



Università degli studi di Genova  
CNR-SPIN Genova



# LA SUPERCONDUTTIVITÀ ELETTRONI IN BALLO

ART & SCIENCE 2019

Giulia Sylva  
giulia.sylva@spin.cnr.it

# ARGOMENTI TRATTATI

Storia della superconduttività e materiali superconduttori

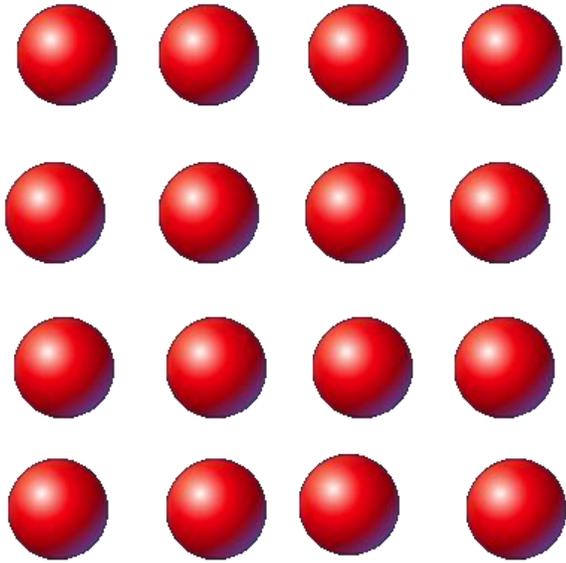
Proprietà magnetiche dei superconduttori

Il fenomeno della  
superconduttività

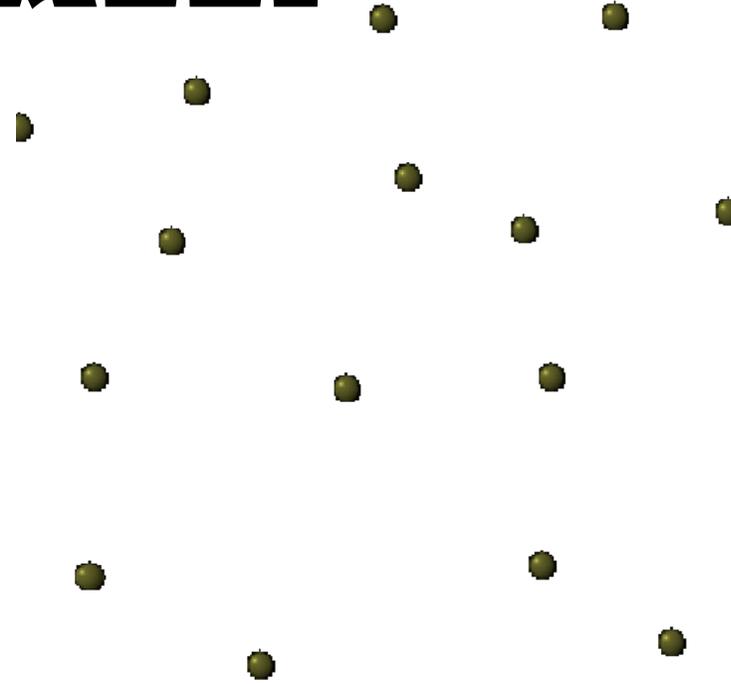
La conduzione elettrica  
nei metalli



# LA CONDUZIONE ELETTRICA NEI METALLI

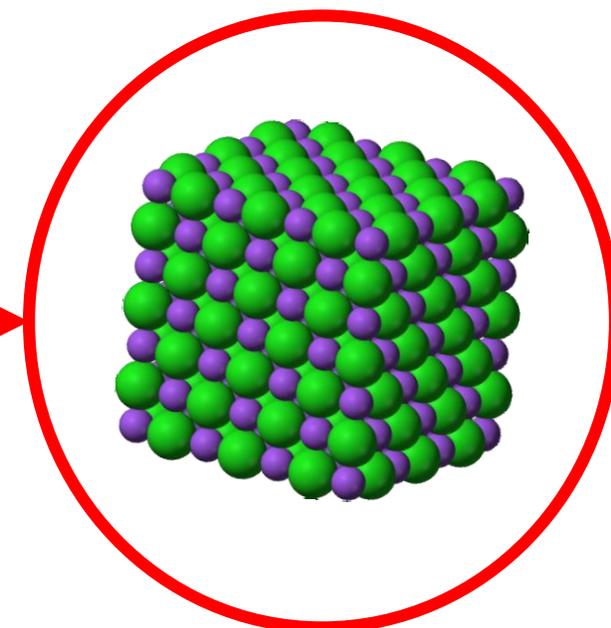


**IONI POSITIVI**  
Disposti in modo regolare  
(Reticolo)

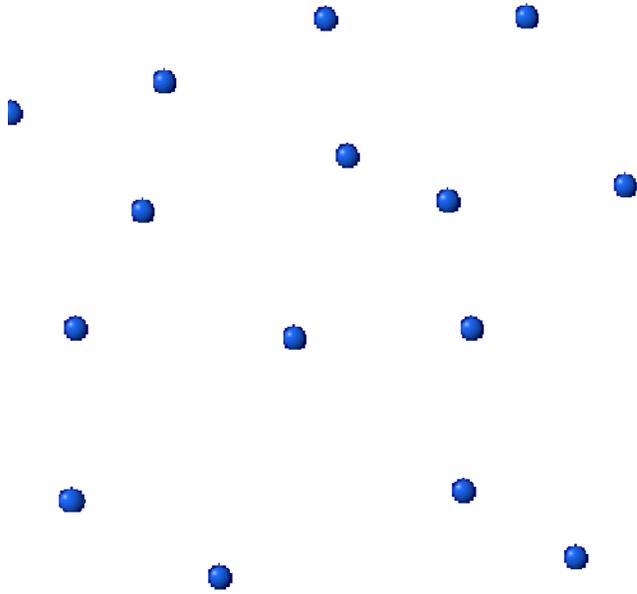


**ELETTRONI DI CONDUZIONE**  
Liberi di muoversi (mare di elettroni)

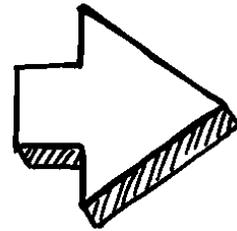
# LA CONDUZIONE ELETTRICA NEI METALLI



# LA CONDUZIONE ELETTRICA NEI METALLI



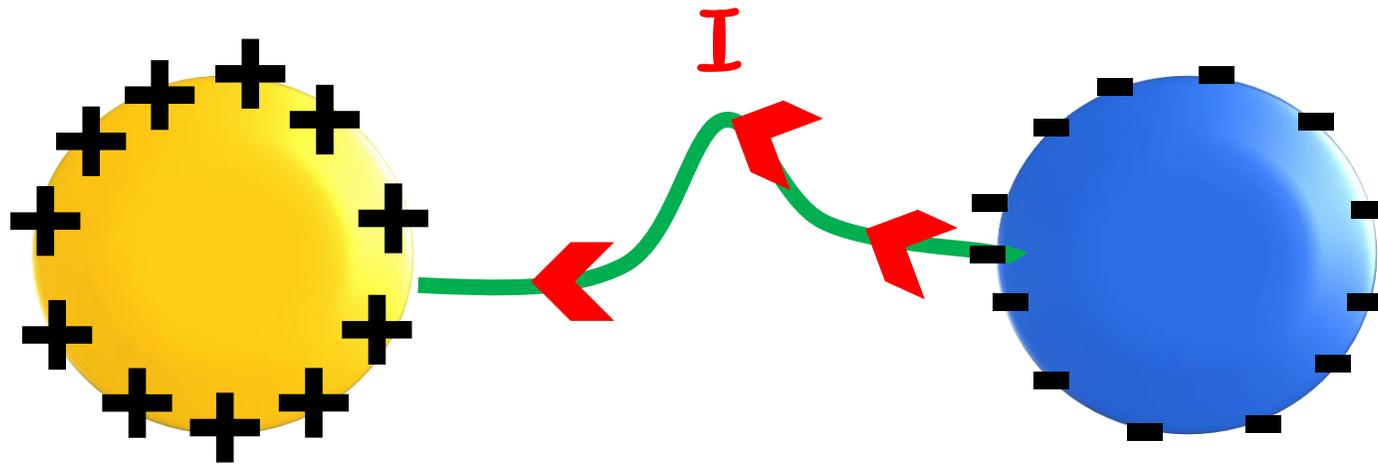
Velocità  $\approx 1500$  km/s  
(nel rame)



Gli elettroni si muovono in modo casuale e:  
**Non c'è una corrente netta**

# LA CORRENTE ELETTRICA

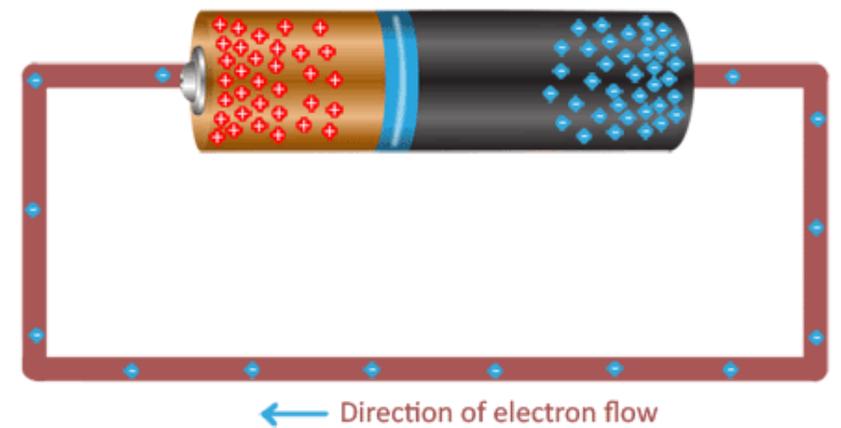
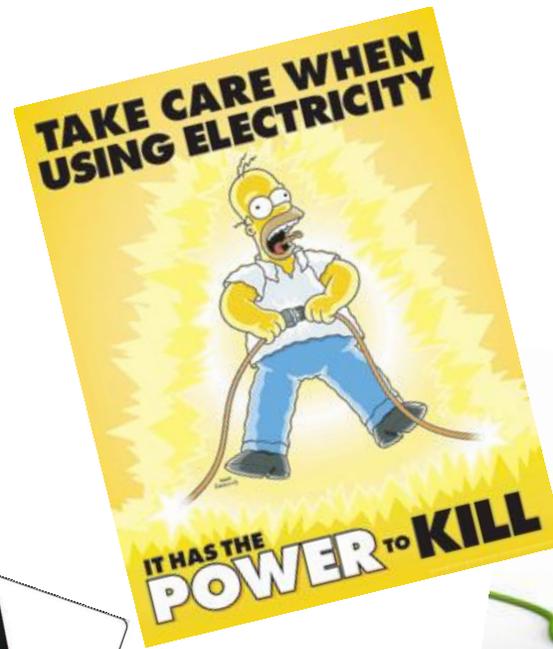
Per avere una corrente elettrica devo applicare una **Differenza di Potenziale (V)**



Manca di elettroni

Eccesso di elettroni

# LA DIFFERENZA DI POTENZIALE



(Conventionally, direction of current is shown from positive to negative)

# LA PRIMA LEGGE DI OHM

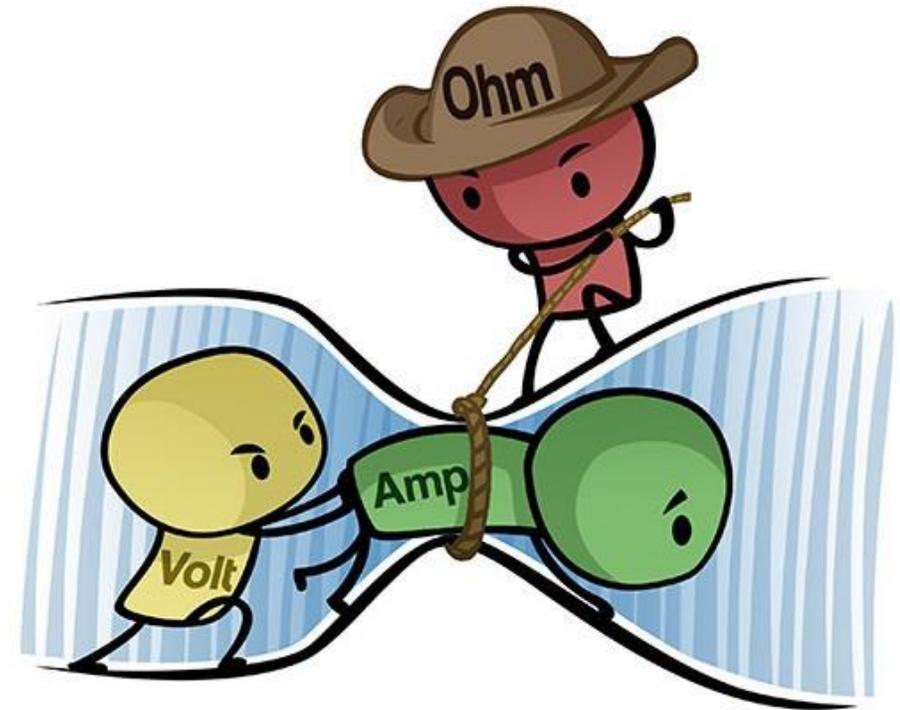
$$V = IR$$

$V$  = Differenza di potenziale

$I$  = Corrente elettrica

$R$  = Resistenza elettrica

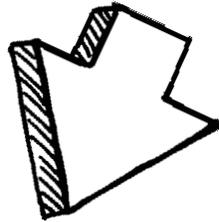
La resistenza elettrica è una proprietà intrinseca del materiale che limita la corrente elettrica



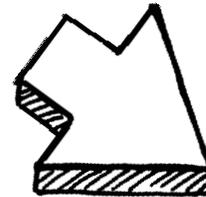
# LA RESISTENZA ELETTRICA

La resistenza elettrica ( $R$ )

È provocata da **URTI** durante i quali gli elettroni perdono energia



Urti contro gli ioni del reticolo?

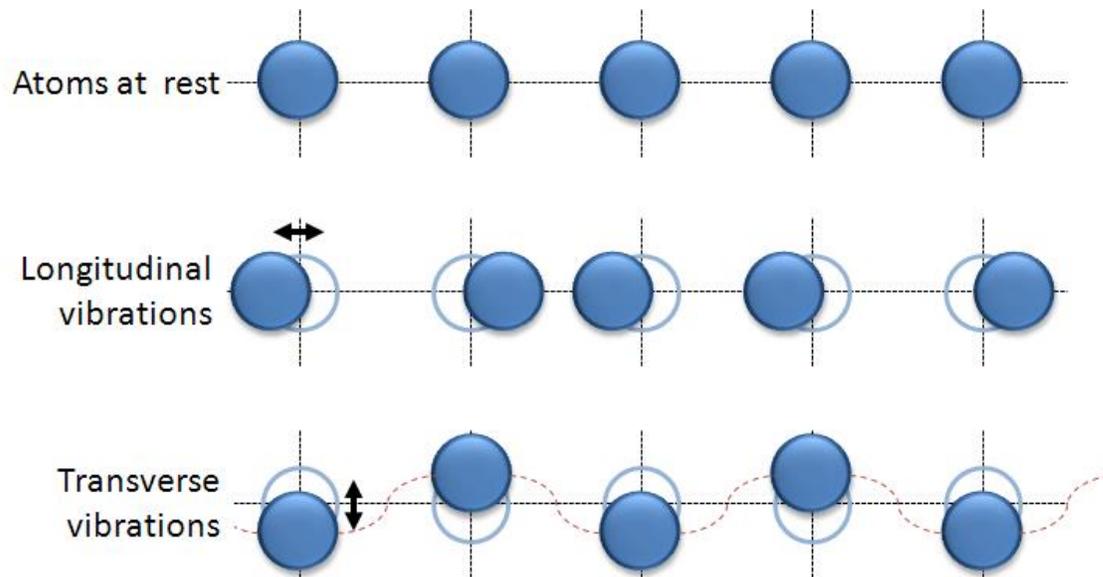


Urti contro impurezze del reticolo

# LA RESISTENZA ELETTRICA

Urti contro gli ioni del reticolo? → Gli urti avvengono con gli ioni perché questi oscillano a causa dell'energia termica

Questo contributo diminuisce al diminuire della temperatura



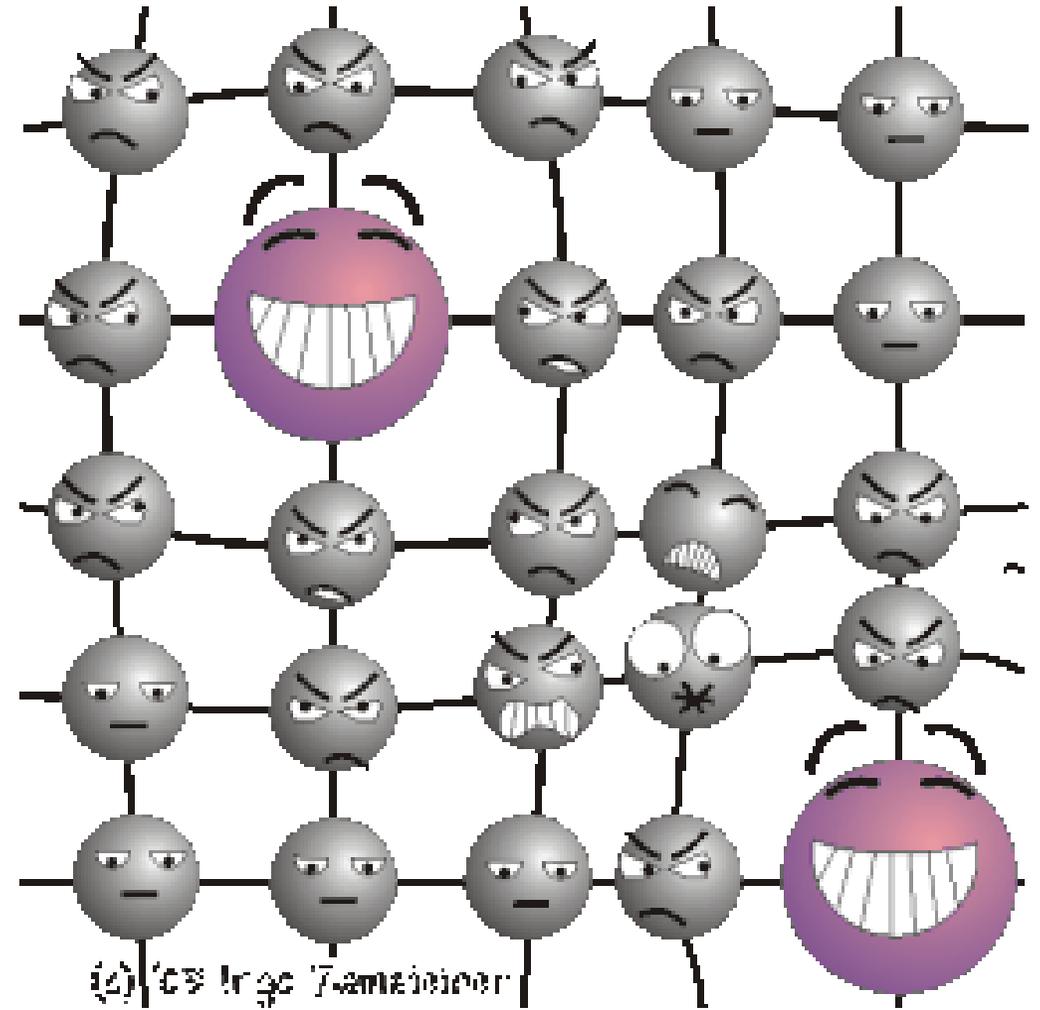
Le oscillazioni termiche del reticolo vengono chiamate **FONONI**

# LA RESISTENZA ELETTRICA

Urto contro impurezze del reticolo

→ le impurezze non rispettano la periodicità del reticolo

Questo contributo dipende solo dalla chimica del materiale e non dalla temperatura, quindi per un metallo la resistenza non sarà mai nulla

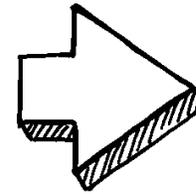


# EFFETTO JOULE

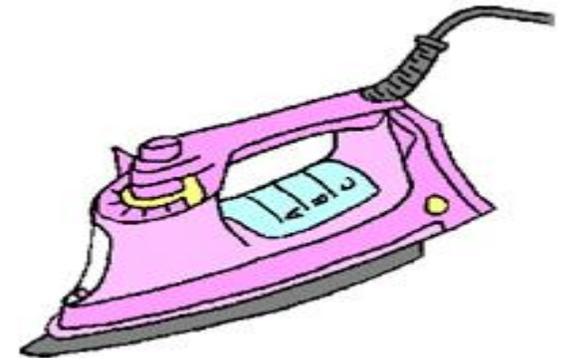
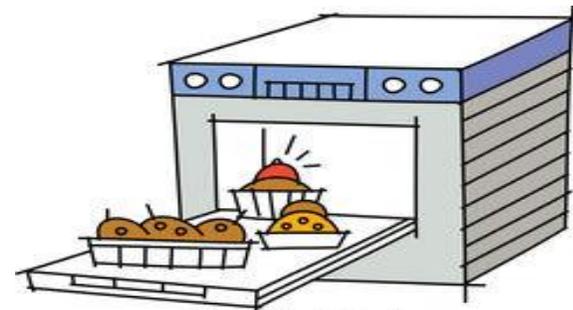
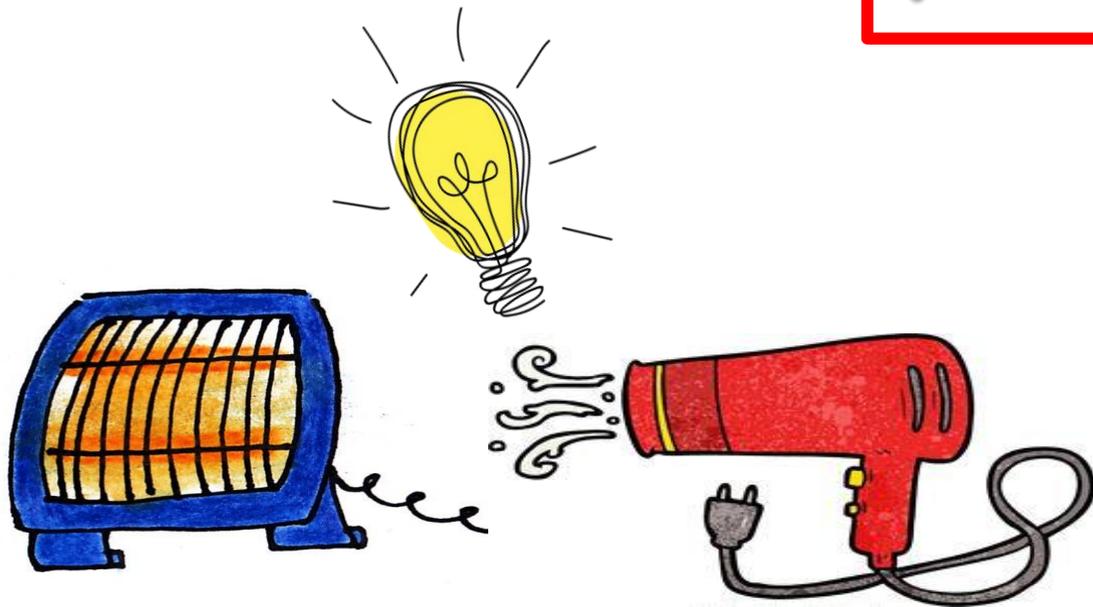
L'energia persa dagli elettroni durante gli urti si trasforma in calore = EFFETTO JOULE

Potenza dissipata

$$P=RI^2$$



Energia persa  
in un secondo

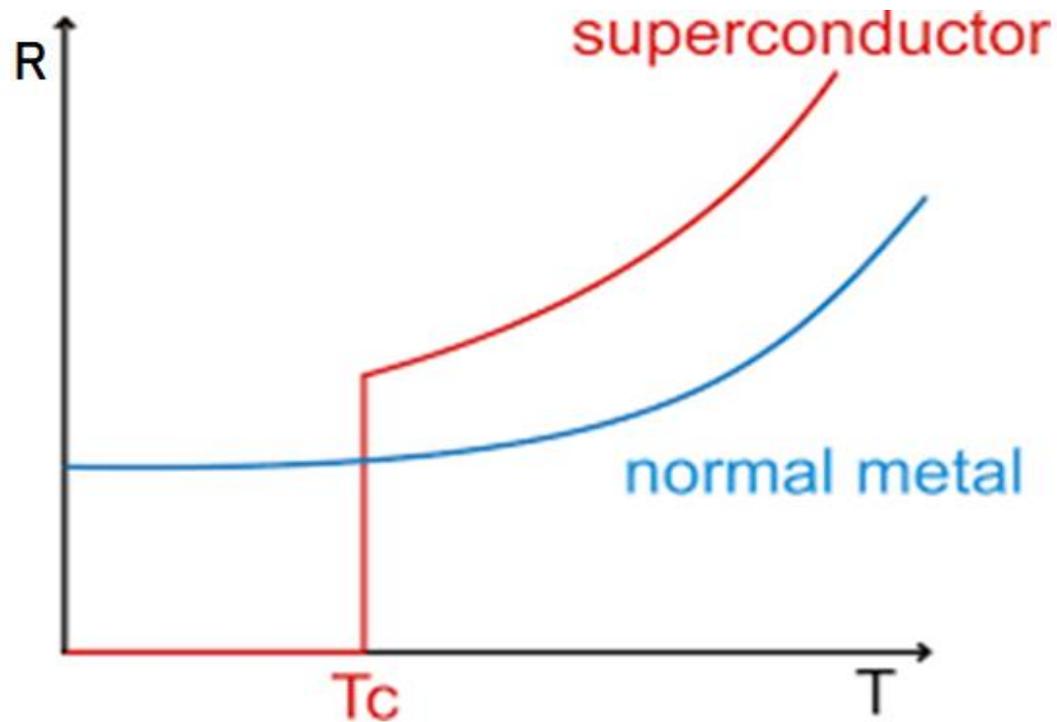


# I SUPERCONDUTTORI



# SUPERCONDUTTIVITÀ

La superconduttività è un fenomeno fisico che comporta la **resistenza elettrica nulla**

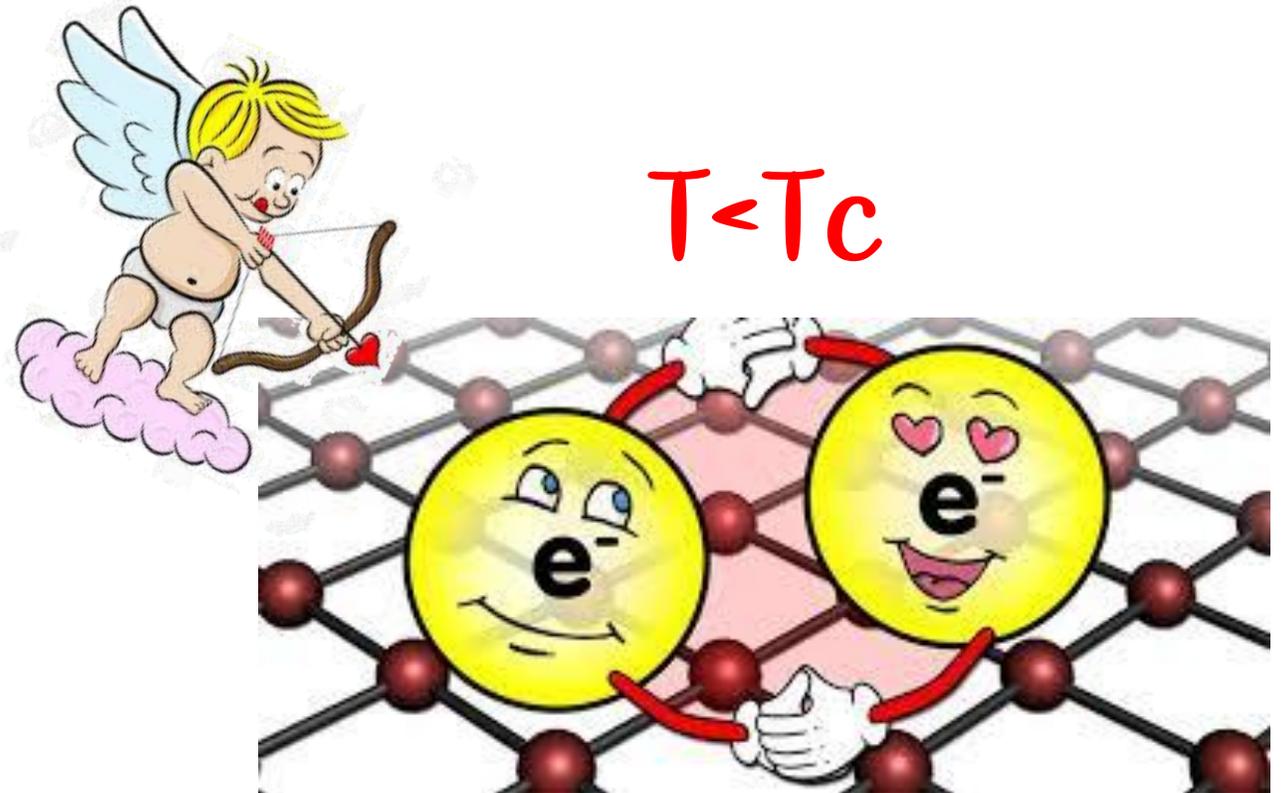
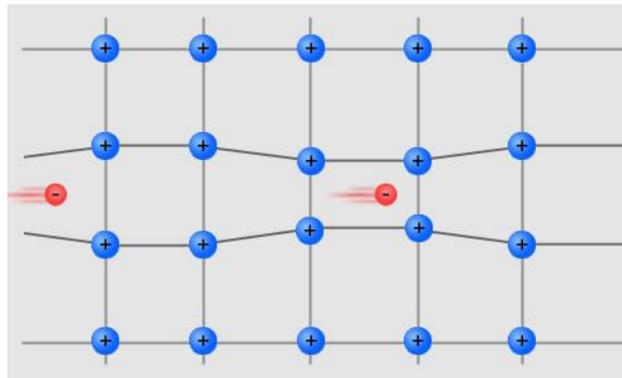


La resistenza nulla si verifica al di sotto una certa temperatura chiamata **TEMPERATURA CRICA ( $T_c$ )** tipica di ogni materiale

# LE COPPIE DI COOPER

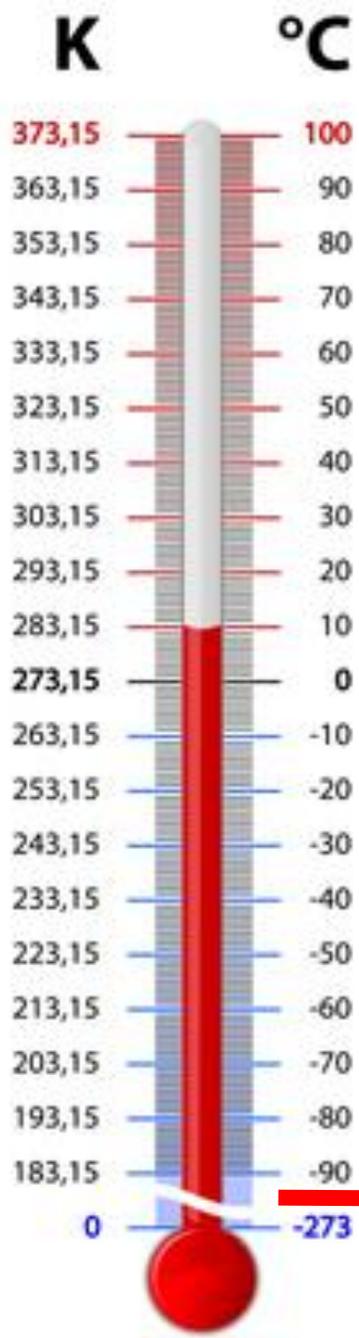
Alla base della superconduttività c'è un fenomeno di **accoppiamento degli elettroni** mediata da reticolo cristallino (fononi)

Le coppie sono dette **"Coppie di Cooper"**, e rimangono intatte fino alla Temperatura critica



# LA TEMPERATURA CRITICA

Gradi Kelvin [K]  $\rightarrow$   $K = ^\circ C + 273$



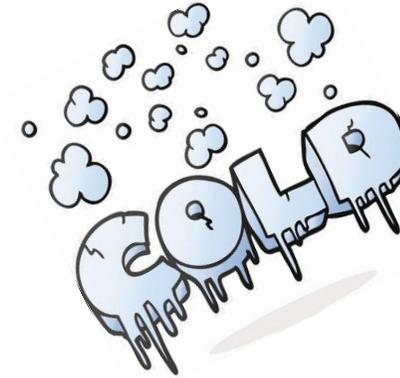
Temperatura ambiente

Congelamento dell'acqua

Notte più fredda a Genova

Posto più freddo della terra

Zero Assoluto

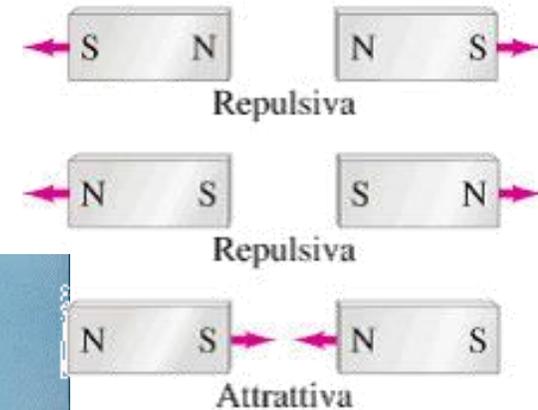


$$4 \text{ K} < T_C < 100 \text{ K}$$

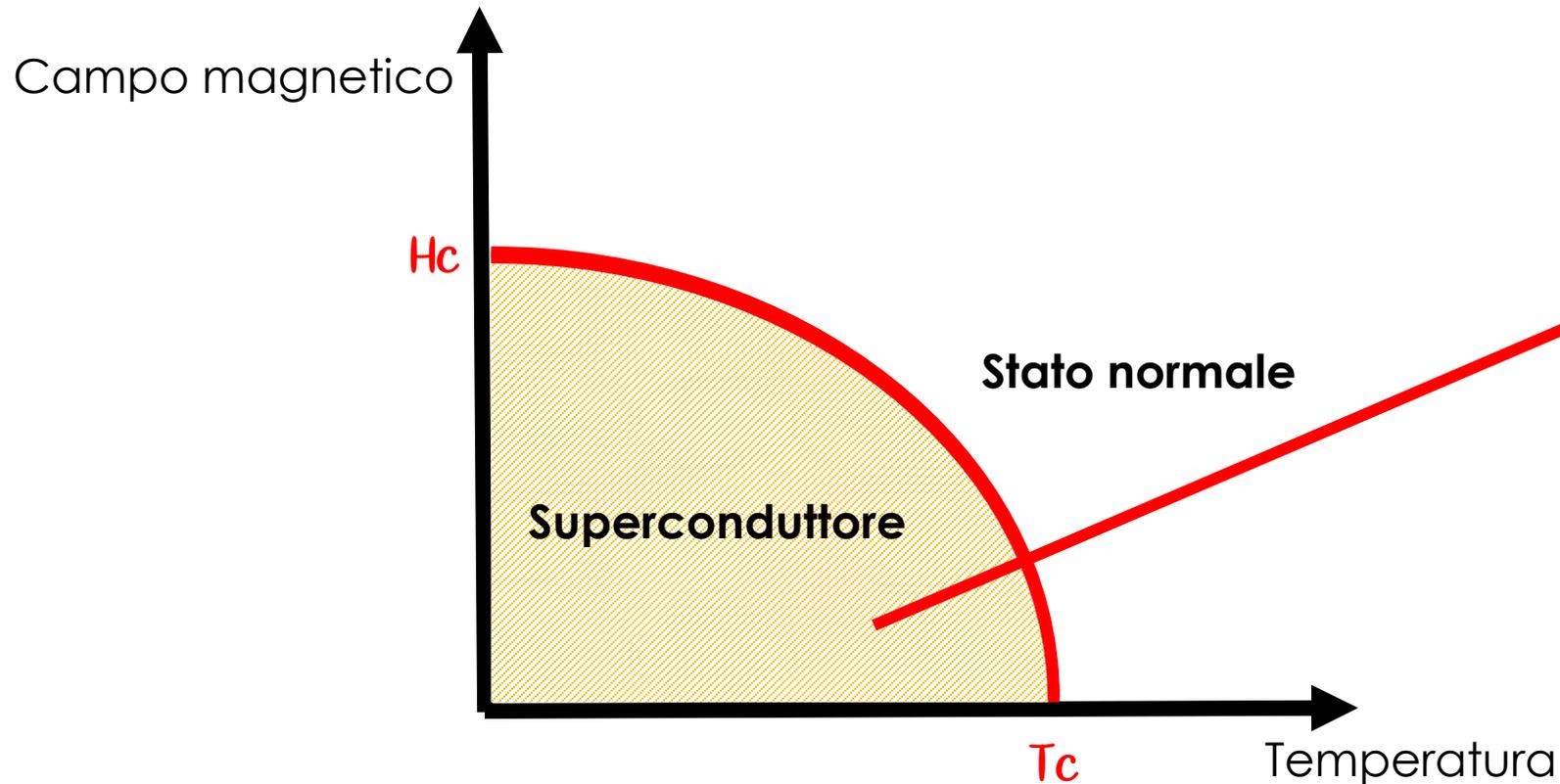
# EFFETTO MEISSNER

La superconduttività Non comporta solo resistenza nulla ma anche **espulsione del campo magnetico** (Effetto Meissner)

L'espulsione del campo si verifica al di sotto un certo valore di campo magnetico chiamato **Campo critico** ( $H_c$ ) tipico di ogni materiale

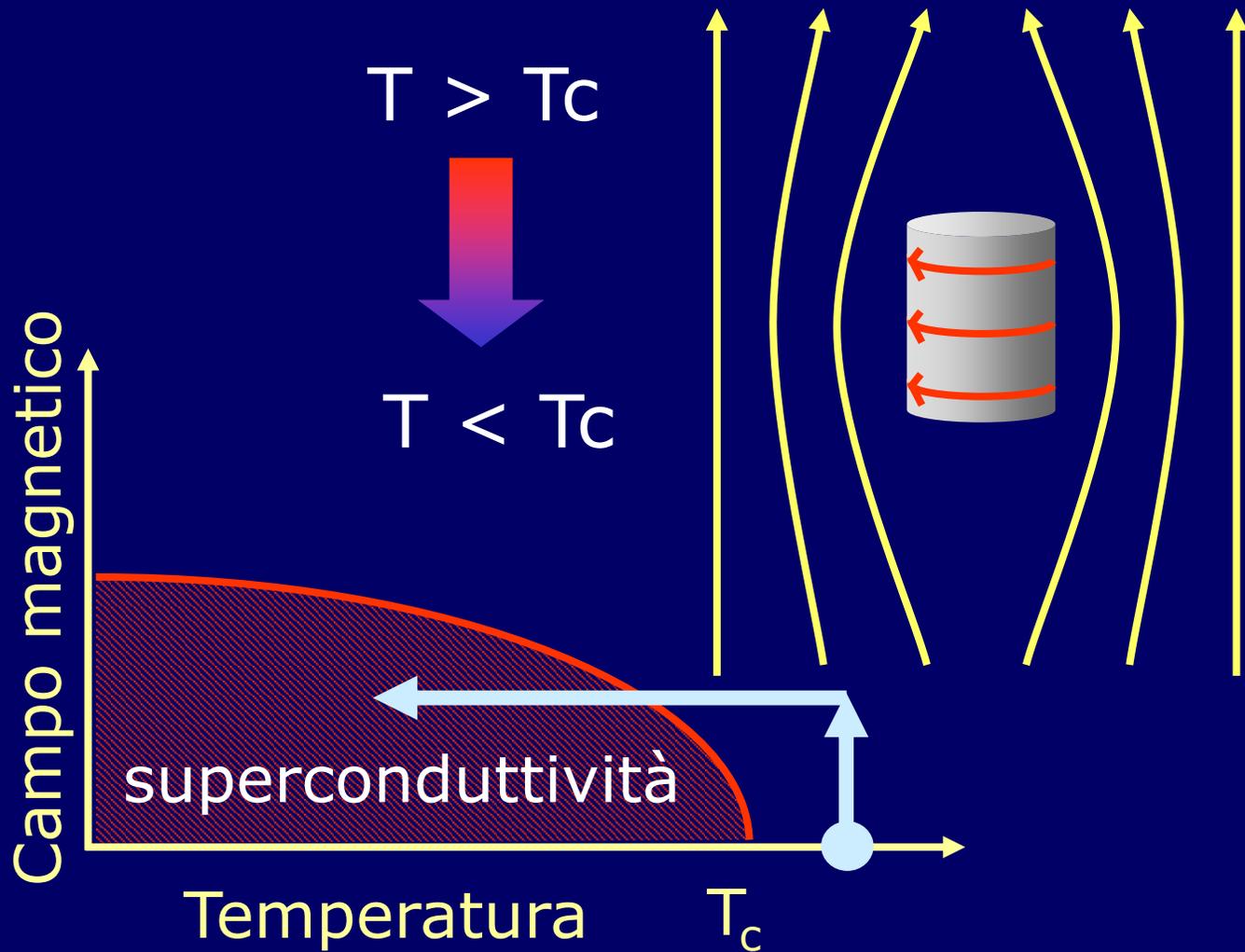


# DIAGRAMMA DI STATO DI UN SUPERCONDUTTORE



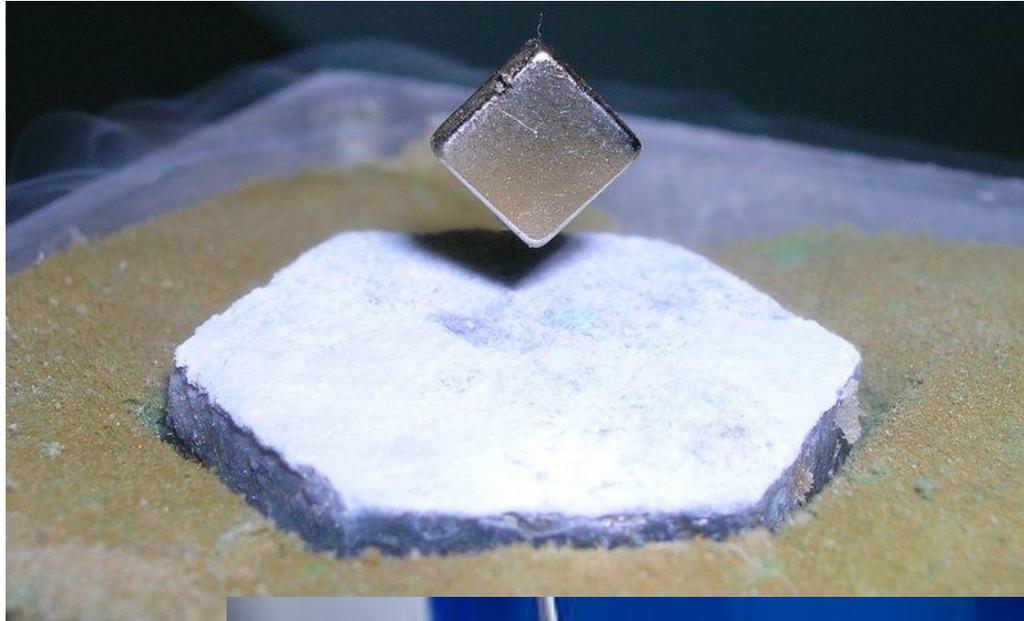
Nella regione superconduttiva si verificano i fenomeni della resistenza nulla e dell'espulsione del campo magnetico

# EFFETTO MEISSNER



L'espulsione del campo magnetico avviene tramite la generazione di correnti superficiali che inducono, all'interno del superconduttore, un campo magnetico opposto a quello applicato.

# LEVITAZIONE MAGNETICA



Azoto liquido

## Maglev Train

A wonder of engineering, the train in Shanghai travels as fast as a plane, reaching speeds of up to 501 km/h (311 miles/h). No other passenger train travels as fast. Driverless, the Maglev "floats" on a bed of air.

**Magnetic levitation system**  
A system that uses a significant number of electromagnets for the purposes of vehicle suspension, steering and propulsion. The lack of contact between the train and the rail reduces friction to almost zero.

**ELECTROMAGNETIC SUSPENSION SYSTEM**  
Uses the principle of attraction and repulsion between two magnetic fields to keep the train suspended a few inches above the rail.

**FRONT VIEW**  
The Maglev is steered by an electric control system.

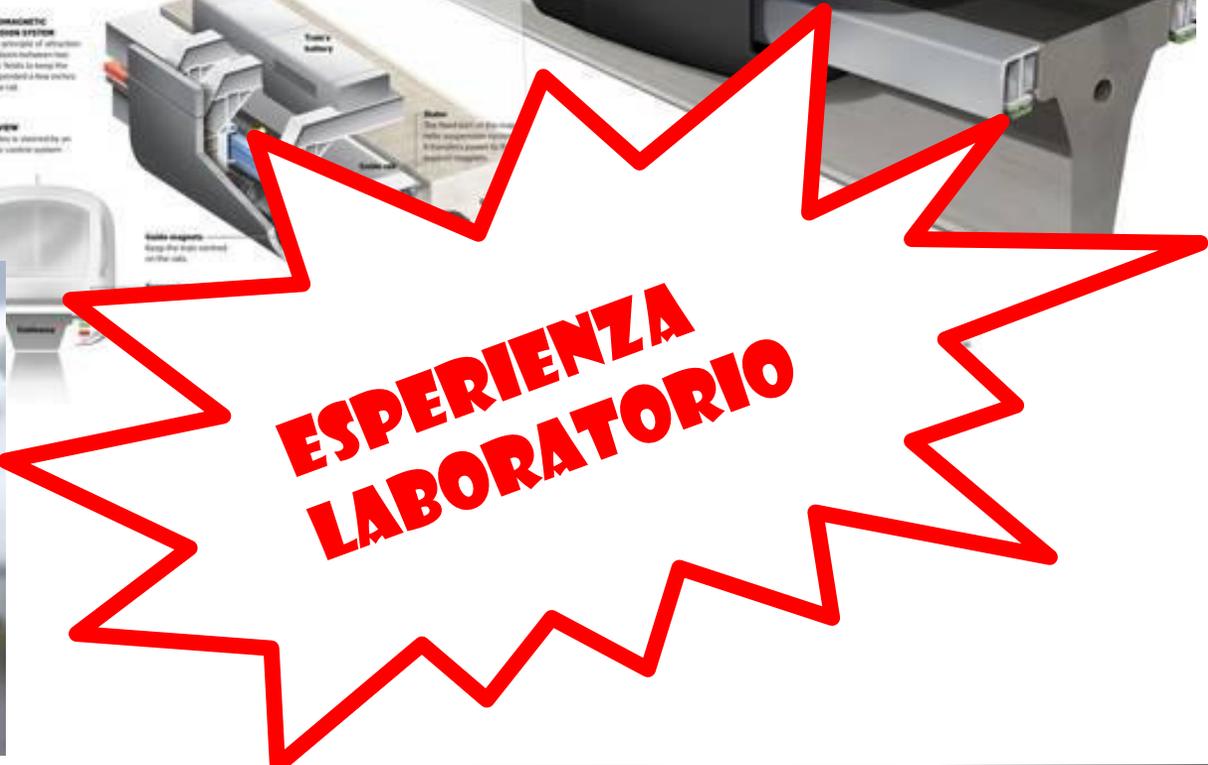


**Rails magnets**  
Keep the train centered on the rails.

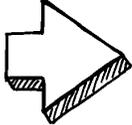


**HIGH-SPEED VEHICLE**  
The Shanghai Maglev is the first commercial high-speed train employing magnetic levitation in the world. The line spans a 30 km (18.6 miles) distance between the centers of Shanghai and Pudong International Airport, using special routes to complete the journey. The Maglev runs every 15-30 minutes at night.

**TECHNICAL DATA**  
• **TYPE OF TRANSPORT:** magnetic levitation  
• **OPERATIONAL SINCE:** January 2004  
• **MAXIMUM SPEED:** 100 km/h (62 miles/h)

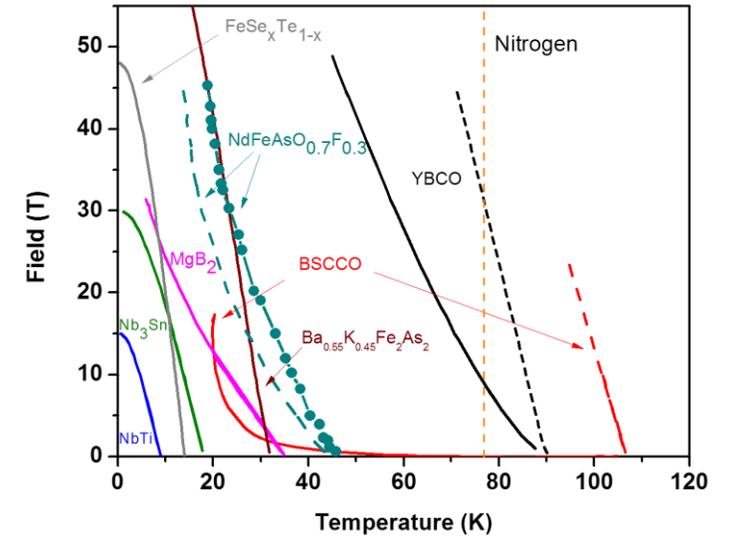


# IL CAMPO MAGNETICO CRITICO

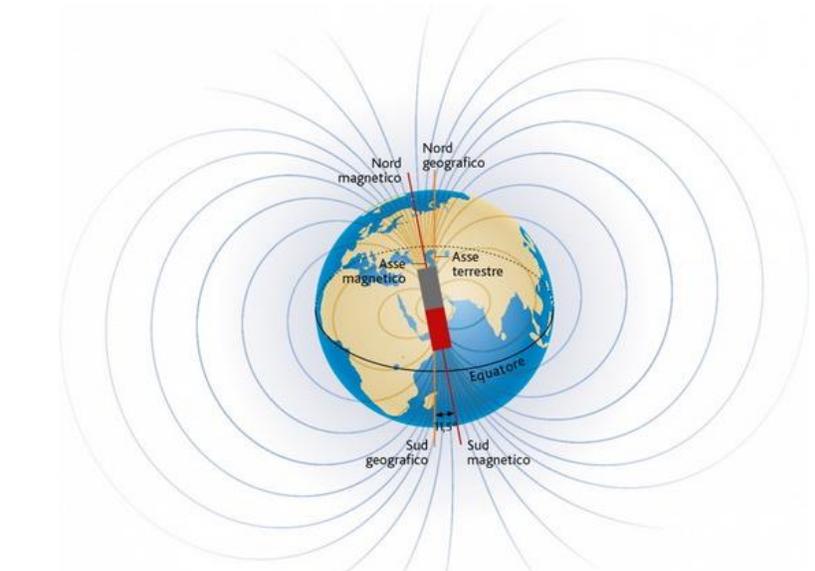
Campo magnetico (H)  Tesla [T]



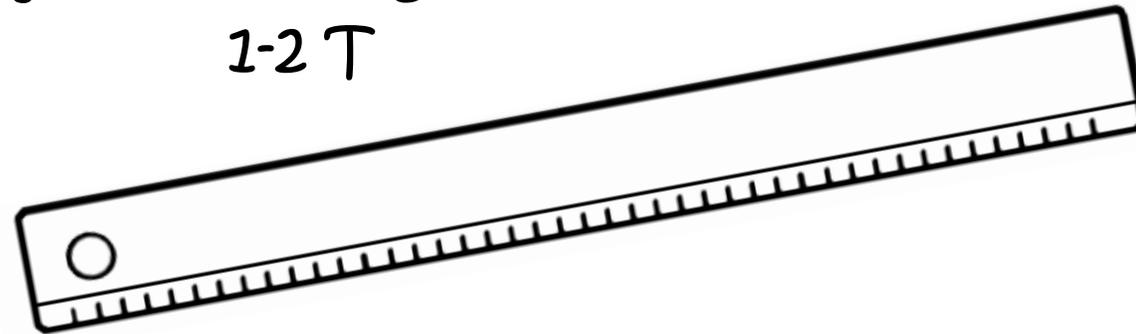
Risonanza magnetica  
1-2 T



Campo critico  
15-60 T

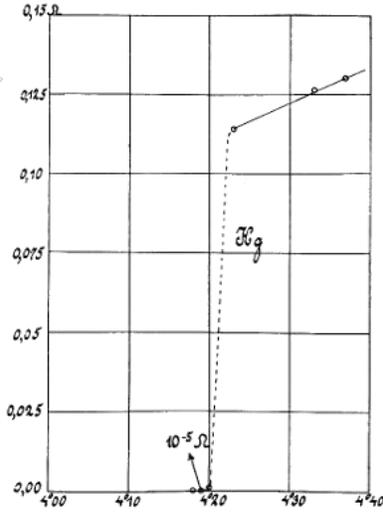
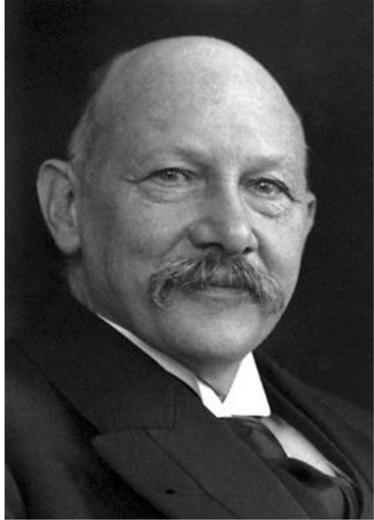


Campo magnetico terrestre  
0.000001 T



# I MATERIALI SUPERCONDUTTORI

## 1911: scoperta della superconduttività



Il primo elemento superconduttore scoperto è stato il **Mercurio (Hg)**

In seguito molti altri elementi si sono rivelati essere superconduttori

KNOWN SUPERCONDUCTIVE ELEMENTS

■ BLUE = AT AMBIENT PRESSURE  
■ GREEN = ONLY UNDER HIGH PRESSURE

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VII	IB	IIA	IIIA	IVA	VIA	VIA	VIA	0		
1 H	4 Be								5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne			
11 Na	12 Mg								13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar			
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 *La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 +Ac	104 Rf	105 Ha	106	107	108	109	110	111	112						

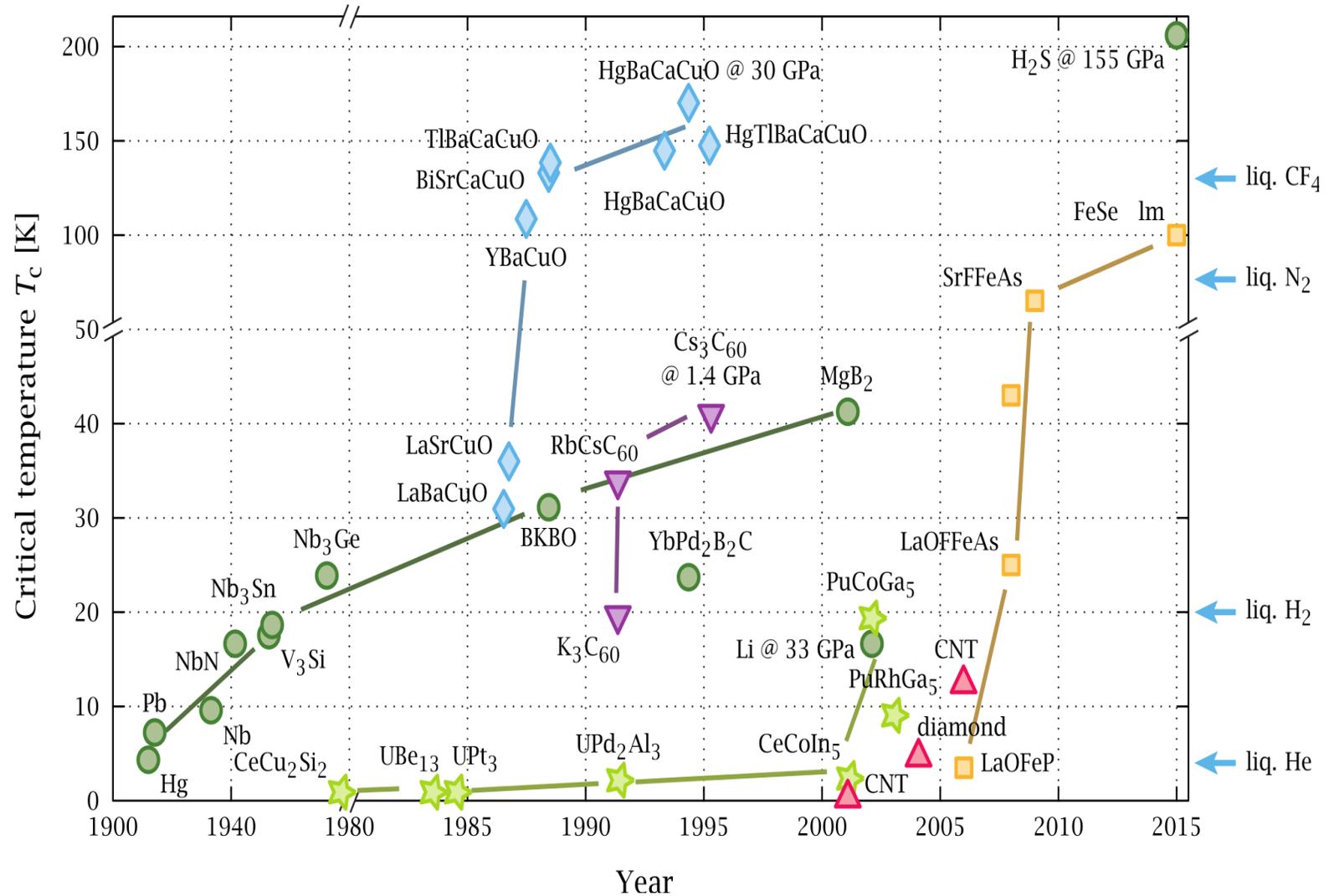
SUPERCONDUCTORS.ORG

\* Lanthanide Series  
+ Actinide Series

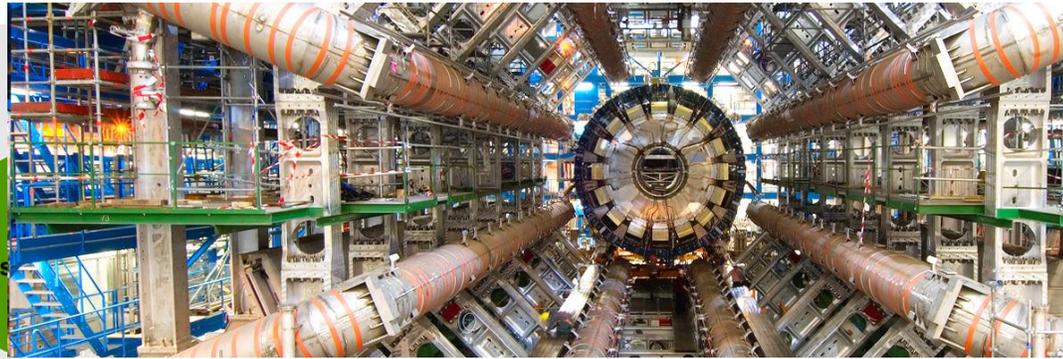
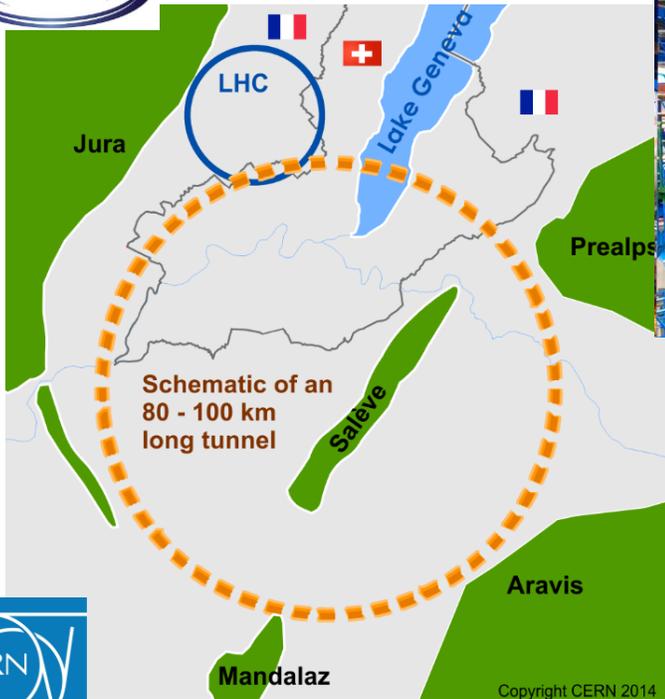
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

# I MATERIALI SUPERCONDUTTORI

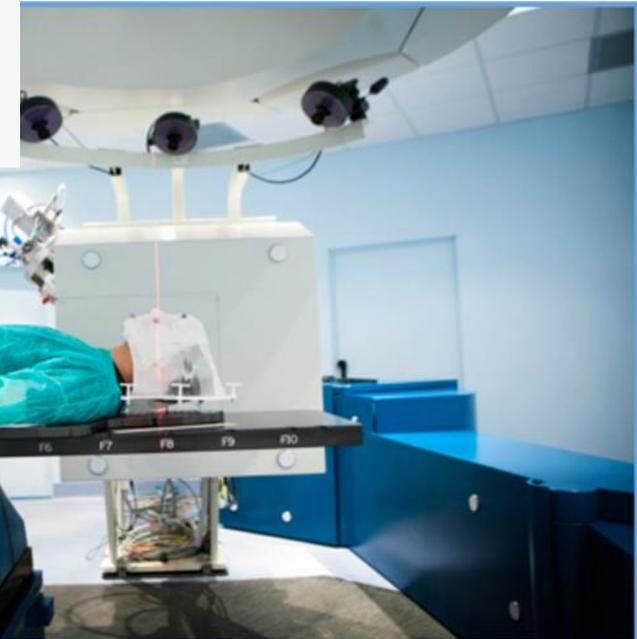
I superconduttori che hanno applicazione tecnologica sono tutti **composti chimici**, che in stato normale possono essere conduttori o addirittura isolanti



# APPLICAZIONI DEI SUPERCONDUTTORI



fondazione  
**CNAO**

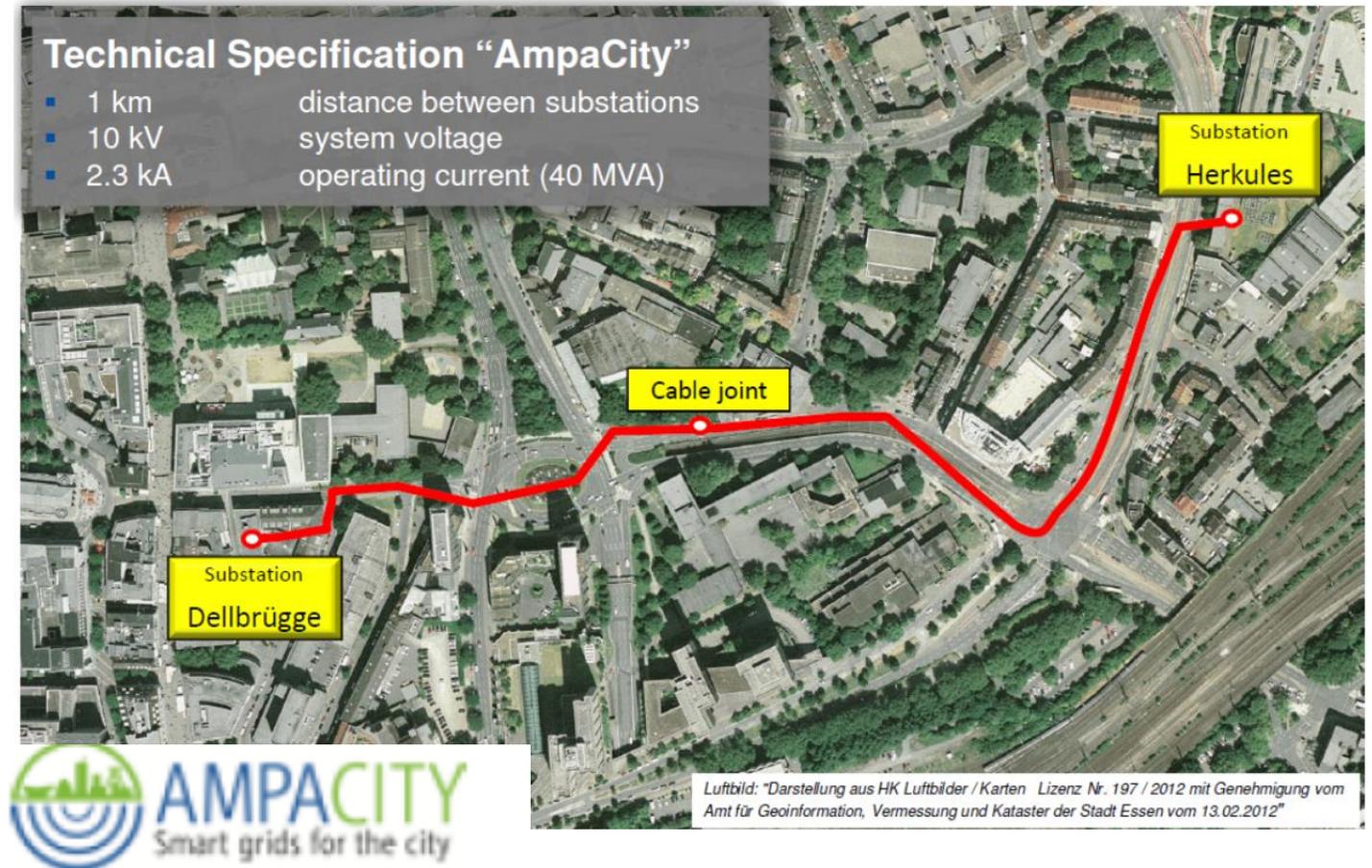
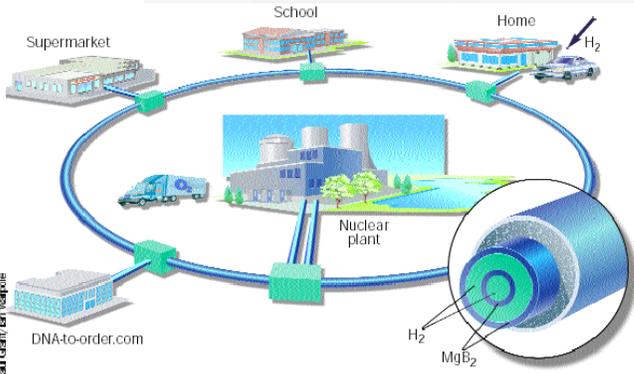
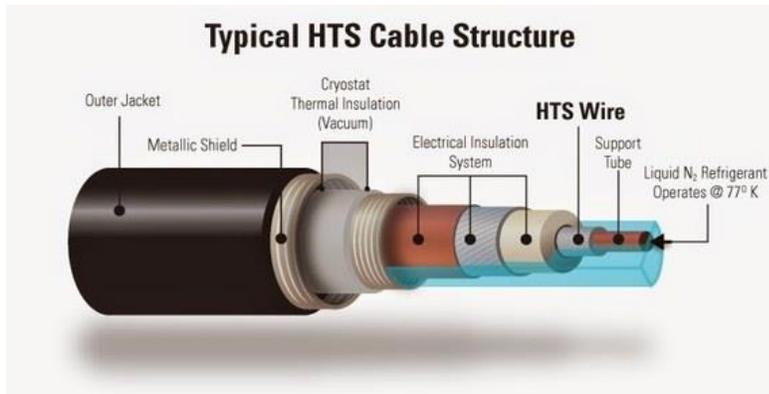


Grandi campi magnetici per scopi  
scientifici o medici

# APPLICAZIONI DEI SUPERCONDUTTORI

Trasporto di energia  
Su grandi distanze

Progetto Pilota nella città di Essen



# APPLICAZIONI DEI SUPERCONDUTTORI



Risonanza  
magnetica

## Trasporti



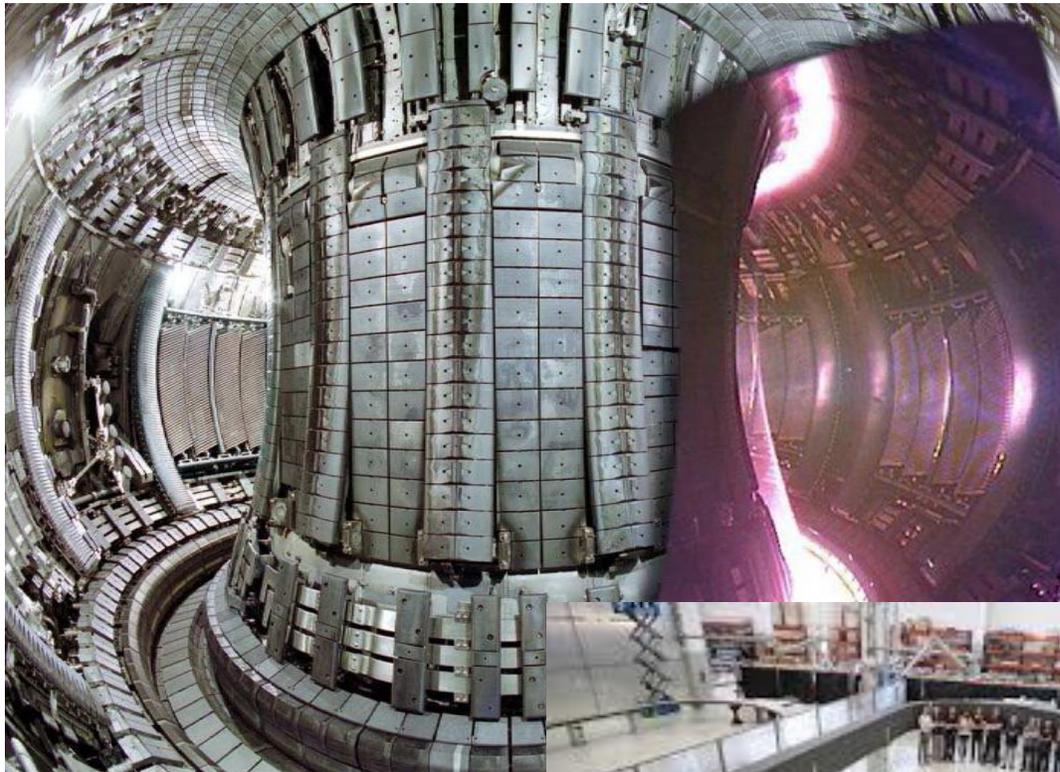
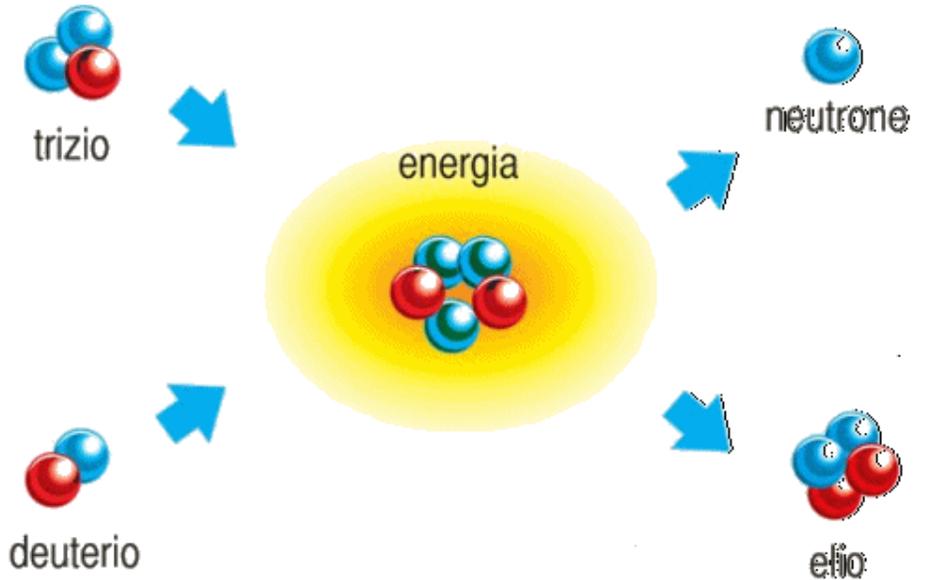
## MagLeV

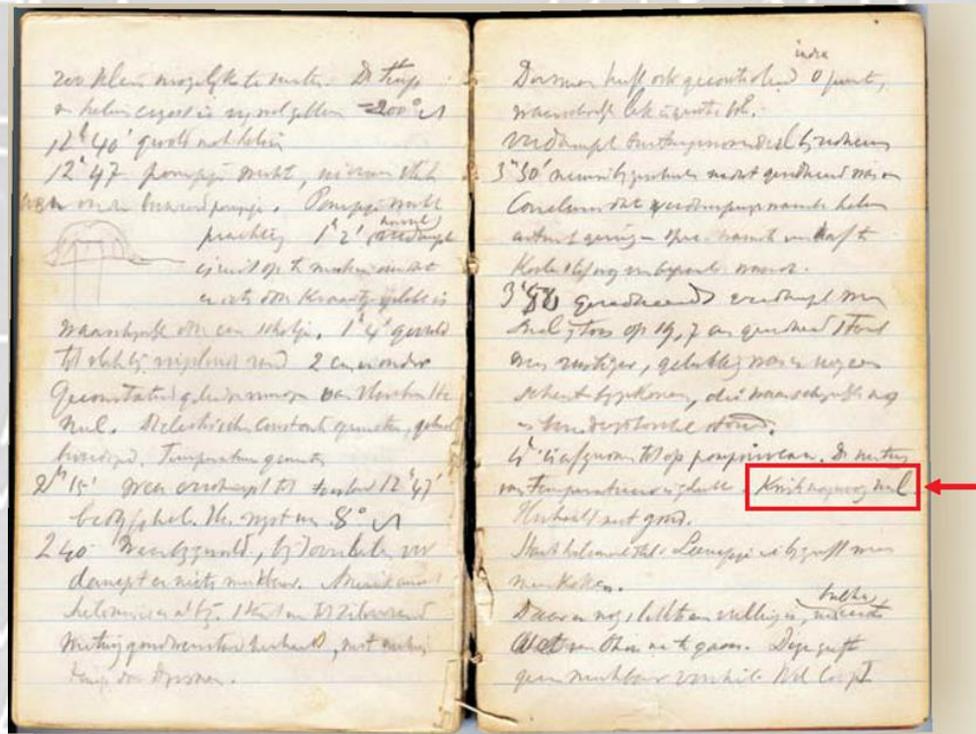
Raggiunge i 350 km/h in due minuti e viaggia ad una velocità di 431 km/h

# APPLICAZIONI DEI SUPERCONDUTTORI

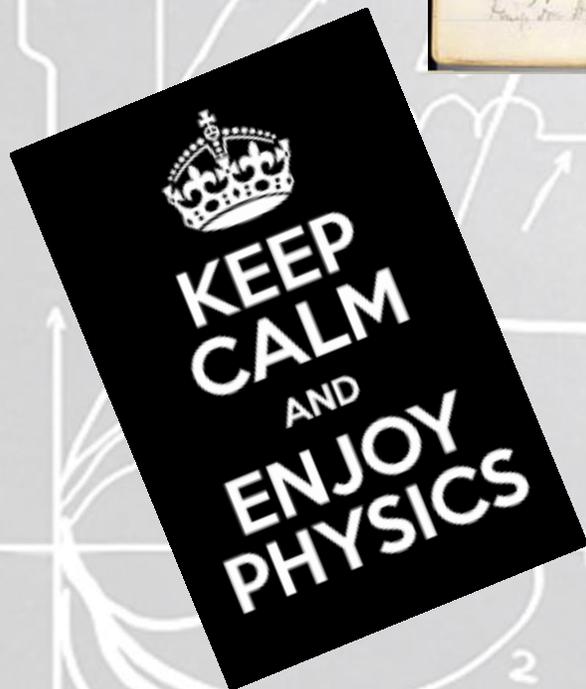
## ITER

Prototipo di reattore a fusione nucleare





'Kwik nagenoeg nul'  
(Mercurio quasi a zero)



ART & SCIENCE 2019