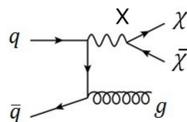


## 1) Introduzione

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

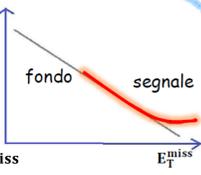
La materia oscura è elettricamente neutra e debolmente interagente, pertanto non lascia alcun segnale osservabile nei rivelatori.

L'evento di interesse è caratterizzato da:

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

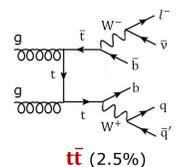
## 3) Segnale e fondo

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  $E_T^{\text{miss}}$**



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

### fondi riducibili (10%)

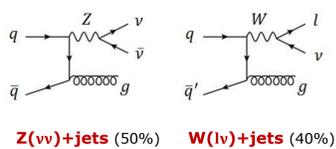


- QCD
- processi elettrodeboli
- produzione di quark top

### 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%)

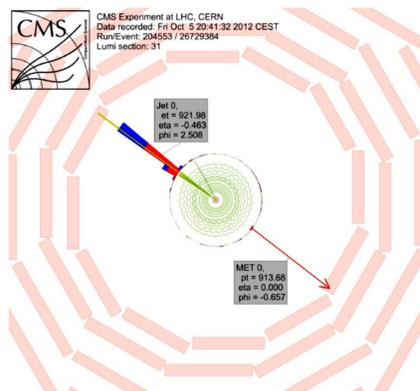


**Stima dei fondi irriducibili** nella regione di segnale (RS)

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

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

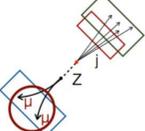
## Evento candidato monojet



## 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)



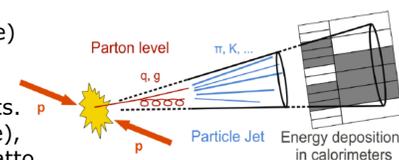
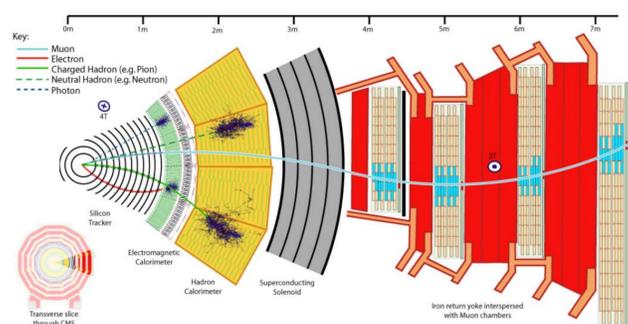
Negli eventi di segnale, risoluzione e risposta sulla misura di  $E_T^{\text{miss}}$  dipendono da quelle sull'energia dei jets. Queste sono studiate con campioni  $Z/\gamma$ +jets ( $Z \rightarrow \mu\mu, ee$ ), di cui si sfrutta la buona risoluzione sul  $p_T$  di  $Z/\gamma$  e il fatto che, idealmente,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

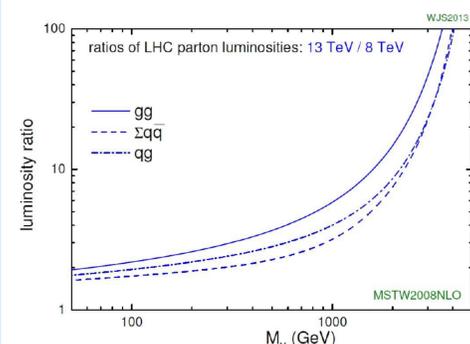
$\mu$ : signal strength  
 $\theta$ : parametri di nuisance (incertezze sistematiche)

## 6) Risultati e prospettive

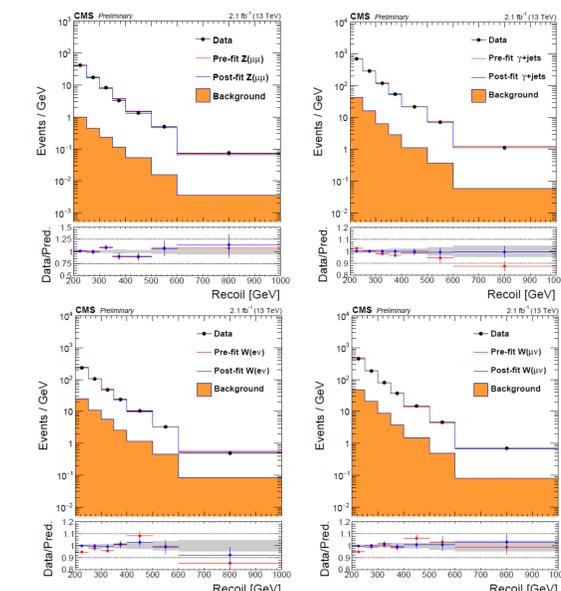
- ✓ Analisi condotta con un **campione di dati di 2.1 fb<sup>-1</sup>** ed **energia nel centro di massa di 13 TeV**.
- ✓ Interpretazione in termini di **produzione di materia oscura fermionica attraverso un mediatore** di tipo vettoriale.
- ✓ Distribuzione di  $E_T^{\text{miss}}$  nei dati compatibile con l'ipotesi di solo fondo.
- ✓ **Limiti di esclusione** con un livello di confidenza (CL) del 90% sul rapporto  $\mu$  tra sezione d'urto sperimentale e teorica del segnale **in funzione di  $m_{\text{med}}$  e  $m_{\text{DM}}$**  (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<sup>-1</sup> servono circa 5 fb<sup>-1</sup> a 13 TeV (sensibilità 4 volte maggiore).**

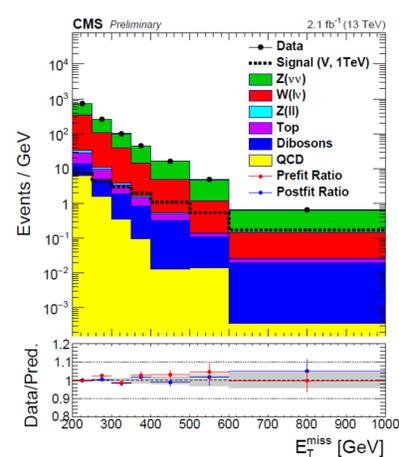
In un collider adronico la sezione d'urto di produzione di uno stato finale con massa invariante  $M_X$  aumenta con l'energia nel centro di massa delle collisioni per effetto delle funzioni di distribuzione partoniche



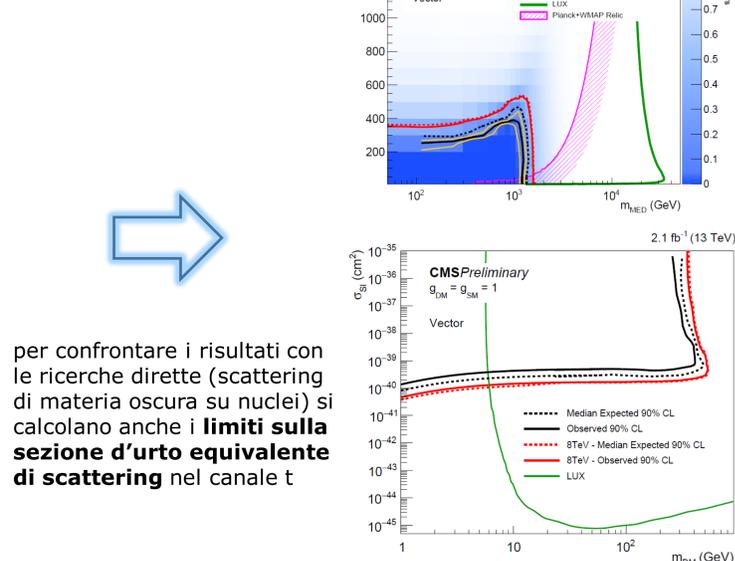
**Campioni di controllo:** usati per ricavare forma e normalizzazione della distribuzione di  $E_T^{\text{miss}}$  per i fondi irriducibili.  $E_T^{\text{miss}}$  è calcolata senza sommare il  $p_T$  dei bosoni ( $\gamma, Z, W$ ) e quindi coincide con il rinculo della componente adronica dell'evento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