

darkside

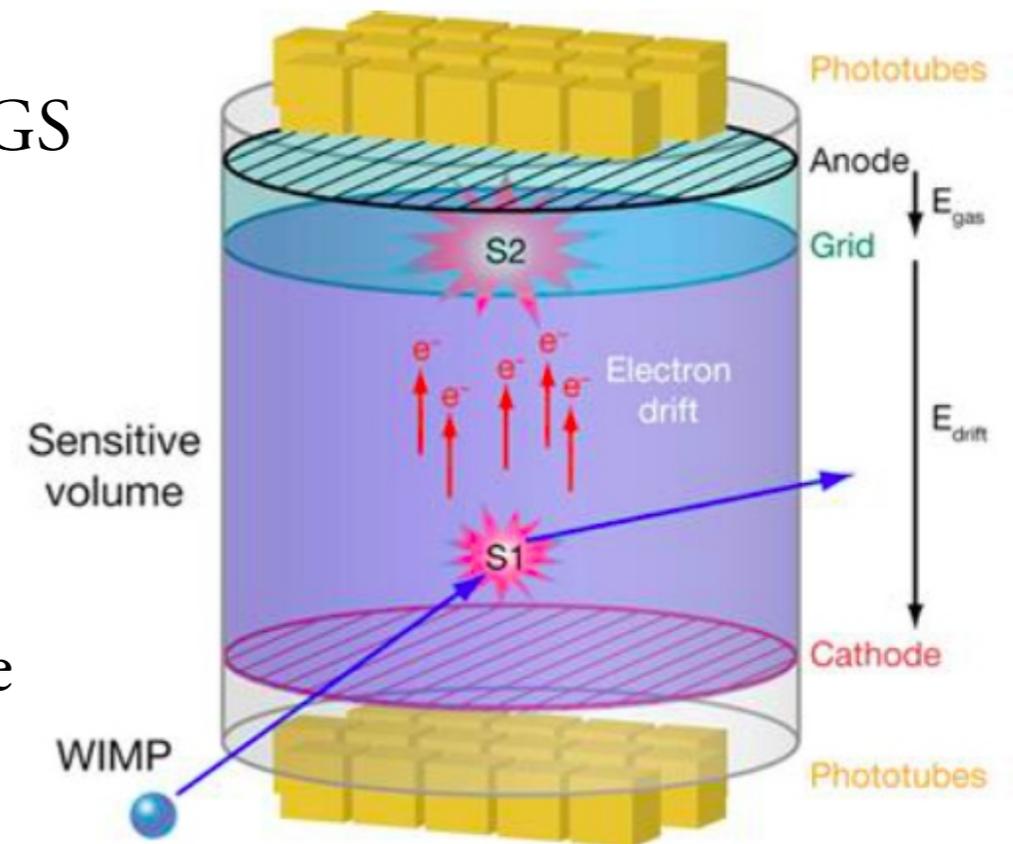
two-phase argon TPC for Dark Matter Direct Detection

Partecipazione di Pisa all'esperimento darkside



OUTLINE

- 1) Gli obiettivi di fisica di Darkside @ LNGS
- 2) La tecnologia
- 3) Programma e interessi di Pisa
- 4) Darkside 50 è in presa dati
- 5) Darkside 20k è il suo sviluppo su grande scala al momento allo studio



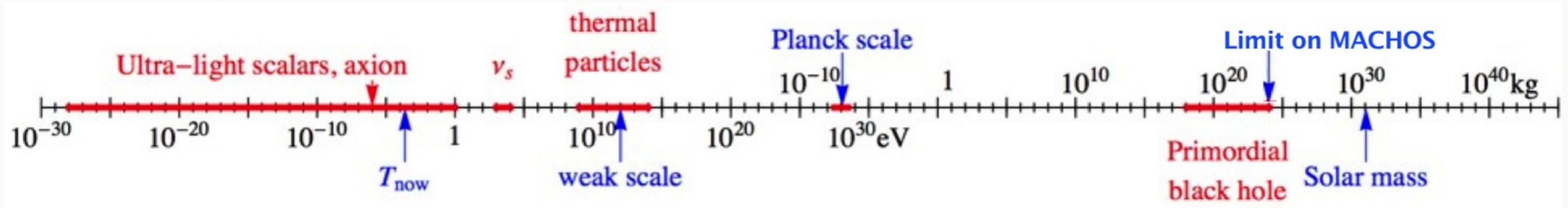
Stato Dell'Arte Sulla DM

Graciela Gelmini-UCLA

After 80 years, what we know about DM:

- Attractive gravitational interactions and stable (or lifetime $\gg t_U$)
- DM and not MOND + only visible matter (“Bullet Cluster”)
- $10^{-31} \text{ GeV} \leq \text{mass} \leq 10^{-7} M_\odot = 10^{50} \text{ GeV}$ (limits on MACHOS [astro-ph/0607207](#))
(“Fuzzy DM”, boson de Broglie wavelength = 1 kpc [Hu, Barkana, Gruzinov, astro-ph/0003365](#))
or $0.2\text{-}0.7 \times 10^{-6} \text{ GeV} \leq \text{mass}$ (for particles which reached equilibrium - depending on boson-fermion and d.o.f. [Tremaine-Gunn 1979; Madsen, astro-ph/0006074](#))

DM particle mass: 80 orders of magnitude!



LNGS, October 21, 2014

6

Darkside At LNGS

36 Ar 35.96754 0.337% Stabile	37 Ar $t_{1/2}=35$ days Radioattivo	38 Ar 37.96273 0.063% Stabile
--	---	--

Obiettivo:

- ◆ Ricerca Diretta di materia oscura (WIMP)

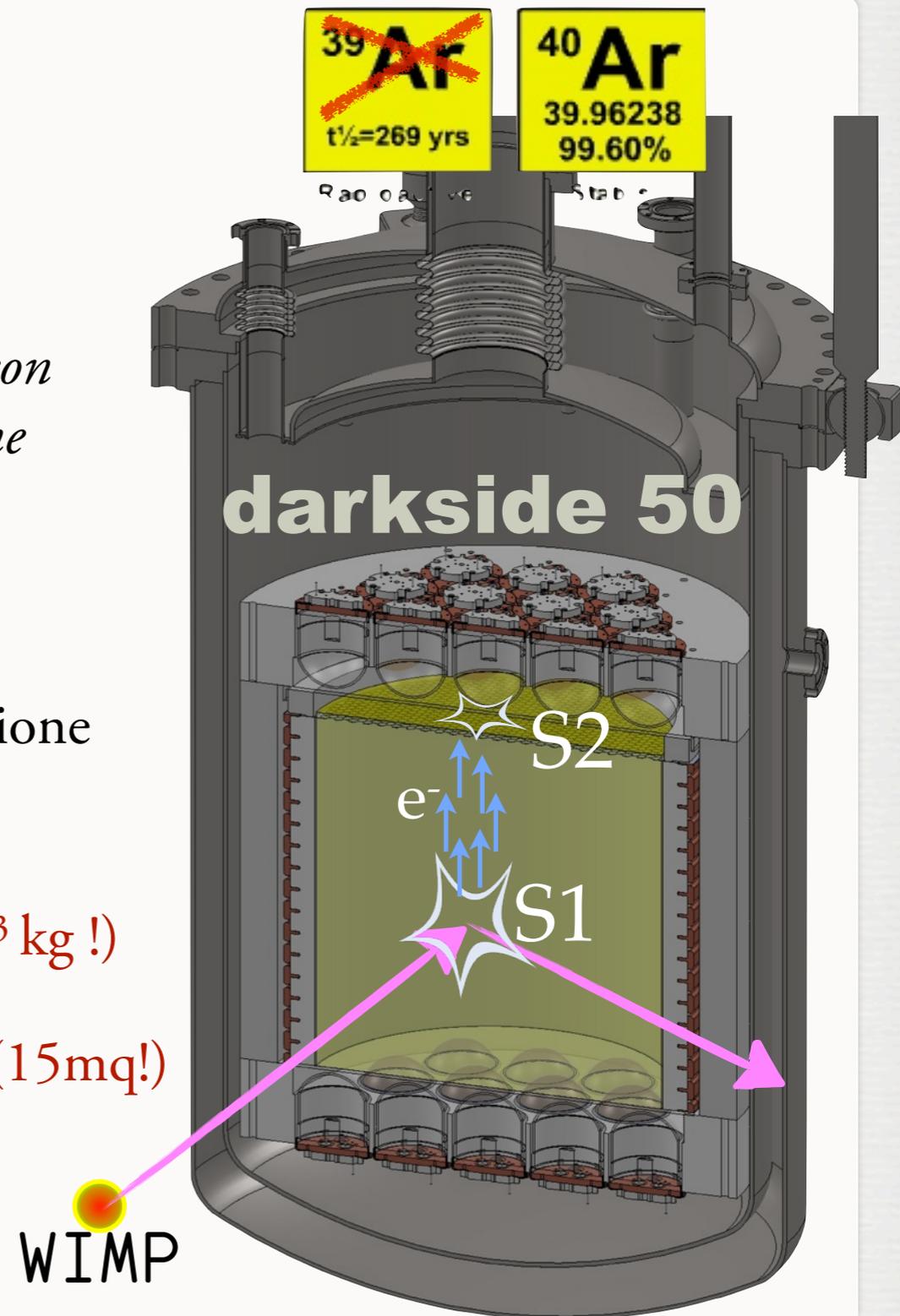
Detector:

- ◆ TPC Argon bifase (liquido + gas) di 20 tonnellate con rivelazione del segnale di scintillazione e ionizzazione

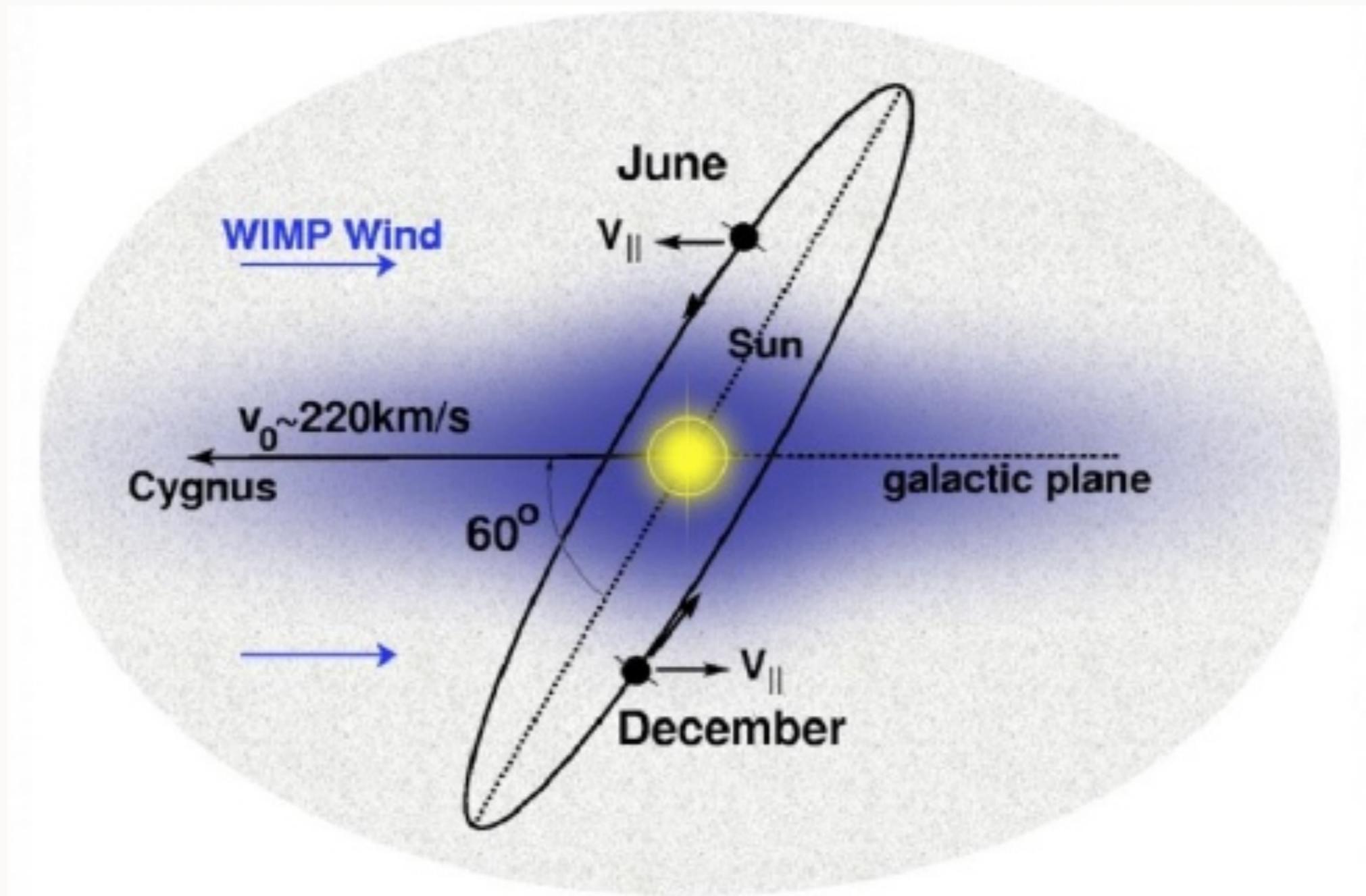
Strategia per Darkside 20k:

- ◆ Misura di segnale su fondo “assente” (diverso da DAMA che ha osservato una modulazione annuale) due nuove tecnologie:

- ◆ ~~39Ar~~ ⇒ Argon impoverito (50 kg ⇒ 30×10^3 kg !)
- ◆ ~~Sorgenti di neutroni~~ ⇒ SIPM invece di PMT (15mq!)



Ricerca Diretta Di DM.



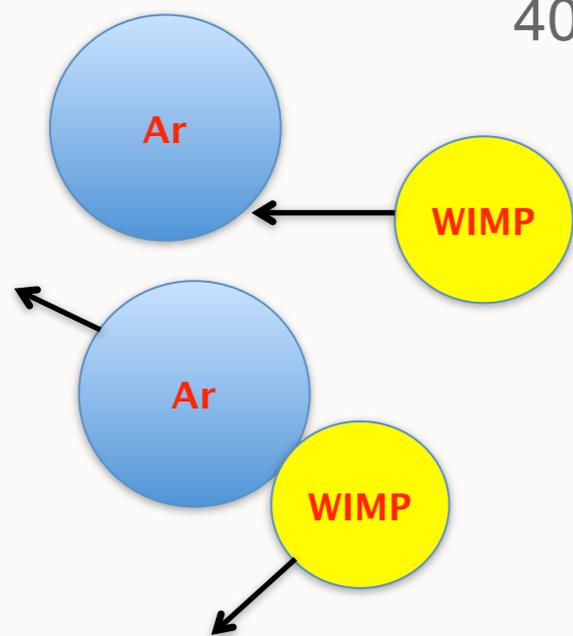
Darkside: Il Segnale

Urto *elastico* di WIMP su *nucleo* di ^{40}Ar :

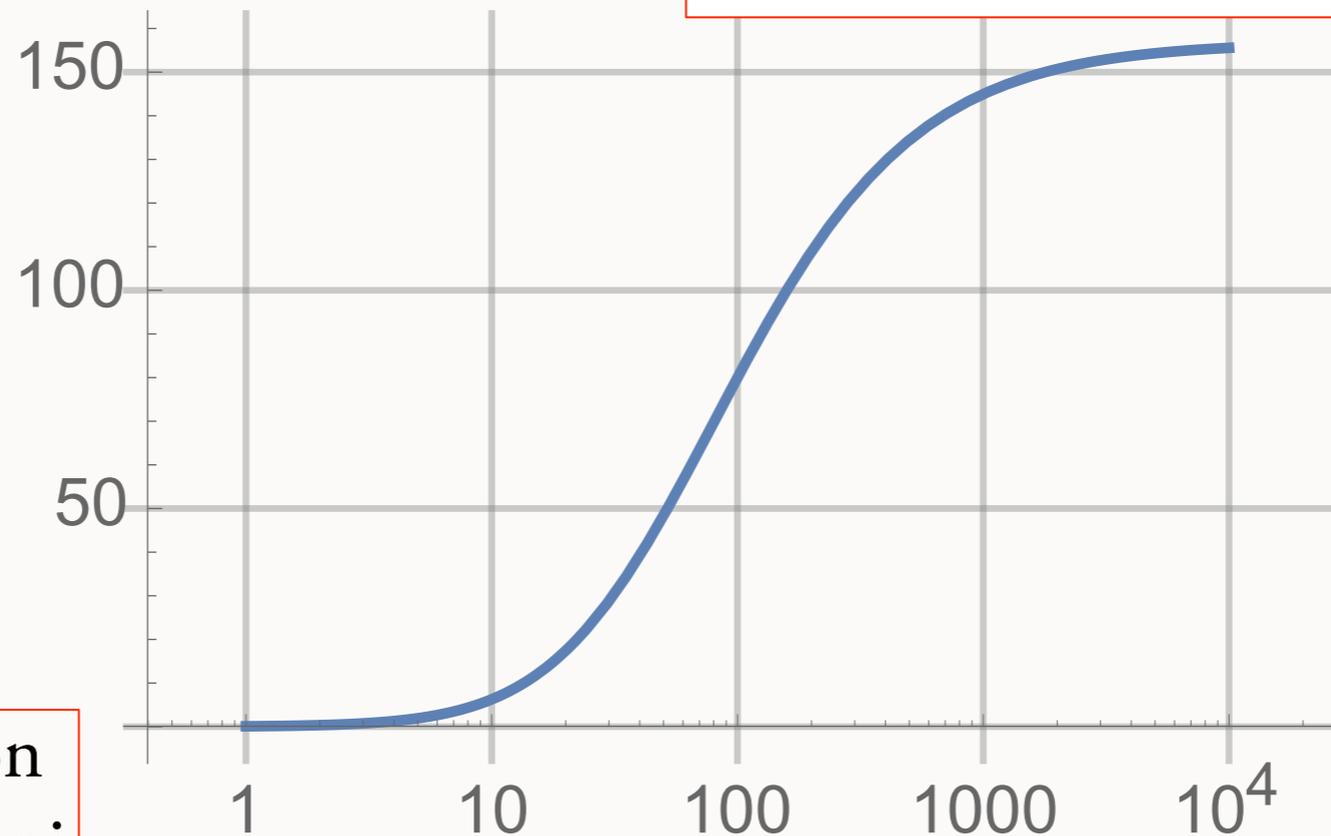
$$\langle \beta_{\text{WIMP}} \rangle \sim \frac{220 \pm 30 \text{ km/s}}{c} \sim (7.3 \pm 1.0) \cdot 10^{-4}$$

Massima energia trasferita :

$$\frac{1}{2} M_W c^2 \beta_W^2 \frac{4 M_W M_{\text{Ar}}}{(M_W + M_{\text{Ar}})^2} + \mathcal{O}(\beta^4)$$



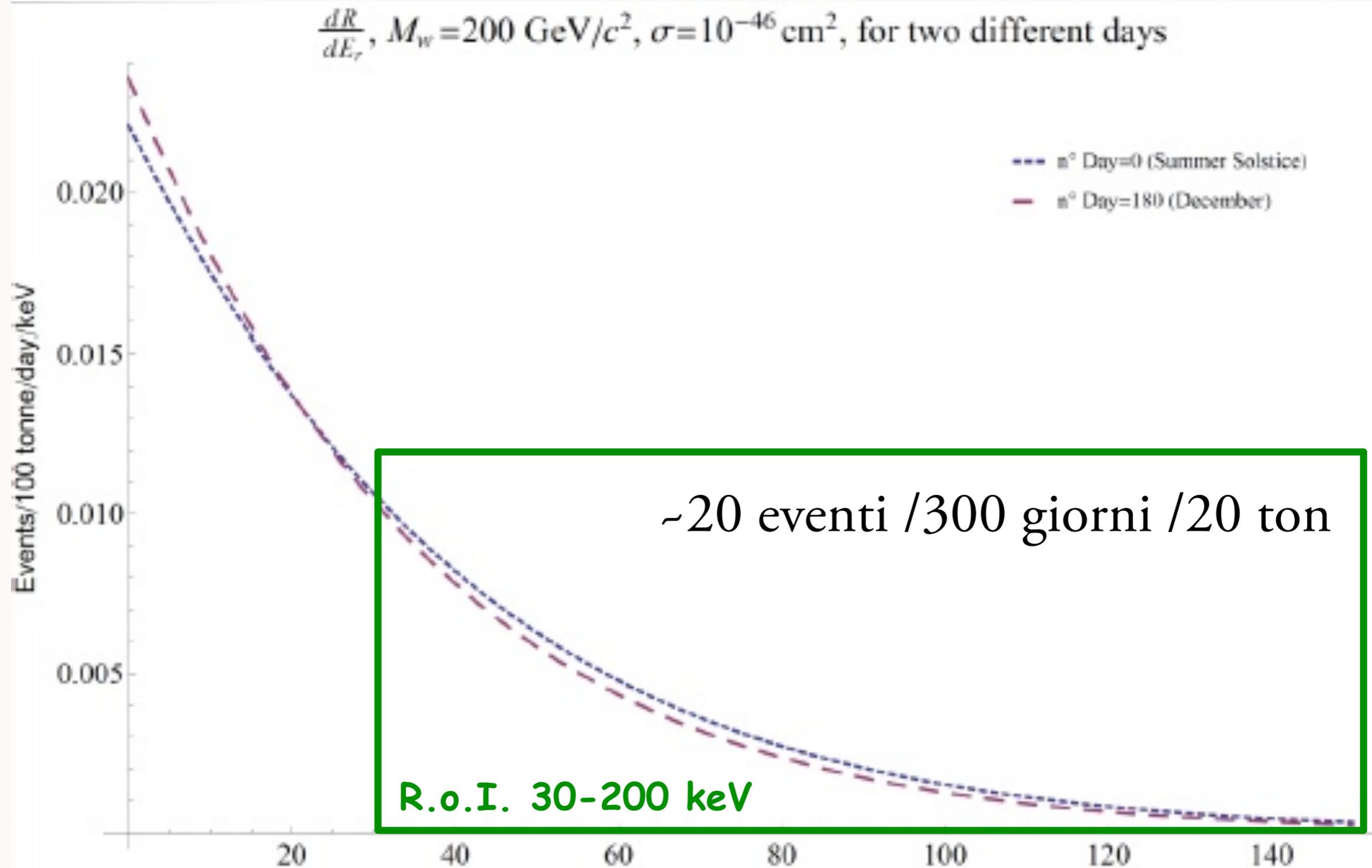
^{40}Ar Kin En (keV)



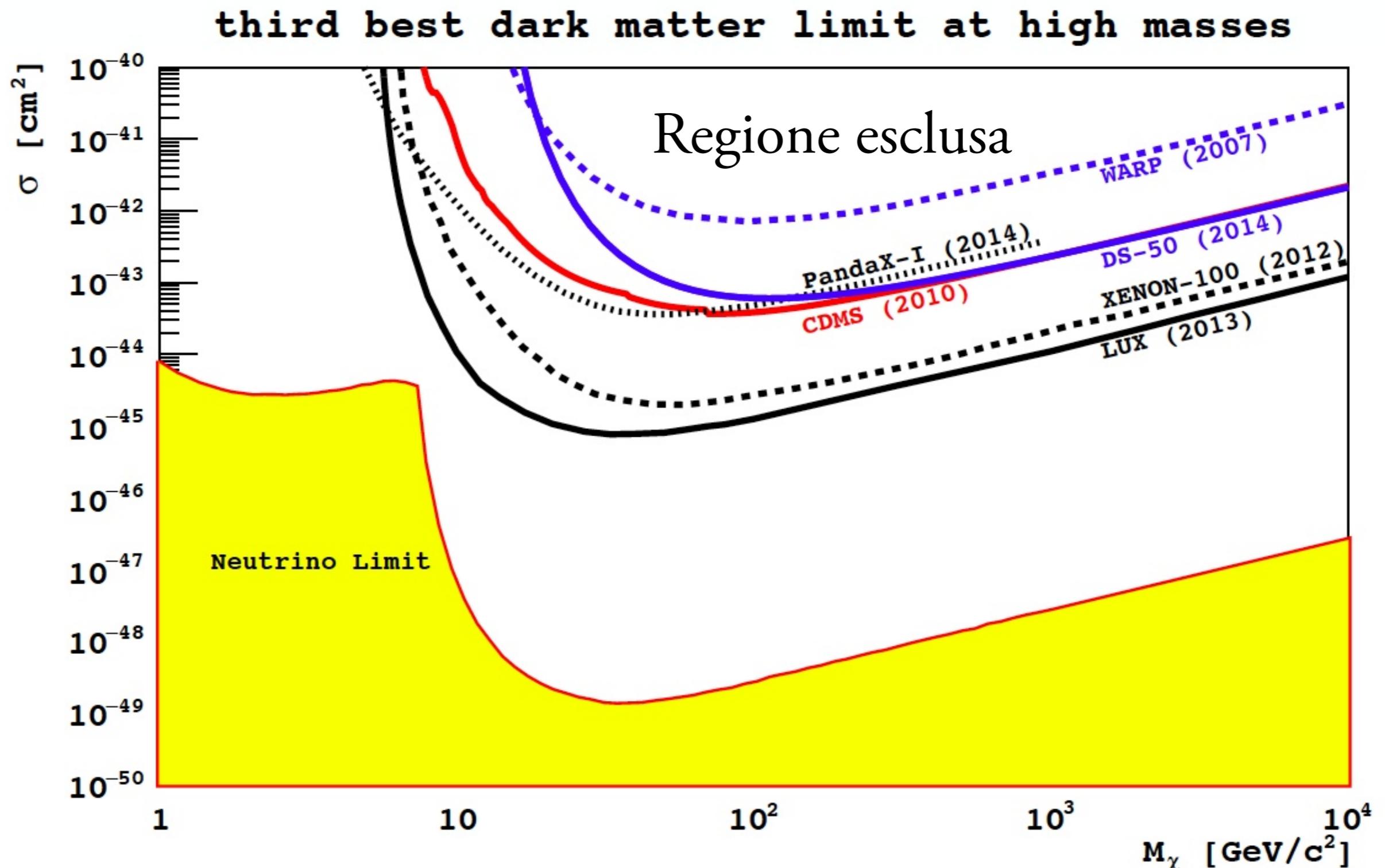
In LAr il range del nucleo è $< 100\mu\text{m}$, **direzionalità** (forse) su base statistica

Segnale **simulabile** con urto elastico di neutroni

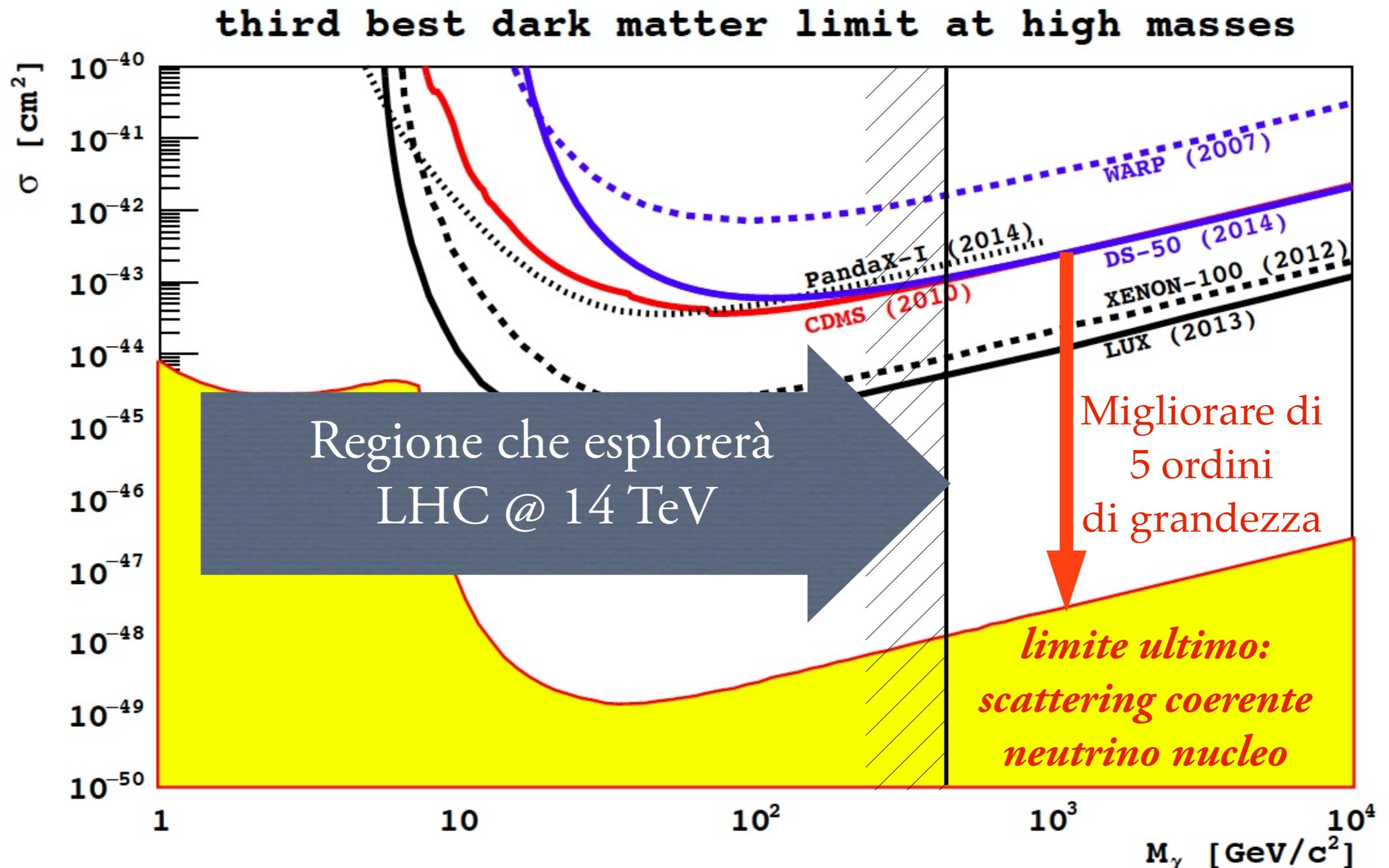
Darkside: Spettro Del Rinculo Giugno/Dicembre



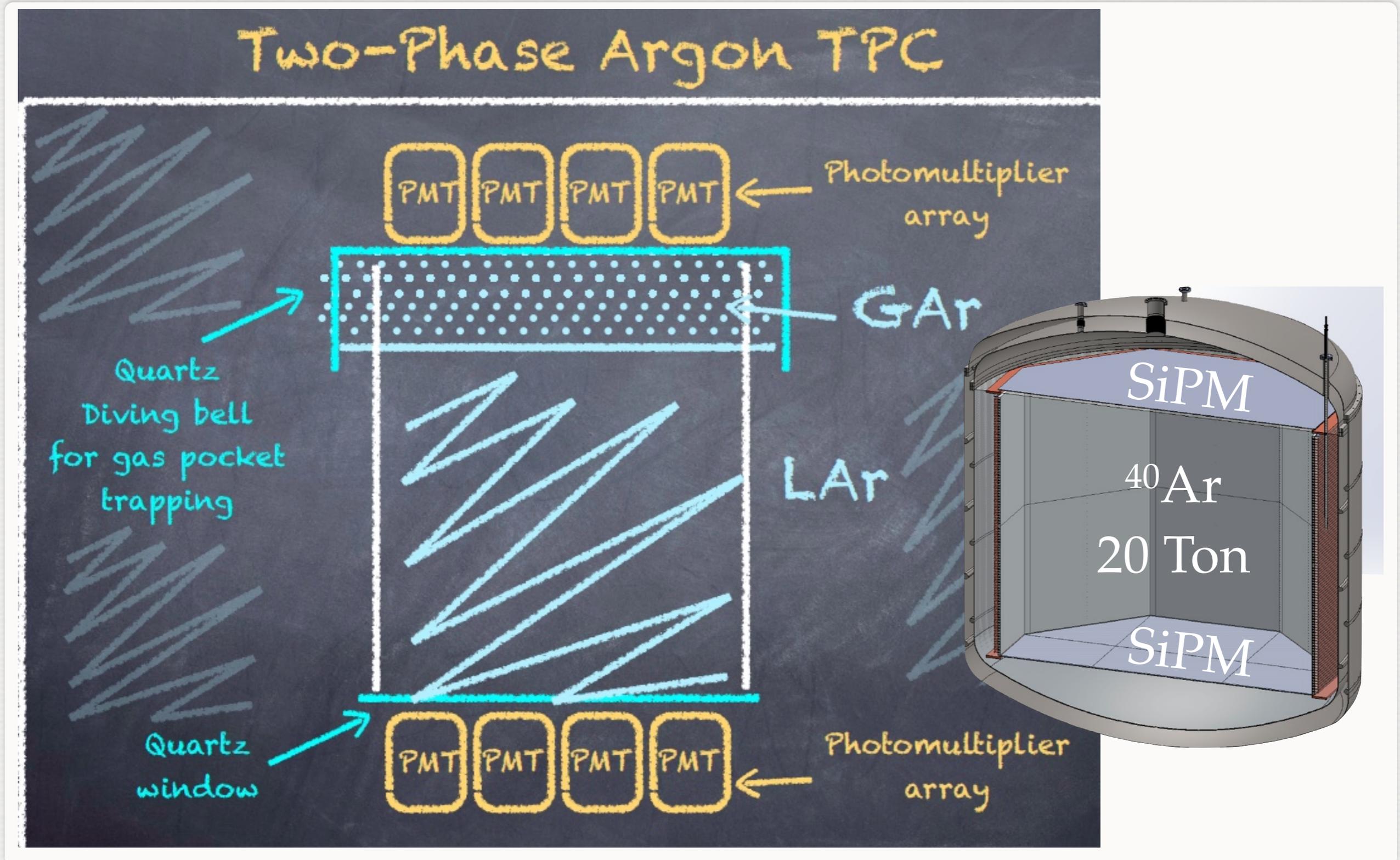
DS50: Lo Stato Attuale



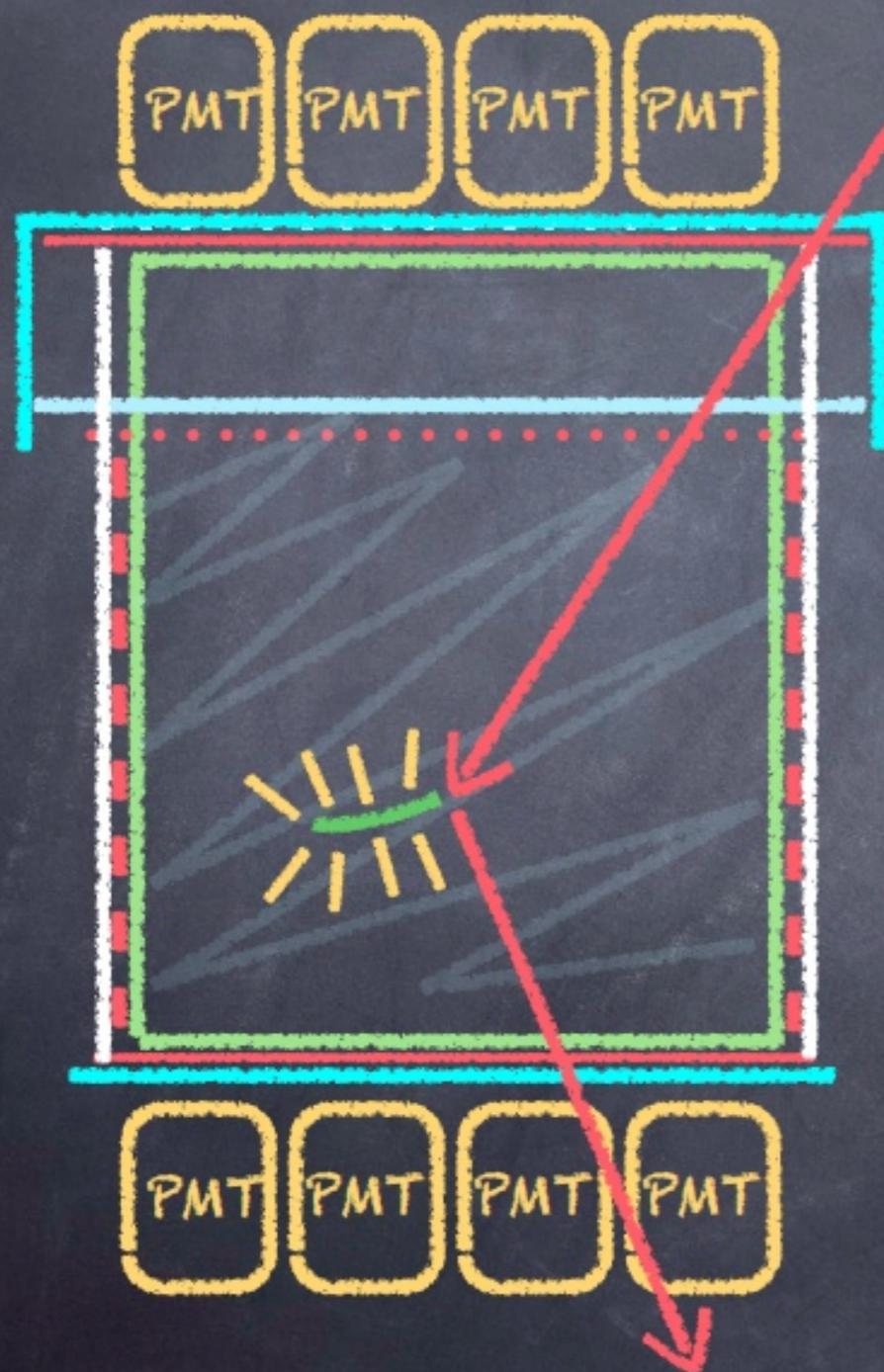
DS 20k : Obiettivo Finale



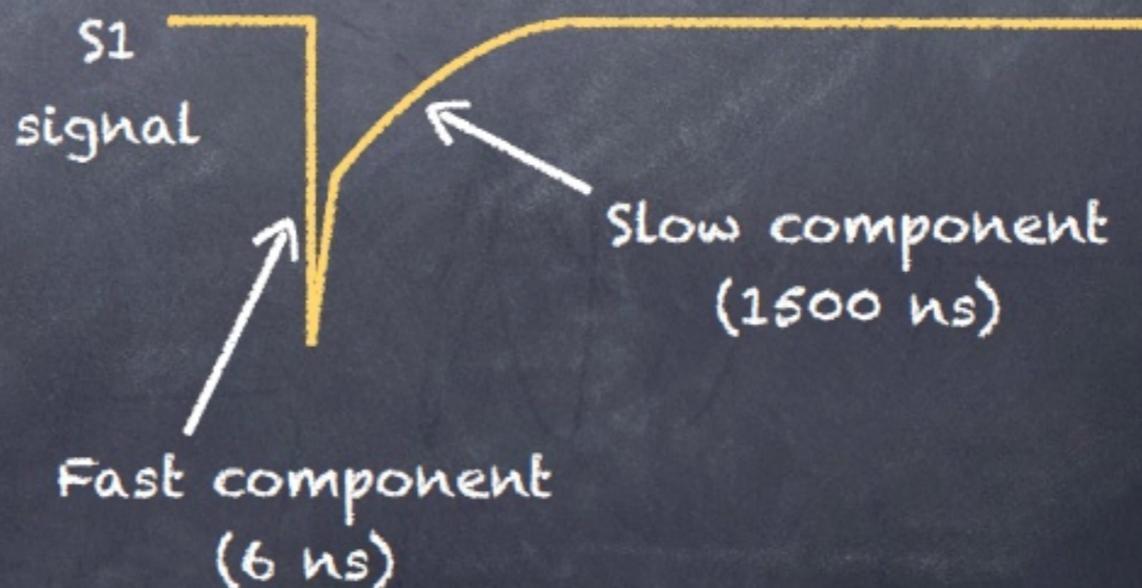
Darkside: Metodo Misura



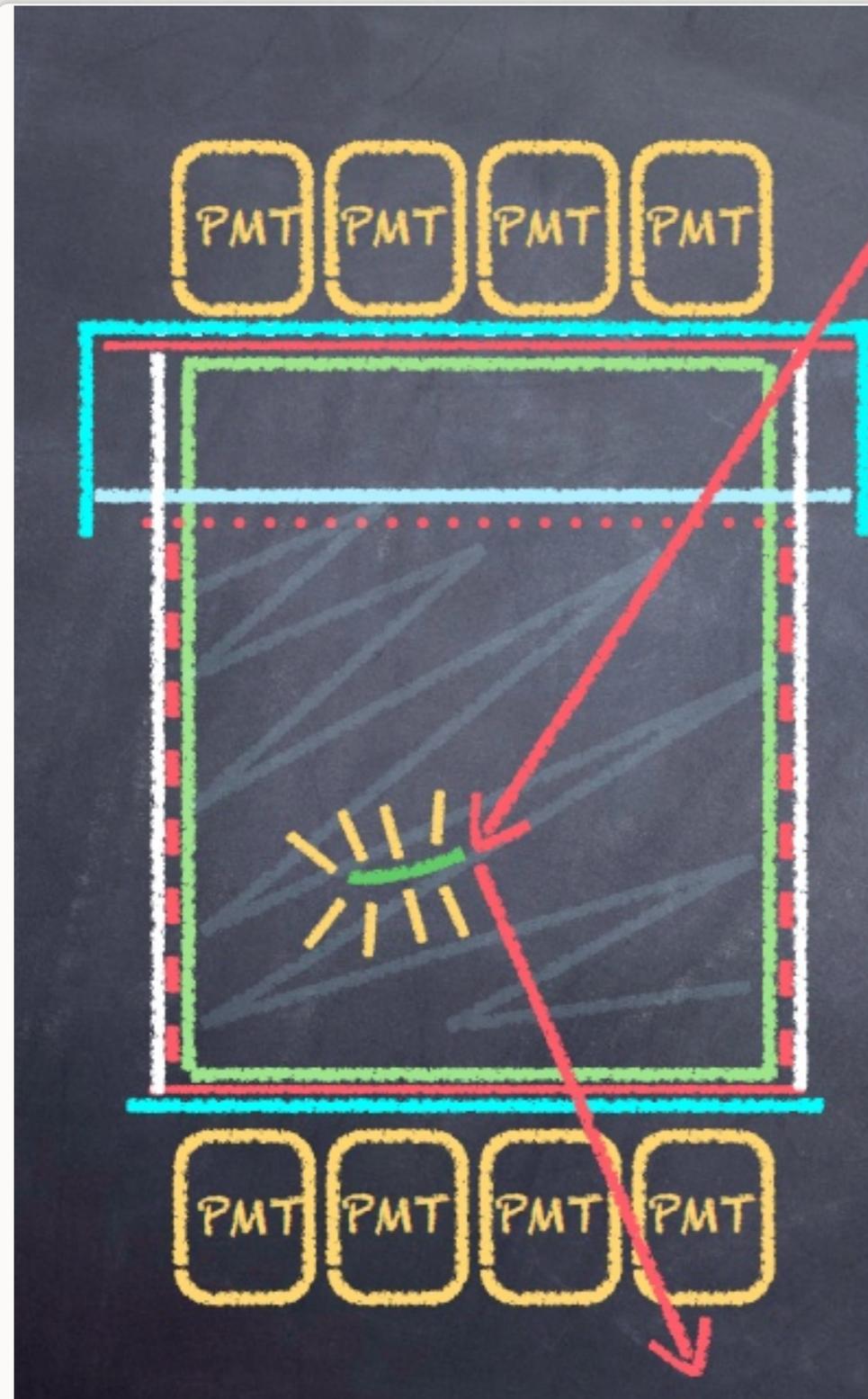
Scintillazione (Immediata)



The primary ionizing particle (nuclear recoil or electron recoil) produces ionization and excitation along its track. Excited argon dimers are formed and their de-excitation leads to the emission of **scintillation light presenting a fast and slow component** (associated Ar_2^* singlet and triplet state) whose average ratio depends on the nature and energy of the ionizing particle.



Scintillazione (Immediata)



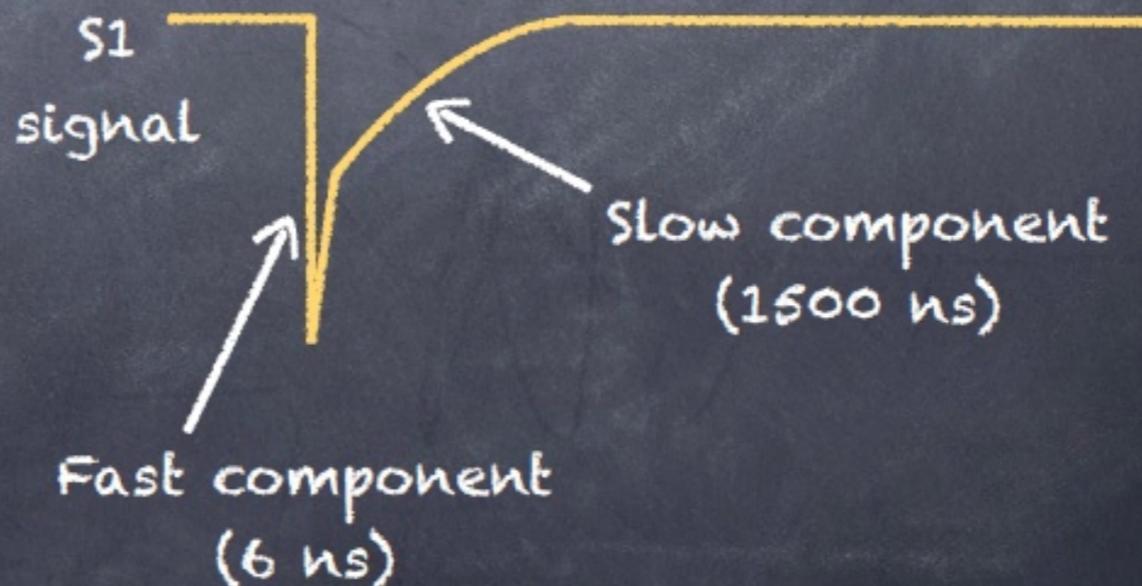
Circa **40 fotoni UV (128nm) / keV**

TMP per shift da 128 nm a ~ 400 nm

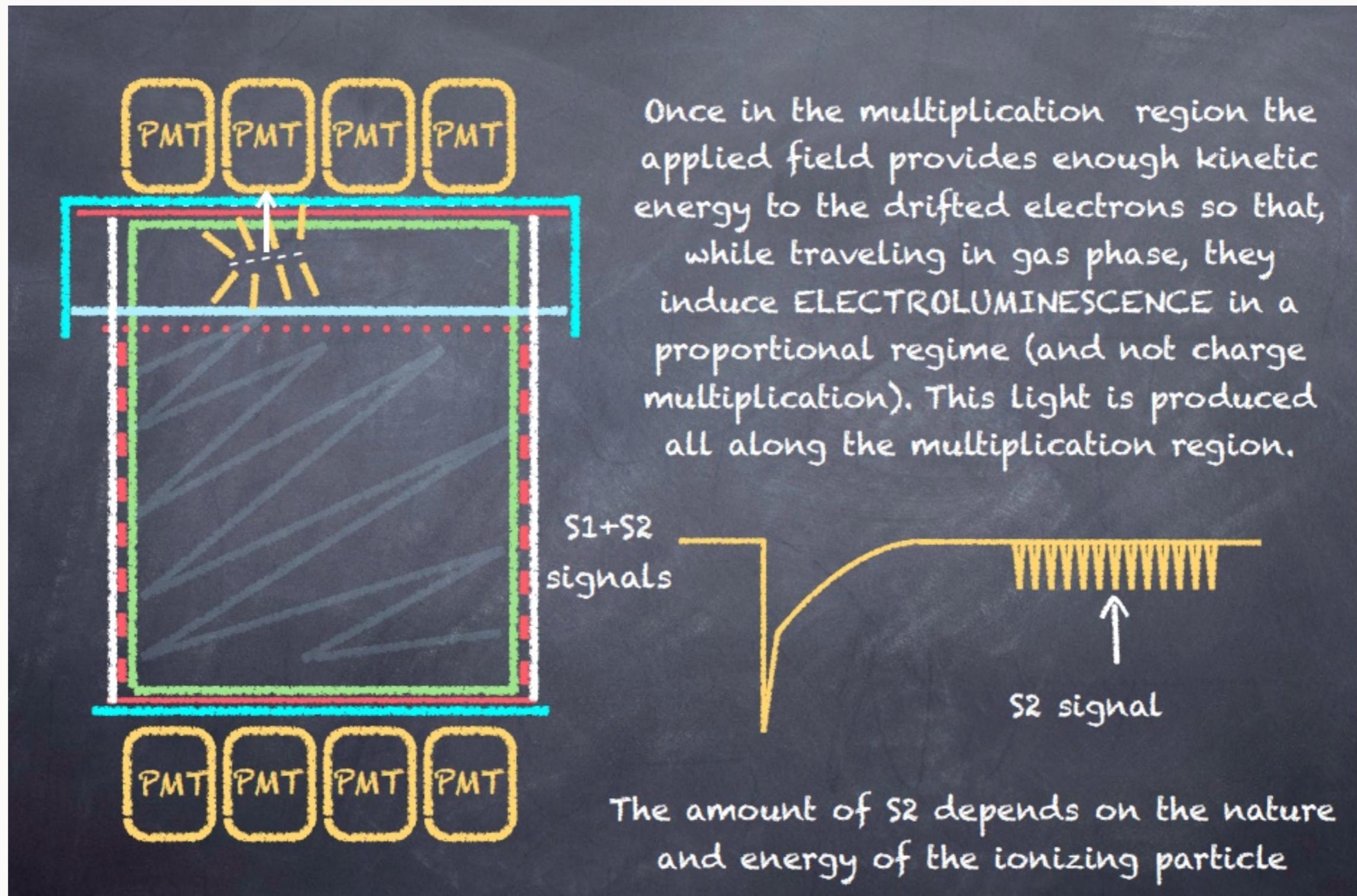
Segnale S1 con componenti fast e slow.

Fotoni visibili nei SiPM: **4.7/KeV**

Rapporto **FAST/SLOW** dipende dalla particella ionizzante (nucleo/elettrone) \Rightarrow potente mezzo per **discriminare recoil su elettrone (i.e. fondo da neutrini)**



Ionizzazione (TPC) Ritardata

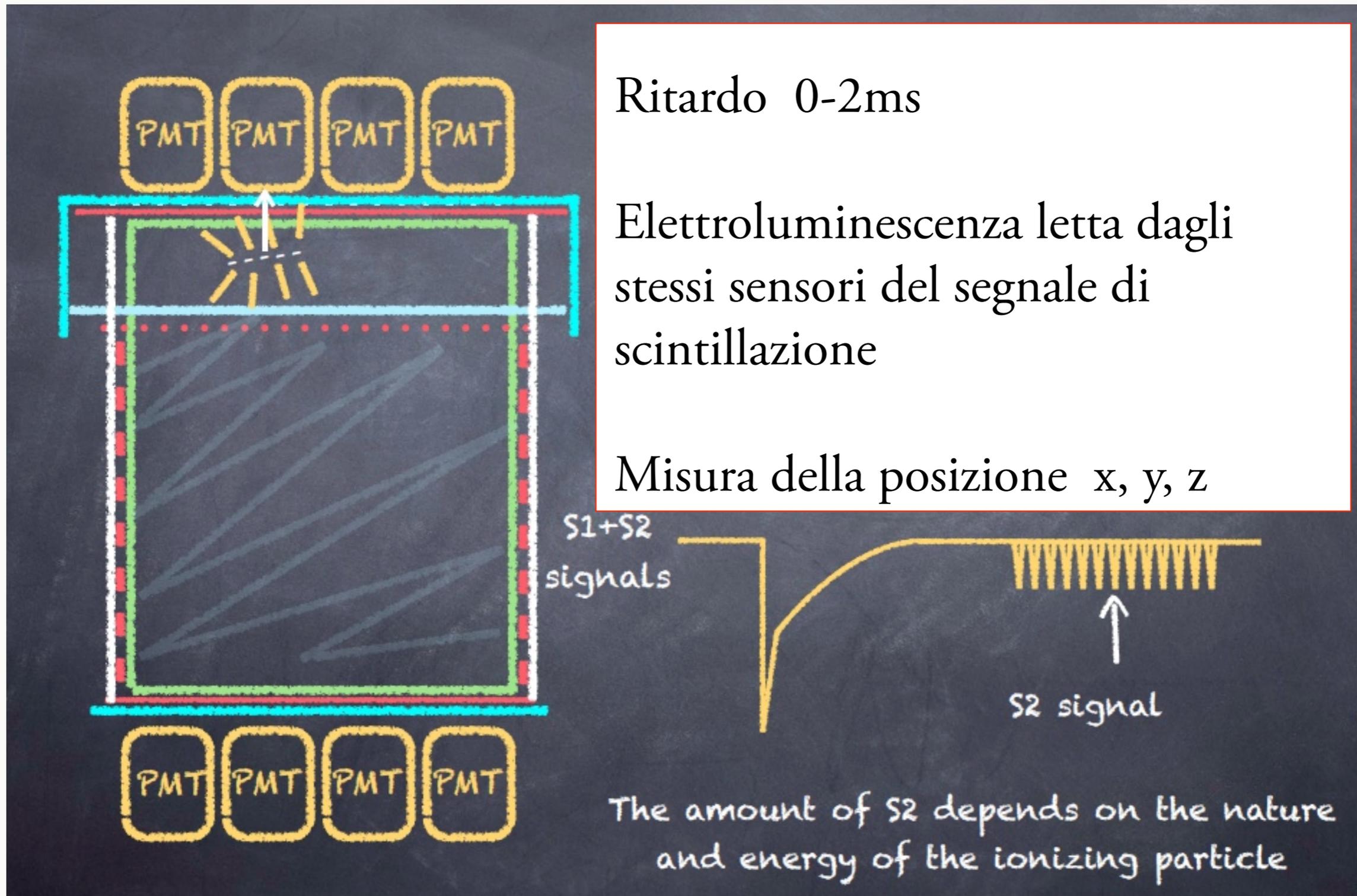


Ionizzazione (TPC) Ritardata

Ritardo 0-2ms

Elettroluminescenza letta dagli stessi sensori del segnale di scintillazione

Misura della posizione x, y, z



Darkside 20k – Fondi

Scattering elastico di neutrini solari pp su elettrone:

- ◆ Stimati 200 eventi/ton./anno nella ROI 30-200 keV \Rightarrow 80,000 eventi di background \Rightarrow reiezione $\beta/\gamma > 10^5$
 - ◆ No problem (!) si pensa di fare meglio di $> 10^7$ (FAST/SLOW)

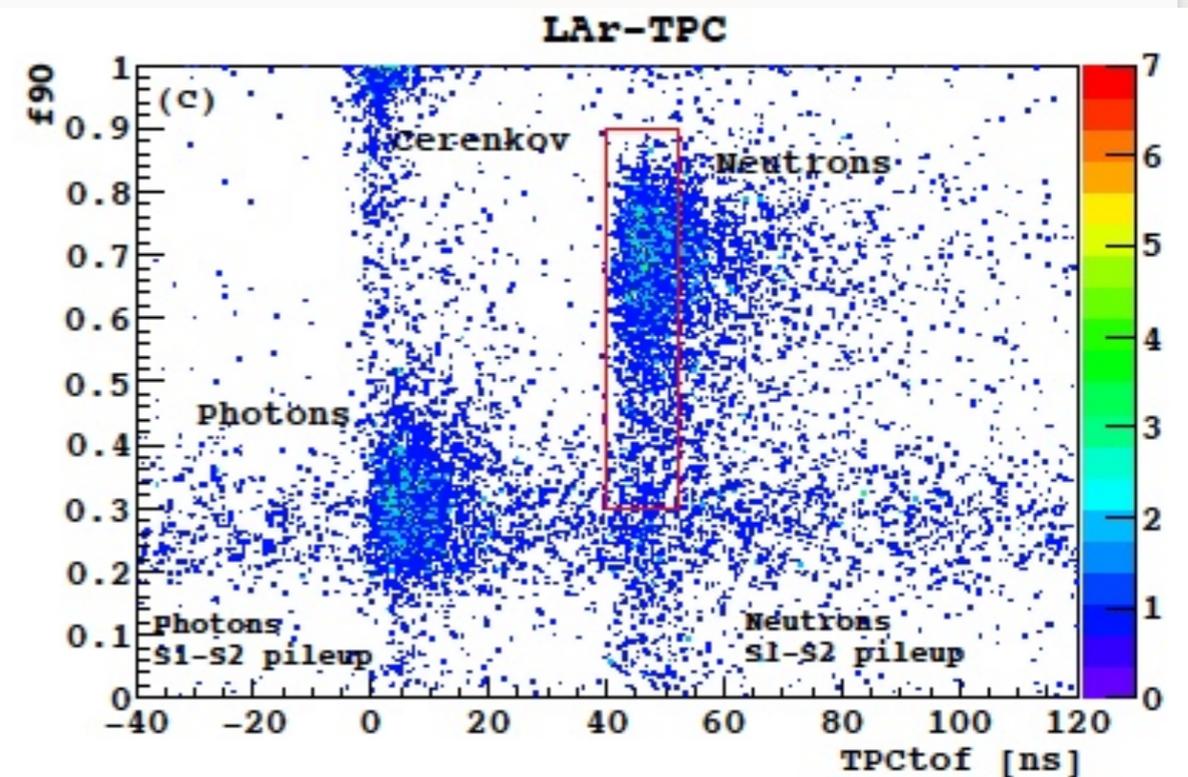
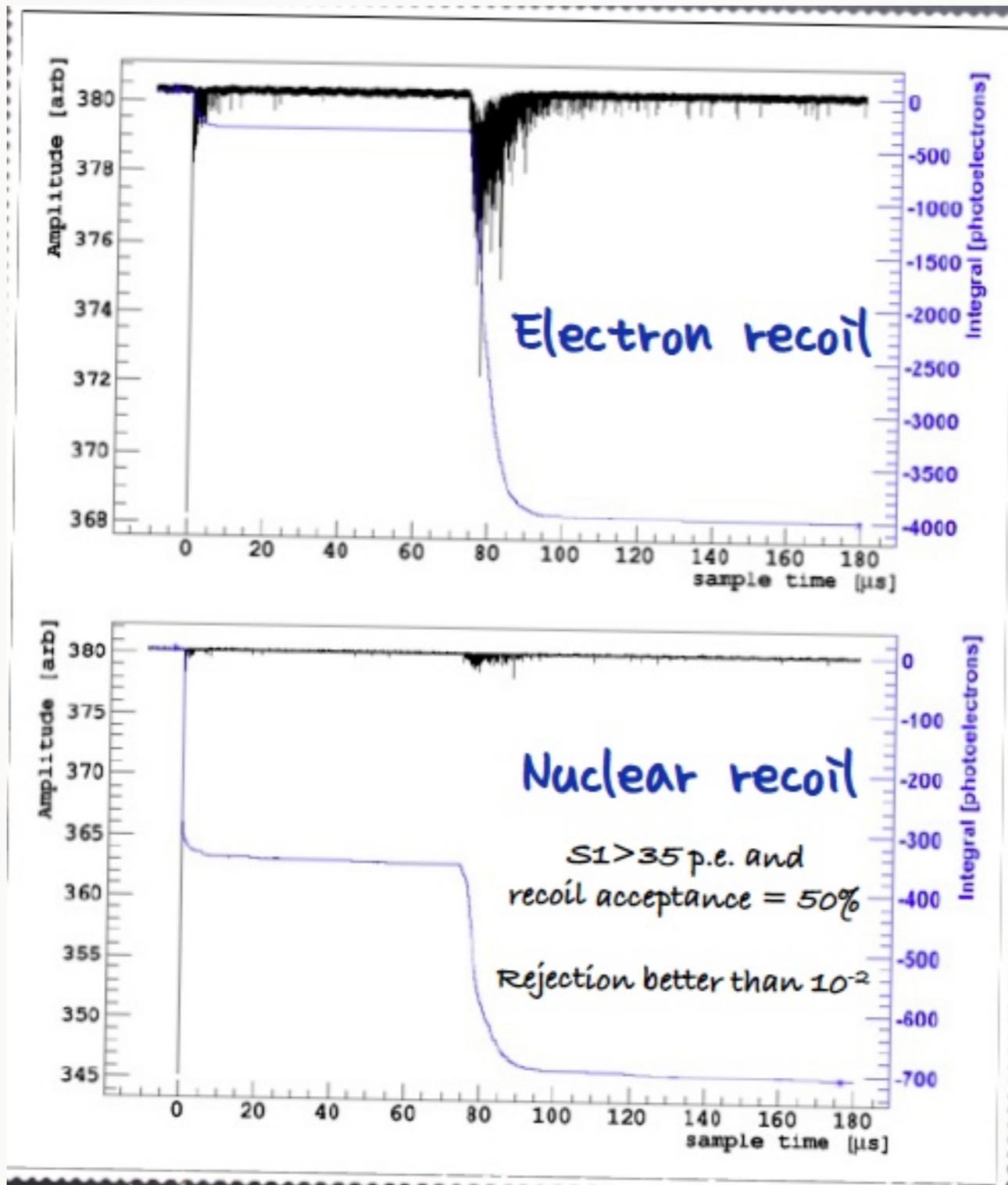
Decadimento β ^{39}Ar ($T_{1/2} \sim 269$ anni, $Q = 565$ keV)

- ◆ Darkside 50 usa Argon da miniere sotterranee impoverito UAr
- ◆ Per Darkside 20k progetto premiale “Urania” – in corso \Rightarrow nuovo impianto distillazione (accordo con CarboSulcis)
 - ◆ Anche qui la discriminazione FAST/SLOW permette di rigettare questa classe di eventi

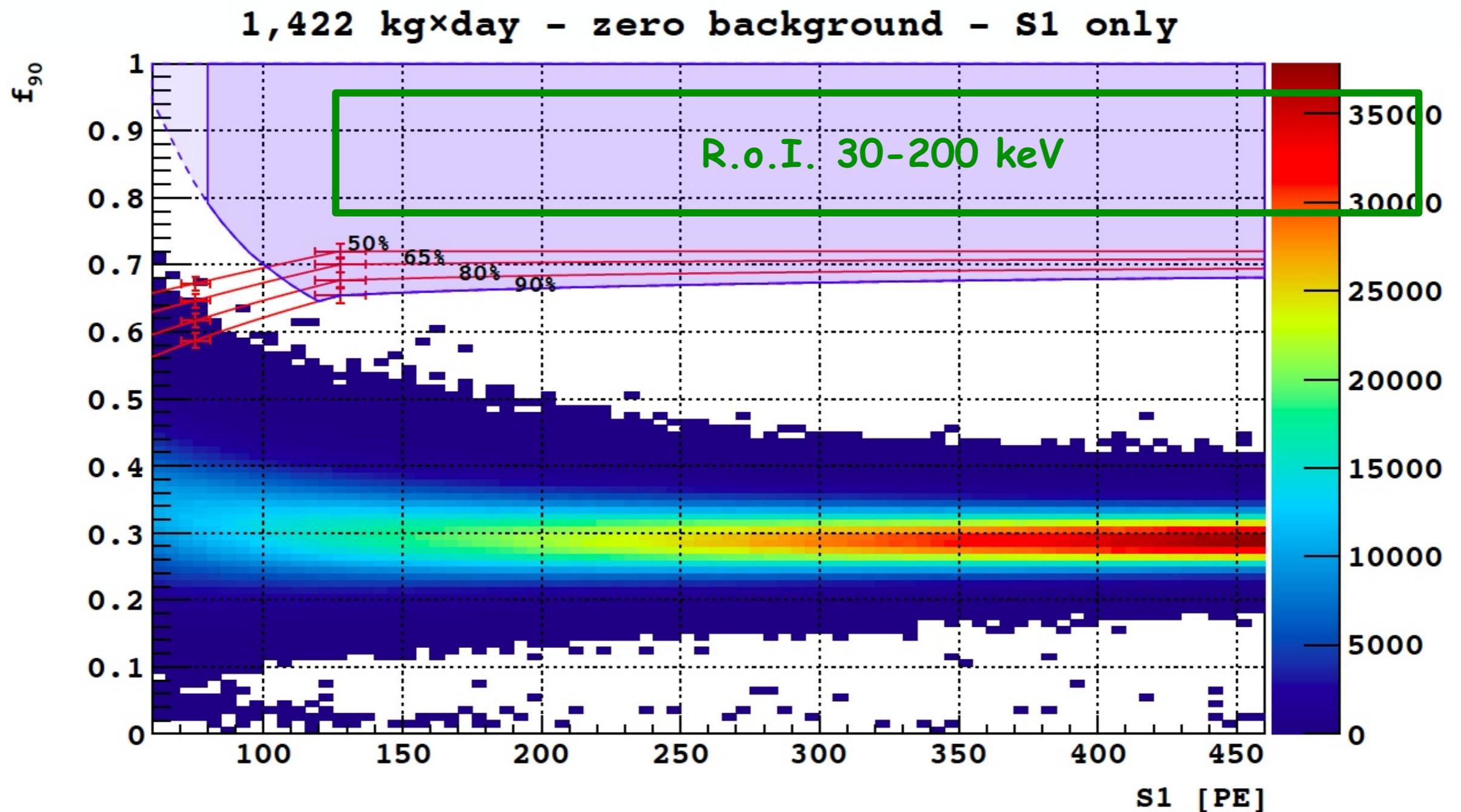
Fondi da contaminazioni (U, Th, Rn, ...beta),

- ◆ ridurre materiali contaminanti (nei PMT, nel criostato, etc... etc...)
- ◆ volume fiduciale

Soppressione Dei Fondi

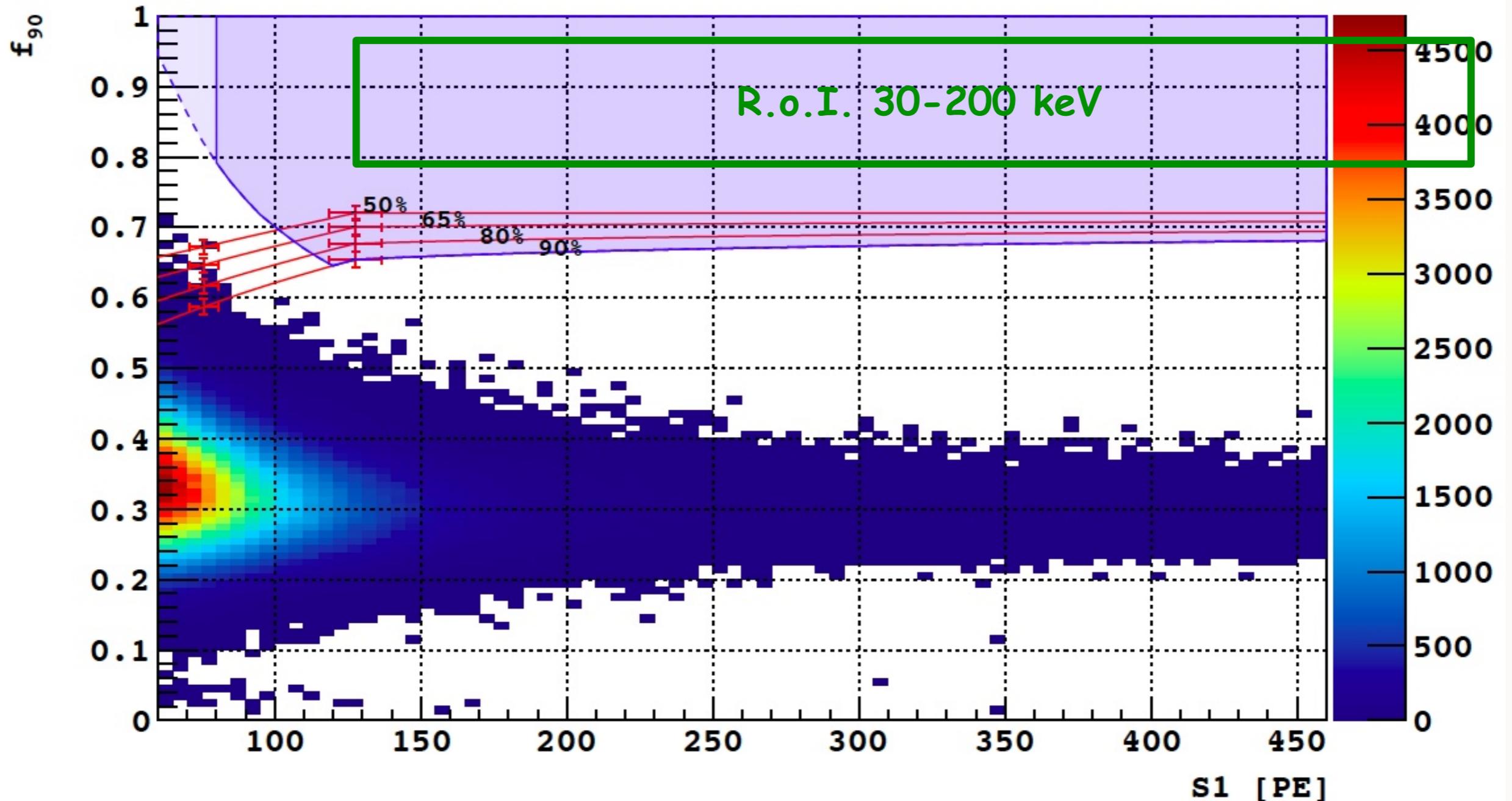


Reiezione Fondi: S1



Reiezione Fondi S1 & S2

same data with S2 and radial cut



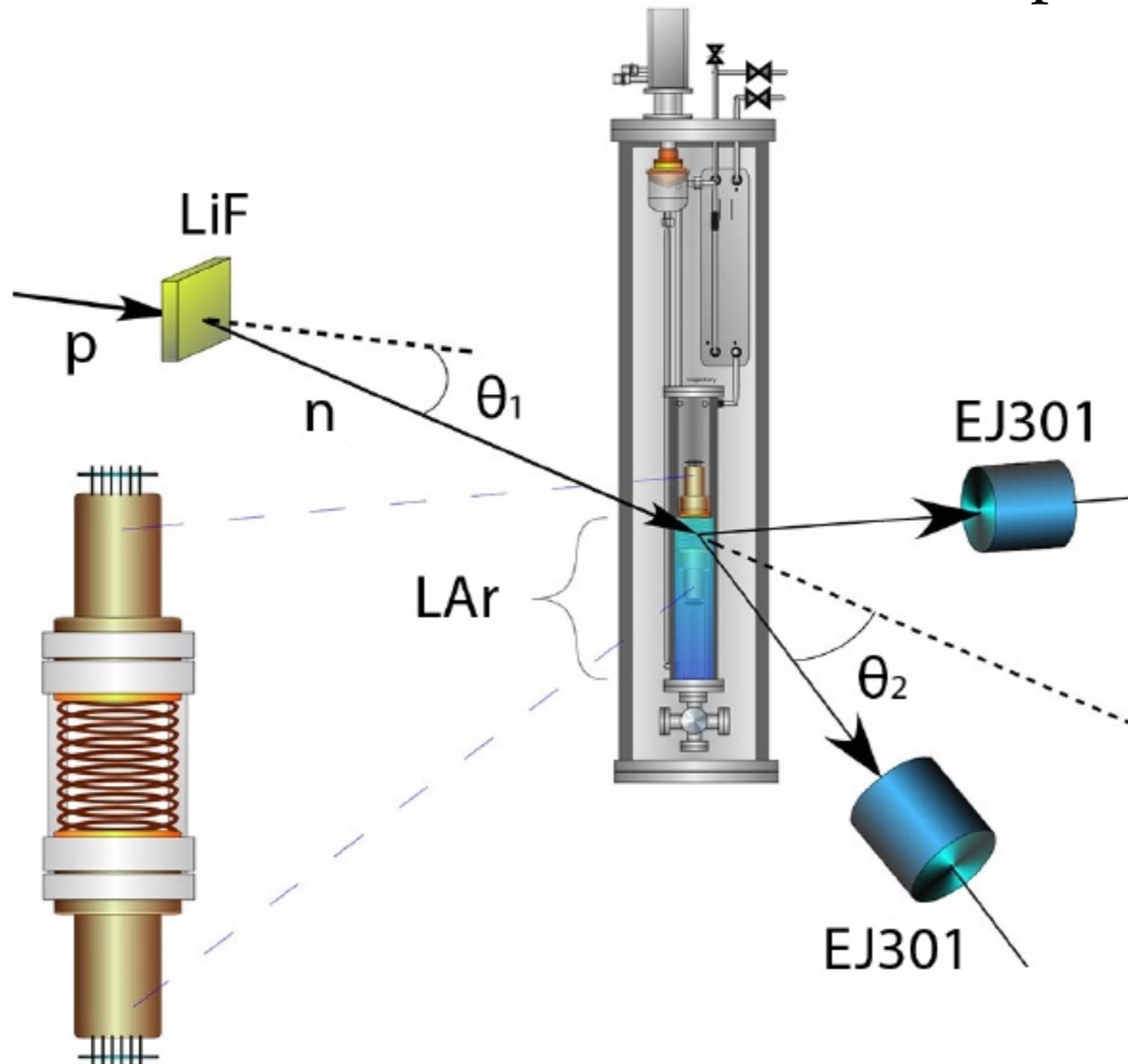
Sulla Base Di Quanto Ne Sappiamo Oggi, Darkside 20k Può Essere Background Free Al Livello Di 400 Ton Anno?

- ◆ Scattering pp neutrino-elettrone
 - ◆ Non preoccupano grazie alla discriminazione Fast/Slow della scintillazione
- ◆ ^{214}Pb da ^{222}Rn e ^{85}Kr
 - ◆ Non preoccupano grazie alla discriminazione Fast/Slow della scintillazione
- ◆ ^{39}Ar
 - ◆ Discriminazione provata al momento sui dati con un'esposizione equivalente ad una tonnellata anno equivalente di UAr
 - ◆ Nessuna deviazione dal comportamento statistico della discriminazione
 - ◆ Al momento reiezione $1 - 1.6 \cdot 10^7$ (limite statistico)
 - ◆ Con i SiPM si dovrebbe incrementare il light yield di un fattore 1.5, che consentirebbe di guadagnare altri tre ordini di grandezza in discriminazione alla stessa soglia
 - ◆ Ulteriore impoverimento dell' ^{39}Ar se necessario

SI!

Altre Cose Da Tentare?

Il metodo di calibrazione con neutroni (setup a Napoli)...



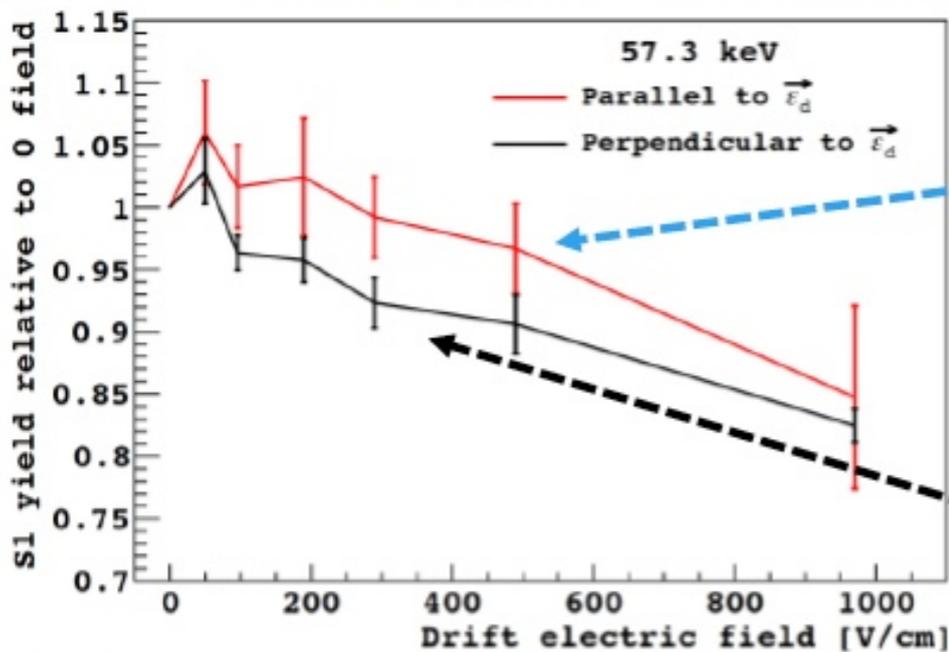
Direzionalità: Da Confermare

Si può utilizzare per studi di direzionalità!

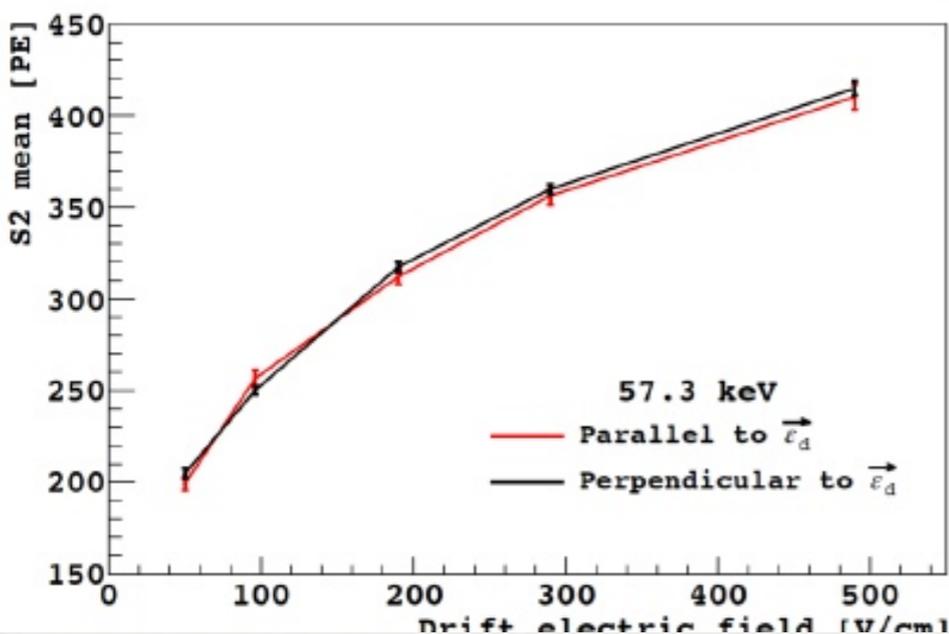
(“columnar recombination” -CR- rispetto al campo elettrico)

Columnar recombination as seen by SCENE

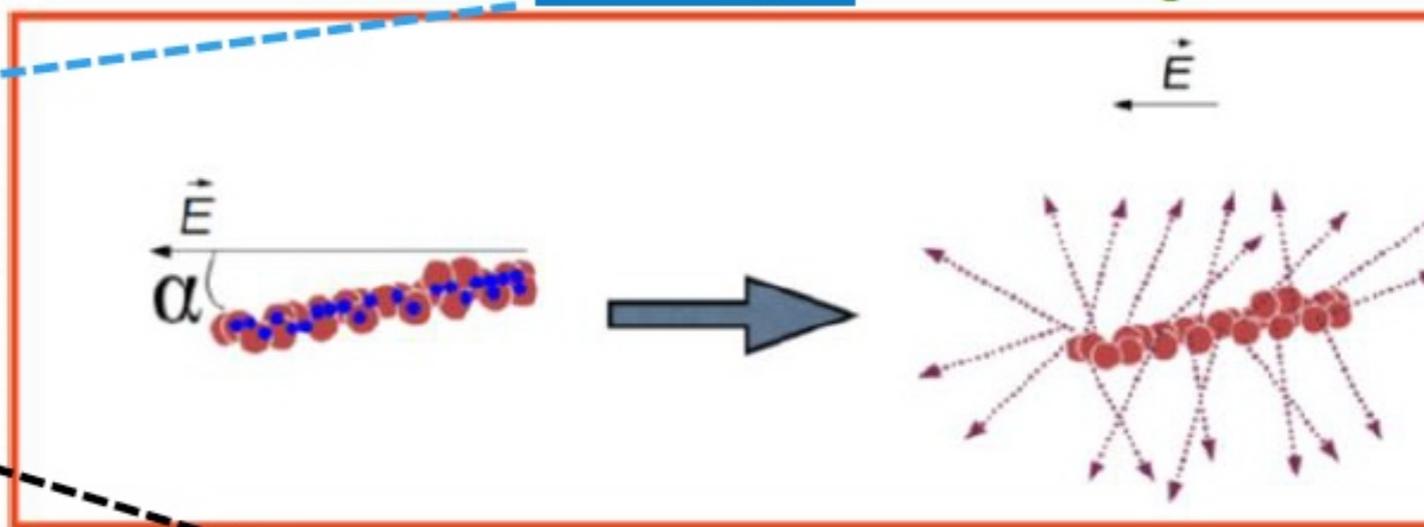
Scintillation



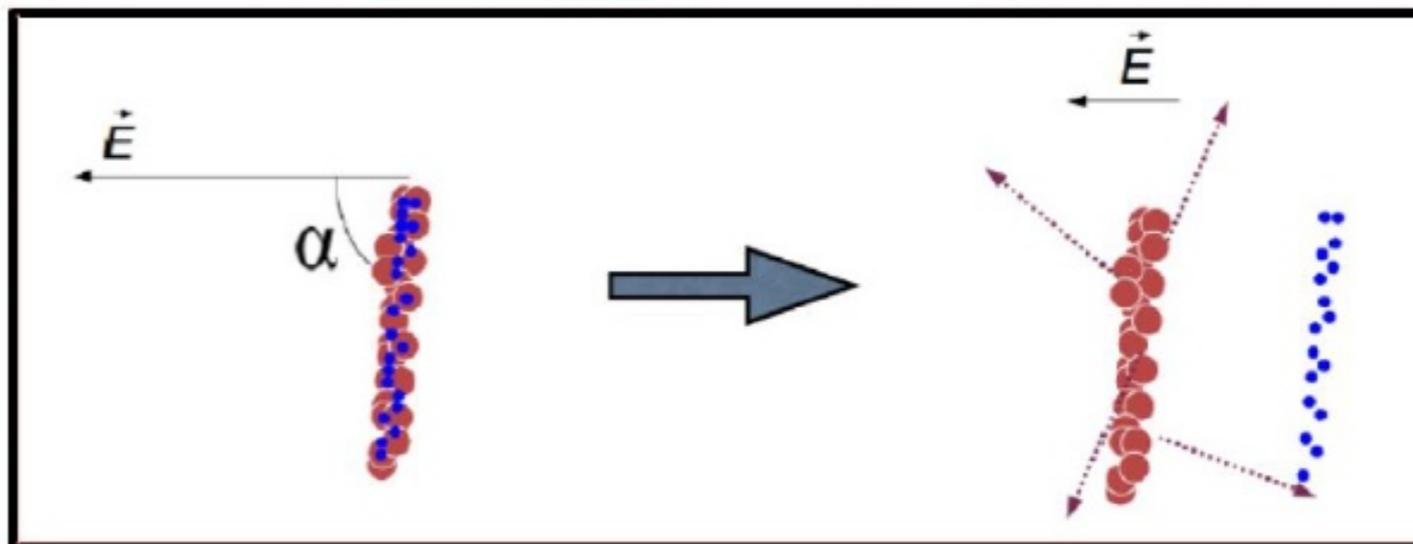
Ionization



Substantial CR: more light, less charge



CR small: less light, more charge



Darkside: Programma

DS50 fino al 2015: 50 kg AAr visto da fototubi / run ended

DS50 2015 -2018: 50 kg UAr visto da fototubi / in running ora

Aprile 2015 : LOI [ref 1] per rivelatore da 20 tonnellate

DS20k

2015-2017: R&D, prototipi, LOI -> CDR/TDR

2017-2018: costruzione

2019-2023: run di Fisica per ricerca di DM

Argo (100k)

2019-2023: sviluppi e costruzioni

2024 -> running per “*ultimate*” *DM search & neutrino physics*

La Collaborazione Darkside

Istituzioni italiane

Gran Sasso Science Institute
LNGS
Politecnico di Milano
TIFPA
Università Cagliari and INFN
Università Federico II Napoli and INFN
Università Genova and INFN
Università La Sapienza Roma and INFN
Università Milano and INFN
Università Perugia and INFN
Università Roma 3 and INFN

Istituzioni estere

APC Paris
Augustana College
Belgorod National Research University
Black Hills State University
CIEMAT
ETH Zürich
Fermilab
Houston University
IHEP Beijing
IPHC Strasbourg
Jagiellonian University
JINR
Kurchatov Institute
PNPI Saint Peterburg
LPNHE Paris
PNNL Washington State
Princeton University
SINP MSU
Temple University
UC Davis
UCLA Los Angeles
UMass Amherst
Universidade Estadual de Campinas
University of Hawaii, Virginia tech

DS20k - Verso il CDR/TDR

Progetto globale

- ◆ MC in fase di costruzione

Meccanica & criogenia

- ◆ in progettazione, prototipi in costruzione

Argon impoverito

- ◆ iniziato con progetti URANIA (INFN-US), ARIA (INFN-RS), primi 50 kg già installati a LNGS

Sipm/tile e dell'elettronica di lettura

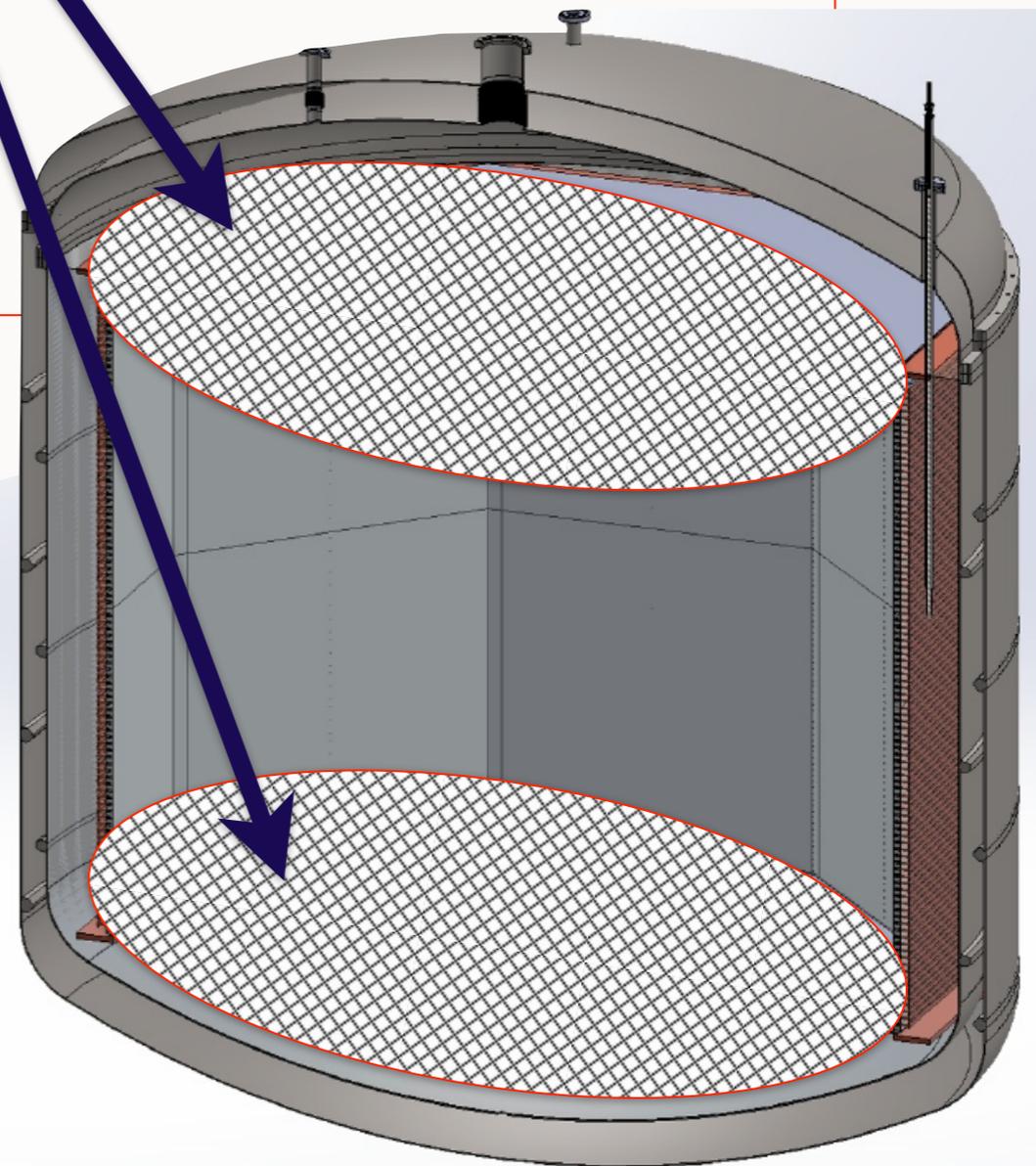
- ◆ in fase di R&D

Progetti correlati

- ◆ PET (applicazione LAr), RED (direzionalita') in corso

SiPM - Elettronica Di Lettura

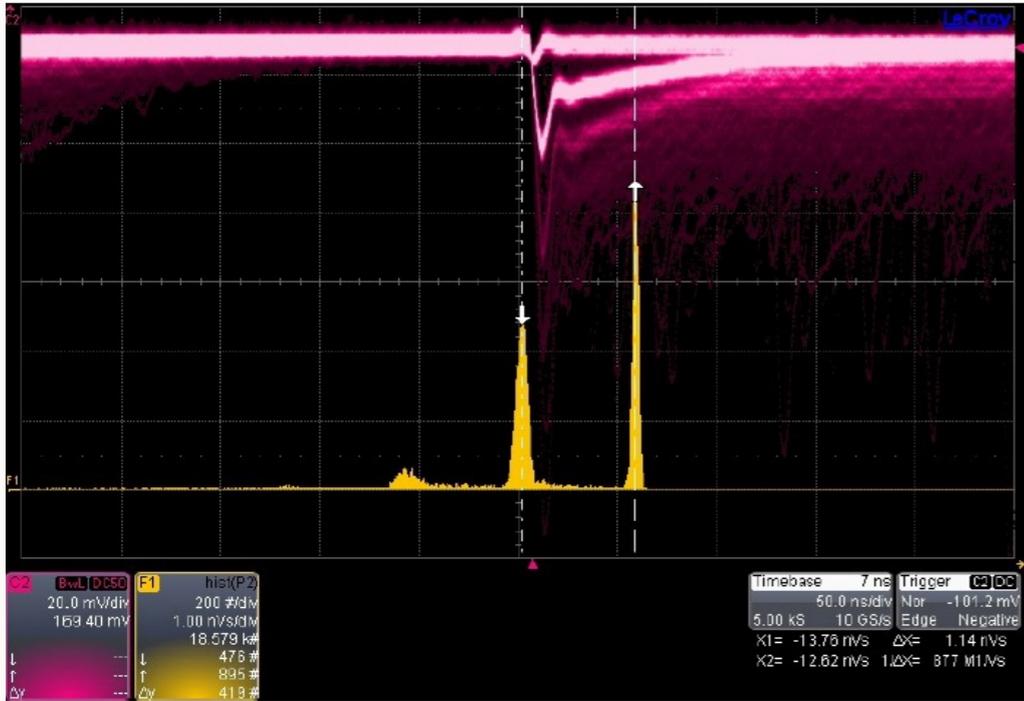
- 15 m² di SiPM \Rightarrow 5600 tiles 5x5cm² \Rightarrow ridurre di un fattore 4 ?
- Un canale di readout/tile (TBD)
- Dark rate <100Hz/cm² (better 10 Hz/cm²)
- Output analogico? Digitale? Ottico? Elettr..



Sipm - Elettronica Di Lettura

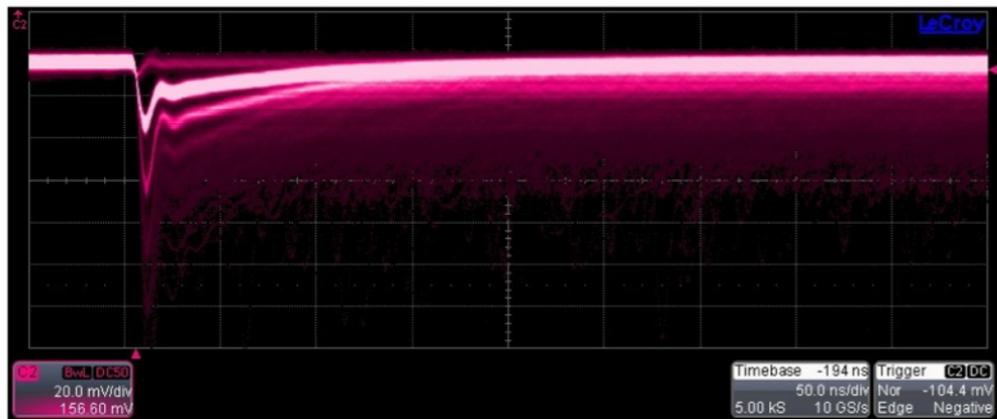
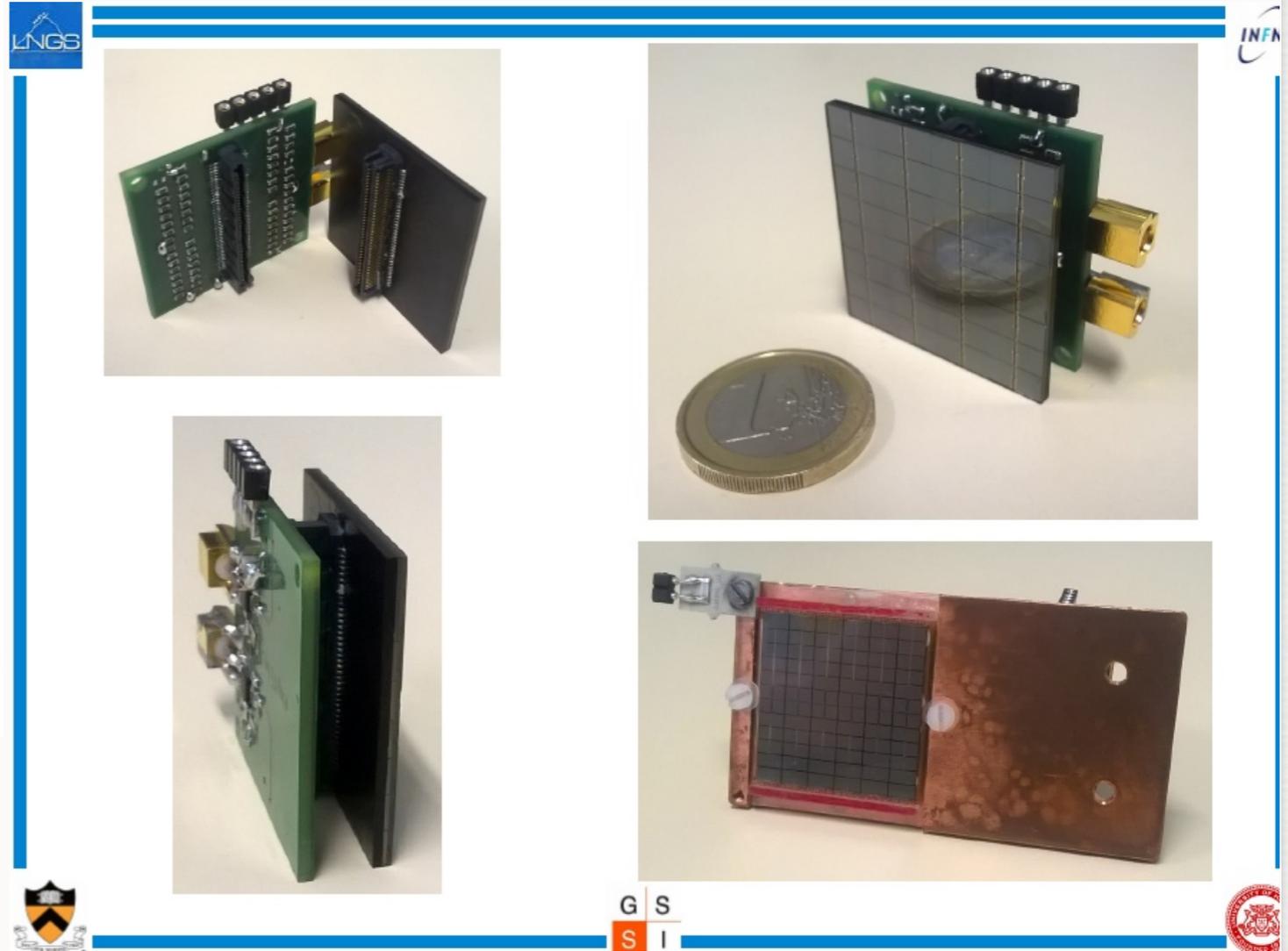
- Tile parameters
 - Typ. Capacity is around **100 pF/mm²**
 - SiPM can be 4x4 up to 10x10 mm
 - Dark Noise **Goal ~ 1 cps/mm²**
 - Design goal for tile is 50x50 mm
 - ~5600 tiles needed with the proposed detector

SiPM & Tiles Prototipi Di Test



Pre-amplifier gain 250 V/A
Warm amp gain 25 V/V

- Gain: 1.14 nVs → 1.1 10⁶
- Noise: 30 pVs → 3 10⁴



Partecipazione Di Pisa - Motivazioni

Campo di ricerca *molto promettente* dal punto di vista:

- ◆ della Fisica fondamentale (DM, neutrini)
- ◆ delle tecnologie di rivelazione (SiPM & Argon liquido) con tecniche criogeniche
 - ◆ Valori aggiunti: applicazioni, didattica

Inserimento in *attività core INFN presso uno dei LN*, dove Pisa ha partecipazioni limitate

Clean room di Pisa: utilizzazione 2017 - 2019

Partecipazione Di Pisa : Attivita'

- Partecipazione allo studio del progetto SiPM
- Analisi di fisica e delle calibrazioni con Napoli (direzionalita')
- ◆ *2016 [primi sei mesi]* Partecipazione alle attività predette a cura di un gruppo di senior, con l'obiettivo di arrivare a definire a giugno 2016 il gruppo DS-Pisa e le future attività in sezione
- ◆ *2016 [secondi sei mesi / SJ]* Allestimento di un laboratorio di criogenia pulita, che sia condiviso fra più gruppi
- ◆ *In prospettiva (2017, 2018, ..)* Assemblaggio e test [parziale] di tiles con SiPM

Richieste 2016

Totale in dotazioni (DTZ): 45k€

- ◆ Missioni: 12k€ (collab. meeting, test a Napoli e LNGS, run DS50)
- ◆ Consumi:
 - ◆ Set up e uso clean room 3k€
 - ◆ Materiale per allestimento lab criogenico 5k€
- ◆ Inventariabile [S], luglio]:
 - ◆ allestimento laboratorio criogenico per test, QA QC di SiPM (integrazione del materiale recuperabile da altre attività', ricognizione esatta giugno 2016) 25k€
- ◆ Alte Tecnologie: 3 m.u. + 1 m.u. Bosi
- ◆ Elettronica: si auspica fortemente il coinvolgimento di un tecnologo; 2m.u. tecnico per montaggi e set up apparato di test

Anagrafica 2016

Persona	Percentuale
G.Batignani	30%
M.G. Bisogni	20%
M.Grassi	10%
M.Kuss	30%
E.Paoloni	20%
Totale	1.2 fte

Da mettere in: dotazioni



Ti ringraziamo

per la

gentile attenzione.

DARKSIDE - documenti di riferimento

[1] LOI “The Search for Dark Matter with low-radioactivity Argon at Laboratori Nazionali del Gran Sasso 2020 and beyond” – allegata

[2] PLB743 (2015) pag 456–466 “First results from the DarkSide–50dark matter experiment at Laboratori Nazionali del Gran Sasso” su DS50 con Aar

“the darkside of darkmatter” pres di Grandi nel 2012

presentazione di Galbiati “LNGS Beyond 2020 Apr 28 2015”

Tesi di dottorato 2014 e 2015 su nucleus recoil e position measurements

arXiv:1406.4825v4 [physics.ins-det] 27 May 2015 “Measurement of scintillation and ionization yield and scintillation pulse shape from nuclear recoils in liquid argon”

M.Cadeddu “Directional Dark Matter Detection” talk al General DS meeting, 29 giugno 2015

Acronimi

A _{Ar}	Argon estratto dall'atmosfera
ARGO	Esperimento con L _{Ar} di 100 tonn beyond DS20k
DS	Darkside
DS50	Esperimento DS con 50 kg di L _{Ar}
DS20k	Esperimento DS con 20000 kg di L _{Ar}
L _{Ar}	Argon Liquido
LOI	Letter of Intent
U _{Ar}	Argon estratto da miniere
WIMP	Weakly Interacting Massive Particle

