

Preventivi 2024

CSN2



Matteo
Cadeddu

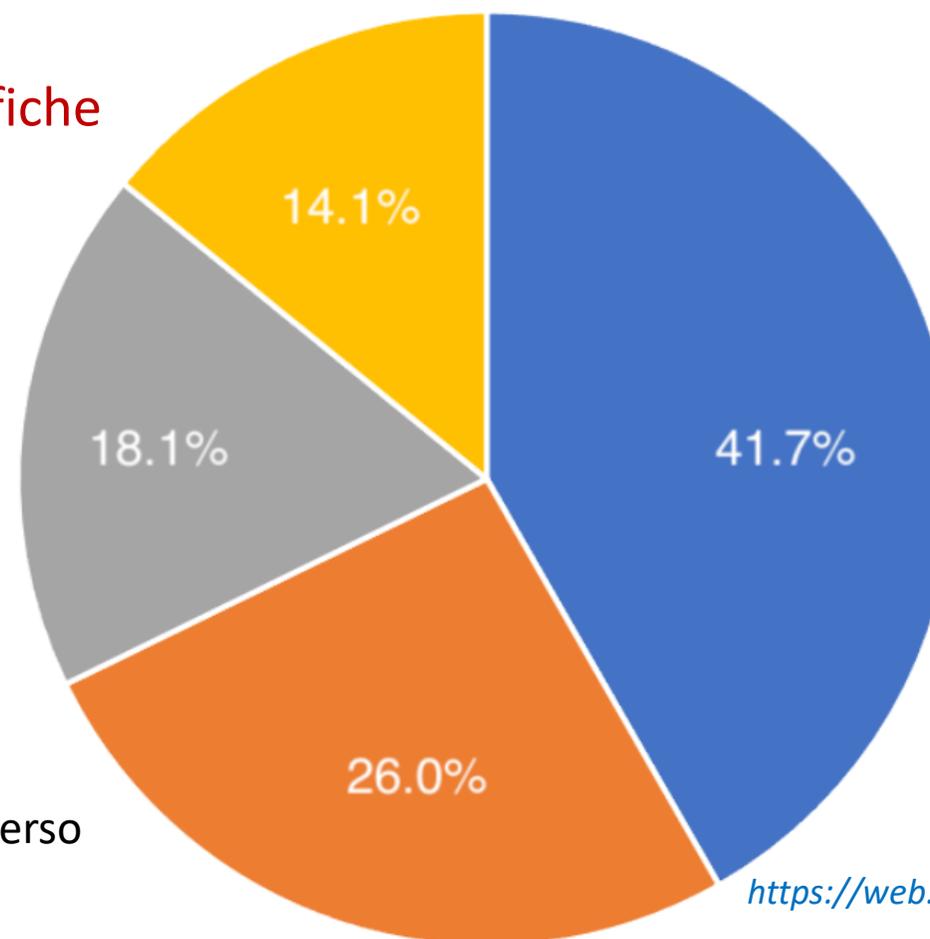


Linee scientifiche CSN2

Le ricerche e gli esperimenti di competenza della CSN2 riguardano la **fisica astroparticellare e dei neutrini** e si possono suddividere nelle seguenti **linee**: lo studio delle proprietà del neutrino, lo studio della radiazione cosmica, lo studio dell'universo oscuro, la ricerca di onde gravitazionali e in fisica generale e quantistica.

Bilancio 2022 per le diverse linee scientifiche

- Fisica del Neutrino
- Radiazione dall'Universo
- Universo Oscuro
- Onde Gravitazionali, fisica generale e quantistica



Tre delle quali presenti a Cagliari: Fisica del neutrino, Universo Oscuro e Onde Gravitazionali (linea più recente)



CSN2
Fisica delle
Astroparticelle

<https://web.infn.it/csn2/index.php/it/>

Sigle attive dal 2023

| Progetto ↑↓ ▾ | CSN ↑↓ ▾ | Resp.Locale | Prog. Naz. ↑☰ | Sigla Loc. ↑↓ |
|---------------|------------------|----------------------------|---------------|---------------------|
| VIRGO | 2 | D'Urso Domenico | Attivo | Sigla Locale Attiva |
| ET_ITALIA | 2 | Contu Andrea | Attivo | Sigla Locale Attiva |
| DARKSIDE | 2 | Bonivento Walter | Attivo | Sigla Locale Attiva |
| PNRR_ETIC | f.e. - UE - csn2 | Masoni Alberto, Musu Paola | Attivo | Sigla Locale Attiva |

| Cognome | Nome | Esperimenti |
|---------------|---------------|--|
| Arba | Mauro | 30% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnico) |
| Atzori Corona | Mattia | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Barrale | Daniele | 100% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Bernardini | Alessandra | 50% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Tecnologo) |
| Bonivento | Walter | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| | | 20% - (CA:CSN2) DOTAZIONI2 (Ricercatore) |
| Bortignon | Pierluigi | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Brundu | Davide | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| | | 90% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Cadeddu | Matteo | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| | | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Cadoni | Mariano | 20% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Caravati | Mauro | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Carbonaro | Carlo Maria | 30% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Tecnologo) |
| Cardini | Alessandro | 20% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Cargioli | Nicola | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Castello | Paolo | 50% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |
| Cicalo' | Corrado | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Cocco | Valentina | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |
| | | 10% - (CA:CSN2) DOTAZIONI2 (Ricercatore) |
| Contu | Andrea | 20% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| De Falco | Alessandro | 10% - (CA:CSN2) DOTAZIONI2 (Ricercatore) |
| Dettori | Francesco | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Dongiovanni | Danilo Nicola | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| | | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Dordei | Francesca | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Fanti | Viviana | 50% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Tecnologo) |
| Gabriele | Federico | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |
| Gahan | Devidutta | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Goddi | Ciriaco | 50% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| La Delfa | Luigi | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnico) |
| Lai | Michela | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |

Anagrafica al 2023

Totale di 54 persone

| Sez. & Suf. | FTE | | | |
|-------------|------|-----|------|------|
| | Ric | Tec | Tecn | TOT |
| CA | 15.1 | 8.5 | 0.7 | 23.6 |

| | | |
|------------|---------------|---|
| Lissia | Marcello | 60% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Manca | Giulia | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Marras | Davide | 10% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnico) |
| Mascia | Michele | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |
| Masoni | Alberto | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Mazzarella | Giuseppe | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Tecnologo) |
| Migoni | Carlo | 60% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Tecnologo) |
| Mura | Daniele | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Tecnologo) |
| Muscas | Carlo | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Oi | Mauro | 20% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Olla | Piero | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Palmas | Simonetta | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |
| Pegoraro | Paolo Attilio | 50% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |
| Picciau | Emmanuele | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Pinna | Tonio | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Puggioni | Carlo | 10% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Tecnologo) |
| Quochi | Francesco | 30% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Razeti | Marco | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |
| Sanna | Andrea P. | 20% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Ricercatore) |
| Santucci | Alessia | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Stefanizzi | Riccardo | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Steri | Arianna | 100% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |
| Sulis | Sara | 50% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |
| Tosti | Silvano | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Ricercatore) |
| Tuveri | Marcellino | 30% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnico) |
| Tuveri | Matteo | 20% - (CA:CSN2) ET_ITALIA (Tecnologo) |
| Vacca | Annalisa | 20% - (CA:CSN2) DARKSIDE (Tecnologo) |

Nuovo regolamento CSN2

Linee Guida per gli impegni del personale di ricerca negli esperimenti di CSN2



<https://web.infn.it/csn2/images/Files/Regolamenti/INFN-CSN2-QA-103-30.pdf>

- Si richiede che un ricercatore o tecnologo si impegni in ogni progetto (sigla) di CSN2 con una **percentuale minima del 20%, quantizzata al 10%** (20, 30, 40, ...), fino ad un **massimo di 2 sigle di CSN2**.
- I responsabili nazionali degli esperimenti devono indicare percentuali di impegno **maggiore/uguale del 50%** e non possono ricoprire questo ruolo per più di un esperimento.
- Tenendo conto che i giovani coinvolti in un percorso dottorale o post-laurea sono in una fase di formazione e specializzazione, i dottorandi e borsisti post-laurea che intendono dedicarsi ad attività di CSN2 si possono impegnare complessivamente al **massimo in 2 sigle**.
- Nella riunione di maggio, il gruppo di lavoro in carica comunica alla CSN2 la situazione anagrafica in termini di FTE dei diversi esperimenti, **segnalando eventuali anomalie**, che verranno comunicate dal gruppo di lavoro stesso successivamente ai responsabili nazionali degli esperimenti. Sarà cura dei responsabili nazionali intervenire e sanare le anomalie prima della chiusura dei preventivi di luglio.

Nuove sigle

5.6 Apertura sigla e finanziamento sotto dotazioni

- Per poter aprire una sigla in CSN2 è sufficiente l'apertura della sigla in una singola sezione. **Le sigle locali sono aperte se raccolgono un impegno complessivo di almeno 1.5 FTE.** Il caso contrario è da considerare solo in fase di start up di una nuova sigla in una sezione: in questo caso il finanziamento dell'attività è possibile sotto i fondi di dotazione per un periodo di massimo 3 anni.
- E' stata aperta una nuova sigla locale VIRGO CA (vedi presentazione di Domenico D'urso)
- Inoltre VIRGO e ET sono di fatto sinergiche (-> vedi deroga regola del 10%)

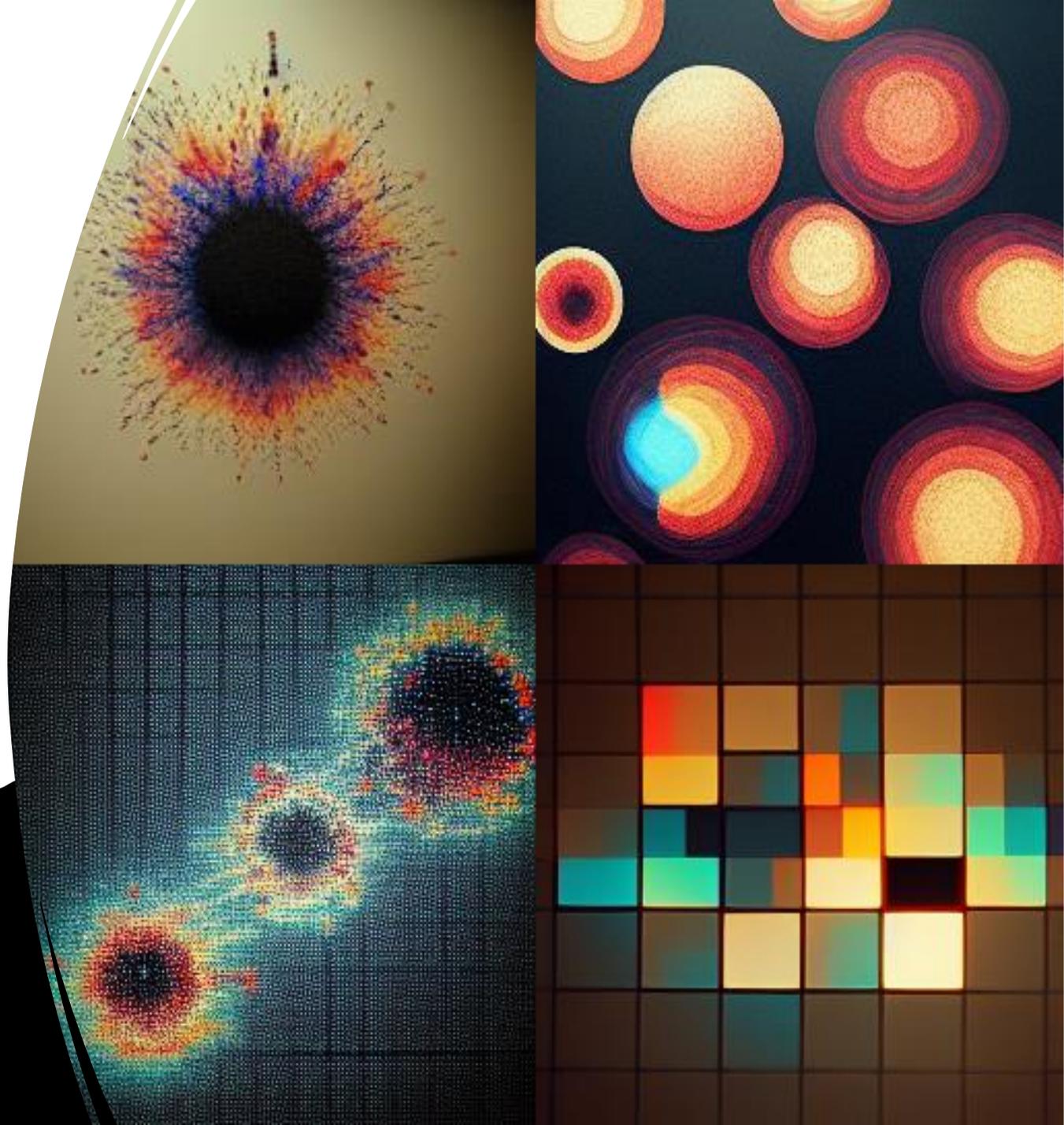
7.2 Quota minima per progetto

Il numero di FTE medi di una sigla su scala nazionale, calcolato con le percentuali di impegno di ricercatori e tecnologi, **deve essere $\geq 40\%$.**

- Riunione della CSN2 il 10-11 luglio a Trento

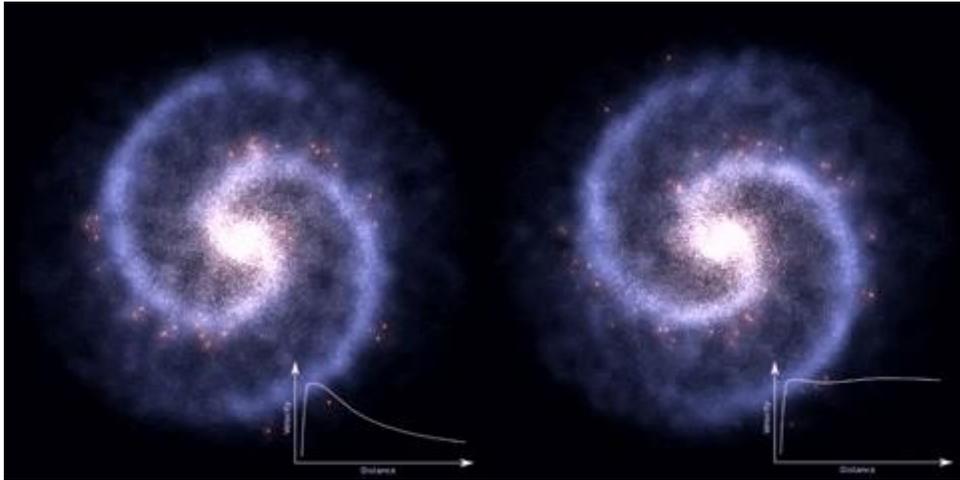
DarkSide

ARIA 

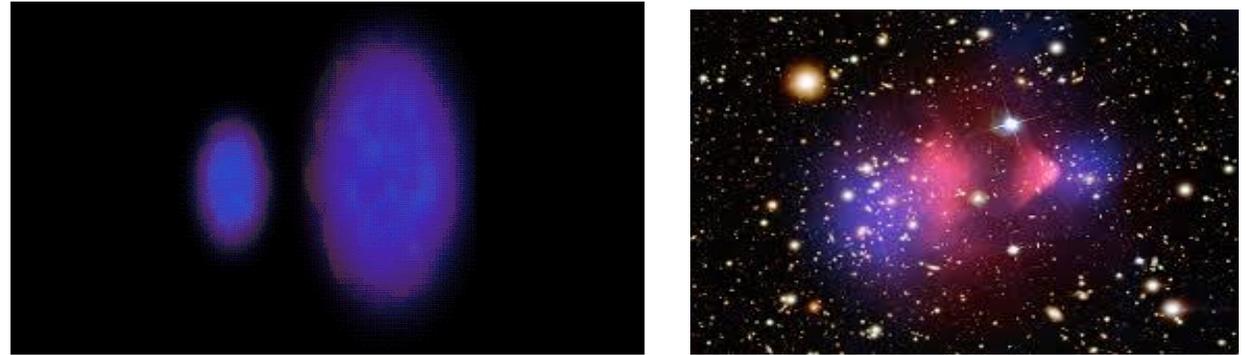


Il problema della materia oscura

Velocità di rotazione delle galassie

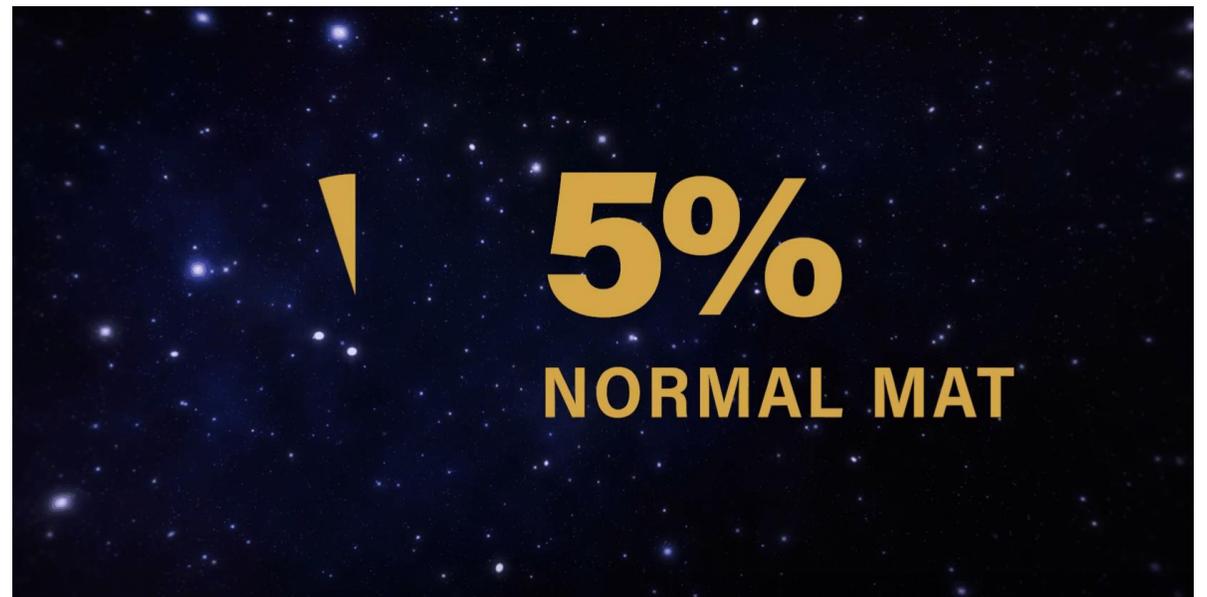
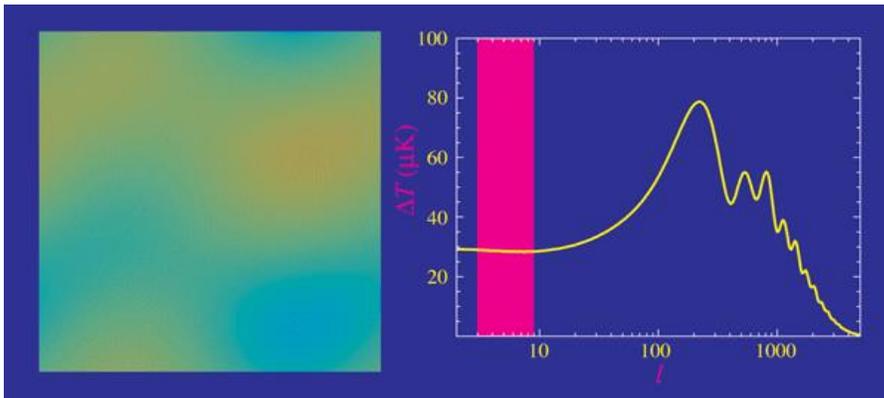


Bullet cluster e lensing gravitazionale



Modello Λ CDM ?

Radiazione cosmica di fondo (CMB)



I candidati di materia oscura



Weakly Interacting Massive Particles

Il programma di DarkSide

2012



DarkSide-10

Technical prototype
No dark matter goal

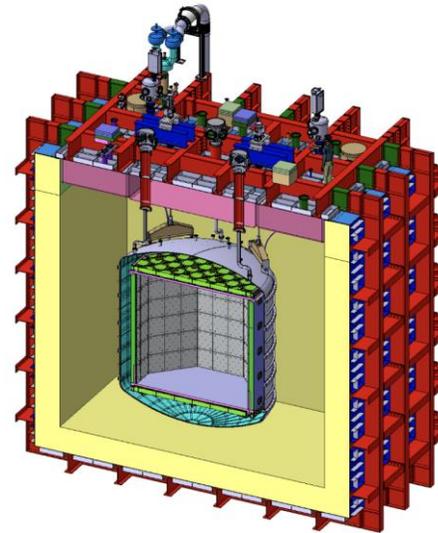
2013-2021



DarkSide-50

Science detector. First
bkg-free results with
UAr. Best limits for low
mass WIMP search.

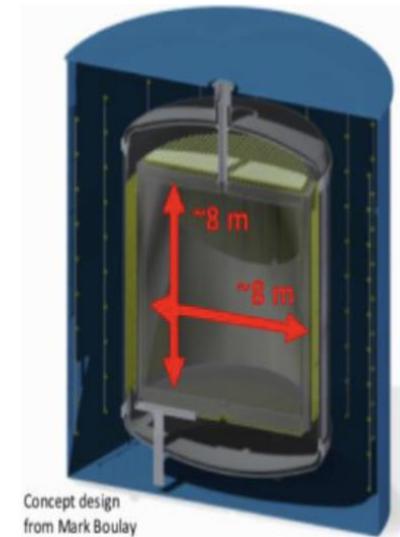
2026-2036



DarkSide-20k @LNGS

Novel photosensor technology.
First peek into the neutrino
fog. Nominal exposure: 200 t y

2030-...



Argo @SNOLAB

Ultimate LAr DM
detector. Push well into
the neutrino fog. Nominal
exposure: 3000 t y

DarkSide-20k: la costruzione è finalmente iniziata

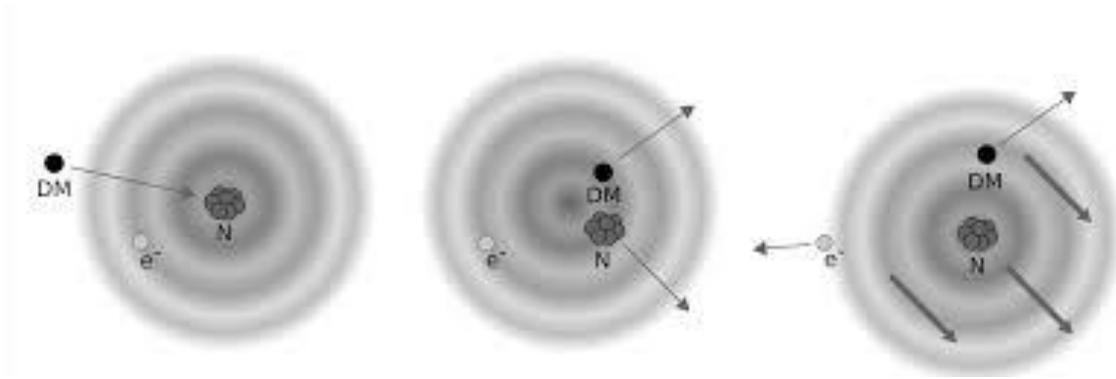


THE DARKSIDE-20K ARGON PATH



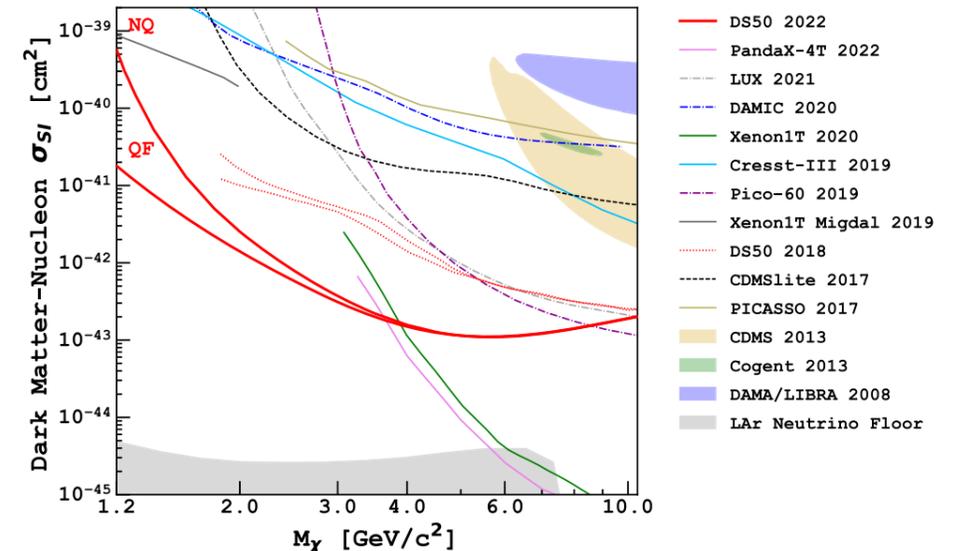
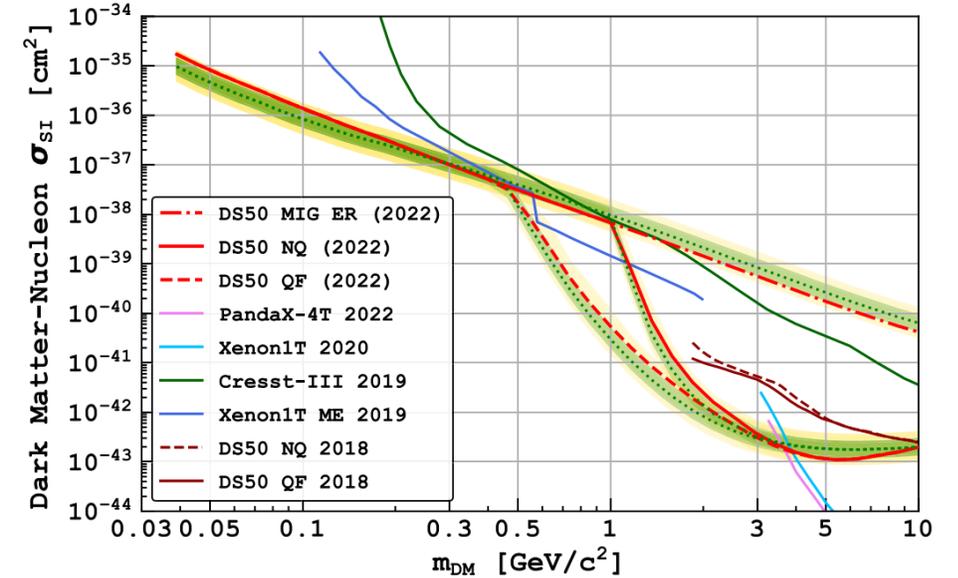
Risultati nuovi con “vecchi” rivelatori nel 2023

- Search for Dark-Matter–Nucleon Interactions via Migdal Effect with DarkSide-50, Phys. Rev. Lett. **130** (2023) 10, 101001



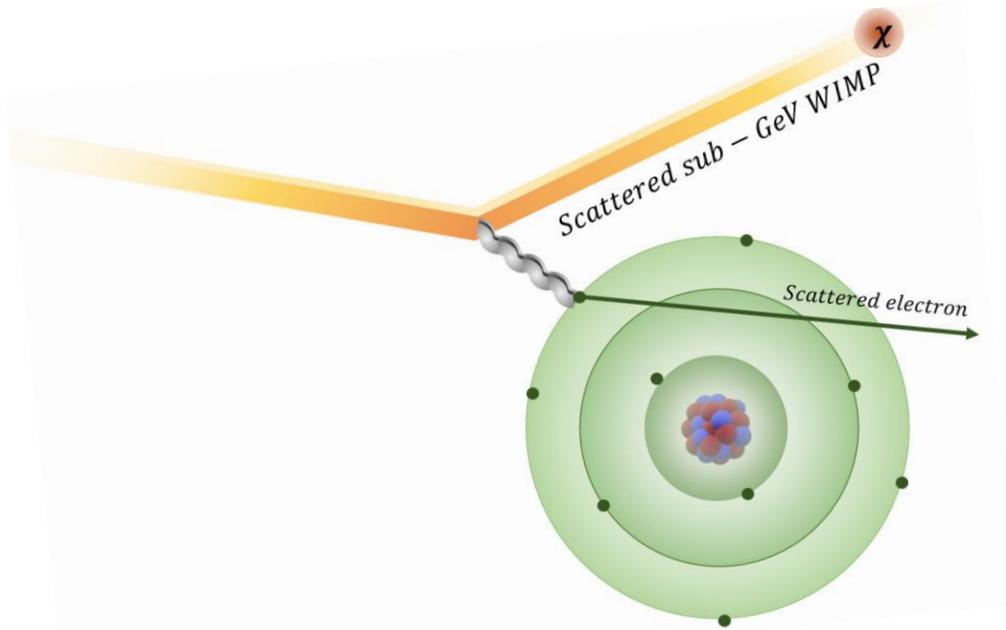
- Search for low-mass dark matter WIMPs with 12 ton-day exposure of DarkSide-50, Phys. Rev. D **107** (2023) 6, 063001

Migliorie nel modello di fondo, nelle selezioni e calibrazione.
Miglior limite mondiale a basse masse delle WIMP.



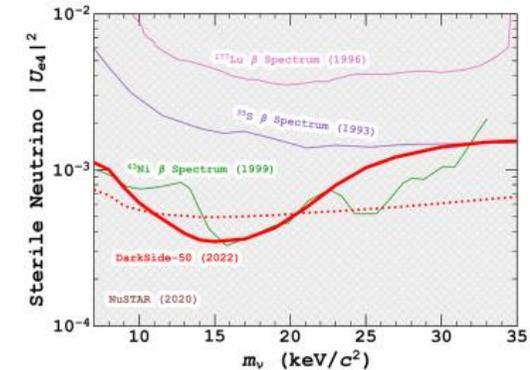
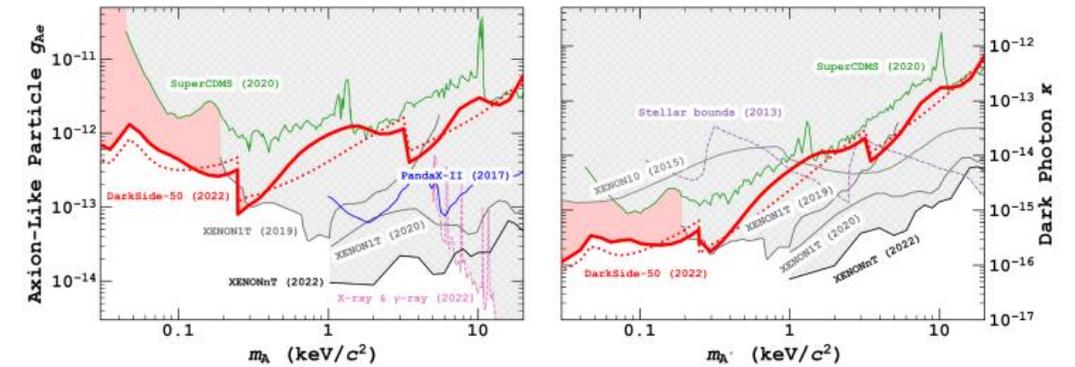
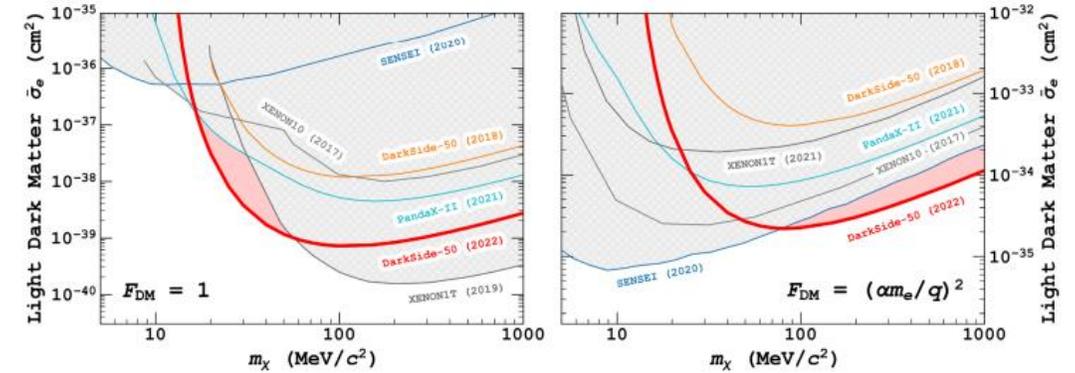
Risultati nuovi con “vecchi” rivelatori nel 2023

- Search for Dark Matter Particle Interactions with Electron Final States with DarkSide-50, Phys. Rev. Lett. **130** (2023) 10, 101002

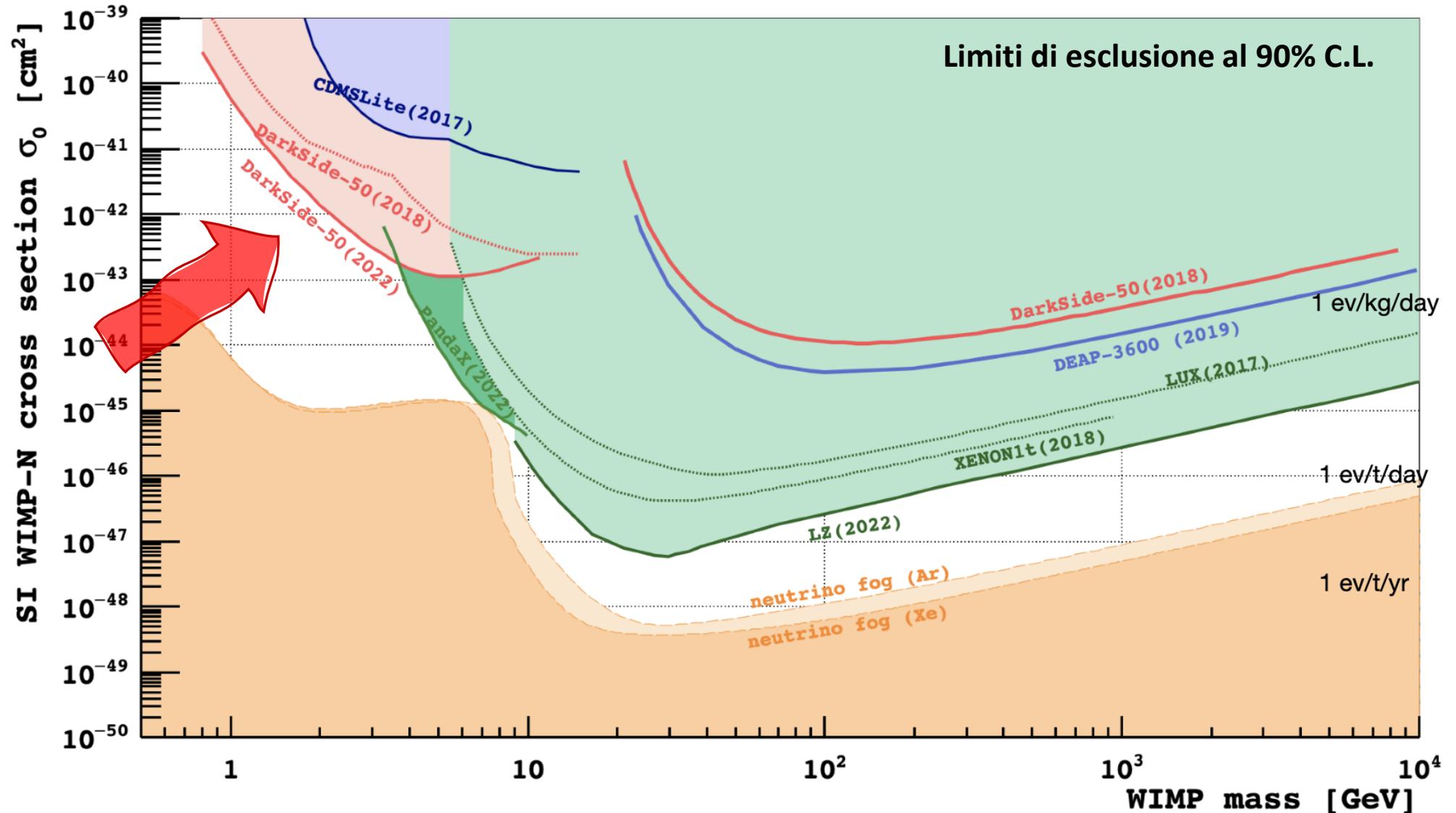


Contributo di Cagliari su modellizzazione interazione DM-elettrone e approccio EFT

M. Cadeddu, M. Lissia, E. Picciau, ...



Stato attuale della ricerca di materia oscura



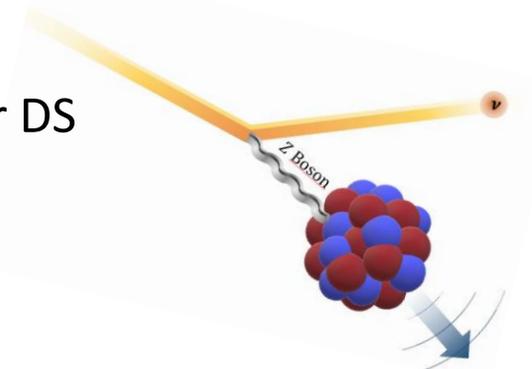
Sensitivity and background budget

Ingredients for DS20k HM sensitivity:

- target: fiducial (20 t) or active (50 t)
- Exposure
- detector parameters (PDE, noise,)
- instrumental background (ERs and neutrons)
- fprompt definition
- neutrino and cosmogenic background

| Background Source | Preliminary | Events in ROI [100 t yr] ⁻¹ |
|---|-------------|---|
| (α ,n) neutrons from the detector materials | | 0.048 \pm 0.024 |
| Cosmogenic neutrons | | 0.008 \pm 0.004 |
| Neutrons from the lab rocks | | 0.005 \pm 0.003 |
| Fission neutrons from ²³⁸ U | | <0.001 |
| Neutrons from ²²² Rn diffusion and surface plate-out | | <0.007 |
| Random surface α decay + S2 coincidence | | <0.025 |
| Correlated ERs + Cherenkov | | <0.009 |
| Uncorrelated ERs + Cherenkov | | <0.015 |
| ERs | | 0.026 \pm 0.003 |
| Total | | 0.087 ^{+0.081} _{-0.024} |

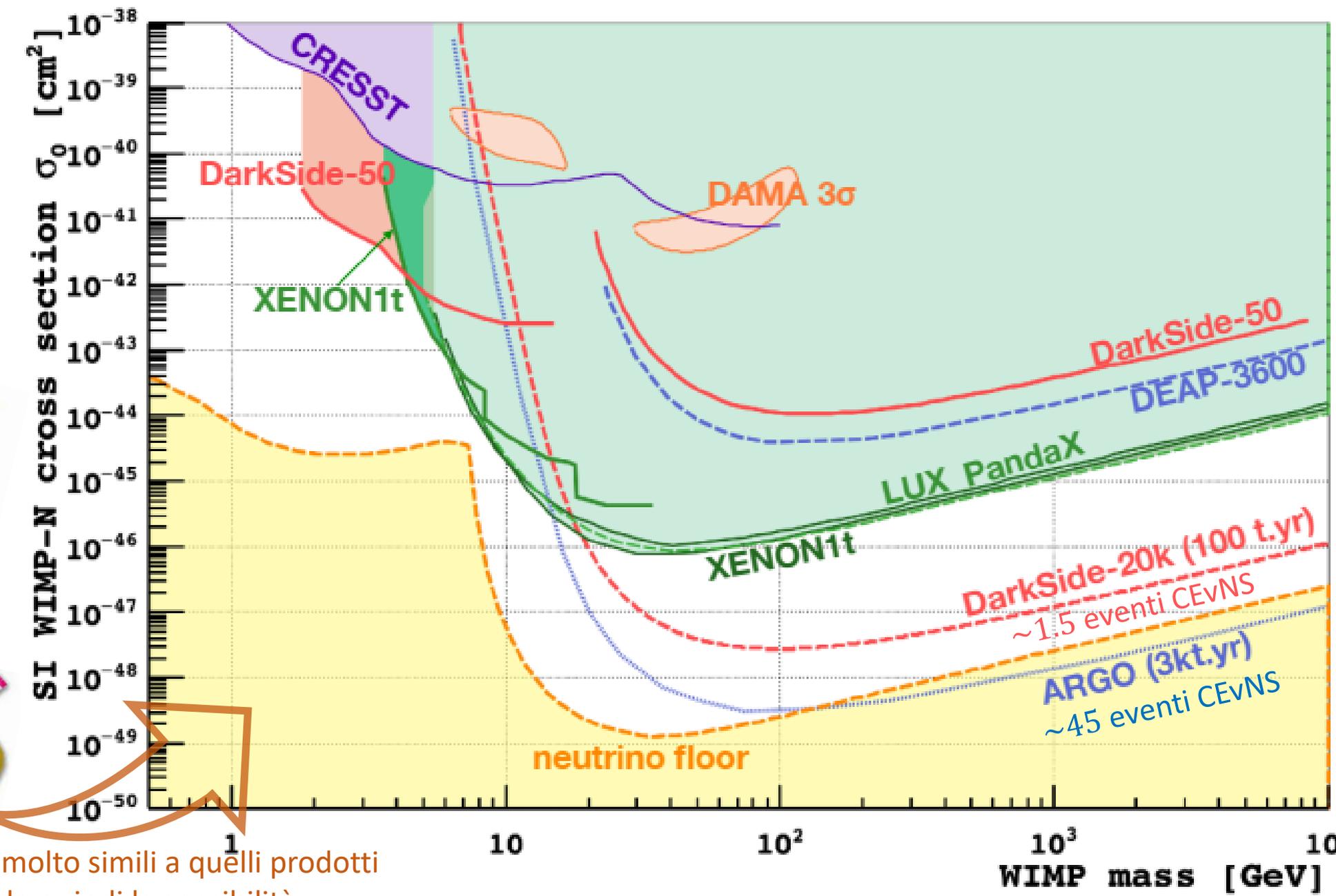
- **Coherent elastic neutrino Nucleus Scattering (CEvNS)** predetto teoricamente nel '74 e osservato solo nel 2017 dalla collaborazione COHERENT con CsI e Ar
- CEvNS: **1.464 eventi in 100 t yr** è il fondo di gran lunga più numeroso e insidioso per DS
- simulazione storicamente in capo a Cagliari
- Grazie alla esperienza acquisita nella fenomenologia del CEvNS con i dati di COHERENT ecc..





Neutrino floor/fog

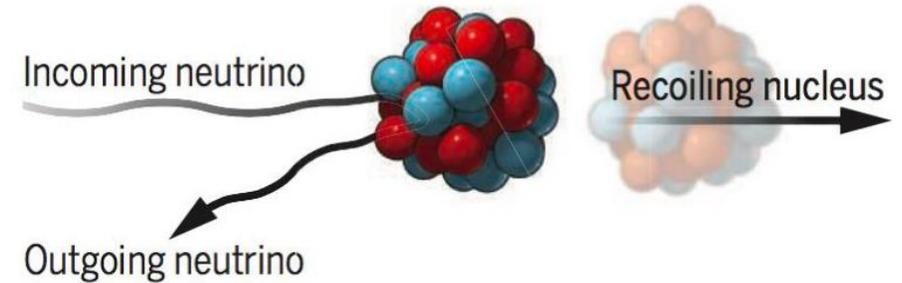
Il CEvNS produce dei rinculi molto simili a quelli prodotti dalla materia oscura limitando quindi la sensibilità



CEvNS: Coherent Elastic neutrino Nucleus Scattering

$$\frac{d\sigma(E_\nu, E_r)}{dE_r} \cong \frac{G_F^2 m_N}{\pi} \left(1 - \frac{m_N E_r}{2E_\nu^2}\right) \left[g_V^p \left(\sin^2(\vartheta_W)\right) Z F_Z(|\vec{q}|^2) + g_V^n N F_N(|\vec{q}|^2) \right]^2 + \dots$$

Lo scattering coerente ed elastico dei neutrini con i nuclei è un processo predetto negli anni '70 da Freedman [1] e osservato sperimentalmente solo nel 2017 dall'esperimento COHERENT [2] utilizzando 15 kg di rivelatore allo ioduro di cesio. La sua scoperta ha aperto un filone di ricerca che va dalla fisica nucleare [3], elettrodebole [4] e del neutrino [5-7].



[1] Freedman D. *Phys. Rev. D* 9, 1389 (1974), Coherent effects of a weak neutral current

[2] COHERENT Collaboration, *Science* 357 (2017) 6356, 1123-1126

[3] M. Cadeddu et al. *Phys.Rev.Lett.* 120 7, 072501, Average CsI neutron density distribution from COHERENT data

[4] M. Cadeddu et al. *Phys.Rev.C* 104 6, 065502, New insights into nuclear physics and weak mixing angle using electroweak probes

[5] M. Cadeddu et al. *Phys.Rev.D* 102 1, 015030, Physics results from the first COHERENT observation of coherent elastic neutrino-nucleus scattering in argon and their combination with cesium-iodide data

[6] M. Cadeddu et al. *Phys.Rev.D* 101 3, 033004, Neutrino, electroweak, and nuclear physics from COHERENT elastic neutrino-nucleus scattering

[7] M. Cadeddu et al. *Phys.Rev.D* 98 11, 113010, Neutrino Charge Radii From Coherent Elastic Neutrino-nucleus Scattering

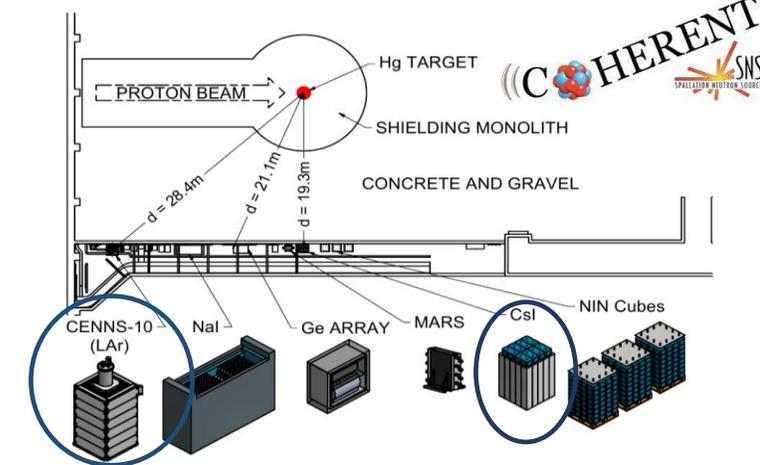
Quest'anno

M. Atzori Corona, M. Cadeddu, N. Cargioli, F. Dordei, C. Giunti, Y.F Li, C. A Ternes and Y.Y. Zhang, *JHEP* 09 164, Impact of the Dresden-II and COHERENT neutrino scattering data on neutrino electromagnetic properties and electroweak physics

M. Atzori Corona, M. Cadeddu, N. Cargioli, F. Dordei, C. Giunti, *JHEP* 05 109, Probing light mediators and $(g - 2)\mu$ through detection of coherent elastic neutrino nucleus scattering at COHERENT

M. Atzori Corona, M. Cadeddu, N. Cargioli, F. Dordei, C. Giunti, G. Masia, [Arxiv:2303.09360](https://arxiv.org/abs/2303.09360) (Submitted to EPJC), Nuclear neutron radius and weak mixing angle measurements from latest COHERENT CsI and atomic parity violation Cs data

Gli esperimenti che hanno osservato il CEvNS

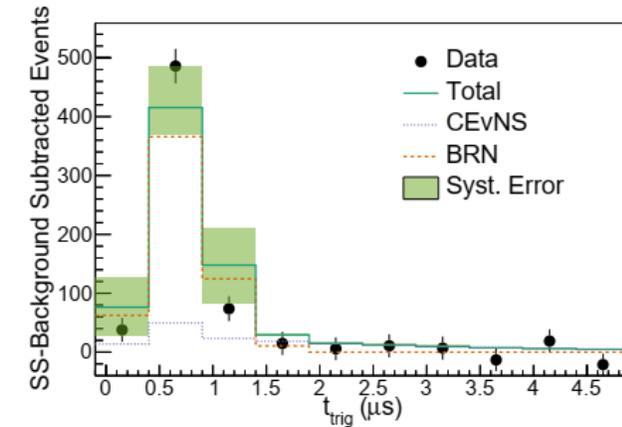
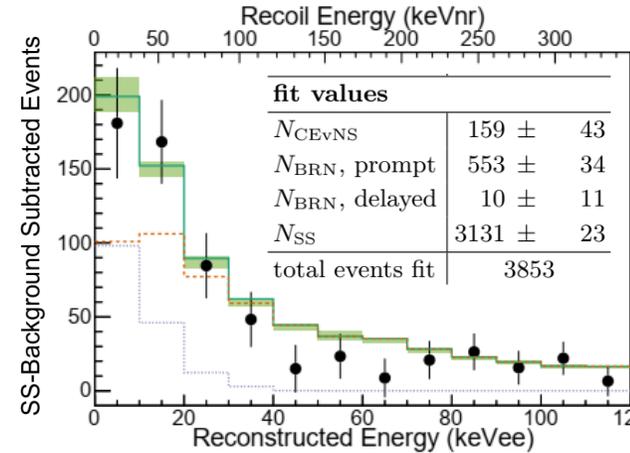
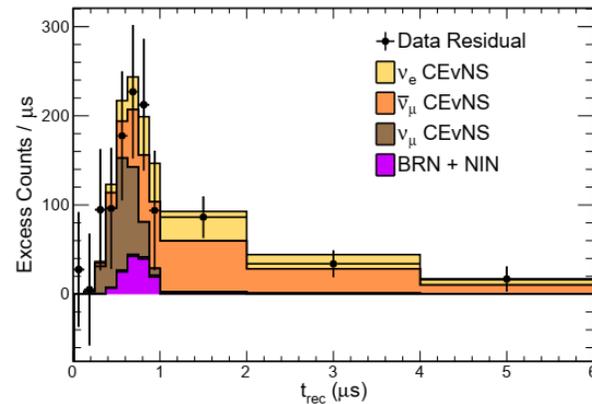
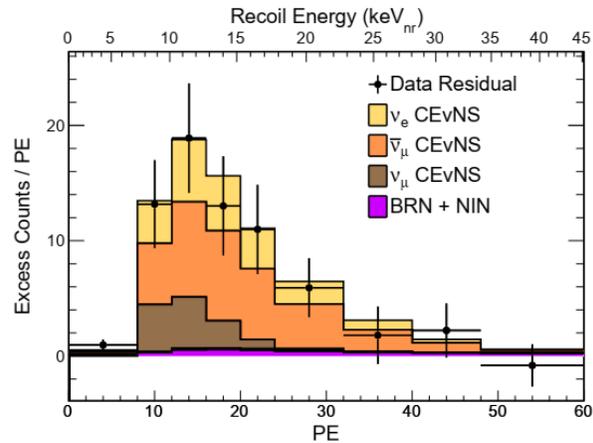


COHERENT CsI

D. Akimov et al. *Science* 357.6356 (2017)

COHERENT Ar

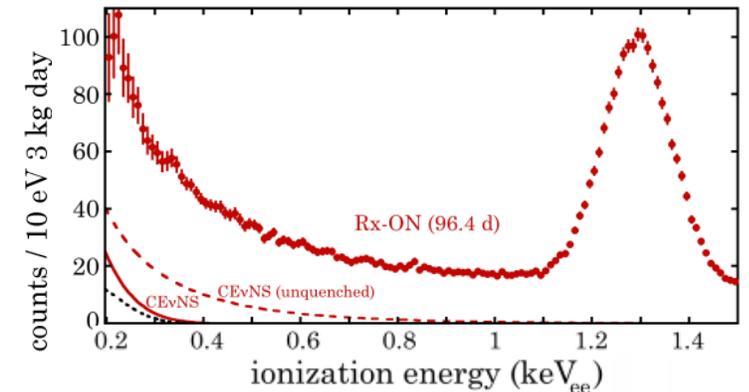
Akimov et al., *COHERENT Coll. Phys. Rev. Letter* 126, 01002 (2021)



- ✓ 306 ± 20 eventi di CEvNS osservati
- $341 \pm 11 \pm 42$ attesi dal Modello Standard

Dresden-II (2022)

+ 3 kg di rivelatore al germanio ultrapuro esposto al flusso di neutrini da reattore nucleare. Viene osservata una forte preferenza per la presenza di CEvNS nei dati.



Raggio carico dei neutrini

➤ Nel Modello Standard i **neutrini sono neutri** quindi non c'è nessun accoppiamento con i fotoni a tree-level.

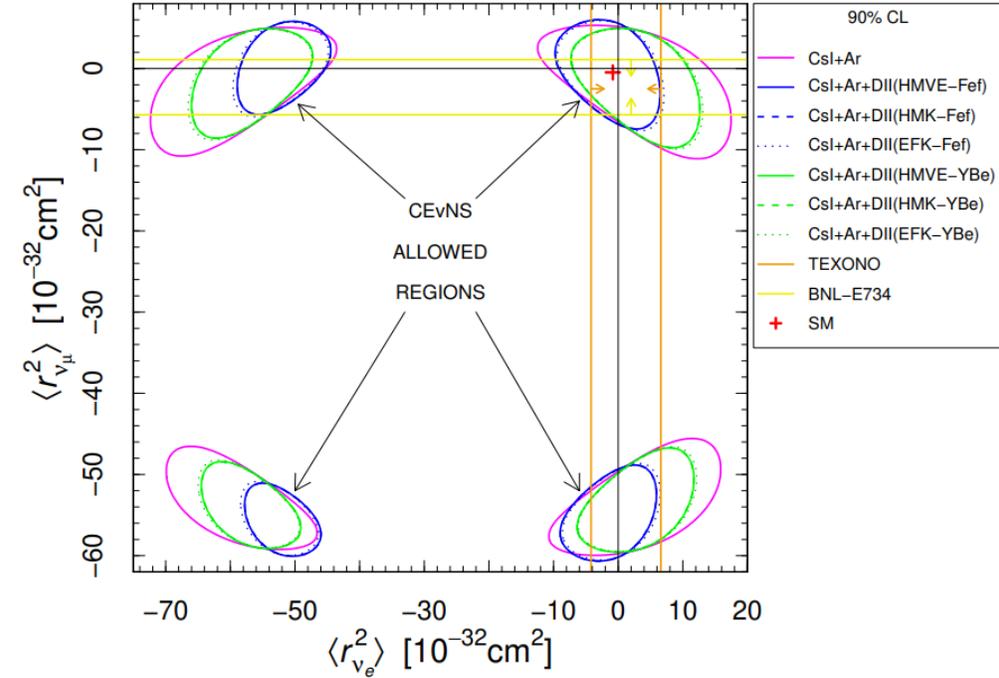
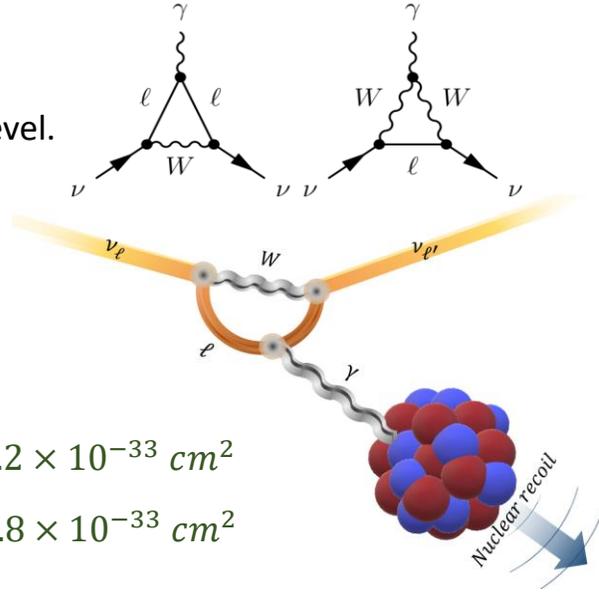
Le correzioni radiative però generano un vertice di interazione efficace con i fotoni

$$\Lambda_\mu(q) = (\gamma_\mu - q_\mu \gamma^\mu q_\mu / q^2) F(q^2)$$

➤ Nel Modello Standard

$$\langle r_{\nu\ell}^2 \rangle_{SM} = -\frac{G_F}{2\sqrt{2}\pi^2} \left[3 - 2 \log\left(\frac{m_e^2}{m_W^2}\right) \right] \quad \langle r_{\nu e}^2 \rangle_{SM} = -8.2 \times 10^{-33} \text{ cm}^2$$

$$\langle r_{\nu\mu}^2 \rangle_{SM} = -4.8 \times 10^{-33} \text{ cm}^2$$



$$-7.1 < \langle r_{\nu\mu}^2 \rangle < 5 [10^{-32} \text{ cm}^2]$$

PDG Live Particle Data Group (PDG 2022)

pdgLive Home > Neutrino Properties > NEUTRINO CHARGE RADIUS SQUARED

NEUTRINO CHARGE RADIUS SQUARED

We report limits on the so-called neutrino charge radius squared. While the straight-forward definition of a neutrino charge radius has been proven to be gauge-dependent and, hence, unphysical (LEE 1977C), there have been recent attempts to define a physically observable neutrino charge radius (BERNABEU 2000, BERNABEU 2002). The issue is still controversial (FUJIKAWA 2003, BERNABEU 2003). A more general interpretation of the experimental results is that they are limits on certain nonstandard contributions to neutrino scattering.

| VALUE (10^{-32} cm^2) | CL% | DOCUMENT ID | TECN | COMMENT |
|---|-----|---------------------------|------|---------------------------------|
| -2.1 to 3.3 | 90 | ¹ DENIZ 2010 | TEXO | Reactor $\bar{\nu}_e e$ |
| • • We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • | | | | |
| -27.5 to 3 | 90 | ² CADEDDU 2018 | | ν_μ coherent scat. on CsI |
| -0.53 to 0.68 | 90 | ³ HIRSCH 2003 | | $\nu_\mu e$ scat. |

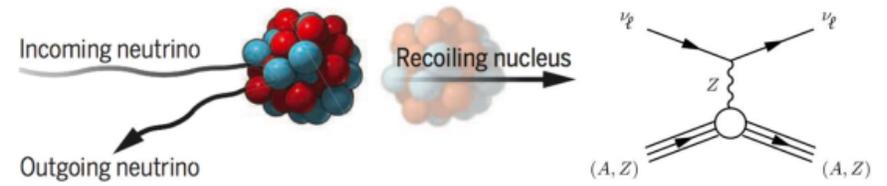
☐ Impact of the Dresden-II and COHERENT neutrino scattering data on neutrino electromagnetic properties and electroweak physics

M. Atzori Corona, M. Cadeddu, N. Cargioli, F. Dordei, C. Giunti, Y. F. Li, C. A. Ternes & Y. Y. Zhang, **JHEP** 09 164

$$\frac{d\sigma_{\nu\ell-N}}{dT} = \frac{G_F^2 M}{\pi} \left(1 - \frac{MT}{2E_\nu^2}\right) \left\{ g_V^n N F_N(|q^2|) + \left(\frac{1}{2} - 2 \sin^2 \vartheta_W - \frac{2}{3} m_W^2 \sin^2 \vartheta_W \langle r_{\nu\ell\ell}^2 \rangle\right) Z F_Z(|q^2|) \right\}^2 + \frac{4}{9} m_W^4 \sin^4 \vartheta_W Z^2 F_Z^2(|q^2|) \sum_{\ell' \neq \ell} \left| \langle r_{\nu\ell'\ell}^2 \rangle \right|^2$$



RADIATIVE CORRECTIONS FOR CEVNS



$$\frac{d\sigma_{\nu\ell-N}^{\text{SM}}}{dT_{\text{nr}}}(E_\nu, T_{\text{nr}}) = \frac{G_F^2 M}{\pi} \left(1 - \frac{MT_{\text{nr}}}{2E_\nu^2}\right) \left[g_V^p(\nu_\ell) Z F_Z(|\vec{q}|^2) + g_V^n N F_N(|\vec{q}|^2) \right]^2$$

$$g_V^{\nu_\ell p} = \rho \left(\frac{1}{2} - 2 \sin^2 \vartheta_W \right) + 2\aleph_{WW} + \square_{WW} - 2\varrho_{\nu_\ell W} + \rho(2 \boxtimes_{ZZ}^{uL} + \boxtimes_{ZZ}^{dL} - 2 \boxtimes_{ZZ}^{uR} - \boxtimes_{ZZ}^{dR})$$

Prog.Part.Nucl.Phys. 71 (2013) 119-149
JHEP 09 (2022) 164

$$g_V^{\nu_\ell n} = -\frac{\rho}{2} + 2\square_{WW} + \aleph_{WW} + \rho(2 \boxtimes_{ZZ}^{dL} + \boxtimes_{ZZ}^{uL} - 2 \boxtimes_{ZZ}^{dR} - \boxtimes_{ZZ}^{uR}).$$

M Atzori Corona et al., arXiv: 2303.09360

Vertex corrections:

Neutrino Charge Radius

$$\varrho_{\nu_\ell W} = -\frac{\alpha}{6\pi} \left(\ln \frac{M_W^2}{m_\ell^2} + \frac{3}{2} \right)$$

WW-box

$$\square_{WW} = -\frac{\hat{\alpha}_Z}{2\pi \hat{s}_Z^2} \left[1 - \frac{\hat{\alpha}_s(M_W)}{2\pi} \right]$$

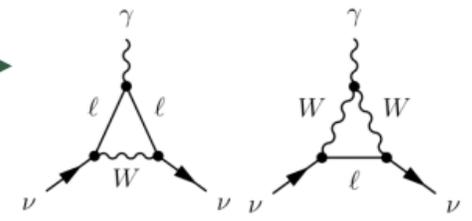
WW crossed-box

$$\aleph_{WW} = \frac{\hat{\alpha}_Z}{8\pi \hat{s}_Z^2} \left[1 + \frac{\hat{\alpha}_s(M_W)}{\pi} \right]$$

ZZ-box

$$\boxtimes_{ZZ}^{fX} = -\frac{3\hat{\alpha}_Z}{8\pi \hat{s}_Z^2 \hat{c}_Z^2} (g_{LX}^{\nu_\ell f})^2 \left[1 - \frac{\hat{\alpha}_s(M_Z)}{\pi} \right]$$

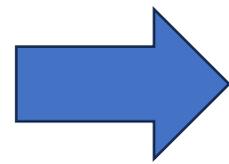
Neutrino charge radius diagrams:
Flavor dependent!



C. Giunti and A. Studenikin Rev.Mod.Phys. 87 (2015) 531

In principle, we might fit for this quantity.
Current best constraints from neutrino scattering experiments!

+ accurata parametrizzazione del **fattore di forma nucleare**



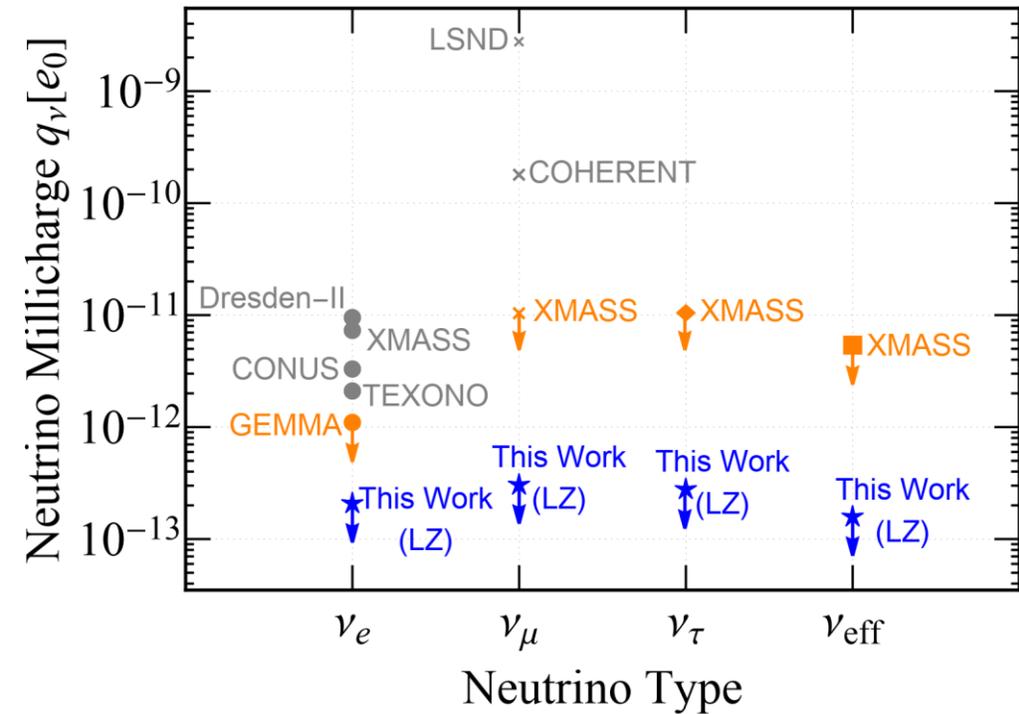
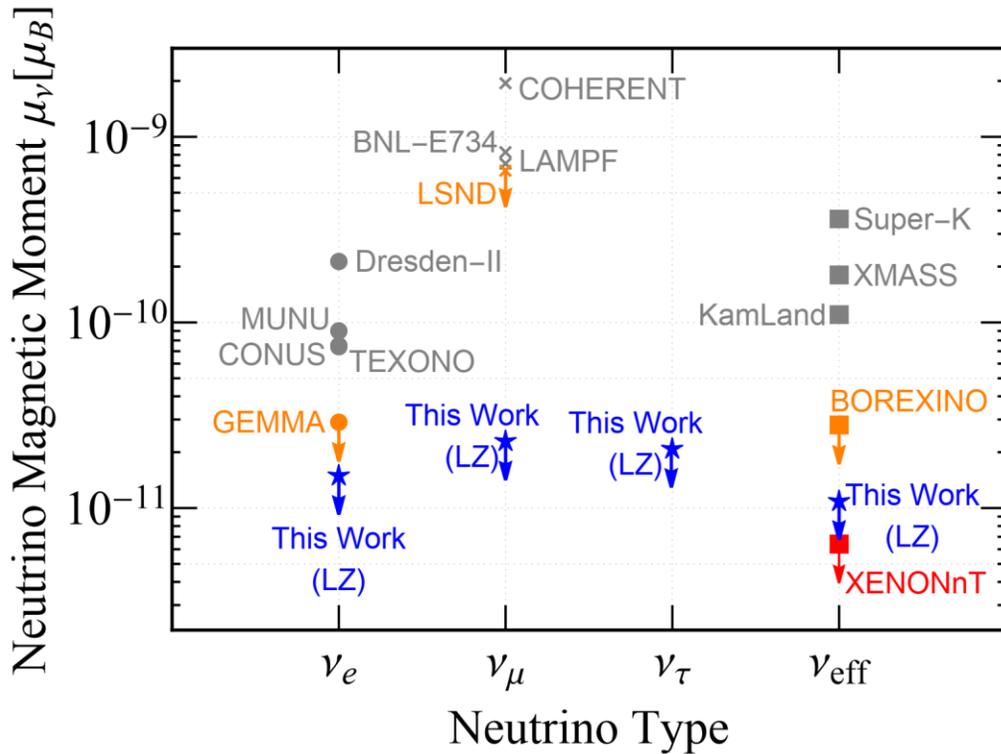
Variazione di **qualche punto percentuale** del numero di eventi CEvNS rispetto al precedente TDR

M. Atzori Corona, N Cargioli, ...

Migliori limiti mondiali sul momento magnetico e millicarica del neutrino

$$\frac{d\sigma_{\nu\ell}^{\text{MM}}}{dT_e}(E, T_e) = Z_{\text{eff}}^{\text{Xe}}(T_e) \frac{\pi\alpha^2}{m_e^2} \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{E} \right) \left| \frac{\mu_{\nu\ell}}{\mu_B} \right|^2$$

$$\left. \frac{d\sigma_{\nu\ell}}{dT_e} \right|_{\text{EPA}}^{\text{EC}} = \frac{2\alpha\sigma_\gamma(T_e)}{\pi T_e} \log \left[\frac{E_\nu}{m_\nu} \right] q_{\nu\ell}^2$$

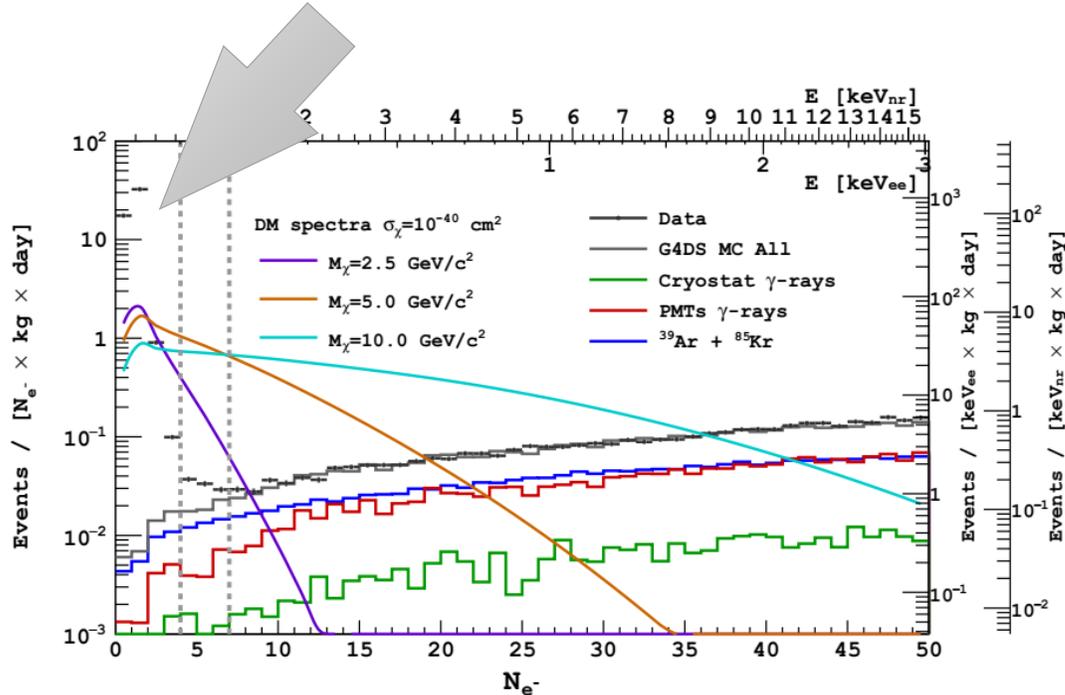


$$\mu_\nu = \frac{3e_0 G_F}{8\sqrt{2}\pi^2} m_\nu \simeq 3.2 \times 10^{-19} \left(\frac{m_\nu}{\text{eV}} \right) \mu_B$$

☐ New constraint on neutrino magnetic moment and neutrino millicharge from LUX-ZEPLIN dark matter search results
 M. Atzori Corona, W. M. Bonivento, M. Cadeddu, N. Cargioli, and F. Dordei
 Phys. Rev. D **107**, 053001 – Published 1 March 2023

Il problema degli eventi a “pochi elettroni”

"who ordered that?" (cit.)



P. Agnes et al., Phys. Rev. Lett. 121, 081307 (2018),
Low-Mass Dark Matter Search with the DarkSide-50
Experiment

Esistono due componenti

1. Una correlata temporalmente e spazialmente con eventi energetici: “spiegazione assodata: eventi di fotoionizzazione del catodo a seguito di segnali S1 e S2”

P. Agnes et al., Astropart. Phys. 140 102704, A study of events with photoelectric emission in the DarkSide-50 liquid argon Time Projection Chamber **Studio completamente a guida Cagliari Walter, Cargioli,...**

2. Componente correlata temporalmente riconducibile a elettroni emessi in un evento precedente, intrappolati nelle impurità e riemesse in un secondo tempo con tempi di vita $O(\text{ms})$

Articolo in preparazione. Studio sulle pulse shape vs contaminanti: ragionevolmente escluso il ruolo dell'azoto.
W. Bonivento, R. Stefanizzi, Devidutta G. ...

ARIA

Habemus paper!!!

THIS ARTICLE PRESENTS THE RESULTS OF A DISTILLATION RUN FOR THE SEPARATION OF ARGON ISOTOPES CONDUCTED IN 2021



Eur. Phys. J. C (2023) 83:453
<https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-023-11430-0>

THE EUROPEAN
 PHYSICAL JOURNAL C

Regular Article - Experimental Physics

Measurement of isotopic separation of argon with the prototype of the cryogenic distillation plant Aria for dark matter searches

DarkSide-20k Collaboration*

Received: 25 January 2023 / Accepted: 24 March 2023
 © The Author(s) 2023

Abstract The Aria cryogenic distillation plant, located in Sardinia, Italy, is a key component of the DarkSide-20k experimental program for WIMP dark matter searches at the INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Italy. Aria is designed to purify the argon, extracted from underground wells in Colorado, USA, and used as the DarkSide-20k target material, to detector-grade quality. In this paper, we report the first measurement of argon isotopic separation by distillation with the 26-m tall Aria prototype. We discuss the measurement of the operating parameters of the column and the observation of the simultaneous separation of the three stable argon isotopes: ^{36}Ar , ^{38}Ar , and ^{40}Ar . We also provide a detailed comparison of the experimental results with commercial process simulation software. This measurement of isotopic separation of argon is a significant achievement for the project, building on the success of the initial demonstration of isotopic separation of nitrogen using the same equipment in 2019.

1 Introduction

Aria is an industrial-scale plant comprising a 350 m cryogenic distillation column for isotopic separation [1], the tallest ever built, and is currently being installed in a mine shaft at Carbosulcis S.p.A., Nuraxi-Figari (SU), Italy. Aria is designed to reduce the isotopic abundance of ^{39}Ar in the low-radioactivity argon, or underground argon (UAR), extracted from underground sources and used for dark matter searches. A full description of the Aria plant and of the column structure and performance can be found in Ref. [1]. Figure 1 shows the simplified diagram of the plant.

In recent years, interest in UAR has grown to include its use in searches for neutrino-less double-beta decay with

S. Farnzone, N. Lami, F. Lippi, N. Maccioni, C. Macis, G. M. Sabiu and a member of the DarkSide-20k Collaboration

*e-mail: devid@lqg.infn.it (corresponding author).

Published online: 31 May 2023

the LEGEND experiment [2]; in the measurement of coherent elastic neutrino-nucleus scattering with the COHERENT experiment [3]; and in measuring low-energy processes with one of the planned modules of the DUNE experiment (FNNS-SA-171008). The projected demand for UAR varies greatly, from one tonne for the COHERENT experiment to several thousand tonnes for a detector of similar size to DUNE. The required ^{39}Ar depletion factor with respect to atmospheric argon levels spans from a factor 1000 for COHERENT and DarkSide-20k to more than 10,000 for future dark matter searches with, e.g., a tonne-scale DarkSide-LowMass experiment (arXiv:2209.01177).

The first application of the Aria plant will be to purify 120 t of UAR through cryogenic distillation, which will be used in the DarkSide-20k experiment [4]. However, the high depletion factors required for future projects also demonstrate the need for isotopic separation using Aria.

The initial phase of the Aria program includes assessing the efficiency of the distillation process and determining the thermodynamic parameters of the prototype distillation plant. A successful nitrogen isotope separation campaign was conducted with the same plant in 2019 and described in Ref. [1]. The prototype plant is a shortened version of the Aria column, consisting of a top condenser, a bottom reboiler, and one central module (out of 28). It is equipped with all the auxiliary instrumentation of the full column and located in a surface building at Carbosulcis S.p.A. The results obtained using nitrogen were very promising. However, argon has distinct thermodynamic properties, such as its boiling point in relation to pressure and its latent heat at the boiling point, compared to nitrogen. Therefore, a separate characterization of the plant's performance is necessary when using argon.

This article presents the results of a distillation run for the separation of argon isotopes conducted in 2021. Whereas ^{39}Ar is only present in traces, the two stable isotopes other than ^{40}Ar in atmospheric argon, ^{36}Ar and ^{38}Ar , have a non-negligible isotopic abundance of 0.334% and 0.063%, respectively [5, 6], and can be used to characterize the distillation performance of the plant.

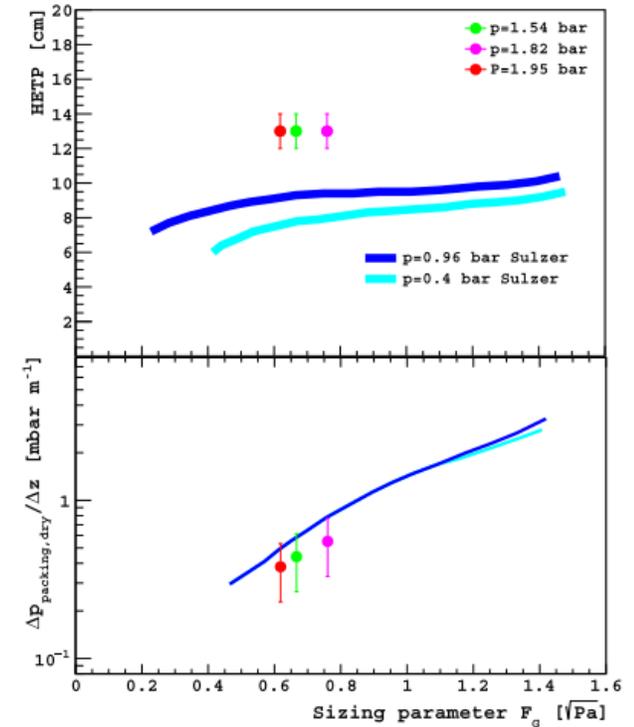


Fig. 8 Measured HETP (top), from Table 9 (red, green and violet dots), and $\Delta p_{\text{packing,dry}}/\Delta z$ (bottom), from the third column of Table 5 assuming 30% uncertainty, vs. sizing parameter, F_G , for the three runs with argon (red). Blue (cyan) line: measurements with chlorobenzene/ethylbenzene mixtures at $p_C = 0.96$ bar (0.40 bar), Sulzer CY Gauze Packing, partial data-set extracted from the Structured Packing brochure of Sulzer Ltd. A perfect match between our data and those from Sulzer is not expected due to the different thermodynamical parameters of the fluids

- Measurement of isotopic separation of argon with the prototype of the cryogenic distillation plant Aria for dark matter searches, *Eur. Phys. J. C* 83 (2023) 5, 453

W. Bonivento, F. Gabriele, A. Steri, V. Cocco, R. Stefanizzi, ...

- In atto ristrutturazione castello
- Lavori bloccati da 1/7 in assenza firma accordo programma INFN/RAS
- Impossibilità altri run di Seruci-0 in assenza del suddetto

Aria: Status

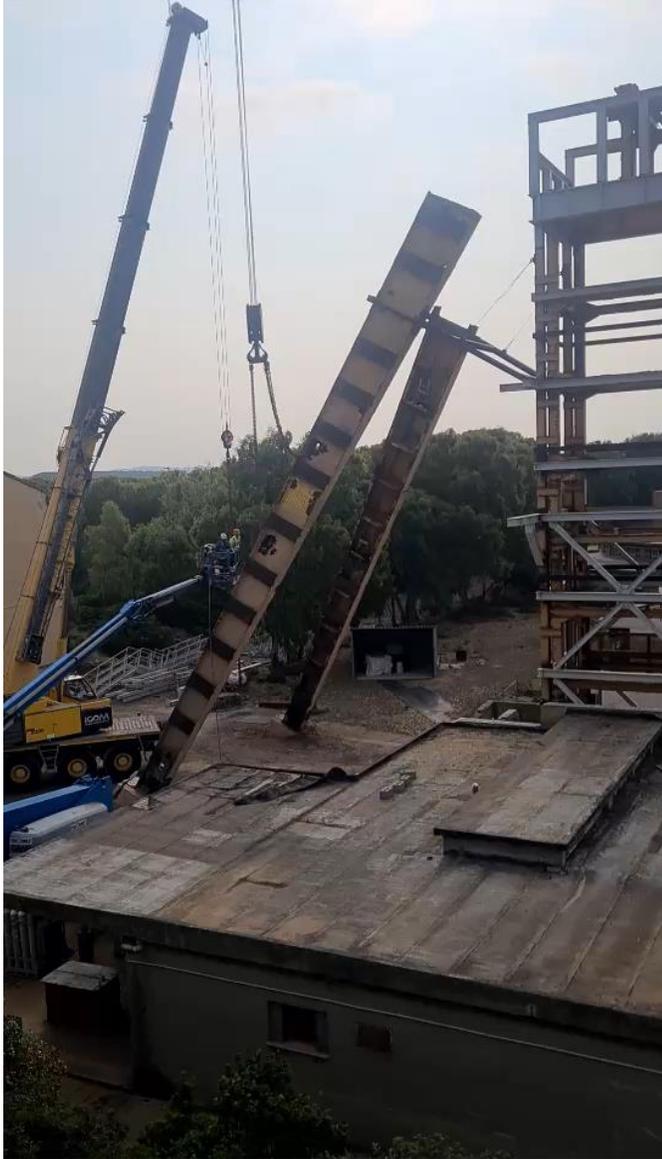
W. Bonivento, F. Gabriele, A. Steri, V. Cocco...

SETTORE OGGETTO DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE

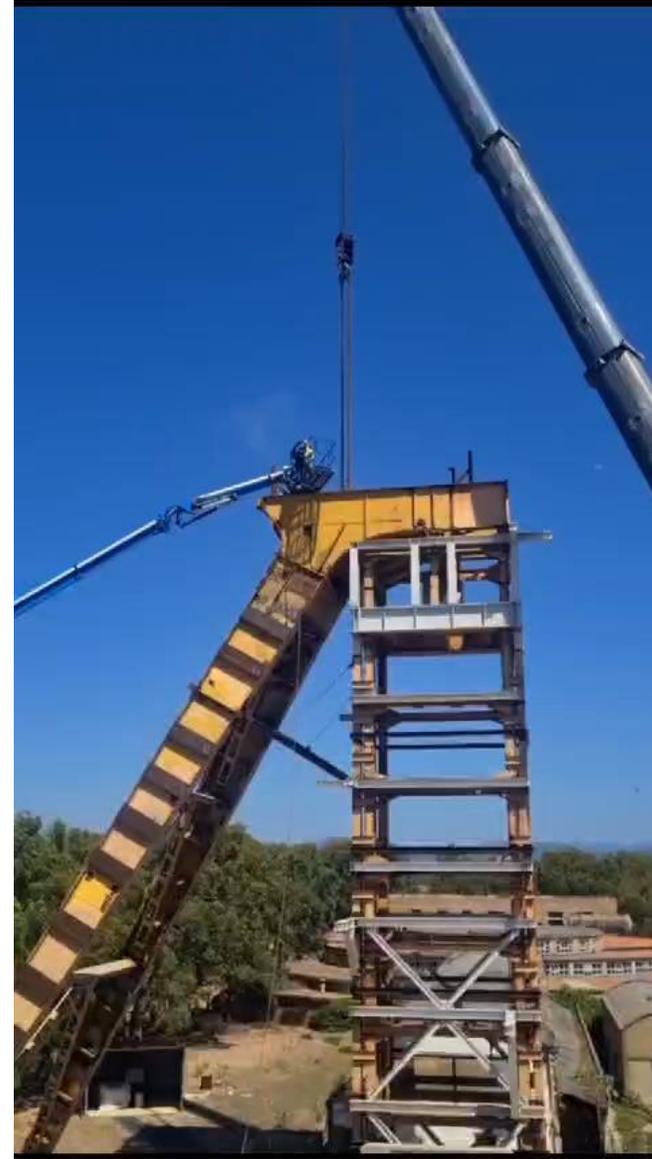




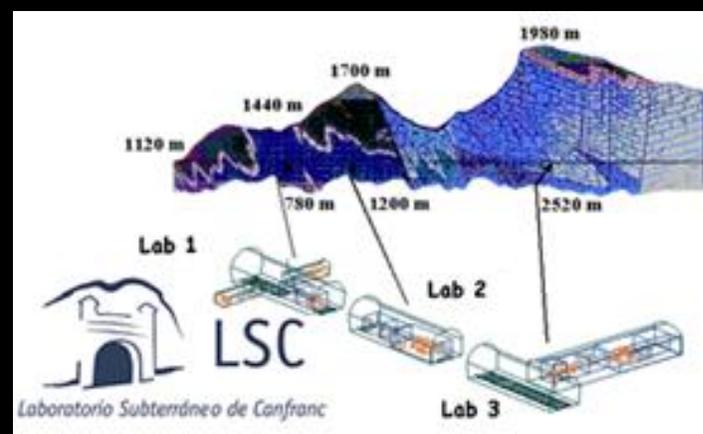
29 giugno 2023: rimozione piano molette e puntoni



Rimozione puntoni
e piano molette



THE DARKSIDE-20K ARGON PATH



D³⁹ArT

- Characterization of all the batches from URANIA/ARIA
- ~1 week per batch with 10% st.uncertainty

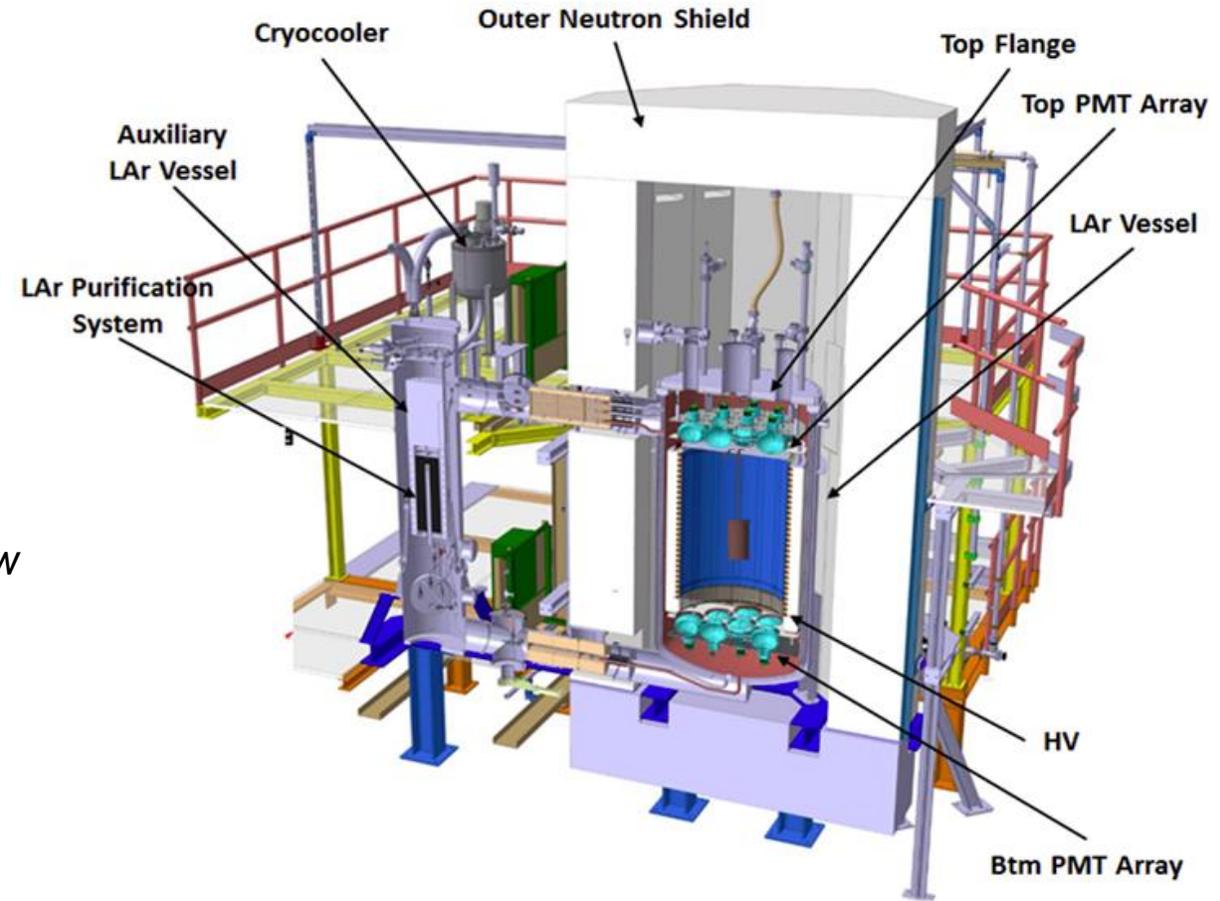
“Design and Construction of a New Detector to Measure Ultra-Low Radioactive-Isotope Contamination of Argon”

JINST 15 (2020) 02, P02024

The DArT chamber is taking data in a test cryostat with a pressurized LN2 bath (@2.2 bar absolute & 85 K).

- Attività a Canfranc Underground Laboratory (LSC), installazione singola fase in ArDM
- Analisi dati e simulazioni

Walter e Devidutta



DEAP-3600

Precision Measurement of the Specific Activity of ^{39}Ar in Atmospheric Argon with the DEAP-3600 Detector

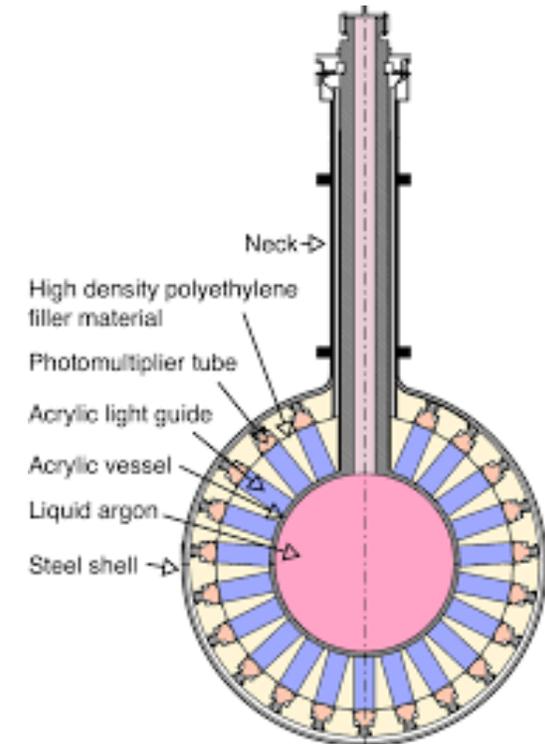
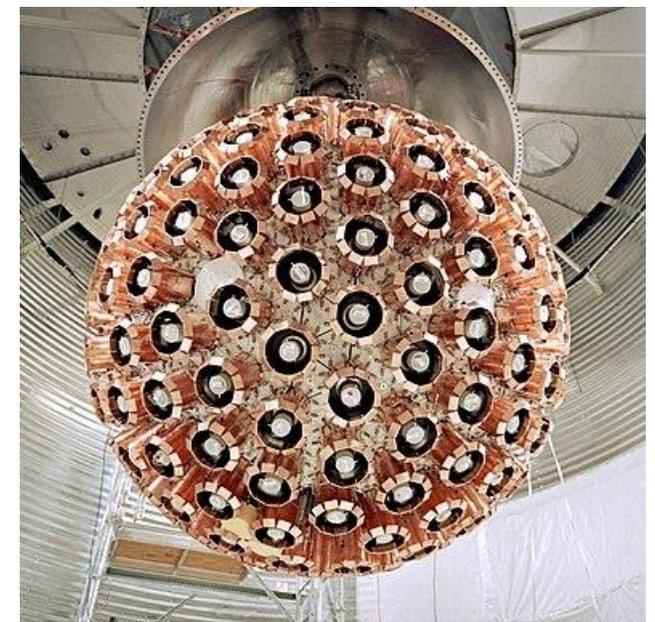
Arxiv: [2302.14639](https://arxiv.org/abs/2302.14639) (accepted by the journal)

Abstract: “The specific activity of the beta decay of ^{39}Ar in atmospheric argon is measured using the DEAP-3600 detector. DEAP-3600, located 2 km underground at SNOLAB, uses a total of (3269 ± 24) kg of liquid argon distilled from the atmosphere to search for dark matter. This detector with very low background uses pulse shape discrimination to differentiate between nuclear recoils and electron recoils and is well-suited to measure the decay of ^{39}Ar . With 167 live-days of data, the measured specific activity at the time of atmospheric extraction is $[0.964 \pm 0.001 \text{ (stat)} \pm 0.024 \text{ (sys)}]$ Bq/kg which is consistent with results from other experiments. A cross-check analysis using different event selection criteria provides a consistent result.”

Attività “Laboratorio DarkSide”, legato al progetto LAr PET

- Criostato, getter, condensatore argon, pompa ricircolo, pannello già presenti.

M. Lai, M. Razeti



Anagrafica DarkSide

Ricercatori 17 (~10.9 FTE)- Tecnologi 10 (~6.1 FTE), Tecnici 4 TOT (Ric+Tecn) (~17 FTE)

| ☿ Cognome ↑≡ | ☿ Nome ↑↓ | Note ↑↓ | Struttura ↑↓ | Modulo ↑↓ | Contratto ↑↓ | Profilo ↑↓ | Stato ↑↓ | Aff. ↑↓ | % |
|-----------------|---------------|---|-----------------|--------------|-----------------|---|-------------|------------|------|
| Arba | Mauro | | CA | G3 | Dipendente | Collaboratore Tecnico E.R. | Attivo | CSN1 | 30% |
| Atzori Corona | Mattia | | CA | G1 | Associato | Scientifica Dottorandi | Attivo | 🚫 | 100% |
| Bonivento | Walter | C3M DARK 130 ORE | CA | G1 | Dipendente | Dirigente di Ricerca | Attivo | CSN2 | 100% |
| Cadeddu | Matteo | C3M:ASIMOV 50 ORE;DARK 80 ORE | CA | G1 | Dipendente | Ricercatore | Attivo | CSN2 | 90% |
| Cadoni | Mariano | | CA | G1 | Associato | Incarico di Ricerca scientifica | Attivo | CSN4 | 20% |
| Caravati | Mauro | | CA | G1 | Associato | Scientifica Ricercatori/Professori università | Attivo | CSN2 | 100% |
| Cargioli | Nicola | | CA | G1 | Associato | Scientifica Dottorandi | Attivo | CSN2 | 100% |
| Castello | Paolo | | CA | G2 | Associato | Tecnologica Ricercatori/Professori università | Attivo | CSN2 | 50% |
| Cocco | Valentina | C3M DARK 30 ORE | CA | G2 | Dipendente | Assegno di Ricerca | Attivo | CSN2 | 100% |
| Dongiovanni | Danilo Nicola | | CA | G1 | Associato | Scientifica Dipendenti altri enti | Attivo | CSN2 | 20% |
| Dordei | Francesca | C3M:ASIMOV 20 ORE;DARK 50 ORE;MC 60 ORE | CA | G1 | Dipendente | Ricercatore | Attivo | CSN1 | 20% |
| Gabriele | Federico | DARK C3M 30 ore | CA | G2 | Dipendente | Tecnologo | Attivo | CSN2 | 100% |

| | | | | | | | | | |
|------------|---------------|--|----|----|-----------------------|---|--------|------|------|
| Gahan | Devidutta | DARK C3M 30 ore | CA | G1 | Associato | Scientifica Dottorandi | Attivo | CSN2 | 100% |
| La Delfa | Luigi | | CA | G3 | Dipendente | Collaboratore Tecnico E.R. | Attivo | CSN2 | 20% |
| Lai | Michela | DARK C3M 30 ORE MC_C3M 24 ORE | CA | G1 | Associato | Scientifica Assegni non INFN | Attivo | CSN2 | 100% |
| Lissia | Marcello | AGGIORNAMEN_C3M 20 ORE - ASIMOV_C3M 70 ORE - DARK_C3M 4 ORE - L2G_C3M 50 ORE | CA | G1 | Dipendente | Primo Ricercatore | Attivo | CSN4 | 60% |
| Marras | Davide | | CA | G3 | Dipendente | Collaboratore Tecnico E.R. | Attivo | CSN3 | 10% |
| Mascia | Michele | | CA | G2 | Contratto non Trovato | | | CSN2 | 20% |
| Muscas | Carlo | | CA | G1 | Associato | Tecnologica Ricercatori/Professori università | Attivo | CSN2 | 20% |
| Palmas | Simonetta | | CA | G2 | Contratto non Trovato | | | CSN2 | 20% |
| Pegoraro | Paolo Attilio | | CA | G2 | Associato | Tecnologica Ricercatori/Professori università | Attivo | CSN2 | 50% |
| Pinna | Tonio | | CA | G1 | Associato | Scientifica Dipendenti altri enti | Attivo | CSN2 | 20% |
| Razeti | Marco | | CA | G2 | Dipendente | Tecnologo | Attivo | CSN2 | 100% |
| Santucci | Alessia | | CA | G1 | Associato | Scientifica Dipendenti altri enti | Attivo | CSN2 | 20% |
| Stefanizzi | Riccardo | DARK C3M 30 ore | CA | G1 | Dipendente | Neolaureati | Attivo | CSN2 | 100% |
| Steri | Arianna | C3M DARK 30 ORE | CA | G2 | Dipendente | Assegno di Ricerca | Attivo | CSN2 | 100% |
| Sulis | Sara | | CA | G2 | Associato | Tecnologica Ricercatori/Professori università | Attivo | CSN2 | 50% |
| Tosti | Silvano | | CA | G1 | Associato | Scientifica Dipendenti altri enti | Attivo | CSN2 | 20% |
| Tuveri | Marcellino | | CA | G3 | Dipendente | Collaboratore Tecnico E.R. | Attivo | CSN5 | 30% |
| Vacca | Annalisa | | CA | G2 | Contratto non Trovato | | | CSN2 | 20% |

Richieste finanziarie DarkSide

Responsabili del progetto: Walter Bonivento

Responsabilità: **Bonivento W.** Executive Board, **Cadeddu M.** Editorial Board, **Dordei F.** Speaker Bureau, **Gabriele F.** Executive Board.

 Scarica la tabella in formato CSV

| Capitolo | Descrizione | Parziali (k€) | | Rimuovi | Modifica | Totale (k€) | |
|----------|--|---------------|------|---|---|-------------|----|
| | | Richieste | SJ | | | Richieste | SJ |
| missioni | missioni USA per coordinamento argon underground/ URANIA per Federico Gabriele e Walter Bonivento: anno cruciale 3 m.u. a testa ; 6ke/m.u.+ viaggi (4; 2k/viaggio) | 52.00 | 0.00 |  |  | 82.5 | 0 |
| | Incarichi di responsabilita'(Dordei SB, Cadeddu EB, Gabriele Exec B, Bonivento Exec Board) | 4.00 | 0.00 |  |  | | |
| | meeting PI | 1.00 | 0.00 |  |  | | |
| | INSTALLAZIONE: Federico Gabriele management group istallazione LNGs: 1 M.U. | 4.00 | 0.00 |  |  | | |
| | MEETING COLLABORAZIONE (2.5*0.5*((FTE-FTERESP)+RESP) con FTE=16.4, RESP=3 FTERESP=2.2 | 21.50 | 0.00 |  |  | | |
| Totale | | | | | | 82.5 | 0 |

Richieste speciali: missioni USA per coordinamento argon underground/URANIA per Federico Gabriele e Walter Bonivento: anno cruciale 3 m.u. a testa; 6ke/m.u.+ viaggi (4; 2k/viaggio). W.B. e F.G. coordinatori UAr (anche e soprattutto Urania, che necessita di “spinta”)

- Sta per partire costruzione infrastruttura in Colorado
- Tutti i moduli in USA
- Richieste per missioni in Colorado non previste sinora.

Novità e possibili nuove sigle in futuro

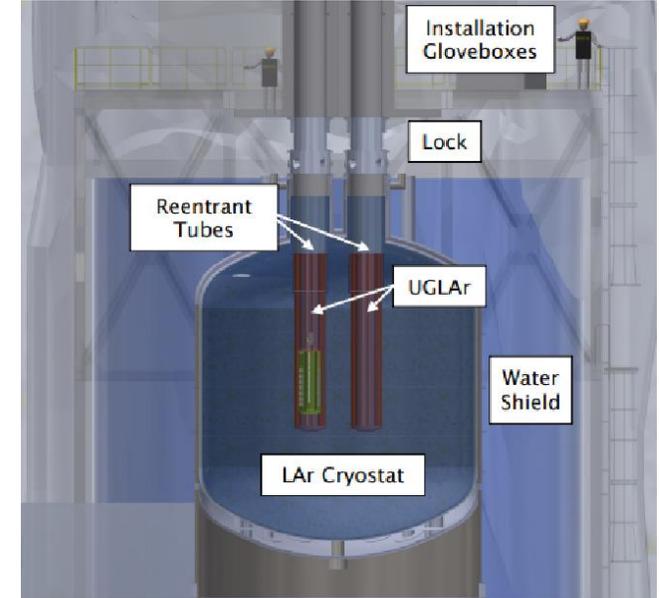


LEGEND-1000 (doppio beta senza neutrini con ^{76}Ge arricchito al 88%, discovery sensitivity of 10^{28} yr che corrisponde a $m_{\beta\beta} < 10\text{-}20$ meV)

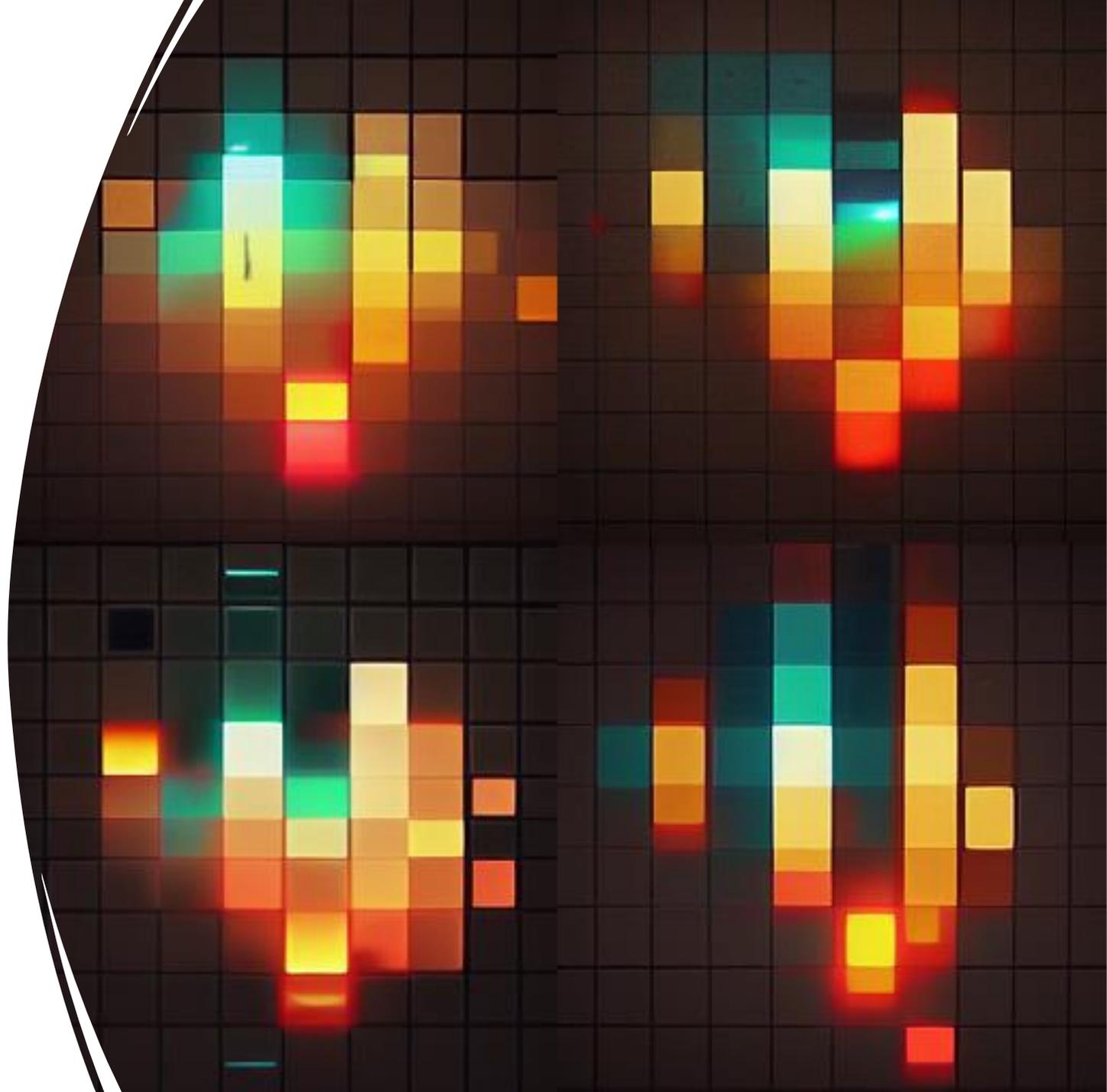
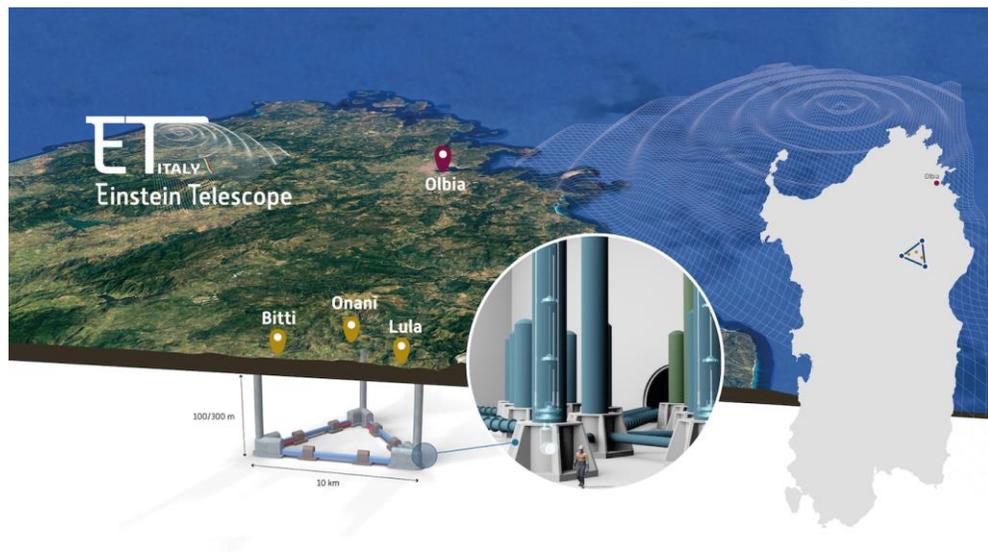
- MOU tra DarkSide-20k e LEGEND per fornitura 25t di UAr dopo l'estrazione di quello per DarkSide (2025-2026)
- Alcuni membri del Gruppo DarkSide Cagliari entrati formalmente in LEGEND. Per ora niente percentuali e niente firma.

•**NUCLEUS**: CEvNS da neutrini da reattore su cristalli di Tungstano di calcio, gruppo romano (Vignati, Cerulli ...) e gruppo Tedesco TUM.

•**RES-NOVA**: CEvNS con neutrini da supernova in Tungstano di piombo, utilizzo di Piombo romano. In contatto con Luca Pattavina (ERC)



ET preventivi 2024



Anagrafica ET

- UniSS passa da LNS a INFN CA:
 - **Domenico D'Urso**: Prof. Associato
 - **Valeria Sipala**: Prof.ssa Associata
 - **Davide Rozza**: RTDa
 - **Postdoc, Nazanin Davari (da associare)**: postdoc
 - **L. Cardello (RTDa), L. Casini (P.A)**: geologi
 - **L. Deidda (P.O.)**: economista
- Nuove sigle (sinergiche) in arrivo: NGSA (gr5), Archimedes (gr2) (da definire), Virgo(gr2) + ETIC
- Istituti coinvolti: UniCA, UniSS, INFN CA
- **FTE (in via di finalizzazione): ~7 + X (non so quanto arriva da UniSS)**

Responsabilità e attività principali

- Responsabilità verso Collaborazione ET:
 - **Site Preparation Board Co-Chair and Executive Board Member: D. D'Urso**
 - **Forum of National Representatives: D. D'Urso**
 - **Research Unit Leader CA: A. Contu**
- Responsabilità Nazionali: **D. D'Urso, Responsabile Nazionale ET**
- Responsabile Locale: **A. Contu**
- Responsabilità ETIC: **A. Masoni (Cagliari), D. D'Urso (WP7 Coordinator, outreach and Executive Board)**
- Caratterizzazione del sito
- Divulgazione
- R&D:
 - Phase camera (ETIC)
 - Coatings (ETIC)
 - Suspensions (PRIN2020, NGSA)

Richieste specifiche 2024 (iva inclusa)

- Richieste per Laboratorio ETIC:
 - Laser 1064nm + isolator Faraday: **61K€**
 - Integrazione varia strumentazione: **40K€** (potrebbe però rientrare in fondi ETIC a breve)
 - Tavolino antivibrante attivo per microscopio AFM: **50K€**
- Richieste caratterizzazione sito:
 - Da definire
- Missioni:
 - 8K€ per missioni a Ferrara (collaborazione per phase camera)

Richieste tabellari

- Missioni conf. Italia: $1.5 * (1 + 0.2 * \text{FTE}) = ?$
- Missioni conf. Estero: $2.5 * (1 + 0.5 * \text{FTE}) = ?$
- Altre missioni da definire
- Consumo da definire

Anagrafica al 2023

| Sez. & Suf. | FTE | | | |
|-------------|------|-----|------|------|
| | Ric | Tec | Tecn | TOT |
| CA | 15.1 | 8.5 | | 23.6 |

Anagrafica prevista 2024

+ 7 persone da UniSS (Domenico D'urso, Davide Rozza, ...)
(X FTE da distribuirsi in ET, Virgo e Archimedes)

+ Angelo Loi, Andrea Lampis 100% PNRR_ETIC (2 FTE)

+ nuovi dottorandi Lorenzo Mirasola (80% Virgo, 20% ET)

+ Personale universitario su Virgo (Riggio, Sanna, Saba, Marongiu)

Personale universitario su ET (Saba, Marongiu)

Previsione circa >30 FTE con aumento FTE ricercatore.



Il gruppo 2 a Cagliari è in continua crescita grazie alle attività legate alla materia oscura con DarkSide e ARIA, alla fisica dei neutrini, e al più recente interessamento per la fisica delle onde gravitazionali con ET e Virgo.

Nel futuro (prossimo e non) possibili nuove sigle, Archimedes, NUCLEUS, LEGEND...

C'è parecchio fermento 😊



Domande?

Sigle affini 2023



- Tutti i progetti dichiarati come sinergici per la CSN2 sul sito dei preventivi (<https://preventivi.dsi.infn.it/>) sono da considerarsi come sigle affini e le percentuali dichiarate in questi progetti sono quindi sommabili ad una sigla di CSN2 per il computo dei CF.
- A queste vanno aggiunte anche quelle riportate nella tabella che segue, discusse ed approvate dalla CSN2

| Sigla CSN2 | Sigla affine | Erogatore |
|------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| AMS2 | AMBER | CSN1 | | | | | | |
| NUCLEUS | BULLKID2 | CSN5 | | | | | | |

FTE UniSS

VIRGO

- D'Urso 0.4
- Rozza 0.4
- Sipala 0.4
- Davari 0.4 (da associare)

ET

Rozza 0.2
Sipala 0.2
D'Urso 0.4
Davari 0.2 (da associare)
Cardello 0.5 (geo)
Casini 0.5 (geo)
Deidda 0.5 (economista)

Archimedes (sinergica?)

Davari 0.2
D'Urso 0.1

- Scadenze:
- 01/07/2023 - presentazione nuove proposte (tramite relativi documenti PAQ)
- 31.07/2023 - progress report (PR) per tutte le sigle CSN2 attive