

Ricerca di produzione di coppie di top squarks e Materia Oscura in stati finali con due leptoni al Run 2 di LHC con l'esperimento ATLAS

Francesco Giuseppe Gravili

INFN Sezione di Lecce
Università del Salento, Dipartimento di Matematica e Fisica *Ennio De Giorgi*

CVI Congresso SIF, 14 - 18 Settembre 2020



Introduzione: Supersimmetria (SUSY)

La Supersimmetria è una delle più popolari tra le estensioni del Modello Standard (MS)

- Assume l'esistenza di (super)partners per le particelle del MS, il cui spin differisce di 1/2
- Fornirebbe una possibile soluzione al problema della "gerarchia"
- Consentirebbe l'unificazione delle forze: elettrodebole, forte, gravitazionale
- Introduce un nuovo numero quantico $R = (-1)^{3(B-L)+2S}$:

$$R = \begin{cases} +1 & \text{nel caso di Particelle} \\ -1 & \text{nel caso di S-Particelle} \end{cases}$$

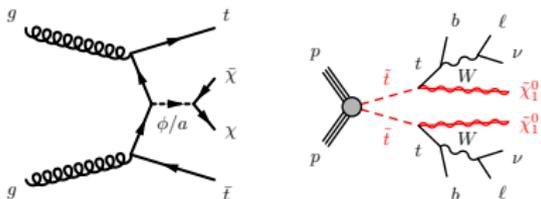
- Assumendo la conservazione di R , la particella più leggera è un possibile candidato di Materia Oscura

MODELLO STANDARD					SUPERSIMMETRIA						
QUARKS	u	c	t	g	SQUARKS	\tilde{u}	\tilde{c}	\tilde{t}	\tilde{g}		
	d	s	b	γ		\tilde{d}	\tilde{s}	\tilde{b}	$\tilde{\gamma}$	$\tilde{\chi}_1^\pm$	$\tilde{\chi}_2^\pm$
LEPTONI	e	μ	τ	W	SLEPTONI	\tilde{e}	$\tilde{\mu}$	$\tilde{\tau}$	\tilde{W}	$\tilde{\chi}_1^0$	$\tilde{\chi}_2^0$
	ν_e	ν_μ	ν_τ	Z		$\tilde{\nu}_e$	$\tilde{\nu}_\mu$	$\tilde{\nu}_\tau$	\tilde{Z}	$\tilde{\chi}_3^0$	$\tilde{\chi}_4^0$
	H^+	H^-	H^0	h	A	\tilde{h}^+	\tilde{h}^-	\tilde{h}_1^0	\tilde{h}_2^0		
	HIGGS					HIGGSINOS					

- Nel caso di \tilde{t} , due autostati di massa sono ammessi, con $m_{\tilde{t}_1} \ll m_{\tilde{t}_2}$, e quello più leggero è il più cercato per la maggiore probabilità di produzione ad elevate sezioni d'urto.
- Nelle ricerche di Materia Oscura, la produzione di mediatori privi di carica di colore avviene in processi, indotti da loop, di fusione gg o in associazione con quark pesanti (III generazione)

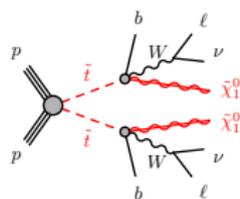
Canali di decadimento

Materia Oscura e 2 Corpi



- Produzione di Materia Oscura associata a top quark: $pp \rightarrow \chi\bar{\chi}t\bar{t}$
- Mediatori a spin-0: scalare (ϕ) o pseudoscalare (a)
- Risultati interpretati nel contesto $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$, con $\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) > m_t$

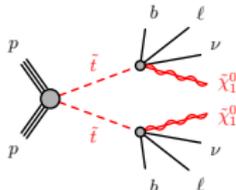
3 Corpi



- Regione compressa caratterizzata da $m_W + m_b < \Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) < m_t$
- Decadimento $\tilde{t}_1 \rightarrow bW\tilde{\chi}_1^0$
- Quark t virtuale

4 Corpi

- Regione ancor più compressa caratterizzata da $\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) < m_W + m_b$
- Decadimento $\tilde{t}_1 \rightarrow bff'\tilde{\chi}_1^0$
- f ed f' leptoni di basso momento provenienti dal decadimento del bosone W virtuale (W^*)



Stato finale: 2 leptoni (e/μ) di carica opposta, getti ed energia trasversa mancante (E_T^{miss})

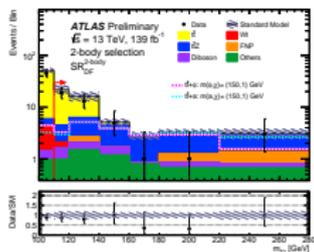
Fondi dominanti: $t\bar{t}$, $t\bar{t}Z$, dibosoni (VV)

Regioni di Segnale (SR)

ATLAS-CONF-2020-046

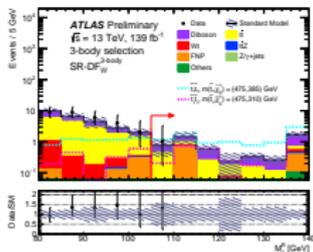
L'analisi utilizza i dati raccolti dall'esperimento ATLAS durante il Run 2 ($\mathcal{L} = 139 \text{ fb}^{-1}$)

2 Corpi



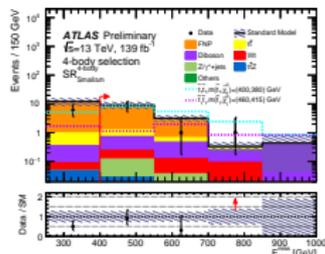
- Leptoni ad elevato momento trasverso
- Analisi basata sulla *massa trasversa* (m_{T2})
- Due tipi di regioni: *esclusive* (*Shape fit*) per massimizzare la sensibilità sulla base del modello ed *inclusive* per limiti su nuova fisica, indipendente dal modello

3 Corpi



- Tecnica ricorsiva *Jigsaw* per la creazione delle variabili *Super Razor*
- Due regioni corrispondenti a $\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) \simeq m_W$ o m_t , in base alla molteplicità dei getti da quark b
- Ulteriore suddivisione in eventi *Same* ($ee, \mu\mu$) o *Different Flavour* ($e\mu$)

4 Corpi

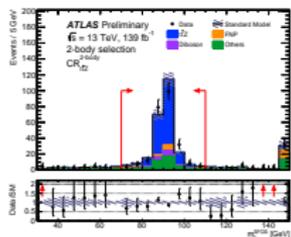


- Leptoni a basso momento trasverso
- Due regioni complementari, la cui definizione è basata su $p_T(\ell_2)$
- Richiesto getto di *Radiazione di Stato Iniziale* con, conseguente, alta E_T^{miss}

Regioni di Controllo (CR) e Validazione (VR)_{ATLAS-CONF-2020-046}

Contributi al fondo irriducibile del MS valutati in dedicate CR e normalizzati (*Fattori di scala* μ) ai dati mediante un likelihood fit; procedura e fattori validati nelle VR. Il fondo riducibile di leptoni fake e non-prompt stimato utilizzando il metodo del Fake Factor

2 Corpi



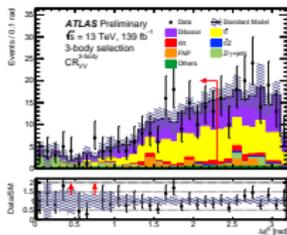
Fondi normalizzati (CR):

- $t\bar{t}$: $m_{T2} \in [100, 120]$ e 1 o più getti da b quark
- $t\bar{t}Z$: stato finale a 3 leptoni, con $|m_{\ell\ell} - m_Z| < 20$ GeV

Validazione (VR):

- 2 per $t\bar{t}$ (DF, SF) ed una per $t\bar{t}Z$ (4 leptoni)

3 Corpi



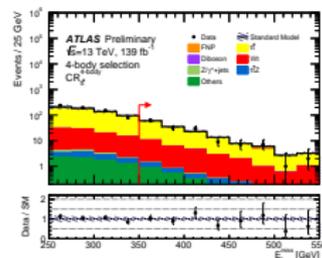
Fondi normalizzati (CR):

- $t\bar{t}$: 2 o più getti da b quark
- $t\bar{t}Z$: stato finale a 3 leptoni
- VV : 0 getti da b quark

Validazione (VR):

- 2 per $t\bar{t}$ (0 ed 1 getto da b quark) ed una per VV

4 Corpi



Fondi normalizzati (CR):

- $t\bar{t}$: alta E_T^{miss} e 2 o più getti da b quark
- VV : 0 getti da b quark

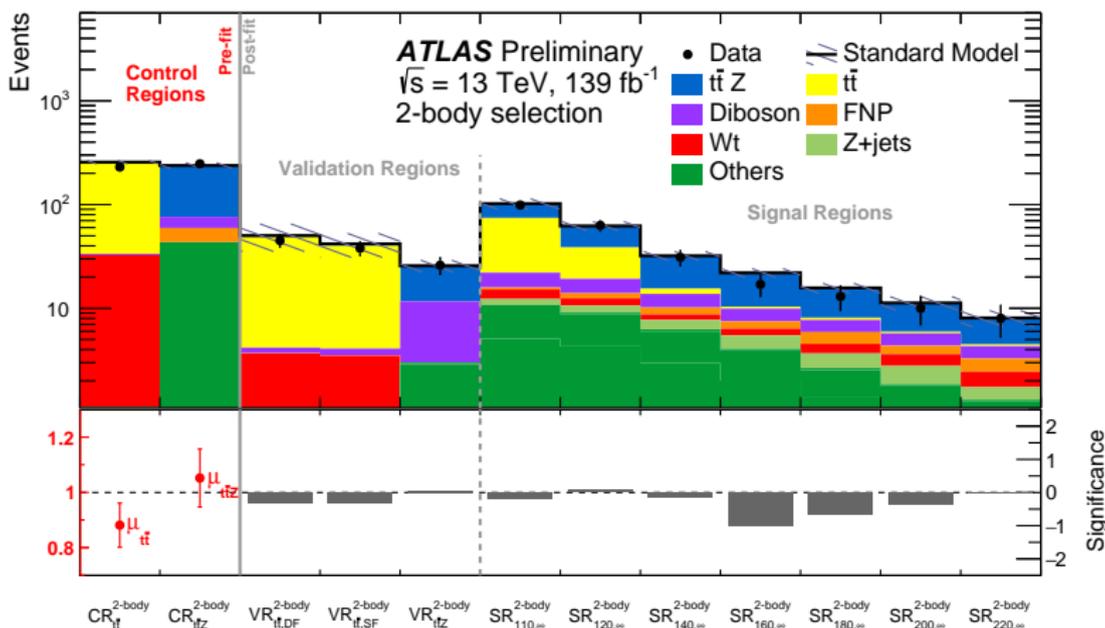
Validazione (VR):

- 1 per $t\bar{t}$ e 2 per VV (stato finale a 2 e 3 leptoni)

Risultati: Decadimento a 2 corpi

ATLAS-CONF-2020-046

Buon accordo tra gli eventi osservati e quelli ricavati dal fit nelle Regioni di Validazione

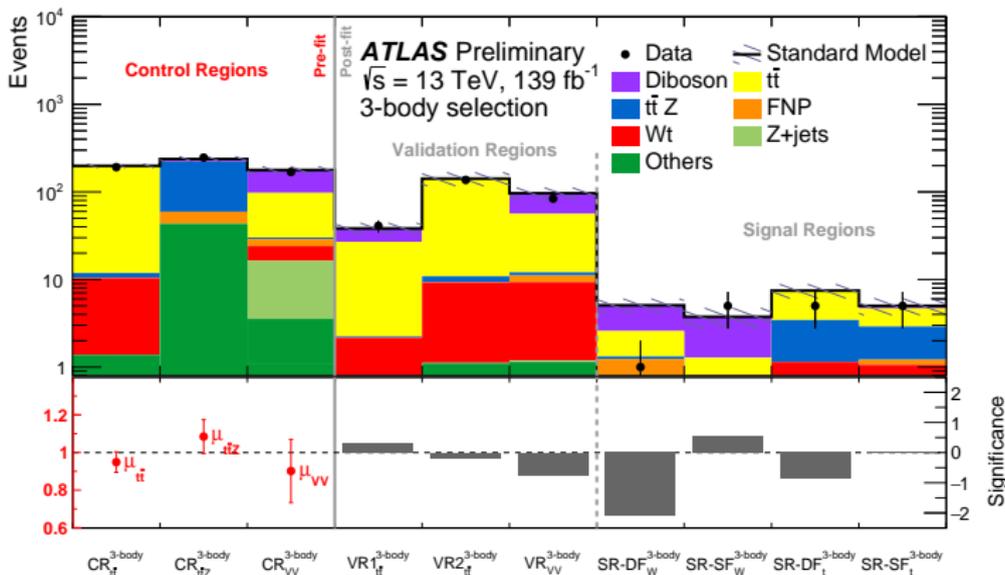


Nessun eccesso significativo nel confronto tra Dati e Monte Carlo in nessuna delle Regioni di Segnale

Risultati: Decadimento a 3 corpi

ATLAS-CONF-2020-046

Buon accordo tra gli eventi osservati e quelli ricavati dal fit nelle Regioni di Validazione



$$\mu_{t\bar{t}} = 0.96 \pm 0.09$$

$$\mu_{t\bar{t}Z} = 1.06 \pm 0.15$$

$$\mu_{VV} = 0.92 \pm 0.28$$

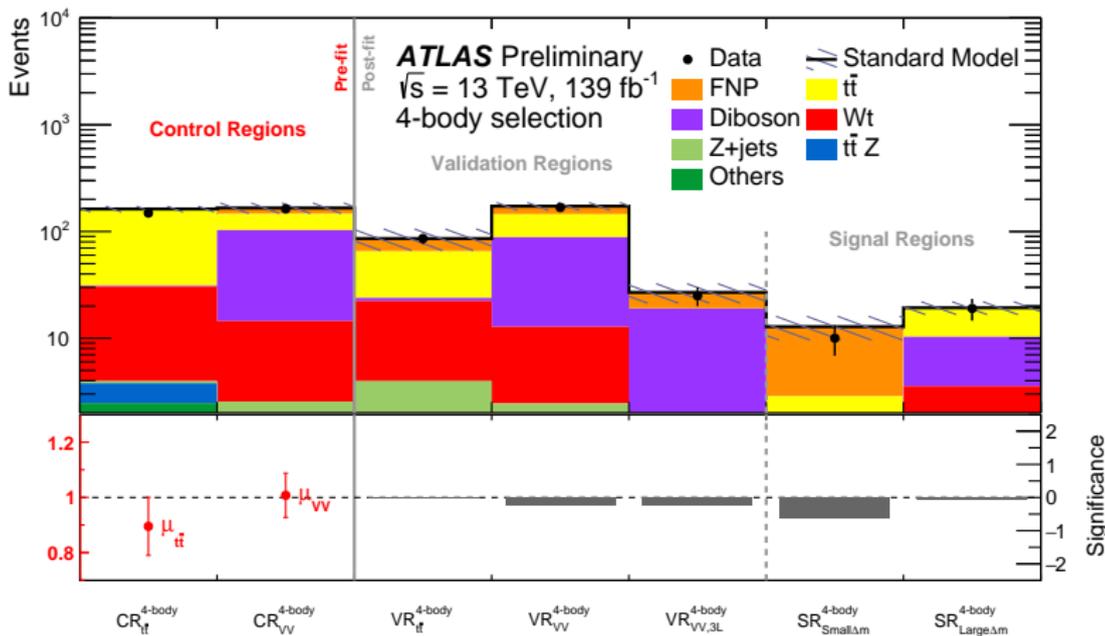
Nessun eccesso significativo nel confronto tra Dati e Monte Carlo in nessuna delle Regioni di Segnale

Deficit di $\sim 2\sigma$ in $SR-DF_W$

Risultati: Decadimento a 4 corpi

ATLAS-CONF-2020-046

Buon accordo tra gli eventi osservati e quelli ricavati dal fit nelle Regioni di Validazione

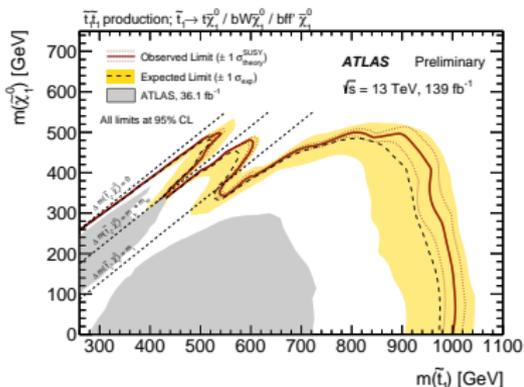


Nessun eccesso significativo nel confronto tra Dati e Monte Carlo in nessuna delle Regioni di Segnale

Risultati: Limiti di esclusione

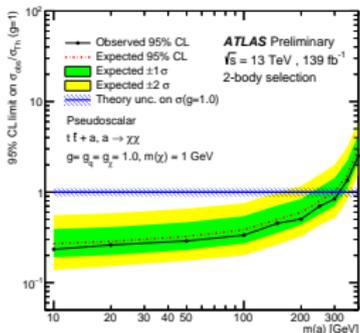
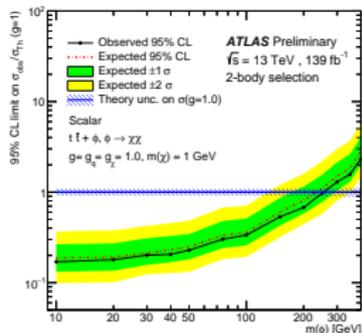
ATLAS-CONF-2020-046

Nessun eccesso osservato rispetto alle previsioni del Modello Standard:



Limiti di esclusione con 95% Livello di Confidenza (CL) per le tre selezioni

- 2 Corpi: $m(\tilde{t}_1)$ escluse fino ad 1 TeV per $\tilde{\chi}_1^0$ privo di massa
- 3 Corpi: $m(\tilde{t}_1)$ escluse fino a 600 GeV per $\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) = 120 \text{ GeV}$, fino a 550 GeV per $\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) \simeq m_t$ e fino a 430 GeV per $\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) \simeq m_W$
- 4 Corpi: $m(\tilde{t}_1)$ escluse fino a 540 GeV per $\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) \simeq 40 \text{ GeV}$
- Sensibilità fino a $m(\tilde{\chi}_1^0) \sim 500 \text{ GeV}$ per le tre selezioni



$g = g_q = g_\chi = 1 \rightarrow \text{https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-017-5486-1}$

Limiti superiori al 95% CL sulla sezione d'urto di segnale osservata, riscalata rispetto a quella teorica con costante d'accoppiamento unitaria: ipotesi esclusa per masse del mediatore scalare (pseudoscalare) pari a 250 (300) GeV

Conclusioni

- Sono stati presentati gli ultimi risultati della ricerca di produzione diretta di Materia Oscura e coppie di top squarks, in stati finali a 2 leptoni di segno opposto, getti ed energia trasversa mancante
- L'analisi presentata ha utilizzato 139 fb^{-1} di collisioni protone-protone a $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$, raccolti dal rivelatore ATLAS presso il Large Hadron Collider durante l'intero Run 2 (2015-2018)
- Non sono stati osservati eccessi significativi rispetto alle previsioni del MS in nessuna delle Regioni di Segnale considerate per i 3 modelli di decadimento considerati; i risultati sono stati, quindi, utilizzati per calcolare dei limiti di esclusione al 95% CL
- I risultati presentati migliorano considerevolmente i precedenti limiti di esclusione per i vari processi di decadimento considerati