



ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sezione di Milano

INFN -18-04/MI

11 Aprile 2018

Sistema per la manipolazione remota in vuoto dei bersagli per la camera di reazione di GALILEO installata presso i LNL

Simone Coelli¹, Giovanna Benzoni¹, Andrea Capsoni¹, Carlo Gesmundo¹, Danilo Trotta¹,
Ciro Boiano¹, Ennio Viscione¹

¹⁾ *INFN, Sezione di Milano, Via Celoria 16, I-20133 Milano, Italy*

Abstract

The realisation of a remotely-controlled target-exchange system for the multi-detector array GALILEO has been proposed to the Mechanical Design and Machine Workshop Department of INFN Milano, with the following requirements: possibility of pre-loading 7-10 targets, including quartz and collimators for beam centering procedures; downstream location in front of the beam-dump, almost 3 m away from the scattering chamber; minimum material which can interact with the beam, and under vacuum working conditions, with pressures around 10^{-6} mbar. The system has been designed and built within the Mechanical Design and Machine Workshop Department of INFN-Milano and installed onto the GALILEO beam line at the LNL INFN laboratories in Legnaro.

PACS:07.07.-a ; 07.10.-h

*Published by
Laboratori Nazionali di Frascati*

Contents

1	INTRODUZIONE	3
2	IL SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE GALI.MO.TA	4
2.1	GRUPPO CARICATORE	4
2.2	MANIPOLAZIONE BERSAGLI: AGGANCIO SGANCIO	5
2.3	MODIFICHE ALLA CROCIERA NELLA ZONA DI INTERSCAMBIO	5
2.4	GRUPPO MOVIMENTAZIONE PORTA-TARGHETTA	5
3	TRASPORTO E INSTALLAZIONE	6
4	FIGURE	8

1 INTRODUZIONE

GALILEO è un apparato per la rivelazione della radiazione γ di diseccitazione di stati nucleari, popolati a seguito di reazioni tra un fascio incidente ed un bersaglio. L'apparato è stabilmente installato presso i Laboratori Nazionali di Legnaro e costituito da rivelatori di Germanio Iperpuro (HPGe), alloggiati in una geometria sferica attorno ad una camera di reazione. Per ottimizzare l'efficienza di rivelazione, la camera di reazione ha dimensioni ridotte, con un raggio di circa 12 cm.

Il sistema di rivelazione γ può essere accoppiato a rivelatori ancillari per misure esclusive dei canali di reazione. Tali sistemi di rivelazione, a seconda del loro scopo e metodo di funzionamento, possono essere collocati sia all'interno della camera di reazione (come, per esempio, l'array di telescopi al Si, EUCLIDES), che all'esterno, a sostituire parte dei rivelatori HPGe.

La caratteristica principale di GALILEO consiste nel fatto che esso si apre in due emisferi lungo la linea di fascio. Attualmente il sistema di posizionamento del bersaglio consta di una unica asta porta-bersaglio che viene posizionata nella camera di reazione su un supporto opportunamente realizzato. Poiché la procedura di focalizzazione del fascio e l'esecuzione dell'esperimento prevede il cambio di più bersagli, l'attuale configurazione implica l'apertura della camera stessa ad ogni accesso, comportando la messa in aria e poi, nuovamente, il ritorno in vuoto dell'intera linea di fascio. Il tempo tipico per ogni cambio di target risulta essere di qualche ora.

La richiesta è di avere un sistema di manipolazione dei bersagli che permetta il posizionamento da remoto nella camera di reazione evitando l'apertura della camera stessa. Si chiede di prevedere l'alloggiamento di 7-10 bersagli, tra cui un quarzo e un collimatore usati in fase di centraggio del fascio. Si chiede di prevedere una zona di parcheggio dei target che possa essere isolata in caso di rientro in aria nella linea di fascio principale, per evitare l'ossidazione di bersagli sensibili. La tolleranza nel posizionamento del target all'interno della camera di scattering richiesta è entro 1 mm nella direzione longitudinale all'asse del fascio. Il sistema di movimentazione deve lavorare in condizioni di UHV con pressioni dell'ordine di 10^{-6} - 10^{-7} mbar. Si richiede di minimizzare il materiale presente nella camera di reazione per evitare reazioni secondarie del fascio. Si chiede di avere una lettura della corrente dal bersaglio, prevedendo un isolamento elettrico dell'asta di sostegno. Si intende realizzare il sistema nel 2016 per eseguire l'installazione nel 2017.

Proposta: Realizzazione di un sistema di parcheggio, manipolazione e trasporto del bersaglio con accesso a valle della linea di fascio ad una distanza di 2.5 m dal centro della camera di reazione. Il sistema consente di trasportare un bersaglio fissato ad un supporto porta-bersaglio, posizionato all'estremità di un braccetto. Il braccetto è montato su un carro che scorre su due guide lungo la linea di fascio, trainato da un cavo. La progettazione e realizzazione del sistema di movimentazione target di GALILEO, successivamente indicato con la sigla GALIMO.TA, è oggetto di questo documento.

La zona definita interscambio è quella dove avviene il passaggio dei porta-targhetta

da un gruppo-caricatore alla estremità del braccetto. Per la realizzazione del sistema sono stati modificati opportunamente gli elementi della linea di fascio già esistente, sia per ragioni economiche che logistiche, in modo da favorire le operazioni di rimontaggio e allineamento previste.

Una visione di insieme della struttura montata nella linea di fascio è rappresentata in Figura 4: si evidenzia la zona di parcheggio e manipolazione dei bersagli, in basso in figura, e la zona di affaccio sulla camera di reazione in alto.

2 IL SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE GALLMO.TA

Di seguito la descrizione dettagliata di ognuna delle componenti specifiche.

2.1 GRUPPO CARICATORE

I bersagli utilizzati per le misure presso l'apparato GALILEO sono depositati su lamine di alluminio di dimensioni 12.5 mm x 25 mm. Per poter essere manipolati dal sistema qui descritto, essi devono essere preventivamente avvitati su dei supporti, il cui dettaglio costruttivo è riportato nel pannello superiore di Figura 3. I supporti porta-target presentano una superficie orizzontale nella parte inferiore con un foro che serve per il posizionamento sia nella rastrelliera di parcheggio, che sul braccetto posizionario, per garantire stabilità durante le operazioni di movimentazione. Una superficie orizzontale superiore serve da interfaccia con un perno a baionetta, che consente le operazioni di sgancio dal caricatore e posizionamento sul braccetto. Dettaglio del perno posizionario e del supporto sono visibile nel pannello in alto a destra in Figura 4.

I supporti porta-bersaglio sono posizionati su di una rastrelliera collocata all'estremità di un braccetto solidale ad una slitta, il cui movimento lineare è realizzato attraverso l'asta di un passante da vuoto azionato in aria da un gruppo vite-madrevite (Figura. 3 in basso). Un pin posizionario definisce la posizione dei porta-bersaglio sulla rastrelliera, e garantisce la stabilità di questi durante la movimentazione del gruppo caricatore. L'installazione dei bersagli nei supporti e il loro posizionamento sulla rastrelliera avviene in aria. È quindi previsto che il gruppo-caricatore possa essere rimosso, svincolando una flangia CF63, dal tubo-contenitore fissato alla crociera. Una valvola a ghigliottina tutto metallo, montata sulla crociera principale, viene chiusa prima di rimuovere il gruppo, per garantire la tenuta del vuoto all'interno della linea di fascio principale.

Al rimontaggio del gruppo-caricatore nel tubo-contenitore, è necessario ripristinare un vuoto attorno a 10^{-6} mbar, prima della riapertura della valvola di comunicazione tra le due aree (interscambio / gruppo caricatore). Ciò avviene attraverso un gruppo di pompaggio indipendente.

L'azionamento del gruppo caricatore è manuale, e il posizionamento dei porta-bersaglio nella zona di interscambio è fatto a vista, traguardandone la posizione attraverso un viewport collocato sulla crociera principale. Il gruppo-caricatore è situato in una cam-

era sotto vuoto appositamente costruita e collocata perpendicolarmente alla linea di fascio.

Per la realizzazione del gruppo-caricatore sono stati utilizzati materiali adatti al funzionamento in vuoto. AISI304 per flange e viteria, boccole a ricircolo di sfere per la slitta, come le barre tonde di supporto alla slitta. Per le sue caratteristiche di leggerezza, si è scelto, ove possibile, alluminio Anticorodal. La pulizia delle componenti è avvenuta tramite lavaggio in vasca ultrasuoni, sgrassaggio con alcol etilico e risciacquo con acqua demineralizzata. Asciugatura in forno.

2.2 MANIPOLAZIONE BERSAGLI: AGGANCIO SGANCIO

Per prelevare il porta-bersaglio dal caricatore, esso è intercettato da un perno con attacco a baionetta (Figura 4) che, con una molla di pre-carico, lo rende solidale al perno stesso. Il porta-bersaglio è quindi rimosso dal caricatore ruotando il perno di 90° e sollevando lo stesso. Il porta-bersaglio in questo modo si libera dal pin di posizionamento e si presenta nella posizione corretta per essere inserito sul carrello.

Per studiare ed ottimizzare il sistema di aggancio-sgancio dei supporti porta-bersaglio, abbiamo utilizzato una struttura in plastica la cui geometria corrisponde alle posizioni di fissaggio sulla crociera dei gruppi di movimentazione e gruppo caricatore porta-targhetta. Rendering CAD della struttura sono mostrati nella Figura 4.

2.3 MODIFICHE ALLA CROCIERA NELLA ZONA DI INTERSCAMBIO

L'elemento a crociera della linea di fascio è stato modificato per aggiungere ulteriori accessi e consentire l'installazione del sistema di movimentazione, del perno di centraggio, e di un viewport addizionale. Il disegno costruttivo è riportato in Figura 5. Tutti gli accessi hanno flangiatura CF con o-ring di Cu.

2.4 GRUPPO MOVIMENTAZIONE PORTA-TARGHETTA

La struttura in Figura 7, rappresenta l'intelaiatura che costituisce il sistema di movimentazione carro-braccetto: la sezione portante è costituita da 3 anelli di diametro 97 mm, collegati tra loro da 4 barre di acciaio da 6 mm. A questa sezione principale sono collegate le barre di 2570 mm, che hanno funzione di binari per il carro. Il tratto libero dei binari ha una lunghezza di 1540 mm e costituisce la parte più snella del sistema, non essendo autoportante.

Per il montaggio e la regolazione del sistema di supporto, è stato approntato un apposito telaio temporaneo di sostegno, la cui geometria rispecchia le dimensioni dei tubi della linea di fascio, nei quali è stato inserito dopo l'assemblaggio e i test di funzionamento in aria.

La trazione del carro, che scorre su due barre-guida in acciaio, è realizzata attraverso un cavo, con sistema a circuito chiuso sul carro stesso, messo in moto da una puleggia motrice (gruppo trazione in Figura 9) e sostenuto da una puleggia di rimando all'altra

estremità (Fig. 8). Il cavo utilizzato è di acciaio trecciato, con un diametro di 1 mm. La scelta del materiale e tipologia di cavo è dettata dalle richieste di flessibilità e dalle ridotte dimensioni delle pulegge. Per ridurre l'usura del cavo, la cui sostituzione implica lo smontaggio completo della struttura, si è scelto di realizzare le pulegge in materiale plastico compatibile con il vuoto. Si tratta di PEEK con una durezza superficiale modesta paragonata a quella del cavo, e quindi soggetto ad una usura superiore nell'accoppiamento al cavo.

Anche il carro è stato realizzato in PEEK, di facile lavorabilità e stabilità dimensionale. L'utilizzo del PEEK garantisce anche l'isolamento elettrico, consentendo la lettura del segnale elettrico prodotto dall'interazione del fascio, attraverso un contatto strisciante che intercetta il braccetto porta-targhetta quando questo è nella posizione di presa dati.

Nella struttura in Figura 8 è rappresentato il braccetto porta-bersagli in posizione finale, al centro della camera sperimentale di GALILEO.

Per la rotazione della puleggia motrice (vedi dettaglio in Figura 9) è stato scelto uno stepper motor della McLenan, con una risoluzione 200 steps/giro ($360^\circ/200$), producendo una coppia di 0.5 Nm.

Si è scelto di impostare due regimi di funzionamento: una rotazione continua, per il trasporto lungo la linea di fascio, e una ad impulsi singoli per un preciso posizionamento del carro nella zona di interscambio.

Due attuatori di fine corsa, azionati da magneti posizionati sul carro stesso, forniscono segnali di feedback al motore definendone l'arresto nelle posizioni estreme. Tali sensori sono visibili nel dettaglio a sinistra di Figura 8, vicino alla camera di scattering, e in Figura 9, nella zona di interscambio. Il posizionamento dei sensori permette la regolazione fine della posizione del braccetto nel centro della camera di reazione, entro la tolleranza richiesta, dopo opportuna calibrazione.

Nella zona di affaccio alla camera di reazione, sull'anello di estremità, è stata posizionata una micro-videocamera. Essa registra l'immagine riflessa su un porta-bersagli, in posizione intermedia, su cui è creata una superficie riflettente per trasmettere l'immagine del fascio durante la messa a punto dell'acceleratore.

3 TRASPORTO E INSTALLAZIONE

Per consentire il trasporto su gomma dell'intero sistema, dall'officina meccanica di Milano fino ai laboratori LNL, è stato costruito un telaio dedicato.

Preliminarmente si sono verificate le richieste di massima deformazione imposte nel progetto: la struttura meccanica del sistema da vuoto per il trasporto dei target ha un peso totale di circa 45 kg, concentrati interamente all'altezza della crociera, ed una lunghezza di circa 2.5 m. Il massimo spostamento accettabile prima che le parti interne entrino in collisione determina freccia massima di inflessione inferiore a 1 mm. I risultati della analisi FEM delle guide di trasporto sono mostrati in Figura 10. Il sistema viaggia interamente montato, a parte il gruppo-caricatore e le valvole da vuoto. Il progetto prevede

un telaio realizzato con profili Bosch in alluminio e bulloneria in acciaio.

Il telaio è stato progettato e verificato col metodo degli elementi finiti (FEM) con il software Ansys. Le simulazioni di verifica hanno tenuto conto di due ipotesi, corrispondenti a due diverse fasi del trasporto e dell'installazione: la prima ipotesi ha riguardato il sollevamento del telaio in un unico punto, usando la traversina situata presso la crociera, la parte più pesante dell'intero sistema. La seconda ha riguardato la flessione del sistema poggiato sui vincoli corrispondenti alle due coppie di ruote posizionate sotto il telaio. In entrambi le simulazioni i risultati hanno dimostrato che l'altezza e la struttura del telaio conferisce l'opportuna rigidità flessionale, come mostrato in Figura 11 e 12. La deformazione calcolata risulta inferiore a quella ammissibile, con ampio margine.

Si è quindi proceduto alla costruzione e all'uso del telaio, rappresentato in Figura 13, conseguendo un successo nell'installazione meccanica presso i laboratori LNL, dove si è provveduto poi alla regolazione fine del sistema.

In Figura 14 si riporta una rappresentazione completa dell'apparato così come installato sulla struttura esistente presso LNL. Dopo aver eseguito, presso l'officina meccanica della sede INFN di Milano, dei test della movimentazione in aria, usando un sistema dummy che riproducesse le dimensioni attuali di utilizzo, e in vuoto, posizionando il sistema nella linea di fascio di utilizzo finale, il sistema di movimentazione è stato trasportato presso i LNL.

L'installazione ha comportato la rimozione della linea di fascio e il posizionamento, mediante l'ausilio di un carroponte, della nuova linea di fascio.

Una attenta procedura di centramento del sistema ha permesso di verificare il corretto posizionamento degli elementi lungo tutta la linea di fascio, garantendo che il sistema di movimentazione e le guide rimangano sempre al di sotto della linea di fascio, riducendo al minimo la possibilità di interazione con il fascio. La posizione al centro della camera di scattering è stata controllata e aggiustata nelle tre dimensioni intervenendo sui grani di regolazione previsti sull'anello di sostegno all'affaccio della camera, variando la posizione reciproca dei sensori di fine corsa e rispettivi magneti. Il sistema è poi stato fatto lavorare in vuoto a ciclo continuo per verificare la regolarità del movimento lungo la linea di fascio. Il sistema è attualmente utilizzato per la presa dati durante esperimenti con l'apparato GALILEO.

Referenze aggiuntive sul sistema di movimentazione possono essere trovate nell'LNL Annual Report 2016 [1].

4 FIGURE

List of Figures

- 1 Visione di insieme del sistema di movimentazione remota dei bersagli. In basso è riconoscibile la zona di parcheggio e di manipolazione dei bersagli, mentre alla estremità superiore della linea di fascio il braccetto è illustrato nella posizione corrispondente al centro della camera di reazione. 10
- 2 Dettaglio costruttivo del supporto porta-bersaglio, e, sulla destra, realizzazione dello stesso. Basso: dettaglio costruttivo del gruppo caricatore: a sinistra si ha la manopola di movimentazione e sulla destra si individua la zona di alloggio di un numero pari a 8 bersaglio. L'ingombro totale è di 1100 mm di cui 400 in aria come meccanica di movimentazione lineare. 11
- 3 Dettaglio costruttivo del gruppo caricatore: a sinistra si ha la manopola di movimentazione e sulla destra si individua la zona di alloggio di un numero pari a 8 bersagli. L'ingombro totale è di 1100 mm di cui 400 in aria come meccanica di movimentazione lineare. 12
- 4 In senso orario partendo da sinistra in alto: CAD rendering della struttura in plastica realizzata per lo studio delle procedure di aggancio e sgancio target dal carrello caricatore all'asta porta-bersaglio; dettaglio del perno posizionario e delle superfici di interfaccia realizzate sui supporti porta-bersaglio; accoppiamento perno posizionario/carrello caricatore vista da lato caricatore. 13
- 5 Disegno costruttivo dell'elemento a crociera della linea di fascio. Nella parte anteriore sono stati aggiunti accessi per garantire interscambio con caricatore, alloggiamento perno posizionario e viewports. 14
- 6 Disegno di assieme della intelaiatura e dei binari di guida che consentono la movimentazione del carro-braccio porta bersagli. Tale struttura viene inserita nella linea di fascio. 15
- 7 Realizzazione del telaio prima dell'inserimento nella linea di fascio. 16
- 8 Alto: gruppo movimentazione-lato camera sperimentale GALILEO. Il braccetto con porta bersaglio è nella posizione finale in centro camera. Basso: fotografia della realizzazione dell'affaccio alla camera in cui sono visibili anche il sensore di fine corsa (sinistra) e la micro-videocamera (destra), installati in supporti temporanei stampati in ABS. 17
- 9 Dettaglio del gruppo trazione e dei magneti posizionati sul carro. 18
- 10 Risultati della analisi FEM per il controllo deformativo delle guide di trasporto. 19
- 11 Massima deformazione totale 0.195 mm (somma vettoriale delle deformazioni sui tre assi), ampiamente inferiore alla deformazione massima consentita di 1 mm affinché il cinematismo interno non subisca danni. 20

12	Alto: Particolare riguardante la simulazione della deformazione delle traversine di irrigidimento e delle staffe montate su esse. Basso: Immagine (in scala aumentata) tratta dalla simulazione Ansys riguardante le deformazioni del telaio e del beam pipe nella zona della crociera.	21
13	Telaio di trasporto e linea di fascio.	22
14	Dettaglio dell'accoppiamento del sistema di movimentazione target con la linea di fascio di Galileo.	23

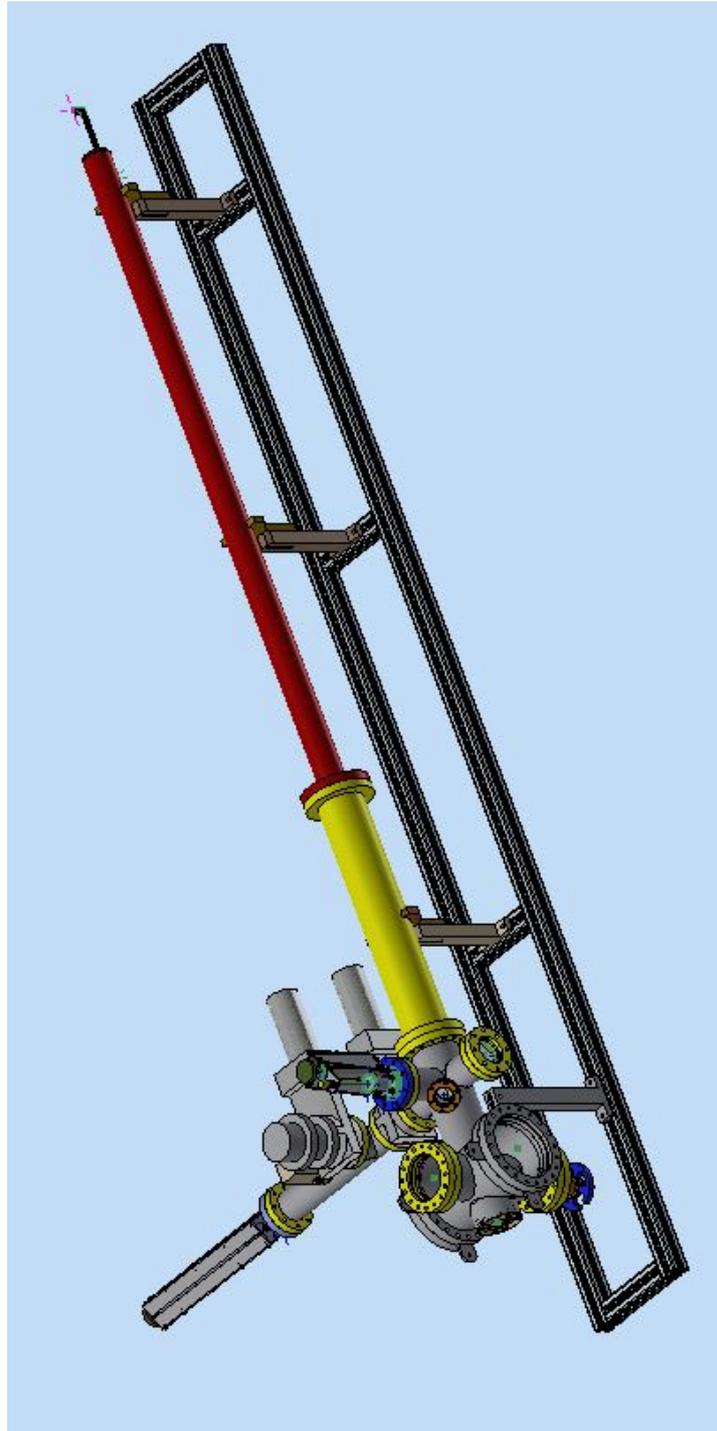


Figure 1: Visione di insieme del sistema di movimentazione remota dei bersagli. In basso è riconoscibile la zona di parcheggio e di manipolazione dei bersagli, mentre alla estremità superiore della linea di fascio il braccetto è illustrato nella posizione corrispondente al centro della camera di reazione.

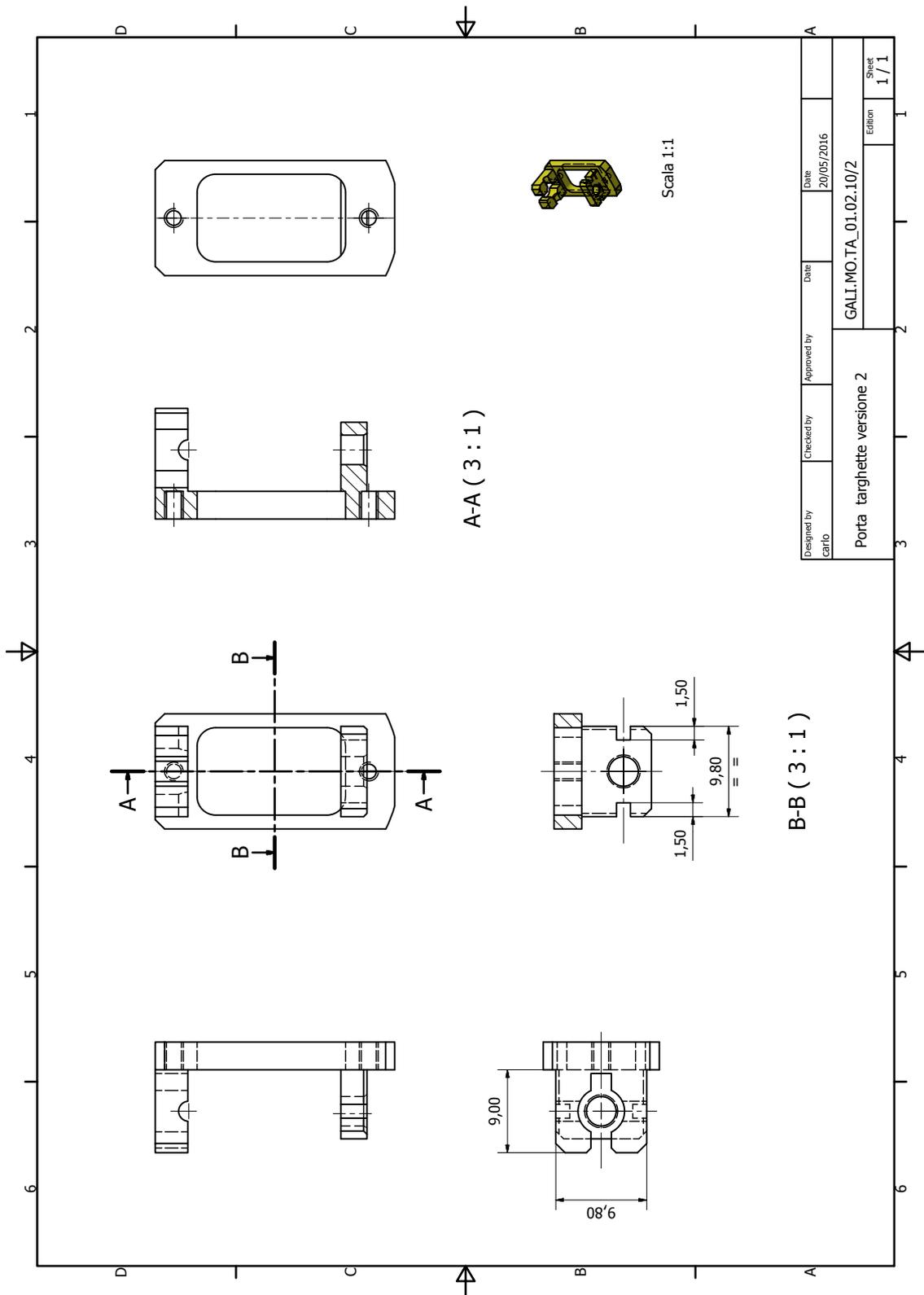


Figure 2: Dettaglio costruttivo del supporto porta-bersaglio, e, sulla destra, realizzazione dello stesso. Basso: dettaglio costruttivo del gruppo caricatore: a sinistra si ha la manopola di movimentazione e sulla destra si individua la zona di alloggiamento di un numero pari a 8 bersaglio. L'ingombro totale è di 1100 mm di cui 400 in aria come meccanica di movimentazione lineare.

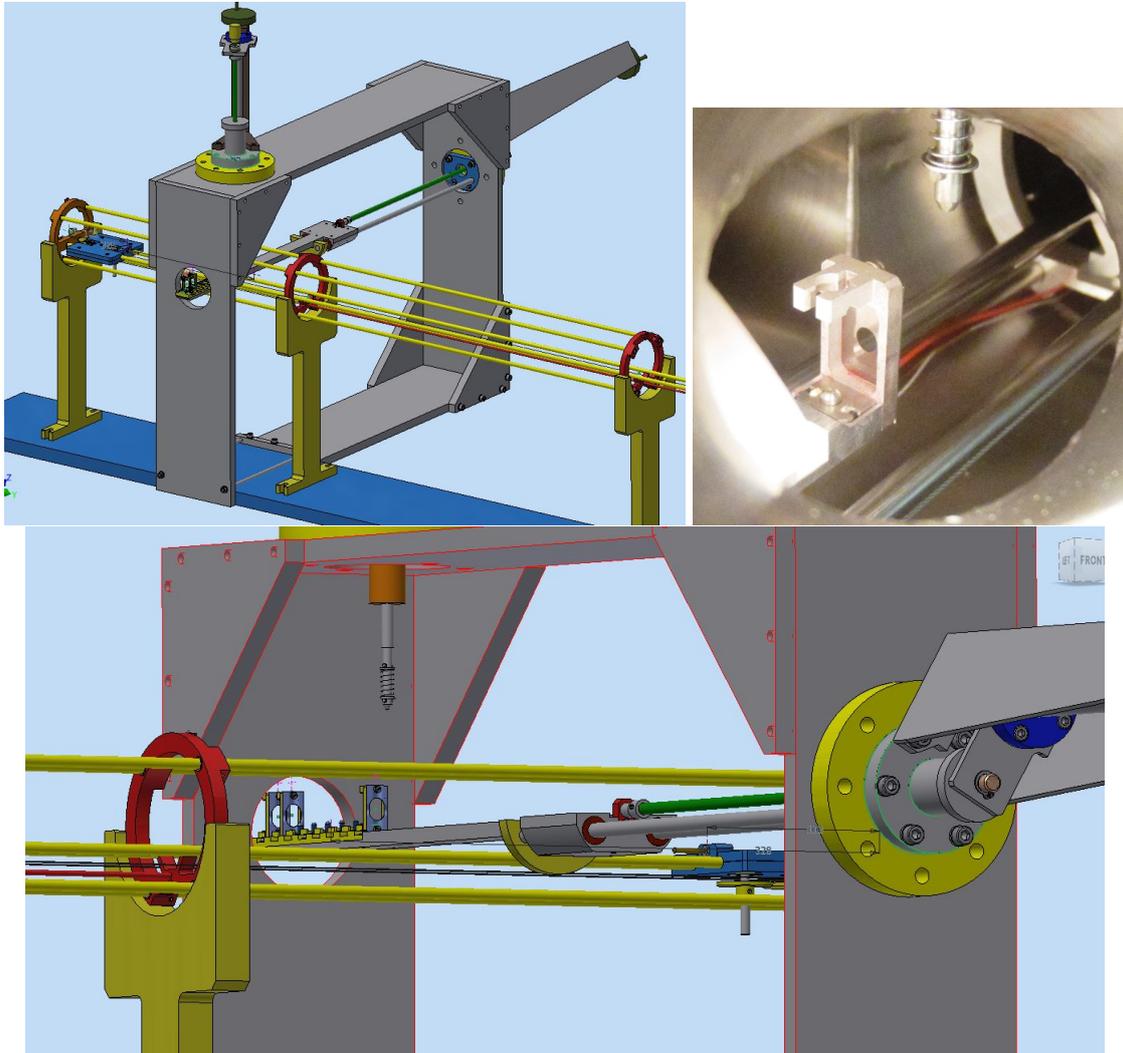


Figure 4: In senso orario partendo da sinistra in alto: CAD rendering della struttura in plastica realizzata per lo studio delle procedure di aggancio e sgancio target dal carrello caricatore all'asta porta-bersaglio; dettaglio del perno posizionale e delle superfici di interfaccia realizzate sui supporti porta-bersaglio; accoppiamento perno posizionale/carrello caricatore vista da lato caricatore.

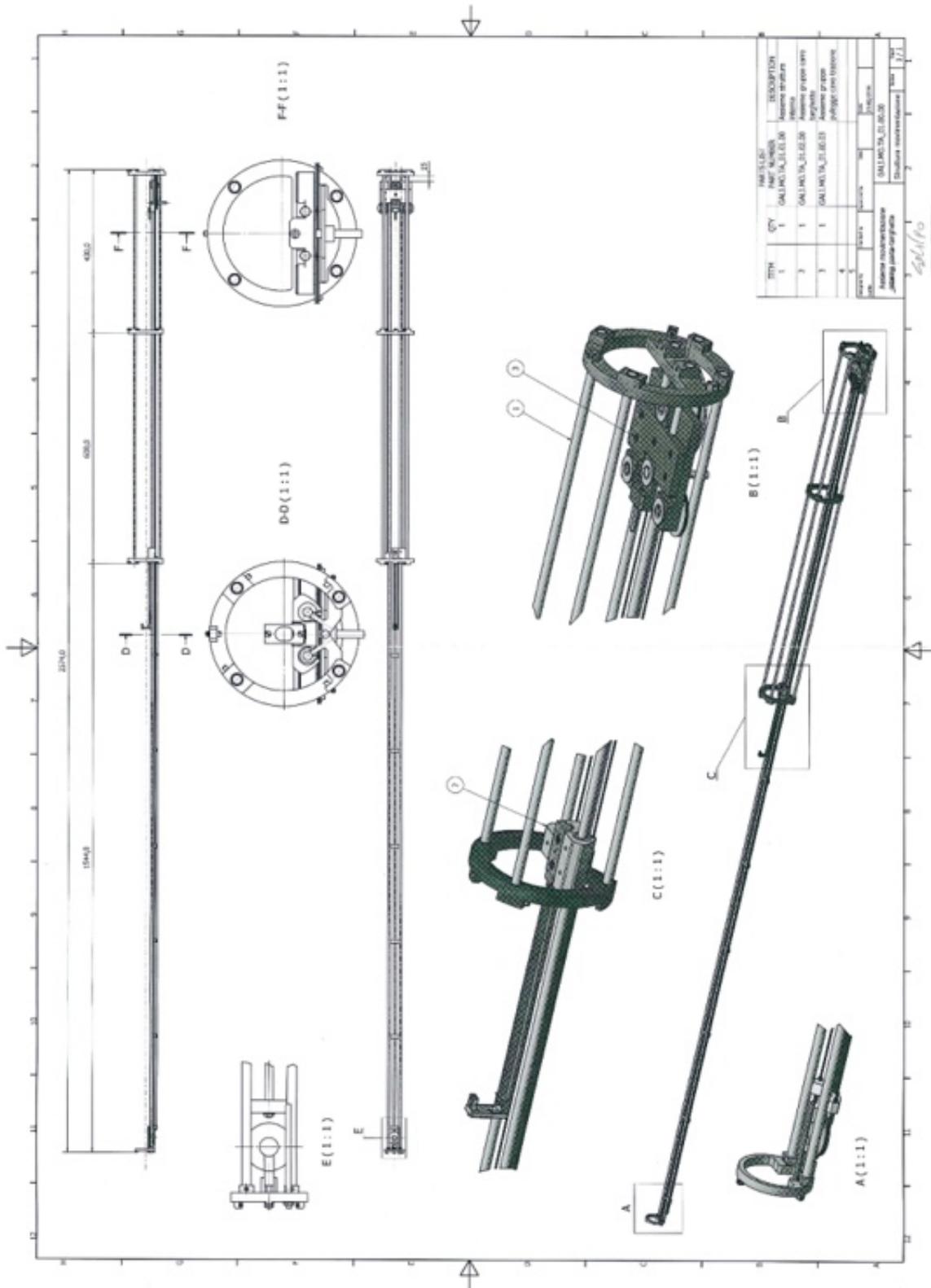


Figure 6: Disegno di assieme della intelaiatura e dei binari di guida che consentono la movimentazione del carro-braccio porta bersagli. Tale struttura viene inserita nella linea di fascio.

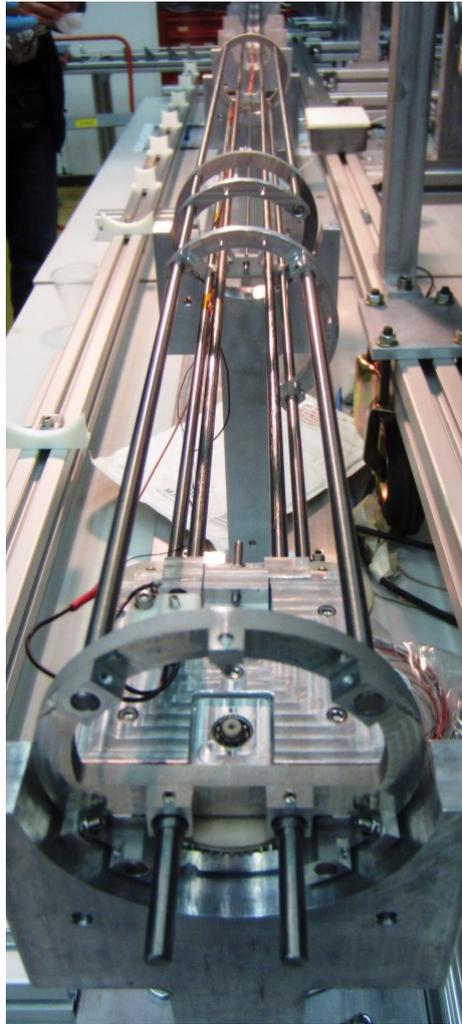


Figure 7: Realizzazione del telaio prima dell'inserimento nella linea di fascio.

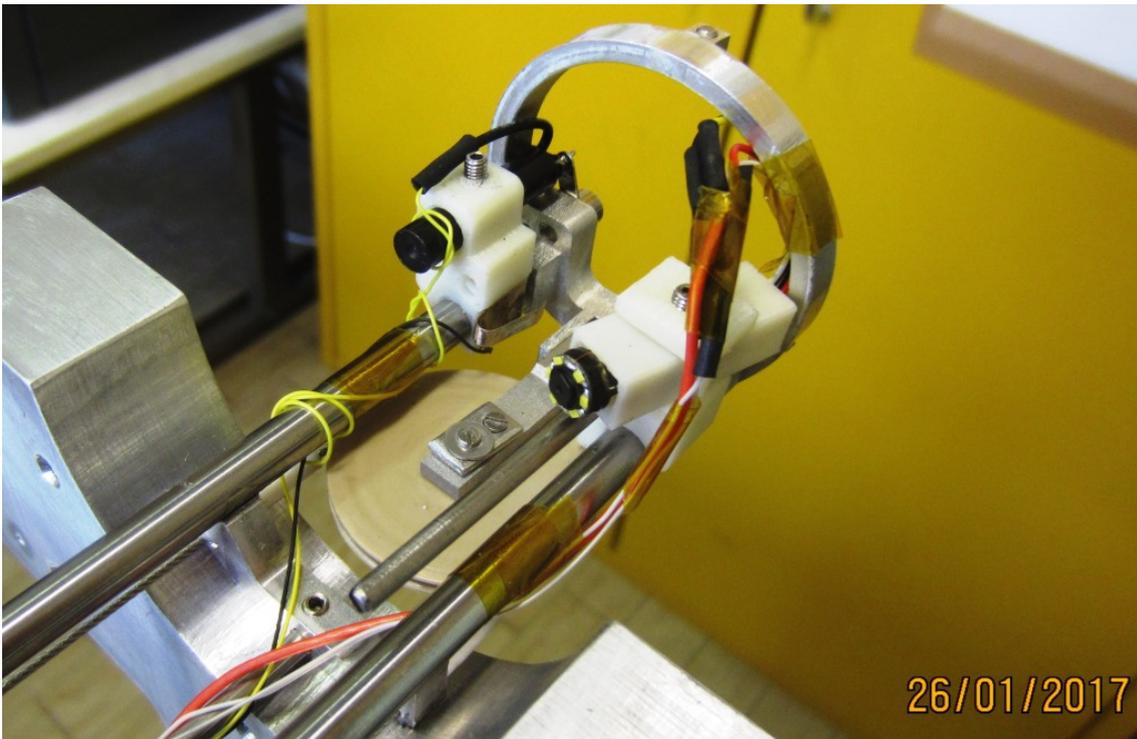
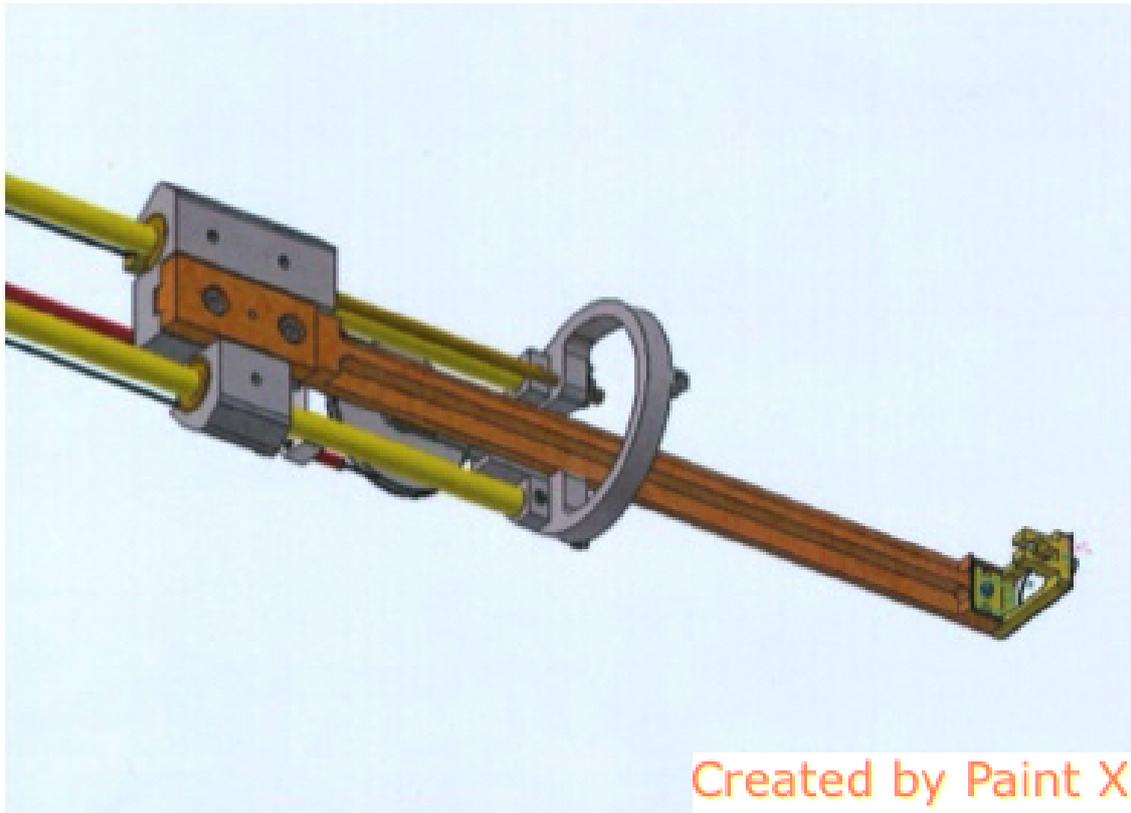


Figure 8: Alto: gruppo movimentazione-lato camera sperimentale GALILEO. Il braccetto con porta bersaglio è nella posizione finale in centro camera. Basso: fotografia della realizzazione dell'affaccio alla camera in cui sono visibili anche il sensore di fine corsa (sinistra) e la micro-videocamera (destra), installati in supporti temporanei stampati in ABS.

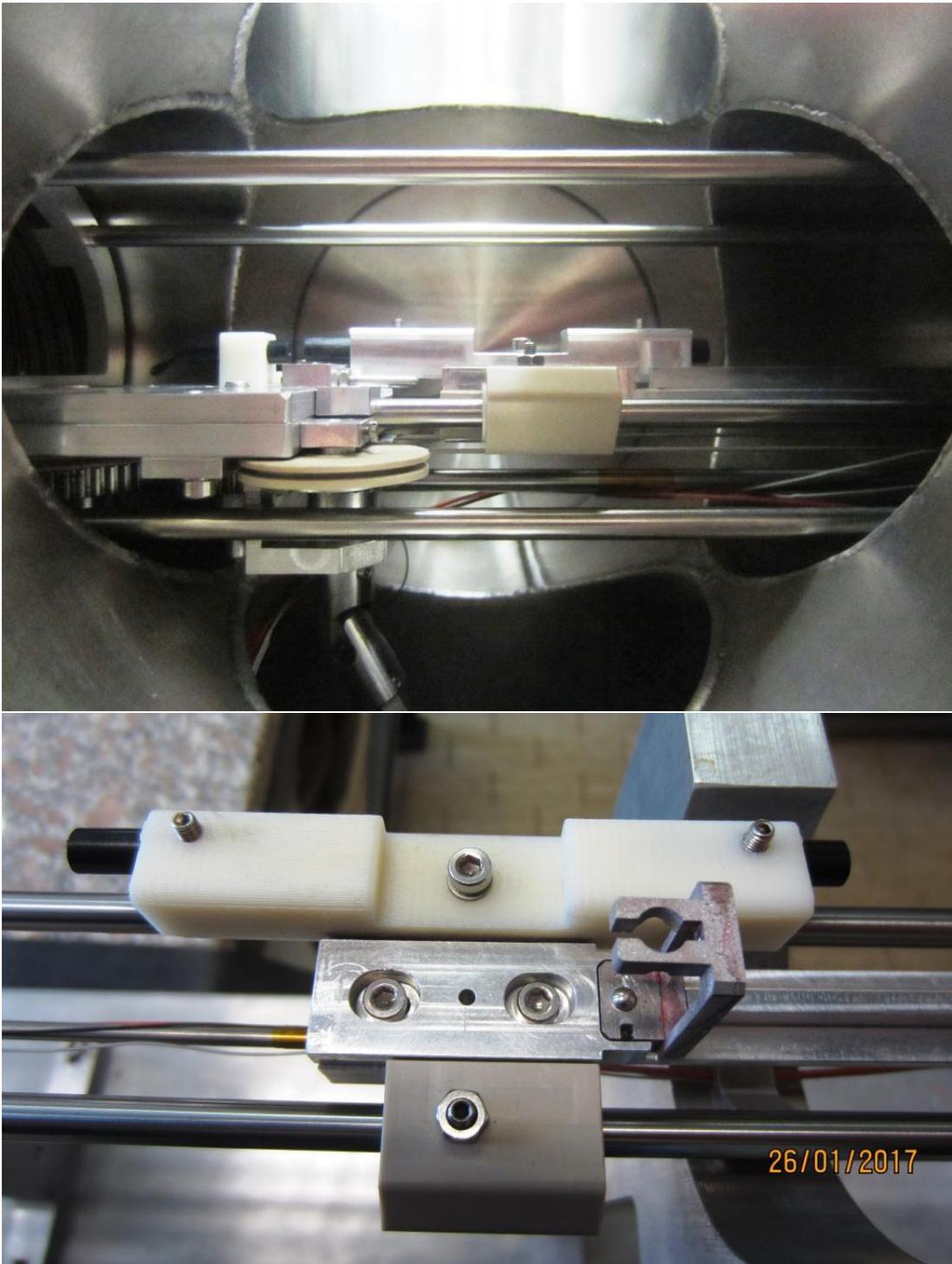


Figure 9: Dettaglio del gruppo trazione e dei magneti posizionati sul carro.

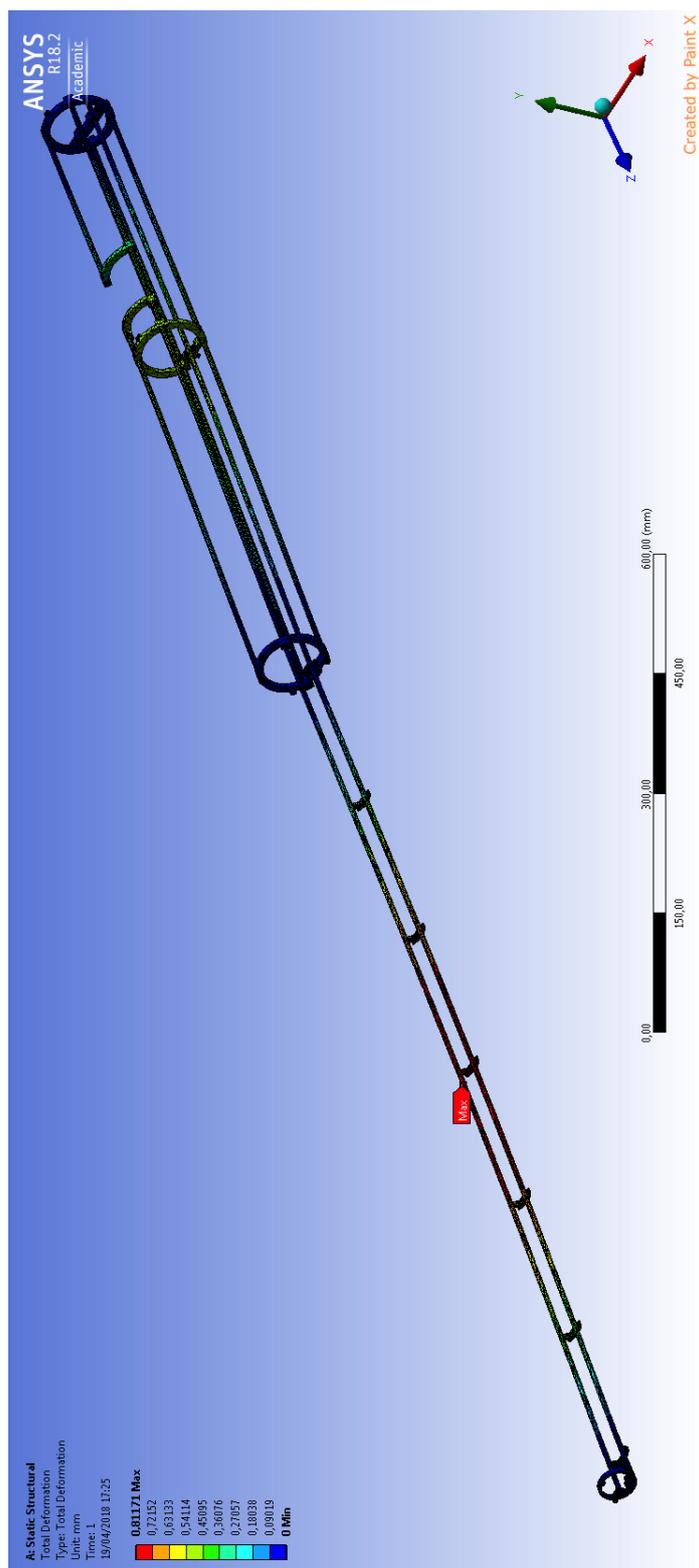


Figure 10: Risultati della analisi FEM per il controllo deformativo delle guide di trasporto.

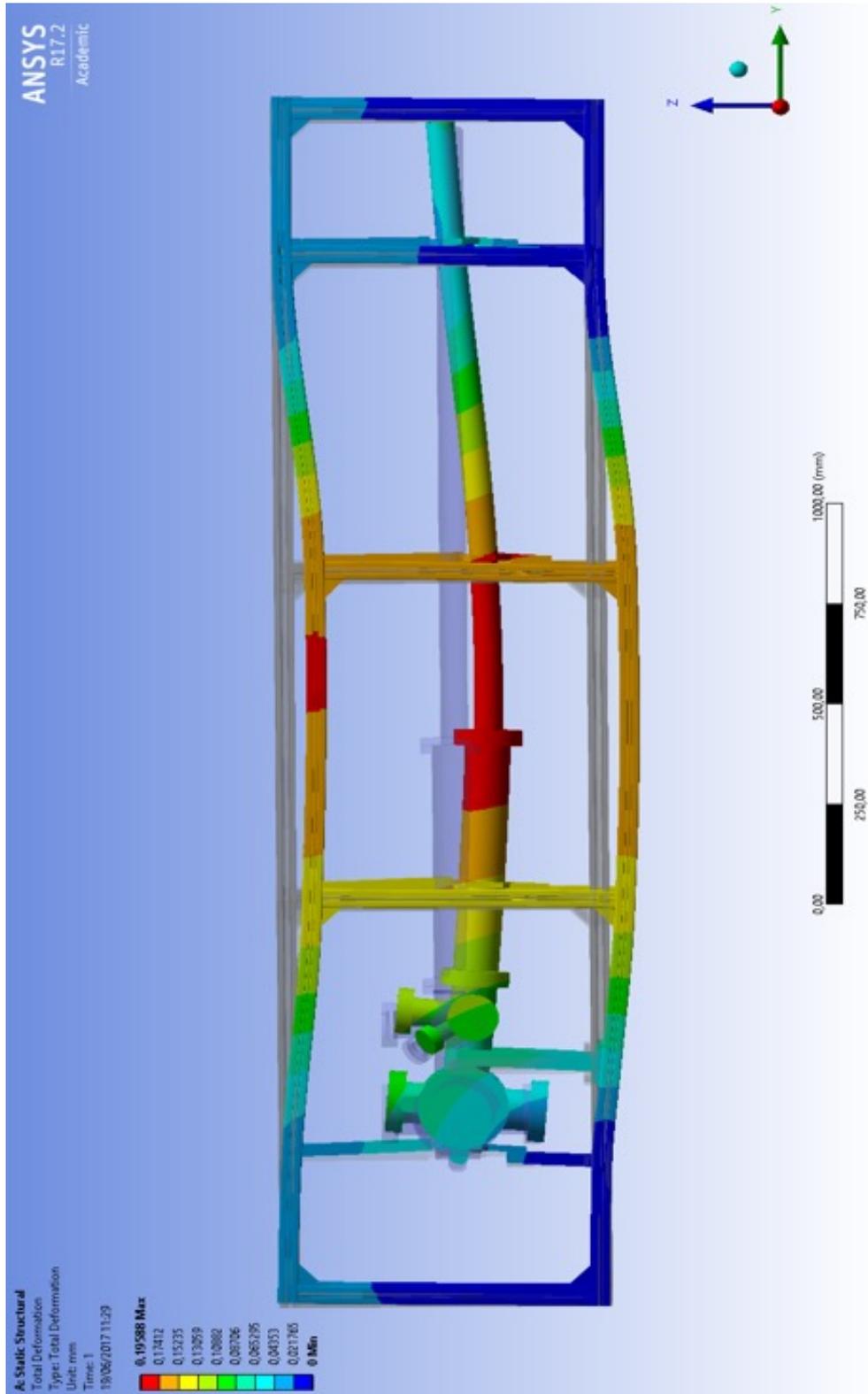


Figure 11: Massima deformazione totale 0.195 mm (somma vettoriale delle deformazioni sui tre assi), ampiamente inferiore alla deformazione massima consentita di 1 mm affinché il cinematismo interno non subisca danni.

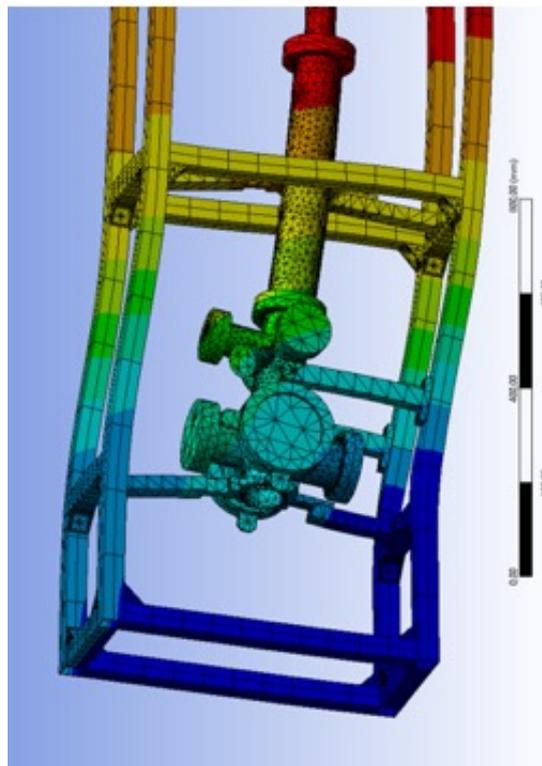
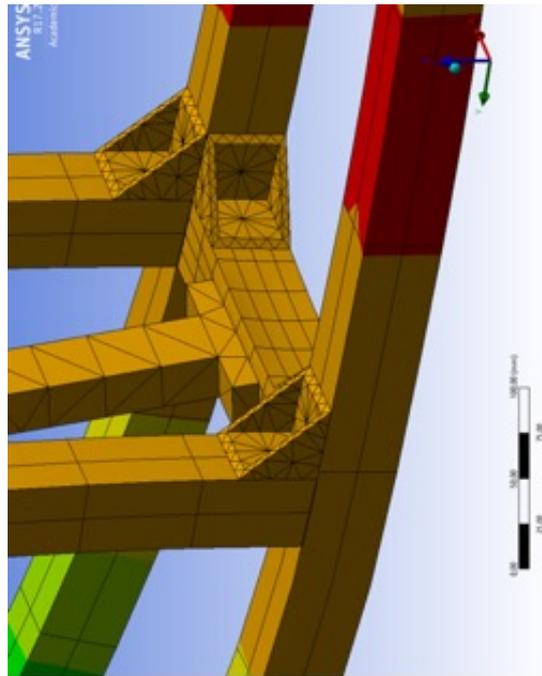


Figure 12: Alto: Particolare riguardante la simulazione della deformazione delle traversine di irrigidimento e delle staffe montate su esse. Basso: Immagine (in scala aumentata) tratta dalla simulazione Ansys riguardante le deformazioni del telaio e del beam pipe nella zona della crociera.



Figure 13: Telaio di trasporto e linea di fascio.

References

- [1] C. Gesmundo, G. Benzoni, C. Boiano, A. Capsoni, S. Coelli, D. Trotta, E. Viscione, J.J. Valiente-Dobón, F. Recchia, D. Mengoni, L. Ramina, M. Rampazzo, M. Rebeschini, L. Garizzo, **INFN-LNL Report 250 (2017) 71**.