

What Next – GdL “Materia Oscura”

Conveners: M. Battaglieri, N. Fornengo, A. Ianni,
N.M. Mazziotta, G. Polesello, P. Ullio

What Next 2016
Angelicum (Roma), 16-17 Febbraio 2016

Non in programma nella sessione:

- non ci sarà una rassegna sullo stato dell'arte e problematiche aperte (si veda, e.g., l'intervento del GdL a What Next 2014);
- non ci sarà neppure una relazione dettagliata sull'attività svolta dal GdL "Materia Oscura".

Nel programma nella sessione:

- breve sviluppo dei temi di discussione proposti nel documento di preparazione all'incontro;
- spazio alla discussione sui temi proposti o su altri di interesse per l'assemblea.

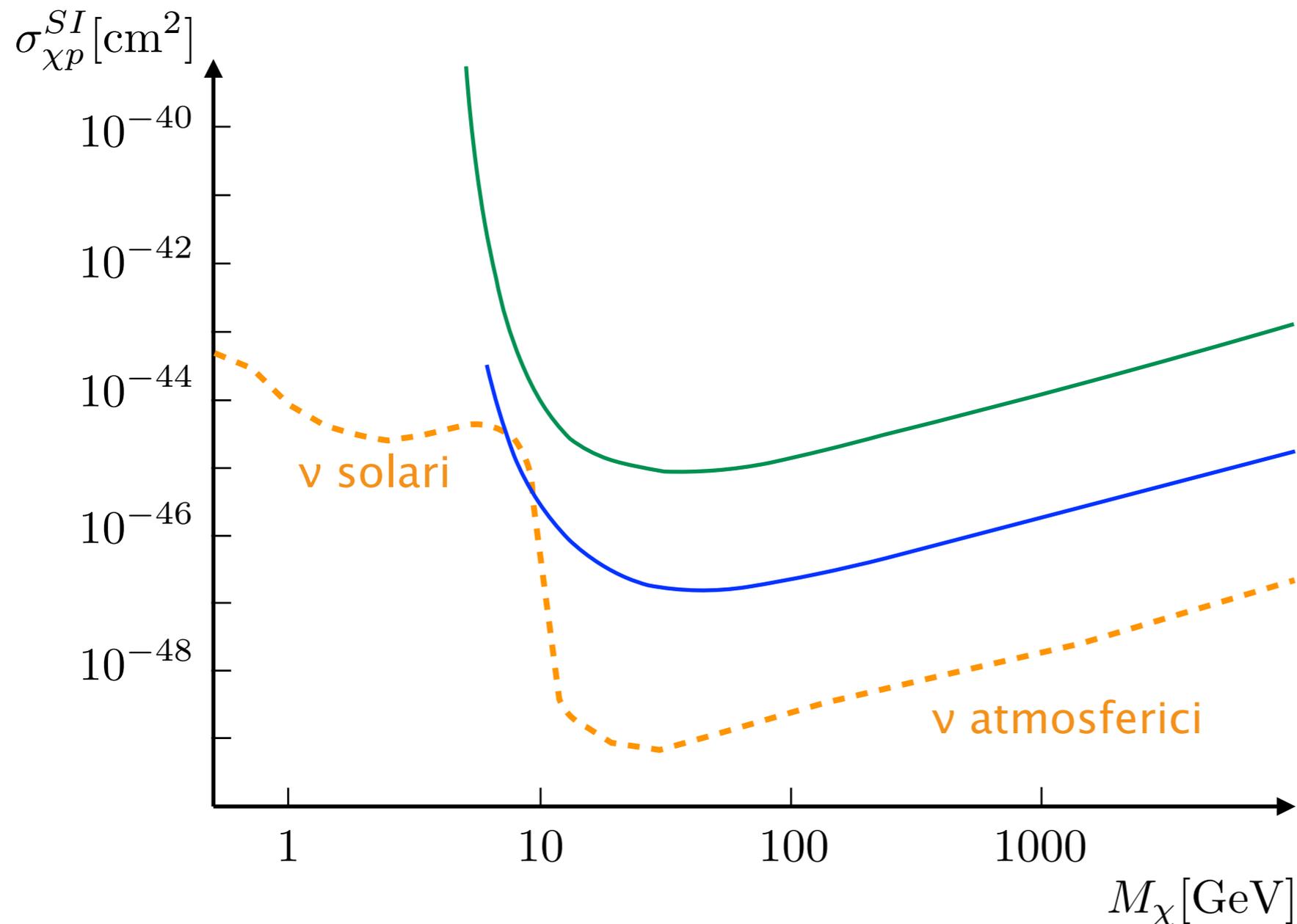
NB: la maggior parte degli argomenti che saranno toccati sono stati discussi a qualche livello nel processo What Next, altri sono stati qui aggiunti per stimolare la discussione, senza alcun tentativo di essere esaustivi; i nomi a volte citati in accostamento ad un tema segnalano persone che hanno introdotto l'argomento di discussione nel GdL non (necessariamente) il PI di un esperimento/proposta.

I temi di discussione proposti:

- Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?
- Rivelazione indiretta: segnali e/o signature?
- Il paradigma dei WIMP: insistere o desistere?
- La catalogazione “non-WIMP” incomincia ad essere riduttiva?
- Nuove sinergie tra fisici delle particelle e cosmologi?

Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?

Una linea di sviluppo principale: **Spingere la sensibilità della nuova generazione di rivelatori verso il muro dato dal fondo dei neutrini.** Un programma delineato per rivelatori con LXe e LAr:

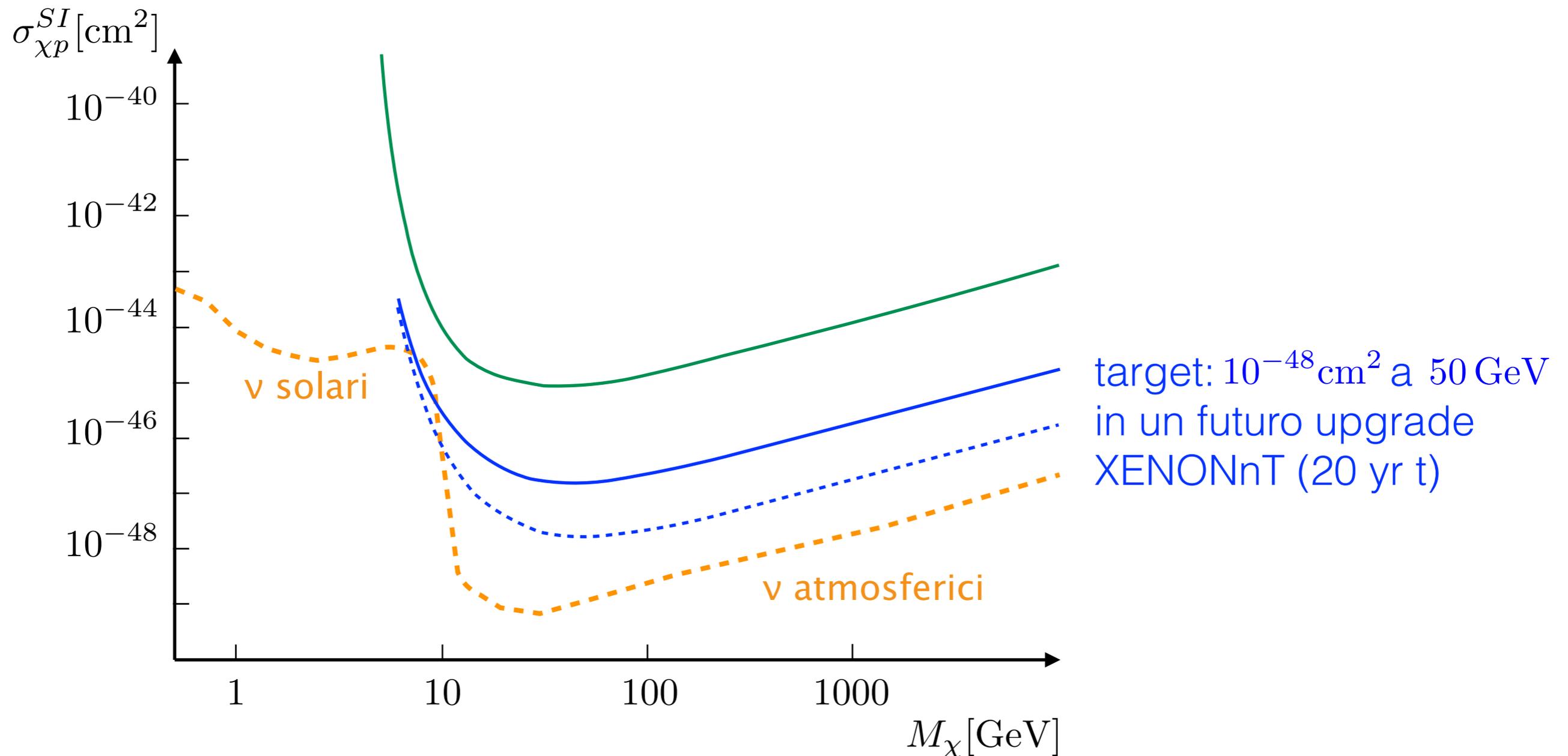


Limite attuale di LUX

XENON1T (G. Sartorelli):
fase di commissioning
(LNGS, SURF, CJPL),
discriminazione ER~300,
2 yr, 1 t fiducial volume
target: 10^{-47}cm^2 a 50 GeV

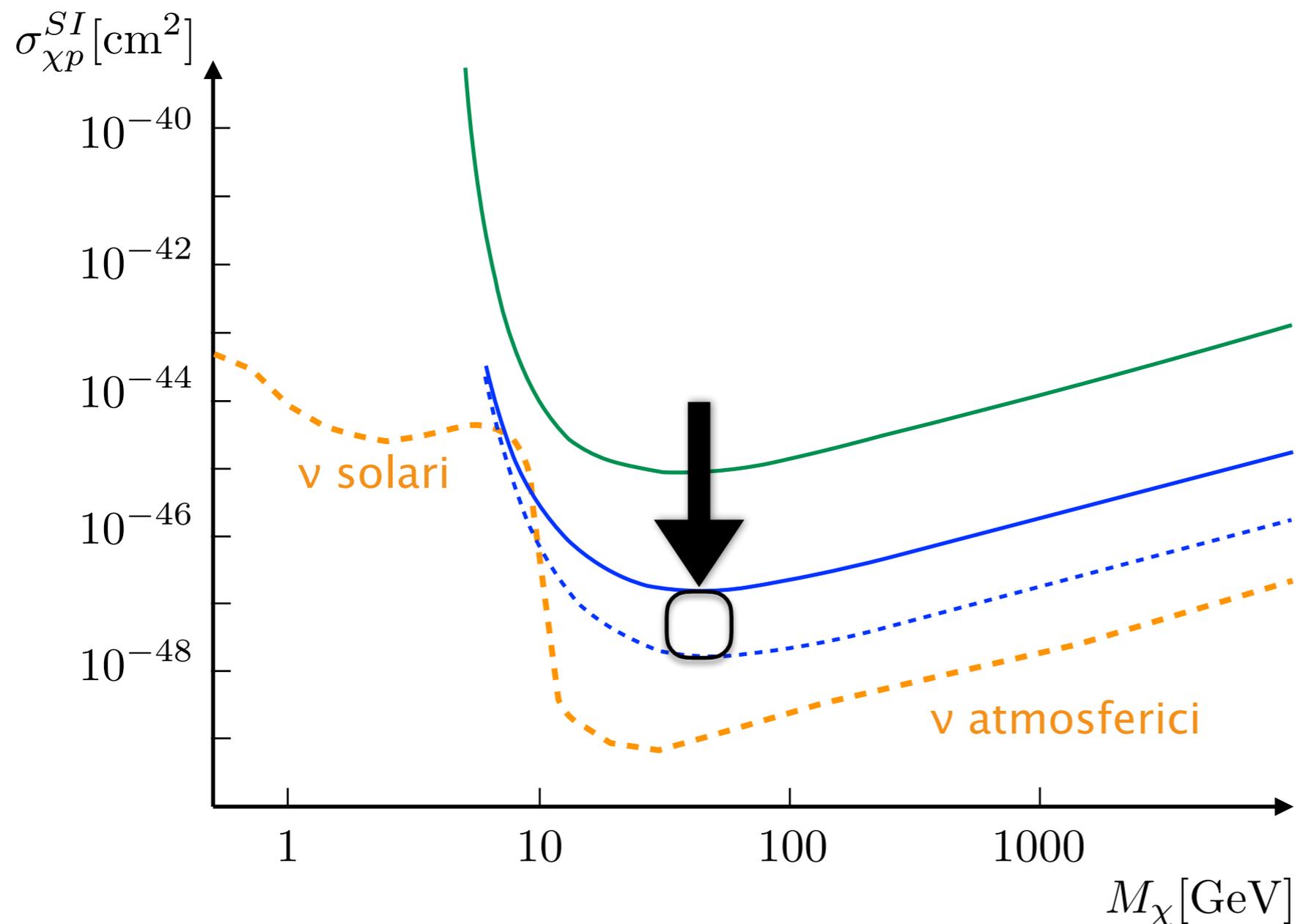
Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?

Una linea di sviluppo principale: Spingere la sensibilità della nuova generazione di rivelatori verso il muro dato dal fondo dei neutrini. Un programma delineato per rivelatori con LXe e LAr:



Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?

Una linea di sviluppo principale: **Spingere la sensibilità della nuova generazione di rivelatori verso il muro dato dal fondo dei neutrini.** Un programma delineato per rivelatori con LXe e LAr:



target: 10^{-47} - 10^{-48} cm^2
anche nel programma
LAr (^{39}Ar depleted) two-
phase TPC (C. Galbiati):

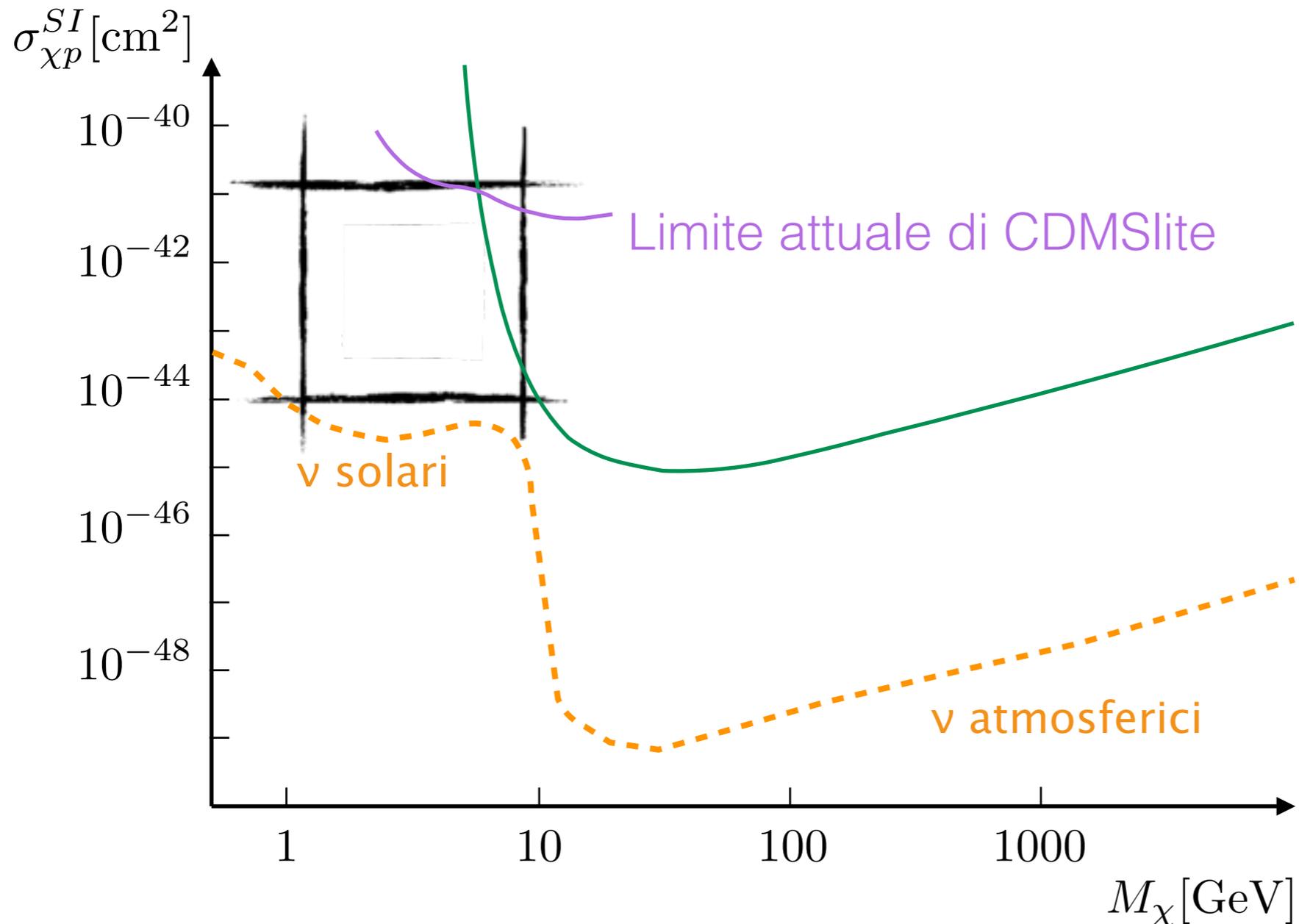
- PSD per ER testata con discriminazione $>10^7$
- Milestone per la scala multi-t: produzione di depleted Ar $> 10 \text{ kg/day}$; progetto INFN in corso, con estrazione sotterranea in Colorado e separazione isotopi in Sardegna.

NB: attesi a breve i dati del rivelatore DEAP-3600 (SNOlab) con LAr single-phase.

Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?

Altre linee di sviluppo da approfondire (?):

- Sfruttare la finestra di opportunità per candidati di MO con masse < 10 GeV

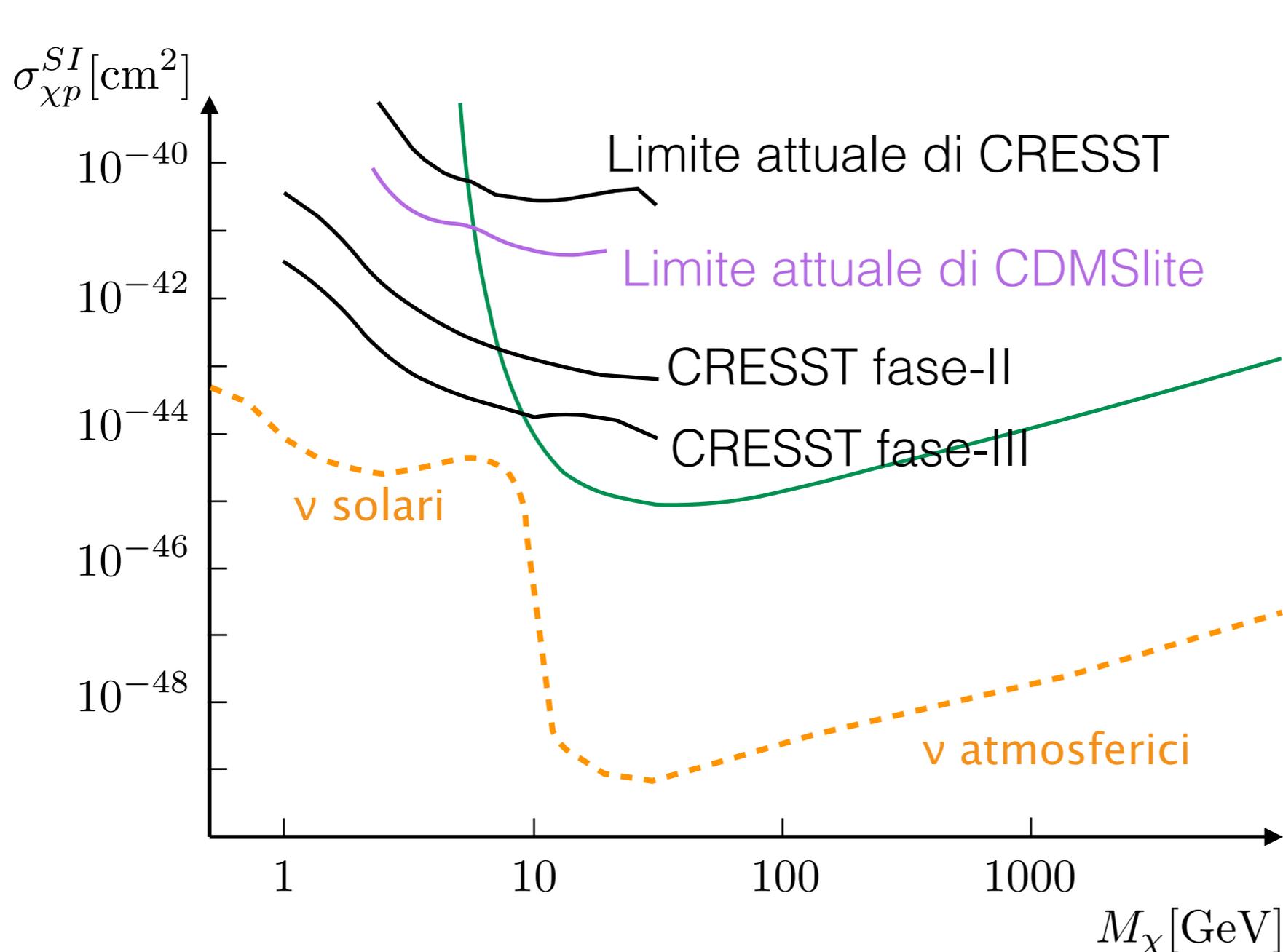


Finestra con teorie di tipo WIMP, SIMP, MO self-interacting, MO asimmetrica, ...

Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?

Altre linee di sviluppo da approfondire (?):

- Sfruttare la finestra di opportunità per candidati di MO con masse < 10 GeV



target: $10^{-43} - 10^{-44} \text{cm}^2$,
incluso un progetto a
partecipazione INFN:
CRESST (LNGS, P. Gorla):

- importanti sviluppi nello studio del fondo;
- nuovo design per aumentare la sensibilità;
- nuovi cristalli a crescita in-house.

Attenzione alle attività a
SNOlab: SuperCDMS,
NEWS-SNO & DAMIC e
a CDEX (CJPL)

Finestra con teorie di tipo WIMP, SIMP, MO self-interacting, MO asimmetrica, ...

Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?

Altre linee di sviluppo da approfondire (?):

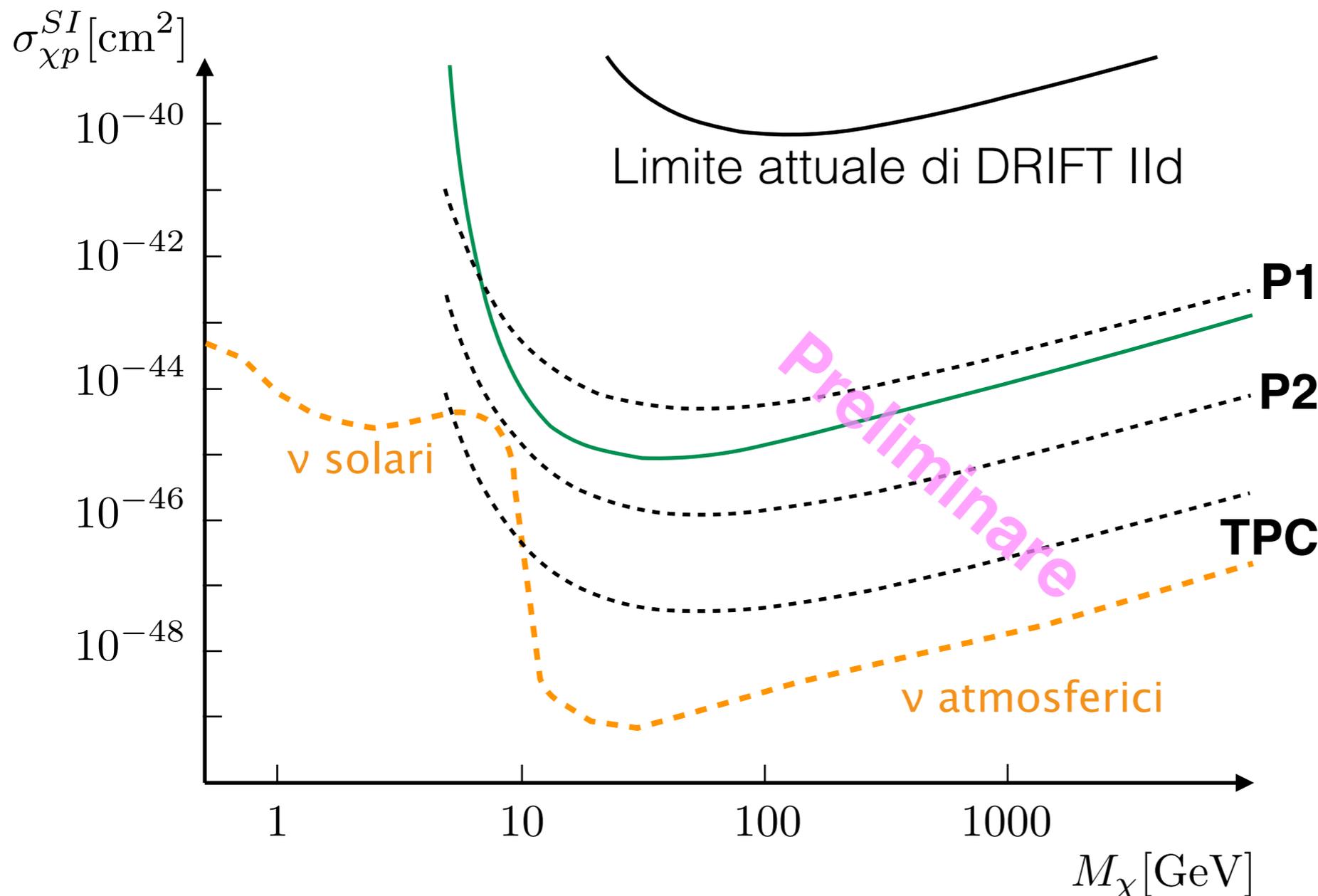
- Investire sulla direzionalità, come segnatura discriminante segnale-fondi ed eventuale finestra oltre al muro del fondo dei neutrini. Molteplici proposte:
 - **DCaNT**: Carbon NanoTubes (CNT) per ricerche di MO direzionali (G. Cavoto); finanziamento INFN da CNS5; Milestone: testare gli effetti di channeling;
 - **Emulsioni nucleari** per test di anisotropia sulla MO (G. de Lellis); proposto per il LNGS; Milestone: verificare la radio-purezza;
 - **ADAMO**: cristalli anisotropi per l'osservazione di MO (R. Cerulli); proposto per il LNGS;
 - **RED**: direzionalità con LAr TPC (G. Fiorillo); dipendenza dell'efficienza di ricombinazione rispetto all'asse di simmetria della TPC;
 - **NITEC**: Negative Ion Time Expansion Chamber per ricerche di materia oscura direzionale (E. Baracchini); raccolti dati con gas da TPC classici, presto test con ioni negativi;
 - **CYGNUS-TPC**: Galactic Nuclear Recoil Observatory (E. Baracchini);
 - ...

Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?

Altre linee di sviluppo da approfondire (?):

- Investire sulla direzionalità, come segnatura discriminante segnale-fondi ed eventuale finestra oltre al muro del fondo dei neutrini.

Qualche dettaglio in più su una delle proposte, **CYGNUS-TPC**: collaborazione



internazionale e TPC distribuiti su 5 laboratori in: UK, USA, Giappone, Australia e Italia (?), coordinando gruppi con esperienza di direzionalità con TPC: DRIFT, NEWAGE, D³, DMTPC, NITEC; stadi tecnico/ingenieristici **P1** (10 kg) e **P2** (400 kg); **TPC** con SF₆ a 50Torr (1,2 t) - soglia 10 keV, exposure 3 yr, fondo 0.

Workshop di lancio a LNF, 7-8 Aprile 2016: agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=10814

Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?

Altre linee di sviluppo da approfondire (?):

- Investire sulla direzionalità, come segnatura discriminante segnale-fondi ed eventuale finestra oltre al muro del fondo dei neutrini. Molteplici proposte:
 - **DCaNT**: Carbon NanoTubes (CNT) per ricerche di MO direzionali (G. Cavoto); finanziamento INFN da CNS5; Milestone: testare gli effetti di channeling;
 - **NUM/NEWS**: emulsioni nucleari per test di anisotropia sulla MO (G. de Lellis); proposto per il LNGS; Milestone: verificare la radio-purezza;
 - **ADAMO**: cristalli anisotropi per l'osservazione di MO (R. Cerulli); proposto per il LNGS;
 - **RED**: direzionalità con LAr TPC (G. Fiorillo); dipendenza dell'efficienza di ricombinazione rispetto all'asse di simmetria della TPC;
 - **NITEC**: Negative Ion Time Expansion Chamber per ricerche di materia oscura direzionale (E. Baracchini); raccolti dati con gas da TPC classici, presto test con ioni negativi;
 - **CYGNUS-TPC**: Galactic Nuclear Recoil Observatory (E. Baracchini);
 - ...

La direzionalità è un obiettivo difficile e di lungo termine. Fondamentali sono gli aspetti di sviluppo tecnologico, si veda la discussione di domani del GdL Nuove Tecnologie.

Rivelazione diretta: è tempo di diversificare gli obiettivi?

Altre linee di sviluppo da approfondire (?):

- **Potenziare l'impegno sulla modulazione annuale**: segnatura model-independent e il segnale di DAMA/LIBRA come riferimento.
 - **DAMA/LIBRA-phase2** (PMT con più alta Q.E.) in fase di raccolta dati; nuovi sviluppi sui PMT e up-scaling a 1-t proposti (P. Belli)
 - nuove proposte dedicate che necessitano di sviluppi tecnologici, tra cui una con partecipazione INFN: **SABRE**, detector con NaI ultra-puro e active veto.
- **Altro?**

Ulteriori temi di discussione, **in comune con il GdL sui neutrini**, che riguardano problematiche di sviluppo tecnologico (e sono fondamentali per le scelte future):

- rivelatori di luce;
- sviluppo di cristalli;
- rivelatori a bassissimo fondo;
- abbassamento delle soglie energetiche.

Anche su questi rimandiamo la discussione alla sessione su Nuove Tecnologie.

Rivelazione indiretta: segnali e/o signature?

Alla luce dei dati dell'attuale generazione di rivelatori e telescopi, sono rimaste poche finestre di opportunità in cui è possibile che il segnale da materia oscura sia dominante rispetto a fondi da altre emissioni:

antideuterio a bassa energia nel flusso dei raggi cosmici	segnali multifrequenza in galassie nane vicine (satelliti di imminente scoperta?)	linee X / gamma da annichilazione o decadimento di materia oscura	?
---	---	---	---

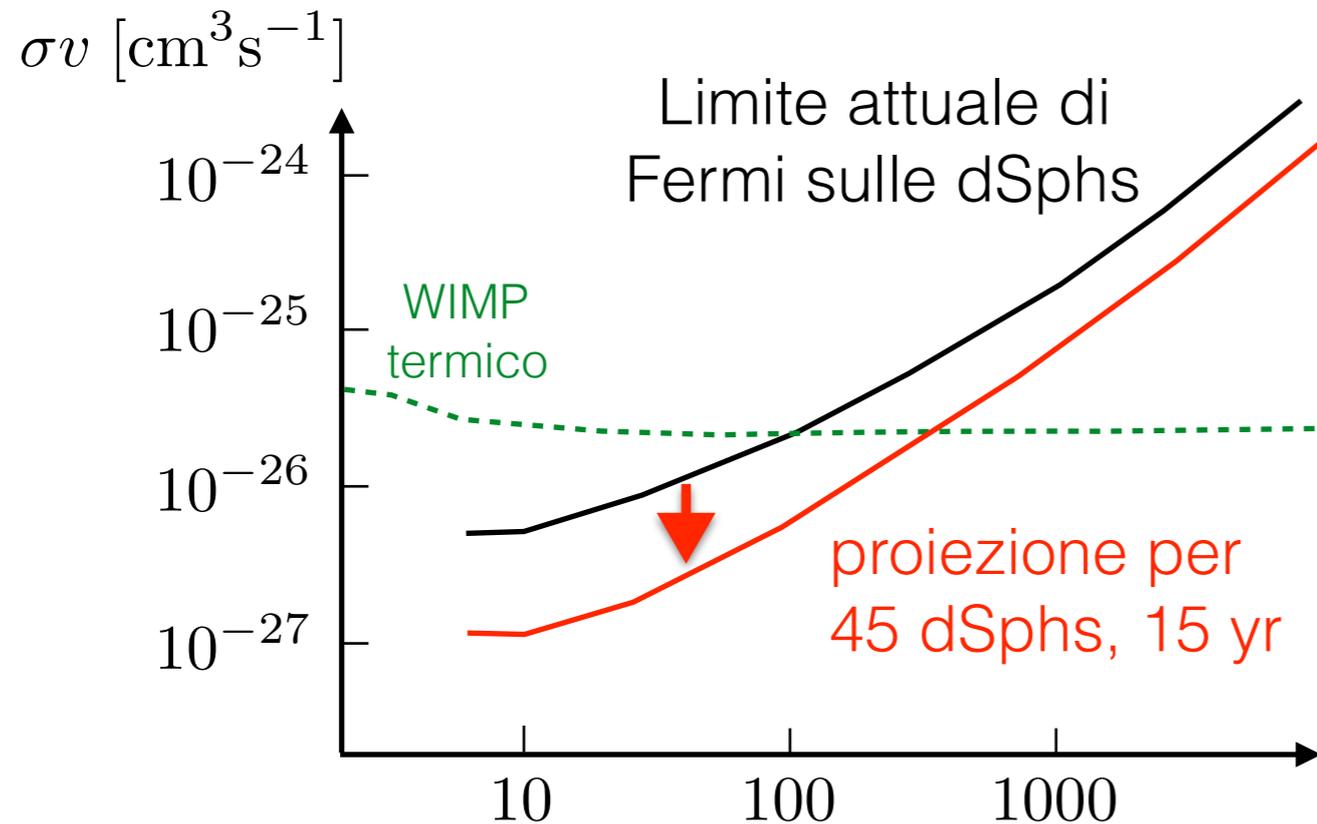
possibili target per strumenti attuali (e.g.: **AMS02**, **Fermi**, **XMM**, ...) e/o in sviluppo/imminenti (e.g.: **GAPS**, **CTA**, **SKA**...).

Possibili finestre di opportunità (con qualche caveat) anche per telescopi per neutrini - **KM3Net**:

- segnale da annichilazione di MO dal sole nel caso cattura (scattering) della MO sia dominata da un termine non-coerente, tipo SD (i limiti più stringenti - ma model-dependent - su $\sigma_{\chi p}^{SD}$ sono attualmente quelli di IceCube; se SI domina, la rivelazione diretta è più sensibile);
- segnali da annichilazione/decadimento dal Centro Galattico come possibile unico canale per rivelare candidati ultra massivi (connessioni con i neutrini al PeV? la modellistica per questi candidati al momento non è chiara).

Rivelazione indiretta: segnali e/o signature?

Prospettiva di migliorare i limiti sullo spazio dei parametri per MO che decade / si annichila a coppie. Ad esempio, per il segnale gamma dalle galassie nane:



nella proiezione che i deep wide-field optical surveys scoprono nuovi satelliti a luminosità ultra-bassa, è plausibile che Fermi testi WIMP termici fino a masse di 300-400 GeV; sinergia con MAGIC già in atto; con esperimenti futuri si potrebbe arrivare a 10 TeV!

Canale “pulito” (con qualche cautela da considerare per la modellizzazione del segnale); per i canali “sporchi” (segnale MO sottodominante rispetto a altre emissioni astrofisica), come ad esempio il segnale gamma dal centro galattico, o i raggi cosmici, è fondamentale minimizzare le incertezze nella modellizzazione dei fondi. E.g.: prospettive CTA per ricerche di MO dal centro/alone galattico?

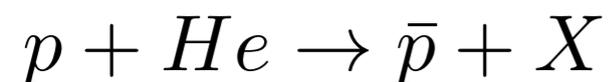
Rivelazione indiretta: segnali e/o signature?

Per rivelazione di MO con i canali di antimateria, severe limitazioni da incertezze teoriche, principalmente: sezioni d'urto di produzione e modellizzazione della propagazione (+ incertezze nella modulazione solare - vedasi antideuterio).

What Next ha contribuito ad avviare un **programma sulle sezioni d'urto**:

dal lato sperimentale:

- prima misura a **LHCb** della sezione d'urto del processo:



utilizzando un fascio di protoni a 6.5 TeV e un bersaglio fisso di He (iniettato nel dispositivo Smog);

- interesse da parte di **Compass**;
- proposta **SAS@LHC** (workshop di lancio al CERN a ottobre 2015) per misure della regione in avanti ($x_F > 0.8$).

dal lato teorico/fenomenologico:

- studi preparatori sulla modellizzazione delle sezioni d'urto da applicare ai dati presto a disposizione;
- nuove analisi dettagliate sulla produzione di raggi cosmici secondari combinando codici di propagazione con codici Monte Carlo per gli yield (e.g. DRAGON + FLUKA).

Rivelazione indiretta: segnali e/o signature?

Gli “**eccessi**” da materia oscura (?) trovati in alcuni canali:

- positroni ad alta energia (pulsar?);
- gamma al GeV dal Centro Galattico (pulsar? modello sorgenti da rifinire?);
- linea a 3.5 keV (linea XVIII del potassio?);
- gli antiprotoni di alta energia di AMS02 (preliminare; forse un “non-eccesso”);
- ...

sono controversi perché manca una signature che li discrimini rispetto a possibili altre sorgenti o ad incertezze nella modellizzazione di quest’ultime o del segnale.

Almeno uno di questi “eccessi” merita un investimento tecnologico, finanziario e/o di forza lavoro per “pulire” un’interpretazione ambigua? E.g.: strumento per elettroni con sensibilità ad anisotropia direzionale al livello di discriminare tra emissione diffusa da MO o di una (poche) sorgenti puntiformi (?); strumento con migliore risoluzione angolare e copertura energetica significativa sotto il GeV per discriminare emissione diffusa/sorgenti puntiformi nel centro galattico (?); ...

Più in generale (ed in aggiunta all’estensione dei survey sui “fondi astrofisici”): è necessario/opportuno investire su futuri esperimenti **dedicati** alle signature da materia oscura, ovvero **materia oscura come target principale** nella definizione di una missione e non solamente investire missioni in “più grandi”?

Il paradigma dei WIMP: insistere o desistere?

La discussione su rivelazione diretta ed indiretta - in termini di intervalli di masse considerati e tipo di interazioni da testare - aveva come modello di riferimento candidati di materia oscura di tipo WIMP (anche se si applica in realtà a framework più generali) ➔ il paradigma dei WIMP è ancora un importante target di opportunità per la rivelazione diretta ed indiretta.

Chiaramente **tra i target di opportunità principali per LHC**, ma difficile (inutile) delineare una strategia precisa prima dei risultati del Run2:

- Se LHC trova segnali di nuova fisica, questi faranno da guida anche nella modellistica sulla materia oscura

Esercizio di riscaldamento: Indicazione dell'**eccesso a 750 GeV** nella distribuzione di di-fotoni; fit dei dati di ATLAS suggerisce sia dovuto ad una risonanza con Γ grande (~ 45 GeV) ➔ Possibili connessioni con scenari di materia oscura, inclusi alcuni nel paradigma WIMP, e.g. spiegando Γ con canali di decadimento invisibili in MO.

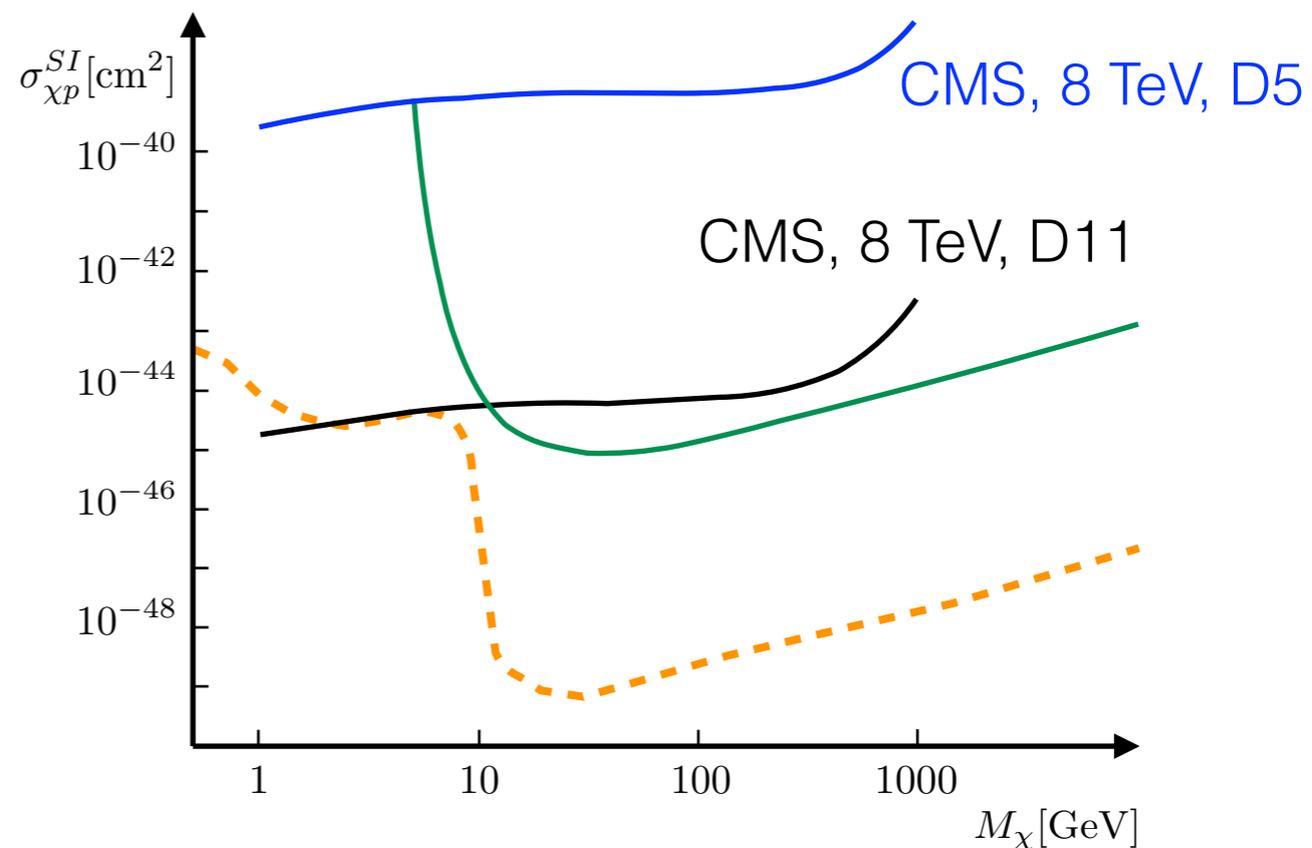
- Se LHC non fornirà conferma di segnali di nuova fisica, la stessa materia oscura potrebbe (ri)diventare linea guida nella modellistica.

Il paradigma dei WIMP: insistere o desistere?

La ricerca di WIMP ad LHC:

Analisi dedicate su modelli semplificati per sfruttare correttamente i dati di Run 2, basate su **benchmark condivisi teorici/sperimentali** (documento ATLAS/CMS Dark Matter Forum), utili anche per il confronto con le ricerche di tipo passivo. Prima analisi di Run 2 di ATLAS sull'operatore in EFT $ZZ\chi\chi$ presentata a dicembre.

Sui benchmark analisi della **complementarità tra collisori di alta energia/ricerca diretta**: interessante interplay (model-dependent) per masse leggere.



Chiaro che **LHC non testerà l'intera gamma di possibili modelli di materia oscura nel paradigma WIMP**: (nel caso) insistere o desistere (“fine-tuning” o “non-fine-tuning”?) sarà il tema di strategia futura per tutta la comunità BSM.

La catalogazione “non-WIMP” incomincia ad essere riduttiva?

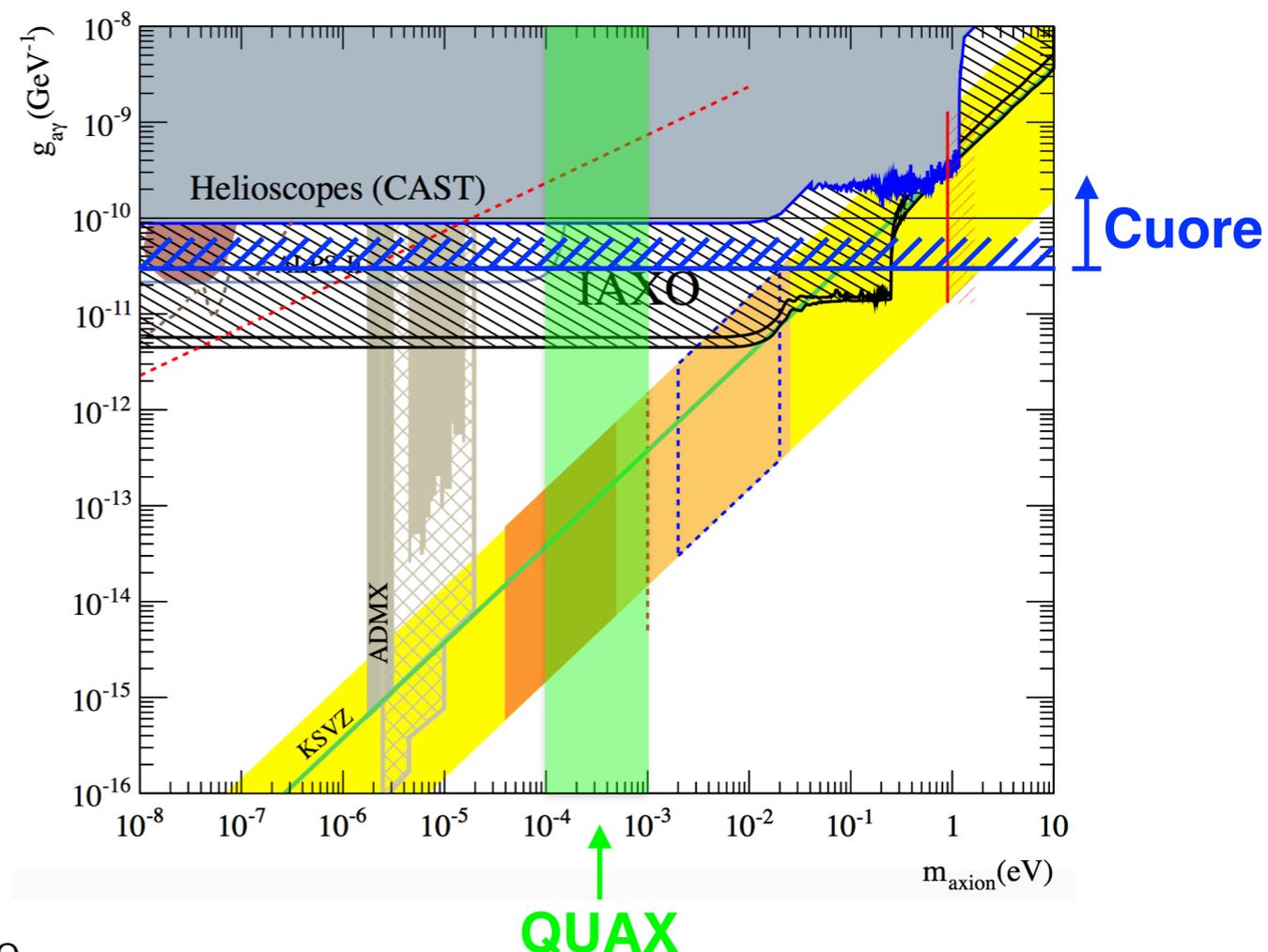
Il tema dei candidati di materia oscura di tipo non-termico, non-accoppiato-debolmente, non-vicino-alla-scala-EW, è emerso come una delle questioni più dibattute tra i partecipanti a What Next - Materia Oscura.

Un rinnovato interesse dei teorici (e.g.: fenomenologia delle teorie di stringa con gli Axion-Like-Particles (ALPs)): nuovi paradigmi da consolidare?

Una gamma variegata di programmi sperimentali già avviati/in fase di avvio, alcuni con “incubazione” What Next.

E.g., alcuni progetti nell’area assioni/ALPs:

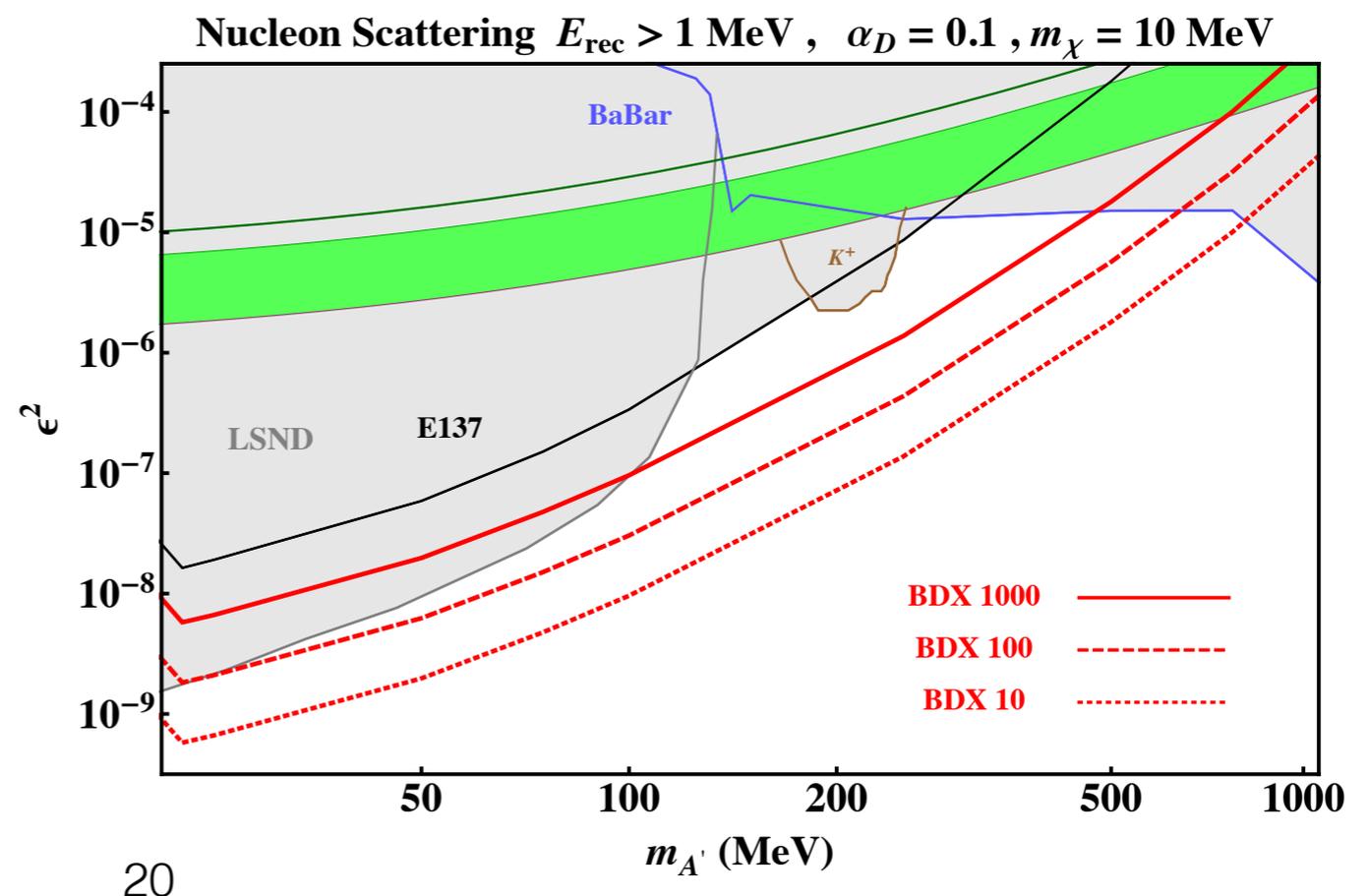
- **CAST**: nell’estate 2016 test su cavità risonanti con sensitività al GHz; collaborazione CERN+USA+Corea;
- **QUAX** (G. Carugno), magnetometro ad alta frequenza per testare l’accoppiamento assione-elettrone;
- **STAX** (P. Spagnolo): sviluppo di un Transition Edge Sensor come rivelatore di singolo fotone efficiente fra i 10-100 MHz per assioni ed ALP;
- Idea di usare un rivelatore 2β per MO leggera/assioni (**Cuore**).



La catalogazione “non-WIMP” incomincia ad essere riduttiva?

Nuovi esperimenti a bersaglio fisso (per cercare candidati di materia oscura leggeri o mediatori leggeri per le interazioni della materia oscura), tra cui:

- **P348** @ CERN - approvato; ricerca di materia oscura leggera (e.g. mirror DM), dark photons e leptonic dark bosons;
- **SHIP** @ CERN - proposta per nuova general-purpose facility per la ricerca di hidden particles (accento iniziale sui neutrini sterili del ν MSM);
- **PADME-CSN1** @ LNF - inserito nella lista degli esperimenti di grande interesse del ministero degli esteri con protocollo LNF-Cornell firmato; ricerca della produzione di dark photons con beam di positroni;
- **BDX** @ JLab - esperimento beam-dump con collisioni elettrone-nucleo che producono dark photons; questi decadono immediatamente in una coppia di particelle di materia oscura leggera, rivelate attraverso le loro interazioni con nuclei.

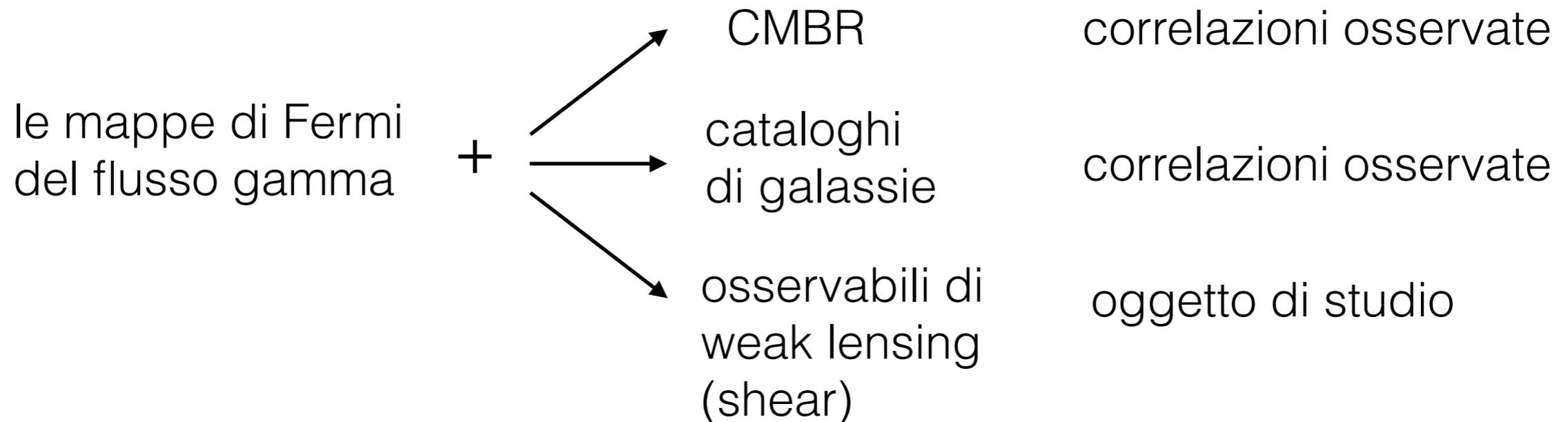


La catalogazione “non-WIMP” incomincia ad essere riduttiva?

- Nuovi progetti come **sfide tecnologiche e sperimentali**, e tipiche attività che beneficiano della discussione al di fuori della divisione per commissioni: e.g. mescolare problematiche tipiche degli acceleratori con tecnologie sviluppate per la rivelazione diretta (come abbattere i fondi? direzionalità come strada da perseguire?); **dove le collocherà in futuro l'INFN?**
- Alcune delle proposte in fase di prima generazione 'economica' (e.g. sfruttando il riutilizzo di detector già esistenti come il calorimetro di BaBar) e parassitaggio di esperimenti già operativi.
- Si sta già pensando ad una seconda generazione con detector più sofisticati (e.g.: silicon tracker di CMS o liquid noble gases).
- Al momento attività meglio radicate negli USA; da rafforzare a livello EU (ERC, o Marie Curie ,.....)
- Il **DarkSector** potrebbe rilanciare l'attività delle particelle a SLAC; una via che l'INFN può/deve perseguire **per il rilancio di LNF?**
- Una nuova enfasi su signature non canoniche e sul dark sector anche a LHC con numerose analisi attive al Run 2. Iniziati anche gli studi che mettono a confronto la ricerca di dark photons nei decadimenti di bosoni vettori a differenti acceleratori futuri con il potenziale degli esperimenti di beam dump.

Nuove sinergie tra fisici delle particelle e cosmologi?

Grande interesse negli ultimi anni per la **cross-correlazione tra canali indiretti elettromagnetici di rivelazione di materia oscura** (emissione diretta/radiativa radio-gamma) **ed osservabili cosmologiche**. E.g.:



Un impatto per lo studio della natura del termine di materia oscura? Attività discussa in What Next (M. Regis) svolta in collaborazione con colleghi INAF.

Impulso per una maggiore sinergia con la comunità degli attuali LSS surveys (**LoI in discussione con DES**, contatti con KiDS/RCSLens) e/o per un impegno in attività future (e.g.: **Euclid**)?

Il **radio** (LOFAR, SKA precursors, SKA) **come prossima frontiera**? Attività di punta INAF, con coinvolgimento solo individuale in INFN, di sicuro interesse in prospettiva multi-wavelength.

Nuove sinergie tra fisici delle particelle e cosmologi?

Al momento non ci sono evidenze che il problema della materia oscura sia necessariamente un problema legato alla scoperta di una nuova particella (o di un nuovo settore di particelle elementari).

Osservazioni cosmologiche potrebbero fornire “segnature particellari”, e.g., evidenza di:

- una scala di free-streaming (imprint di una massa o di un meccanismo di produzione non termico);
- una scala di coerenza (imprint di un meccanismo di condensazione);
- una scala di self-interazione;
- ...

Spazio/necessità per approfondimenti teorici e per promuovere collaborazioni con le comunità di riferimento?