



# RICERCA DI RISONANZE GRAVITONICHE (SPIN 2) NEL CANALE DOPPIO FOTONE NELL'ESPERIMENTO ATLAS @ LHC

Simone Michele Mazza – INFN Sezione di Milano and Dipartimento di Fisica, Università di Milano, Milano, Italy





 ATLAS è uno dei 4 principali esperimenti a LHC

# • ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS)

- 4 livelli di detector
  - Inner detector (pixel, strip, TRT)
  - Calorimetro elettromagnetico
  - Calorimetro adronico
  - Detector di Muoni (DC, CST)
- La ricostruzione e l'indentificazione degli oggetti è fatta combinando le informazioni di tutti i detectors



LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight





#### RICOSTRUZIONE, IDENTIFICAZIONE E SELEZIONI DI EVENTI CON DUE FOTONI

- Ricostruzione
  - Depositi significativi di energia (clusters) vengono cercati in finestre di dimensione fissata
  - Le tracce sono utilizzate per determinare se il candidato è fotone (convertito o non) o elettrone
- Identificazione
  - Basata sulla forma dello sciame nel calorimetro elettromagnetico e leakage nel calorimetro adronico
- Selezione degli eventi con due fotoni
  - Passino criteri di identificazione «stretti»
  - |η| < 2.37, rimuovendo la regione del crack</li>
  - Selezione in pT (pT>55 GeV)
  - Isolati: taglio in fünzione di pT sulla somma delle energie dei cluster topologici in un cono ΔR=√(Δφ<sup>2</sup>+Δη<sup>2</sup>)=0.4 (meno l'energia del candidato)









# EVENTI DOPPIO FOTONE

- Variabile di interesse:
- Massa invariante
  - Θ angolo tra i fotoni
  - E1, E2 energia dei due fotoni

$$m_{\gamma\gamma} = \sqrt{2E_1E_2(1-\cos(\theta))}$$

- Analizzando Dati (provenienti da ATLAS) e MonteCarlo si ricava la distribuzione di massa invariante per dati, segnale aspettato e fondo
  - Si costruisce un modello di fondo più segnale
  - Questo modello viene confrontato con i dati





### PARAMETRIZZAZIONE DEL FONDO

- Il fondo è composto da fondo riducibile (gamma-jet, doppio jet) e irriducibile (SM gamma-gamma)
- Dello spettro in Μγγ del fondo:
- La parte irriducibile del fondo è presa da un campione MC al LO (Sherpa full simulation) ripesato con delle correzioni NLO (diphox)
- La parte riducibile è ottenuta da un fit sui dati invertendo i criteri di identificazione dei fotoni (tight, anti-tight per il γ-jet etc.)

La composizione delle quattro componenti del fondo  $(\gamma\gamma, \gamma$ -jet, jet- $\gamma$ , jet-jet) è stimato con un metodo che si basa sullo studio dei dati

- Isolation template fit
- Si utilizza la forma della variabile di isolamento dei dati nella regione di controllo [200,500] GeV
- La Normalizzazione totale del fondo è stimata con un fit sui dati



#### **ERRORI SISTEMATICI**

Source of uncertainty	Uncertainty for spin-2 analysis		
Background modelling (mass dependent)	$\pm$ 7% to $\pm$ 35% on predicted shape		$p_0$ and limit
Signal mass resolution (mass dependent)	+55-110%		$p_0$ and limit
Signal photon identification ( mass dependent)	$\pm (3-2)\%$		limit
Signal photon isolation (mass dependent)	±	(3-1)%	limit
Signal production process dependence		N/A	limit
		N/A	limit
Trigger efficiency	±0.6%		limit
Luminosity	±5.0%		limit

#### Errori sistematici sul segnale

- Forma: risoluzione e scala ۲
- Numero di eventi: identificazione e isolamento
- Errori sistematici sul fondo
  - Irriducible da PDF variation della generazione MC •
  - Riducibile variando la definizione della regione di ۲ controllo
  - Sulla composizione dei fondi ۲
  - La purezza dei dati selezionati è stata studiata in funzione di Myy con due diverse tecniche
    - Matrix method e 2x2D sidebands
    - Invertendo il taglio di identificazione o di isolamento



#### ATLAS-CONF-2016-018



### DATI 13 TEV, 3.2 FB<sup>-1</sup>

Nessuno si aspettava un eccesso in questa regione, ma d'altronde...



I risultati statistici sono valutati con un aproccio frequentista basato sulla profile likelihood ratio



## VALUTAZIONE DEI RISULTATI STATISTICI

- Test dell'ipotesi di solo fondo contro l'ipotesi di segnale + fondo
- Dai dati e dal modello segnale + fondo si valuta la distribuzione di profile likelihood
- Likelihood valutata tenendo fissata mX (posizione) e kX (larghezza)
  - Test per diversi (mX, kX) per trovare la massima significanza locale
- La massima significanza locale è a 750 GeV con k/M<sub>pl</sub> = 0.2
   Significanza locale 3.6 σ
- È presente un secondo eccesso meno significativo a 1.6 TeV







## SIGNIFICANZA LOCALE E GLOBALE

La significanza locale però non è sufficiente per dichiarare una scoperta, è necessario stimare la significanza globale

- <u>Per tenere conto del fatto che stiamo cercando il segnale in un ampio spazio</u> <u>delle fasi bidimensionale (M<sub>G</sub>, k/M<sub>pl</sub>)</u>
- Per calcolare questo si utilizzano dei toy MC di solo background
- Per l'eccesso trovato a 750 GeV con l'analisi esotica spin 2 la significanza locale è
  3.6 σ, la significanza globale è 1.8 σ

Per l'analisi **Higgs** (in ATLAS) si utilizza la stessa preselezione ma tagli relativi su Pt/Mgg e un una selezione aggiuntiva sull'isolamento sulle tracce

- Il modello di segnale testato è a spin 0
- Il fondo è modellizzato con una forma funzionale fittata sui dati

La significanza locale è di 3.9  $\sigma$ , la globale è di 2  $\sigma$ 



1000 1200 1400 1600

# E il run1? E CMS?

Confronto coi i risultati a 8 TeV

2.7 fb<sup>-1</sup> (13 TeV, 3.8T)

Data Fit mode

CMS Preliminary

3.8T

EBEB

Events / ( 20 GeV ) 0.000

data-fit)/σ<sub>et</sub>

10

- La significanza osservata a 8 TeV è zero per 750 GeV per l'analisi gravitone
- La compatibità tra run I e run II assumendo • produzione gluon gluon è a 2.7  $\sigma$
- Per l'analisi Higgs è stato osservato nel run l un eccesso a 2  $\sigma$  a 750 GeV, per produzione gluon gluon questo è compatibile a 1.2  $\sigma$







800

CMS trova un eccesso nello stesso canale a stessa massa

Moriond 2016: Interpreting the 750 GeV digamma excess: a review

- Analisi differente, utilizzo di categorie nella valutazione della significanza
- L'eccesso sembra essere più stretto rispetto a quello trovato in ATLAS
- Combinando con l'analisi run I si ha significanza 3.4 ۲  $\sigma$  locale e 1.6  $\sigma$  globale



# Aspettando LHC restart...





- Il risultato per 3.2 fb-1 di luminosità integrata è stato reso pubblico qualche settimana fa alla conferenza di Moriond
- I risultati ottenuti mostrano un eccesso nel canale doppio fotone a 750 GeV sia in ATLAS che in CMS
- Per avere una conferma dell'eccesso si dovranno attendere nuovi dati (estate)



- Grande attesa per la partenza del nuovo run di fisica a LHC a fine Aprile
- <u>Grazie dell'attenzione</u>

ATLAS (modello)	σ locale	σ globale	8 TeV compatibilità
Scalar	3.9 σ	2 σ	$1.2 \sigma (gg) - 2.1 \sigma (qq)$
Graviton	3.6 σ	1.8 σ	$2.7 \ \sigma \ (gg) - 3.3 \ \sigma \ (qq)$
CMS (modello)	σ locale	σ globale	8 TeV combinazione
Scalar	2.8 σ	>1 o	3.4 $\sigma$ (locale) 1.6 $\sigma$ (globale)
Graviton	2.9 σ	>1 o	3.4 $\sigma$ (locale) 1.6 $\sigma$ (globale)
		17/11/2014	11



#### BACKUPS



## EVENTI DOPPIO FOTONE

La selezione è diversa nel caso di analisi Higgs o Gravitone

#### Graviton (spin 2)

- PT > 55 GeV
- Isolamento < 0.022\*Pt + 7 GeV</li>
- Isolamento < 0.022\*Pt + 2.45 GeV</li>
- Isolamento ( su tracce) < 0.05\*Pt</li>

#### Higgs (spin 0)

- Fotone leading (subleading)
  - Pt/Mγγ > 0.4 (0.3)
- Isolamento < 0.022\*Pt + 2.45 GeV
- Isolamento ( su tracce) < 0.05\*Pt

- Variabile di interesse:
- Massa invariante
  - Θ angolo tra i fotoni
  - E1, E2 energia dei due fotoni
- $m_{\gamma\gamma} = \sqrt{2E_1E_2(1-\cos(\theta))}$

- Analizzando Dati e MonteCarlo si costruisce la distribuzione di massa invariante per dati, segnale aspettato e Background
- Si costruisce un modello di segnale e di background per testare le due ipotesi sui dati



#### PARAMETRIZZAZIONE DEL SEGNALE

- For spin-2 RS graviton, the mass distribution is described by the convolution of the resolution with the intrinsic line shape.
  - Because graviton coupling increases with E there is a non-negligible high mass tail for non zero width.
- For spin-0, the line shape is modeled by a Breit-Wigner with mass-dependent width including the effect of the gluon-gluon luminosity and restricting to +-2 Γ around MX to avoid the low mass tail which is enhanced for large M and Γ. This line shape convoluted with the experimental resolution is described by an effective double sided crystal ball function



#### PARAMETRIZZAZIONE DEL BACKGROUND - SPIN0

• Function fit on data

$$f_{(k)}(x; b, \{a_k\}) = N(1 - x^{1/3})^b x^{\sum_{j=0}^k a_j (\log x)^j},$$

- Per scegliere il numero di gradi di libertà: F-Test
  - Scelto k = 0

$$F = \frac{\frac{\sum_{i}^{i} (y_i - f_1(x_i))^2 - \sum_{i}^{i} (y_i - f_2(x_i))^2}{p_2 - p_1}}{\frac{\sum_{i}^{i} (y_i - f_2(x_i))^2}{n - p_2}}$$

#### PUREZZA DEL CAMPIONE SELEZIONATO



#### **INVARIANT MASS PLOTS 13 TEV**



GRAVITON SEARCHES, SIMONE MAZZA



#### **INVARIANT MASS PLOTS 8 TEV**





#### 2D SCAN DI SIGNIFICANZA



GRAVITON SEARCHES, SIMONE MAZZA



#### **RS GRAVITON LIMITS**



#### HIGGS LIMITS





