



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

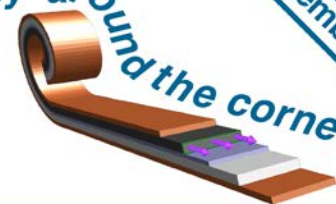
Superconductivity around the corner

ENEA-C.R. Frascati

Council on Superconductivity



10
dicembre



Superconducting Materials

Frascati - 10 Dicembre 2018

Andrea Augieri – Ricercatore ENEA

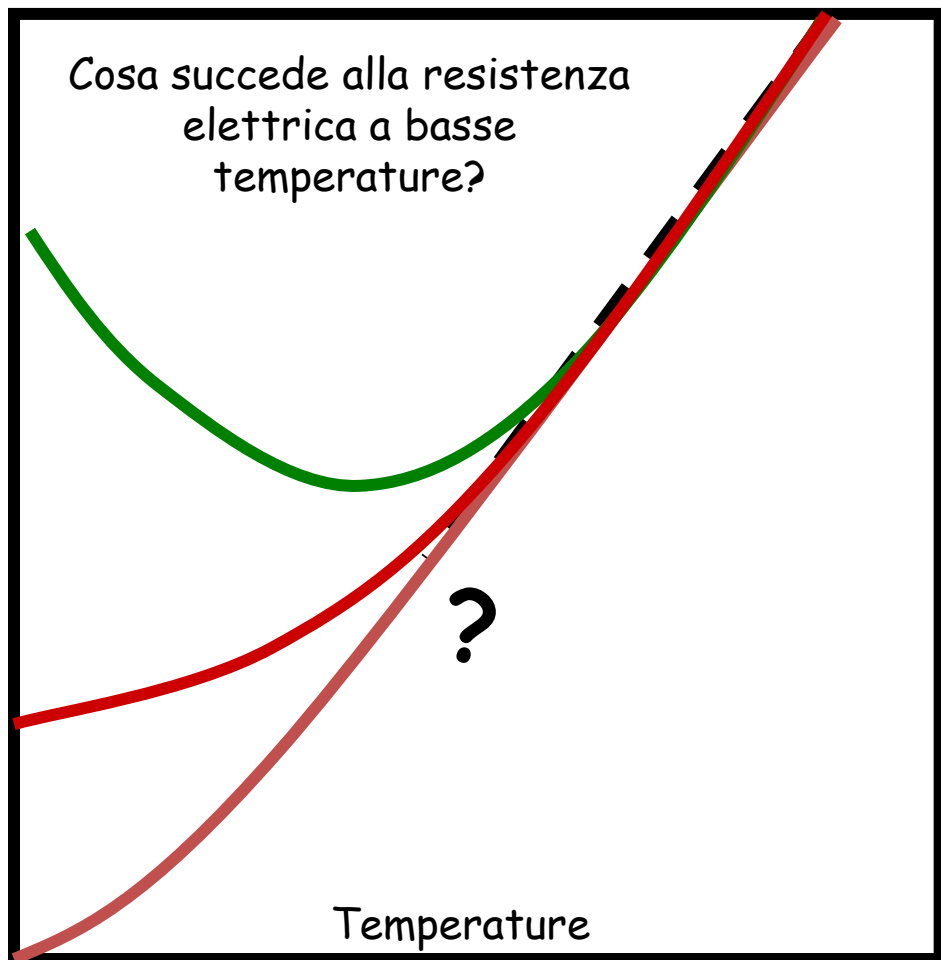


1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000

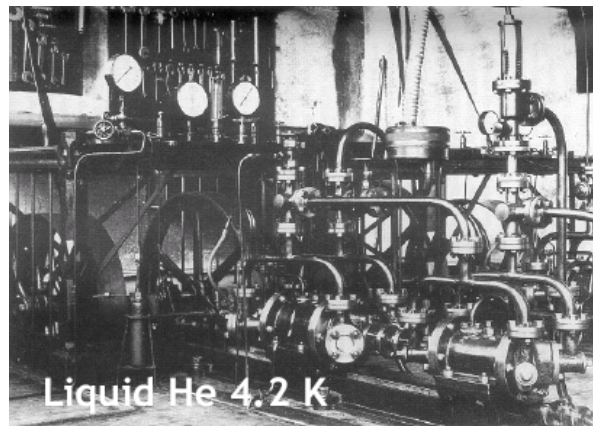


SUPERCONDUTTIVITA'

1911 HEIKE KAMERLING ONNES (Leiden)



1° a liquefare l'elio - 4.2 K



Liquid He 4.2 K



Dewar:

Resistenza nulla perché gli atomi sono “congelati”

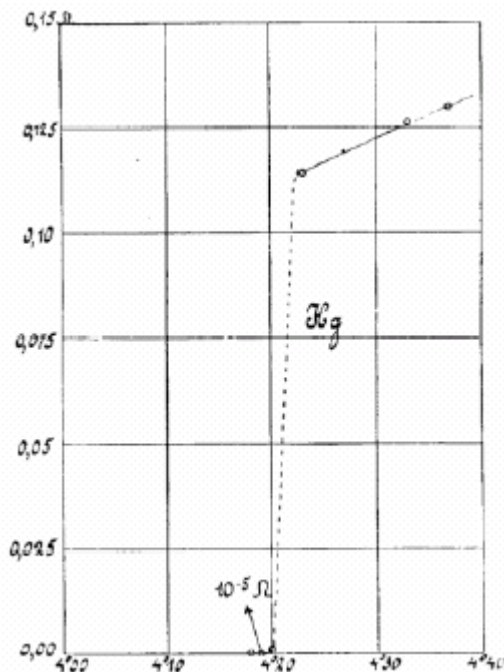
Kelvin:

Resistenza infinita perché gli elettroni sono “congelati”

Matthiessen:

Valore di saturazione che dipende dai difetti e dalle impurezze nel metallo

SUPERCONDUTTIVITA'



Tra gli altri metalli,
Onnes misurò il
mercurio

La resistenza elettrica diminuiva rapidamente a
ZERO al di sotto di una certa temperatura
(**TEMPERATURA CRITICA, T_c**)



Thus the mercury at 4.2°K has entered a new state, which, owing to its particular electrical properties, can be called the state of superconductivity.

It is very important to the study of the properties of this state that tin and



H.K. Onnes, Nobel Lecture, December 11, 1913

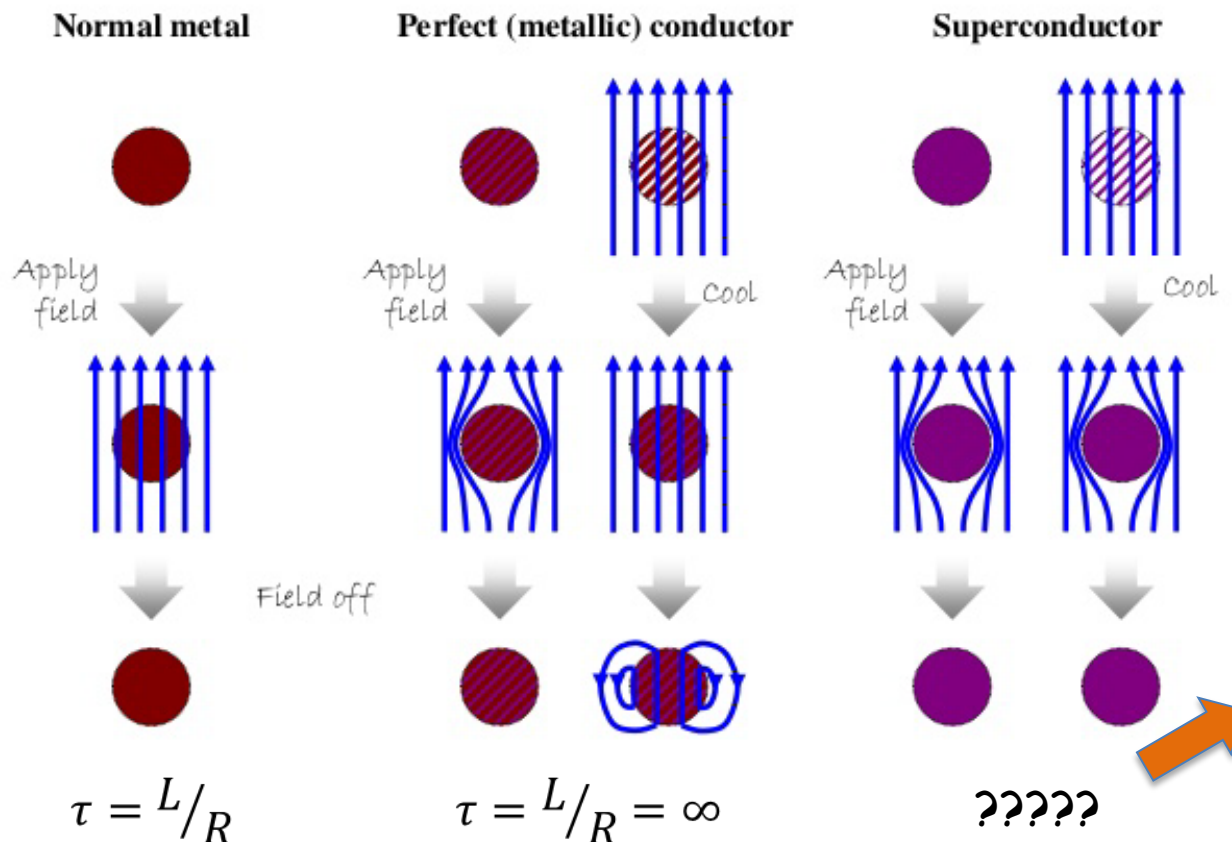
1

Per $T < T_c$, la
resistenza elettrica
in d.c. è **ZERO**

Non piccola o
trascurabile ma...
ZERO

**NUOVO STATO
della MATERIA**

SUPERCONDUTTIVITA'



Legge di Lenz

$$f_{em} = - \frac{\partial \Phi(B)}{\partial t}$$

Screening currents

**NUOVO STATO
della MATERIA**

**Proprietà
magnetiche uniche**

SUPERCONDUTTIVITA'

1933 WALTER MEISSNER and ROBERT OCHSENFELD (Berlin)

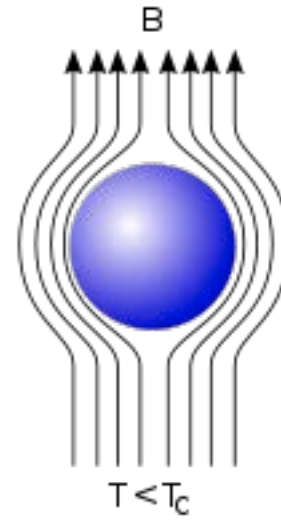
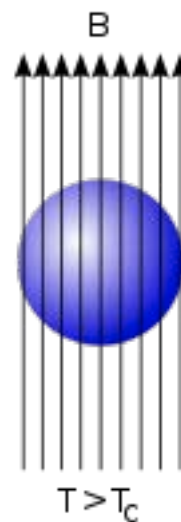


W. Meissner



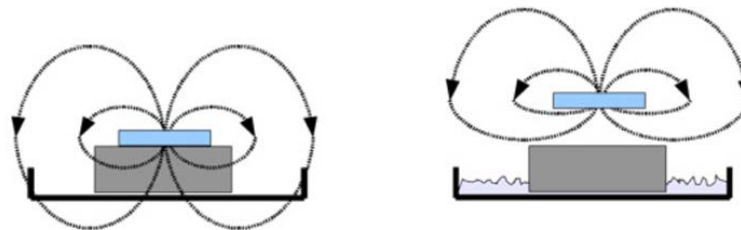
R. Ochsenfeld

ESPULSIONE DEL CAMPO MAGNETICO



2

Per $T < T_c$ e $H < H_c$
diamagnetismo
perfetto



Magnetic levitation

SUPERCONDUTTIVITA'

FILO SUPERCONDUTTORE



$$\uparrow H \propto I \uparrow$$

$$\uparrow L = \alpha \uparrow$$



Bobina di piombo di 1000 spire

K. Onnes
(1912)

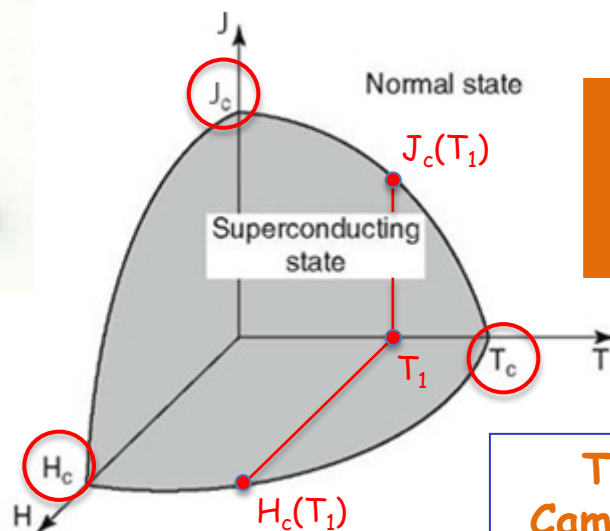


contact with the bath. The coil proved to bear a current of 0.8 ampere without losing its superconductivity. There may have been bad places in the wire, where heat was developed which could not be withdrawn and which locally warmed the wire above the vanishing point of resistance...

I think it will be possible to come to a higher current density... if we secure better heat conduction

Campi magnetici alti a piacimento???

NO! Ma... perché?

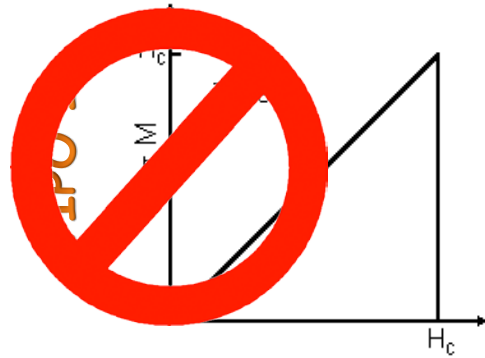


La fase superconduttiva è limitata da tre parametri critici

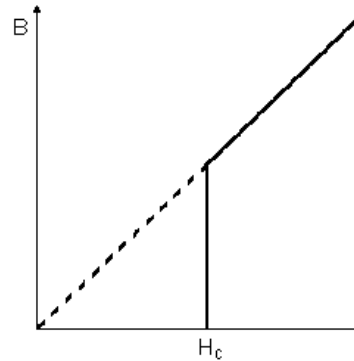
Temperatura critica T_c
Campo magnetico critico H_c
Densità di corrente critica J_c

Proprietà Magnetiche dei superconduttori

Diamagnetismo perfetto... In realtà...

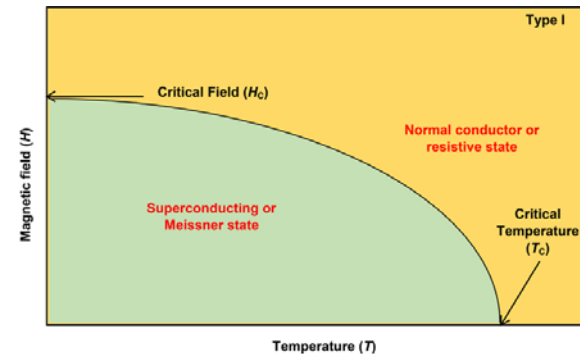


Applied magnetic field

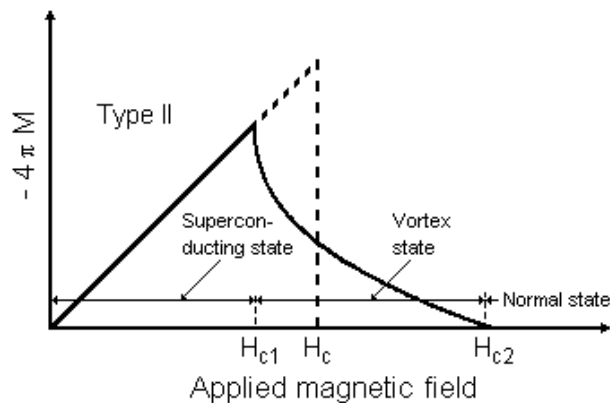


H_c

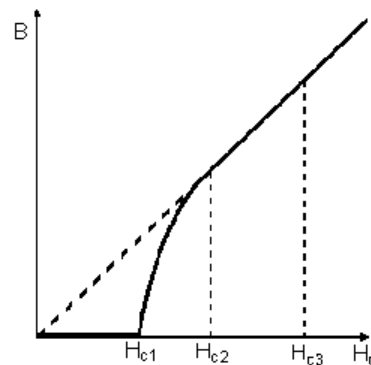
$H_c \approx 0.1 \text{ T}$



TIPO II



Applied magnetic field

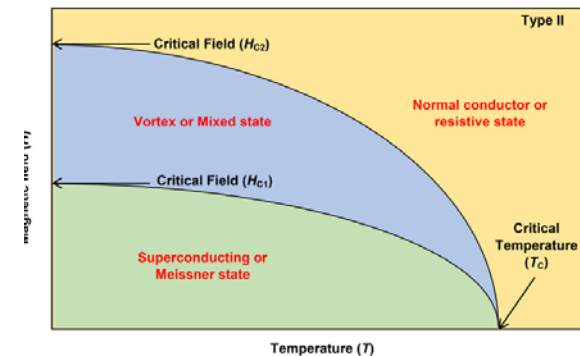


H_{c1}

H_{c2}

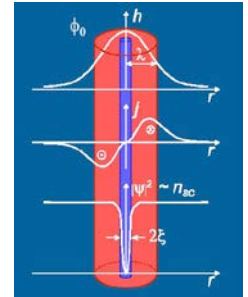
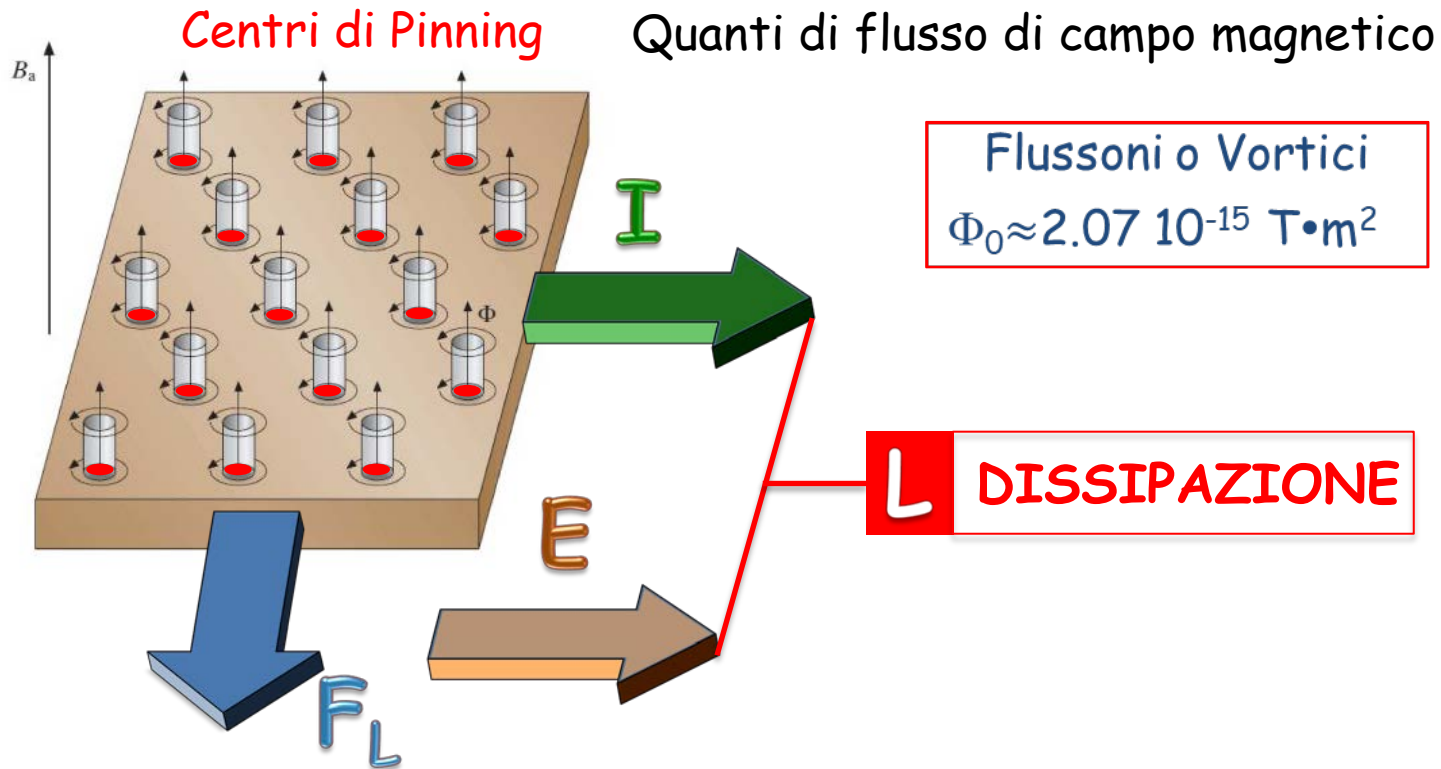
H_{c3}

$H_{c1} \approx 0.01 \text{ T}$ $H_{c2} > 10 \text{ T}$

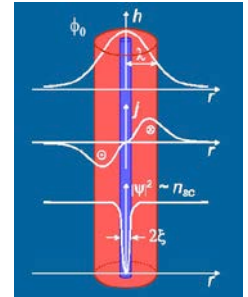
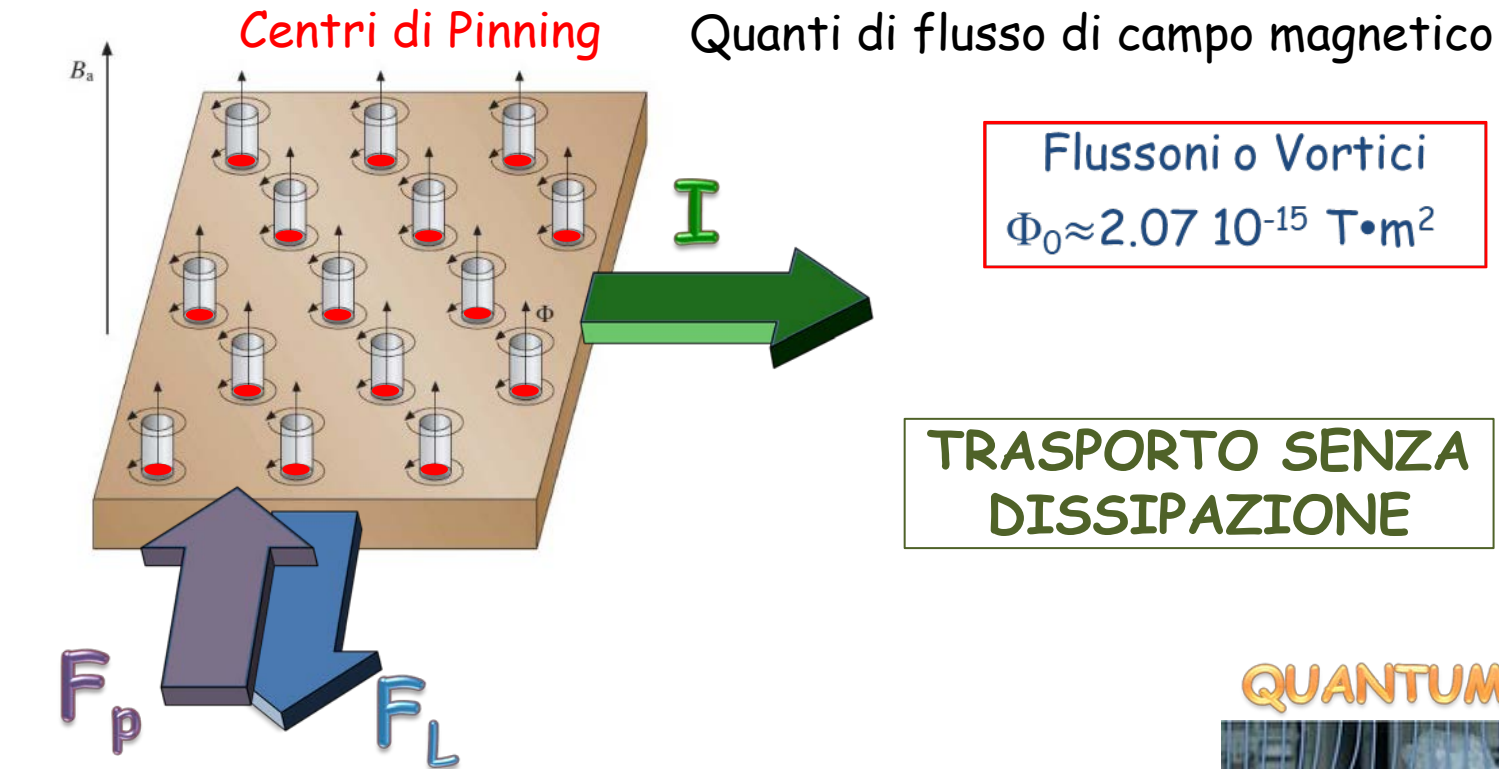


Cos'è lo stato misto?

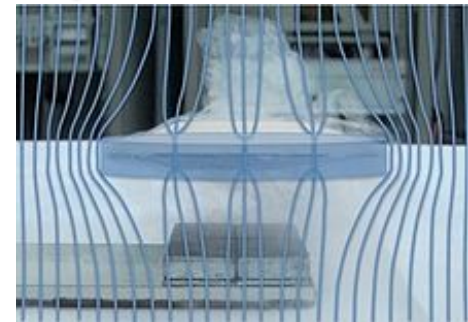
Stato misto - Flussoni



Stato misto - Flussoni



QUANTUM LOCK



Flux Pinning

Lo studio e l'ottimizzazione del Pinning è di FONDAMENTALE importanza

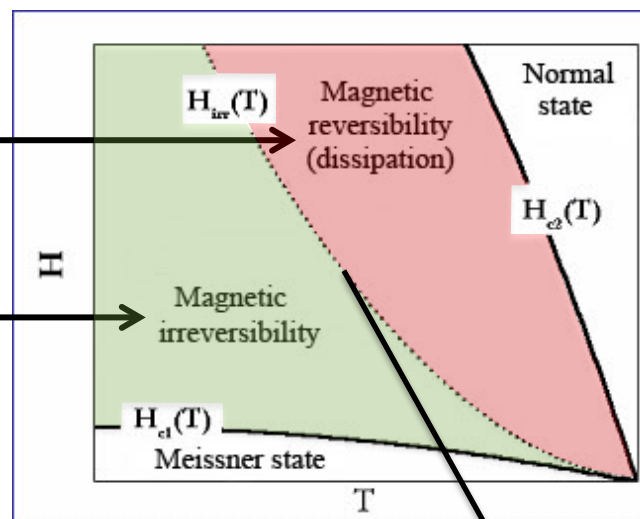
$F_p < F_L$ Proprietà magnetiche reversibili

$F_p > F_L$ Proprietà magnetiche irreversibili

Migliorare le proprietà di pinning vuole dire

Aumentare le prestazioni del superconduttore

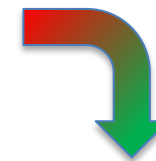
Allargare la zona di operatività del superconduttore



Linea di irreversibilità

J_c ↑

H_{irr} ↑



APPLICAZIONI

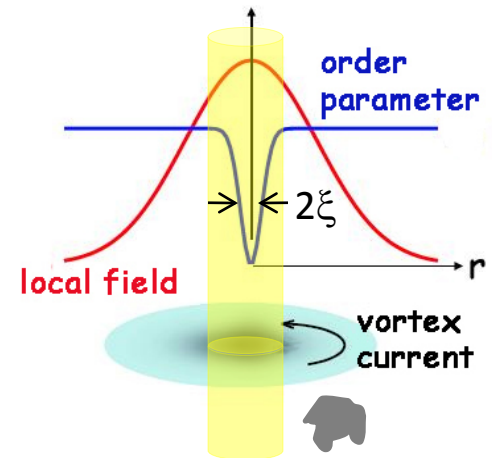
Flux Pinning

Cosa è un centro di pinning??

La penetrazione di un flussone ha un costo energetico

$$\Delta E \cong 2\xi E_c = \mu_0 \frac{H_c^2}{2} \xi$$

Ogni **difetto** costituisce un sito energeticamente favorevole per il flussone



$$F_p = -\nabla E_p$$



Forza che lo tiene ancorato

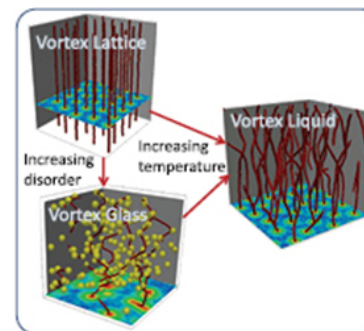
Dimensioni, forma e natura del difetto influiscono sulle proprietà di pinning

Cosa vuol dire studio del Pinning??

Interazione vortice-vortice

+

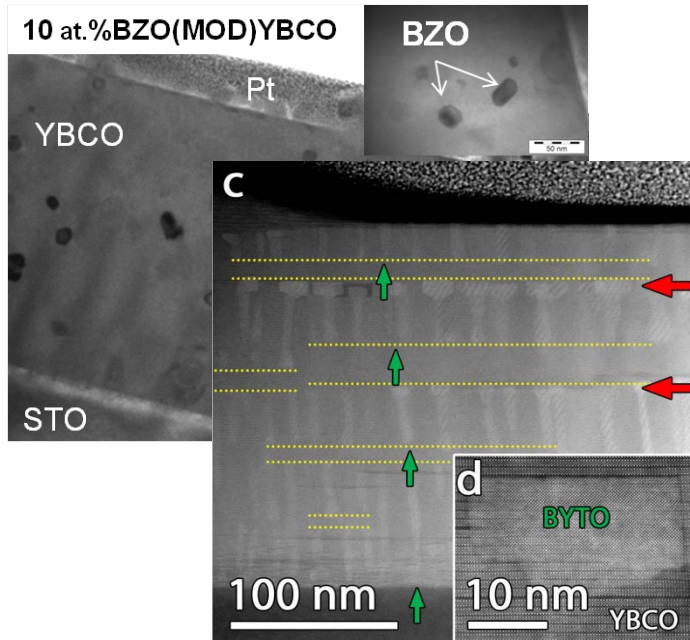
Interazione vortice-centri pinning



**Materia complessa
ma affascinante**

Reticoli cristallini di vortici

Flux Pinning

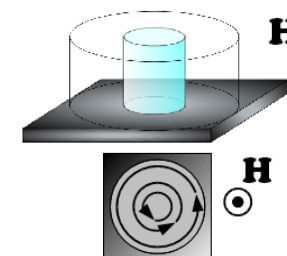


Introduzione controllata di **difetti nano-metrici**

Caratterizzazione delle **proprietà magnetiche** (magnetizzazione, suscettività) **proprietà elettriche** (d.c.)



Proprietà a μ -onde



EUROfusion

Project ENR-MFE19.ENEA-04



Nano-engineered REBCO Superconducting Tapes for High Fields Applications



Superconductivity around the Corner 10 Dicembre 2018

Fine Prima parte



Materiali Superconduttori

[illegible]

Tutti gli elementi superconduttori (tranne Nb, Tc e V) sono di tipo I

Superconductivity around the Corner 10 Dicembre 2018

Superconduttori a bassa T_c (LTS)

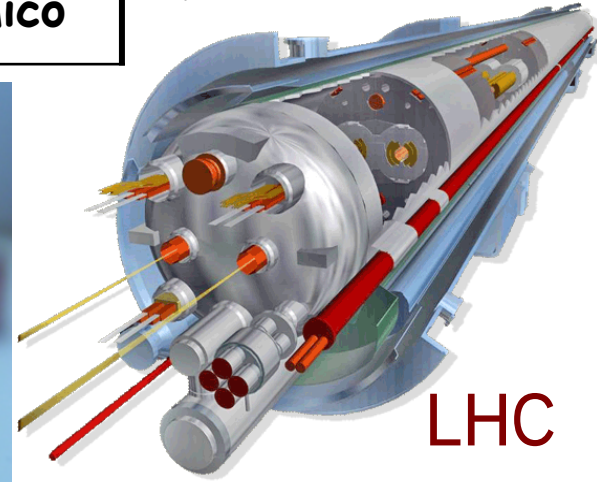
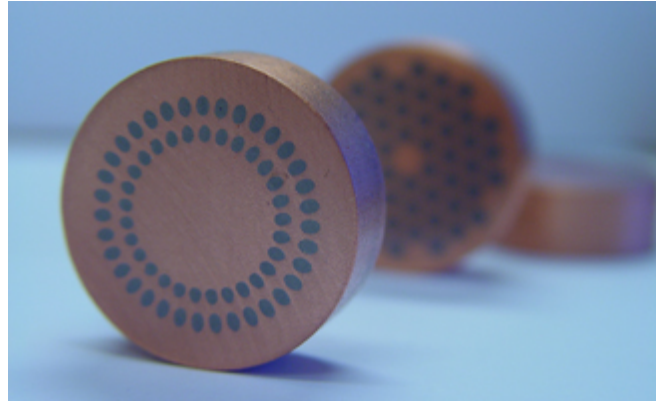
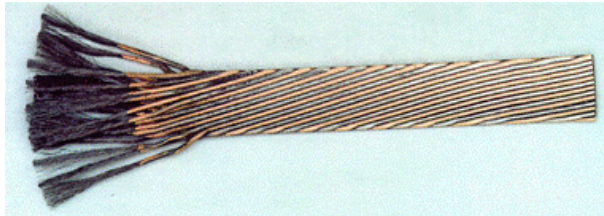
NbTi

$T_c = 9.2 \text{ K}$

$B_{irr} = 15 \text{ T}$

Lega - duttile - economico

1961



LHC

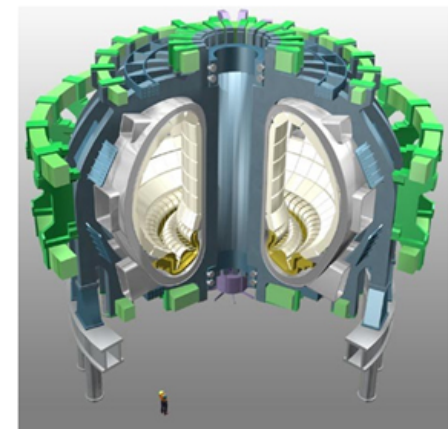
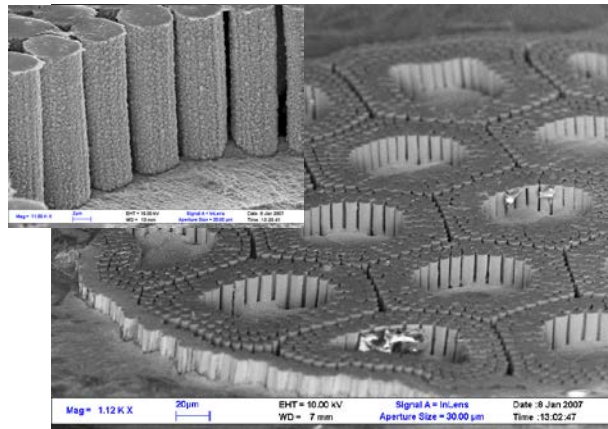
Nb₃Sn

$T_c = 18 \text{ K}$

$B_{irr} = 27 \text{ T}$

Composto - fragile - più costoso

1954



ITER

Superconduttori ad alta T_c (HTS)



Z. Phys. B – Condensed Matter 64, 189–193 (1986)

Possible High T_c Superconductivity in the Ba – La – Cu – O System

J.G. Bednorz and K.A. Müller

IBM Zürich Research Laboratory, Rüschlikon, Switzerland

Received April 17, 1986



NOBEL PRIZE 1987

Materiali ceramici

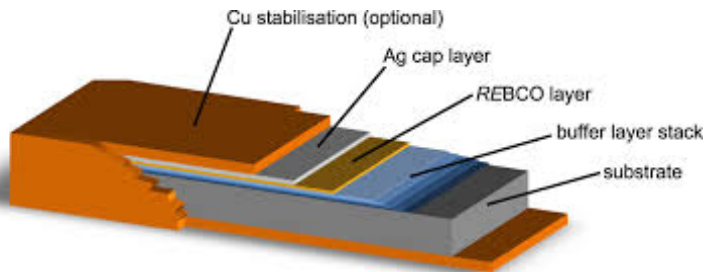
Stechiometria complessa



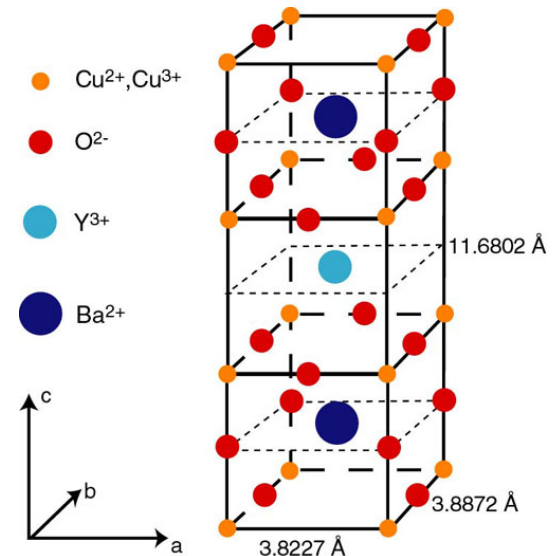
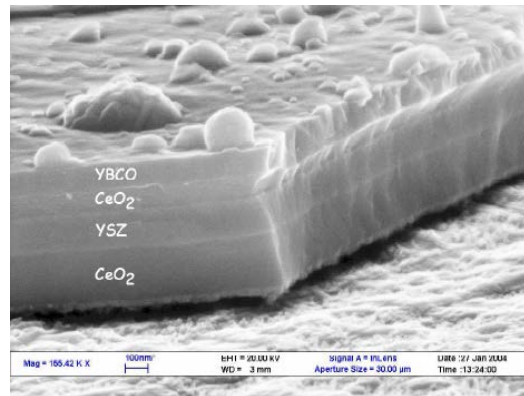
$$T_c = 92 \text{ K}$$

$$B_{\text{irr}, 4.2\text{K}} = ???$$

Coated-Conductor



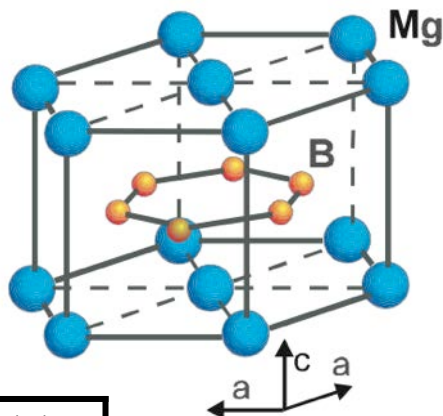
MOLTO COSTOSI!



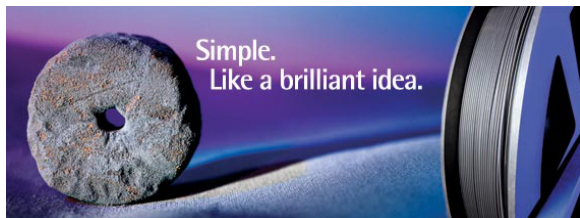
Altri superconduttori

Di-Boruro di Magnesio (MgB_2)
scoperto nel 2001 (per caso?)

$T_c = 39 \text{ K}$



Nome	$T_c(\text{K})$	$B_{\text{irr}}(\text{T})$
MgB_2	~39	>50 (film) ~19 (bulk)

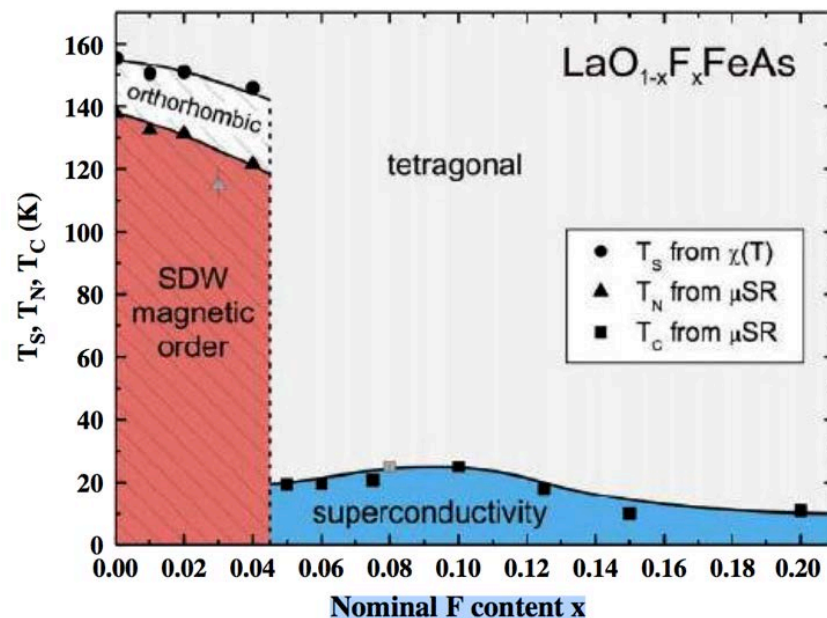


Columbus (Italy)
Superconductors



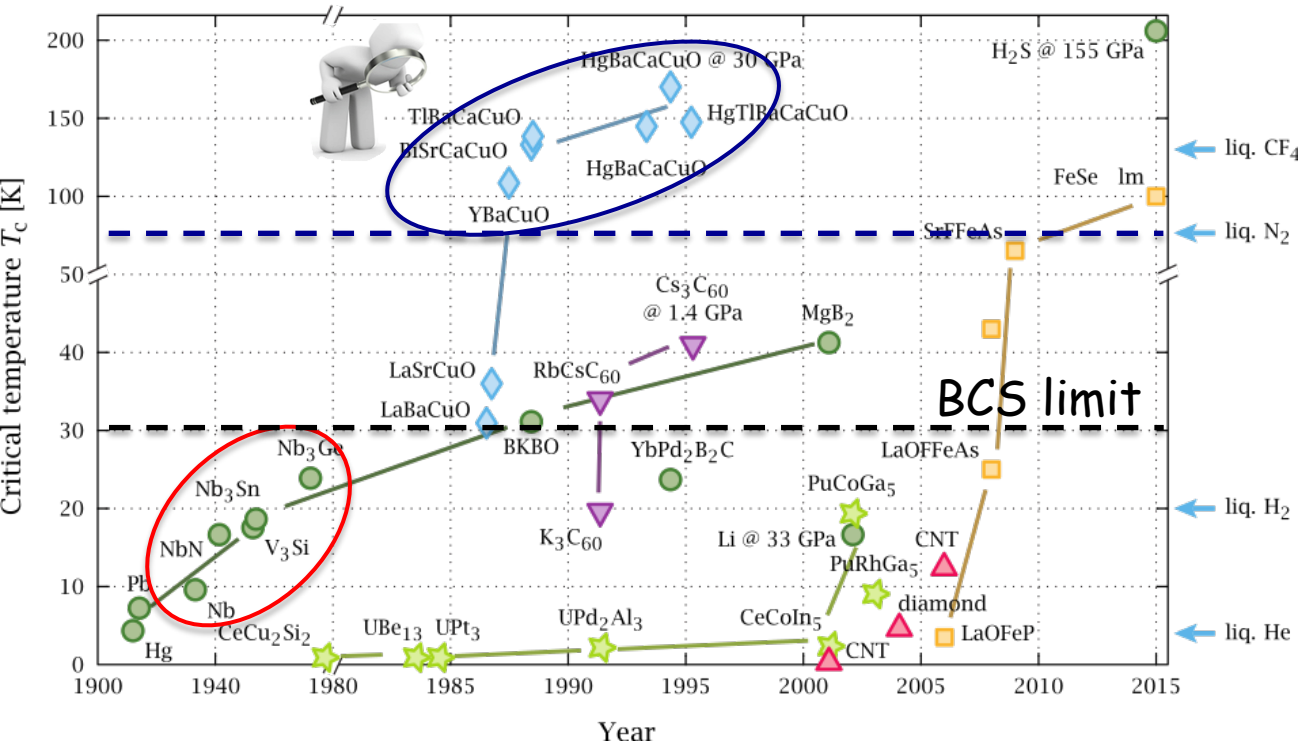
Superconductivity around the Corner 10 Dicembre 2018

Pnictidi e calcogenidi
(Fe-based) $T_c = 43 \text{ K}$
(scoperti nel 2006)



E tanti altri composti esotici

LTS and HTS



Differenza teorica

Per i LTS esiste una teoria (BCS)

Per gli HTS NO!

Differenza tecnologica

I LTS possono usare solo il LHe

Gli HTS possono lavorare con il LN₂

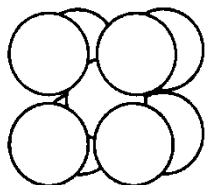
LHe	$V_g / V_l = 757$	$\Delta H_{vap} = 0.0845 \text{ kJ/mol}$	Costo $\approx 10 \text{ €/lit}$
LN ₂	$V_g / V_l = 694$	$\Delta H_{vap} = 2.7928 \text{ kJ/mol}$	Costo $\approx 0.10 \text{ €/lit}$



Materiali superconduttori

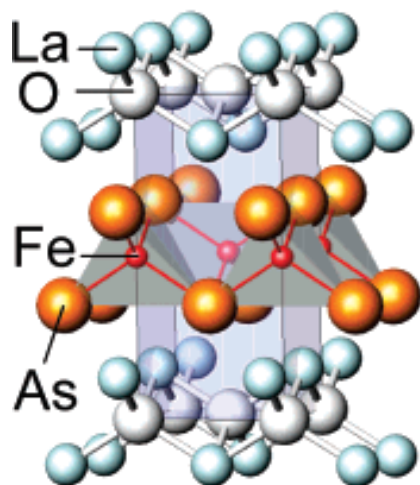
Nb-Ti

9 K



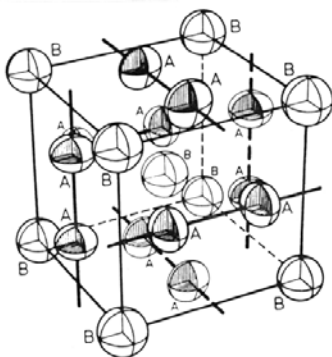
56 K

LaFeAsO



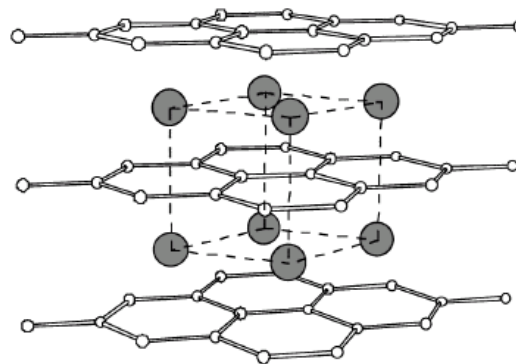
Nb₃Sn

18 K



MgB₂

39 K



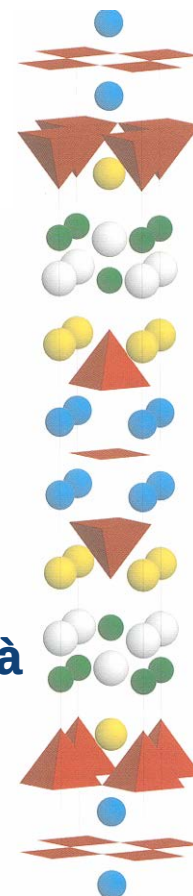
92 K

YBCO

Con la T_c aumenta
anche la complessità
dei composti

110 K

Bi-2223



Cuprati

Copper Oxide Superconductors

Hg-Family

Hg-Family	Abbrev.	T_c
HgBa ₂ Ca ₃ Cu ₄ O _{10+δ}	Hg-1234	125 K
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _{8+δ}	Hg-1223	134 K (164 K @ 30GPa) – Record holder
HgBa ₂ CuO _{4+δ}	Hg-1201	95 K

Tl-Family

Tl-Family	Abbrev.	T_c
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _{10+δ}	Tl-2223	128 K
Tl ₂ Ba ₂ CaCu ₂ O _{6+δ}	Tl-2212	118 K
Tl ₂ Ba ₂ CuO _{6+δ}	Tl-2201	95 K (can be highly overdoped)
TlBa ₂ Ca ₃ Cu ₄ O _{11+δ}	Tl-1234	112 K
TlBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _{9+δ}	Tl-1223	120 K
TlBa ₂ CaCu ₂ O _{7+δ}	Tl-1212	103 K

Bi-Family

Bi-Family	Abbrev.	T_c
Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _{10+δ}	Bi-2223	110 K
Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O _{8+δ}	Bi-2212	91 K (photoemission/tunneling –cleaves)
Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O _{8+δ}	Bi-2201	35 K

Y-Family

Y-Family	Abbrev.	T_c
YBa ₂ Cu ₃ O _{7+δ}	Y-123	94 K (cleanest – most highly studied)
Y ₂ BaCu ₄ O _{7+δ}	Y-124	82 K

La-Family

La-Family	Abbrev.	T_c
La _{2-x} Sr _x CuO _{4+δ}	LaSr-214	40 K (full doping range)
La _{2-x} Ba _x CuO _{4+δ}	LaBa-214	30 K (1 st cuprate superconductor)

Others

Others	T_c
Ca _{1-x} Sr _x CuO ₂	110 K
Nd _{2-x} Ce _x CuO _{4+δ}	30K

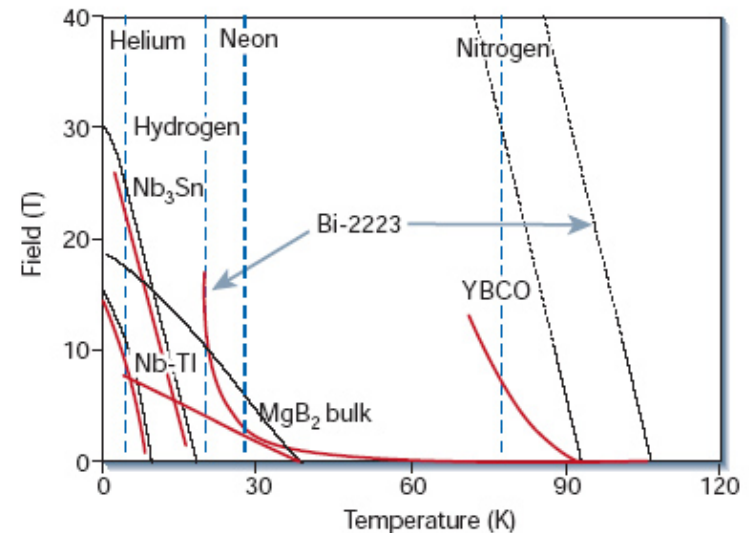
YBa₂Cu₃O₇ (YBCO)

$T_c=92K$

Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ (BISCO-2223)

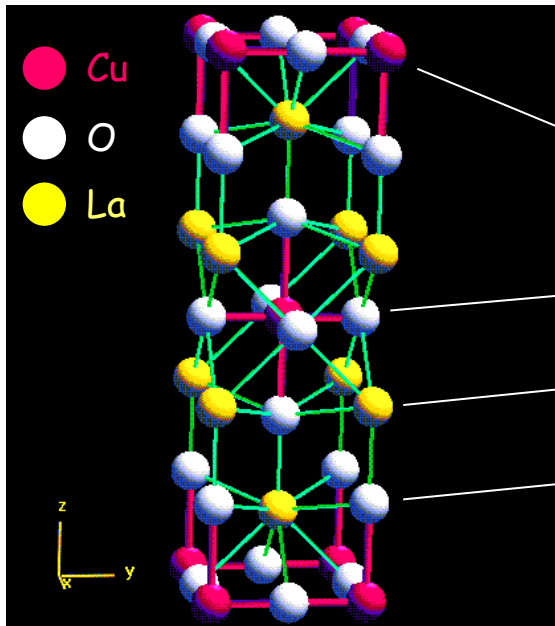
Bi₂Sr₂CaCu₂O₈ (BISCO-2212)

$T_c=110K - 95K$



Cuprati

$(\text{La,Ba})_2\text{CuO}_4$ $T_c = 38\text{K}$



Presentano celle unitarie **strutturate a layer**.
Ognuno dei layer ha una sua funzione nello stabilire le proprietà superconduttive.

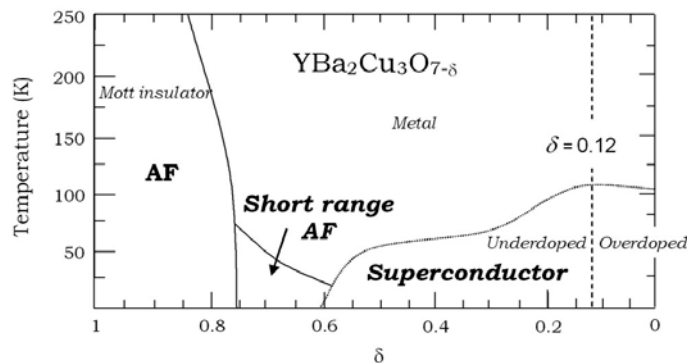
catene Cu-O: funzionano da riserve di portatori di carica

piani Cu-O₂: sono i piani dove risiede la superconduttività

ossigeni apicali: regolano lo scambio di portatori tra piani e catene

layer isolanti: regolano la valenza del rame nei piani Cu-O

Questa struttura determina una forte **anisotropia** sia delle proprietà microscopiche sia di quelle macroscopiche (J_c , H_c)



Importanza fondamentale della
densità dei portatori
nel determinare le proprietà
superconduttive

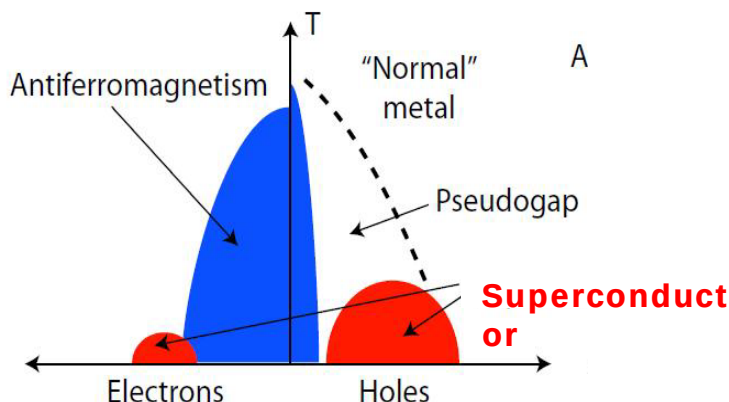
Cuprati

Superconduttori LTS a base di Nb:

- sono **metalli normali** per temperature $> T_c$;
- portatori di carica sono **elettroni**.

Cuprati:

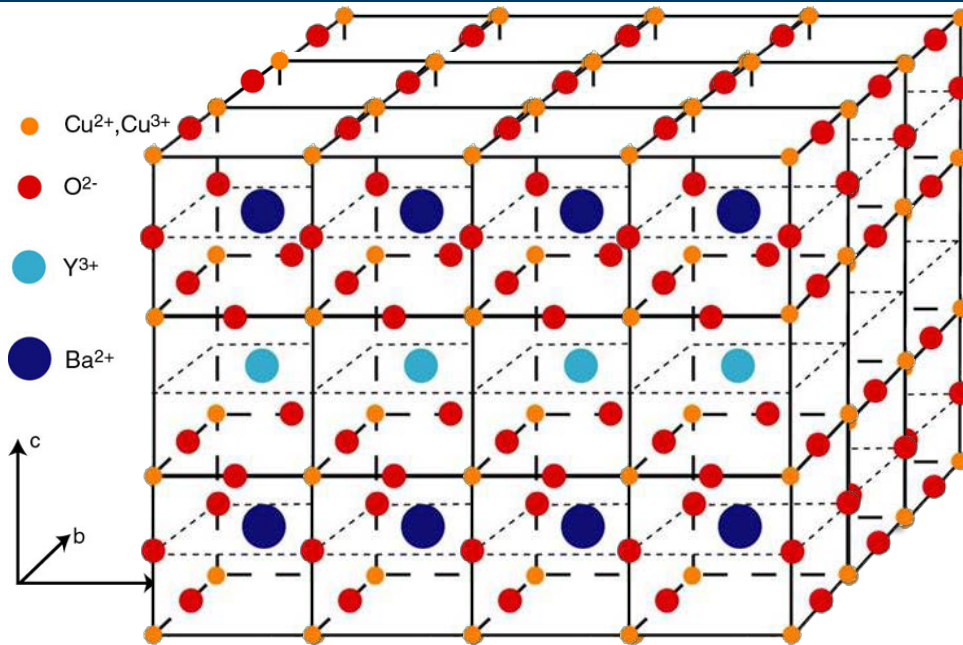
- portatori di carica **elettroni o "lacune"**;
- cattivi conduttori sopra T_c e vicini alla transizione ad **isolante di Mott**;
- la **densità dei portatori** dipende fortemente da molte cose:
stechiometria, sostituzioni, drogaggi, grado di deformazione del reticolo (strain), ecc...;



le **proprietà superconduttive** dipendono fortemente dalla densità dei portatori!!



Cuprati



Problema nuovo rispetto gli LTS

E' possibile produrre fili con i cuprati?

Nel **BISCO-2212** SI (crescita lamellare)

Nel **BISCO-2232** solo con determinati processi termo-meccanici. Ma SI

1G HTS conductors

superconduttività bi-dimensionale

+

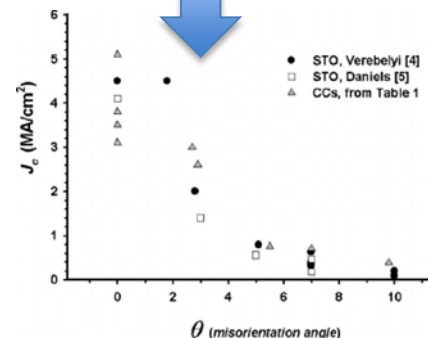
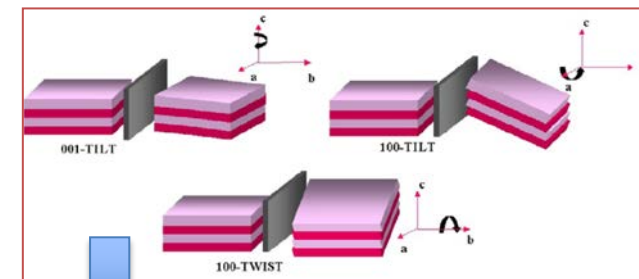
forte variabilità della densità dei portatori



Perché il materiale "funzioni", le celle devono essere ben allineate tra loro

TESSITURA BI-ASSIALE

Qualsiasi disorientazione tra le celle...



... si traduce in una perdita delle prestazioni

Cuprati - YBCO

E' possibile produrre fili di YBCO?

NO!



Non esiste processo (meccanico o termico) che possa indurre la tessitura bi-assiale nell'YBCO



Idea
(Ijima)



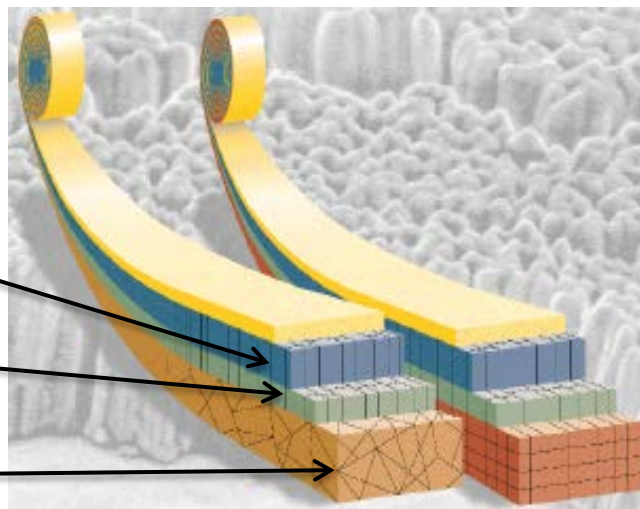
Crescere l'YBCO in forma di **FILM**
su template con **tessitura bi-assiale**
con **processi epitassiali**

2G HTS conductors
COATED CONDUCTOR

YBCO ($\sim \mu\text{m}$)

Strati intermedi
(buffer layers)

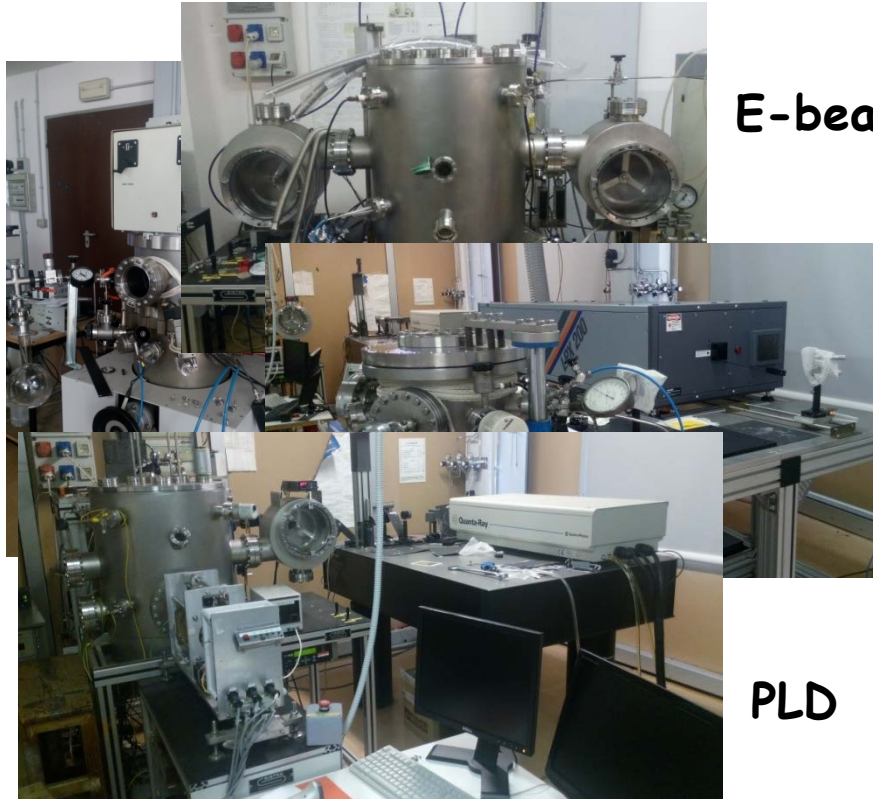
Substrato metallico



La tessitura del
substrato (RABiTS)
o del
buffer layer (IBAD)
è trasferita all'YBCO
mediante **processi epitassiali**

Attività ENEA - deposizione film sottili

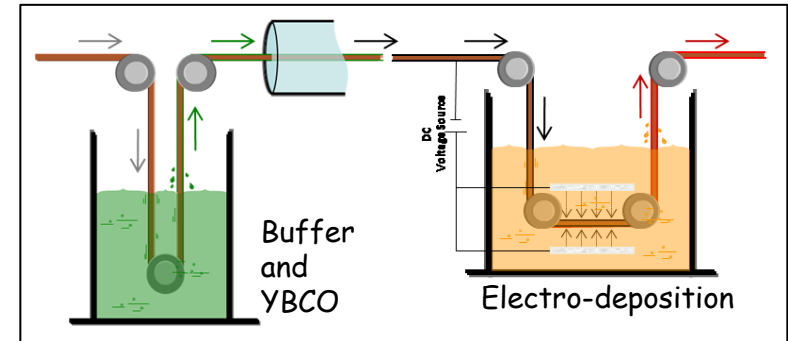
Physical Vapour Deposition



E-beam

PLD

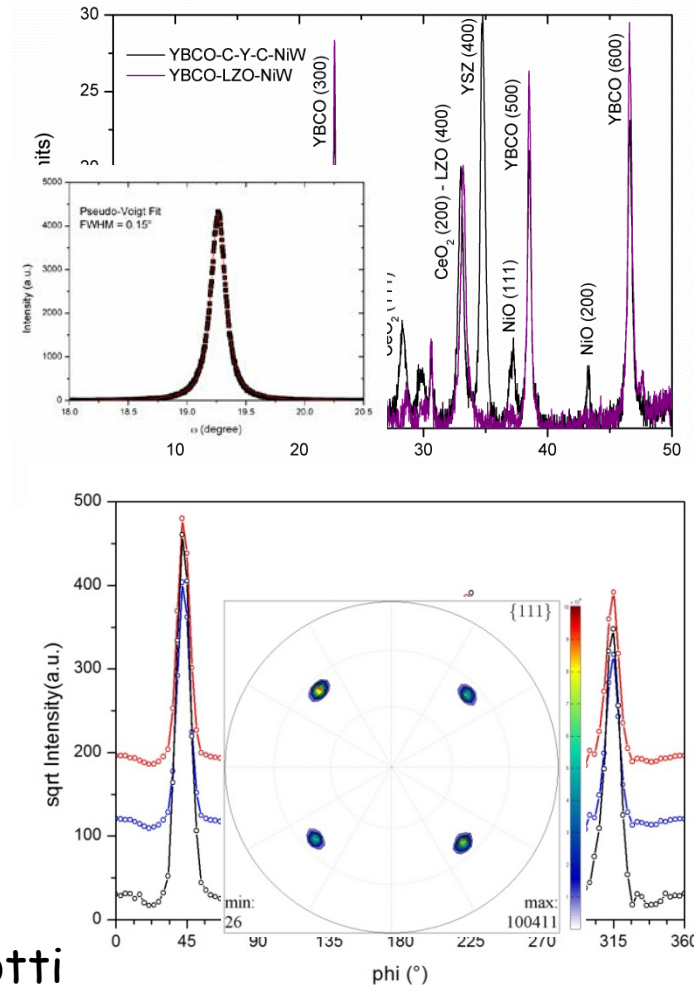
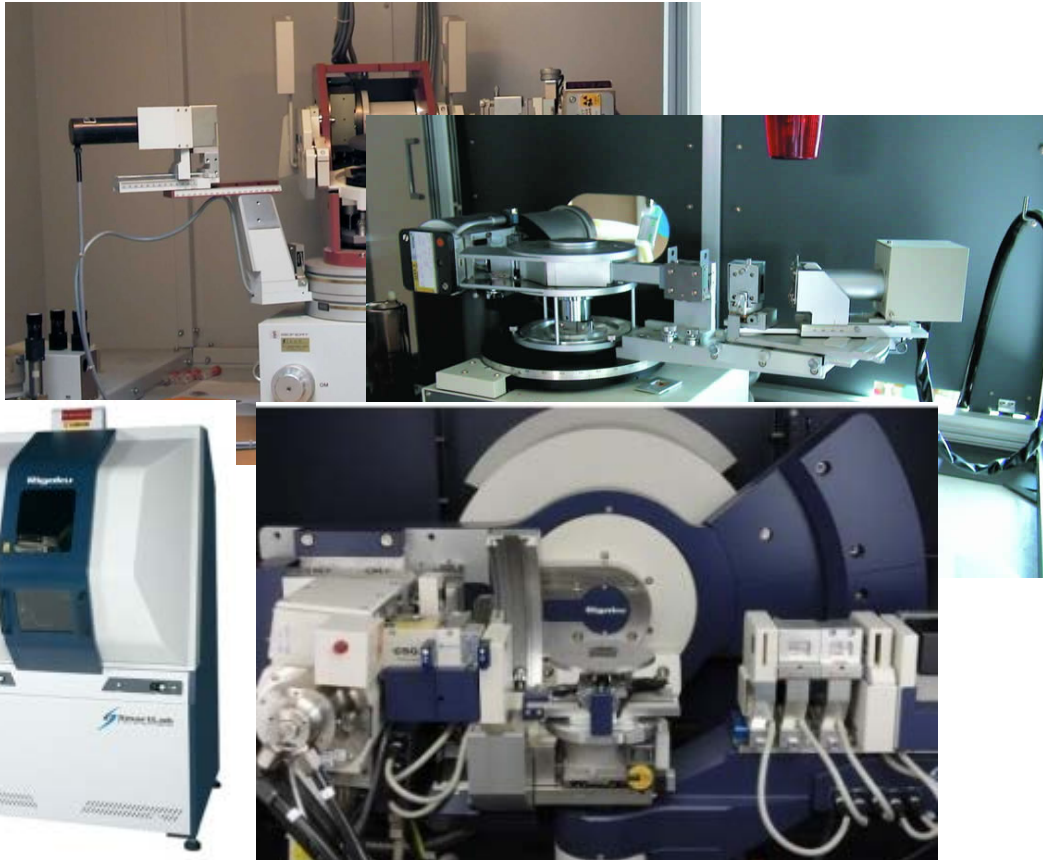
Metal-Organic Decomposition (MOD)



Metodi fisici e chimici per la deposizione di **film sottili superconduttivi** e di ossidi funzionali (**buffer layers**)

Attività ENEA - caratterizzazione strutturale

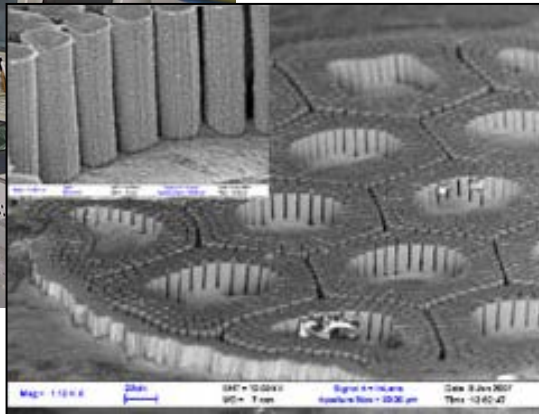
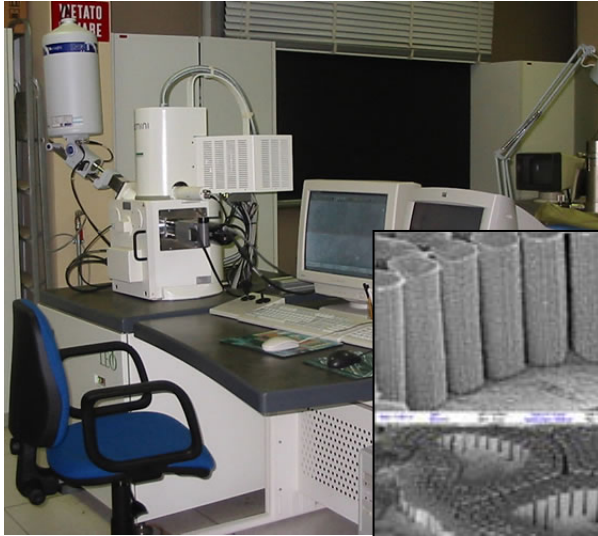
XRD - 3 Diffrattometri a raggi X



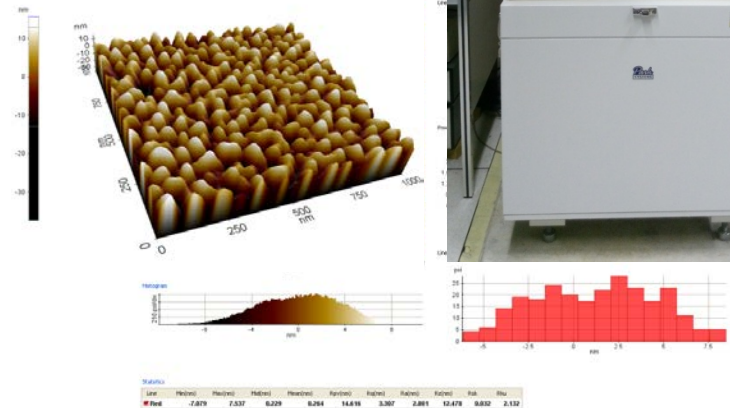
Qualità epitassiale e della tessitura dei film prodotti
Esistenza di fasi spurie

Attività ENEA – caratterizzazione morfologica

SEM – Microscopio elettronico



AFM – Microscopio a forza atomica



Oltre, ovviamente, a tutte le caratterizzazioni
delle **proprietà superconduttive**
(magnetiche ed elettriche)

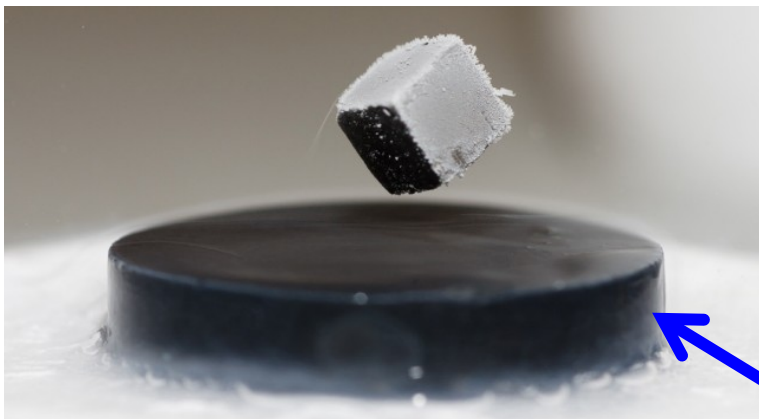
**MAGGIORI DETTAGLI:
VISITA AI LABORATORI
OGGI POMERIGGIO**

Fine Seconda parte

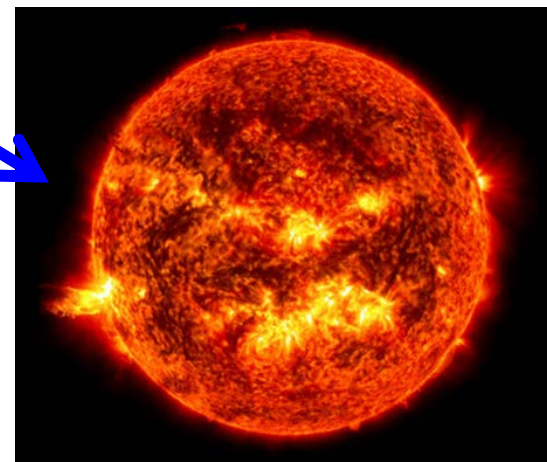


Superconduttività e Fusione Nucleare

La superconduttività è un fenomeno
quantistico macroscopico

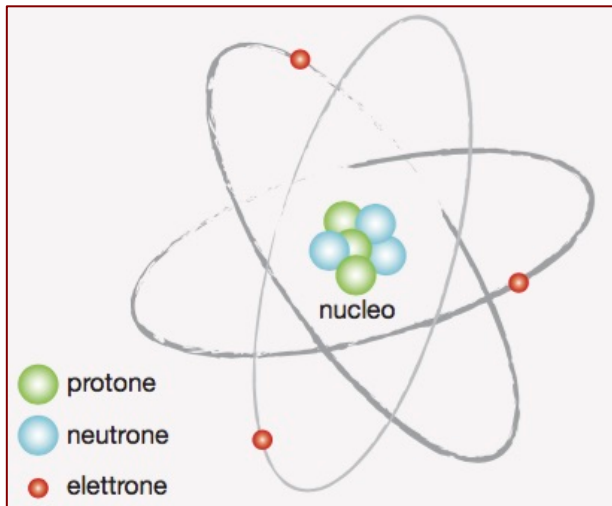


Fusione Nucleare
processo che alimenta le stelle



Fusione Nucleare

La materia è composta di ATOMI

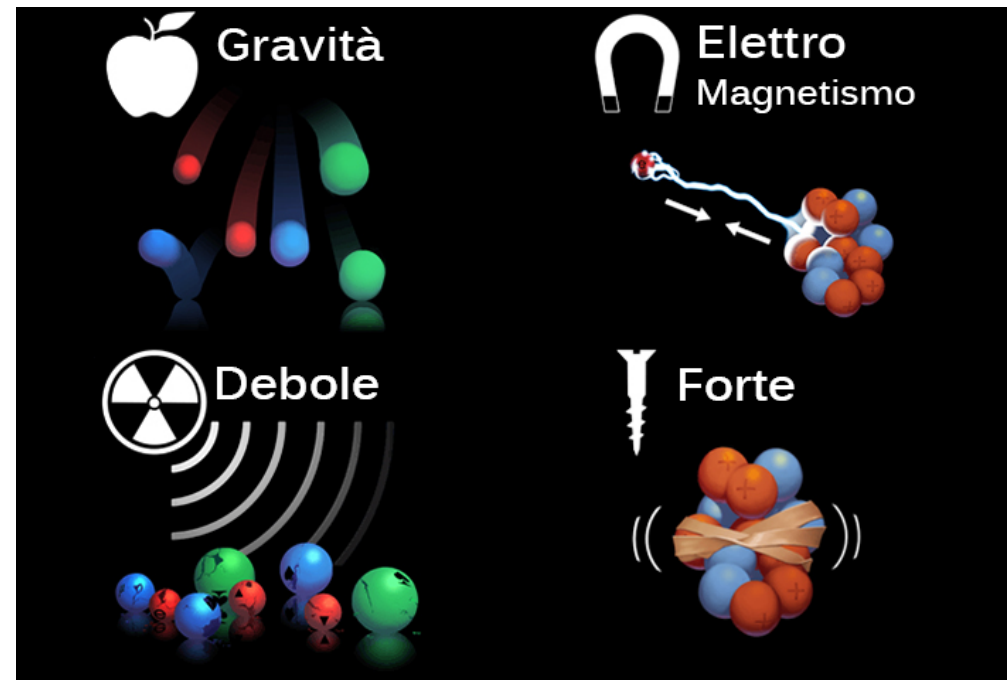


Gli atomi sono composti di

- Elettroni
 - Protoni
 - Neutroni
- } Nucleo

n° di massa: numero di
protoni+neutroni

La natura è regolata da
4 INTERAZIONI FONDAMENTALI



L'interazione che tiene unito il
NUCLEO è la più forte

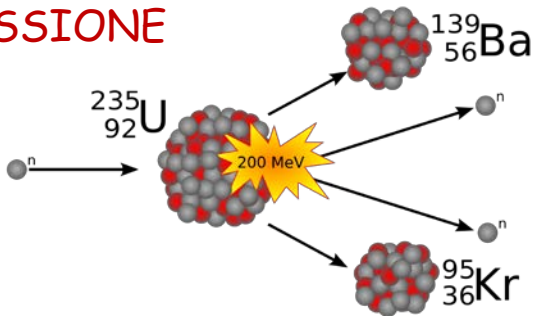
Fusione Nucleare

Tutti i metodi tradizionali per la produzione di energia elettrica sfruttano reazioni chimiche → Interazione elettro-magnetica



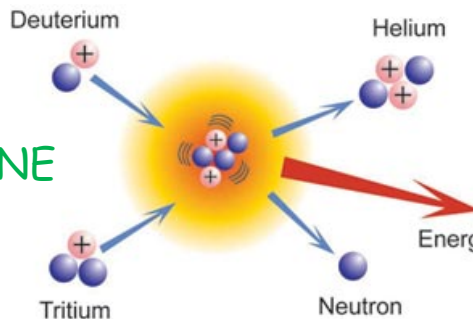
Ricavare energia
dall'interazione
nucleare

FISSIONE

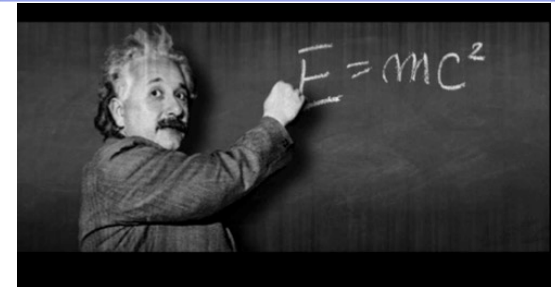
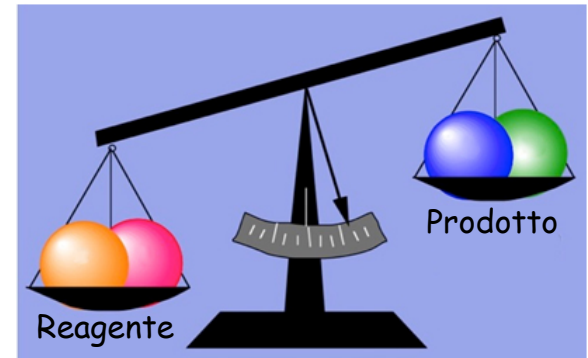


ENERGIA!!

FUSIONE



>1 Milione di volte più
intensa di quella
chimica

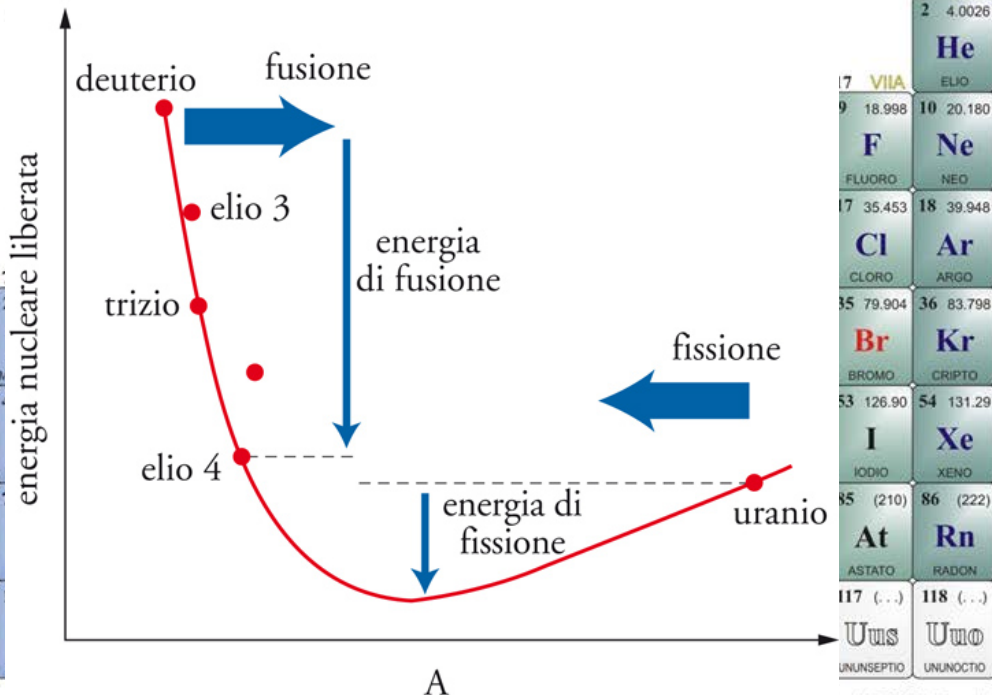


Fusione Nucleare

IDROGENO:
leggero

PERIODICA DEGLI ELEMENTI

GRUPPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H IDROGENO 1.0079																	2 He ELIO 4.0026
2	3 Li LITIO 6.941	4 Be BERILLIO 9.0122																10 Ne NEO 20.180
3	11 Na SODIO 22.990	12 Mg MAGNESIO 24.305																18 Ar ARGO 39.948
4	19 K POTASSIO 39.098	20 Ca CALCIO 40.078	21 Sc SCANDIO 44.956	22 Ti TITANIO 47.867	23 V VANADIO 50.942	24 Cr CROMO 51.996												36 Kr CRIPTO 83.798
5	37 Rb RUBIDIO 85.468	38 Sr STRONZIO 87.62	39 Y ITTRIO 88.906	40 Zr ZIRCONIO 91.224	41 Nb NIOBIO 92.906	42 Mo MOLIBDENO 95.96												54 Xe XENO 131.29
6	55 Cs CESIO 132.91	56 Ba BARIO 137.33	57-71 La-Lu Lantanidi	72 Hf AFNIO 178.49	73 Ta TANTALIO 180.95	74 W WOLFRAMIO 183.84												86 Rn RADON (222)
7	87 Fr FRANCIO (223)	88 Ra RADIO (226)	89-103 Ac-Lr Attinidi	104 Rf RUTHERFORDIO (267)	105 Db DUBNIO (268)	106 Sg SEABORGIO (271)												118 Uuo UNUNOCTIO (...)



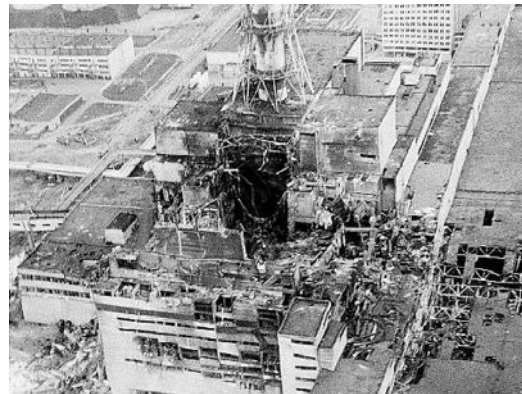
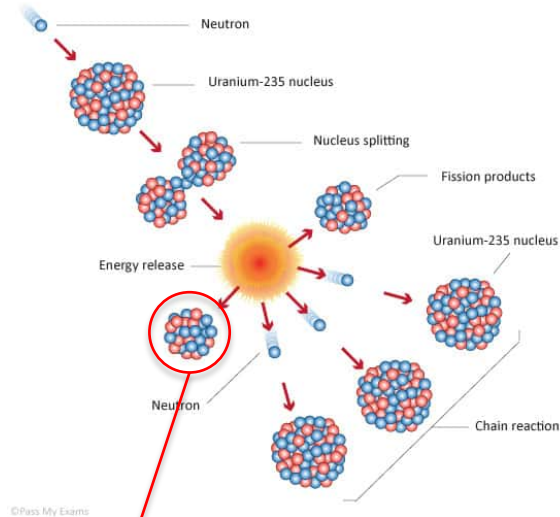
(1) Pure Appl. Chem., 81, No. 11, 2131-2156 (2009)
Le masse atomiche relative sono espresse con cinque cifre significative. L'elemento non ha alcuni nuclidi stabili e un valore tra parentesi, e.g. [209], indica il numero totale dell'isotopo lungo-vivo dell'elemento. Tuttavia, tre elementi (Th, Pa ed U) hanno una composizione isotopica terrestre caratteristica e così loro massa atomica data.

LANTANIDI	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La LANTANIO 138.91	Ce CERIO 140.12	Pr PRASEODIMIO 140.91	Nd NEODIMIO 144.24	Pm PROMETIO (145)	Sm SMITIO 150.36	Eu EUROPIO 151.96	Gd GADOLINIO 157.25	Tb TERBIO 158.93	Dy DISPROSIO 162.50	Ho OLMIO 164.93	Er ERBIO 167.26	Tm TULIO 168.93	Yb ITTERBIO 173.05	Lu LUTEZIO 174.97
ATTINIDI	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac ATTINIO (227)	Th TORIO 232.04	Pa PROTOATTINIO 231.04	U URANIO 238.03	Np NETTUNIO (237)	Pu PLUTONIO (244)	Am AMERICIO (243)	Cm CURIO (247)	Bk BERKELIO (247)	Cf CALIFORNIO (251)	Es EINSTEINIO (252)	Fm FERMIO (257)	Md MENDELEVIO (258)	No NOBELIO (259)	Lr LAWRENTIO (262)

URANIO:
pesante

FISSIONE

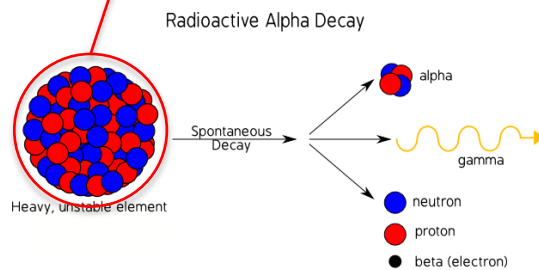
La reazione a catena va continuamente limitata altrimenti....



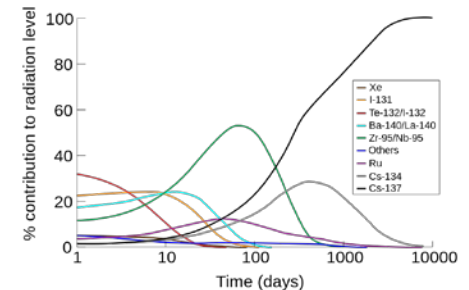
Chernobyl 1986



Fukushima 2011



Mutazioni genetiche
Cancerogenesi
Danni immediati

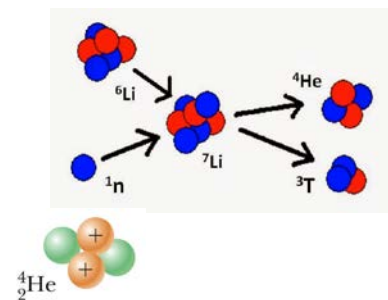
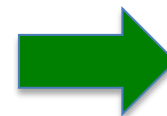


per tempi enormi

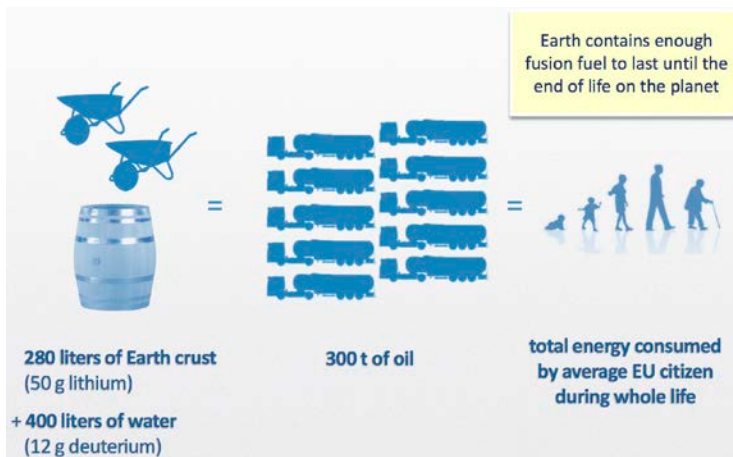
FUSIONE



senza radiazioni
gas serra
inquinanti



INEUSARIBILE

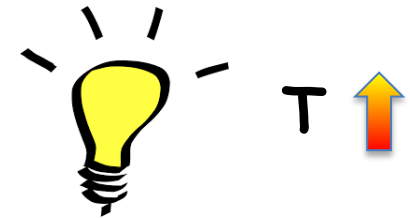
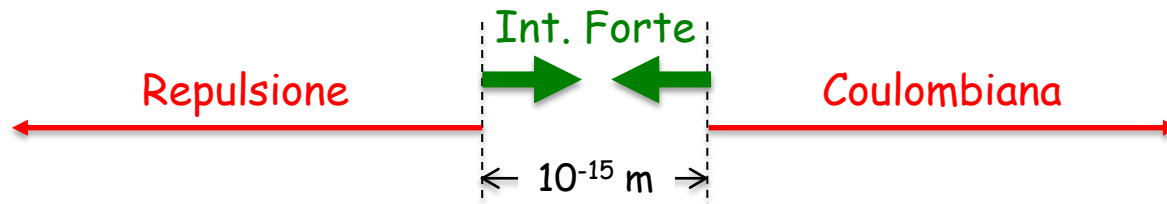


INTRINSECAMENTE
SICURA

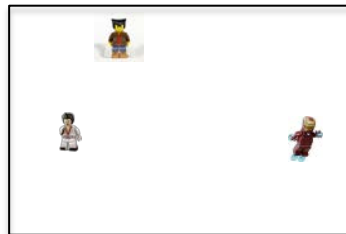
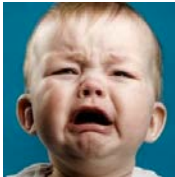
La reazione di Fusione va continuamente "sostenuta"

FUSIONE - la parte difficile

Per innescare la fusione dobbiamo portare i nuclei a distanze $\approx 10^{-15}$ m



NON BASTA!



CONFINAMENTO



$n \cdot T \cdot t$

n = densità

T = temperatura

t = tempo di confinamento

Nella reazione D-T deve essere

$> 3 \times 10^{21} \text{ m}^{-3} \text{ kev sec}$

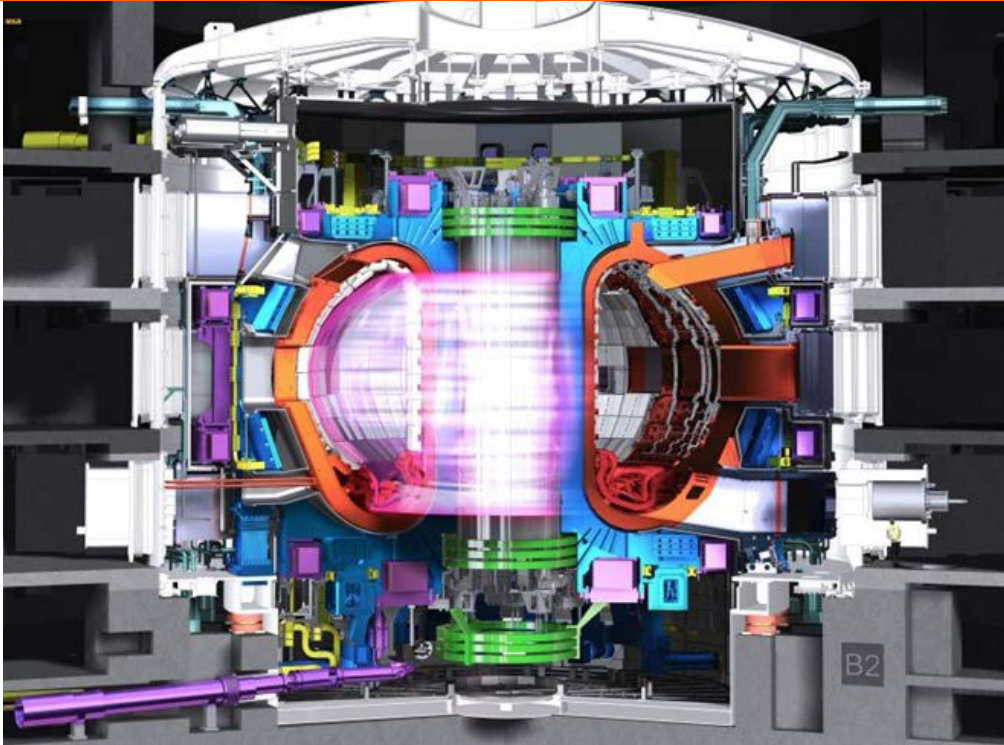


T bassa (15,7 Milioni di °C)

Confinamento molto efficiente: GRAVITAZIONALE

ITER

1° Reattore Termo-Nucleare a Fusione



35 Nazioni impegnate nel realizzare la più grande sfida scientifica mai intrapresa dall'umanità

Quanto costerà????
(diametro 28 metri)



23000 Tonn - 8000 Tonn solo per la camera del Plasma (più della Tour Eiffel)

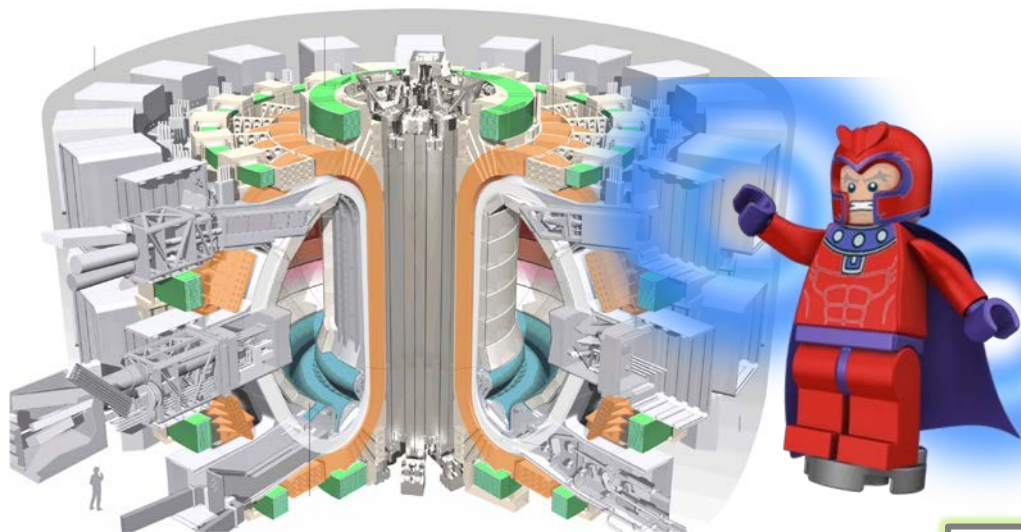
Da 150 milioni di °C a -269 °C (4.2 K) in pochi cm

16000 m³ di camera da vuoto (≈1.5x volume della cupola di San Pietro)

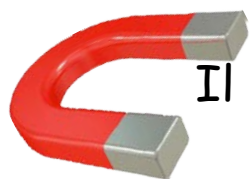
ITER - Confinamento

"тороидальная камера с магнитными катушками" ТОКАМАК

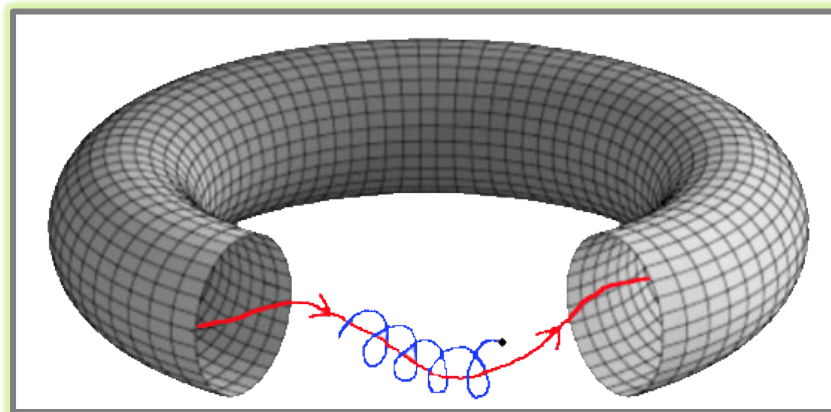
CONFINAMENTO MAGNETICO



- Magneti toroidali
- Magneti poloidali
- Magnete centrale

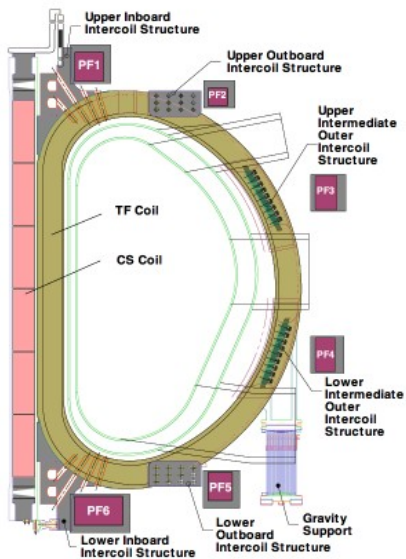


Il Plasma è costretto a circolare
su traiettorie elicoidali con
densità elevatissime



E il Superconduttore?

In ITER l'intero sistema magnetico è SUPERCONDUTTIVO (LTS)



18 TF da ≈ 310 tonn e 12 T

6 PF da ≈ 400 tonn e 6 T

1 CS da ≈ 1000 tonn e 13.5 T

Per un totale di

> 9000 tonn

e un energia magnetica di

> 51 GJ

Sono i componenti più grandi e la voce di spesa maggiore dell'intero reattore

$\approx$ peso di un Boeing 747-300 a pieno carico



Décollage d'un B747-300 d'Air France
An Air France B747-300 on take-off

Photographe / Photographer : Ph DELAFOSSE Ref : 014146
Tout usage sauf publicitaire / Not for advertising purposes

> Energia di un Boeing 747-300 a velocità di crociera

Superconduttività



Il ruolo ENEA



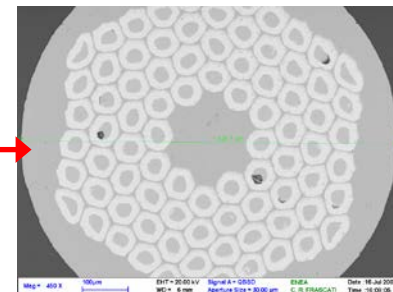
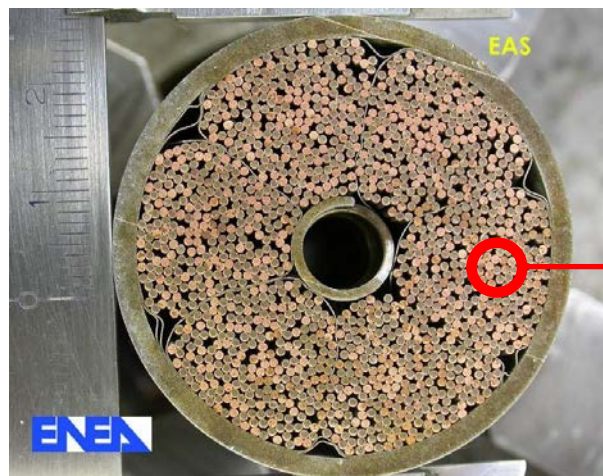
R&D sui cavi LTS per ITER (e non solo)



Produzione di cavi superconduttori in NbTi, Nb₃Sn e MgB₂ (reattori a fusione, LHC)

oltre a...

Caratterizzazioni magnetiche ed elettriche dei fili
(alte correnti, stress applicato)
Test di qualità sui cavi



E gli HTS per la fusione?

HTS 4 Fusion

Coated-Conductor: tecnologia abilitante ... del futuro ... prossimo

Ci sono ancora diversi problemi da risolvere



COSTO

Processo di produzione complesso = alto costo del prodotto



PRESTAZIONI

Possono (e devono) essere ancora migliorate



Processi
INDUSTRIALI

E' difficile produrre grandi lunghezze



**ANCORA
TROPPO ALTO!!**

MA IN RAPIDA DISCESA!!

HTS 4 Fusion

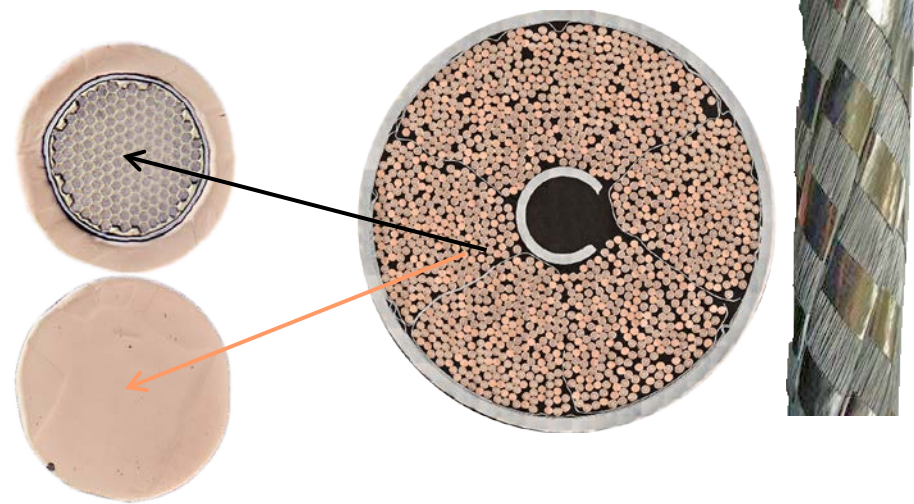
'Cabling Technology' da reinventare completamente

LTS:

Cavi multifilamentari 'twistati'



L. Muzzi ore 12:00

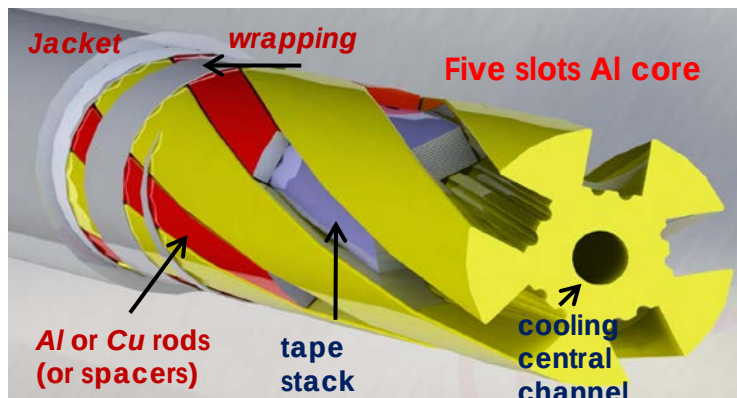


HTS: Nuovo concetto di cavo (ENEA)

In corso di validazione
(prop.elettriche, a.c., criogeniche, meccaniche,)

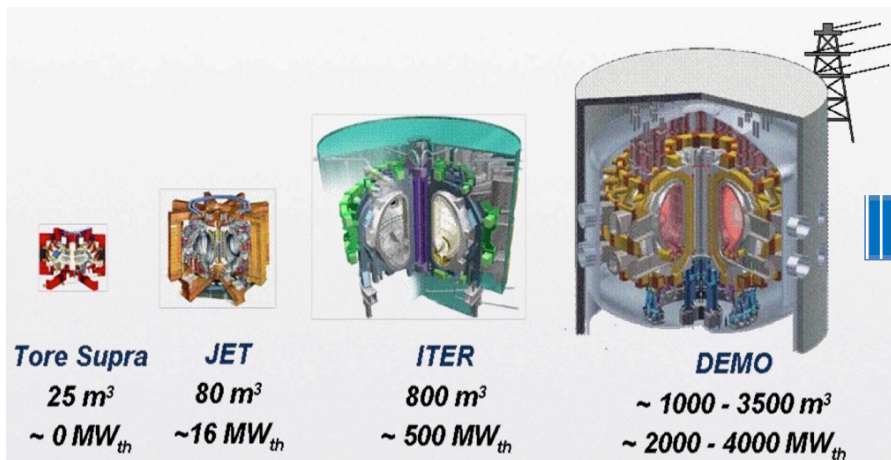


G. Celentano ore 11:20



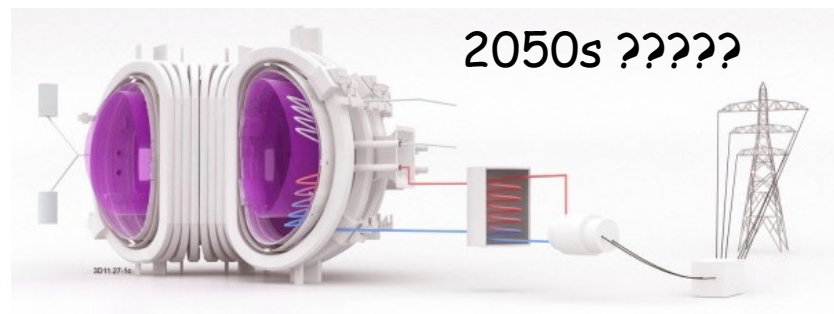
What's next? DEMO

ITER è solo il prossimo passo verso la realizzazione di reattori commerciali....



ITER non produrrà energia elettrica, dimostrerà che è possibile

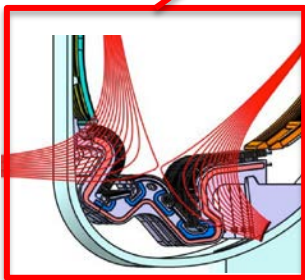
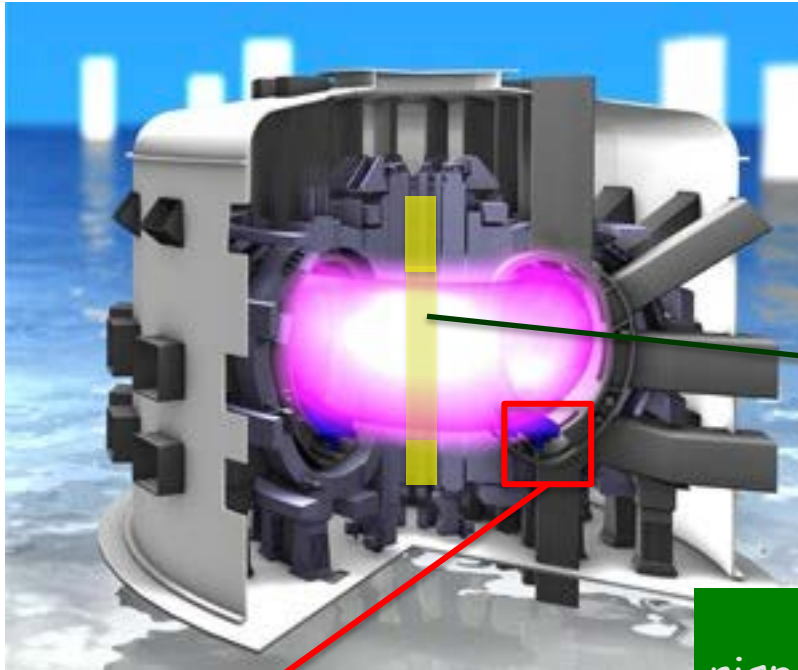
La possibilità dell'utilizzo di HTS in DEMO è ancora in discussione (seppur improbabile)



Ultimo step prima dei reattori commerciali

Produrrà la prima energia elettrica da fusione

E nel frattempo DTT



Fornirà
risposte in vista di
DEMO

Problema del "DIVERTORE"

Elevato flusso termico in una singola zona

Divertor Tokamak Test

Progetto Italiano da 500 M€

Verrà costruito entro il 2025 nel
C.R. ENEA di Frascati

Sistema magnetico interamente LTS

Progetto per un inserto HTS

1° applicazione di HTS in reattori
a fusione **nel mondo**



Fine terza parte

Thank you for your

85	52	7	22	8	7
At	Te	N	Ti	O	N
Astatine (209.9871)	Tellurium 127.60	Nitrogen 14.0067	Titanium 47.867	Oxygen 15.9994	Nitrogen 14.0067

