

Proposta di finanziamento per
**Sviluppo di sensori superconduttivi
a microonde multiplexabili
per fisica del neutrino**

Angelo Nucciotti, Dipartimento di Fisica "G. Occhialini"



Fondazione Cariplo, 16 marzo 2010

■ introduzione

- ▶ il gruppo WIG di Milano-Bicocca
- ▶ la fisica del neutrino
- ▶ i rivelatori termici
- ▶ storia del gruppo e attività presente

■ la proposta

- ▶ obiettivo del progetto
- ▶ il progetto in dettaglio
- ▶ valore aggiunto del progetto
- ▶ risorse strumentali e umane
- ▶ budget in dettaglio

Gruppo di fisica delle interazioni deboli (WIG) del prof. E. Fiorini

- Attivo nella **fisica delle particelle senza acceleratori**
 - ▶ Ricerca del doppio beta senza neutrini
 - ▶ Misura diretta della massa del neutrino
 - ▶ in passato: misura dei neutrini solari, decadimento del protone...

■ **UNIMIB**

- ▶ 1 Prof. Emerito
- ▶ 1 Prof. Associato
- ▶ 3 Ricercatori
- ▶ 1 Tecnico EP
- ▶ 1 Tecnico D

■ **INFN-MIB**

- ▶ 1 Dirigente di Ric.
- ▶ 1 Primo Ricercatore
- ▶ 1 Primo Tecnologo
- ▶ 2 Tecnici

+ laureandi/dottorandi/assegnisti

FERMIONS

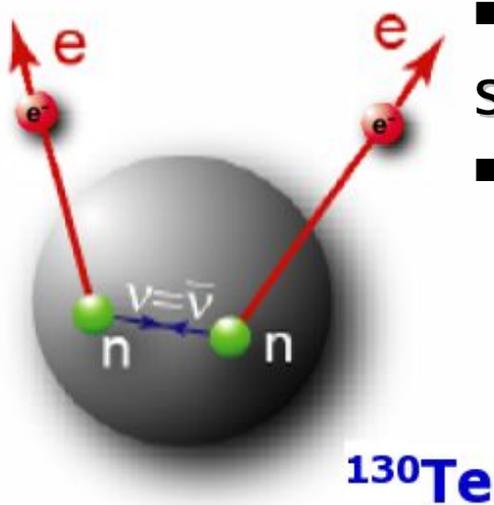
matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	C charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	S strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3



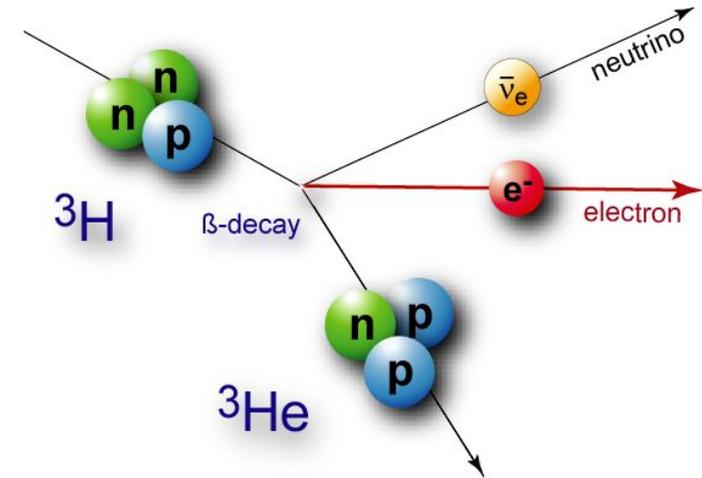
- abbondantissimo: 150 neutrini/cm³ nell'universo dal Big Bang
- emesso nel decadimento beta
- prodotto nel sole, nella terra, nei reattori, nelle supernovae, ...
- interagisce pochissimo

Fisica del neutrino

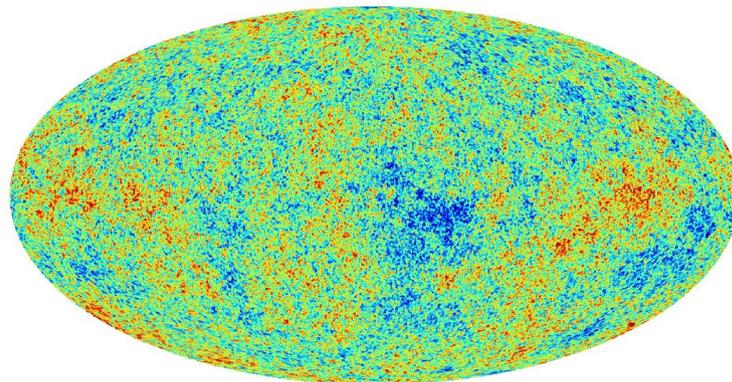
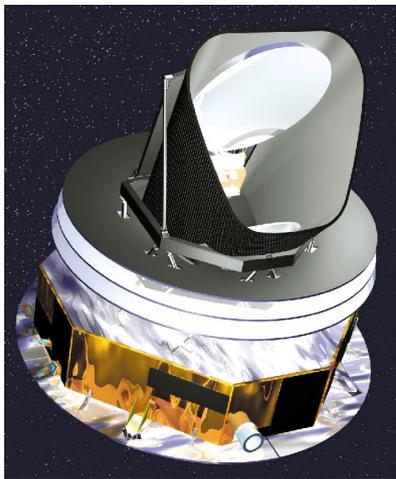


- decadimento doppio beta senza emissione di neutrini
- raro: $\tau_{\beta\beta} > 10^{25}$ anni
 - ▶ misura indiretta della massa
 - ▶ natura del neutrino

$$m_{\nu} = ?$$
$$\nu \equiv \bar{\nu} ?$$



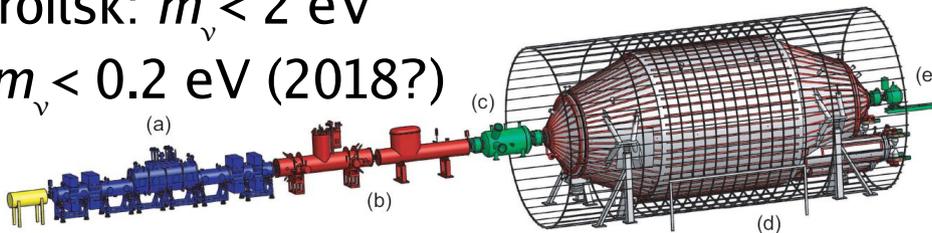
- decadimento beta o cattura elettronica
 - ▶ misura cinematica diretta della massa
- $m_{\nu} < 2\text{eV}$



- anisotropia del fondo di radiazione cosmica a microonde
 - ▶ misura indiretta della massa (errori sistematici e dipendenza dal modello)

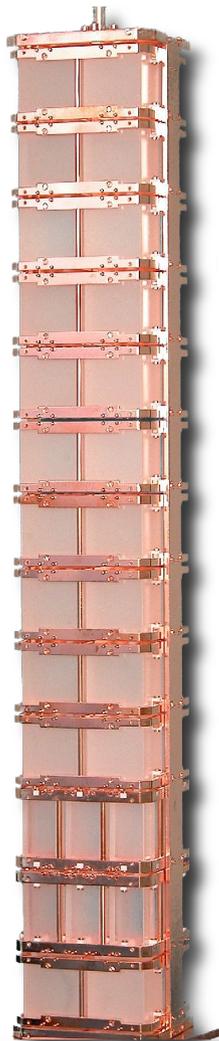
Fisica del neutrino: stato dell'arte

- Misura diretta della massa del neutrino
- spettrometri con ^3H
 - ▶ Mainz e Troitsk: $m_\nu < 2 \text{ eV}$
 - ▶ KATRIN: $m_\nu < 0.2 \text{ eV}$ (2018?)

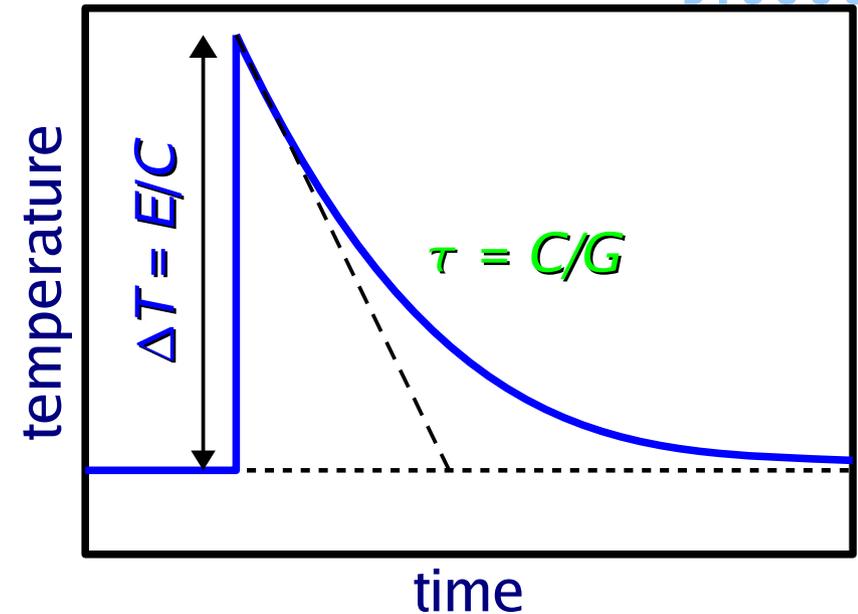
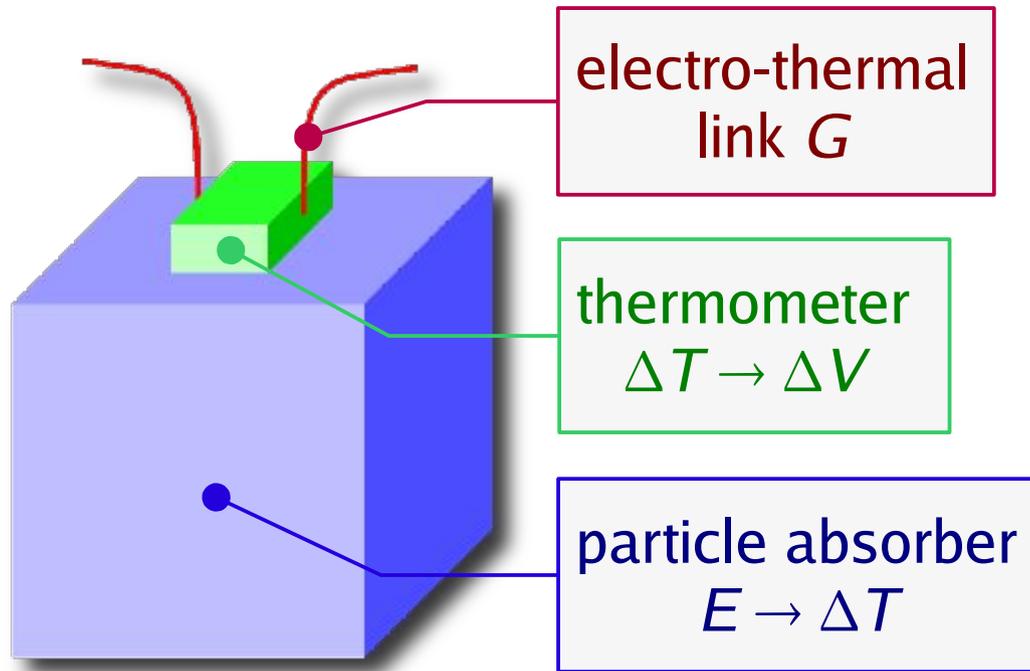


- Ricerca del doppio decadimento beta 0ν
 - ▶ Cuoricino (^{130}Te) e Heidelberg-Moscow (^{76}Ge): $\tau_{\beta\beta} > 10^{24} \div 10^{25}$ anni
 - ▶ CUORE: 200kg di ^{130}Te $\rightarrow \tau_{\beta\beta} > 10^{26}$ anni (2015?)

- per il prossimo decennio servono nuovi esperimenti
 - ▶ misura diretta
 - ▷ $m_\nu < 0.05 \div 0.1 \text{ eV}$
 - ▷ strumenti alternativi agli spettrometri con ^3H
 - ▶ ricerca del doppio decadimento beta 0ν
 - ▷ ≥ 1 tonnellata e fondo ancora più basso
 - ▷ isotopi diversi: ^{116}Cd , ^{82}Se , ^{150}Nd , ^{100}Mo ,...

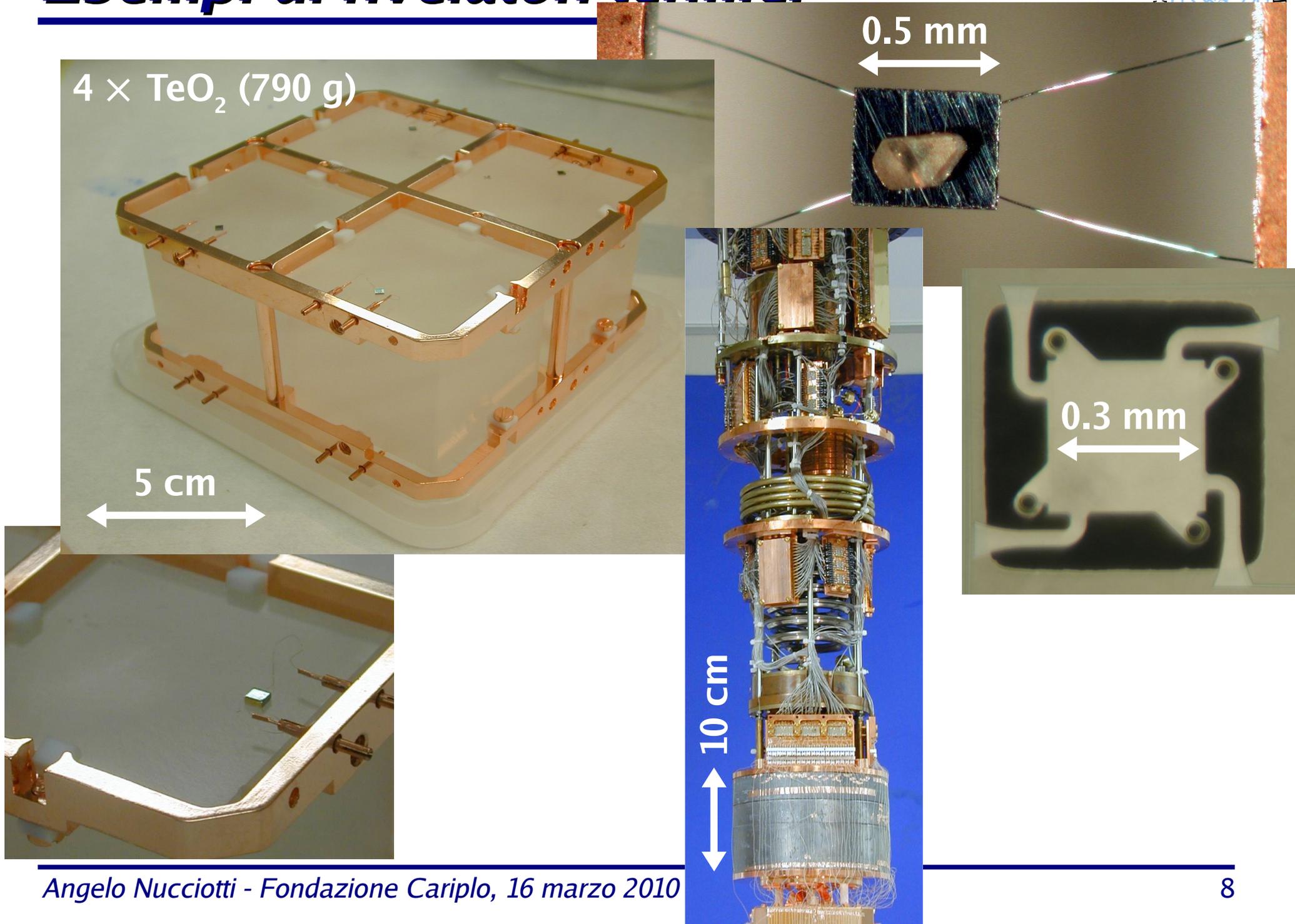


La tecnica di rivelazione termica



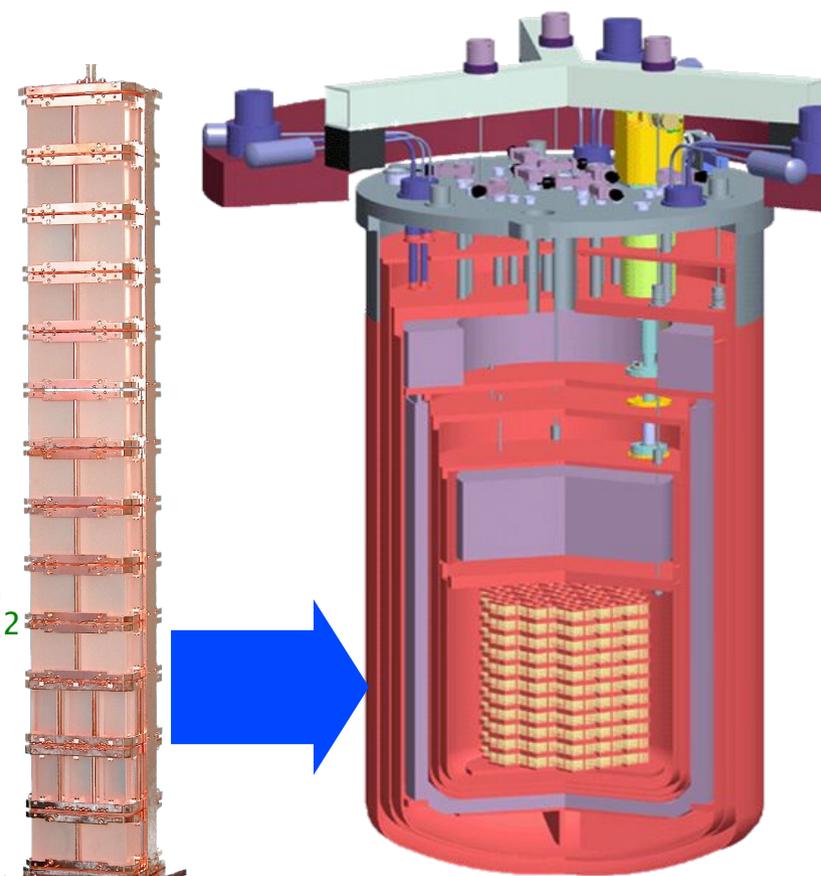
- bassissima temperatura: 0.01-0.1 Kelvin
- elevate prestazioni (risoluzione energetica, efficienza, ...)
- ampia scelta di materiali in base all'applicazione
- possibilità di realizzare rivelatori ibridi
 - ▶ calore+scintillazione o calore+ionizzazione
- il termometro è il componente critico...

Esempi di rivelatori termici



Un po' di storia del gruppo di Milano

- 1984 proposta rivelatori termici E.Fiorini-T.O.Niinikoski
- 1984 proposta D.McCammon-J.C.Mather-S.H.Moseley
- 1990 primi rivelatori grossi Ge con termistori al Ge
- 1992 primi rivelatori TeO_2 per doppio beta al LNGS
- 1993 prima misura calore+scintillazione
- 1994 sviluppo di sensori al Si impiantato
- 1999 risoluzione di 5eV per raggi X (record mondiale)
- 2000 MIBETA: ricerca doppio beta con 7kg di TeO_2
- 2000 rivelatore da 760g per raggi γ e α (record...)
- 2003 CUORINO: ricerca doppio beta con 42kg di TeO_2
- 2004 misura diretta massa del neutrino: $m_\nu < 15\text{eV}$
- 2009 MARE-1: misura diretta con 72 rivelatori



- da **Cuoricino** a **CUORE**: 740 kg di TeO_2
- il più grande rivelatore termico mai costruito
 - la più sensibile ricerca del doppio beta 0ν
 - partenza prevista nel 2014

MARE Project: istituti coinvolti

MARE: Microcalorimeter Arrays for a Rhenium Experiment

Università e INFN di Genova - Goddard Space Flight Center, NASA, USA

Kirkhhof-Institute Physik, Universität Heidelberg, Germany

Università dell'Insubria - Università e INFN di Milano-Bicocca - NIST, Boulder, USA

FBK-irst, Trento - PTB, Berlin, Germany - University of Miami, Florida, USA

Università "La Sapienza" e INFN di Roma - SISSA, Trieste

Wisconsin University, Madison, USA

+ GSI, Darmstad, Germany - Caltech, USA - CNRS, Grenoble, France...



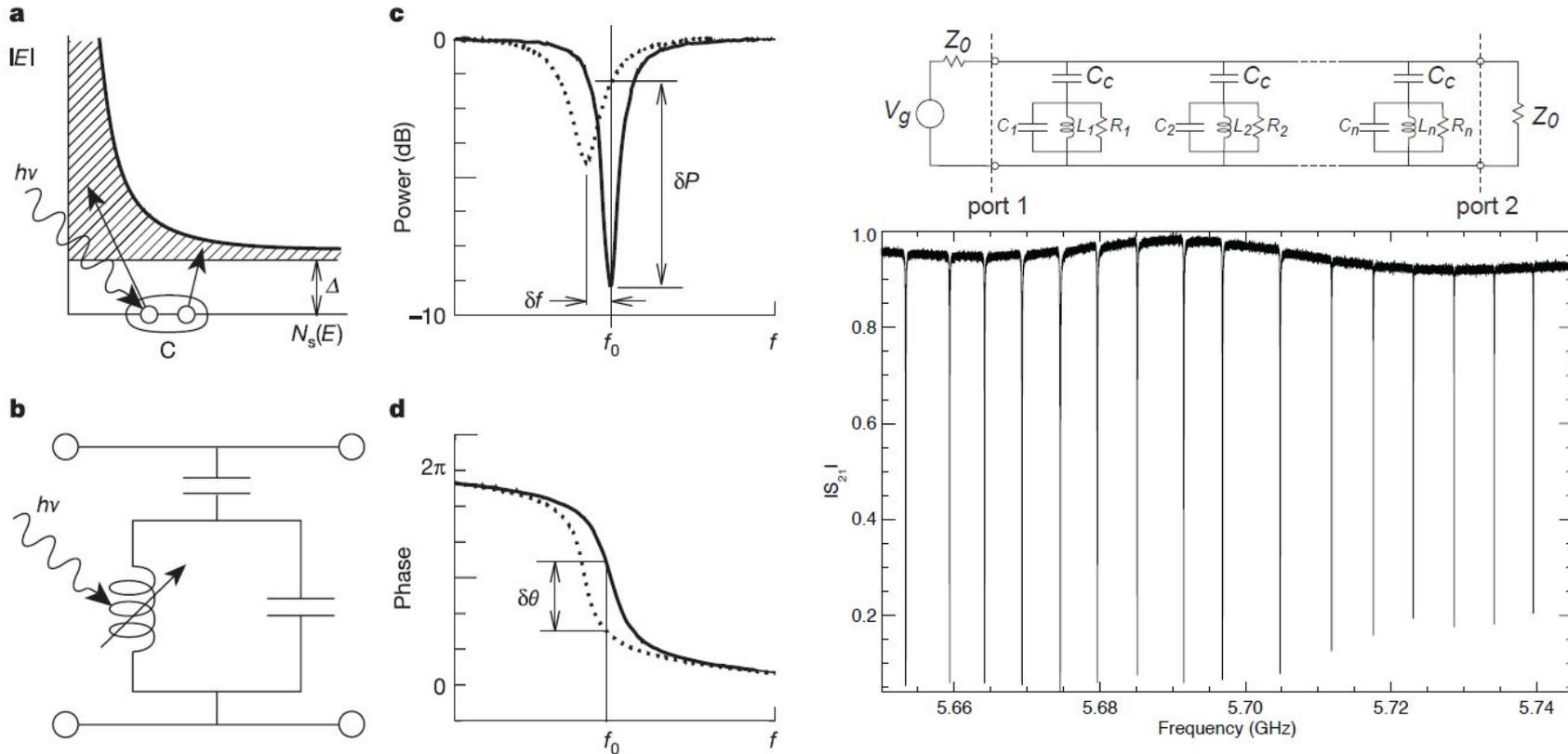
- goal: esperimento per la misura diretta e calorimetrica della massa del neutrino con sensibilità oltre Katrin (fino a 0.1 eV o meno)
 - ▷ rivelatori con prestazioni ai limiti dello stato dell'arte
 - ▷ matrici di 10000+ canali

■ **Obiettivo della proposta**

- ▶ acquisire una nuova tecnologia all'avanguardia da applicare nei futuri esperimenti di fisica del neutrino
 - ▷ MARE, CUORE con scintillazione, ...
- ▶ mantenere il gruppo WIG di Milano-Bicocca in una posizione di leadership tecnologica e scientifica

■ **Progetto**

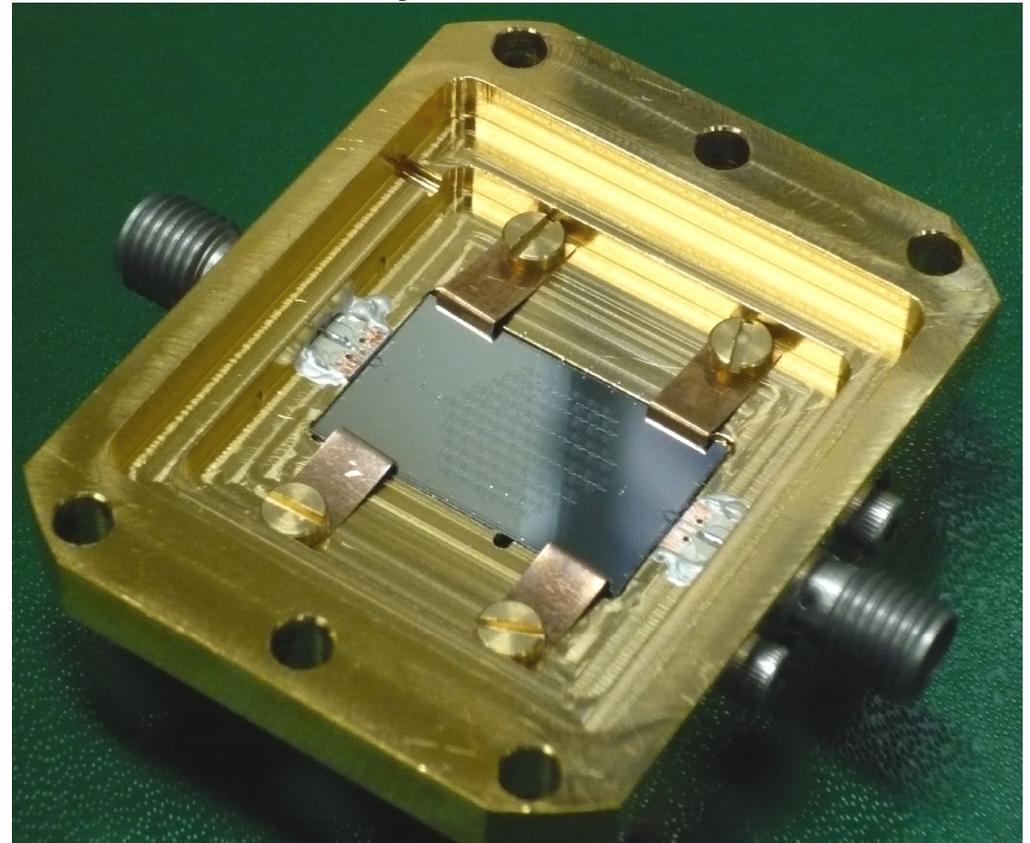
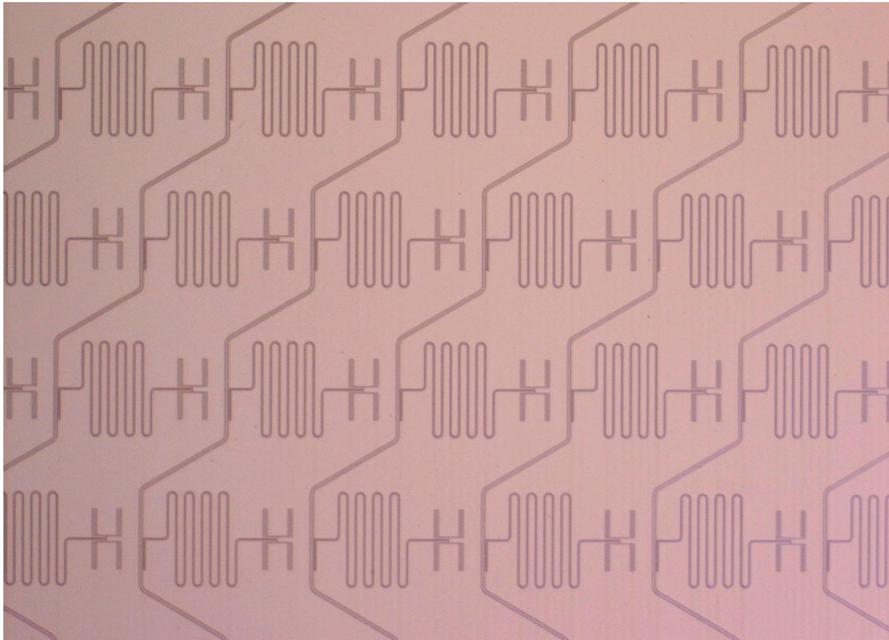
- ▶ sviluppare micro sensori a induttanza cinetica (MKID)
- ▶ importare il know-how con 2 post-doc dall'estero per 3 anni
- ▶ dimostrare la fattibilità di singoli pixel e piccole matrici



- **MKIDs**: dispositivi risonanti superconduttivi con lettura a microonde
 - ▶ sensori termici ad elevate prestazioni (risoluzione e velocità)
 - ▶ multiplexabili: ideali per esperimenti che richiedono molti canali
 - ▶ relativamente semplici da realizzare
 - ▶ tecnica molto giovane
 - ▷ primi risultati interessanti: tesi di dottorato di B. Mazin, Caltech, 2004

MKIDs: stato dell'arte

- R&D per diverse applicazioni
 - ▶ telescopi per onde (sub-)millimetriche, UV
 - ▶ ricerca di Materia Oscura
 - ▶ spettroscopia X, ...
- Caltech (USA), UCSB (USA), SRON (NL), Grenoble (F), Cardiff (UK), MPI Bonn (D), Roma La Sapienza (I)



Applicazione alla fisica del neutrino

■ MARE project

- ▶ la competizione fra diverse tecniche è ancora aperta...
- ▶ **gli MKIDs devono dimostrare**
 - ▷ possibilità di accoppiamento con Re o Ho per la misura diretta
 - ▷ velocità e prestazioni energetiche all'altezza
 - ▷ l'uso del multiplexing per la realizzazione di grandi matrici

esposizione per $m_\nu = 0.1$ eV						
isotopo	A_{FI} [Hz]	τ_R [c s]	$\dot{U} E$ [eV]	N_{ev} [counts]	esposizione [det×year]	
$^{187}\text{Re} (\beta)$	10	1	1	$10.3 \cdot 10^{14}$	$3.3 \cdot 10^6$	
$^{163}\text{Ho} (ec)$	100	0.1	0.3	$6.4 \cdot 10^{14}$	$2.0 \cdot 10^5$	

16 matrici da
20000 pixels
→ 10 anni

8 matrici da
5000 pixels
→ 5 anni

progetto triennale per lo sviluppo di MKIDs per fisica dei neutrini

anno 1	<ul style="list-style-type: none">• installazione di un set-up criogenico per il test statico dei dispositivi• design, realizzazione e caratterizzazione di MKIDs semplici• upgrade del set-up con amplificatore criogenico HEMT
anno 2	<ul style="list-style-type: none">• ottimizzazione del design e produzione di nuovi dispositivi• primi test di MKIDs accoppiati ad assorbitori di radiazione• design singolo pixel per misura di ^{163}Ho o ^{187}Re
anno 3	<ul style="list-style-type: none">• upgrade elettronica per multi-plexing• design e realizzazione di un piccolo array multiplexato (2x2, 3x3)• realizzazione di singoli pixel con ^{163}Ho o ^{187}Re

■ per il gruppo WIG di UNIMIB

- ▶ acquisizione del know-how per la realizzazione e l'uso di sensori innovativi e potenti
 - ▷ misure di astrofisica a terra e su satellite
 - ▷ analisi X di materiali
 - ▷ spettroscopia al THz con applicazioni biomediche e di sicurezza
- ▶ apertura di una nuova linea di ricerca e sviluppo con la capacità di attrarre risorse umane anche dall'estero

■ per gli studenti del Dipartimento di Fisica di UNIMIB

- ▶ formazione in laboratorio “hands-on”
- ▶ acquisizione di competenze molto richieste in
 - ▷ tecniche di elettronica a microonde
 - ▷ tecniche di misura a bassissime temperature
- ▶ contatti con centri di ricerca avanzati internazionali
- ▶ opportunità di lavoro e ricerca nell'industria e all'estero

Risorse strumentali

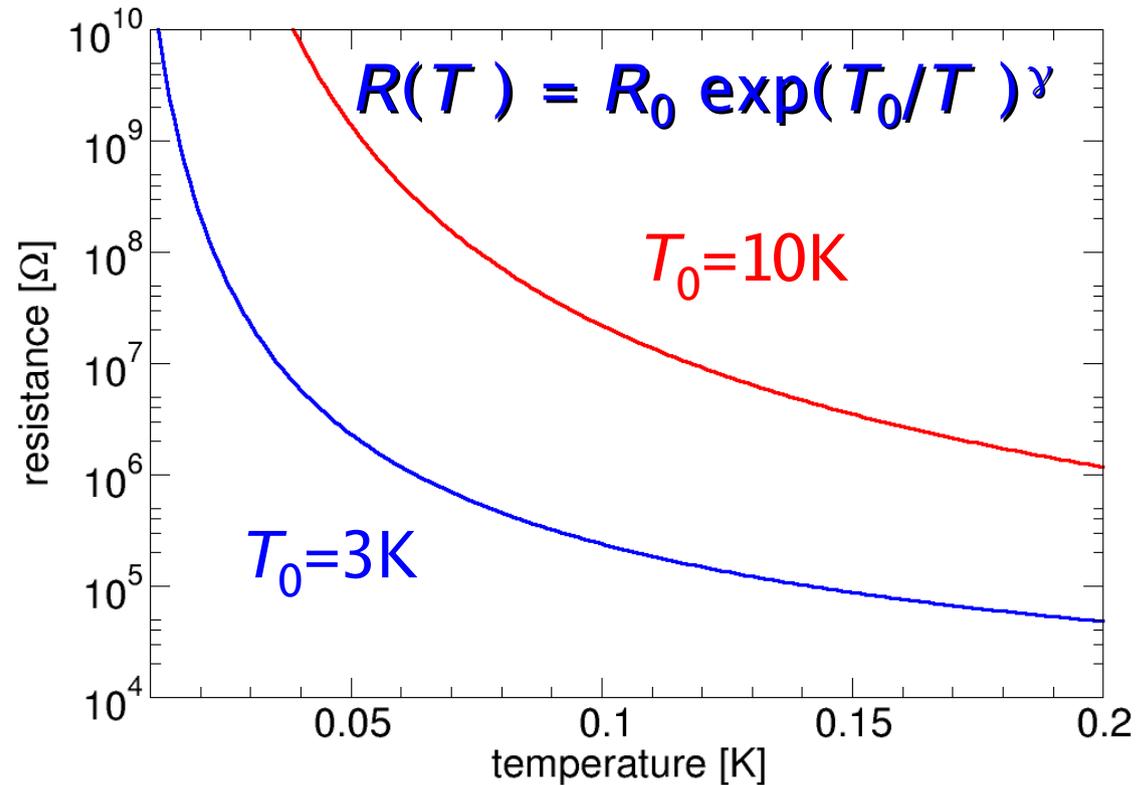
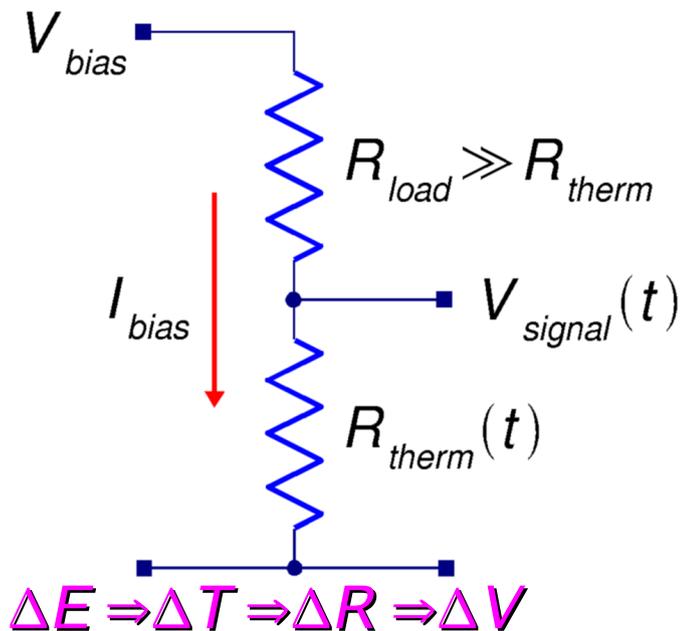
UNIMIB	laboratorio di criogenia attrezzato
	laboratorio per misure a microonde (Gruppo di Astrofisica)
	laboratorio ICP-MS per analisi dei materiali
	area pulita con micromanipolatore e macchina per microsaldature
INFN contributo <i>in kind</i>	1 refrigeratore per test fino a 1K
	1 refrigeratore a diluizione per misure fino a 0.01K
	laboratorio di elettronica con analizzatore di reti nelle microonde
	sistemi di acquisizione dati
	server di calcolo
	servizio di officina meccanica
Da acquistare	strumentazione per microonde: sintetizzatori, amplificatori, mixer, filtri, ...
	consumabili: elio liquido, materiali per rivelatori, connettori e cavi per microonde...
	prestazioni di terzi: fabbricazione di dispositivi presso FBK-MEMS di Trento

Backup ...

Termometro a termistore

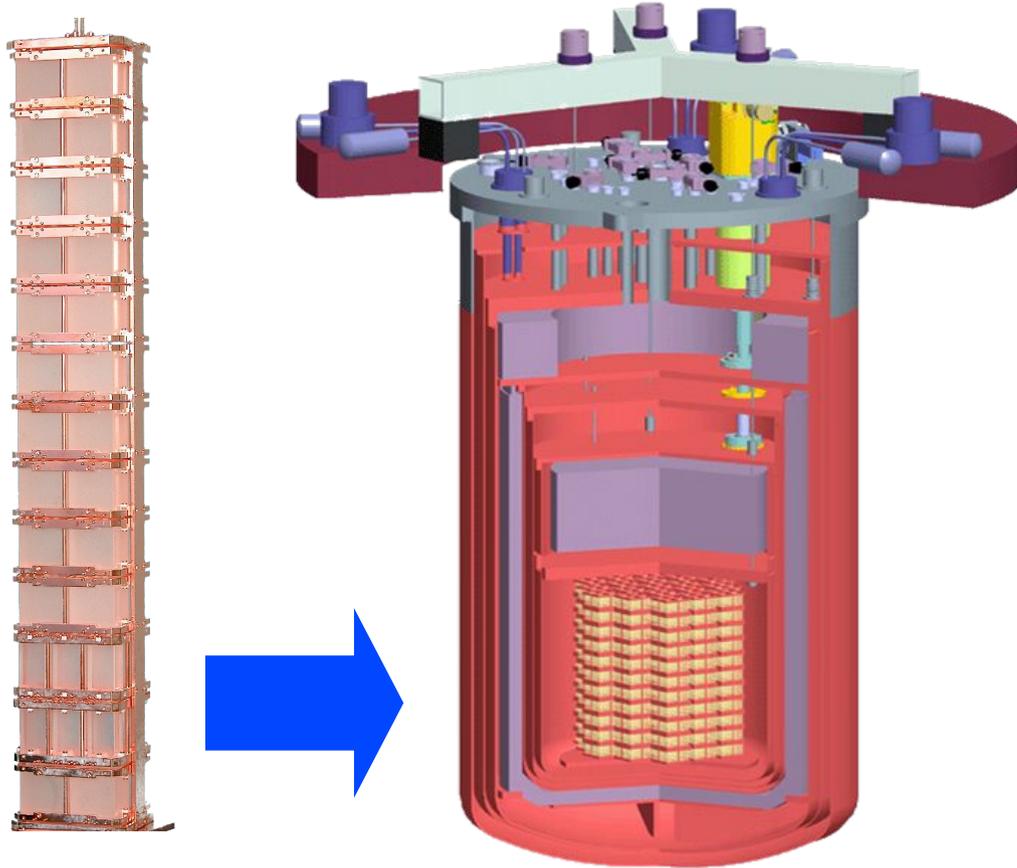
- il termometro è il cuore del rivelatore termico
- termistori: semiconduttori poco drogati (Si o Ge)
 - ▶ la resistenza dipende dalla temperatura

Costant current bias



dispositivi ad alta impedenza: $R_{therm} = 1M\Omega \rightarrow 100M\Omega$

2 esperimenti con collaborazioni internazionali



da **Cuoricino** a **CUORE**: 740 kg di TeO_2

- il più grande rivelatore termico mai costruito
- la più sensibile ricerca del doppio beta 0ν
- partenza prevista nel 2014

MARE-1 verso MARE

