



# Ricerca di Materia Oscura in eventi con un fotone e momento mancante in ATLAS

Maria Giulia Ratti

Università di Milano e INFN Milano

IFAE, INCONTRI DI FISICA DELLE ALTE ENERGIE

UNIVERSITÀ DI ROMA TOR VERGATA

9 APRILE 2015

## Outline

Motivazione per la ricerca γ + E<sub>T</sub><sup>miss</sup> Analisi e Risultati del Run 1 Sensibilità per il Run 2

## Motivazione per la ricerca $\gamma$ + $E_{T}^{miss}$

Eventi da collisione pp con E<sub>T</sub><sup>miss</sup> e un fotone possono esplorare diversi scenari oltre il Modello Standard: Materia Oscura (DM), SUSY, Large Extra Dimensions.

Un eccesso nel canale  $\gamma + E_T^{miss}$  segnalerebbe la presenza di **nuove particelle non rivelate** in ATLAS in maniera indipendente dall'interpetazione teorica:

- Alto E<sub>T</sub><sup>miss</sup> = momento mancante che segnala la presenza di particelle non rivelate
- Fotone di alto  $p_T$  = è un tagger estremente pulito



Display di un candidato evento  $\gamma$ +E<sub>t</sub><sup>miss</sup>: un singolo fotone di p<sub>T</sub> = 449.7 GeV E<sub>T</sub><sup>miss</sup> = 446.9 GeV,  $\Delta \phi$ (E<sub>T</sub><sup>miss</sup>, $\gamma$ )  $\approx \pi$ 

Produzione di DM a LHC



#### Complementarietà delle ricerche di DM

# γ + E<sub>T</sub><sup>miss</sup> nel Run 1: Segnali e Fondi

#### SEGNALE: Materia Oscura - coppie di WIMP XX con fotone ISR



**Che cosa cerchiamo:** = Alto  $E_T^{miss}$  che rincula back-to-back contro un singolo fotone **Come è descritto:** 

#### **Effective Field Theory (EFT)**

Interazione tra WIMP e particelle SM è efficace, alla Fermi, introduce una scala di soppressione della teoria M\*=  $M_{med}/\sqrt{g_{SM}g_{DM}}$ 

**PRO:** la sezione d'urto di produzione dipende soltanto da m<sub> $\chi$ </sub> e dalla massa del mediatore **CONTRO:** regime di validità limitato  $Q_{TR} < M_{med}$ 

#### Modelli Semplificati

Integrazione esplicita del mediatore

- PRO: non limitato da alcun regime di validità
- **CONTRO:** la sezione d'urto dipende da più parametri (larghezza del mediatore, coupling)

#### Fondi da Standard Model



# γ + E<sub>T</sub><sup>miss</sup> nel Run 1: *Analisi*

#### Regione di Segnale (SR)

- Preselezioni: GRLs, vertice buono, data quality, cleaning dei jet, Trigger E<sub>T</sub><sup>miss</sup>>80 GeV
- E<sub>T</sub><sup>miss</sup>>150 GeV
- almeno un fotone con p<sub>T</sub> > 125 GeV
- oggetti ben separati:  $\Delta \phi(\gamma, E_T^{miss}) > 0.4$
- Fotone ben identificato "tight", isolato, |η<sup>γ</sup>|< 1.37</li>
- al più un jet p<sub>T</sub>>30GeV, Δφ(jet,E<sub>T</sub><sup>miss</sup>) > 0.4
- Veto su elettroni e muoni

#### Regioni di Controllo (CR)

- Stessi tagli della SR
- Invertiti uno o più tagli alla volta, per definire regioni arricchite di una particolare sorgente di fondo



Due fattori di scala  $\mathbf{k}_{w}$  e  $\mathbf{k}_{z}$  sono determinati dal rapporto dati/MC in ciascuna CR; si usano per normalizzare il MC nella SR:

$$N_{SR} = N_{SR}^{MC} \cdot k$$

- $\rightarrow$  due CR sono designate per la stima del fondo primario Z+ $\gamma$
- $\rightarrow$  una CR costruita per la stima del processo W+ $\gamma$
- $\rightarrow$  Incertezze sistematiche possono essere correlate tra CR e SR



# γ + E<sub>T</sub><sup>miss</sup> nel Run 1: *Analisi*

#### Regione di Segnale (SR)

- Preselezioni: GRLs, vertice buono, data quality, cleaning dei jet, Trigger E<sub>T</sub><sup>miss</sup>>80 GeV
- E<sub>T</sub><sup>miss</sup>>150 GeV
- almeno un fotone con p<sub>T</sub> > 125 GeV
- oggetti ben separati: Δφ( γ, E<sub>T</sub><sup>miss</sup>) > 0.4
- Fotone ben identificato "tight", isolato  $|\eta^{\gamma}| < 1.37$
- al più **un jet**  $p_T$ >30GeV,  $\Delta \phi$ (jet, $E_T^{miss}$ ) > 0.4
- Veto su elettroni e muoni

#### Regioni di Controllo (CR)

- Stessi tagli della SR
- Invertiti uno o più tagli alla volta, per definire regioni arricchite di una particolare sorgente di fondo

#### Jet ricostruiti come Fotoni

Stima del contributo dei **fotoni originati da jet adronici** che passano i tagli di identificazione e isolamento del fotone con un metodo ABCD:





#### Elettroni ricostruiti come Fotoni

Stima del contributo degli **elettroni** ricostruiti come fotoni nella SR:

- **1. CR mono-elettrone:** richesto un elettrone isolato di  $p_T > 125$  GeV anziché un fotone
- 2. EFR = probabilità che un elettrone sia identificato come fotone, con un metodo tag&probe:
  - Elettrone tag (pT>20 GeV) e fotone/ elettrone probe (pT>125 GeV)
  - massa invariante dei due compatibile con la massa della Z
  - EFR = rapporto del numero di fotoni probe ed elettroni probe





# γ + E<sub>T</sub><sup>miss</sup> nel Run 1: *Risultati*

Fit simultaneo nelle CR e in SR:  $L[\mu | N_{obs}] = \prod_{reg} Poiss(N_{reg}^{obs} | \mu \cdot N_{reg}^{sig} + k_Z \cdot N_{reg}^{Z\gamma} + k_W \cdot N_{reg}^{W\gamma} + N_{reg}^{other})$ 

Non è stata osservata deviazione da SM



**Limiti di esclusione** sulla scala M\* Tradotti in limiti della sezione d'urto di scattering WIMP-nucleone vs massa WIMP m<sub>x</sub>

- ⇒ comparabili con ricerche dirette e indirette di Materia Oscura
- ⇒ diverse sensibilità per interazioni Spin-Dipendenti, SD (operatore D9)/ Spin-Independenti, SI (operatore D5)

Buona sensibilità a bassa massa delle WIMP

Altri risultati in Modelli Semplificati di DM e interpretazioni SUSY e LED in back-up



Phys. Rev. D 91, 012008 (2015)

# Verso il Run 2: Sfide e Strategie

#### Sfide: condizioni sperimentali a 13 TeV

- Maggiore energia del centro di massa → migliora la significanza del segnale sui fondi
- PILE-UP più alto→ ricostruzione degli oggetti fisici più difficile

#### **Ricostruzione dei Fotoni**

- La ricostruzione si basa su un algoritmo sliding-window con cella di dimensione fissa
- La nuova calibrazione sarà basata su tecniche di analisi multivariata
- L'identificazione dei fotoni sarà cut-based come in Run 1
- L'isolamento sarà basato sia su tracce, sia su topocluster (è la grandezza più sensibile al pile-up)
- Attese performance simili a quelle del Run 1

#### **Ricostruzione di E**<sub>T</sub><sup>miss</sup>

- E<sub>T</sub><sup>miss</sup> è ricostruita a partire dagli oggetti fisici selezionati e dall'energia 'soffice' della collisione
- Il pile-Up impatterà sui jet e sul termine soffice
  - Termine Soffice Calorimetrico peggiora a 13 TeV
  - Termine Soffice basato sulle tracce ha performance migliori e più stabili rispetto a 8 TeV



#### Strategie

- Analisi Cut&Count: partire con la strategia d'analisi del Run 1
- Mantenere l'analisi model-independent per i primi dati
- Ottimizzare SR multiple per i diversi modelli interpretativi con maggiore statistica

## γ + E<sub>T</sub><sup>miss</sup> nel Run 2: *Sensibilità*

#### Studi di sensibilità dell'analisi a 13 TeV

Si ripete l'analisi a 8 TeV, scalando gli yields con il rapporto  $\sigma_{13TeV}/\sigma_{8TeV}$ 

- → Fondi SM: tutti riscalati dal rapporto di sezioni d'urto per il processo dominante Z(→VV) + γ  $\sigma_{13TeV}/\sigma_{8TeV} \approx 2$ , *ATLAS* Work In Progress
- → Segnali: EFT Dark Matter  $\sigma_{13TeV}/\sigma_{8TeV} \approx 4-6$

、							
vents/50 Ge		ATLAS Simulation ∫ Ldt = 5.0 fb <sup>-1</sup> , √s= 13 TeV					
10			1		ttbar γ+jet jets+) γ+Z(- γ+W( γ+Z(-	W/Z → II) → II) →vv)	50
10-1							
10 <sup>-2</sup>							
200	300 400	500 6	00 700	800	900	1000 MET	1100 Г [GeV]
ATL	AS MC I	ull Sim	ulatio	n at 1	3 Te'	V, DC	214,
for	the mos	st impor	tant b	ackgr	oun	ds in	SR

Yields nella SR per i fondi SM totali e per due punti di segnale di benchmark, stessi tagli 8 TeV, stesse incertezze sistematiche

Processo	8 TeV, 20.3 fb <sup>-1</sup>	13 TeV,5 fb <sup>-1</sup>	13 TeV, 10 fb <sup>-1</sup>	
Fondi SM totali	557	290	581	
± stat ± syst	± 36 ± 27	± 26 ± 14	± 36 ± 28	
SI, m <sub>x</sub> =50 GeV	20.7	26.7	53.3	
SI, m <sub>x</sub> =400 GeV	12.3	21.2	42.4	

Limiti inferiori su M<sub>\*</sub> (=scala di soppressione della teoria) per due punti di segnale

Process	8 TeV, 20.3 fb <sup>-1</sup>	13 TeV, 5 fb <sup>-1</sup>	13 TeV, 10 fb <sup>-1</sup>
SI, m <sub>x</sub> =50 GeV	700 GeV	800 GeV	854 GeV
SI, m <sub>χ</sub> =400 GeV	614 GeV	755 GeV	806 GeV

Con 1-2 fb<sup>-1</sup> l'analisi può competere con quella a 8 TeV, ma in maniera dipendente dal modello Luminosità integrata richiesta è 1.72 fb<sup>-1</sup> per D5 50 GeV, 0.96 fb<sup>-1</sup> per D5 400 GeV

## Conclusioni

- La ricerca nel canale  $\gamma$  +  $E_T^{miss}$  può gettare luce su diversi scenari di fisica oltre il Modello Standard e sulla Materia Oscura in particolare
- L'analisi γ + E<sub>T</sub><sup>miss</sup> ha prodotto interessanti risultati nel Run 1, anche se non sono stati osservati eccessi
- L'analisi γ + E<sub>T</sub><sup>miss</sup> ha una buona sensibilità di scoperta o esclusione per la Materia Oscura a 13 TeV
- Il lavoro per il Run 2 è in corso !



IFAE, 09/04/2015

M.G. RATTI – Ricerca di Materia Oscura nel canale  $\gamma$  +  $E_{T}^{miss}$  in ATLAS

## $\gamma + E_{T}^{miss}$ nel Run 1: *Risultati (2)*



## $\gamma + E_{T}^{miss}$ nel Run 1: *Risultati (3)*





# Produzione di WIMP => Scattering WIMP-nucleone

EFT (Effective Field Theory): l'interazione tra WIMP e particelle SM attraverso lo scambio di un mediatore pesante L'interazione è descritta da diversi operatori che possono dipendere o meno dallo spin delle particelle:

 $\bar{\chi}\gamma^{\mu}\chi\bar{q}\gamma_{\mu}q$  D5, vettoriale, spin-independent  $\bar{\chi}\sigma^{\mu\nu}\chi\bar{q}\sigma_{\mu\nu}q$  D9, tensoriale, spin-dependent

La sezione d'urto di produzione WIMP+ $\!\gamma$  :

$$\sigma(pp \to \chi\bar{\chi}) \propto \frac{g_{SM}^2 g_{DM}^2}{(q_{tr}^2 - m_V^2)^2 + m_V^2 \Gamma^2} E^2 \approx \frac{g_{SM}^2 g_{DM}^2}{m_V^4} E^2 \Rightarrow \frac{E^2}{{M^*}^4}$$

 $g_{\text{SM}}\,g_{\text{DM}}$  accoppiamenti ,  $\Gamma$  larghezza del mediatore

nel limite  $q_{tr} < m_V$ , il mediatore non viene calcolato nel propagatore

=> a fissata massa della WIMP  $m_{\chi}$  la sezione d'urto dipende soltanto dalla scala di soppressione della teoria M\*

=> Ricavo limiti inferiori su M\*

Limiti su M\* possono essere tradotti in limiti sulla sezione d'urto WIMP-nucleone:

$$\sigma^{D5} = 1.38 \times 10^{-37} \text{cm}^2 \left(\frac{\mu_{\chi}}{1 \text{GeV}}\right)^2 \left(\frac{300 \text{GeV}}{\text{M*}}\right)^4$$
  
$$\sigma^{D9,D8} = 4.7 \times 10^{-39} \text{cm}^2 \left(\frac{\mu_{\chi}}{1 \text{GeV}}\right)^2 \left(\frac{300 \text{GeV}}{\text{M*}}\right)^4$$

