

Commissione II

A. Paoloni

Consiglio di laboratorio
4 Luglio 2016

Linee guida impegno in CSN2

Partecipazione ad un esperimento non inferiore al 20%.

Assegnazione di Common Funds con FTE maggiore del 50%.

Non piu' di due sigle (ma con qualche eccezione).

Art.23 ed AdR con percentuale non inferiore al 70% nella sigla per cui e' stato richiesto il contratto.

Apertura di sigla a livello locale: richiesti non meno di 1.5 FTE (ricercatori+tecnologi).

Apertura di sigla a livello nazionale: 1 sezione con 1.5 FTE ed $FTE/(ric.+tecnologi) > 0.4$.

Resp. Nazionale (locale) con percentuale non inferiore al 60% (40%).

Calcolo degli FTE "congelato" a Luglio.

Attività di CSN2 presso i laboratori nel 2017

Fisica dei neutrini

Juno – oscillazione dei neutrini

CUORE – Decadimento doppio β senza neutrini

KM3 – raggi cosmici

Fisica nello spazio

Wizard (Pamela), Jem-EUSO, LiMadou – raggi cosmici

Moonlight-2 – fisica della gravitazione

Materia oscura

QUAX – assioni (presentazione dedicata)

Circa 16 FTE (37 persone).

Afferenti TI LNF: 5 ricercatori + 6 tecnologi

M. Ricci resp. Nazionale di Jem-Euso-RD. S. Dell'Agnello di Moonlight-2.

Sigle (sotto dotazione) senza richieste ai servizi LNF:

Wizard (M. Martucci -assegnista RM2- 60%, M. Ricci 10%, G. Pizzella)

LiMadou-CSES (M. Ricci 10%, B. Spataro)

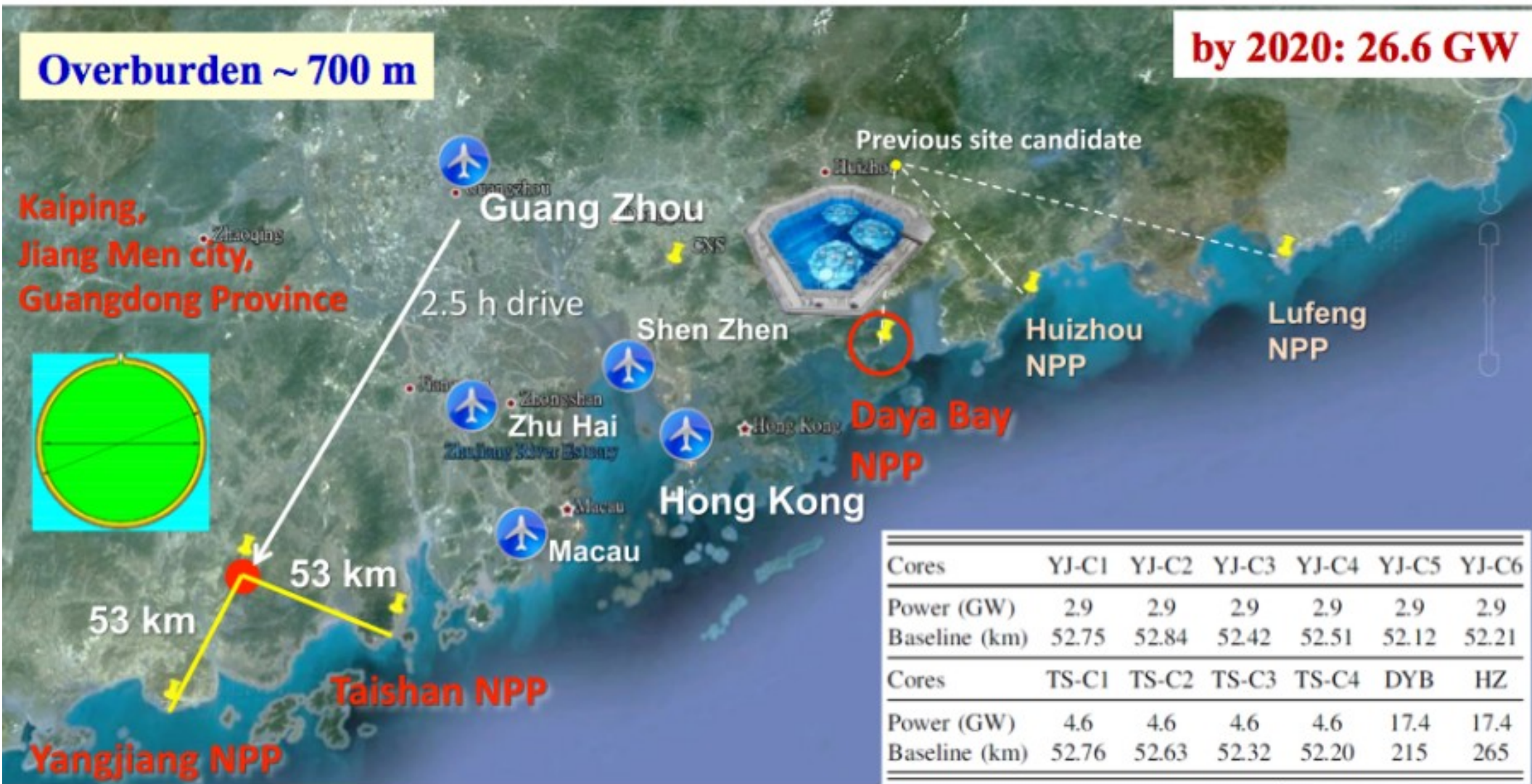
CUORE (A. Franceschi 51%, T. Napolitano 51%, C. Ligi 51%)

KM3 (A. Martini 60%, M. Cordelli 40%, V. Chiarella 30%, L. Trasatti)

JUNO

(Jiangmen Underground Neutrino Observatory)

- Jiangmen Underground Neutrino Observatory (JUNO) is a reactor anti-neutrino experiment under construction in Jiangmen City, Guangdong Province, China.
- Approved in Feb 2013 in China with ~300 M\$ budget.



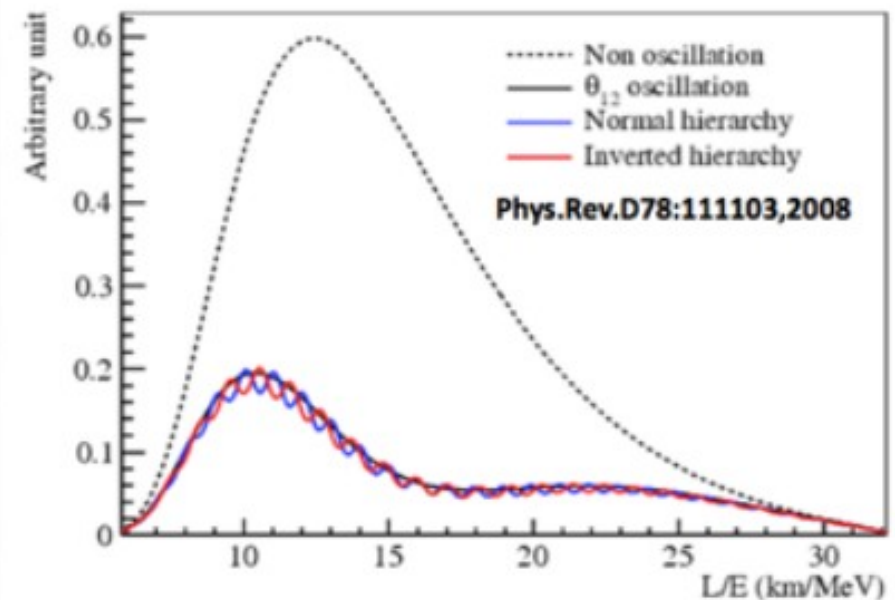
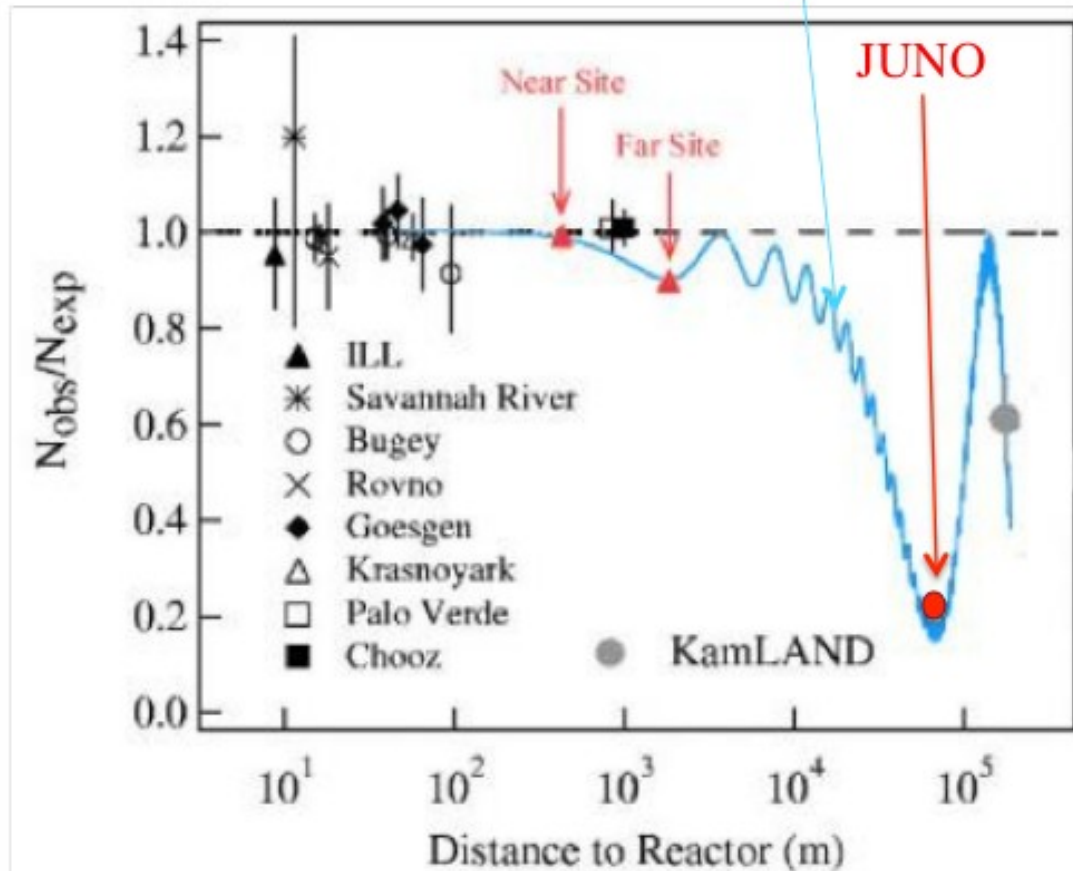
Reactor neutrino oscillations

$$P_{ee} = 1 - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2 \Delta_{21} - \cos^2 \theta_{12} \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \Delta_{31} - \sin^2 \theta_{12} \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \Delta_{32}$$

$$\Delta_{ij} = 1.27 \Delta m_{ij}^2 L/E$$

$$\sin^2 \Delta_{ee} = \cos^2 \theta_{12} \sin^2 \Delta_{31} + \sin^2 \theta_{12} \sin^2 \Delta_{32}$$

-There is the interference between Δ_{31} and Δ_{32} that depends on the mass hierarchy.



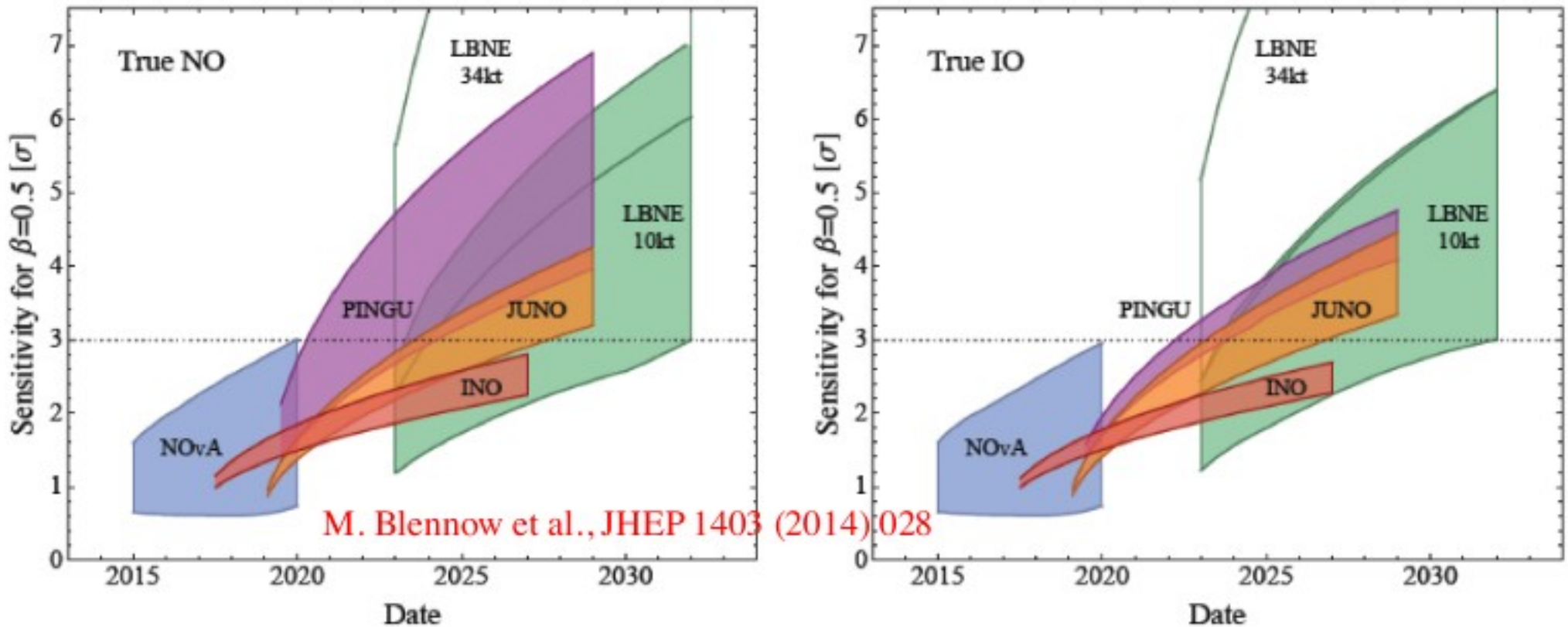
Stringent requirements on energy measurement resolution !

Juno scientific aims

Juno is designed to reach 3-4 σ significance in the determination of the three neutrinos **mass hierarchy** exploiting the frequency difference between Δm_{32}^2 and Δm_{31}^2 .

It is a different technique with respect to other atmospheric and accelerators experiments which exploit the matter effect.

Juno result is independent from matter effect, θ_{23} and δ_{CP} .

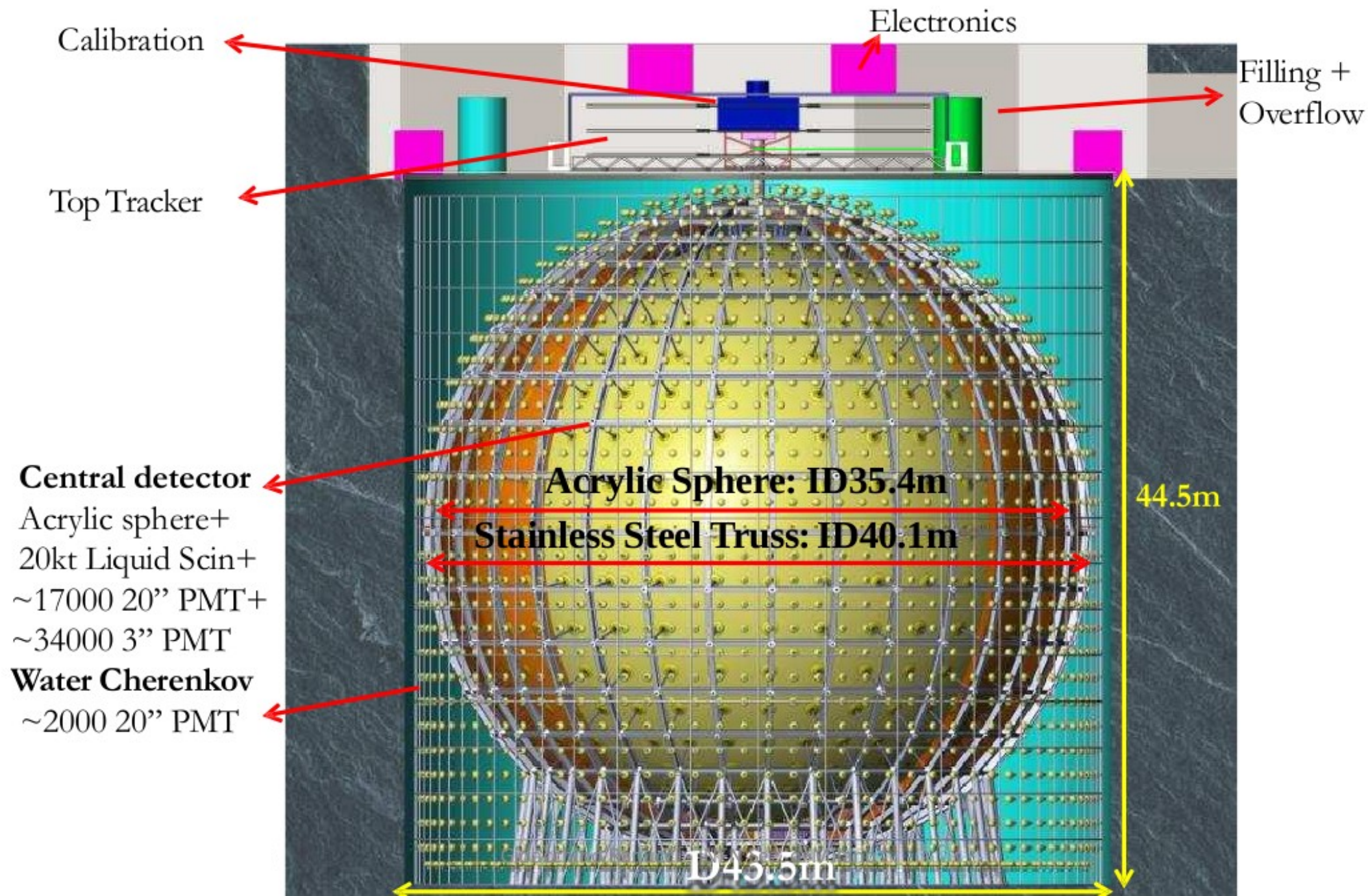


Other issues:

Precision measurement (sub% level) of $\sin^2 2\theta_{12}$, Δm_{21}^2 , $|\Delta m_{32}^2|$

Geoneutrinos, Solar neutrinos, Supernova neutrinos, proton decay.....

Juno layout



Juno schedule and updates

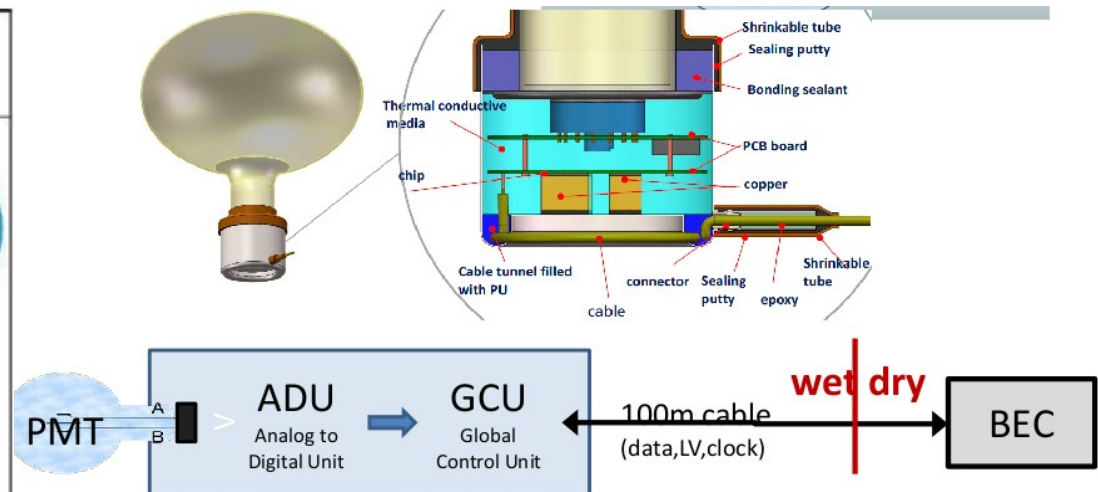
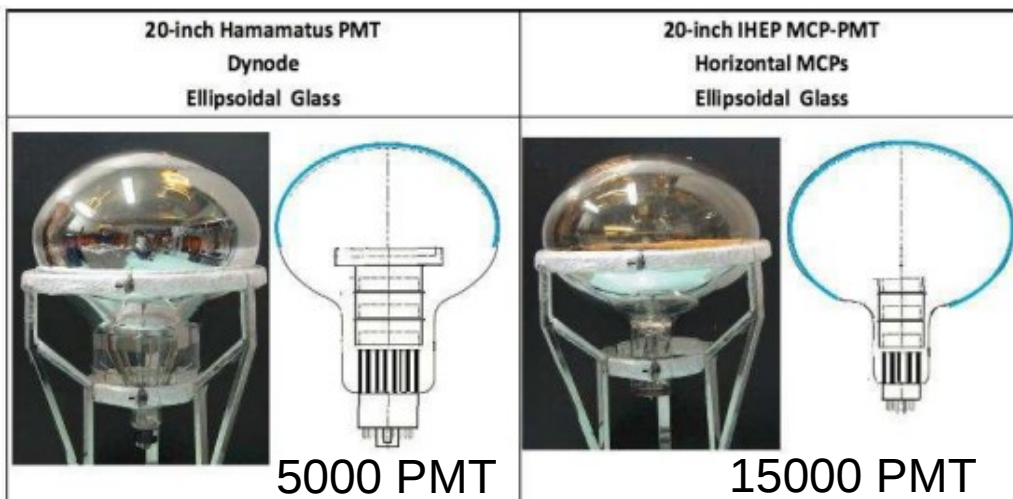
Schedule:

Civil preparation: 2013-2014
 Civil construction: 2014-2017
 Detector component production: 2016-2017
 Detector assembly & installation: 2018-2019
 Filling & data taking: 2020

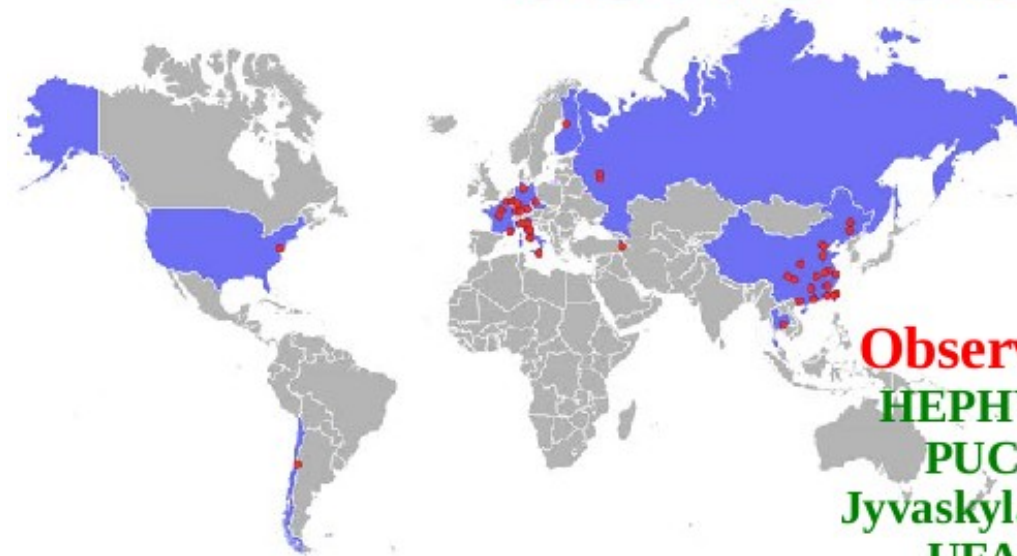


Last year achievements:

- Progress in civil construction (>50% of slope tunnel and vertical shaft).
- Acrylic vessel option.
- Choice of 20" PMTs manufacturer.
- Approval of 3" PMT system.
- Electronics scheme finalization.
- Liquid Scintillator distillation power plan installed at Daya Bay (4000 l processed).



JUNO Collaboration



Asia (31)

BNU
CAGS
CQ U
CIAE
DGUT
ECUST
Guangxi U
HIT
IHEP
Jilin U
Jinan U.

Nanjing U
Nankai U
Natl. CT U
Natl. Taiwan U
Natl. United U
NCEPU
Pekin U
Shandong U
Shanghai JTU
Sichuan U
SUT

SYSU
Tsinghua
UCAS
USTC
U. of S. China
Wuhan U
Wuyi U
Xiamen U
Xi'an JTU

Observers (7):

HEPHY Vienna
PUC Brazil
Jyvaskyla U. Finland
UFA Brazil
CENBG France
UTFSM Chile
IMP CAS China

Europe (27)

France (5)

APC Paris
CPPM Marseille
IPHC Strasbourg
LLR Paris
Subatech Nantes

Finland (1)

U Oulu

Czech (1)

Charles U

Italy (8)

INFN Catania
INFN-Frascati
INFN-Ferrara
INFN-Milano
INFN-Bicocca
INFN-Padova
INFN-Perugia
INFN-Roma 3

Russia (3)

JINR
INR Moscow
MSU

Germany (7)

FZ Julich
RWTH Aachen
TUM
U Hamburg
IKP FZI Jülich
U Mainz
U Tuebingen

Belgium (1)

ULB

Amenia (1)

YPI

America (4) PCUC – BISEE Chile Maryland U.- 2 groups



Tasks dei gruppi italiani

Milano: purificazione dello scintillatore.

Padova: elettronica dei PMT nello scintillatore (con gruppi Tedeschi e Cinesi).

Milano Bicocca: misure di bassa attivita' su campioni di scintillatore.

Ferrara: analisi dei geo-neutrini, purificazione dello scintillatore.

Perugia: analisi proprieta' ottiche dello scintillatore.

Roma3: modelli di calcolo. Trigger.

Catania: modelli di calcolo.

Frascati: elettronica del Top Tracker.

Workshops periodici di analisi tra i gruppi europei.

Composizione del gruppo LNF:

A. Paoloni (90%), G. Giordano (100%), L. Votano,

M. Spinetti Tot:1.9 FTE

Tecnici: A. Mengucci, M. Ventura

Richieste ai servizi LNF:

La progettazione dell'elettronica e' stata esternalizzata per non pesare sul servizio di elettronica (finanziamento di 15 kEuro nel 2015 e 35 kEuro nel 2016).

Si richiede pero' assistenza per l'installazione e test del prototipo.

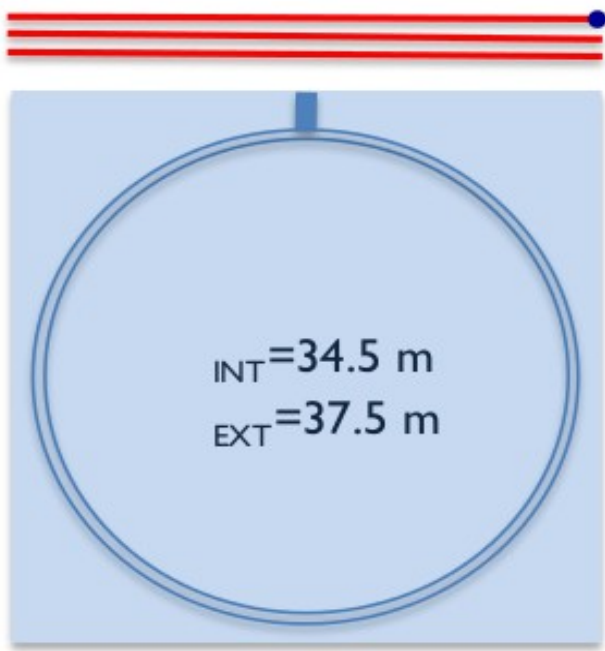
Richieste alla CSN2:

500-600 kEuro (tra 2017-2018) per acquisto schede elettronica, refurbishing alimentatori.

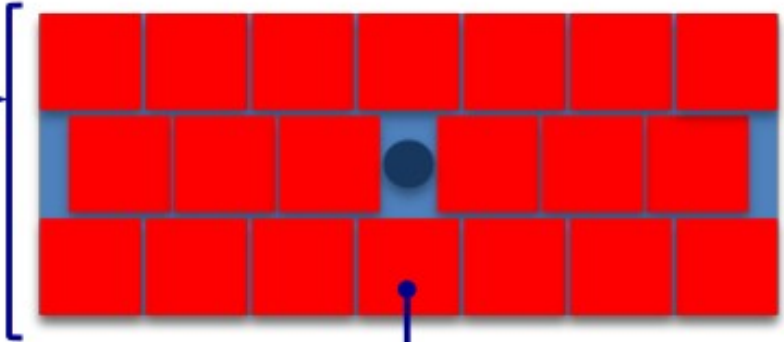




Top Tracker electronics



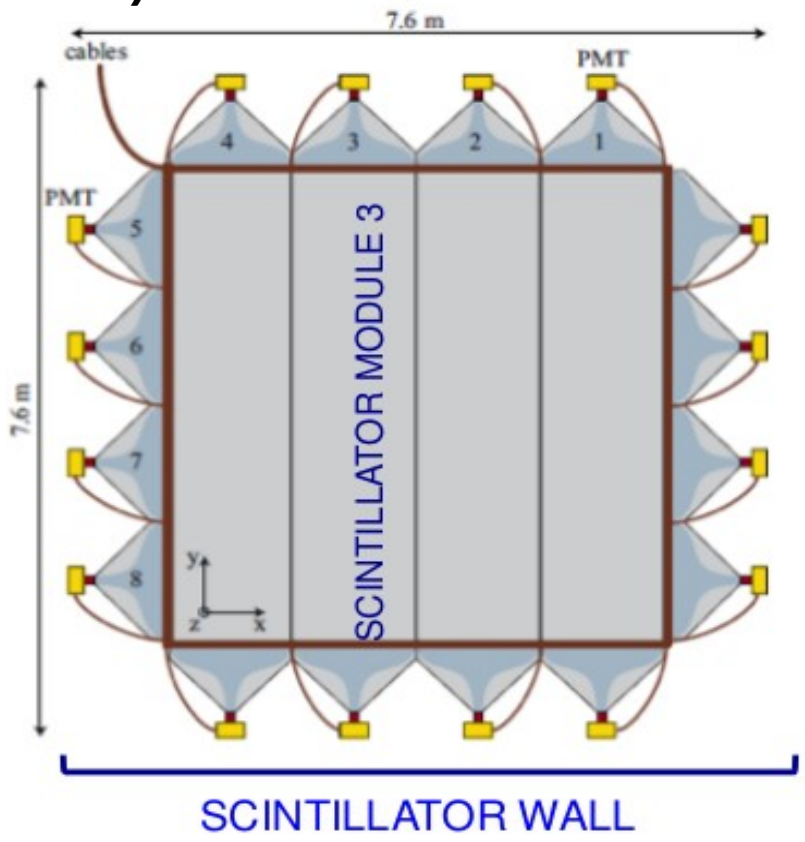
SCINTILLATOR LAYER



- Numbers:**
 3 layers
 62 walls (from OPERA TT)
 2 views/wall
 16 PMTs/wall
 64 channels/PMT
 992 PMT

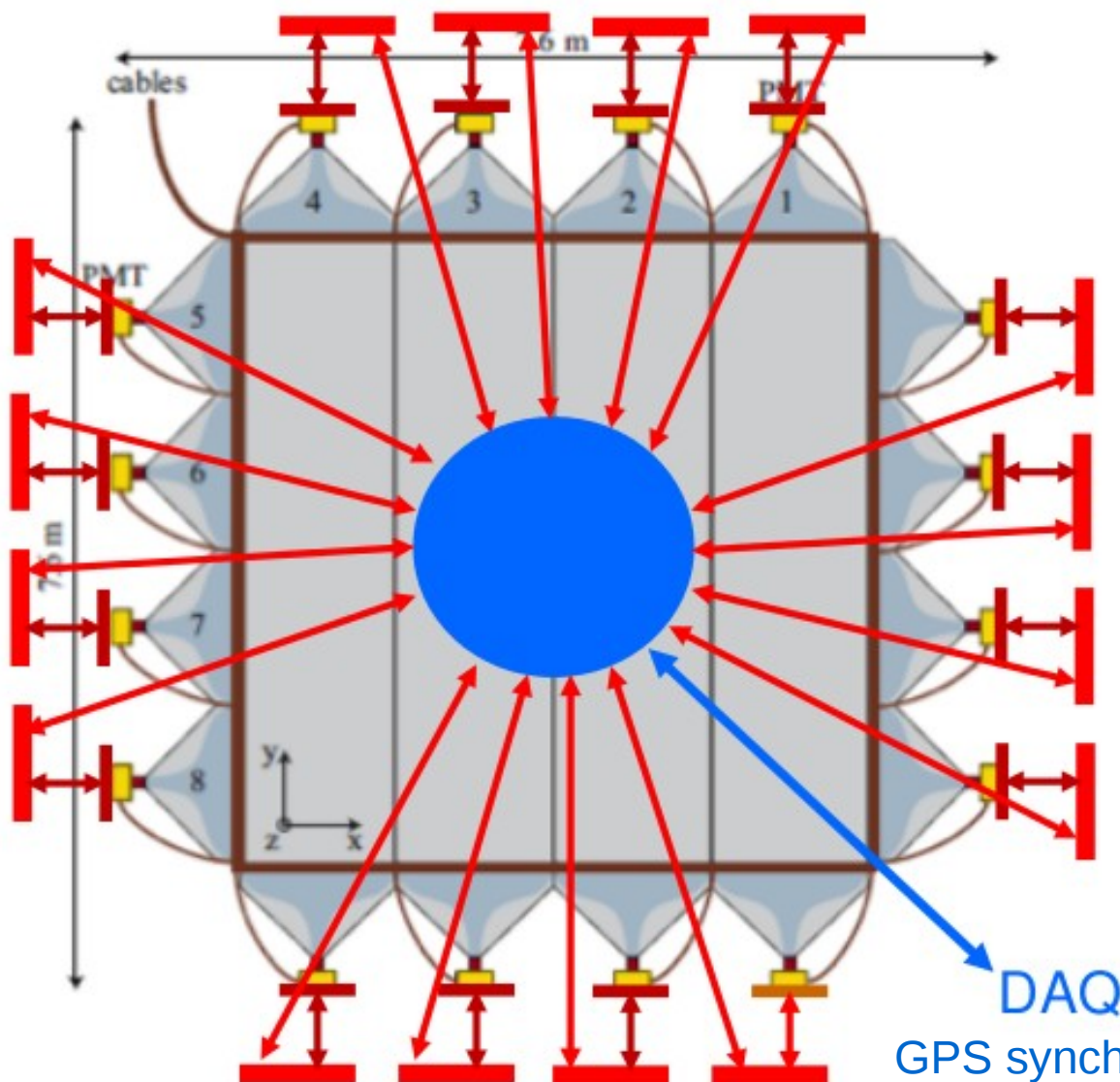
- Single PMT maximum rate = 50 kHz
- L1 (wall) trigger rate = 10 kHz (100 ns shaping)
- Signal multiplicity = 6 fired strip/hit
- Charge resolution = 8 bit
- Time-stamp resolution = 1 ns

- L1 (wall) trigger = AND of x and y views.
- L1 (wall) trigger latency = 200 ns.





Top Tracker electronics



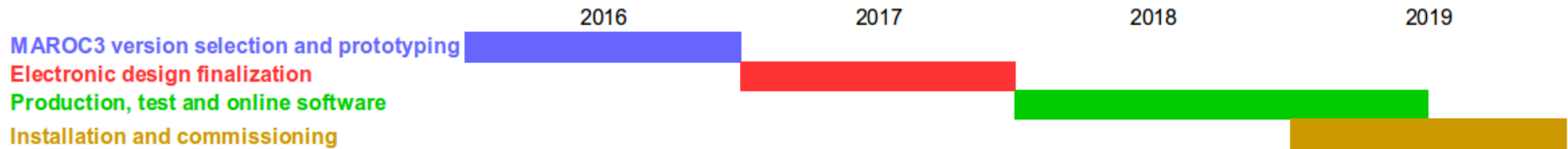
- MAROC3 board (FEC):**
It hosts MAROC3 chip and logic strictly required to make it work.
- Read-out board:**
Manages MAROC3 setting and read-out.
Hosts PMT HV power supply.
Hosts FADC for charge read-out.
Sends to Concentrator PMT OR.
- Concentrator board:**
Generates wall trigger.
Trigger time-stamp with respect to GPS signal.
Collect read-out board data and send them to DAQ.
Deliver DCS commands to read-out boards.

A. Paoloni responsabile di livello 3 dell'elettronica del Top Tracker.



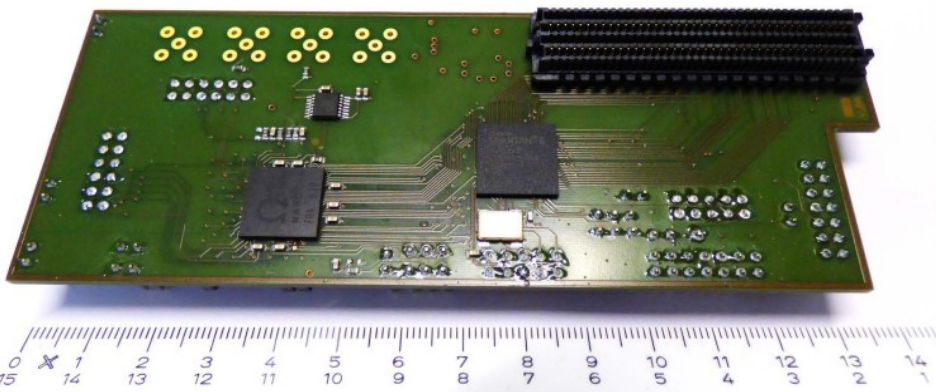
Top Tracker electronics

Tentative schedule



TASK SHARING

- MAROC BOARD (992) : STRASBOURG
- READOUT BOARD (992) : LNF
- CONCENTRATOR BOARD (62): ECOLE POLYTECHNIQUE
- ONLINE SOFTWARE : DUBNA



7 x DIFs HDMI CCC HDMI

First prototypes of MAROC board and of concentrator board ready.
First prototype of read-out board ready at the end of October.



CUORE.DTZ



Dal 18 Luglio al 26 Agosto 2016: installazione di 19 torri, sotto la responsabilita' LNF.

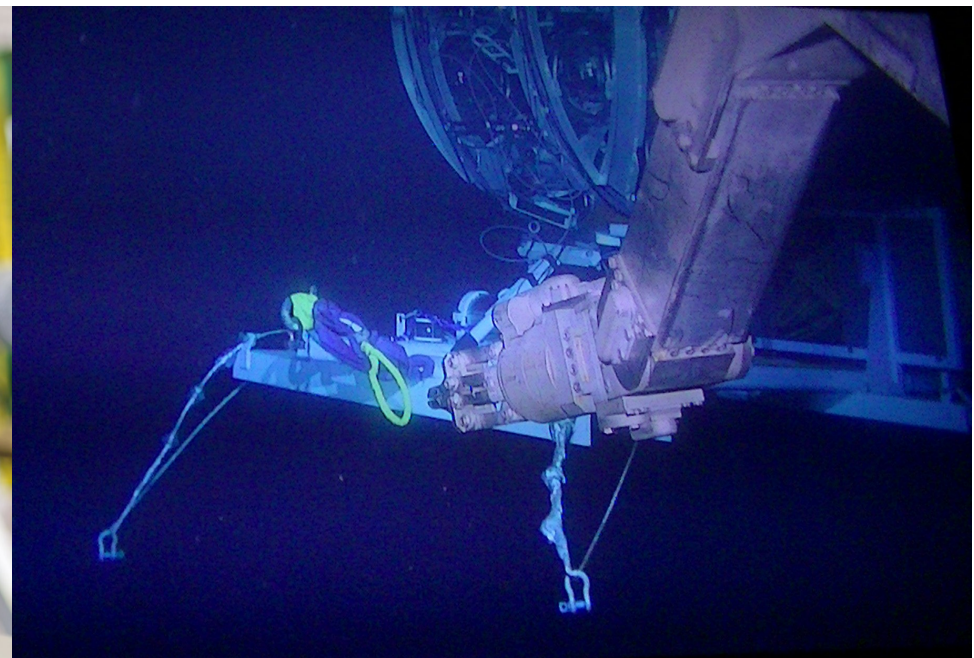
Attivita' nel 2017: assistenza al primo anno di run e shift per criogenia.

Non sono previste richieste ai servizi LNF per il 2017.

Anagrafica: A. Franceschi (0.51 FTE), T. Napolitano (0.51 FTE), C. Ligi (0.51 FTE).

KM3net: Phase-1

Phase-1 prevede entro la fine del 2017 dell'istallazione di:
ARCA: 1 blocco di 24 stringhe a Capo Passero
ORCA: 6 stringhe nel sito francese



KM3net: stato delle stringhe

Reminder: analisi dettagliata dello stato delle stringhe installate a maggio è in KM3NeT_ORG_2016_001-v2

Stato a CP:

Presi dati in corso con 2 stringhe (una installata a dicembre, una a maggio)

Dati di buona qualità, calibrazioni sotto controllo, ricostruzione eventi in corso

Terza stringa (ARCA-DU3), installata a maggio, è spenta per via di un problema elettrico e andrà recuperata

Cosa è successo a ARCA-DU3?

Non ancora compreso: la stringa ha funzionato al test pre-unfurling. Non chiaro se il problema si è sviluppato col tempo (tra test pre- e post-unfurling) o è dovuto a qualche evento traumatico durante l'unfurling - ad una ispezione sottomarina non si vedono in ogni caso problemi

Occorre recuperare per capire! Il recupero permetterà anche di riutilizzare gran parte dei componenti (DOMs, ancora, boa, ...)

É tuttavia procedura nuova che richiede attenta preparazione (l'ambizione era di non recuperare per maintenance – vedi TDR)

Quali i piani di costruzione?

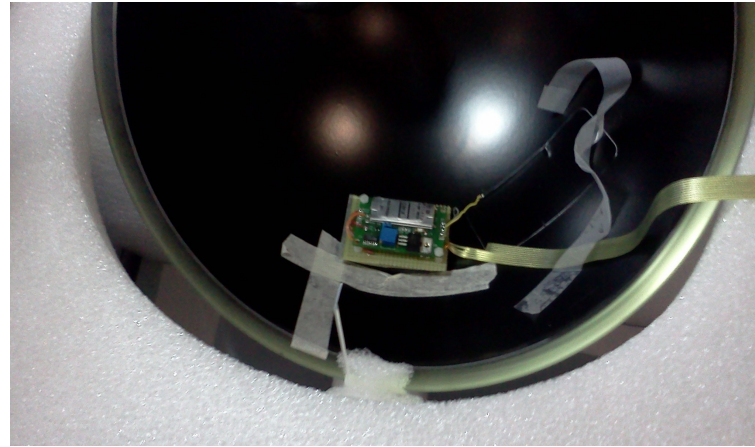
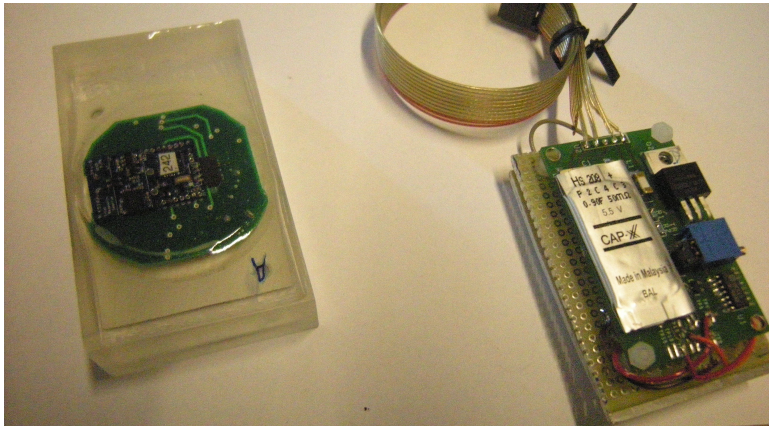
Recuperare ARCADU3 a fine luglio, capire problemi e introdurre azioni correttive per l'autunno

La preparazione dei siti di integrazione delle stringhe è in corso; l'integrazione dei DOM e dei moduli di base continua

Obiettivo: installare nuovo batch di stringhe a fine anno, completare Phase-1 nel 2017

KM3net: PORFIDO2

PORFIDO2 con termometro con precisione a 1/1000 °C
Utilizza tecnologia RFID. 4 installati sulla torre immersa a maggio



KM3net: attività' gruppo LNF

PORFIDO3

- una nuova tecnologia:

Comunicazione e alimentazione del probe esterno con infrarossi e non più radio frequenza.

Sensori di temperatura e salinità ad alta precisione.

Primo prototipo realizzato e in fase di test.

2017:

Ultimare test di funzionamento, in laboratorio.

Eseguire test di funzionalità e di integrazione nel DOM (Digital Optical Module) delle stringhe.

Composizione del gruppo LNF:

A. Martini (60%), M. Cordelli (40%), V. Chiarella (30%), L. Trasatti Tot:1.3 FTE

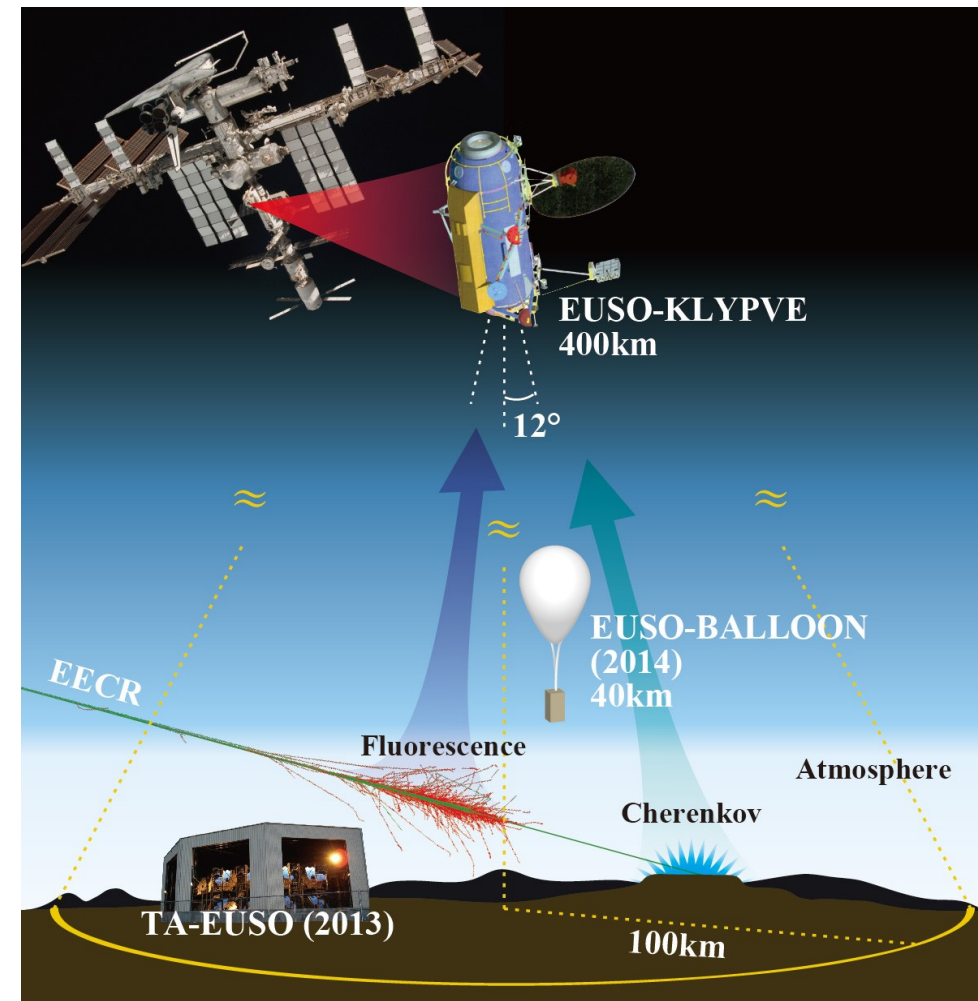
Tecnici: O. Ciaffoni.

Richieste alla CSN2:

In via di preparazione. In linea di massima missioni e 5-6 kEuro per l'R&D sul prototipo di PORFIDO.

EUSO International Program

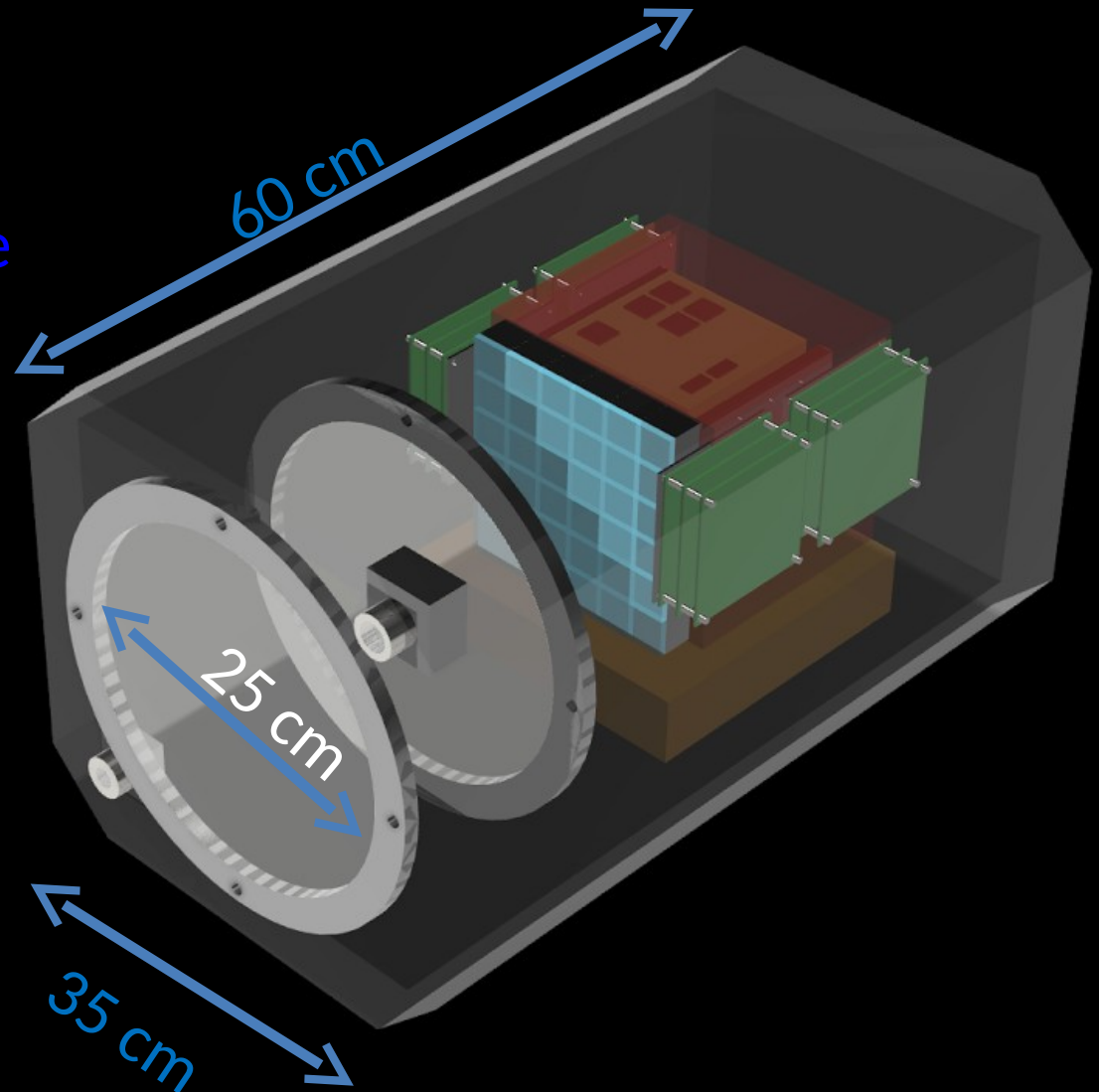
1. EUSO-TA: Ground detector at Telescope Array site (Utah): running
2. EUSO-BALLON:
 - 1st successful flight Timmins, Canada (CNES) Aug 2014;
 - 2nd flight EUSO-SPB (NASA) Long Duration (> 30 days) Super pressure Balloon New Zealand, Spring 2017
3. Mini-EUSO on Russian Module ISS (second-half 2017)
4. K-EUSO (2020) (Russian Module ISS)
5. EUSO – FF (Free-Flyer) application to ESA M5 call (2028-29)



MINI-EUSO/UV-Atmosphere

A precursor of EUSO on board ISS for the observation of Atmosphere and Earth in the UV spectrum

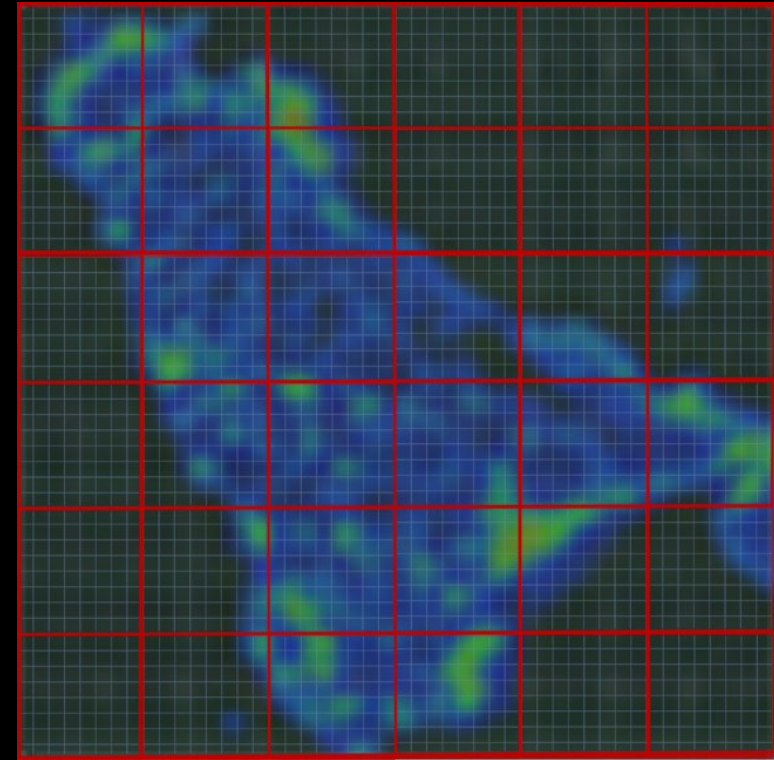
- Approved by Italian Space Agency
- Approved by Russian Space Agency
- Inside the ISS in 2017
- 2 Fresnel lenses and one PDM (Photo Detector Module – 36 PMT's)
- 60 W @ 27 V
- 30 kg



MINI-EUSO

Scientific objectives

- UV emissions from night-Earth
- *Map of the Earth in UV*
- *Study of atmospheric phenomena*
 - TLE in the ms range*
 - lightning – cr correlation*
- Meteors
- Strange quark matter
- Space Debris observation/tracking

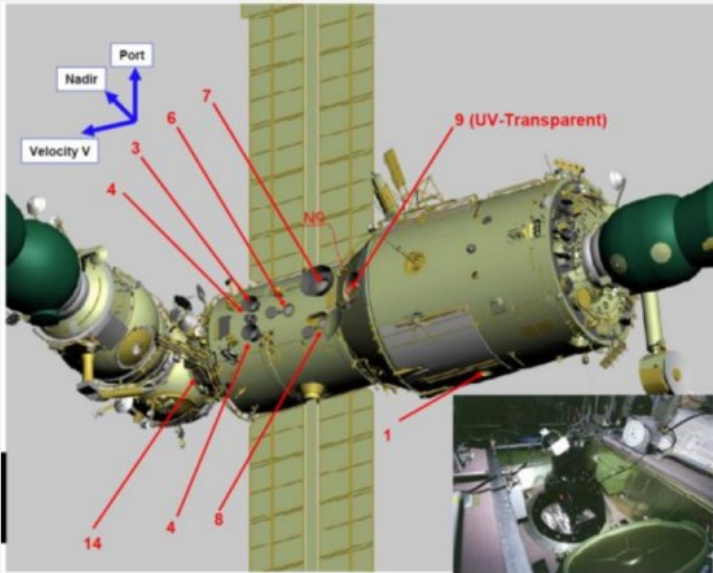


MINI-EUSO

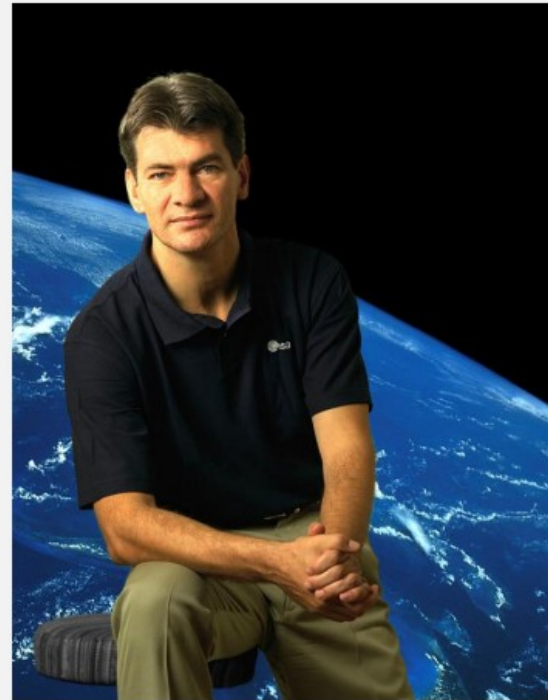
Technological objectives

- *First use of Fresnel lenses in outer space*
- *Optimization of characteristics and performances of EUSO missions*
- *Raise the Technological Readiness Level (TRL) of the Hardware*
- *Test and R&D of new devices in space (Silicon Photomultipliers)*

MANPOWER IN THE MINI-EUSO PROJECT



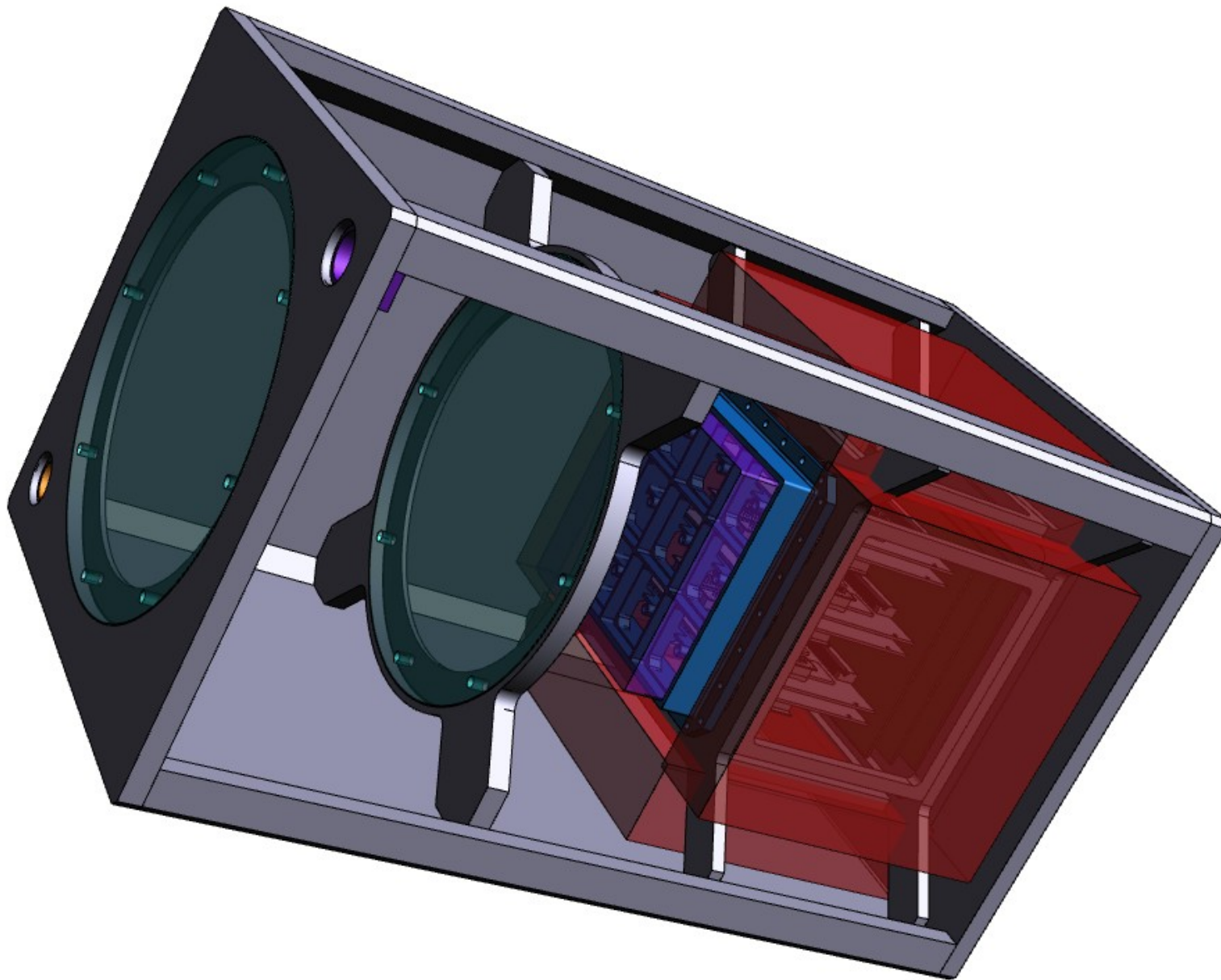
UV atmosphere is a wide field of view telescope to be installed on board the Russian Segment of the ISS (UV transparent window of Service module)



**The experiment can be conducted during 2017:
53/54 expedition to the ISS by Italian astronaut P. Nespoli
54/55 expedition by Sergey Ryazansky**

Attività rilevanti in corso e previste del gruppo italiano per Mini-EUSO

- Sviluppo nuova PDM (Photo Detector Module) con 36 PMT Hamamatsu Multianodo per il Flight Model
 - Data Processor/CPU
 - Trigger selezionati per i vari obiettivi scientifici
 - Software di controllo e gestione
- Struttura Meccanica di supporto e interfaccia (LNF-SPCM)
- Integrazione finale Flight Model in area romana (Tor Vergata/LNF)
- Simulazioni performance e *assessment* obiettivi scientifici



**Progetto CAD box/container Mini-EUSO
LNF SPCM (A. Franceschi, T. Napolitano)**

Il percorso verso la Missione Principale EUSO:

Opzione Russa: K-EUSO sul modulo Russo ISS. Versione con specchio da 3.5 m e una lente di Fresnel

Piano focale con FoV $\pm 14^\circ$

Lanciatore Progress Cargo

Data tentativa di lancio 2019

Paesi guida: Russia e Giappone, partecipazione europea

Call ESA M5: EUSO-FF (Free-Flyer)

5th Medium Mission of the ESA's Cosmic Vision Programme.

ESA's M5 Call emessa il 29 Aprile 2016

Lettera di Intenti inviata dalla Collaborazione EUSO 4 Giugno 2016

Scadenza sottomissione Proposal 6 Ottobre, 2016

Lungo processo di selezione fino al 2021 attraverso varie fasi di valutazione

Lancio 2029 (anticipabile se stato di prontezza lo permette)

Paesi guida: Europei, Francia, Germania, Italia, Spagna con contributi extra-europei (USA, Messico, Giappone)

JEM-EUSO-RD richieste ai Servizi LNF per il 2017

Produzione strutture meccaniche PDM (Photo-Detector Module):

- Top frames
- Back frames

Finalizzazione progetto e realizzazione CAD container/box Mini-EUSO

Analisi modi vibrazionali lancio Mini-EUSO

Studio nuovi materiali (plastici, isolanti) e nuove configurazioni per EUSO-FF

SPCM

- **Progettazione 2 mu**
- **Meccanica 2 mu**

Anagrafica e attività

Gruppo LNF

**M.Ricci (Resp. Naz.) (70), M. Martucci (AR, 40), A. Franceschi (49),
T. Napolitano (49), A. Marini, F. Ronga, B.Spataro;**

TOT 2.1 FTE

Ruolo del gruppo LNF: Resp. nazionale; studio progettazione e produzione strutture meccaniche di supporto; design configurazioni di volo; studio fenomeni esotici rivelabili con JEM-EUSO (nucleariti, strangelets ...); offline e simulazioni; studio delle opzioni di “space debris observation/tracking” dalla ISS; attività editoriale ed organizzativa nel board pubblicazioni e conferenze.

Richieste finanziarie 2017 in preparazione

Stima: 30 kEuro LNF; 250 kEuro totali gruppo italiano

LIMADOU-CSES

(Chinese Seismo-Electromagnetic Satellite)

Progetto premiale ASI con partecipazione INFN e INGV

Misura dallo Spazio di perturbazioni magnetosferiche e loro correlazioni con fenomeni sismici - Interazione tra Magnetosfera, Ionisfera e Terra

Realizzazione di una serie di rivelatori e strumenti da collocare a bordo del Satellite Cinese CSES:

- Mini spettrometro magnetico
- Rivelatore di campo elettrico
- Rivelatore di campo magnetico
- Rivelatore di onde e.m. a bassa frequenza

Lancio previsto
Ottobre 2017

Bologna
LNF (M.Ricci 10%, B.Spataro)
Perugia
Roma Tor Vergata
Trento
UniNettuno Roma
INGV

China Earthquake Administration
Chinese National Space Agency

CSES-LIMADOU Work Packages ITALY

- WP1) Provide the **High Energy Particle Detector (HEPD)** (design, build, test, qualify, integrate, commission, calibration, analysis) **LNF (Rad. Hard Tests, e⁻ beam lines BTF, SPARC-LAB)**
 - WP2) Collaborate on the development of the Electric Field Detector (EFD) (design, test, qualification, analysis)
 - WP3) Develop modeling and analysis tools to analyze and understand CSES data, in particular HEPD and EFD - **LNF (simulations)**
 - WP4) Develop modeling and analysis tool towards an integrated modeling of space-based observations useful for earthquake early warning from space
- An additional area which will be developed is
- WP5) the area of data download to the Matera station and CSES ground segment

**Eseguito test alla BTF dell' HEPD QM settimana 25/4 – 2/5 2016
con elettroni 30-150 MeV per qualificazione ed accettazione dalla
Agenzia Spaziale Cinese**

Attività e richieste 2017: preparazione Flight Model HEPD; tests finali di qualificazione; Lancio dalla base cinese di Jiuquan, deserto di Gobi (1600 km da Pechino).
Stima richieste LNF per il 2017 ~10 kEuro/ TOT gruppo italiano ~ 80 kEuro

Test alla BTF-LNF del rivelatore di particelle HEPD per la missione spaziale italo-cinese CSES-LIMADOU

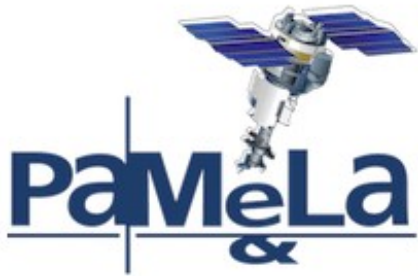
Si è svolto presso la BTF (Beam Test Facility) dei Laboratori un importante test di qualificazione di un rivelatore di particelle facente parte di una serie di strumenti che saranno installati a bordo di un satellite cinese nell'ambito del progetto italo-cinese CSES-LIMADOU. Frutto di un accordo congiunto di cooperazione internazionale tra Agenzia Spaziale Italiana, Agenzia Spaziale Cinese e INFN, CSES-LIMADOU è una missione spaziale che collocherà sul satellite cinese una serie di strumenti avanzati volti allo studio in orbita di vari tipi di fenomeni di carattere elettromagnetico e della loro possibile correlazione con fenomeni geofisici per contribuire allo sviluppo di nuovi metodi per il monitoraggio sismico dallo spazio.

Il rivelatore portato alla BTF è l'High Energy Particle Detector (HEPD), progettato per rivelare elettroni (3-100 MeV), protoni (30-200 MeV) e nuclei leggeri con elevata risoluzione in energia ed angolare. L'obiettivo principale consiste nella misura dell'incremento del flusso di elettroni e protoni dovuto a perturbazioni di breve durata delle fasce di radiazione causate da fenomeni solari, terrestri e antropici.

Il rivelatore consiste di uno strato di scintillatori plastici segmentati ed un calorimetro, costituito da una torre di contatori a scintillazione e di una matrice di cristalli LYSO (*Ortosilicato di Lutezio e Ittrio*). La direzione della particella incidente è individuata da due piani di rivelatori a micro-strip di silicio a doppia faccia posizionati di fronte ai piani di scintillatori di trigger per limitare l'effetto dello scattering multiplo Coulombiano lungo la direzione di misura.

Per effettuare una verifica completa delle prestazioni e funzionalità del rivelatore – richiesta dalle procedure standard di qualificazione e certificazione di uno strumento per lo spazio - un gruppo di ricercatori di CSES-LIMADOU, in stretta collaborazione e con il continuo supporto dello staff BTF, ha sottoposto l'HEPD ad una serie di test con fasci di elettroni nell'intervallo di energie 30 – 150 MeV. Nel corso del test il funzionamento del rivelatore è stato gestito in remoto dalla sala controllo della BTF per mezzo di un *Electrical Ground Support Equipment* (EGSE) in grado di emulare le interfacce elettriche del satellite CSES.

Grazie anche alla continuità e stabilità operativa del fascio della BTF durante la settimana di prove, il test ha dato esito positivo consentendo di ottenere un'elevata statistica dei dati raccolti e di validare il programma di test nella sua interezza.



10 Years of PAMELA



15 June 2016 *Villa Mondragone, Monte Porzio Catone*
Europe/Rome timezone

Overview

Scientific Programme

Timetable

Registration

Registration Form

List of registrants

Accommodation

How to reach

Photo Gallery



Pamela has marked a discontinuity in cosmic ray physics

(F. Donato, I. Moskalenko)

Detector on a satellite:
enormous statistical improvement,
with no residual atmosphere

Unprecedented energy range

A large spectrum of species detected by the same instrument:
leptons, nuclei, antimatter

Sources of particles detected by Pamela are both galactic AND
solar

Testing fundamental gravity with MoonLIGHT (GEO, Moon) & INRRI (Moon, Mars)

S. Dell'Agnello for the SCF_Lab Team (INFN-LNF)

<http://www.lnf.infn.it/esperimenti/etrusco/>

INFN-LNF, Preventivi 2017, July 4, 2016

- **MoonLIGHT, the *big* Lunar laser retroreflector**
- **INRRI, the Martian laser *micro*reflector**
- **Planetary Ephemeris Program (PEP) *orbital SW***

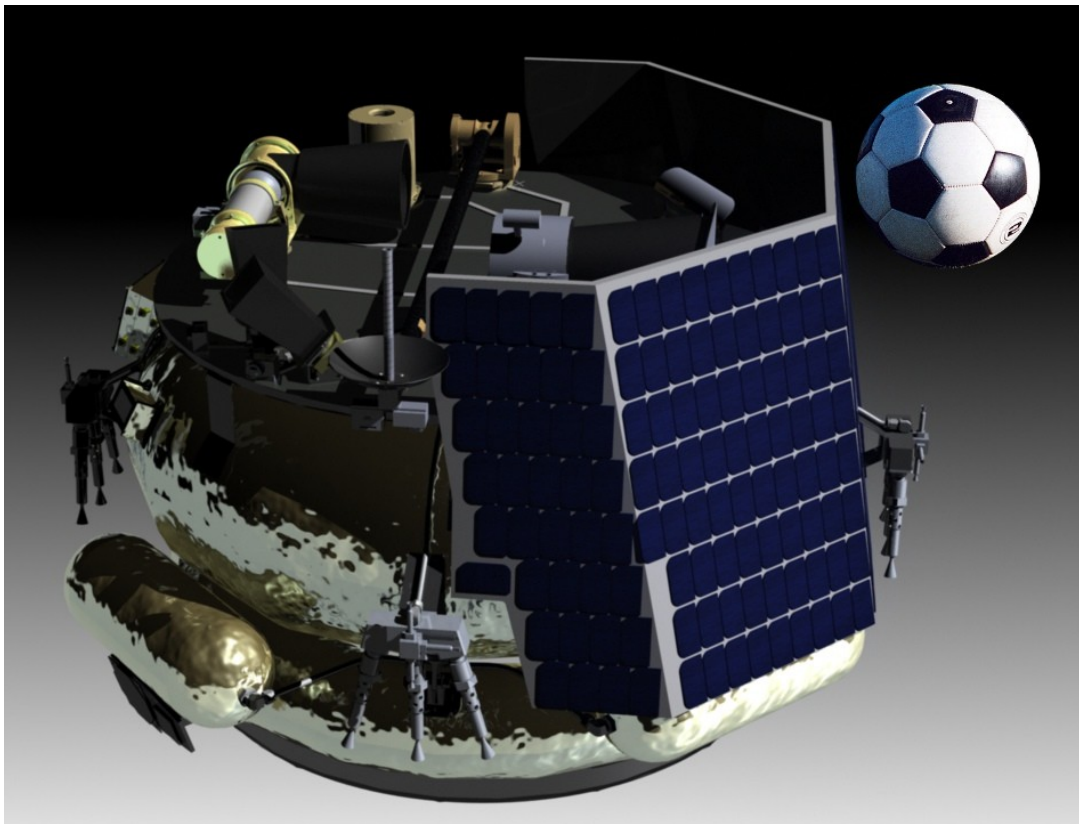
Lunar/Martian positioning data: we use PEP, developed in USA at the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA) by Shapiro, Reasenberg, Chandler since 60/70s

MoonLIGHT-2 missions

Moon Express 1 (USA, 2017-18), agreement on May 15, 2015

Chang'E-4 (China): far side, 2 INRRI's, 2018

Chang'E-5, Chang'E-6: near side MoonLIGHT + INRRI's, ≥ 2020



Chang'E,
Chinese Moon Goddess

Lunar Laser Ranging test of gravity

General Relativity: precisions tests, improvements up to $\times 100$ with MoonLIGHT next-generation laser retroreflectors on near side

Note: table does not include INRRI on Chang-E-4 on far side
INRRI on far side will improve geometric lever arm to estimate Selenocenter

Science measurement / Precision test of violation of General Relativity	Apollo/Lunokhod * few cm accuracy	MoonLIGHTs **	
		mm	sub-mm
Parameterized Post-Newtonian (PPN) β	$ \beta-1 < 1.1 \times 10^{-4}$	10^{-5}	10^{-6}
Weak Equivalence Principle (WEP)	$ \Delta a/a < 1.4 \times 10^{-13}$	10^{-14}	10^{-15}
Strong Equivalence Principle (SEP)	$ \eta < 4.4 \times 10^{-4}$	3×10^{-5}	3×10^{-6}
Time Variation of the Gravitational Constant	$ \dot{G}/G < 9 \times 10^{-13} \text{yr}^{-1}$	5×10^{-14}	5×10^{-15}
Inverse Square Law (ISL) - Yukawa	$ \alpha < 3 \times 10^{-11}$	10^{-12}	10^{-13}
Geodetic Precession	$ K_{gp} < 6.4 \times 10^{-3}$	6.4×10^{-4}	6.4×10^{-5}

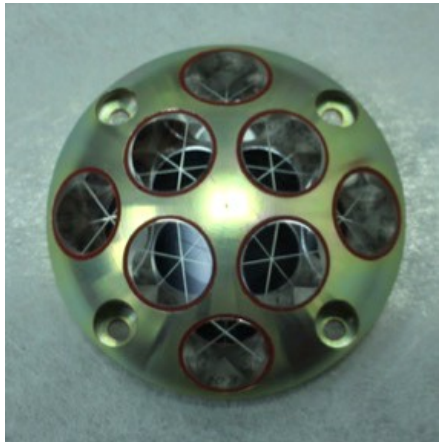
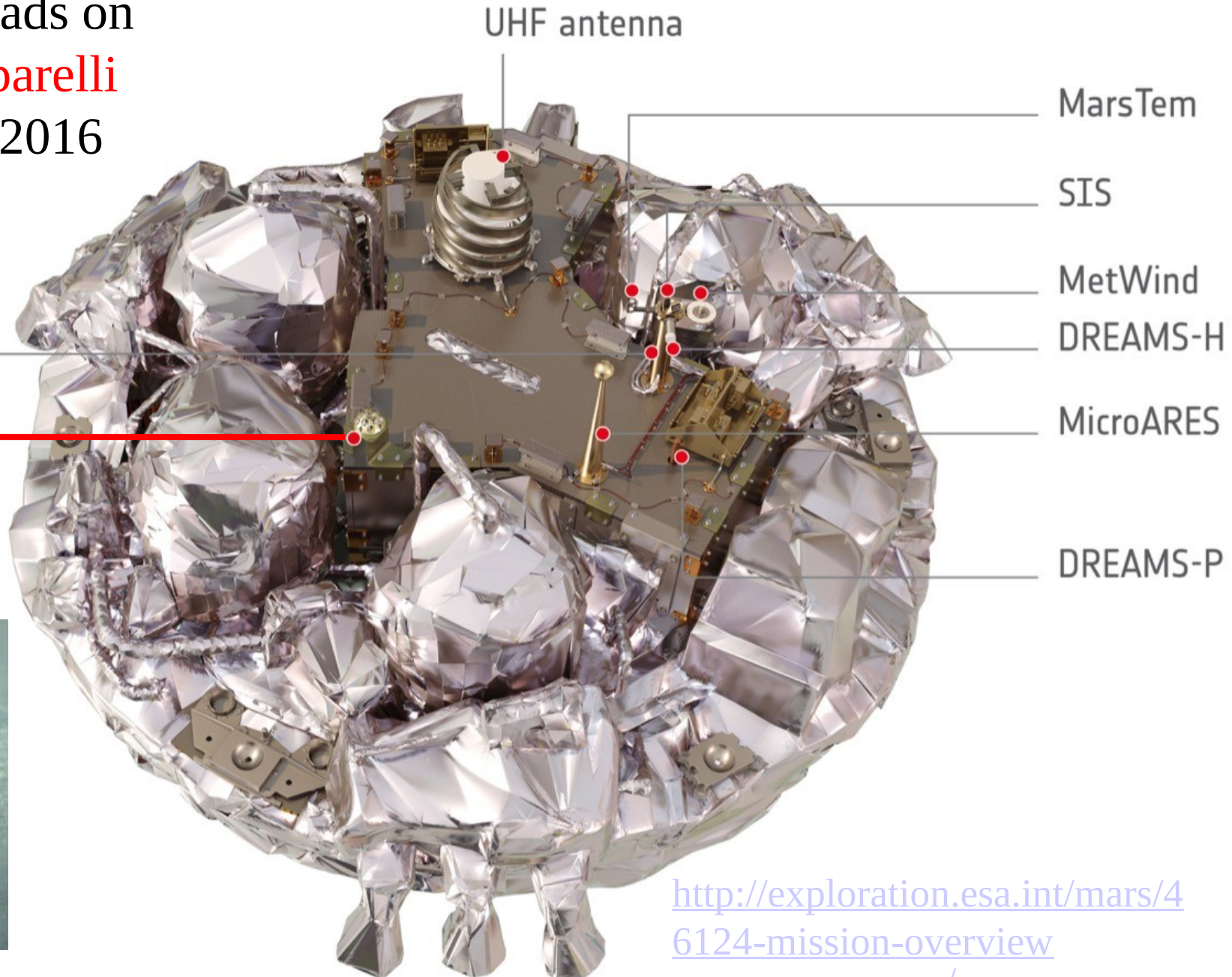
* J. G. Williams et al PRL 93, 261101 (2004)

** M. Martini et al Plan. & Space Sci. 74 (2012) 276–282; M. Martini PhD thesis 2016

- Test of General Relativity and its extensions
- Accurate positioning of landing-roving
- Definition of *Mars Greenwich*
- Lidar-based/aided landing (return to lander/rover)
- Atmospheric trace species detection by lidar on orbiter
- Lasercomm test & diagnostics
- Measurement of dust particulate for colonization

INRRI on ExoMars 2016 (ESA-ASI)

Science payloads on
Lander **Schiaparelli**
Landing: Oct 2016

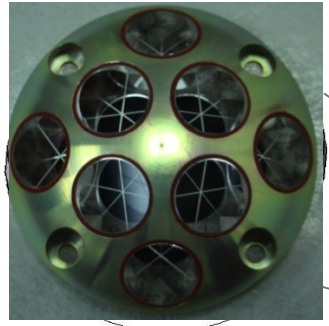
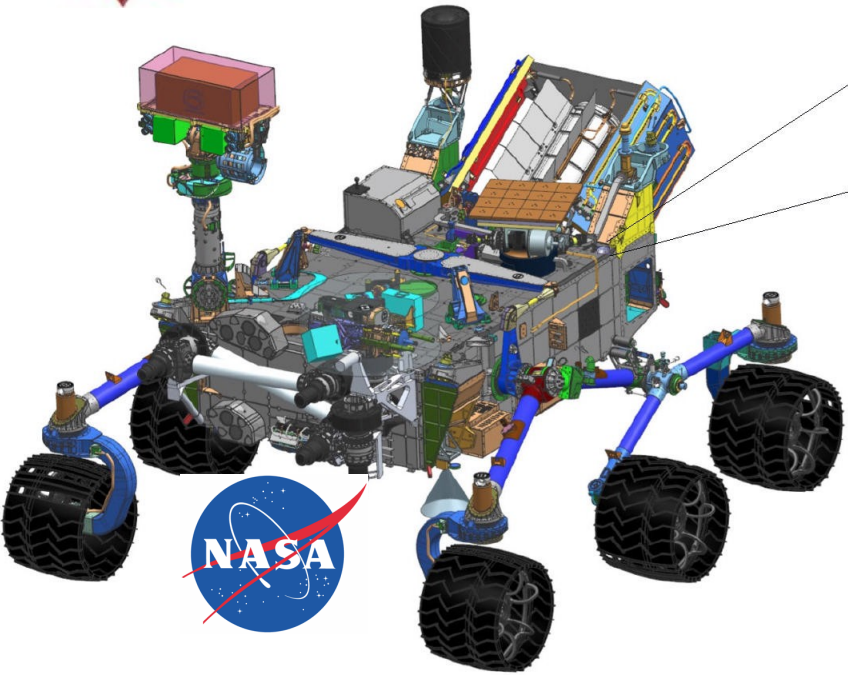


Testing Mars gravity: INRRI microreflectors

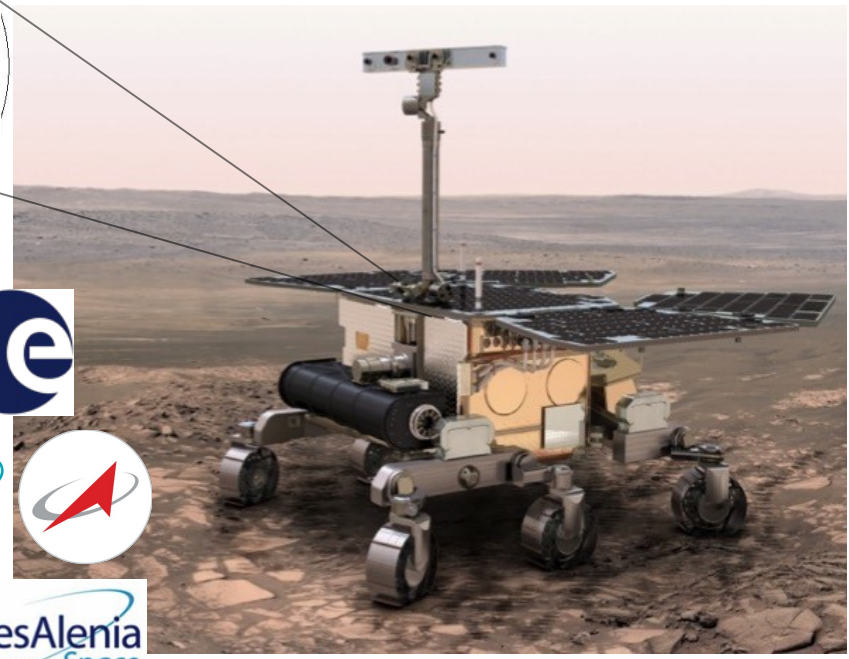
- INRI is in ASI 3-year Plan 2016-18. Opportunities:
 - NASA/ASI: Mars 2020 (×1), Insight 2018 (×1)?
 - ESA/ASI: ExoMars 2016 (×1), ExoMars 2020 (×2)
 - SpaceX: Red Dragon, launch in 2018 (×1)
- China recently announced it will land on Mars (2020)



Mars 2020 (NASA)



ExoMars 2020



- Original physics work by M. Martini and E. Ciocci
- MGN, Mars Geo/physics Network of INRRIs (~all north)
 - 68N, 234E = Phoenix Lander
 - 4S, 137E = Curiosity Rover; 2S, 354E = Opportunity Rover
 - 22N, 50W = Viking 1 Lander; 48N, 258W = Viking 2 Lander
- Due to weather effects: 1 laser normal point every 7 Sols
- Preliminary: time = 10 years of data, accuracy = 10 cm – 10 m

INRRI: Time/Accuracy	Accuracy on β -1	Accuracy on γ -1	Accuracy on \dot{G}/G
10 years / 10 m	1.7 x E-04	7.2 x E-04	3.8 x E-14
10 years / 1 m	3.7 x E-05	1.6 x E-05	1.4 x E-14
10 years / 10 cm	7.4 x E-07	3.2 x E-06	2.9 x E-15
Best accuracy now Data <i>Analysis group</i>	1 x E-04 Lunar Laser Ranging <i>JPL, Harvard-INFN</i>	2.3 x E-05 Cassini <i>Bertotti et al</i>	9 x E-13 Lunar Laser Ranging <i>JPL, Harvard-INFN</i>

Non-Minimally Coupled gravity (NMC)

$$S = \int \left[\frac{1}{2} f^1(R) + [1 + f^2(R)] \mathcal{L} \right] \sqrt{-g} d^4x, \quad (1)$$

where $f^i(R)$ (with $i = 1, 2$) are functions of the Ricci scalar curvature R , \mathcal{L} is the Lagrangian density of matter, and g is the metric determinant. The Einstein-Hilbert action is recovered by taking

$$f^1(R) = 2\kappa(R - 2\Lambda), \quad f^2(R) = 0, \quad (2)$$

where $\kappa \equiv c^4/16\pi G$, G is Newton's gravitational constant and Λ the cosmological constant.

$f(R)$ & $f^1(R)+f^2(R)$ theories \rightarrow provide 'weak' gravity
& alternatives to dark energy/matter scenario

Yukawa limits (α vs. λ) on NMC gravity

O. Bertolami, R. March (INFN-LNF) et al, **Solar System constraints to nonminimally coupled gravity**, *PRD 88, 064019 (2013)*

R. March (INFN-LNF) et al, **Perturbation of the metric around a spherical body from a nonminimal coupling between matter and curvature**, *PL B 735 (2014) 25–32*

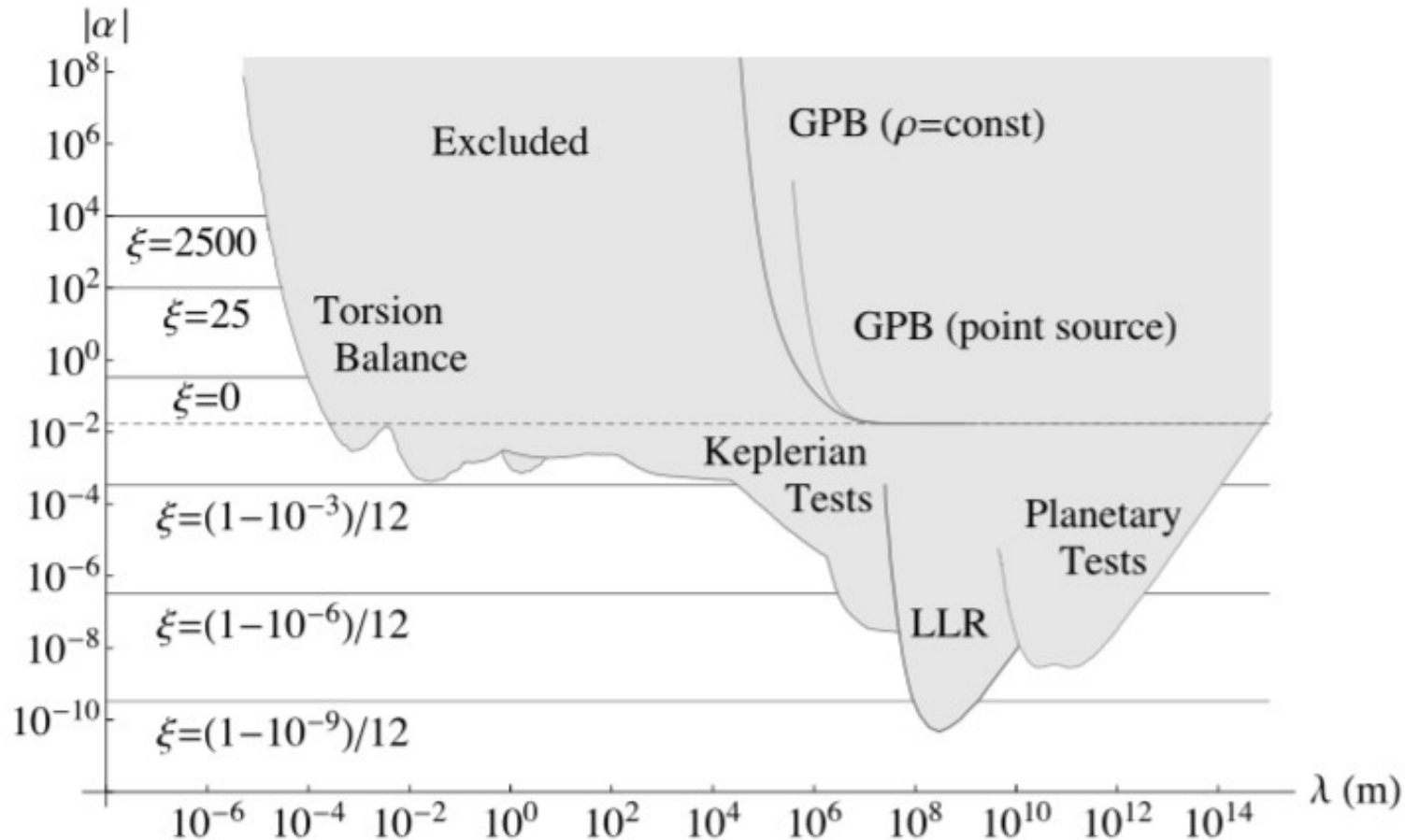


Fig. 2. Yukawa exclusion plot for α and λ . Adapted from Refs. [41,46].

The $1/c$ expansion of nonminimally coupled curvature-matter gravity model and Solar System experiments

Constraints
from lunar
laser ranging
data

Riccardo March* and Simone Dell'Agnello†
*Istituto per le Applicazioni del Calcolo, CNR,
Via dei Taurini 19, 00185 Roma, Italy and
INFN - Laboratori Nazionali di Frascati (LNF),
Via E. Fermi 40, Frascati 00044 Roma, Italy*

Submitted to PRD.
R. March very
productive

Orfeu Bertolami‡ and Jorge Páramos§
*Departamento de Física e Astronomia and Centro de Física do Porto,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto,
Rua do Campo Alegre 687, 4169-007, Porto, Portugal*
(Dated: July 27, 2015)

The effects of a nonminimally coupled curvature-matter model of gravity on a perturbed Minkowski metric are presented. The action functional of the model involves two functions $f^1(R)$ and $f^2(R)$ of the Ricci scalar curvature R . This work expands upon the results previously reported in Ref. [1], extending the framework developed there to compute corrections up to order $O(1/c^4)$ of the metric. It is shown that additional contributions arise due to both the non-linear form $f^1(R)$ and the nonminimal coupling $f^2(R)$, including exponential contributions that cannot be expressed as an expansion in powers of $1/r$. Some possible experimental implications are assessed.

Extra perihelion precession constrained w/Mercury radar data

Ricercatori						
	Nome	Età	Contratto	Qualifica	Aff.	%
1	Bellettini Giovanni		Associato	Prof. Straordinario	CSN II	80
2	Ciocci Emanuele		Dipendente	Assegno di Ricerca	CSN II	70
3	Maiello Mauro		Associato	Docente	CSN II	80
4	March Riccardo		Associato	Primo Ricercatore	CSN II	80
5	Martini Manuele		Dipendente	Assegno di Ricerca	CSN II	70
6	Porcelli Luca		Dipendente	Ricercatore	CSN II	80
7	Turaso Roberto		Associato	Ricercatore	CSN II	80
8	Vittori Roberto		Associato	Dirigente di Ricerca	CSN II	50
Numero Totale Ricercatori					8	FTE: 5.9

Tecnologi						
	Nome	Età	Contratto	Qualifica	Aff.	%
1	Bianco Giuseppe		Associato	Dirigente Tecnologo	CSN II	50
2	Contessa Stefania		Dipendente	Assegno di Ricerca	CSN II	70
3	Dell'Agnello Simone		Dipendente	Dirigente Tecnologo	CSN II	70
4	Delle Monache Giovanni Ottavio		Dipendente	Tecnologo	CSN II	70
5	Drago Alessandro		Dipendente	Primo Tecnologo	CSN V	20
Numero Totale Tecnologi					5	FTE: 2.8