

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Piano Triennale
2024 | 2026

Trieste

Stazione Marittima

27 | 28 giugno 2023



PNRR IRIS E la Superconduttività

Samuele Mariotto, Ricercatore RTD-a
UNIMI e INFN Milano LASA

A nome del gruppo di ricerca del progetto IRIS



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Outline

- Introduzione al Progetto IRIS
- La Superconduttività in IRIS: i 2 dimostratori tecnologici
- Panoramica dei vari Work Packages
- Prospettive e conclusioni





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Il Programma IRIS

- **Rapido riepilogo del percorso di sviluppo**
- Risposta al bando da parte del **Ministero per l'Università e la Ricerca (MUR)** per sovvenzioni con fondi “**Recovery Funds**” (PNRR o Next Generation Europe).
- Scopo: creazione di una infrastruttura distribuita in Italia sulla **superconduttività applicata** tramite il potenziamento di infrastrutture, competenze e abilità già esistenti e l'espansione di nuovi laboratori di ricerca
- **6 poli** per il rinnovamento e la costruzione di nuove infrastrutture: Frascati (INFN), Genova (INFN, CNR-Spin, Unige), Milano (INFN, Unimi – LASA lab), Napoli (Unina), Salento (Unisalento) e Salerno (INFN e Unisa)
 - LASA (Milano) si occupa dell'amministrazione e del coordinamento delle attività





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



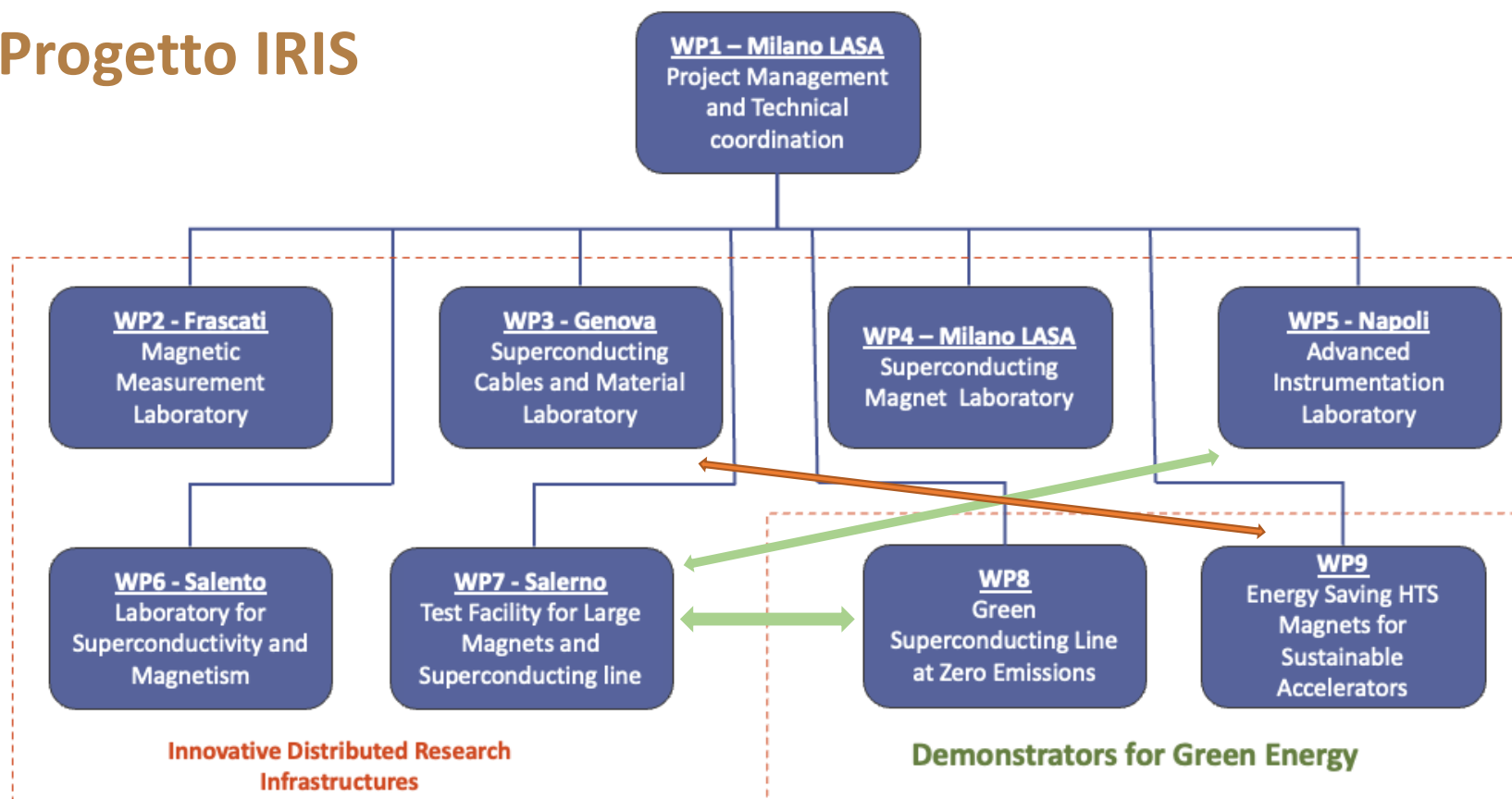
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Stuttura Progetto IRIS



28 Giugno 2023

4

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Finanziamento Progetto IRIS

New table for ex-art. 15 agreement

IR	tot rev
INFN	€ 39,572,238.37
SPIN	€ 2,416,027.45
UniGE	€ 1,182,350.94
UniMI	€ 5,532,061.30
UniNA	€ 2,044,395.50
UniSalento	€ 3,605,900.00
UniSA	€ 5,643,994.61
Totale	€ 59,996,968.17



Presidenza del Consiglio dei Ministri
-Contato Interministeriale per la Programmazione Economica-

Institutes	WP#	Reported	7% Indirect cost	TOT.Reimb
INFN	LNF WP2	1,046,760.00 €	73,273.20 €	1,120,033.20 €
INFN	GE WP3	3,211,899.80 €	224,832.99 €	3,436,732.79 €
INFN	MI WP1-4-8-9	25,401,910.34 €	1,778,133.72 €	27,180,044.07 €
INFN	NA-SA WP7	7,322,830.20 €	512,598.11 €	7,835,428.31 €
INFN	TOT	36,983,400.34 €	2,588,838.02 €	39,572,238.37 €
CNR-SPIN	GE WP3	1,090,099.58 €	76,306.97 €	1,166,406.55 €
CNR-SPIN	NA WP5	480,020.00 €	33,601.40 €	513,621.40 €
CNR-SPIN	SA WP7	687,850.00 €	48,149.50 €	735,999.50 €
CNR-SPIN	TOT	2,257,969.58 €	158,057.87 €	2,416,027.45 €
Unige	TOT WP3	1,105,000.88 €	77,350.06 €	1,182,350.94 €
Unimi	TOT WP4-9	5,170,150.75 €	361,910.55 €	5,532,061.30 €
Unina	TOT WP5	1,910,650.00 €	133,745.50 €	2,044,395.50 €
Unisalento	TOT WP6	3,370,000.00 €	235,900.00 €	3,605,900.00 €
Unisa	TOT WP7	5,274,761.32 €	369,233.29 €	5,643,994.61 €
Grand Tot		56,071,932.87 €	3,925,035.30 €	59,996,968.17 €



28 Giugno 2023

5

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



IRIS scopo del progetto-1

Applicazioni per Fisica Fondamentale

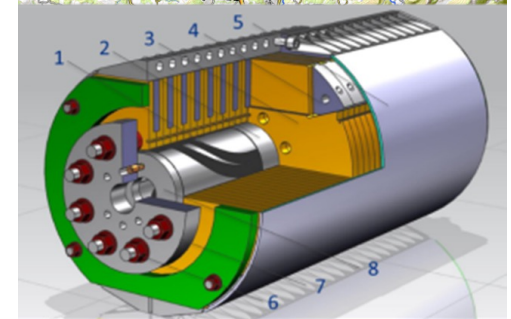
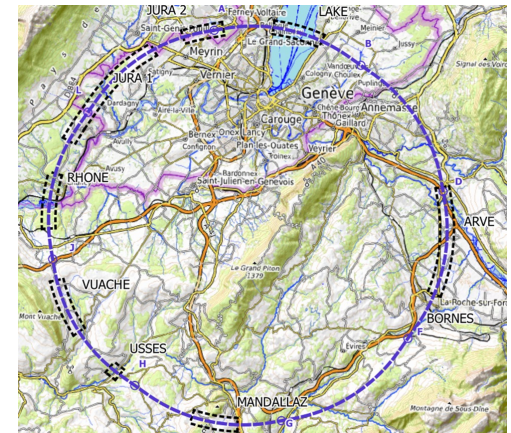
La superconduttività è stata una tecnologia chiave nella scoperta del bosone di Higgs e il suo sviluppo sarà critico per la costruzione dei futuri acceleratori di particelle. Necessità di infrastrutture adeguate che sostengano la ricerca



Dipoli di LHC (8 T) nel tunnel



HiLumi MQXF quad (12 T)



FCC (12-16 T)

Fattore Limitante: Potenza Criogenica
Consumo stimato > 300 MW @ 2 K



28 Giugno 2023

6

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

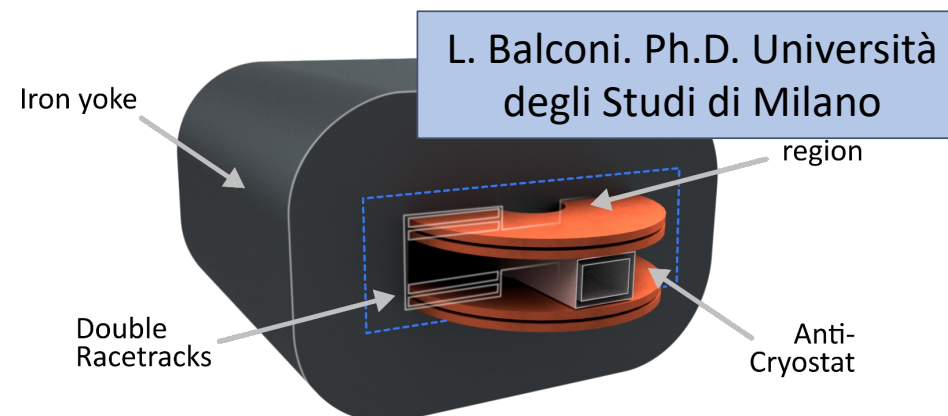


WP9: Energy Saving HTS Magnet for Sustainable Accelerators (ESMA)

- Il campo record per un magnete dipolare in HTS (con qualità da acceleratore) appartiene al Progetto Eucard2 con “solo” 4.5 T.
→ è tempo di esplorare e sviluppare HTS per dipoli.
- Scopo: dipolo da **8 T – 80 mm** apertura @ 10-20 K come campo di background per test di cavi superconduttori.
- Primo passo tecnologico per sviluppo di magneti 15 T – 20 K di operazione per FCC o Muon-C



EUCARD²



Central field B_0	tesla	10
Free bore and aperture (both sides) at 300 K, minimum.	mm	H80 x V50
Good field region uniformity	N/A	1.5%
Good field region extension	mm	H50xV30xL400
Operating temperature	K	20



28 Giugno 2023

7

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



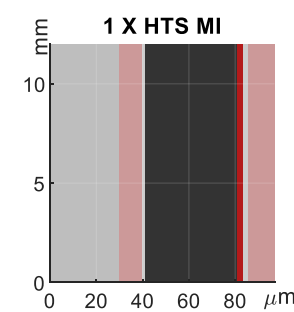
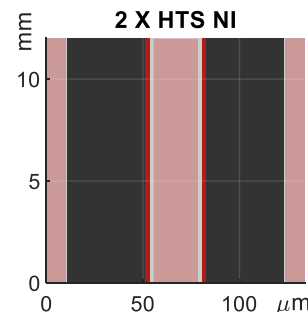
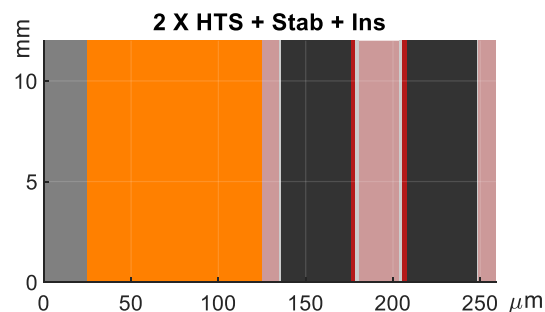
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP9: Energy Saving HTS Magnet for Sustainable Accelerators (ESMA)

Il perfezionamento del progetto del magnete e la protezione dal quench sono oggetto di studio in funzione della soluzione adottata per l'isolamento. Vengono considerati tre casi:

1. **Bobine Isolate:** cavo isolato formato da più nastri eventualmente con stabilizzante in rame.
2. **Bobine Non Isolate:** avvolgimento a secco o con nastri saldati.
Modello per energizzazione è in fase di sviluppo basato su quello usato per AMaSED-2 (rif: Magnus Dam).
3. **Bobine a Isolamento Controllato:** metallo co-avvolto con nastri HTS oppure resine conduttive, vernice a resistenza variabile ecc.. Possibile compromesso tra le prime due opzioni.



Courtesy of
S. Sorti, UNIMI





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca

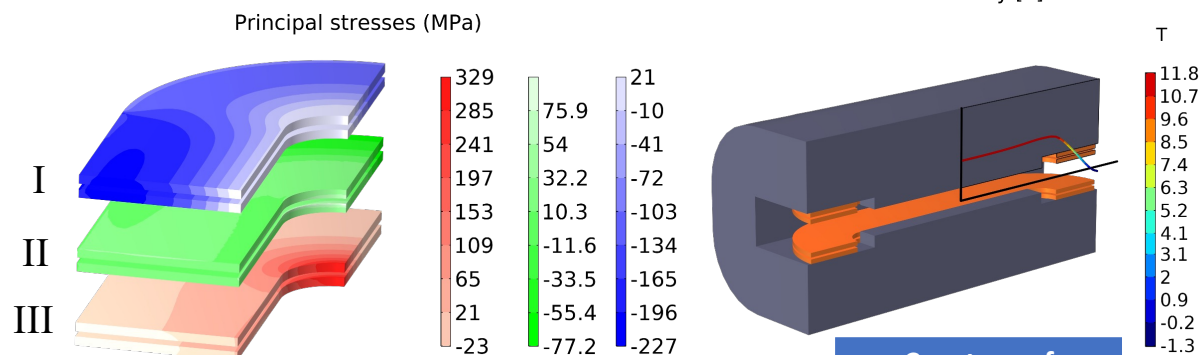
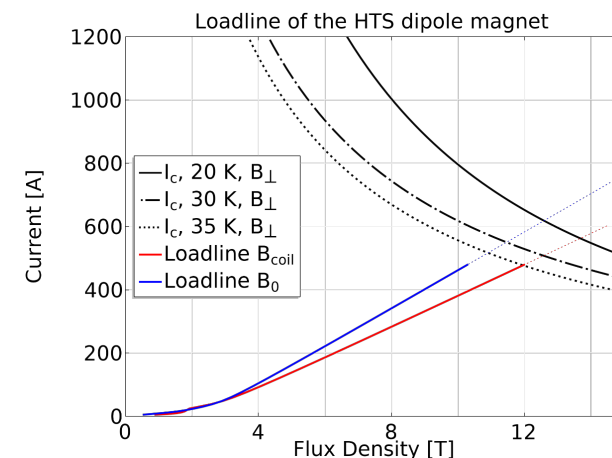
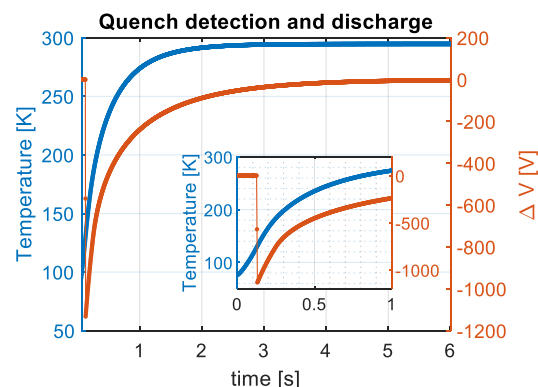
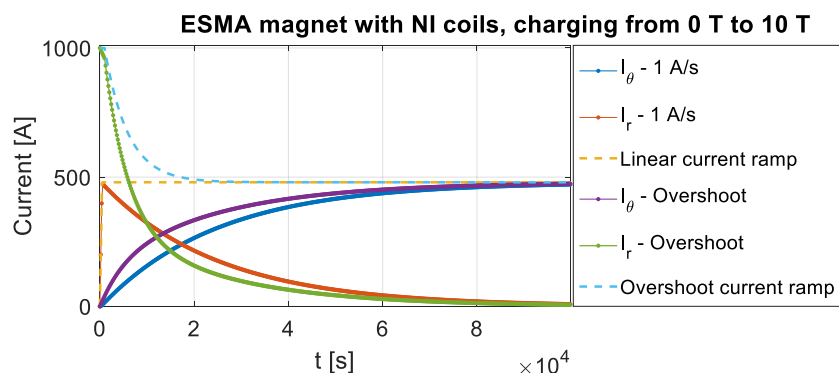
Magnetic Design
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP9: Energy Saving HTS Magnet for Sustainable Accelerators (ESMA)

Ulteriori aspetti di design attualmente studiati:

- Performance del superconduttore
- Protezione del magnete contro il quench
- Supporti meccanici per le bobine
- Uso di parti in ferro e saturazione
- Tempi di carica e scarica del magnete



Courtesy of
S. Sorti, UNIMI



28 Giugno 2023

9

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale IRIS 2024-2026, 26/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca

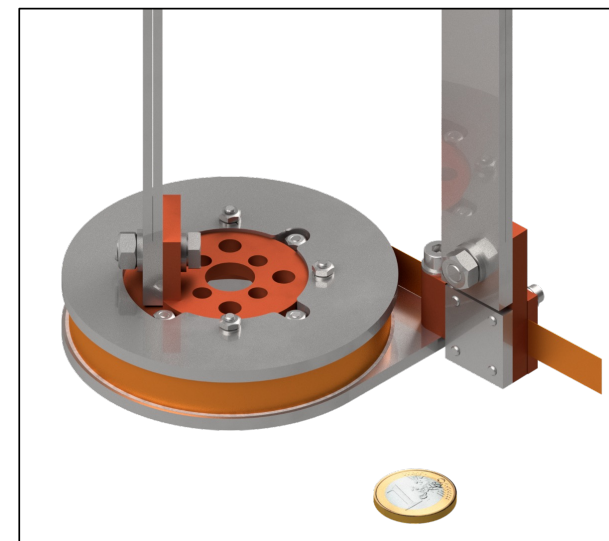


Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP9: Energy Saving HTS Magnet for Sustainable Accelerators (ESMA)

- ESMA andrà a dimostrare la sosteneibilità dei futuri acceleratori insieme alla maturità tecnologica di conduttori e magneti HTS
- In parallelo, al LASA Milano sarà un'ottimo spunto per la ricerca e lo sviluppo di tecnologie HTS per la costruzione di magneti
- Infatti, con un **programma sperimentale per la costruzione di piccole bobine** si sta iniziando a investigare le diverse opzioni tecnologiche per l'isolamento di magneti HTS. L'approccio e gli scopi del programma condividono molti punti con i programmi di studio per lo sviluppo di magneti per FCC-hh e Muon Collider.



FUTURE
CIRCULAR
COLLIDER



28 Giugno 2023

10

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



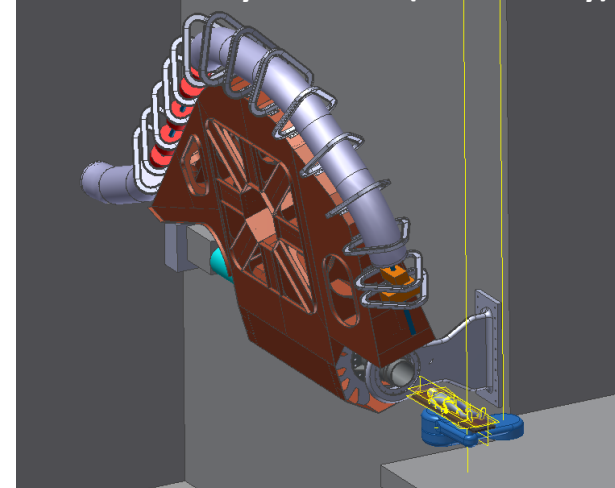
IRIS scopo del progetto-2 Applicazioni Sociali

- **Green Energy** e **Medicale**
- **Green** : trasporto di energia a zero emissioni e magneti a risparmio energetico. Nuova attività per INFN.
 - Importante per la società ma anche per la sostenibilità delle nostre infrastrutture di ricerca
- **Medicale**: non direttamente parte del progetto IRIS.
Comunque, la superconduttività potrebbe giocare un ruolo fondamentale nell'adroterapia con ioni pesanti permettendo lo sviluppo di gantry rotanti leggeri e compatti (MI-LASA, Genova e LNF già attivi in questo ambito)



Courtesy A. Ballarino - CERN

Courtesy M. Pullia (CNAO -Italy)





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP8: Linea Superconduttiva Green

- **Green Energy**
- **Green** : trasporto di energia a **0³ (zero al cubo) emissioni.**
 - **Zero** (quasi) **emissioni** di CO₂:
il consumo sarà dell'1% ogni 1000 km
 - **Zero emissioni** di radiazione e.m. (DC)
 - **Zero** (quasi) **ingombro del terreno**: tubatura sotterranea da 50 cm può portare 5 GW di Potenza equivalente a una linea sospesa (30 m altezza– 50 m larghezza).



Courtesy A. Ballarino - CERN





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP8: Linea Superconduttiva Green

Dimostratore **GSCL** servirà anche per *Testare* la TEST FACILITY del Polo di Salerno

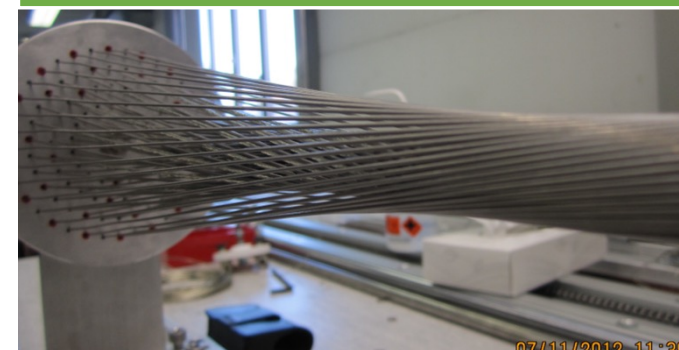
Impiego di questa tipologia di linea SC: **oltre a coprire lunghe distanze e grosse trasmissioni di Potenza elettrica può essere impiegata in sistemi elettrici per la creazione di HVDC back-to-back** (studio per installare il dimostratore in una facility italiana alla fine del Progetto IRIS-PNRR).

La test facility e il dimostratore saranno studiati per lavorare raffreddati con He gas; Come **secondo step**, la compatibilità per raffreddamento con LH sarà comunque analizzata.

Linea Superconduttiva nel criostato flessibile, 60 m, 100 kA – 3 kV, durante il test nel 2020 avvenuto con successo, CERN, High Luminosity LHC Project

(courtesy of A. Ballarino, CERN, archive)

Avvolgimento di un sotto-elemento del cavo in MgB_2 per il Progetto High Luminosity LHC



28 Giugno 2023

13

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



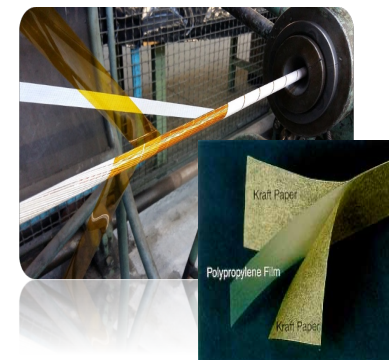
WP8: Linea Superconduttiva Green: Produzione con processi industriali di cablaggio



Macchina avvolgitrice planetaria per il petalo



Avvolgitrice planetaria per assemblaggio del
conduttore finale



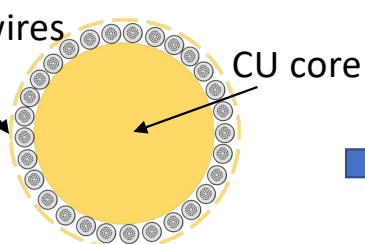
Linea di lappatura per
isolamento HV e protezione

MgB₂ wire

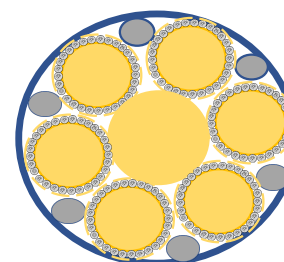


d = 1,33 mm

MgB₂ wires



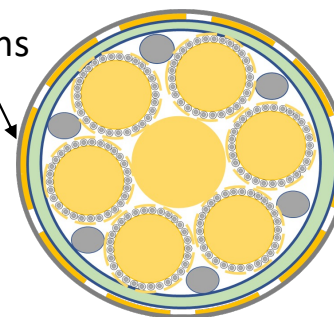
d = 14,4 mm



d = 43,2 mm



HV Ins



d = 49 mm



28 Giugno 2023

14

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

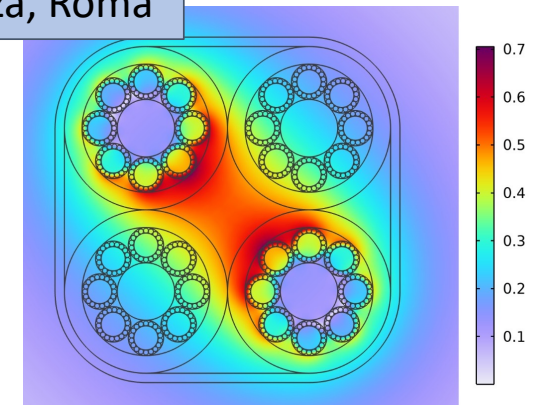
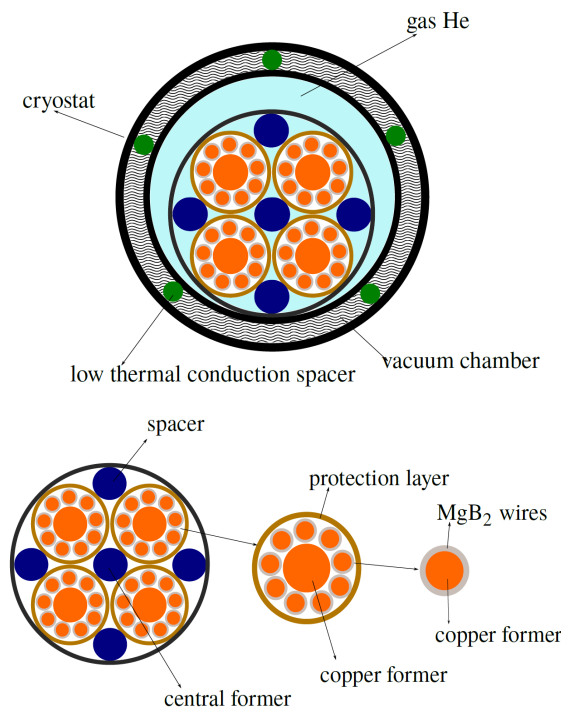


WP8: Linea Superconduttiva Green

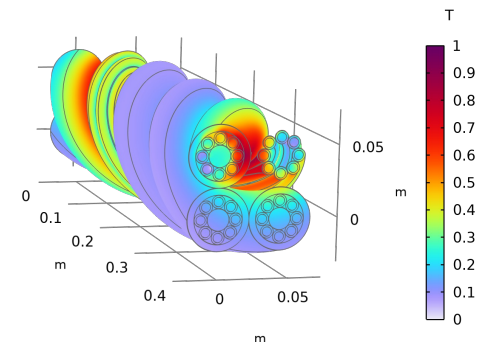
Stato del design della linea SC: definizione geometria e proprietà del conduttore. Calcoli EM in fase di sviluppo e ottimizzazione.

Line characteristics	
Power transport	1 GW
Voltage	25 kV
Current	40 kA
Operating temperature	20 K
Line length	130 m
Expected losses	2.5 W/m at 20 K
Overall cable diameter	105 mm

S. Maffezzoli. Ph.D.
Università la Sapienza, Roma



Volume: Magnetic flux density norm (T)



28 Giugno 2023

15

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP1, Milano LASA, UNIMI & INFN

- Laboratorio Acceleratori & Superconduttività Applicata
 - **Magneti SC e Cavità SRF**
- Anche fotocatodi e altre attività (BriXino, studi su radionuclidi)
- (Vecchio) impianto LHe in rinnovo nei prossimi 2 anni
- Circa 25 persone attive nell'ambito della superconduttività applicata
- È “solo” un edificio, non una istituzione indipendente: appartiene a Unimi in co-gestione tra INFN-Milano e Unimi-DIFI
- Appartiene al National R.I. come infrastruttura INFN (in lista PNIR come priorità media)



28 Giugno 2023

16

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP2, LNF: Laboratorio di Misure Magnetiche

Il laboratorio di misure magnetiche dell'INFN-LNF, circa 200 m², con carro ponte da 15 T, è dotato già di sistemi di misura magnetica e verrà fornito di nuovi macchinari:

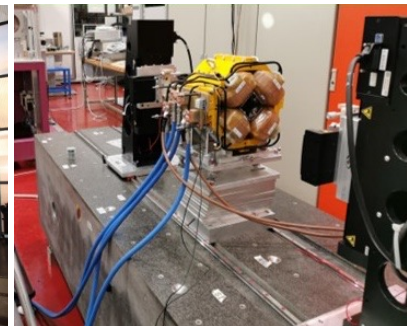
- Sistema di allineamento a 5 assi con sonde di Hall
- Banco per misura con filo vibrante
- Sistema di calibrazione per sonde di Hall
- Alimentatori
- Sonde & supporti



Sonda di Hall montata su
banco di allineamento



Banco per filo vibrante



Banco per bobine rotanti





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP3, GENOVA, INFN, CNR-SPIN, UNIGE-DIFI: Nuova infrastruttura criogenica

Collaborazione tra 3 istituti (prima di IRIS) per un nuovo **Laboratorio di Ricerca Congiunto (LabCoR)**:

INFN:

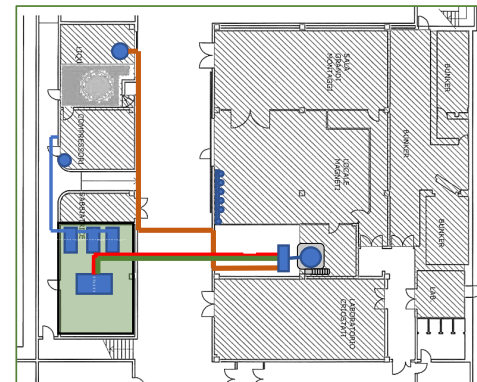
- Caratterizzazione di cavi ad alta corrente
- Design e R&D di magneti SC

CNR-SPIN e UNIGE:

- Sviluppo di fili SC
- Ricerca su materiali SC

Il Progetto IRIS si occuperà di:

- Rinnovo e potenziamento efficienza impianto LHe
- Rinnovo di parte del laboratorio esistente
- Acquisto e installazione di nuovo equipaggiamento
- Formazione di nuovi ricercatori



Nuovo layout

- LP: 3 " (1,3 bar)
- HP: 3/2 " (10 bar)
- HP: 1 " (10 bar)
- Linee 200 bar
- Linee di recupero

~10 m

Configurazione del magnete

- 14 T, solenoide longitudinale

Opzioni di Misurazione

- **Magnetometria:**
VSM + Grande Bore
- **Misurazioni Termiche:**
Capacità termica dei materiali.
- **Capacità Sub-Kelvin:**
Raffreddamento a Diluizione.



28 Giugno 2023

18

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca

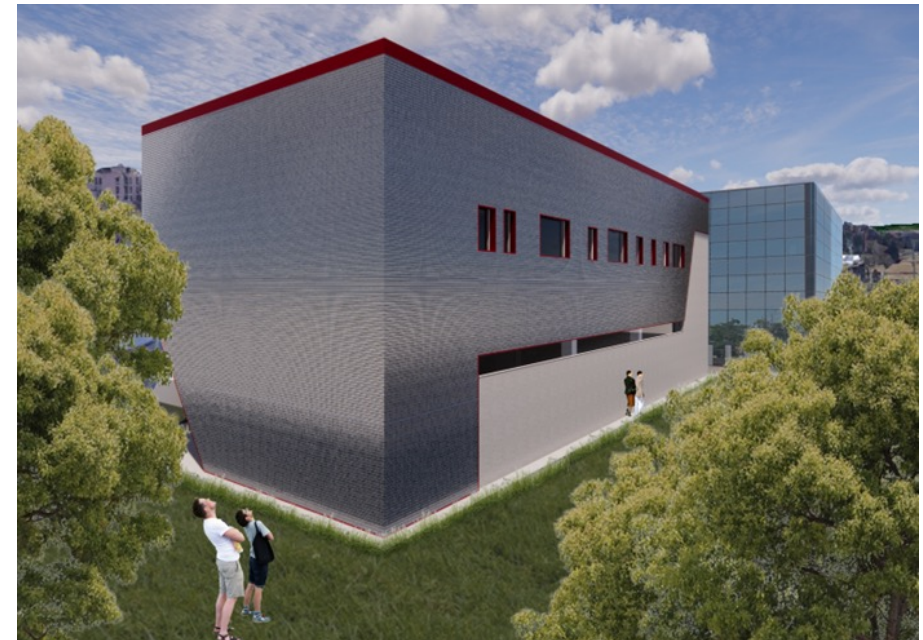


Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP4, MILANO LASA, UNIMI & INFN: Nuovo laboratorio per magneti SC

- Nuova infrastruttura per la costruzione di magneti superconduttivi. Costruzione civile del laboratorio affidata a **UNIMI** è in fase di progettazione
- Riassetto dei sistemi di misura esistenti nel laboratorio (esistente) per il test di magneti SC
- Nuovo VTI per test di magneti, linee di Potenza ecc...
- Stampa 3D metallica per supporto alla prototipazione
- Set complete di nuovi macchinari **INFN** per la realizzazione e assemblaggio di magneti SC di piccole/medie dimensioni da installare nel nuovo edificio



28 Giugno 2023

19

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

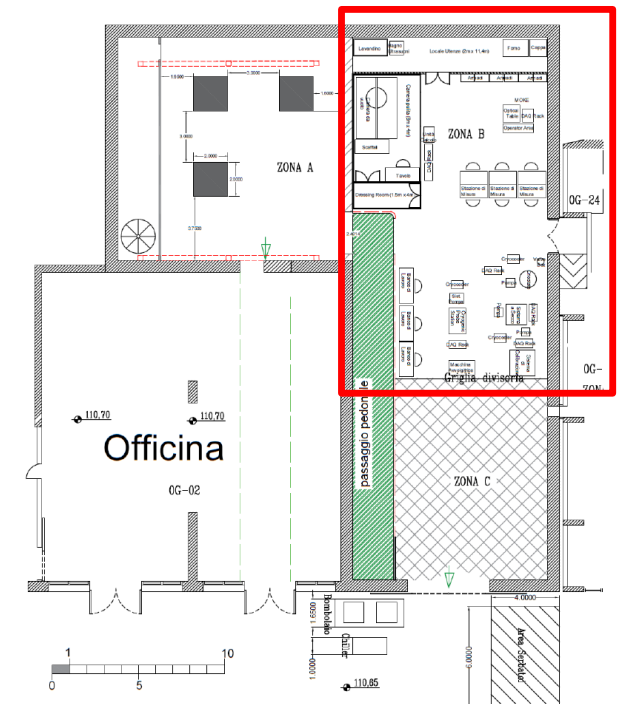


WP5, NAPOLI, INFN, UNINA, CIRMIS, CNR-SPIN: infrastrutture per misurazioni

Strutture esistenti a Napoli per misure magnetiche e caratterizzazione di cavi superconduttivi e criogenia.

Il Progetto IRIS si occuperà di:

- Nuova facility, ACME (Advanced Cable and Magnet Engineering);
- Stazioni di misura magnetica
- Macchina avvolgitrice per cavi SC
- Clean area per sistemi da vuoto e assemblaggio
- Criostato per azoto liquido
- Strumentazione per studio delle proprietà di materiali superconduttivi tramite misure di magneto-trasporto e misure magneto-ottiche



28 Giugno 2023

20

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP6, LECCE, INFN & UNISALENTO: Strumenti per misurazioni

Laboratorio esistente per superconduttività e magnetismo

Il Progetto IRIS si occuperà di nuovi macchinari:

- Misurazioni di Magnetometria
- Misurazioni di proprietà fisiche dei materiali
- Misurazioni magneto-ottiche e a risonanza ferromagnetica combinate
- Microscopi AFM, MFM e PFM per la caratterizzazione di superconduttori, materiali magnetici e multifunzionali



Magnete superconduttivo a circuito chiuso per misure di proprietà fisiche



Magnetometro a SQUID con circuito chiuso





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

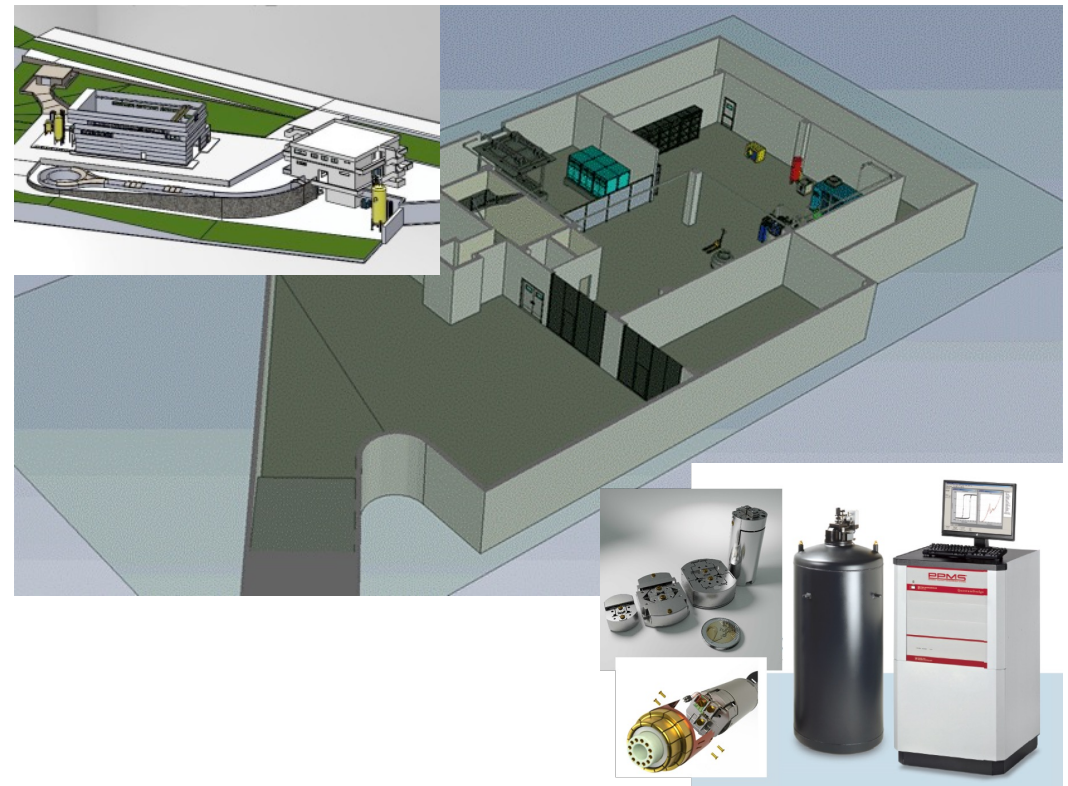


WP7, SALERNO, INFN, UNISA, CNR-SPIN : Strumenti e test facility per linea SC

INFN-Salerno insieme a UNISA ha costruito e commissionato nuova stazione di test per magneti SC negli ultimi 5 anni, "THOR". Attualmente usata per test dei multipletti SC SIS100 per il GSI

Nel Progetto IRIS la struttura INFN/Unisa si svilupperà:

- Incremento Potenza criogenica per magneti SC
- Capacità di estendere test di magneti SC oltre l'He supercritico e incremento capacità di test di magneti delle dimensioni di LHC/Hilumi/FCC (comunque, no HEII al momento)
- Aggiunta di una nuova test facility per line Green SC: fino a 25 kV – 40 kA (1 GW), 20 K He gas. Trincea costruita per alloggio cavo con lunghezza fino a 140 m
- L'unità SPIN Salerno ambisce ad acquistare e installare Sistema per misurazioni di magneto-trasporto



28 Giugno 2023

22

S. Mariotto – PNRR-IRIS – Piano Triennale INFN 2024-2026, 28/06/2023



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



CONCLUSIONI

- Il Progetto PNRR - IRIS è un programma ambizioso per la creazione di una **infrastruttura di ricerca Italiana di nuova generazione sulla superconduttività applicata**.
- Gli obiettivi del programma includono il potenziamento di una serie di strutture distribuite sul territorio italiano e la realizzazione di due dimostratori tecnologici funzionanti.
- Il **magnete in HTS per risparmio energetico** ambisce a dimostrare la fattibilità di magneti per acceleratori completamente in HTS. Il secondo **dimostratore** costituirà il primo esempio di linea di trasmissione superconduttiva in EU con capacità fino a **1 GW in modalità DC**. In questo contesto, il Progetto IRIS sarà utile e fruttuoso per l'intera comunità scientifica incluso FCC-hh e Muon Collider





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Grazie per l'attenzione!

Un ringraziamento in particolare a ciascun working package leader per le informazioni riportate in queste slide

Per più informazioni:

<https://iris.infn.it/it/chi-siamo/pnrr-iris>





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

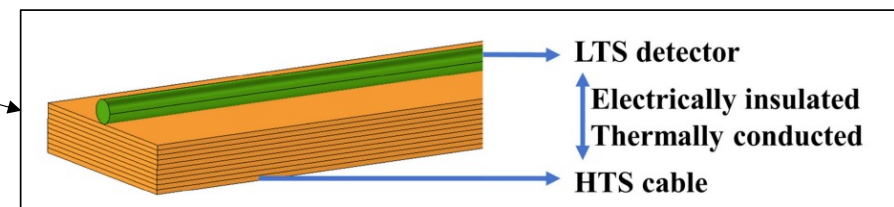
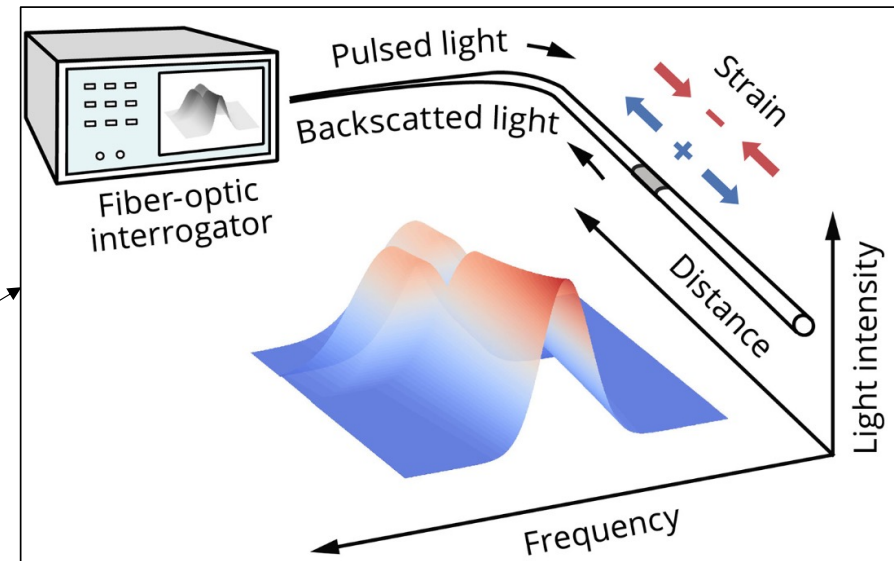


WP9: Energy Saving HTS Magnet (ESMA)

A causa delle difficoltà della protezione di magneti HTS tramite voltage detection, diverse tecnologie di rivelazione vengono ormai studiate a livello globale nella comunità scientifica.

ESMA potrebbe essere un dimostratore tecnologico di queste diverse tecnologie:

- Fibre ottiche (temperatura, strain)
- LTS co-avvolto (temperatura)
- Network distribuito di sensori (temperatura, campo, strain)





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



WP9: Energy Saving HTS Magnet (ESMA)

Alcuni sistemi potrebbero essere direttamente incorporate nella realizzazione delle bobine del magnete:

