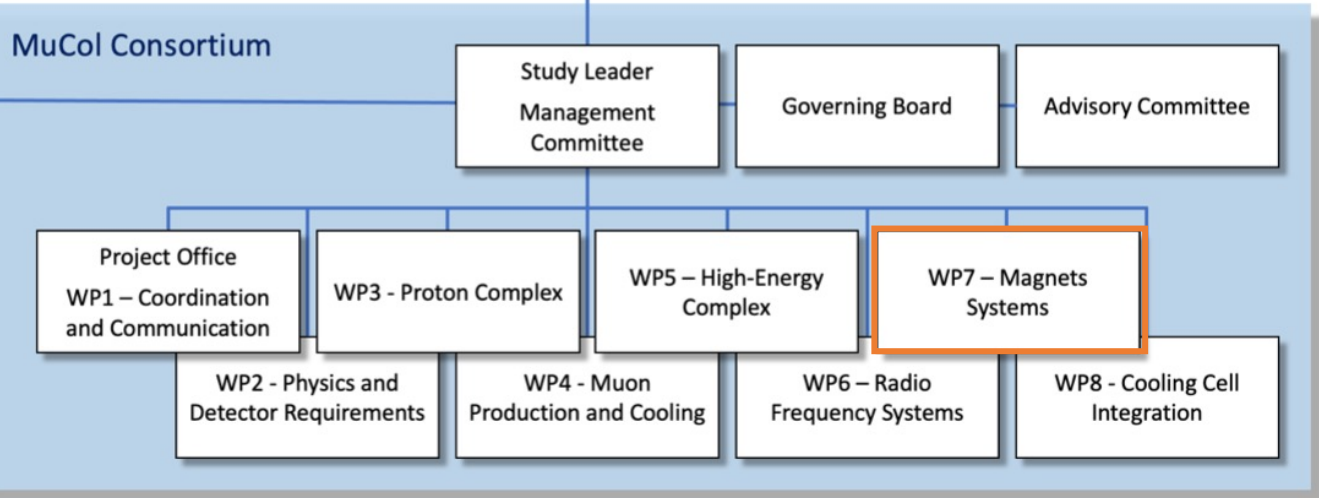


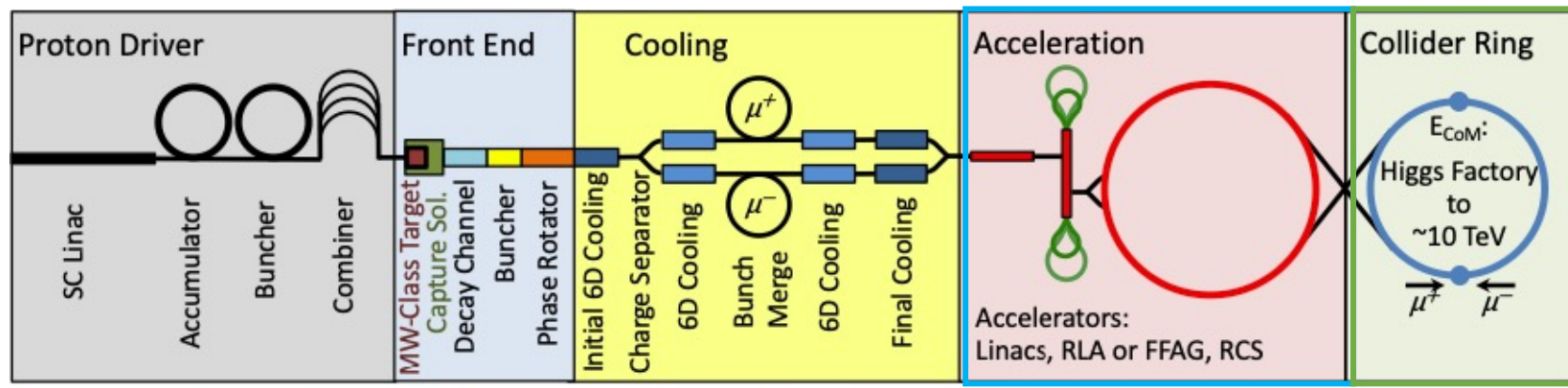
Magnets for the Muon Collider

B.Caiffi¹, L. Alfonso¹, A. Bersani¹, S. Farinon¹, A. Gagno¹,
F. Levi¹, S. Mariotto^{2,3}, F. Mariani^{2,3}, R. Musenich¹,
D. Novelli^{1,4}, A.Pampaloni¹

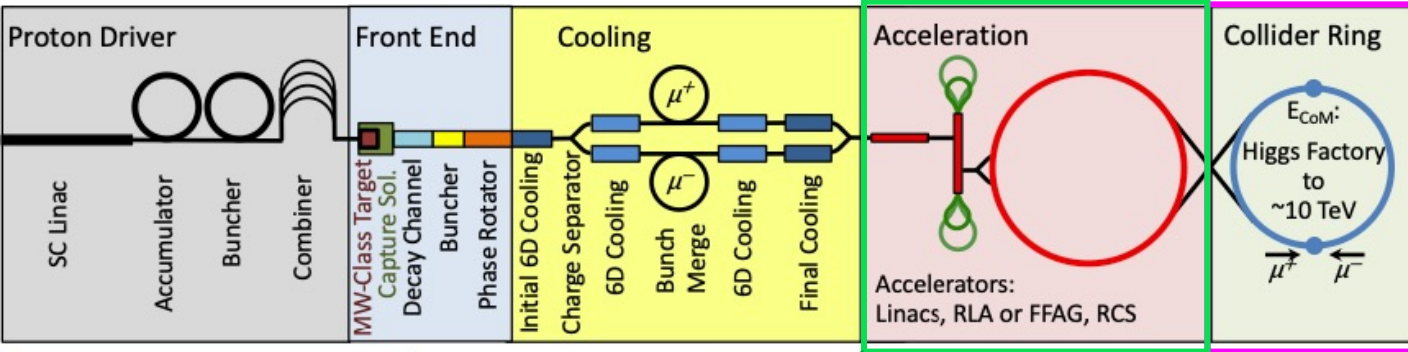
Grant Agreement N°
101094300



- 1 Collider magnets (B.Caiffi INFN GE & S. Mariotto INFN LASA task leader)
- 2 Detector magnets (A. Bersani INFN GE)
- 3 Accelerator magnets (M. Statera, INFN LASA, A. Pampaloni, INFN GE)



Magnets for Muon Collider



10 km collider ring with 10 TeV center of mass energy

Collider magnets: $B_d \sim 16-20\text{T}$ in 150 mm bore:

- **Highest field** possible to have a compact ring
HTS SC materials
- Open midplane **or large dipoles** and quadrupoles (150 mm bore diameter) for shielding against heat (500 W/m) and radiation loads
High E.M. forces
- **Combined function** (dipole + quadrupole) to avoid straight sections and minimize neutrino hazard
Nested or asymmetric coil layout, very complicated design and stress management

Accelerator magnets:

Combination of DC SC magnets (dipole, 10 T) and AC resistive magnets ($\pm 2\text{T}$, 400 Hz), open midplane, 100x30 mm aperture

- *High E.M. forces*
- *complex mechanical structure to cope with open midplane*
- *field quality*
- *Harsh environment*

Detector magnets:

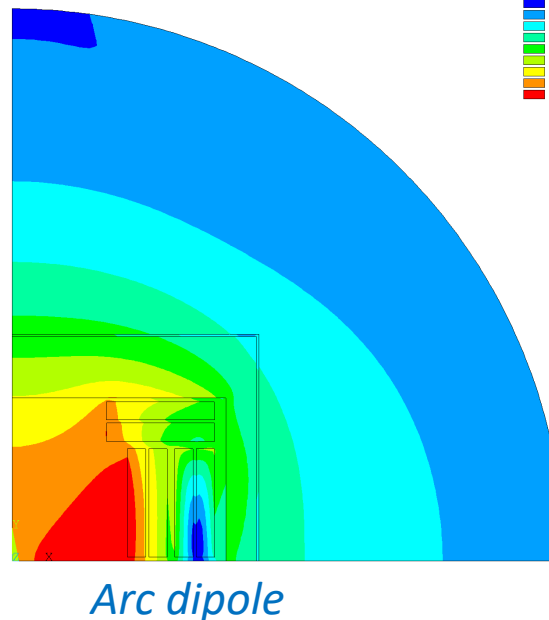
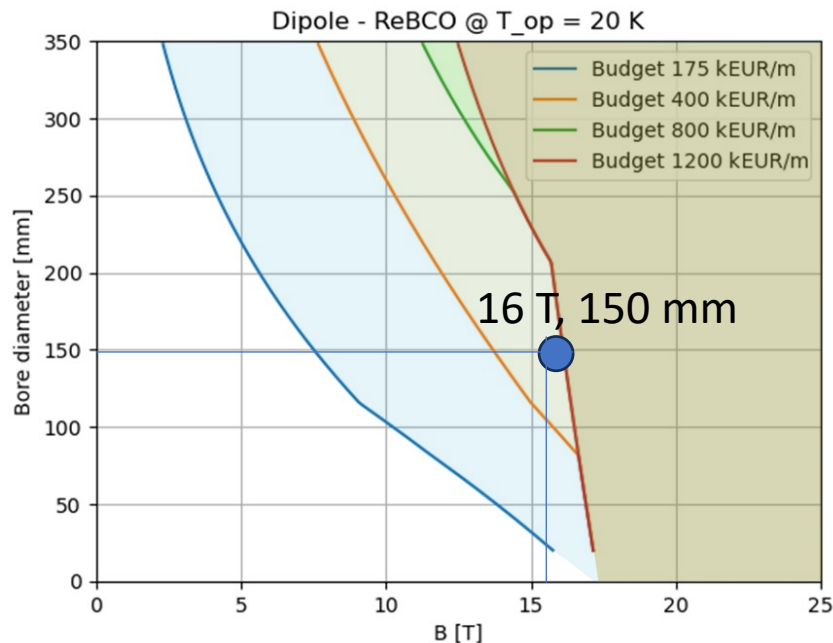
Solenoid [3.5-5] T in a [3.5-7]m aperture.

Main challenges:

- High field
- Integration
- Mechanics

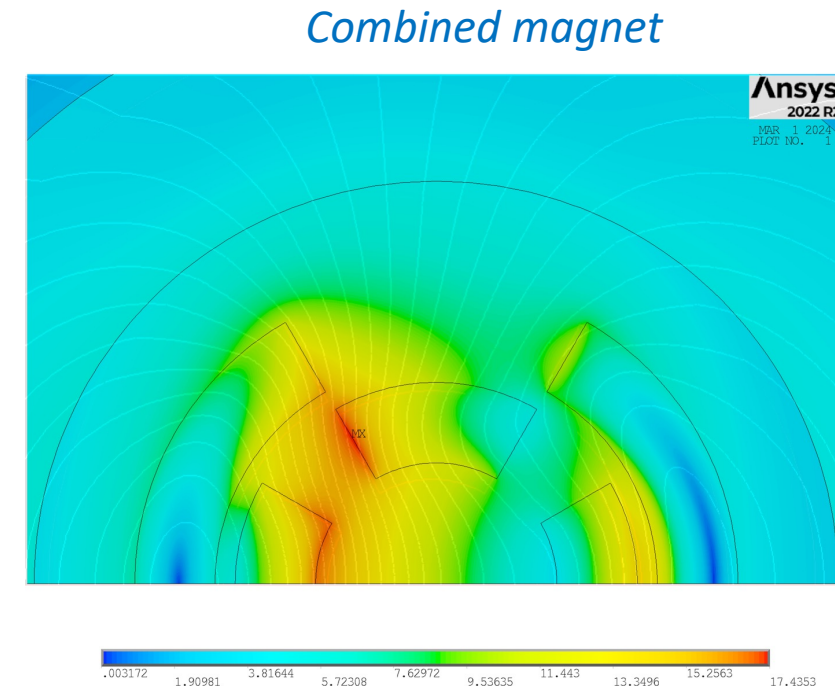
Attività 2024:

- Definizione dei requisiti per i magneti dei collider di MuCol, in accordo con i WP di ottica del fascio, criogenia e energy deposition ([ref](#)).
- Studio di fattibilità dei parametri costruttivi tramite valutazione analitiche e modelli FEM con geometrie semplificate ([ref](#)).
- Realizzazione di un modello di costo e di una time line operativa per l'intero progetto, dalla realizzazione di un singolo modello corto, alla produzione di serie dei magneti per l'intera facility ([ref](#)).
- Design preliminare di un dipolo per il collider in block-coil layout. Inizio delle analisi FEM meccaniche e elettromagnetiche di tale design. Studio delle perdite AC per magnetizzazione.



ANSYS 2022 R2
Build 22.2
PLOT NO. 1

0.09867
2.36344
4.63221
6.89898
9.16576
11.4325
13.6993
15.9661
18.2329
20.4996



Magneti per il collider

Attività' 2025:

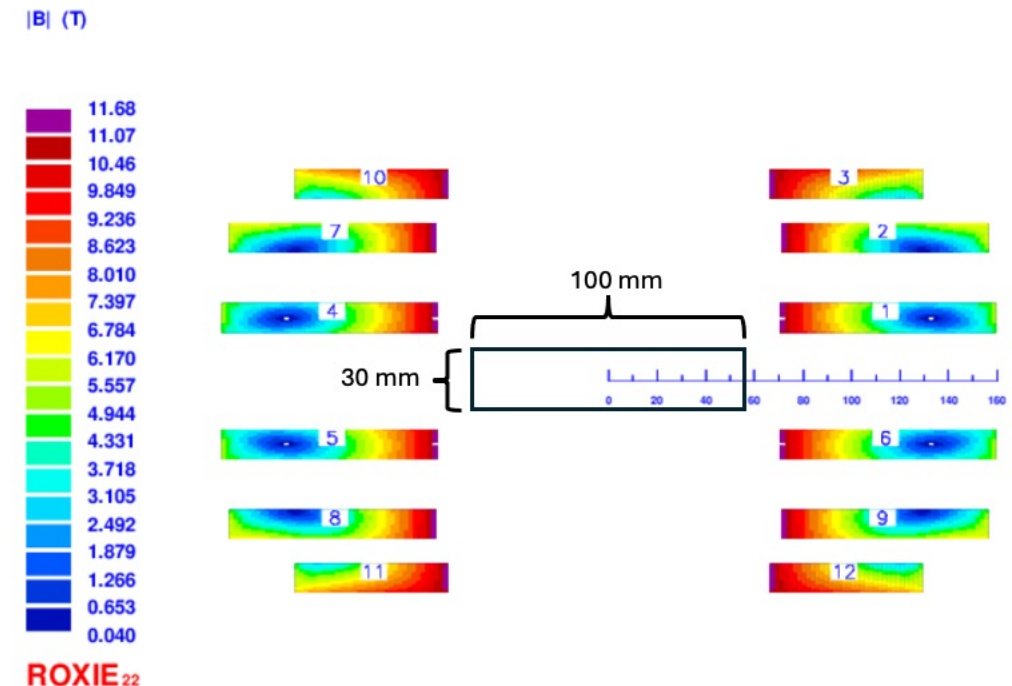
- Finalizzazione delle analisi FEM meccaniche e elettromagnetiche del dipolo per il collider in block-coil layout e dello studio delle perdite di magnetizzazione.
- Design preliminare di un quadupolo per l'IR. Analisi FEM meccanico e elettromagnetico di tale design. Studio delle perdite AC per magnetizzazione.
- Design preliminare di un magnete a funzioni combinate per il collider (dipolo + quadupolo). Analisi FEM meccanico e elettromagnetico di tale design. Studio delle perdite AC per magnetizzazione.
- **Realizzazione test di avvolgimento con cavo dummy per la validazione dei modelli precedentemente studiati e basati su nastri HTS (attività soggetta all'ottenimento del finanziamento di 10kEuro richiesti)**

Attività' 2024 : ([ref](#))

- Indagine circa lo stato dell'arte dei conduttori HTS impiegabili per il progetto.
- Ottimizzazione di un design 2D magnetico preliminare, per il dipolo SC da 10 T con apertura da 100 mm x 30 mm (WxH), realizzato con conduttore bassato su tape HTS e avvolto a racetrack.
- Studio meccanico 2D preliminare degli effetti delle forze di Lorentz sui conduttori.
- Stima dei costi.

Attività' 2025:

- Finalizzazione del design magnetico 2D e 3D
- Progettazione della struttura meccanica di contenimento 2D e 3D.
- **I test di avvolgimento per i magneti del collider su citati sono di fondamentale interesse anche per questa linea di ricerca.**
- Le valutazioni di perdite AC citate per i magneti del collider sono sinergiche alle attività di sviluppo del dipolo per l'acceleratore.



- Open midplane
- Cavo HTS

Attivita' 2024: ([ref](#))

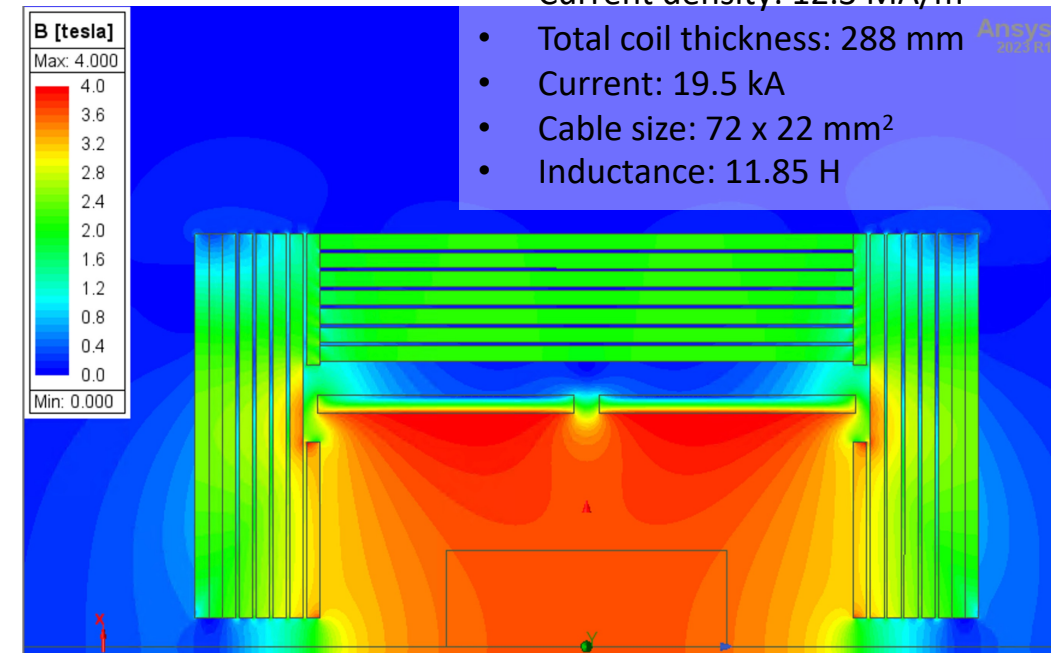
- Analisi preliminare dei requisiti e dei vincoli per le attuali configurazioni previste per detector con energia nel centro di massa di 3 e 10 TeV
- Valutazione di design esistenti e compatibilità con i suddetti requisiti e vincoli
- Valutazione preliminare della disponibilità tecnica di partner aziendali
- Prime mappe 2D assialsimmetriche di magneti in configurazione realistica

Main features:

- Tracker region: $-2200 < z < 2200$, $0 < r < 1500$
- B at IP: 3.66 T
- $B = 3.60 \pm 0.08$ T
- Field uniformity: $\pm 2.3\%$
- (Almost no optimisation)
- Max Br = 0.12 T
- Stored energy: 2.25 GJ
- Current density: 12.3 MA/m²
- Total coil thickness: 288 mm
- Current: 19.5 kA
- Cable size: 72 x 22 mm²
- Inductance: 11.85 H

Attivita' 2025:

- Analisi dettagliata dei requisiti e dei vincoli per le configurazioni evolute per detector con energia nel centro di massa di 3 e 10 TeV
- Modelli magnetici 2D e 3D di configurazioni compatibili con i suddetti requisiti e vincoli
- Follow-up dello sviluppo dei rivelatori e integrazione del magnete nel modello complessivo
- Impostazione di un progetto completo termico, magnetico e meccanico

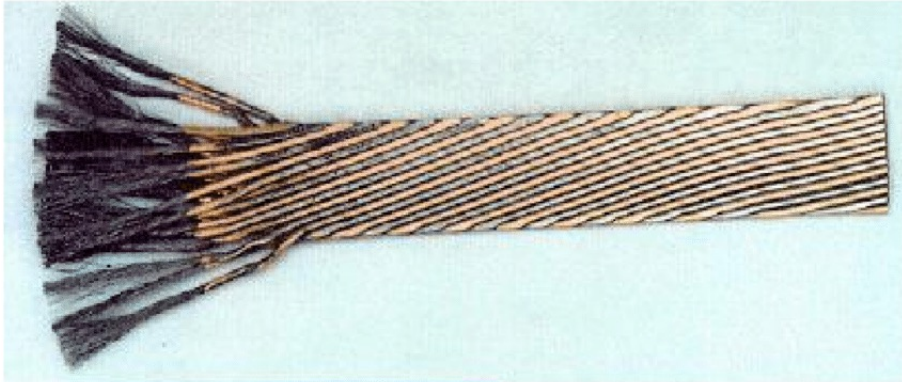


Cognome	Nome	Sezione INFN	Posizione	MuCol	RD Mucol	Total
Alfonso	Luca	GE	Assegnista	100%	-	100%
Bersani	Andrea	GE	Tecnologo	10%	15%	25%
Caiffi	Barbara	GE	Ricercatore	10%	20%	30%
Farinon	Stefania	GE	Dirigente Tecnologo	5%		5%
Musenich	Riccardo	GE	Dirigente di Ricerca	-	10%	10%
Novelli	Daniel	GE	PhD	-	100%	100%
Pampaloni	Alessandra	GE	Tecnologo	5%	15%	20%
Total				130 %	160%	290%

Capitolo	Descrizione	Parziali (K-EUR)	Parziali SJ (K-EUR)	Totale/Cap (K-EUR)	Totale/Cap SJ (K-EUR)
apparati	Realizzazione apparato sperimentale per test di avvolgimento con cavo dummy per la validazione di modelli di magneti per acceleratori basati su nastri HTS	10.00	0.00	10	0
interno	Partecipazione a riunioni di collaborazione e a riunioni operative dei gruppi di lavoro di cui facciamo parte (magneti per collider, magneti per acceleratore e magneti per detector)	8.00	0.00	8	0
Totale	/	0	0	18	0

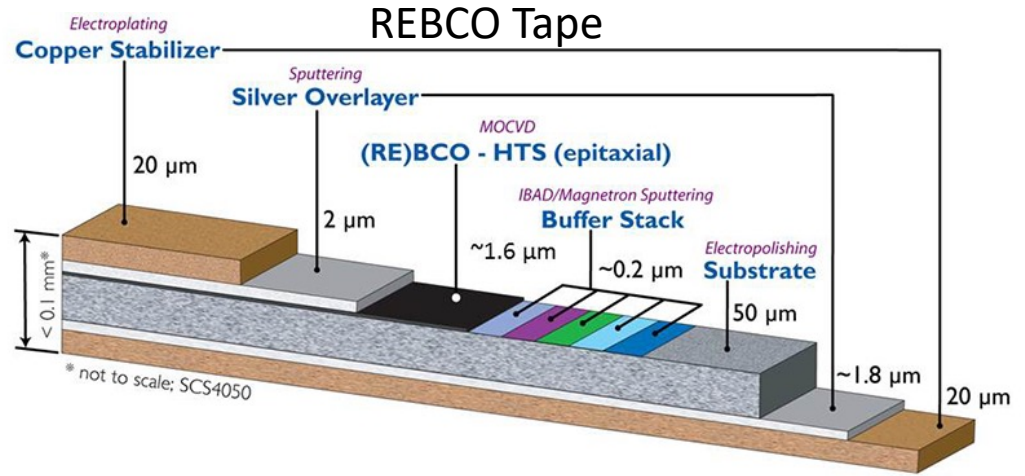
Winding test for HTS cable

Superconductive cable for high field dipoles

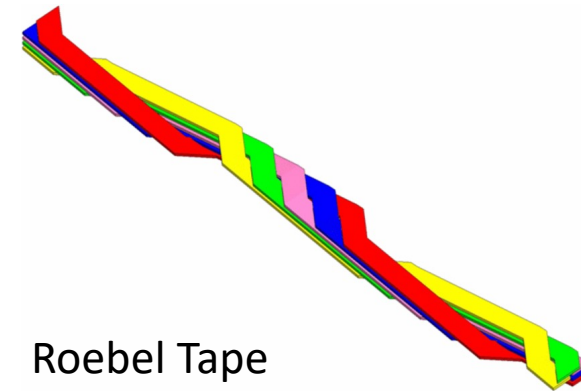
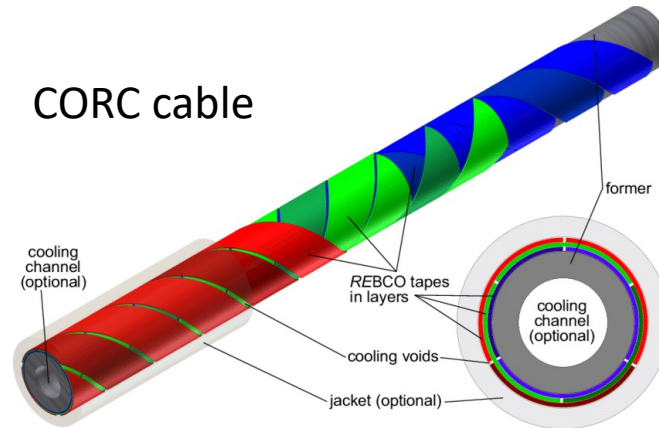


LTS SC (NbTi, Nb₃Sn)

Rutherford Cable: multi-filament twisted cable, easy to wind, both in the easy and hard way



CORC cable



Roebel Tape

CORC and Roebel: complex and expensive, low filling factor
 -> **We want to use stacked tapes.**

- 10 mm wide x 0.1 mm thick tape
- mechanical properties dominated by Hastalloy substrate

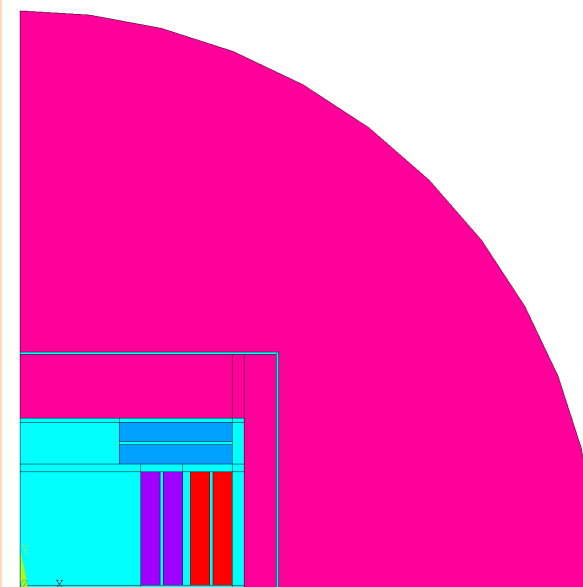
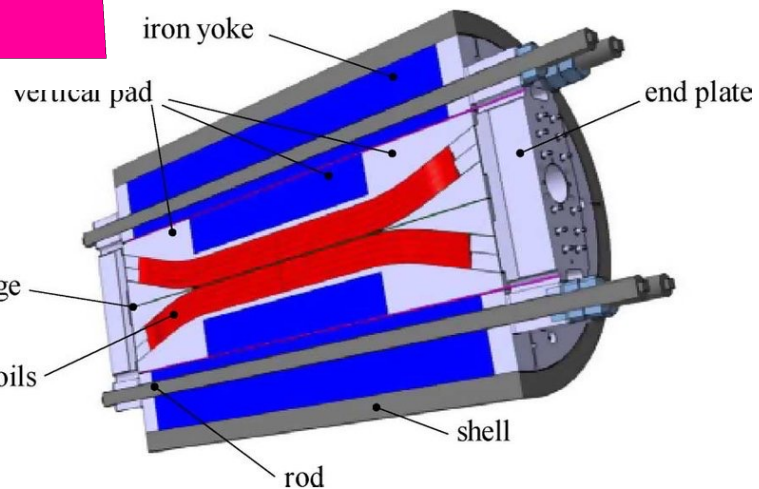
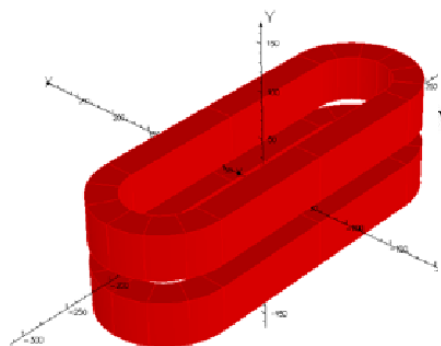
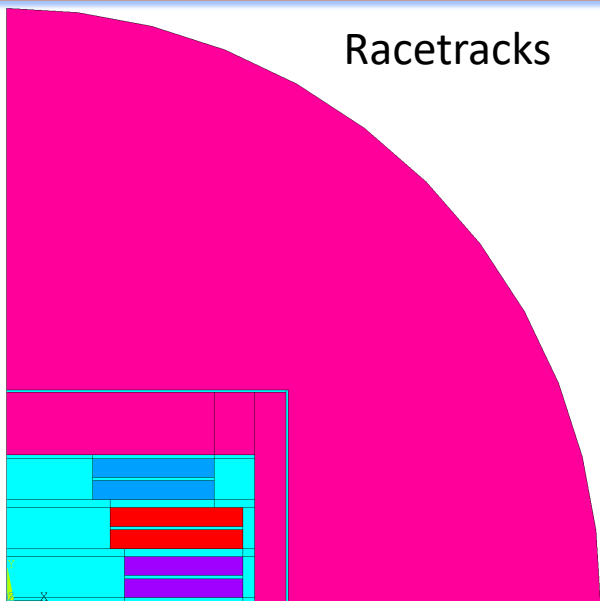
Winding test for HTS cable

Racetracks

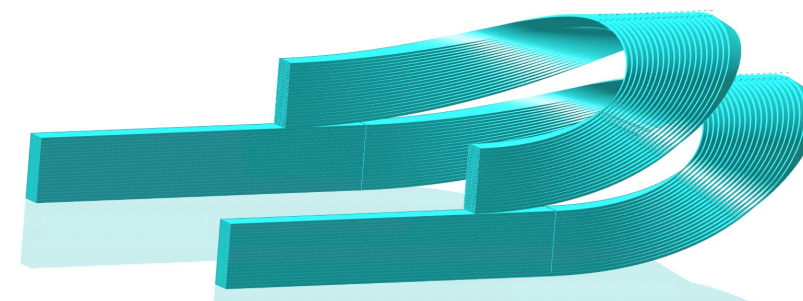
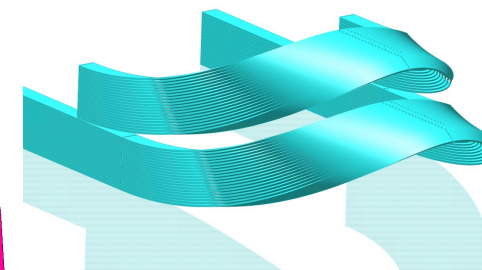
Stacked cable



- Easy-way bending
- Flared ends (hard way bending)



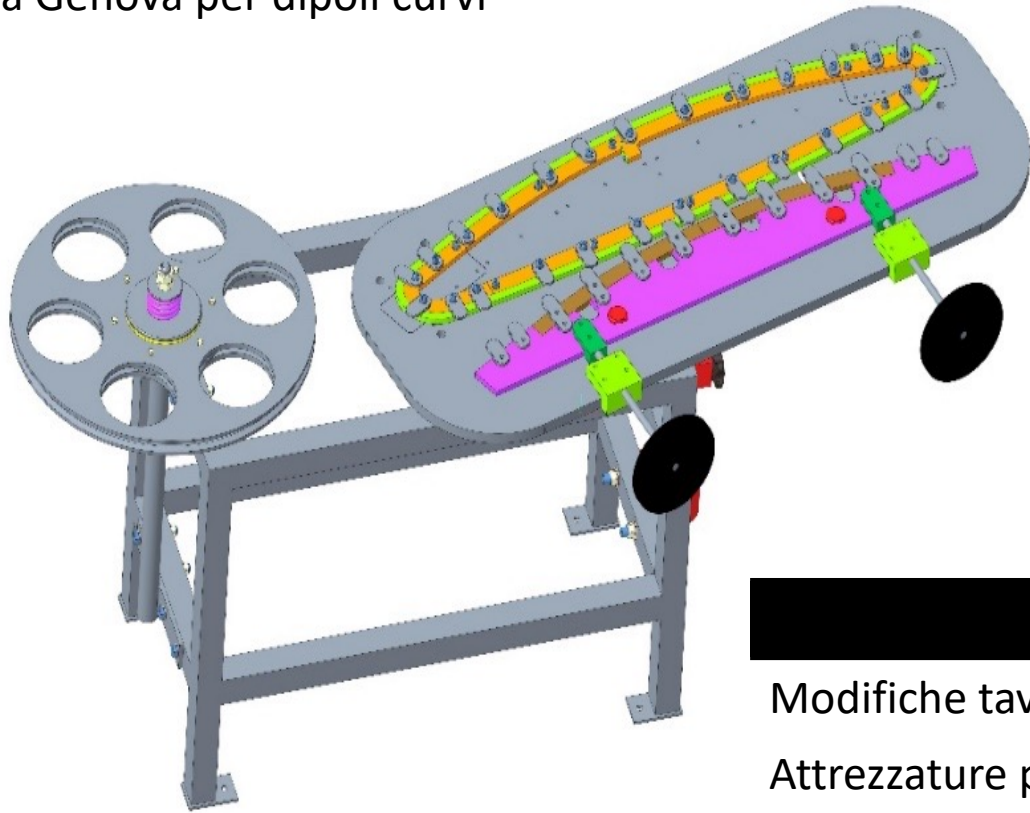
Stacked cable



Both the concept needs winding test to prove feasibility

Winding test for HTS cable

Macchina avvolgimento disponibile
a Genova per dipoli curvi



Componenti	€
Modifiche tavola avvolgimento (materiale + lavorazione)	4 k€
Attrezzature per avvolgimento (e.g. clamp, spaziatori)	0.5 k€
Nastri metallici (di acciaio o altro) di vari spessori	0.5 k€
Nastri dummy HTS (low grade, 70 m, ~70 Euro/m)	5 k€
TOT	10 k€

Grazie per l'attenzione!

