UNIVERSITÁ DEGLI STUDI DI PADOVA
Facoltà di Scienze MM.NN.FF.
Facoltà di Ingegneria

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Legnaro

in collaborazione con CONFINDUSTRIA VENETO

Tesi di MASTER in
"Trattamenti di Superficie per l'Industria"

DESIGN, PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE DI UN IMPIANTO DA SPUTTERING PER DEPOSIZIONE SU SUBSTRATI DI GRANDE AREA

Relatore: Prof. Vincenzo Palmieri

Candidato: Dr. Pretto Nicola
N° di matricola: 881219

ANNO ACCADEMICO 2006-2007

Sommario 3
1 Introduzione 5
1.1 Cenni sui sistemi roll-to-roll industriali 5
1.2 Cenni sul funzionamento di un dispositivo magnetron 7
1.3 Descrizione della situazione iniziale 8
2 Realizzazione del progetto 13
2.1 Trasposizione su file delle camere da vuoto 13
2.2 Studio della disposizione in laboratorio della nuova macchina 14
2.3 Trasposizione su file dei magnetron rettangolari 15
2.3.1 Magnetron rettangolari “Angstrom Sciences” 15
2.3.2 Flangiatura dei magnetron 20
2.3.3 Schermatura esterna dei magnetron 25
2.4 Destinazione d’uso della macchina 26
2.5 Realizzazione del sistema di movimentazione roll-to-roll 27
2.5.1 Prima alternativa per la movimentazione 28
2.5.2 Seconda alternativa per la movimentazione 32
2.6 Assemblaggio globale della camera 35
2.6.1 Prima alternativa della camera 35
2.6.2 Seconda alternativa della camera 40
3 Sviluppi futuri 49
4 Conclusioni 51
5 Tavole tecniche 53

Sommario

Il presente lavoro di tesi ha visto la progettazione meccanica, mediante Autodesk® Inventor™ "Professional 2008", di una camera da Ultra Alto Vuoto per la deposizione fisica da fase vapore -*magnetron sputtering*- di film metallici su substrati nastriformi, adottando un sistema di movimentazione di tipo *roll-to-roll*. La peculiarità di questo apparato è quella di poter trattare, in un'unica sessione, un nastro continuo lungo anche qualche centinaio di metri.

Il progetto è nato contestualmente alla necessità della TFE (Thin Film Equipment) di avere un impianto pilota semi-industriale per la produzione in continuo di film sottili di silice su materiale plastico. Con tale apparato, la TFE intende effettuare uno studio di processo atto a caratterizzarne i parametri ed a verificare le caratteristiche dei film, in vista della possibile costruzione di un vero e proprio impianto industriale per la STMicroelectronics.

In particolare, la progettazione della macchina è un'operazione di *refurbishing* di una parte di un sistema da vuoto già esistente e parzialmente funzionante, ma oramai dismesso, che fu costruito allo scopo di conservare le cavità a quarto d'onda in piombo dell'acceleratore dei Laboratori Nazionali di Legnaro in un ambiente il più possibile pulito: il vuoto spinto.

Questa camera, oltre a poter essere impiegata come impianto pilota per uno studio di processo industriale di deposizione su nastro, è stata predisposta anche per poter trattare substrati generici, all'occorrenza, previa rimozione del sistema di movimentazione.

L'operazione iniziale è stata la trasposizione su file dei due sistemi da vuoto dismessi; quindi è stata effettuata una veloce analisi degli spazi destinati ad alloggiare il futuro impianto, ne sono stati definiti gli utilizzi ed i requisiti tecnici, sono stati valutati gli interventi da effettuare ed infine sono stati presi in considerazione gli accessori da applicare, con particolare attenzione ai sistemi di deposizione e di movimentazione del nastro.

1 Introduzione

1.1 Cenni sui sistemi roll-to-roll industriali

I sistemi roll-to-roll in vuoto sono macchine che hanno preso piede da diversi anni nel panorama industriale relativo alle produzioni di grandi volumi di nastro ricoperto e trattato, aumentando la produttività e rendendo i costi di produzione più competitivi rispetto ai processi discontinui.

Esempi di applicazioni affermate sono, partendo dai prodotti più banali, i fogli in materiale plastico colorato -tipicamente mylar- ricoperti su di una faccia con film di alluminio ed utilizzati nell'industria del packaging per prodotti dolciari. Applicazioni più avanzate sono relative alla deposizione di materiali *getter* su supporto metallico per applicazione negli impianti del solare termico, o di semiconduttori -anche su supporti polimerici- per applicazione nel solare fotovoltaico. Ancora, le nuove frontiere si stanno spostando verso i trattamenti in continuo per la modifica superficiale di polimeri fluorurati, la produzione di ossidi trasparenti per display, di celle solari polimeriche e di O-LED.

Esistono svariate geometrie di svolgimento del nastro, che dipendono dai volumi di materiale da trattare, dalle dimensioni delle bobine e dei sistemi di deposizione, dal tipo di sorgente impiegata e dagli accorgimenti necessari ad effettuare la deposizione.

In ogni caso, il principio di funzionamento generale si basa su due bobine principali, di svolgimento e di riavvolgimento, per trasmettere il moto al nastro. Tra una bobina e l'altra il nastro viene guidato mediante dei rinvii, disposti a seconda della geometria della camera e della locazione dei sistemi di deposizione. Per ogni bobina è presente un sistema di controllo dello spessore atto a variare in modo continuo la velocità del motore di riavvolgimento, in modo da mantenere costante quella tangenziale delle bobine, così come l'uniformità di deposizione.

Vi è inoltre un sistema di tensionamento atto ad ottenere un più preciso controllo del nastro, limitandone la deriva verso il basso durante il suo moto. Esso si basa in genere su un controllo via software che, analizzando la tensione del nastro letta da

una cella di carico, regola di conseguenza la coppia resistente del motore relativo alla bobina di svolgimento, indipendentemente dalla sua velocità.
Infine, degna di nota è la presenza, in alcuni casi, di sistemi di raffreddamento del nastro mediante passaggio dello stesso su di un rinvio raffreddato ad acqua.

Di seguito sono rappresentati degli schemi esemplificativi di sistemi industriali, sia planari di grandi dimensioni che cilindrici più piccoli, per la deposizione su nastro.

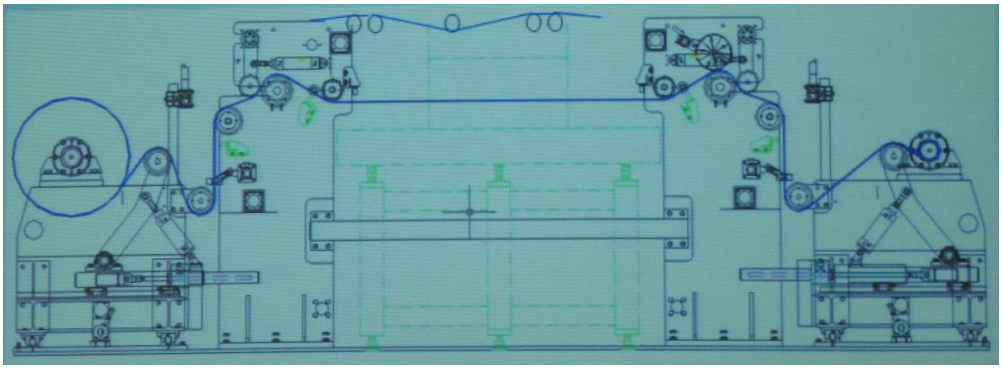

Figura 1-1. Schema di un impianto industriale planare per la deposizione su nastro. Si notino in prossimità delle bobine i sistemi di tensionamento del nastro.

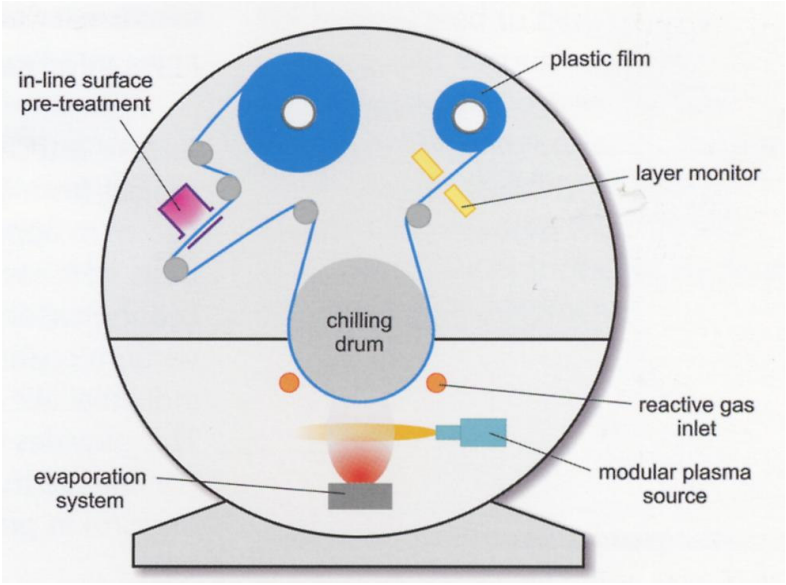

Figura 1-2. Schema di un impianto industriale cilindrico per la deposizione su nastro, dotato anche di raffreddamento del rinvio principale, per evitare eccessivi surriscaldamenti del film durante la deposizione.

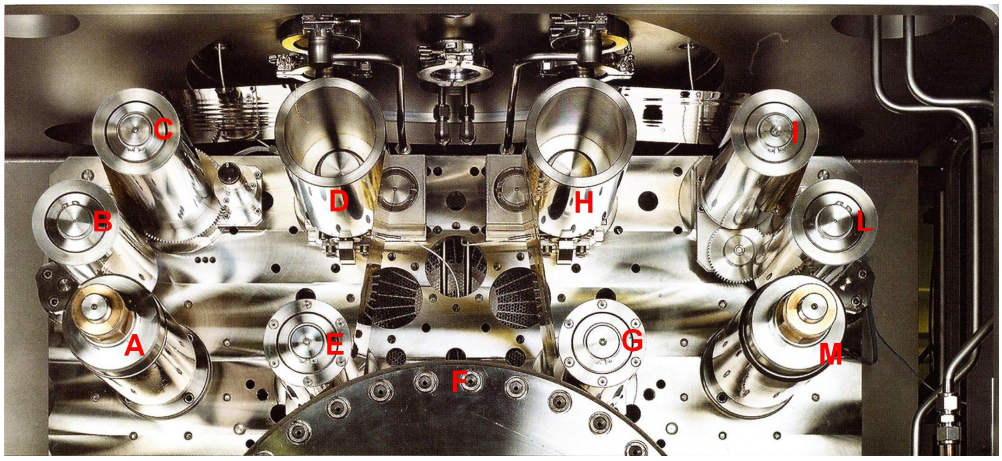

Figura 1-3. Particolare del sistema di svolgimento e riavvolgimento del nastro in un moderno impianto di deposizione. Il nastro è svolto dalla bobina **A**, passa per quattro rinvii **B**, **C**, **D** ed **E**, va al sistema di deposizione **F** e ritorna, secondo una configurazione simmetrica, alla bobina **M** passando per i rinvii **G**, **H**, **I** ed **L**. Si noti inoltre la finitura a specchio dei rulli a contatto col substrato, in modo da non danneggiarlo venendone a contatto.

1.2 Cenni sul funzionamento di un dispositivo magnetron

I dispositivi di deposizione via magnetron sputtering servono a ricoprire i più svariati substrati di interesse con il materiale desiderato, che proviene da una parte del magnetron stesso: il *target*. Per far ciò, è necessario che entrambi il target ed il substrato si trovino in vuoto (10^{-2}-10^{-3} mBar) all'interno di una camera di reazione.

Il principio di funzionamento del magnetron si basa sull'applicazione di un potenziale elettrico negativo al target, che funge quindi da catodo rispetto al resto della camera (l'anodo, a massa). Nel range di pressione specificato si ottiene la ionizzazione del gas di processo -tipicamente Ar- per mezzo dell'accelerazione degli elettroni liberi che collidono contro le particelle neutre, secondo: $\left[Ar + e^- \rightarrow Ar^+ + 2e^-\right]$ con formazione di un plasma diffuso. Gli ioni che lo compongono vengono accelerati sul target per effetto del campo elettrico e, se questo è tale da fornirgli abbastanza energia, nell'impattare scalzano atomi -o aggregati di materia- che, attraversando il plasma con una certa energia cinetica, vanno a depositarsi sul substrato che è posto di fronte. Queste poche parole descrivono in breve il funzionamento dello sputtering a *diodo*.

La presenza di magneti sotto al target (che danno il nome alla tecnica) aumenta localmente la ionizzazione del plasma e la sua localizzazione sul catodo,

in altre parole: lo confina, aumentando la velocità di deposizione ed abbassando la tensione necessaria all'esercizio (che scende da 1500V a 700V, indicativamente). Ciò è dovuto all'effetto combinato sugli elettroni dei campi elettrico e magnetico: quello elettrico li repelle dal target ognuno con una certa velocità $\vec{v}$, quello magnetico sfrutta l'interazione degli elettroni dentro al gas ionizzato, con carica $-e$, secondo la *Legge di Lorentz*: $\left[\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B}\right]$ e porta ad un moto spiralizzato degli elettroni stessi[1] lungo le linee del campo magnetico, accentuato nella zona dove le linee stesse sono più parallele al target. Ancora, si ha un moto collettivo di *drift* degli elettroni, promosso dall'interazione sulle particelle dei campi, dato da $\left[v_d = \left(\vec{E} \times \vec{B}\right) / B^2\right]$ e che fa spazzolare agli elettroni un percorso, parallelo al target, che ricalca la geometria dei magneti sottostanti.

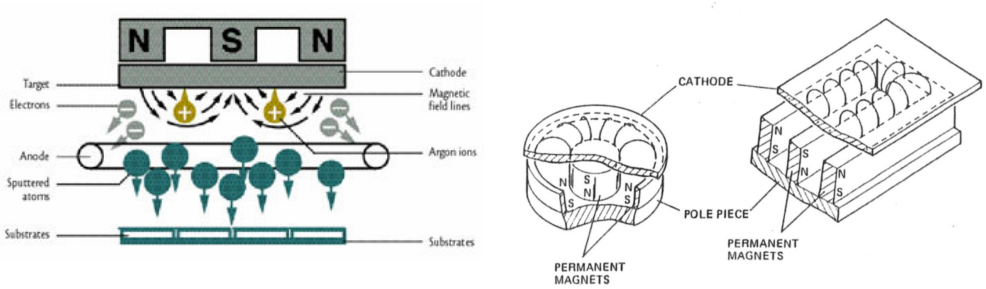

Figura 1-4. A sinistra, schematizzazione del principio di funzionamento di un magnetron, da una vista in sezione. A destra, due delle possibili configurazioni per un dispositivo magnetron; in entrambi i casi, i semicerchi rappresentano le linee di campo magnetico.

1.3 Descrizione della situazione iniziale

Le camere da vuoto sulle quali ci si è soffermati sono quattro, hanno profilo cilindrico e sono raggruppate in due sistemi indipendenti. Tutte le camere presentano diametro interno di 400 mm ed un oblò di controllo CF100 su ogni sportello, ma i due sistemi sono stati concepiti, dal punto di vista strutturale, in modo lievemente differente.

Il primo, più semplice, è costituito da due camere parallele con lunghezza minima interna di 1055 mm, presenta un solo portellone frontale, con tenuta da vuoto mediante o-ring, ed il sistema di pompaggio -con attacco CF100- è posto

[1] La massa dell'elettrone è circa 1836 volte inferiore a quella del protone, e circa 10^{-5} volte quella di un atomo di Ar. Per questa ragione, in presenza di campi elettrici o magnetici solo gli elettroni risentono in maniera tangibile della forza di Lorentz, dando luogo al moto spiralizzato.

sul retro. In particolare, è presente un'unica pompa turbomolecolare separata dalle camere da una coppia di valvole pneumatiche, oltre le quali si trovano anche gli ingressi del gas di rientro e le teste dei misuratori di pressione. Sotto le camere trovano posto la pompa rotativa a palette, i lettori di pressione ed il pannello per il controllo della macchina, che comanda le valvole pneumatiche, quelle di rientro per l'azoto e quella di isolamento fra le pompe. Per la chiusura della camera sono presenti tre manopole, imperniate sul coperchio, che vanno a serrare su delle chiavette solidali alla camera.

Il secondo sistema è pure costituito da due camere parallele, ognuna separata in due parti da un disco divisorio flangiato; la lunghezza minima utile per ogni scomparto è di 631 mm, e ciascuno è provvisto di portellone con tenuta ad o-ring, flangia di pompaggio -sempre CF100, ma stavolta sul fondo- e flangia per l'ingresso del gas di rientro e per l'attacco della testa del misuratore di pressione (CF35, in alto). Ognuna delle due coppie di camere è equipaggiata con un distinto sistema di pompaggio (pompa turbomolecolare più rotativa) rendendo di fatto il sistema composto da due sotto-sistemi indipendenti, controllati tramite il pannello posto sotto ad essi. La chiusura avviene mediante manopole passanti attraverso il coperchio, e facenti tenuta direttamente su dei fori nella flangia della camera.

In entrambi i sistemi, è complessivamente presente oltre il 95% della strumentazione, comprensiva di apparecchiature da vuoto (pompe rotative a palette, pompe turbomolecolari, valvole pneumatiche, valvole elettropneumatiche, gauges…) ed elettronica (lettori, comandi, interruttori).

Di seguito sono presenti delle immagini di entrambi i sistemi -battezzati come *"siluri"*- inizialmente studiati.

Figura 1-5. Vista di fronte del primo sistema da vuoto (siluri a camera singola).

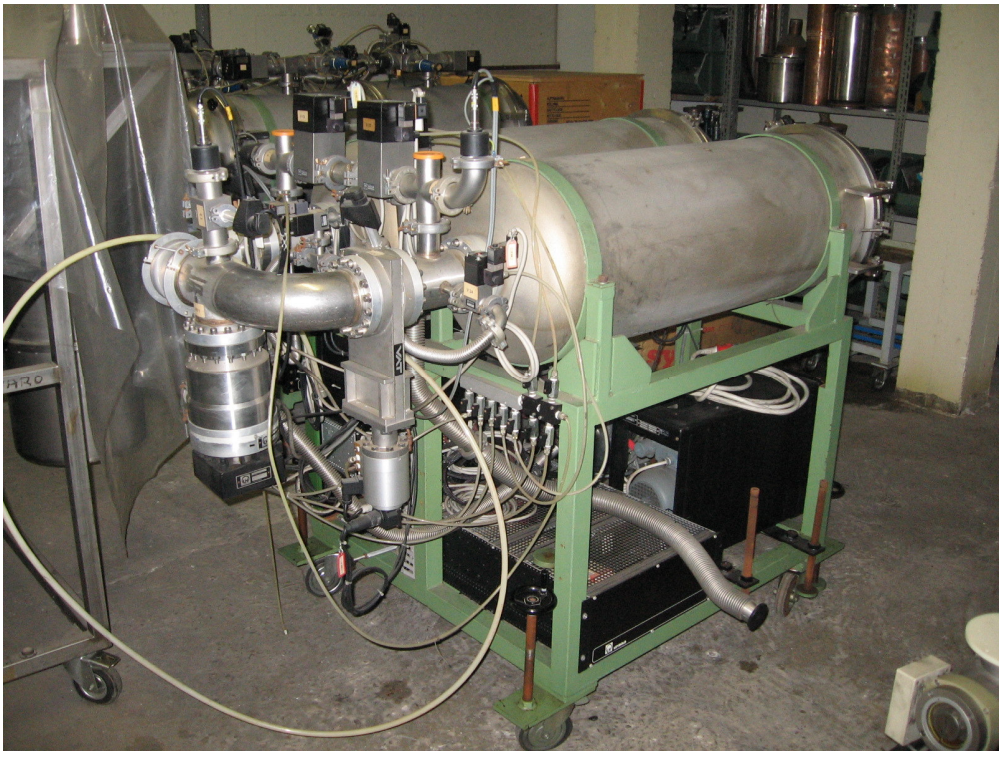

Figura 1-6. Vista da retro del primo sistema da vuoto (siluri a camera singola).

Figura 1-7. Vista del secondo sistema da vuoto (siluri a camera doppia).

Figura 1-8. Vista di un particolare dell'interno di una delle quattro camere, che contiene il supporto per le cavità in piombo.

2 Realizzazione del progetto

2.1 Trasposizione su file delle camere da vuoto

Il primo passo del lavoro di tesi, preliminare alla progettazione vera e propria, è consistito nel prelevare in modo accurato le misure e le geometrie di tutte le camere da vuoto, per poi realizzare delle fedeli riproduzioni su file grazie alle quali è stato possibile elaborare uno studio di compatibilità con gli spazi disponibili in laboratorio, una valutazione sulla fattibilità del progetto e quindi una serie di possibilità d'intervento.

Schematicamente, i sistemi da vuoto sono stati così convertiti:

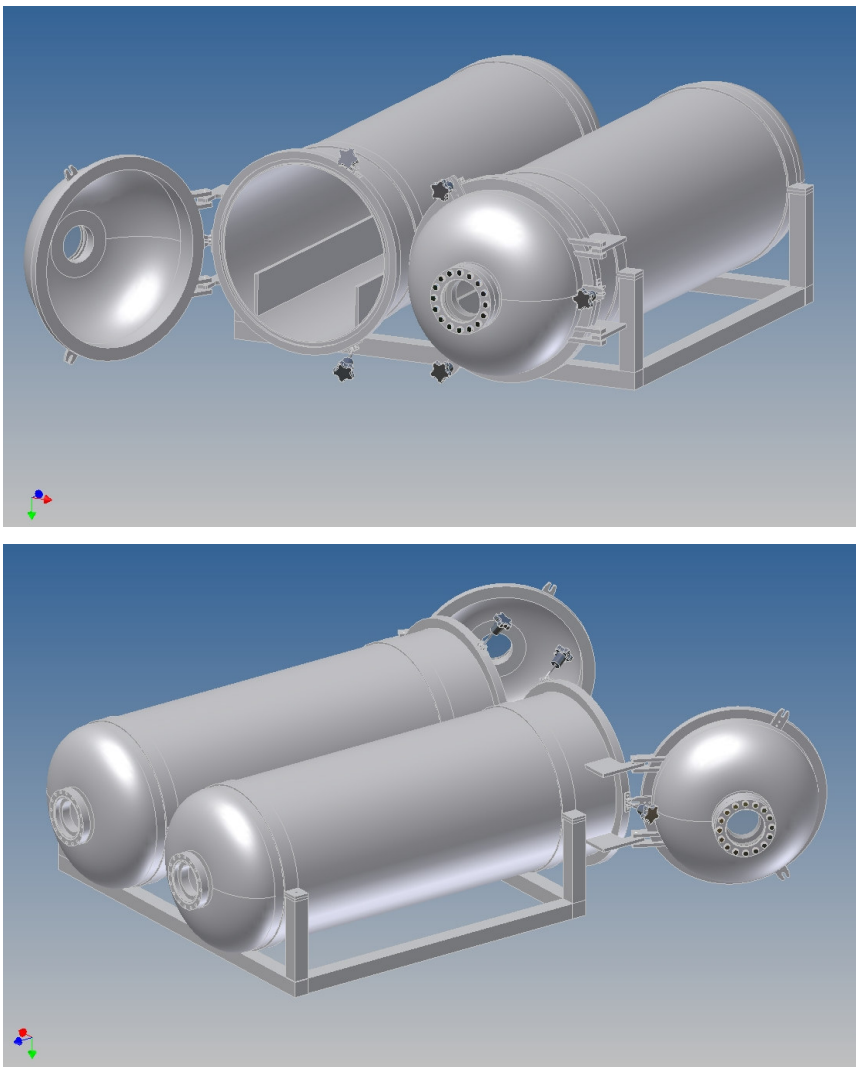

Figura 2-1. Ricostruzione 3D dei due siluri a camera singola. In alto la vista di fronte, in basso quella da retro.

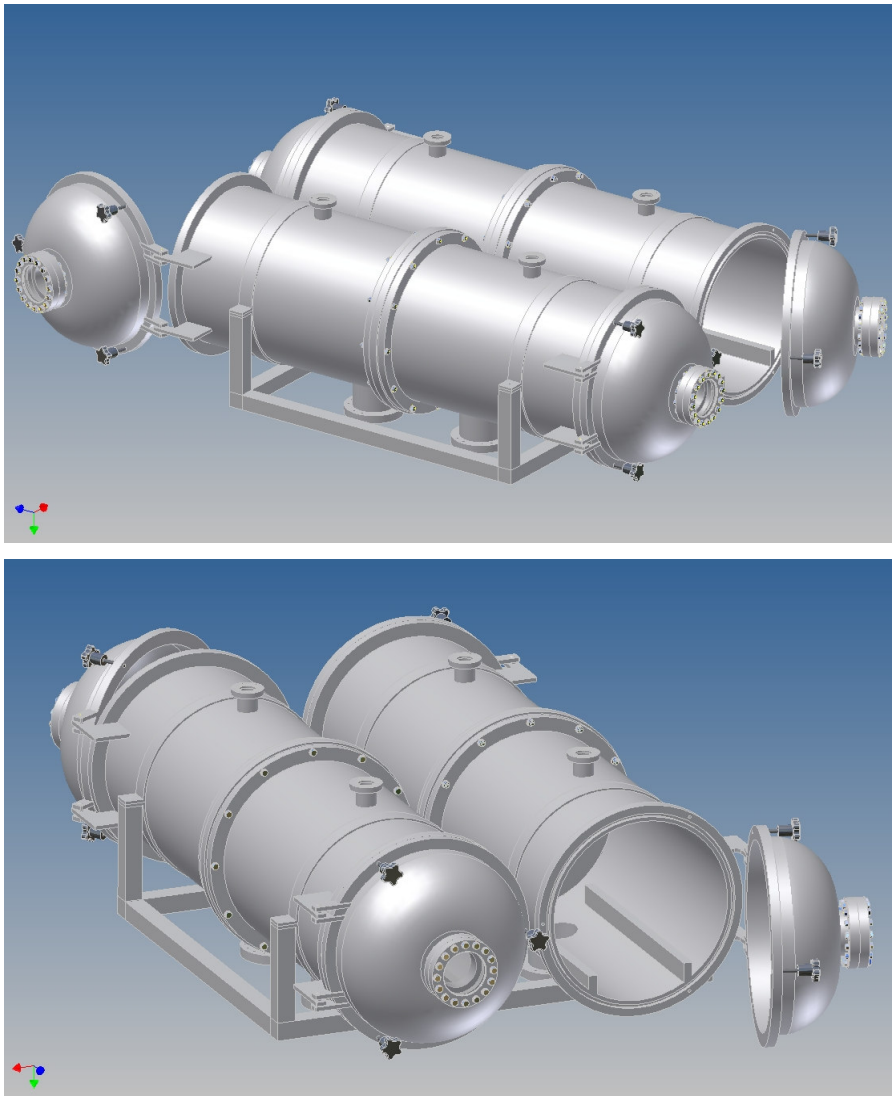

Figura 2-2. Ricostruzione 3D dei due siluri a camera doppia. Analogamente agli originali, sono stati presi in considerazione tutti gli ingombri, compresi quelli delle guide di supporto alle cavità.

2.2 Studio della disposizione in laboratorio della nuova macchina

In vista dell'impiego in laboratorio di uno dei sistemi da vuoto riconvertiti, è stata eseguita una breve analisi dello spazio disponibile al fine di ottimizzare gli spazi di lavoro per ogni componente del gruppo, pur mantenendo integra la sua area di lavoro.

Per far ciò, è stata ricreata al CAD la piantina del Laboratorio Sputtering, quindi vi sono stati inseriti tutti gli ingombri massimi dei sistemi già presenti,

oltre alle suppellettili ed agli accessori (tavoli, sedie, armadi e sistemi mobili come porta attrezzi, fornaci, leak-detector, rack degli alimentatori…).

Sono state studiate in tutto tre possibilità, ed in ognuna sono stati mantenuti, tra ogni macchina, spazi adeguati al lavoro individuale in condizioni di sicurezza ed al passaggio dei dispositivi e dei sistemi sperimentali mobili. Alla fine è stata valutata più positivamente solo una delle alternative, che è presentata in tavola in Appendice.

2.3 Trasposizione su file dei magnetron rettangolari

Con l'intenzione di equipaggiare il sistema progettato, sono stati acquistati quattro magnetron rettangolari da 15 pollici della Angstrom Sciences Inc. per poter depositare rispettivamente Alluminio, Cromo, Titanio o Zirconio. L'idea di base è quella di utilizzare indifferentemente uno o più magnetron all'interno della camera oggetto del refurbishing. Per adempiere allo scopo, sono state anche studiate e progettate le flangie di connessione alla camera e gli schermi di sicurezza.

2.3.1 Magnetron rettangolari "Angstrom Sciences"

Al fine di inserire i magnetron all'interno di nuovi progetti, anch'essi sono stati trasposti su file. Ciò è di grande utilità per una serie di ragioni, tra le quali vanno ricordate:

- la possibilità di intervenire con operazioni di adeguamento delle caratteristiche dei dispositivi per soddisfare nuove richieste sperimentali (ad esempio cambiando le intensità dei magneti, la loro geometria o disposizione)
- la possibilità di operare su progetto delle modifiche strutturali (ad esempio l'inserimento di un traferro all'esterno dei magneti) o la semplificazione di alcune geometrie (come quella del coperchio in rame)
- la possibilità di eseguire manutenzione avendo i disegni delle parti da sostituire (ad esempio il target)

- la possibilità di studiare in fase di progettazione l'applicazione degli schermi a massa, sia quelli interni che quelli esterni di sicurezza, entrambi non forniti né tanto meno previsti dal costruttore.

I magnetron sono semplicemente costituiti da una base in acciaio, sulla quale vengono agganciati prima i 5 moduli magnetici e poi il coperchio in rame che li racchiude; l'applicazione del potenziale di lavoro avviene mediante flangiatura del cavo elettrico alla base, dove sono presenti anche dei fori che permettono l'entrata e l'uscita dell'acqua di raffreddamento per i magneti ed il target. Questi ultimi sono direttamente brasati al coperchio, ed hanno dimensioni effettive di 378,5 x 121,5 x 7 mm.

In particolare, i magneti sono delle barrette ricoperte in materiale plastico, e sono incollate a dei supporti, pure in plastica, costruiti in modo da formare col magnete stesso un modulo atto ad essere avvitato in modo semplice alla base in acciaio. I moduli magnetici esterni sono disposti secondo una geometria rettangolare, tutti con la medesima orientazione dei poli, ed al centro di questi vi è un ultimo modulo, il quinto, avente polarità invertita ed una forma tale da creare un percorso obbligato per l'acqua di raffreddamento, che fluisce lungo tutto il volume racchiuso nel magnetron. La configurazione dei magneti fa sì che si generi un campo magnetico uscente dalla periferia del target e rientrante al suo centro. L'erosione avviene preferenzialmente a metà strada fra il magnete centrale e quelli esterni, cioè dove le linee di campo sono maggiormente parallele al target. Non sono presenti traferri per chiudere le linee di campo esterne ai magneti, cosa che potrebbero portare alla generazione di plasma anche fuori dal target, sui bordi del coperchio. Verrà valutata dopo la prima accensione dei magnetron la possibilità di introdurre tali accorgimenti.

Il coperchio in rame va fissato sulla base in acciaio sia all'esterno dei magneti, dove è presente una doppia guarnizione polimerica vuoto-atmosfera e atmosfera-acqua, che al loro interno, mediante dei distanziatori filettati avvitati direttamente al coperchio con dei grani. I distanziatori sono altresì agganciati alla base in acciaio mediante viti esterne, a tenuta d'acqua per mezzo di guarnizioni in gomma sotto la loro testa. Va segnalato che tutto il magnetron, quando è applicata la tensione, è a potenziale di lavoro.

Di seguito sono rappresentate delle immagini sia di uno dei magnetron che della trasposizione su file.

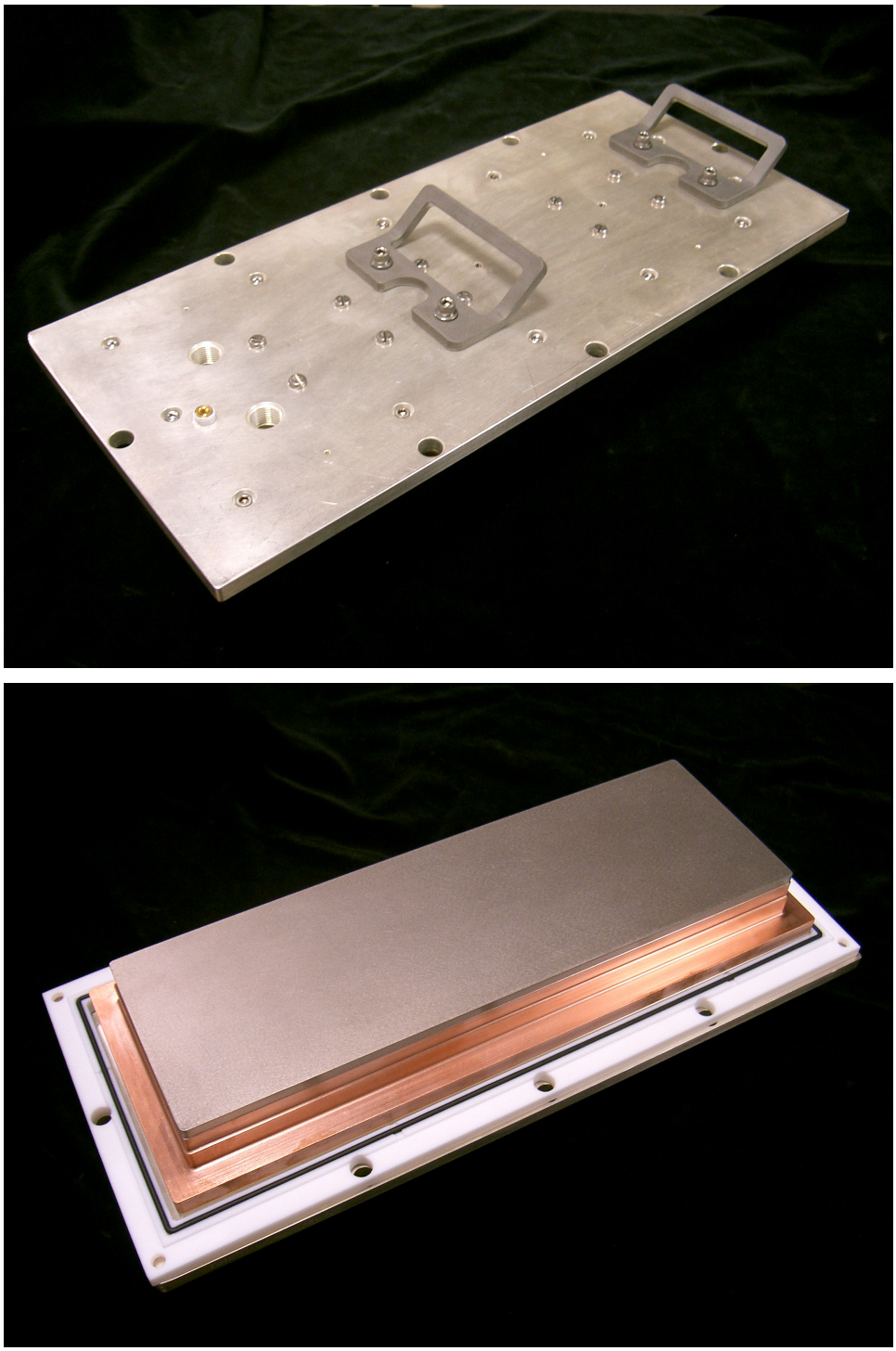

Figura 2-3. Uno dei magnetron della Angstrom Sciences. In alto, una vista con in primo piano i fori per le connessioni di IN e OUT per l'acqua di raffreddamento. In basso, una vista dal basso, con la flangia da vuoto montata.

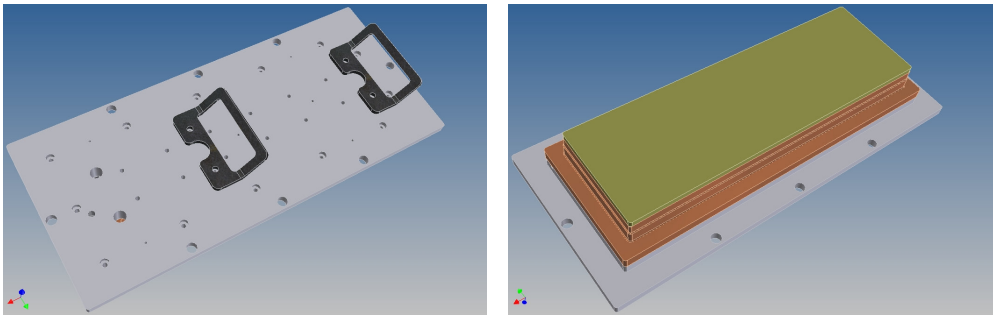

Figura 2-4. Viste esterne, da disegno, del magnetron rettangolare.

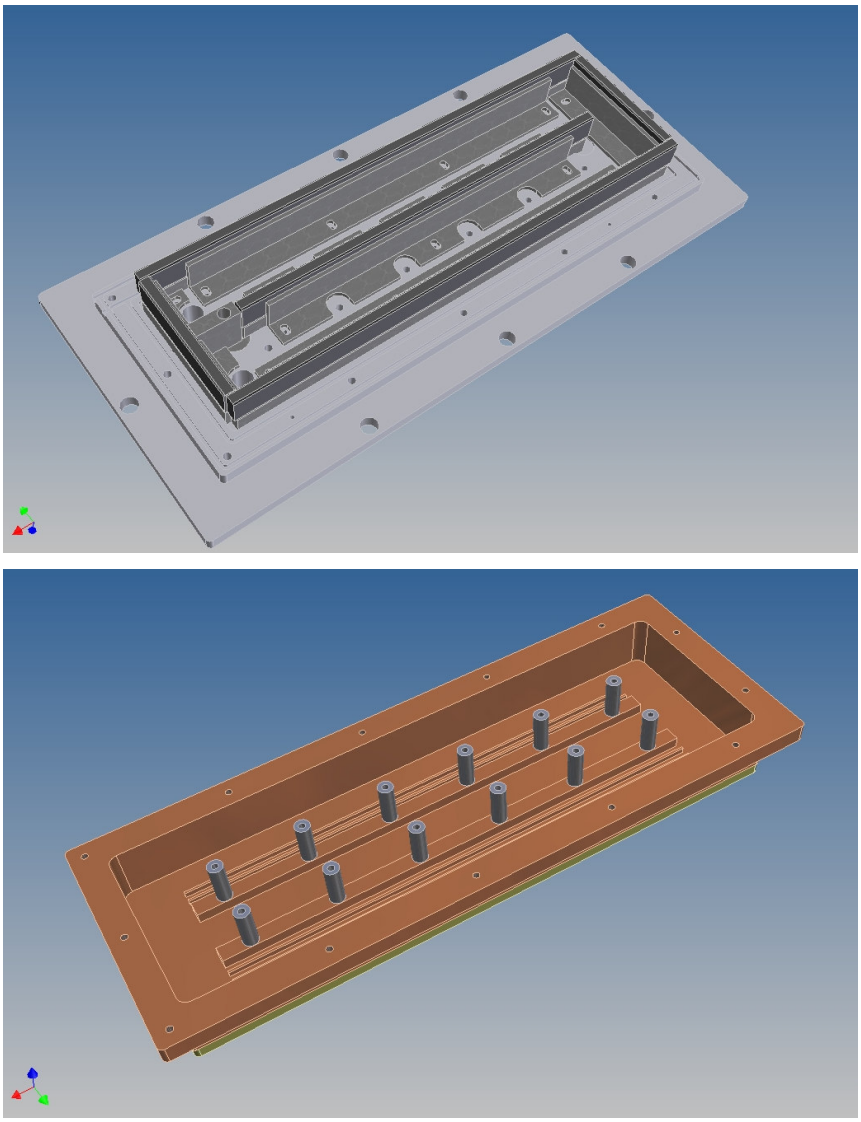

Figura 2-5. Viste interne, da disegno, del magnetron rettangolare. In alto, racchiusi dai moduli magnetici esterni, si notano i fori di IN e OUT dell'acqua di raffreddamento, e si nota altresì come il modulo magnetico centrale sia costruito in modo da creare un percorso obbligato per l'acqua di raffreddamento. In basso, il coperchio in rame con le alette di dissipazione del calore ed i distanziatori filettati.

Il montaggio del magnetron alla camera avviene mediante una flangia di interconnessione in plastica, che lo isola elettricamente dalla camera, mentre la tenuta da vuoto è effettuata con delle guarnizioni in gomma applicate su entrambe le facce della flangia. Ancora, per mantenere l'isolamento fra camera e magnetron, delle speciali capsule in plastica sono fornite in dotazione alle viti di connessione, in modo da non porle a contatto elettrico con il magnetron stesso.

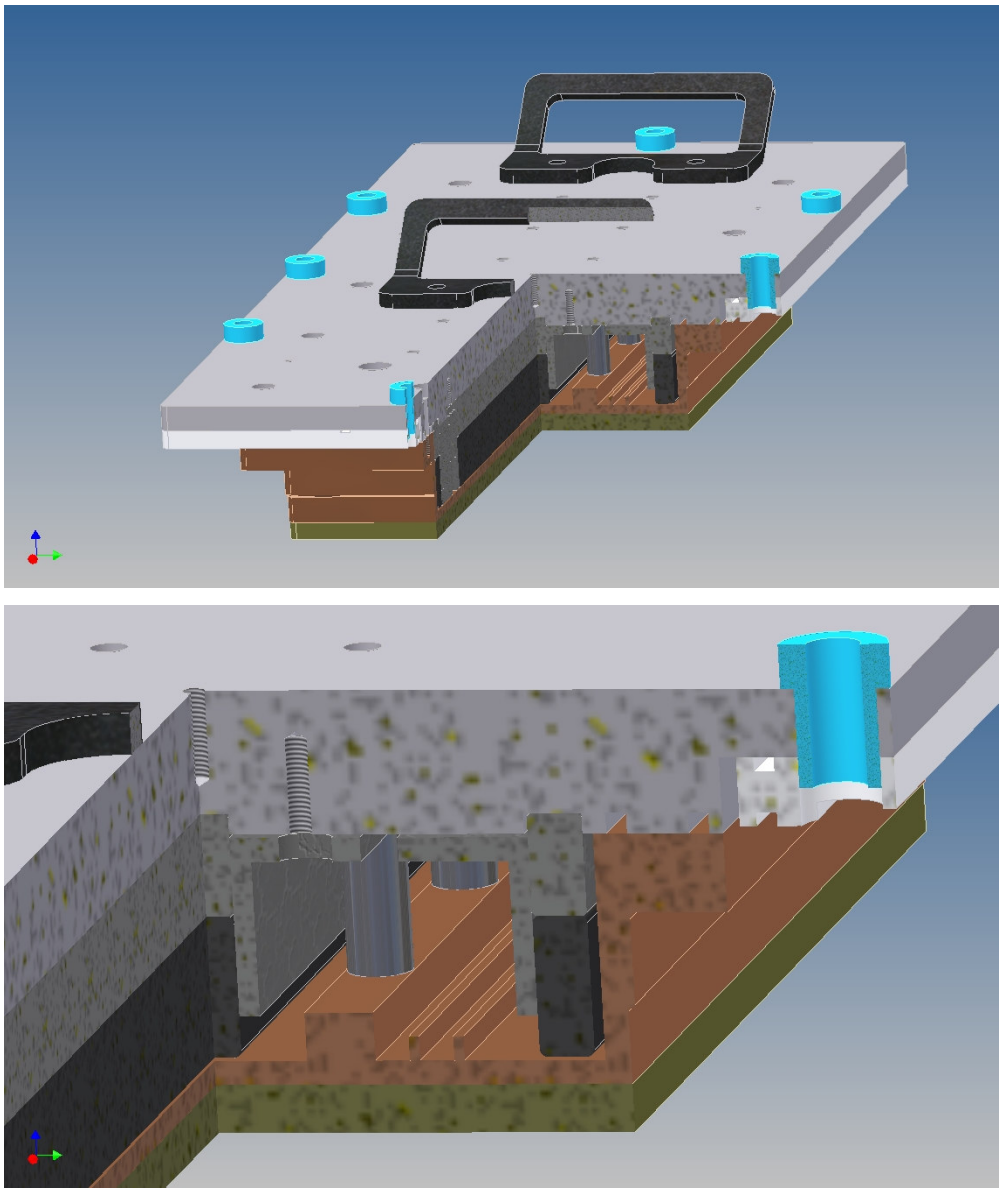

Figura 2-6. In alto, vista in tre quarti del magnetron completo di guarnizione e capsule in plastica. In basso, un ingrandimento che evidenzia come sia possibile mantenere l'isolamento elettrico tra magnetron -a potenziale- e flangia della camera -a massa-.

2.3.2 Flangiatura dei magnetron

Per l'aggancio dei magnetron rettangolari ai sistemi da vuoto sono state prese in considerazione due alternative, la prima mediante flangia interna alla camera, la seconda con flangia esterna.

Flangiatura interna

Questo tipo di connessione è stata presa in considerazione in quanto sembrava essere la meno problematica sotto l'aspetto della saldatura con la camera da vuoto: infatti sarebbe bastato, dopo aver praticato un foro rettangolare in camera, inserire parzialmente la flangia, saldarla dall'interno e poi rimuovere la parte eccedente, esterna alla camera, mantenendone così invariato il profilo e l'ingombro esterno.

Oltre alla flangia in sé, data la mancanza di un traferro all'interno dei magnetron, esternamente ai magneti, è stato ritenuto opportuno applicare uno schermo elettrostatico a massa, con un profilo che ricalca il coperchio in rame, e distante da esso 1,5 mm al massimo. Soddisfando questa condizione si evita che gli elettroni presenti in quello spazio -il *Crook dark space*- raggiungano velocità tali da ionizzare il gas di processo, innescando l'erosione sul rame e quindi l'inquinamento dei film prodotti.

Lo schermo è stato progettato come pezzo a sé stante per due ragioni. La prima è quella di limitarne la complessità, la seconda è quella che, andando esso avvitato alla flangia rettangolare, potrebbe essere costruito anche in alluminio, più leggero.

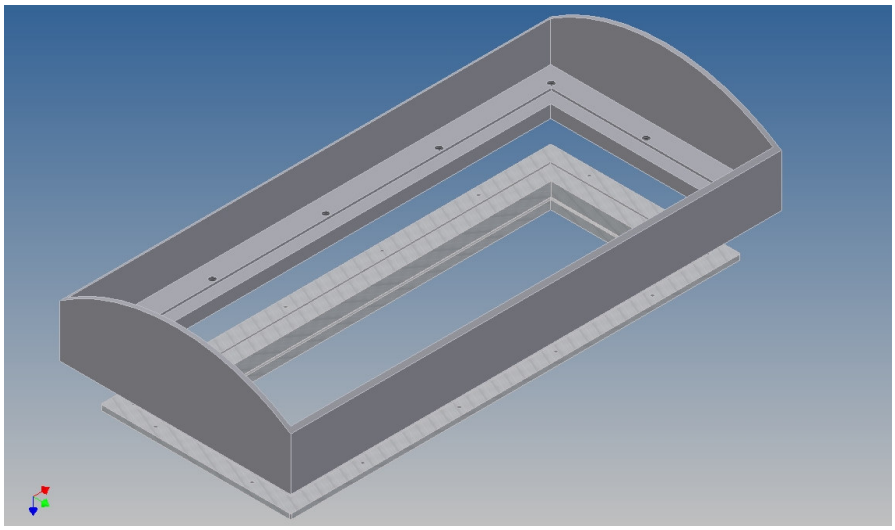

Figura 2-7. Vista della flangia interna, già tagliata secondo il profilo esterno della camera, e completa del relativo schermo a massa.

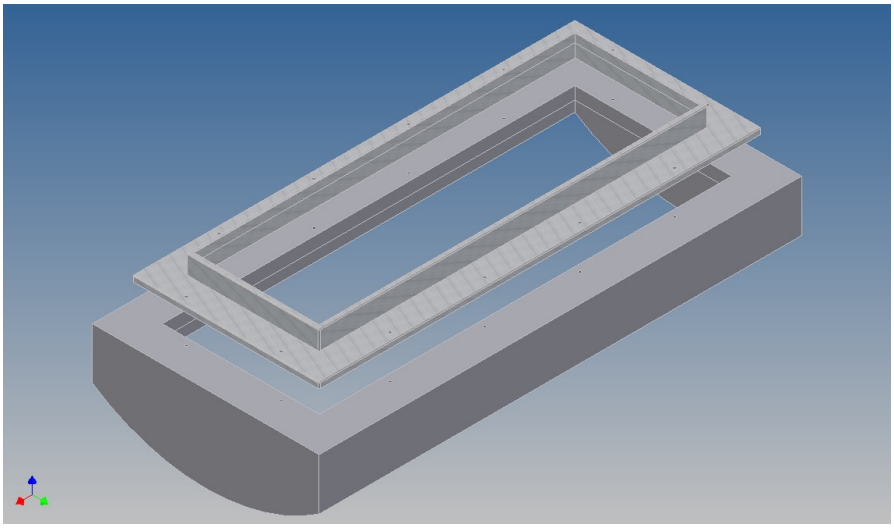

Figura 2-8. Un'altra vista della flangia interna, con lo schermo in alluminio da fissare a viti.

Gli svantaggi di questa soluzione sono il grande indebolimento della struttura della camera, a causa della grossa entità dei fori, e l'eccessiva presenza di saldature per costruire la flangia, troppo rischiose ai fini della formazione di cricche che provocherebbero la perdita della tenuta da vuoto.

Figura 2-9. Vista in dettaglio dell'assieme flangia interna (a destra) + schermo (attorno al coperchio in rame) + guarnizioni (bianca e azzurra) + magnetron. Si noti la piccola distanza tra coperchio del magnetron e schermo, inferiore ad 1,5 mm.

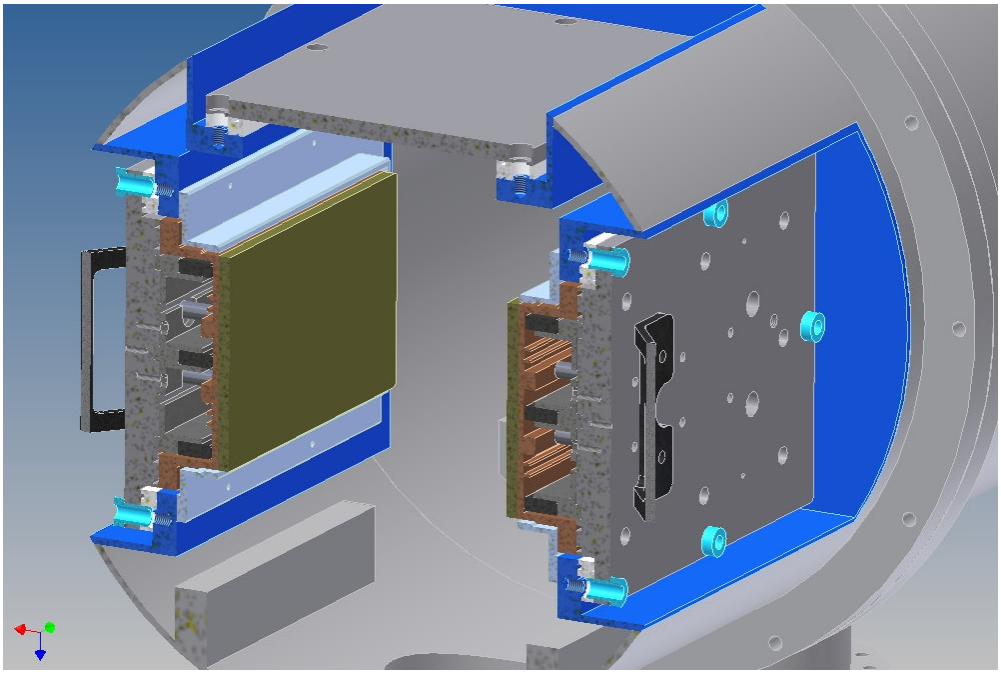

Figura 2-10. Una vista in sezione della camera con i magnetron montati sulle flangie interne. Si noti l'indebolimento della camera causato dall'entità dei fori praticati.

Flangiatura esterna

Questa connessione, inizialmente scartata e poi ripresa in considerazione per la definitiva applicazione alla macchina, è risultata essere vincente per alcune semplici considerazioni. Innanzitutto, dei fori più piccoli da praticare nella camera, con un minore indebolimento ed una minore deformazione -soprattutto a seguito delle saldature- anche per quanto riguarda le flangie. Quindi, l'assenza di saldature nella costruzione delle flangie, un minor gioco del magnetron rispetto allo schermo (non essendo questo avvitato ma parte integrante della flangia) ed infine una maggior distanza dal nastro –circa 80 mm- vicina a quella ideale. Quest'ultimo fattore permette da un lato di riscaldare meno il nastro, e dall'altro di sfruttare potenze (e quindi velocità di deposizione) più elevate[2].

Impiegando questo tipo di flangiatura, è sufficiente forare la camera, appoggiare la flangia e saldarla dall'interno. Infatti il profilo esterno della flangia è

[2] Una distanza magnetron-substrato troppo piccola porterebbe ad un riscaldamento eccessivo di quest'ultimo, a causa del bombardamento elettronico cui è sottoposto. Tuttavia, una distanza troppo grande, pur permettendo potenze di esercizio maggiori, esporrebbe il materiale sputterato ad un processo di frenamento da parte dello stesso gas di processo. Generalmente, una distanza ottimale di deposizione che tenga conto dei due fenomeni è di circa 70 mm.

appositamente sagomato secondo quello della camera, di modo da escludere qualsiasi errore nel corretto posizionamento prima della saldatura.

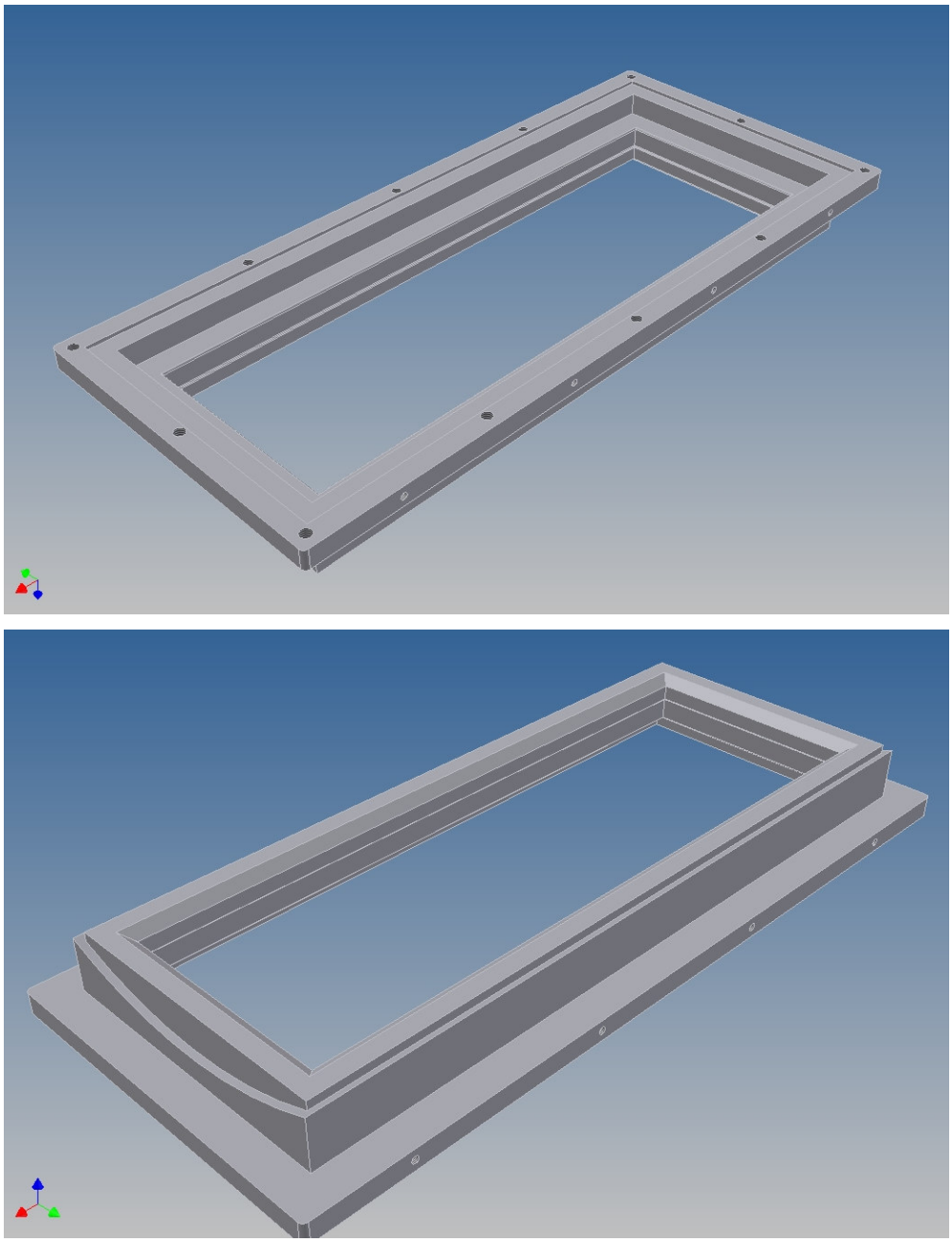

Figura 2-11. Due viste della flangia esterna con schermo incorporato. In alto la parte a flangiare, in basso quella a saldare. Sul bordo sono presenti i fori per fissare lo schermo esterno di sicurezza.

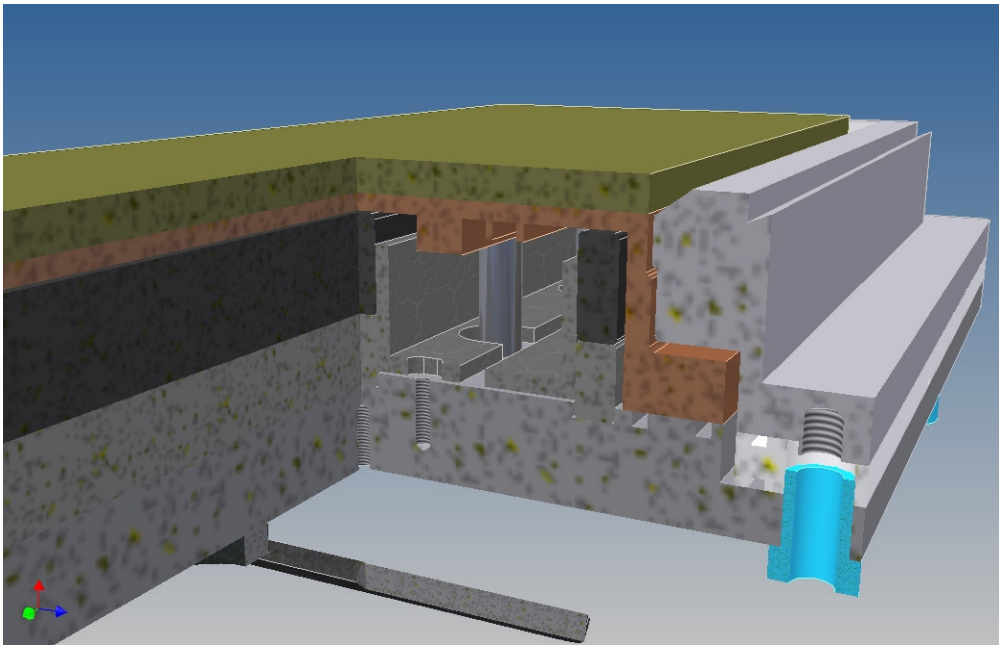

Figura 2-12. Viste in dettaglio dell'assieme flangia esterna + guarnizione + magnetron. Anche qui la distanza tra coperchio del magnetron e flangia schermata è molto piccola

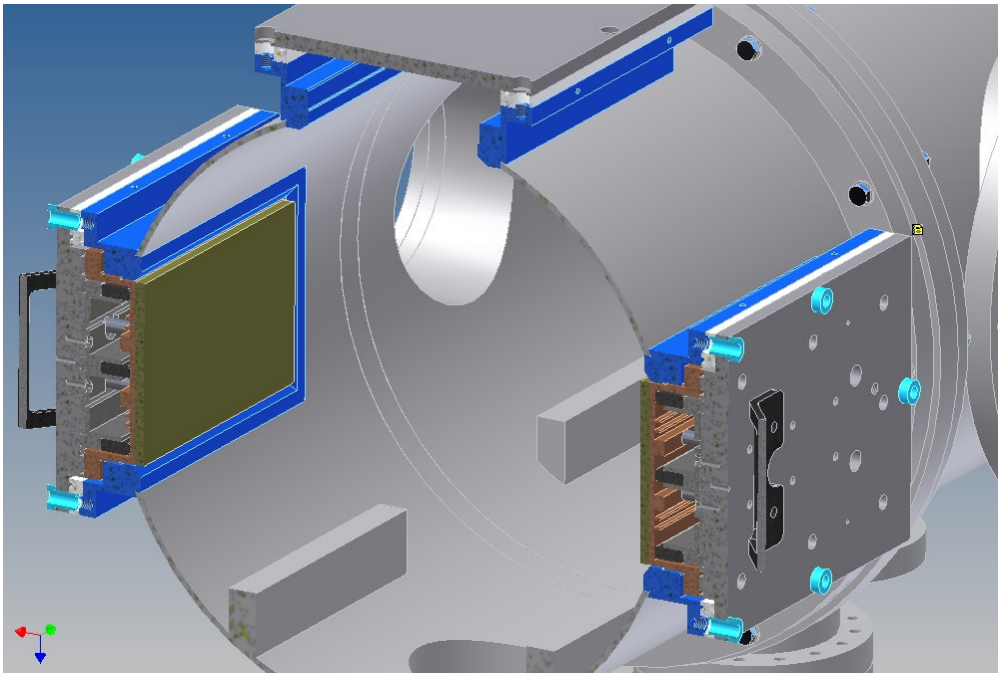

Figura 2-13. Una vista in sezione della camera con i magnetron montati sulle flangie esterne. In questo caso l'entità dei fori praticati alla camera è molto minore, e la distanza tra i magnetron è maggiore.

2.3.3 Schermatura esterna dei magnetron

Per poter operare in sicurezza durante le deposizioni è stato necessario progettare anche degli schermi a massa per i magnetron di modo che, toccando (dall'esterno) qualsiasi parte della macchina montata, non vi siano rischi di natura elettrica per l'operatore. Vista la scelta di utilizzare la flangiatura esterna, gli schermi sono stati progettati per essere adattati a questo tipo di soluzione.

Partendo dal fatto che la struttura a potenziale "nullo" più vicina al magnetron è la flangia, l'unica possibilità per attaccare gli schermi è quella di farlo sulla flangia stessa, per cui vi sono stati praticati dei fori filettati sul bordo esterno, in modo da avvitarci dei grani sui quali agganciare la protezione. Per ogni magnetron è stata disegnata una coppia di protezioni complementari, ad aggancio rapido sui grani per mezzo di sedi opportunamente scavate. Dopo il montaggio, il bloccaggio completo delle protezioni avviene con dei galletti avvitati sui grani, che premono contro la flangia lo schermo. Questo va in battuta solamente sulla flangia e la guarnizione in plastica, grazie al profilo a sezione differenziata. Gli elementi dello schermo sono identici, salvo il fatto che in uno deve essere praticata un'asola per far passare i tubi dell'acqua di raffreddamento ed il cavo di alimentazione del magnetron. Come materiale è stata scelta della plastica saldabile o incollabile, di modo che risulti isolante e che sia facilmente lavorabile. In alternativa, sarebbe possibile impiegare anche dell'acciaio, anche se in questo caso delle deformazioni accidentali di uno degli schermi potrebbero portarlo in contatto con il magnetron, mandando la macchina in corto circuito e creando un problema di sicurezza per l'operatore.

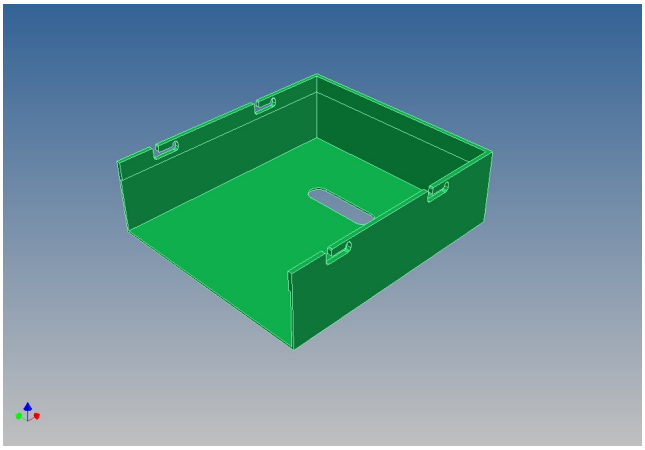

Figura 2-14. Una delle due protezioni (quella asolata) dei magnetron.

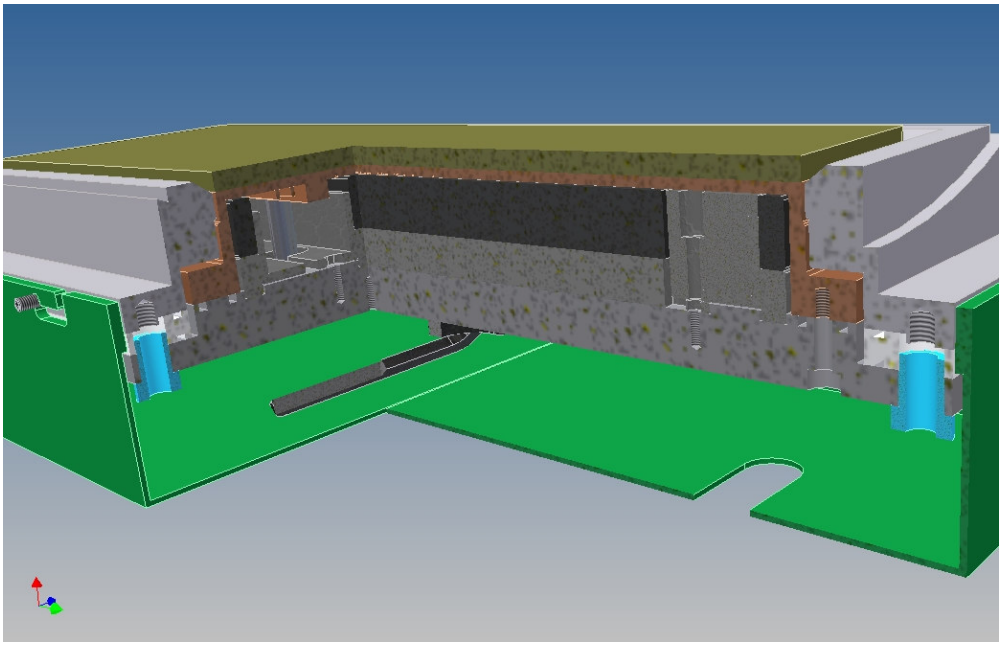

Figura 2-15. Vista di tre quarti del magnetron rettangolare completo, flangiato (su flangia esterna) e schermato. A sinistra si nota il tipo di aggancio dello schermo sui grani avvitati alla flangia.

2.4 Destinazione d'uso della macchina

Dopo l'analisi di varie ipotesi d'impiego, e dalla comparazione degli ingombri a fronte degli spazi disponibili, si è optato per il refurbishing di uno solamente dei due siluri a camera doppia, che verrà trasformato in uno a camera singola forando opportunamente il disco di separazione. In futuro sarà comunque possibile, eventualmente, aggiungere alla camera riconvertita quella gemella (affiancandola o sovrapponendola) utilizzando la medesima linea di pompaggio ed intervenendo con piccole modifiche sul pannello di controllo. In alternativa a questa soluzione, la camera modificata potrà essere comunque allungata del 50% aggiungendo uno dei due moduli dell'altra camera inutilizzata.

Date le dimensioni generose della camera, e viste le applicazioni industriali che i sistemi di deposizione su nastro offrono, è stato deciso di applicare un sistema roll-to-roll in grado di svolgere il nastro per tutta la lunghezza della camera, di modo da poterlo trattare col plasma sia all'andata che al ritorno. Per questo si è scelto di applicare ad un estremo il sistema di svolgimento e riavvolgimento, all'altro quello di rinvio del nastro.

Visto l'investimento necessario al refurbishing della macchina, è stato inoltre deciso di non limitarla al solo impiego su nastro, ma di fare in modo che, semplicemente rimuovendo il sistema di movimentazione, sia possibile utilizzare anche una diversa configurazione dei magnetron per trattare substrati di differente natura.

2.5 Realizzazione del sistema di movimentazione roll-to-roll

Il sistema di movimentazione del nastro progettato è così caratterizzato: una bobina opera lo svolgimento del nastro, quindi esso viene fatto passare attraverso il rinvio, posto all'estremità opposta della camera, e fatto ritornare alla seconda bobina. Entrambe le bobine sono comandate da motori che, a seconda che il nastro sia in fase di avvolgimento o di svolgimento, hanno alternativamente funzione motrice (con controllo in velocità) o frenante (con controllo in coppia), in modo da mantenere costante la tensione del nastro durante il suo ciclo. Ciò è permesso da un circuito di retroazione per i motori che, in base alla velocità impostata per il motore avvolgitore, fa in modo che quello svolgitore eserciti una opportuna coppia resistente -contraria a quella motrice- di modo che il nastro risulti sempre in tensione ma senza venire danneggiato.
Data la relativa semplicità di questo sistema di movimentazione, e sentiti anche i pareri della ditta fornitrice i motori, non è stata ritenuta indispensabile la cella di carico di cui si è accennato al capitolo 1.1.

I due motori non sono collegati alle bobine in modo diretto, ma per mezzo di passanti *ferrofluidici*, in grado di trasmettere il moto rotatorio pur mantenendo il vuoto spinto in camera.

Ancora, è presente per ogni bobina un sistema laser per monitorarne lo spessore, e quindi la quantità di nastro presente. Questo controllo ha un duplice scopo: il primo è di far variare in modo continuo, agendo sul circuito di retroazione, la velocità di rotazione del motore di riavvolgimento, per mantenere costante quella tangenziale del nastro; il secondo è quello di evitare che il nastro venga svolto completamente da uno dei rulli, cosa che porterebbe da un lato a dover fermare il processo anticipatamente (nel caso si volesse riavvolgere tutto il nastro dopo la deposizione) e dall'altro allo scompattamento, con effetto molla, del nastro avvolto sulla bobina motrice a causa del venir meno della tensione.

Di seguito sono descritte le due alternative studiate per il sistema di movimentazione del nastro. Si anticipa fin d'ora che la seconda è la naturale evoluzione della prima, ed è quella che si intende maggiormente installare sulla macchina finita.

2.5.1 Prima alternativa per la movimentazione

Il primo progetto delle bobine e del rinvio si basa sul vincolo di ciascuno mediante due punti di contatto, grazie a dei moduli cuscinetto avvitati direttamente a delle flangie CF63 uscenti dalla camera; queste vanno in battuta su analoghe flangie saldate alla camera. Il secondo punto di ancoraggio ha lo scopo di mantenere in asse la bobina e quindi, per applicare questo sistema di movimentazione, è necessario che alla camera siano applicate tre coppie di flangie, ciascuna perfettamente in asse.

Bobine

La flangia inferiore della bobina andrà saldata da un lato alla parte fissa del passante ferrofluidico, dall'altro andrà imbullonata alla camera. La flangia è forata assialmente per alloggiare il perno della bobina, ed altri fori non passanti sono presenti per avvitare il modulo cuscinetto. La trasmissione del moto dal perno del passante alla bobina è garantita da una chiavetta apposita, studiata in modo da garantire un accoppiamento ottimale e senza giochi del moto, pur conservando una certa tolleranza assiale.

Il modulo cuscinetto contiene al suo interno due cuscinetti ceramici a portata assiale, ed è progettato in modo che il perno della bobina lo trapassi, andando in battuta su uno dei due cuscinetti e sbucando dall'altro; quindi con due ghiere, una di tenuta e l'altra di battuta, si vincola stabilmente il perno al modulo cuscinetto. Le ghiere e la rondella dentro al cuscinetto, così come il perno, sono progettati in modo da scaricare il più possibile eventuale gas residuo, in modo da limitare il fenomeno delle fughe virtuali all'interno della camera da vuoto. Per evitare che i due cuscinetti e la rondella in mezzo escano dal relativo modulo, su questo è stata progettata una cava interna per alloggiare un anello *seeger*.

Il perno è filettato sia alla base, per essere vincolato al modulo cuscinetto, che lungo il suo asse, per potervi avvitare i coni di presa e le ghiere necessari al bloccaggio della bobina. Nella parte alta è presente una sede cilindrica, necessaria

al centraggio della contropunta proveniente dalla flangia superiore. Nella parte bassa a contatto col modulo cuscinetto è stata progettata una cava di scarico per il gas intrappolato.

La bobina, come da richieste specifiche, ha un diametro di 200 mm e può accogliere un nastro di altezza massima 210 mm. Essendo il nastro da depositare molto sottile (dell'ordine dei 10-15 μm) ed il diametro della bobina cospicuo, è possibile arrotolare fino a diverse centinaia di metri di nastro aumentando di poco il diametro della bobina. Sono state quindi progettate anche delle alette di contenimento del nastro, leggermente svasate, in modo da mantenerlo sempre correttamente arrotolato, ed evitandone la deriva verso il basso.

La flangia superiore è cieca, e presenta solo i fori di fissaggio del modulo cuscinetto. La struttura è simile a quella inferiore, salvo che al posto del perno è presente una contropunta, vincolata al modulo cuscinetto allo stesso identico modo e dotata di cave per lo scarico del gas. Questa flangia sarà l'ultima parte ad essere montata sulla camera, per completare la bobina.

Il rullo della bobina deve stare concentrico rispetto al perno, e disposto a metà altezza rispetto al piano orizzontale della camera. Queste condizioni sono state ottenute mediante dei coni e delle ghiere di blocco che vanno in presa sui fori assiali del rullo. Entrambi i dispositivi sono studiati in modo da minimizzare le fughe virtuali, mediante scanalature lungo l'asse filettato e scansi per limitare le superfici piane a contatto. Inoltre, per garantire la corretta trasmissione del moto con il rullo, sono presenti delle chiavette sulla superficie di contatto del cono che vanno ad incastrarsi su delle apposite sedi.

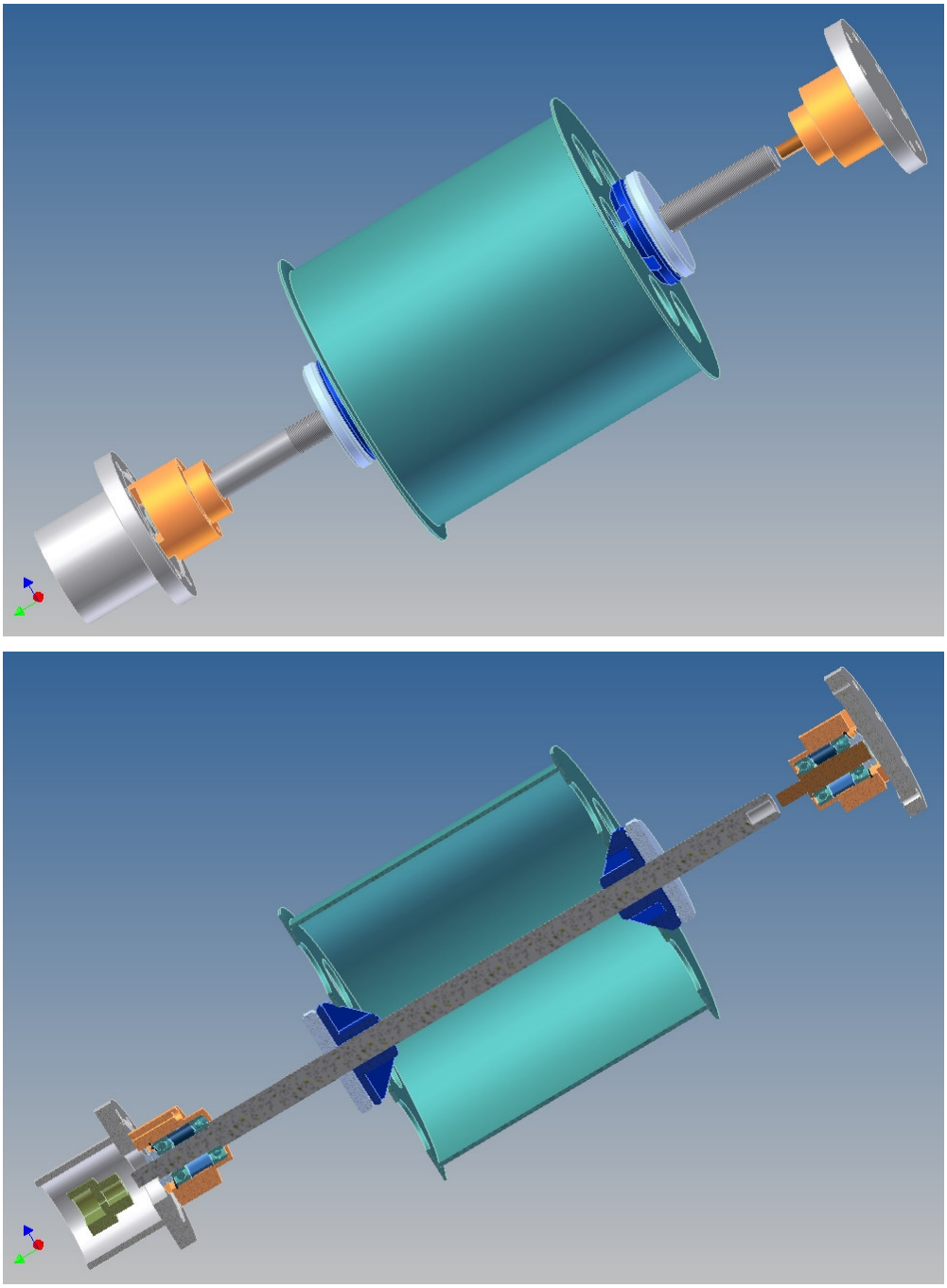

Figura 2-16. In alto, una delle bobine assemblate per la prima alternativa. In basso, una vista in sezione.

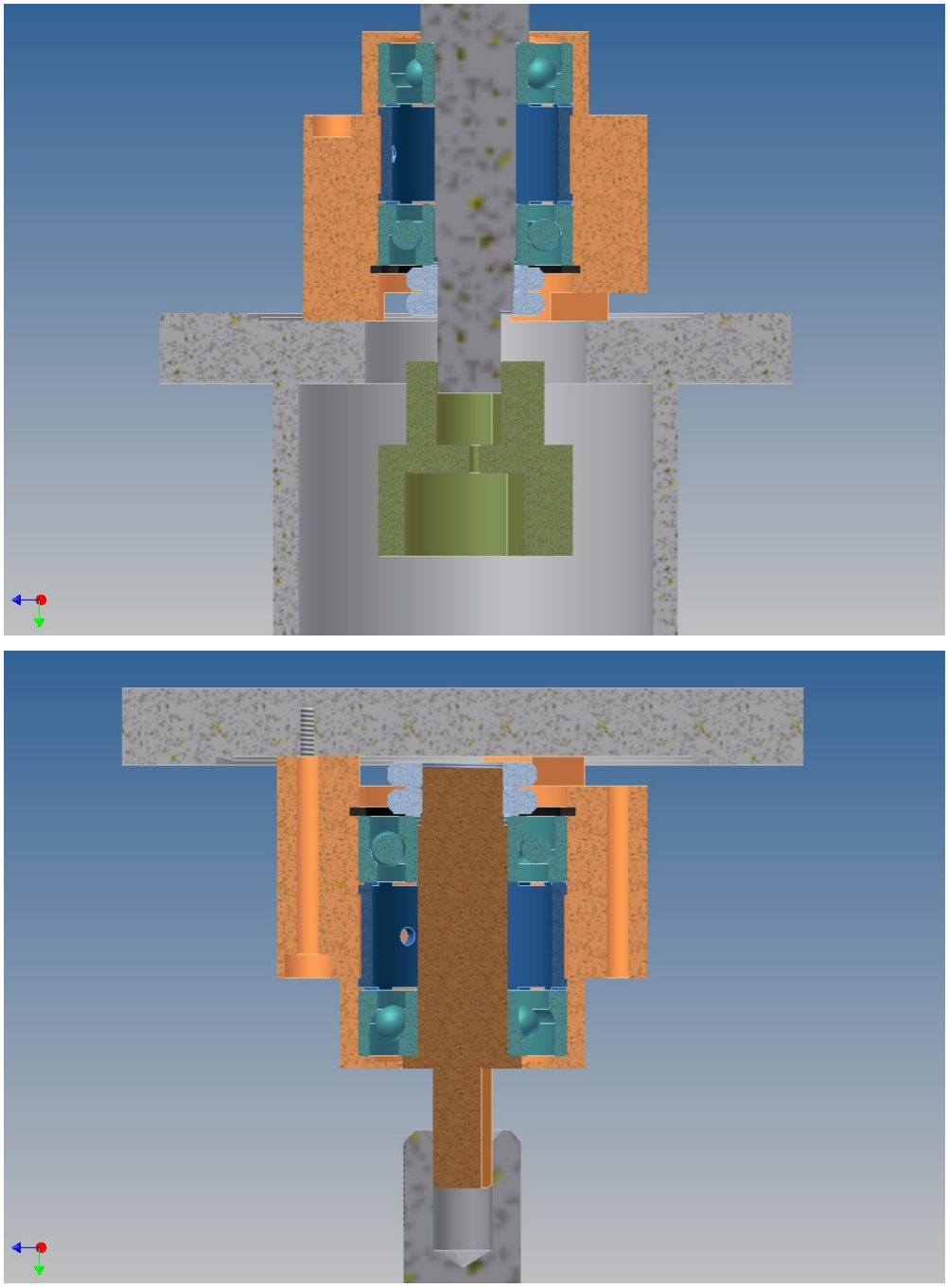

Figura 2-17. In alto, particolare in sezione della parte inferiore delle bobine. Si notano la tenuta mediante seeger interno (nero), l'attacco a tre punti del modulo cuscinetto (arancio), l'aggancio del perno mediante ghiere (azzurre) e la chiavetta di trasmissione del moto (verde). In basso, particolare sezione della parte superiore, con la contropunta imperniata non stabilmente sul perno di sostegno.

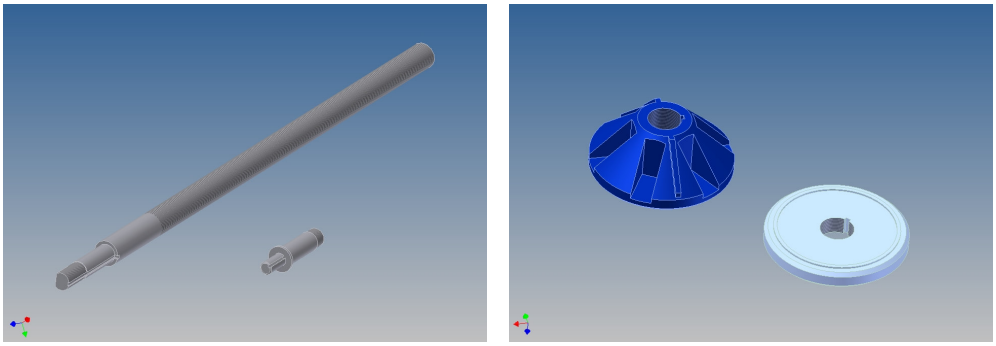

Figura 2-18. A sinistra, il perno di sostegno del rullo bobina e la relativa contropunta. Sono evidenti gli incavi per limitare le fughe virtuali in camera. A destra, il cono di fissaggio del rullo la relativa ghiera di controbattuta. Anche qui si notano gli accorgimenti per limitare l'accoppiamento fra superfici piane e per garantire la motricità del rullo.

Rinvio

Il rinvio è costituito allo stesso modo delle bobine, salvo alcune specificazioni quali l'assenza di passante ferrofluidico, sostituito da una CF63 cieca, delle chiavette di trasmissione del moto sui coni e delle relative sedi sul rullo (non necessarie). Inoltre, il perno è leggermente più corto, perché manca l'incastro per la chiavetta di trasmissione del moto. Nota importante, il rullo è stato progettato con le stesse dimensioni delle bobine, ma presenta una leggera bombatura a botte al centro (diametro 202 mm anziché 200). Questo accorgimento fa sì che, durante lo svolgimento, per effetto della tensione differenziata il nastro non cada.

2.5.2 Seconda alternativa per la movimentazione

Un modo alternativo di sostenere i rulli delle bobine e del rinvio è quello ad unico punto di contatto. In particolare, esso presenta molteplici vantaggi che riguardano sia una maggiore semplicità nelle lavorazioni che un tangibile risparmio economico. Infatti, è necessario applicare alla camera solamente una flangia (anziché due, perfettamente in asse tra loro) per ogni modulo, oltre al fatto che sono necessari la metà dei moduli cuscinetto.

Lavorando su questa alternativa, è stata individuata un'ulteriore miglioria che riguarda la sostituzione dei perni dei rulli con degli analoghi scomponibili in due pezzi, fissati alla base nella stessa maniera vista nel sottoparagrafo precedente. Con questo sistema il montaggio e smontaggio dei rulli risulta estremamente più veloce, dato che non serve più smontare ogni volta le flangie.

La necessità di conservare il più possibile l'assialità delle bobine ha spinto a cercare un perfetto accoppiamento tra i due componenti del perno, perciò è stata progettata una giunzione di tipo maschio-femmina, tenuta assieme da due viti passanti per entrambi i componenti. Con questa geometria si dovrebbe far sì che gli sforzi di flessione, sul giunto, si scarichino sulle facce piane a contatto (ortogonali all'asse del perno) oltre che sulle superfici compenetrate del giunto.

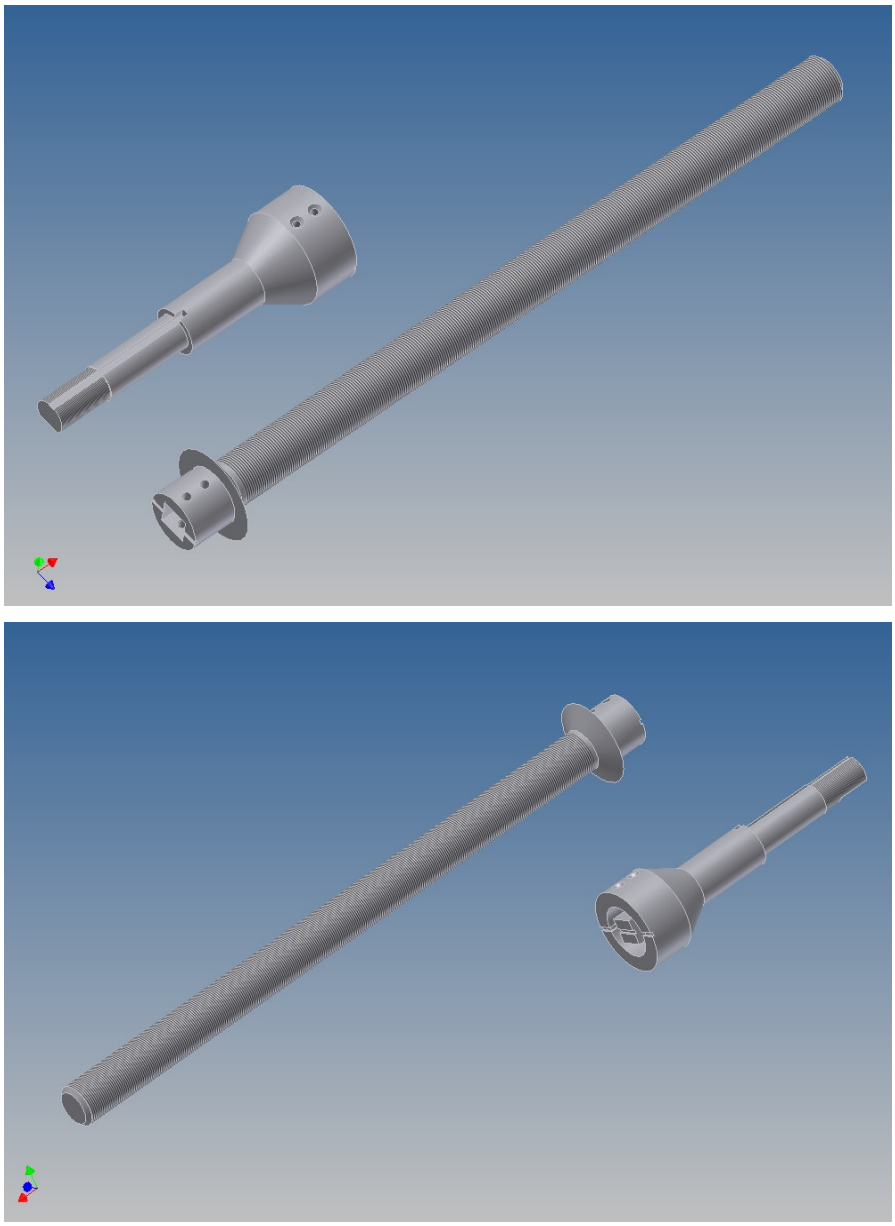

Figura 2-19. Due viste del perno componibile per il sostegno dei rulli della bobina e di quello del rinvio nella seconda alternativa. Anche qui sono presenti alcuni accorgimenti per limitare le fughe virtuali.

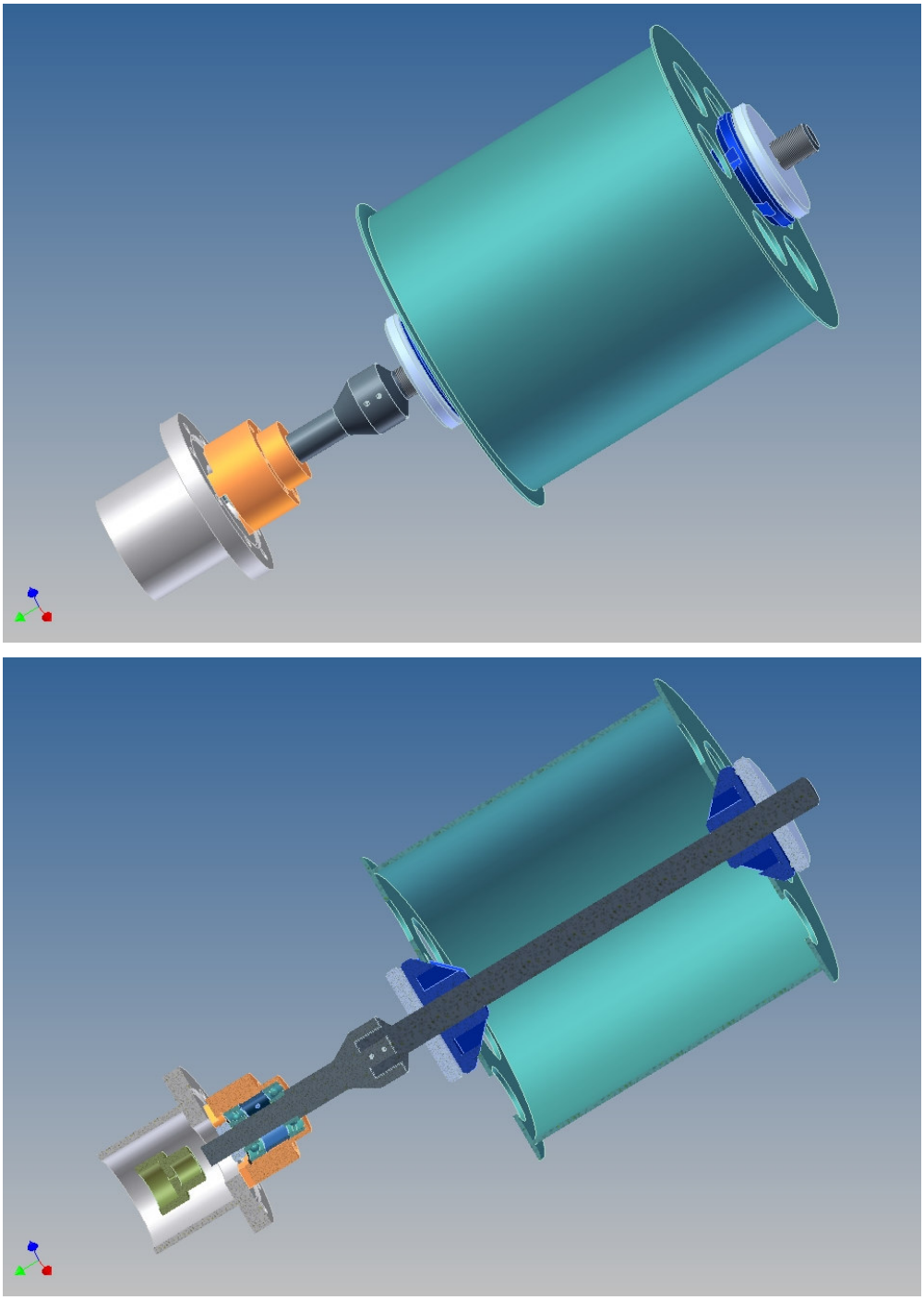

Figura 2-20. In alto sinistra, una delle bobine assemblate per la seconda alternativa. In basso, una vista in sezione.

Questo sistema di sostegno, pur essendo globalmente più semplice da costruire, potrebbe presentare l'inconveniente di non mantenere il perno rigorosamente in posizione verticale, a causa di un maggiore sforzo agente sul

cuscinetto. Per questo motivo, al fine di correggere eventuali disassamenti della bobina sarà opportuno interporre, fra il modulo cuscinetto ed i fori della flangia, delle *molle a tazza* che permettano di regolare a piacere l'inclinazione del perno, secondo le necessità.

Infine, per quanto riguarda l'aggancio del nastro alla bobina, si provvederà inizialmente ad un fissaggio con nastro Kapton®, per arrivare poi ad una soluzione più elegante che si addica ad una macchina industriale.

2.6 Assemblaggio globale della camera

Analogamente ai sistemi di movimentazione, sono state sviluppate due configurazioni di massima anche per l'intera camera da vuoto. Tuttavia, avendo lavorato in parallelo sulle due, con la possibilità quindi di confrontare i pro ed i contro di entrambe, verso la fine della progettazione si è deciso di incanalare le forze maggiormente su uno solamente dei progetti: il secondo.

Indipendentemente dall'alternativa considerata, le camere sono state equipaggiate nella parte frontale con tre flangie rettangolari per i magnetron (due affacciate per depositare sul nastro, prima e dopo il rinvio, ed una terza ortogonale per depositare su un substrato, dopo aver rimosso il rinvio), e nella parte retrostante con una flangia per il magnetron da 10 pollici, una CF150 di servizio, le CF63 per i rinvii ed i misuratori laser. Ancora, in entrambe le soluzioni sarà possibile applicare un ion gun al posto dell'oblò dello sportello anteriore, per operare sul nastro a contatto col rullo.

2.6.1 Prima alternativa della camera

In questa sezione verranno prese in considerazione le modifiche alla camera esistente e le soluzioni tecniche studiate per la prima alternativa. La caratteristica di questo sistema è la movimentazione del nastro mediante bobine e rinvio fissati su due punti; inoltre, oltre a quanto descritto in sezione 2.5.1, è stato ritenuto opportuno inserire dei rinvii intermedi, di sezione più piccola, per far scorrere il nastro in direzione sempre parallela ai magnetron.

Modifica della camera grezza

Nella prima parte della camera dovranno essere praticati tre fori per le flangie dei magnetron rettangolari, ed altri due per le CF63 del rullo di rinvio.

Nella seconda parte serviranno dieci fori per le CF63: quattro per le bobine, quattro per i rinvii piccoli e due per i laser; quindi un foro per il magnetron circolare ed uno per la CF150. Inoltre, per evitare la sovrapposizione delle nuove

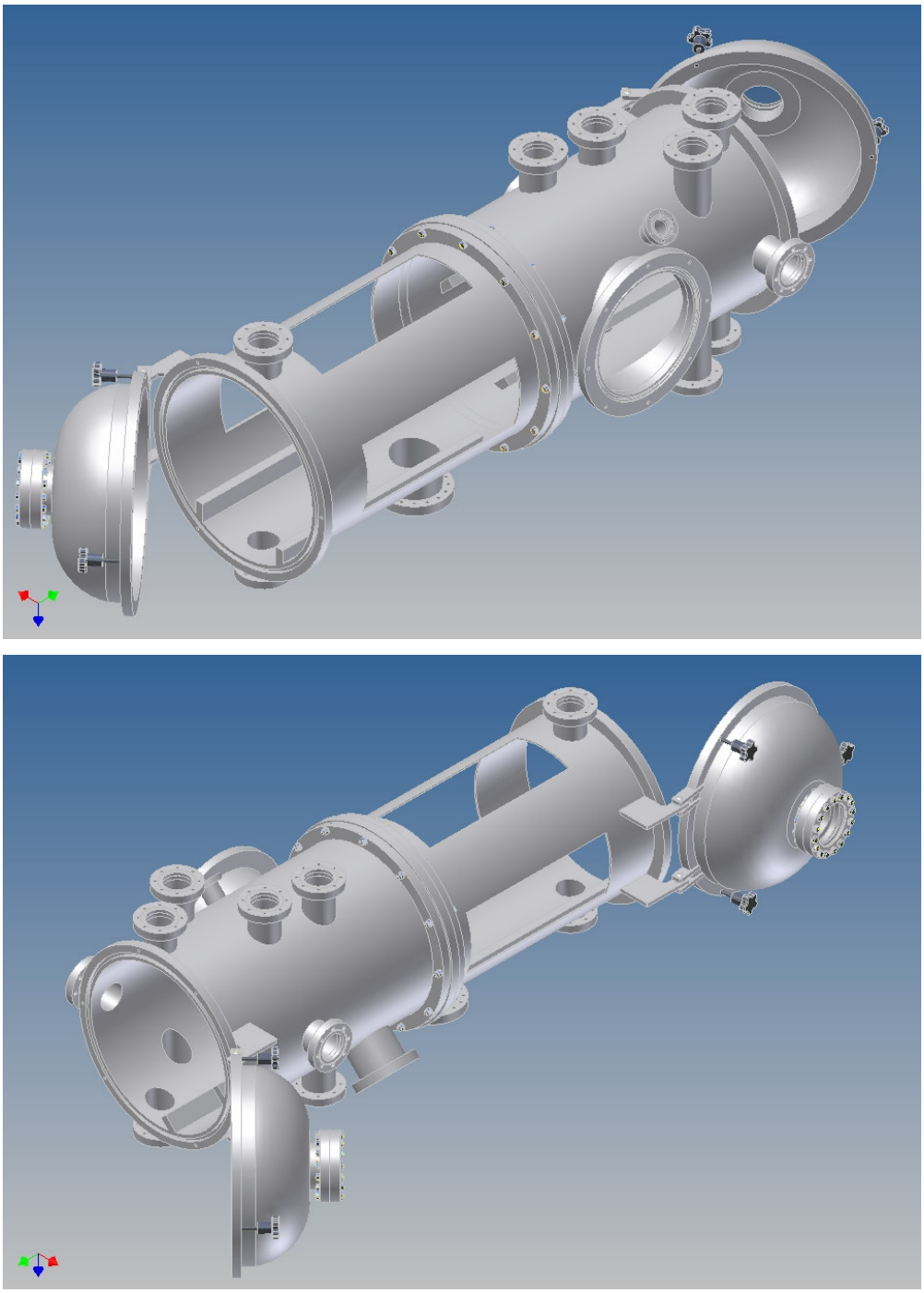

Figura 2-21. Il siluro a camera doppia con le lavorazioni necessarie a mettere in pratica la prima alternativa. Si noti la rotazione proposta per evitare la sovrapposizione della flangia CF63 di uno dei rinvii minori con la CF100 di pompaggio.

flangie con quelle già esistenti, è stato proposto di ruotare questa parte della camera di 45°, il che implica il riposizionamento delle cerniere del coperchio e l'esecuzione di nuovi fori per la chiusura dello sportello e per l'aggancio della camera ruotata a quella fissa.

Questa alternativa ha il pregio di avere un sistema di rinvii sicuro ed affidabile, che non potrà essere ruotato rispetto al proprio asse. Tuttavia, vi sono degli svantaggi che riguardano sia le specifiche richieste dal committente che l'impatto economico delle lavorazioni necessarie:

- l'introduzione dei rinvii di piccolo diametro (50 mm) per delle piccole correzioni alla traiettoria del nastro elude la richiesta del committente di avere un raggio minimo di curvatura di 100 mm
- l'elevato numero di flangie da saldare per i rinvii, che devono essere a due a due perfettamente in asse. Ciò implica anche costi più elevati per bobine e rinvio, come accennato al paragrafo 2.5.2
- le lavorazioni per la rotazione di 45° alla camera posteriore, anche se semplici, incideranno sul costo finale della macchina

Movimentazione e sistemi di deposizione

Di seguito verranno rappresentate le caratteristiche della camera proposta come prima alternativa, sia per quel che riguarda la movimentazione che per i sistemi di deposizione.

La movimentazione con bobine e rulli vincolati su due punti è stata progettata per essere il più compatta possibile, cosa che ha permesso di mantenere all'interno della semicamera posteriore spazio sufficiente anche per la flangia di servizio ed il magnetron da 10 pollici.

I rinvii piccoli possiedono la stessa filosofia costruttiva delle bobine, e presentano semplicemente un raggio minore; inoltre non sono provvisti di alette terminali o di bombatura, in quanto non necessarie in questo caso.

Lateralmente rispetto alle bobine sono presenti i laser di misura dello spessore. E' importante che questi siano collocati in posizione radiale rispetto al centro della bobina (così come è importante che le bobine non abbiano gioco) e che vadano a leggere non oltre il punto di tangenza del nastro, per evitare di avere un errore sul

diametro proporzionale al diametro effettivo della bobina ed all'angolo compreso tra bobina e rinvio.

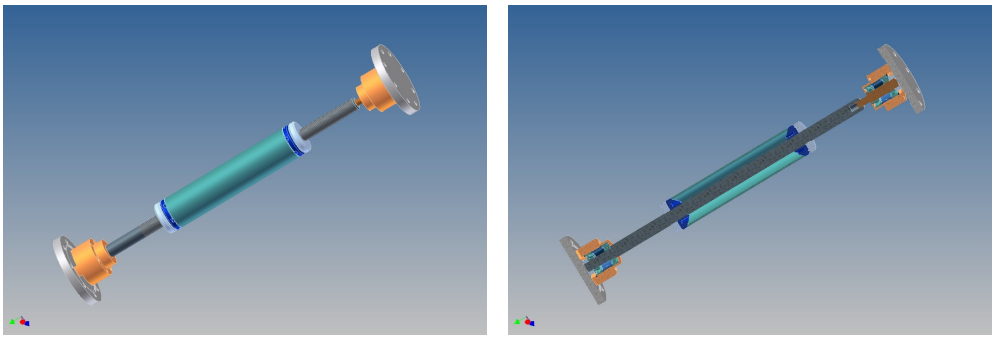

Figura 2-22. A sinistra, uno dei rinvii assemblati per la prima alternativa, con la medesima filosofia costruttiva delle bobine e del rullo. A destra, una vista in sezione.

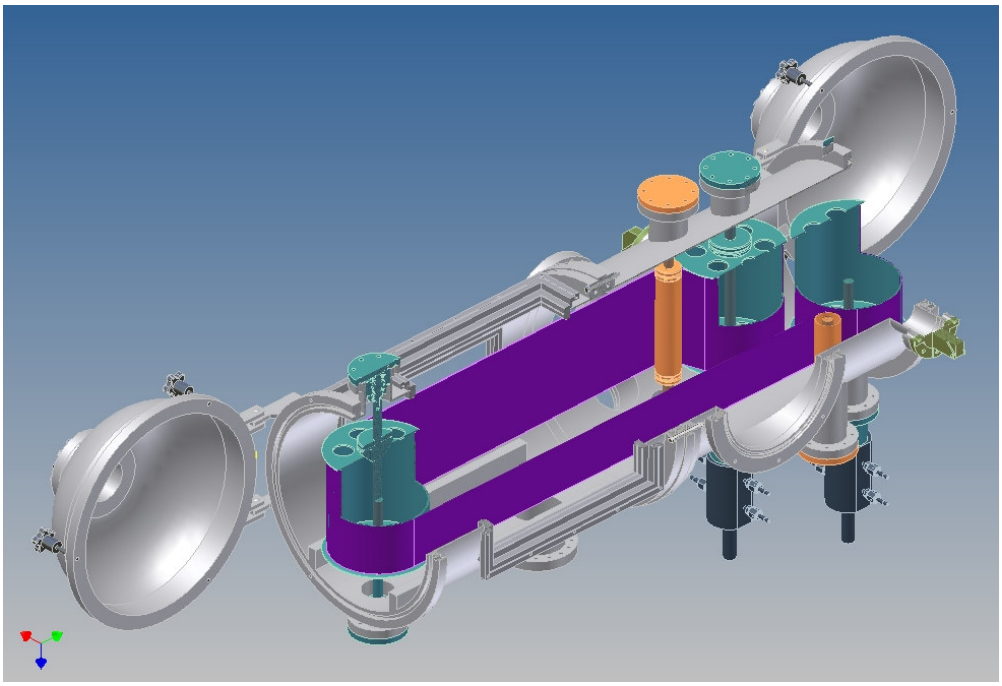

Figura 2-23. Vista in tre quarti della prima alternativa del siluro a camera doppia, completo del sistema di movimentazione del nastro (verde), dei rinvii ausiliari (arancio), dei controlli dello spessore (verde oliva) e dei passanti ferrofluidici (nero.

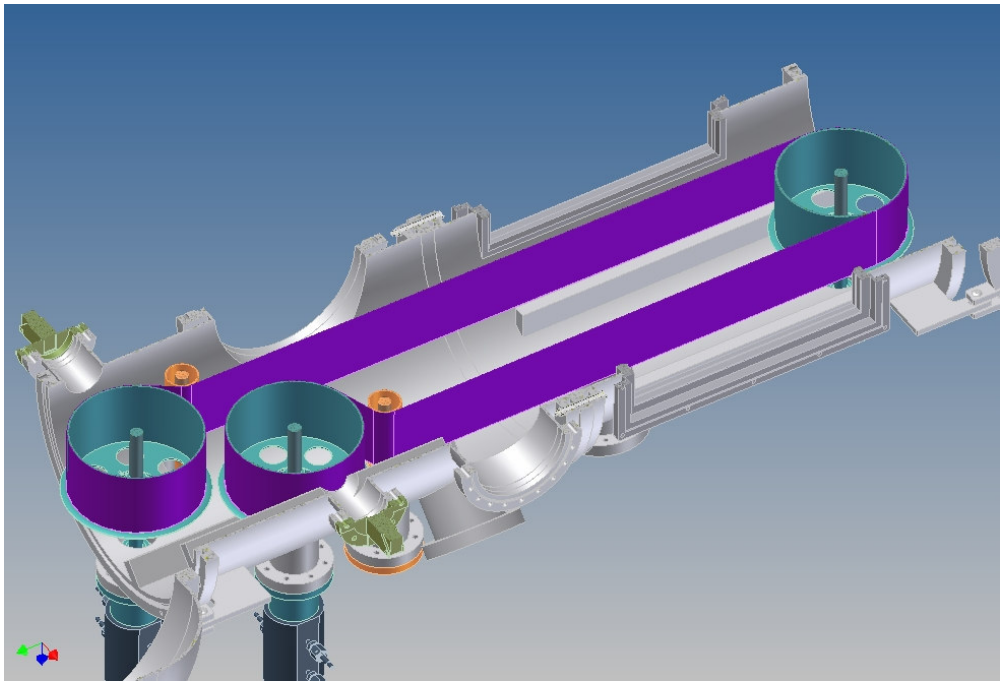

Figura 2-24. Vista in sezione della prima alternativa del siluro a camera doppia con tutto il necessario alla movimentazione del nastro.

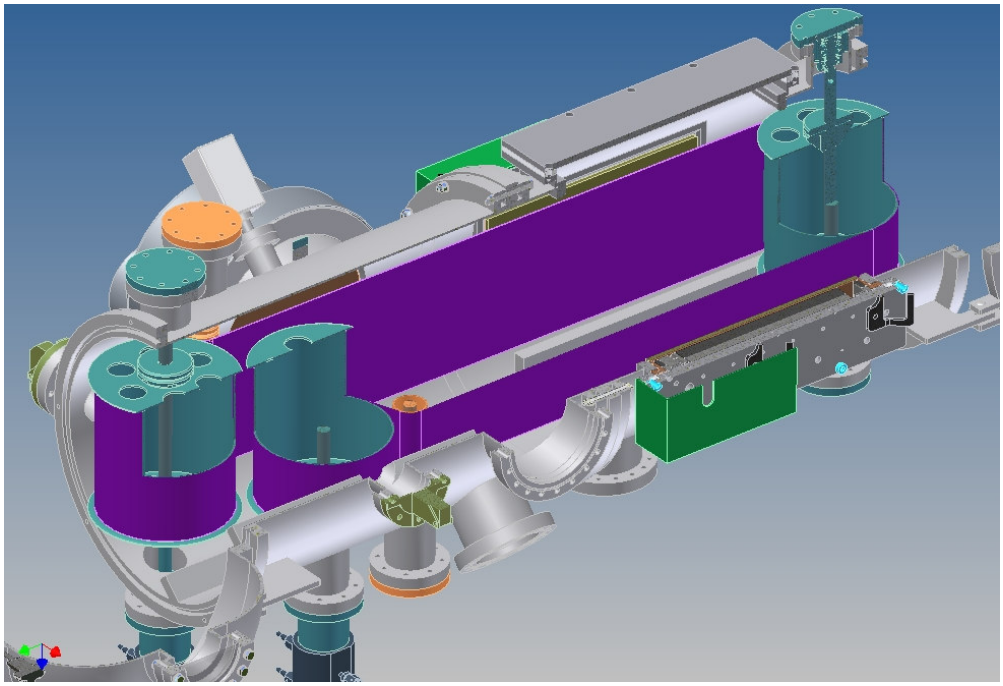

Figura 2-25. Vista in tre quarti della prima alternativa del siluro a camera doppia, completo anche dei sistemi di deposizione: due magnetron rettangolari ed uno circolare.

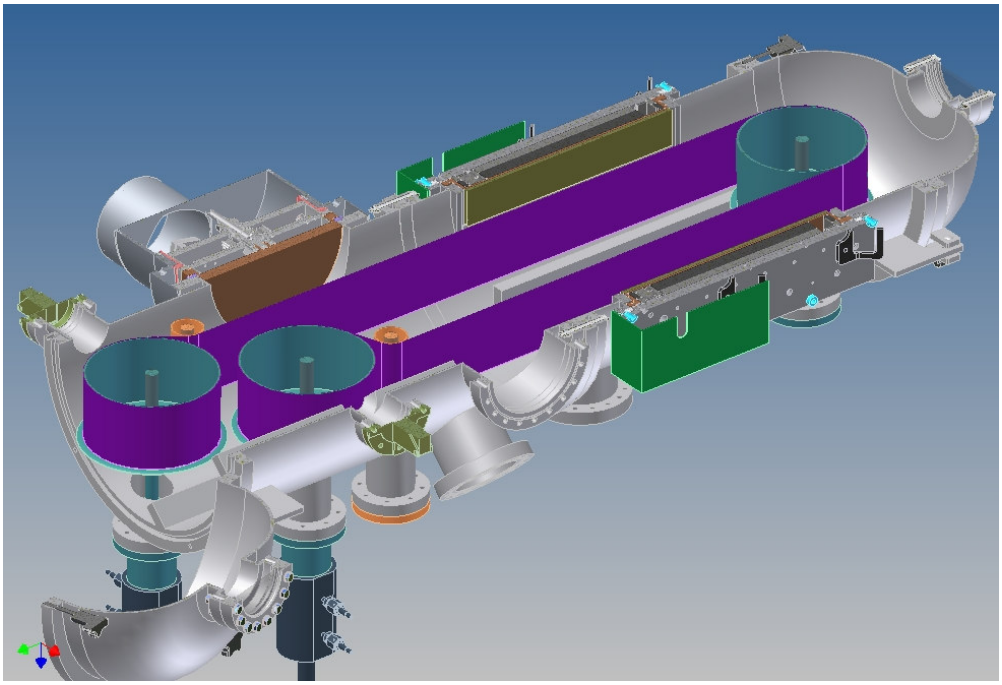

Figura 2-26. Vista in sezione della prima alternativa del siluro a camera doppia, completo anche dei sistemi di deposizione.

2.6.2 Seconda alternativa della camera

La seconda alternativa per la camera da vuoto considera l'impiego di rinvii ancorati ad un solo punto di contatto. Questa scelta ha portato ad un risparmio di spazio nella parte superiore della camera, che è potuta così essere occupata da una quarta flangia rettangolare per magnetron, utilizzabile per depositare dopo aver rimosso le bobine ed il nastro.

Modifica della camera grezza

Nella prima parte della camera dovranno essere praticati tre fori per le flangie dei magnetron rettangolari, ed un altro per la CF63 del rullo di rinvio. Nella seconda parte serviranno quattro fori per le CF63: due per le bobine e due per i laser; quindi un foro per il magnetron circolare, uno per la CF150 di servizio ed uno per il magnetron rettangolare.

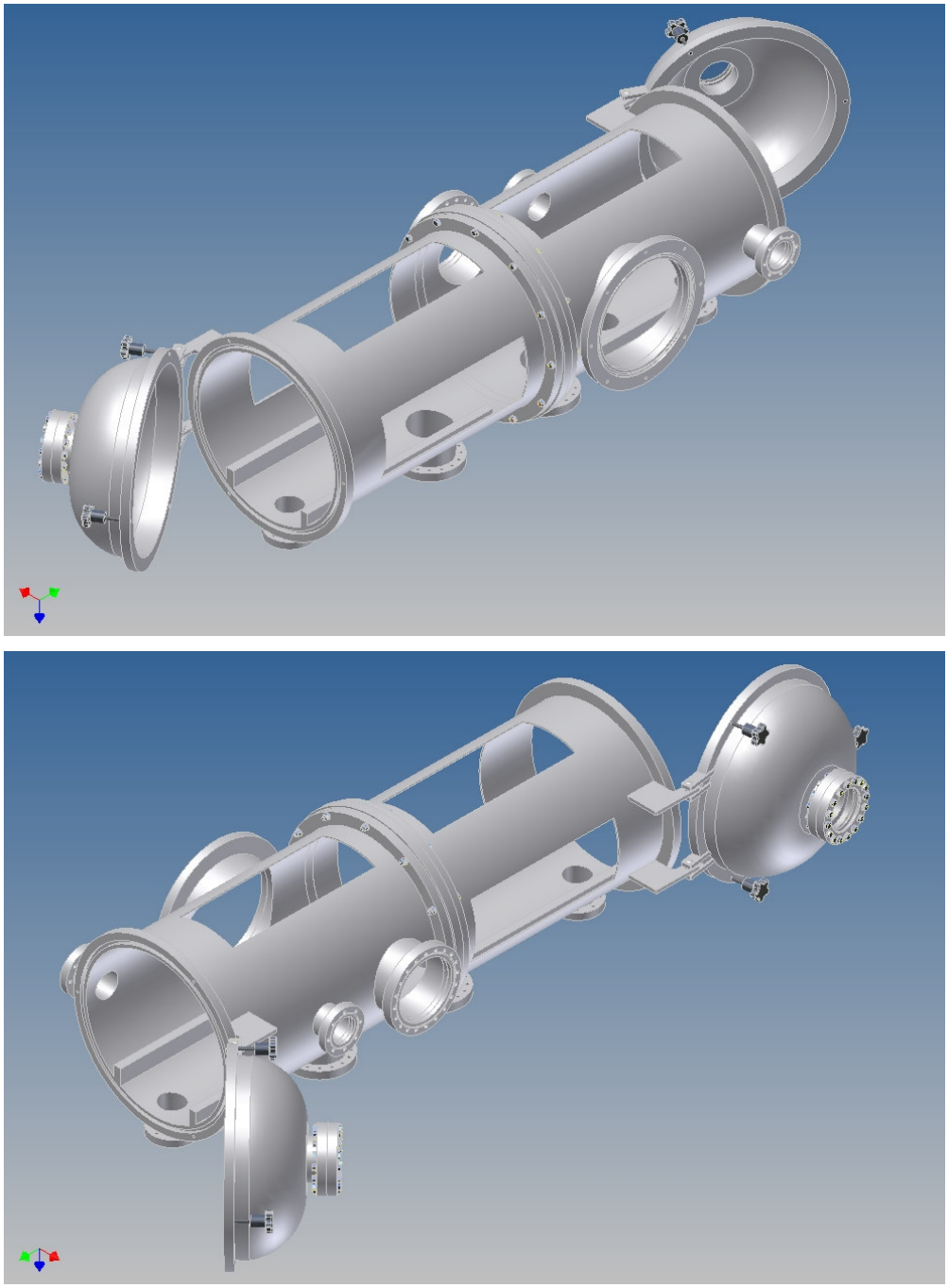

Figura 2-27. Il siluro a camera doppia con le lavorazioni necessarie a mettere in pratica la seconda alternativa.

Movimentazione e sistemi di deposizione

La progettazione del sistema di movimentazione è risultata più efficace del caso precedente in quanto, con l'intento di rendere il più semplice e funzionale possibile la macchina, sono emerse delle soluzioni tecniche in grado di soddisfare

a più requisiti. Inizialmente, infatti, era stato previsto di non introdurre dei rinvii intermedi in camera, visto che avrebbero portato a non rispettare le specifiche sul raggio di curvatura minimo del nastro. Quindi si era pensato ad un sistema di movimentazione semplificato senza rinvii intermedi, e con gli assi delle bobine separati tra loro di un paio di centimetri rispetto al piano mediano della camera[3]. In questo modo, pur rispettando la condizione sul diametro, viene garantito entro l'1% il parallelismo tra nastro e magnetron.

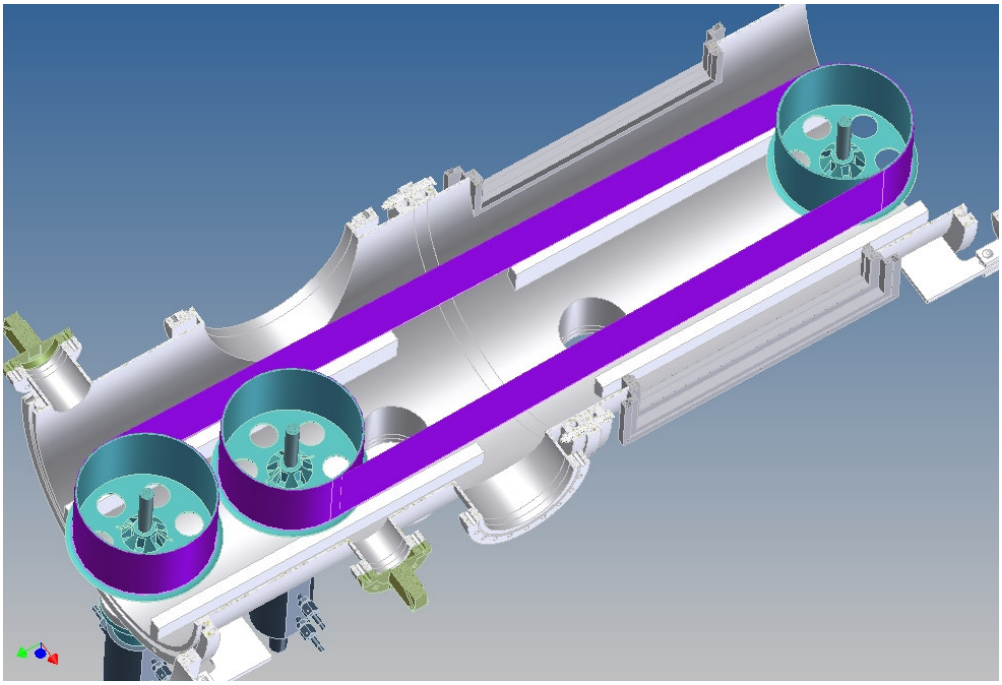

Figura 2-28. Il siluro a camera doppia, nella seconda alternativa, con il sistema di movimentazione pensato inizialmente.

Lo step successivo è stato quello di considerare anche altre possibilità di impiego della macchina, con del nastro avente caratteristiche meno stringenti, pur mantenendone il parallelismo con i magnetron. L'idea quindi è stata quella di sfruttare le guide già presenti in camera per fissare due moduli rinvio amovibili, uno per ciascuna bobina, in grado di lavorare con qualsiasi bobina di diametro

[3] Dai calcoli da noi effettuati risulta che, per un diametro delle bobine di 200 mm ed uno spessore del nastro di 20 µm, comprensivi di 12 mm di supporto (come per il nastro d'alluminio) e del contributo sovrastimato dato dal film, per aumentare lo spessore globale fino a 240 mm (il diametro tale per cui si abbia contatto con l'altra bobina) sono necessari circa 700 m di nastro, lunghezza di molto superiore a quella richiesta per l'impianto.

inferiore a 220 mm. In questo modo la camera potrà essere impiegata secondo due configurazioni di massima:

A. Senza moduli di rinvio e con bobine di diametro minimo 200 mm, mantenendo comunque un buon parallelismo nastro-magnetron. Questa configurazione soddisfa le specifiche del committente.
B. Con moduli di rinvio e con bobine di diametro qualsiasi, per film che non richiedono raggi di curvatura così grandi. Questa configurazione sarà impiegata per studio di processi meno fini, ma con molto più materiale da trattare.

I moduli rinvio sono costituiti da un cavalletto di appoggio, che va fissato con delle viti laterali su entrambe le guide, e sul quale sono avvitati due rinvii progettati ad hoc. Questi hanno una luce per il nastro di 0,5 mm, e lo parallelizzano indipendentemente dal suo diametro effettivo sulla bobina.

Per quanto riguarda i rinvii, date le restrizioni di spazio dettate dalla geometria della camera, dal percorso del nastro e dalla locazione delle bobine, è stato necessario abbandonare l'idea dei moduli cuscinetto esterni, per impiegare invece dei cuscinetti interni. La struttura è basata su di un cilindro sagomato munito di sedi, alle estremità, atte ad alloggiare la corona esterna dei cuscinetti. I cuscinetti sono vincolati saldamente al cilindro del rinvio grazie a delle ghiere filettate a passo fine da avvitare in testa al cilindro, e che vanno in battuta sulla corona esterna del cuscinetto. Una barra di supporto, in battuta sulla corona interna di entrambi i cuscinetti, ne mantiene fissata la distanza. La barra ha una sezione sagomata e filettata alle estremità, in modo da trapassare i cuscinetti e permettere il loro fissaggio alla barra mediante due dadi, di battuta e di controbattuta.

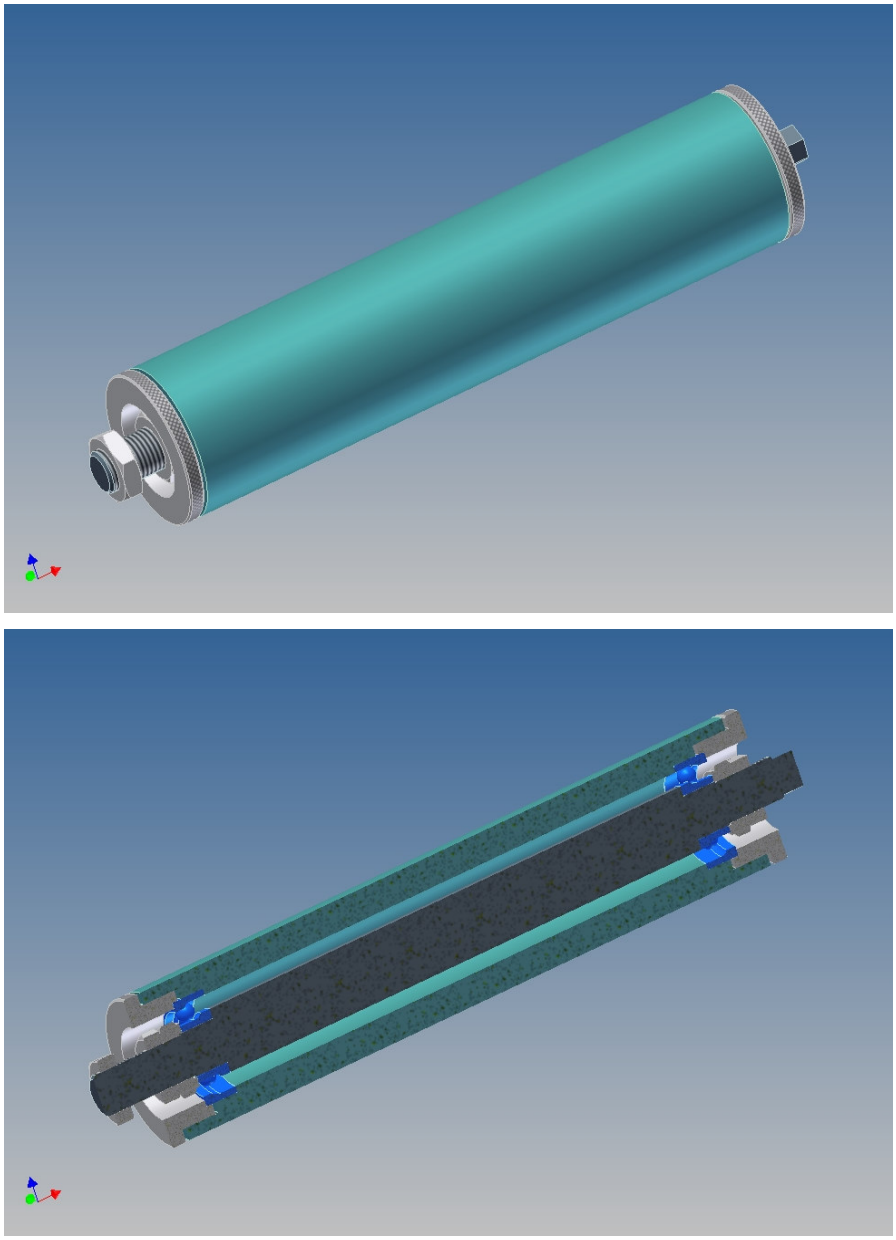

Figura 2-29. A sinistra, il rinvio a cuscinetti interni. Si noti in alto a destra la testa esagonale per il fissaggio a chiave, ed in basso a sinistra il dado piatto che servirà da controbattuta nel posizionamento sul cavalletto, A destra, una vista in sezione degli stessi componenti, con i cuscinetti in blu.

Sebbene l'uso di due cuscinetti possa sembrare eccessivo, date le piccole masse e forze in gioco, è stato comunque ritenuto opportuno proseguire per questa via in modo da dare maggior rigidità strutturale al sistema, grazie al perno di compressione della struttura.

Il fissaggio dei rinvii sul cavalletto di appoggio è realizzato mediante la stessa barra filettata, avvitabile grazie alla testa esagonale ricavata sull'altro lato della barra, che viene ulteriormente bloccata da un dado di controbattuta. Per esigenze di spazio, tutti i dadi impiegati sono di tipo ribassato.

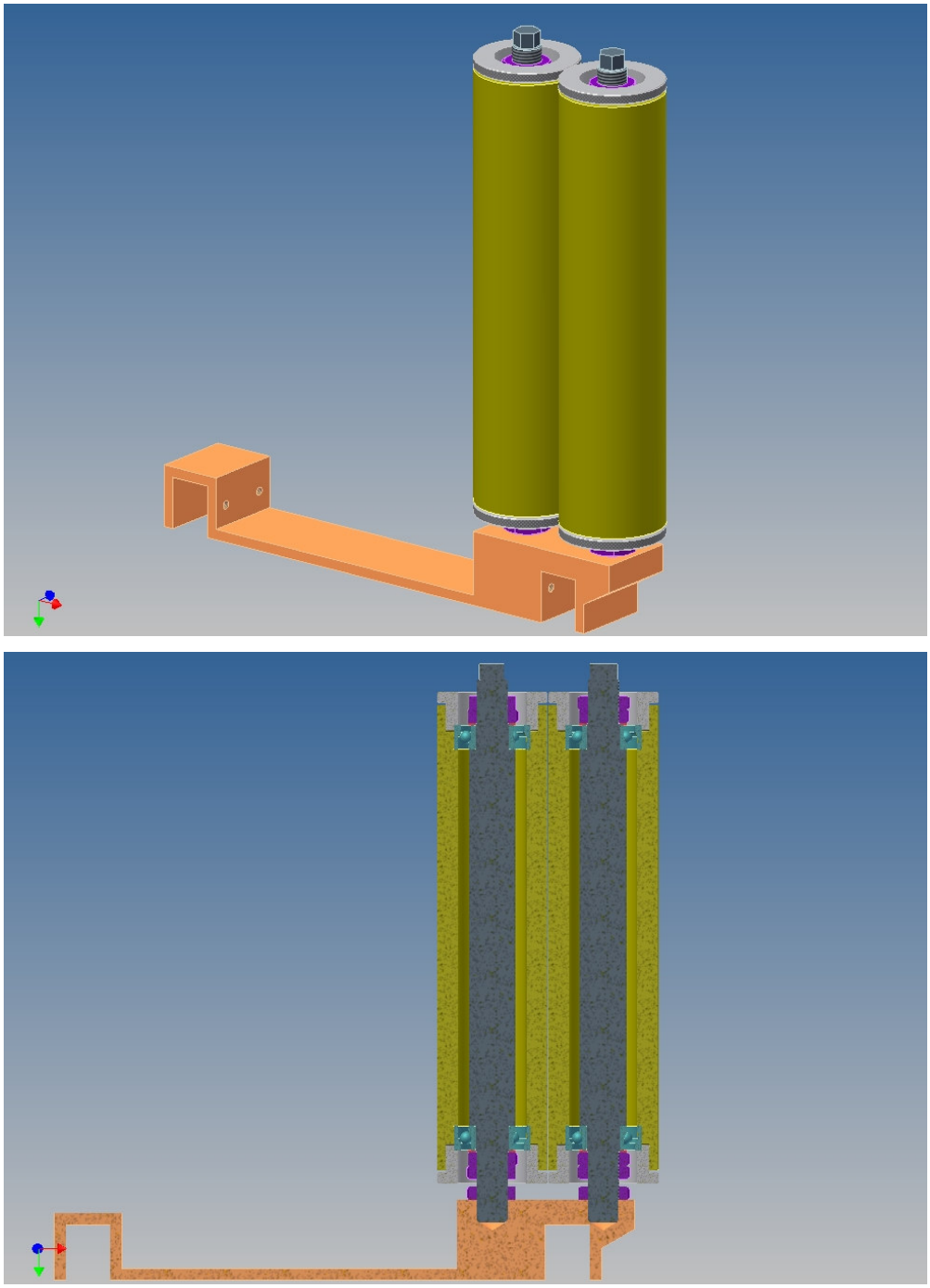

Figura 2-30. A sinistra, uno dei moduli rinvio progettati. A destra, la sezione mostra l'ancoraggio dei rinvii al cavalletto.

Grazie all'applicazione di questi rinvii, inoltre, è stato possibile mettere a punto degli schermi da interporre lungo il piano mediano della camera, con la funzione di evitare il ricoprimento di ciascun magnetron ad opera di quello posto di fronte, cosa che provocherebbe da un lato la sua contaminazione, dall'altro una parziale deposizione del retro del nastro.

Gli schermi sono stati disegnati per stare fra i due lembi del nastro durante tutto il suo ciclo; quello della prima camera è ricavato da una lastra piana sagomata, quello della seconda da una lastra piegata ad S. Entrambi presentano delle asole di fissaggio mediante viti passanti, e per la loro installazione in camera è necessario rimuovere temporaneamente almeno il rinvio principale.

Le chiavette di fissaggio sono anch'esse provviste di asole, e sono puntate alla superficie interna della camera, tranne una che è fissata con delle viti ad una delle guide sfruttate per i moduli di rinvio.

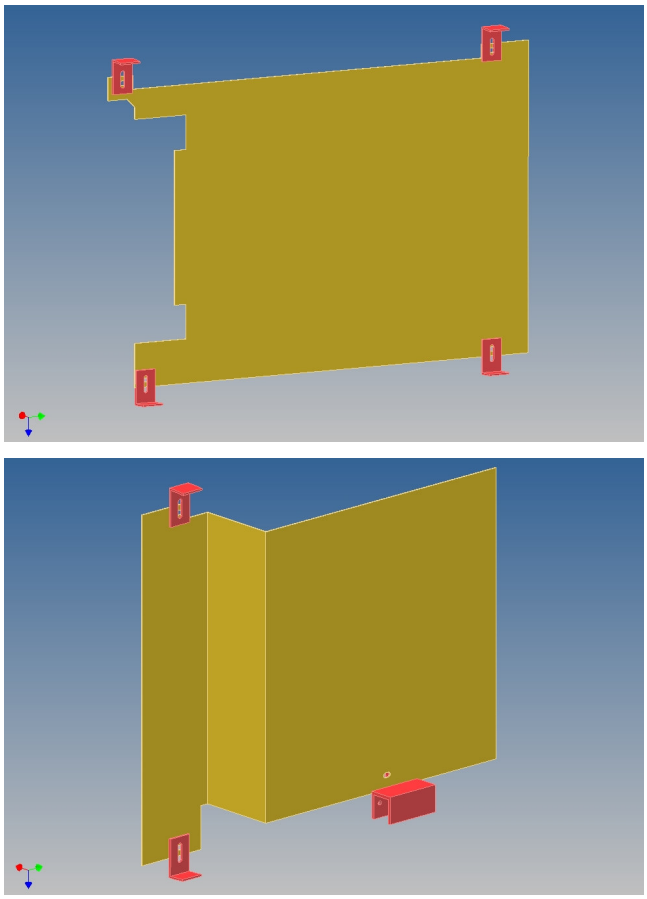

Figura 2-31. A sinistra, lo schermo per la prima parte della camera. A destra, quello per la seconda parte, con uno degli ancoraggio fissati alla guida della camera.

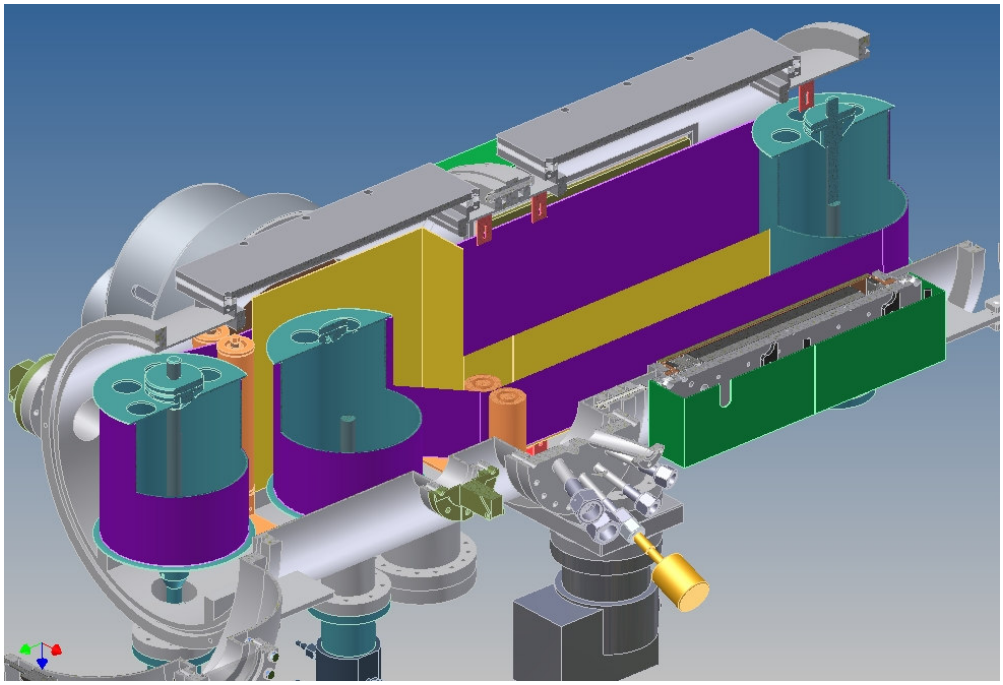

Figura 2-32. Vista in tre quarti della seconda alternativa del siluro a camera doppia, completo del sistema di movimentazione del nastro (verde), dei rinvii ausiliari (arancio), dei controlli dello spessore (verde oliva), dei passanti ferrofluidici (nero) degli schermi (giallo) e del gruppo di pompaggio (grigio).

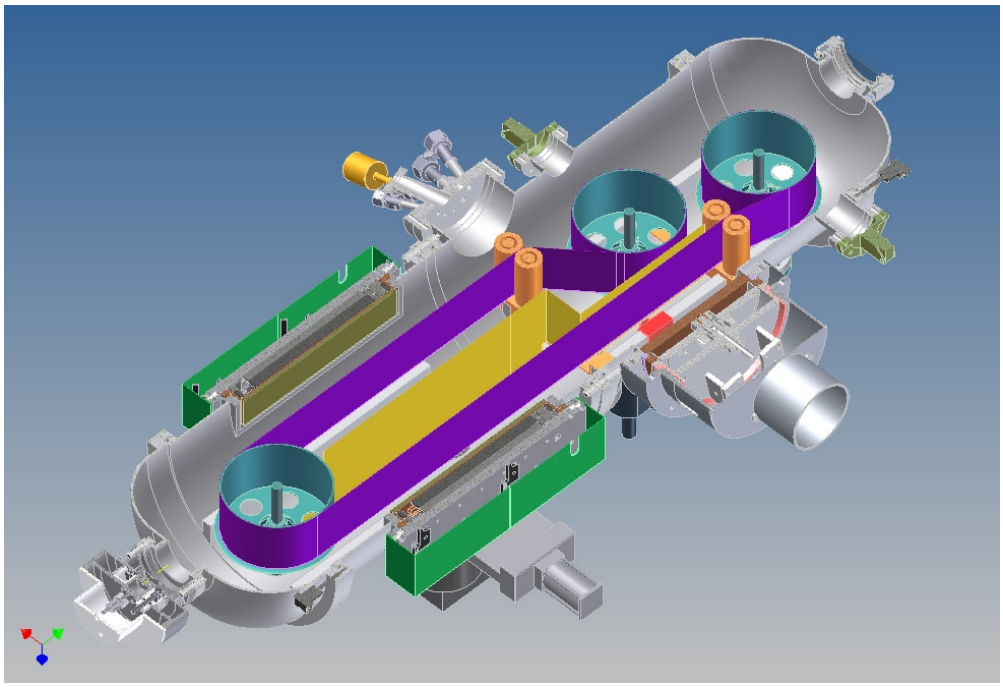

Figura 2-33. Vista in sezione della camera equipaggiata con i sistemi di movimentazione, deposizione, controllo spessore e sicurezza. Si noti come, durante il ciclo del nastro, quattro tipi di deposizione siano possibili.

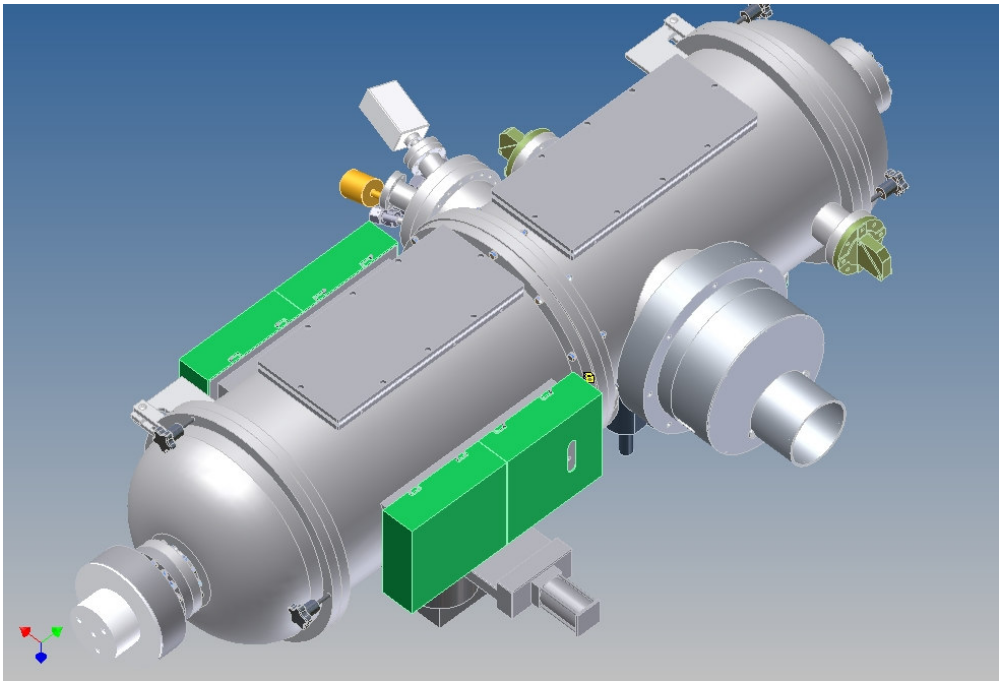

Figura 2-34. Una vista esterna del sistema completo.

Ricapitolando, la camera costruita secondo questa configurazione porta ai seguenti vantaggi, ponendo rimedio a molti dei problemi visti per la prima configurazione.

- riduzione dei costi relativa al sistema primario di bobine e rullo
- ottemperanza alle specifiche imposte dal committente
- polivalenza per la deposizione di nastro sia con bobine di grosso che di piccolo diametro

3 Sviluppi futuri

In contemporanea alla conclusione del master, le prime tavole per le lavorazioni meccaniche necessarie stanno già per essere spedite alla ditta prestatrice d'opera.

Oltre alle modifiche più importanti qui presentate, riguardanti le camere e la loro ingegnerizzazione, in futuro si pensa sarà possibile includere, nella flangia cieca rettangolare, dei passanti idraulici per portare il raffreddamento al rinvio principale, in modo da mantenere freddo il nastro e crescere il film con una struttura più compatta.

Inoltre, dato l'interesse manifestato dalla TFE, verrà acquistato un target di silicio per la produzione di silice mediante sputtering in ossigeno. Contestualmente, grazie ai disegni potrà essere riprodotto un coperchio in rame sul quale brasare il nuovo target, che verrà usato su una delle quattro basi già acquistate.

4 Conclusioni

Il lavoro di progettazione di questo sistema da vuoto ha visto l'analisi in parallelo di due alternative possibili. Verso la fine del percorso di master è emerso chiaramente il ruolo che la macchina andrà a ricoprire. Contemporaneamente, sono pervenuti da parte della ditta committente –TFE per conto di ST Microelectronics- segnali concreti di approvazione del progetto, che ne hanno delineato chiaramente la direzione di lavoro.

5 Tavole tecniche

Nelle pagine che seguono sono rappresentate le tavole con una parte dei disegni tecnici, volutamente pubblicati senza quote, che fanno riferimento esclusivamente alla seconda alternativa presentata.

In particolare, prima sono elencati i disegni del magnetron rettangolare e dei pezzi accessori, poi quelli del sistema di movimentazione, degli schermi ed infine quelli della camera.