



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Development & **I**nnovation on **A**dditive **M**anufacturing

Additive Manufacturing applications for the AM_ISOL Project

Researche Infrastructure:

INFN PD- LNL – INFN BO

UNIPD-DII: Mechanical Engineering, Materials Engineering, Metallurgy

UNIPD-DTG: Applied Thermodynamics and Heat Transfer, Materials Technology

ProM Mechatronics - Rovereto



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Project Coordinator Ing. Adriano Pepato INFN PD

Aim of the Project.

- Il progetto si concentrerà sulla progettazione, produzione e messa in servizio di parti di impianti molto complessi, per la produzione di raggi ionici radioattivi (RIB), secondo Isotope Separation On Line (ISOL).
- Sia la sorgente target che la sorgente ionica, insieme alle camere del vuoto circostanti, alle linee del fascio e ai dispositivi diagnostici del fascio devono far fronte ad alte temperature, alto vuoto, alti livelli di radioattività e la conseguente necessità di ridurre il più possibile il tempo di intervento in caso di manutenzione e guasti.
- Le tecnologie AM consentono di migliorare le prestazioni mediante l'ottimizzazione della topologia, la riduzione dei componenti e il consolidamento del progetto in termini di sicurezza e qualità, combinando più componenti in uno solo.
- Tutti questi aspetti sono cruciali per le strutture ISOL di nuova generazione.
- Lo scopo principale di questo progetto è quello di creare una rete di collaborazione in grado di sviluppare un set completo di tecnologie AM per le specifiche esigenze ISOL.
- La fase di ricerca e sviluppo si concentrerà sulla caratterizzazione di materiali mai trattati con la tecnologia AM, nonché sullo sviluppo di nuove leghe metalliche peculiari della tecnologia.
- Grande attenzione è rivolta al miglioramento delle prestazioni, della sicurezza e della qualità.

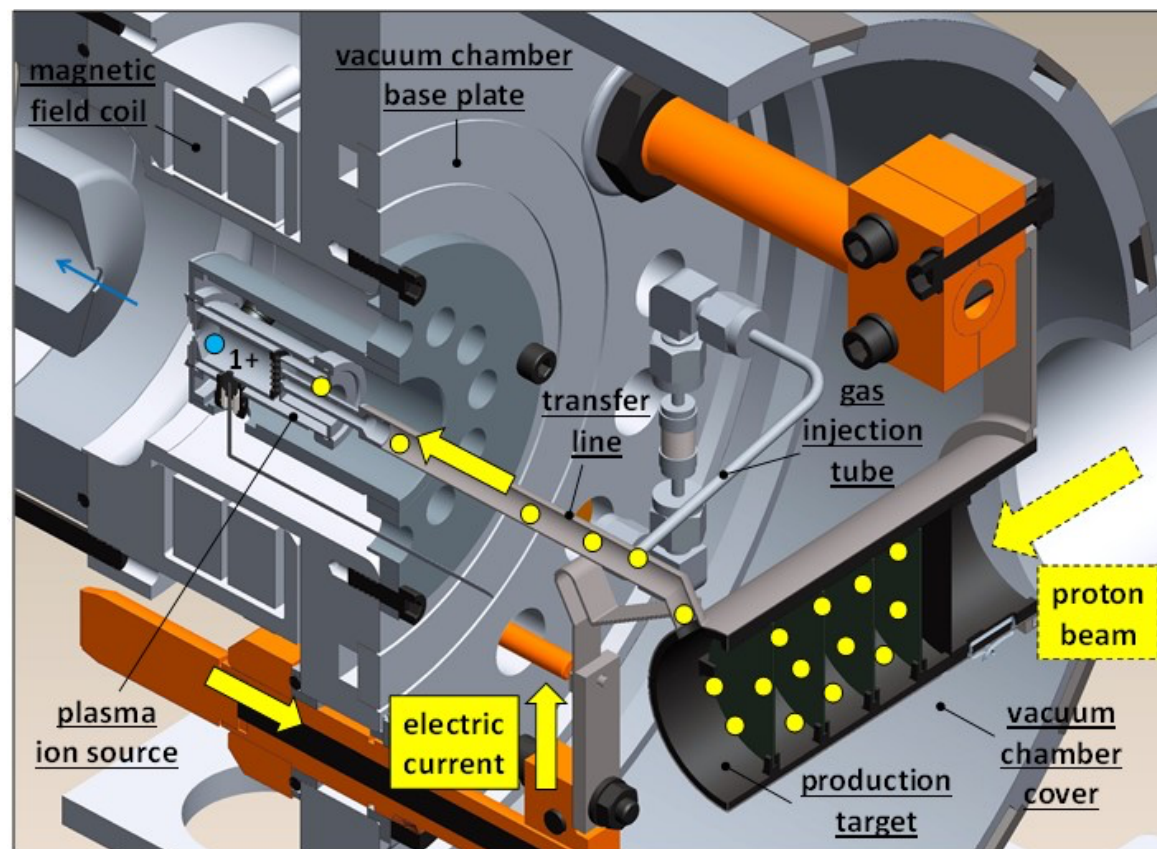
Scopo del progetto.

L'obiettivo è costruire presso i laboratori nazionali di Legnaro (LNL) una struttura ISOL dedicata alla produzione di nuclei ricchi di neutroni nella gamma di massa 80-160 amu.

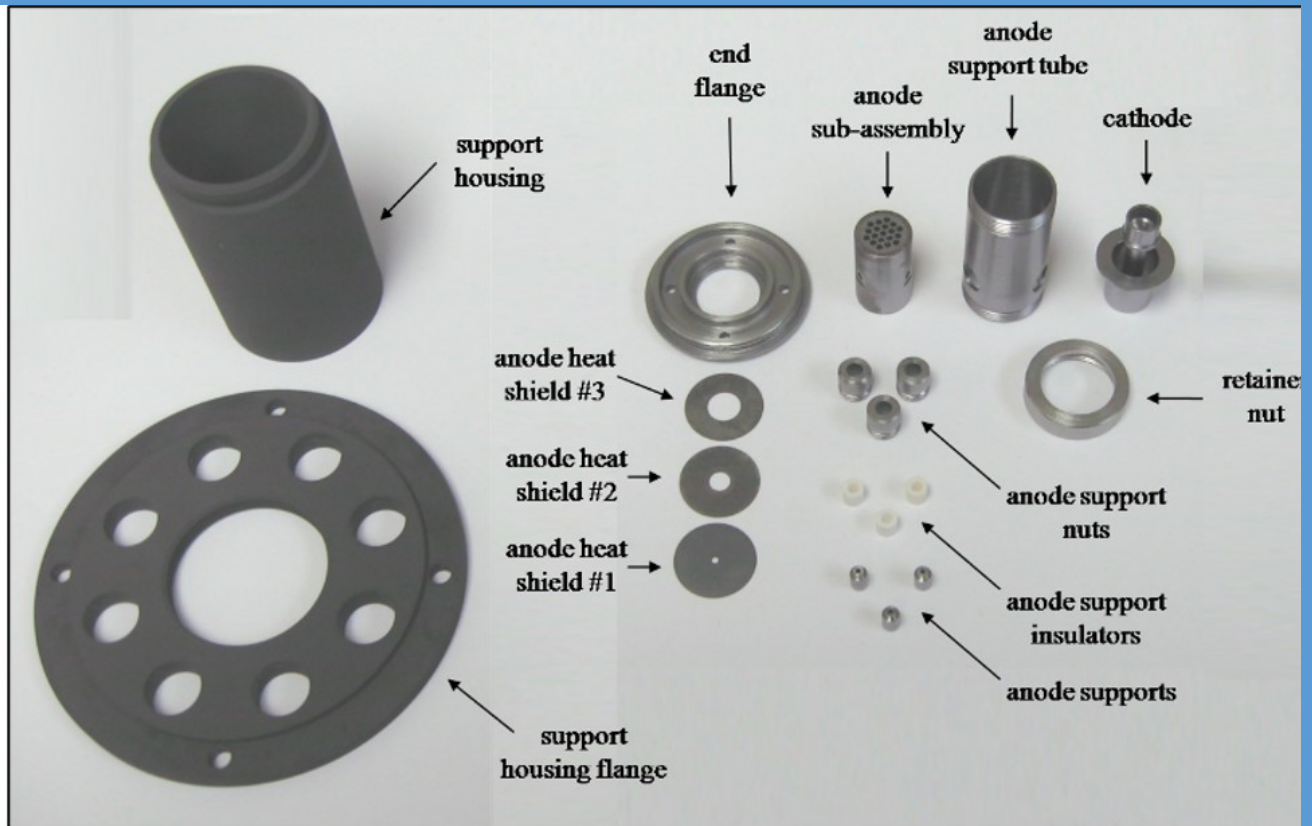
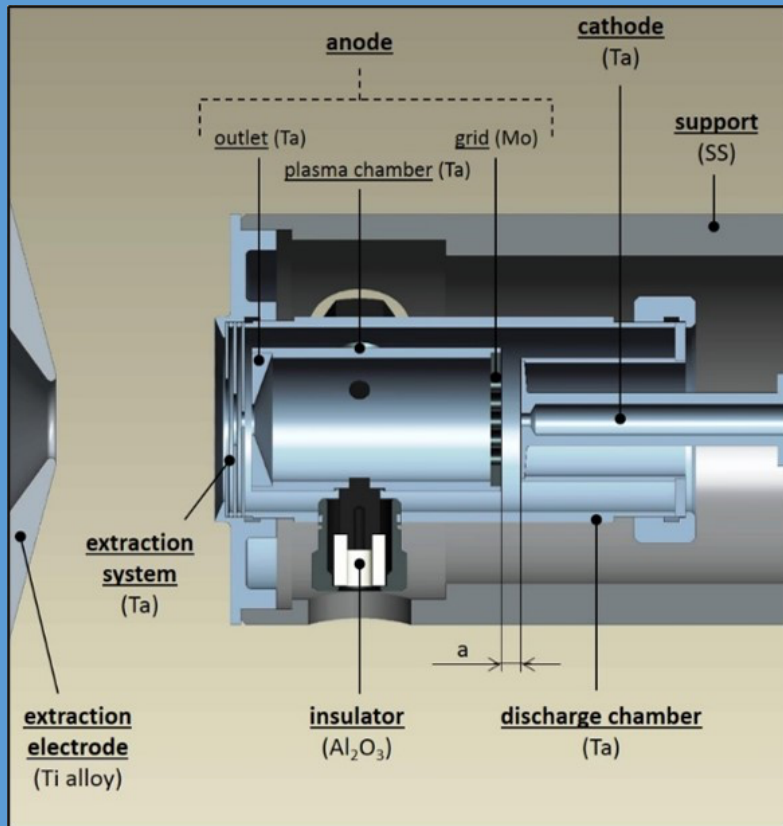
Saranno generati per mezzo di un fascio di protoni primario da 40 MeV, 200 μ A, che ha un impatto diretto su una serie di sottili dischi in carburo di uranio (targets).

I targets operano tipicamente tra 1600 °C e 2200 °C in alto vuoto.

Il principio di funzionamento generale è il meccanismo di ionizzazione a impatto elettronico, secondo il quale gli elettroni liberi vengono accelerati da un campo elettrico applicato, raggiungendo un livello di energia sufficiente a produrre fenomeni di ionizzazione quando si scontrano con neutri.



The SPES production target, the transfer line and the plasma ion source .

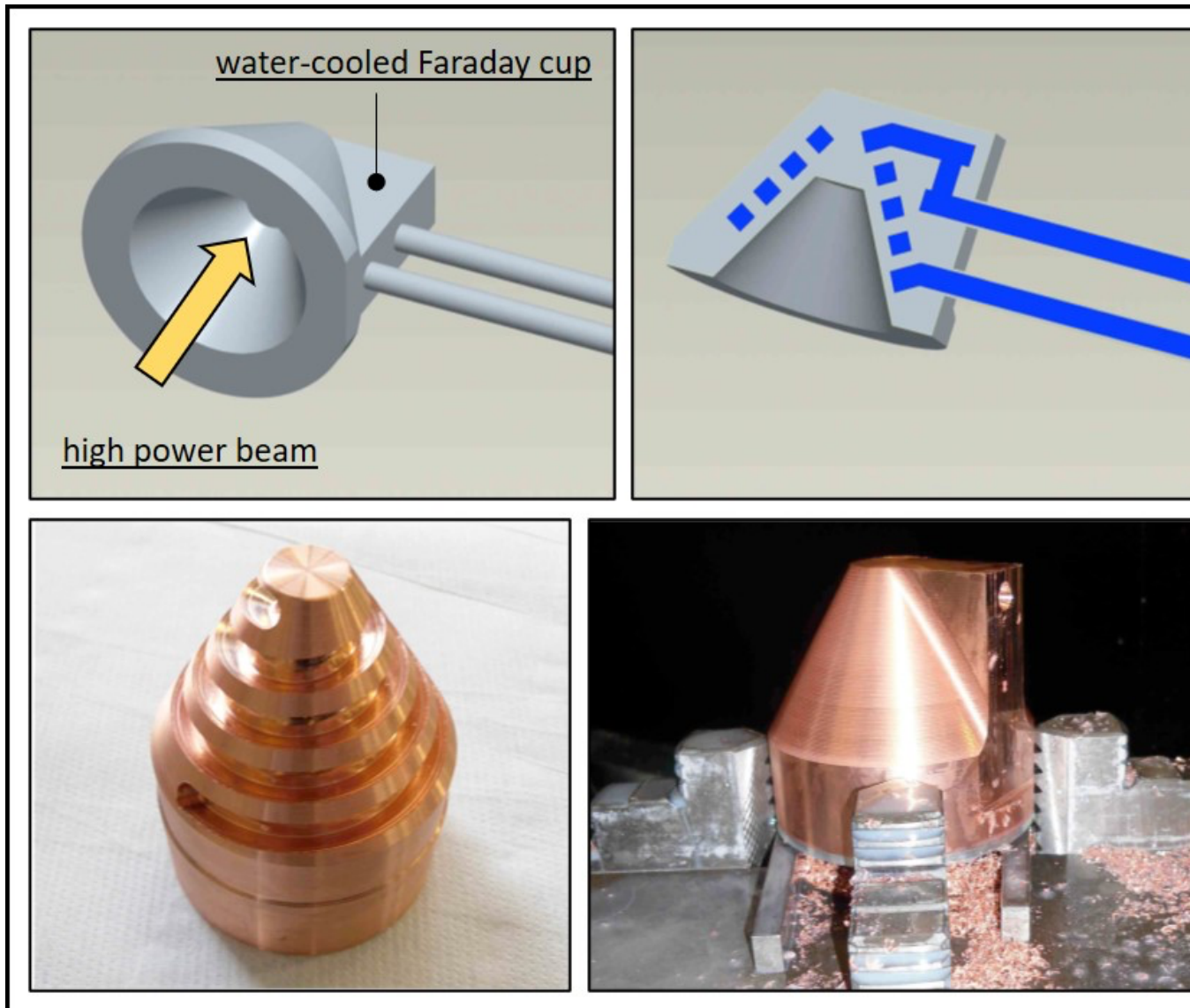


Le parti della sorgente ionica al plasma sono riportate sia in modello CAD che come componenti realizzati sinora con la tecnologia sottrattiva.

Il catodo è di solito realizzato in tantalio ed è riscaldato a una temperatura molto elevata (vicino a 2200 ° C) per effetto Joule. In questo modo è possibile generare un'intensa emissione termoionica di elettroni (elettroni liberi) sulla superficie del catodo rivolta verso la griglia dell'anodo. L'anodo, mantenuto a circa 150 V rispetto al resto della sorgente ionica, attira gli elettroni ionizzanti prodotti dal catodo. Questi elettroni attraversano la griglia entrando nell'anodo e generando così il plasma da cui viene estratto il fascio ionico.

In questo tipo di sorgente, l'allineamento e il posizionamento delle parti influiscono profondamente sulle prestazioni durante il funzionamento.

Sfortunatamente, il design attuale non offre una buona riproducibilità durante la procedura di assemblaggio e questo può influenzare significativamente le prestazioni della sorgente di ioni durante il funzionamento.



I dispositivi diagnostici per fasci ad alta intensità come le Faraday Cups ed i Beam Profilers sono componenti molto critici, poiché devono dissipare una elevatissima potenza specifica depositata dal fascio.

Vengono generalmente realizzati in rame e leghe di rame, con l'integrazione di circuiti di raffreddamento ad acqua, mediante lavorazione delle sedi dei canali lavorazione e brasatura di sigillatura (molto oneroso e limitata efficienza).

Il controllo di qualità dei giunti di saldatura è un aspetto molto importante poiché una perdita d'acqua nel vuoto in prossimità di componenti ad alta temperatura potrebbe causare gravi conseguenze per l'integrità dell'apparato sperimentale e per la sicurezza.

Objectives.

Il campo della produzione additiva (AM) è una realtà consolidata per la produzione di oggetti di forma libera in plastica, ceramica e metallo.

Le tecnologie AM consentono il miglioramento delle prestazioni mediante l'ottimizzazione della topologia e il consolidamento del progetto in termini di sicurezza e qualità combinando più componenti in un unico. L'ottimizzazione della topologia è fondamentale per massimizzare il trasferimento di calore radiativo nel target e per migliorare i sistemi di raffreddamento ad acqua di tutti i dispositivi direttamente colpiti dal fascio, come Faraday cups e beam profilers.

Dall'altro lato, la possibilità di combinare più componenti in un'unica parte AM consente di migliorare gli standard di sicurezza eliminando i giunti saldati per i circuiti di raffreddamento ad acqua in alto vuoto in prossimità di componenti ad alta temperatura.

Inoltre, gli assiemi di sorgenti ioniche (generalmente caratterizzati da una bassa riproducibilità in termini di allineamento e posizionamento) possono essere sostituiti da singole parti AM, migliorando in questo modo la qualità e in particolare il dimensionamento e la tolleranza geometrici, che incidono profondamente sulle prestazioni della sorgente ionica durante il funzionamento.

Project organization and methodology.

Abbiamo definito tre WP con le rispettive Tasks e Milestones.

Tutti i materiali e i componenti devono essere prodotti utilizzando le tecnologie AM.

(WP1) si concentra principalmente su target ceramici ad alta temperatura e componenti della sorgente ionica W / Ta / Mo.

(WP2) si occupa di dispositivi di temperatura standard come Faraday cups e Beam profilers realizzati con leghe di rame e rame.

(WP3) è principalmente dedicato alla caratterizzazione termica, meccanica e microstrutturale dei materiali, descrivendo anche le linee guida per lo sviluppo e la validazione di modelli numerici multi fisici di target, sorgenti ioniche e dispositivi di intercettazione del fascio.

Work Package 1. Ceramic materials and refractory metals for high temperature ISOL targets and ion sources.

WP1.1 Sviluppo di dischi SiC e TiC per target ISOL.

- L'unità di ricerca di ingegneria dei materiali UNIPD-DII svilupperà dischi SiC e TiC con porosità non stocastica utilizzando Direct Ink Writing (DIW), che è un approccio di produzione additiva (AM) basato sull'estrusione di una pasta (inchiostro) contenente polveri ceramiche appropriate o materiali precursori ceramici e in possesso di una reologia adeguata.

WP1.2 Sviluppo di componenti W, Ta e Mo per sorgenti di ioni plasma.

- I metalli refrattari appartengono al gruppo dei metalli di transizione e sono anche chiamati "materiali a temperatura ultra-alta" ($T_m \approx 4700 \text{ }^\circ \text{C}$). Oltre alle elevate temperature di fusione, i metalli refrattari hanno proprietà che li rendono adatti a molte applicazioni. I metalli refrattari oggetto di questo studio per il processo SLM sono il tungsteno (W), il tantalio (Ta) e il molibdeno (Mo). Il tungsteno, come il metallo refrattario con il punto di fusione più elevato ($T_m = 3422 \text{ }^\circ \text{C}$), ha molte proprietà fisiche e chimiche uniche, tra cui elevata conducibilità termica, bassa dilatazione termica, alta densità, elevata resistenza e durezza a temperatura ambiente e elevate e alta temperatura di ricristallizzazione .

Work package 2. Metallic and polymeric materials for ISOL applications .

WP2.1 Sviluppo di fasci per la diagnostica con circuiti integrati di raffreddamento.

- I materiali attualmente disponibili per questo tipo di applicazioni sono il rame puro e la lega di rame CuCrZr. Il rame puro è disponibile con tre diverse distribuzioni di polvere, quindi saranno testate quattro configurazioni. L'elevata riflettività delle lunghezze d'onda dell'infrarosso e l'elevata conduttività termica del rame puro limitano la quantità di energia che può essere trasferita al materiale e quindi ottenere parti dense è una sfida (già vinta).

WP2.2 Prototipazione rapida e sviluppo di componenti polimerici rad-hard.

- I materiali polimerici saranno utilizzati per la prototipazione rapida di target innovativi e assemblaggi di sorgenti ioniche. Di solito richiedono uno studio specifico per la procedura di assemblaggio ed è fondamentale testarlo mediante un prototipo polimerico relativamente economico, con la possibilità di perfezionare il progetto prima di produrre componenti realizzati con materiali estremamente costosi. Un altro punto interessante è la stampa 3D dei componenti PEEK da installare in prossimità dell'area target. Il PEEK è un materiale resistente alle radiazioni, caratterizzato da eccellenti proprietà meccaniche, che può essere facilmente adottato per l'isolamento elettrico e per specifiche applicazioni ISOL.

Work package 3. Materials characterization and numerical modeling.

WP3.1 Caratterizzazione termica.

- I metalli ceramici e refrattari funzionano esclusivamente in ambienti ad alto vuoto, i loro campi di temperatura in condizioni stazionarie dipendono esclusivamente dall'emissività (ϵ) e dalla conducibilità termica (k). Queste due proprietà devono essere accuratamente studiate. Verrà adottato un apparato sperimentale dedicato sviluppato presso LNL per misure di emissività e conducibilità termica per l'intervallo di temperatura tra 600 ° C e 1500 ° C. Saranno prodotti campioni discoidi Mo, Ta, W, SiC e TiC utilizzando tecnologie di produzione sia standard che AM, studiando l'influenza del processo di produzione su ϵ e k . La diffusività termica (ovvero la conducibilità termica) nell'intervallo tra 20 ° C e 600 ° C verrà misurata nel laboratorio di trasferimento di calore nano di DTG utilizzando gli apparecchi HotDisk TPS 2500S e Linseis XFA600.

WP3.2 Caratterizzazione meccanica.

- Per quanto riguarda il comportamento meccanico a temperatura ambiente, i campioni di molibdeno, rame e tantalio saranno sottoposti a prove di trazione statica secondo ASTM E 8M. Verranno eseguiti ulteriori test di compressione sul tungsteno. I principali fattori influenzanti considerati saranno l'orientamento dell'edificio, la rugosità superficiale e i trattamenti superficiali. Poiché la durabilità strutturale è un'altra preoccupazione principale, i test di fatica sono pianificati sotto carico assiale e / o flettente per quantificare l'effetto dannoso dei difetti superficiali e sub-superficiali che ci si aspetta dal processo AM.

Work package 3. Materials characterization and numerical modeling (cont.).

WP3.3 Caratterizzazione microstrutturale.

- A causa del modello costruttivo saggio di linea e strato utilizzato in SLM, la microstruttura di una parte SLM ha una forte dipendenza dai parametri di elaborazione. Poiché le proprietà dei materiali come resistenza allo snervamento, allungamento, duttilità e durezza sono fortemente influenzate dalle caratteristiche microstrutturali, è necessaria un'indagine dettagliata e accurata e la competenza metallurgica può supportare la produzione SLM. L'unità di ricerca sulla metallurgia UNIPD-DII studierà la microstruttura mediante OM e SEM; Verranno inoltre eseguiti test di durezza e XRD per la valutazione dello stress residuo al fine di correlare con i parametri del processo SLM. Inoltre, il laboratorio di metallurgia DTG offrirà la possibilità di caratterizzare campioni e componenti mediante SEM-FEG, EDS, TEM e strumentazione radiografica in grado di rilevare difetti (inclusioni o pori) fino a una risoluzione di 5 micron.

WP3.4 Modellazione numerica.

- Prendendo come riferimento le proprietà dei materiali osservate sperimentalmente nel contesto delle suddette attività di caratterizzazione, i modelli numerici multi fisici saranno definiti e validati mediante test dedicati. In particolare, nell'ambiente ANSYS® Meccanica APDL verranno creati modelli termici - strutturali di target e sorgenti ioniche e validati facendo uso degli apparati sperimentali ad alta temperatura disponibili presso LNL. Inoltre, i modelli ANSYS Fluent® CFD utilizzati per progettare i dispositivi raffreddati ad acqua descritti nel paragrafo 2.2.1, saranno validati mediante test sperimentali dedicati presso il Laboratorio di Nano Herat Transfer dell'Università di Padova.

WP1. Ceramic materials and refractory metals for high temperature ISOL targets and ion sources	year 1				year 2			
	M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24
T1.1. Production of additively manufactured SiC and TiC samples for characterization								
T1.2. Development of additively manufactured SiC and TiC ISOL targets						<u>MS1.1</u>		
T1.3. Production of additively manufactured W, Ta and Mo samples for characterization			<u>MS1.2</u>					
T1.4. Development of additively manufactured W, Ta and Mo components for ion sources								
T1.5. Production of stable ion beams with additively manufactured ion sources								<u>MS1.3</u>
WP2. Metallic and polymeric materials for ISOL applications	year 1				year 2			
	M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24
T2.1. Production of additively manufactured Cu and CuCrZr samples for characterization								
T2.2. Development of additively manufactured Cu and CuCrZr diagnostic devices with optimized water-cooling loops								<u>MS2.1</u>
T2.3. Rapid prototyping of innovative target and ion source assemblies making use of polymeric materials, assembly test and design review				<u>MS2.2</u>				
T2.4. Production of additively manufactured radiation hard polymeric components for ISOL applications								<u>MS2.3</u>
WP3. Materials characterization and numerical modeling	year 1				year 2			
	M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24
T3.1. Thermal characterization								
T3.2. Mechanical characterization								
T3.3. Microstructural characterization						<u>MS3.1</u>		
T3.4. Finite Element thermal - structural analyses of targets and ion sources								<u>MS3.2</u>
T3.5. CFD and Finite Element thermal - structural analyses of beam intercepting devices								<u>MS3.3</u>

Timetable and milestones.

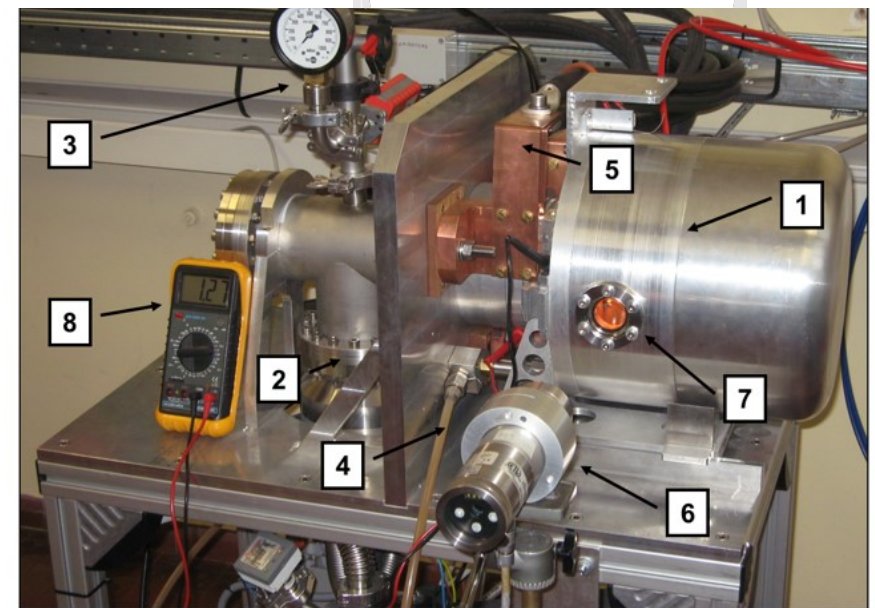
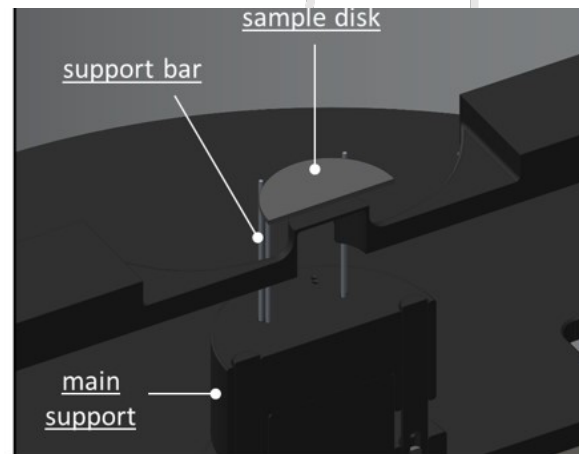
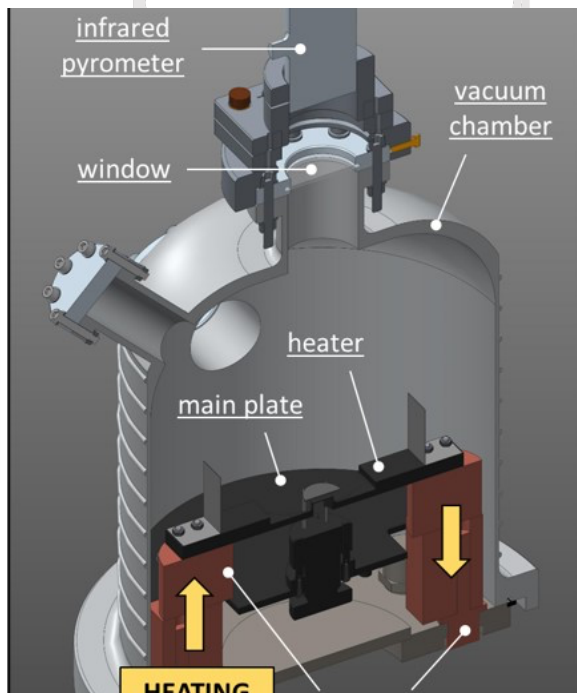
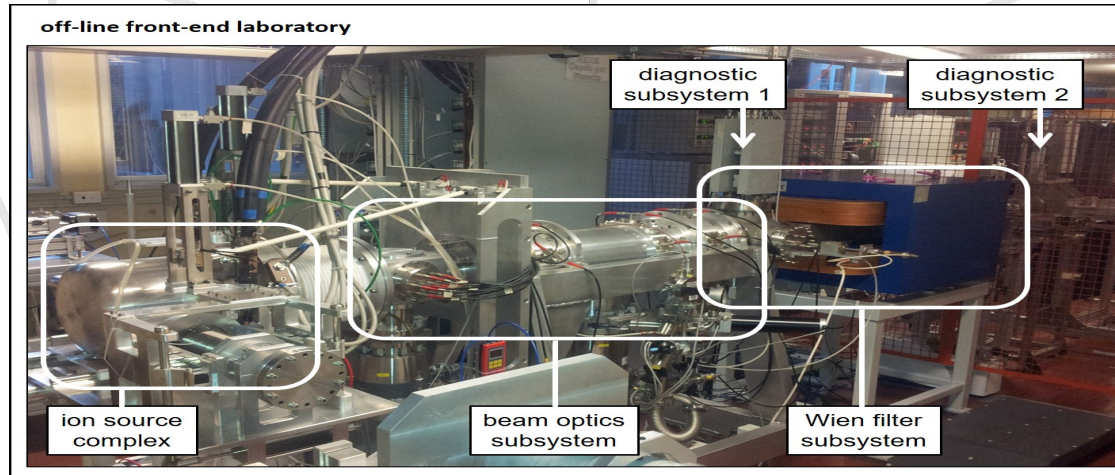
WP1 milestones		Date
MS1.1	New target manufactured by means of AM technologies	M18
MS1.2	W, Ta and Mo samples manufactured by means of AM technologies	M09
MS1.3	Stable beams produced making use of the new additively manufactured ion source	M24

WP2 milestones		Date
MS 2.1	New high-power Faraday cup manufactured by means of AM technologies	M24
MS 2.2	New target - ion source assembly manufactured making use of rapid prototyping techniques	M12
MS 2.3	PEEK ISOL components manufactured by means of AM technologies	M24

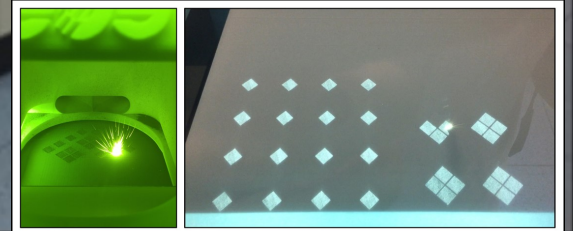
WP3 milestones	
MS3.1	Report on Thermal, Mechanical and Microstructural characterization completed
MS3.2	Finite Element thermal - structural model of the new ion source experimentally validated
MS3.3	CFD and Finite Element thermal - structural model of the new high power Faraday cup experimentally validated

Milestones and Work packages

Research infrastructures.LNL.



- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. Vacuum chamber | 5. Power supply connections |
| 2. Vacuum turbomolecular pump | 6. Pyrometer |



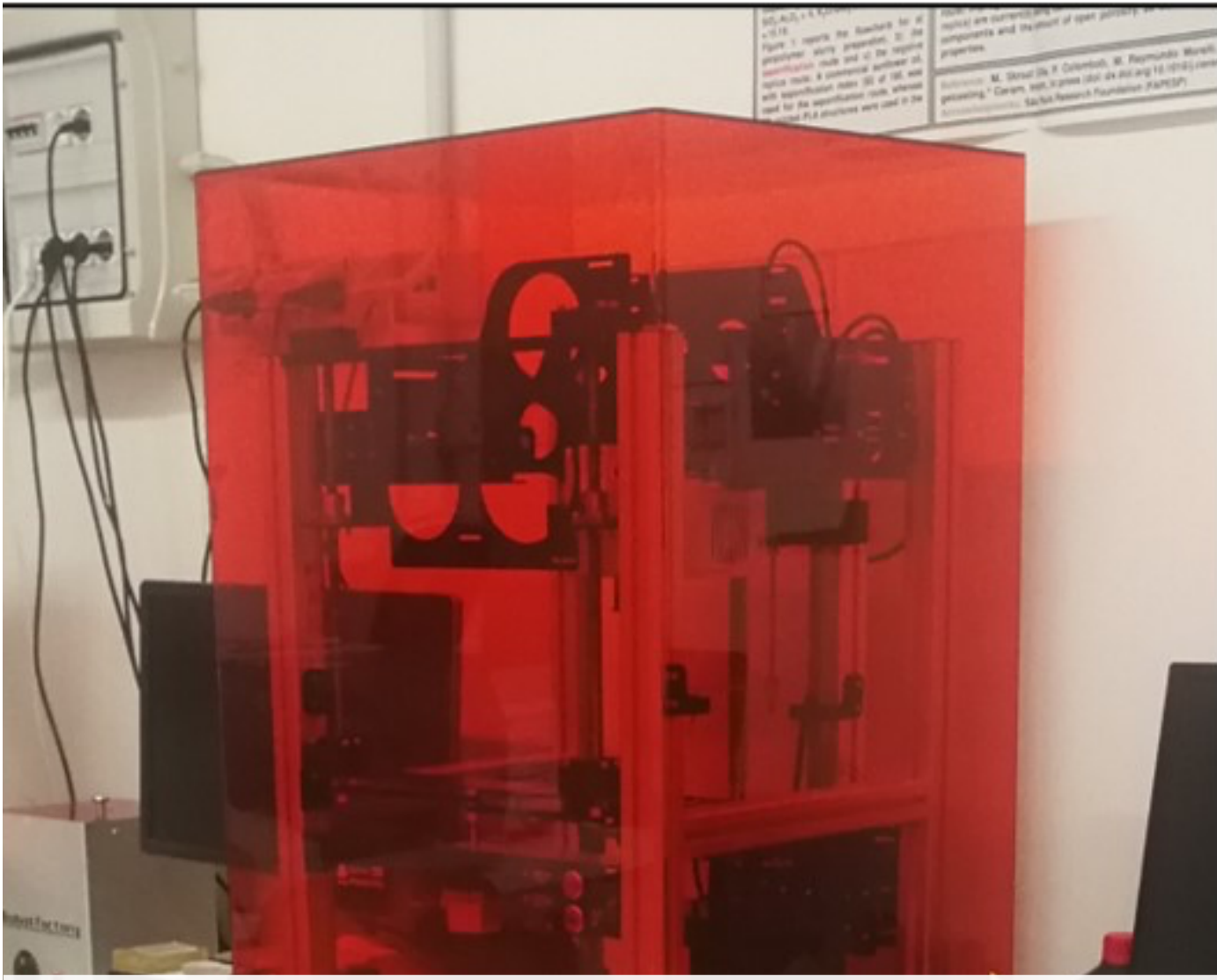
Research infrastructures. INFN PD - DIAM.



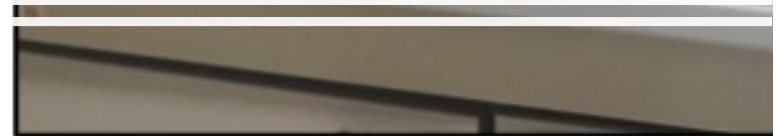
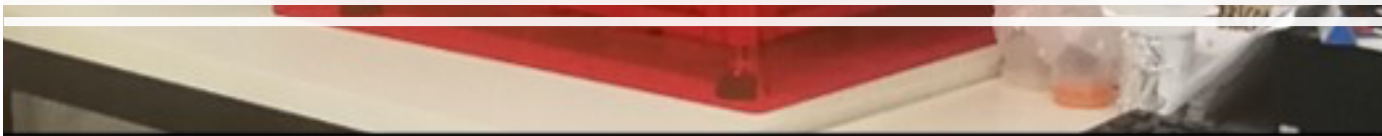
Research infrastructures. INFN BO.

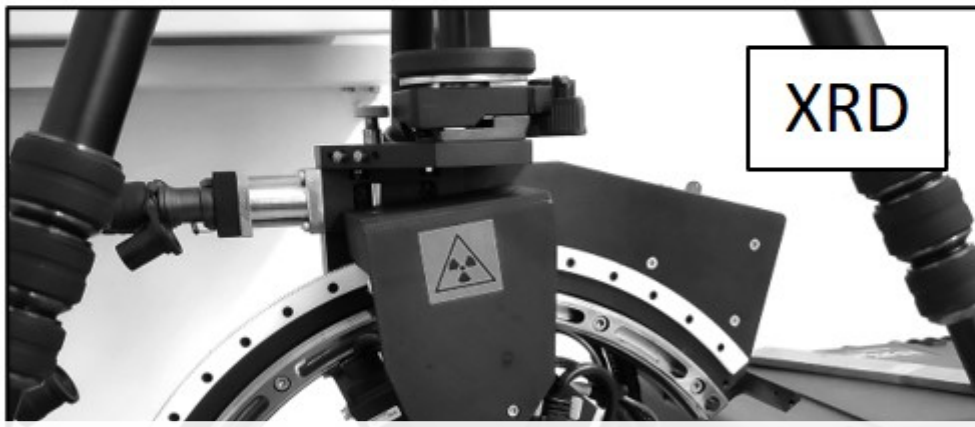
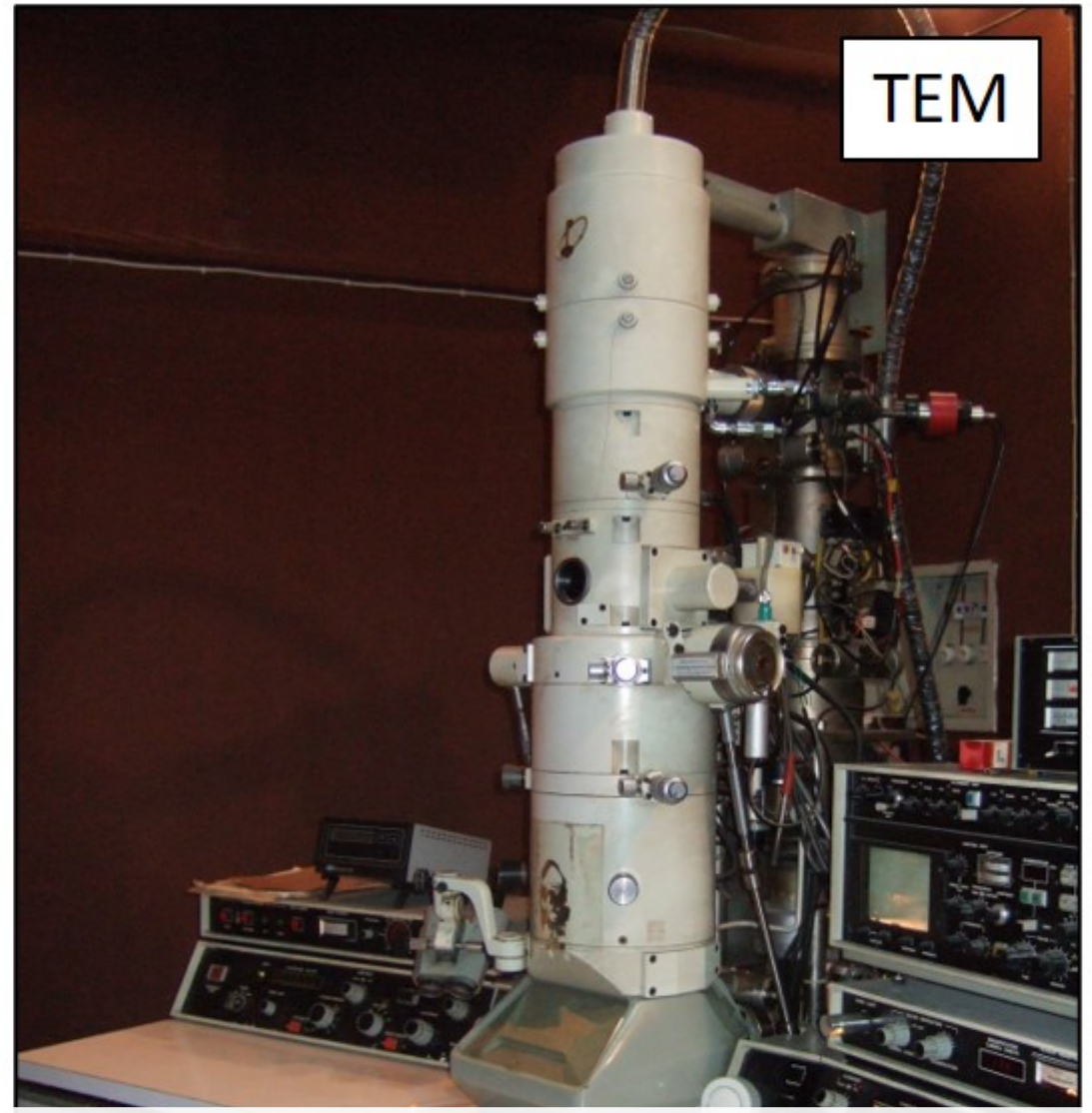


Research infrastructures. UNIPD-DII Mechanical Engineering.

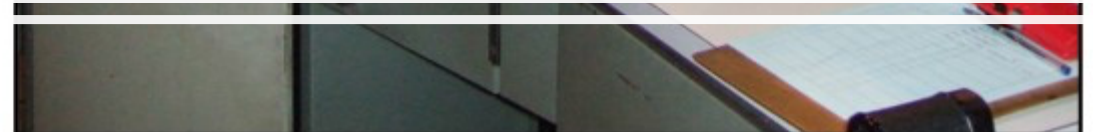


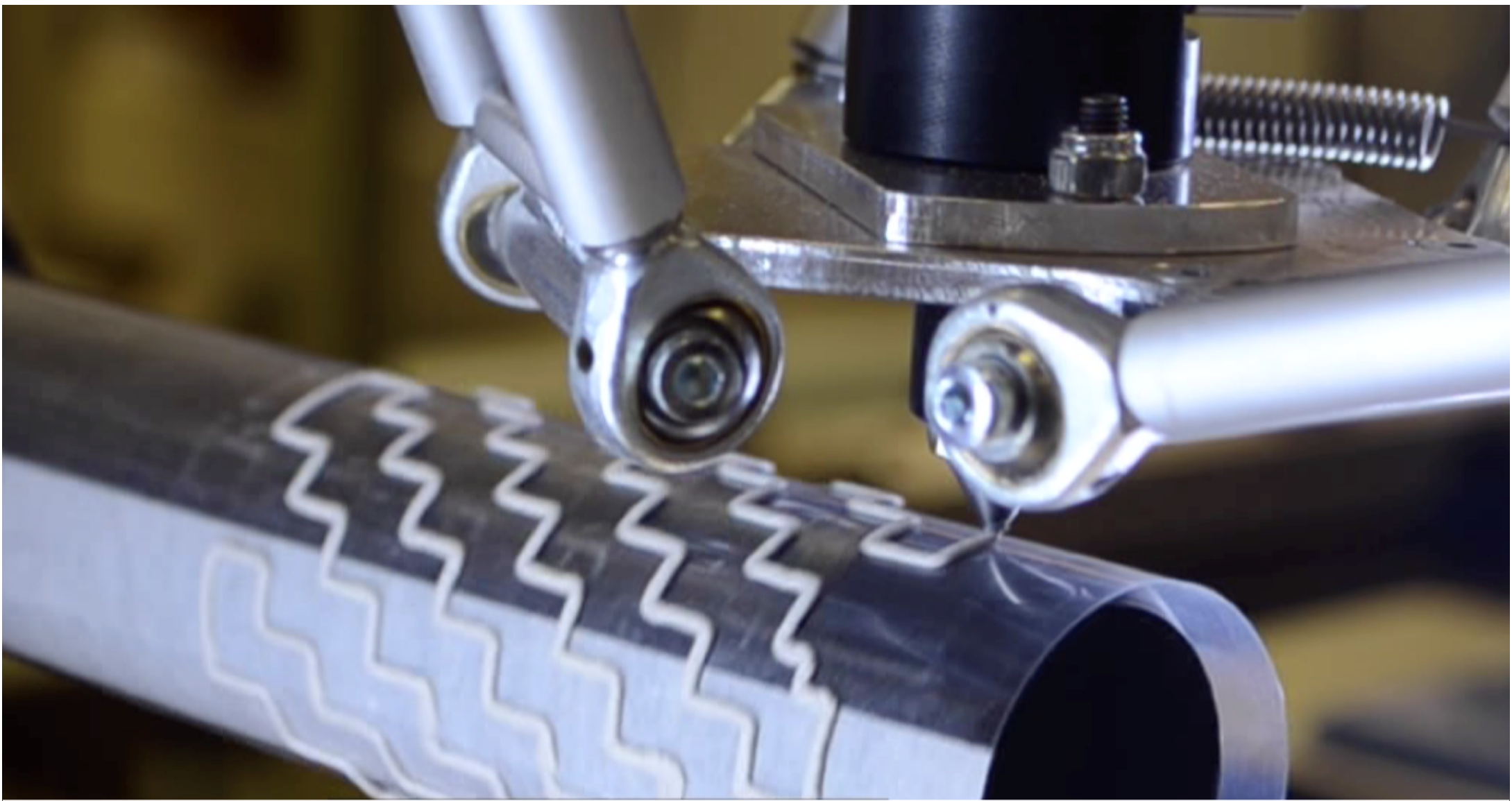
Research infrastructures. UNIPD-DII Materials Engineering.



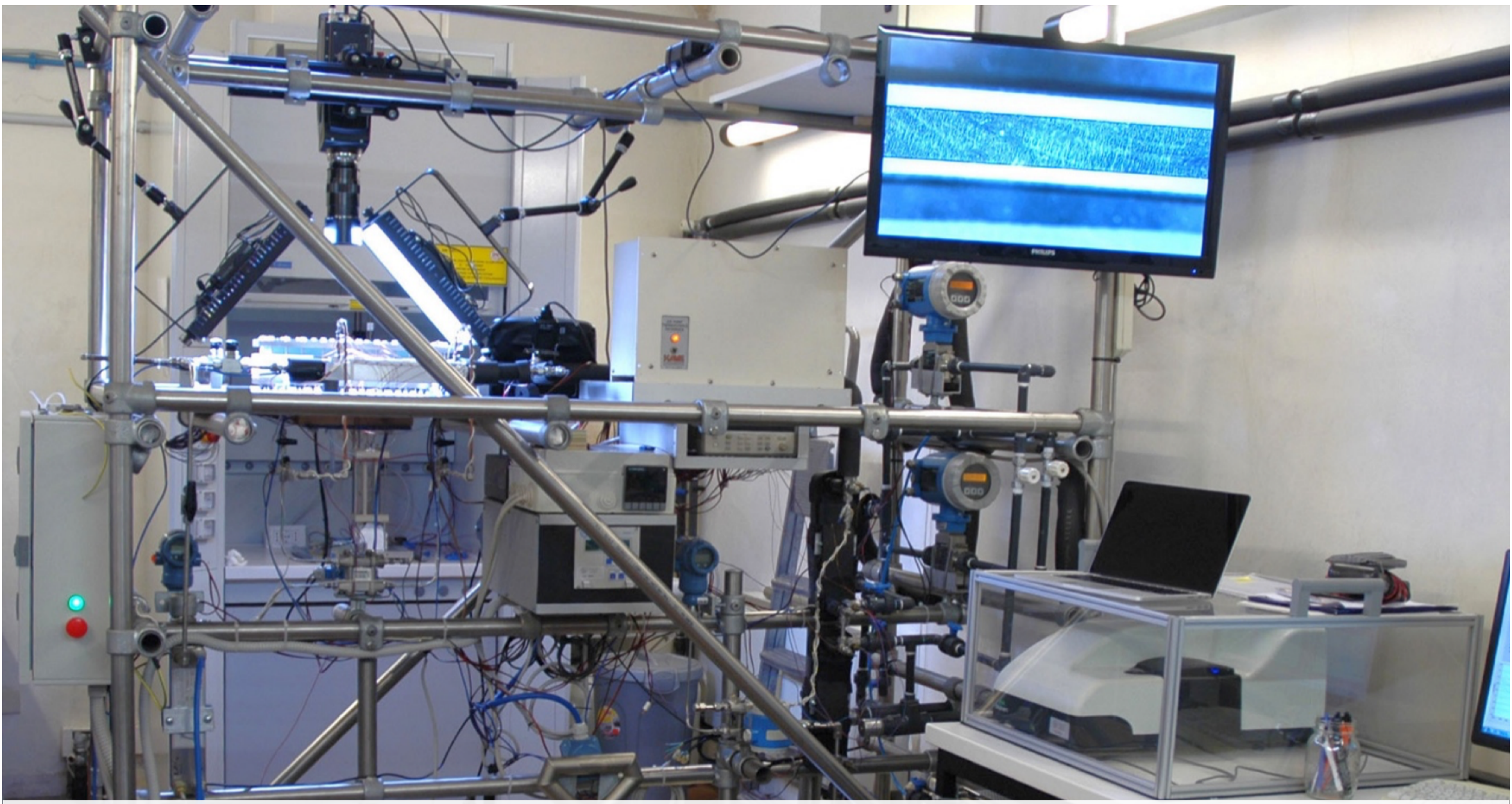


Research infrastructures. UNIPD-DII Metallurgy.





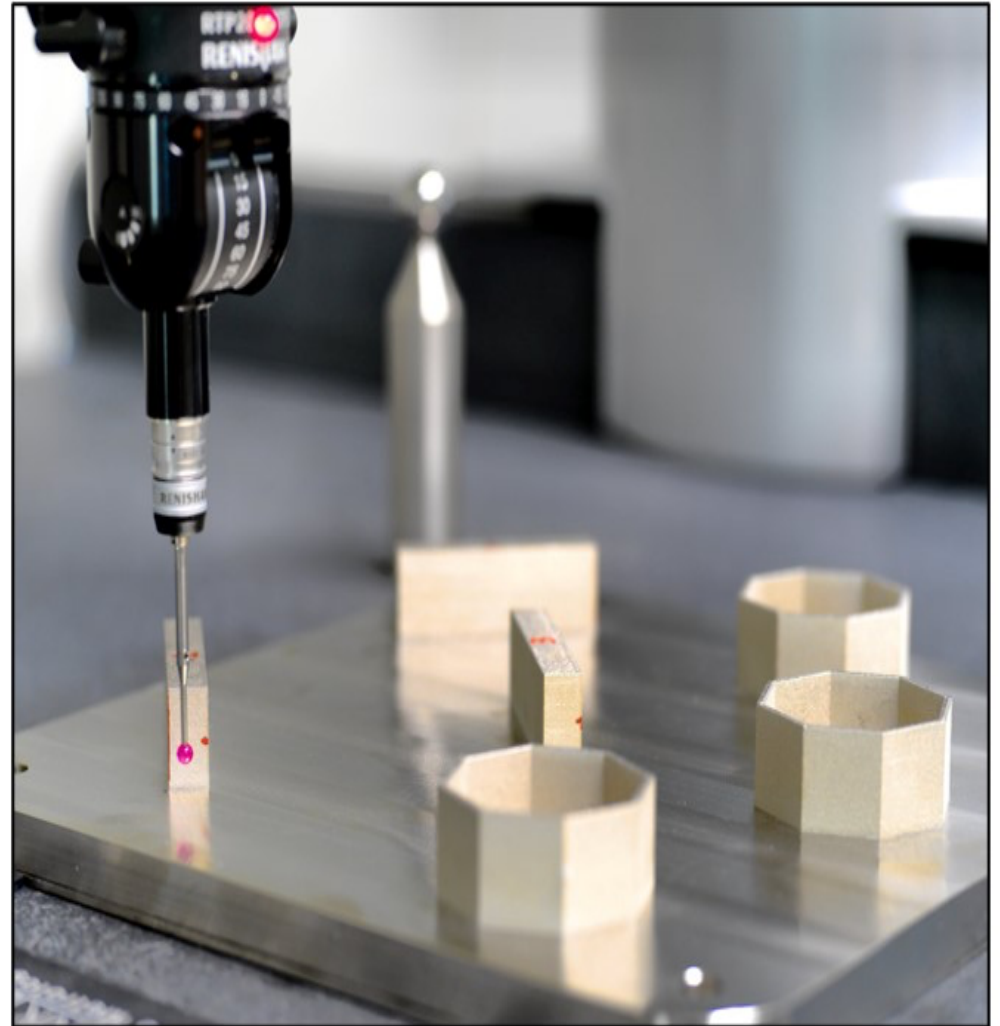
Research infrastructures. UNIPD-DTG Materials Technologies.



Research infrastructures. UNIPD-DTG Applied Thermodynamics and Heat Transfer .



Research infrastructures. ProM Mechatronics - Rovereto.

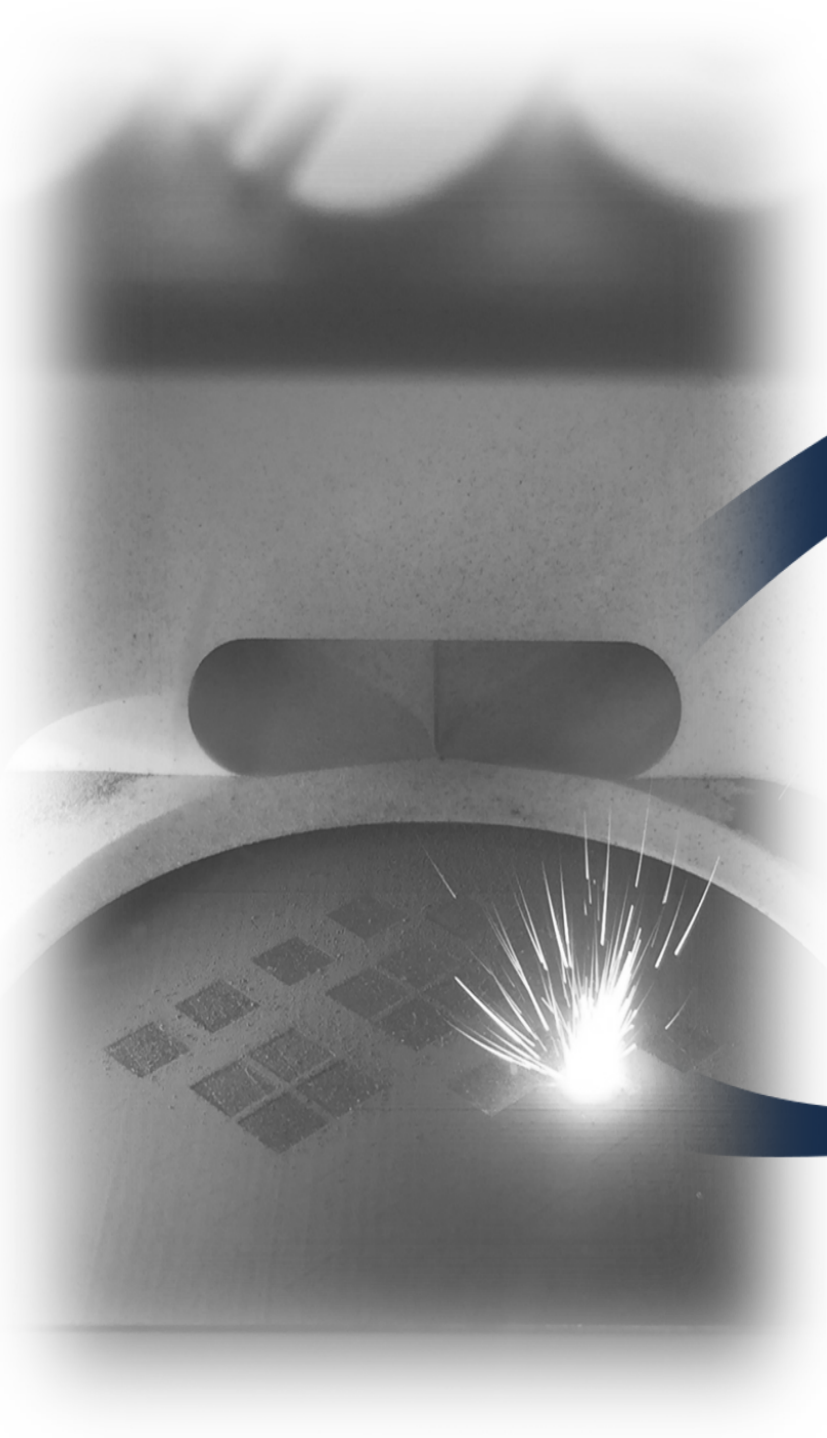


Participants and Budget.

INFN-LNL			
Name	Expertise – Activity in the project	Task	FTE
Mattia Manzolaro (LNL local resp.)	local coordinator, target and ion source development, thermal characterization	1, 2, 3	0.4
Alberto Andrichetto	ISOL facility coordination	1	0.1
Stefano Corradetti	target material development	1, 2, 3	0.1
Alberto Monetti	beam diagnostic devices development	1, 2	0.2
Michele Ballan	target and ion source development, thermal characterization	1, 3	0.1
Sara Carturan	microstructural characterization	3	0.2
Giovanni Meneghetti (UNIPD-DII, Mechanical Engineering)	target design, thermal and structural characterisation	1, 2, 3	1
Alberto Campagnolo (UNIPD-DII, Mechanical Engineering)	target design, thermal and structural characterisation	1, 2, 3	1
Paolo Colombo (UNIPD-DII, Materials Engineering)	target material production and microstructural characterization	1, 3	1
Giorgia Franchin (UNIPD-DII, Materials Engineering)	target material production and microstructural characterization	1, 3	1
Irene Calliari (UNIPD-DII, Metallurgy)	metallurgical and microstructural characterization	1, 2, 3	1
Claudio Gennari (UNIPD-DII, Metallurgy)	metallurgical and microstructural characterization	1, 2, 3	1
Luca Pezzato (UNIPD-DII, Metallurgy)	metallurgical and microstructural characterization	1, 2, 3	1
Total INFN-LNL FTE			8.1
INFN-PD			
Name	Expertise – Activity in the project	Task	FTE
Adriano Pepato (National resp.)	national project coordinator, AM of metallic components	1, 2, 3	0.3
Pietro Rebesan	local coordinator, AM of metallic components	1, 3	0.5
Massimiliano Bonesso	AM of metallic components	2, 3	0.5
Giacomo Favero	AM of metallic components	2, 3	0.5
Razvan Dima	design of components/parts for AM	1, 2	0.1
Massimo Benettoni (PD local resp.)	design of components/parts for AM	1, 2	0.1
Lisa Biasetto (UNIPD-DTG, Materials Technology)	production of ISOL components and microstructural characterization	2, 3	1
Simone Mancin (UNIPD-DTG, Applied Thermodynamics and Heat Transfer)	validation of CFD models and thermal characterization	2, 3	1
Paolo Gregori (ProM Mechatronics - Rovereto)	AM of metallic components and microstructural characterization	3	1
Matteo Perini (ProM Mechatronics - Rovereto)	AM of metallic components and microstructural characterization	3	1
Total INFN-PD FTE			6.0
INFN-BO			
Name	Expertise – Activity in the project	Task	FTE
Anselmo Margotti (BO local resp.)	Local coordination, AM of polymeric components	2	0.5
Fabio Zuffa	AM of polymeric components and related technical activities	2	0.3
Michele Furini	AM of polymeric components and related technical activities	2	0.3
Total INFN-BO FTE			1.1

Project funding request.

INFN-LNL request				
Type of request	Motivation	TOTAL request (k€)	Year 1 request (k€)	Year 2 request (k€)
Travel	travel for collaborative experimental work	6	3	3
Consumables	Ta powders for 3D printing (13 k€)	54	27	27
	fittings, valves, lubricants, thermocouples, electrical wires, extensometer and clip-gauge for mechanical characterization (13 k€)			
	disposable nozzles, syringes, solvents and other raw materials for target material production (15 k€)			
	chemicals and raw materials, maintenance of instrumentation for metallurgical characterization (13 k€)			
Total INFN-LNL request		60	30	30
INFN-PD request				
Type of request	Motivation	TOTAL request (k€)	Year 1 request (k€)	Year 2 request (k€)
Travel	travel for collaborative experimental work	8	4	4
Consumables	refractory metal powders for 3D printing (2 k€)	32	16	16
	metal powders for 3D printing (2 k€)			
	metallic powders and chemicals for DIW paste preparation, tips and cartridges for paste extrusion (3D printing of ISOL components) (14 k€)			
	fittings, valves, piping and other hydraulic material, thermocouples wires and electric cables for validation of CFD models and thermal characterization (14 k€)			
Total INFN-PD request		40	20	20
INFN-BO request				
Type of request	Motivation	TOTAL request (k€)	Year 1 request (k€)	Year 2 request (k€)
Travel	travel for collaborative experimental work	2	1	1
Consumables	polymeric material for 3D printing of prototypes	8	4	4
Total INFN-BO request		10	5	5
TOTAL project request		TOTAL (k€)	Year 1 (k€)	Year 2 (k€)
		110	55	55



INFEN

GRAZIE