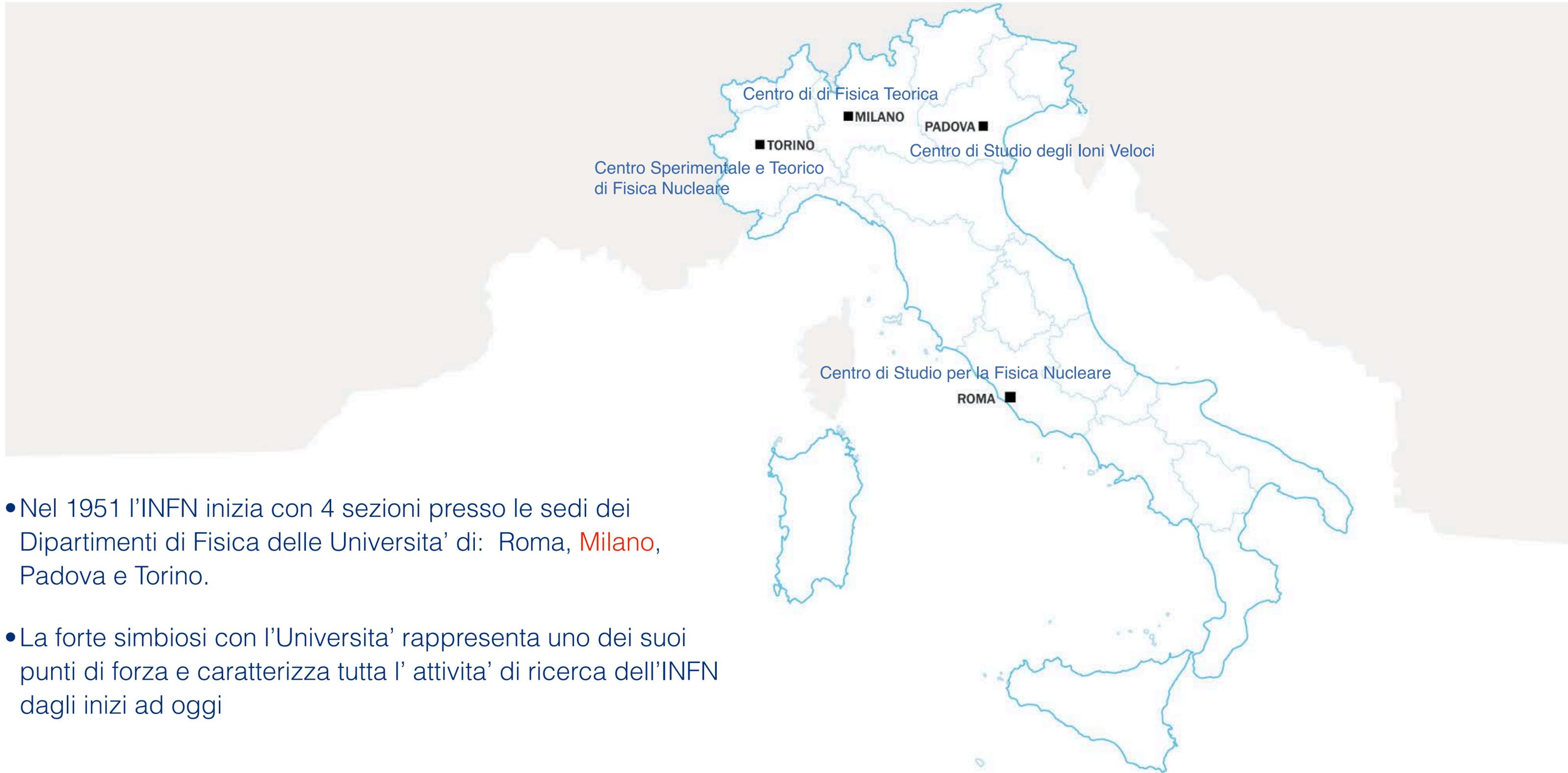


Dalle correnti deboli neutre ai grandi esperimenti sotterranei

Oliviero Cremonesi - INFN Sez. Milano Bicocca

L'INFN alla nascita



- Nel 1951 l'INFN inizia con 4 sezioni presso le sedi dei Dipartimenti di Fisica delle Università di: Roma, Milano, Padova e Torino.
- La forte simbiosi con l'Università rappresenta uno dei suoi punti di forza e caratterizza tutta l'attività di ricerca dell'INFN dagli inizi ad oggi

1951: gli inizi

- “Beppo” Occhialini viene chiamato a Milano da Polvani e Caldirola



nel 1951 Occhialini e' già “famoso”:

- collabora con Powell e Blackett
- ha partecipato alla conferenza di Solvay del 1948



Solvay Conference: 1948



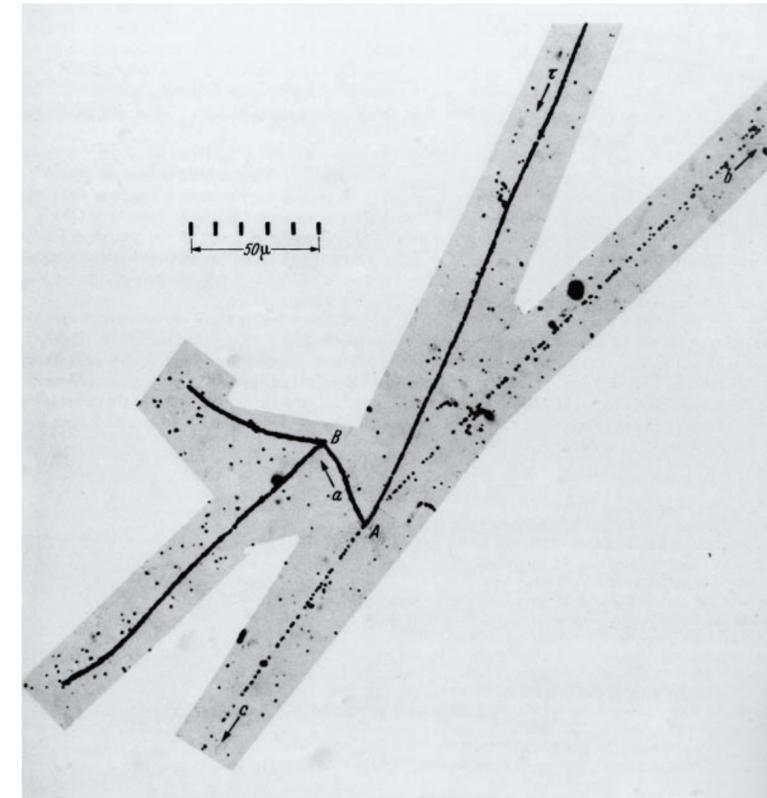
J.D. COCKCROFT M.A. TONNELAT E. SCHROEDINGER O.W. RICHARDSON N. BOHR W. PAULI L. BRAGG L. MEITNER P.A.M. DIRAC H.A. KRAMERS Th. DE DONDER W. HEITLER E. VERSCHAFFELT
P. SCHERRER E. STAHEL O. KLEIN P.M.S. BLACKETT P.J. DEE F. BLOCH O.R. FRISCH R.E. PEIERLS H.S. BHABHA J.R. OPPENHEIMER G.P.S. OCCHIALINI C.F. POWELL H.B.G. CASIMIR M. de HEMPTINNE
P. KIPFER P. AUGER F. PERRIN R. SERBER L. ROSENFELD B. FERRETTI C. MOLLER M. LEPRINCE-RINGUET
G. BALASSE L. FLAMACHE L. GROVEN O. GOICHE M. DEMEUR J. ERRERA VAN ISACKER L. VAN HOVE E. TELLER Y. GOLDSCHMIDT L. MARTON C.C. DILWORTH I. PRIGOGINE J. GEHENIAU E. HENRIOT M. VAN STYVENDAEL

Emulsioni nucleari: G-stack e i palloni

- L'INFN si rivela decisivo per mantenere la fisica italiana al passo con quella degli altri paesi europei, favorendo tra l'altro l'ingresso dell'Italia nel CERN nel 1952.
- Tra i primi programmi di ricerca dell'INFN in collaborazione con Berna, Bristol, Bruxelles, Dublino e Gottinga c'è lo studio delle cosiddette particelle "strane"
- Il progetto si conclude nel 1954 con il cosiddetto esperimento G-stack, che fornisce l'informazione definitiva sui modi di decadimento del mesone K.



G-Stack @ Milano: Guido Vegnii, Mariella Di Corato and Adele Sichirollo



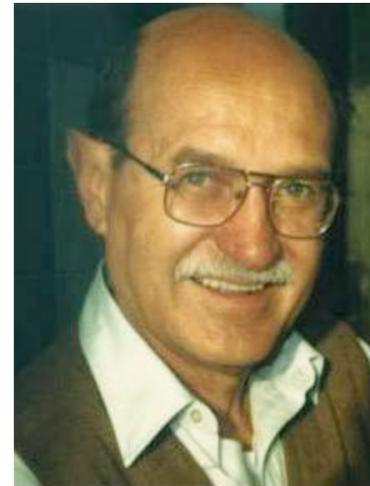
Rivelatori in alta montagna



Lago dei Sabbioni (~2500 m)

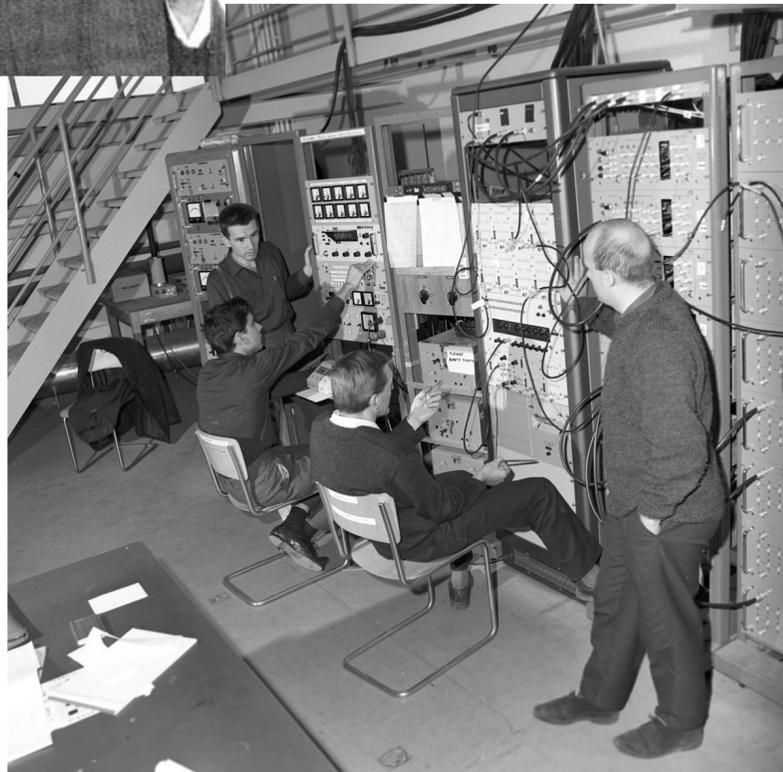


- “Sabbion, post de punisiun” mi ripetevano negli anni ‘80
- Qui (e in altri posti simili) si sono formati: Ettore Fiorini, Gianpaolo Bellini, Sergio Ratti, Riccardo Giacconi e Carlo Rubbia e molti altri baldi giovani ...
- Una delle baracche di legno installate in alta montagna e’ stata per anni accanto al “capannino” di Occhialini (... che invece ospitava tutti noi)



Le camere a bolle

- Nella seconda metà degli anni '50 le emulsioni (così come i palloni e l'alta montagna) mostrano i loro limiti e Occhialini cerca una nuova via ...
- Martin Block sta sviluppando una camera a bolle alla Duke University ed Ettore Fiorini viene mandato in avanscoperta
- Segue la lunga collaborazione coi francesi (Ecole Polytechnique) nel corso degli anni '60 fino ad arrivare a Gargamelle



Pion Diffraction Dissociation on Carbon Nuclei at 6.1 and 18.1 GeV/c.

G. BELLINI, E. FIORINI, A. J. HERZ (*), P. NEGRI and S. RATTI

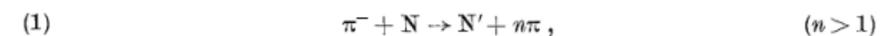
Istituto di Fisica dell'Università - Milano
*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Milano (**)*

(ricevuto il 28 Febbraio 1963)

Summary. — Three-prong interactions by π^- of 6.1 and 18.1 GeV/c momentum have been studied in the École Polytechnique heavy liquid bubble chamber. It has been found that while most of the events at 6.1 GeV/c can be interpreted on the basis of a « peripheral » collision on a neutron, a large proportion of 18.1 GeV/c events cannot be interpreted in this way. They appear to be due to diffraction dissociation on a carbon nucleus acting coherently as suggested by Good and Walker. At both incoming momenta the invariant mass distribution of the three secondary pions show a bump in the region about 1200 MeV/c². At 18.1 GeV/c this bump can be explained as due to phase-space contraction in the diffraction process. However the existence of a similar bump at 6.1 GeV/c, where the diffraction dissociation on nuclei does not occur, may be explained either by the occurrence of diffraction dissociation on bound neutrons or by the existence of a resonant state at about 1200 MeV/c².

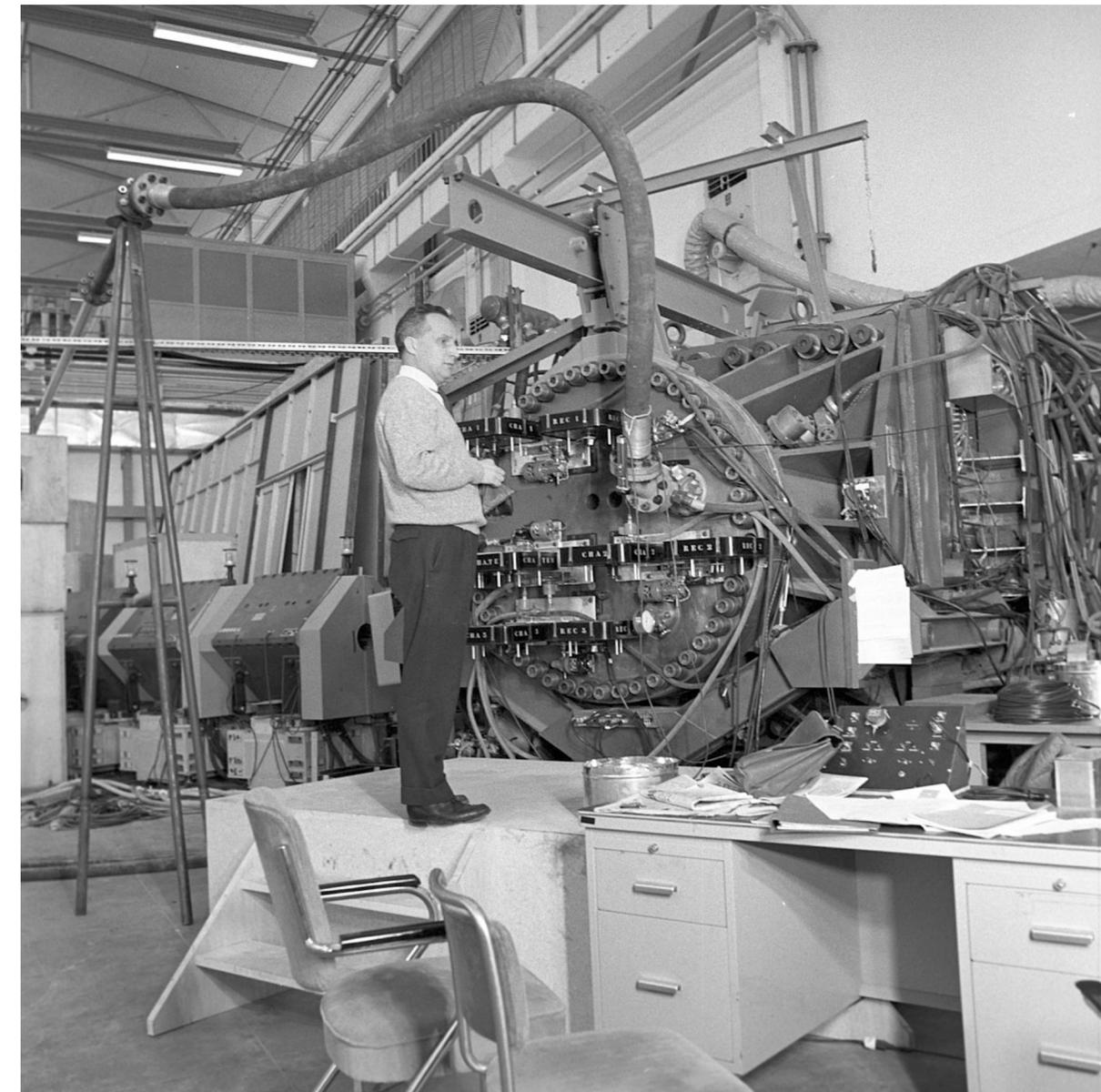
1. - Introduction.

The multiple production of pions on a neutral target according to the reaction



(*) Now at the U.S. Naval Research Laboratory, Washington 25, D. C.

(**) The exposure was performed by: C. BAGLIN, H. BINGHAM, M. BLOCH, D. DRIJARD, A. LAGARRIGUE, P. MITTNER, A. ORKIN-LECOURTOIS, P. RANÇON, A. ROUSSET (École Polytechnique, Paris) and B. DE RAAD, R. SALMERON, R. VOSS (C.E.R.N., Geneva).



Gargamelle ...

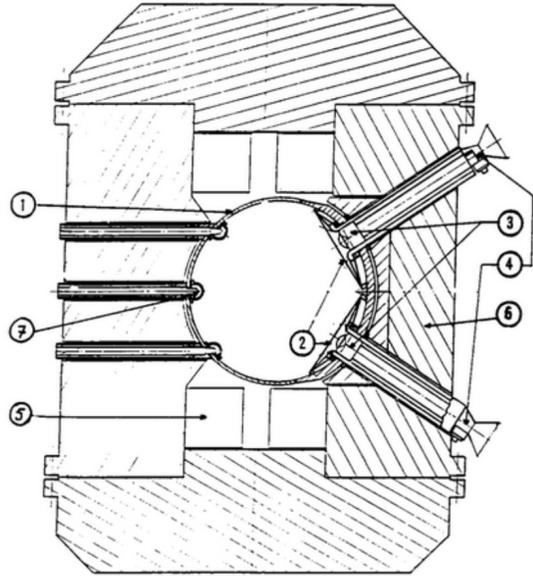
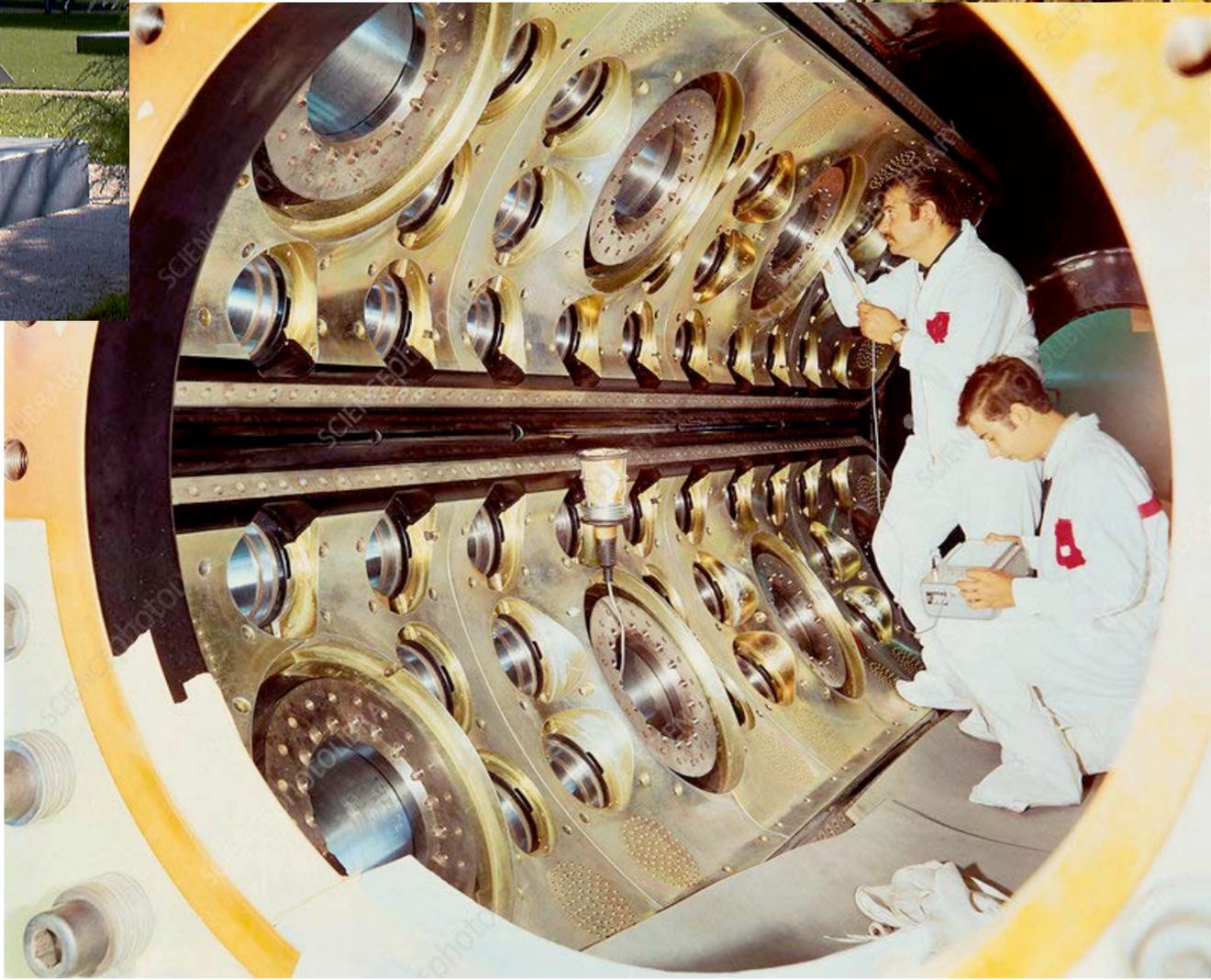
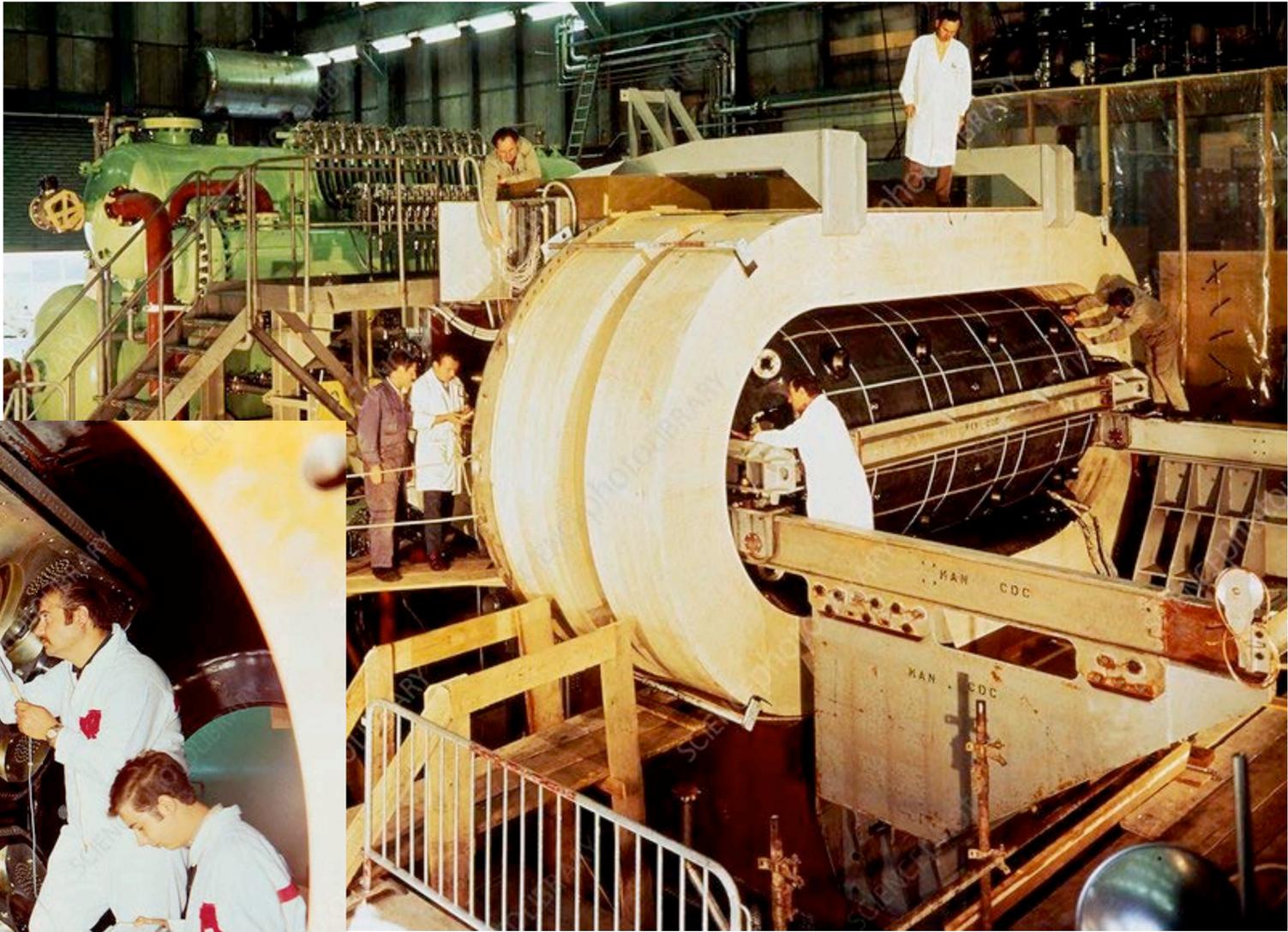
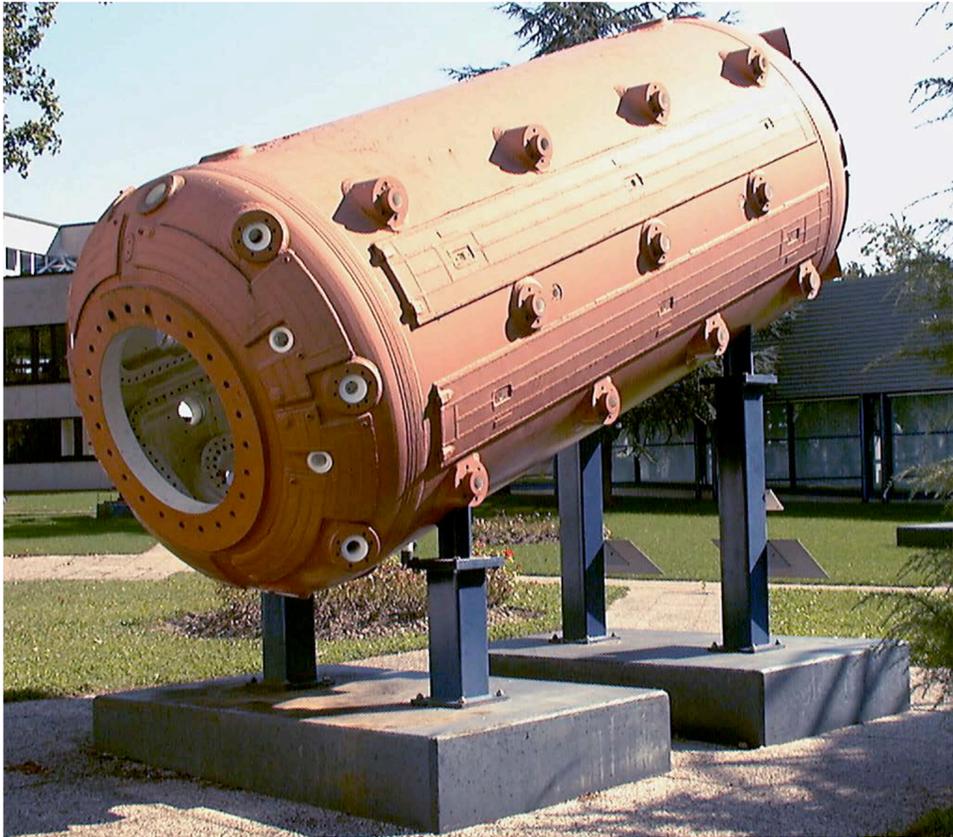


Figure 3 - Section of Gargamelle chamber.
 1. chamber body - 2. membranes - 3. optics - 4. cameras - 5. coils of the magnet - 6. magnetic iron. 7. flash tubes.

... e le correnti deboli neutre

Volume 46B, number 1

PHYSICS LETTERS

3 September 1973

OBSERVATION OF NEUTRINO-LIKE INTERACTIONS WITHOUT MUON OR ELECTRON IN THE GARGAMELLE NEUTRINO EXPERIMENT

F.J. HASERT, S. KABE, W. KRENZ, J. Von KROGH, D. LANSKE, J. MORFIN,
K. SCHULTZE and H. WEERTS

III. Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, Aachen, Germany

G.H. BERTRAND-COREMANS, J. SACTON, W. Van DONINCK and P. VILAIN*¹

Interuniversity Institute for High Energies, U.L.B., V.U.B. Brussels, Belgium

U. CAMERINI*², D.C. CUNDY, R. BALDI, I. DANILCHENKO*³, W.F. FRY*², D. HAIDT,
S. NATALI*⁴, P. MUSSET, B. OSCULATI, R. PALMER*⁴, J.B.M. PATTISON,
D.H. PERKINS*⁶, A. PULLIA, A. ROUSSET, W. VENUS*⁷ and H. WACHSMUTH

CERN, Geneva, Switzerland

V. BRISSON, B. DEGRANGE, M. HAGUENAUER, L. KLUBERG,
U. NGUYEN-KHAC and P. PETIAU

Laboratoire de Physique Nucléaire des Hautes Energies, Ecole Polytechnique, Paris, France

E. BELOTTI, S. BONETTI, D. CAVALLI, C. CONTA*⁸, E. FIORINI and M. ROLLIER

Istituto di Fisica dell'Università, Milano and I.N.F.N. Milano, Italy

B. AUBERT, D. BLUM, L.M. CHOUNET, P. HEUSSE, A. LAGARRIGUE,
A.M. LUTZ, A. ORKIN-LECOURTOIS and J.P. VIALLE

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Orsay, France

F.W. BULLOCK, M.J. ESTEN, T.W. JONES, J. McKENZIE, A.G. MICHETTE*⁹

G. MYATT* and W.G. SCOTT*^{6,9}

University College, London, England

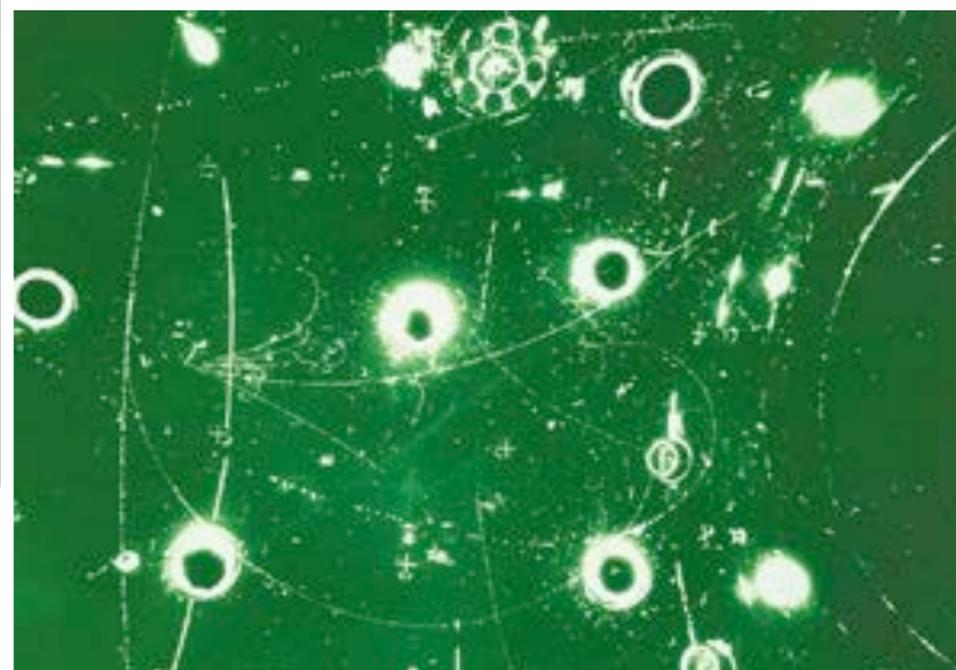
Received 25 July 1973

Events induced by neutral particles and producing hadrons, but no muon or electron, have been observed in the CERN neutrino experiment. These events behave as expected if they arise from neutral current induced processes. The rates relative to the corresponding charged current processes are evaluated.



... affiancati qualche anno più tardi da"

- Luigi Zanotti
- Stefano Ragazzi
- Cesare Liguori



Il doppio decadimento beta

- Già a metà degli anni '60 Ettore Fiorini si fa promotore di un interesse per questo decadimento destinato a ... ripetersi nel tempo

Experimental and Theoretical Remarks on the Double β -decay.

G. F. DELL'ANTONIO (*)

Physics Department, Northwestern University - Evanston, Ill.

E. FIORINI (**)

*Istituto di Fisica dell'Università - Milano
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Milano*

(ricevuto il 3 Agosto 1960)

CONTENTS. -- **Introduction.** -- **1. Outline of the theory of β -decay.** -- **2. Theoretical aspects of the double β -decay.** -- **3. Experimental results on the double β -decay.** 1. Counter experiments. 2. Cloud chamber experiments. 3. Nuclear emulsions experiments. 4. Experiments with chemical methods. **4. Mass and nuclear structure of suitable isotopic triplets.** 1. Informations about the energy of the nuclear states. 2. Nuclear structure. 3. Possible double β -transitions. -- **Conclusions.**

- ... qualche anno dopo, insieme a Tonino dà vita al primo esperimento con diodi al germanio

A SEARCH FOR LEPTON NON-CONSERVATION IN DOUBLE BETA DECAY WITH A GERMANIUM DETECTOR

E. FIORINI and A. PULLIA

Istituto di Fisica dell'Università and INFN, Milano, Italy

G. BERTOLINI, F. CAPPELLANI and G. RESTELLI
Euratom, CCR, Ispra, Italy

Received 30 October 1967

A new technique is applied to the search for neutrinoless double β decay. A Ge(Li) crystal is used both as source and as detector of the $^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se}$ transition. Our negative result ($T_{1/2} > 3 \times 10^{20}$ y) is consistent with the lepton conservation law.



NUSEX e le GUT's

- Verso la fine degli anni '70, spinta dalla possibilità di verificare le previsioni delle GUT una piccola collaborazione che riunisce gruppi di Torino, Milano, Frascati e dal CERN da vita a "NUSEX", ospitato nel garage 17 del traforo del monte Bianco

THE NUSEX DETECTOR

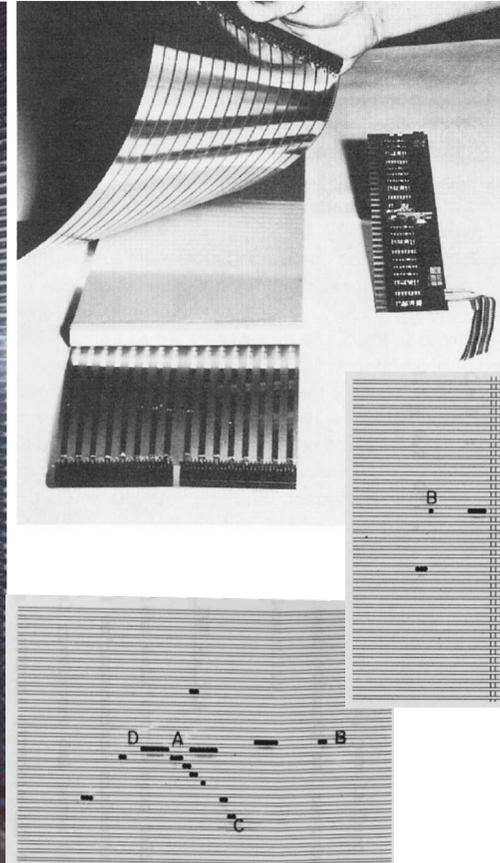
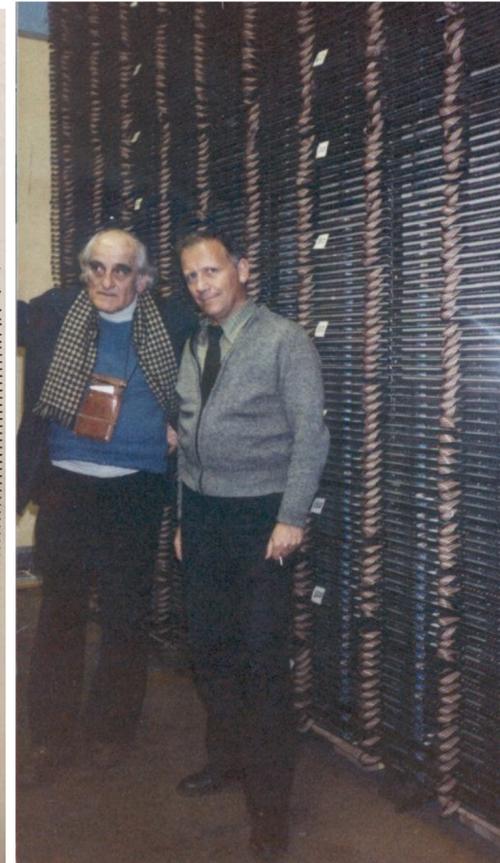
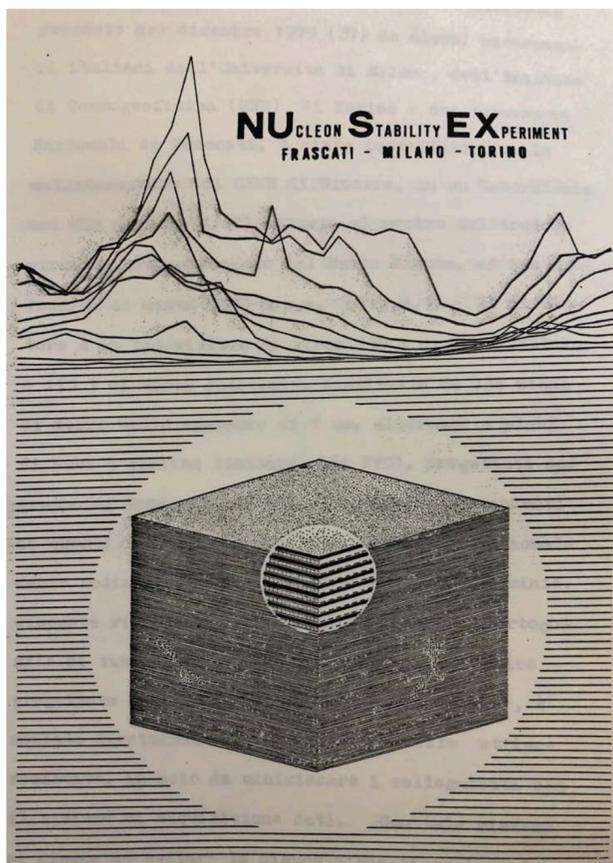
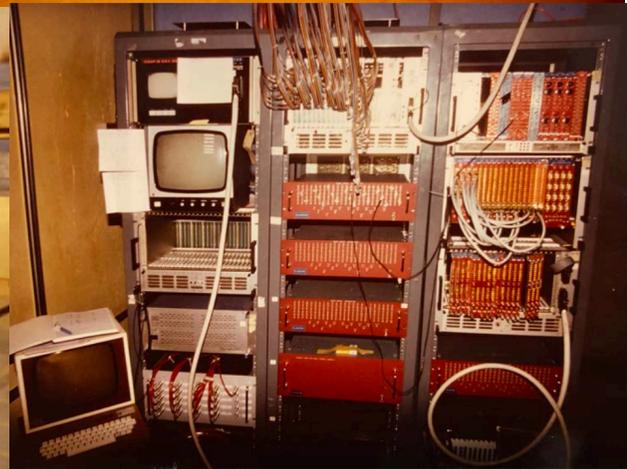
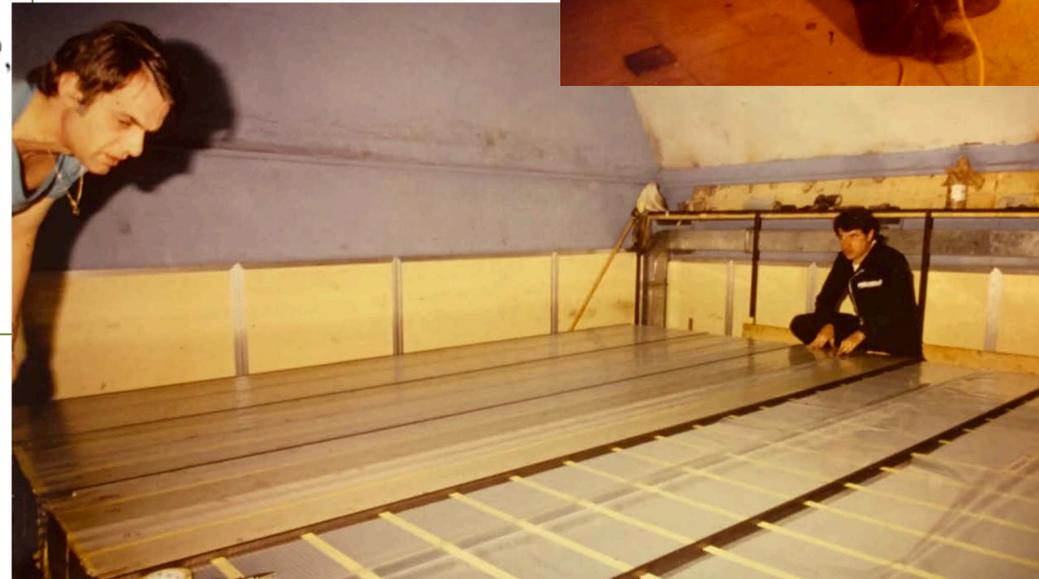
G. BATTISTONI ¹⁾, **E. BELLOTTI** ²⁾, C. BLOISE ¹⁾, G. BOLOGNA ³⁾, P. CAMPANA ¹⁾, C. CASTAGNOLI ³⁾, V. CHIARELLA ¹⁾, **O. CREMONESI** ²⁾, D. CUNDY ⁴⁾, B. D'ETTORRE PIAZZOLI ³⁾, **E. FIORINI** ²⁾, E. IAROCCI ¹⁾, G. MANNOCCHI ³⁾, G.P. MURTAS ¹⁾, **P. NEGRI** ²⁾, G. NICOLETTI ¹⁾, P. PICCHI ³⁾, M. PRICE ⁴⁾, **A. PULLIA** ²⁾, **S. RAGAZZI** ²⁾, **M. ROLLIER** ²⁾, F. RONGA ¹⁾, O. SAAVEDRA ³⁾ and **L. ZANOTTI** ²⁾

¹⁾ INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati, Italy

²⁾ Dipartimento di Fisica dell'Università and INFN, Sezione di Milano, Milano, Italy

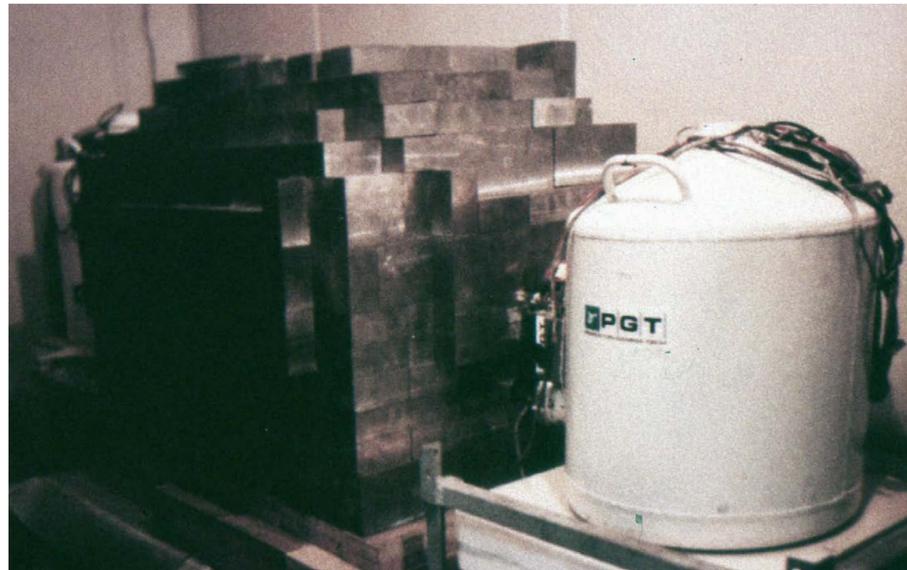
³⁾ Istituto di Cosmogeofisica del CNR, Torino, Italy

⁴⁾ CERN, European Organization for Nuclear Research, Geneva, Switzerland



DBD al Monte Bianco

Sfruttando i primi diodi commerciali un nuovo esperimento viene avviato al garage 27 con due rivelatori Ge(Li)



Due nuovi studenti arricchiscono il gruppo:

- Carla Cattadori
- Carlo Brogginì



Gli anni '80

Gli anni '80 sono molto frenetici:

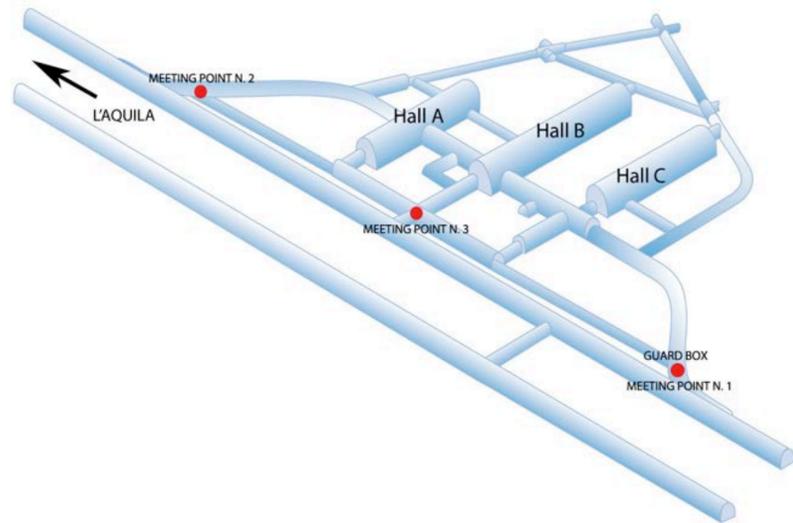
- Il Monte Bianco viene abbandonato a favore del nascente laboratorio del Gran Sasso



COMMISSIONE LAVORI PUBBLICI DEL SENATO

PROGETTO GRAN SASSO

Note manoscritte di A. Zichichi presentate nella Seduta della Commissione Lavori Pubblici del Senato convocata con urgenza dal Presidente del Senato per discutere la proposta del Progetto Gran Sasso (1979).



To summarize, the scientific aims of the "Gran Sasso" laboratory are the study of:

- 1) nuclear stability;
- 2) neutrino astrophysics;
- 3) new cosmic phenomenology;
- 4) neutrino oscillations;
- 5) biologically active matter;
- 6) ground stability.

NOT only $\tau_p \neq \infty$

LNGS

- Il gruppo di Milano è da subito fortemente coinvolto nella promozione dei laboratori
- I laboratori vengono inaugurati nel 1987 ma l'avventura scientifica inizia già qualche anno prima
- Sono la locazione ideale per le nuove idee che si stanno sviluppando:
 - ^{136}Xe MWPC
 - rivelatori a bassa temperatura
 - GALLEX



- In un arco di storia di 35 anni, Milano dona 3 direttori
 - l'indimenticabile "Puccio" Bellotti
 - Stefano Ragazzi
 - e l'attuale Ezio Previtalli



DBD al Gran Sasso

1986: I laboratori non sono ancora pronti, ma Ettore si mette in moto per installare un nuovo esperimento ai LNGS:

- una MWPC a Xenon (HP gas) arricchito isotopicamente (^{136}Xe)
- la camera è installata all'interno di un trailer in uno dei bypass.

MULTIELEMENT PROPORTIONAL CHAMBER FOR ^{136}Xe $\beta\beta$ DECAY

A. ALESSANDRELLO, E. BELLOTTI, D. CAMIN, O. CREMONESI, E. FIORINI, C. LIGUORI, S. RAGAZZI, L. ROSSI *, P. SVERZELLATI and L. ZANOTTI

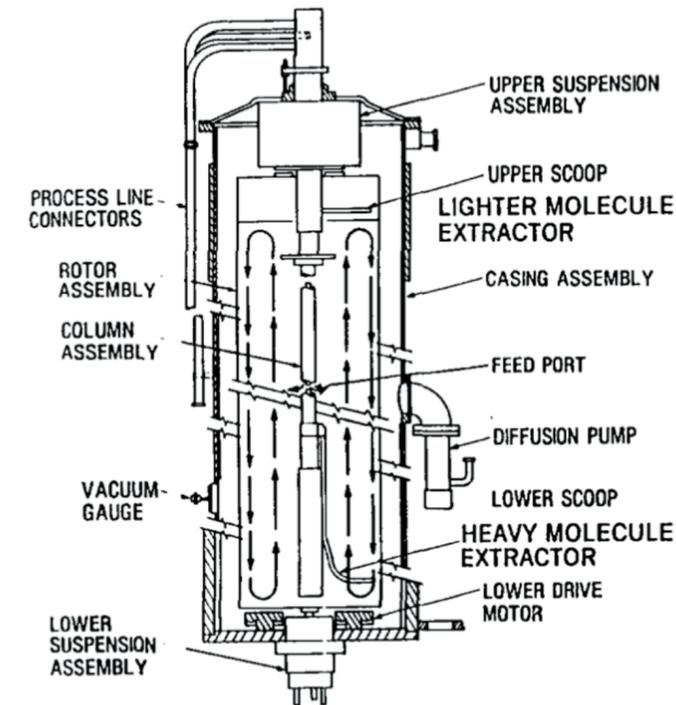
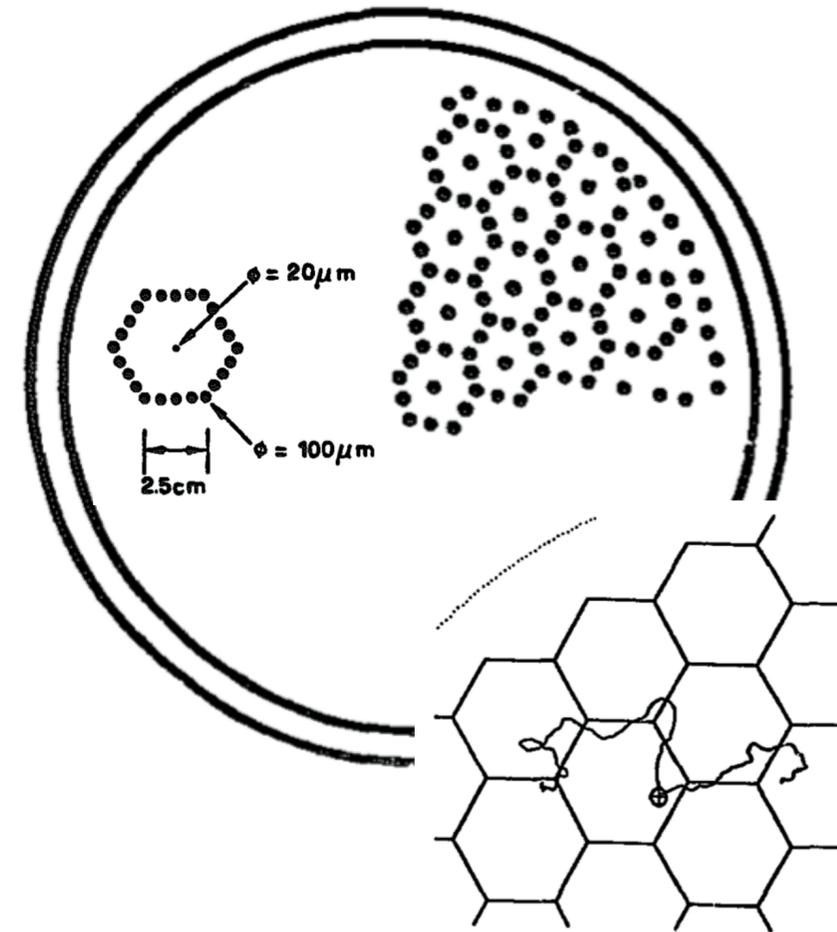
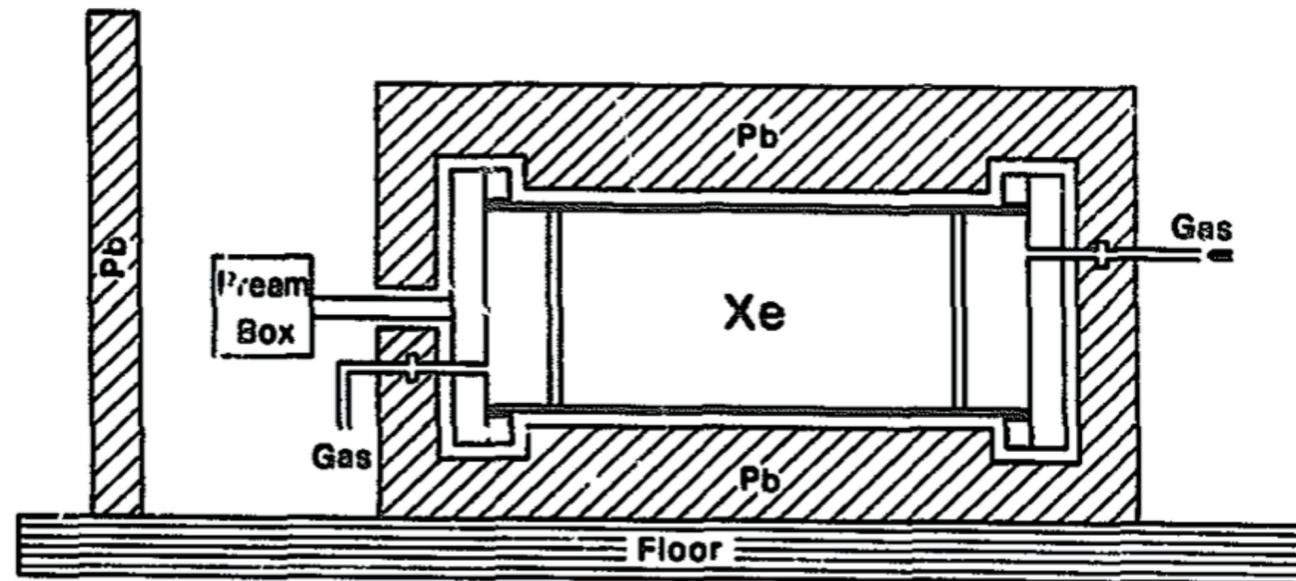
Dipartimento di Fisica dell'Universita', Milano and Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Milano, Italy

A Multielement Proportional Chamber designed to investigate $\beta\beta$ decay of ^{136}Xe is described. The detector consists of 61 cells arranged in a honeycomb structure. Each cell is 80 cm long and has a hexagonal cross section of 2.5 cm side. The anodes are $20\ \mu\text{m}$ diameter gold plated tungsten wires. Each cathode consists of 24 copper-beryllium wires of $100\ \mu\text{m}$ diameter. This structure is mounted in a titanium vessel of 40 cm diameter and 110 cm length.

In order to obtain a very low background all the materials used were selected for their low intrinsic activities.

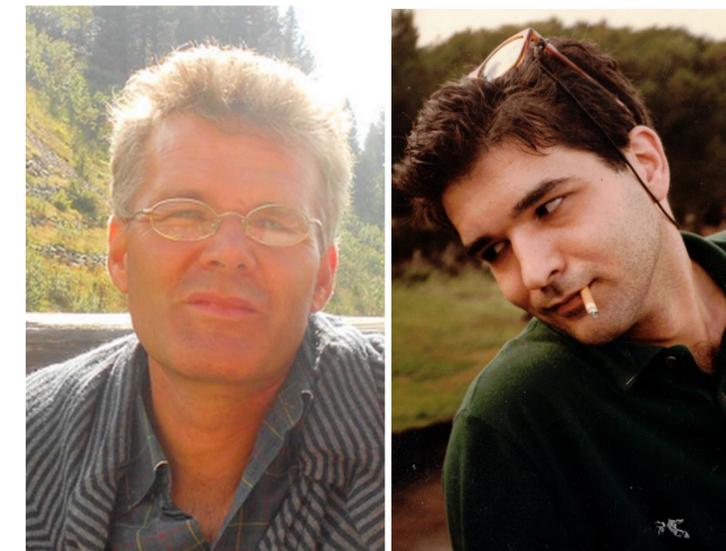
The detector is operated with Xe at 10 bar; a purification system keeps the oxygen like impurities below 0.2 ppm.

The electronics consists of 61 hybrid charge sensitive preamplifiers followed by 7 bit CAMAC flash-ADCs to digitize and store the pulses. An auxiliary output of the preamplifier is used to drive a trigger module that can be preset to any configuration of total energy and/or anode pattern. The chamber, presently under test, will soon be installed in the Gran Sasso underground Laboratory for data taking. Measurements on energy resolution over several cells and on charge transport are described.

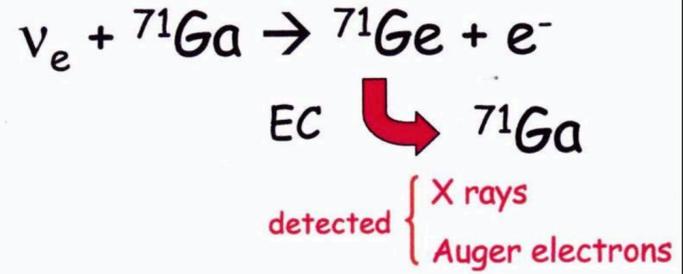
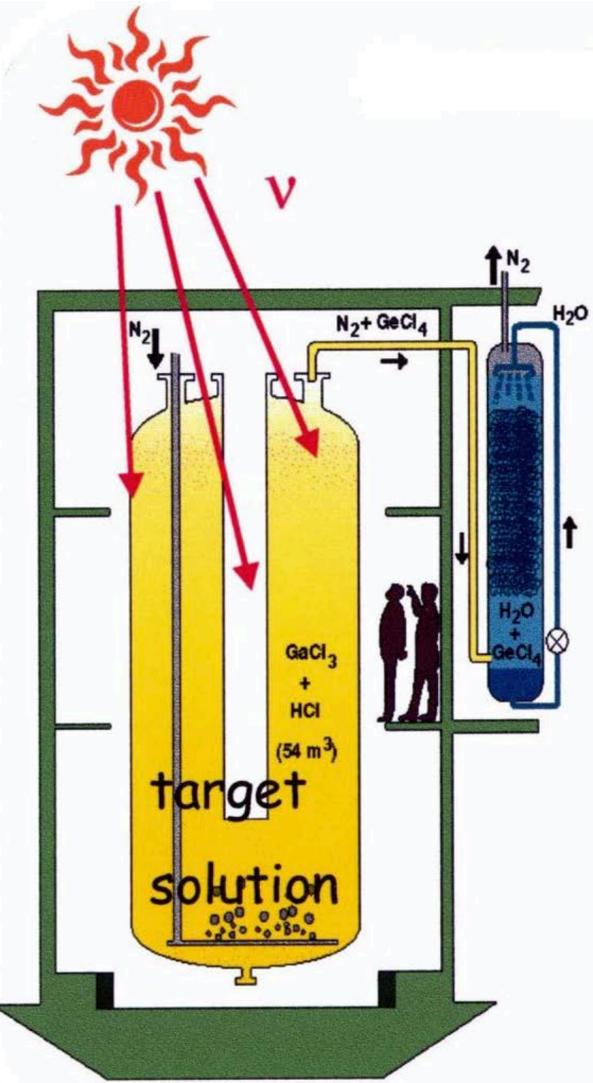


Due nuovi studenti compagno all'orizzonte:

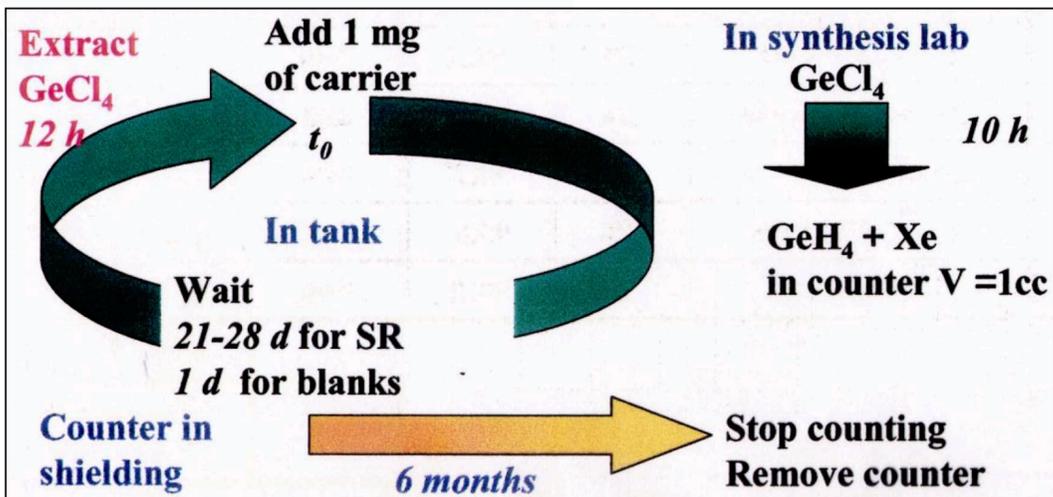
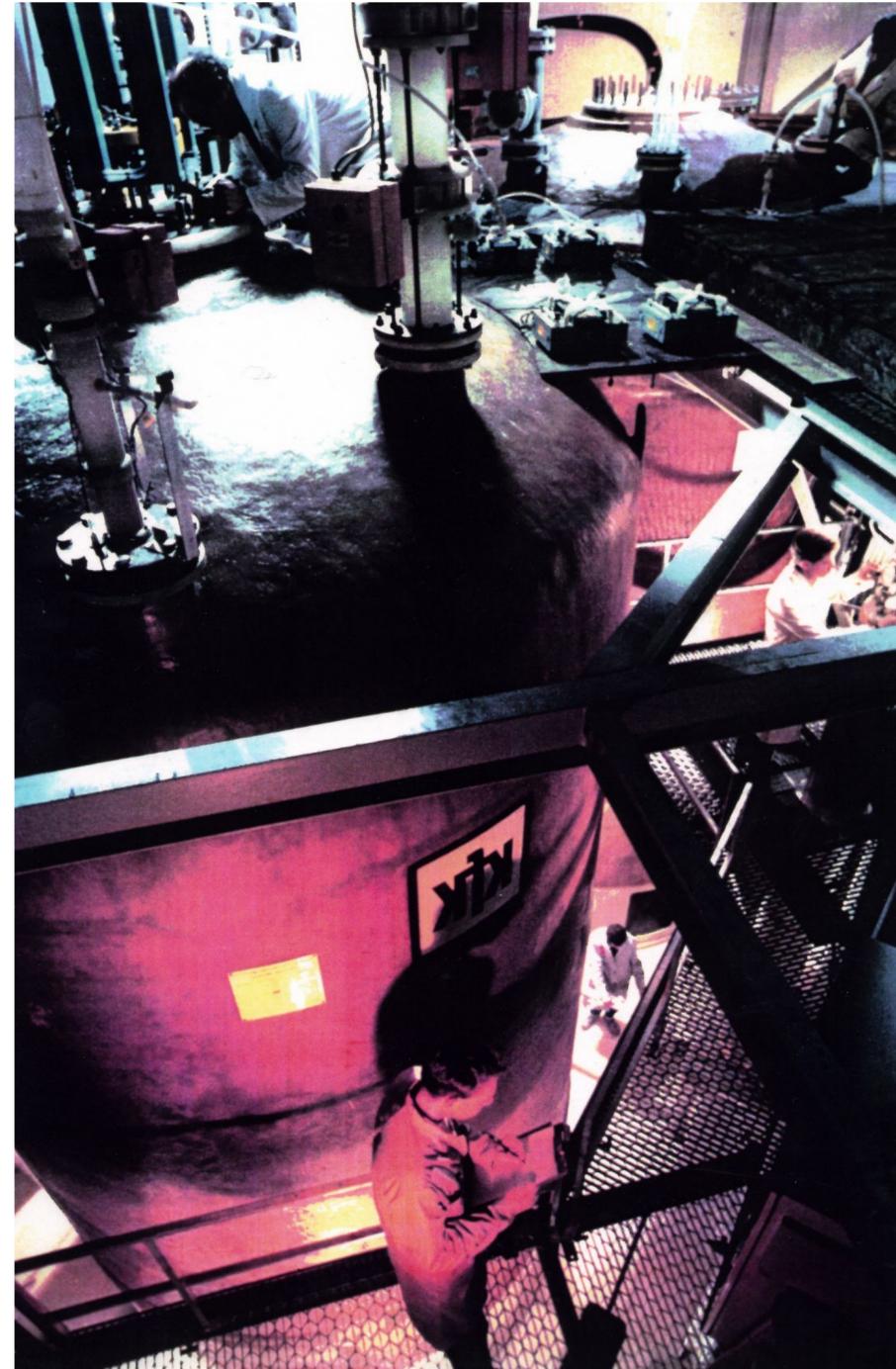
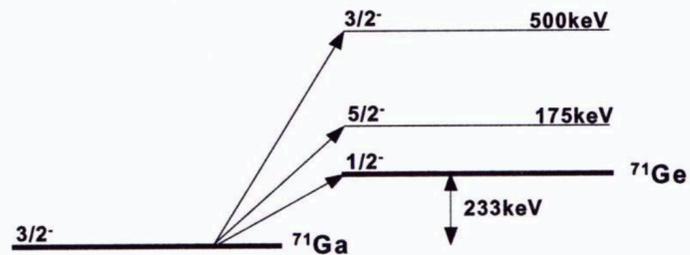
- Tommaso Tabarelli de Fatis
- Luca Carbone



GALLEX



Threshold energy: 233 keV
Only sensitive to CC (ν_e)



GALLEX e GNO

Solar neutrinos observed by GALLEX at Gran Sasso

GALLEX Collaboration ^{1,2,3,4,5}

P. Anselmann, W. Hampel, G. Heusser, J. Kiko, T. Kirsten, E. Pernicka, R. Plaga ⁶, U. Rönn, M. Sann, C. Schlosser, R. Wink, M. Wójcik ⁷

Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK), Postfach 103980, W-6900 Heidelberg, FRG

R. von Ammon, K.H. Ebert, T. Fritsch, K. Hellriegel, E. Henrich, L. Stieglitz, F. Weyrich

Institut für Heiße Chemie, Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFK), Postfach 3640, W-7500 Karlsruhe, FRG

M. Balata, E. Bellotti, N. Ferrari, H. Lalla, T. Stolarczyk

INFN - Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS), S.S. 17/bis Km18+910, I-67010 L'Aquila, Italy ³

C. Cattadori, O. Cremonesi, E. Fiorini, S. Pezzoni, L. Zanotti

Dipartimento di Fisica, Università di Milano e INFN - Sezione di Milano, Via Celoria 16, I-20133 Milan, Italy ³

F. von Feilitzsch, R. Mößbauer, U. Schanda

Physik Department E15, Technische Universität München (TUM), James-Frank Straße, W-8046 Garching bei München, FRG

G. Berthomieu, E. Schatzman

Observatoire de la Côte d'Azur, Département Cassini, B.P. 229, F-06004 Nice Cedex 4, France

and DASGAL, Bâtiment Copernic, Observatoire de Paris, 5, place Jules Janssen, F-92195 Meudon Principal, France

I. Carmi, I. Dostrovsky

Department of Environmental and Energy Research, Weizmann Institute of Science (WI), P.O. Box 26, 76100 Rehovot, Israel

C. Bacci ⁸, P. Belli, R. Bernabei, S. d'Angelo, L. Paoluzi

Dipartimento di Fisica II Università di Roma "Tor Vergata" and INFN - Sezione di Roma 2, via della Ricerca Scientifica, I-00133 Rome, Italy ³

S. Charbit, M. Cribier, G. Dupont, L. Gosset, J. Rich, M. Spiro, C. Tao, D. Vignaud

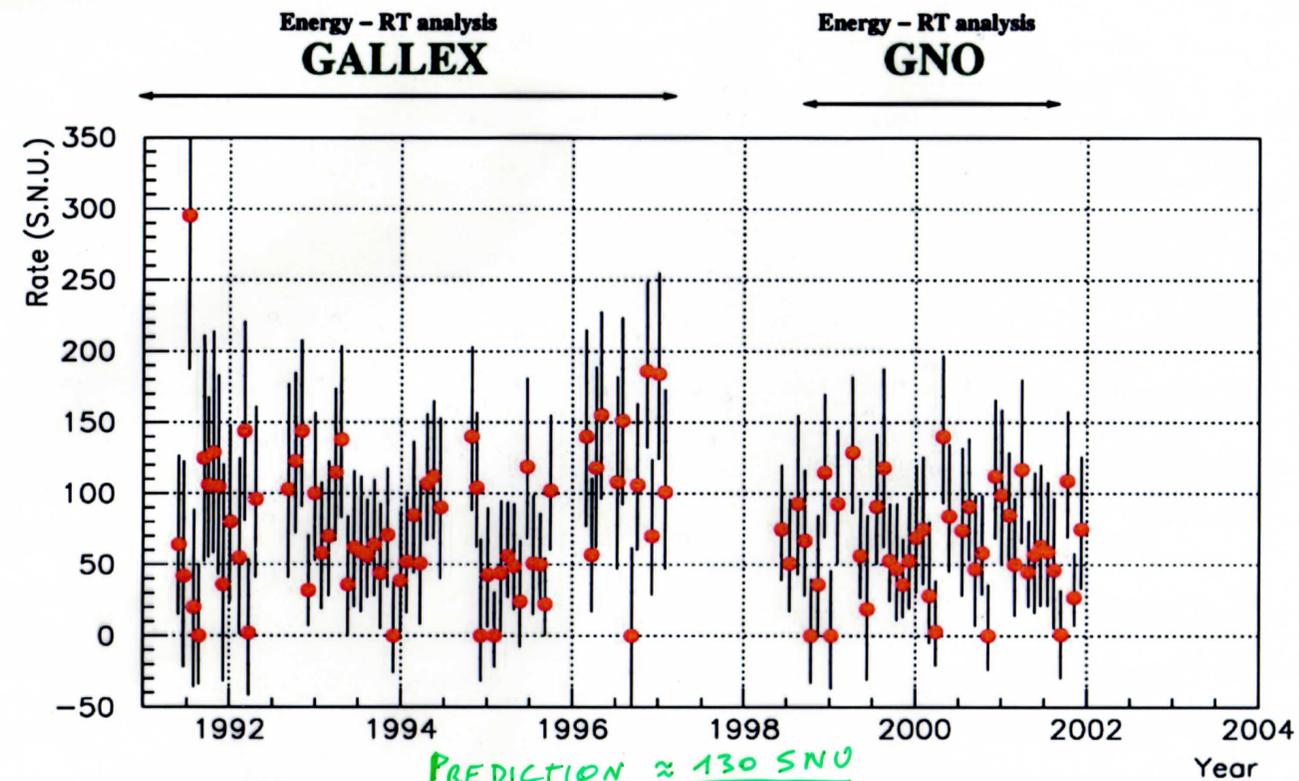
DAPNIA/Service de Physique des Particules, CE Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France ⁴

R.L. Hahn, F.X. Hartmann, J.K. Rowley, R.W. Stoenner and J. Weneser

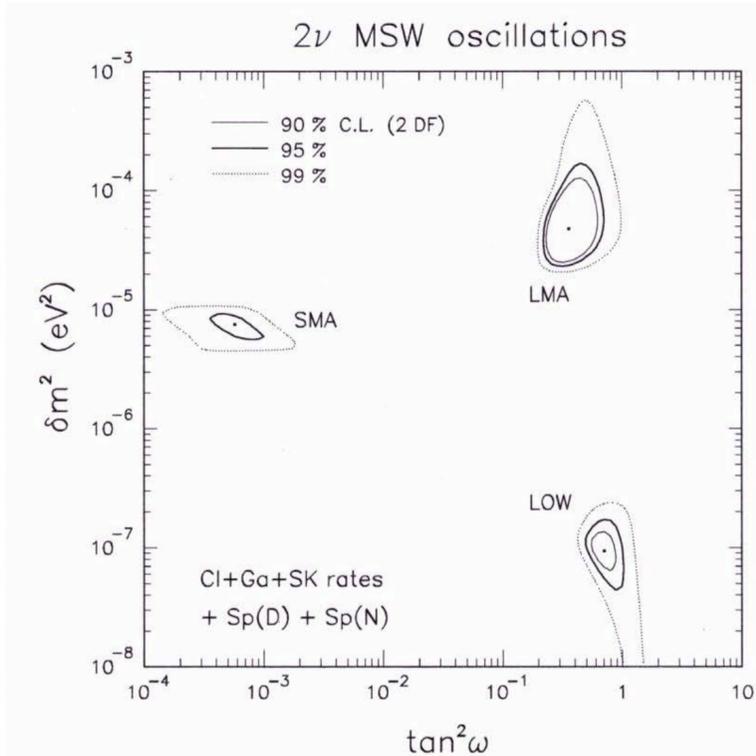
Brookhaven National Laboratory (BNL), Upton, NY 11973, USA ⁵

Received 31 May 1992

Due run di calibrazione con intense sorgenti di neutrini (⁵¹Cr)



GALLEX	65 SR	77.5 ± 6.2 (stat) ± 4.5 (sys) SNU
GNO	43 SR	65.4 ± 6.5 (stat) ± 3.0 (sys) SNU
GNO+GALLEX	108 SR	71.0 ± 4.5 (stat) ± 3.8 (sys) SNU



19 February 1998

PHYSICS LETTERS B

ELSEVIER

Physics Letters B 420 (1998) 114–126

Final results of the ⁵¹Cr neutrino source experiments in GALLEX

GALLEX Collaboration

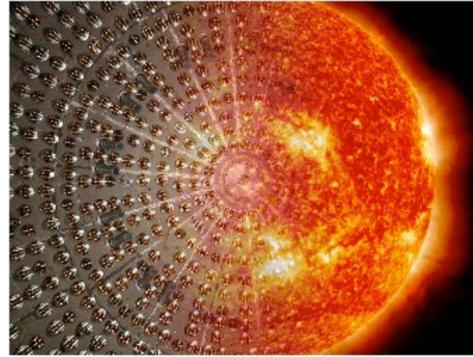
W. Hampel ^a, G. Heusser ^a, J. Kiko ^a, T. Kirsten ^a, M. Laubenstein ^a, E. Pernicka ^a, W. Rau ^a, U. Rönn ^a, C. Schlosser ^{a,1}, M. Wójcik ^{a,2}, R. v. Ammon ^b, K.H. Ebert ^b, T. Fritsch ^b, D. Heidt ^b, E. Henrich ^b, L. Stieglitz ^b, F. Weirich ^b, M. Balata ^c, F.X. Hartmann ^c, M. Sann ^c, E. Bellotti ^d, C. Cattadori ^d, O. Cremonesi ^d, N. Ferrari ^d, E. Fiorini ^d, L. Zanotti ^d, M. Altmann ^e, F. v. Feilitzsch ^e, R. Mößbauer ^e, G. Berthomieu ^f, E. Schatzman ^{f,3}, I. Carmi ^g, I. Dostrovsky ^g, C. Bacci ^{h,4}, P. Belli ^h, R. Bernabei ^h, S. d'Angelo ^h, L. Paoluzi ^h, A. Bevilacqua ^{i,5}, M. Cribier ⁱ, L. Gosset ⁱ, J. Rich ⁱ, M. Spiro ⁱ, C. Tao ^{i,6}, D. Vignaud ⁱ, J. Boger ^j, R.L. Hahn ^j, J.K. Rowley ^j, R.W. Stoenner ^j, J. Weneser ^j

GALLEX	77.5 ± 7.6_{7,8} SNU
re-evaluated	73.1 ± 7.1_{7,3} SNU
GNO (unchanged)	62.9 ± 6.0_{5,9} SNU
GALLEX+GNO	69.3 ± 5.5 SNU
re-evaluated	67.5 ± 5.1 SNU

BOREXINO: da fine anni '80 a ... ieri

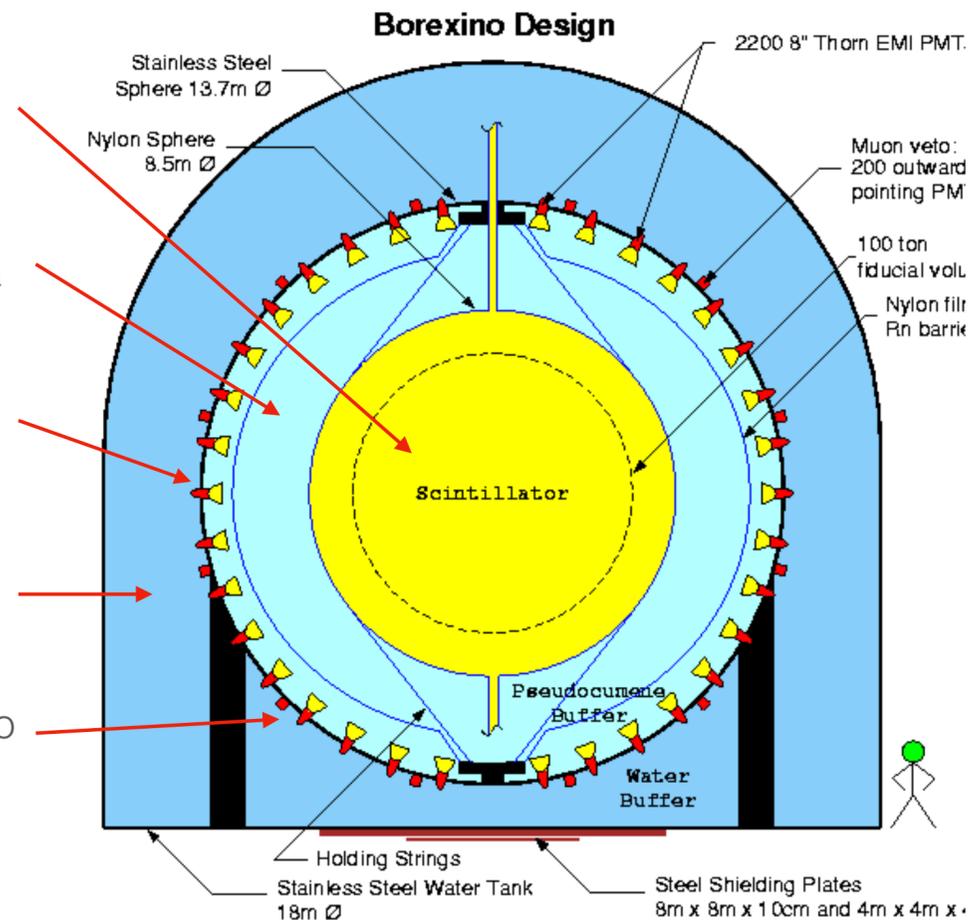
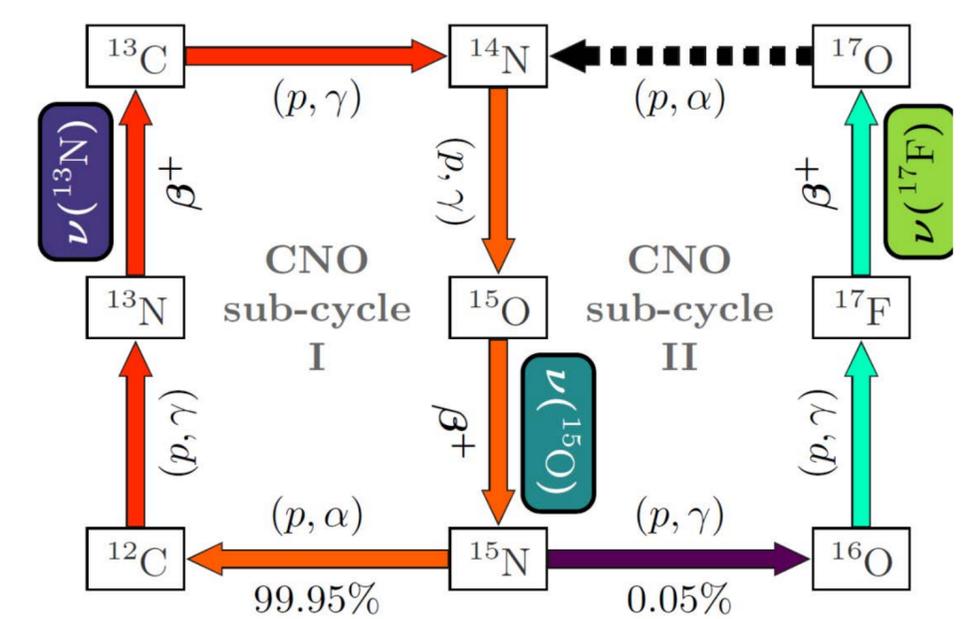
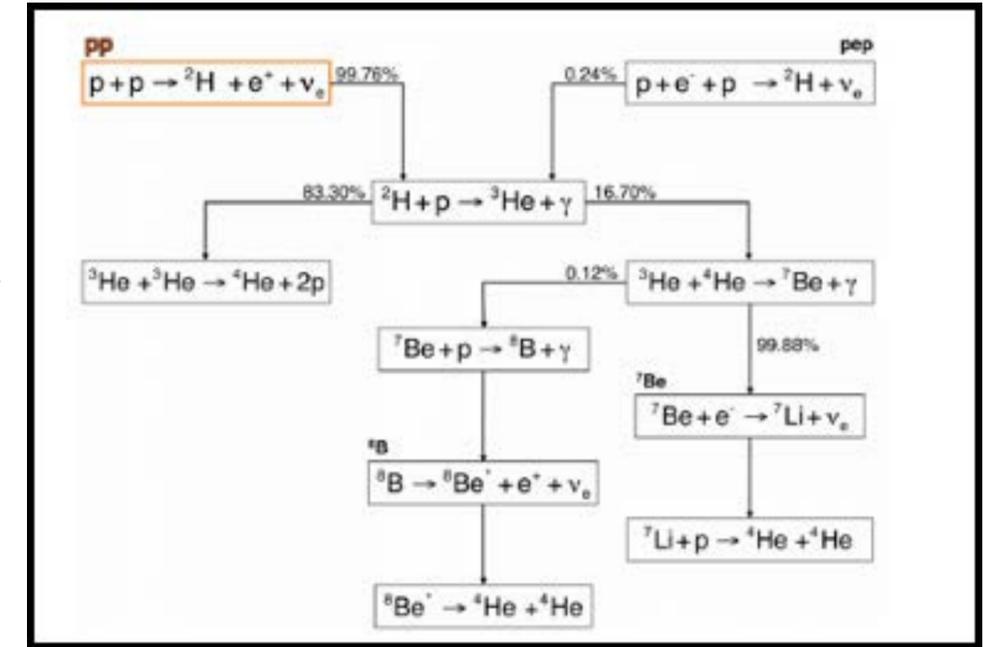


Un'incredibile avventura iniziata a metà degli anni '80 che tra numerose vicende e molti successi sta ancora fornendo gli ultimi risultati



Neutrini dal sole:

- $4p \rightarrow 2\ ^4\text{He} + \nu's + \dots$
- 2 principali cicli di reazioni di fusione: pp e CNO



Nucleo del rivelatore: 300 tonnellate di scintillatore liquido (PC+PPO) contenute in un contenitore di nylon di 4,25 m di raggio

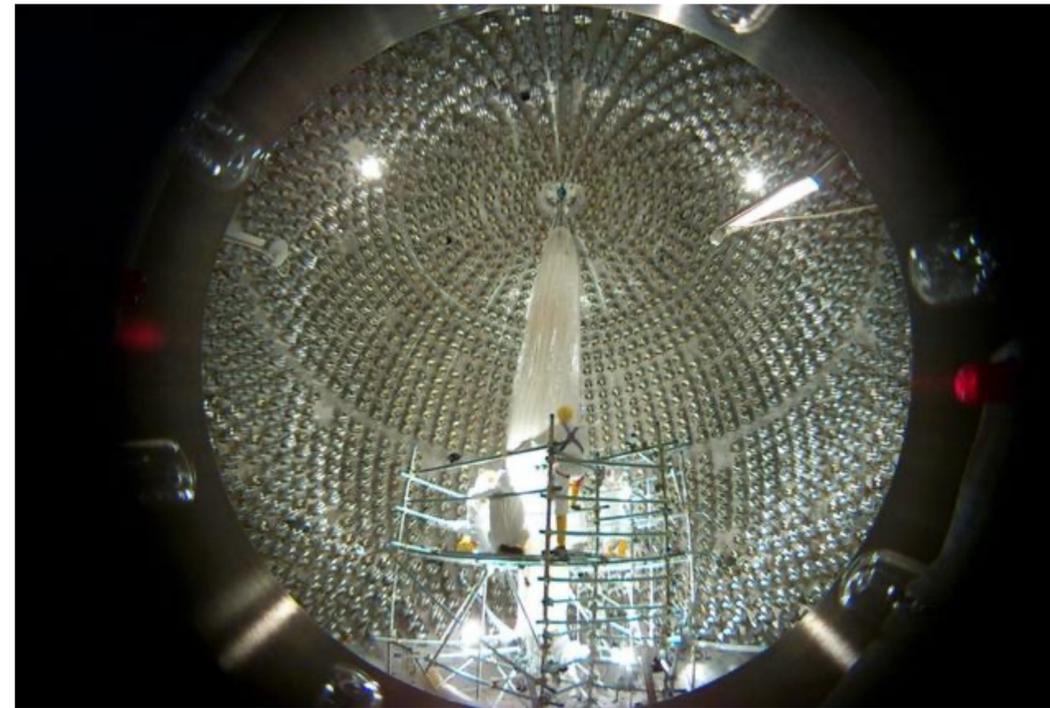
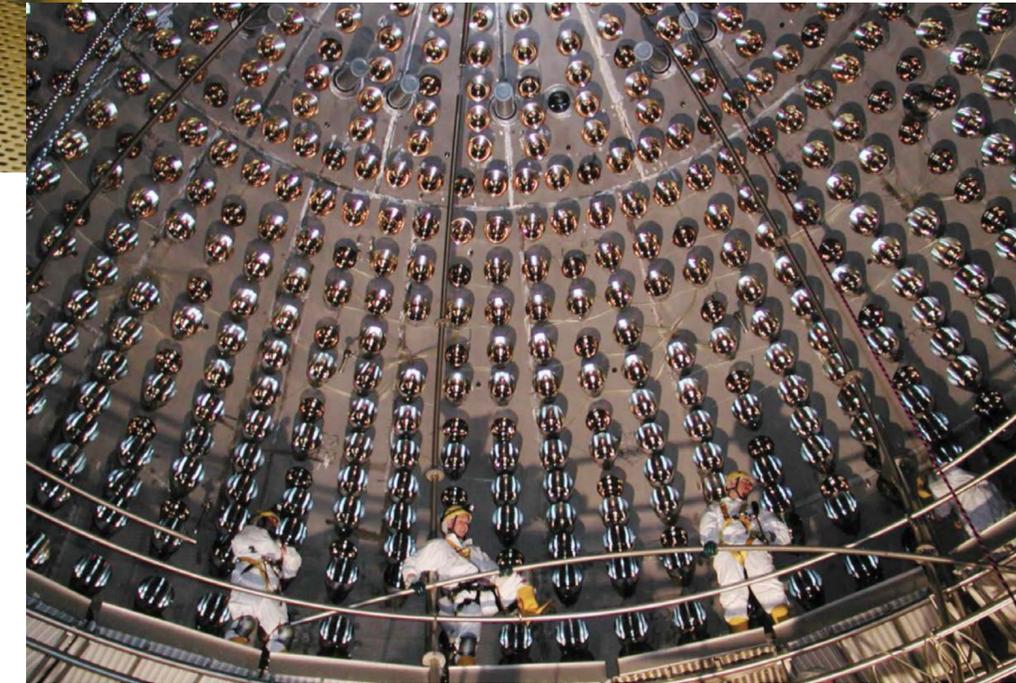
1° schermo: 1000 tonnellate di liquido tampone ultrapuro (PC puro) contenute in una sfera di acciaio inossidabile di 7 m di raggio

2214 tubi fotomoltiplicatori: puntati verso il centro per visualizzare la luce emessa dallo scintillatore

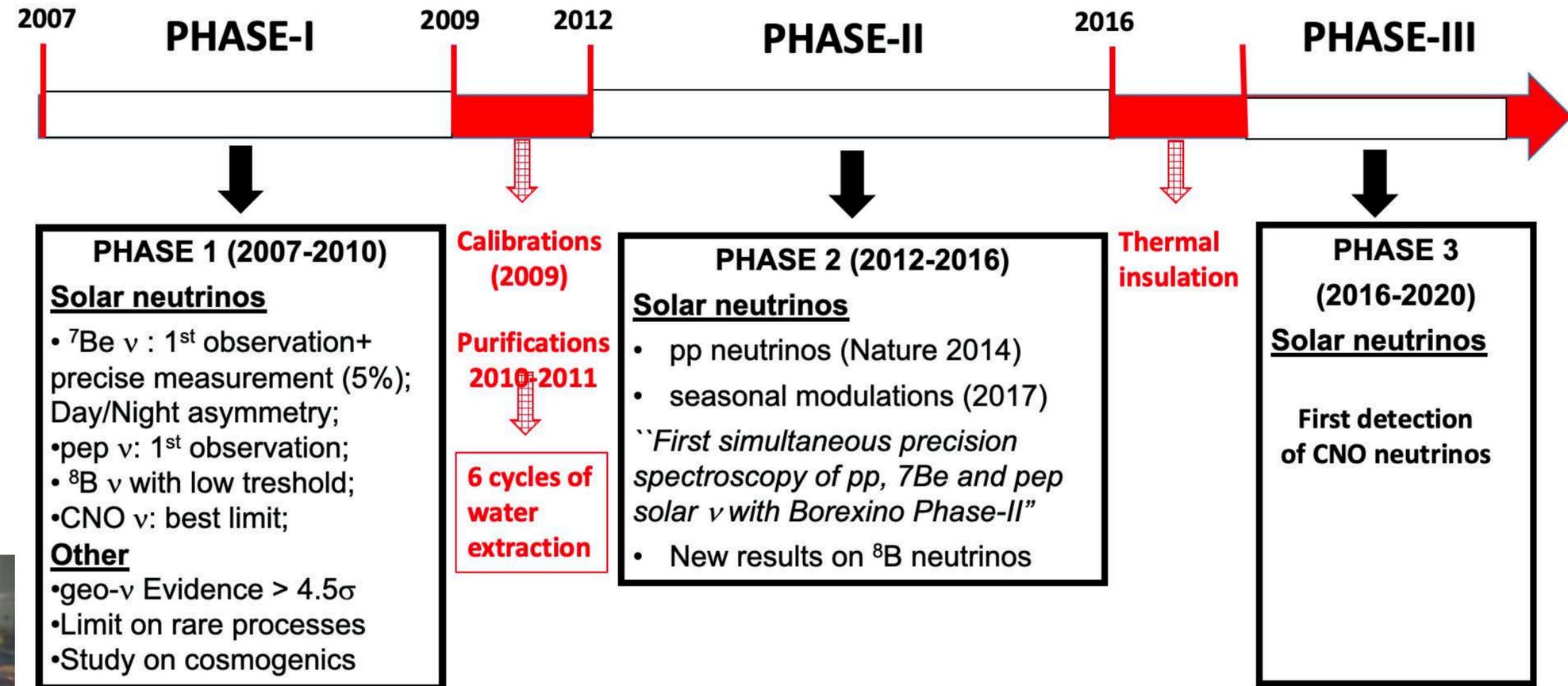
2° schermo: 2000 tonnellate di acqua purissima contenute in una cupola cilindrica

200 PMT montati sull'SSS rivolti verso l'esterno per rilevare la luce emessa nell'acqua dai muoni che attraversano il rivelatore

BOREXINO: la costruzione (fine anni '80 → 2007)



BOREXINO: la presa dati



I Bolometri

Il 1983 segna l'inizio di una nuova avventura

LOW-TEMPERATURE CALORIMETRY FOR RARE DECAYS

E. FIORINI

Dipartimento di Fisica dell'Università and INFN, Milano, Italy

T.O. NIINIKOSKI

CERN, Geneva, Switzerland

Received 27 December 1983

- Il gruppo si allarga (in ordine di apparizione)
 - Angelo Alessandrello, Andrea Giuliani, Gianluigi Pessina
 - Chiara Brofferio, Ezio Previtati
 - Angelo Nucciotti, Carlo Bucci, Maura Pavan
 - Monica Sisti, Stefano Pirro
 - Silvia Capelli, Paolo Gorla, Massimiliano Clemenzaseguito da una lunga schiera di nipoti e pronipoti



- Una “pazza idea” (almeno così l’aveva definita Frank Avignone) che ha richiesto oltre 30 anni di sviluppo per giungere a maturazione
- Si creano le prime infrastrutture (LASA) seguite a pochi anni di distanza dalla prima installazione sotterranea (LNGS)

*Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A264 (1988) 93–97
North-Holland, Amsterdam*

Section V. Dark matter searches

THERMAL DETECTION OF PARTICLES USING BOLOMETRIC DEVICES

A. ALESSANDRELLO, D.V. CAMIN, E. FIORINI, A. GIULIANI and G. PESSINA

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, 20133 Milano, Italy



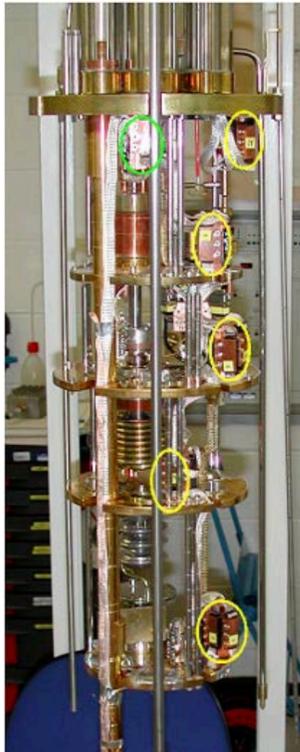
Low Temperature Detectors for Neutrinos and Dark Matter

Edited by
K. Pretzl, N. Schmitz, and L. Stodolsky



I micro-bolometri ...

- Linea dedicata per la misura diretta della massa del neutrino
- Microbolometri ad alta risoluzione:
 - ^{187}Re : MIBETA \rightarrow MARE
 - ^{164}Ho : HOLMES



Bolometric measurements of beta decay spectra of ^{187}Re with crystals of silver perrhenate

A. Alessandrello ^a, J.W. Beeman ^b, C. Brofferio ^a, O. Cremonesi ^a, E. Fiorini ^{a,*}, A. Giuliani ^a, E.E. Haller ^b, B. Margesin ^c, A. Monfardini ^a, A. Nucciotti ^a, M. Pavan ^a, G. Pessina ^a, G. Pignatelli ^c, E. Previtali ^a, L. Zanotti ^a, M. Zen ^c

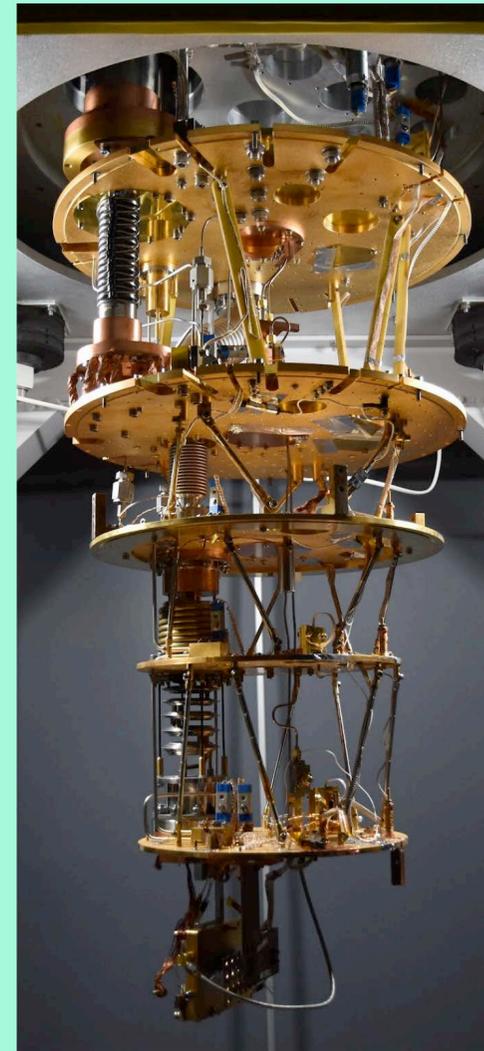
^a Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano e Sezione di Milano dell'INFN, via Celoria 16, I-20133 Milano, Italy
^b Materials Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory and Department of Materials Science, University of California, Berkeley, CA 94720, USA
^c IRST, I-38050 Povo (TN), Italy and Dipartimento di Ingegneria dei Materiali dell'Università di Trento, I-38050 Povo (TN), Italy

Received 8 February 1999

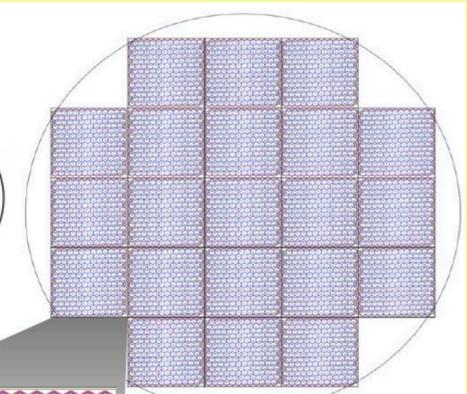
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 559 (2006) 346–348

The microcalorimeter arrays for a rhenium experiment (MARE): A next-generation calorimetric neutrino mass experiment

A. Monfardini^a, C. Arnaboldi^b, C. Brofferio^b, S. Capelli^b, F. Capozzi^b, O. Cremonesi^b, C. Enss^c, E. Fiorini^{b,1}, A. Fleischmann^c, L. Foggetta^d, G. Gallinaro^e, L. Gastaldo^c, F. Gatti^c, A. Giuliani^d, P. Gorla^b, R. Kelley^f, C.A. Kilbourne^f, B. Margesin^a, D. McCammon^g, C. Nones^b, A. Nucciotti^{b,*}, M. Pavan^b, M. Pedretti^d, D. Pergolesi^e, G. Pessina^b, F.S. Porter^f, M. Prest^d, E. Previtali^b, P. Repetto^e, M. Ribeiro-Gomez^e, S. Sangiorgio^d, M. Sisti^b

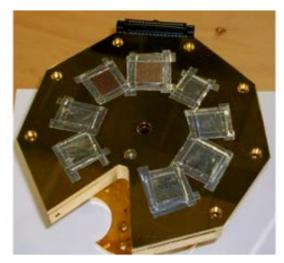
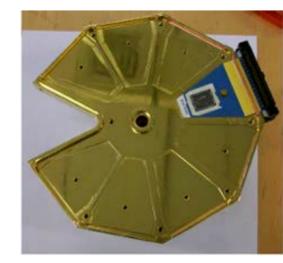
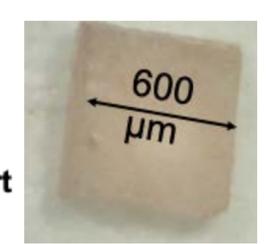
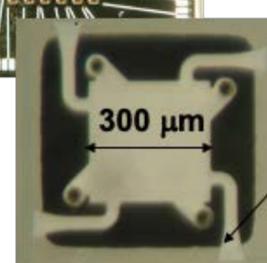
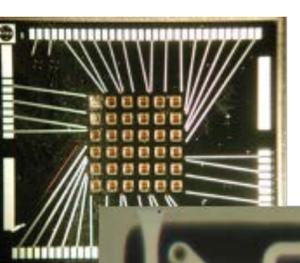
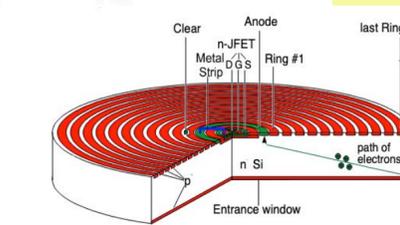
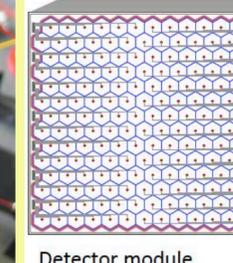
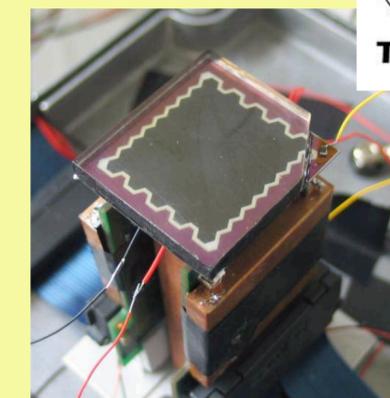


- Decadimento ^{164}Ho
- ERC Advanced Grant
- Matrice di TES



La ricerca dei neutrini sterili

- TRISTAN/KATRIN: Karlsruhe (M.Carminati)



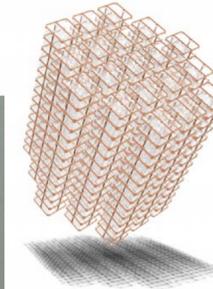
Dagli inizi a Cuoricino

CONSTRUCTION OF A MASSIVE GERMANIUM THERMAL DETECTOR FOR EXPERIMENTS ON RARE DECAYS

A. ALESSANDRELLO, D.V. CAMIN, E. FIORINI and A. GIULIANI
 Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano and Sezione dell'INFN, I-20133 Milan, Italy

Received 22 December 1987

In view of future experiments on rare decays we have constructed and operated a composite germanium bolometer with an energy resolution of about 1% and a mass of about **0.7g**, larger by more than three orders of magnitude than those of any existing thermal detector. Unlike the previous ones, this bolometer also presents heat capacity in good agreement with the Debye law, with a percentage of thermalized alpha particle energy of at least 70%.



A cryogenic tellurium detector for rare events and gamma rays

A. Alessandrello¹, C. Brofferio, D. Camin, O. Cremonesi, E. Fiorini, A. Giuliani and G. Pessina
 Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano and Sezione di Milano dell'INFN, I-20133 Milan, Italy

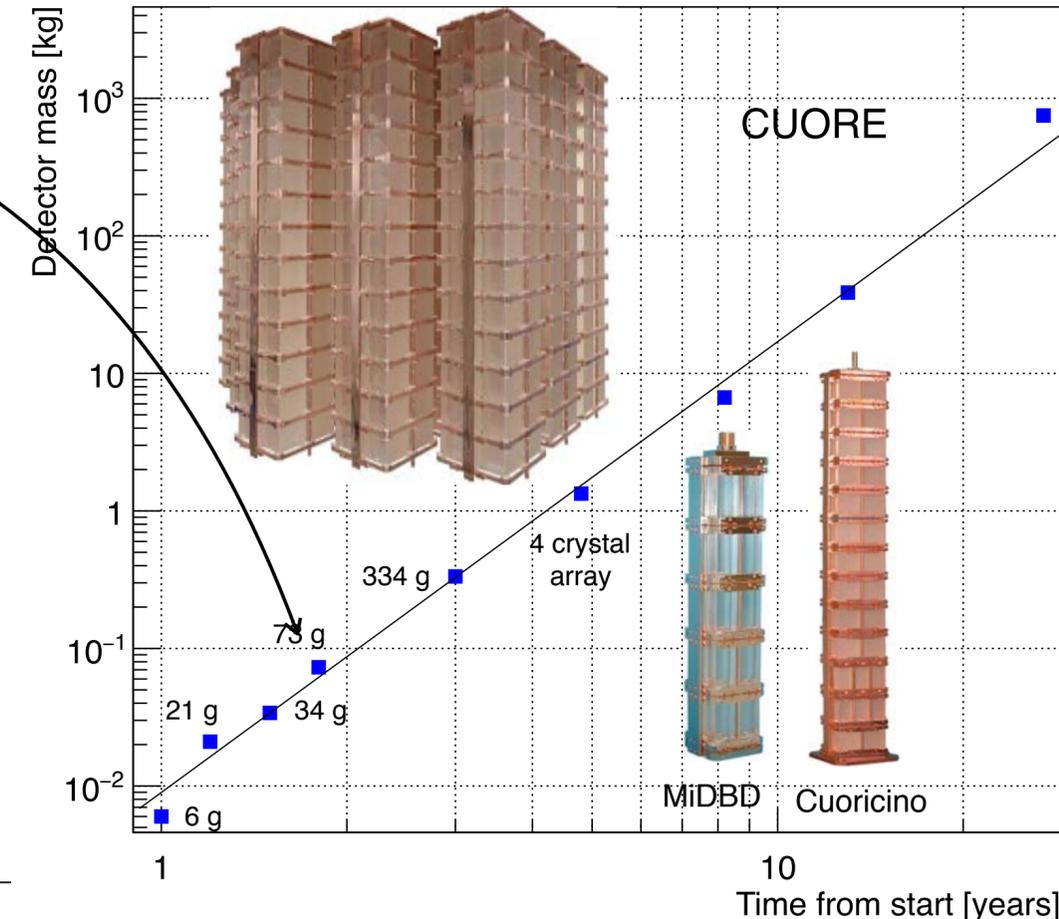
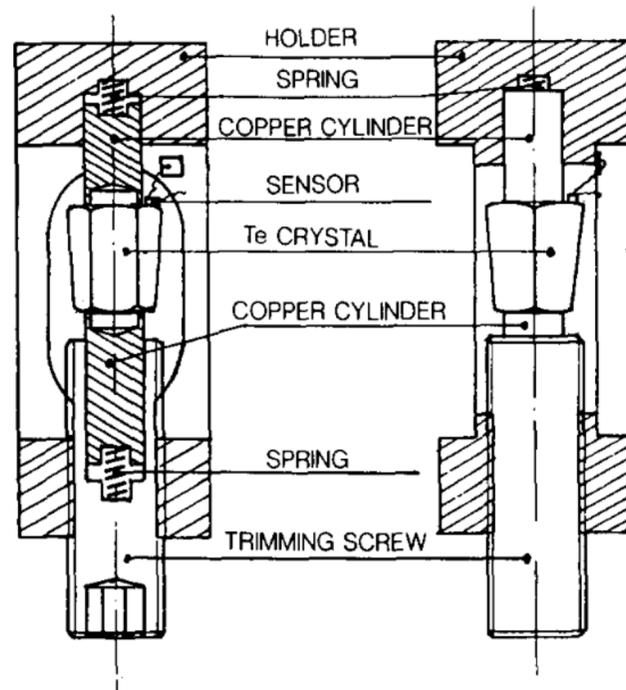
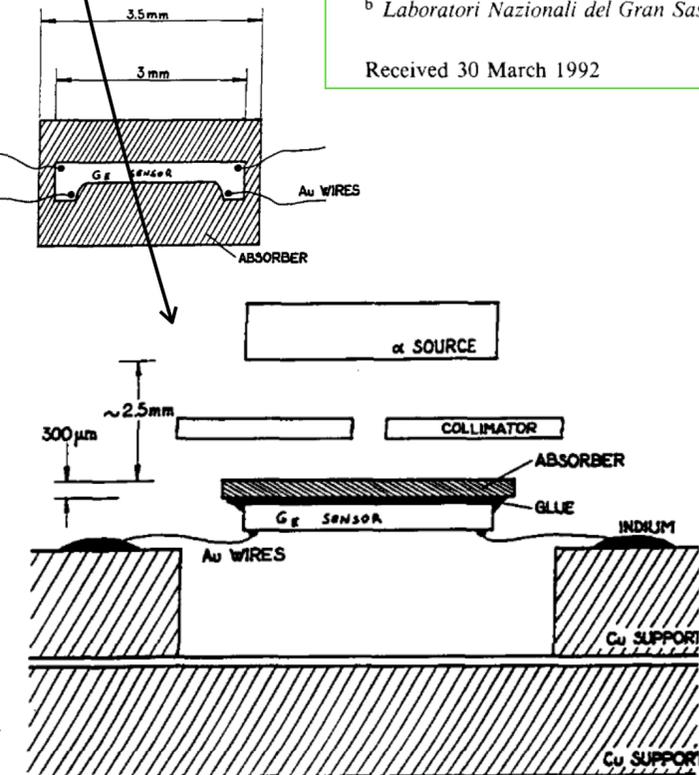
Received 11 June 1990

A search for neutrinoless double beta decay of ¹³⁰Te with a thermal detector

A. Alessandrello^a, C. Brofferio^{a,b}, D.V. Camin^a, O. Cremonesi^a, E. Fiorini^a, G. Gervasio^a, A. Giuliani^a, M. Pavan^a, G. Pessina^a, E. Previtali^a and L. Zanotti^a

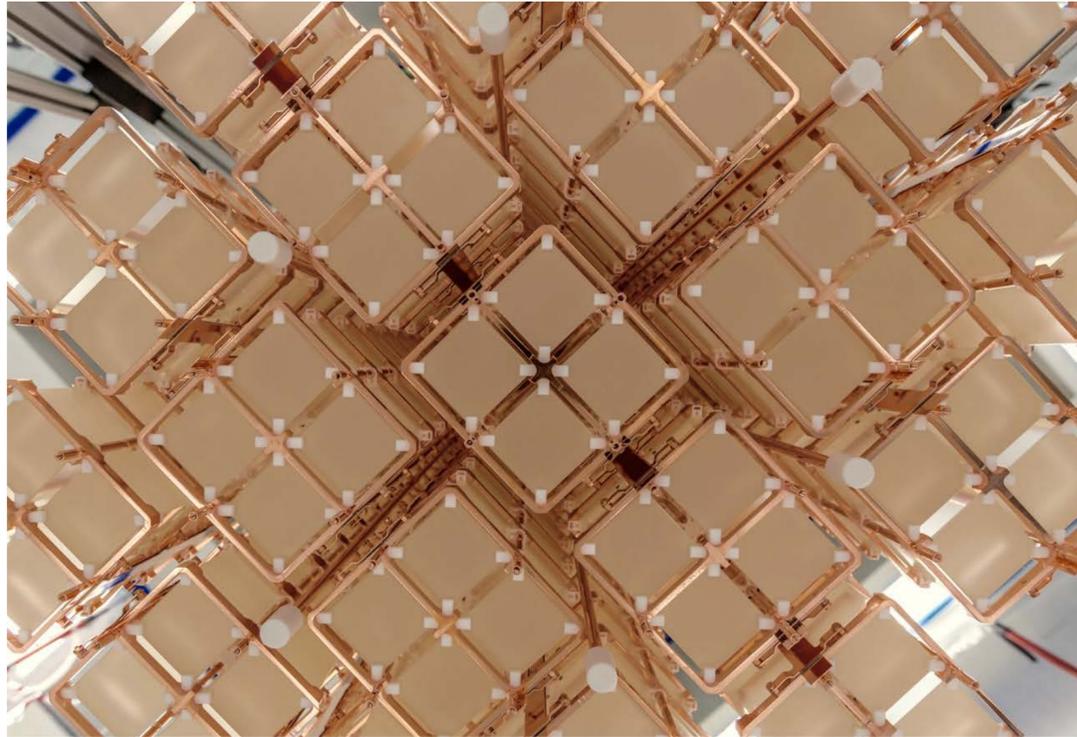
^a Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano, and Sezione di Milano dell'INFN, I-20133 Milan, Italy
^b Laboratori Nazionali del Gran Sasso, I-67010 Assergi (L'Aquila), Italy

Received 30 March 1992



CUORE

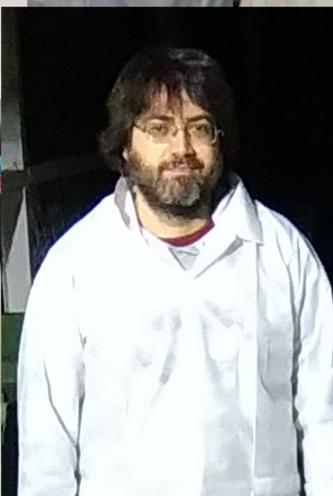
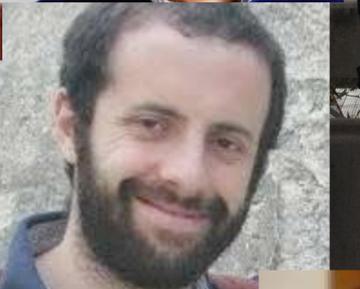
- Un forte impegno che rappresenta la realizzazione di una “folle idea” e che vede coinvolta la sezione di Milano per molti anni



- 988 cristalli di TeO_2 per 750 kg
- operati a ~ 10 mK in un criostato progettato e realizzato dalla sezione di Milano
- una schermatura “fredda” unica
- una collaborazione internazionale



CUORE



GERDA



- La ricerca del **Doppio Decadimento Beta** ha radici profonde a Milano
- Il gruppo di Carla Cattadori ed Enrico Bellotti ha contribuito significativamente al successo di GERDA ai LNGS:



- eccellenti prestazioni dei rivelatori
- condizione di “fondo zero”
- miglior limite sul $\beta\beta 0\nu$ del ^{76}Ge : $\tau_{1/2} > 1.6 \cdot 10^{26}$ anni

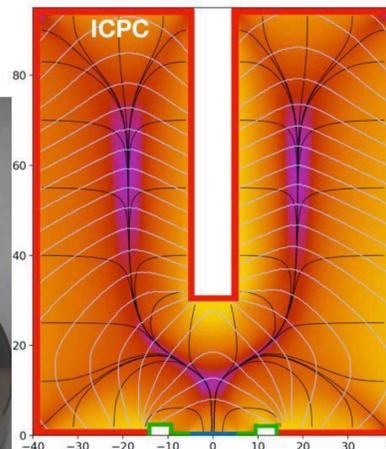


Prospettive di miglioramento:

- Incremento della massa
- miglioramento del fondo
- e delle prestazioni dell'apparato

→ **LEGEND200**

- 200 kg di germanio arricchito isotopicamente
- approvato e finanziato
- sta ultimando messa in opera @ LNGS



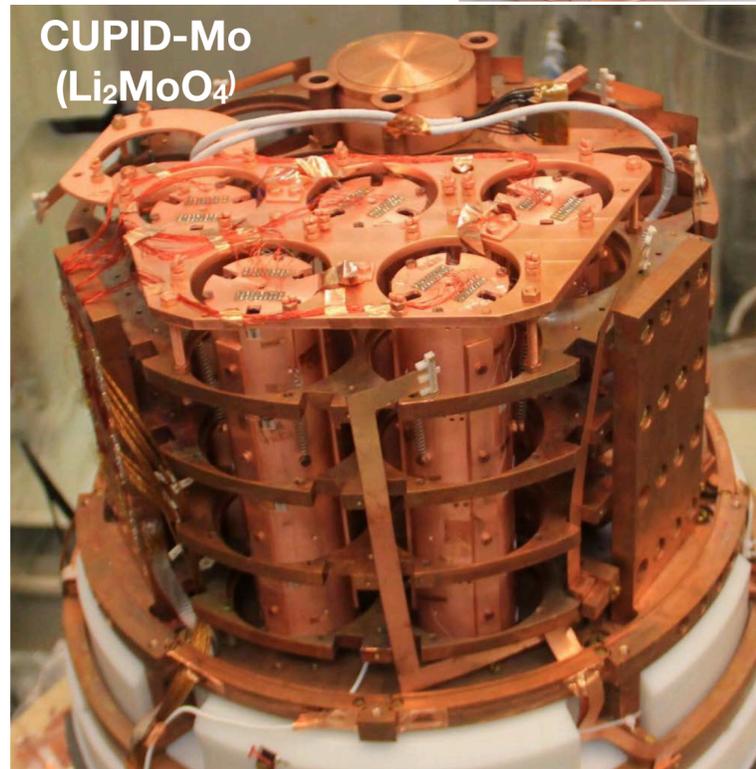
Uno sguardo al futuro

CUORE ha evidenziato le potenzialità dei bolometri

- ▶ stabilità
- ▶ versatilità
- ▶ risoluzione
- ▶ massa

L'utilizzo di **bolometri scintillanti** permette di migliorare anche il fondo: → **CUPID**

- ▶ ~1600 cristalli di $\text{Li}_2^{100}\text{MoO}_4$
- ▶ stessa infrastruttura di CUORE
- ▶ lettura simultanea di luce e calore
- ▶ 2 dimostratori



The Site of the Wright Brothers' First Airplane Flight

The 2015
LONG RANGE PLAN
for **NUCLEAR SCIENCE**

Double Beta Decay APPEC Committee
Report
Version 3
February 11, 2020

Committee members: Andrea Giuliani, J.J. Gomez Cadenas, Silvia Pascoli (Chair), Ezio Previtali, Ruben Saakyan, Karoline Schäffner and Stefan Schönert

Figure 1: Schematic view of neutrinoless double beta decay.

DOE NP Portfolio Review
July 2021

- CUPID
- LEGEND-1000
- nEXO

North America - Europe Workshop on Future of Double Beta Decay
29 September 2021 to 1 October 2021
Gran Sasso National Laboratory (LNGS)

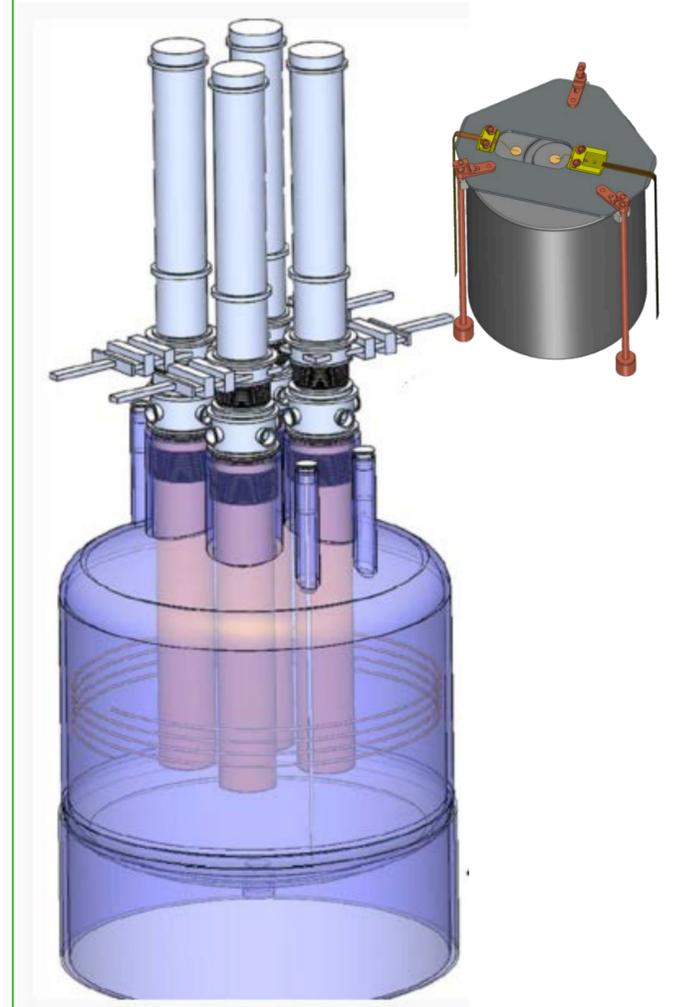
The Majorana nature of neutrino and the possible contribution of neutrinos to explain the matter-antimatter asymmetry in the universe are among the most challenging physics goals in the next decade. The purpose of the North America-Europe workshop on Double Beta Decay is to stimulate the discussion between the North American and European double beta decay community and the corresponding funding agencies to consolidate a strategy and define a path to the discovery of Majorana neutrinos. The discussion will focus on the upcoming generation of high sensitivity projects, their discovery potentials and the underground infrastructures.

INFN APPEC
The Workshop is jointly organized by INFN, APPEC and DOE.

- ➔ il decadimento doppio beta senza neutrini è una priorità
- ➔ le migliori possibilità di successo sono rappresentate da una campagna internazionale con più di un esperimento su larga scala

→ **LEGEND-1000**

- ▶ 1000 kg di germanio
- ▶ prestazioni ancora migliori
- ▶ CD1 del DOE nel 2023



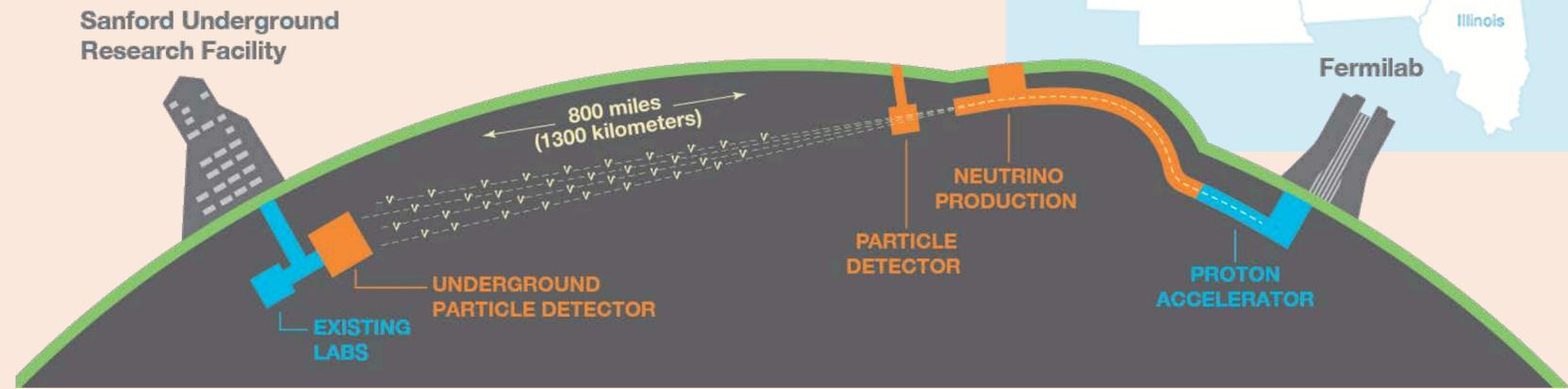
Esperimenti di oscillazione dei neutrini

- Hanno fornito una chiara evidenza che dei limiti della nostra descrizione delle particelle elementari
- Restano una priorità per lo studio delle proprietà dei neutrini

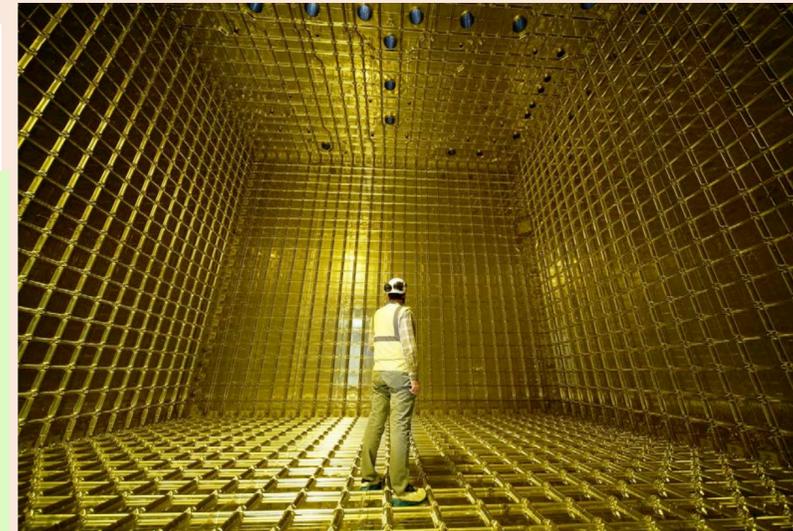
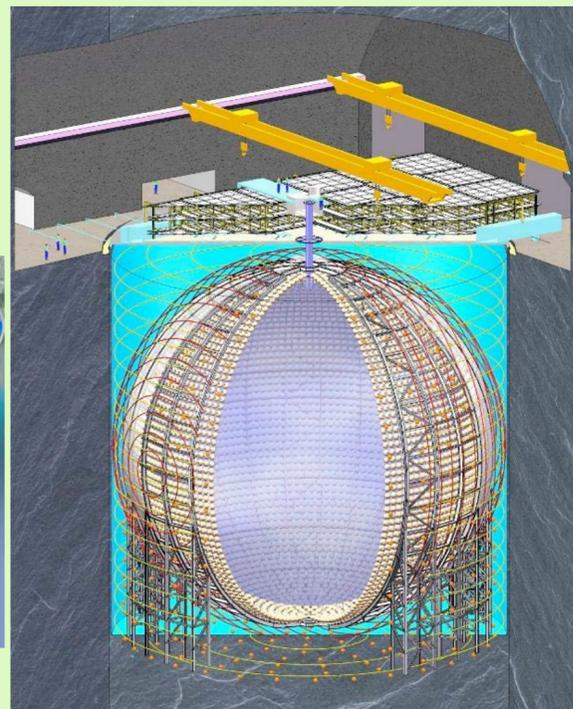
ICARUS al Fermilab (R.Benocci): sta ultimando la messa in opera



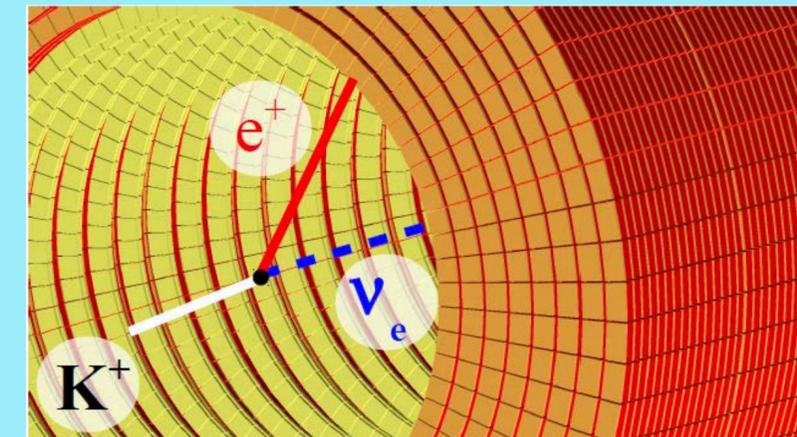
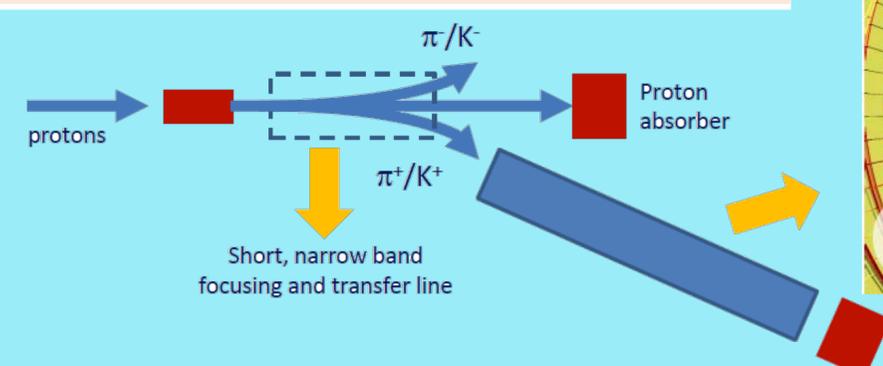
DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment):
FNAL → SURF (P.Sala/F. Terranova)



JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory): ν da reattore (G.Ranucci/M.Sisti)



ENUBET (ERC): monitoraggio ν da acceleratore (F. Terranova)



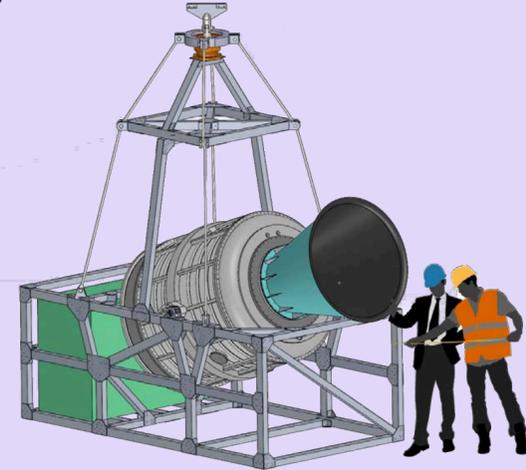
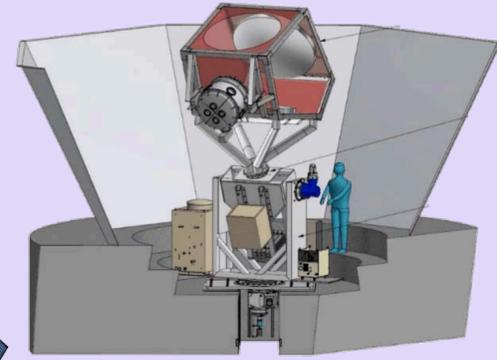
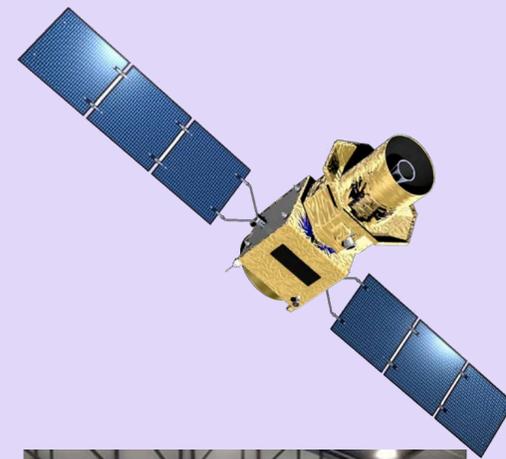
Last but not least



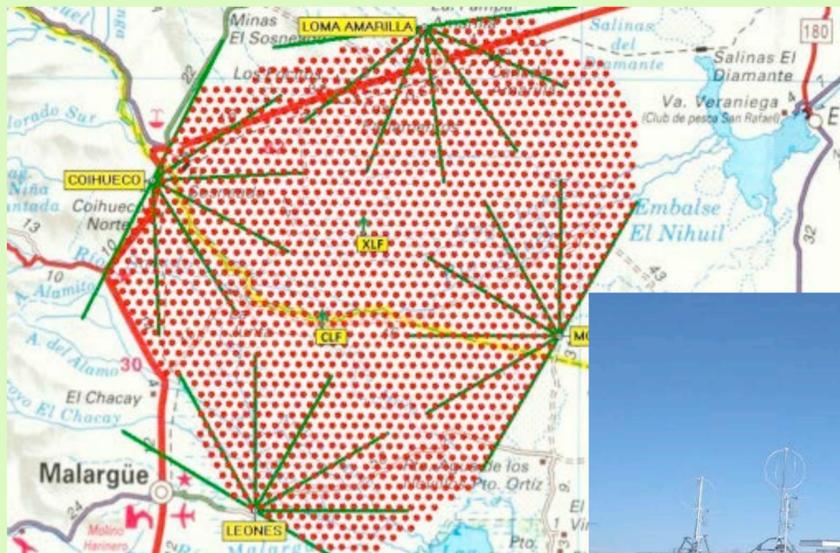
AMS2: stazione spaziale internazionale (M.Gervasi)



VIRGO: Cascina (B. Giacomazzo)



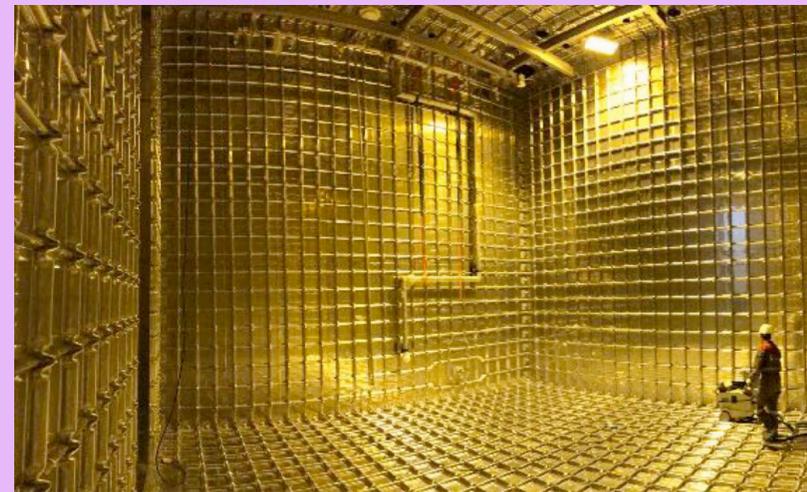
QUBIC: pallone (S.D'auria)
LSPE: Canarie+pallone (B.Baccianiga)
LiteBIRD: JAXA (L.Tomasi/M.Zannoni)



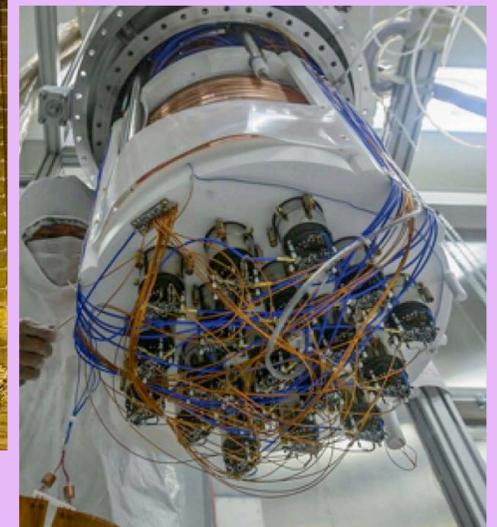
SABRE: LNGS (D.D'Angelo)



AUGER: Malargüe (L.Caccianiga, P.Sala)



DARKSIDE: LNGS (S.D'auria)



Riconoscimenti

Premio Feltrinelli

- 1983: Ettore Fiorini
 - scoperta correnti deboli neutre

Premio Fermi (SIF)

- 2007: Ettore Fiorini
 - scoperta correnti deboli neutre e neutrini solari
- 2011: Antonino Pullia
 - scoperta correnti deboli neutre
- 2017: Gianpaolo Bellini
 - misura dello spettro dei neutrini solari



Premio Pontecorvo (JINR)

- 2013: Ettore Fiorini
 - fisica degli eventi rari
- 2016: Gianpaolo Bellini
 - sviluppo di metodi di rivelazione di neutrini a bassa energia