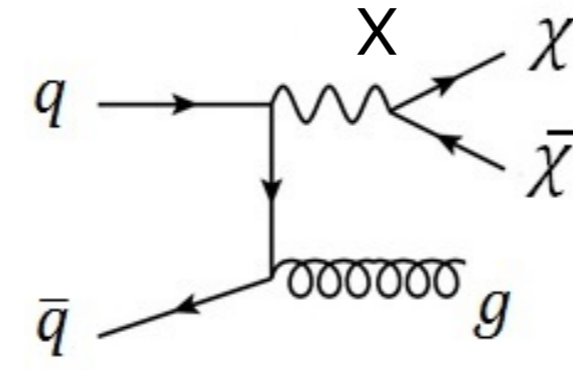


1) Introduzione

L'esistenza della materia oscura nel nostro universo è supportata da diverse **osservazioni astrofisiche**, ma il Modello Standard delle particelle elementari non fornisce alcun candidato responsabile della sua presenza. Il Large Hadron Collider (LHC) si inserisce nell'ambito della ricerca di materia oscura attraverso la sua possibile **produzione nelle collisioni protone-protone**.

Alla base della ricerca vi è l'ipotesi che essa si accoppi ai quark con **sezioni d'urto nel dominio delle interazioni deboli** ($\lesssim \text{pb}$) attraverso lo scambio di un mediatore X che decade in coppie $\chi \bar{\chi}$ di materia oscura.



2) Osservare la materia oscura

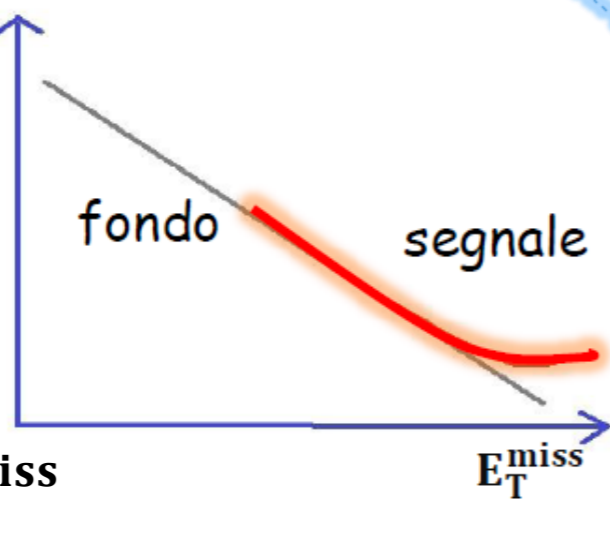
La materia oscura è elettricamente neutra e debolmente interagente, pertanto non lascia alcun segnale osservabile nei rivelatori.

L'evento di interesse è caratterizzato da:

- **energia trasversa mancante** (E_T^{miss}) \rightarrow materia oscura
- **radiazione dallo stato iniziale** \rightarrow jet, usato come **trigger**

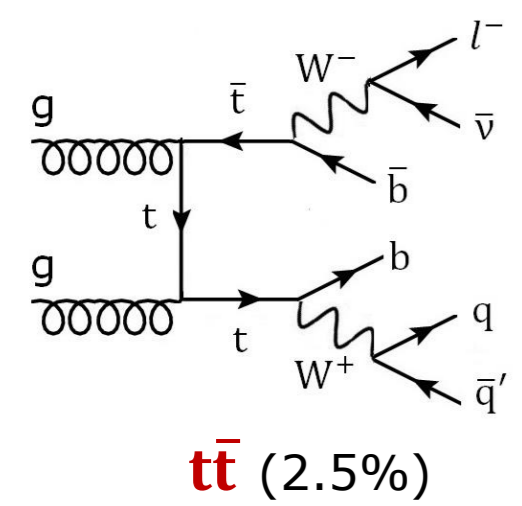
3) Segnale e fondo

La selezione degli eventi di segnale richiede $E_T^{\text{miss}} > 200 \text{ GeV}$ e uno o più jets. Si cerca un **eccesso di eventi nella regione ad alta E_T^{miss}**



fondi riducibili \rightarrow distinguibili dal segnale, stima con simulazioni
fondi irriducibili \rightarrow identici al segnale, stima basata sui dati

fondi riducibili (10%)

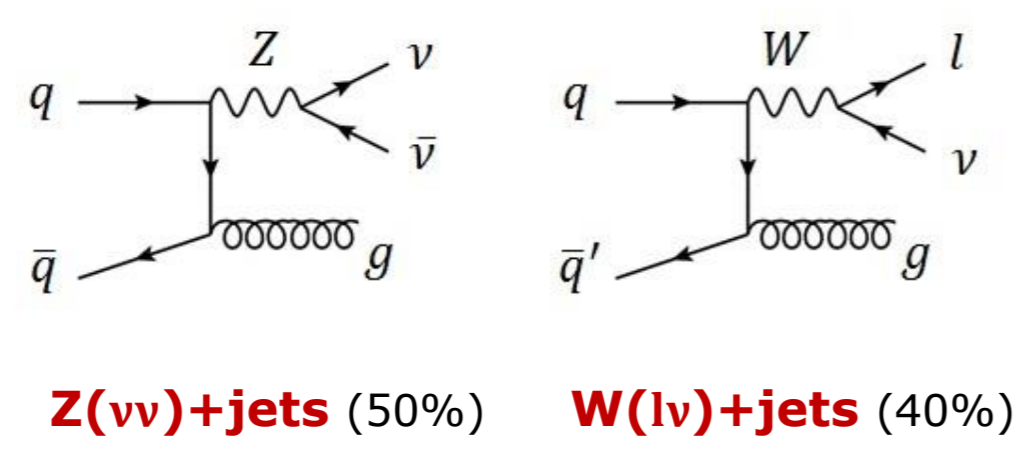


- QCD
- processi elettrodeboli
- produzione di quark top

Ridotti con la selezione

- $\Delta\phi(\text{jets}, E_T^{\text{miss}}) > 0.5$
- veto su fotoni e leptoni carichi
- veto su jets da quark b

fondi irriducibili (90%)

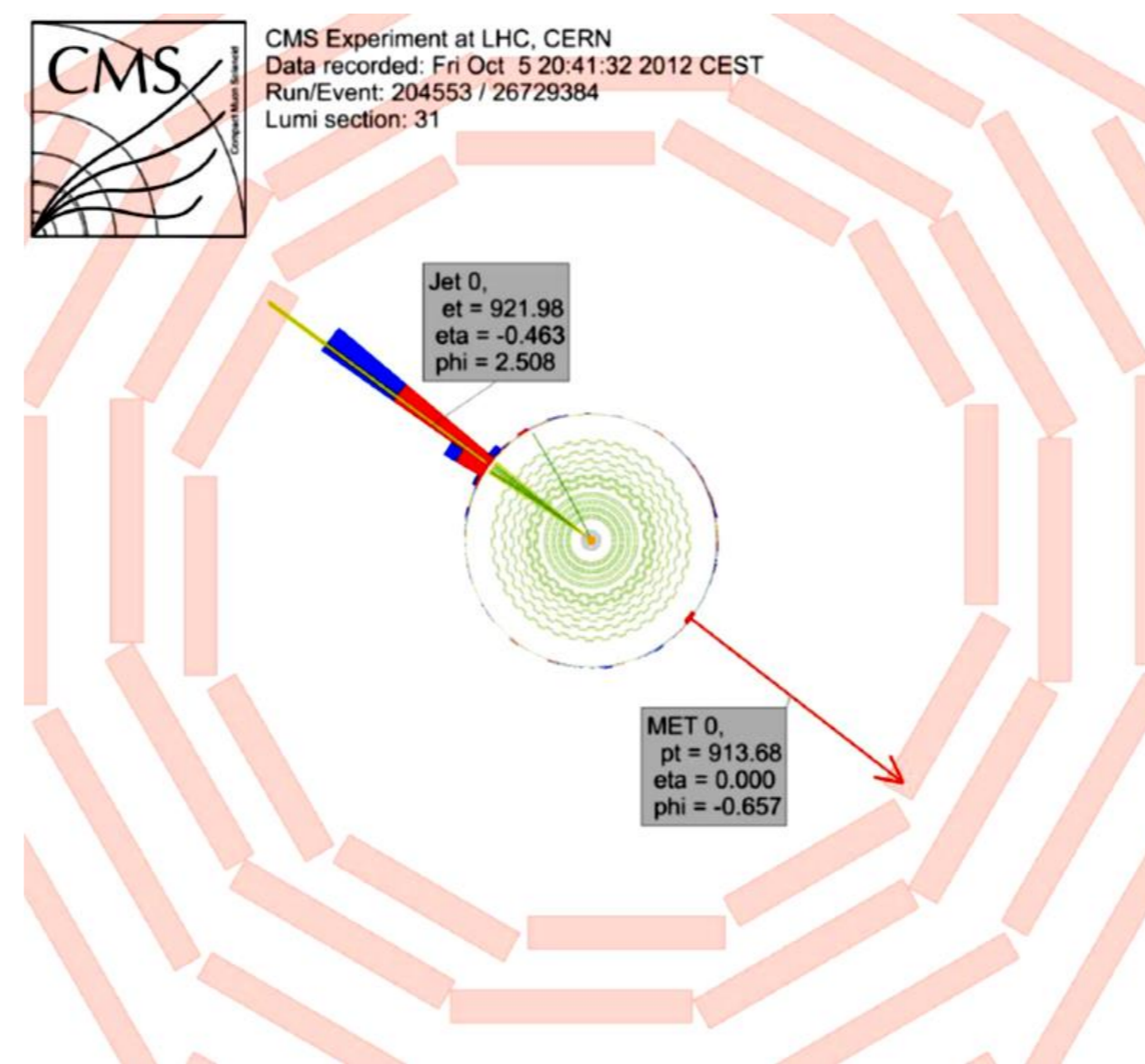


Stima dei fondi irriducibili nella regione di segnale (RS)

- 5 **regioni di controllo** (RC) nei dati
- **fattori di scala** dal Monte Carlo (MC)

$$N_{RS}^{\text{dati}} = N_{RC}^{\text{dati}} \times \frac{N_{RS}^{\text{MC}}}{N_{RC}^{\text{MC}}}$$

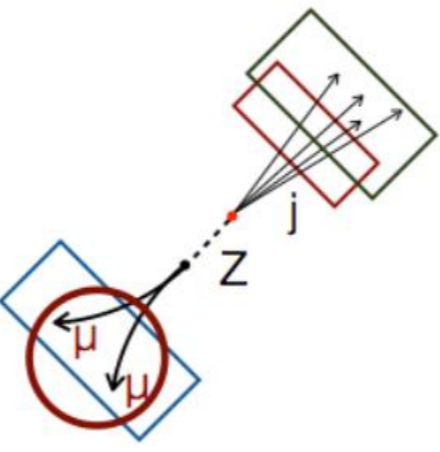
Evento candidato monojet



4) Jets

Fasci collimati di adroni prodotti a seguito della frammentazione di quark e gluoni

Identificati come cluster di energia depositata nei **calorimetri** eventualmente associati a tracce nel **tracciatore** (particelle cariche)



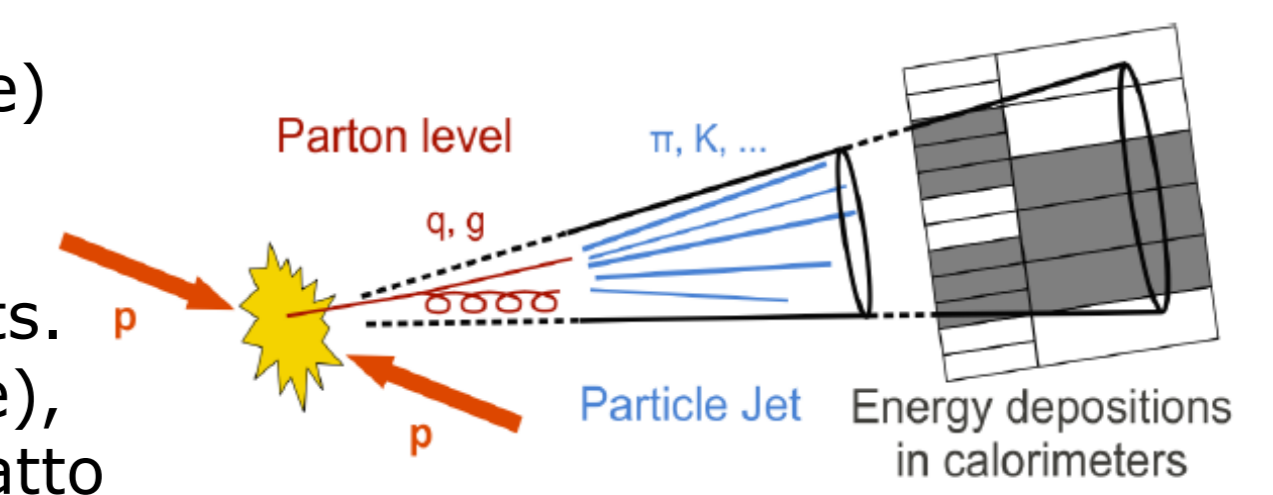
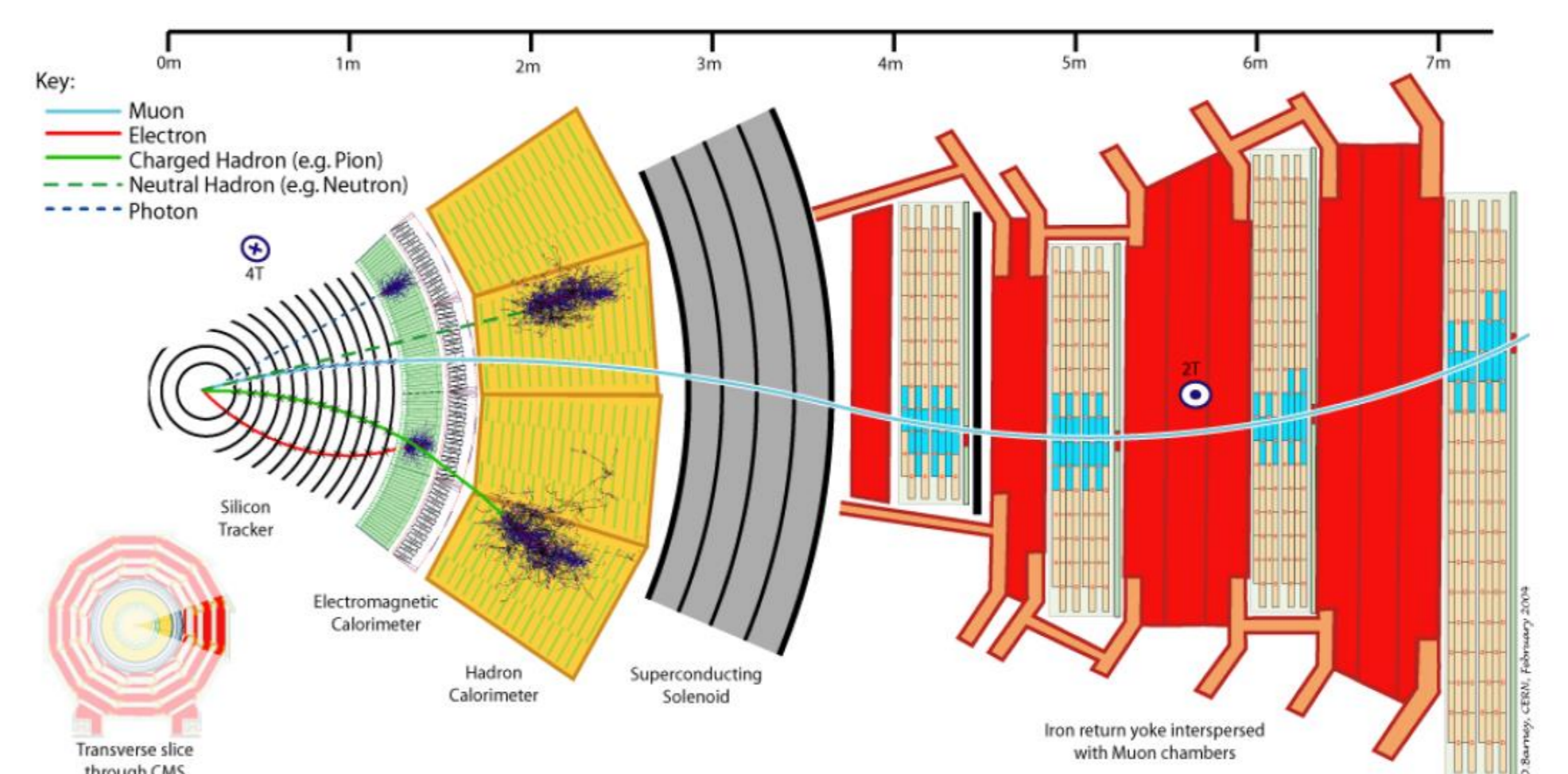
Negli eventi di segnale, risoluzione e risposta sulla misura di E_T^{miss} dipendono da quelle sull'energia dei jets. Queste sono studiate con campioni Z/γ +jets ($Z \rightarrow \mu\mu, ee$), di cui si sfrutta la buona risoluzione sul p_T di Z/γ e il fatto che, idealmente, p_T di Z/γ e dei jets siano bilanciati

$$\vec{E}_T^{\text{miss}} = - \sum_{\text{tutte le particelle}} \vec{p}_T$$

\vec{p}_T : impulso nel piano trasverso

ricostruire tutte le particelle prodotte

Il rivelatore Compact Muon Solenoid (CMS)



5) Estrazione del segnale

Stima dei fondi irriducibili ed estrazione del segnale effettuate attraverso un **fit di maximum likelihood** (simultaneamente nelle regioni di controllo e di segnale)

$$\mathcal{L}(\mu, \mu^{Z \rightarrow \nu\nu}, \mu^{W \rightarrow l\nu}, \theta) = \prod_i \text{Poisson}(d_i^Y | B_i^Y(\theta) + \frac{\mu_i^{Z \rightarrow \nu\nu}}{R_i^Y(\theta)}) \times \prod_i \text{Poisson}(d_i^Z | B_i^Z(\theta) + \frac{\mu_i^{Z \rightarrow \nu\nu}}{R_i^Z(\theta)}) \times \prod_i \text{Poisson}(d_i^W | B_i^W(\theta) + \frac{\mu_i^{W \rightarrow l\nu}}{R_i^W(\theta)}) \times \prod_i \text{Poisson}(d_i | B_i(\theta) + \mu_i^{W \rightarrow l\nu} + \mu_i^{Z \rightarrow \nu\nu} + \mu S_i(\theta))$$

d_i : eventi osservati nel bin i-esimo
 S_i : eventi di segnale attesi
 B_i : eventi di fondo attesi (MC)
 R_i : fattore di scala da RC a RS

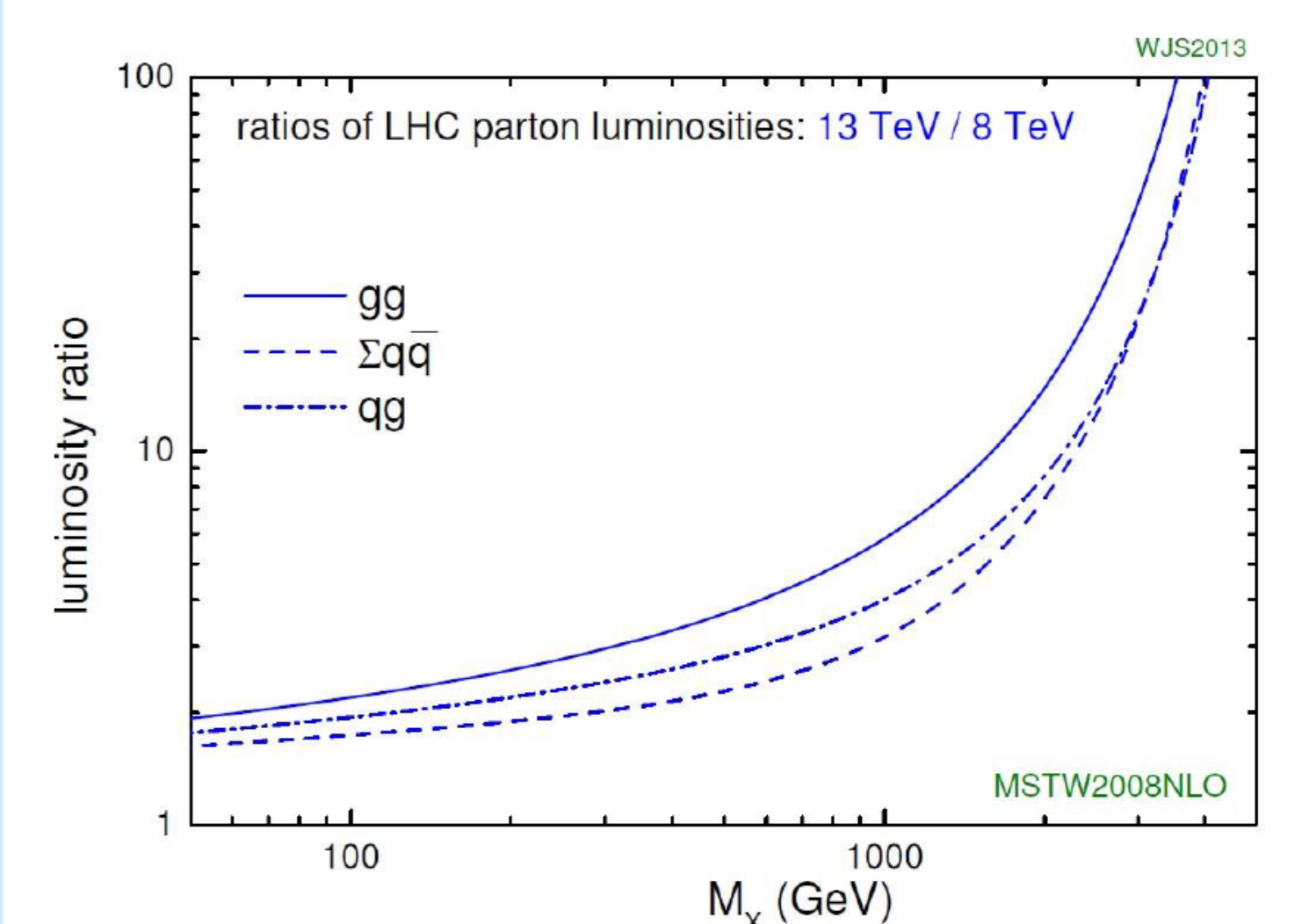
μ : signal strength
 θ : parametri di nuisance (incertezze sistematiche)

6) Risultati e prospettive

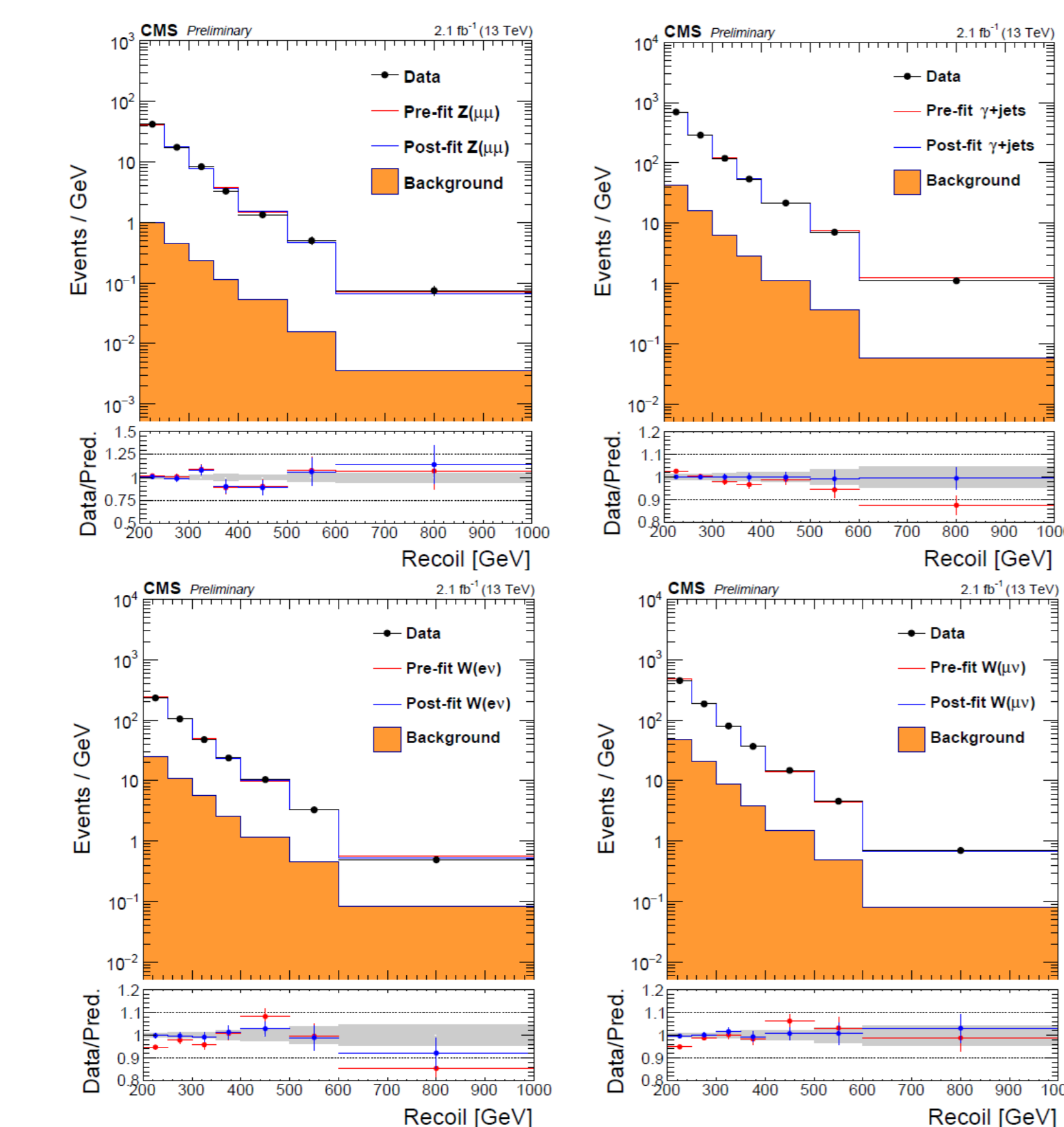
- ✓ Analisi condotta con un **campione di dati di 2.1 fb⁻¹** ed **energia nel centro di massa di 13 TeV**.
- ✓ Interpretazione in termini di **produzione di materia oscura fermionica attraverso un mediatore** di tipo vettoriale.
- ✓ Distribuzione di E_T^{miss} nei dati compatibile con l'ipotesi di solo fondo.
- ✓ **Limiti di esclusione** con un livello di confidenza (CL) del 90% sul rapporto μ tra sezione d'urto sperimentale e teorica del segnale **in funzione di m_{med} e m_{DM}** (massa del mediatore e delle particelle di materia oscura).

Per essere competitivi con i risultati ottenuti a 8 TeV con un campione di dati di 19.7 fb⁻¹ servono circa 5 fb⁻¹ a 13 TeV (sensibilità 4 volte maggiore).

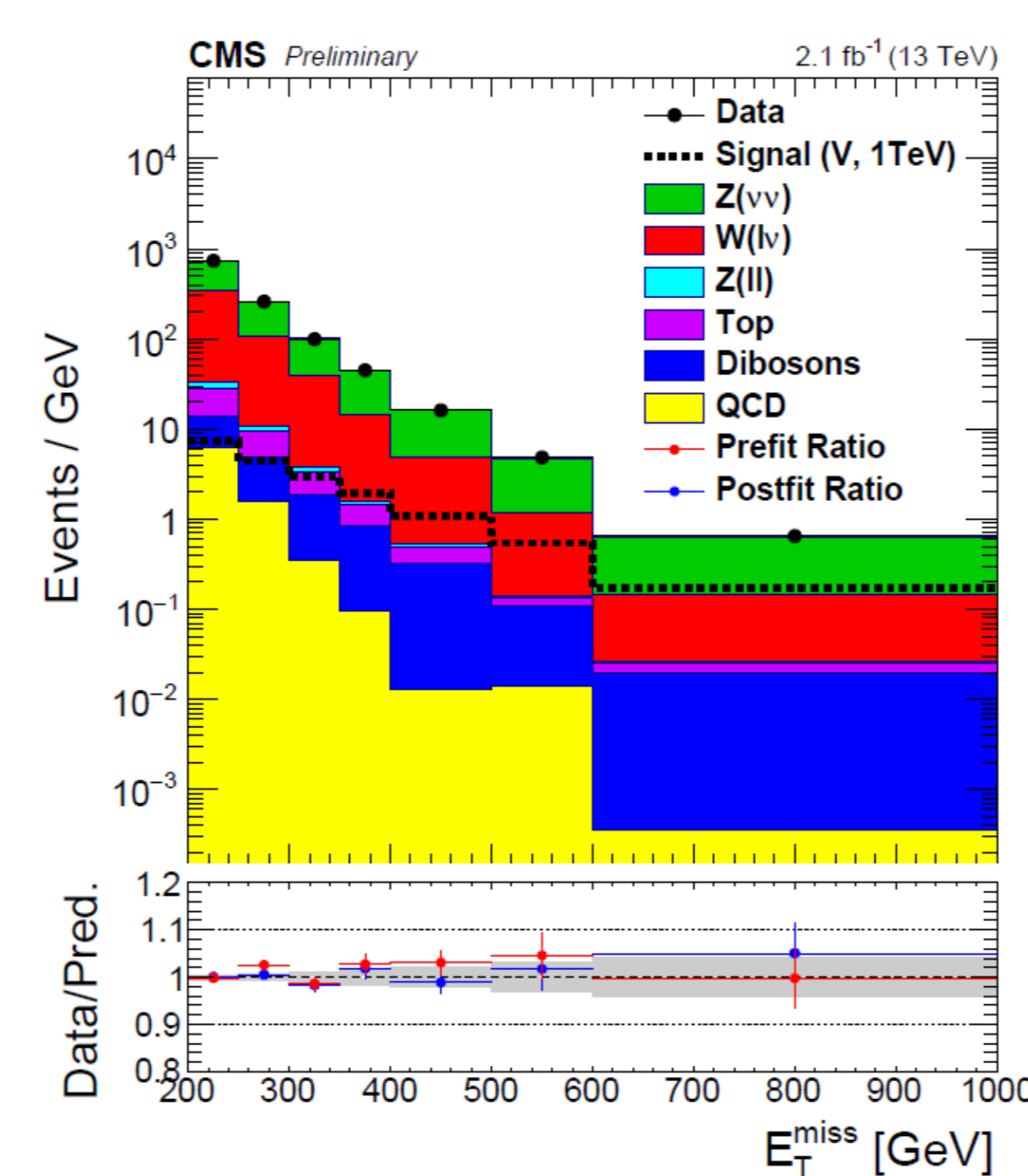
In un collider adronico la sezione d'urto di produzione di uno stato finale con massa invariante M_X aumenta con l'energia nel centro di massa delle collisioni per effetto delle funzioni di distribuzione partoniche



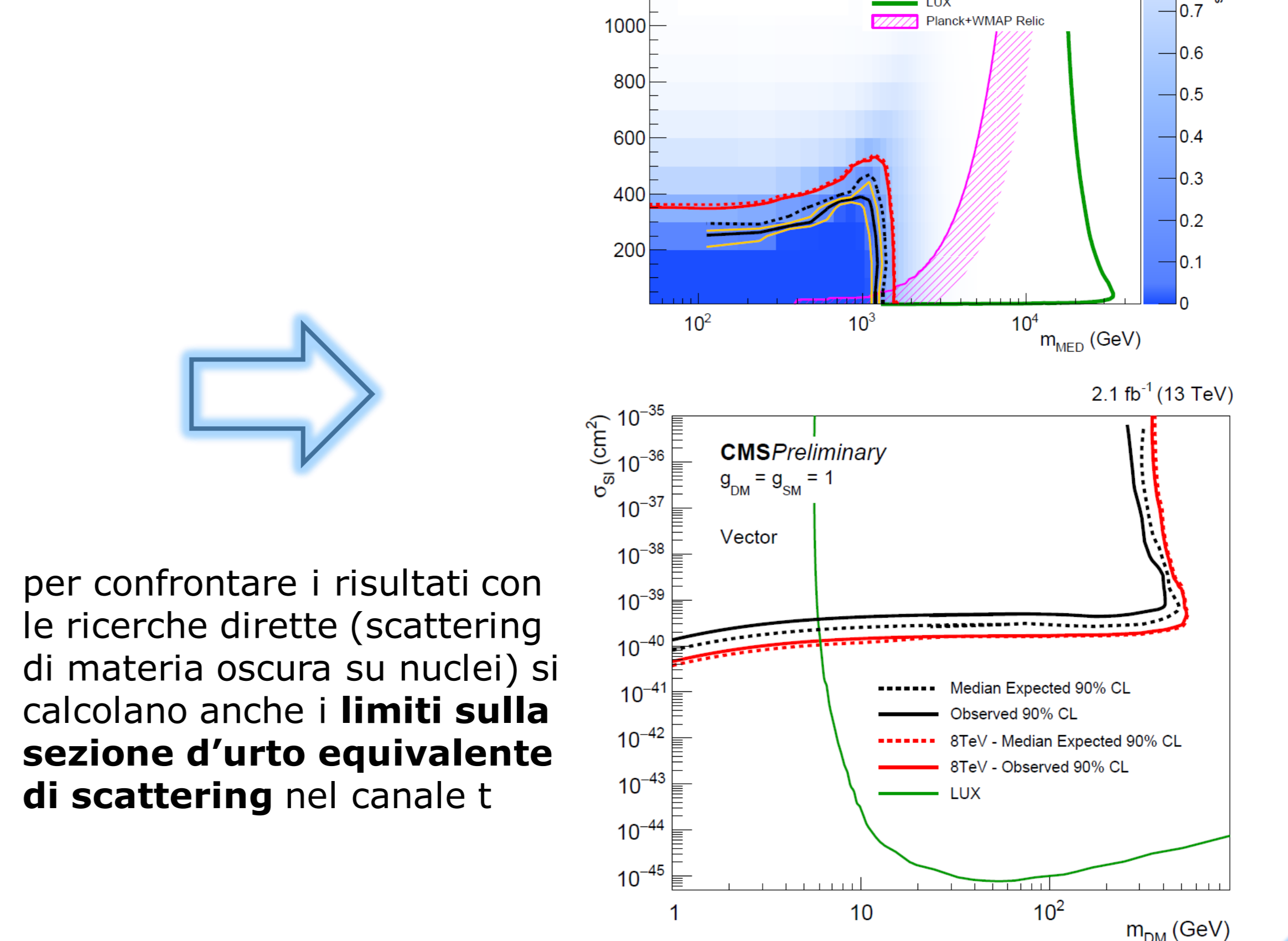
Campioni di controllo: usati per ricavare forma e normalizzazione della distribuzione di E_T^{miss} per i fondi irriducibili. E_T^{miss} è calcolata senza sommare il p_T dei bosoni (γ, Z, W) e quindi coincide con il rinculo della componente adronica dell'evento (jets). Ad esempio, per il campione $Z(\mu\mu)$ +jets si calcola la E_T^{miss} escludendo i muoni



Regione di segnale



Contorni di esclusione nel piano $m_{\text{med}} - m_{\text{DM}}$



per confrontare i risultati con le ricerche dirette (scattering di materia oscura su nuclei) si calcolano anche i **limiti sulla sezione d'urto equivalente di scattering** nel canale t