



Auger TORINO

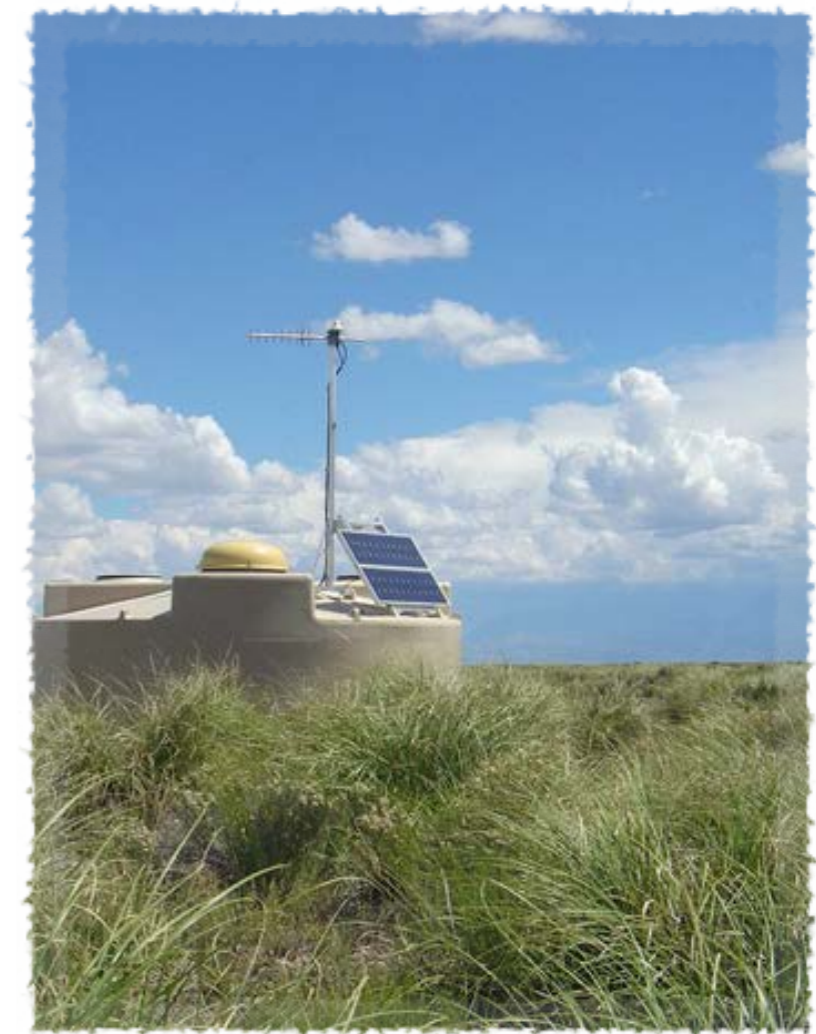
Antonella Castellina,

7 settembre 2021

Gruppo: 8.2 FTE(INFN, INAF, University)

Ruoli di responsabilità

- Antonella Castellina - co-Spokesperson
- Marco Aglietta - Task Leader SD Dynamic Range extension
- coTask leader Maintenance SD-PMT
- Roberto Mussa - coTask leader Cosmo-geophysics
- task leader Lidar elastici
- Armando di Matteo - member of Publication Committee
- Francesco Fenu - coTask leader Spectrum
- Gialex Anastasi - cotask leader Monitoring



Attività nel campo

maintenance SD & Lidar
SPMT deployment/calibration
turni FD

Attività di analisi

Fenomenologia: fit combinato
Ricerca di sorgenti Anisotropia
Spettro energetico
Cosmo-geophysics: ELVES, ...

AugerPrime - smallPMT data analysis
commissioning/monitoring

SD-PMT maintenance

In the field

to repair or change PMTs with failures

- PMT weeks: special SDE shifts dedicated to the PMT maintenance in the field

twice/year for 2 weeks

2-3 teams in the field at the same time

40 to 60 PMTs fixed



INFN-Torino in charge of SD-PMTs
[M.Aglietta, A.Gorgi, A.Zampieri]

In the LAB

to repair PMTs, bases and HVPS returned from the field

- *reconditioning of PMTs in SdeCO*
 - *PMT cleaning*
 - *removal of PVC support*
 - *new flying leads welding*
 - *new base installation*
 - *PMT full test*
 - *potting (need many PMTs ready)*
 - *packing*
- *reconditioning of the bases in SdeCO*
 - *base cleaning*
 - *fast HV module test (~88% ok)*
 - *LTT 1 week (~80% ok)*
 - *HV capacitors replacement*
 - *other actions (e.g. cure for raining, short pins...)*
 - *full functional test (automatic system)*
- *HVPS repaired in INFN-Torino*



- ➔ A causa del lockdown e di altre attività nel campo, ora > 350 PMT mascherati (in passato sempre <200)
- ➔ Discussione con SensTech sugli alimentatori HV - problemi nell'ultima produzione. Trattativa per sostituzione ultime forniture (non ancora installate nel campo), riparazione dei moduli smontati dal campo in laboratorio (a Torino)
- ➔ E' possibile acquistare i PMT XP1805 solo dalla Cina (ex Photonis), costo ~1000€/unità, ma la produzione verrà molto probabilmente chiusa a breve. Necessità di esaminare i PMT di Hamamatsu come sostituzione

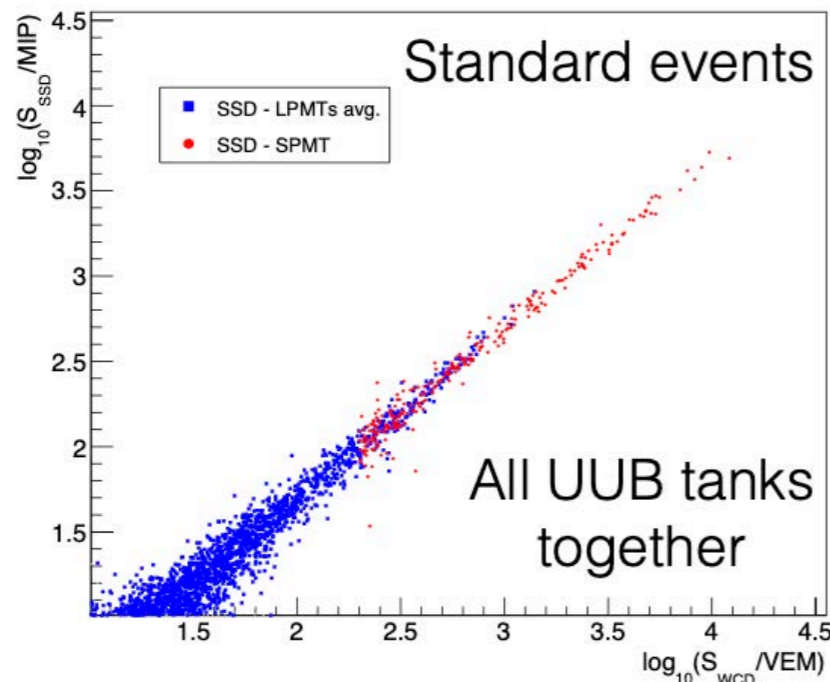
small PMT

1550 units +58 spares

- 1308 sPMT units already in Malargüe, 300 on delivery (INFN-NA)
- 1300 HVPS already in Malargüe, 300 on delivery from CAEN

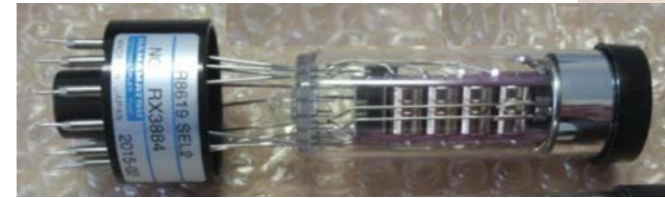
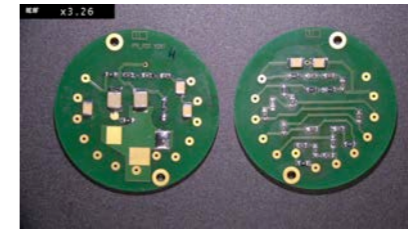
In Malargüe

- Assembly and test: 6 UUB/day with 2 people + SDEco test for SPMT
- installation and tests in the field
 - 6 UUB/day + sPMT + SSD-PMT [4 persons]
- test on calibration data acquisition and transmission (7 kB/hr/station) to CDAS
- test on transmission of calibration data to Lyon



1 unit =

- sPMT R8619 + divider
- HVPS A7501
- mechanics
- cables



Open the dome
Unscrew and open the PMT1 hatch cover
Remove the cap of the LED window

Placing the cable tie holder
Inserting the stabiliser disk

sPMT installation
tested in EA
15-20 min

Cleaning of the window
Preparing the optical contact (RTV6136)

Optical contact and stainless steel hose clamp in
Placing of the SPMT

Insertion of the 3 cables in the dome (ex dynode cable holes)
Connection of the HVPS

Connection to the UUB

Documentation provided *DeploymentProcedure.pdf*

Data analysis

- implementation of smallPMT in analysis software and simulations
- studies on reconstruction method

Elastic LIDARs

2 su 4 siti operativi

- manpower: hanno lasciato la collaborazione il gruppo SL (DAQ) e USA (laser)
- 2 laser attualmente funzionanti

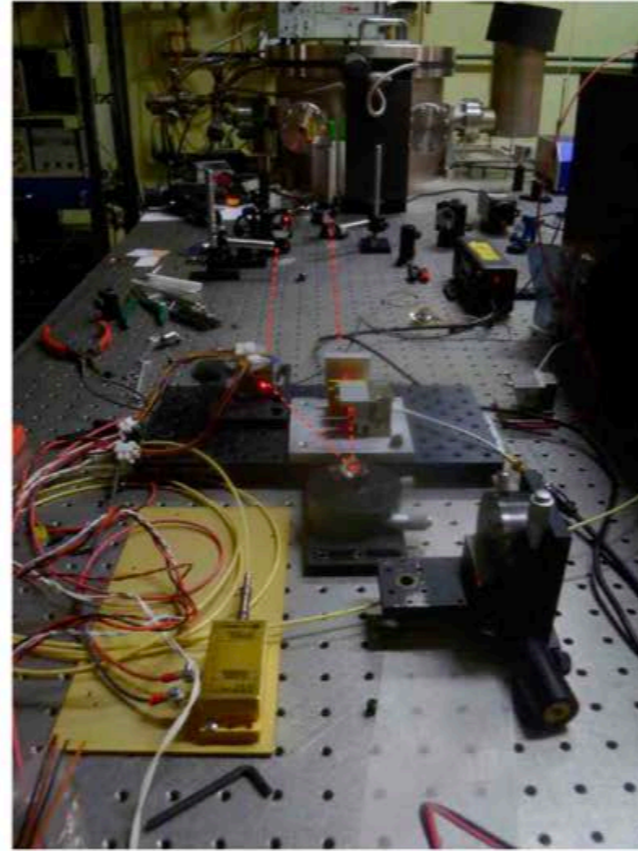
Attività in corso (INFN-TO) per riparare 2 dei 4 laser

Un prototipo costruito a TO, installato a Loma Amarilla, in attesa del laser

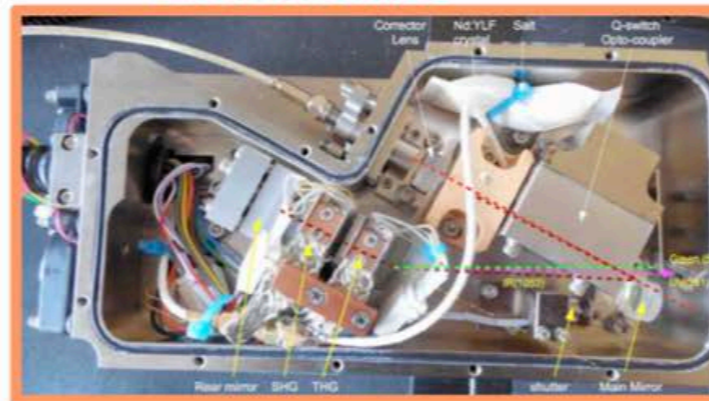
Per ogni sito sono necessari:

- ≥ 1 canale di corto range
- ≥ 1 canale di lungo range (1 ch= 1 PMT+HV+DAQ)

Manutenzione Laser (presso INRIM Torino)



Laser Photonics

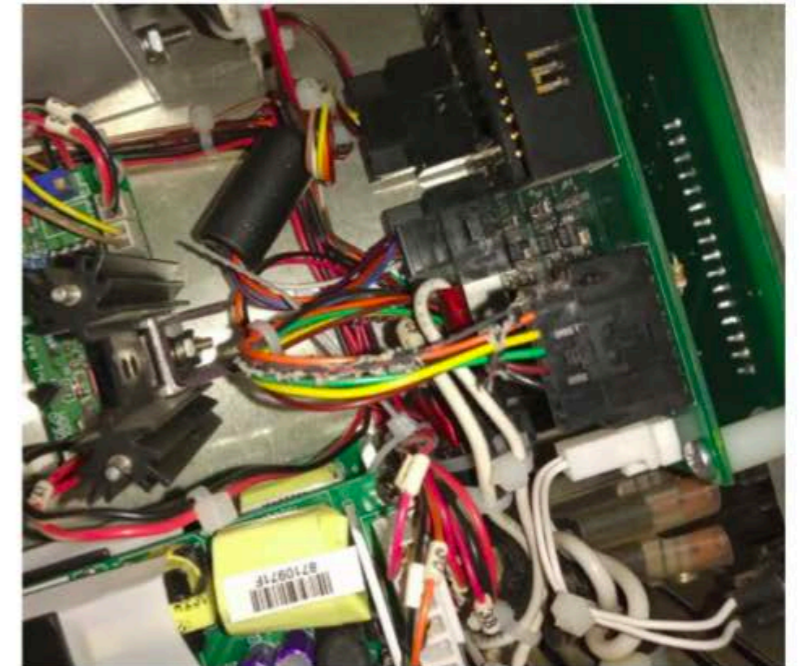


Sostituzione cristalli non lineari x generazione 2a e 3a armonica
Calibrazione e riallineamento cavita' laser

Manutenzione LIDAR in situ



Coihueco, Dic.2020: sostituzione della cinghia di trasmissione dell'asse zenith

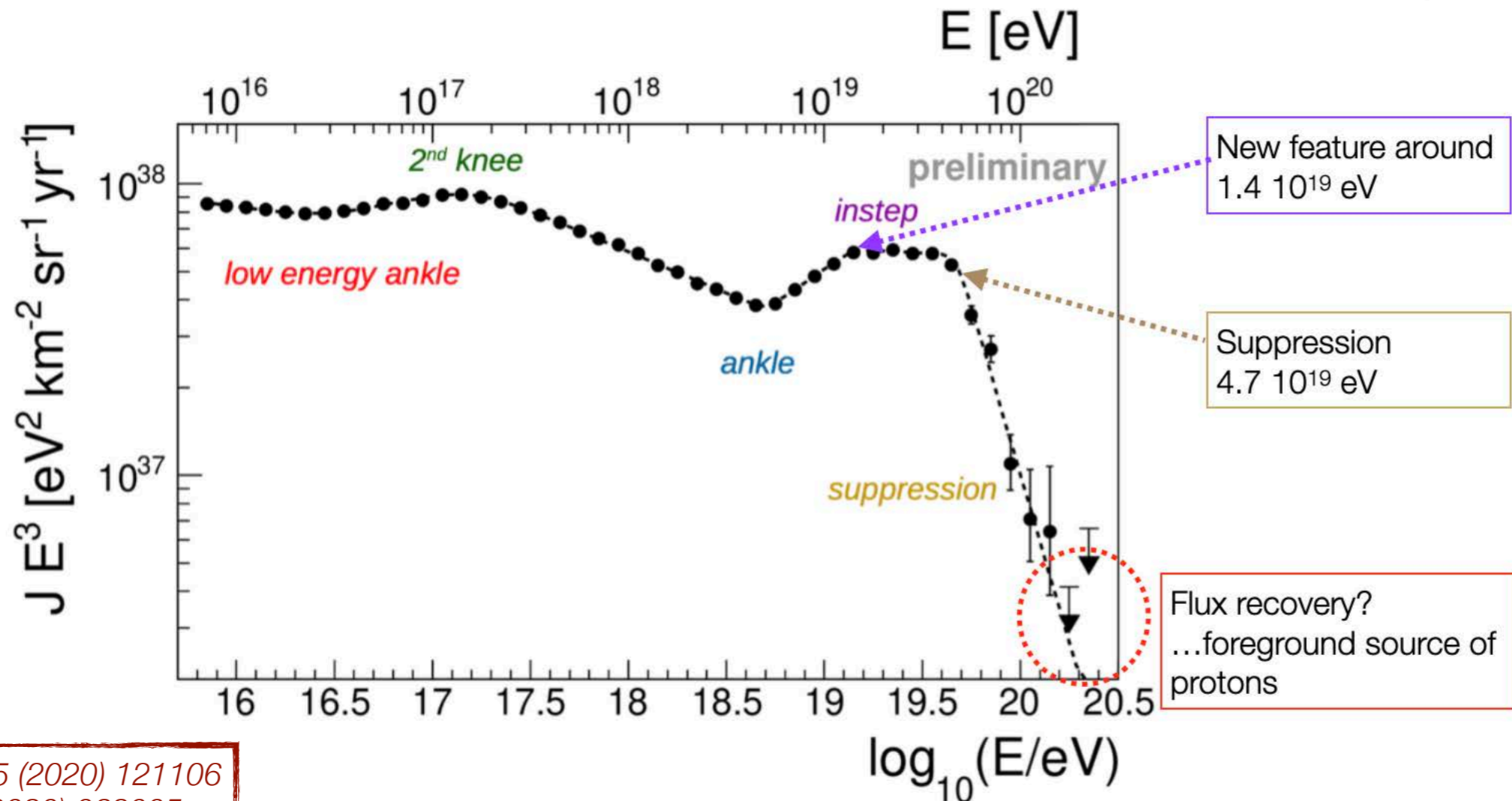
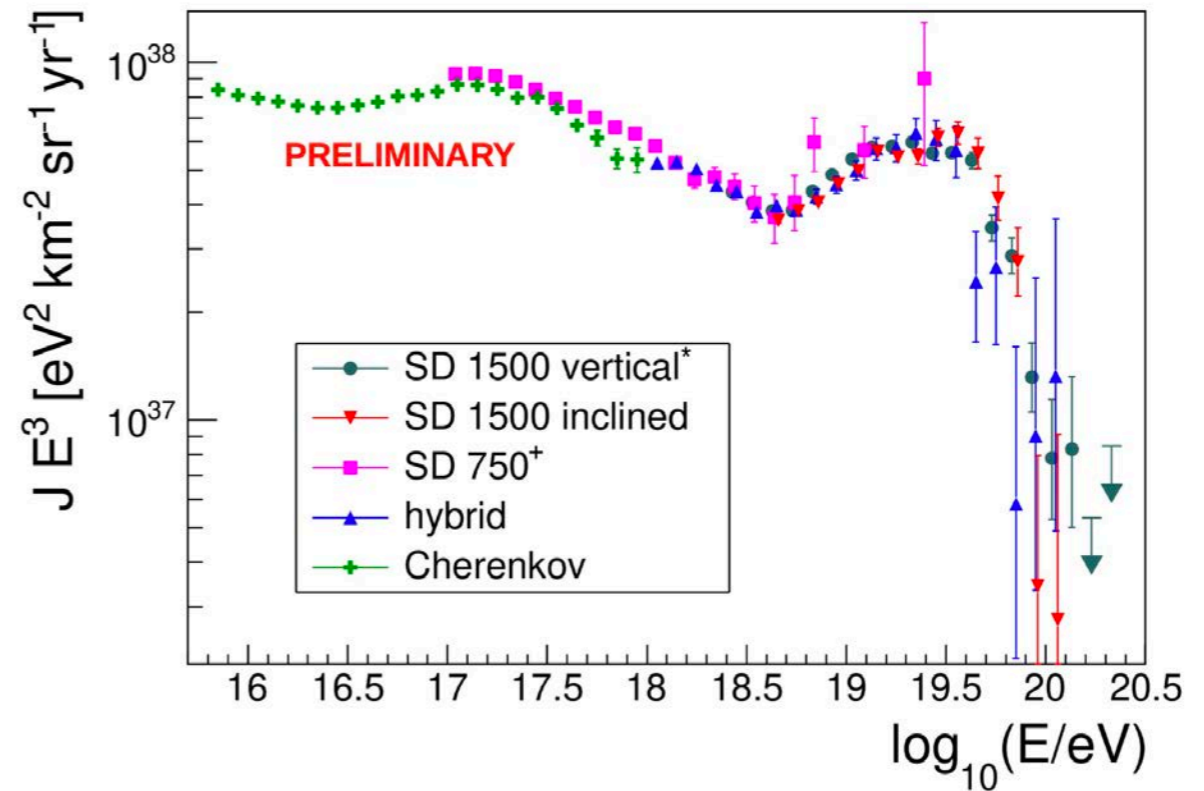


Coihueco Aprile 2021: sostituzione laser source current monitor (con componenti dai controllers dei lasers guasti...)

Energy spectrum

Combination of 5 different data sets with a forward-folding procedure

- *Last update ICRC2021*



Phys.Rev.Lett. 125 (2020) 121106
 Phys.Rev. D102 (2020) 062005
 sub. to Eur.Phys.J. C (2021)

Setting constraints on the sources

CRs ejected by generic EG accelerators



Assumptions on a simple astrophysical model
(CRs considered **at the escape**)

Propagation through the intergalactic medium



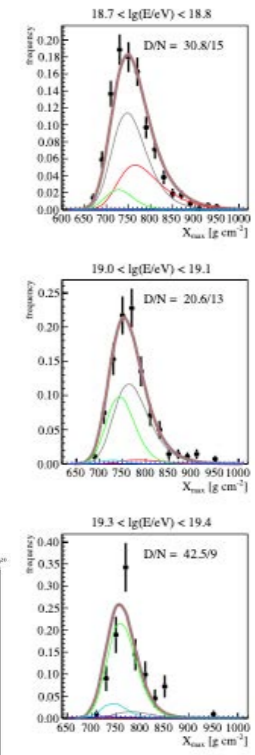
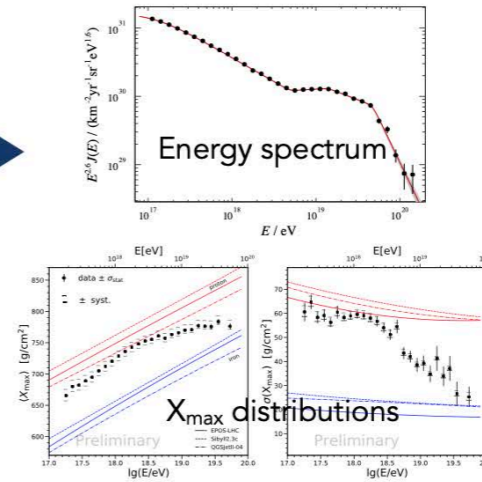
Choice of propagation models for uncertain quantities

Production of showers in the atmosphere



Choice of hadronic interaction models

Comparison with the data (detector effects are included)



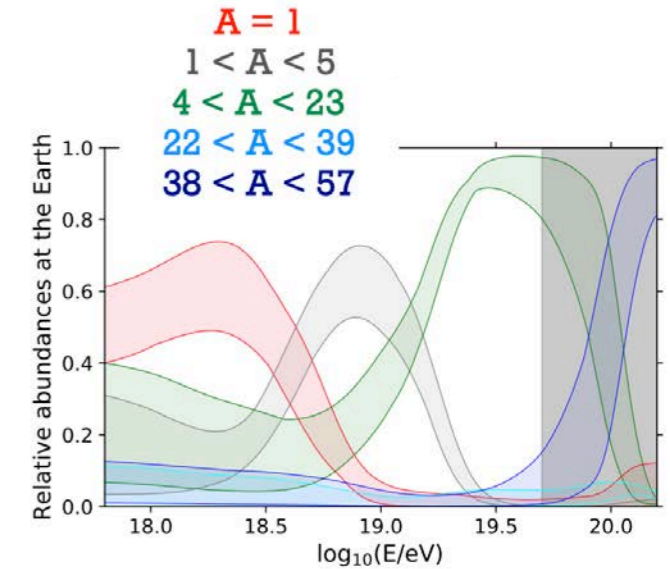
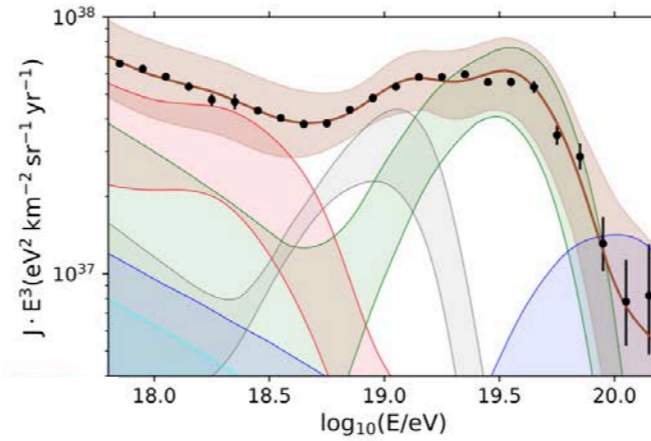
E. Guido, PoS(ICRC2021) 308

The energy spectrum and mass composition data for $E > 10^{17.8}$ eV can be interpreted by the superposition of different components

two extragalactic ones

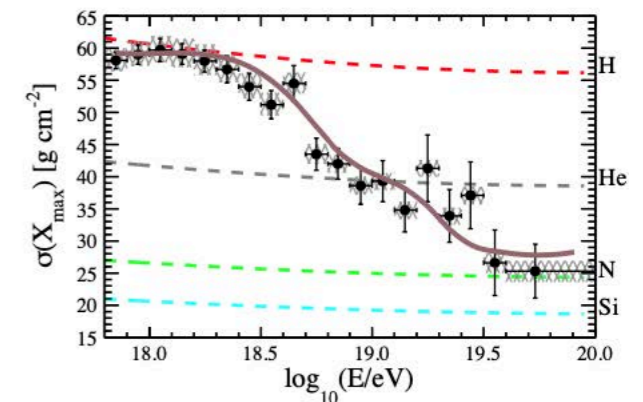
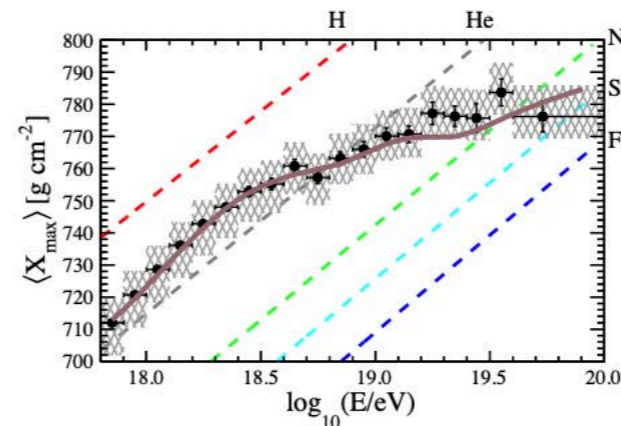
HE: hard spectrum, mixed composition
LE: soft spectrum, light composition

[+ one secondary Galactic component]

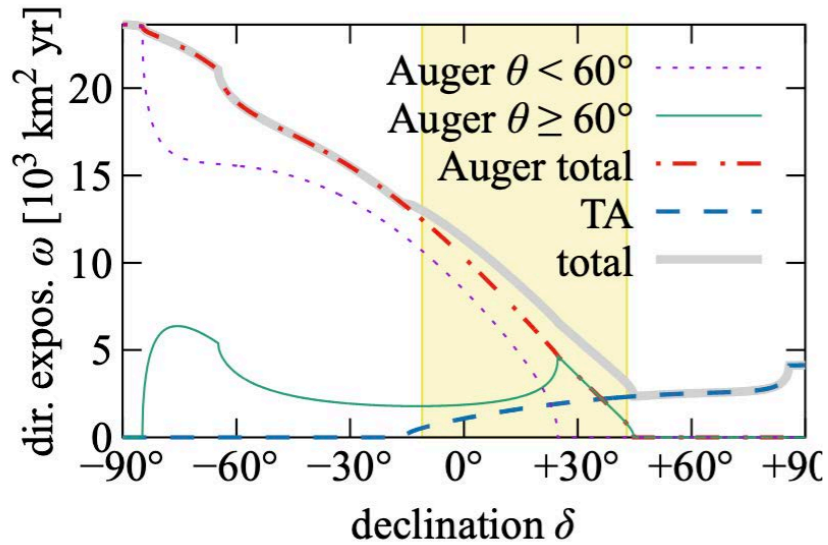


Next steps

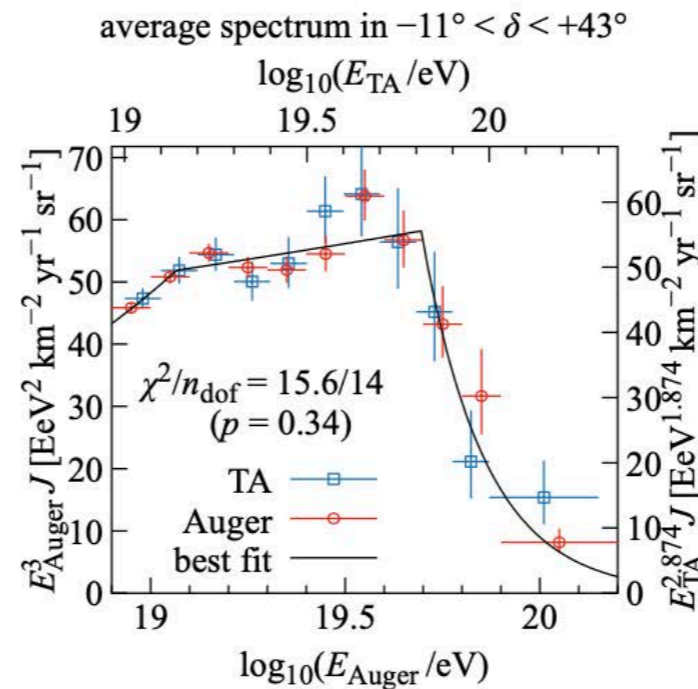
- *Editorial Board* : E. Guido coordinator
- more refined starting hypotheses
- extend down to 10^{17} eV → explore secondary Galactic contribution



Auger&TA: full sky search



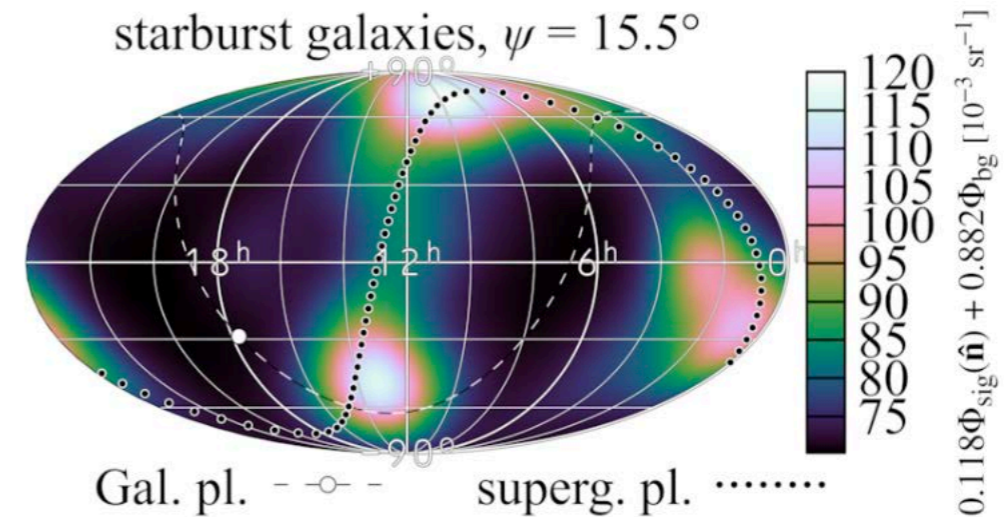
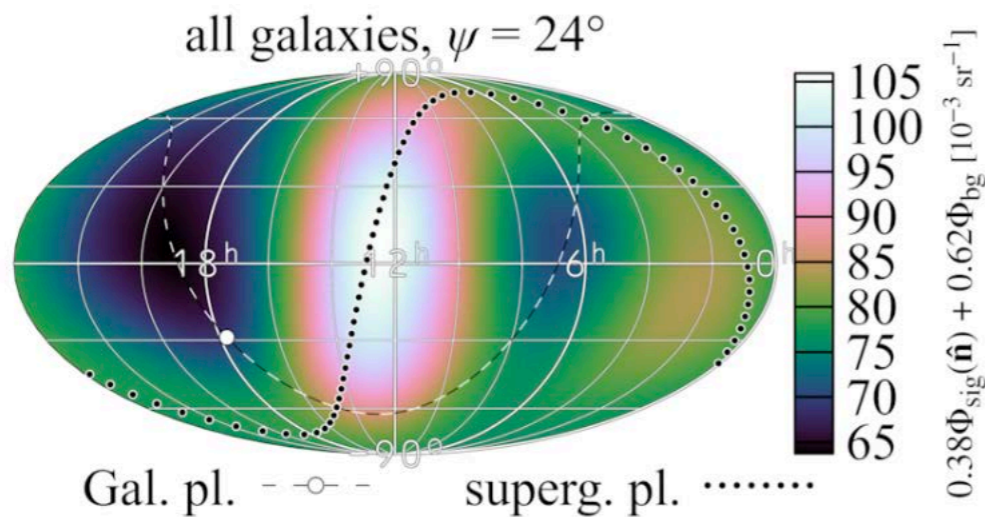
Auger ($\theta < 80^\circ$): 120,000 km² sr yr
 TA ($\theta < 55^\circ$): 14,000 km² sr yr



Energy scale conversion

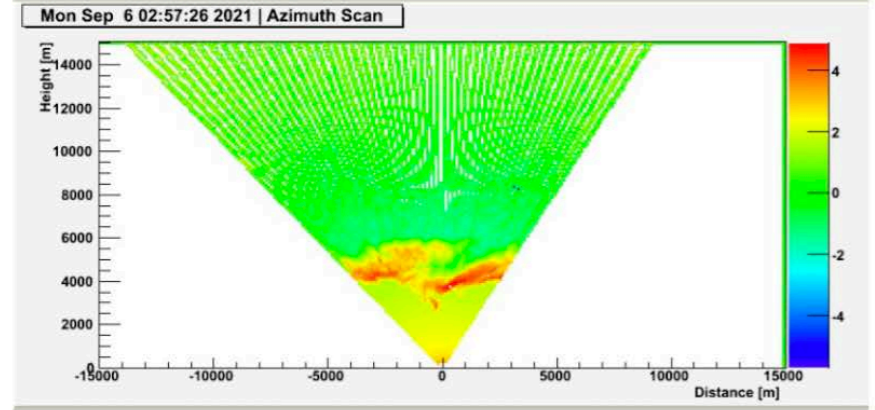
$$\frac{E_{\text{Auger}}}{10 \text{ EeV}} = 0.857 \left(\frac{E_{\text{TA}}}{10 \text{ EeV}} \right)^{0.937}$$

$$\frac{E_{\text{TA}}}{10 \text{ EeV}} = 1.179 \left(\frac{E_{\text{Auger}}}{10 \text{ EeV}} \right)^{1.067}$$

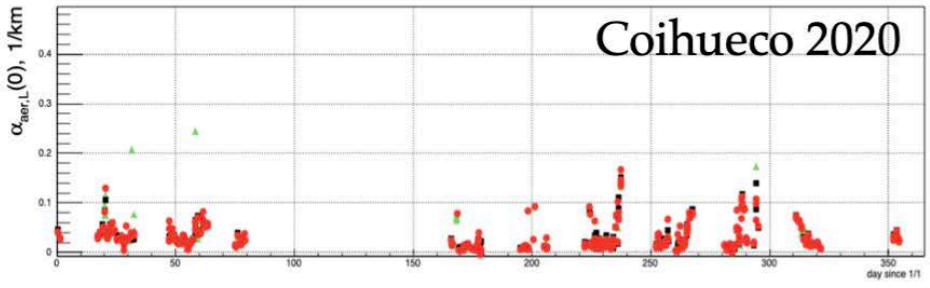


catalog	E_{min} (Auger)	E_{min} (TA)	ψ	equiv. top-hat radius	f	TS	Post-trial significance
all galaxies	41 EeV	53 EeV	$24^{+13}_{-8}^\circ$	$38^{+21}_{-13}^\circ$	$38\%^{+28\%}_{-14\%}$	16.2	2.9σ
starburst galaxies	38 EeV	49 EeV	$15.5^{+5.3}_{-3.2}^\circ$	$24.6^{+8.4}_{-5.1}^\circ$	$11.8\%^{+5.0\%}_{-3.1\%}$	27.2	4.2σ

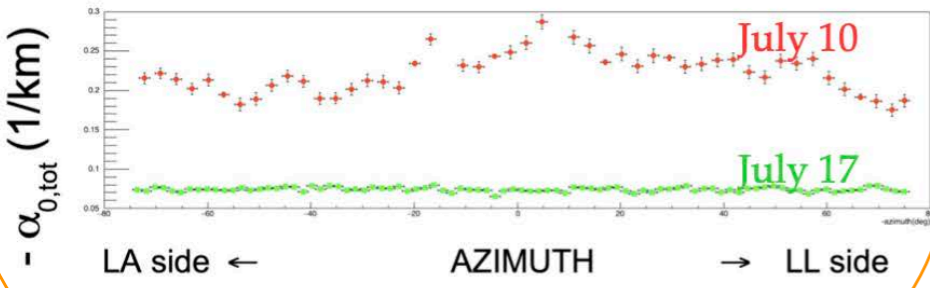
Copertura nuvolosa e altezza nuvole (con CITEDEF BsAs)



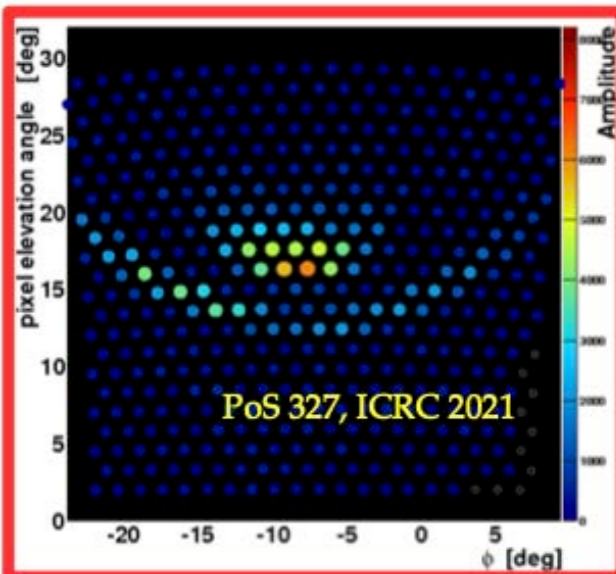
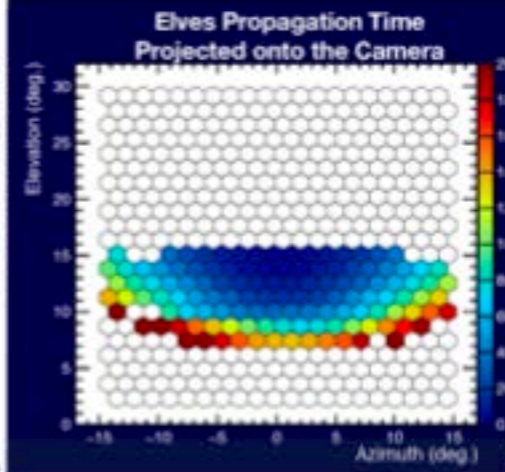
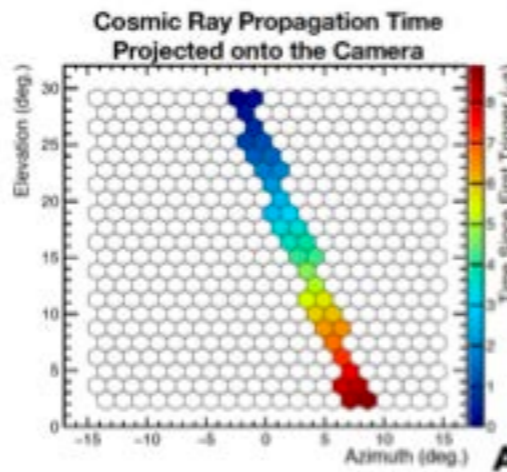
Omogeneità orizzontale



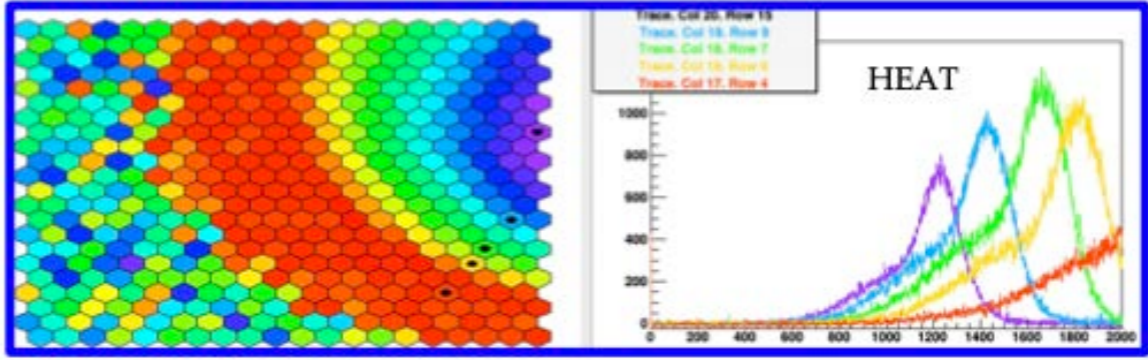
Caratterizzazione dettagliata aerosol a terra durante i passaggi del satellite AEOLUS (July 2021)



- correlazione ELVES-fulmini (ENTLN, WWLLN, GOES-16)
- **fenomenologia ELVES multipli** (precursori per TGF)



- Nuovo: ELVES da fulmini vicini, usando HEAT, dal 2020.



- Nuovo: correlazione dei flussi di raggi cosmici di bassa energia (SD scaler rates) con l'attività solare

Richieste finanziarie

Capitolo	Descrizione	Parziali		Total
		Richiesta	SJ	
MISSIONI	1. Installazione+test in situ SPMT di AugerPrime (1.5 MU turni tecnici)Å§	8.50		75.50
	2. Manutenzione dei 5000 LPMT dell'apparato di superficie (1.5 MU turni tecnici) Å§	8.50		
	3. Turni FD in situ (2)Å§	8.00		
	4. Manutenzione e allineamento Lidar in situÅ§	5.50		
	5. Mobilita' personale tecnico per test HVPS AugerPrime (facility in CT)Å§	1.00		
	6. Riunioni del co-spokesperson (Project Management & Finance Board)Å§	5.00		
	7. Meeting con referee (responsabile locale)Å§	1.00		
	8. Meeting di Auger-Italia (4 persone)Å§	4.00		
	9. Meeting europeo con il working group di fenomenologia (2 persone)Å§	4.00		
	10. Meeting generali della collaborazione a Malargüe (2 meeting, 4 persone/meeting)Å§	24.00		
	11. Partecipazione e talk a 2 conferenze internazionali (UHECR+1)Å§	4.00		
	12. Meeting machine Learning group (KIT, Karlsruhe)Å§	2.00		
CONSUMO	1. minuterie per assemblaggio SPMT AugerPrimeÅ§	4.00		13.00
	2. componenti e connettori mintenance LPMTÅ§	6.00		
	3. minuteria ottica (lenti, specchi, filtri neutri,2 posizionatori micrometrici, polarizzatori)Å§	2.00		
	4. minuteria elettronica per LidarÅ§	1.00		
TRASPORTI	1. trasporti sul sito per manutenzione SD LPMTÅ§	2.00		10.00
	2. trasporti sul sito per montaggio e test SPMT AugerPrimeÅ§	4.00		
	3. trasporti sul sito per manutenzione Lidar Å§	2.00		
	4. spedizione dei 6 LPMT HamamatsuÅ§	2.00		
INVENTARIO	1. 1 Alimentatore HV da laboratorio DT5533E CAENÅ§	3.00		15.00
	2. 1 Transient recorder channel LICEL TR40-12 bit Å§	9.00		
	3. 1 PMT Hamamatsu R7400-03, base + HV module LICELÅ§	3.00		
APPARATI	1. 6 PMT R5912 HamamtsuÅ§	9.50		14.00
	2. Poduzione di 10 basi partitoreÅ§	2.00		
	3. 10 Cavi con ConnettoriÅ§	1.00		
	4. 10 moduli HV Caen A7501PÅ§	1.50		

Maintenance SD

Obiettivo : sostituzione di 100 PMT+base / anno

- ➔ 2 shift di 2 esperti ciascuno ~ 1.5 M.U. (ottenuti come servizi tecnici della Sezione)
- ➔ Materiale per riparazioni basi LPMT: componenti, connettori, ecc.
- ➔ Trasporti sul sito per maintenance + spese dogana

8.5k€ MI
6.0 k€ CO
2.0 k€ TR

Necessità di trovare un replacement per i LPMT (XP1805), ora acquistati in Cina. La fabbrica ha intenzione di chiudere la produzione

- ➔ Studio dell'utilizzo di PMT Hamamatsu R5912 (replacement di XP1805):
 - ✓ 6 fotomoltiplicatori R5912
 - ✓ 10 set cavi+basi
 - ✓ 10 HVPS
 - ✓ alimentatore HV da laboratorio
 - ✓ spedizione

3.0 k€ INV
13.5k€ APP
2.0 k€ TR

Servizi tecnici assegnati dalla Sezione

Continuazione della attività di maintenance dei fotomoltiplicatori del rivelatore di superficie di cui abbiamo la responsabilità. Preparazione delle apparecchiature necessarie in Sezione e missioni in loco. Due missioni di 3 settimane ciascuna.

FD shifts + maintenance Lidar

- ➔ shift assegnati al gruppo
- ➔ maintenance e allineamento Lidar
- ➔ Materiale di minuteria ottica ed elettronica
- ➔ Transient recorder channel
- ➔ Fototubo Hamamatsu R7400
- ➔ Trasporti sul sito per il Lidar

13.5k€ MI
3.0 k€ CO
2.0k€ TR
12.0 k€ INV

AugerPrime - estensione range dinamico

- ➔ installazione e test degli SPMT (sinergia con installazione UUB)
2 shifts di 2 esperti ciascuno ~ 1.5 M.U.
- ➔ Minuterie necessarie all'installazione
- ➔ Spese doganali

8.5k€ MI
4.0 k€ CO
4.0 k€ TR

Servizi tecnici assegnati dalla Sezione

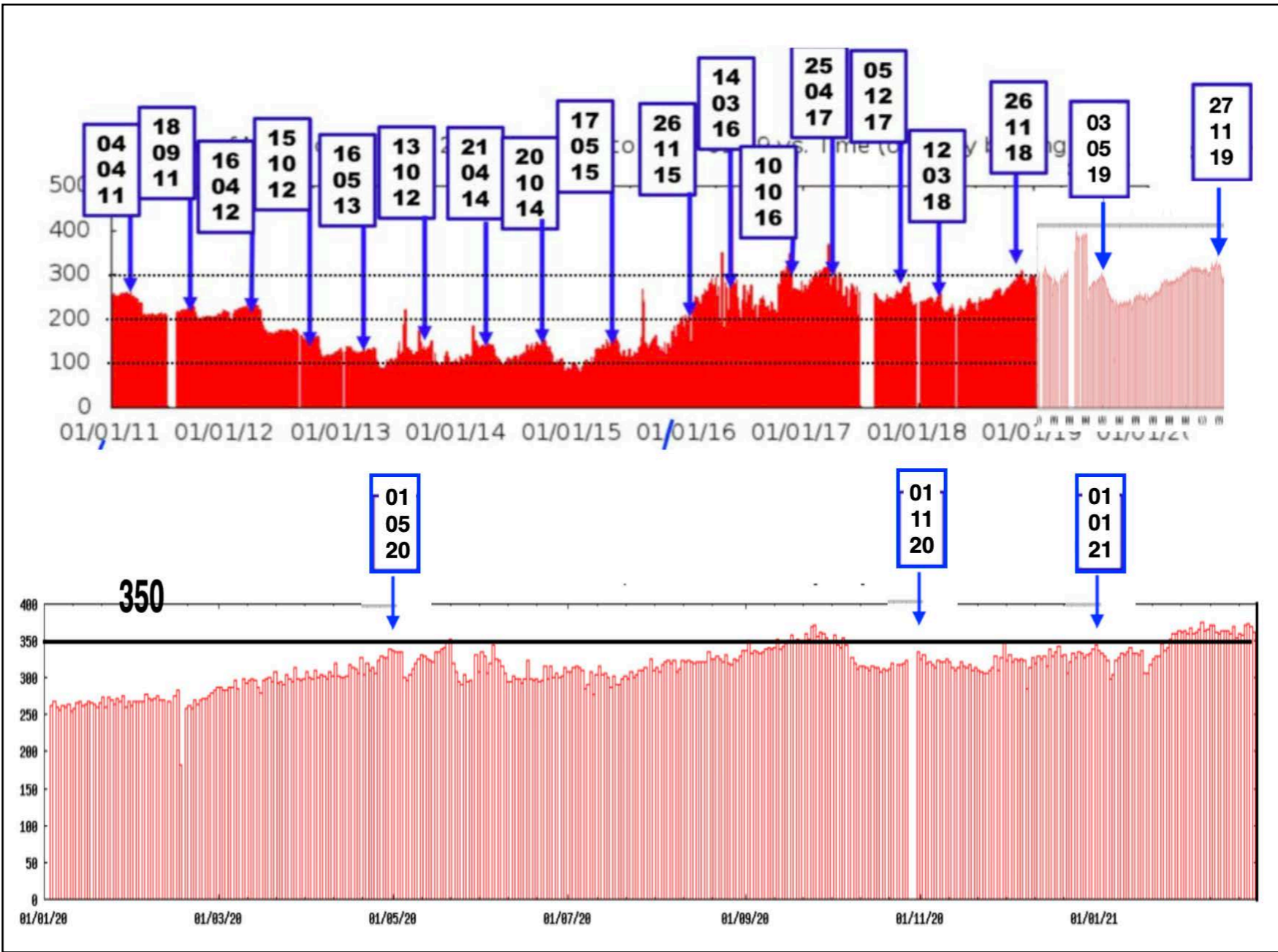
Missioni al sito sperimentale per l'installazione sulle stazioni Cherenkov dei moduli sviluppati a Torino per l'estensione del range dinamico nell'upgrade Auger Prime. Due missioni di 3 settimane ciascuna.

Missioni

- ➔ Meeting generali di collaborazione 24k€
- ➔ 2 conferenze internazionali (invito + giovani) 4k€
- ➔ Meeting di management (co-spokesperson) 6k€
- ➔ riunioni di lavoro in presenza 10k€

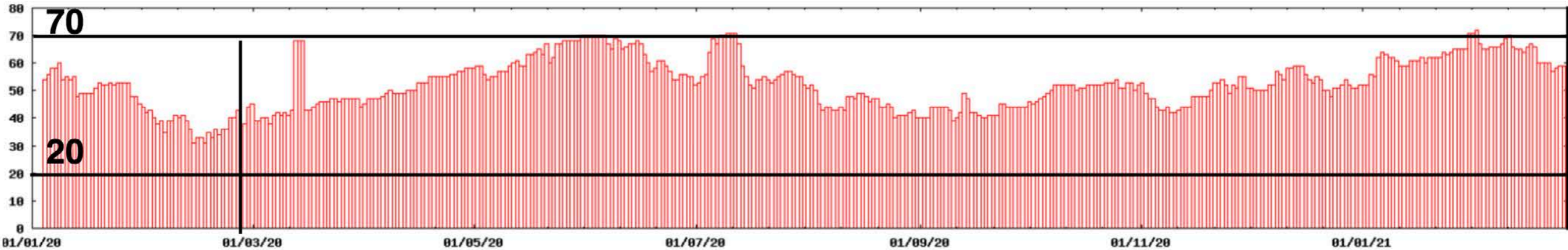
Backup

Masked PMTs



Lockdown period

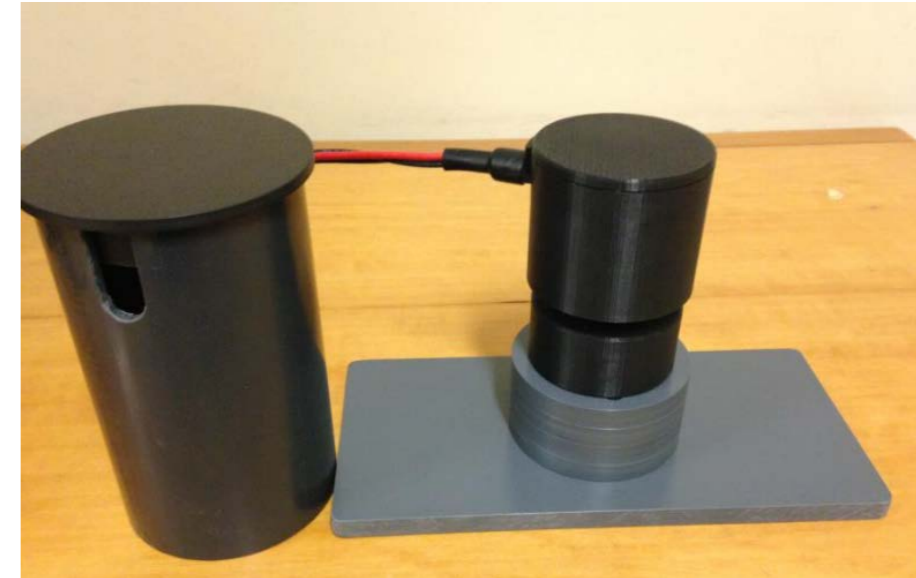
Black Tanks



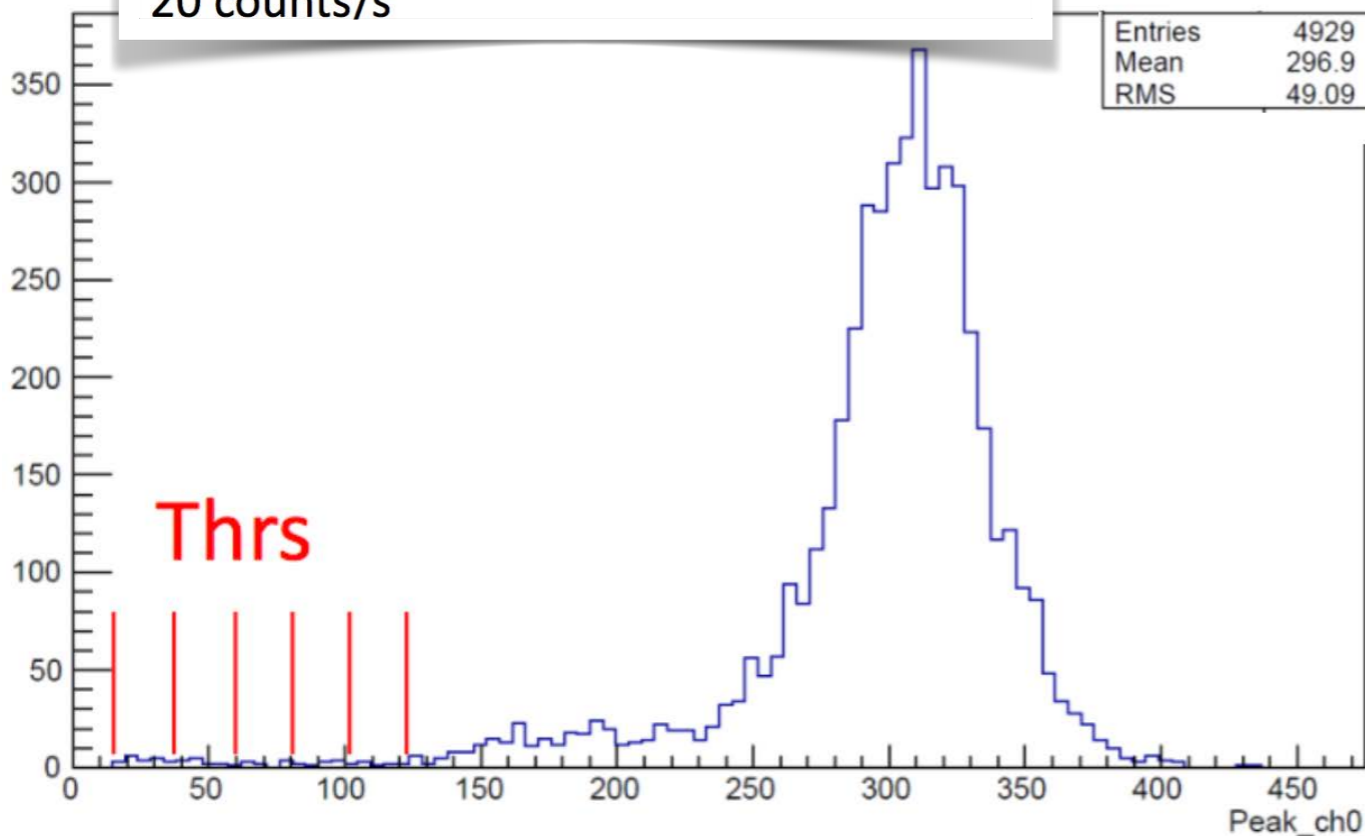
sPMT - final test at SDeCo

Control system to validate SPMTs before deployment is ready

- fast and simple checks by oscilloscope at the required SPMT gain: $\langle P \rangle$ and $\langle Q \rangle$ averaged over 512 pulses
- result largely independent of acquisition threshold: robust technique to monitor the gain at % accuracy in few mins



YAP:Ce(Am) Light Pulse Source by Scionix
20 counts/s



THRs [mV]	$\langle \text{Peak} \rangle_{512}$ [mV]	$\langle Q \rangle_{512}$ [nV/s]
20	284	10.6
40	291	10.9
60	292	10.9
80	294	10.9
100	293	11.0
120	293	11.0
140	295	11.0

Expenditures incurred for AugerPrime and comparison with the estimates presented to the CTS

	2016	2017	2018	2019	2020	2016-2020	CTS	Diff
SSD production	22	164	57	107		350	348	2
sPMT	24,5	101	51,5	188	58	423	279	144
PMT-SSD	14,5	55,5	44,5	30		144,5	190	-45,5
HV-CAEN	22	122	0	80	38	262	345	-83
FADC	0	75	75	150		300	265	35
Trasporti		59	30	71		160	170	-10
Totali	83	576,5	258	626	96	1639,5	1597	42,5

**Consuntivo
AugerPrime**

credits to
D.Martello

12

NOTA PER SPMT+HVPS

La Tabella si riferisce ai costi per le unita' previste al CTS (800 sPMT+1700 HVPS) e a quelli per la quantità prevista nel Piano B (1250)

- costo sPMT 279k, cioè 0.35k€/unit. Da 800 unita' a 1250 del piano B, differenza **+144** (i 250 per arrivare ai 1500 vengono da fondi di LE inizialmente destinati all'elettronica - storno autorizzato a settembre 2020)
- costo HVPS 345k cioè 0.2 k€/unit; accordo CAEN: 175€/unit, $0.175 \cdot 1700 = 297,5k€$
da 1700 siamo passati a 1500: 262,5 differenza **-83**

Storia dei finanziamenti per sPMT

CTS:

- erano previsti per il contributo Italiano: 400 SSD (no fibre) + 800 SPMT + 1700 HVPS
- costo sPMT 279k, cioè 0.35k€/unit, costo HVPS 345k cioè 0.2 k€/unit = 279+345 = **624k**

2018 Piano B: 75% dell'upgrade coperto **1250 SSD + sPMT&HVPS, 1600 UUB (850k€ per SPMT) - costi invariati ma cambio migliore**

- solo 225 SSD invece di 400, ma fibre in piu' per i 225 moduli, prima non previste. Totale invariato, avanzano 15 k€ che vengono assegnati a sPMT (erano 10 ma per effetto cambio li porta a 15)
- sui 1250 SPMT previsti, dovevano essere 800 coperti da INFN e 450 coperti da BR/Campinas. A seguito dell'indisponibilità BR in tempo utile, abbiamo preso in carico l'intera produzione dei 1250
- sPMT 1250 invece di 800, HVPS 1250 invece di 1700:
 - erano $800 \cdot 0.35 = 280k$, $1700 \cdot 0.2 = 340k$ → tot 620 k
 - pianoB : $1250 \cdot 0.35 = 437.5k$ che diventano 400 per effetto del cambio favorevole, $1250 \cdot 0.2 = 250k$ → tot 650k di cui 15 coperti di risparmio sugli SSD : a pagare restano **635k**
 - → **TOT CTS 624k€, tot da coprire 635k€** quindi totale circa invariato

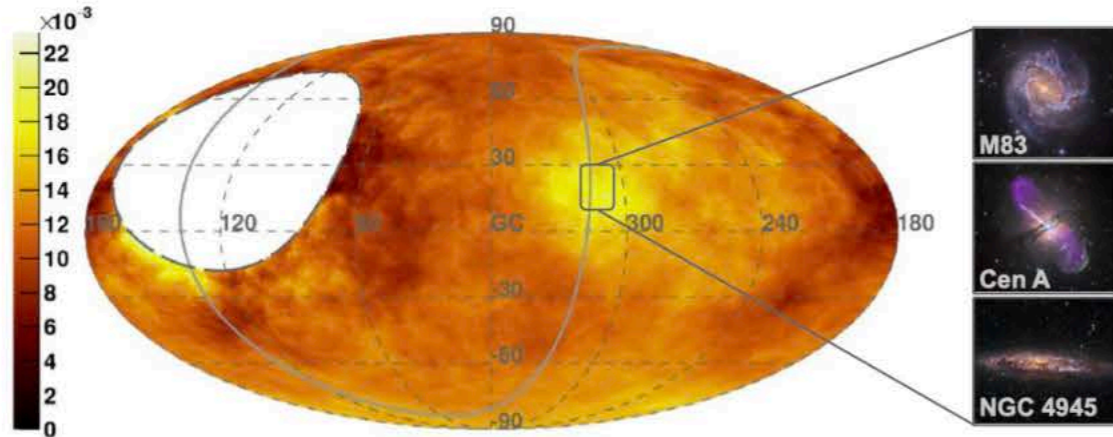
2019 Piano B++: 95% dell'upgrade coperto **1550 SSD + sPMT&HVPS, 1600 UUB (850k€ per SPMT) - costi ridotti perché ridotte /azzerate le contingenze.**

- 225 SSD+15, no costi aggiuntivi (parti mancanti inviate da altre sedi).
- servono 300 sPMT+HVPS = 105k+60k
- (2020) parte dei 150k per l'elettronica (LE) viene coperta da altri paesi membri, si assegna il rimanente alla copertura delle spese per ulteriori 200 sPMT+ 200 HVPS +300 (meccaniche+cavi+assemblaggio)
- (2020) i restanti 100 SPMT + 100 HVPS vengono comprati dal KIT (Germania)
- (2021) finanziate da INFN ulteriori 50 HVPS spare

(*) cifre arrotondate. Il sistema sPMT costa 238,28€/unit (149,5 il solo PMT, ma il costo è fissato in JYP: 17940 JYP/unit), le HVPS costano 175€/unit

The UHECR Sky

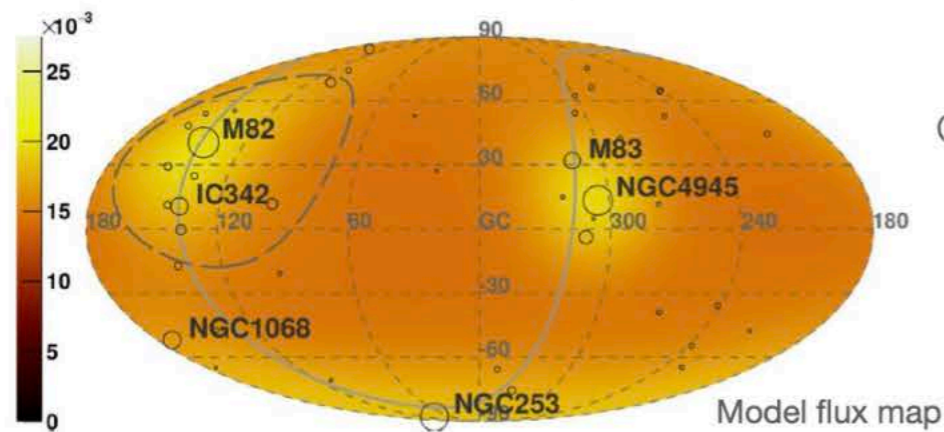
$\Phi(E_{\text{Auger}} > 41 \text{ EeV}) [\text{km}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{yr}^{-1}]$ - Galactic coordinates - $\Psi = 24^\circ$



Direction fixed to that of Cen A, free E_{th} and Ψ

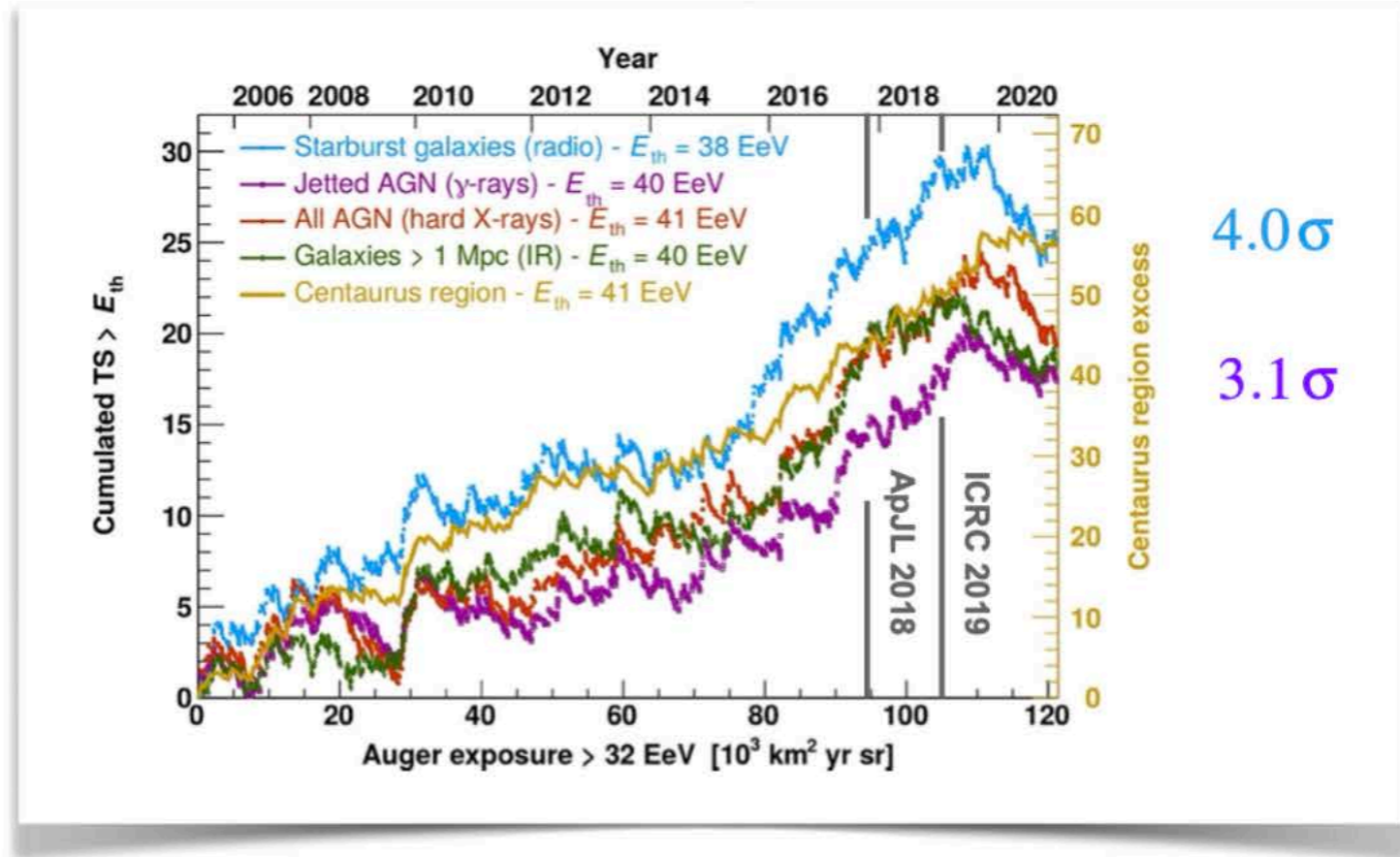
$E_{\text{th}} > 41 \text{ EeV}$, $\Psi = 27^\circ$: **3.9 σ post-trial** deviation from isotropy (5% excess)

Starburst galaxies (radio) - expected $\Phi(E_{\text{Auger}} > 38 \text{ EeV}) [\text{km}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{yr}^{-1}]$



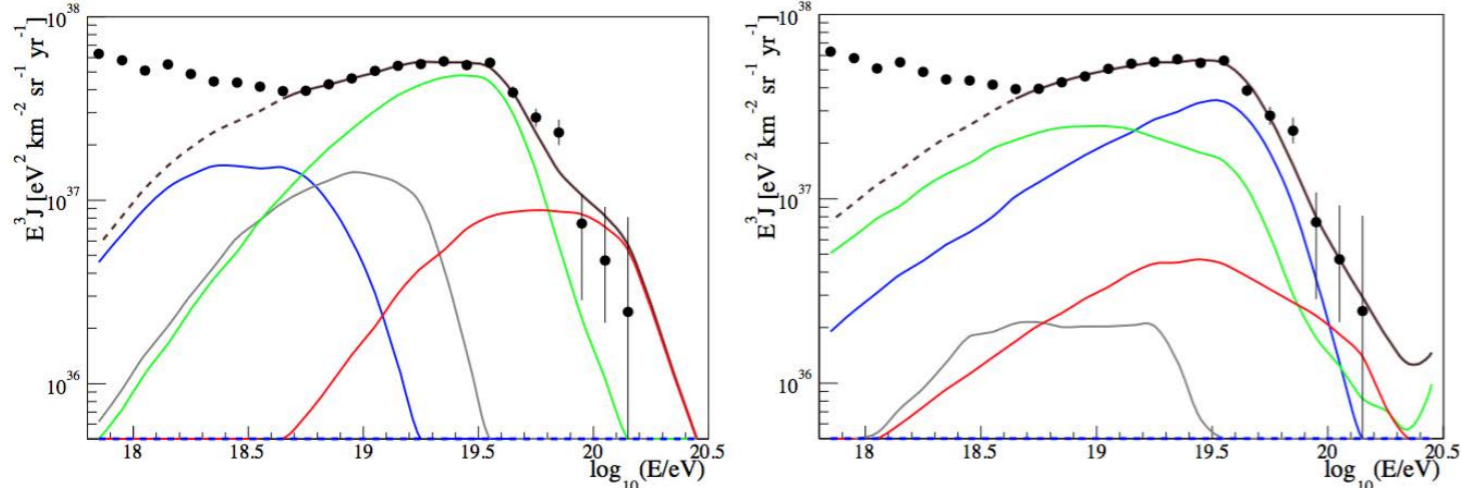
(Jonathan F)

Catalog	E_{th} [EeV]	Ψ [deg]	α [%]	TS	Post-trial p -value
All galaxies (IR)	40	24^{+16}_{-8}	15^{+10}_{-6}	18.2	6.7×10^{-4}
Starbursts (radio)	38	25^{+11}_{-7}	9^{+6}_{-4}	24.8	3.1×10^{-5}
All AGNs (X-rays)	41	27^{+14}_{-9}	8^{+5}_{-4}	19.3	4.0×10^{-4}
Jetted AGNs (γ -rays)	40	23^{+9}_{-8}	6^{+4}_{-3}	17.3	1.0×10^{-3}



All catalogs: most significant signal at $E > 38-41 \text{ EeV}$ on top-hat scale $23-27^\circ$ with signal fraction 6-15%
 Significance compatible with linear growth within expected variance
 Observation (discovery) level ($\geq 5\sigma$) expected within few years

Discrimination of astrophysical scenarios with AugerPrime

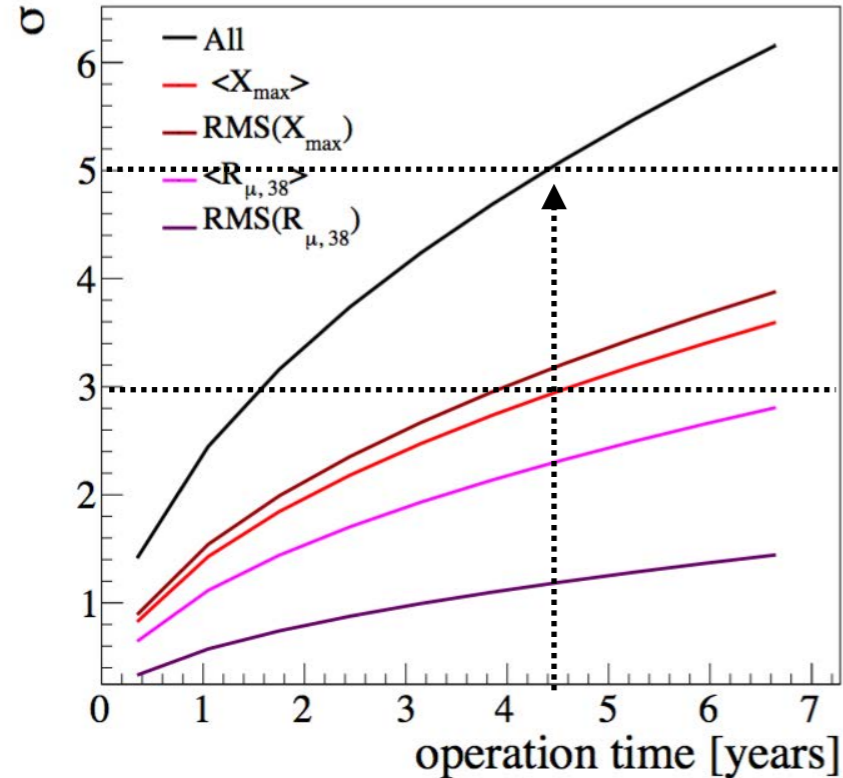


Considering two different benchmark scenarios

- 1- maximum rigidity model
- 2- photodisintegration model

we can

For a given scenario (here n.1), foresee the possibility to tag a fraction as small as 10% of protons at the highest energies with significance σ



evaluate the discrimination power for the two scenarios with the measure of X_{max} , or of muons

