

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI
Dipartimento Interateneo di Fisica “M. Merlin”
Scuola di dottorato di ricerca in Fisica XXIX Ciclo

Report sul II anno di dottorato

Claudio Caputo

Il collisionatore pp LHC ha consentito agli esperimenti ATLAS e CMS di raccogliere una grande quantità di dati. L'analisi di questi dati ha mostrato l'esistenza di una nuova particella, compatibile con l'ipotesi del bosone di Higgs predetto dal Modello Standard (MS), con un livello di significatività pari a 5.9σ . Sono stati osservati eccessi nei canali di decadimento $h \rightarrow \gamma\gamma$, $h \rightarrow ZZ$, $h \rightarrow WW$, $h \rightarrow b\bar{b}$ e $h \rightarrow \tau\tau$. Dal Gennaio del 2013 sino a metà 2015 LHC sarà spento per permettere sia la manutenzione dello stesso, sia di poter effettuare gli interventi necessari per raggiungere un'energia nel centro di massa pari a $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$.

La scoperta del bosone di Higgs e la recente misura delle sue proprietà (massa, spin, larghezza, accoppiamenti con bosoni e fermioni) hanno aperto nuovi scenari di ricerca nella fisica delle alte energie. Un bosone di Higgs leggero permette di poter considerare una parte dello spazio delle fasi relativo all'estensione quasi-Minimale del Modello Standard (NMSSM, *Next to Minimal Supersymmetric Standard Model*).

Nel corso di questo secondo anno di dottorato ho continuato le attività iniziate durante il mio primo anno. In particolare ho portato a termine la ricerca di un Higgs supersimmetrico che decade in una coppia risonante di Higgs del MS, elaborando la completa statistica raccolta dall'esperimento CMS con energia nel centro di massa $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$, corrispondente a 19.7 fb^{-1} . La recente presa dati effettuata a $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$, con *bunch crossing* di 25 ns , terminata a fine ottobre 2015, ha raccolto una luminosità integrata inferiore rispetto a quella del periodo a $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$. Questa quantità di dati è necessaria per effettuare studi preliminari di performance, in modo da essere pronti, con la ripresa delle collisioni nel secondo quadrimestre del 2016, a estendere l'analisi anche al nuovo regime energetico.

Ottimizzare l'analisi per le future fasi di operazione di LHC riveste un ruolo importante nella mia futura attività di ricerca. Ampliare l'analisi ad un intervallo di massa più elevato, rispetto a quello analizzato per i dati a 8 TeV , sarà parte della mia futura attività.

1 Ricerca di un bosone di Higgs pesante che decade in due bosoni di Higgs con massa $125 \text{ GeV}/c^2$ nello stato finale con due b -jet e due τ

La scoperta di una nuova particella compatibile con il bosone di Higgs predetto dal MS è una ulteriore conferma della validità del modello in esame. Quest'ultimo tuttavia, non offre la spiegazione ad alcuni fenomeni fondamentali, come la divergenza della massa dell'Higgs quando si considerano le correzioni agli ordini superiori al livello albero. Un modello teorico che fornisce una spiegazione soddisfacente è l'Estensione Minimale del Modello Standard (MSSM). Tale modello

prevede la presenza di due doppietti di campi di Higgs che portano ad avere cinque bosoni di Higgs, due carichi e tre neutri. I tre bosoni di Higgs neutri sono: uno scalare leggero h , uno scalare pesante H e uno pseudo-scalare A . Il settore dell'Higgs del MSSM prevede due parametri liberi: la massa dello pseudoscalare A e $\tan\beta$, il rapporto tra i valori di aspettazione nel vuoto dei due doppietti. Uno spazio delle fasi caratterizzato da bassi valori di $\tan\beta$ apre la soglia cinematica del decadimento $H \rightarrow hh$, con h caratterizzato da proprietà simili a quelle del bosone di Higgs di massa $125 \text{ GeV}/c^2$.

Abbiamo scelto di testare l'esistenza di H nell'intervallo di massa compreso tra $250 \text{ GeV}/c^2$ e $350 \text{ GeV}/c^2$, riuscendo ad essere al di sopra della soglia cinematica di produzione dei due Higgs leggeri e al di sotto della soglia di produzione associata $t\bar{t}$, la quale rappresenterebbe un fondo irriducibile molto elevato.

Il mio lavoro di ricerca si è concentrato sullo studio di questo processo nello stato finale in cui un Higgs leggero decade in una coppia di jet prodotti da frammentazione di b -quark (b-jet) e l'altro decade in due leptoni tau. Ho considerato i tre stati finali più sensibili del decadimento del leptone tau: $\mu\tau_h, e\tau_h, \tau_h\tau_h$.

1.1 Canali semi-leptonici

L'analisi è stata effettuata sui dati raccolti dall'esperimento CMS nel 2012 a $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ corrispondenti a una luminosità integrata di 19.7 fb^{-1} .

Il contributo del processo di fondo più importante, la produzione associata di quark top $t\bar{t}$, è stato stimato con le simulazioni Monte Carlo, così come la produzione associata di due bosoni vettori (WW, WZ, ZZ), che costituisce comunque un fondo minore. Gli eventi di QCD e produzione di bosone W in associazione con uno o più jet (W +jets) non sono descritti in maniera adeguata dalle simulazioni, quindi è stata effettuata una stima dai dati tramite la selezione opportuna di regioni di controllo. Gli eventi $Z \rightarrow \tau\tau$ sono stati stimati con la tecnica dell'*Embedding* che consiste nel selezionare eventi $Z \rightarrow \mu\mu$ nei dati e sostituire poi i muoni con i tau, i cui decadimenti sono simulati con il Monte Carlo.

In ciascuno di questi canali gli eventi sono stati selezionati richiedendo una completa identificazione dei leptoni di carica elettrica opposta. Inoltre, per rimuovere gli eventi $t\bar{t}$ e W +jets, è stato richiesto che la massa trasversa del sistema composto dal leptone e dall'energia mancante fosse maggiore di $30 \text{ GeV}/c^2$.

Per ogni evento è stata richiesta la presenza di almeno due jet, di cui almeno uno proveniente da frammentazione di quark b . Lo spazio delle fasi è stato suddiviso in tre possibili categorie di eventi: quelli con nessun b-jet, quelli con un b-jet e quelli con almeno due b-jet. Studi condotti a livello di generatore sugli eventi simulati hanno confermato che questa categorizzazione degli eventi permette di ottenere una elevata efficienza di selezione del segnale e di reiezione del fondo.

In figura 1 sono mostrate le distribuzioni della massa invariante della coppia di bosoni Higgs, ricostruita con un particolare algoritmo (*KinFit*) in cui si è posto come *constraint* $m_{bb}=125 \text{ GeV}/c^2$. Si può notare come l'accordo tra le previsioni dei fondi e i dati raccolti risulta ottimo.

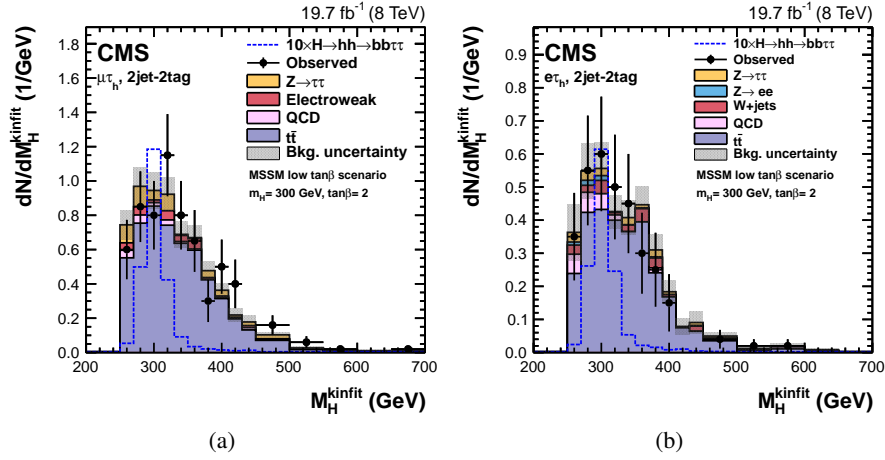
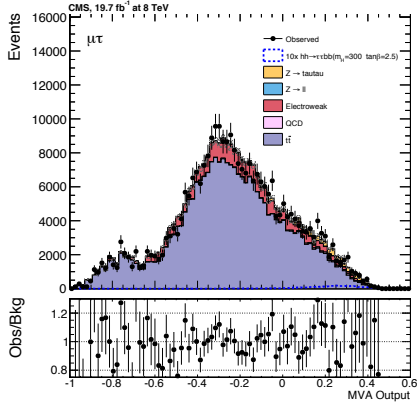


Figura 1: Distribuzioni del fit cinematico della coppia di Higgs nella categoria $2jets\ 2btag$ per (a) il canale $\mu\tau_h$ (b) il canale $e\tau_h$, dopo aver effettuato le selezioni.

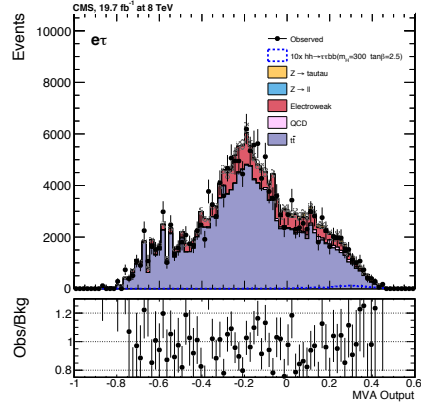
Successivamente è stata eseguito uno studio statistico per poter fissare un limite di esclusione al 95% CL sulla sezione d'urto di produzione dell'Higgs supersimmetrico. Per l'estrazione di questo limite sono stati effettuati diversi studi, atti a massimizzare la sensibilità dell'analisi:

- fit della massa dei quattro corpi calcolata con il fit cinematico dopo aver applicato un ulteriore *constraint* sulla massa della coppia di b-jet e sulla massa della coppia di tau: $70 < m_{bb} < 150\text{ GeV}/c^2$, $90 < m_{\tau\tau} < 150\text{ GeV}/c^2$.
- fit dell'output di un albero decisionale (BDT fig. 2) e di una rete neurale (MLP fig. 3), allenate dopo aver rimosso il taglio sulla massa trasversa, con eventi simulati di $t\bar{t}$ e W +jets come fondo ed eventi simulati $gg \rightarrow H \rightarrow hh \rightarrow bb\tau\tau$ con $M_H = [260, 270, \dots, 350]\text{ GeV}/c^2$ come segnale. Le variabili date in input alla rete neurale utilizzate sono:
 - gli impulsi trasversi dei quattro prodotti di decadimento visibili,
 - le due masse trasverse del sistema leptone+ E_T^{miss} ,
 - la distanza tra i due b-jet e quella tra i due leptoni nel piano (η, ϕ),
 - l'energia mancante E_T^{miss} ,
 - l'impulso trasverso del bosone di higgs leggero che decade in due tau.

Dal confronto di dei vari limiti di esclusione (fig. 4) è stato possibile selezionare il metodo più performante da utilizzare per l'estrazione del limite nei canali semi leptonici. La scelta dell'utilizzo della distribuzione del fit cinematico per il calcolo del limite ha portato ai risultati mostrati in figura 5.

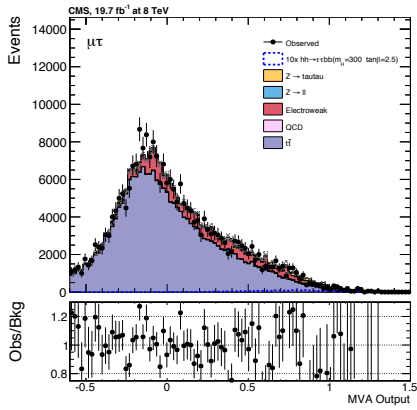


(a)

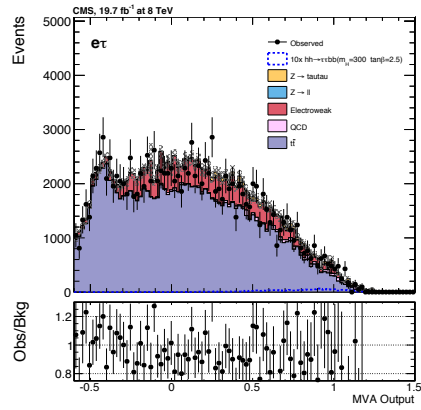


(b)

Figura 2: Distribuzione del discriminatore multivariato BDT nella categoria $2jets\ 2btag$ per (a) il canale $\mu\tau_h$ (b) il canale $e\tau_h$.



(a)



(b)

Figura 3: Distribuzione del discriminatore multivariato MLP nella categoria $2jets\ 2btag$ per (a) il canale $\mu\tau_h$ (b) il canale $e\tau_h$.

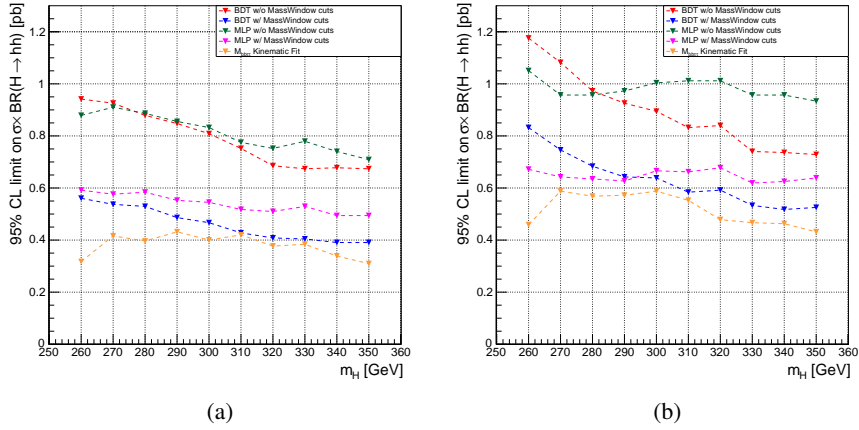


Figura 4: Limiti attesi al 95% CL sul prodotto della sezione d'urto di produzione del bosone di Higgs H moltiplicata per il BR di decadimento in una coppia di leptoni τ . Sono mostrate tutte le opzioni di estrazione del segnale descritte nel testo.

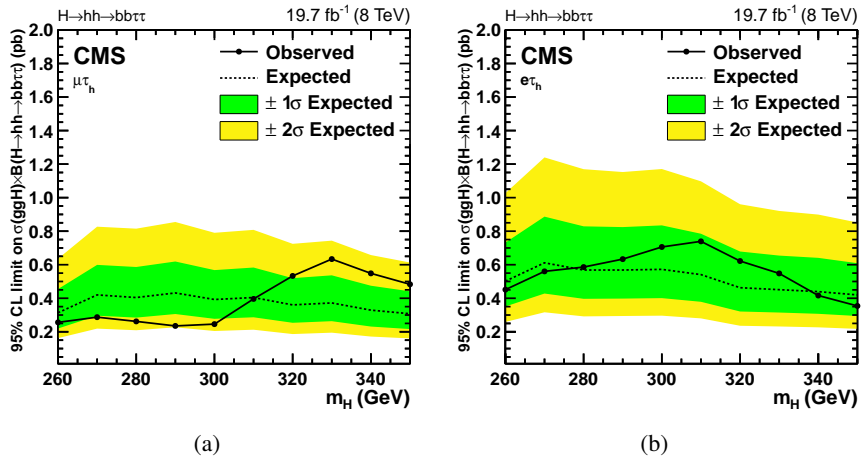


Figura 5: Limiti attesi ed osservati al 95% CL sul prodotto della sezione d'urto di produzione del bosone di Higgs H moltiplicata per il BR di decadimento in una coppia di leptoni τ . Sono mostrate il limite atteso ed osservato per (a) il canale $\mu\tau_h$ (b) il canale $e\tau_h$.

1.2 Canale adronico

Il canale adronico necessita di un trattamento differente rispetto ai canali semi-leptonici, data la bassa statistica raccolta, incontrato con l'alta probabilità di decadimento dei τ in padroni. La categorizzazione degli eventi in categorie di b-tag rimane identica, cù che cambia è il metodo con cui alcuni fondi vengono stimati. Infatti è stato necessario riconsiderare le tecniche di stima dei fondi, che inizialmente sono state importate dall'analisi $h \rightarrow \tau\tau$. L'idea di base è stata quella di considerare le distribuzioni dei vari fondi sia nelle usuali categorie di b-tag, sia in categorie in cui la richiesta sul discriminatore di b-tag è stata abbassata. Dopo aver verificato che questo passaggio non modificava in modo sostanziale le distribuzioni, queste sono state rinormalizzate in modo da avere come integrale lo stesso presente nella categoria di b-tag iniziale.

Questo ha permesso di ottenere delle distribuzioni più continue e lisce, come è possibile vedere in figura 6, essenziali per potere sfruttare al meglio gli strumenti di estrazione dei limiti, basati su una analisi che tiene conto della distribuzione della variabile presa in considerazione.

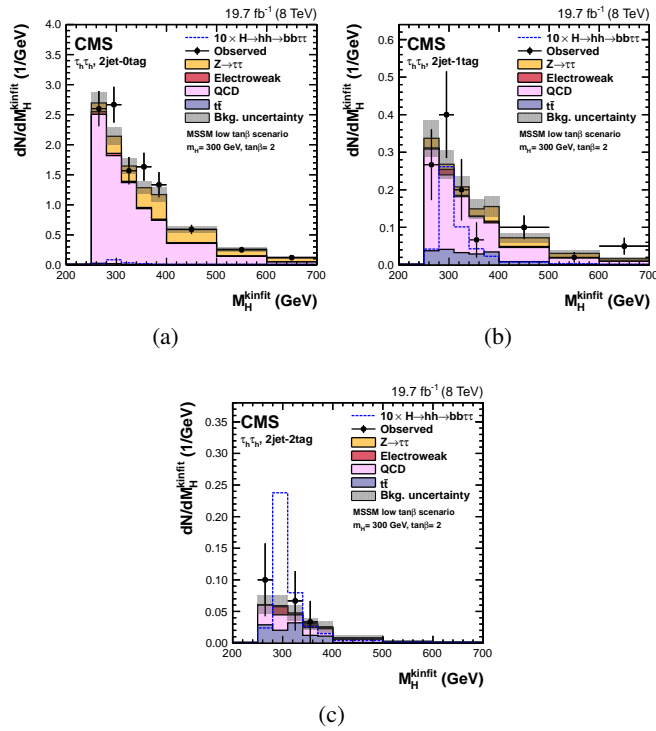


Figura 6: Distribuzioni del fit cinematico della coppia di Higgs per le categorie (a) *2jets 0tag*, (b) *2jets 1tag* e (c) *2jets 2tags*, dopo aver applicato la nuova tecnica di stima del fondo per la QCD.

Dalla figura 6 è possibile apprezzare l'ottimo accordo tra i dati e i montecarlo. L'ottimo accordo si riflette nel limite di esclusione atteso ed osservato presente in figura 7.

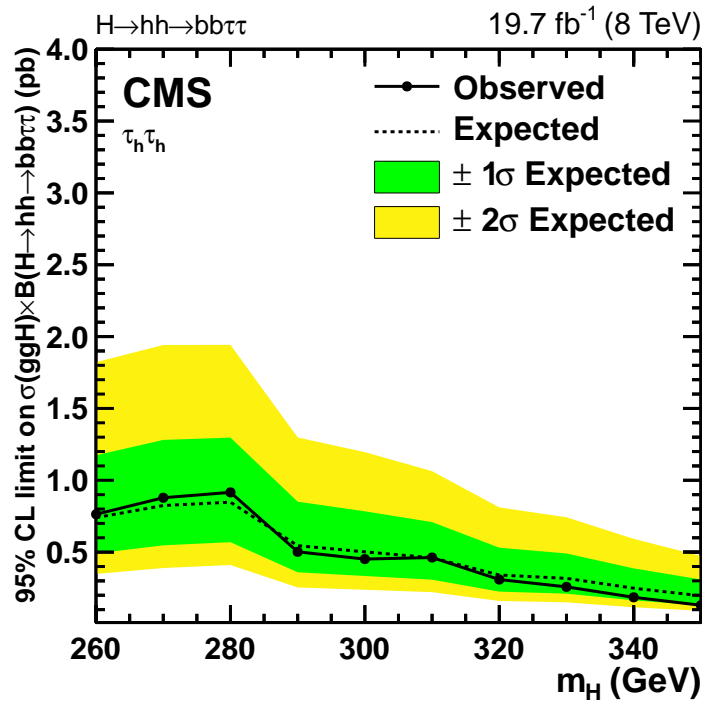


Figura 7: Limite atteso ed osservato al 95% CL sul prodotto della sezione d'urto di produzione del bosone di Higgs H moltiplicata per il BR di decadimento in una coppia di leptoni τ_h .

1.3 Analisi a 13 TeV e piani futuri

La luminosità integrata raccolta durante il 2015 permette di effettuare misure di performance ed efficienza dei vari algoritmi e selezioni precedentemente utilizzati nell'analisi a 8 TeV.

Ho già intrapreso il lavoro di adattamento delle procedure di analisi alle nuove richieste introdotte dal cambiamento di regime energetico, confrontandone i risultati con altri gruppi internazionali.

Scopo del mio terzo anno di dottorato sarà di effettuare l'analisi $H \rightarrow hh \rightarrow bb\tau\tau$ utilizzando i dati raccolti durante le collisioni a 13 TeV, implementando gli algoritmi più sofisticati di ricostruzione e identificazione sviluppati per rigettare l'alto livello di Pile-up atteso.

Inoltre ampliarò ed estenderò lo spettro dell'analisi aumentando l'intervallo di massa della particella H .

Scuole

- *INFN School of Statistics*, 25-29 Maggio, 2015, INFN, Ischia (Italy);

CMS Analysis Notes

- The Higgs To Tau Tau Group, CMS AN -2014-234, *Search for a heavy Higgs decaying to two 125 GeV Higgs in the 2 taus + 2 b final state using data at $\sqrt{s} = 8$ TeV.*

Pubblicazioni

1. **“Physics Studies for the CMS muon system upgrade with triple-GEM detectors”**
C. Caputo [CMS GEM Collaboration].
10.1088/1748-0221/9/12/C12035
JINST **9**, no. 12, C12035 (2014).
2. **“Evidence for transverse momentum and pseudorapidity dependent event plane fluctuations in PbPb and pPb collisions”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1503.01692 [nucl-ex]
10.1103/PhysRevC.92.034911
Phys. Rev. C **92**, no. 3, 034911 (2015)
3. **“Combined Measurement of the Higgs Boson Mass in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS and CMS Experiments”**
G. Aad *et al.* [ATLAS and CMS Collaborations].
arXiv:1503.07589 [hep-ex]
10.1103/PhysRevLett.114.191803
Phys. Rev. Lett. **114**, 191803 (2015)
4. **“Searches for third-generation squark production in fully hadronic final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1503.08037 [hep-ex]
10.1007/JHEP06(2015)116
JHEP **1506**, 116 (2015)
5. **“Search for Third-Generation Scalar Leptoquarks in the $t\tau$ Channel in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1503.09049 [hep-ex]
10.1007/JHEP07(2015)042
JHEP **1507**, 042 (2015)
6. **“Search for a Higgs Boson in the Mass Range from 145 to 1000 GeV Decaying to a Pair of W or Z Bosons”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1504.00936 [hep-ex]
10.1007/JHEP10(2015)144
JHEP **1510**, 144 (2015)

7. **“Search for a pseudoscalar boson decaying into a Z boson and the 125 GeV Higgs boson in $\ell^+\ell^-\bar{b}b$ final states”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1504.04710 [hep-ex]
10.1016/j.physletb.2015.07.010
Phys. Lett. B **748**, 221 (2015)
8. **“Comparison of the Z/gamma* + jets to gamma + jets cross sections in pp collisions at sqrt(s) = 8 TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1505.06520 [hep-ex]
10.1007/JHEP10(2015)128
JHEP **1510**, 128 (2015)
9. **“Search for neutral color-octet weak-triplet scalar particles in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1505.08118 [hep-ex]
10.1007/JHEP09(2015)201
JHEP **1509**, 201 (2015)
10. **“A search for pair production of new light bosons decaying into muons”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1506.00424 [hep-ex]
10.1016/j.physletb.2015.10.067
Phys. Lett. B **752**, 146 (2016)
11. **“Search for the standard model Higgs boson produced through vector boson fusion and decaying to $b\bar{b}$ ”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1506.01010 [hep-ex]
10.1103/PhysRevD.92.032008
Phys. Rev. D **92**, no. 3, 032008 (2015)
12. **“Search for A Massive Resonance Decaying into a Higgs Boson and a W or Z Boson in Hadronic Final States in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1506.01443 [hep-ex]
13. **“Search for diphoton resonances in the mass range from 150 to 850 GeV in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1506.02301 [hep-ex]
10.1016/j.physletb.2015.09.062
Phys. Lett. B **750**, 494 (2015)
14. **“Search for Resonant $t\bar{t}$ Production in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1506.03062 [hep-ex]

15. **“Search for Neutral MSSM Higgs Bosons Decaying into A Pair of Bottom Quarks”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1506.08329 [hep-ex]
10.1007/JHEP11(2015)071
JHEP **1511**, 071 (2015)
16. **“Search for exotic decays of a Higgs boson into undetectable particles and photons”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.00359 [hep-ex]
17. **“Search for supersymmetry with photons in pp collisions at $\sqrt{s}=8\text{ TeV}$ ”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.02898 [hep-ex]
10.1103/PhysRevD.92.072006
Phys. Rev. D **92**, no. 7, 072006 (2015)
18. **“Search for a Higgs boson decaying into $\gamma^*\gamma \rightarrow \ell\ell\gamma$ with low dilepton mass in pp collisions at $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$ ”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.03031 [hep-ex]
19. **“Inclusive and differential measurements of the $t\bar{t}$ charge asymmetry in pp collisions at $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$ ”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.03119 [hep-ex]
20. **“Measurement of the W^+W^- cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$ and limits on anomalous gauge couplings”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.03268 [hep-ex]
21. **“Upgrade of the CMS muon system with Triple-GEM detectors”**
C. Caputo [CMS GEM Collaboration].
10.1393/ncc/i2015-15043-0
Nuovo Cim. C **038**, no. 01, 43 (2015).
22. **“Pseudorapidity distribution of charged hadrons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13\text{ TeV}$ ”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.05915 [hep-ex]
10.1016/j.physletb.2015.10.004
Phys. Lett. B **751**, 143 (2015)
23. **“Limits on the Higgs boson lifetime and width from its decay to four charged leptons”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.06656 [hep-ex]
10.1103/PhysRevD.92.072010
Phys. Rev. D **92**, no. 7, 072010 (2015)

24. **“Search for pair-produced vector-like B quarks in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.07129 [hep-ex]
25. **“Measurement of the underlying event activity using charged-particle jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.07229 [hep-ex]
10.1007/JHEP09(2015)137
JHEP **1509**, 137 (2015)
26. **“Measurement of the CP-violating weak phase ϕ_s and the decay width difference $\Delta\Gamma_s$ using the $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi(1020)$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.07527 [hep-ex]
27. **“Angular analysis of the decay $B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-$ from pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1507.08126 [hep-ex]
28. **“Search for Supersymmetry with a Photon, a Lepton, and Missing Transverse Momentum in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1508.01218 [hep-ex]
29. **“Search for Neutral MSSM Higgs Bosons Decaying to $\mu^+\mu^-$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1508.01437 [hep-ex]
30. **“Measurement of the Charge Asymmetry in Top Quark Pair Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using a Template Method”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1508.03862 [hep-ex]
31. **“Search for W’ decaying to tau lepton and neutrino in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1508.04308 [hep-ex]
32. **“Study of B Meson Production in pPb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1508.06678 [nucl-ex]
33. **“Search for supersymmetry in the vector-boson fusion topology in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1508.07628 [hep-ex]

34. **“Search for a charged Higgs boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1508.07774 [hep-ex]
10.1007/JHEP11(2015)018
JHEP **1511**, 018 (2015)
35. **“Measurement of Differential Cross Sections for Higgs Boson Production in the Diphoton Decay Channel in pp Collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1508.07819 [hep-ex]
36. **“Search for Pair Production of First and Second Generation Leptoquarks in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.03744 [hep-ex]
37. **“Search for Single Production of Scalar Leptoquarks in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.03750 [hep-ex]
38. **“Measurement of the Inelastic Cross Section in Proton-Lead Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.03893 [hep-ex]
39. **“Measurement of the top quark mass using proton-proton data at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.04044 [hep-ex]
40. **“Search for Vector-Like Charge 2/3 T Quarks in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.04177 [hep-ex]
41. **“Search for $W' \rightarrow tb$ in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.06051 [hep-ex]
42. **“Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in the All-Jets Final State in pp Collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.06076 [hep-ex]
43. **“Search for the Production of an Excited Bottom Quark Decaying to tW in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.08141 [hep-ex]

44. **“Search for the Associated Production of a Higgs Boson with a Single Top Quark in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.08159 [hep-ex]
45. **“Measurement of transverse momentum relative to dijet systems in Pb-Pb and pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1509.09029 [nucl-ex]
46. **“Observation of top quark pairs produced in association with a vector boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1510.01131 [hep-ex]
47. **“Searches for a heavy scalar boson H decaying to a pair of 125 GeV Higgs bosons hh or for a heavy pseudoscalar boson A decaying to Zh , in the final states with $h \rightarrow \tau\tau$ ”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1510.01181 [hep-ex]
48. **“Measurement of long-range near-side two-particle angular correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1510.03068 [nucl-ex]
49. **“Measurement of $t\bar{t}$ production with additional jet activity, including b quark jets, in the dilepton decay channel using pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1510.03072 [hep-ex]
50. **“Transverse momentum spectra of b jets in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1510.03373 [nucl-ex]
51. **“Search for a light charged Higgs boson decaying to $c\bar{s}$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1510.04252 [hep-ex]
52. **“Measurement of the top quark pair production cross section in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1510.05302 [hep-ex]
53. **“Search for a very light NMSSM Higgs boson produced in decays of the 125 GeV scalar boson and decaying into τ leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1510.06534 [hep-ex]

54. **“Reconstruction and identification of τ lepton decays to hadrons and ν_τ at CMS”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1510.07488 [physics.ins-det]
55. **“Search for excited leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1511.01407 [hep-ex]
56. **“Measurement of top quark polarisation in t-channel single top quark production”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1511.02138 [hep-ex]
57. **“Search for a low-mass pseudoscalar Higgs boson produced in association with a b-bbar pair in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1511.03610 [hep-ex]
58. **“Search for anomalous single top quark production in association with a photon in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1511.03951 [hep-ex]
59. **“Measurement of spin correlations in t-tbar production using the matrix element method in the muon+jets final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1511.06170 [hep-ex]
60. **“Search for dark matter and unparticles produced in association with a Z boson in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”**
V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration].
arXiv:1511.09375 [hep-ex]