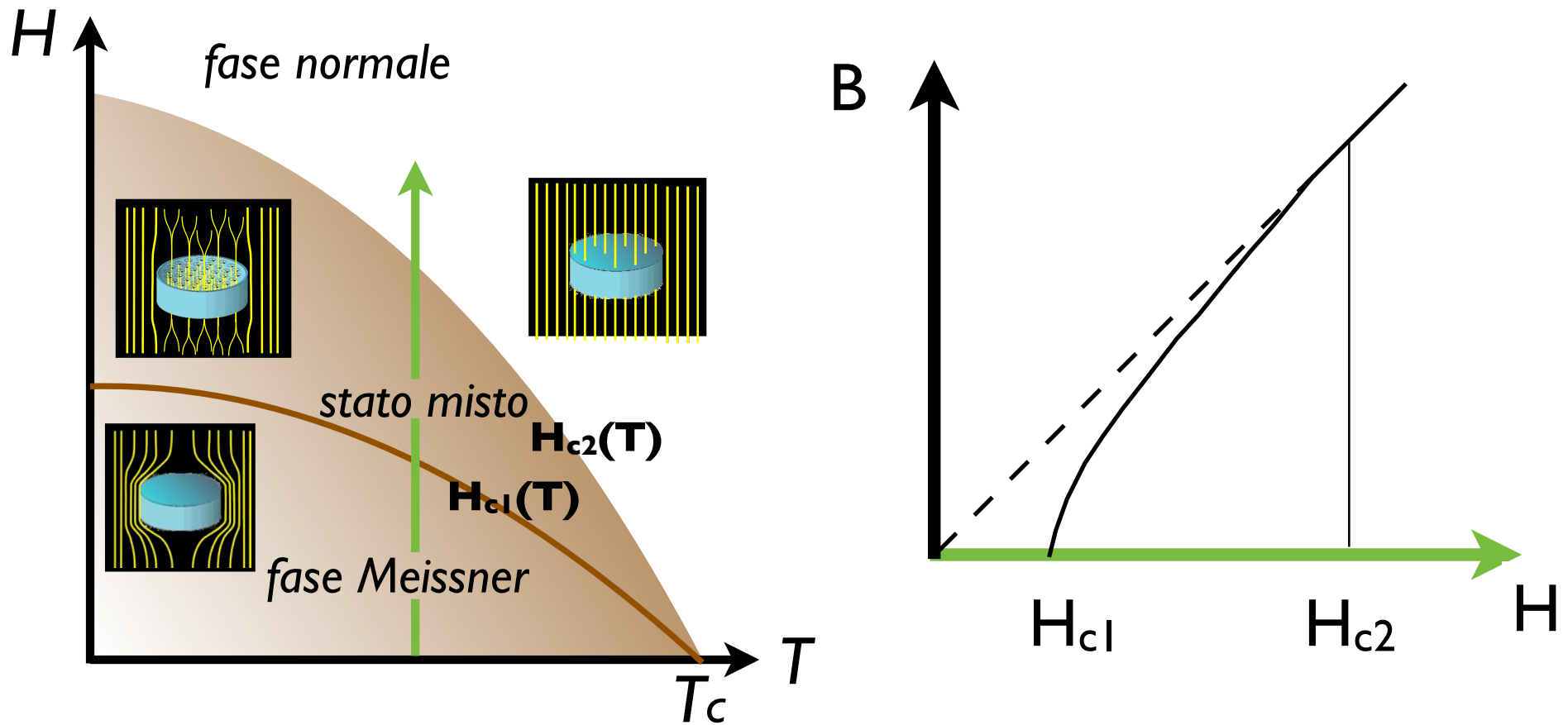


# Superconduttività: il moto flussonico

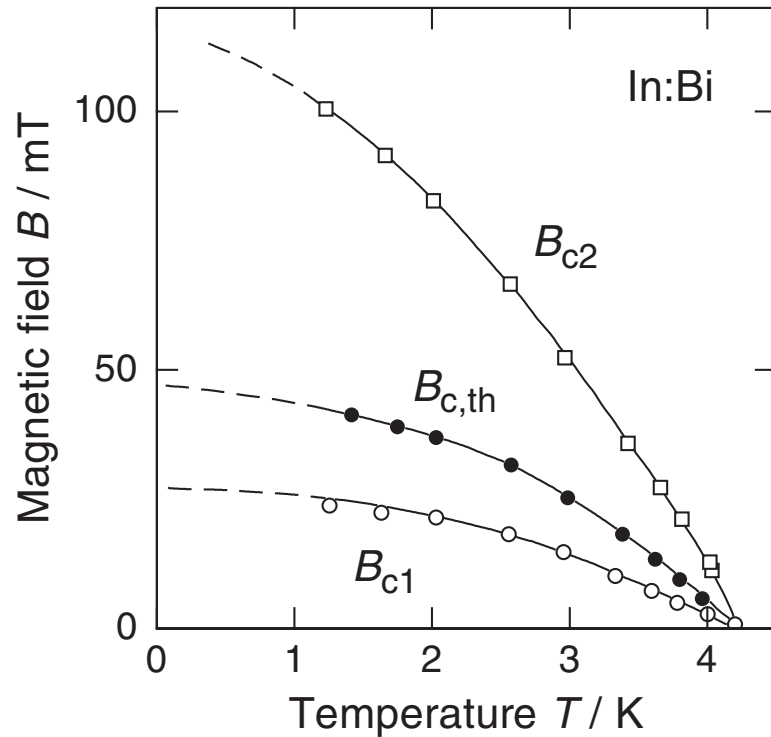
# Superconduttori di tipo II

Parziale penetrazione del flusso in forma di *quanti di flusso* o *flussoni*.  
Due campi critici.

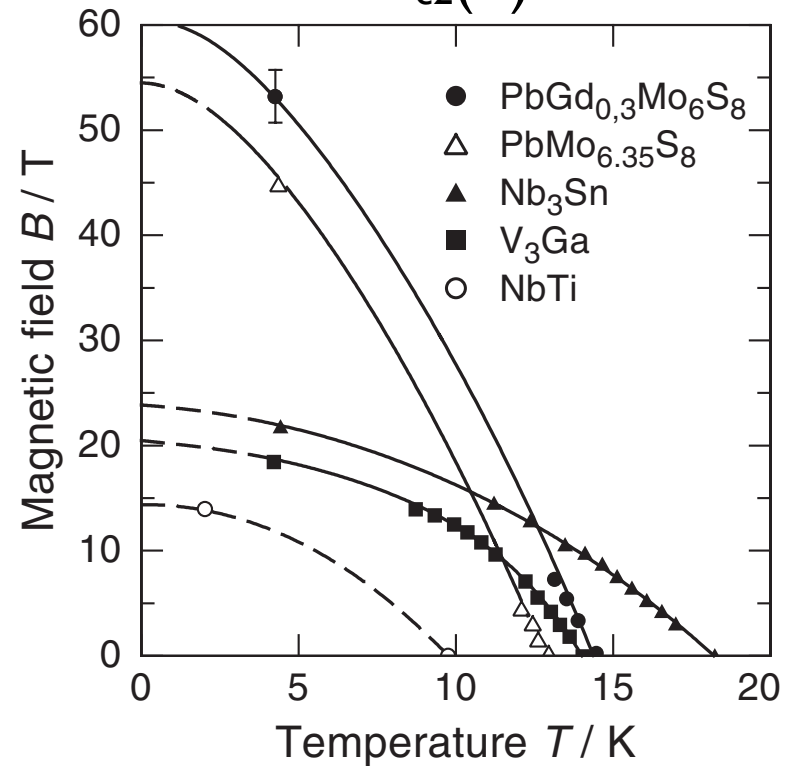


# Superconduttori di tipo II

Diagramma H-T

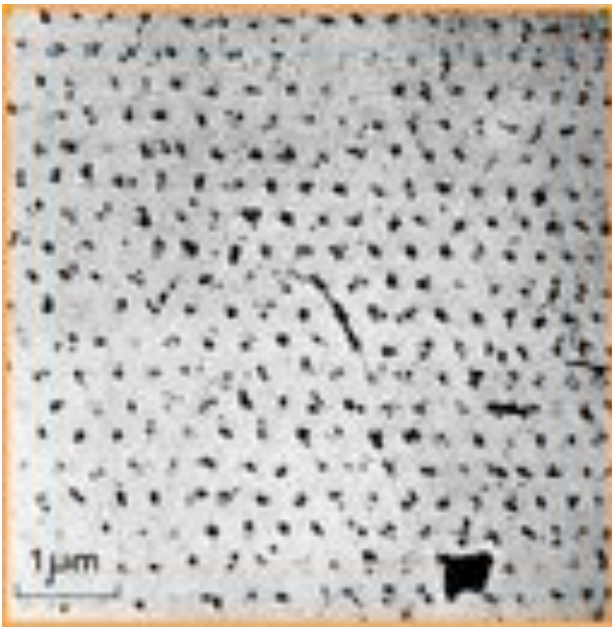


$H_{c2}(T)$



cuprati:  $H_{c2}(0) \sim 100-300$  T

# Reticolo di Abrikosov



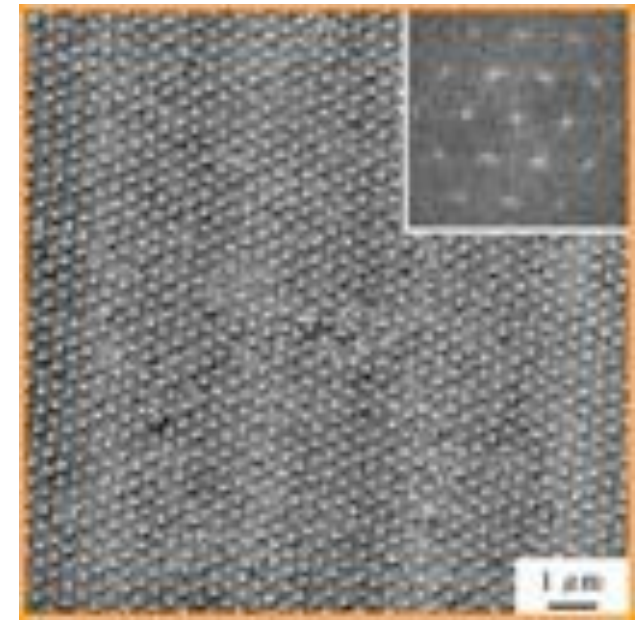
U. Essmann and H. Trauble  
Max-Planck Institute, Stuttgart  
[Physics Letters 24A, 526 \(1967\)](#)

Bitter Decoration  
Pb-4at%In rod, 1.1K, 195G



Scanning Tunnel Microscopy  
NbSe<sub>2</sub>, 1T, 1.8K

H. F. Hess et al.  
Bell Labs  
[Phys. Rev. Lett. 62, 214 \(1989\)](#)

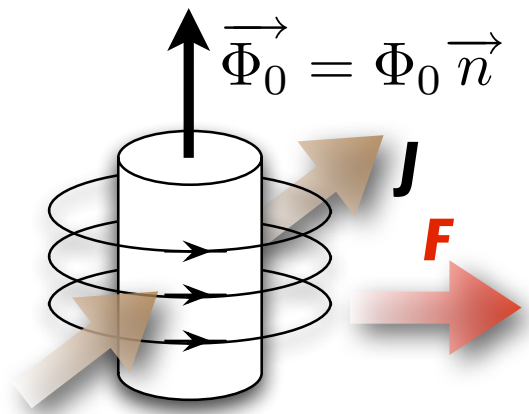


Bitter Decoration  
MgB<sub>2</sub> crystal, 200G

L. Ya. Vinnikov et al.  
Institute of Solid State Physics,  
Chernogolovka  
[Phys. Rev. B 67, 092512 \(2003\)](#)

# Corrente e reticolo di Abrikosov

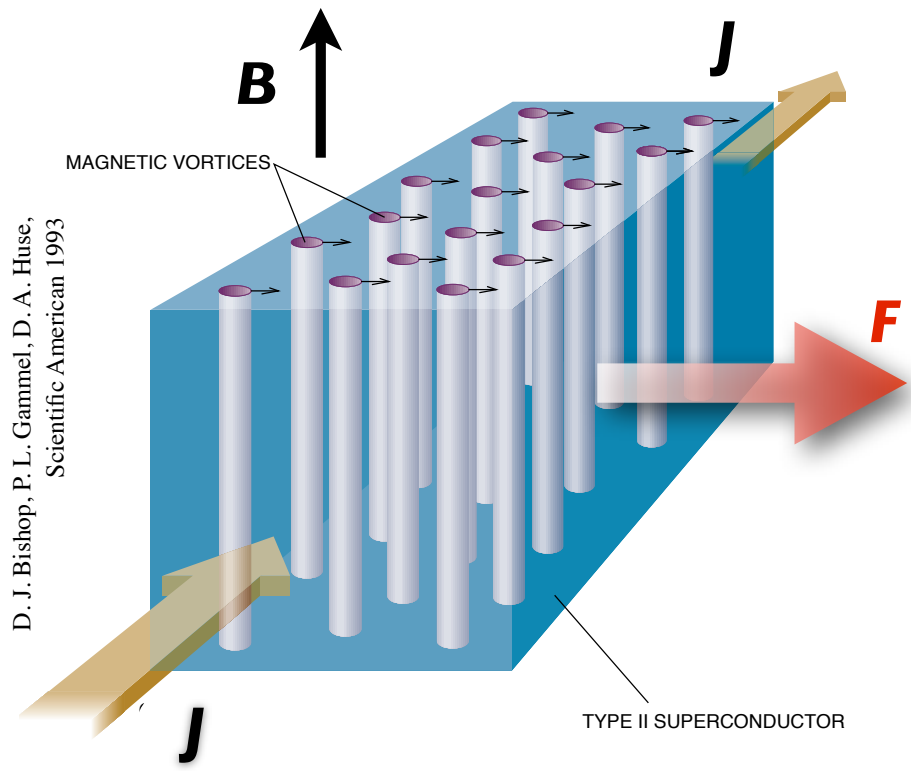
Una corrente di trasporto determina forze sui flussoni.  
 Il reticolo si muove perpendicolarmente a  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{J}$ .



Forza (per unità di lunghezza)  
 sul singolo flussone

$$\vec{F} = \vec{J} \times \vec{\Phi}_0$$

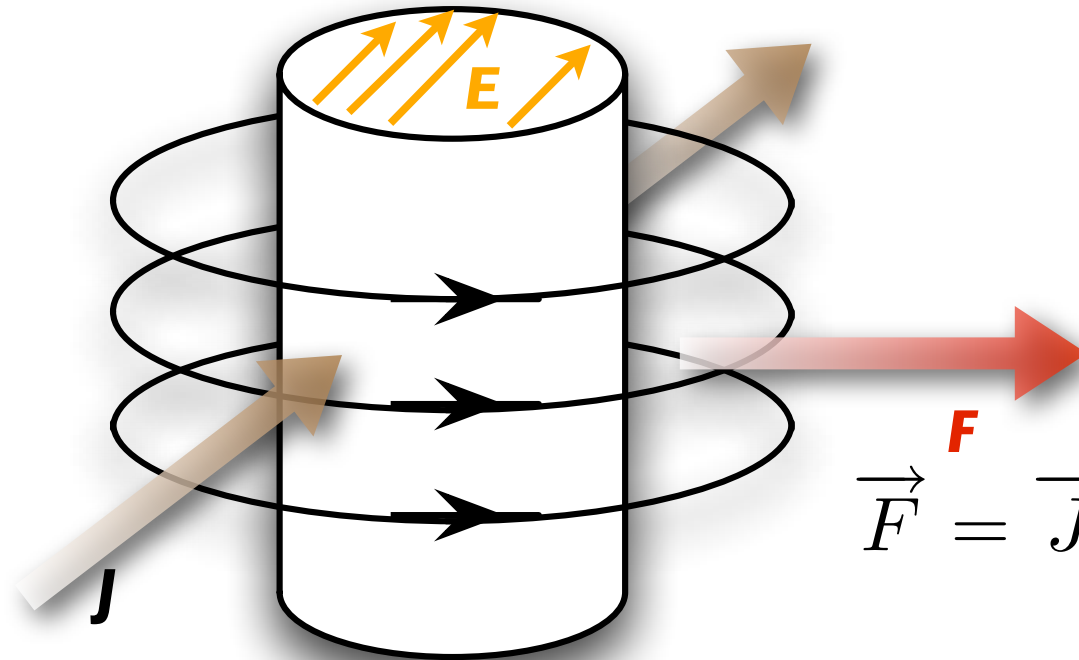
(analogia idrodinamica,  
 energia corrente/corrente)



Sull'intero reticolo  $\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B}$

# Flussoni in moto: dissipazione

$$\vec{E} = \vec{B} \times \vec{v}_{fl}$$



Flussoni in moto: campo elettrico  
nel core dei flussoni, dove  
quasiparticelle sono soggette a  
scattering  $\rightarrow$  dissipazione.

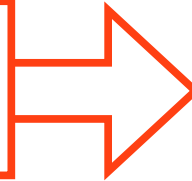
$$\vec{F} = \vec{J} \times \vec{\Phi}_0$$

Flussoni in moto: dissipazione  
Flussoni immobili: resistenza nulla

**Non è la corrente critica di depairing che limita  
il trasporto, ma il “depinning” dei flussoni**

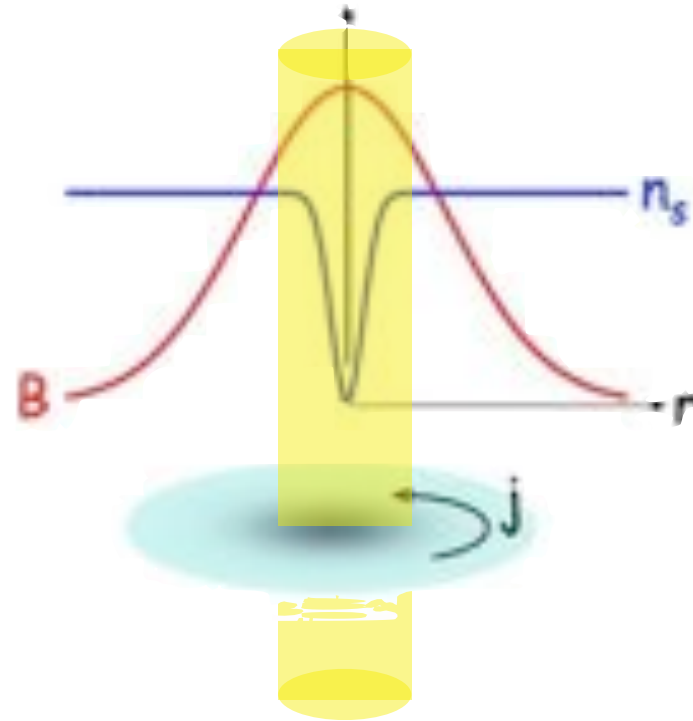
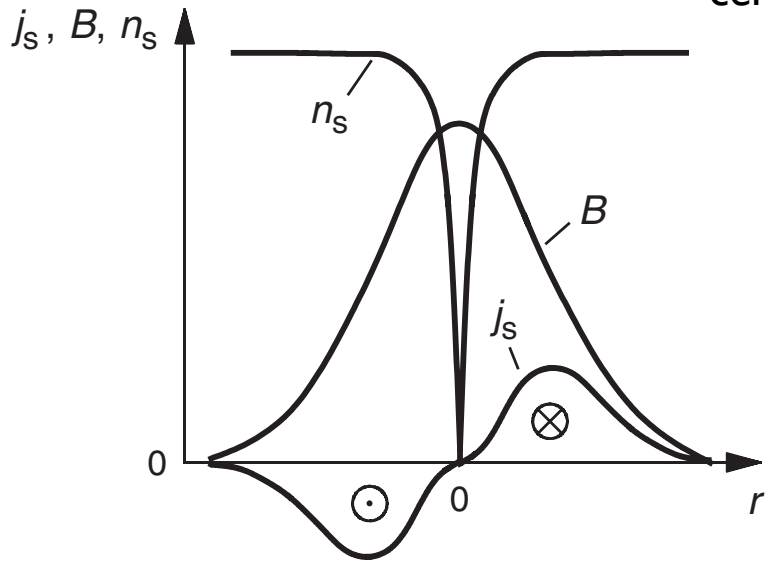
# Difetti e reticolo

Flussoni in moto: dissipazione  
Flussoni immobili: resistenza nulla



Impedire il moto dei vortici:  
“pinning”

Difetti: il parametro d'ordine è naturalmente depresso.  
=> si risparmia energia di condensazione  
=> centri preferenziali per i flussoni



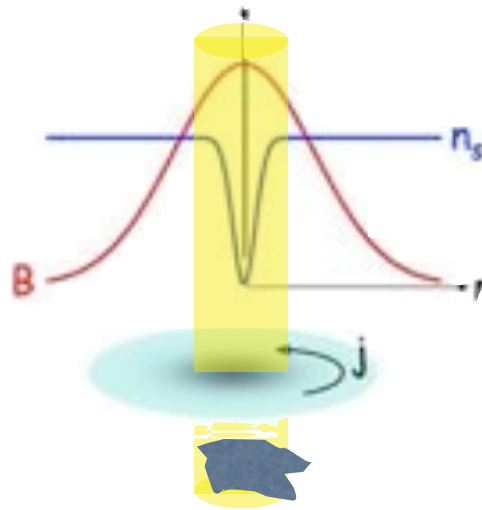
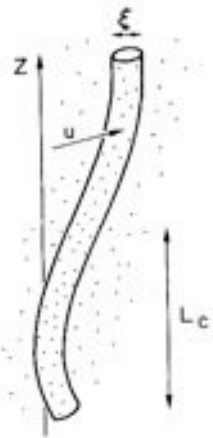
Ogni flussone “paga” energia di  
condensazione (per unità di lunghezza):

$$u_{cond} \sim \frac{1}{2} \mu_0 H_c^2 \xi$$

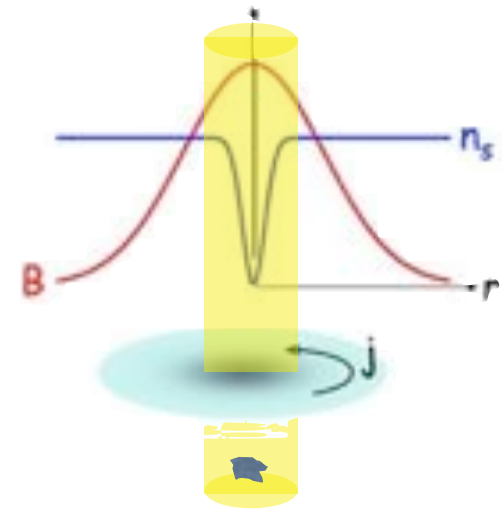
# Difetti e reticolo

Collocandosi sul difetto  
il vortice risparmia  
energia di condensazione  
(per unità di lunghezza):

$$\sim \frac{1}{2} \mu_0 H_c^2 \xi^2$$



difetto efficace:  $\sim \xi$



difetto non efficace:  $\ll \xi$

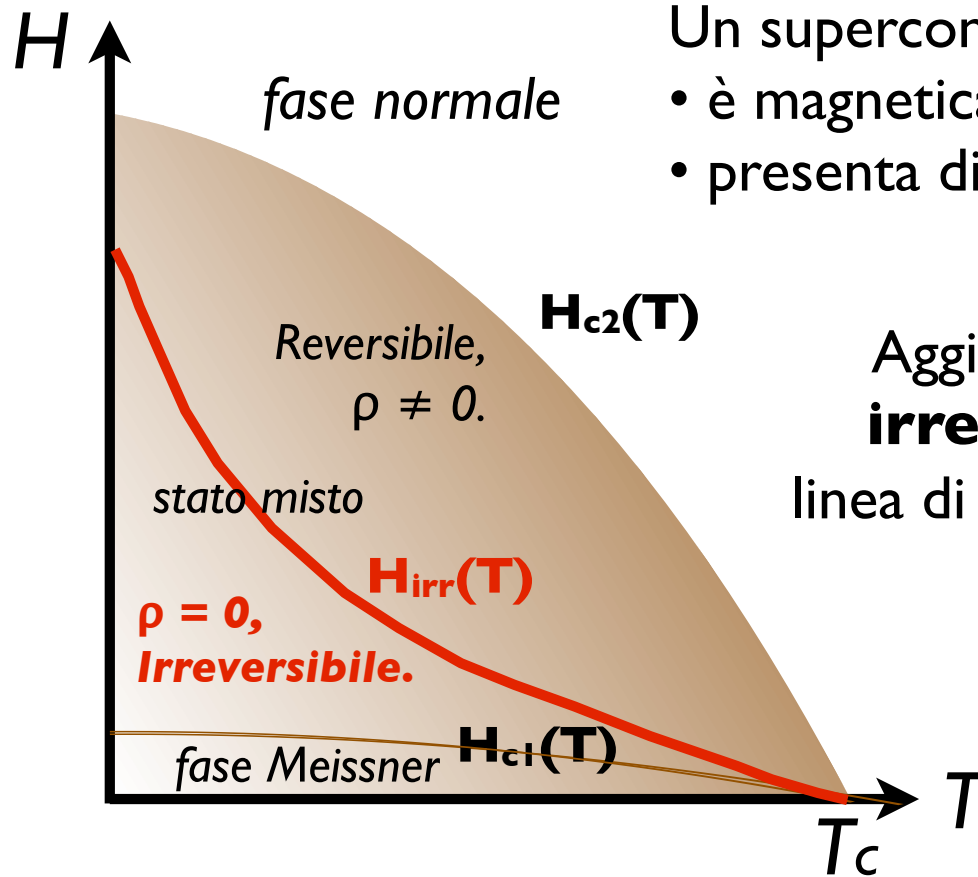
Compete con l'energia elastica del reticolo e del singolo flussone (deformazione dovuta alla distribuzione non commensurata dei difetti):

=> *reticolo*: pinning puntiforme è conveniente. Il reticolo è completamente ancorato con (relativamente) pochi centri di pinning.

[per un insieme "liquido" ogni singolo flussone dovrebbe essere individualmente ancorato]



# Ancoraggio e irreversibilità. 1: LTS



Un superconduttore ideale nello stato misto:

- è magneticamente reversibile
- presenta dissipazione

Aggiungendo centri di pinning:  
**irreversibilità magnetica**

linea di irreversibilità  $H_{irr}$ : prossima a  $H_{c2}$

LTS: utilizzabili per applicazioni (quasi) fino a  $H_{c2}$ .

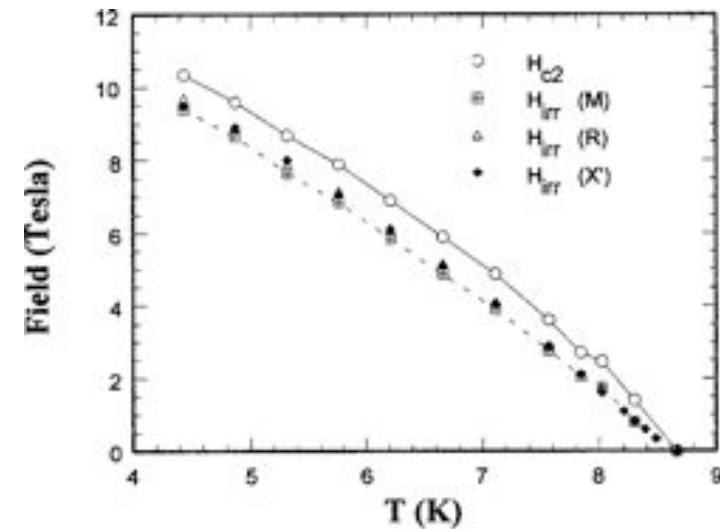


FIG. 6. Temperature dependence of  $B_{c2}$  (determined from the measured dc magnetization) and  $B_{irr}$  (determined from dc magnetization, ac susceptibility and resistivity) for a NbTi multifilamentary wire sample.

Zheng et al., PRB 61 (2000)

# ***Irreversibilità e levitazione***

Sotto la linea di irreversibilità il flusso magnetico è bloccato dai centri di pinning:

Levitazione **stabile**

Rotazione **stabile**

**Sospensione**



# **Levitazione non Meissner**



È l'ancoraggio dei flussoni che determina:

- alte correnti critiche (di “depinning”)
  - levitazione stabile

I difetti possono favorire l'ancoraggio.

È possibile ingegnerizzare i difetti?

Scala di lunghezze:

devono bloccare un flussone, diametro  $\sim \xi$

cuprati:  $\xi \sim 2-5$  nm

tradizionali:  $\xi \sim 10-50$  nm