



Ricerca di fisica oltre il Modello Standard in eventi
con quark pesanti ed energia trasversa mancante
con l'esperimento ATLAS

Francesco Ciotto

Università degli studi di Napoli Federico II & INFN Napoli

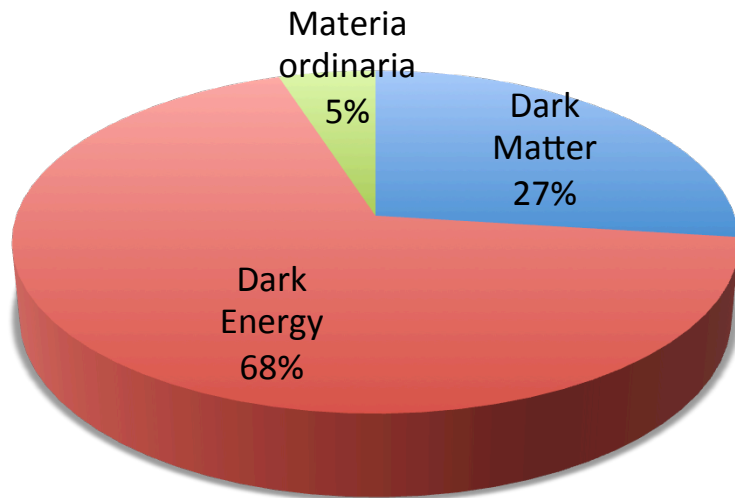


Sommario

- Dark Matter a LHC
- Modelli teorici
- Ricerche DM + HF
- Primi risultati
- Conclusioni

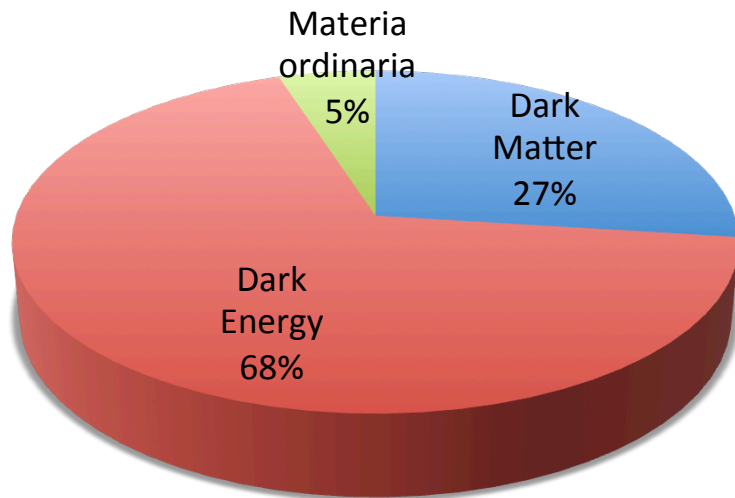
Dark Matter a LHC

- L'esistenza della DM nell'Universo è supportata da molte osservazioni astrofisiche e cosmologiche
 - Ricerche dirette e indirette
- I principali candidati per la DM sono le WIMP
 - Se le WIMP esistono possono essere prodotte a LHC



Dark Matter a LHC

- L'esistenza della DM nell'Universo è supportata da molte osservazioni astrofisiche e cosmologiche
 - Ricerche dirette e indirette
- I principali candidati per la DM sono le WIMP
 - Se le WIMP esistono possono essere prodotte a LHC



Ai collider processi di produzione di DM sono caratterizzati da energia mancante e particelle energetiche utilizzate per identificare l'evento.

Numerosi stati finali

$$\text{jet} + E_T^{\text{miss}}$$

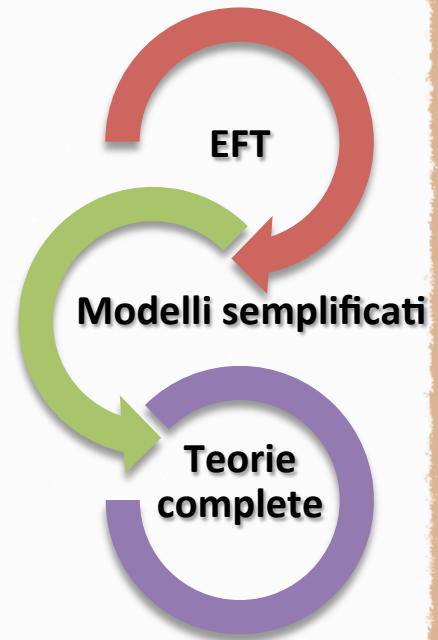
$$\gamma + E_T^{\text{miss}}$$

$$W^\pm / Z^0 + E_T^{\text{miss}}$$

$$H + E_T^{\text{miss}}, H \rightarrow \chi\chi$$

$$b / b\bar{b} + E_T^{\text{miss}}$$

$$t / t\bar{t} + E_T^{\text{miss}}$$



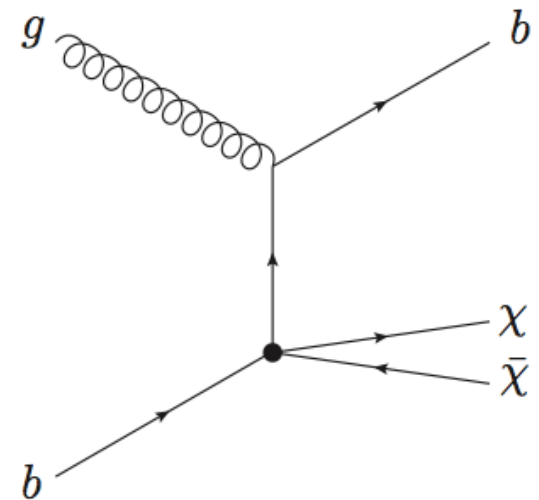
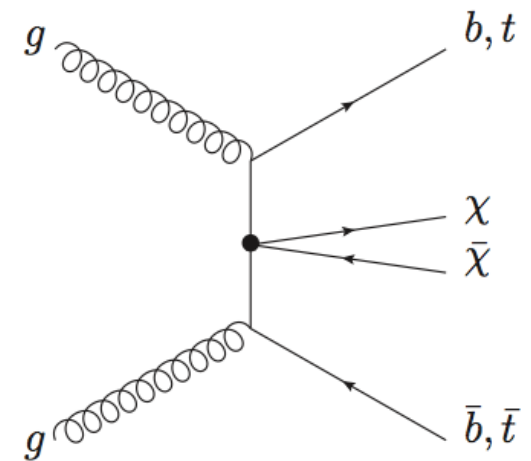
Modelli DM - EFT

- Introdotti operatori EFT nell'accoppiamento tra DM e quark pesanti
- Per la lagrangiana effettiva si assume lo scenario di Minimal Flavour Violation
- Interazione di contatto
- A seconda dell'operatore considerato l'interazione tra quark e DM è di tipo scalare (complessa) o di Dirac (scalare, vettoriale, assiale, tensoriale).
- Gli accoppiamenti dipendono dalla massa dei quark
 - Stati finali con quark top e bottom

$$O_{C1} = \sum_{quarks} \frac{m_q}{M_*^2} \chi^\dagger \chi \bar{q} q \quad \text{DM scalare complesso}$$

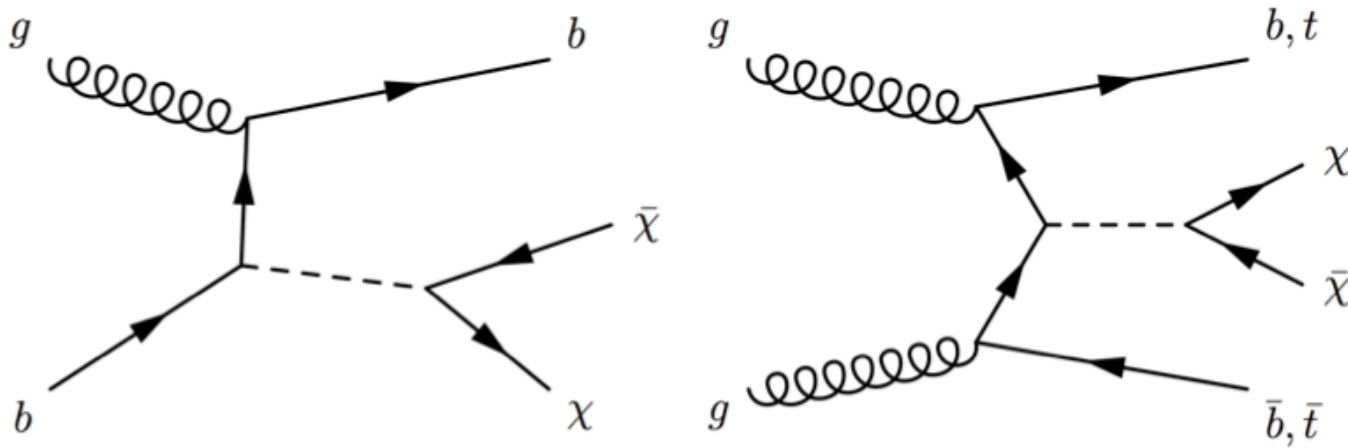
$$O_{D1} = \sum_{quarks} \frac{m_q}{M_*^3} \bar{\chi} \chi \bar{q} q \quad \text{DM fermione di Dirac}$$

Si cercano stati finali con MET + tt, MET + bb, MET + b



Modelli DM – Modelli semplificati

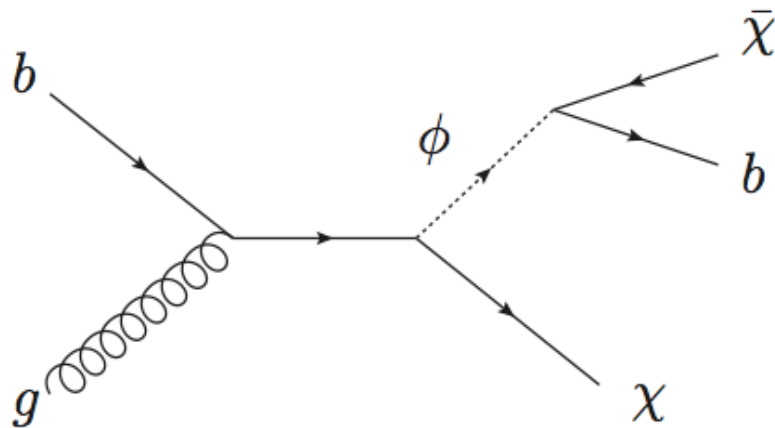
- Introdotti nel Run – 2 (indicati dal DMForum)
- Tra EFT e teorie complete
- Introdotti i mediatori
- Si assumono mediatori scalari o pseudoscalari
- Spin, gauge quantum numbers della DM ed i mediatori sono i parametri del modello



arXiv:1506.03116

Modelli DM – Modelli semplificati

- Basati sulle recenti osservazioni fatte dal Fermi Gamma-ray Space Telescope
 - Eccesso di raggi gamma proveniente dal centro della galassia
- bottom- Flavoured Dark Matter model (**b – FDM**)
 - DM fermione di Dirac con massa ~ 35 GeV
- Ricerca complementare alle teorie EFT



Tre parametri liberi: m_ϕ , m_χ , g

- m_ϕ da 1 GeV a 1.2 TeV
- m_χ da 1 a 100 GeV
- l'accoppiamento g è fissato dalla relic density

Ricerca nel canale mono – b

DM + HF: ricerche

○ Gli stati finali per i modelli DM + HF sono:

- ✓ $tt(0L, 1L, 2L) + E_T^{\text{miss}}$
- ✓ $bb + E_T^{\text{miss}}$
- ✓ $b + E_T^{\text{miss}}$



Strategia

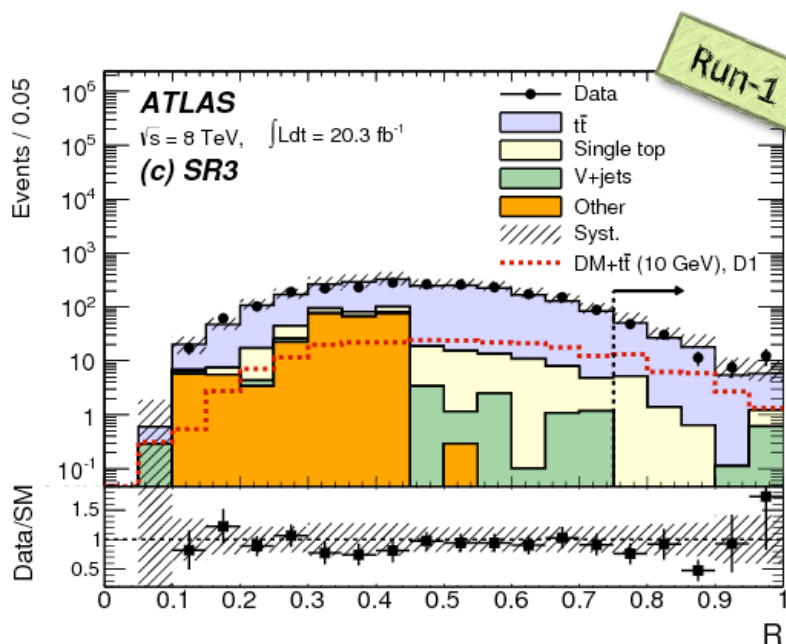
- ① Definizione di una o più Signal Region (SR)
- ② Definizione di una o più Control Region (CR) per lo studio MC e dei transfer factor (TF)
- ③ Validazione dei TF
- ④ Unblinding → Ci sono eccessi? (p-value)
- ⑤ Se non si trovano eccessi i risultati vengono interpretati come limiti sul modello studiato



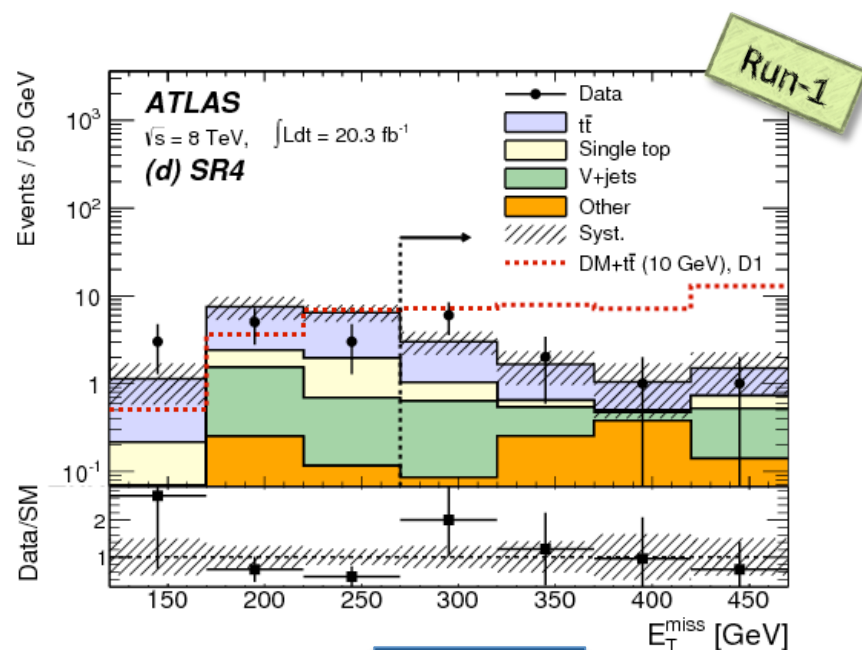
- ✓ Ottimizzazione della ricostruzione di oggetti con alto p_T
- ✓ Efficienza di identificazione di jet e b – jet
- ✓ Studio e ottimizzazione dei fondi dominanti
- ✓ Massimizzazione della sensibilità nelle SR

DM + top

- ✓ Stati finali con 0, 1 e 2 leptoni
- ✓ Analisi in parallelo col gruppo SUSY
- ✓ Tagli principali sul numero di jet, b – jet e leptoni, su E_T^{miss} , p_T dei jet, selezioni angolari, razor
- ✓ Fondo dominante tt



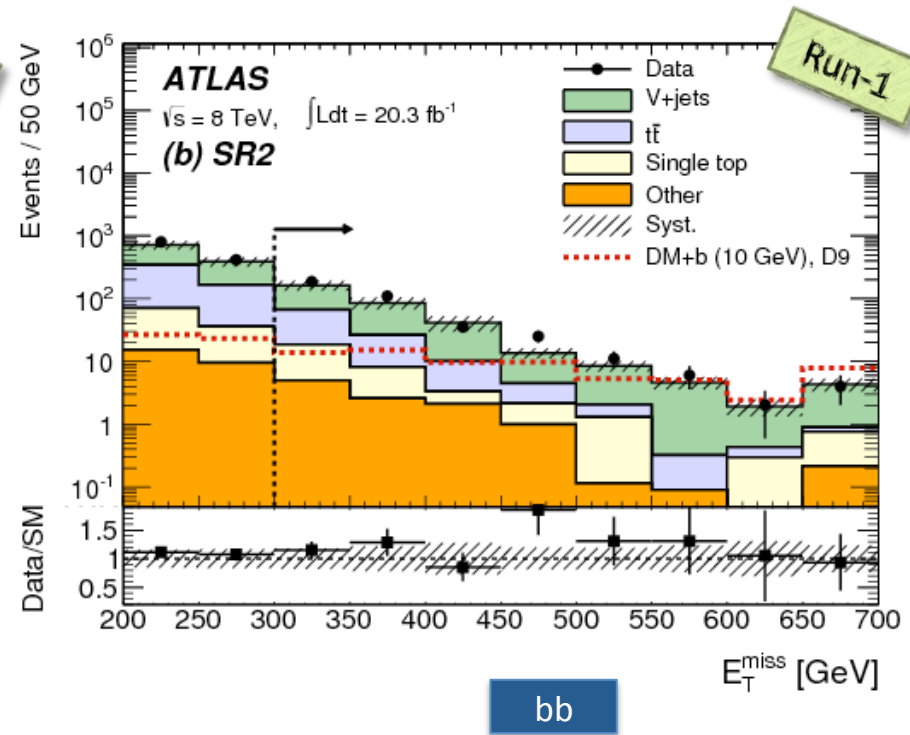
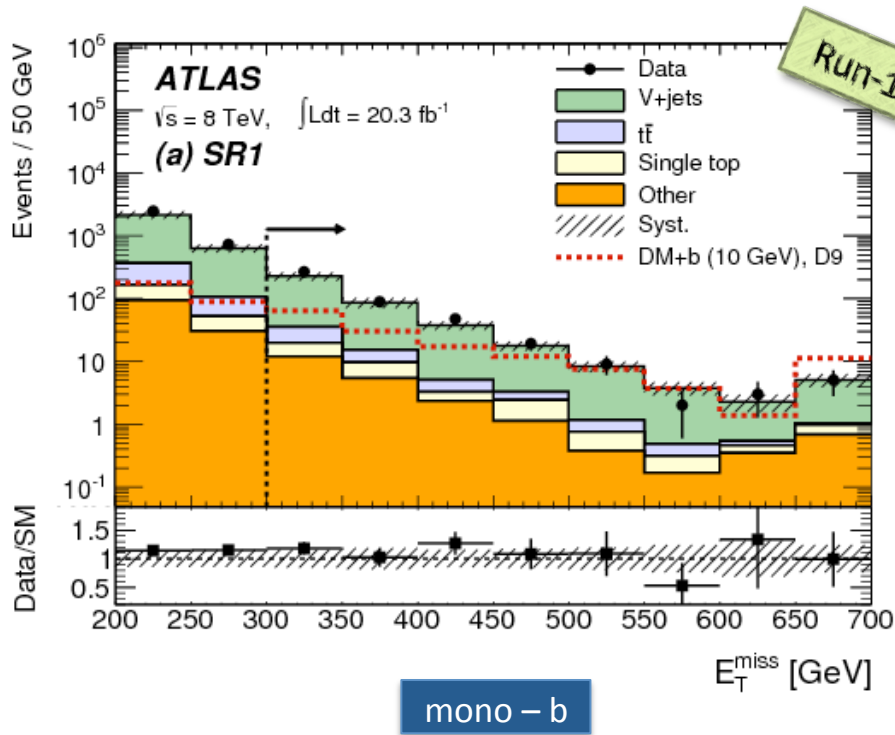
top(had)



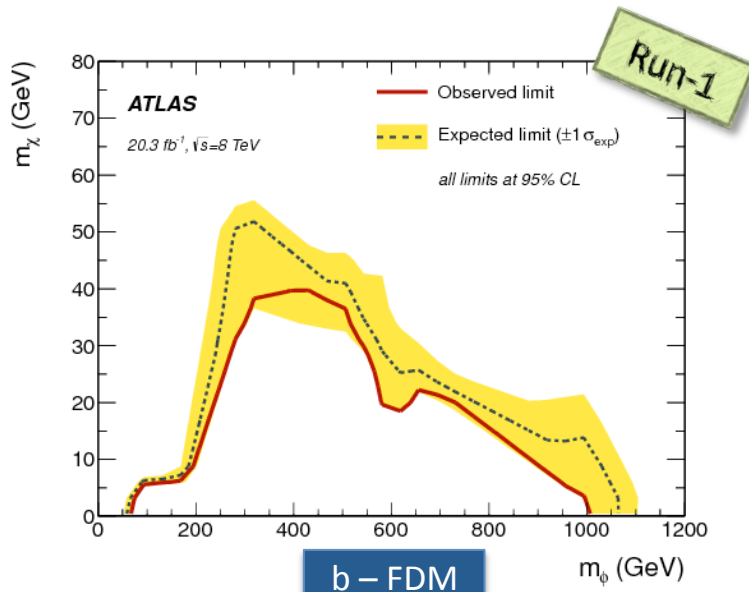
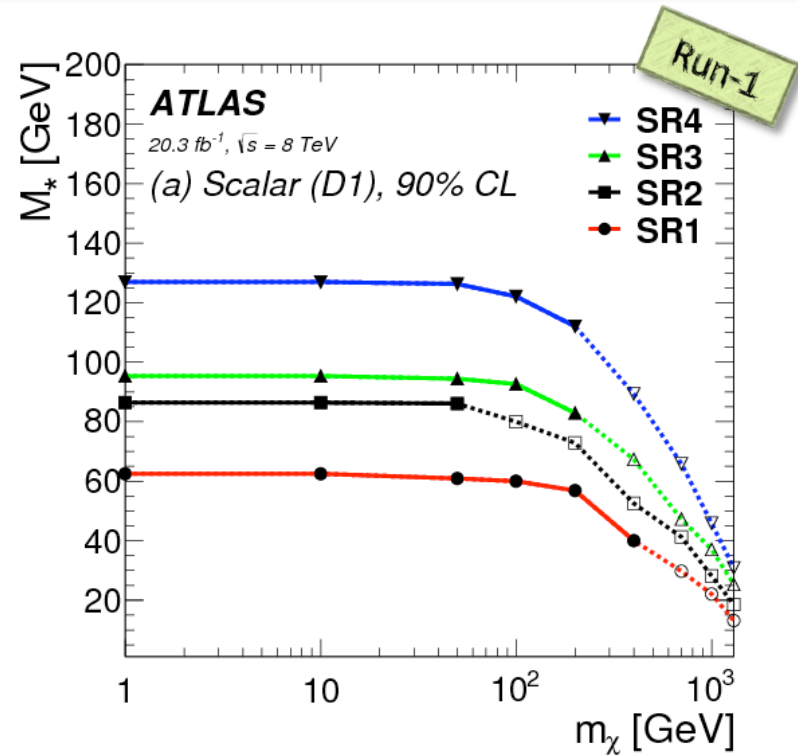
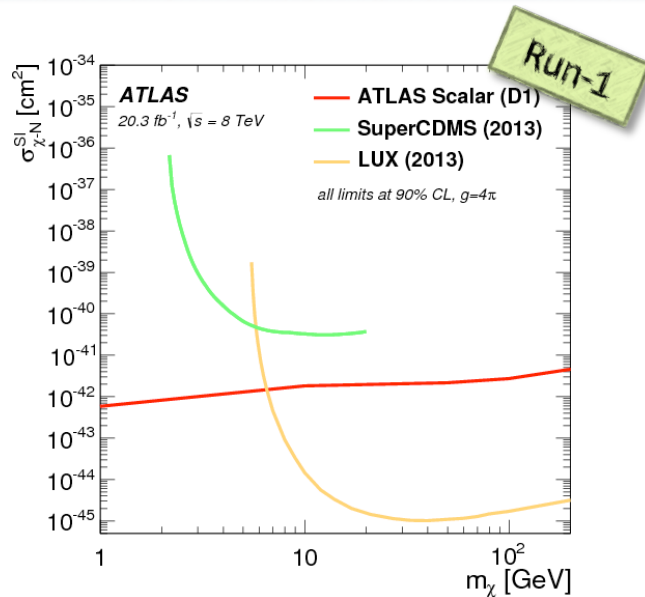
top(lep)

DM + bottom

- ✓ Tagli principali sul numero di jet, b – jet e leptoni, su E_T^{miss} e p_T dei b – jet
- ✓ Fondo dominato da eventi Z/W+jet



Limiti sulle ricerche DM + HF

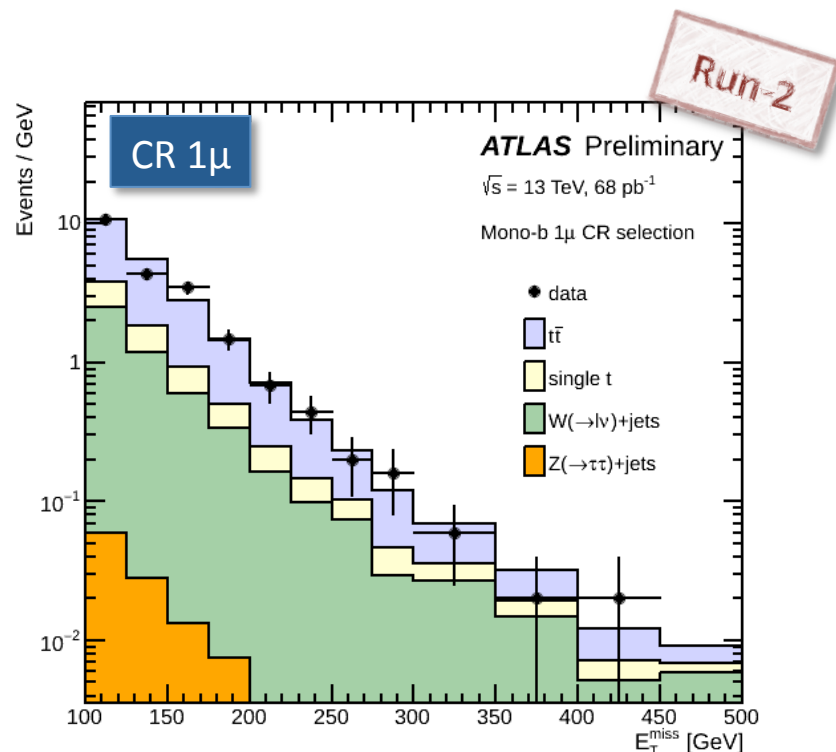
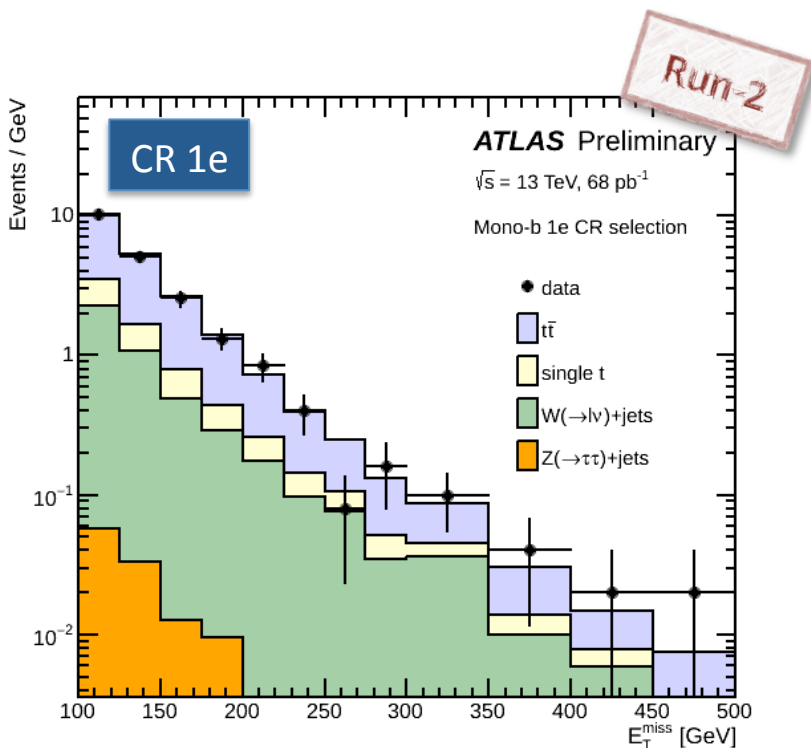


SR1	mono - b
SR2	bb
SR3	tt (had)
SR4	tt (lep)

Eur. Phys. J. C (2015) 75:92

Run – 2

- Primi risultati dalle collisioni del Run – 2
- $\sim 70 \text{ pb}^{-1}$ di dati raccolti
- Primi plot per mono – b nelle regioni di controllo con un leptone

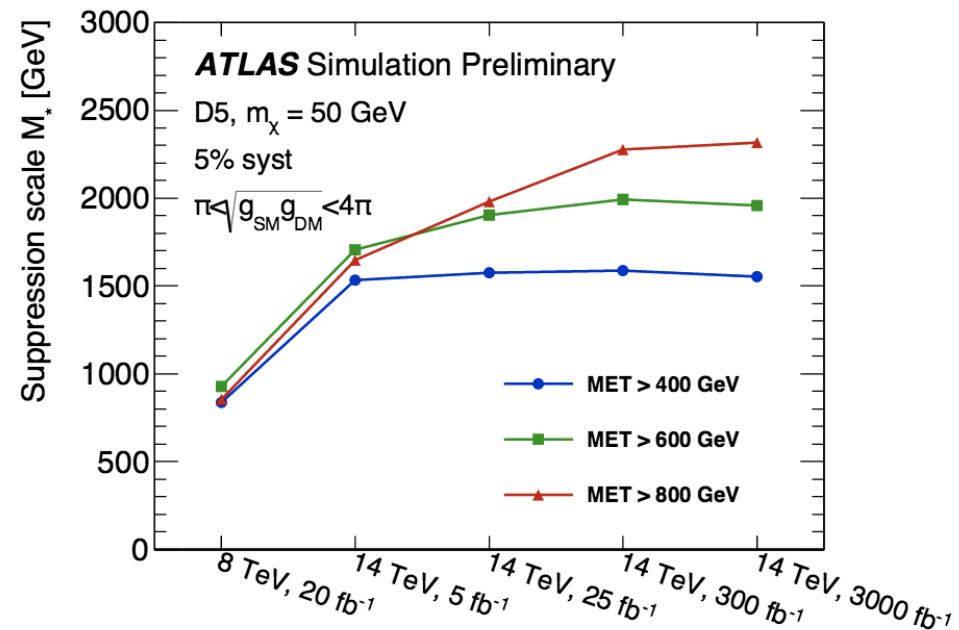


✓ Almeno un leptone (e, μ), selezione sul numero di jet, b – jet, su E_T^{miss} e p_T del jet

EXOT-2015-007

Conclusioni

- La ricerca di DM a LHC estende il dominio di ricerca delle WIMP verso masse basse
- Candidati di DM vengono ricercati richiedendo eventi con alta E_T^{miss} e p_T
- I primi studi su $\sim 70 \text{ pb}^{-1}$ di dati raccolti mostrano buone performance e calibrazioni di ATLAS
 - Ottimizzazione delle analisi nei canali DM + HF in corso per i nuovi dati in arrivo
- La sensibilità ottenuta nel Run – 1 può essere raggiunta (e superata!) con i primi 5 fb^{-1} di dati



ATL-PHYS-PUB-2014-007

Backup

DM + HF: definizioni delle SR

	SR1	SR2	SR3	SR4
Trigger	E_T^{miss}	E_T^{miss}	5 jets 4jets(1b)	E_T^{miss} 1 lepton (no τ)
Jet multiplicity n_j	1-2	3-4	≥ 5	≥ 4
b-jet multiplicity n_b	>0 (60% eff.)	>0 (60% eff.)	>1 (70% eff.)	>0 (70% eff.)
Lepton multiplicity n_ℓ	0	0	0	1 ℓ ($\ell = e, \mu$)
E_T^{miss}	>300 GeV	>300 GeV	>200 GeV	>270 GeV
Jet kinematics	$p_T^{b_1} > 100$ GeV	$p_T^{b_1} > 100$ GeV $p_T^{j_2} > 100$ (60) GeV	$p_T^j > 25$ GeV	$p_T^{b_1} > 60$ GeV $p_T^{1-4} > 80, 70, 50, 25$ GeV
Three-jet invariant mass				$m_{jjj} < 360$ GeV
$\Delta\phi(j_i, E_T^{\text{miss}})$	> 1.0, $i = 1, 2$	> 1.0, $i = 1 - 4$	-	> 0.6, $i = 1, 2$
Angular selections	-	-	$\Delta\phi(b_1, E_T^{\text{miss}}) \geq 1.6$	$\Delta\phi(\ell, E_T^{\text{miss}}) > 0.6$ $\Delta R(\ell, j_1) < 2.75$ $\Delta R(\ell, b) < 3.0$
Event shape	-	-	Razor $R > 0.75$	$topness > 2$
am_{T2}	-	-	-	>190 GeV
$m_T^{\ell + E_T^{\text{miss}}}$	-	-	-	>130 GeV
$E_T^{\text{miss}} / \sqrt{H_T^{4j}}$	-	-	-	>9 $\sqrt{\text{GeV}}$

DM + HF: yields

Background source	SR1	SR2	SR3	SR4
$Z(\nu\bar{\nu})+\text{jets}$	190 ± 26	90 ± 25	1_{-1}^{+6}	–
$W(\ell\nu)+\text{jets}$	133 ± 23	75 ± 13		1.3 ± 0.3
$t\bar{t}$	39 ± 5	71 ± 9	87 ± 11	2.9 ± 0.6
Single top			8 ± 3	0.7 ± 0.3
$t\bar{t}+Z/W$	–	–	–	1.4 ± 0.4
Diboson	22 ± 4	8 ± 1	–	0.8 ± 0.4
Total expected background	385 ± 35	245 ± 30	96 ± 13	7 ± 1
Data	440	264	107	10
Expected signal – D1	10 ± 2	49 ± 8	28 ± 2	35 ± 5
Expected signal – C1	17 ± 2	61 ± 9	45 ± 4	51 ± 12
Expected signal – D9	147 ± 25	69 ± 12	2 ± 1	2 ± 1
Expected signal – b-FDM	192 ± 24	61 ± 8	1.0 ± 0.2	–
p-Value	0.09	0.29	0.24	0.18
Allowed non SM events - Obs.	124	79	41	10
Allowed non SM events - Exp.	81	67	33	7

$m_\phi = 600$ GeV per b - FDM

$m_\chi = 10$ GeV

$M_* = 100/40/600$ GeV per gli operatori D1/C1/D9