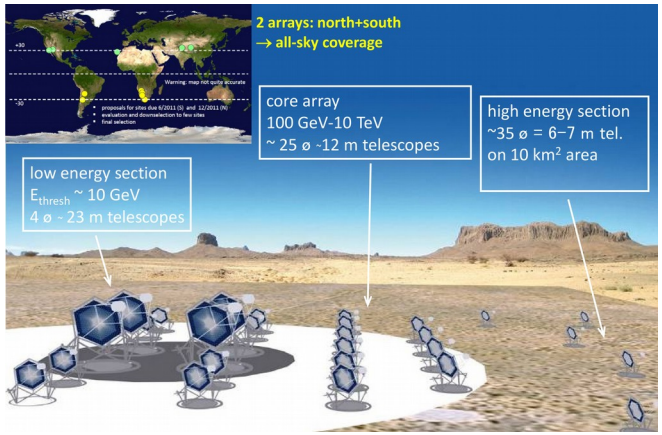
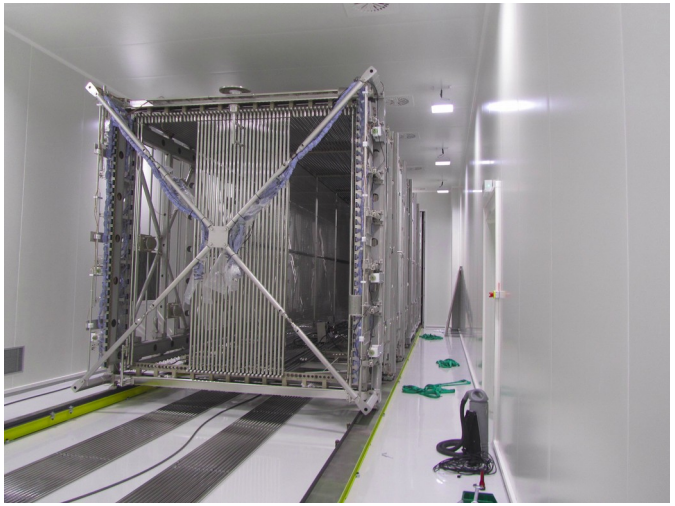
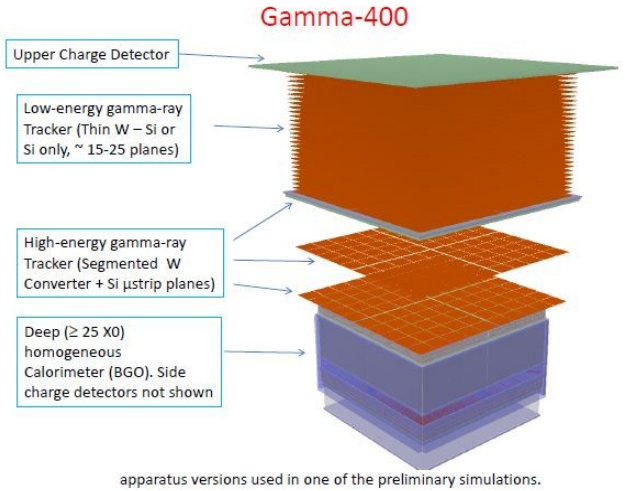
Consuntivi Scientifici
Esperimenti di Gruppo 2







Alessandro Menegolli

Dipartimento di Fisica e INFN Pavia

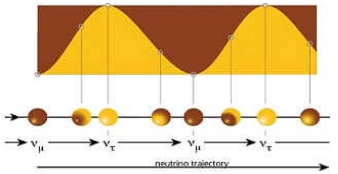
(Grazie a G.L. Raselli, P.W. Cattaneo e M. Roncadelli)

CdS INFN Pavia

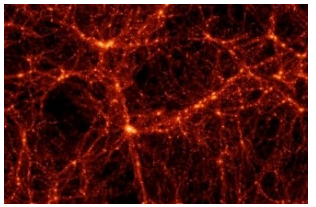
11 giugno 2015

Attività: 6 settori di ricerca

Linea 1: Fisica del neutrino.
Oscillazioni di neutrino.

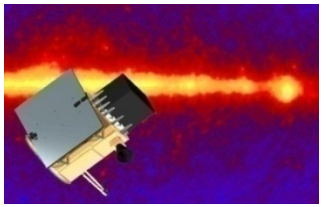


Linea 2: Misure di processi rari.
Materia oscura, decadimento doppio beta.

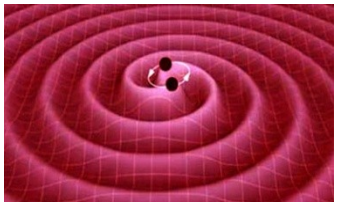


Linea 3: Studio della radiazione cosmica a terra.
Raggi cosmici, raggi gamma, neutrini cosmici.

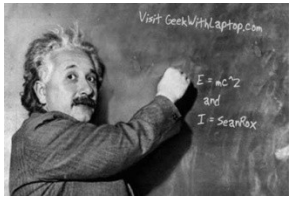
Linea 4: Studio della radiazione cosmica nello spazio.
Sorgenti puntiformi, raggi gamma, antimateria.



Linea 5: Ricerca di onde gravitazionali.



Linea 6:Fisica generale.
Misure di g, effetti relativistici, proprietà quantistiche del vuoto.



Risorse 2015

Distribuzione dei ricercatori e delle risorse per linea di ricerca.

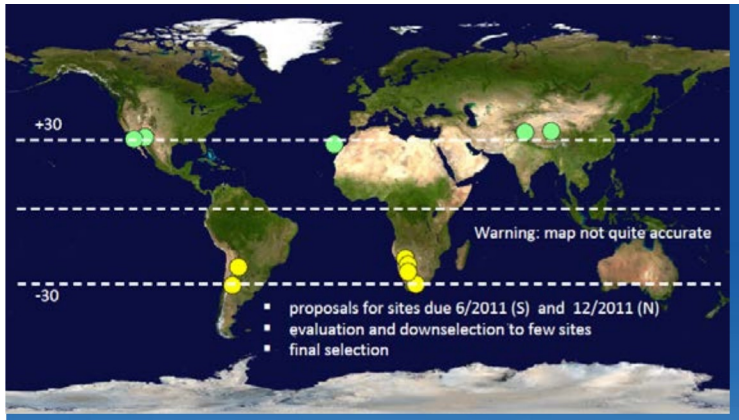
Linea (*=nuova sigla)	N. Esp.	Budget 2015 k€
1-Fisica del neutrino. BOREX ICARUS JUNO* NESSIE-RD OPERA T2K	6	17.8%
2-Misure di processi rari. CRESST* CUORE DAMA DARKSIDE GERDA LUCIFER-RD LVD QUAX* XENON	9	20.0%
3-Studio della radiazione cosmica a terra. AUGER CTA KM3 MAGIC	4	24.2%
4-Studio della radiazione cosmica nello spazio. AMS2 COSMO_WNEXT* DAMPE FERMI GAMMA400 JEM-EUSO-RD LSPE* WIZARD	8	18.0%
5-Ricerca di onde gravitazionali. AURIGA LISA-PF ROG VIRGO	4	10.6%
6-Fisica generale. FISH* G-GRANSASSO-RD HUMOR LARASE LIMADOU* MAGIA MICRA MOONLIGHT2 PVLAS SUPREMO	10	9.4%
Totale	**41**	**12445**

Gruppo 2 a Pavia

Distribuzione dei ricercatori e delle risorse per linea di ricerca.

Linea	N. Esp.	FTE/Pers.
1-Fisica del neutrino. F. Boffelli, E. Calligarich, A. Falcone, A. Menegolli, C. Montanari, A. Piazzoli, A. Rappoldi, G.L. Raselli, M. Rossella, M. Spanu, M. Torti, A. Zani.	**ICARUS**	7.3 / 12
2-Misure di processi rari.	-	-
3-Studio della radiazione cosmica a terra.	-	-
4-Studio della radiazione cosmica nello spazio. P.W. Cattaneo, A. Rappoldi M. Roncadelli	**GAMMA400** (AGILE) **CTA**	0.6 / 2 - 0.5 / 1
5-Ricerca di onde gravitazionali.	-	-
6-Fisica generale.	-	-
Totale	**2 finanziati** **1 su DTZ**	**8.4 / 14**

Progetto CTA (Cherenkov Telescopes Array)



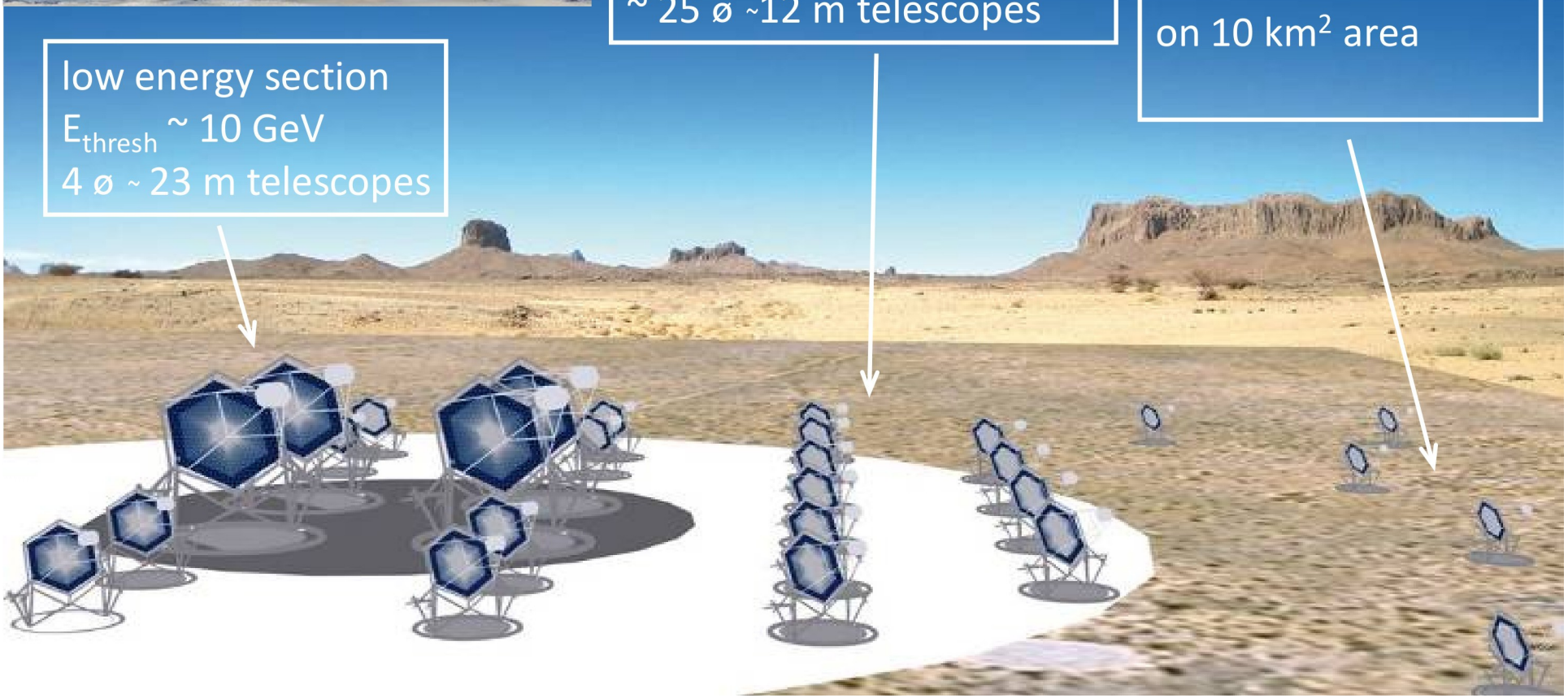
2 arrays: north+south
→ all-sky coverage

cta
cherenkov telescope array

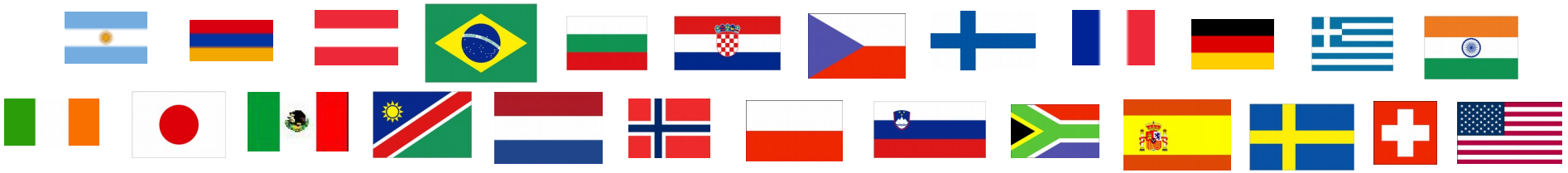
core array
100 GeV-10 TeV
~ 25 ø ~12 m telescopes

high energy section
~35 ø = 6−7 m tel.
on 10 km^2 area

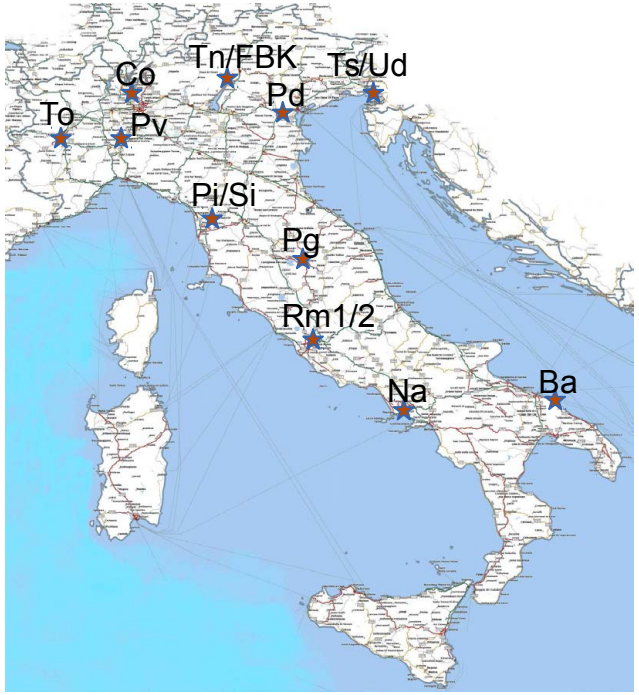
low energy section
E_{thresh} ~ 10 GeV
4 ø ~ 23 m telescopes



Collaborazione CTA



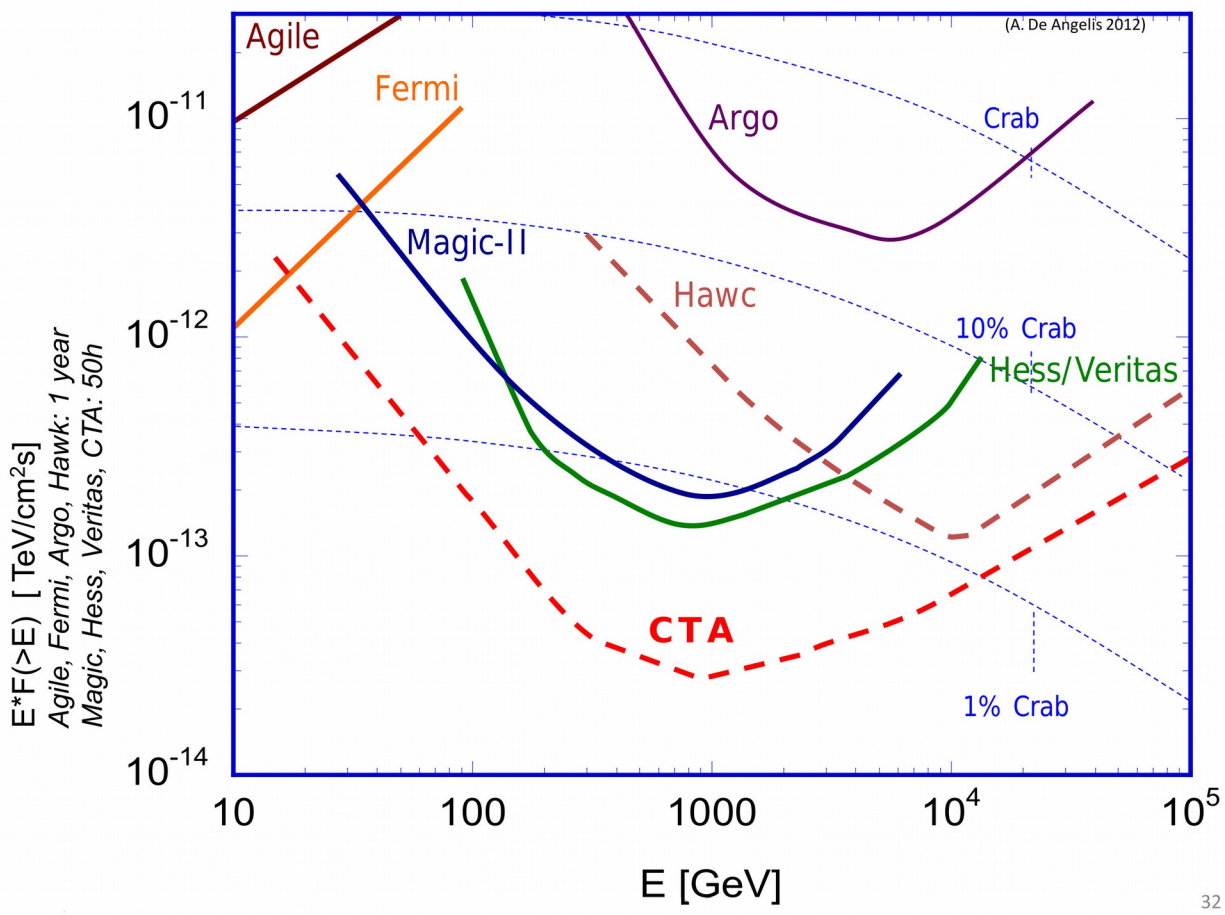
27 Nations: Argentina Armenia Austria Brazil Bulgaria Croatia Czech Finland France Germany Greece India Italy Ireland Japan Mexico Namibia Netherlands Norway Poland Slovenia South-Africa Spain Sweden Switzerland United-Kingdom U.S.A.



INAF: Osservatorio di Brera; Osservatorio di Bologna; Osservatorio di Catania; IASF-Palermo; Osservatorio di Padova; IASF-Roma; Osservatorio di Roma; IFSI-Torino; Telescopio Nazionale Galileo;

INFN: Bari; Como/Milano Bicocca; Napoli; Padova; Pavia; Perugia; Roma Tor Vergata; Torino; Udine.

Caratteristiche CTA



Costo Progetto: ~200 Meuro

Costruzione prototipi: ~2016
Primi risultati: ~2017
Completamento: ~2020

Negoziazione dei siti per l'installazione:

SUD: Aar in Namibia
ESO Chile
Leoncito in Argentina
Decisione Luglio 2015

NORD: Siti in Messico, Spagna (Canarie) o USA (Arizona)
Decisione Novembre 2015

Consuntivo CTA Pavia

- L'idea che i fotoni di energia superiore a 100 GeV emessi dai *blazar* (AGN con jet orientato verso di noi) possano convertirsi in axion-like particles (*ALPs*) all'interno della sorgente e riconvertirsi in fotoni della stessa energia nel campo magnetico galattico è stata proposta nel 2008 ed ha attirato un'attenzione crescente.

- Un motivo è che - dato che le ALP non interagiscono con l'Extragalactic Background Light (EBL) - l'intensità del flusso osservato dai blazar sarebbe molto maggiore di quanto predetto dalla fisica convenzionale, il che permetterebbe di osservare blazar più deboli e più lontani (nessuno sa quale sia il valore del flusso emesso).

- L'altro motivo è che l'effetto è direzionale, a causa dell'anisotropia del campo magnetico galattico.

- Tuttavia finora nessuno aveva fatto una stima precisa della probabilità di conversione fotone in ALP in un blazar usando le conoscenze più recenti. **Marco Roncadelli**, in collaborazione con G. Galanti (Università di Como) e Fabrizio Tavecchio (INAF Brera), ha colmato questa lacuna.

- I blazar si suddividono in due classi con proprietà nettamente distinte:

1) BL LAC: la conversione fotone in ALP avviene soltanto nel campo magnetico del getto.

2) Flat Spectrum Radio Quasar (FSRQ): la conversione può aver luogo anche nei radio lobi.

- Nel caso dei BL LAC la probabilità di conversione risulta essere totalmente impredicibile, a causa della forte dipendenza dai valori piuttosto incerti della posizione della regione di emissione lungo il getto e del valore del campo magnetico lungo il getto.

- Invece nel caso dei FSRQ è possibile una predizione precisa per la probabilità di conversione. Questi risultati sono di notevole importanza in vista della costruzione di una nuova generazione di rivelatori di fotoni di energia maggiore di 100 GeV, quali il CTA, HAWK, GAMMA-400 e HISCORE.

Gamma-400/Agile

P.W. Cattaneo, A. Rappoldi

Gamma-400

Approved by ROSCOSMOS devoted to study of:

γ rays (30 GeV–1 TeV) & high-energy e^+/e^-.

The satellite:

- scientific payload 2600 kg,
- power budget 2 kW,
- expected lifetime > 5 years

provide excellent opportunities to configure the apparatus for **extremely important physics tasks, beyond the current generation of space missions**.

The Italian contribution to the project would concentrate on:

Study of p and He spectra close to the “knee” region (0.1–1PeV)

Extension of the gamma capability in the 30–300 MeV region

Gamma-400: a unique instrument

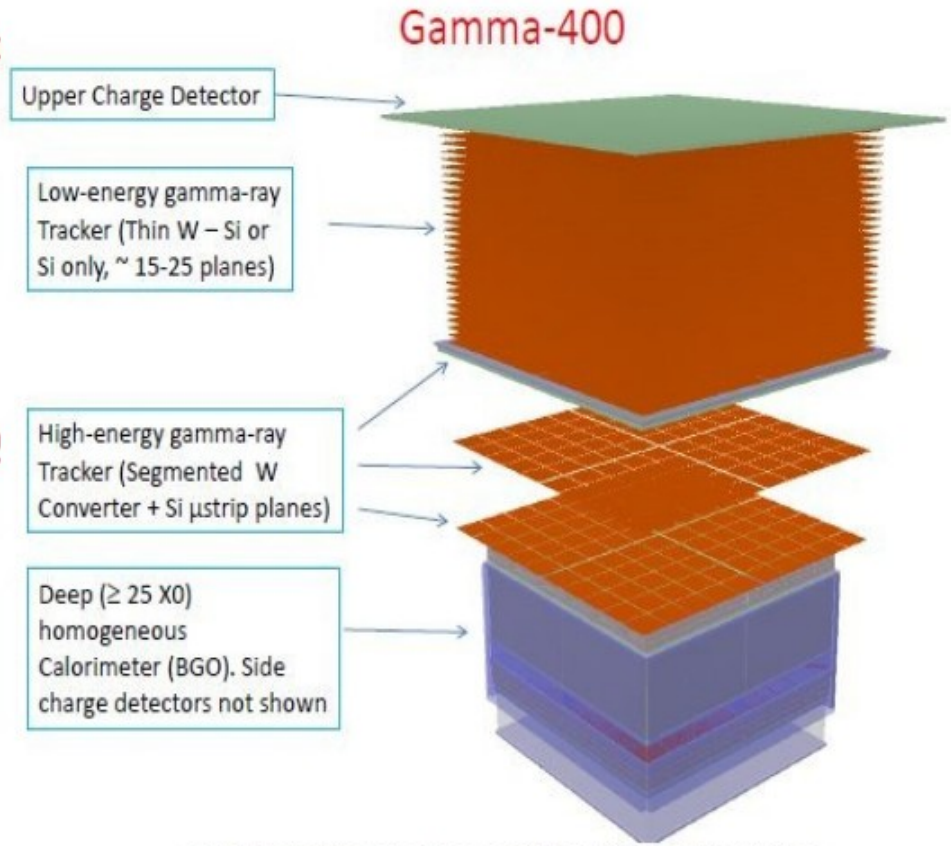
Combine for the first time photon and charged particle detection

Excellent Silicon Tracker (30 MeV – 1 TeV), breakthrough angular resolution 4-5 times better than Fermi-LAT at 1 GeV improved sensitivity compared with Fermi-LAT by a factor of 5-10 in the range 30 MeV–10 GeV

Heavy Calorimeter (40 X_0), isotropic and homogeneous, with optimal energy resolution and particle discrimination

Electron/positron detection up to TeV energies

Nuclei detection up to 1 PeV energy



apparatus versions used in one of the preliminary simulations.

Publications

- Leonov et al., The GAMMA 400 gamma-ray telescope characteristic. Angular resolution and electron/proton separation, POS Scineghe2014 (2015) 008, arXiv 1412.1486 [astro-ph.IM]
- Galper et al., GAMMA 400 space observatory: status and perspectives, arXiv 1412.4239 [physics.ins-det]
- Cumani et al., The GAMMA 400 space mission, arXiv 1502.02976 [astro-ph.IM]
- Cumani et al., Study of the gamma-ray performance of the GAMMA 400 calorimeter, arXiv 1502.03287 [astro-ph.IM]
- Leonov et al., A separation of electron and protons in the GAMMA 400 gamma-ray telescope, 1503.06657 [astro-ph.IM]
- The GAMMA 400 experiment: status and perspectives, Bull.Russ.Acad.Sci.Phys 79 (2015) 3, 454-457

Pavia in Gamma-400/CaloCube

Pavia is studying

- the available infrastructure in Pavia for irradiation tests (γ, n, charges particles) of components of the calorimeter (LENA, CNAO)

- Calibration in space of the calorimeter with laser/LED system

- Possibility of detection of polarized medium energy 30-100 MeV γ radiation with the tracker

Agile results and ongoing work

Agile is still taking and downloading data
In the last year it has produced fifteen ATELs

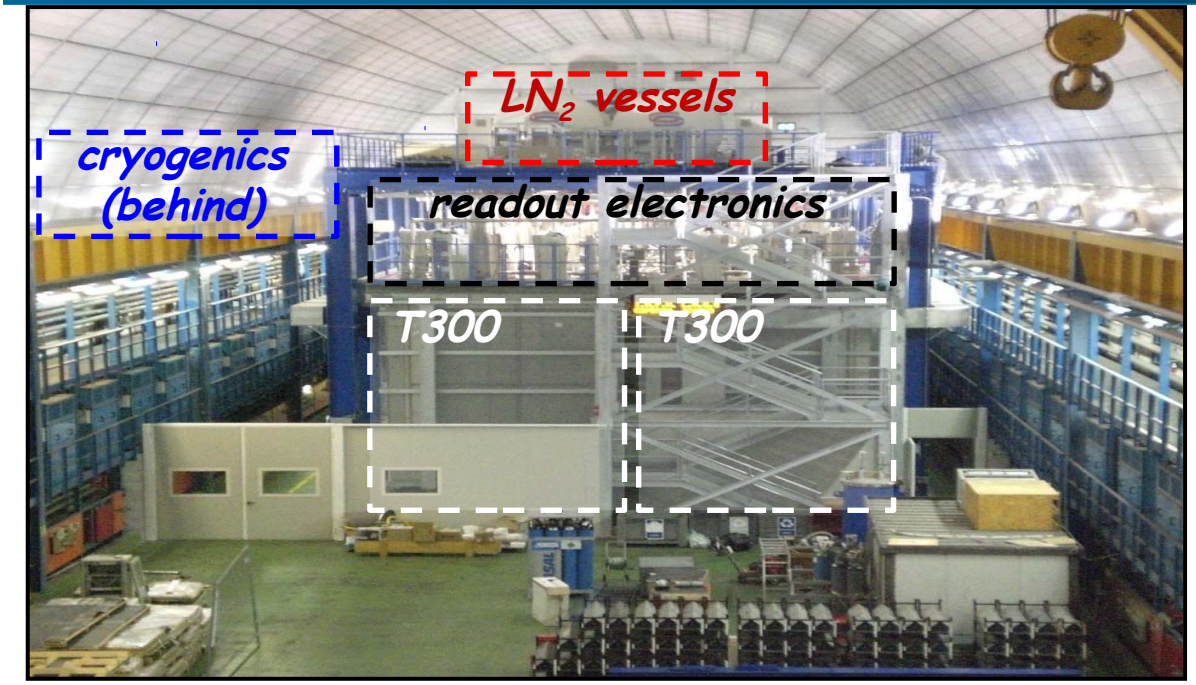
- A.Giuliani et al., A prompt extra component in the high energy spectrum Of GRB 131108A, (2014) in preparation

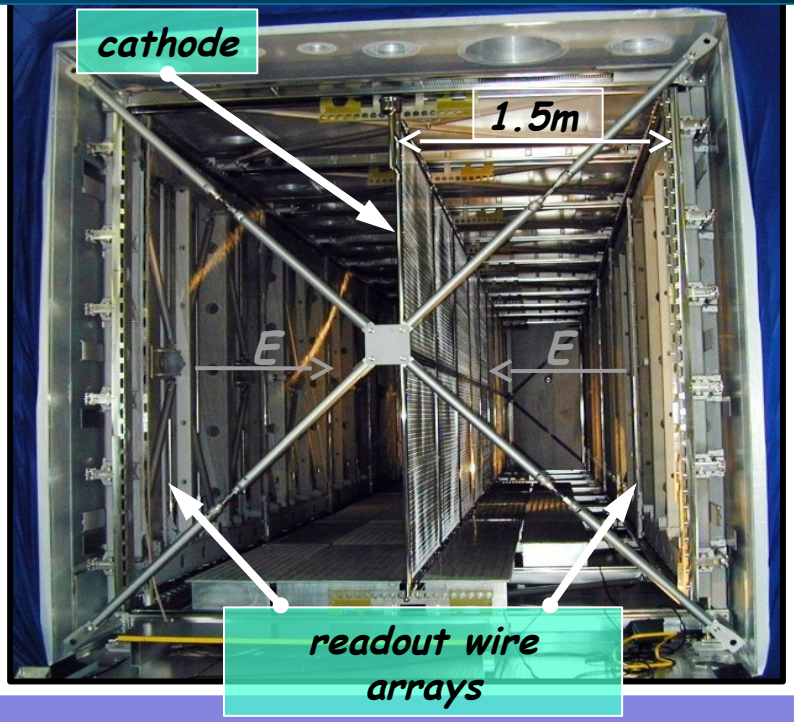
- Search of MeV-GeV counterparts of TeV sources with AGILE in pointing mode, (2015) Submitted to Astronomy & Astrophysics
(Main authors from INFN Pavia)

ICARUS/WA104

- Nel 2013 ICARUS ha concluso le attività presso i LNGS, dopo aver raccolto dati con il rivelatore T600 sia dal fascio CNGS sia con raggi cosmici.
- Il T600, con circa 500 tonnellate di massa attiva, è tuttora la più grande TPC ad Argon liquido mai costruita.
- Una ricerca di oscillazione $\nu_\mu - \nu_e$ in appearance mode, per verificare l'eccesso di eventi LSND (evidenza di neutrini sterili?) era stata già proposta nel 2009 dalla Collaborazione ICARUS (arXiv:0909.0355, SPSC-P-345, SPSC-P-347).
- L'esperimento si basava su due rivelatori "gemelli" per indentificare Δm^2 e $\sin^2(2\theta)$ osservando a differenti distanze le interazioni di neutrino.
- Un esperimento simile, ma da collocarsi al BNB del FNAL era stato riproposto nel 2013.
- Il proposal finale (approvato a livello 1 dal PAC 2015) prevede tre rivelatori LAr TPC (LAr1ND, MicroBOONE e ICARUS) per la ricerca di neutrini sterili al BNB del FNAL.

Rivelatore ICARUS T600

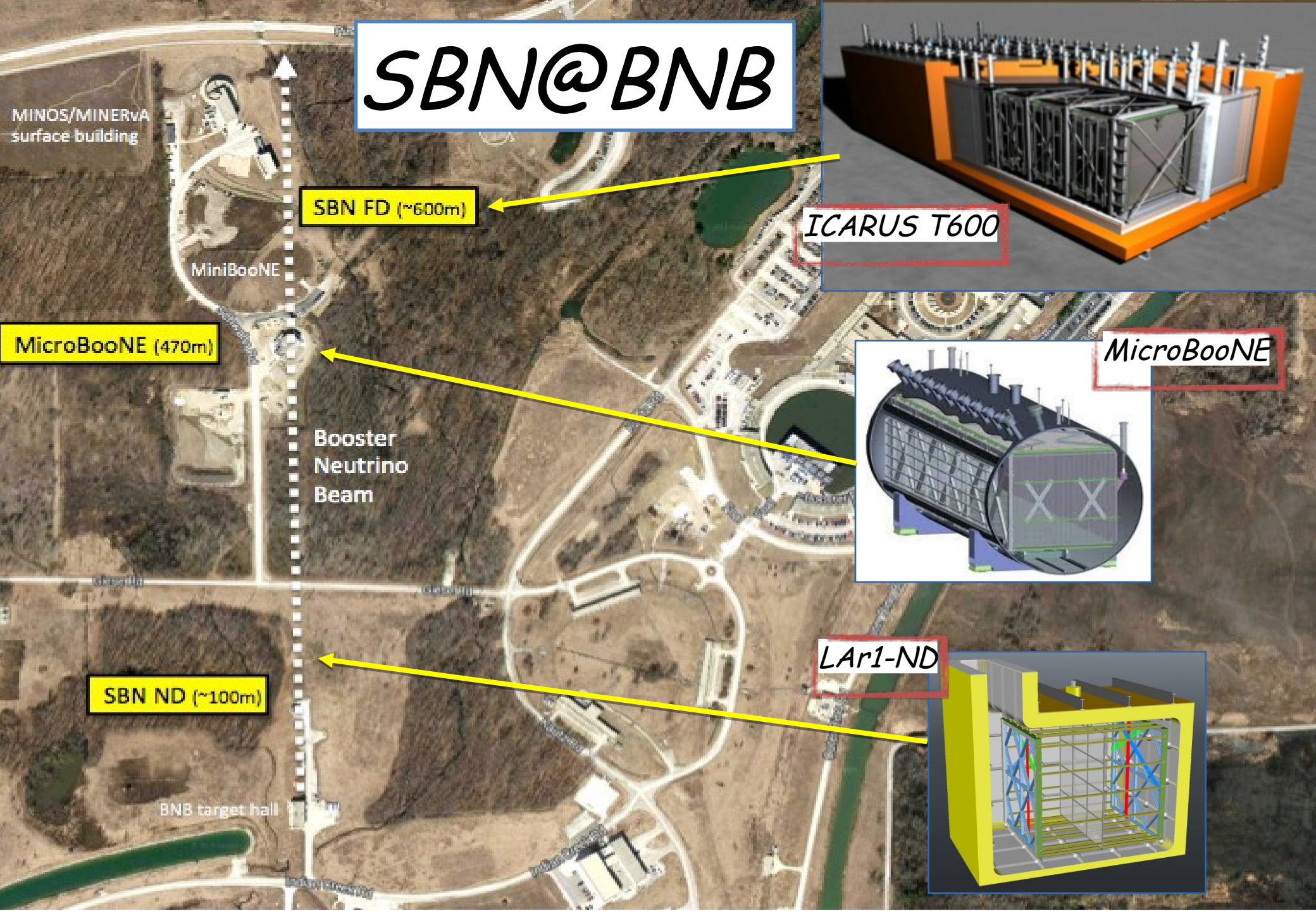




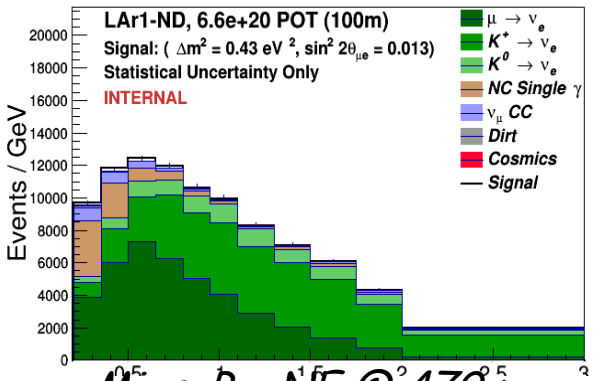
- *Two identical modules (T300)*
  - 3.6x3.9x19.6 = 275 m^3 each
  - Liquid Ar active mass: ~476 t
  - Drift length = 1.5 m (1 ms)
  - HV = -75 kV; E = 0.5 kV/cm
  - drift velocity = 1.55 mm/μs
  - Sampling time 0.4 μs (sub-mm resolution in drift direction)
- *4 wire chambers*
  - 2 chambers per module
  - 3 "non-distructive" readout wire planes per chamber wires at 0, ±60° (ind1, ind2, coll view)
  - ~ 54000 wires, 3 mm pitch and plane spacing
  - Charge measurement on collection plane
- *20+54 8" PMTs for scintillation light detection*
  - VUV sensitive (128nm) with TPB wave shifter

Anomalie nel settore dei neutrini

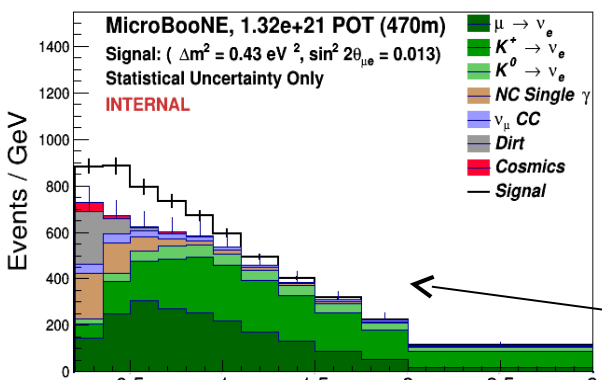
- Tre classi principali di anomalie:
  il segnale disappearance negli eventi anti-ν_e:
  (1) rivelati da esperimenti su reattore short-baseline, dove il rapporto osservato/predetto è $R = 0.938 \pm 0.023$;
  (2) da esperimenti sui neutrini solari che hanno usato sorgenti di calibrazione dell'ordine del Mega Curie, con $R = 0.86 \pm 0.05$;
  inoltre:
  (3) osservazione di un eccesso di interazioni ν_e da fasci artificiali di neutrini μ (LSND: evidenza di oscillazioni a 3.8 σ).
- Questi segnali indipendenti suggeriscono la possibile esistenza di almeno un quarto neutrino "sterile" che piloti le oscillazioni a piccole distanze, con Δm^2_{new} dell'ordine di ≈ 1 eV^2 e angoli di mixing $\sin^2(2\theta_{new})$ relativamente piccoli.
- I risultati del satellite Planck e la cosmologia del Big Bang indicano che possa esistere al più uno stato sterile, con massa $m < 0.4$ eV.


SBN@BNB
MINOS/MINERvA surface building
SBN FD (~600m)
ICARUS T600
MiniBooNE
MicroBooNE (470m)
MicroBooNE
Booster Neutrino Beam
LAr1-ND
SBN ND (~100m)
BNB target hall

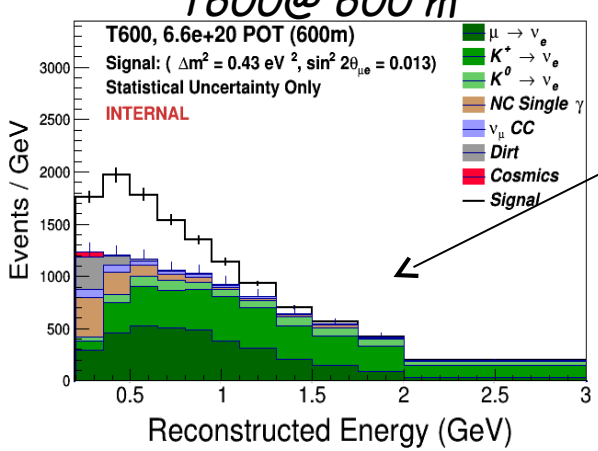
LAr1ND @ 100 m



MicroBooNE @ 470 m



T600@ 600 m

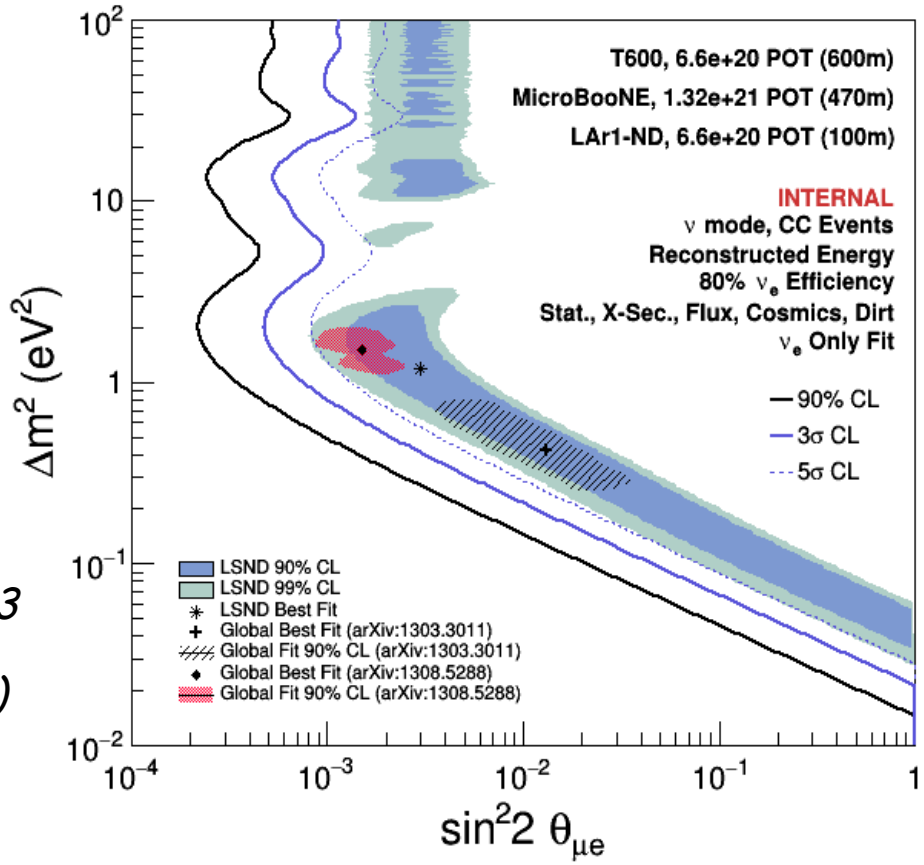


Example for

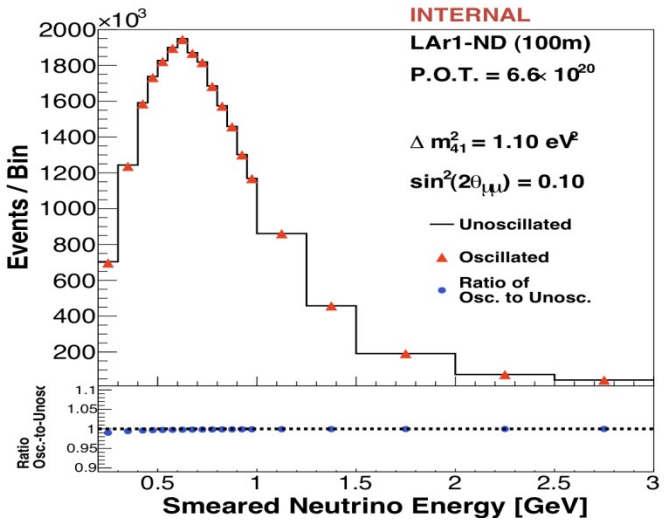
($\sin^2(2\theta)$=0.013

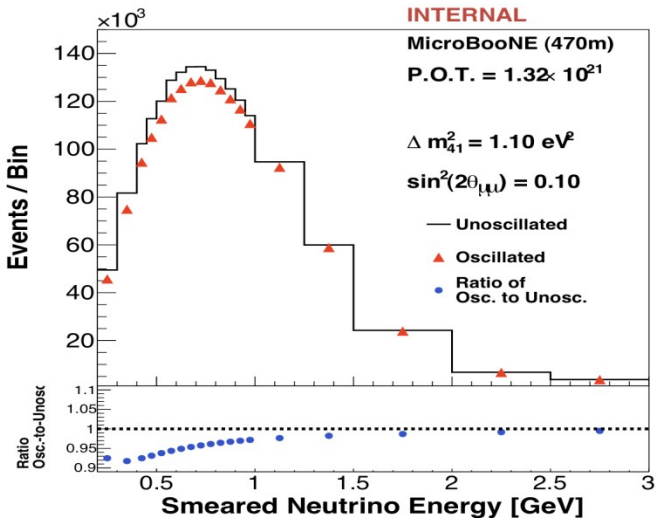
Δm^2=0.43 eV^2)

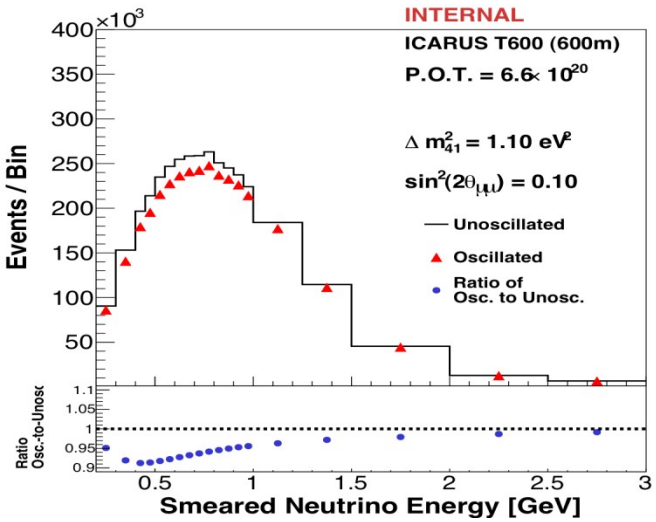
- Expected exposure sensitivity of νμ -> νe oscillations for 3 years - 6.6 10^{20} pot BNB positive focusing (6 years for MicroBooNE).



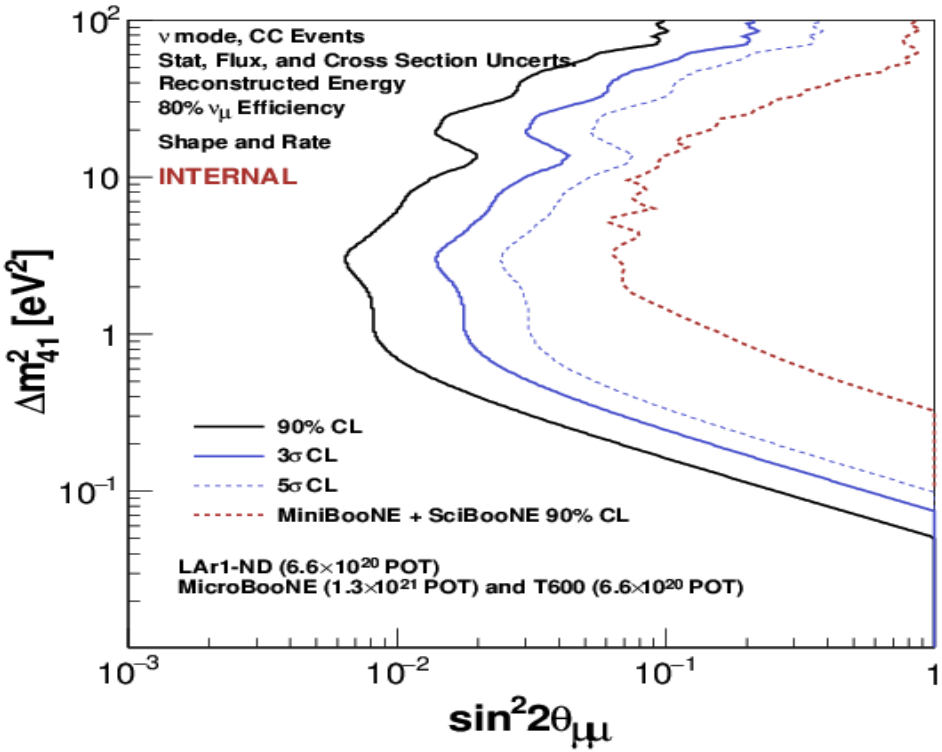
The LSND 99%CL region is covered at the ~5σ level





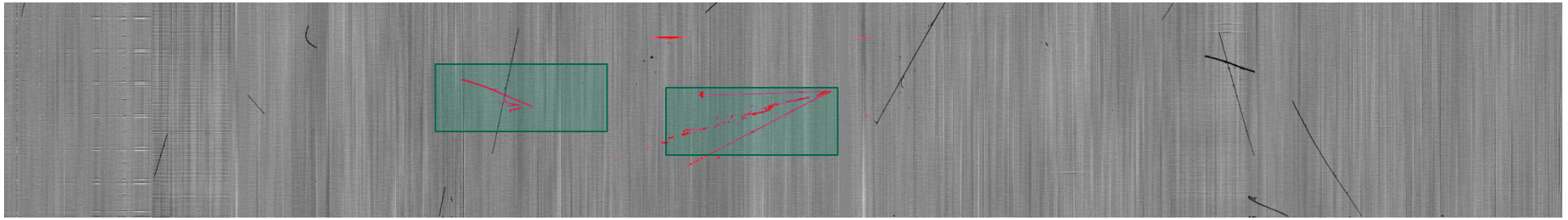


- Disappearance analysis can profit from high rates and correlations between the three LAr-TPC detectors
- SBN can extend sensitivity by 1 order of magnitude beyond SciBooNE+MiniBooNE



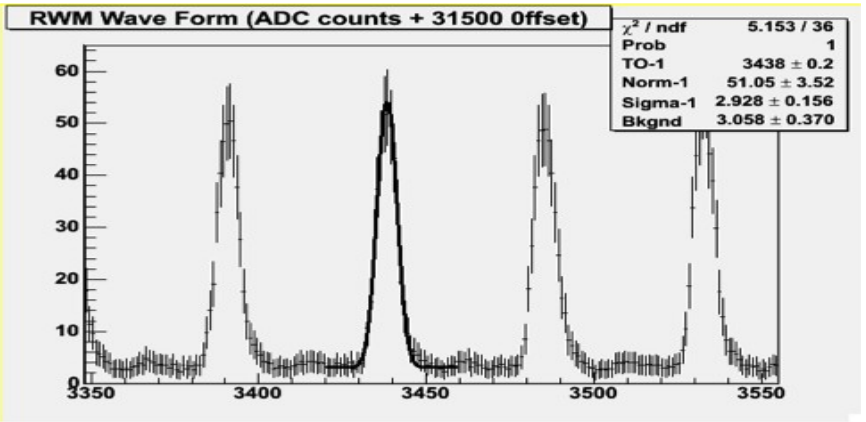
LAr TPC in superficie

- Circa 12 tracce per drift di 1 ms sono previste per ciascun modulo del T600
- Per ricostruire la posizione di ciascuna traccia è necessario conoscere il timing di ciascun deposito di carica sui fili rispetto al tempo di trigger dato dal gate aperto in corrispondenza del fascio BNB.
- Si prevede di implementare un tagger per muoni cosmici esterno al volume attivo.



Cosmic rays (PV) + low energy CNGS beam events

Ulteriore reiezione si otterrà dal timing fornito dal sistema di PMT interno per la rivelazione della luce di scintillazione (utilizzo della struttura a bunch del fascio BNB).



Progetto WA104 al CERN

L'INFN ha firmato un MoU per il progetto **WA104 al CERN** e ha concluso un accordo di cooperazione nel contesto della collaborazione DUNE (oscillazioni long baseline con detector ≈ 40 kton LAr TPC).

- Il T600, spostato al CERN a fine 2014, è in corso di upgrade:
  - Nuovi corpi freddi e isolamento puramente passivo.
  - Rinnovamento degli impianti criogenico e di purificazione.
  - Nuovo catodo con miglior planarità.
  - Nuovo sistema di raccolta della luce di scintillazione.
  - Nuova elettronica di read-out.

- Il rivelatore sarà trasferito al FNAL prima della fine del 2016 per l'installazione, il commissioning e la presa dati con il fascio BNB.

ICARUS PV: anagrafica

Nome	Qualifica	FTE	Note
Fabrizio Boffelli		-	
Elio Calligarich		-	
Andrea Falcone	Dottorando	1	
Alessandro Menegolli	Ricercatore Univ.	0.6	
Claudio Montanari	Primo Ricercatore	1	*Mobilità al CERN*
Adalberto Piazzoli		-	
Andrea Rappoldi	Primo Tecnologo	0.4	
Gian Luca Raselli	Ricercatore	1	*Responsabile locale*
Massimo Rossella	Tecnologo	0.3	

ICARUS PV: attività 2014/2015

- Coordinamento dello spostamento delle due TPC dai LNGS al CERN: forte coinvolgimento del personale tecnico dell'Officina Meccanica.

- Collaborazione per disegno nuovi criostati e isolamento termico.

- Ripristino della planarità dei catodi.

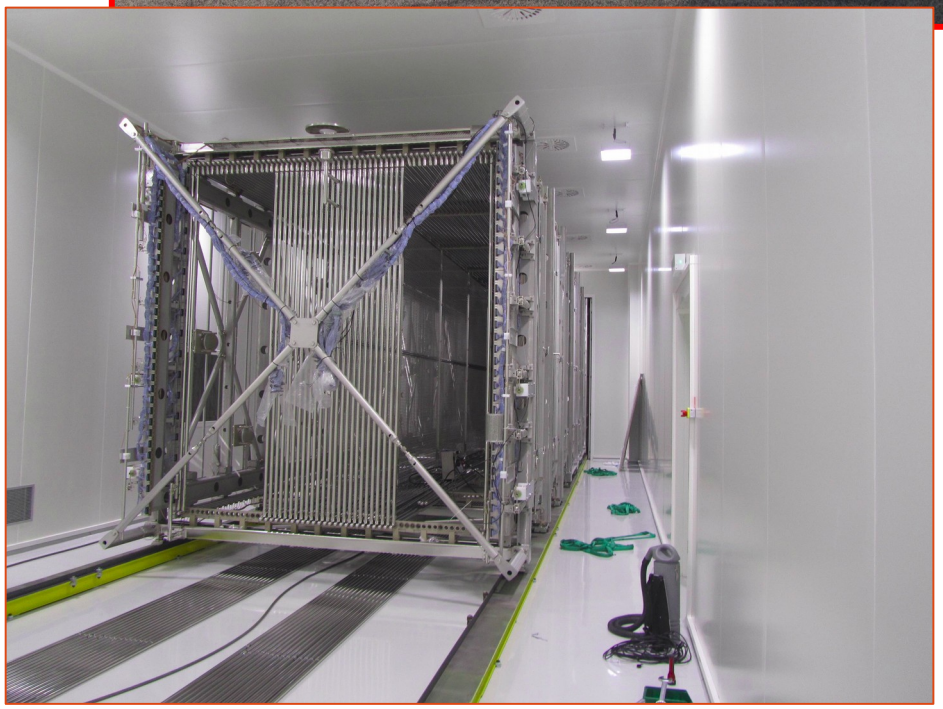
- Redazione del Proposal per il Physics Advisory Committee (PAC) di FNAL per l'esperimento congiunto al Booster Neutrino Beam.

- Caratterizzazione di nuovi modelli di PMT in ambiente criogenico e disegno del nuovo sistema di PMT per la rivelazione della luce di scintillazione per l'esperimento a FNAL.

- R&D nuovi tipi di foto-rivelatori a temperature criogeniche (SiPM).

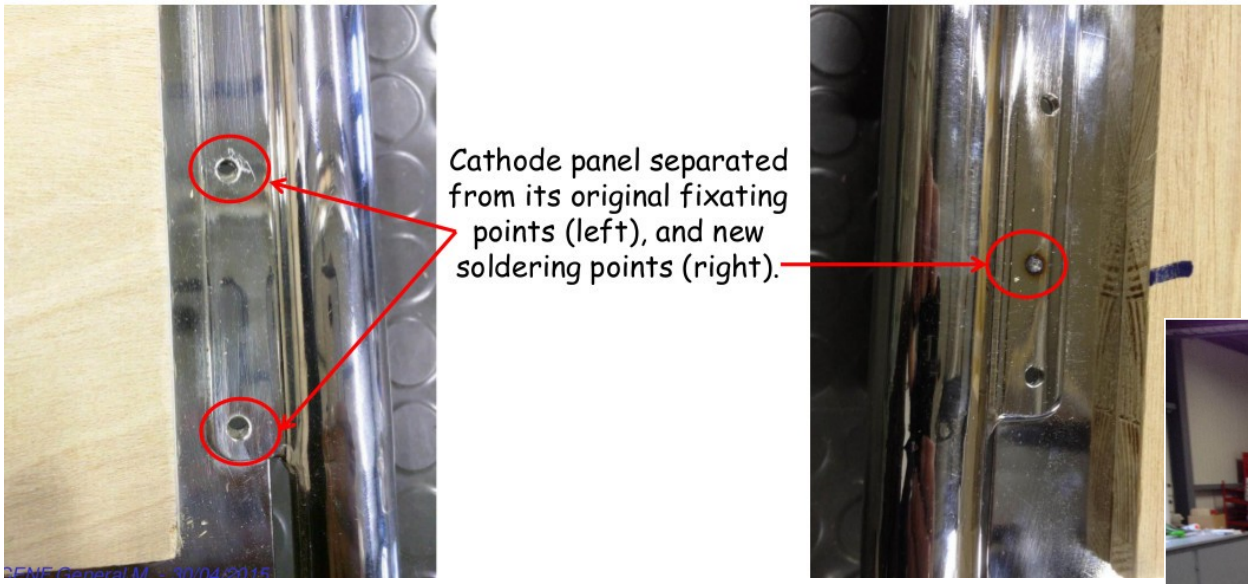
Spostamento delle TPC nei frame di trasporto

CONVOI
EXCEPTIONNEL
Aliani



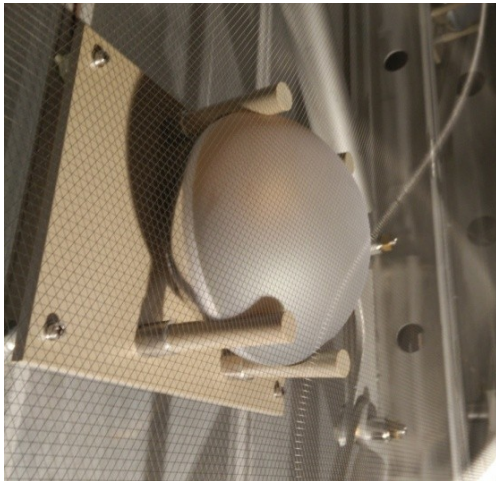
Ripristino planarità catodi

Sono in corso operazioni per ripristinare la planarità dei pannelli che costituiscono i catodi delle TPC del T600 (osservate deviazioni massime di 2.5 cm). Contributo fondamentale del personale tecnico dell'Officina Meccanica PV.

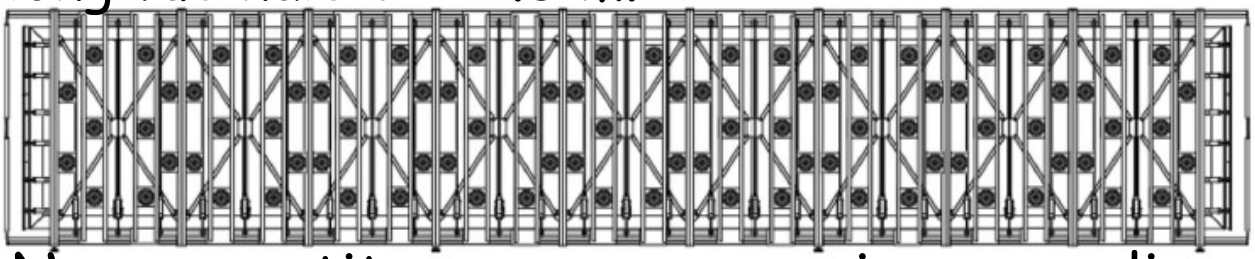


Sviluppo nuovo sistema di PMT per il T600

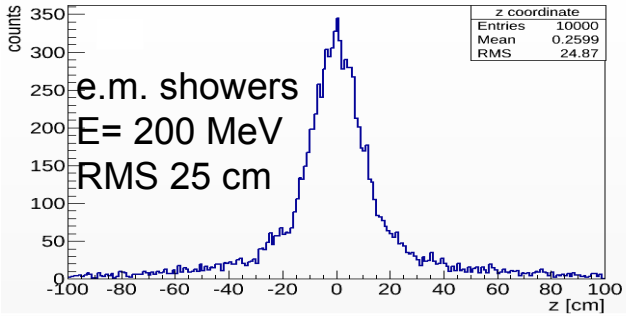
Nel T600 a FNAL verranno ancora utilizzati PMT da 8", ma saranno richieste maggiori capacità di localizzazione dell'evento nello spazio e nel tempo, in modo da rigettare il fondo dovuto a raggi cosmici:

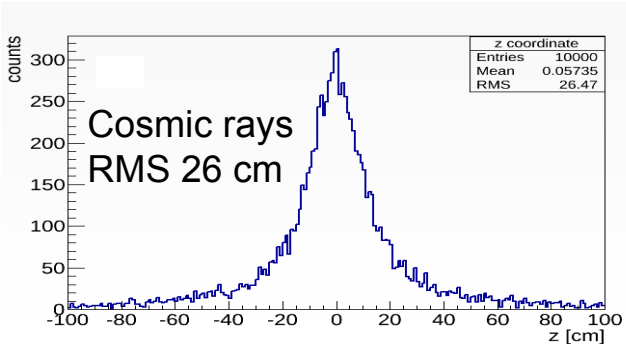


- Copertura foto-catodica maggiore (> 5%). Il layout scelto prevede 90 PMTs per TPC. Questo permette una risoluzione nella posizione longitudinale di < 0.5 m.



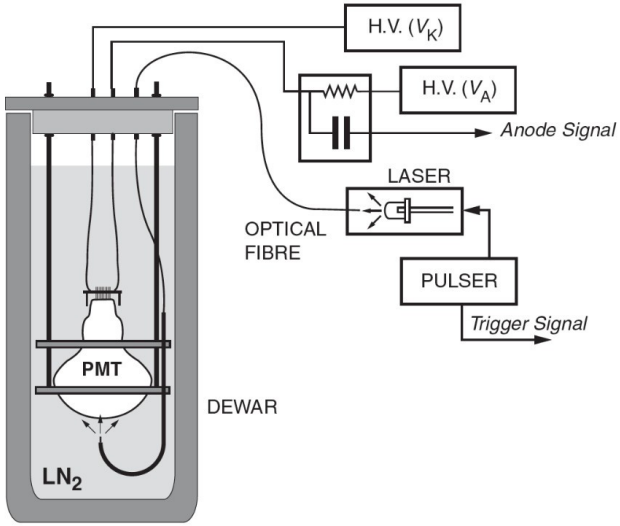
- Nuovo partitore, per prevenire segnali spuri indotti sui piani di fili delle TPC.
- Nuova elettronica di lettura, rapida (risoluzione ~ ns) per sfruttare la struttura a bunch del fascio BNB.

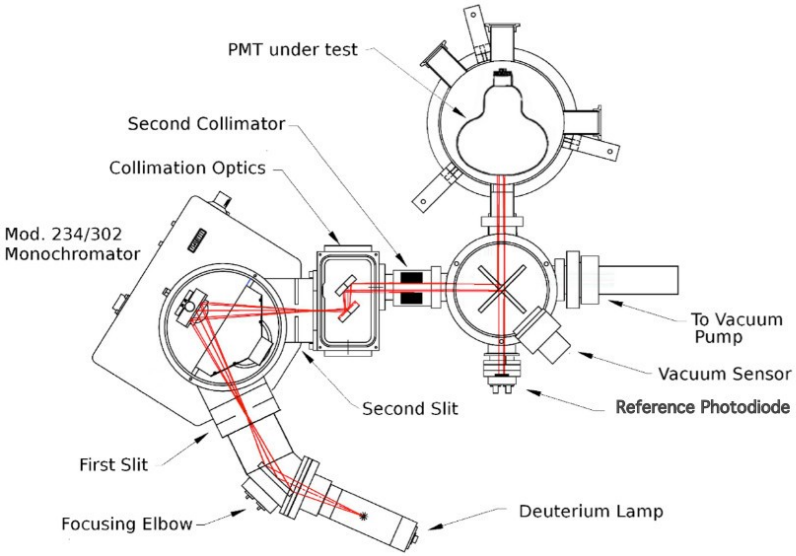




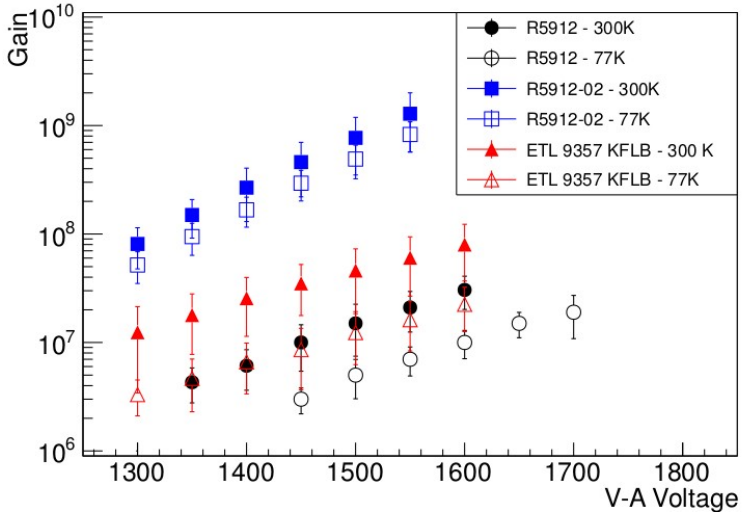
longitudinal coordinate

Misure effettuate a Pavia per la scelta definitiva del modello (Hamamatsu R5912)

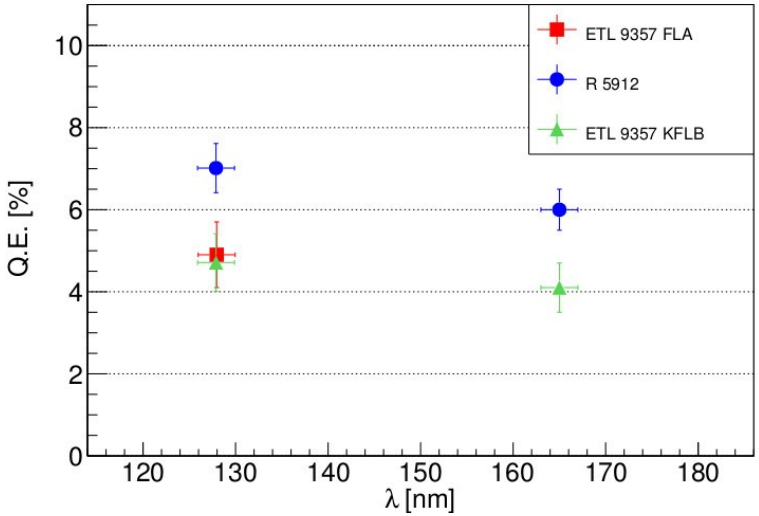




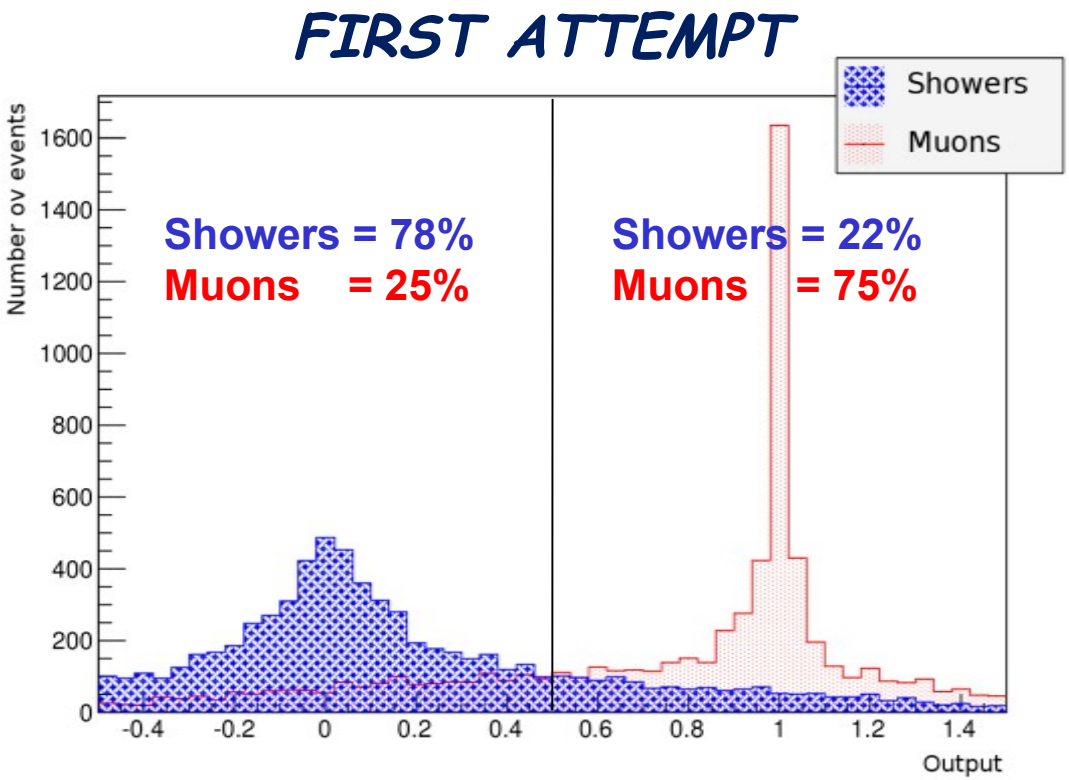
Guadagno



Efficienza Quantica



Il gruppo ICARUS-PV ha sviluppato algoritmi basati su reti neurali, per sfruttare sia l'informazione spaziale che quella temporale proveniente da ciascun PMT. Il nuovo sistema con 90 PMT permetterebbe di distinguere sciami e. m. (possibile fondo per $\nu_e CC$) da muoni passanti con una buona efficienza:



- La rete ha due input per PMT
- La rete ha un 1 output: (0=sciame; 1=muone).
- Il plot mostra l'output della rete con 90 PMT (180 inputs).
- Gli eventi ai bordi del rivelatore rimangono non identificati.

Attività PMT 2015/2016

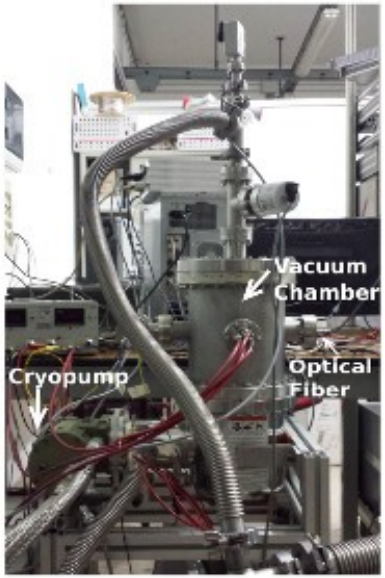
L'installazione di 360 PMT (90 per TPC) richiede attività preparatorie intensive prima dell'assemblaggio finale, le principali delle quali saranno:

- Acquisto PMT (gara per 400 PMTs).
- Realizzazione dei supporti meccanici dei PMT.
- Realizzazione dei partitori (test su prototipi e realizzazione finale).
- Caratterizzazione e test a temperatura ambiente e criogenica.
- Deposito TPB sulle finestre dei PMT.
- Montaggi PMT e cablaggi.
- Realizzazione di un sistema di calibrazione dei PMT basato su fibre ottiche e laser.

Altre attività del gruppo

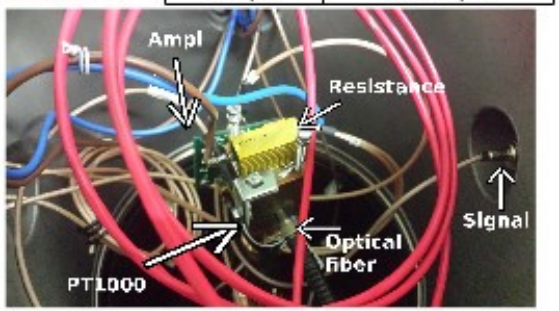
- Test per la verifica del funzionamento di base di una pila nucleare:

- Caratterizzazione di SiPM a freddo:

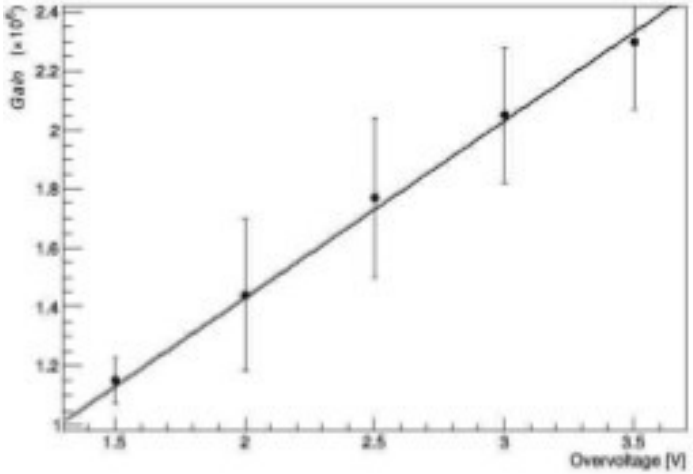


Modello testato:
AdvanSiD ASD-NUV3S-P Low Afterpulse

Area attiva	$3 \times 3\ mm^2$
G_F	60 %
V_{bd}	26 ± 0.2 @ 300 K
V_{bd}/K	26 mV/K



Guadagno



ICARUS PV: pubblicazioni

- M. Antonello et al., "*The trigger system of the ICARUS experiment for the CNGS beam*", JINST, vol. 9 P08003, ISSN: 1748-0221, doi: 10.1088/1748-0221/9/05/T05005.

- M. Antonello et al. "*Experimental observation of an extremely high electron lifetime with the ICARUS-T600 Lar-TPC*", JINST, vol. 9, p. P12006, ISSN: 1748-0221, doi: 10.1088/1748-0221/9/12/P12006.

- A. Falcone et al., "*Comparison between large area photo-multiplier tubes at cryogenic temperature for neutrino and rare event physics experiments*", Nucl. Instr. Meth. A787, 55-58 (2015).

- A. Falcone et al., "*Vacuum ultra-violet and ultra-violet scintillation light detection by means of silicon photomultipliers at cryogenic temperature*", Nucl. Instr. Meth. A787, 216-219 (2015).

ICARUS PV: conferenze

- C. Montanari, "*WA104: R&D on new large LAr detector*", ICFA Neutrino European Meeting (Paris).

- M. Torti, "*ICARUS T600 experiment: latest results and perspectives*", NBIA PhD-Scool (Copenhagen).

- A. Falcone, "*Comparison between large area Photo-Multiplier Tubes at cryogenic temperature for neutrino and rare event physics experiments*", NDIP 2014 (Tours).

- A. Falcone, "", NDIP 2014 (Tours).

- A. Menegolli, "*Some recent results from the ICARUS experiment*", 37th ICHEP (Valencia).

- A. Zani, "*ICARUS and sterile neutrinos*", NOW 2014(Otranto).

- A. Falcone, "*Simulation of the magnetic field for ICARUS T600 detector*", 100th Congresso Nazionale SIF (Pisa).

- M. Torti, "*Automatic classification of positrons and electrons in magnetized ICARUS T600*" ,100th Congresso Nazionale SIF (Pisa).

- M. Spanu, "*Sfruttamento dell'energia cinetica di frammenti di fissione nucleare: generazione diretta di energia elettrica*", 100th Congresso Nazionale SIF (Pisa).

ICARUS PV: tesi

- **A. Zani**: "*Development and Operation of Large Volume Liquid Argon Detectors for Rare Event Detection*", **Tesi di Dottorato** (2014).

- **M. Spanu**: "*Generazione di energia elettrica mediante lo sfruttamento diretto dell'energia cinetica dei frammenti di fissione nucleare*", **Tesi di Laurea Magistrale**, a.a. 2013/14.

- **T. Cervi**: "*Caratterizzazione di SiPM a temperature criogeniche, in vista dello svilppo di un rivelatore di luce di scintillazione in TPC a liquido di gas nobile*", **Tesi di Laurea Magistrale**, a.a.2013/14.