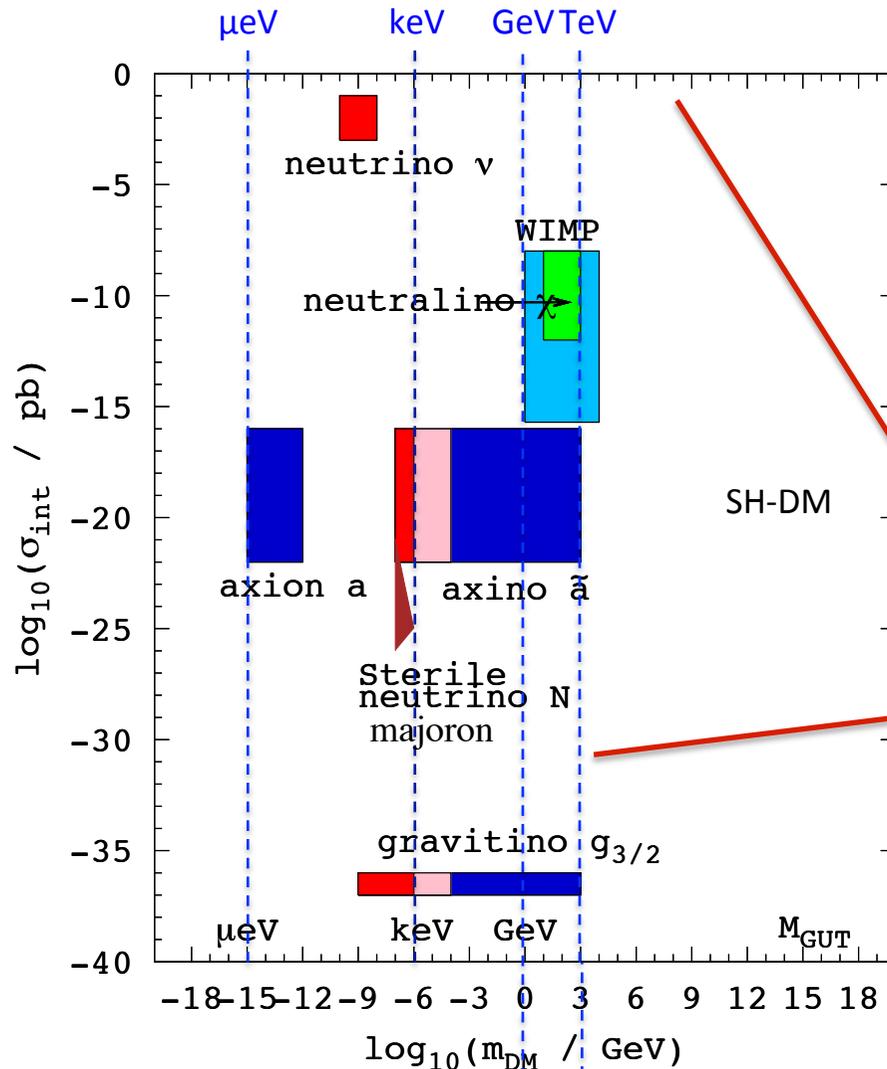


What Next – GdL “Materia Oscura”

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

Mid Term Meeting
LNF, 1-2 Aprile 2015

Scale coinvolte dal problema della DM



"Forte"

Self-interacting

Technicolor DM

...

"Elettromagnetica"

Millicharged DM

Dipolo elettrico/magnetico

...

Debole

Gravitazionale

L'evidenza della DM e' di carattere gravitazionale

Questo lascia aperta una estrema variabilita' di scale per la natura fondamentale della particella di DM

Non-WIMP

WIMP

superheavy

Obiettivo e Strategie

Obiettivo: misura di un segnale di tipo non-gravitazionale (i.e. particellare)
richiede la combinazione di tecniche e analisi molto diversificate

WIMP – Cold DM

- Produzione a LHC: missing E, produzione associata a stati di nuova fisica
- Charged cosmic rays (antibaryons, positrons)
- Gamma rays
- Multiwavelength (radio, X, oltre che gamma)
- High-E neutrinos
- Direct detection (nuclear recoil)

Non-WIMP – Warm(ish) o Cold DM

- Low-energy colliders, fixed-target experiments
- Axion, sterile neutrinos, light states, dark photons
- Multiwavelength (radio, X; gamma?)
- Dark radiation, impatto sul CMB (e BBN)
- Direct detection su elettroni (richiede di non sottrarre e.m. background modulazioni)

Ricerca di una soluzione

WIMP

Le tecniche attuali stanno cominciando a testare in profondita' la "regione di interesse" (thermal relic)

E' il momento di spingere a fondo

Non WIMP

L'interesse si e' ravvivato molto

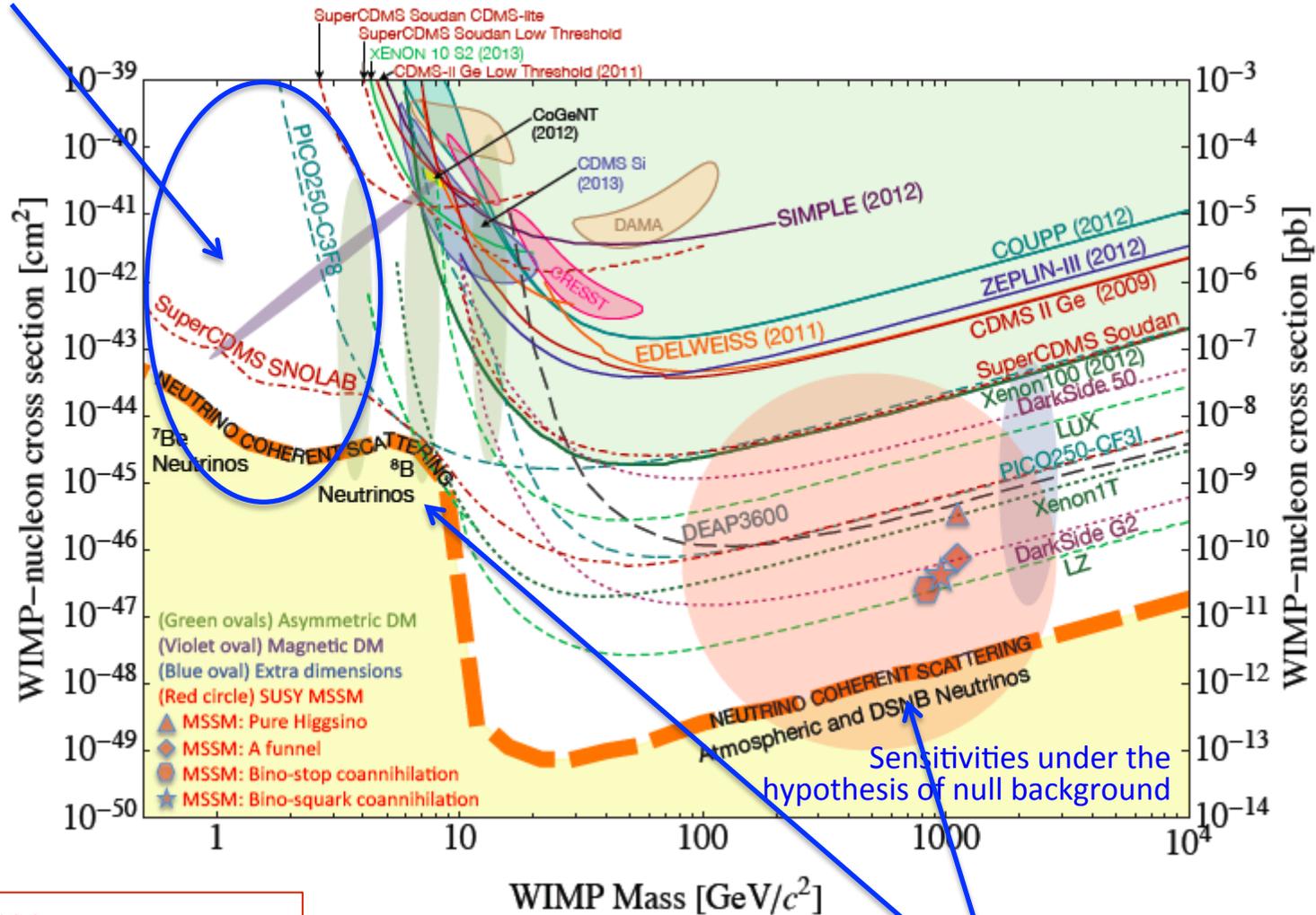
Rappresentano una finestra di interesse complementare a quella dei WIMP, sia dal punto di vista particellare che astrofisico, che e' fondamentale esplorare a fondo

La DM potrebbe anche essere multi-componente

Lo studio di particle cosmology / particle astrophysics e' altrettanto rilevante della identificazione della natura della DM, per cui e' importante coprire adeguatamente tutte le opportunita'

Direct detection

Light WIMPs window

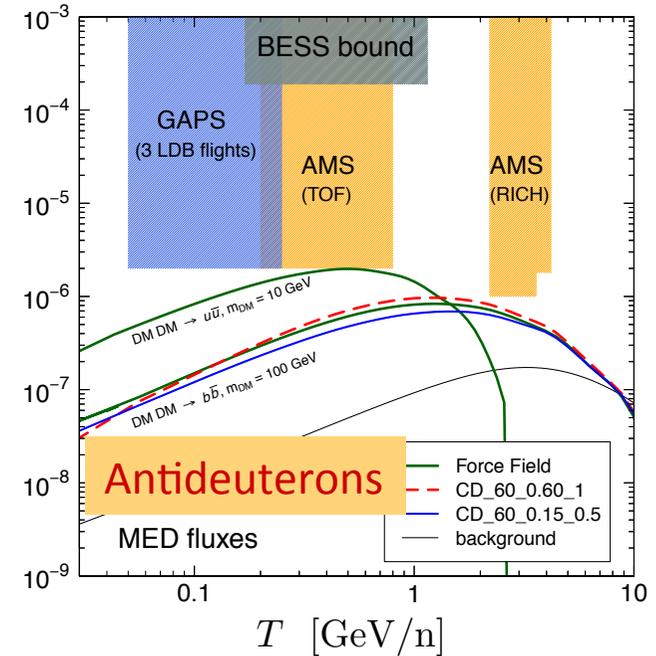
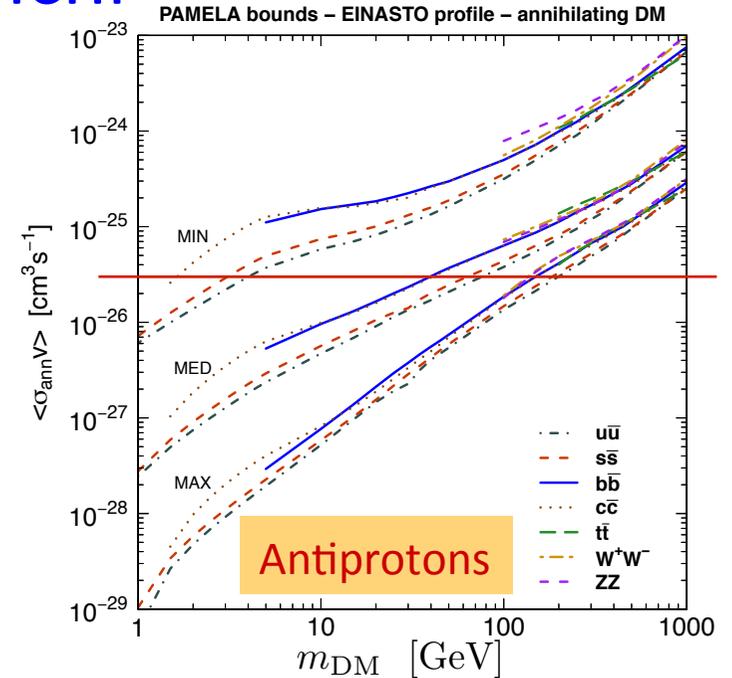
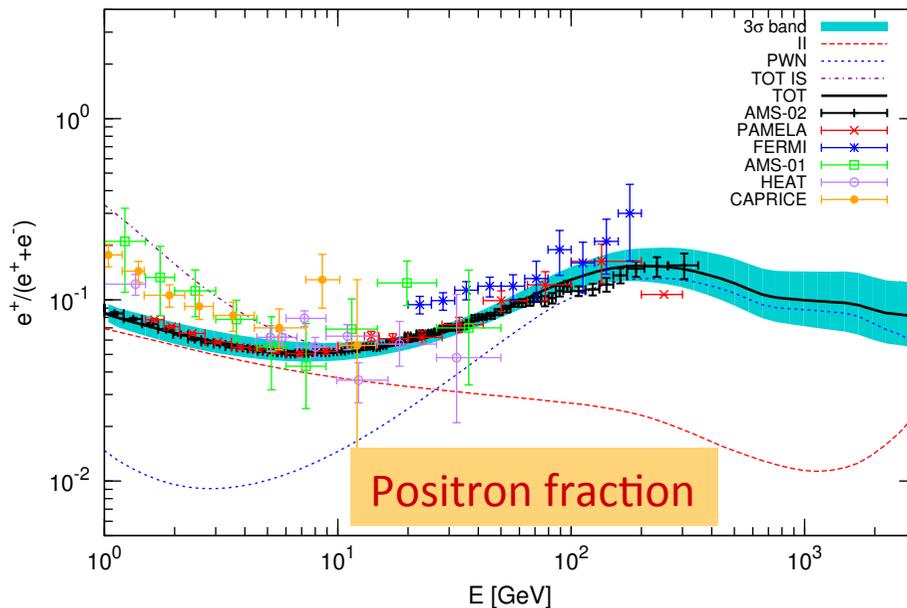


Signatures
Annual modulation
Diurnal modulation
Directionality

Full set of effective operators (15)

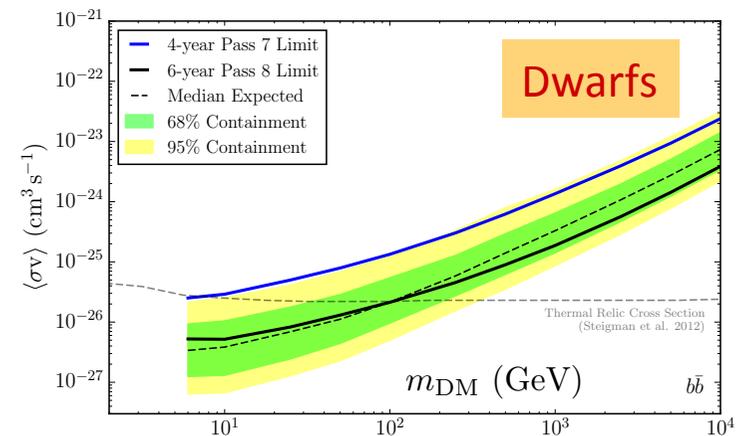
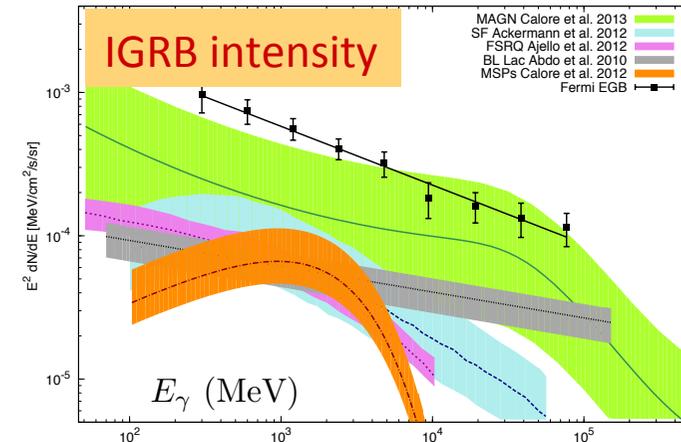
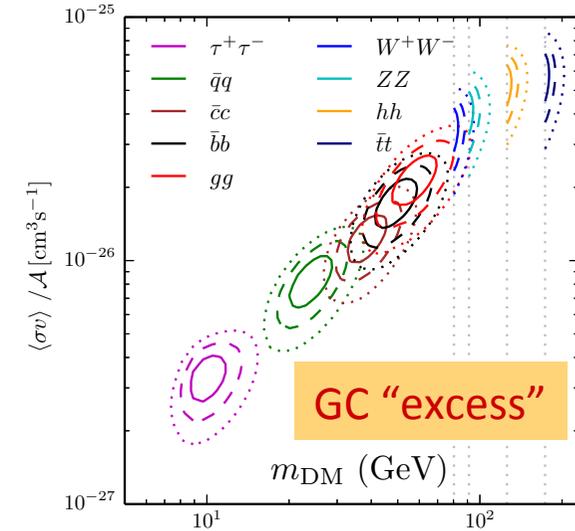
Raggi cosmici carichi

- **Antiprotoni**
 - Forniscono limiti importanti
 - In attesa di AMS-02
 - Potenzialita' limitate da incertezze teorice (sezioni d'urto e propagazione)
- **Antideuterio**
 - Basse energie: rimane finestra piu' promettente
 - In attesa di AMS-02
 - Importante un miglioramento della sensitivita'
- **Elettroni positroni a $E > 10$ GeV**
 - Sorgente locale: DM o pulsars?



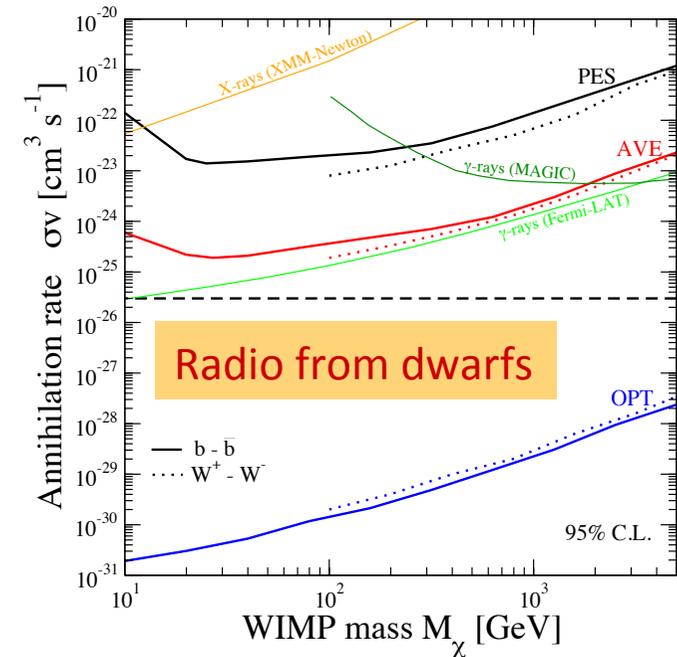
Raggi gamma

- **Centro galattico**
 - Target molto interessante, ma molto difficile
 - Hints su cui si sta discutendo molto
- **Isotropic gamma rays background**
 - Molto importante per lo studio dell'emissione extragalattica
 - Complesso separare un segnale dalle numerose sorgenti astrofisiche
- **Dwarf galaxies**
 - Uno dei target piu' promettenti
 - Recentemente sono state scoperte nuove dwarf: grosse potenzialita'

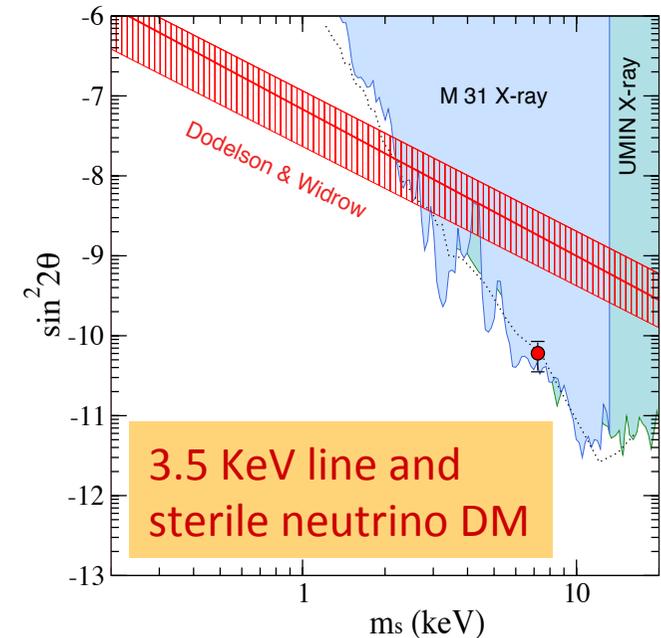


Estensione a frequenze piu' basse

- Emissione radio
 - Centro galattico
 - Emissione diffusa galattica ed extragalattica
 - Dwarf galaxies



- Emissione nella banda X



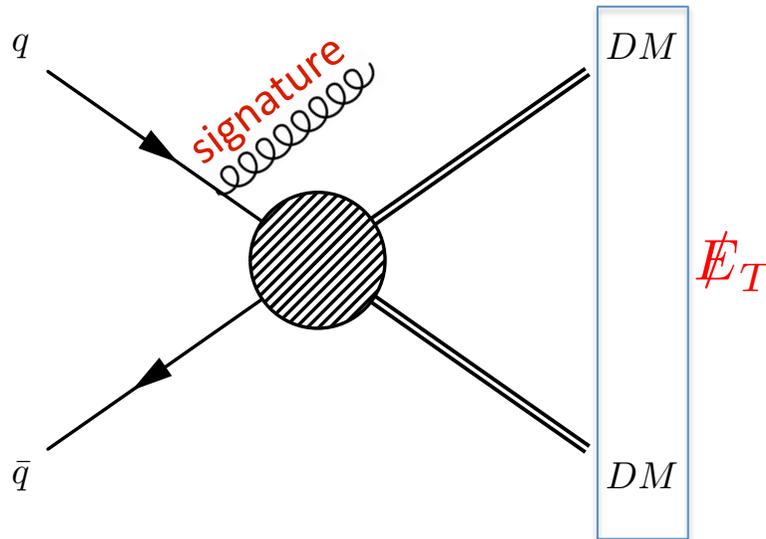
Attività' del GdL

- **Forma: apertura di call alla comunità'**
 - Raccolta di idee e progetti
 - Stimolo alla discussione
 - Dalla discussione, alcuni progetti hanno poi preso una strada propria
- **Metodo: Seevogh meeting**
 - **Svolti:** 4 meeting, con partecipazioni di membri di altri GdL
 - **In programma:**
 - 1 congiunto con Raggi Cosmici
 - 1 con Cosmologia
 - 1 con BSM
- **Workshop ai LNGS congiunto con il GdL Neutrino**
“What Next LNGS: prospettive per il ruolo scientifico dei LNGS”
 - *Keynote talks:*
 - Futuro dei LNGS
 - Futuro della ricerca del DBD ai LNGS
 - Futuro della ricerca di DM ai LNGS
 - *Tavole rotonde:*
 - Verso soglie sempre più basse
 - Verso Bkg = 0
 - Cristalli radio-puri
 - La sfida dei rivelatori di luce
 - *Contributi*

Selezione di alcuni argomenti discussi
nelle attività' del GdL

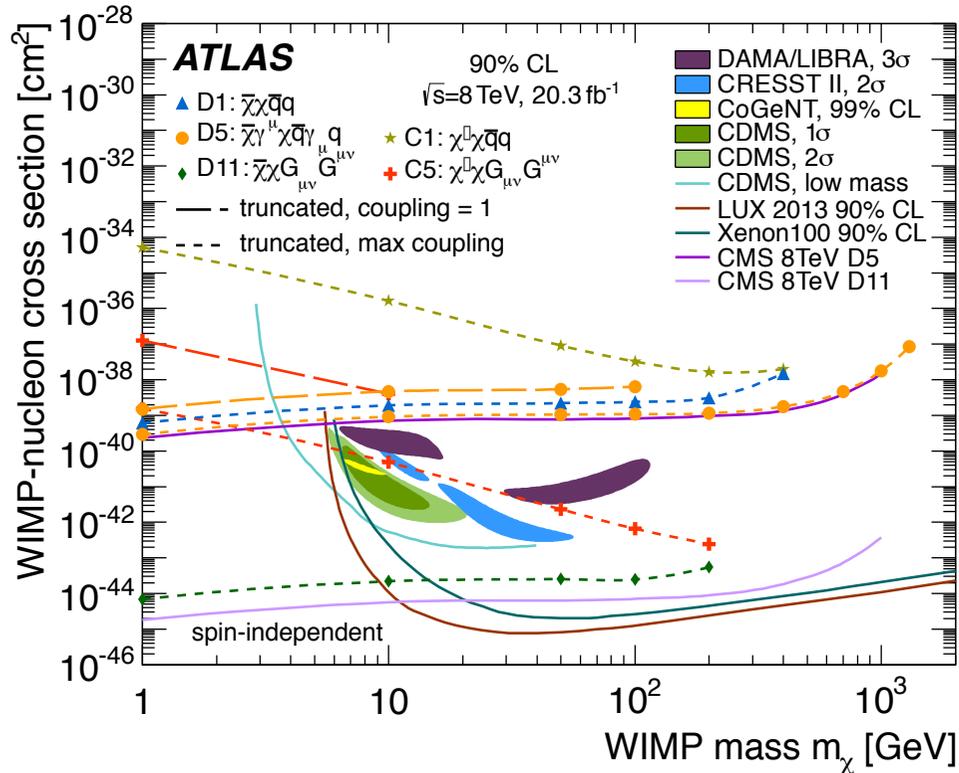
WIMP agli acceleratori

- Il focus e' il Run II di LHC
- Studio sistematico dell'approccio con operatori efficaci (EFT)
- Ricerche mono-X + missing ET

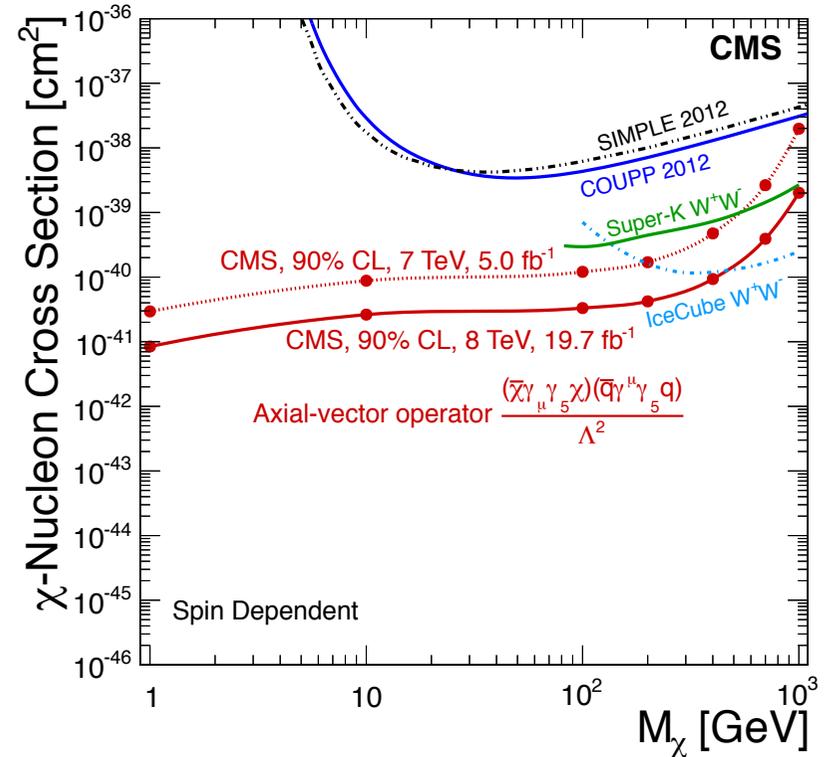


$g_{(DM,q)}$ m_{DM}
struttura accoppiamento (s, v, t)

Mono-X searches



spin independent

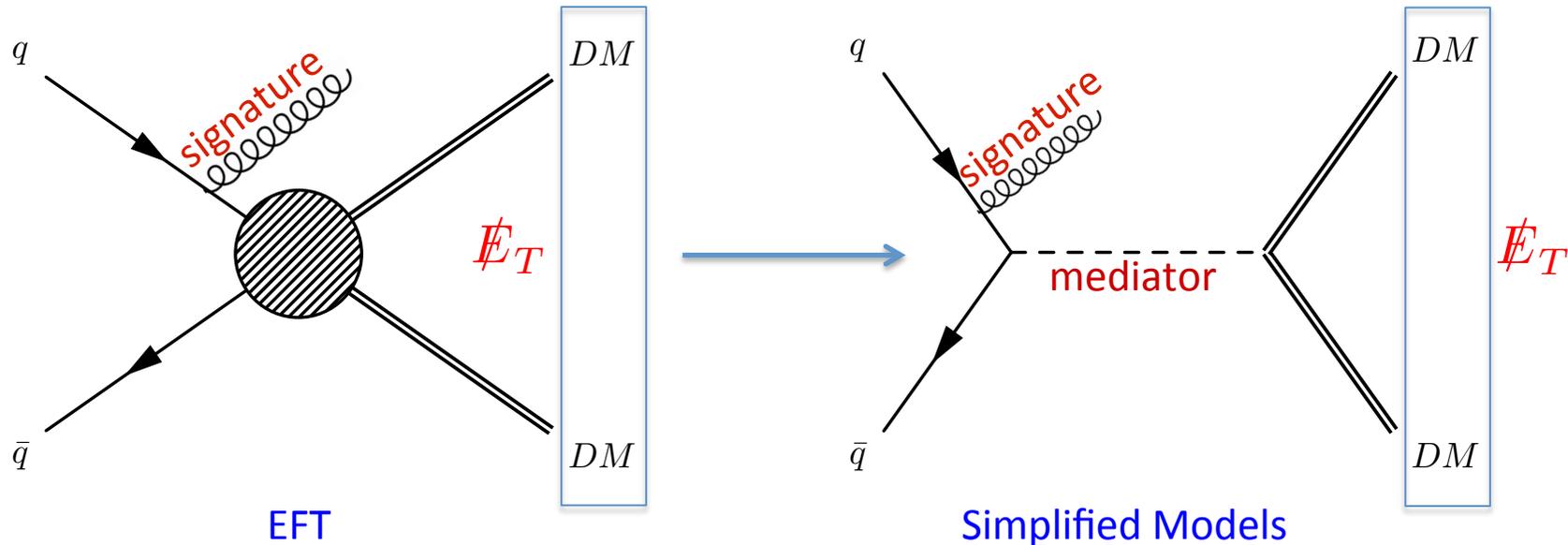


spin dependent

Inferred bounds on the direct detection scattering cross section
(subject to the validity range of EFT)

WIMP agli acceleratori

- EFT \longrightarrow Simplified Models \dashrightarrow UV Complete theories



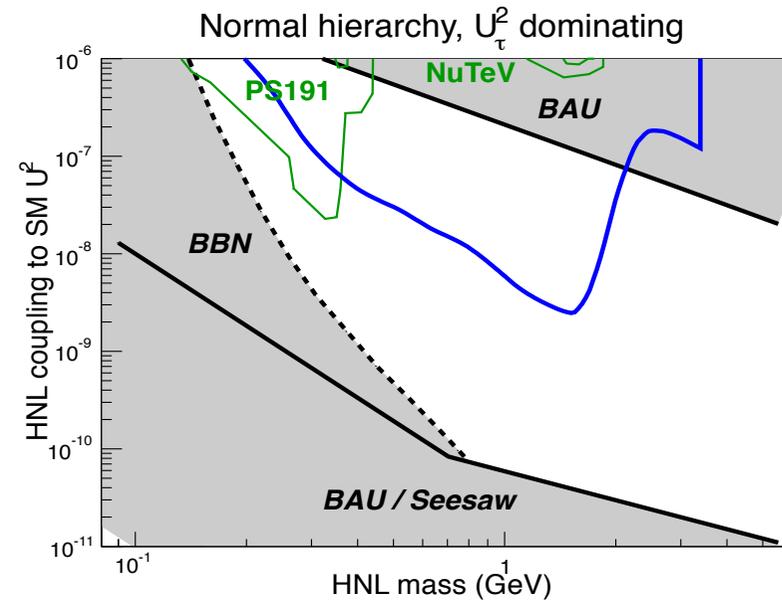
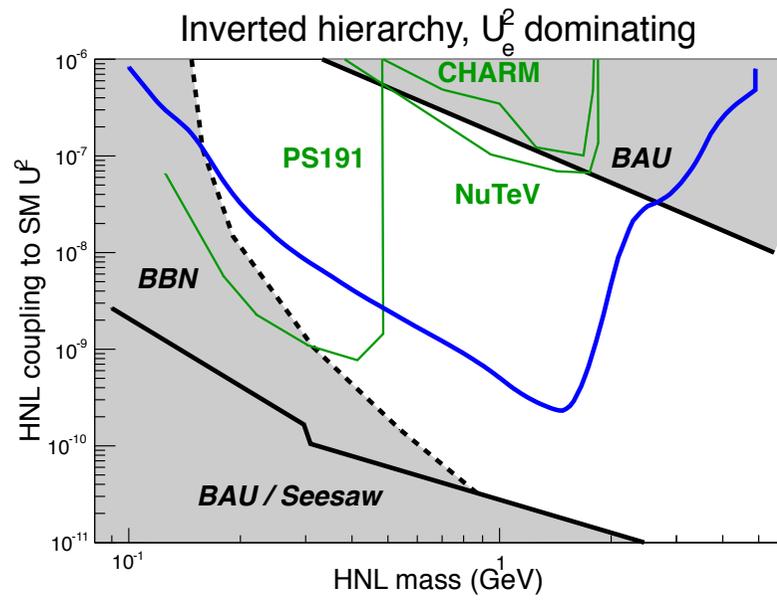
$g_{(DM,med)}$ m_{DM}
 $g_{(med,q)}$ Γ_{med} m_{med} canale
 strutture accoppiamenti (s, v, t)

- Interesse comune con GdL BSM, collaborazione da approfondire

Non-WIMP agli acceleratori

- **DM leggera** con massa nel range **MeV-GeV**:
 - Fermioni di Dirac o di Majorana
 - Scalari o pseudoscalari
 - LDM asimmetrica
- **Mediatori**:
 - Vector portal
 - Higgs portal
 - Neutrino portal
 - Axion portal
- Sviluppo di un quadro teorico consistente sia con DD che con limiti cosmologici (CMB, relic density)
- Intensa attività per la ricerca dei **decadimenti visibili** (e^+e^-) già in essere e nuovo programma sperimentale per i **decadimenti invisibili**
- Combinando i vincoli ottenuti (e ottenibili) dai diversi metodi di ricerca sarà possibile escludere (o scoprire) l'esistenza di LDM
- Ricco programma sperimentale volto a chiarire la situazione in 10-15 anni
 - Fasci adronici: **SHIP** e **NA62** al CERN
 - Decadimenti mesonici
 - Fasci di elettroni (v. oltre)

Example: SHIP for neutrino portal

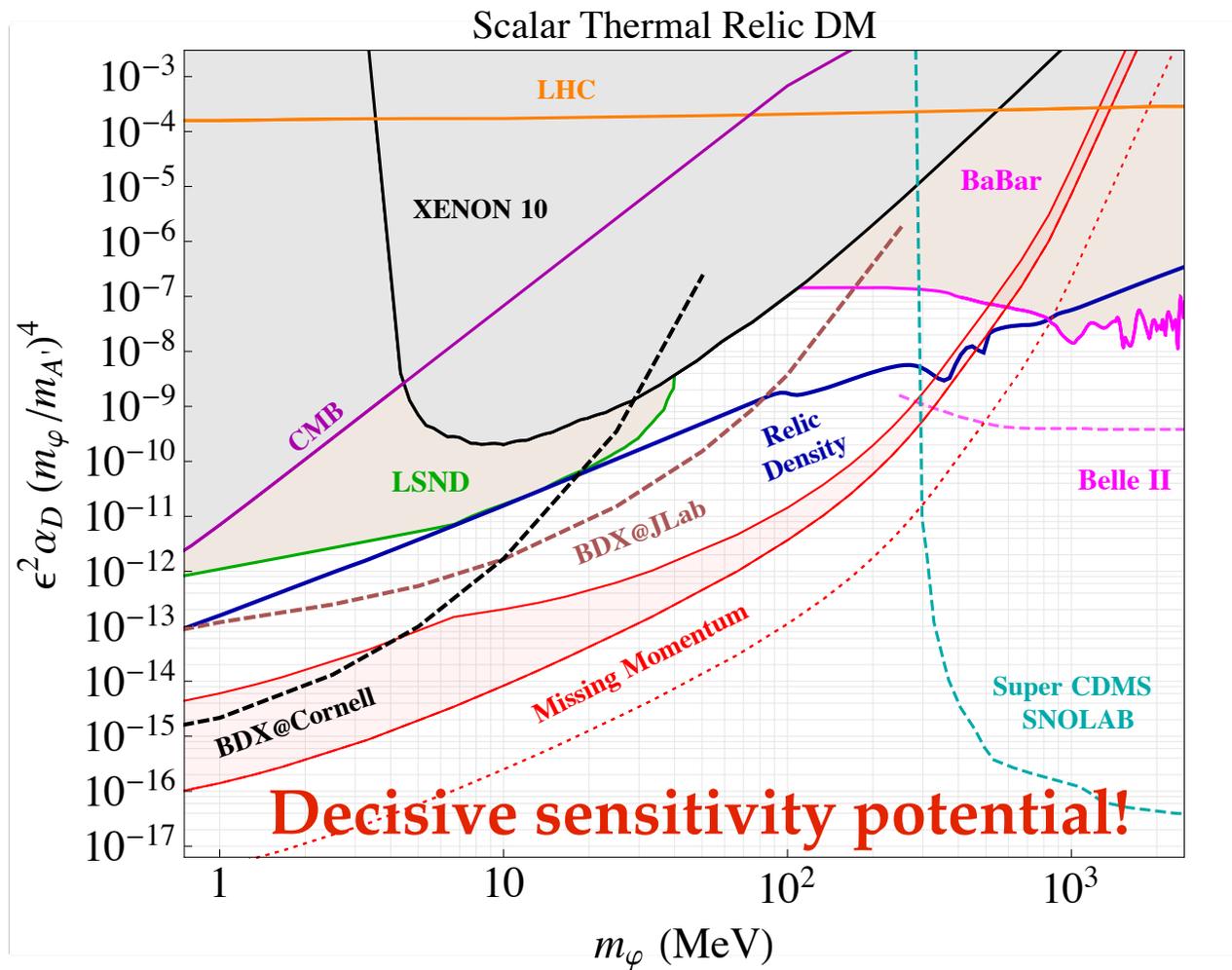


Non-WIMP agli acceleratori

Esperimenti proposti presso acceleratori con fasci intensi di e-

- **LNF: PADME + BDX (Beam Dump eXperiment)**
 - Upgrade del linac a 1-1.2 GeV, sino a 10^{20} EOT/year
 - Nuova linea verso la BTF + beam dump collineare al linac
 - Progetto in fase avanzata: 2 workshop (Nov-14 e kick off in Apr-15)
- **JLab: BDX** (oltre a **HPS**, **APEX** e **DarkLigh** gia' in run)
 - Fascio: 12 GeV, 10^{22} EOT/year
 - Studi preliminari sulle infrastrutture necessarie e sul detector
- **MAINZ (MESA): BDX**
 - Fascio: 150 MeV, 10^{22} EOT/year
 - Ottenuto un finanziamento per una sala sperimentale dove collocare BDX
- **Cornell: PADME-like** (e⁺ estratti su bersaglio fisso)
 - Fascio: 5 GeV, reach x2 rispetto a LNF
 - Proposal sottomesso all'NSF: in attesa di risposta
- **Belle:**
 - Trigger mono-jet per ricerca fotone pesante

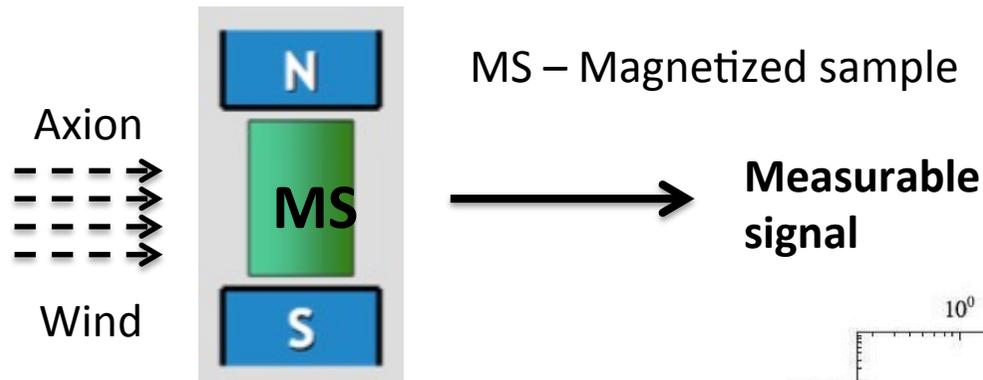
Example: scalar DM scenario



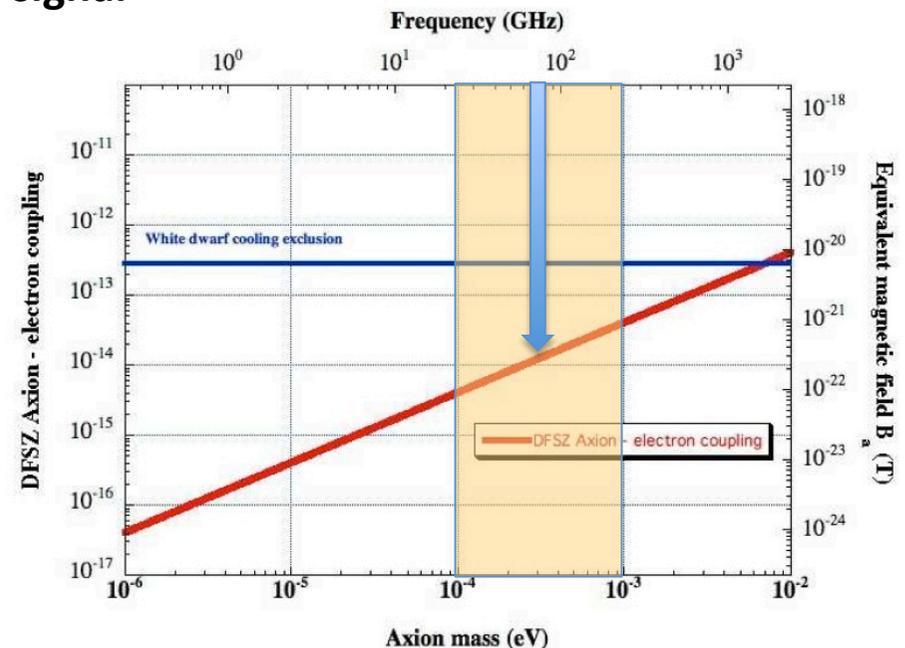
Assioni

$a\gamma\gamma$ ADMX prosegue con ADMX-II e ADMX-High Frequency
CAST, Orpheus, Dish antenna, Casper

aee QUAX: magnetometro ad alta frequenza



Reach the axion model coupling constant within a 5 year development in the axion mass range ($10^{-4}, 10^{-3}$) eV



ALPs, WISPs e altre particelle leggere

Hidden photons: **CAST**

Xenon 100 (electron scattering)

Mini-charged particles: **ALPS** (DESY)

Chameleons:
(candidati di DE)

KWISP (Trieste), sensore installato a CAST

sensori opto-meccanici basati su nano-membrane in cavità Fabry-Perot
misura che Chameleons solari

GRANIT (Grenoble)

Interferometria atomica

Presenza INFN attualmente limitata

Sviluppo tecnologico:

Antenne e cavità risonanti RF alle decine di GHz

Rivelazione di fotoni ad alta efficienza al THz

Elettronica criogenica

Grafene

Sensori optomeccanici

Ricerca diretta

- **Direzionalita'**
 - Emulsioni nucleari [-> LNGS SC + lettera di intenti per CSN2]
 - Cristalli anisotropi [ADAMO, development phase]
 - Liquid Ar TPC [R&D and demonstration phase]
 - NITEC (Negative Ion Time Expansion Chamber) [SIR in atto]
 - Carbon nanotubes (channeling di ioni C scalzati dalle WIMP nel CNT)
 - Argomenti interessanti per lo sviluppo di tecnologie innovative

Ricerca diretta e fisica underground

- **Discussione su nuove tecniche e rivelatori** *con GdL Neutrino* (meeting LNGS)
 - **Basse soglie**
 - Si puo' arrivare a O(10 eV)? Scendere a O(0.1 eV)?
 - Effetto Luke su semiconduttori
 - Cristalli con popolazione invertita
 - Uso dei livelli Zeeman di materiali di paramagnetici
 - Amplificazione del segnale in cavità a microonde
 - (...)
 - **Zero background**
 - Rivelatori di oggi come schermi per rivelatori futuri
 - Crescita, preparazione e pulizia materiali in sotterraneo
 - Sviluppo di nuove procedure di arricchimento e di rivelazione attive
 - **Cristalli ad estrema radiopurezza**
 - Scarso interesse nell'industria: necessaria propria linea di produzione
 - Preparazione e condizionamento materie prime
 - Crescita cristalli
 - Produzione dispositivi speciali
 - Lavorazione meccanica
 - **Rivelatori di luce**
 - Silicon photo multipliers (SiPM e Vacuum SiPM)
 - Bolmetrici
 - **Spunti interessanti per sviluppo tecnologico**

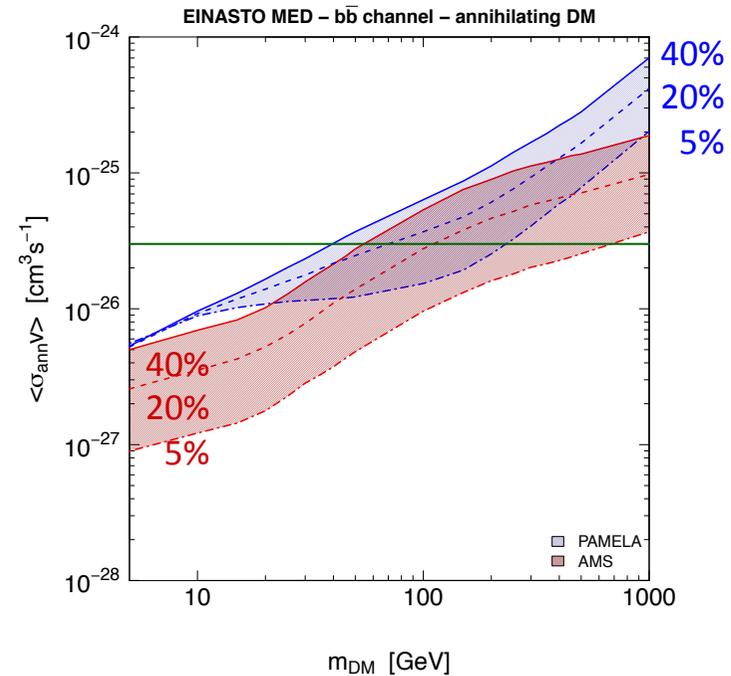
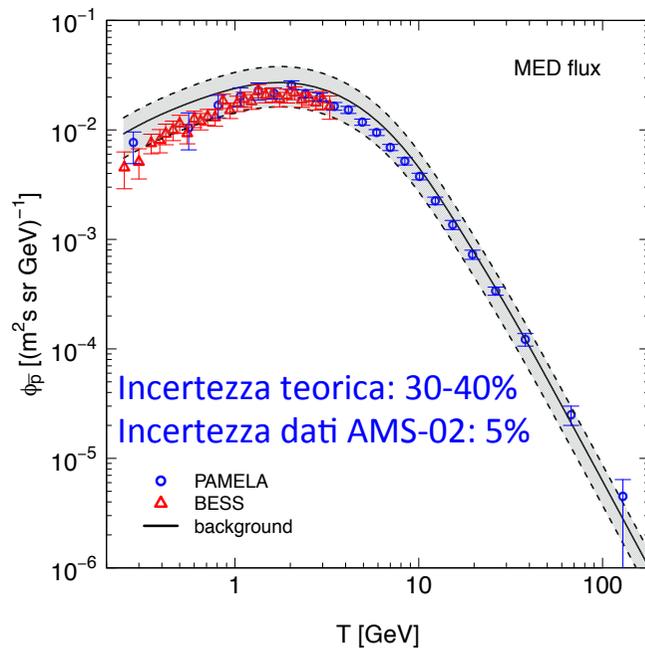
Ricerche indirette: raggi cosmici

con GdL Raggi Cosmici

- **Discussione su next-generation space experiments at TeV-PeV**
 - Pros and Cons di differenti strategie:
 - **Spettrometro**
 - + Accesso a part/antipart: ideale per segnale di DM
 - + Accesso a composizione spettroscopica dei CR
 - Magnete: pesante e complesso da operare (superC)
 - **Pair-conversion**
 - + Eccellente risoluzione angolare
 - Impatto su FoV e energy resolution
 - **Calorimetro**
 - + Massima accettazione, alta statistica per elettroni
 - + Puo' raggiungere PeV per nuclei

Ricerche indirette: raggi cosmici

- **Misura della sezione d'urto p+He (e p+p)** *con GdL Raggi Cosmici*
 - Per il segnale di DM in antiP (e antiD) e per la stessa fisica dei raggi cosmici, le incertezze sistematiche sulle sezioni d'urto p+p e p+He sono ormai dominanti rispetto a quelle sui dati
 - Questo rischia di **limitare** le ricerche di DM
 - Proposta di misura dedicata delle sezioni d'urto p+He e p+p alle energie di interesse per i raggi cosmici



- Presentazione informativa in CSN1
- Meeting a Torino, dimostrato interesse da parte di Compass

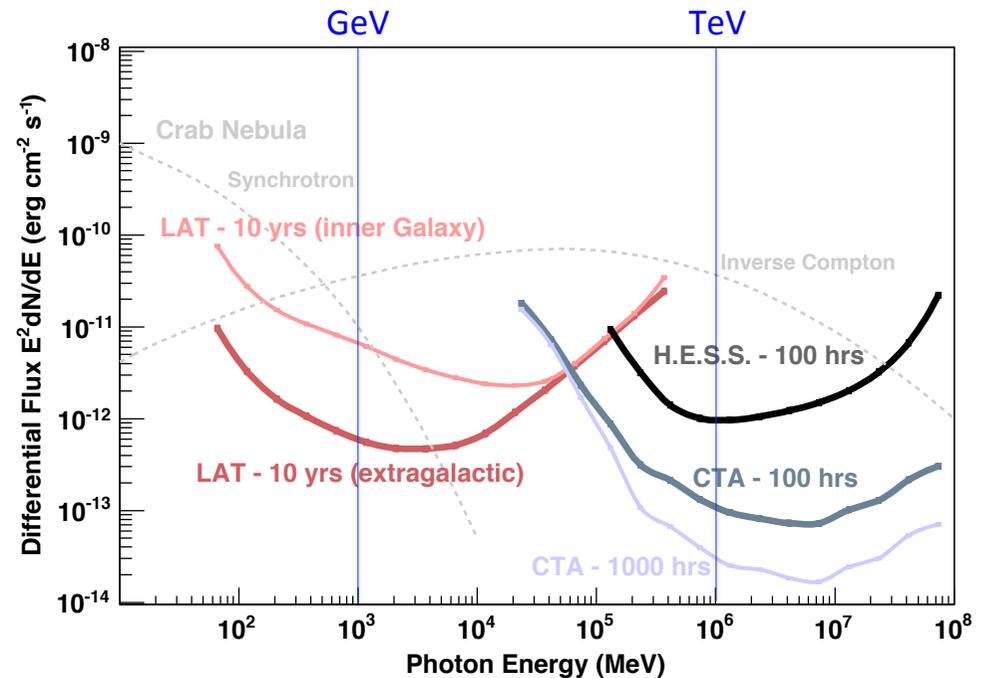
Ricerche indirette: raggi gamma

con GdL Raggi Cosmici

- Discussione su next-generation space experiments at TeV-PeV (v. sopra)

- **CTA**

- Accesso a TeV+ DM
- Targets
 - Centro galattico
 - DM clumps
 - dSphs galaxies
 - Galaxy clusters
- Combinazione con informazioni da DES e LSST



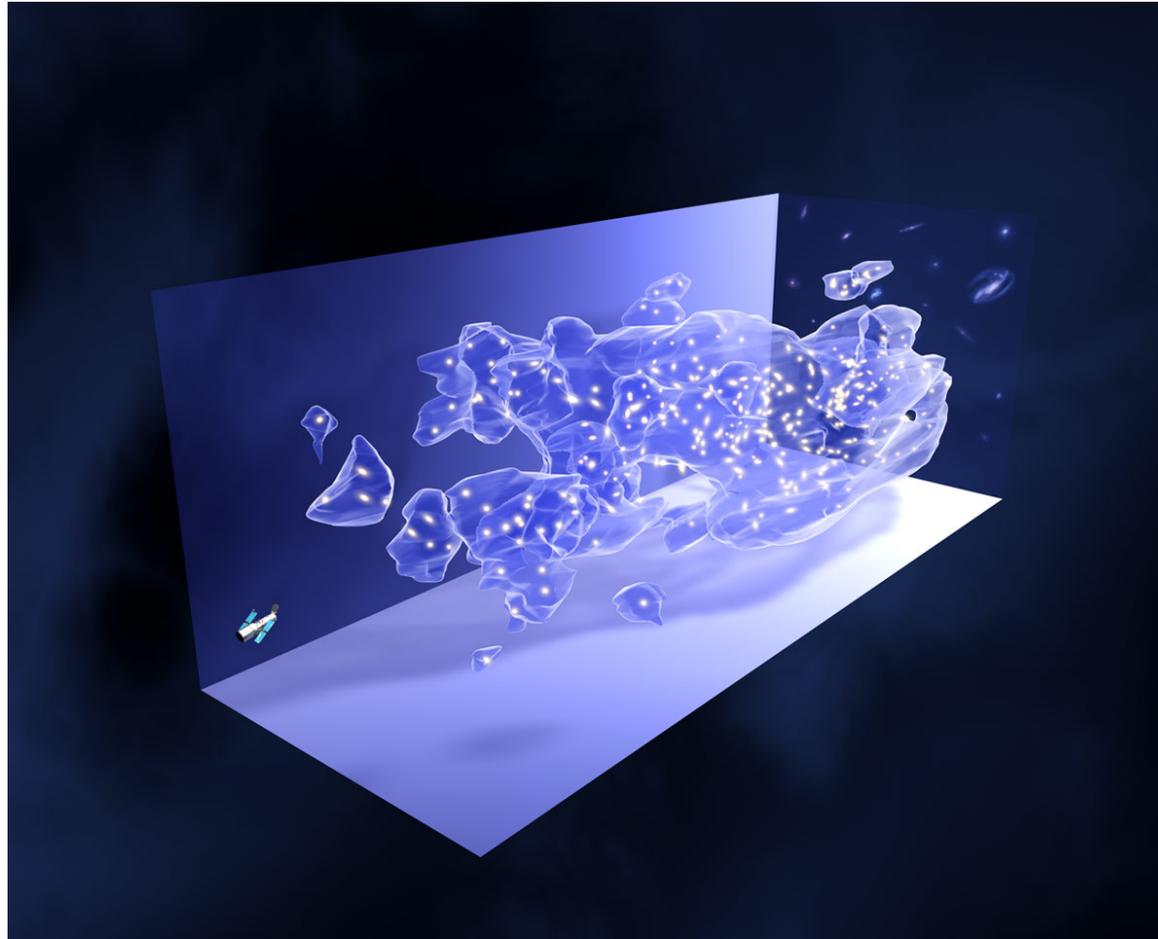
Ricerche indirette: raggi gamma e cosmici

Altri esperimenti in fase di studio e sviluppo (con coinvolgimento INFN)

- **DAMPE**
 - Focus su risoluzione energetica per gamma ed elettroni in (2 GeV – 10 TeV)
- **GAMMA 400**
 - Focus su risoluzione energetica (linea gamma)
- **ASTROGAM** (GammaLight + AstroMeV)
 - Linee a bassa energia (sotto il GeV)
 - Spettri WIMP nella coda di bassa energia
 - **Proposta M4 ESA**
- **HERD**
 - Protoni fino al PeV
 - **Su futura stazione spaziale cinese**
- **PANGU**
 - Misure sotto il GeV con grande risoluzione spaziale
 - **Cina + ESA**

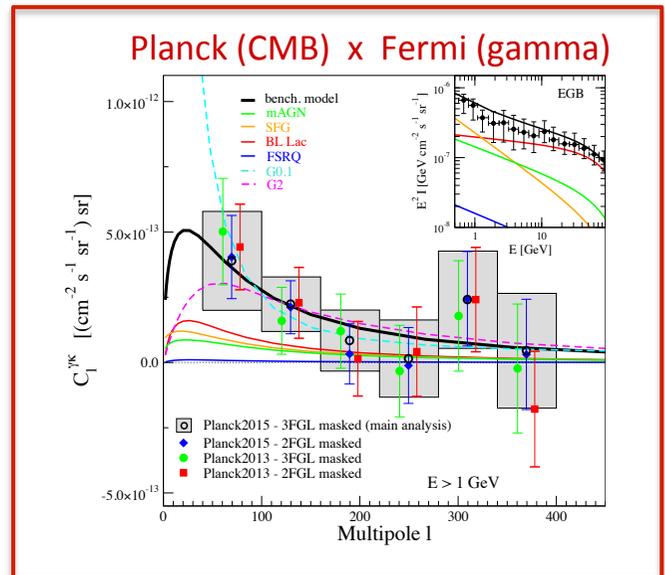
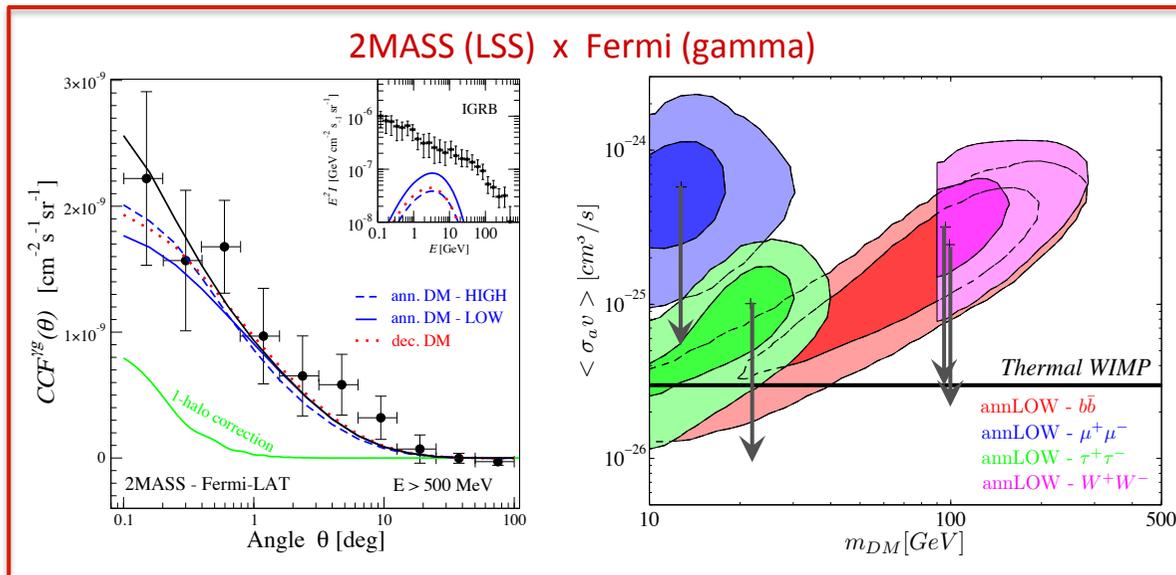
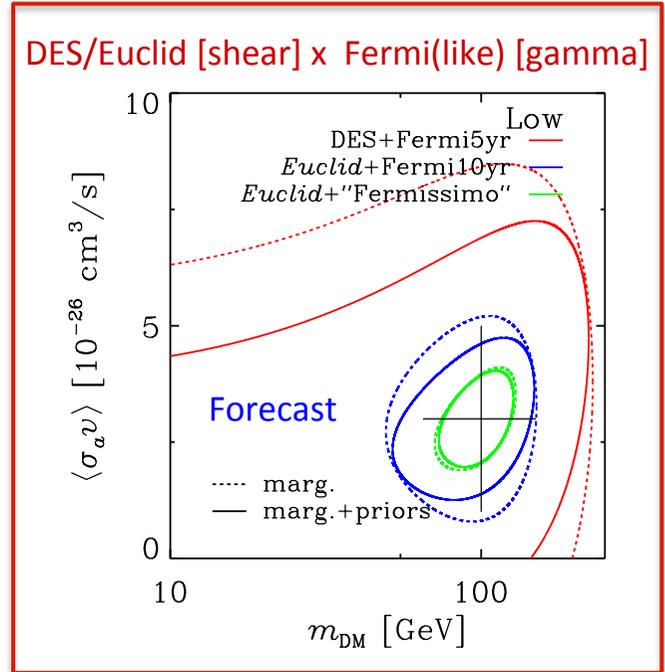
Ricerche indirette: cross-correlazioni

Cross-correlazioni tra l'emissione **gamma** non-risolta e la distribuzione di DM a grande scala misurata attraverso **gravitational DM tracers**



Ricerche indirette: cross-correlazioni

- Cross-correlazioni con gravitational DM tracers
 - Cosmic shear (DES, Euclid)
 - CMB (Planck)
 - LSS (2MASS, SDSS, ...)
 - Presentazione informativa in CSN2
 - Possibile interazione con GdL Cosmologia



La ricerca di DM, e in particolare l'ID di un segnale non-gravitazionale, e' una attivita' multidisciplinare, che richiede la combinazione di tecniche e analisi molto diversificate

Strengths	Weaknesses
INFN molto forte su: <ul style="list-style-type: none"> - Aspetti particellari - Ricerche nuova fisica agli acceleratori - Ricerche underground (direct detection) - Ricerche gamma e CR nello spazio e a terra 	Poco presente su new probes: <ul style="list-style-type: none"> - Radio e multiwavelength [light DM + WIMP] - CMB [dark radiation, DM] - Surveys: LSS e cosmic shear [xcorrelations]
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> - Impegno in ricerche di light states (ALPS, etc) - Cercare sinergie su attivita' non tradizionali? (*) - Singoli o piccoli gruppi attivi su attivita' non tradizionali, ma non diretto impegno dell'Ente 	Perdersi un segnale di DM: <ul style="list-style-type: none"> - O perche' non si e' guardato nella direzione giusta [sfruttare tutte le opportunita' possibili ad ampio spettro] - O perche' e' troppo debole e/o nascosto [preparare il campo per la next-next generation]

(*) Ci sono settori che stanno portando/porteranno una enorme mole di dati di estrema rilevanza per la DM (sia WIMP che non-WIMP):

CMB (Planck; Core+, ...)

Surveys (DES; Euclid, LSST, ...)

Radio observations (SKA: precursors and main project, ...)

Alcune domande aperte

- E' evidente che i segnali astrofisici di DM sono particolarmente deboli
- Le tecniche attuali/previste sono in grado di estrarre in modo convincente un segnale piccolo da un fondo che ha incertezze teoriche/strumentali significative? Possiamo migliorare il controllo sulle incertezze?
- Con un segnale piccolo, anche quelle che vedevamo come signature certe diventano sfumate e poco convincenti:
 - La segnatura angolare del centro galattico
 - La linea X a 3.5 keV
 - I pochi eventi gamma in "eccesso" dalle dwarf scoperte questo mese
 - etc.
- A "segnali" o supposti tali che si sono susseguiti, sono state periodicamente opposte "spiegazioni" astrofisiche/strumentali (compresa la linea gamma)
- Sappiamo/e' possibile fare meglio nelle analisi singolo canale?
- Le correlazioni multi-canale spezzano veramente questo loop?

Futuro del GdL

Attività' attualmente previste per il futuro prossimo

- Meeting con GdL Raggi Cosmici
 - Per fare il punto
 - Discutere piu' in dettaglio idee su nuovi detectors
 - Neutrini dal Sole?
 - Antideuterio?
- Meeting con GdL Cosmologia sui possibili interazioni
 - Dark radiation and new DM candidates (sterile neutrinos, light states)
 - Cross-correlations
 - Ly-alpha probes?
- Meeting con GdL BSM
 - Approfondire la ricerca di Nuova Fisica a LHC e beam dumps con focus sulla DM

La forma prevista dei meetings e' secondo le linee adottate fin'ora, con call di proposte alla comunita' di riferimento

Su What Next

L'aspetto piu' utile del processo WN e' stato far incontrare le persone e circolare le idee

L'aspetto innovativo e' apparso proprio quello del "think tank" puramente *scientifico*: un forum in cui esporre e/o sviluppare idee (che, in alcuni casi, abbiamo visto essere nell'aria, ma senza trovare lo stimolo, il tempo o l'occasione di essere esplicitati)

Quando poi il processo di discussione arriva a maturazione, e' naturale che si stacchi da WN e venga portato in commissione

In questo senso potrebbe anche avere senso mantenere aperto il processo, come forum di discussione "permanente" o "ricorrente" inter-commissione (e che non si sovrappone ai lavori delle CSN, in quanto basato puramente sull'aspetto di "incubatore di idee") per sviluppare e portare avanti quegli argomenti che hanno bisogno di discussione prima di arrivare in commissione

Non ci e' chiaro invece quanto possa essere utile un White Paper sull'intero settore della DM