

Documento sintetico di progetto R&D – CSN1

Lunghezza massima: 7 pagine complessive, inclusa la copertina

Sono consentite al massimo **6 pagine effettive di contenuto**. Le tabelle devono essere leggibili e i riferimenti bibliografici essenziali.

Pagina 1 – Copertina e scheda sintetica

Titolo del progetto

Acronimo: HTS-IDEA

Coordinatore: Lucio Rossi, Samuele Mariotto

Sedi INFN partecipanti: Sezione di Milano LASA

Periodo proposto: 09/2026– 09/2027

Durata complessiva: 12 mesi

Progetto nuovo

Ambito di riferimento (sigla sulla quale sono state inserite le richieste): RD_FCC

Esperimenti o progetti CSN1 di riferimento prioritario: IDEA

Executive summary

Questo progetto mira a caratterizzare e validare sperimentalmente cavi superconduttivi ad alta temperatura critica (HTS) basati su nastri REBCO stabilizzati in alluminio per la realizzazione di magneti solenoidali ad alta efficienza energetica destinati ai futuri rivelatori di particelle, con particolare riferimento al detector IDEA per FCC-ee. La combinazione tra l'elevata densità di corrente dei superconduttori HTS e la stabilizzazione termica fornita dall'alluminio potrebbe consentire il funzionamento di sistemi magnetici nell'intervallo 20-30 K, rispetto ai 4.2–4.5 K richiesti dalla tecnologia Nb-Ti, con una sostanziale riduzione dei consumi criogenici e l'utilizzo di elio liquido. L'attività si concentrerà sulla caratterizzazione elettrica, termica e meccanica dei cavi, con particolare attenzione alla propagazione del quench, alla resistenza di trasferimento tra i nastri superconduttivi e alla diffusività magnetica nel materiale stabilizzante. Attualmente è disponibile un design concettuale del solenoide IDEA supportato da studi elettromagnetici, termici e meccanici. Il risultato finale previsto è la qualificazione sperimentale della tecnologia di cavo e la definizione dei parametri necessari per l'evoluzione del magnete verso una futura progettazione costruttiva. Il finanziamento richiesto alla CSN1 è pari a **30 k€**, destinati principalmente all'acquisto di prototipi di cavo (lunghezza dell'ordine di qualche metro), realizzazione di supporti meccanici per test criogenici e consumo di liquido criogenico.

Dati finanziari sintetici (totale negli anni di durata del progetto)

Voce	Totale progetto
Finanziamento richiesto alla CSN1	30 k€
Finanziamenti INFN da altre fonti	0 k€
Altri finanziamenti italiani	0 k€
Finanziamenti internazionali	0 k€
Costo complessivo stimato	30 k€

1. Motivazione e rilevanza strategica

I design concettuali dei rivelatori di particelle attualmente in fase di studio per FCC-ee prevedono l'impiego di grandi magneti solenoidali, con un raggio interno tra i 2 e i 3 m, campi magnetici dell'ordine di 2–3 T e requisiti stringenti in termini di stabilità termica, efficienza energetica e trasparenza alle particelle. Sebbene la tecnologia per lo sviluppo di magneti per rivelatori di particelle sia ad oggi basata su cavi rutherford in Nb-Ti stabilizzati in alluminio (esempio ATLAS, CMS), la necessità di operare a temperature comprese tra 1.9 K e 4.5 K comporta elevati consumi energetici per i sistemi criogenici e un significativo consumo di elio liquido diminuendo la sostenibilità a lungo termine dell'esperimento. Negli ultimi anni l'evoluzione dei superconduttori ad alta temperatura critica (HTS), trainata soprattutto dallo sviluppo di reattori per fusione

nucleare, ha reso disponibili nastri REBCO ad elevate prestazioni elettriche e meccaniche utili per l'utilizzo all'interno di magneti di grande scala. Tuttavia, l'utilizzo di tali conduttori nei magneti per rivelatori di particelle presenta ancora numerose problematiche aperte, tra cui di notevole importanza si ha la comprensione dei fenomeni di propagazione del quench, la fabbricazione di cavi superconduttivi ad elevato trasporto di corrente e la validazione del comportamento meccanico dei nastri in condizioni criogeniche.

L'attività proposta affronta direttamente queste problematiche attraverso la caratterizzazione sperimentale di innovativi cavi REBCO stabilizzati in alluminio ancora in fase di R&D sia a livello industriale (ICAS, Toly) sia in centri di ricerca (CERN, KEK, IHEP). Questa tecnologia, ancora poco analizzata e ottimizzata, aprirebbe la possibilità di raffreddare magneti nell'intervallo 20–30 K, con un incremento dell'efficienza criogenica e una conseguente riduzione del consumo di elio. La caratterizzazione del cavo avrà quindi l'obiettivo di produrre proprietà dettagliate del cavo a supporto del design del magnete solenoidale per il rivelatore IDEA per il quale si dovrà valutare il livello di fattibilità entro il 2030 in vista dell'approvazione del progetto FCC-ee. Dal punto di vista strategico, il progetto permetterà all'INFN di consolidare le competenze già acquisite nel settore dei magneti superconduttivi per rivelatori di particelle e il suo coinvolgimento nei vari detector concept attualmente in considerazione per FCC-ee. L'utilizzo dell'infrastruttura criogenica già presente nel laboratorio, incrementata grazie al progetto IRIS, e l'esperienza nell'ambito della simulazione multi-fisica di magneti superconduttivi rende infatti il gruppo INFN Milano-LASA particolarmente adatto per lo sviluppo di future tecnologie per magneti da rivelatore.

2. Esperimenti beneficiari e impatto atteso

Il principale beneficiario dell'attività proposta è il sistema magnetico solenoidale previsto per il rivelatore IDEA (Innovative Detector for Electron-positron Accelerator) sviluppato nell'ambito del programma FCC-ee. L'attività di R&D proposta fornirà dati sperimentali sulle proprietà elettriche, termiche e meccaniche dei cavi superconduttivi HTS stabilizzati in alluminio attualmente oggetto di studi concettuali per il rivelatore. Tali informazioni costituiscono un prerequisito essenziale per il passaggio dall'attuale design concettuale del magnete a una futura fase di progettazione ingegneristica e lo sviluppo di modelli di simulazione più dettagliati e affidabili dell'intero magnete. L'attività sperimentale andrà a caratterizzare nel dettaglio la velocità di propagazione del quench e analizzare i meccanismi di trasferimento di corrente tra i nastri superconduttivi oltre che misurare le proprietà meccaniche (modulo di Young e adesione tra nastri HTS e matrice stabilizzante) del cavo superconduttivo in condizioni criogeniche.

Beneficiari secondari: Pur essendo focalizzata sul rivelatore IDEA, l'attività produrrà risultati di interesse anche per gli altri gruppi impegnati nello sviluppo dei concetti di rivelatore FCC-ee. In particolare, le conoscenze relative al comportamento dei cavi REBCO stabilizzati in alluminio, ai fenomeni di quench, ai metodi di protezione potranno essere impiegate dall'INFN per lo sviluppo di sistemi magnetici per altri detector concept come ALLEGRO, CLD, ALFA all'interno del progetto FCC-ee.

Tabella suggerita

Esperimento/progetto	Necessità o requisito	Contributo dell'R&D	Beneficio verificabile	Orizzonte temporale
IDEA		30 keuro	Misure Sperimentali accurate	1 anno

3. Stato dell'attività e maturità tecnologica

L'attività proposta si inserisce a seguito dello sviluppo di un design concettuale del magnete solenoidale superconduttivo per il progetto IDEA, ad opera del gruppo di magneti superconduttivi dell'INFN Milano-LASA e dell'Università degli Studi di Milano. A partire dal 2024 sono state condotte attività di simulazione e progettazione finalizzate alla valutazione della fattibilità di un magnete solenoidale con cavi superconduttivi HTS basati su nastri di REBCO e stabilizzato con una matrice in alluminio.

Il design concettuale è stato analizzato con modelli elettromagnetici, termici e meccanici. Le simulazioni hanno permesso di definire una configurazione preliminare in grado di generare un campo magnetico centrale di 3 T operando a una temperatura dell'ordine di 20 K

Le principali criticità ancora aperte riguardano la mancanza di dati sperimentali specifici sui cavi REBCO stabilizzati in alluminio per la simulazione dettagliata di eventi di quench e la proteggibilità del magnete durante l'esercizio. L'attività proposta mira precisamente a risolvere queste lacune per poter incrementare l'affidabilità di modelli numerici esistenti del magnete superconduttivo in vista della fase di design ingegneristico.

L'attività proposta non ha finora beneficiato di finanziamenti dedicati da parte dell'INFN o di altri enti nazionali e internazionali. Le attività di simulazione e progettazione preliminare sono state svolte utilizzando risorse e personale già disponibili presso l'Università degli Studi di Milano e INFN Milano-LASA.

Tabella suggerita

Sottosistema o linea di R&D	Risultato già ottenuto	TRL attuale	TRL finale atteso	Evidenza prevista
Magneti Superconduttivi	Design concettuale	2	3-4	Misura sperimentale stabilità cavo HTS

4. Collaborazione, organizzazione e risorse umane

Partecipazione italiana

Istituzione	Persona coinvolta (Nome Cognome)	Qualifica	FTE medi annui	Responsabilità
INFN	Lucio Rossi	Associato Inc. Ricerca	0.15	Team Member
UMIL	Massimo Sorbi	PA	0.10	Deputy Leader
UMIL	Samuele Mariotto	RTDa	0.40	Project Leader
UMIL	Stefano Sorti	RTDa	0.10	Team Member
INFN	Simone Busatto	doc	0.90	Team Member
INFN	Tecnico	Staff	0.10	Team Member

L'attività proposta sarà svolta congiuntamente dall'INFN Sezione di Milano e dall'Università degli Studi di Milano, facendo leva sulle competenze sviluppate negli ultimi anni nel settore dei magneti superconduttivi per acceleratori e rivelatori di particelle. L'infrastruttura criogenica e di potenza elettrica di proprietà dell'INFN presso il laboratorio LASA (Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata) dell'Università degli Studi di Milano sarà messa a disposizione per l'attività sperimentale sui cavi superconduttivi e l'analisi delle misure elettriche e meccaniche. In particolare, si prevede di utilizzare sia l'infrastruttura criogenica per misure all'azoto già presente nel laboratorio sia la nuova infrastruttura criogenica finanziata dal Progetto PNRR "IRIS" per il test a temperature criogeniche comprese tra 20 K e 30 K. L'attività proposta richiede un supporto tecnico qualificato per la progettazione e realizzazione dei supporti meccanici per i test criogenici ma che risulta già presente all'interno del gruppo magneti del laboratorio LASA.

5. Piano di lavoro, deliverable e milestone

L'attività prevista nel progetto si basa sugli studi di progettazione elettromagnetica, termica e meccanica del magnete solenoidale per il progetto IDEA che sono già stati completati a livello preliminare. Il progetto si concentra pertanto sulla misura sperimentale delle proprietà del conduttore, oggi rappresentate principalmente da dati provenienti dalla letteratura o da assunzioni modellistiche e pertanto la durata prevista del progetto è di un anno. La disponibilità di misure dirette consentirà di migliorare significativamente l'affidabilità delle simulazioni del magnete per poter poi sviluppare progetti di R&D focalizzati alla realizzazione in scala ridotta di dimostratori del magnete solenoidale previsto per il rivelatore.

Attività 1: Progettazione e preparazione dell'apparato sperimentale

Questa attività comprende la progettazione di supporti meccanici e isolamenti termici necessari per la caratterizzazione dei cavi superconduttivi HTS sia all'azoto liquido sia a temperature criogeniche compatibili con il design finale del magnete (20-30 K) per le quali attualmente al LASA si possono adottare sistemi di raffreddamento per conduzione solida.

Attività 2: Caratterizzazione elettrica dei cavi HTS

L'obiettivo di questa attività è la determinazione delle proprietà elettriche fondamentali del conduttore. Verranno investigate la resistenza elettrica tra i nastri REBCO all'interno del cavo superconduttivo, la diffusività magnetica e la resistività della matrice stabilizzante in condizioni criogeniche utili per gli studi di protezione del magnete.

Attività 3: Caratterizzazione meccanica

Nell'ultima fase del progetto si andranno a misurare le proprietà meccaniche del cavo superconduttivo (in particolare l'adesione tra i nastri superconduttivi e il materiale stabilizzante) per lo sviluppo di modelli meccanici dettagliati in grado di analizzare la deformazione e lo sforzo presente sul cavo durante l'energizzazione del magnete.

Deliverable e milestone

ID	Tipo	Descrizione	Data prevista	Criterio di verifica	TRL associato
M1	Milestone	Produzione cavo HTS stabilizzato in alluminio	31/05/2027	Acquisto cavo HTS stabilizzato in alluminio (oppure creato in laboratorio) in accordo a specifiche tecniche compatibili con design del cavo per magnete solenoidale per il rivelatore IDEA	TRL 2
D1	Deliverable	Caratterizzazione elettrica/termica cavo HTS stabilizzato in alluminio	31/12/2027	Dati sperimentali a seguito di misura elettrica del cavo HTS. Misura velocità di propagazione quench, lunghezza di trasferimento della corrente, diffusività magnetica	TRL 3-4
D2	Deliverable	Caratterizzazione meccanica cavo HTS stabilizzato in alluminio	31/12/2027	Dati sperimentali a seguito di misura meccanica del cavo HTS. Misura del modulo di Young del tape, degradazione del tape in funzione dello strain	TRL 3-4

6. Piano finanziario pluriennale

Il progetto richiede un finanziamento complessivo pari a 30 k€. La richiesta è finalizzata esclusivamente alla realizzazione delle attività sperimentali necessarie alla caratterizzazione dei cavi HTS stabilizzati in alluminio e non comprende costi di personale dedicato, che verrà messo a disposizione dalle istituzioni partecipanti.

Le principali voci di spesa riguardano:

- 1) acquisto di campioni e prototipi di cavo REBCO stabilizzato in alluminio;
- 2) progettazione e realizzazione dei supporti meccanici per i test criogenici
- 3) materiali di consumo necessari alle campagne sperimentali (liquido criogenico)

Budget per anno e fonte

Anno	Richiesta CSN1	Altre fonti INFN	Fondi italiani esterni	Fondi esteri	Totale
2027	30 k€	0 k€	0 k€	0 k€	30 k€

Articolazione della richiesta alla CSN1

Categoria	Anno 1	Totale
Apparati e componenti		
Elettronica e sistemi di acquisizione		
Prototipazione e lavorazioni		
Servizi tecnici e industriali		
Test beam e accesso a facility		
Missioni		
Consumo	10 keuro per cavo HTS stabilizzato in alluminio, 15 keuro per supporti meccanici in acciaio per test criogenici e 5 keuro per gas elio per test	30 keuro
Licenze Software		
Altro		
Totale	30 keuro	30 keuro

Priorità interne e scenari di finanziamento

Scenario	Finanziamento CSN1	Attività realizzabili	Deliverable conseguibili	Conseguenze
Completo	30 k€		M1, D1, D2	
Minimo efficace	15 k€	Caratterizzazione elettrica cavo HTS stabilizzato in alluminio	M1, D1	Assenza proprietà meccaniche del cavo e conseguente riduzione dell'affidabilità delle simulazioni meccaniche del magnete HTS per il rivelatore IDEA

7. Conclusioni e richiesta alla CSN1

Il progetto propone un'attività di ricerca mirata alla caratterizzazione sperimentale di cavi superconduttivi ad alta temperatura critica basati su nastri REBCO stabilizzati in alluminio, destinati allo sviluppo di magneti solenoidali innovativi per il rivelatore IDEA nell'ambito del programma FCC-ee.

L'attività andrà a fornire dati sperimentali ad oggi non disponibili sulle proprietà elettriche, termiche e meccaniche dei conduttori HTS stabilizzati in alluminio con particolare attenzione allo studio della propagazione del quench. Il risultato atteso è la misura sperimentale della velocità di propagazione del quench, la misura della diffusività magnetica e la caratterizzazione dei parametri meccanici del cavo necessari per lo sviluppo di un design ingegneristico per il magnete solenoide del rivelatore IDEA. Il progetto consentirà di incrementare il livello di maturità di questa tecnologia da TRL 2 a TRL 3-4. La richiesta complessiva di 30 k€ alla CSN1 è interamente finalizzata alla realizzazione delle attività sperimentali.