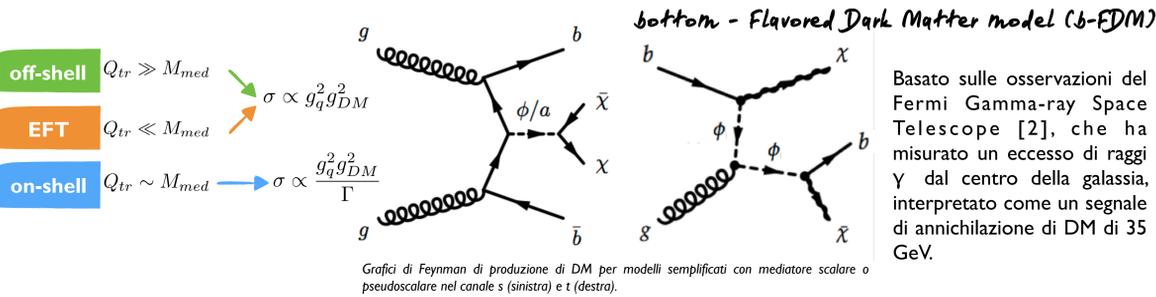


La produzione e l'osservazione della Dark Matter (DM) è uno degli obiettivi primari del programma di ricerca al Large Hadron Collider (LHC). Nonostante non ci siano ancora evidenze dirette, la sua presenza nell'Universo è fortemente motivata da numerose osservazioni astrofisiche e cosmologiche. Se la DM interagisce con le particelle del Modello Standard (SM), può essere prodotta in coppia a LHC. Nel caso di candidati DM di tipo WIMP (weakly interacting massive particles), le particelle di DM interagiscono debolmente ed un modo di osservarle è quando sono prodotte in associazione con particelle visibili del SM. Si hanno così signature sperimentali con momento trasverso mancante E_T^{miss} e particelle SM. In particolare le ricerche con jet nello stato finale sono sensibili a bassi valori di masse DM, fornendo un'informazione complementare alle ricerche dirette di DM.

Modelli teorici

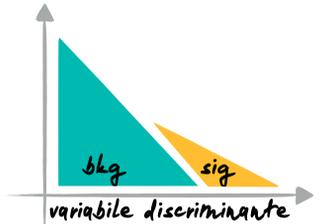
Attualmente nel Run-II ad LHC l'interazione tra SM e DM è descritta attraverso "simplified models" [1] che prevedono l'esistenza di un mediatore massivo con spin 0,1. Sulla base di una serie di assunzioni teoriche (Minimal Flavour Violation, minimal decay width Γ) i parametri utilizzati sono le **masse del mediatore (M_{med}) e della DM (m_χ), e gli accoppiamenti tra particelle DM e SM (g_q e g_{DM}).**

Sebbene le ricerche inclusive con jet e E_T^{miss} nello stato finale portano ai migliori risultati per mediatori con spin 1, nel caso di **mediatori con spin 0 scalari o pseudoscalari** (dove l'accoppiamento con i quark è di tipo Yukawa, quindi proporzionale alle masse dei quark), ricerche dedicate con jet da quark pesanti (top e bottom) permettono di ottenere informazioni su eventuali accoppiamenti non universali tra le famiglie up e down e la DM.



Strategia di analisi

- Definizione di una o più Signal Region (SR)
- Definizione di una o più Control Region (CR) per la stima dei principali fondi MC e per la determinazione dei transfer factor (TF) per la normalizzazione dei fondi in SR
- Validazione dei TF
- Unblinding \rightarrow Ci sono eccessi? (p-value)
- Se non si trovano eccessi i risultati vengono interpretati come limiti sui modelli studiati

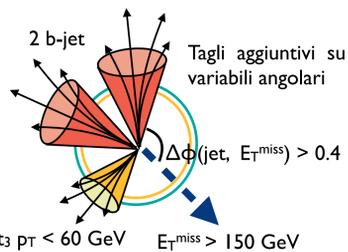


Le selezioni della SR sono ottimizzate su variabili per cui le distribuzioni cinematiche del segnale hanno un profilo diverso da quelle dei fondi dominanti, al fine di migliorare la significatività dell'analisi.

- Ottimizzazione nella ricostruzione di oggetti con alto p_T
- Efficienza di identificazione di jet e b-jet
- Comprensione dei fondi dominanti
- Massimizzazione della sensibilità nelle SR

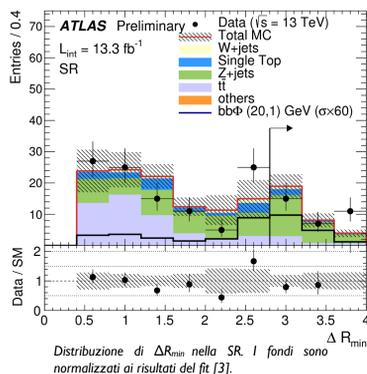
Selezione degli eventi

Nel caso di modelli semplificati nel canale s, lo stato finale è caratterizzato dalla presenza di 2 b-jet ed energia mancante dal decadimento di un mediatore in particelle DM. Il fondo principale SM è dominato da eventi $Z(\rightarrow \nu\bar{\nu}) + \text{jet}$ (fondo irriducibile), **produzione singola e in coppia di top e $W(\rightarrow \ell\nu) + \text{jet}$** . La selezione degli eventi è basata su tagli cinematici che utilizzano la separazione angolare e lo sbilanciamento in p_T $l_{mb}(b_1, b_2)$ tra i due b-jet presenti nell'evento [3].



SR	
Veto sui leptoni	
N jet	[2,3]
N bjet	2
E_T^{miss} [GeV]	> 150
$jet_1 p_T$ [GeV]	> 100
$jet_2 p_T$ [GeV]	> 20
$jet_3 p_T$ [GeV]	< 60
min $\Delta\phi(\text{jet}, E_T^{miss})$	> 0.4
ΔR_{min}	> 2.8
$\Delta\Phi(b_1, b_2)$	> 2.2
$\Delta\eta(b_1, b_2)$	> 0.5
$l_{mb}(b_1, b_2)$	> 0.5

Definizione della SR [3].



Distribuzione di ΔR_{min} nella SR. I fondi sono normalizzati ai risultati ottenuti dal fit [3].

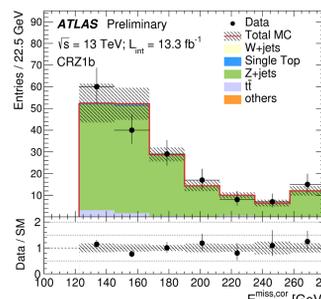
Stima dei fondi

Fondi dominanti
Il contributo dei principali processi di fondo è stato stimato utilizzando opportune **regioni di controllo**. Le selezioni applicano tagli meno restrittivi rispetto a quelli della SR più la richiesta di uno o due leptoni.

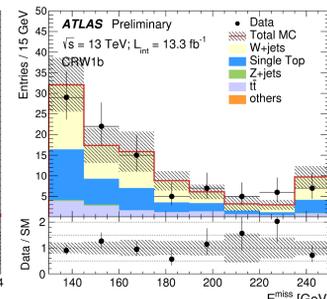
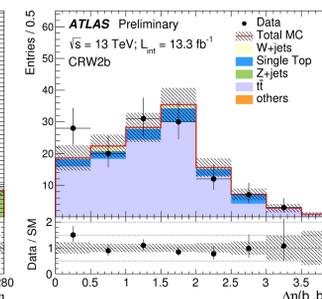
CR	Fondo stimato	
CRZ1b	$Z(\rightarrow \ell\ell)$	2 leptoni, 1 b-jet
CRW1b	$W(\rightarrow \ell\nu)$, top singolo	1 leptone, 1 b-jet
CRW2b	coppie top	1 leptone, 2 b-jet

Altri fondi

- Il contributo del fondo da processi dibosonici viene stimato da MC.
- Fondo multi-jet dovuto a errate ricostruzioni dell'energia dei jet, stimato con i dati ed eliminato dal taglio $\Delta\phi(\text{jet}, E_T^{miss})$.

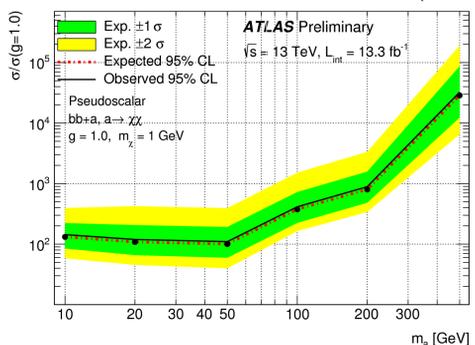
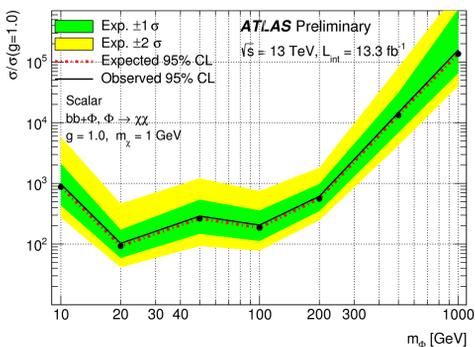


Distribuzione di alcune delle principali variabili dell'analisi nelle CR. I fondi sono normalizzati ai risultati ottenuti dal fit [3].



Risultati

I dati raccolti all'esperimento ATLAS durante la prima fase del Run-2 corrispondenti a 13.3 fb^{-1} con energia nel centro di massa di $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ non hanno mostrato deviazioni significative dalle predizioni attese dello SM. I risultati sono stati interpretati come **limiti al 95% C.L. sulla signal strength**, definita come il fattore correttivo da applicare alla sezione d'urto teorica per escludere il modello considerato. I limiti sono ottenuti per un valore di $g_q = g_{DM} = 1$, in funzione della massa di mediatori scalari e pseudoscalari che decadono in particelle DM.



Limiti di esclusione al 95% per mediatori scalari (in alto) e pseudoscalari (in basso) con massa della DM di 1 GeV, ottenuti con un dataset corrispondente ad una luminosità integrata di 13.3 fb^{-1} [3]. La linea tratteggiata indica il valore atteso, quella continua il valore osservato.

SR	
Osservato	33
Fondo totale	31.0 ± 6.2
Z+jet	22.6 ± 5.7
W+jet	1.2 ± 0.8
$t\bar{t}$	4.7 ± 1.4
single top	2.6 ± 1.1
Altri fondi	-

Valori osservati nella SR, e contributo dei fondi MC stimati dal fit [3].

SR	
$\langle \epsilon\sigma \rangle^{95}_{obs} [\text{fb}]$	1.38
S^{95}_{obs}	18.3
S^{95}_{exp}	16.8
CL_B	0.62

Dall'alto in basso: limite al 95% sulla sezione d'urto visibile, numero di eventi di segnale osservati e attesi, confidence level osservato per l'ipotesi di solo fondo [3].

Sviluppi dell'analisi

Con l'intera statistica raccolta nella prima fase del Run-2, corrispondente a 36.1 fb^{-1} l'analisi nel canale s è stata riottimizzata per migliorarne i risultati. Anche i modelli b-FDM sono stati studiati e l'analisi è tuttora in corso.

canale s

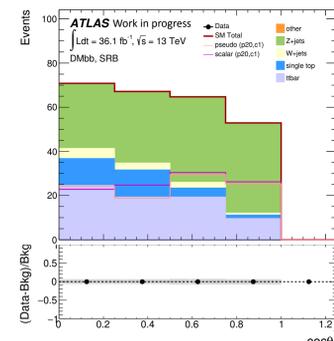
*Una nuova SR (SRB) è stata ottimizzata, con nuove variabili discriminanti che sono correlate con lo spin del mediatore [4]

$$\begin{aligned} \hookrightarrow x_1 &= \min \Delta\phi(\text{jet}, E_T^{miss}) - \Delta\phi_{bb} \\ \hookrightarrow y_1 &= \pi - \min \Delta\phi(\text{jet}, E_T^{miss}) - \Delta\phi_{bb} \end{aligned}$$

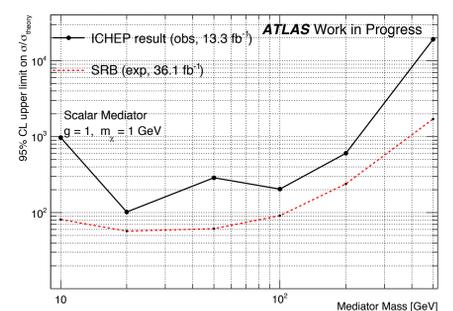
*2 CR sviluppate: una per il fondo $Z(\rightarrow \ell\ell)$ e una per $t\bar{t}$

*La procedura di fit utilizza l'informazione della distribuzione della variabile discriminante

$$\hookrightarrow \cos(\theta^*) = \tanh(\Delta\eta(b,b)/2)$$



Distribuzione di $\cos(\theta^*)$ nella nuova SR ottimizzata. Il segnale è stato riscalato di un fattore 5.



Confronto tra i limiti di esclusione al 95% per mediatori scalari con massa della DM di 1 GeV, per i valori osservati a 13.3 fb^{-1} e quelli attesi per la nuova SR ottimizzata per 36.1 fb^{-1} .

b-FDM

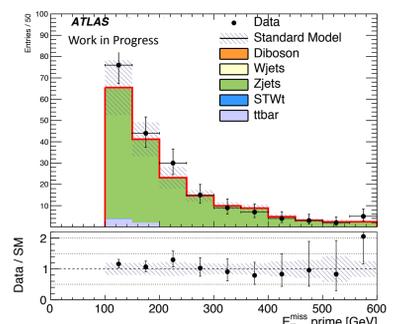
*Questi modelli sono caratterizzati da un unico b-jet di alto impulso e alta E_T^{miss}

*Un'unica CR per il fondo $Z(\rightarrow \ell\ell)$ è stata ottimizzata

*Un fit cut-and-count è stato utilizzato per ottenere i risultati

SRBFH	
Veto sui leptoni	
N jet, N bjet	[2,3], 2
E_T^{miss} [GeV]	> 650
$jet_1 p_T, jet_2 p_T$ [GeV]	> 160
min $\Delta\phi(\text{jet}, E_T^{miss})$	> 0.6

Definizione della SR per l'analisi b-FDM.



Distribuzione post-fit di E_T^{miss} nella CR definita per la stima del fondo $Z(\rightarrow \ell\ell)$.

Bibliografia

- Daniel Abercrombie et al., "Dark Matter Benchmark Models for Early LHC Run-2 Searches: Report of the ATLAS/CMS Dark Matter Forum", arXiv:1507.00966
- Prateek Agrawal et al., "Flavored Dark Matter and the Galactic Center Gamma-Ray Excess", arXiv:1404.1373
- ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2016-086
- Ulrich Haisch, Priscilla Pani, Giacomo Polesello, "Determining the CP nature of spin-0 mediators in associated production of dark matter and $t\bar{t}$ pairs", JHEP 1702 (2017) 131