i componenti necessari sono state:

- Fresa a controllo numerico.
- Macchina per elettroerosione a filo.
- Tornio parallelo
- Trapano a colonna

Di seguito si riportano alcune fasi che hanno composto la lavorazione dei vari componenti, in alcune delle macchine utensili.



Figura 5. 13 - Esecuzione della fresatura esterna sul componente ST_HH119_002

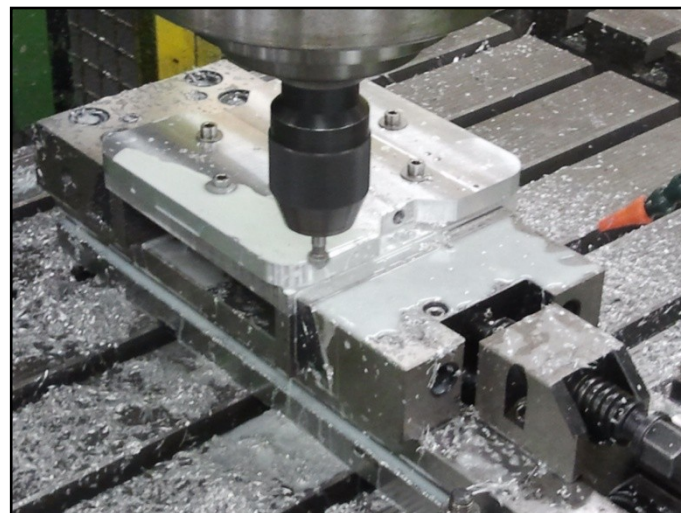


Figura 5. 14 - Esecuzione dello smusso esterno del componente ST_HH119_002



Figura 5. 15 - ST_HH119_002



Figura 5. 16 - Tornitura del componente ST_CR000_024

5.6 ASSEMBLAGGIO

Una volta costruiti tutti i particolari, si è proceduto prima con l'assemblaggio delle parti che compongono in modulo compensatore, poi si è assemblato il tutto al "vertical test bench" in modo da valutare l'effettivo funzionamento dell'oggetto progettato.

Di seguito si riportano le operazioni da compiere per assemblare il compensatore di quote:

- Vincolare, per mezzo di viti M2, le microguide MR7MN al particolare ST_HH119_003.
- Inserire gli otto carrelli MR7MN ed assicurarsi che scorrano con facilità.
- Avvitare i quattro (due su una faccia e due sull'altra) prigionieri M5 sui quattro fori in modo da ottenere la configurazione di fig 5.17

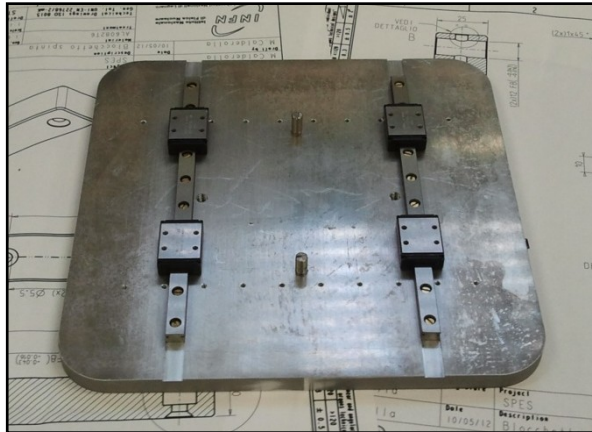


Figura 5. 17 - Assemblaggio microguide su componente.

- Inserire le due molle di richiamo nei fori 10x1 del comp. ST_HH119_002, insieme al tassellino-molla
- Posizionare i cursori all'interasse imposto dai fori del componente ST_HH119_002
- Assemblare il componente ST_HH119_002 per mezzo di 16 viti M2
- Eseguire la stessa procedura sull'altra faccia, ed avvitare i deceleratori negli appositi fori, in modo da ottenere la configurazione di figura 5.18

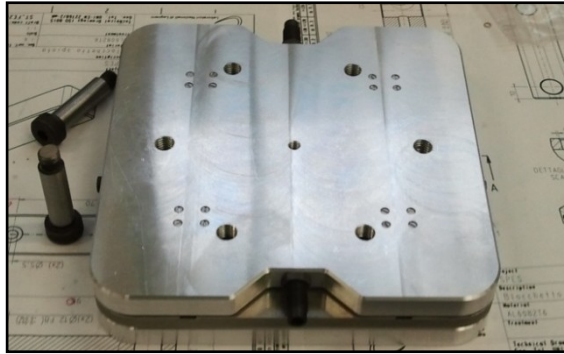


Figura 5. 18 - Fase intermedia dell'assemblaggio

- Inserire per, mezzo di tamponi, le dei boccole in bronzo nel componente ST_HH119_001
- Verificare lo scorrimento e inserire le sei viti spallate M10 all'interno delle boccole.
- Avvitare le sei viti spallate al componente ST_HH119_002 e vincolare lo schunk alla piastra in modo da ottenere la seguente configurazione di figura 5.19

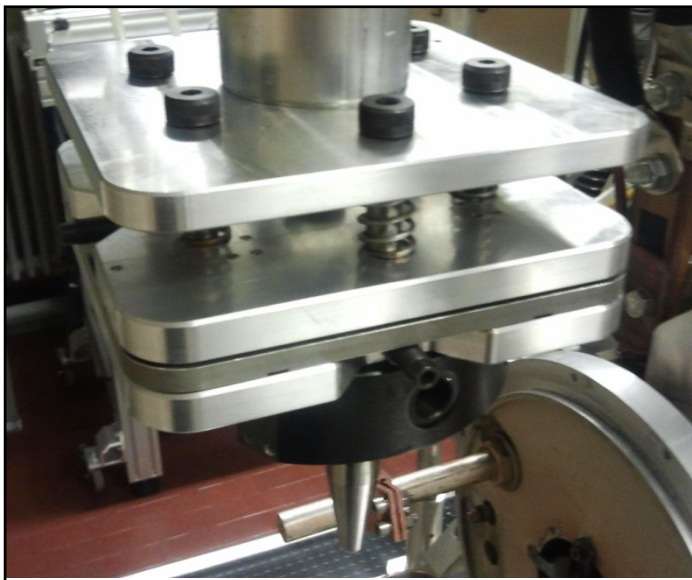


Figura 5. 19 - Schunk e compensatore

Per quanto concerne la piastra ad “L” anch’ essa è stata asesemblata in modo da creare la corretta configurazione per effettuare i test.

In questo caso la procedura di montaggio risulta più semplice e intuitiva, passa attraverso le seguenti fasi:

- Vincola alla C.T. la piastra verticale ST_CR000_018B per mezzo di due viti M6
- Vincolare la piastra orizzontale ST_CR000_022 alla precedente piastra tramite tre viti M8
- Bloccare l’anello d’acciaio ST_CR000_024 allo schunk FM modificato tramite sei viti M6
- Bloccare lo schunk ST_CR000_023 alla piastra orizzontale tramite cinque viti M10

- Ottenere la configurazione di figura 5.20

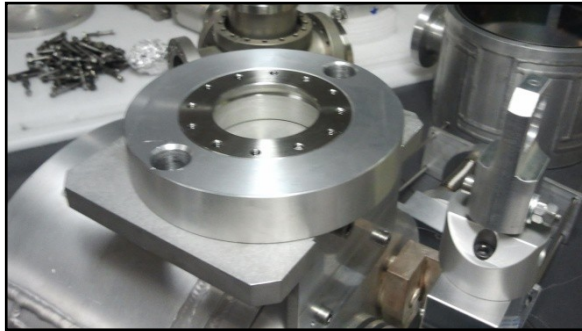


Figura 5. 20 - Schunk e piastra ad "L" montata sulla camera

5.7 TEST DI MOVIMENTAZIONE

I test di movimentazione, del sistema di aggancio, sono stati eseguiti per mezzo del “vertical bench” (fig 5.21) che è situato nel laboratorio dove vengono svolte tutte le procedure sperimentali del progetto SPES.

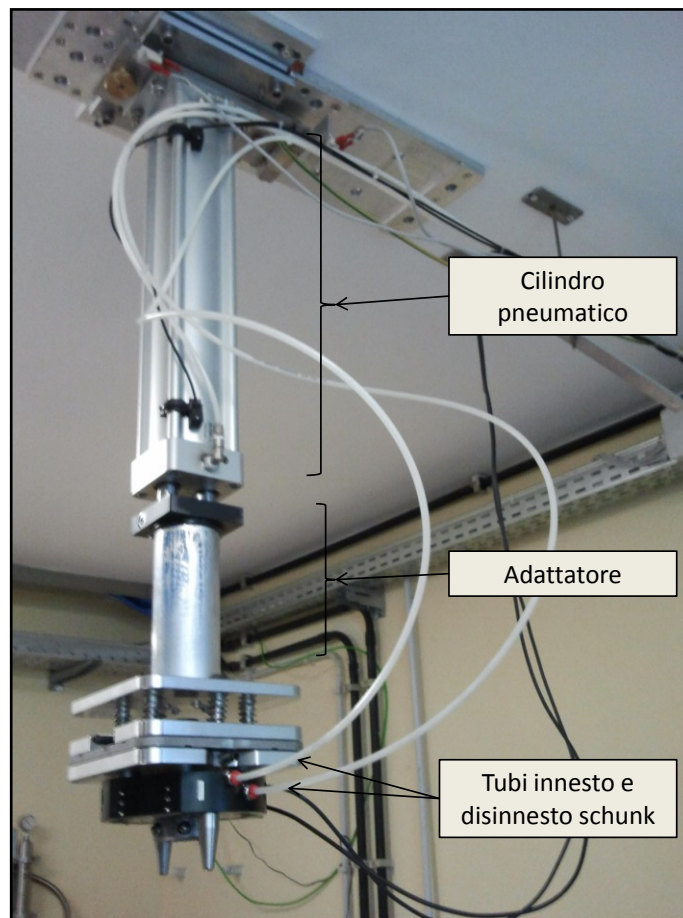


Figura 5. 21 - Vertical bench

il V.B⁸. non è altro che un cilindro pneumatico, saldamente vincolato al soffitto della stanza, che simula la discesa, l'aggancio e la risalita del braccio che in futuro movimenterà la C.T.; la culatta del pistone è vincolata al soffitto tramite delle flange bullonate, mentre la parte mobile, supporta il modulo schunk.

Ovviamente tale cilindro è posizionato il modo che lo schunk maschio sia coassiale allo schunk femmina, ma durante i test, questo posizionamento reciproco è stato alterato in modo da verificare l'effettivo valore del compensatore di quote.

Il test è iniziato col posizionare, in maniera corretta, la camera sulla coupling table come mostrato dalla figura 5.22, e poi si dà il via alla movimentazione automatica, gestita dal PLC, che racchiude le seguenti fasi:

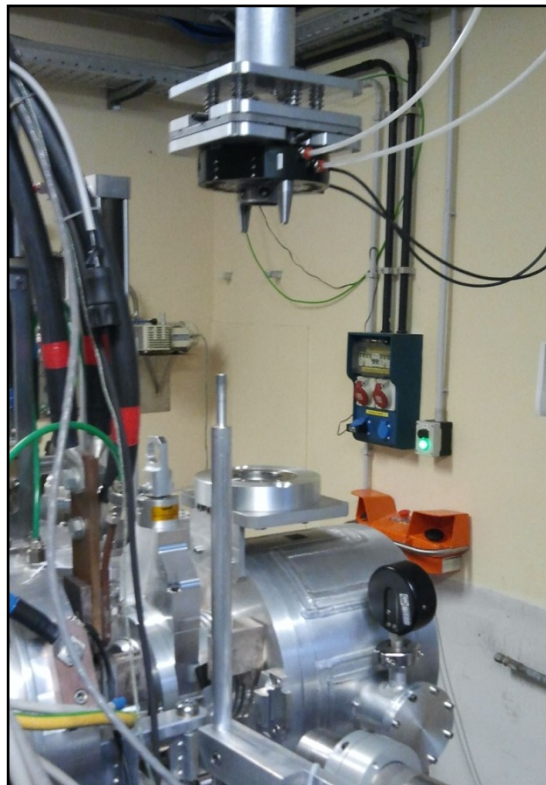


Figura 5. 22 - Configurazione iniziale del test di movimentazione

- Discesa del cilindro ad una quota “z” prestabilita in modo da mandare a contatto le superfici dello schunk.
- Innesto, e quindi aggancio la camera tramite azione pneumatica.
- Verifica dell'innesto tramite sensori posti sullo schunk “maschio”.
- Sollevamento della camera, in modo da simulare il prelievo.
- Riposizionamento della camera target sulla tavola di ammaraggio (coupling table).
- Verifica del corretto posizionamento.

⁸ V.B. :vertical bench

- Sollevamento del cilindro per riportarlo in posizione iniziale.

La procedura appena descritta è del tutto identica a quella che poi la macchina di movimentazione verticale eseguirà nella realtà futura, perciò se al banco dei test non si sono verificati degli errori, si presume che la procedura avrà buon esito anche nella fase effettiva.

La procedura è stata eseguita più volte e variando il posizionamento reciproco tra attuatore e camera con i seguenti risultati:

per piccoli errori di posizionamento, l'attuatore lineare riesce sempre a prelevare la camera target ed a riposizionarla nella maniera corretta. Per piccoli errori di posizionamento si intende un disallineamento, tra gli assi delle sezioni dello schunk, di $\pm 5\text{mm}$ in direzione "x" e "y".

Difatti, questo scostamento, è conseguenza della conicità del corno di centraggio dello schunk, infatti il fallimento delle procedure automatiche dipende solamente dall'effettivo inserimento dei corni, nei fori di centraggio.

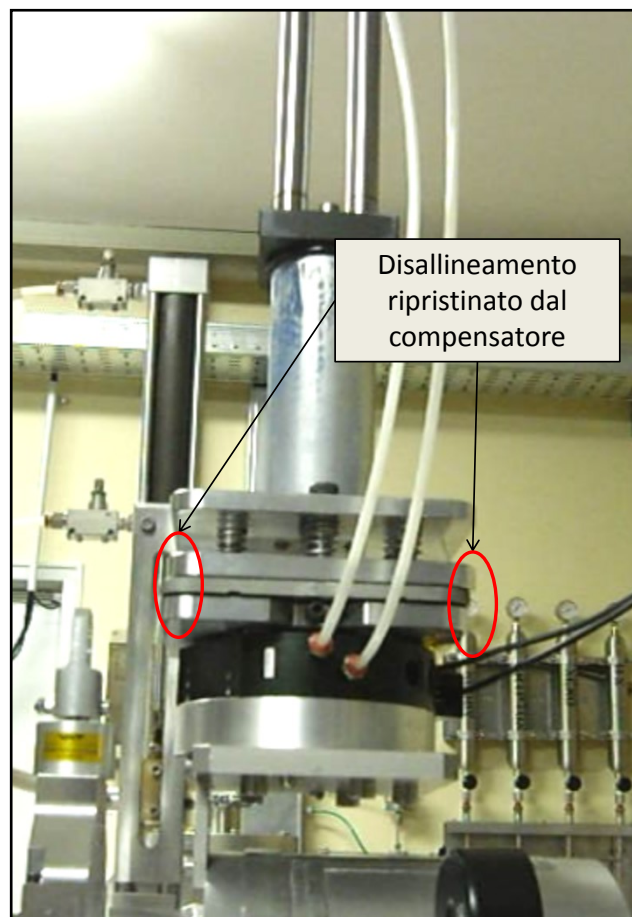


Figura 5. 23 - Effettivo funzionamento del compensatore

Dalla figura 5.23 si può apprezzare, effettivo funzionamento dell'oggetto progettato; infatti si nota come un disallineamento della camera venga corretto dal compensatore, e poi ripristinato nella fase di sollevamento della camera.

CONCLUSIONI

6.1 INTRODUZIONE E RIEPILOGO LAVORO SVOLTO

Con il presente lavoro di tesi si è posto l'obiettivo di sviluppare un sistema di movimentazione orizzontale, che dovrà collocarsi all'interno dell'infrastruttura dove avvengono le reazioni nucleari, chiamata "bunker zone". Perciò dovrà collocarsi in un ambiente fortemente radioattivo, in cui c'è la necessità assoluta di operare con sistemi meccanici e macchinari automatizzati che posseggano una elevata affidabilità progettuale. Dal punto di vista ingegneristico, si è dovuto analizzare e vagliare molteplici soluzioni costruttive, andando a selezionare la configurazione che garantisse poi, un ottimo compromesso tra affidabilità e efficienza, nel rispetto dei vincoli progettuali imposti inizialmente.

Nel caso della macchina di movimentazione orizzontale, si è progettato un veicolo elettrico, in grado di muoversi su di una superficie planare, con una autonomia imposta, ed in grado di supportare un sistema ausiliario che è stato appositamente progettato per movimentare la camera target al di sopra del veicolo.

Oltre alla progettazione del veicolo elettrico, si è svolto un lavoro di upgrade del sistema di aggancio tra la camera target ed l'attuatore lineare posto sulla M.M.O.. In particolare, è stata modificata la piastra ad "L" che sosteneva l'aggancio rapido schunk sulla camera target, ed è stato progettato un compensatore di quote da installare tra schunk maschio e attuatore verticale della M.M.O. in modo da incrementare la possibilità di agganciare la C.T. correttamente.

Ovviamente l'aspetto economico esige la sua particolare considerazione, vista la sempre più scarsa reperibilità di fondi economici per poter progredire con la ricerca scientifica.

6.2 REALIZZAZIONE DELLE PARTI

Come esposto nel terzo capitolo, il veicolo elettrico è realizzato utilizzando materiali di facile reperibilità e facilmente lavorabili per mezzo di lavorazioni alle macchine utensili. Perciò il telaio base, il sostegno del sistema di guida su rotaia, e tutti componenti quali piastrine, alberini, perni, boccole, distanziali, possono essere realizzati all'interno dell'officina presente ai laboratori nazionali di Legnaro.

Altri componenti, come le motoruote, motoriduttori, cuscinetti, e viti trapezoidali, sono stati scelti da catalogo e si presume quindi che la loro disponibilità sia garantita.

Il compensatore di quote invece è stato effettivamente costruito all'interno dell'officina attraverso lavorazioni di fresatura, tornitura, e foratura.

All'interno di questo elaborato sono presenti in appendice tutte le tavole tecniche per poter realizzare ogni singola parte.

6.3 UTILIZZO AFFIANCATO AD UN AGV

Il progetto SPES ha come obiettivo la produzione di fasci radioattivi ogni quindici giorni, e per fare ciò sono progettate due infrastrutture speculari, bunker "A" e "B", in modo che la produzione si alterni.

Per conseguire questo obiettivo si è pensato di installare nelle due zone, due differenti macchine di movimentazione orizzontali, in modo da avere una ridondanza di movimentazione, in caso di eventuali criticità.

Ovviamente l'AGV dovrebbe svolgere le stesse mansioni del veicolo elettrico, perciò sarà dotato anch'esso del sistema ausiliario per posizionare la camera target sulla tavola di ammaraggio, avrà un'autonomia di circa due ore, e dovrà disporre di tutte le "power sources" necessarie al sistema ausiliario.

Il veicolo AGV sarà dotato di un sistema di inseguimento di una banda magnetica incollata al pavimento in modo da definire la traiettoria di lavoro all'interno della bunker zone, ma sarà anche possibile movimentarlo in modalità manuale, tramite joystick.

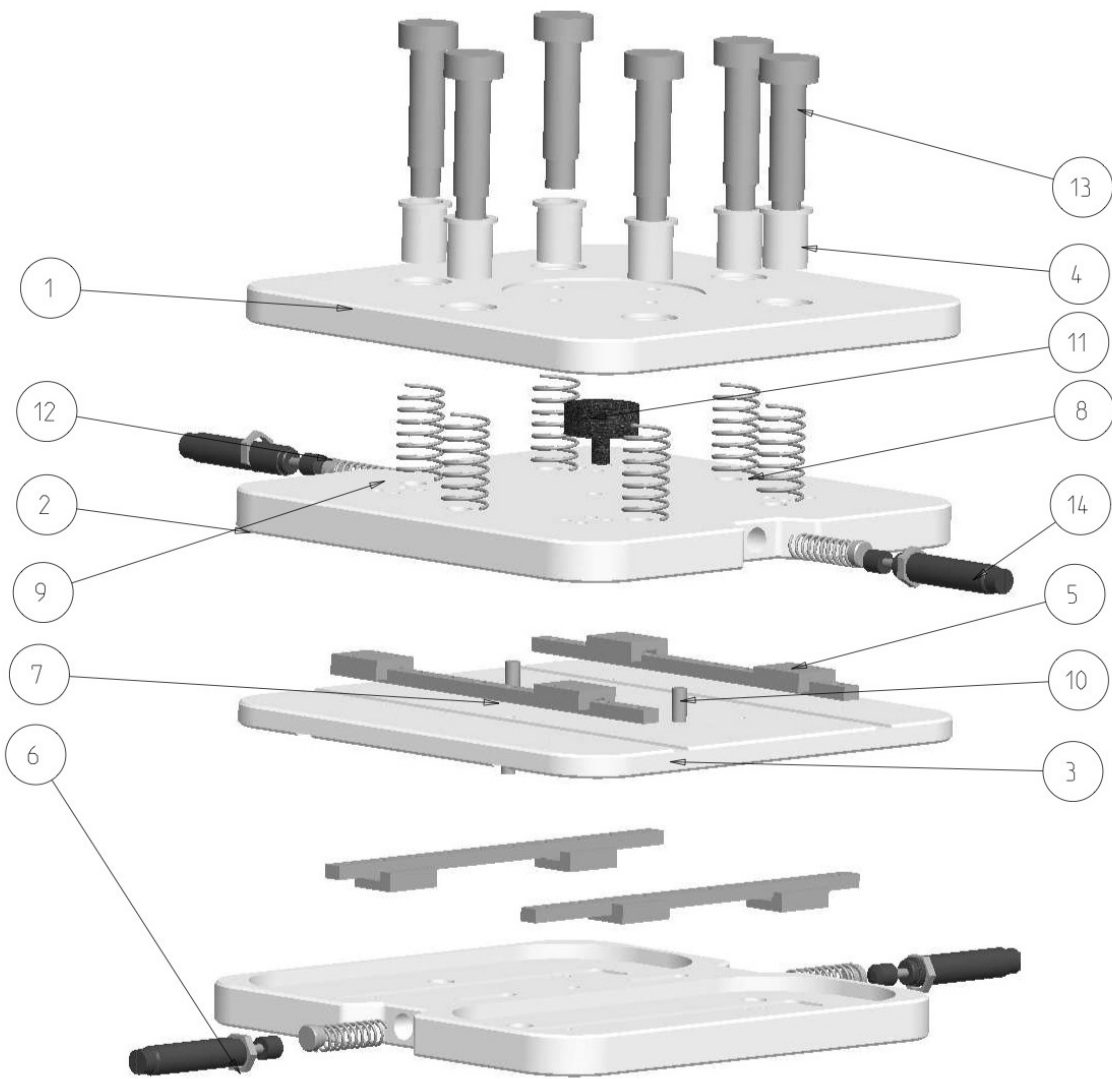
APPENDICE

7.1 TAVOLE TECNICHE COMPENSATORE

In questa sezione vengono riportati tutti i disegni tecnici degli assemblati e dei particolari che sono stati prodotti all'interno dell'officina dei laboratori di Legnaro, in modo che in un prossimo futuro si possa avviare la produzione senza particolari problematiche.

Per semplicità, all'interno di questo elaborato, sono state inserite solo le tavole tecniche dei componenti progettati per l'upgrade del sistema di aggancio della camera target, quindi le tavole relative al compensatore ed alla staffa ad "L" con lo schunk.

UNI-EN 22768/1-m Tolerances for linear and angle individual tolerances indicated on mechanical or technical designs			
<= 6	>6 <=30	>30 <=120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
± 2°			



Pos.	Drawing N.°	Description	Q.ty	Material
14	ACE_MA50EUM		4	
13	VITE_SPALLATA_M10X30		6	SS
12	TASSELLINO_MOLLA		4	SS
11	REGGISPINTAELASTICOD25		1	SS
10	PRIGIONIERO_M5		4	SS
9	MOLLA_INTERNA		4	SS
8	MOLLA_DINT12		6	SS
7	GUIDE_MR7MN		4	SS
6	GHIERAD10		4	SS
5	CARRELLOMR7MN		8	SS
4	BOCCOLA_12_15_12		6	BRONZE
3	ST_HH119_003		1	AL6061
2	ST_HH119_002		2	AL6061
1	ST_HH119_001		1	AL6061


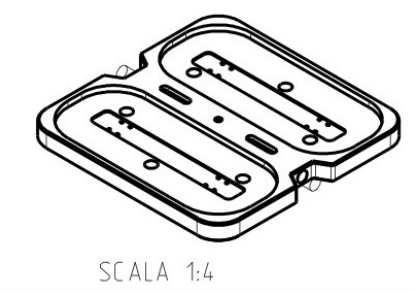
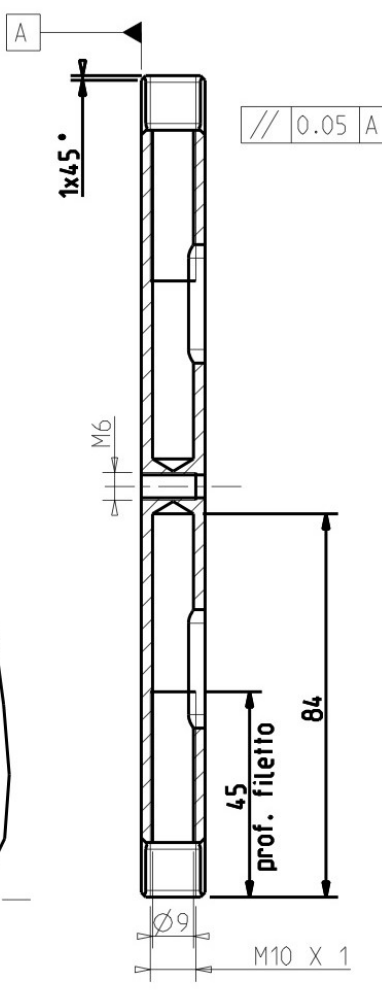
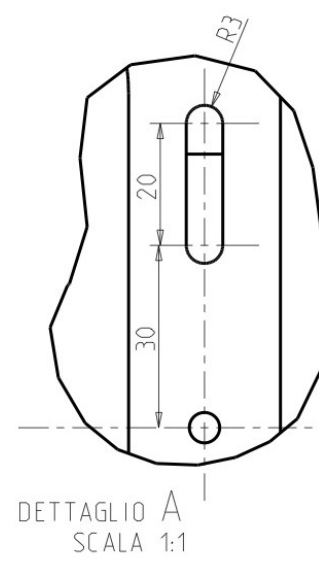
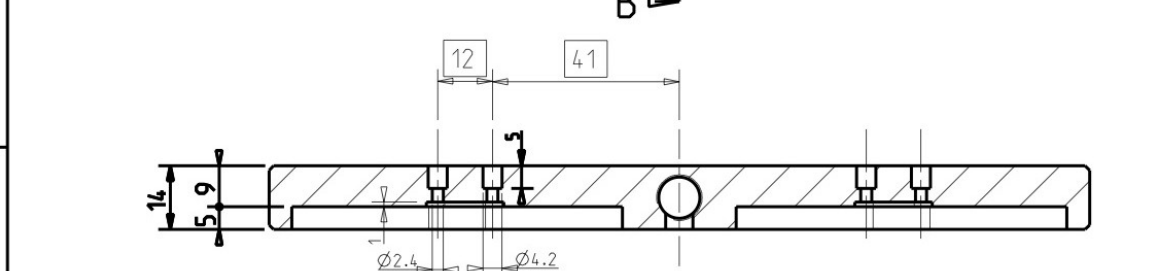
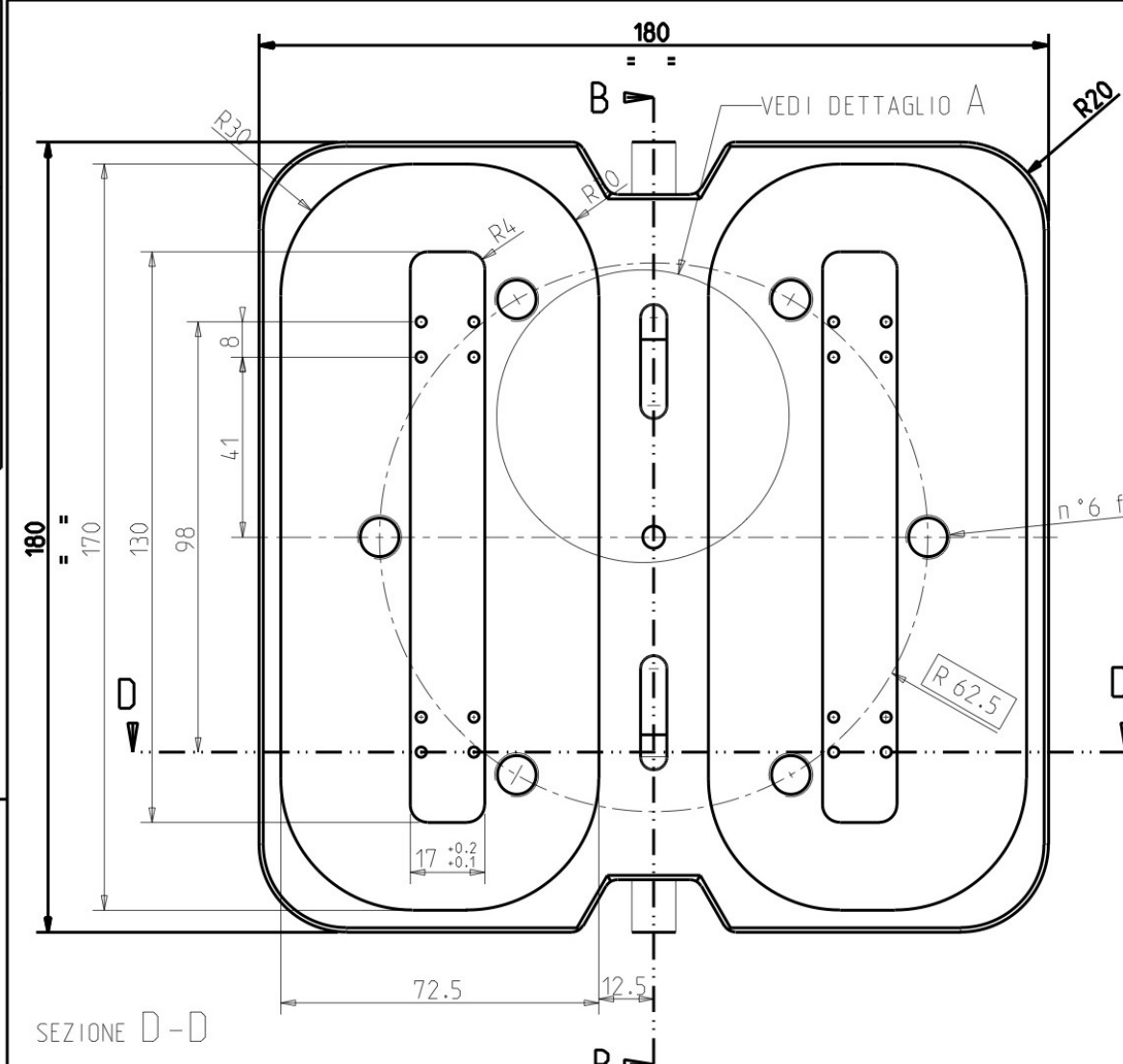
Designed by: M. Vagnoni	Signature	Project SPES
Drawn by: M. Vagnoni	Date	Description
 INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Material
		Gen. surf. finish
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Scale 1:2
		Moss (kg) Frm. 0.00 A3
		Drawing N° ST_HH119
		Rev. 0

Tavola 7. 1 -ST_HH119

UNI-EN 22768/1-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indicators mechanical organs technical designs	
<= 6	± 0.1
> 6 <= 30	± 0.2
> 30 <= 120	± 0.3
> 120	± 0.5
> 2	± 2°




Designed by: M. Vagnoni	Signature	Project SPES
Drawn by: M. Vagnoni	Date 13-11-12	Description
 INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2
	Treatment	Scale 3:4
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Mass (kg) 0.82
Drawing N° ST_HH119_002		Rev. 0

Tavola 7. 2 - ST_HH119_002

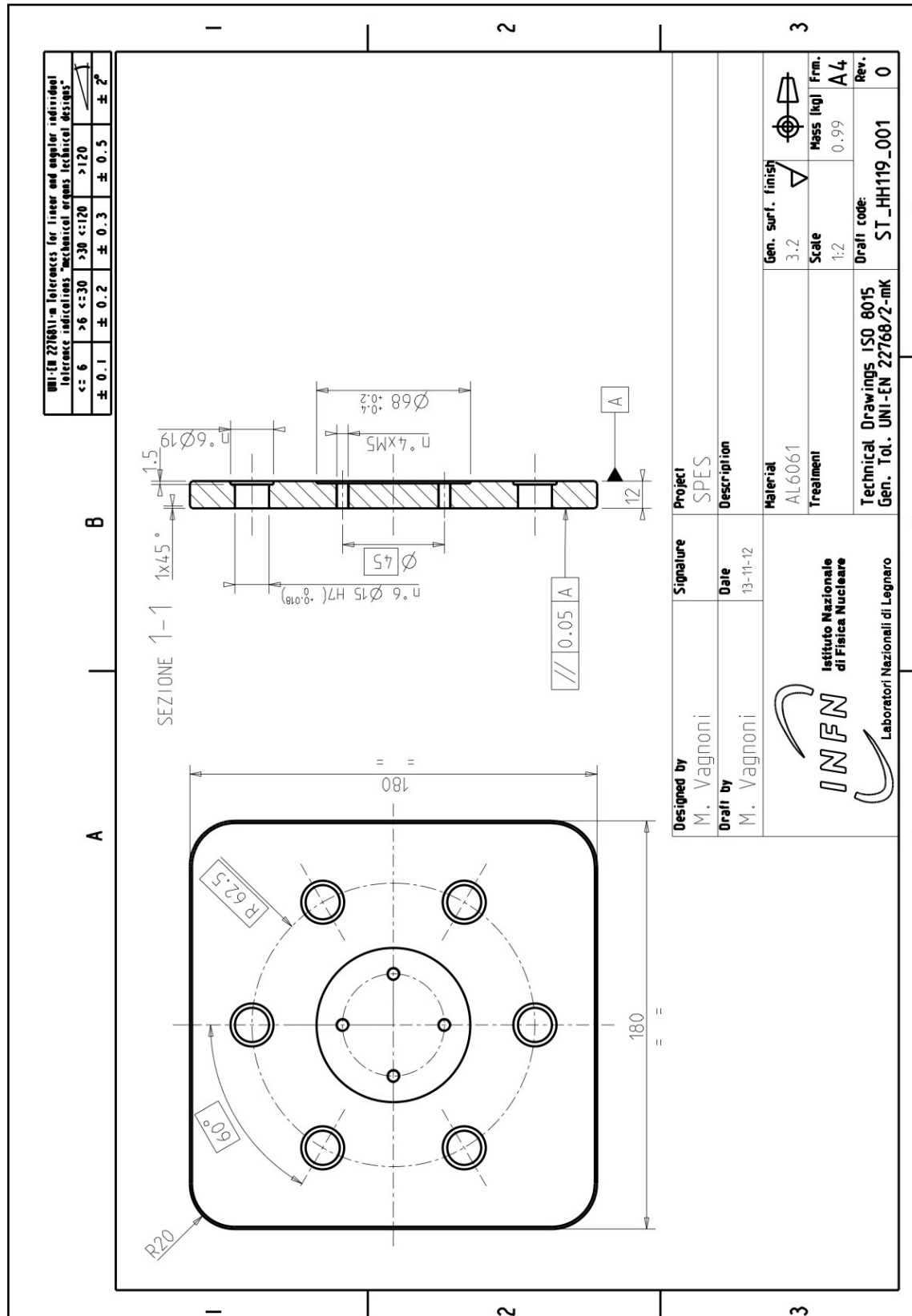


Tavola 7. 3 - ST_HH119_001

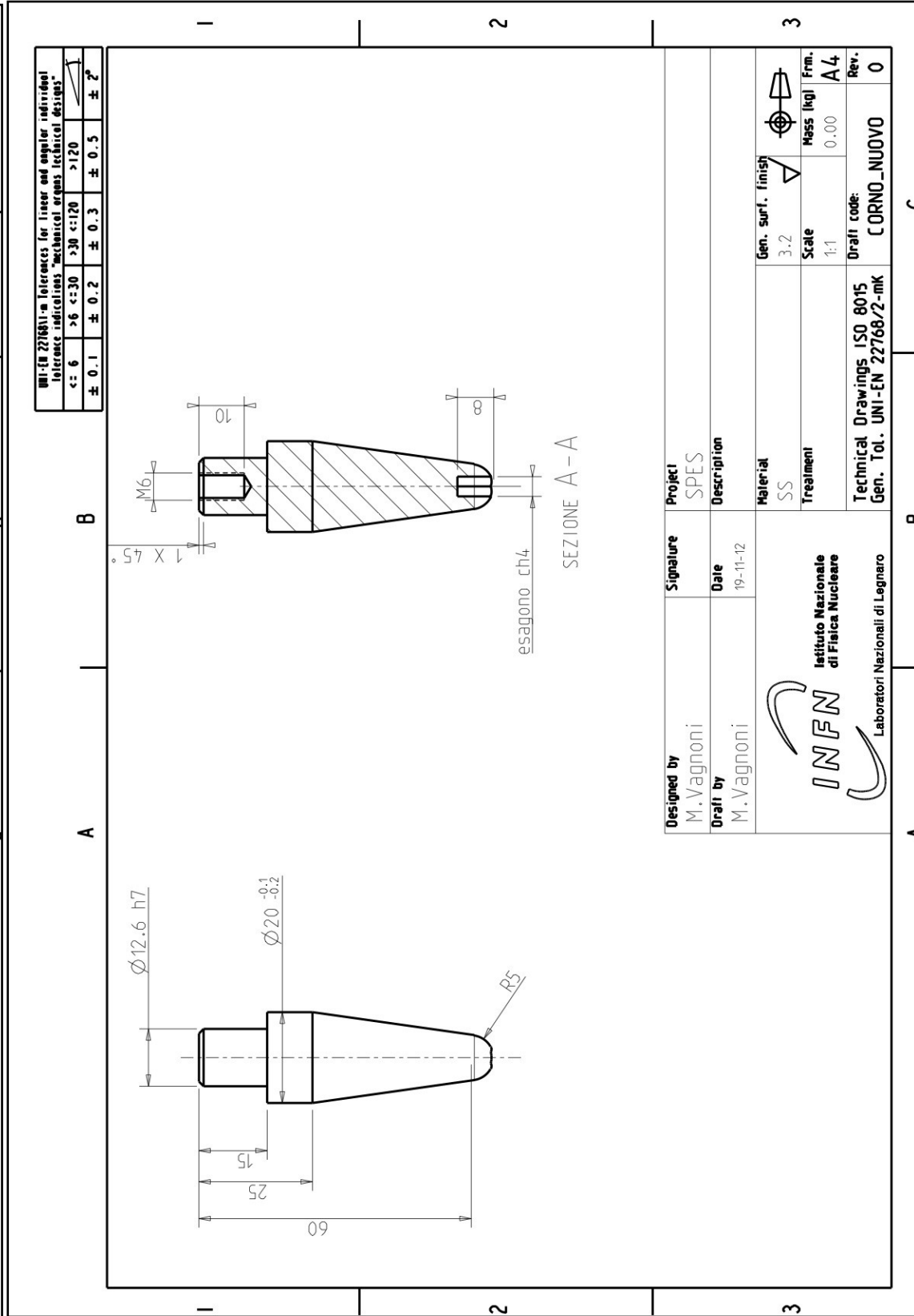
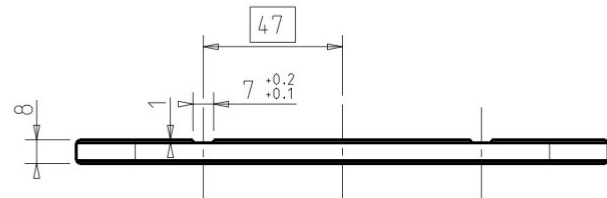
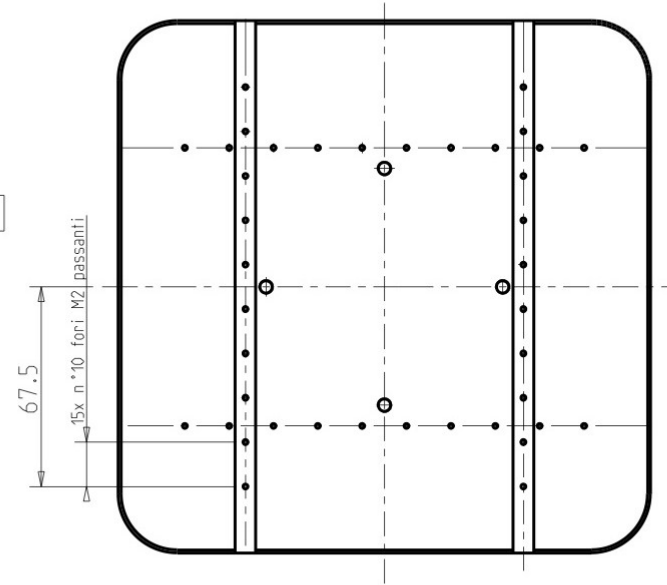
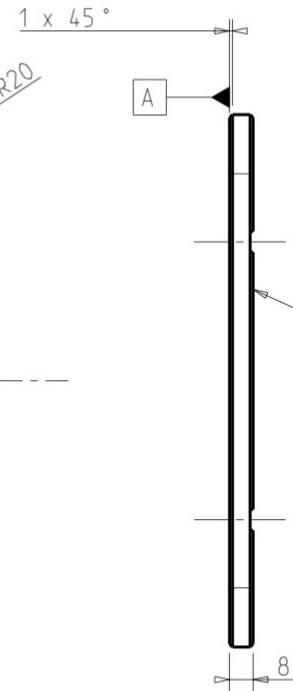
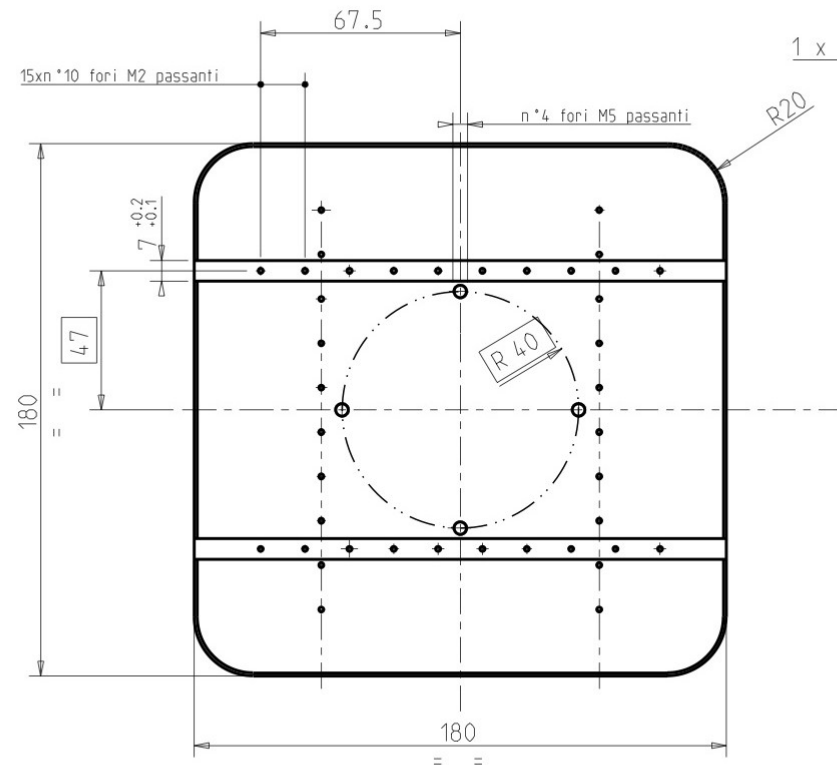


Tavola 7. 4 - Corno nuovo

UNI-EN 22768/2-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indicators, mechanical areas technical designs			
<= 6	<= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
± 2°			





Designed by: M. Vagnoni	Signature	Project SPES		
Drawn by: M. Vagnoni	Date 13-11-12	Description		
 INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2		
	Treatment	Scale 1:2	Mass (kg) 0.68	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HH119_003	Rev. 0	

Tavola 7. 5 - ST_HH119_003

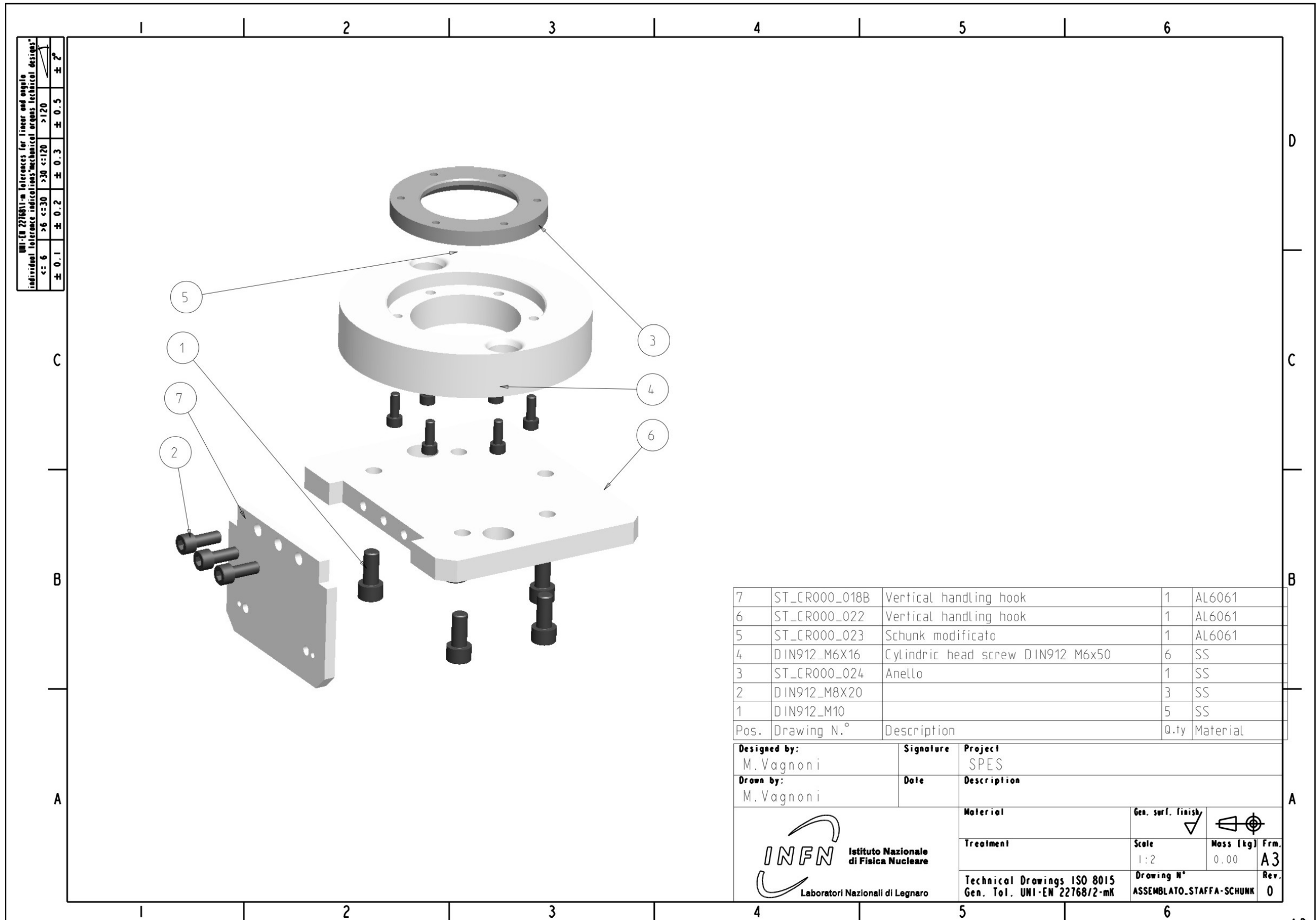
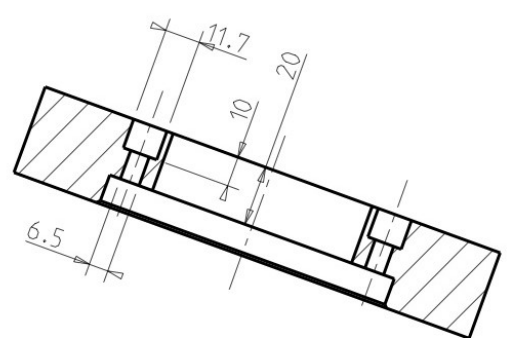
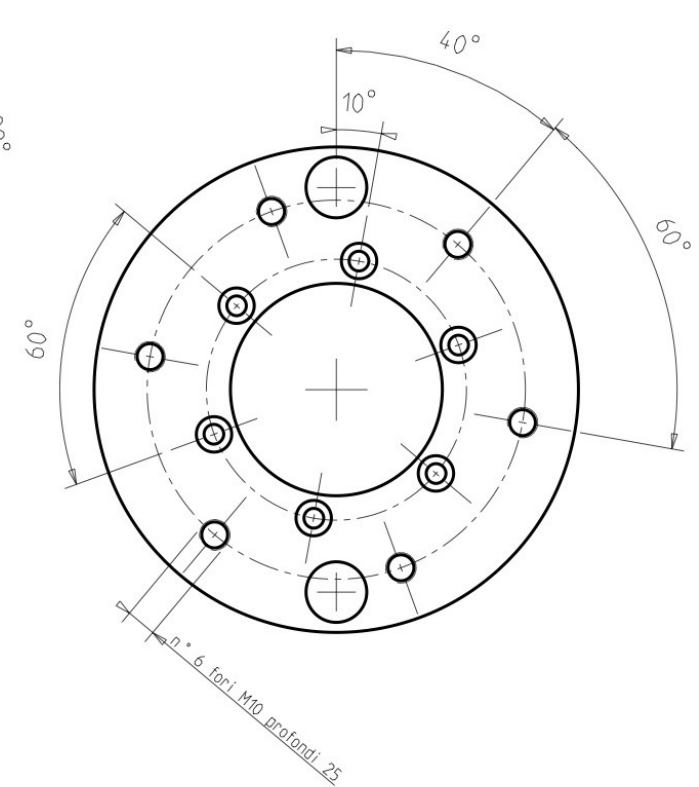
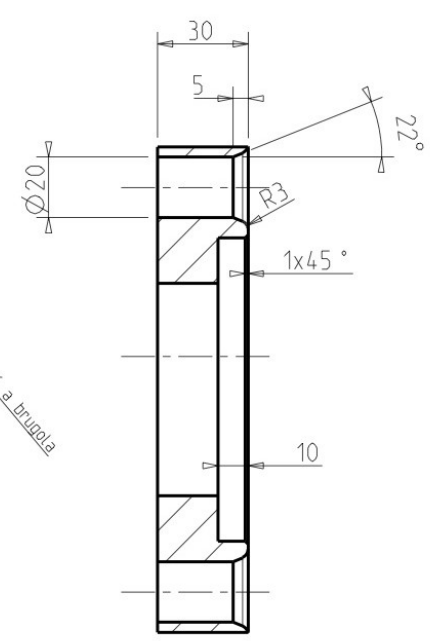
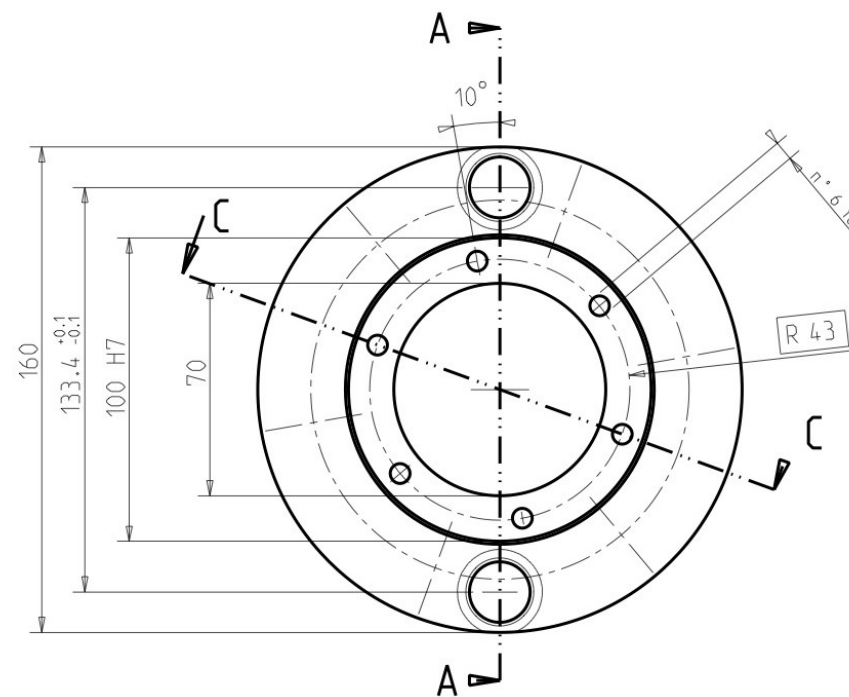


Tavola 7. 6 - Esploso staffa e schunk

UNI-EN 22768/1 in tolerances for linear and angle individual tolerance indications "mechanical design"			
<= 6	> 6 <= 30	> 30 <= 120	> 120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5



SEZIONE A-A

SEZIONE C-C


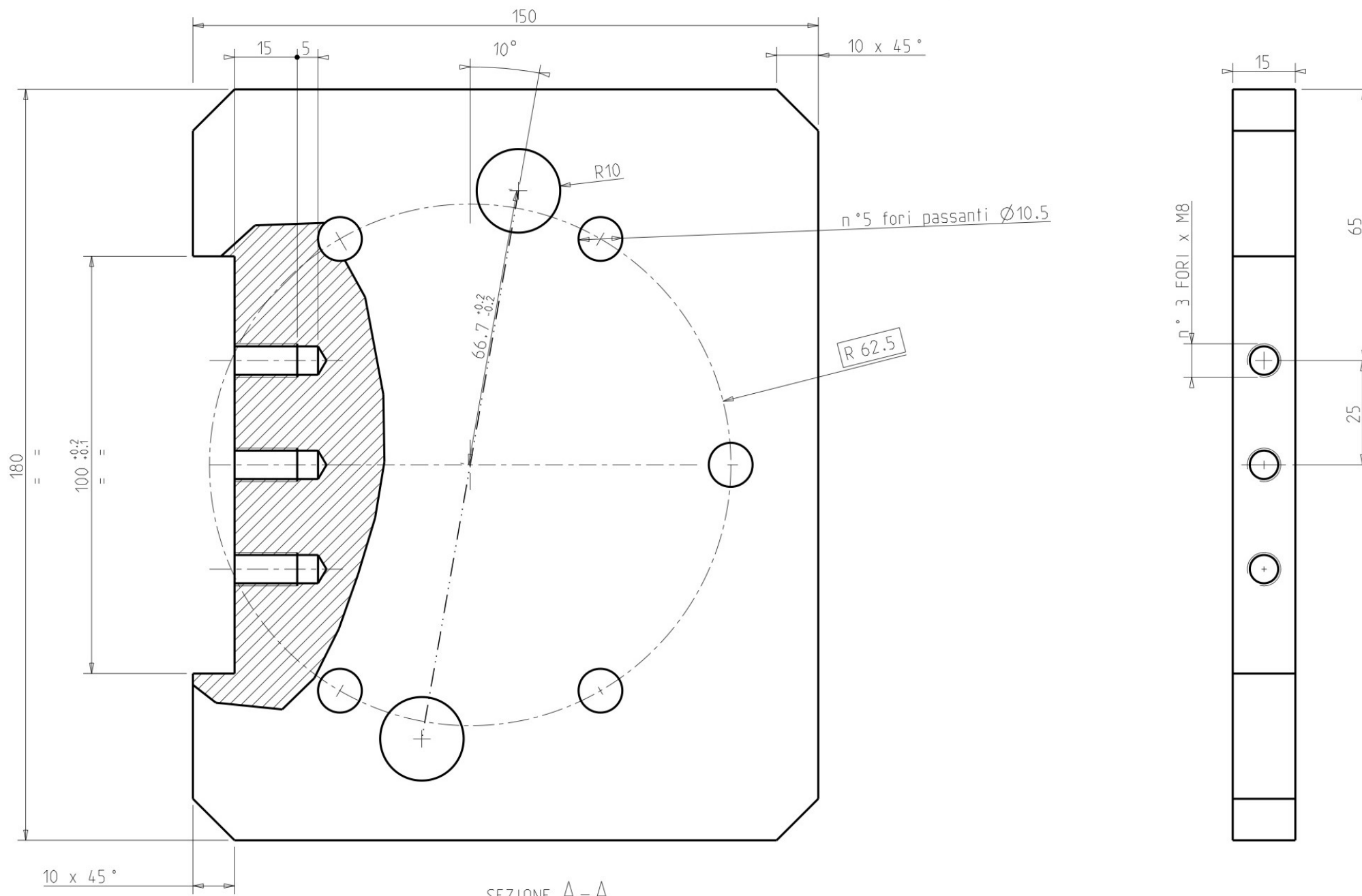
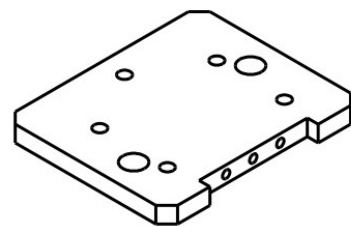
Designed by: M. Vagnoni	Signature	Project SPES	
Drawn by:	Date 20-11-12	Description Schunk modificato	
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2	
	Treatment	Scale 3:4	
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_CR000_023	Mass (kg) Frm. 1.11 A3
		Rev. 0	

Tavola 7. 7 - ST_CR000_023

UNI-EN 22768/1-m Tolerances for linear and angle individual tolerance indications "mechanical design"			
<= 6	>6 <=30	>30 <=120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5



SEZIONE A-A



SCALA 1:4



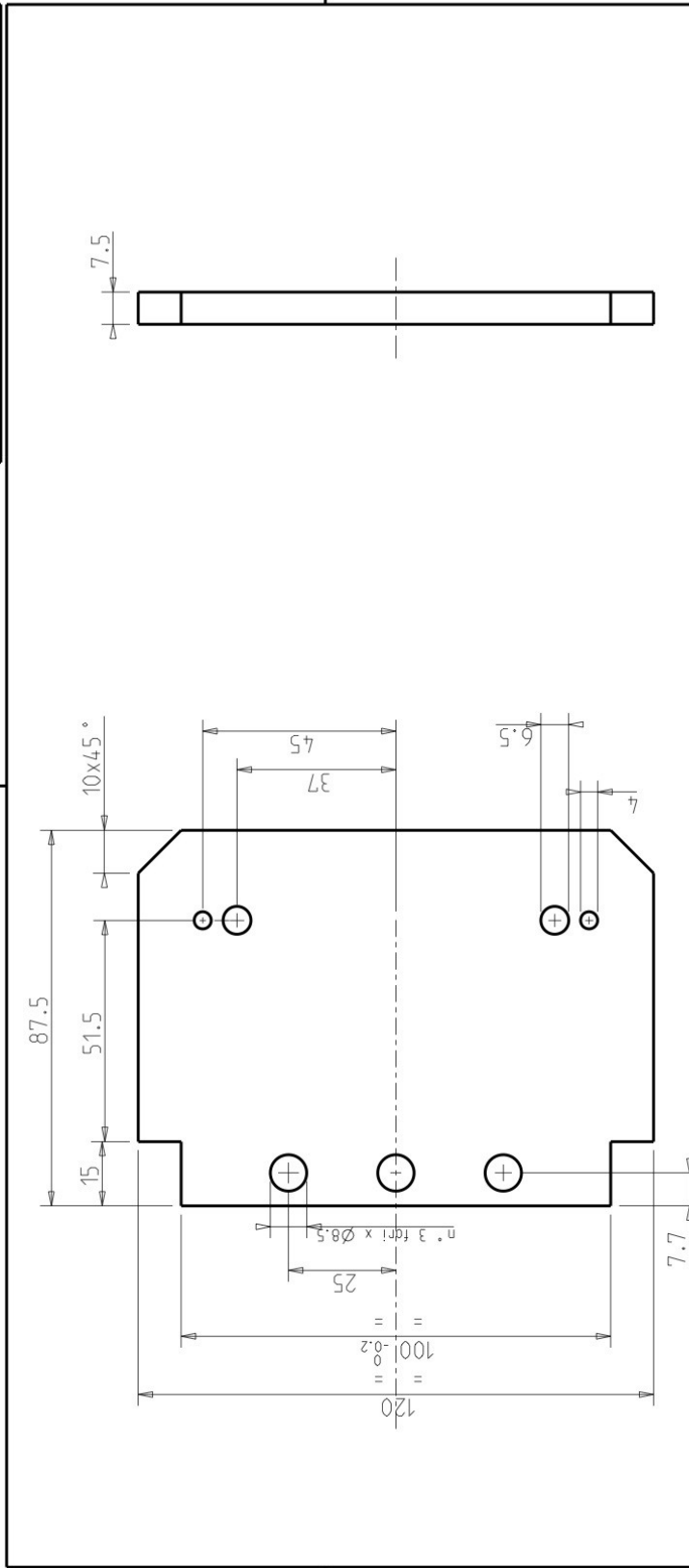
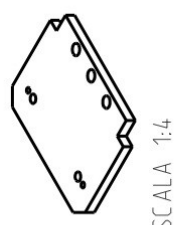
Designed by: M. Vagnoni	Signature	Project SPES	
Drawn by: M. Vagnoni	Date 13-11-12	Description Vertical handling hook	
 INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2	
	Treatment	Scale 1:1	
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Drawing N° ST_CR000_022	Frm. A3 Rev. 0

Tavola 7. 8 - ST_CR000_022

UNI-EN 22768/1-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"		
≤ 6	> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 120
± 0.1	± 0.2	± 0.3
± 0.5	± 0.5	± 2°



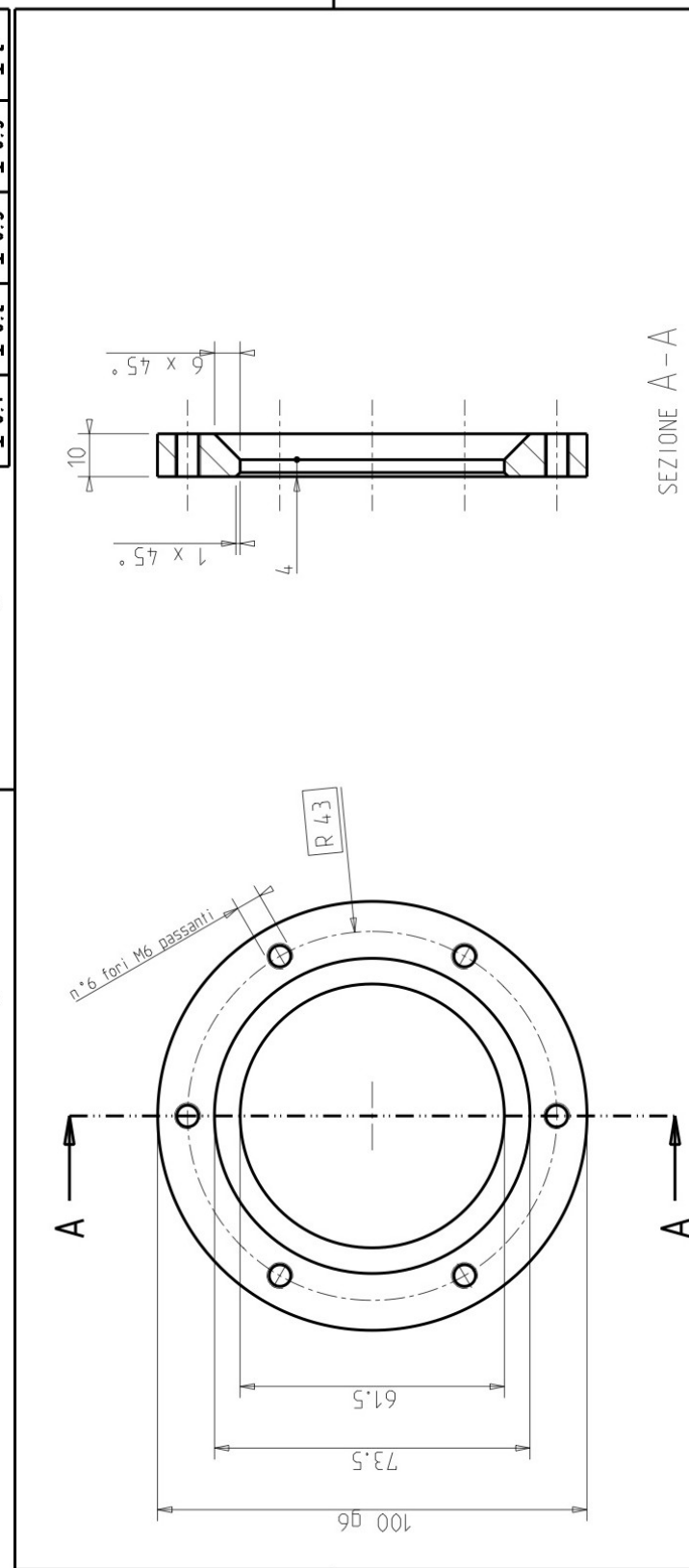
Designed by M. Vagnoni	Signature	Project SPES
Draft by M. Vagnoni	Date 13-11-12	Description Vertical handling hook
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3:2
	Treatment	Scale 3:4
	Mass (kg) 0.20	Form. A4
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mk		Draft code: ST_CR000_018B
		Rev. 0



SCALA 1:4

Tavola 7. 9 - ST_CR000_018B

UNI-EN 22768/1-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"		
≤ 6	> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 120
± 0.1	± 0.2	± 0.3
± 0.5	± 0.5	± 2°



Designed by M. Vagnoni	Signature	Project SPES
Draft by M. Vagnoni	Date 19-11-12	Description Anello
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material SS	Gen. surf. finish 3:2
	Treatment	Scale 3:4
	Mass (kg) 0.35	Form. A4
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mk		Draft code: ST_CR000_024
		Rev. 0

SEZIONE A - A

Tavola 7. 10 - ST_CR000_024

7.2 REPORT ECONOMICO

Come accennato nel capitolo precedente, il fattore economico ha inciso spesso sulle scelte effettuate durante la progettazione, ed è un aspetto che non deve essere trascurato, poiché il rapporto qualità/prezzo incide sempre sull'opinione di un consumatore ragionevole.

Inoltre, si vuole fornire un'idea su quale cifra bisogna investire per realizzare il veicolo elettrico progettato, in modo da rendere questo lavoro di tesi il più completo possibile.

Questo preventivo, è stato redatto, inserendo i valori ricavati dal listino prezzi dei componenti utilizzati; nel caso in cui non si conoscessero bene le quantità utilizzate o i prezzi per componente, si è stimato un costo.

Veicolo elettrico:

<i>TIPOLOGIA DI PRODOTTO</i>	<i>COSTO [€]</i>
Motoruote e ruote varie	4000
Acciaio: Tubi, piatti, profilati vari	1000
Motoriduttori e viti trapezie	500
PLC	3000
Cofanature varie	1500
Sistema di controllo + batterie + caricabatterie	1500
Sistemi di sicurezza e sensori	1000
Impianto pneumatico	500
Impianto elettrico	1000
Viteria ed altri accessori	500
TOTALE	<hr/> 14500 €

Ovviamente questo report economico è riferito al costo vivo del materiale, e non considera i costi di lavorazione e di manodopera che si devono impiegare per costruire il veicolo.

Per l'acquisto del materiale impiegato per la costruzione del compensatore di quote, si è speso all'incirca 450 € per il seguente materiale:

deceleratori, micro guide, viti spallate, boccole di scorrimento, molle e reggispinta elastico.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFIA

- [0] Sito ufficiale spes, www.lnl.infn.it/~spesweb
- [1] Michele Calderolla, tesi *“Progettazione e controllo della macchina di movimentazione del bersaglio per il progetto SPES”*.
- [2] Metalrota srl , catalogo *“motoruote sterzanti”*, www.metalrota.it
- [3] Servomech spa *“Attuatori lineari e martinetti meccanici”*, www.servomech.it
- [4] Blickle, catalogo *“prodotti”*, www.blickle.it
- [5] Giancarlo Genta, *“Meccanica dell’autoveicolo”*, Levrotto e Bella, 2000
- [6] Transtecno, catalogo *“Motoriduttori Robin”*, www.transtecno.com/it/
- [7] ACE, catalogo *“Industrial gas spring”*, www.acecontrols.co.uk
- [8] NARDI COMPRESSORI,catalogo *“unità pomanti”* , www.nardicompressori.com
- [9] SMC, catalogo *“airline equipment”*, www.smcusa.com
- [10] RS component, www.it.rs-online.com
- [11] PATLITE, catalogo *“prodotti”*, www.patlite.it
- [12] Masautomazione srl, catalogo *“Bumber di sicurezza”*, www.masautomazione.it
- [13] Elecktrosystem srl, catalogo *“prodotti”*, www.elektrosistem.com/i/home.htm
- [14] Direttiva macchine, DPR 459/1996
- [15] Oppo , catalogo *“Profilati metallici”* ,www.oppo.it
- [16] B.Atzori, *“Appunti di costruzioni di macchine”*,Cortina, Padova, 2001
- [17] Giuliano Alfano, *“ Appunti di scienza delle costruzioni “*, anno accademico 2004 - 2005
- [18] UNI, CNR-UNI10011, *“Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione”*, Giugno 1988
- [19] Ettore funaioli, Alberto Maggiore, Umberto Meneghetti, *“Lezioni di meccanica applicata alle macchine”*, Patron, Ottobre 2006.
- [20] NEFF, catalogo *“Azionamenti a vite”*, www.neffaa.com
- [21] P. Eshmann, L. Hasbargen, K. Weigand, R.Suzzani, *“I cuscinetti volventi”*, 1983
- [22] Zeneri Acciai, catalogo *“ Acciai per molle”*, www.zeneri.com/italian/index.htm
- [23] Ct Meca, catalogo componenti, www.ctmeca.com/vitnw/
- [24] Emmetecno, catalogo *“Motoprecision”*, www.emmetecno.it
- [25] ACE, catalogo *“Industrial Shock Absorber”*, www.ace-ace.com
- [26] V.Cossalter, dispensa di *“ Meccanica Applicata Alle Macchine 2”*, 2009-2010

RINGRAZIAMENTI

Alla mia famiglia, per avermi sostenuto economicamente nel corso di questi anni, e per avermi invitato sempre al massimo impegno, e per avermi incoraggiato nei momenti difficili. Avete atteso molto per questo momento, ma alla fine è arrivato!!! Grazie.

Ad uno dei miei migliori amici, Fabio con cui ho iniziato il corso di studi, da quasi estranei, e con cui ho trascorso degli anni fantastici... sempre insieme, sempre coinquilini... sostenendoci a vicenda nei momenti tristi, ma condividendo e festeggiando spesso in maniera goliardica ed esplosiva ogni successo!!!Avrei molte altre cose da dirti per cui ringraziarti... ma ne voglio ricordare una sola... tutto quello che fai x2!!!!

Al mio ex-coinquilino Gallò, con cui ho condiviso insieme a Fabio 3 anni stupendi... mi mancheranno i tuoi ricchi pasti...a base di pommadore e insalatina...!mi mancheranno anche i tuoi consigli da esperto di futsal...dai diciamolo...hai tirato fuori il fenomeno che c'era in me!!!

A Lucia, che mi ha incoraggiato ed allo stesso tempo insultato in tutti i miei momenti di svogliatezza e sfiducia verso le difficoltà incontrate...a volte avrei voluto avere la tua determinazione e la tua grinta!

A Loredana, che nonostante in quel periodo eri una rompib... sei riuscita a convincermi a non lasciare gli studi...! a distanza di anni il tuo sforzo è stato ricompensato!!!!Grazie!

A Francesca, che mi ha consigliato e aiutato in questo periodo finale di tesi, dove il tempo stringe e l'ansia sale! Grazie soprattutto perché nonostante tutti i tuoi impegni (come disse un amico gli esami della vita non finiscono mai!) m'hai corretto la tesi... quindi se è scritta male sapete a chi dare la colpa!!!!

Ad Alberto Andrighetto, a Michele Lollo, a Michele Calderolla e tutti i colleghi/amici che ho conosciuto ai laboratori di Legnaro!!grazie per avermi accompagnato in questo lavoro finale! Siete stati come una famiglia! (Calde ricorda...come diceva il mio vecchio amico Palmizio... meno c'è... meno si rompe!!!)

A tutti gli amici che hanno fatto parte e non, del mio periodo di studi come Sbaffo, Bocchetti Moro Mattia, Ferdi, Robberti, Massi, Serpa, Orto, Cristian, Mala, Marco dico: "Il bere non è una necessità del corpo...ma lo è della mente...!!"brindiamo a questo indimenticabile giorno!!!

Grazie!

