



ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
SEZIONE DI MILANO
LABORATORIO ACCELERATORI E SUPERCONDUTTIVITA' APPLICATA



DISCO_RAP (NTA)

DIpoli SuperCOnduttori RAPidamente Pulsati

***la realizzazione del cavo
superconduttore a basse perdite
per il dipolo pulsato***



meccanismi di dissipazione



Isteresi nei filamenti

Accoppiamento a.c. fra filamenti di un filo

Accoppiamento a.c fra i fili del cavo Rutherford

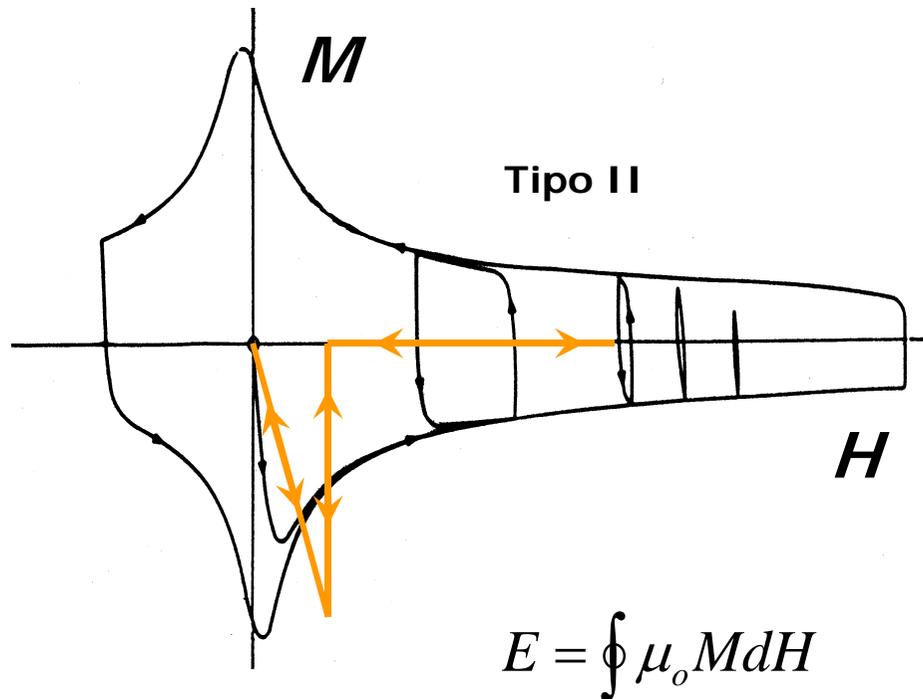


la dissipazione AC nei magneti superconduttori



L'identità:

**stato superconduttivo = regime non dissipativo
è fondamentalmente *falsa* per un SC di tipo II**



La presenza di cicli di isteresi nelle curve di magnetizzazione di un superconduttore tipo II fortemente pinnato, rivela la presenza di meccanismi dissipativi all'interno del superconduttore, indicate appunto come *perdite di isteresi*.

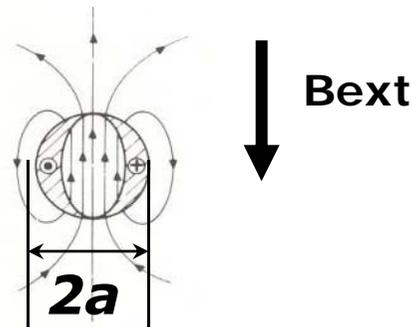
**Tipo I (non in scala),
magnetizzazione reversibile → nessuna perdita**



le perdite per isteresi



**Il superconduttore è finemente disperso all'interno di una matrice resistiva in Cu, in forma di filamenti di diametro tipico di 1-30 μ .
Si può dimostrare che le **perdite volumetriche di isteresi sono proporzionali al diametro dei filamenti.****



$$Q = \frac{8}{3\pi} J_c a B_m = \text{Joule} / \text{m}^3$$

Cure:

- ridurre il diametro dei filamenti**
- sopprimere l'accoppiamento di prossimità fra filamenti con matrici paramagnetiche (CuMn)**

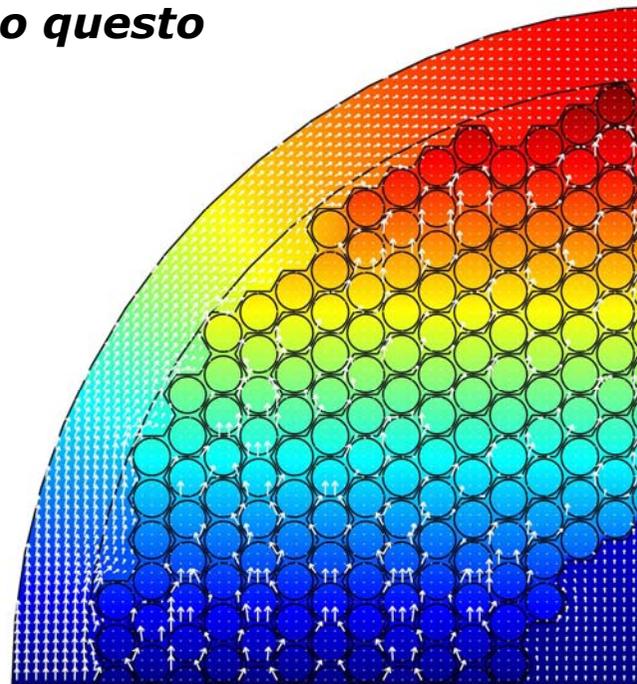
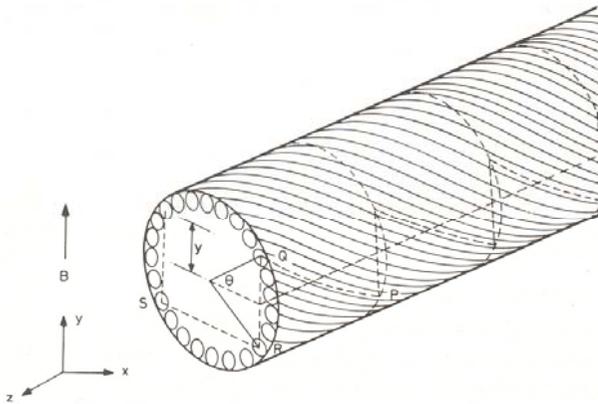
ATLAS toroide	$\sim 30 \mu\text{m}$
LHC	6-7 μm
SIS-300	2.5-3.5 μm



perdite per accoppiamento I



I filamenti superconduttori non sono isolati, ma elettricamente connessi attraverso la matrice resistiva di rame del filo. Questo significa che durante un ciclo di campo magnetico, vengono indotte correnti che interessano differenti filamenti superconduttori e che si chiudono attraverso la matrice resistiva. Parte dell'energia associata alla variazione di flusso viene dissipata attraverso questo meccanismo.



$$q = \frac{\dot{B}^2}{\rho_t} \left(\frac{L}{2\pi} \right)^2$$

[W/m³]

In tale caso le cure sono:

- utilizzo di matrici fortemente resistive (ancora CuMn)***
- riduzione del passo di trasposizione (twist pitch)***



perdite per accoppiamento II

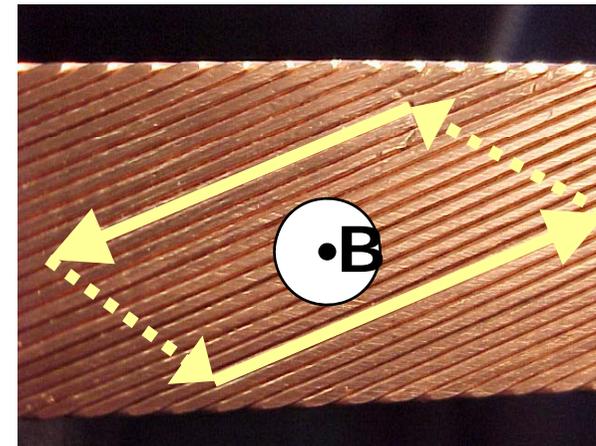
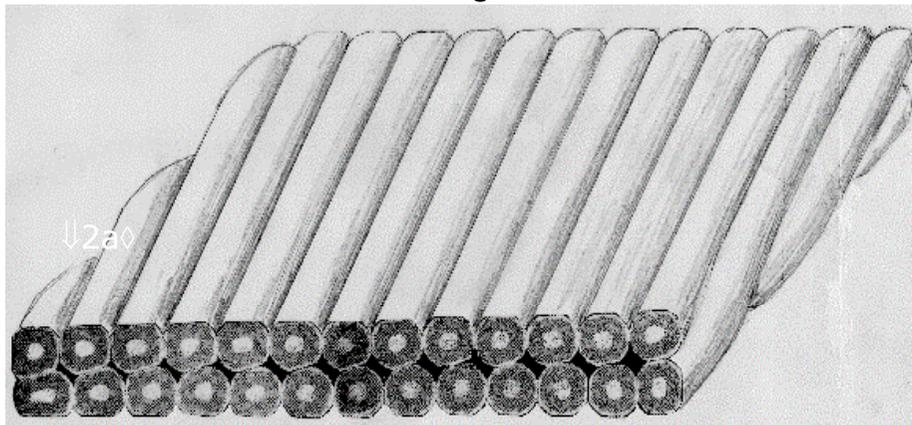


I fili -a loro volta- sono organizzati in strutture di 10 - 40 fili, chiamati cavi Rutherford.

Ciascuno filo non è -e non deve essere- isolato dagli altri.

Si possono ripetere considerazioni analoghe a quelle fatte per i singoli fili:

Vengono indotte correnti che scorrono in diversi fili e che si chiudono attraverso le resistenze di contatto fra fili adiacenti (R_a) e fra fili delle faccie opposte (R_c)



E le relative cure sono:

- utilizzo di trattamenti superficiali che incrementino la resistenza di contatto fra fili adiacenti***
- inserimento di un core di acciaio***
- riduzione del passo di trasposizione (twist pitch) del cavo Rutherford***



piano di R&D sul cavo



Contratto Luvata:

prevede la realizzazione di 5 pezzature (2 richieste per il magnete) in due generazioni di cavo superconduttore. Obiettivi :

- provare soluzioni diverse, con caratteristiche più spinte;
- ridondanza in caso di problemi nello sviluppo del cavo o durante la manifattura del magnete.

Contratto Bruker EAS

La ditta ha dimostrato interesse e desiderio a sviluppare questo tipo di filo superconduttore;

Contratto ad hoc, finanziato per 92 k€ dal GSI e per 150 k€ dall'INFN;

Obiettivi:

- collaudare un design diverso, basato su idee originali sviluppate dalla Bruker EAS, con caratteristiche previste ancora superiori alla "seconda generazione" del contratto Luvata;
- qualificare un secondo produttore per diversificare le fonti potenziali di approvvigionamento, in vista della realizzazione della serie.



situazione dei contratti



Contratto Luvata:

ritardo di quattro mesi a motivo della chiusura dello stabilimento di Fornaci di Barga
Consegna di tre pezzature a luglio 2009 (1° generazione)
consegna di due pezzature prevista a marzo 2010 (2° generazione)

Contratto Bruker EAS

Il contratto è stato assegnato nel marzo 2009. Attualmente abbiamo completato il progetto esecutivo del filo, la cui consegna è prevista nell'aprile 2010.

*Se le ulteriori realizzazioni previste avranno risultati positivi, potremmo alla fine disporre di cavo superconduttore sufficiente a realizzare fino a **tre altri magneti** in aggiunta a quello in costruzione.*



il progetto del filo SC



The design involves sub-elements with Cu outer sheath and sub-elements with CuMn outer sheath. Both have CuMn interfilamentary matrix

The number of filaments is $55 \times 690 = 37,950$

Design filament diameter 2.65 μm



produzione del filo superconduttore



Alcuni aspetti del progetto del filo, la densità di corrente critica e la qualità geometrica dei filamenti sono basati sull'expertise della ditta, mentre la resistività trasversa e la stabilità dinamica derivano da nostri calcoli e studi geometrici; il progetto finale è quindi redatto "a quattro mani"

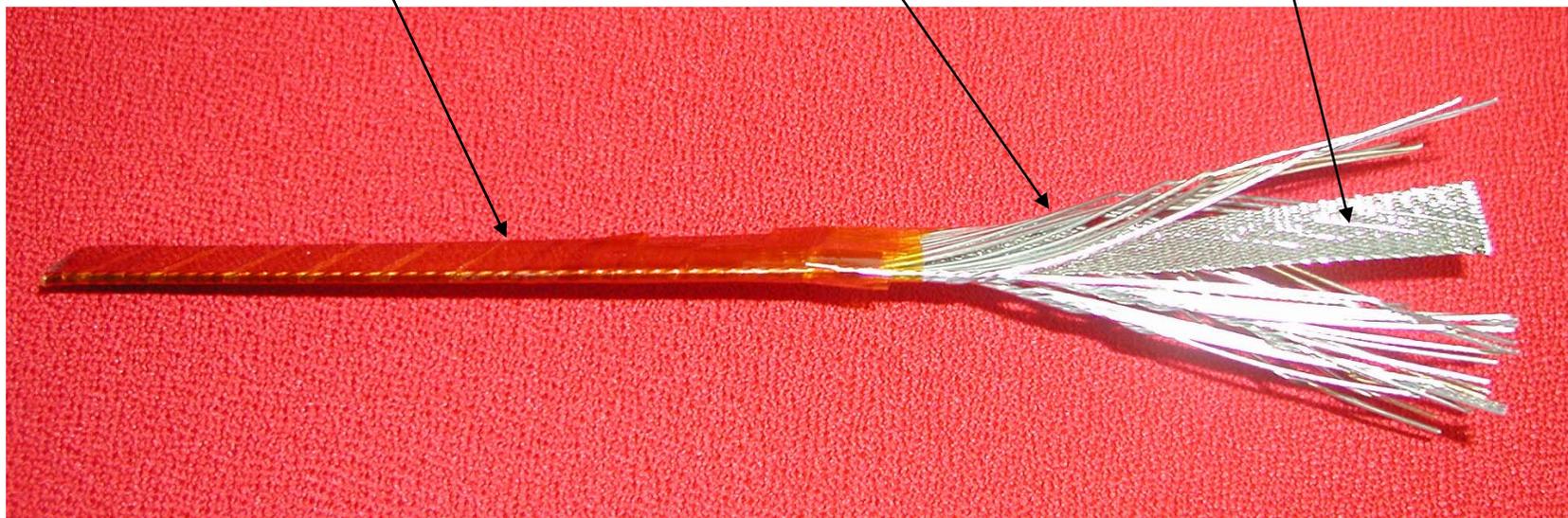


realizzazione del cavo superconduttore

isolamento in kapton

fili superconduttori

anima in acciaio



sono stati prodotti fino a ora 40 km di filo, che verranno "cordati" la settimana prossima alla NEWT (NH, USA).

L'isolamento in kapton verrà applicato dalla ditta SELVA (I)



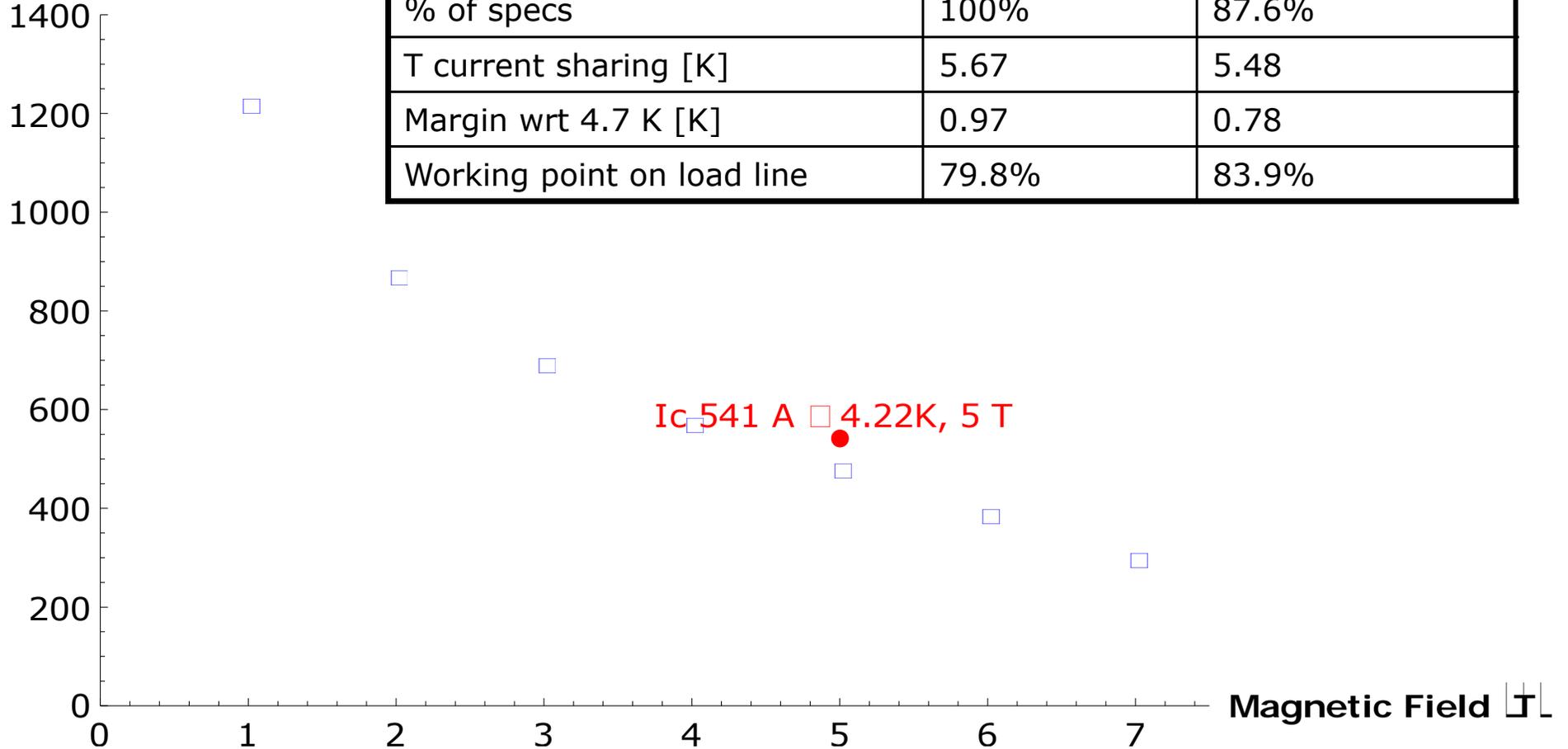
risultati sperimentali



corrente critica

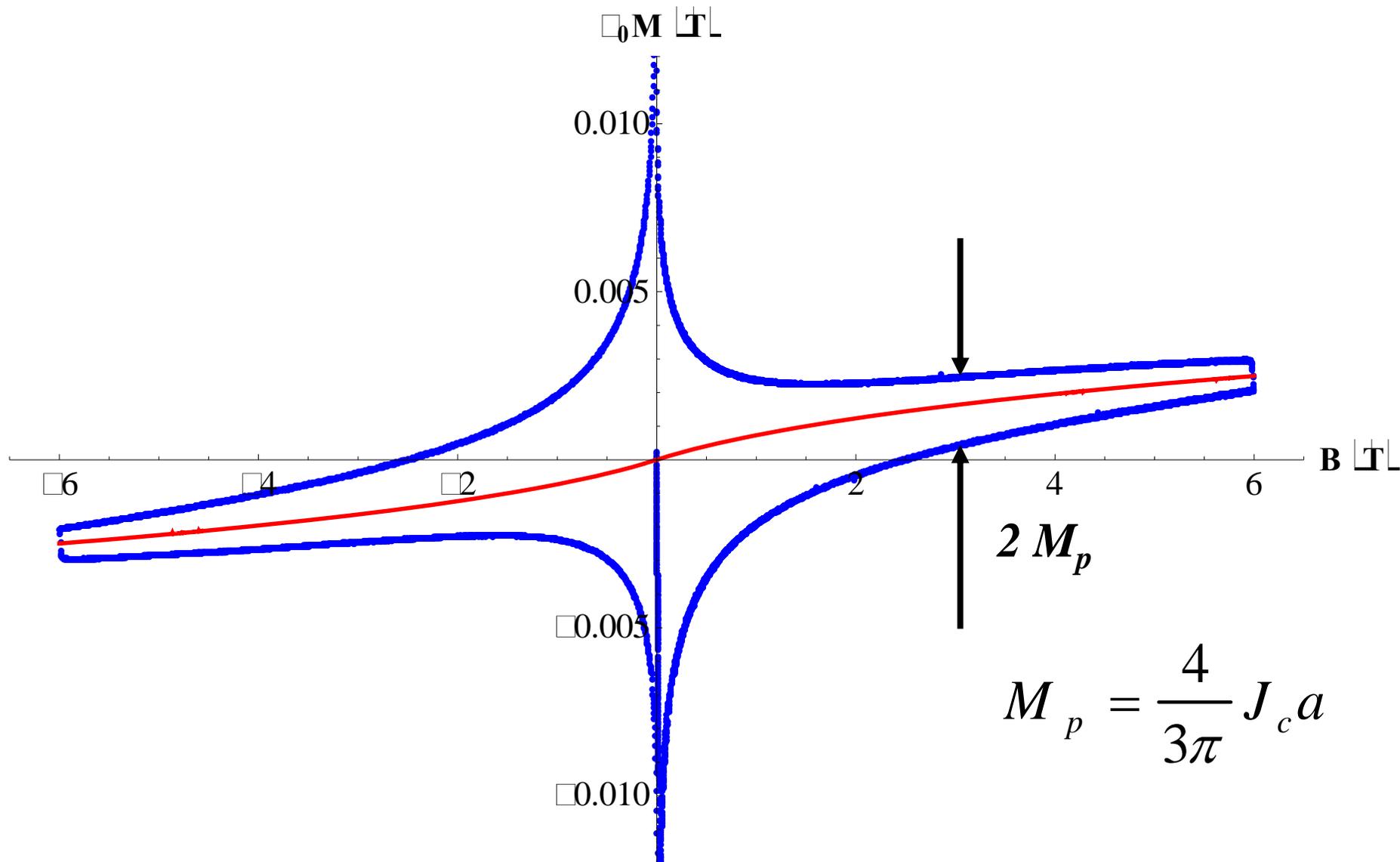


I_c □ 4.22 K [A]





magnetizzazione



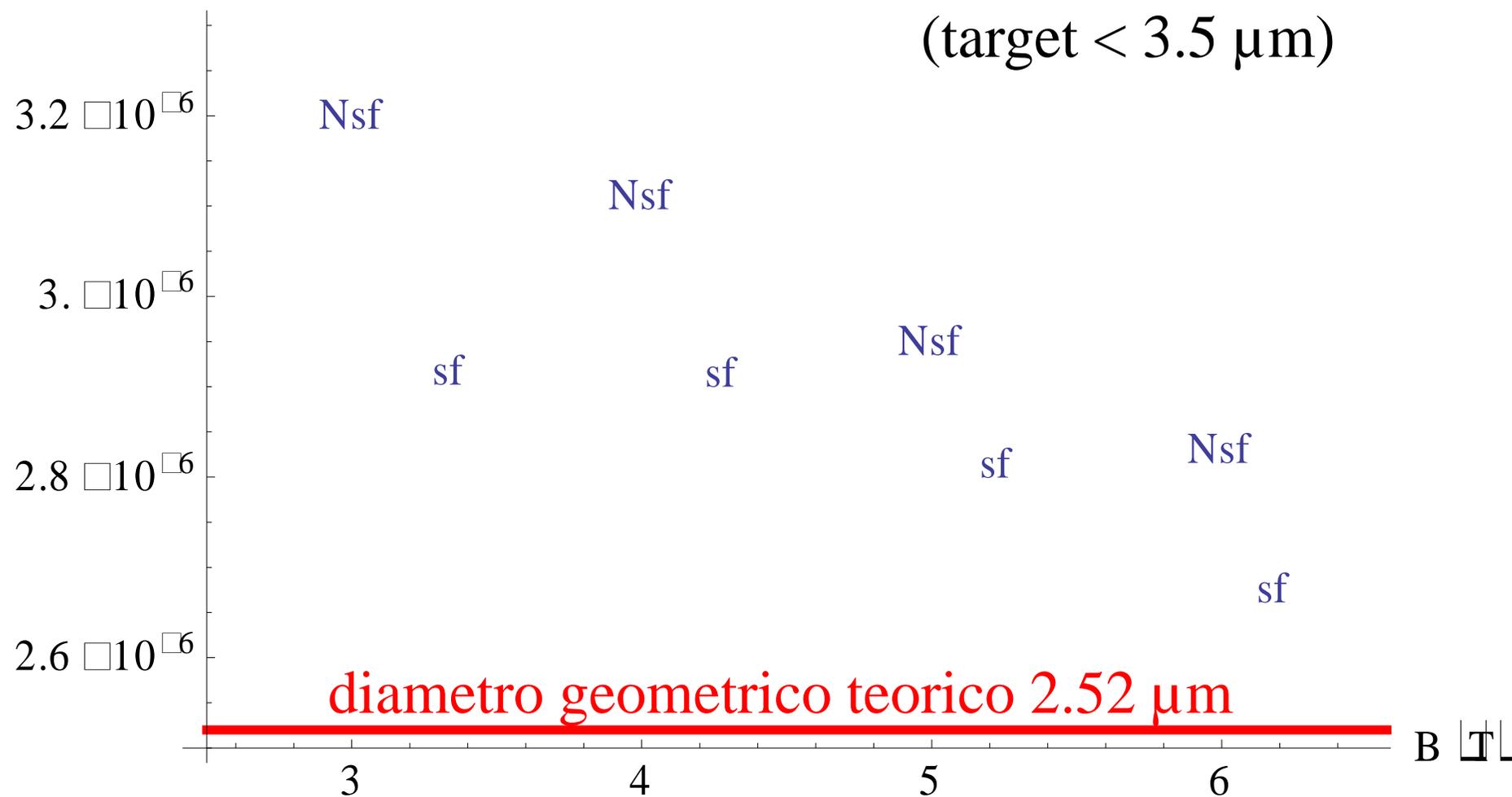
Misure eseguite da Umberto Gambardella



diametro efficace



Effective diameter μm





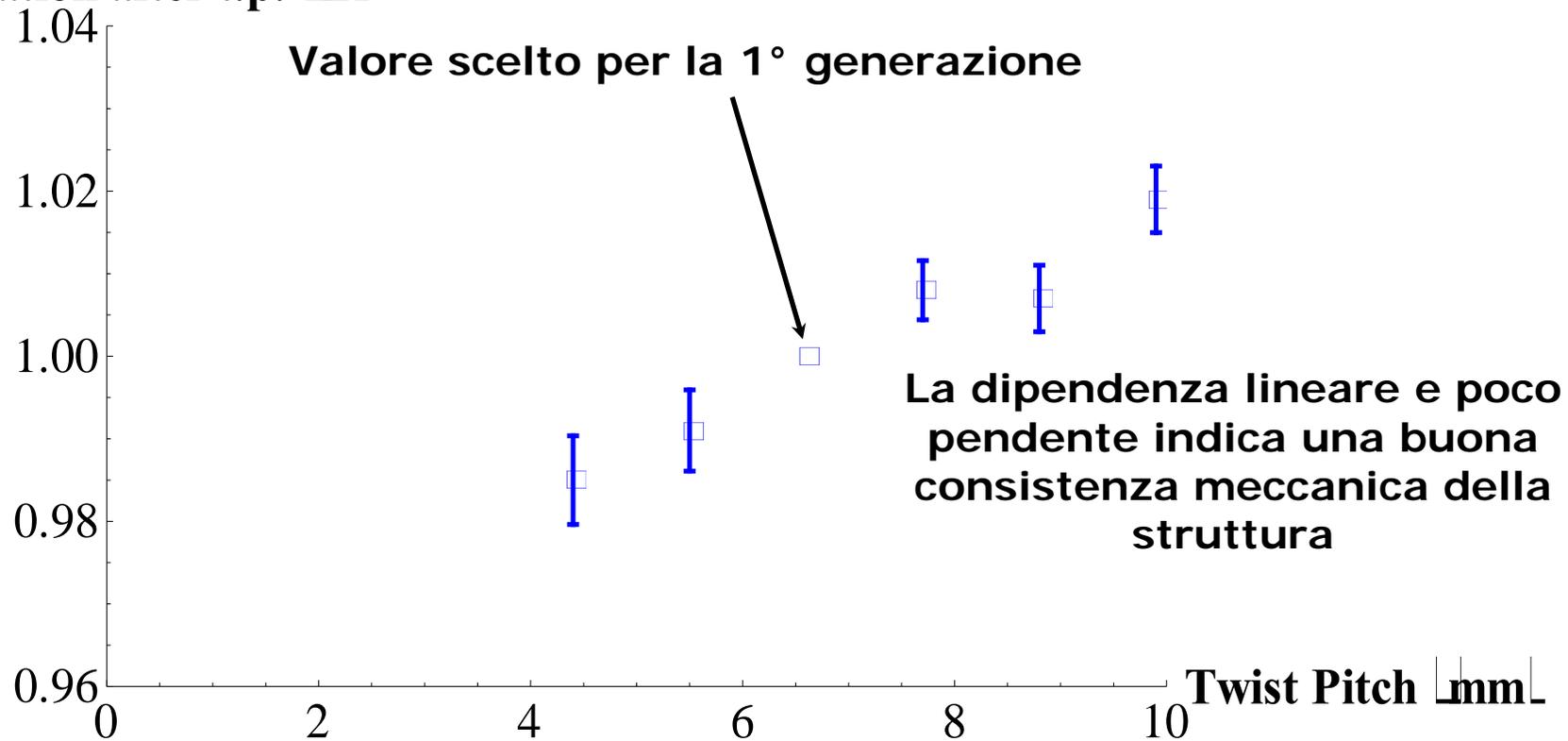
perdite per accoppiamento filamenti: ρ_t e *twist pitch*



$\rho_t \sim 3 \cdot 10^{-10} \Omega \cdot m$ (target $> 4 \cdot 10^{-10} \Omega \cdot m$)

$$q = \frac{\dot{B}^2}{\rho_t} \left(\frac{L}{2\pi} \right)^2$$

Degradation after t.p.





perdite sulla base dei risultati sperimentali



	Valori nominali del cavo	Risultati sperimentali
Isteresi	67%	57%
accoppiamento filamenti	20%	46%
accoppiamento fra fili	13%	13% ? (da misurare dopo la cordatura)
Totale	100%	116% ?



conclusioni

La realizzazione di un cavo SC con le caratteristiche necessarie per la realizzazione del dipolo è a portata di mano: il filo è già pronto e manca solo la cordatura.

Un risultato molto importante.

Buono, ma non perfetto:

- le fasi successive dello sviluppo prevedono
- seconda generazione (due pezzature, 1 dipolo) contratto Luvata: maggiore J_c , maggiore ρ_t
- contratto B-EAS: realizzazione 80 km di filo (circa 2.5 dipoli)