

Astroparticle and Neutrino Physics Group

Dipartimento di Fisica Teorica dell'Università di Torino

Istituto Nazionale Fisica Nucleare, Sezione di Torino

Nicolao Fornengo

Carlo Giunti

Fiorenza Donato

Stefano Scopel

Alessandro Bottino

1. Particelle in cosmologia e astrofisica, materia ed energia oscura, Universo primordiale
2. Fisica ed astrofisica del neutrino

<http://www.astroparticle.to.infn.it>

Densità di massa/energia nell'Universo

Osservazioni astronomiche indicano che

$$\rho_{tot} \approx \rho_{crit} \approx 1.8791 h^2 \times 10^{-29} \text{ g cm}^{-3} \quad (h \approx 0.7)$$


$$\Omega_m \equiv \frac{\rho_m}{\rho_{crit}} \approx 0.3$$

$$\Omega_\Lambda \equiv \frac{\rho_\Lambda}{\rho_{crit}} \approx 0.7$$

$$\Omega \equiv \frac{\rho_{tot}}{\rho_{crit}} = \Omega_m + \Omega_\Lambda \approx 1$$

Da cosa è costituita Ω_m ?

- materia “visibile” (materia che emette radiazione elettromagnetica) $\Omega_{vis} \leq 0.01$
- materia barionica (dalla nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri) $0.03 \leq \Omega_b \leq 0.05$
- fondo di neutrini (da teoria del Big Bang, misure di oscillazioni dei ν , formazione di strutture cosmologiche) $0.001 \leq \Omega_\nu \leq 0.04$



Una frazione di materia barionica è oscura

La maggior parte della materia oscura è costituita da particelle non ancora identificate

Particelle fossili

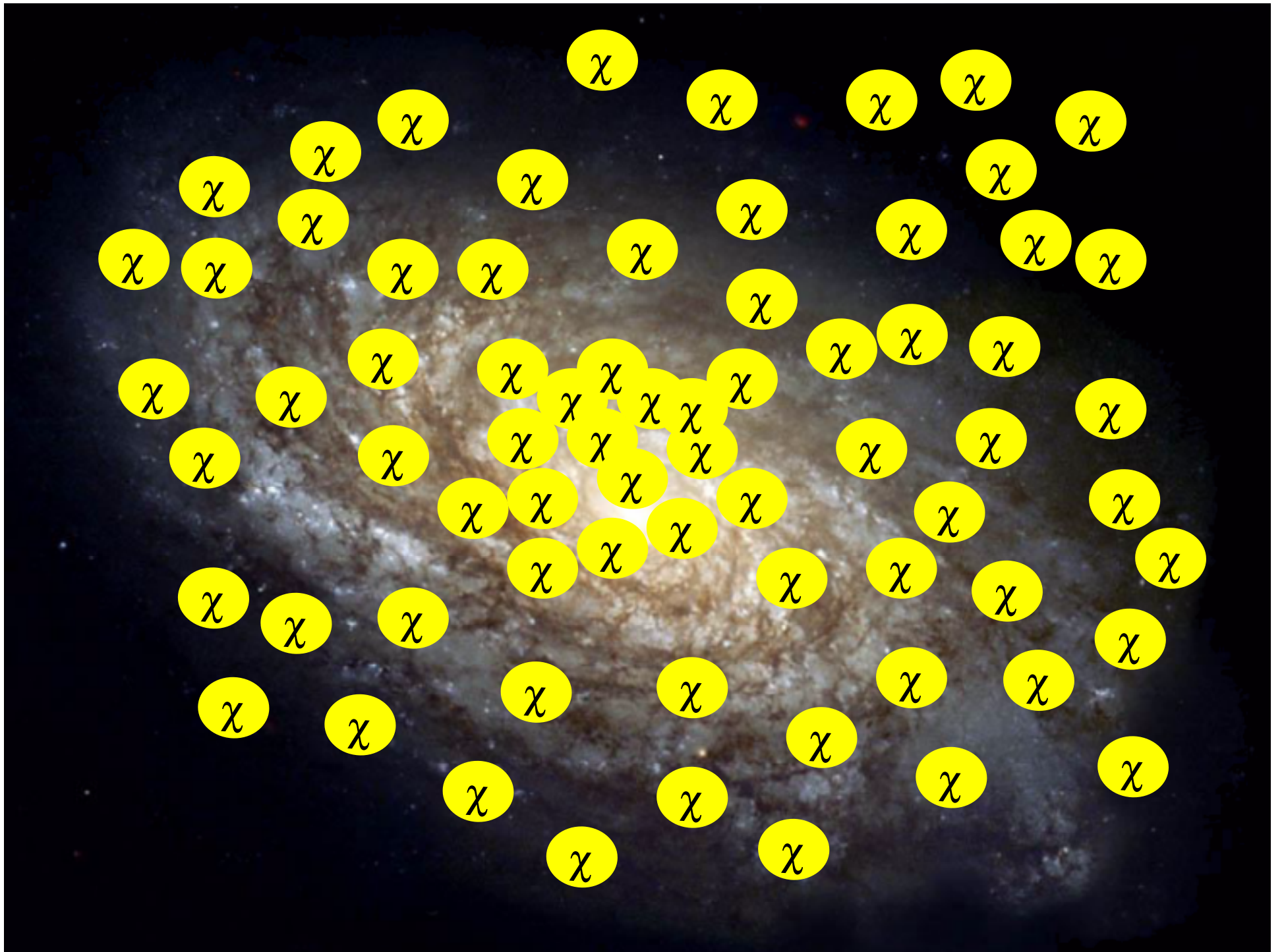
- particelle **calde**: relativistiche al tempo del disaccoppiamento dal plasma primordiale
- particelle **fredde**: non-relativistiche al tempo del disaccoppiamento dal plasma primordiale

Formazione di strutture

- per avere le attuali strutture cosmologiche (**galassie, ammassi di galassie**) la maggior parte di Ω_m deve essere costituita da materia oscura fredda (CDM)

$$\frac{\Omega_v}{\Omega_m} \leq 0.13, \quad 0.095 \leq \Omega_{\text{CDM}} h^2 \leq 0.13$$





Per essere considerata come candidato di materia oscura una particella deve:

- essere stabile (almeno sui tempi dell'ordine dell'età dell'Universo)
- avere solo interazioni deboli (oltre a quelle gravitazionali)
- essersi disaccoppiata dal plasma primordiale in regime non relativistico (per dare luogo a corrette strutture cosmologiche)

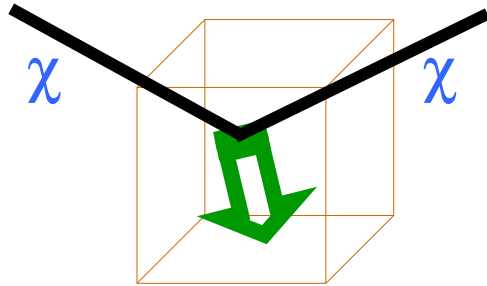
Termine generico: Weakly Interacting Massive Particle

- NON esistono particelle di questo tipo nel Modello Standard delle particelle, ma solo in sue estensioni: **neutrini pesanti**, **teorie supersimmetriche**, **assioni**, **teorie di stringa**
- Uno dei candidati più interessanti è il **neutralino (χ)** = particella di spin 1/2 , neutra, auto-coniugata

Temi di ricerca del nostro gruppo nell'ambito della materia oscura:

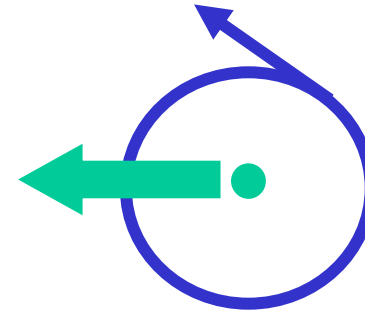
- ❑ distribuzioni di WIMP nell'alone galattico
- ❑ fenomenologia dei modelli supersimmetrici e dei candidati susy di materia oscura
- ❑ proprietà cosmologiche del neutralino
- ❑ calcolo di segnali diretti e indiretti dovuti a neutralini
- ❑ propagazione e diffusione di particelle (raggi cosmici)

Misure dirette di WIMP

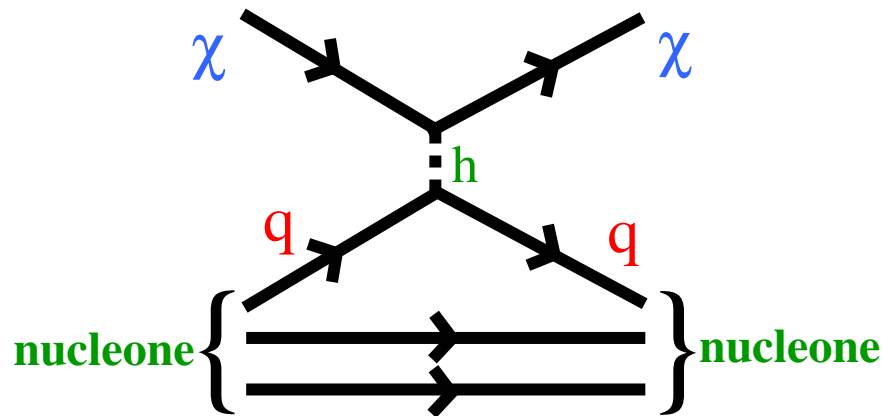


misura di rinculo nucleare

effetto di
modulazione
annuale



possibile processo "elementare"

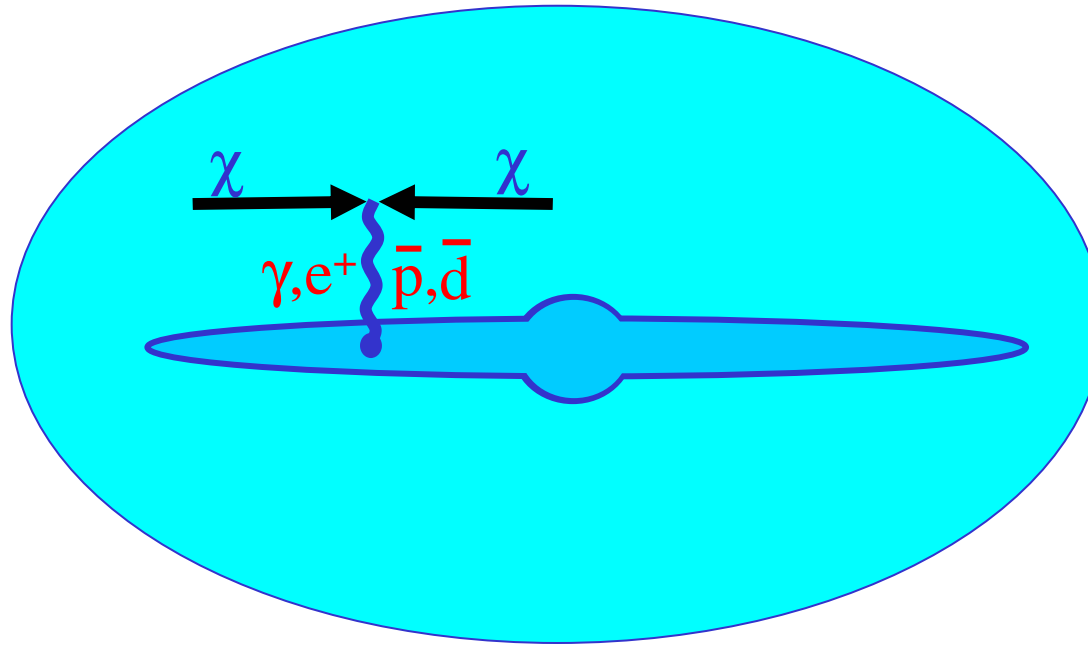


$$\sigma_{\text{scalar}}^{(\text{nuclear})} \propto \frac{1}{m_h^4}$$

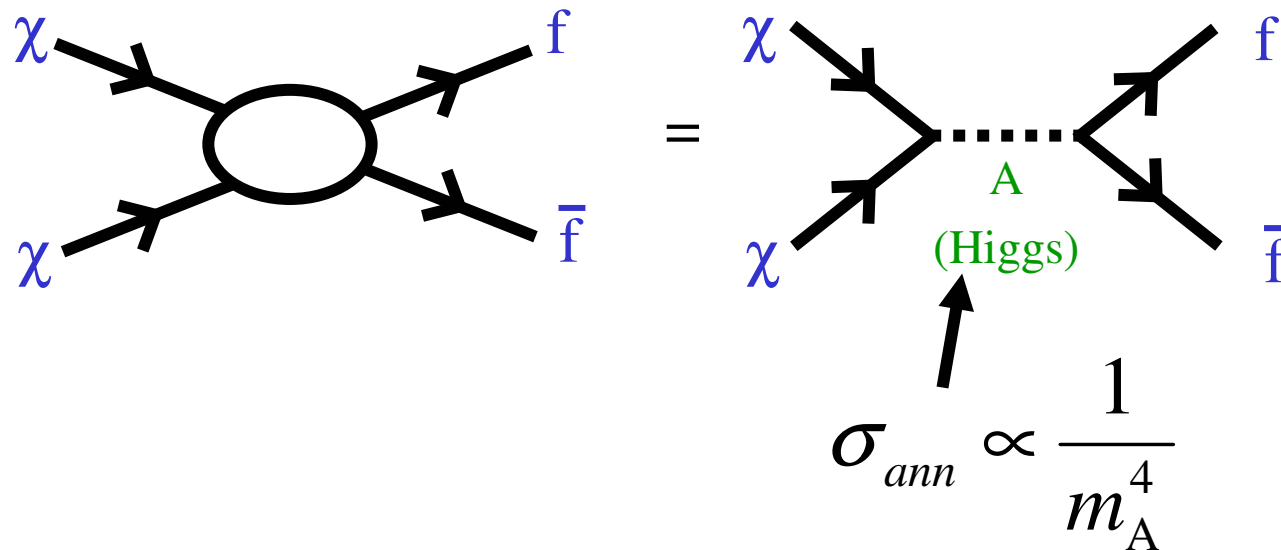
in supersimmetria vi sono tre
particelle di Higgs neutre

$\left\{ \begin{array}{l} h, H \\ A \end{array} \right.$
 pari per CP
 dispari per CP

Misure indirette di WIMP



esempio:



Modello MSSM

- usualmente, nell'ipotesi di Grande Unificazione (GUT) per le masse dei gaugini

$$m_{\text{chargino}} \geq 100 \text{ GeV} \quad \Rightarrow \quad m_{\chi} \geq \frac{1}{2} m_{\text{chargino}} \geq 50 \text{ GeV}$$

- nel nostro modello (no GUT) viene ottenuto il limite inferiore

$$m_{\chi} \geq 6 \text{ GeV}$$

dal limite cosmologico

Abbondanza fossile del neutralino

$$\Omega_{\chi} h^2 \approx \frac{3 \times 10^{-39} \text{ cm}^2}{\langle \sigma_{\text{ann}} V \rangle_{\text{int}}}$$

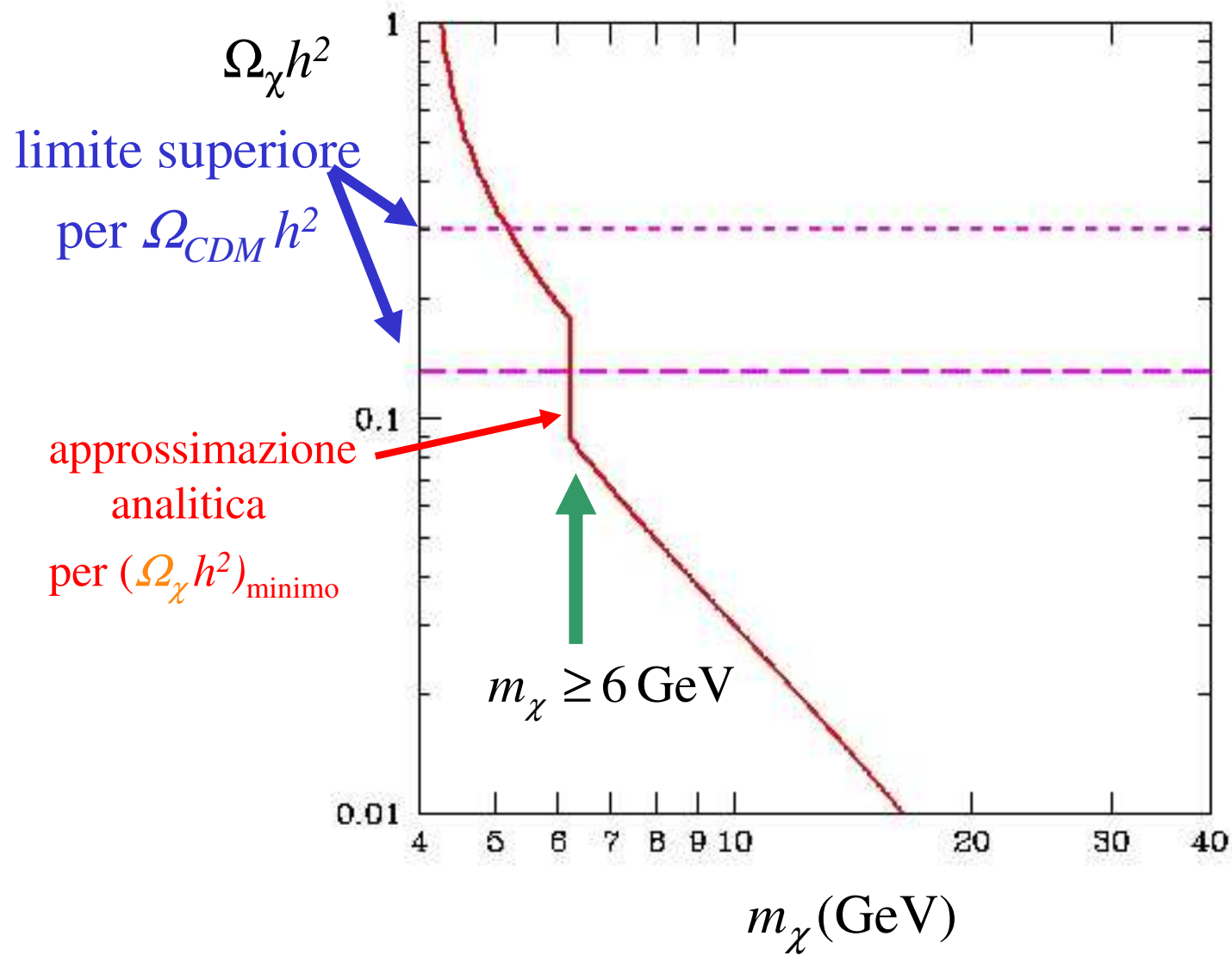
$\langle \sigma_{\text{ann}} V \rangle_{\text{int}} \equiv$ media termica del prodotto di σ_{ann} × velocità relativa, integrata dal tempo di disaccoppiamento al tempo attuale

Vincolo cosmologico

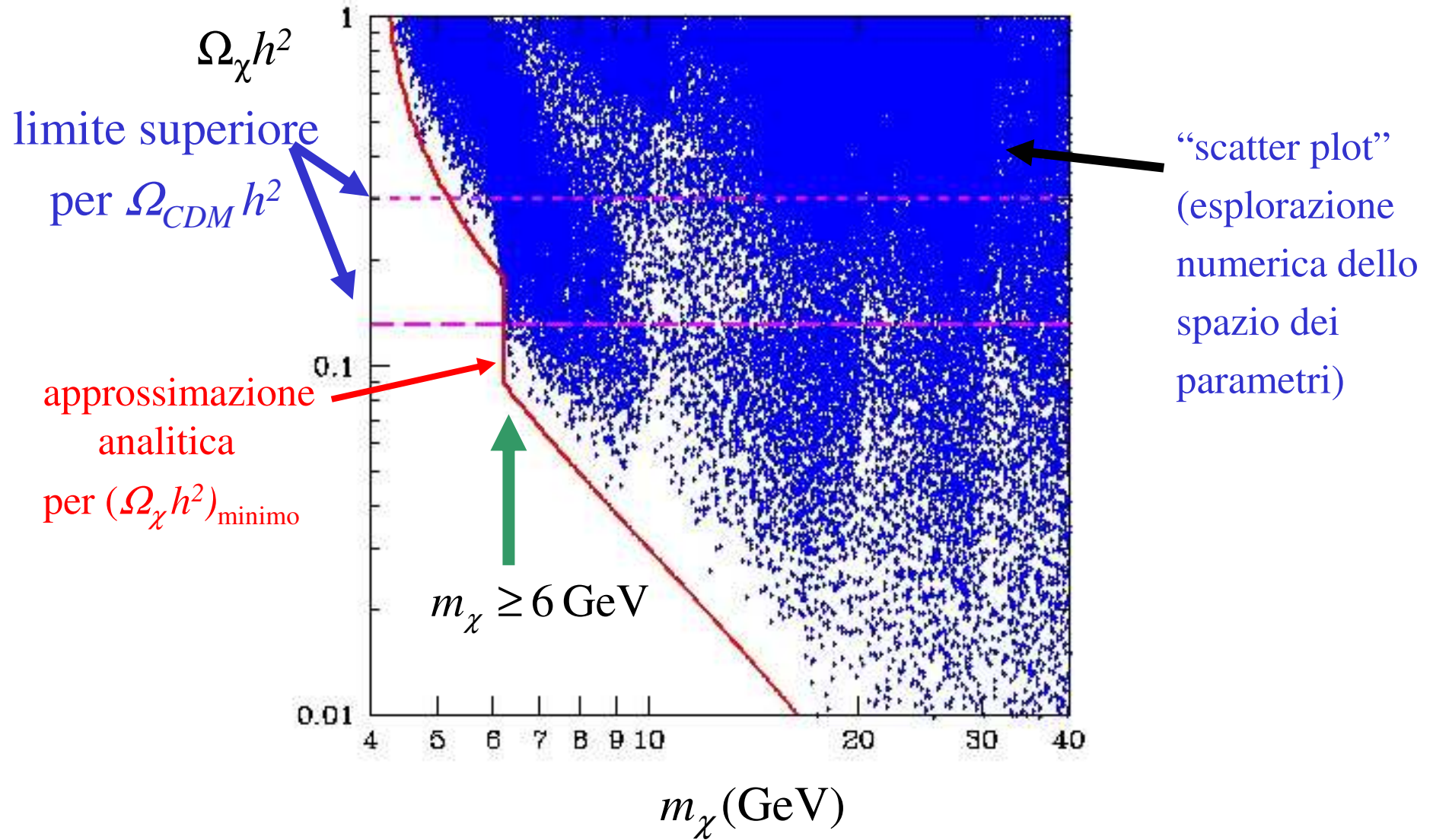
$$\Omega_{\chi} h^2 \leq (\Omega_{\text{CDM}} h^2)_{\text{max}} \approx 0.13$$

$$\Rightarrow \langle \sigma_{\text{ann}} V \rangle_{\text{int}} \geq 2.3 \times 10^{-38} \text{ cm}^2$$

Limite inferiore cosmologico su m_χ




Limite inferiore cosmologico su m_χ




Numero di eventi attesi per rivelazione diretta:

$$R \propto \rho_\chi \times \sigma_{\chi\text{-nucleo}} = \rho_{tot} \times \xi \times \sigma_{\chi\text{-nucleo}}$$

dove:

calcolata 

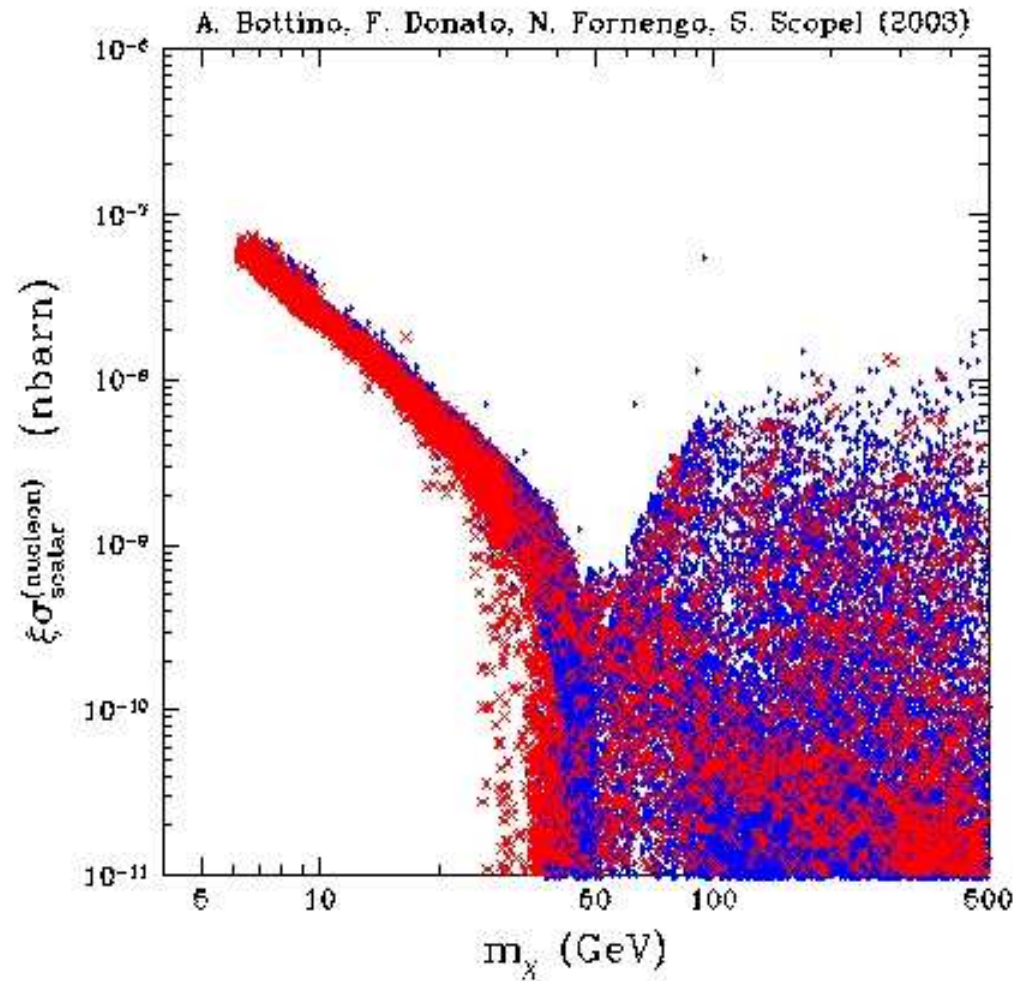
$$\xi \equiv \frac{\rho_\chi}{\rho_{tot}} = \min\left(1, \frac{\Omega_\chi h^2}{(\Omega_{\text{CDM}} h^2)_{\text{min}}}\right)$$

dai dati osservativi 

In caso di interazione coerente:

$$\sigma_{\chi\text{-nucleo}} \propto A^2 \sigma_{\text{scalar}}^{(\text{nucleon})}$$

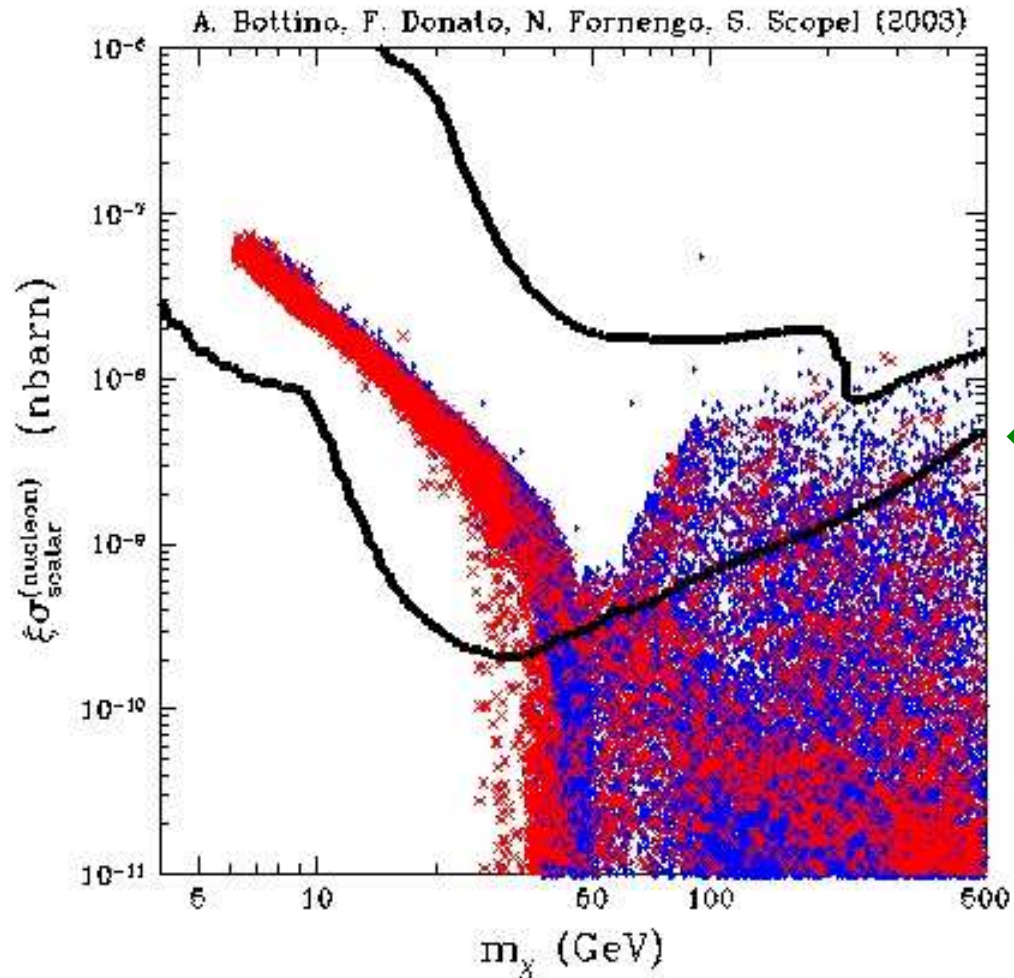
Sezione d'urto neutralino-nucleone



● $\Omega h^2 < 0.095$

× $\Omega h^2 \geq 0.095$

Sezione d'urto neutralino-nucleone

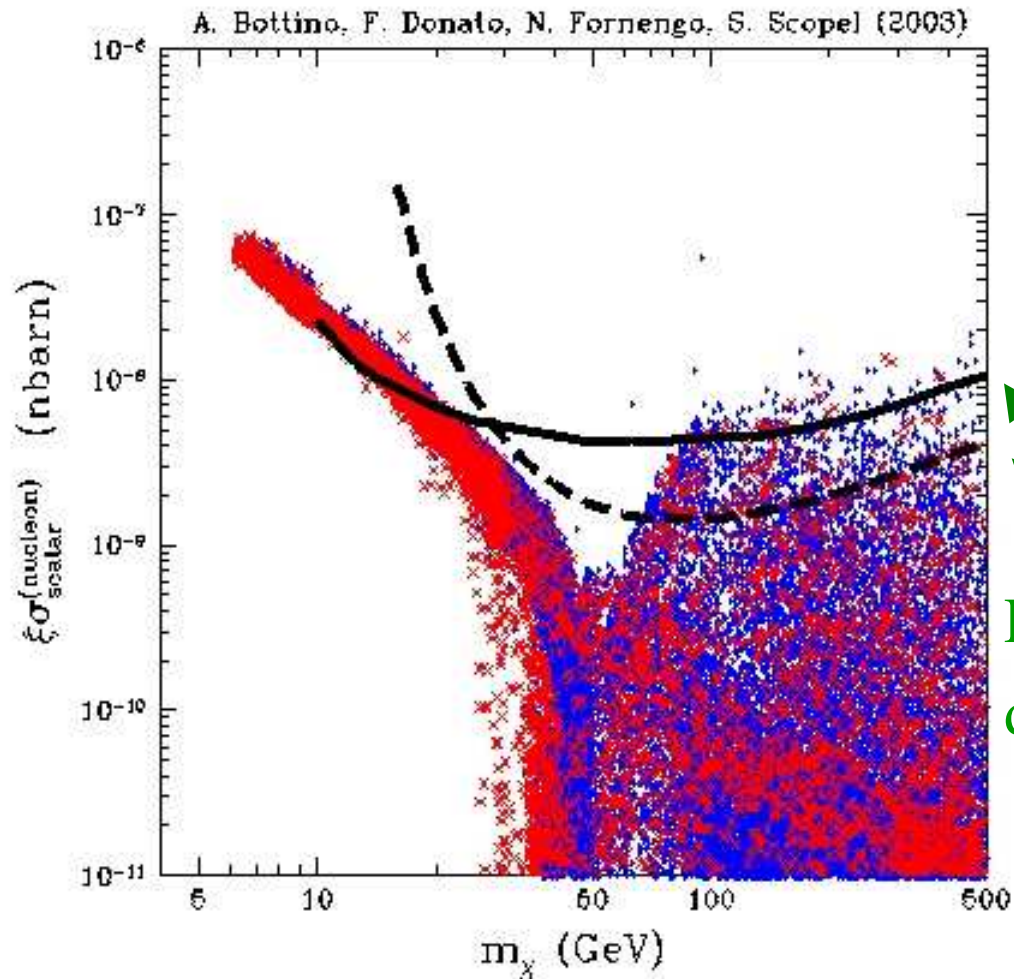


Modulazione
DAMA

● $\Omega h^2 < 0.095$

× $\Omega h^2 \geq 0.095$

Sezione d'urto neutralino-nucleone



Limiti superiori
da ricerche dirette

..... Edelweiss
— CDMS

● $\Omega h^2 < 0.095$

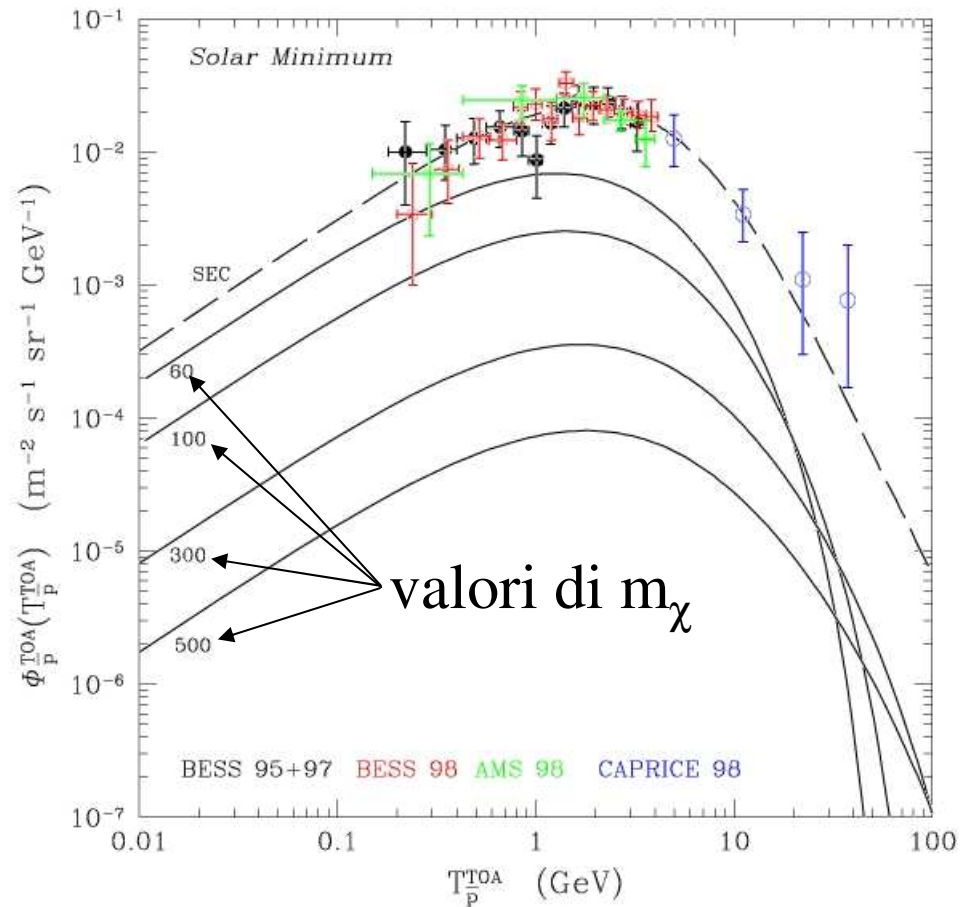
× $\Omega h^2 \geq 0.095$

- *“Light Neutralinos and WIMP Direct Searches”*,
A. Bottino, F. Donato, N. Fornengo, S. Scopel,
in pubblicazione su **Phys. Rev. D** ([hep-ph/0307303](#))
- *“Lower Bound on the Neutralino Mass from new data on CMB and Implications for Relic Neutralinos”*,
A. Bottino, F. Donato, N. Fornengo, S. Scopel,
Phys. Rev. D68 (2003) 043506 ([hep-ph/0304080](#))
- *“Light Relic Neutralinos”*,
A. Bottino, N. Fornengo, S. Scopel,
Phys.Rev.D67 (2003) 063519 ([hep-ph/0212379](#))

Alcuni esempi di segnali indiretti

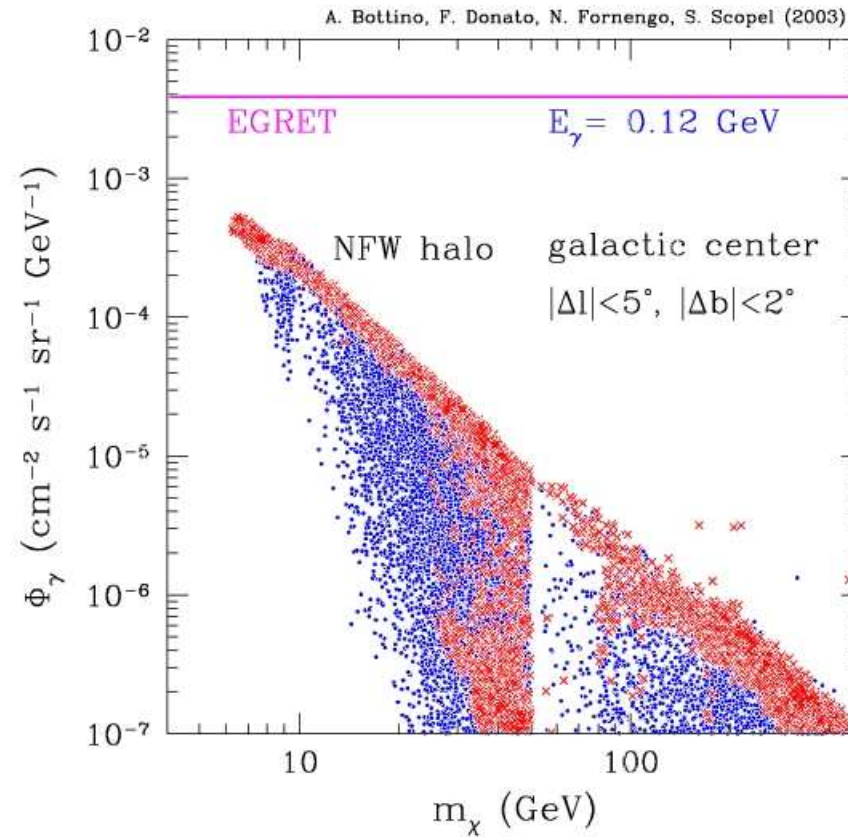
Flusso di antiprotoni

Donato, Fornengo, Maurin, Salati and Taillet, astro-ph/0306207
to appear in Phys. Rev. D

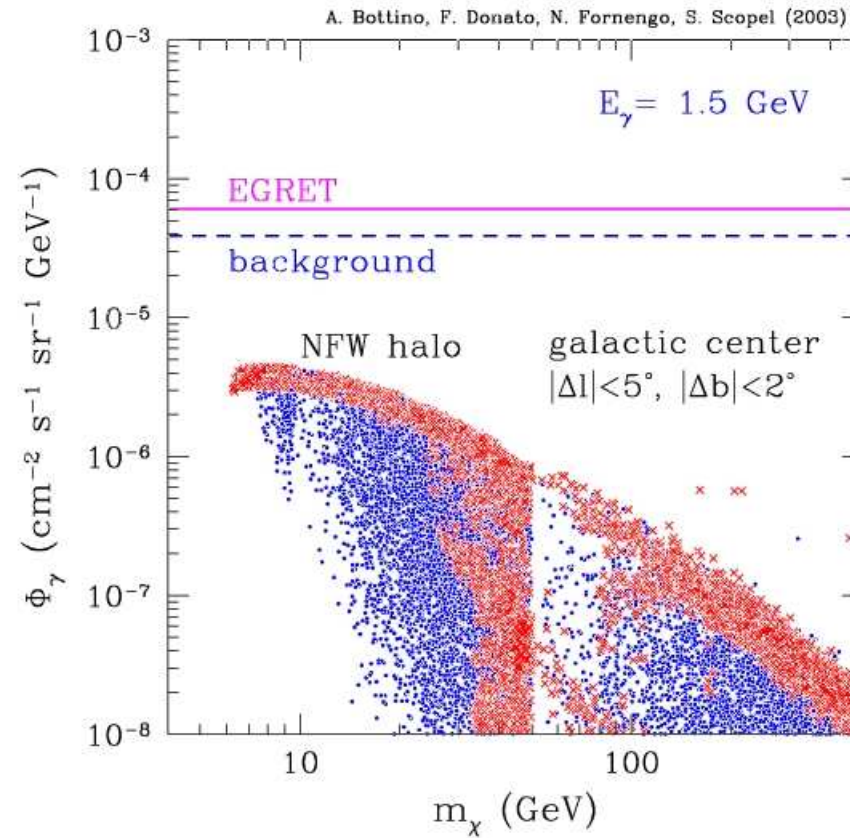


- flusso di antiprotoni da annichilazione di neutralini
- flusso di antiprotoni secondari (fondo)

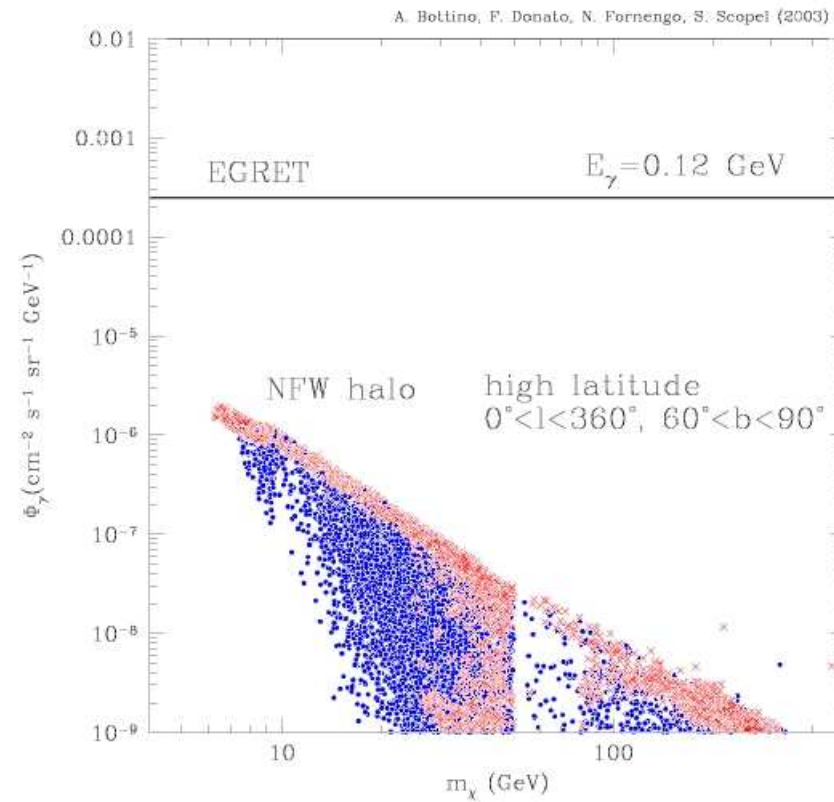
Flusso di γ da annichilazione di neutralini: centro galattico



Flusso di γ da annichilazione di neutralini: centro galattico



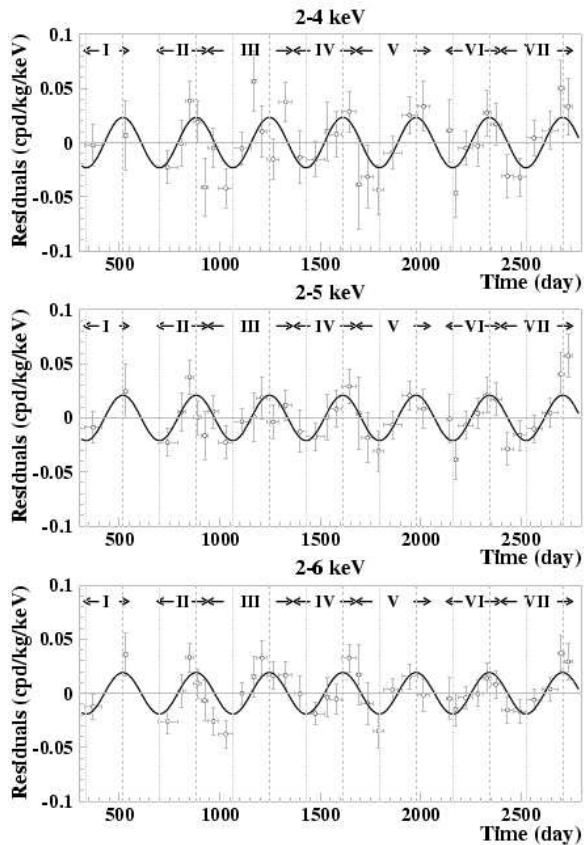
Flusso di γ da annichilazione di neutralini: alte latitudini



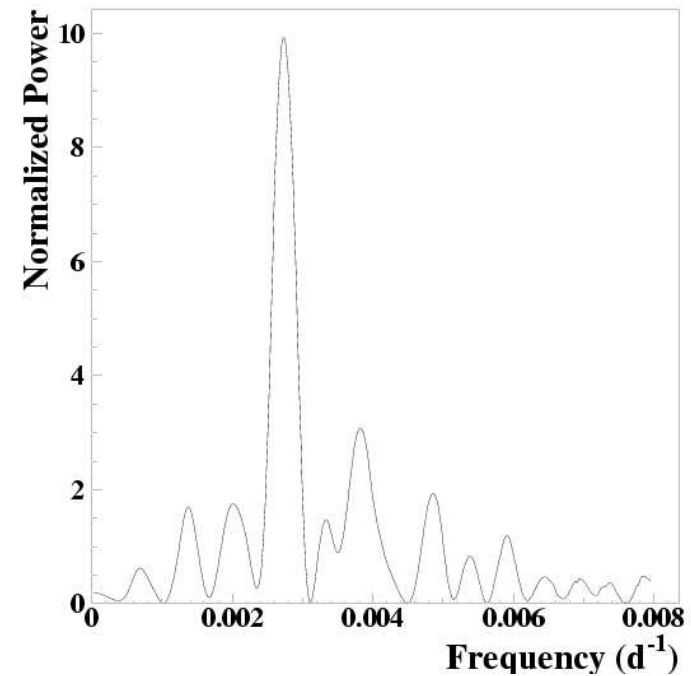
Il nostro gruppo sta attualmente completando uno studio sistematico dei diversi segnali indiretti (gamma, antiprotoni, antideutoni, muoni dal basso,...) relativi a neutralini leggeri

DAMA: 7 anni di modulazione annuale (108000 kg · giorno)

Residui



Spettro di potenza dei residui nell'intervallo energetico (2-6) keV



A SIMPLE VIEW OF THE GALAXY

