





Ricerca di materia oscura in eventi con impulso trasverso mancante e getti adronici con l'esperimento ATLAS a LHC e HL-LHC

Guglielmo Frattari

Incontri di Fisica delle Alte Energie IFAE 2019, Napoli 8-10 Aprile 2019

Ricerche di materia oscura

- molteplici prove astrofisiche supportano l'esistenza della materia oscura (DM):
 curve di rotazione delle galassie, CMB, effetto di lente gravitazionale
- se è di natura particellare deve essere:
 - <u>stabile</u> e non interagire elettromagneticamente (**oscura!**)
 - compatibile con le osservazioni cosmologiche
- diverse tecniche sperimentali adottate:
 - ricerche indirette $\chi \chi \rightarrow \gamma \gamma, \nu \nu, e^+ e^-$
 - ricerche dirette
 - ricerche ai collisori $pp \rightarrow \chi \chi + X$

```
esperimento ATLAS a LHC
```

 $\chi N \rightarrow \chi N$



WIMP (χ)

ATLAS a LHC

- collisioni a $\sqrt{s} = 13 \,\text{TeV}$ ogni 25 ns luminosità istantanea $\mathscr{L} \simeq 2 \cdot 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
- 36.1 fb⁻¹ luminosità integrata registrata nel biennio 2015-2016
- impulso dello stato iniziale lungo un unico asse



Vedere l'invisibile

- WIMP non rivelate \rightarrow energia mancante nello stato finale
- chiusura della cinematica nel piano trasverso all'asse dei fasci:

- ricerca di eventi con un oggetto di alta energia X (jet, γ , h, W/Z) \oplus impulso trasverso mancante $E_{\rm T}^{\rm miss}$

- radiazione di stato iniziale possibile origine di X:
 - a LHC favorita l'emissione di gluoni ($\alpha_s >> \alpha_{em}$)

Canale mono-getto

 potente metodo per testare una possibile estensione del modello standard (SM): modelli semplificati di materia oscura

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\rm SM} + \mathcal{L}(g_q, g_\chi, \mathbf{m}_{Z'}, \mathbf{m}_\chi)$$

 possibili interpretazioni anche in altri modelli di nuova fisica (LLP, SUSY, ADD)



Guglielmo Frattari 08.04.2019

IFAE 2019

Strategia di ricerca

getto principale • selezione eventi candidati di segnale: - $E_{\mathrm{T}}^{\mathrm{miss}}$ > 250 GeV - almeno un getto adronico con $p_T > 250$ GeV e $|\eta| < 2.4$ - fino a 3 ulteriori getti con $p_T > 30$ GeV getti - nessun leptone o fotone secondari - $|\min \Delta \Phi(\text{jet}, E^{T}_{\text{miss}})| > 0.4$ Δφ contributo • Fondo percentuale irriducibile $Z \rightarrow \nu \nu + \text{jet}$ 56 % $W \rightarrow \tau \nu + \text{jet}$ 21 % $E_{\rm T}^{\rm miss}$ > 250 GeV $W \rightarrow \mu \nu + \text{jet}$ 8 % 8 % $W \rightarrow e\nu + jet$ • 4 regioni di controllo (CR) <u>ortogonali</u> riducibile $t, t\bar{t}$ 4 % per la stima di V+jet e top nella SR: $Z \rightarrow \ell \ell + \text{jet}, VV$ < 3 % molti-getti, NCB - $CR1\mu b$ -veto - top $CR = CR1\mu + b$ -tag - CR1e - CR2µ

Stima dei fondi

- effettuato un fit di likelihood simultaneo nelle CR – osservabile usata: $E_{
m T}^{
m miss}$



- due fattori di normalizzazione, comuni alle regioni, per i processi di fondo:
 - V+jet $\rightarrow k_{WZ}$ contributo tt + t $\rightarrow k_{top}$
- incertezze sistematiche: variazioni della normalizzazione dei singoli bin



Limiti ed esclusioni a 36 fb⁻¹ – ZV/A

nessun eccesso di eventi → esclusione dei parametri dei modelli considerati

g_x

χ

g

Z

- limiti ottenuti tramite il metodo CL_s mediante un fit a CR + SR
- mediatore vettoriale/assiale:

accoppiamenti fissati $g_q = 0.25, g_\chi = 1$

scansione nel piano (m_{Z'}, m_x)



Limiti ed esclusioni a 36 fb⁻¹ – Z'_{S/P}

- mediatore scalare/pseudo-scalare : accoppiamenti fissati $g_q = g_\chi = 1$
- segnale concentrato a bassa $E_{\mathrm{T}}^{\mathrm{miss}}$ ightarrow sensibilità insufficiente con 36.1 fb⁻¹



valori dei parametri compatibili con le osservazioni cosmologiche



Guglielmo Frattari 08.04.2019 IFAE 2019 9

Run 3 e fase 2 di LHC

- è in corso il *long shutdown* 2 di LHC:
 - aumento dell'energia nel centro di massa pp $\sqrt{s} = 13 \,\mathrm{TeV}
 ightarrow 14 \,\mathrm{TeV}$
 - incremento della luminosità istantanea fino a $\,7\cdot 10^{34}\,{
 m cm}^{-2}{
 m s}^{-1}$
- incremento del numero di collisioni protone-protone N_{pp} sovrapposte (pile-up)



- luminosità integrata totale attesa per ATLAS:
 - 300 fb⁻¹ per la fine del run 3, 2023
 - 3000 fb⁻¹ per il termine della fase 2, HL-LHC, 2036

figure da ATLAS Public Event Displays

Proiezioni per il canale mono-getto

- estrapolazione dei limiti ottenuti a $\sqrt{s} = 13 \,\text{TeV}$ con 36 fb⁻¹ (*JHEP 01 (2018) 126*) alle luminosità integrate attese
- nessuna correzione applicata per il pile-up atteso

-> assunta la possibilità di ottenere le stesse prestazioni del run 2

- nuovi bin ad alta $E_{\mathrm{T}}^{\mathrm{miss}}$ fino a 1.6 TeV
- considerato il modello a mediatore assiale con accoppiamenti fissati $g_q = 0.25$ $g_\chi = 1$, per diversi valori di masse $m_{Z'}$, m_χ
- esplorati diversi scenari di diminuzione delle sistematiche:
 - solo sistematiche teoriche
 - solo sistematiche sperimentali
 - entrambe le sorgenti di sistematiche



Contorni di esclusione a HL-LHC

- l'incremento maggiore si ha riducendo l'effetto delle sistematiche teoriche
- avvicinandosi al regime di mediatore virtuale la sezione d'urto decresce molto e l'incremento di statistica, 3000 fb⁻¹, non ha effetto



- scala di energia di getti e impulso trasverso mancante

figure da ATL-PHYS-PUB-2018-043

Effetto combinato della riduzione di sistematiche



• per WIMP con $m_X = 1$ GeV è possibile escludere uno Z'_A di massa fino 2.65 TeV

• l'esclusione aumenta fino a 2.88 TeV nel miglior scenario, x1/4 tutte le sistematiche

Conclusioni e prospettive

- ATLAS e LHC sono un potente strumento per la ricerca di nuova fisica
- il canale mono-getto offre una sensibilità unica ai modelli semplificati di materia oscura e risultati complementari alle altre ricerche
- l'analisi dei dati raccolti in tutto il run 2, 140 fb⁻¹, è in corso e presto fornirà nuovi risultati ampliando l'esclusione ottenuta con i dati 2015-2016 (36.1 fb⁻¹)
- ad HL-LHC il canale mono-getto sarà in grado di aumentare l'esclusione dei modelli considerati fino a mediatori assiali di massa ~2.6 TeV

figura da ATLAS Event Displays from Run 2 physics analyses



Materiale aggiuntivo

Effetto combinato della riduzione di sistematiche – 300 fb⁻¹

ATL-PHYS-PUB-2018-043 کوں 1400 ATLAS Simulation Preliminary $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}, 300 \text{ fb}^{-1}$ exp. svs. ×1. th. svs. ×1 E[×]1200 Axial-Vector Mediator exp. sys. $\times 1/2$, th. sys. $\times 1/2$ **Dirac Fermion DM** $g_{q} = 0.25, g_{y} = 1$ 1000 exp. sys. ×1/4, th. sys. ×1/4 95% CL limits Projection from Run-2 data 800 600 400 200 2500 3000 2000 500 1000 1500 Ώ

• per WIMP con $m_X = 1$ GeV è possibile escludere uno Z'_A di massa fino **2.2 TeV**

• l'esclusione aumenta fino a 2.45 TeV nel miglior scenario, x1/4 tutte le sistematiche

m_z [GeV]

Passaggio da 13 TeV a 14 TeV ed effetto sulle proiezioni per HL-LHC

Aumento energia nel centro di massa → aumento luminosità partonica → aumento sezioni d'urto



Assumendo la stessa accettanza si ha:

- fattore di scala Z/W + jet : 1.09
- fattore di scala processi VV : 1.12
- fattore di scala coppie di top : 1.18
- fattore di scala segnale DMA :
 - DMA 1 2750 : 1.41
 - DMA 400 700 : 1.28



figure da http://www.hep.ph.ic.ac.uk/~wstirlin/plots/plots.html

10000

Densità di materia oscura residua al variare dei parametri dei modelli semplificati



08.04.2019 | IFAE 2019 | 18