

# Ricerca di particelle supersimmetriche prodotte per interazione elettrodebole presso l'esperimento ATLAS ad LHC

*106° Congresso Nazionale SIF, 14-18 Settembre 2020*

**Eric Ballabene**

Università e INFN, Milano

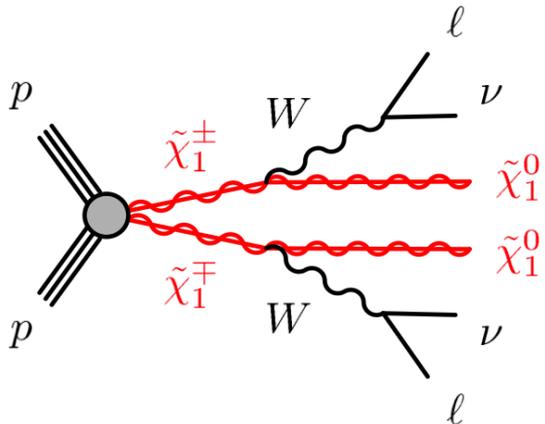


# L'ipotesi supersimmetrica

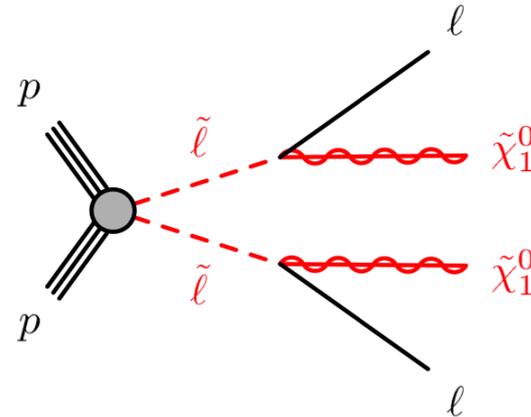
- Circa il 26% dell'Universo è costituito da Materia Oscura secondo il modello cosmologico standard.
- La Supersimmetria ipotizza un candidato particellare di Materia Oscura, il neutralino  $\chi_1^0$ .

## Il segnale supersimmetrico

- ATLAS è uno dei quattro principali esperimenti ad LHC e permette di studiare una molteplicità di scenari. Tra questi, 2 sono considerati nell'analisi



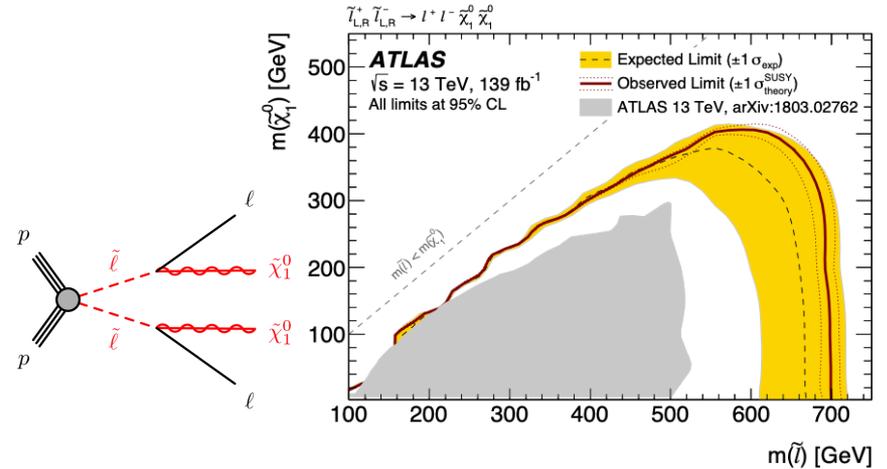
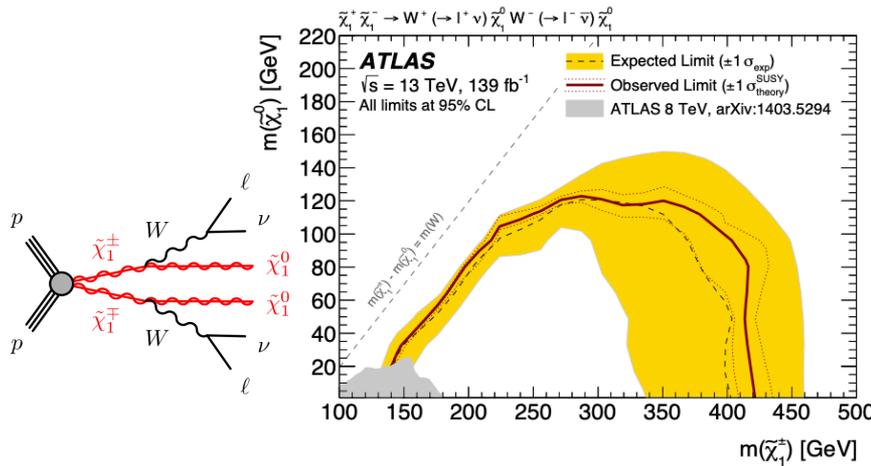
Stato finale con neutralini  $\chi_1^0$   
dal decadimento dei chargini  $\chi_1^\pm$   
attraverso bosoni  $W$



Stato finale con neutralini  $\chi_1^0$   
dal decadimento di sleptoni  $\tilde{\ell}$   
attraverso leptoni  $\ell$

# Analisi “first wave”

- Caricini supersimmetrici sono già stati esclusi fino a 420 GeV e sleptoni supersimmetrici esclusi fino a 700 GeV da un’[analisi precedente](#) [1] (analisi “first wave”).



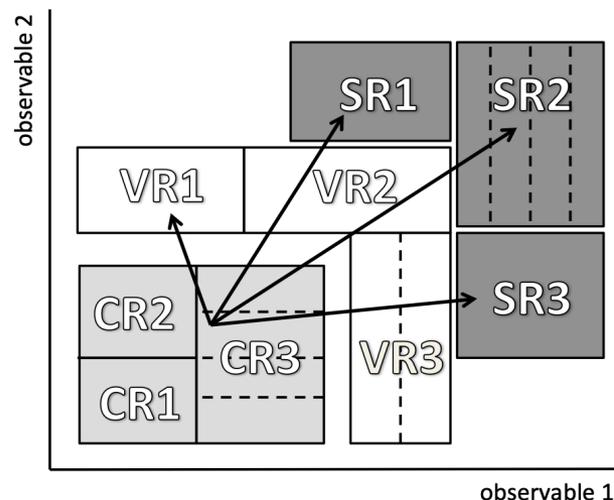
Plot di esclusione per la produzione elettrodebole di candidati supersimmetrici con una luminosità integrata di  $36 \text{ fb}^{-1}$  corrispondente a un’energia nel centro di massa di  $13 \text{ TeV}$  [1].

- Regioni in prossimità del limite cinematico ( $\Delta m(\chi_1^\pm, \chi_1^0) \approx m_W$  e  $\Delta m(\tilde{l}, \chi_1^0) < 100 \text{ GeV}$ ) rimaste inesplorate. **Principale scopo dell’analisi “second wave” con  $139 \text{ fb}^{-1}$ .**
- Tecniche di ottimizzazione migliorate per aumentare la significanza del segnale, differenti per ciascuno dei due scenari.

[1] ATLAS Collaboration, Eur. Phys. J. C 80 (2020) 123.

# Strategia di analisi

- Definizione di regioni di controllo (CR), di validazione (VR) e di segnale (SR).
- Normalizzazione dei fondi MC con i dati nelle regioni di controllo ed estrapolazione di scale factor nelle regioni di validazione e di segnale.



*Rappresentazione schematica della strategia di analisi<sup>[2]</sup>.*

- Fit nelle regioni di segnale.
  1. Eccesso di eventi osservati nelle regioni di segnale → Stima della significanza di tale eccesso, nuova scoperta?
  2. Ottimo accordo tra dati e simulazioni MC del MS → Limiti di esclusione sul segnale supersimmetrico al 95% CL.

[2] M. Baak et al., arXiv:1410.1280.

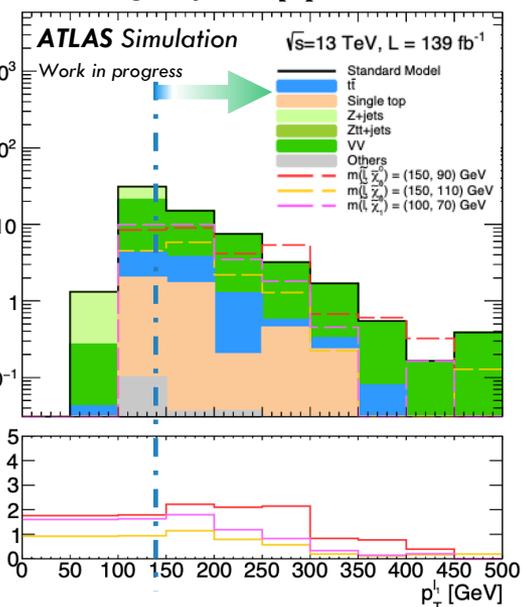
# Strategia di ottimizzazione dell'analisi: il caso della produzione degli sleptoni

- Approccio “cut and count” per sleptoni con  $\Delta m(\tilde{\ell}, \chi_1^0) < 100$  GeV.
- Ricerca di eccesso di eventi con coppie di leptoni dello stesso sapore (SF) rispetto a eventi con leptoni di diverso sapore (DF) di carica opposta.

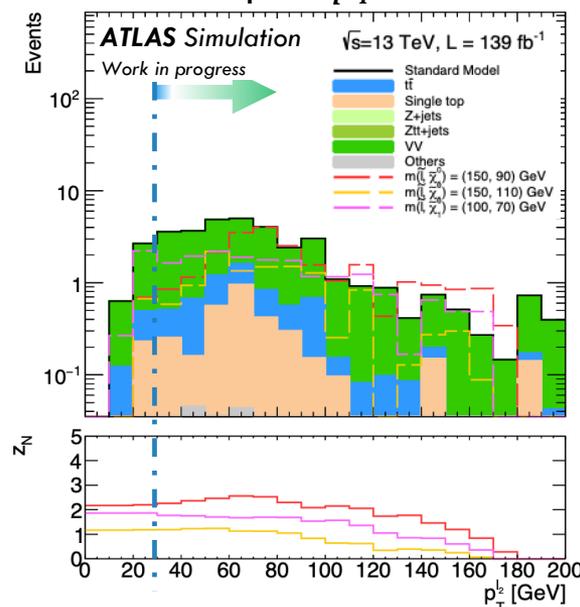
Variable	Cut
$n_{jet-20}$	= 0
$n_{bjet-20}$	= 0
$N_{OS}$ SF leptons	= 2
$p_T^{\ell_1}$	> 140 GeV
$p_T^{\ell_2}$	> 30 GeV
$E_T^{miss}$ significance	> 7
$m_{\ell\ell}$	> 11 GeV
$ m_{\ell\ell} - m_Z $	> 15 GeV
$\mathbf{p}_{T,boost}^{\ell\ell}$	< 5 GeV
$\cos \theta_{\ell\ell}^*$	< 0.2
$\Delta\phi_{\ell,\ell}$	> 2.2
$\Delta\phi_{E_T^{miss},\ell\ell}$	> 2.8
$\Delta\phi_{E_T^{miss},\ell_2}$	< 0.8

## Plot N-1

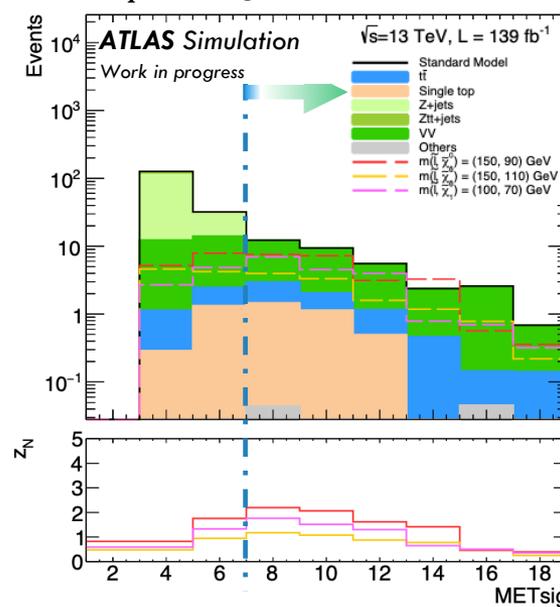
Leading lepton  $p_T$



Second lepton  $p_T$



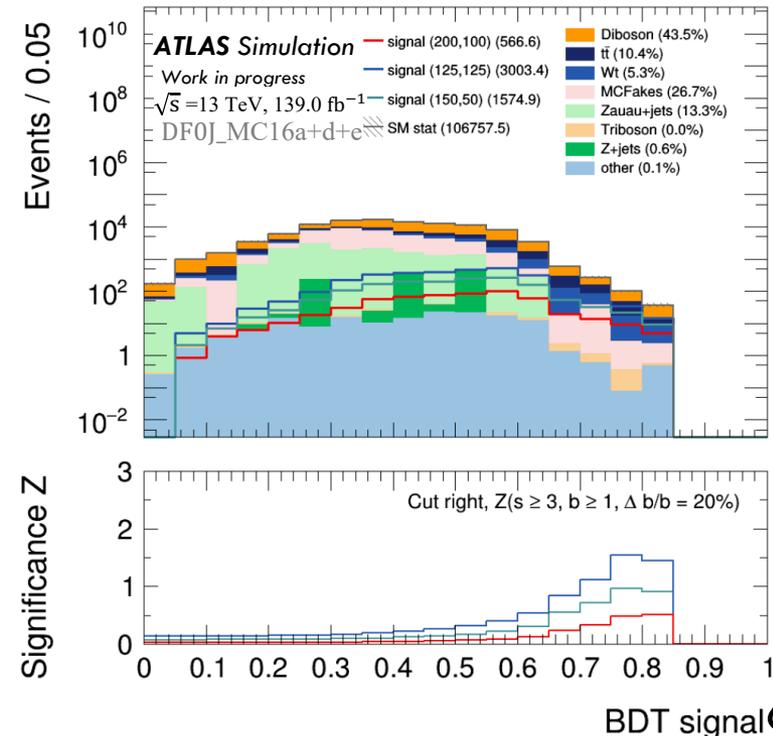
$E_T^{miss}$  significance



# Strategia di ottimizzazione dell'analisi: il caso della produzione dei chargini

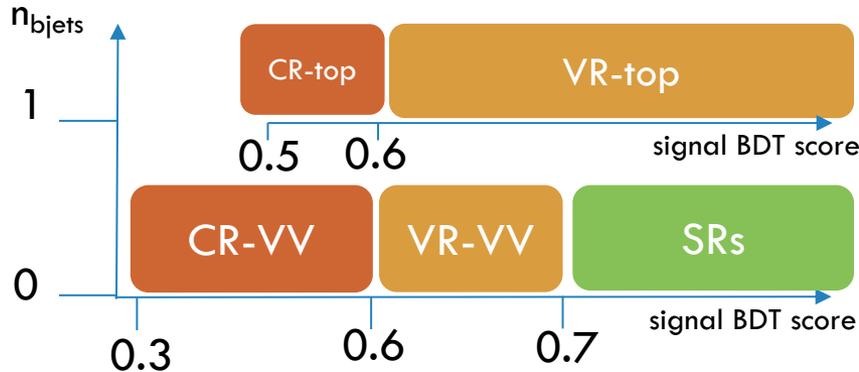
- Approccio basato su “machine learning” per chargini con  $\Delta m(\chi_1^\pm, \chi_1^0) \lesssim m_W$ .
- Analisi multivariata basata su gradient boosting BDT (LightGBM framework)
- Set di variabili di input usate per il training:  $p_T^{\ell_1}, p_T^{\ell_2}, E_T^{miss}, m_{T2}, m_{\ell\ell}, \Delta\phi_{boost}, \Delta\phi_{E_T^{miss-\ell_1}}, \Delta\phi_{E_T^{miss-\ell_2}}, \cos\theta_{\ell\ell}^*$  (+  $p_T^{jet_1}$  per i canali a 1 jet).
- Separazione segnale/fondo basata sul BDT score in 4 regioni di segnale distinte in sapore dei leptoni (*SF* o *DF*) e molteplicità di jet (0 o 1 jet).
- Shape fit in ciascuna regione per il binnaggio ottimale in BDT score.

Signal Region (SR)	SR-DF-0J	SR-DF-1J	SR-SF-0J	SR-SF-1J
$n_{non-b-tagged-jets}$	=0	=1	=0	=1
$m_{\ell_1\ell_2}$ [GeV]			<81.2 or >101.2	
$E_T^{miss}$ – significance		>8		
$n_{b-tagged-jets}$		=0		
Binned SRs				
BDT score	$\in[0.70, 0.72)$	$\in[0.45, 0.50)$	$\in[0.71, 0.73)$	$\in[0.40, 0.45)$
	$\in[0.72, 0.74)$	$\in[0.50, 0.55)$	$\in[0.73, 0.75)$	$\in[0.45, 0.50)$
	$\in[0.74, 0.76)$	$\in[0.55, 0.60)$	$\in[0.75, 0.77)$	$\in[0.50, 0.55)$
	$\in[0.76, 0.78)$	$\in[0.60, 0.70)$	$\in[0.77, 0.79)$	$\in[0.55, 1)$
	$\in[0.78, 0.80)$	$\in[0.70, 1)$	$\in[0.79, 0.81)$	
	$\in[0.80, 0.82)$		$\in[0.81, 1)$	
	$\in[0.82, 0.84)$			
	$\in[0.84, 1)$			



# Regioni di controllo e validazione

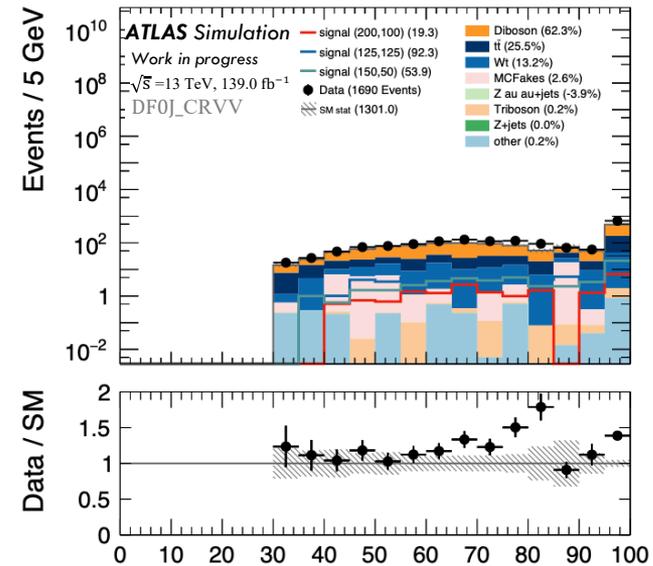
- Regioni di controllo e di validazione ortogonali e vicine tra di loro.



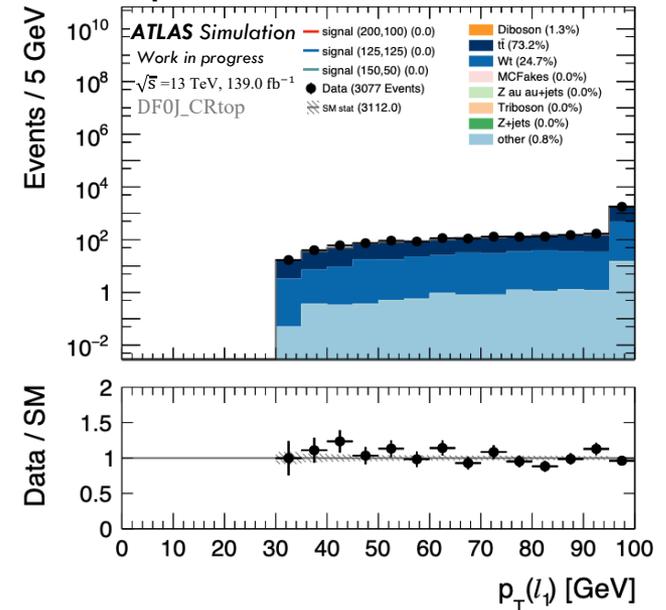
- Ulteriore analisi multivariata per migliorare la purezza dei fondi MC nelle regioni di controllo e di validazione.

Region	CR VV	VR VV	CR top	VR top
$n_{b-jets}$	0	0	=1	=1
signal BDT score	0.3-0.6	0.6-0.7	0.5-0.6	>0.6
VV BDT score	>0.3	>0.25	-	-
top BDT score	-	-	no cut needed	no cut needed
VV / top yield	810	613	3046	1636
VV / top purity	62.3%	70.4%	98.9%	97.5%

## CR VV DFOJ



## CR top DFOJ



# Conclusioni

- L'analisi “*second wave*” è in pieno progresso (ottimizzazione delle regioni di segnale, implementazione delle sistematiche nel fitter, ...).
- I risultati completeranno quelli dell'analisi *first wave* e, nel caso in cui ottimo accordo dati/MC sarà osservato, permetteranno di escludere particelle supersimmetriche con una massa nella regione a ridosso del limite cinematico.