

# Programma Per Giovani Ricercatori

*"Rita Levi Montalcini"*

## PROPOSTA DI CONTRATTO

Codice: PGR1058NU7

### DATI GENERALI STUDIOSO

<b>Nome</b>	<i>FRANCESCO</i>
<b>Cognome</b>	<i>SANTANASTASIO</i>
<b>Nato/a a</b>	<i>ROMA</i>
<b>il</b>	<i>09/02/1980</i>
<b>Nazionalità</b>	<i>Italy</i>
<b>Qualifica</b> Dottore di ricerca o titolo equivalente o superiore	<i>Dottore di ricerca in Fisica</i>
<b>Stato di provenienza attuale</b>	<i>Switzerland</i>
<b>Ente</b>	<i>CERN</i>
<b>Dottore di ricerca dal</b> (tra il 29 marzo 2006 e il 31 ottobre 2008)	<i>14/01/2008</i>
<b>Titolo conseguito presso</b>	<i>Universita' degli Studi di Roma "La Sapienza"</i>
<b>Data inizio attività all'estero</b> (non oltre il 29 marzo 2009)	<i>15/01/2008</i>

### ATTIVITÀ DI DIDATTICA E/O DI RICERCA SVOLTE ALL'ESTERO NELL'ULTIMO TRIENNIO

n°	Dal	Al	Presso (indicare l'Ente)	In qualità di (specificare la tipologia di contratto)
1.	15/01/2008	31/08/2011	University of Maryland	Ricercatore Associato Post-Dottorato (Post-Doc)
2.	01/09/2011	31/08/2013	CERN (Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire)	Research Fellow

☒ Dichiaro inoltre di non aver ricoperto alcuna posizione presso enti/istituzioni, universitarie e non, nel territorio dello Stato italiano.

## RECAPITO DELLO STUDIO

<b>Indirizzo:</b>	<i>CERN</i>	<b>CAP:</b>	<i>CH-1211</i>
<b>Città:</b>	<i>Geneve</i>	<b>Paese:</b>	<i>Switzerland</i>
<b>Email:</b>	<i>francesco.santanastasio@cern.ch</i>	<b>Telefono:</b>	<i>0041 76 22 86 127</i>

## CURRICULUM SCIENTIFICO

### Italiano

*Francesco Santanastasio è nato a Roma il 09/02/1980.*

*Si laurea nel Maggio 2004 con il massimo dei voti (110/110 "magna cum laude") con una tesi dal titolo "Calibrazione di un calorimetro elettromagnetico tramite il flusso totale di energia", relatori Prof. Egidio Longo and Dott. Riccardo Paramatti. Nel Novembre 2004 inizia il corso di dottorato di ricerca in Fisica presso L'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", superando l'esame finale nel Gennaio 2008 con una tesi dal titolo "Search for Supersymmetry with Gauge-Mediated Breaking using high energy photons at CMS experiment", relatori Prof. Egidio Longo, Prof. Shahram Rahatlou, and Dott. Daniele del Re.*

*Posizioni accademiche:*

*A partire da 09/2011: Research Fellow presso il Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire*

(CERN)

01/2008 - 08/2011: *Ricercatore Associato Post-Dottorato (Post-Doc) presso University of Maryland.*

*Nel corso della sua carriera scientifica ha pubblicato più di 130 articoli, circa 20 note interne negli esperimenti a cui ha partecipato e vari resoconti a conferenze e workshop internazionali.*

*Ha un'ottima conoscenza dell'inglese parlato e scritto.*

*Nella sua carriera scientifica, Francesco Santanastasio si è interessato principalmente allo studio della calorimetria elettromagnetica ed adronica, alla ricostruzione dell'energia trasversa mancante, ed a ricerche di fisica oltre il Modello Standard in collisioni protone-protone (pp) ad LHC.*

*Tra il 2004 ed il 2007 è stato coinvolto negli studi delle prestazioni del calorimetro elettromagnetico (ECAL) dell'esperimento CMS. Ha partecipato allo sviluppo di tecniche di calibrazione, ed a studi di stabilità del sistema di alta tensione di ECAL.*

*Tra il 2008 ed il 2010, è stato coinvolto negli studi delle prestazioni del calorimetro adronico (HCAL) dell'esperimento CMS. Ha partecipato alle fasi di avviamento ("commissioning") di HCAL durante il primo periodo di presa dati di raggi cosmici, ed allo sviluppo ed implementazione di algoritmi per l'identificazione di segnali anomali nei fotomoltiplicatori del calorimetro adronico "in avanti" (HF), indotti dal fascio di protoni, osservati durante le prime collisioni ad LHC. Ha inoltre studiato le prestazioni della ricostruzione dell'energia trasversa mancante nell'evento in collisioni pp.*

*Dall'inizio del suo dottorato di ricerca, Francesco Santanastasio ha partecipato attivamente a varie analisi per la ricerca di fisica oltre il Modello Standard nell'esperimento CMS ad LHC. Nel 2010, ha ricoperto un ruolo di primo piano in due diverse ricerche di produzione di coppie di leptoquarks negli stati finali contenenti due elettroni e due jet, o un elettrone, un neutrino e due jet, i cui risultati sono stati entrambi pubblicati in affermate riviste scientifiche. Queste analisi sono state tra le prime ad LHC ad estendere la ricerca di nuova fisica in una regione di energia inesplorata rispetto ai precedenti esperimenti presso collisori di particelle. Ha inoltre supervisionato un dottorando di ricerca in Fisica di Princeton University per aggiornare questa analisi con i dati raccolti nel 2011. Dal Settembre 2011, è coinvolto in una ricerca di nuove risonanze che decadono in una coppia di jet (dijet) utilizzando lo spettro di massa invariante dei due jet. In particolare, è stato il principale sviluppatore di una nuova strategia di trigger ed acquisizione dati che ha permesso di migliorare la sensibilità dell'analisi alla nuova fisica nella regione di massa dei due jet inferiore ad 1 TeV.*

*Ha rivestito diversi ruoli di responsabilità all'interno della collaborazione CMS:*

*A partire da 03/2012: Coordinatore del gruppo "CMS Dataset Definition Team"*

*09/2008 - 09/2010: Coordinatore del gruppo "CMS HCAL Prompt Feedback Group"*

*Inoltre è stato membro della commissione "Analysis Review Committee", interna alla collaborazione, per l'esame approfondito di due risultati pubblici dell'esperimento CMS: misura della sezione d'urto di produzione di coppie di quark top-antitop nel canale interamente adronico e ricerca di gravitoni Randall-Sundrum che decadono in stati finali contenenti un jet ed energia trasversa mancante.*

*Nell'Aprile 2010 è stato invitato a presentare i prospetti per le ricerche di nuova fisica con i primi dati di CMS presso la conferenza internazionale "Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects".*

*Nel Marzo 2011 è stato invitato a presentare i primi risultati delle ricerche di nuova fisica oltre il Modello Standard con il campione di dati completo raccolto dall'esperimento CMS nel 2010 presso la conferenza internazionale "Rencontres de Moriond on EW Interactions and Unified Theories".*

**Inglese**

*Francesco Santanastasio was born in Rome on 09/02/1980.*

*He graduated in May 2004 with full marks (110/110 "magna cum laude") with a thesis entitled "Calibration of an electromagnetic calorimeter using the energy flow method", advisors Prof. Egidio Longo and Dott. Riccardo Paramatti. In November of 2004 he began the PhD in Physics at the University of Rome "La Sapienza", passing the final examination in January 2008 with a thesis entitled "Search for Supersymmetry with Gauge-Mediated Breaking using high energy photons at CMS experiment", advisors Prof. Egidio Longo, Prof. Shahram Rahatlou, and Dott. Daniele del Re.*

*Academic positions:*

*From 09/2011: Research fellow at the Conseil European pour la Recherche Nucleaire (CERN)  
01/2008 - 08/2011: Post-Doctoral Research Assistant (Post-Doc) at University of Maryland*

*During his scientific career he published over 130 papers, about 20 internal notes of the experiments in which he participated, and he was invited to give reports in various international conferences and workshops.*

*He has a very good knowledge of spoken and written English.*

*In his scientific career, Francesco Santanastasio was interested in electromagnetic and hadronic calorimetry, reconstruction of missing transverse energy, and searches for new physics beyond the Standard Model in proton-proton (pp) collisions at the LHC.*

*Between 2004 and 2007, he was involved in studies of the performance of the electromagnetic calorimeter (ECAL) of the CMS experiment. He has participated to the development of calibration techniques, and to the analysis and test of stability of ECAL high voltage system.*

*Between 2008 and 2010, he was involved in studies of the performance of the hadronic calorimeter (HCAL) of the CMS experiment. He has participated to the HCAL commissioning during the early period of cosmic-ray data taking, and to the development and implementation of algorithms for the identification of anomalous, beam-induced signals in the photomultiplier tubes of the hadronic forward calorimeter (HF) observed in the first collisions at LHC. He has also studied the performance of the missing transverse energy reconstructed in the event with early pp collisions.*

*Since the beginning of his post-doctoral studies, Francesco Santanastasio was actively involved in various searches for new physics beyond the Standard Model in the CMS experiment at LHC. In 2010, he took a leading role in two different searches for pair production of leptoquarks in the final states with two electrons and two jets, or one electron, one neutrino, and two jets, which were both published in high impact scientific journals. These analyses were among the first ones at LHC to extend the search for new physics in an unexplored energy region compared to previous experiments at colliders. He has been supervising a PhD student from Princeton University to update this search with the 2011 data. Since September 2011 he is primarily involved in a search for new resonances that decay to a pair of jets (dijets) using the dijet mass spectrum. In particular, he has been the main developer of a novel trigger and data acquisition strategy that allowed to recover sensitivity to new physics at dijet masses below 1 TeV.*

*He held the following coordination roles within the CMS collaboration:*

*Since 03/2012 : Coordinator of the group "CMS Dataset Definition Team"*

*09/2008 - 09/2010 : Coordinator of the group "CMS HCAL Prompt Feedback Group"*

*He was also member of the "Analysis Review Committee" for the scrutiny of two public CMS results within the collaboration: top cross section measurements in all hadronic decay channel and search for Randall-Sundrum gravitons decaying into a jet plus missing transverse energy final state.*

*In April 2010 he was invited to present the prospects for searches of new physics with early data at CMS at the international conference "Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects".*

*In March 2011 he was invited to present the first results of searches for new physics beyond the Standard Model using the full data sample collected by the CMS experiment in 2010 at the international conference "Rencontres de Moriond on EW Interactions and Unified Theories".*

## PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE

### Pubblicazioni Selezionate

1. SANTANASTASIO F, CMS Collaboration. "Search for First Generation Scalar Leptoquarks in the  $evjj$  channel in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV". *Phys. Lett. B* 703, 246 (2011), *arXiv:1105.5237 [hep-ex]*
2. SANTANASTASIO F, CMS Collaboration. "Search for Pair Production of First-Generation Scalar Leptoquarks in  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV". *Phys. Rev. Lett.* 106, 201802 (2011), *arXiv:1012.4031 [hep-ex]*
3. SANTANASTASIO F, CMS Collaboration. "Search for Pair Production of Second-Generation Scalar Leptoquarks in  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV". *Phys. Rev. Lett.* 106, 201803 (2011), *arXiv:1012.4033 [hep-ex]*
4. SANTANASTASIO F, CMS Collaboration. "Search for Resonances in the Dijet Mass Spectrum from 7 TeV  $pp$  Collisions at CMS". *Phys. Lett. B* 704, 123 (2011), *arXiv:1107.4771 [hep-ex]*
5. SANTANASTASIO F, CMS HCAL Collaboration. "Study of various photomultiplier tubes with muon beams and Cherenkov light produced in electron showers". *JINST* 5, P06002 (2010)
6. SANTANASTASIO F, CMS Collaboration. "Identification and Filtering of Uncharacteristic Noise in the CMS Hadron Calorimeter". *JINST* 5, T03014 (2010)
7. SANTANASTASIO F, CMS Collaboration. "Performance of CMS Hadron Calorimeter Timing and Synchronization using Test Beam, Cosmic Ray, and LHC Beam Data". *JINST* 5, T03013 (2010).
8. SANTANASTASIO F, CMS Collaboration. "Performance of the CMS Hadron Calorimeter with Cosmic Ray Muons and LHC Beam Data". *JINST* 5, T03012 (2010)
9. SANTANASTASIO F, USCMS Collaboration and ECAL/HCAL Collaboration. "The CMS Barrel Calorimeter Response To Particle Beams From 2-Gev/C To 350-Gev/C". *Eur. Phys. J. C* 60, 359 (2009), [Erratum-*ibid.* C 61, 353 (2009)]
10. SANTANASTASIO F, CMS Electromagnetic Calorimeter Group. "Intercalibration of the barrel electromagnetic calorimeter of the CMS experiment at start-up". *JINST* 3, P10007 (2008)
11. SANTANASTASIO F, CMS Collaboration. "The CMS experiment at the CERN LHC". *JINST* 3, S08004 (2008)



12. SANTANASTASIO F, BARTOLONI A, et al. "High voltage system for the CMS electromagnetic calorimeter". *Nucl. Instrum. Meth. A* 582, 462 (2007)

### *Proceedings delle Conferenze*

13. SANTANASTASIO F. "Exotica searches at the CMS experiment". *Proceedings of the XLVth Rencontres de Moriond 2011 Electroweak Interactions and Unified Theories*, 125-132 (2011), edited by Etienne Auge, Jacques Dumarchez, and Jean Tran Thanh Van, Copyright The Gioi Publishers. Prepared for XLVth Rencontres de Moriond 2011 Electroweak Interactions and Unified Theories, La Thuile, Aosta Valley, Italy, 13-20 March 2011

14. SANTANASTASIO F. "Searches With Early Data At CMS". *PoS DIS2010*, 206 (2010). Prepared for 18th International Workshop on Deep Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS 2010), Florence, Italy, 19-23 Apr 2010

15. SANTANASTASIO F. "Prospects for Exotica Searches at ATLAS and CMS Experiments". *Il Nuovo Cimento Vol.32 C, N.3-4 ncc9484* (2009). Prepared for Incontri di Fisica delle Alte Energie (IFAE 2009), Bari, Italy, Apr 2009

## PROGRAMMA DI RICERCA

<b>Area Scientifico Disciplinare</b>	02 - Scienze fisiche	
<b>Settori scientifico-disciplinari</b>	FIS/04	
<b>Titolo del Programma di Ricerca (in italiano)</b>	Studio del meccanismo di rottura spontanea di simmetria elettrodebole e ricerca di nuova fisica oltre il Modello Standard in stati finali contenenti una coppia di bosoni vettori presso l'esperimento CMS ad LHC	
<b>Titolo del Programma di Ricerca (in inglese)</b>	Study of the electroweak symmetry breaking mechanism and search for new physics beyond the Standard Model in final states containing a pair of vector bosons with the CMS detector at LHC	

## PAROLE CHIAVE

### Italiano

1. *Fisica delle particelle*
2. *Rottura della simmetria elettrodebole*
3. *Teorie oltre il Modello Standard*
4. *Fisica dei collider*
5. *Calorimetria*

### Inglese

1. *Particle physics*
2. *Electroweak symmetry breaking*
3. *Theories beyond the Standard Model*
4. *Collider physics*
5. *Calorimetry*

## DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI RICERCA

### Italiano

*Circa un secolo di risultati sperimentali e progresso teorico hanno portato alla formulazione di una teoria estremamente elegante e compatta delle interazioni fondamentali tra le particelle elementari, il Modello Standard (Standard Model, SM). Il suo successo nel riprodurre una enorme quantità di dati sperimentali, che coprono vari ordini di grandezza in energia, è impressionante. Le forze elettromagnetica, debole e forte sono tutte descritte dal formalismo matematico delle teorie di gauge. Sebbene la forza elettromagnetica e debole siano entrambe associate all'invarianza di gauge  $SU(2) \times U(1)$ , l'unica simmetria dello spettro di massa delle particelle osservate è quella associata alla carica elettrica. Il resto della simmetria elettrodebole è nascosto, ovvero spontaneamente rotto dal vuoto. Nonostante l'abbondanza di informazione sperimentale, non sappiamo molto circa la dinamica responsabile di questa rottura di simmetria. Una formulazione minimale di tale dinamica è data nel quadro dello SM e prende il nome di "meccanismo di Higgs". Esso spiega, ad esempio, il perchè le particelle elementari possiedono una massa. Il meccanismo di Higgs postula l'esistenza di una nuova particella elementare scalare, il bosone di Higgs, la cui massa non è predetta dallo SM, ma che dovrebbe poter essere osservata sperimentalmente nei collisori di particelle.*

*Il Large Hadron Collider (LHC) è il più grande collisore protone-protone (pp) al mondo, situato al CERN di Ginevra, ed è stato costruito con l'obiettivo di svelare l'origine della rottura spontanea della simmetria elettrodebole (electroweak symmetry breaking, EWSB). Studiando le collisioni pp raccolte nel 2011 ad una energia nel centro di massa di 7 TeV, ATLAS e CMS, i più grandi esperimenti ad LHC, hanno escluso l'esistenza del bosone di Higgs previsto dallo SM in un'ampia regione di massa (127-600 GeV), mentre i limiti sperimentali forniti dagli esperimenti operanti al collisore elettrone-positrone LEP hanno imposto un limite inferiore ( $>114$  GeV). La finestra di massa 114-127 GeV risulta pertanto la più*

hanno imposte un limite inferiore ( $\sim 117$  GeV). La finestra di massa  $117-127$  GeV risulta pertanto la più probabile per l'identificazione del bosone di Higgs. In questo intervallo di massa, sia ATLAS che CMS osservano un eccesso dei dati rispetto al fondo atteso, che, nel quadro dello SM, risulta compatibile con un bosone di Higgs di massa pari a circa 125 GeV. Tuttavia non è ancora possibile trarre conclusioni definitive a causa della limitata significanza statistica dell'eccesso.

Nel 2012, l'LHC farà collidere protoni ad una energia nel centro di massa pari ad 8 TeV, fornendo un numero di collisioni tre volte maggiore rispetto al 2011. La maggiore energia e quantità di dati permetteranno di confermare il "segnale a 125 GeV", o di escludere definitivamente l'esistenza del bosone di Higgs predetto dallo SM, entro la fine dell'anno. Alla fine del 2012, l'LHC terminerà il primo periodo di operazioni ed entrerà in una lunga fase di miglioramenti tecnici, al fine di raggiungere un'energia nel centro di massa pari a circa 14 TeV per l'inizio del 2015.

Un approccio complementare al fine di svelare l'origine dell'EWSB è legato allo studio del sistema WW. Il bosone W acquista la propria massa ed il grado di polarizzazione longitudinale attraverso la rottura di simmetria. La diffusione di due bosoni W polarizzati longitudinalmente ("WW scattering") porta con sé informazioni dirette riguardo all'EWSB, sia che il bosone di Higgs esista sia che qualche altro meccanismo sia responsabile per la rottura di simmetria. In assenza del bosone di Higgs, questo processo dello SM violerebbe l'unitarietà dell'ampiezza di scattering ad un'energia nel centro di massa pari a circa 1 TeV; in questo scenario, segnali di nuova fisica dovrebbero apparire a questa scala di energia per ristabilire l'unitarietà. Se il "segnale a 125 GeV" venisse confermato con grande significanza statistica dall'analisi dei dati del 2012, lo studio della dipendenza in energia del processo WW scattering ad una scala di massa superiore a quella dell'Higgs potrà rivelarci se il bosone di Higgs previsto dallo SM regolarizza il WW scattering completamente o solo parzialmente, come previsto da alcuni modelli che postulano l'esistenza di un Higgs "composito". Quindi, lo studio del WW scattering ad elevati valori dell'energia nel centro di massa rappresenta una tappa fondamentale nel programma di ricerca degli esperimenti dell'LHC.

L'interesse legato allo stato finale WW non è limitato al WW scattering: molti modelli di fisica oltre lo SM, come technicolor, Sequential Standard Model ed altri, prevedono infatti l'esistenza di nuove risonanze che decadono in coppie di bosoni vettori. Lo stato finale WW è anche uno dei possibili decadimenti del gravitone predetto dai modelli Randall-Sundrum (RS).

Il modello RS di "extra dimensioni" è uno dei modelli più popolari ed affascinanti di nuova fisica oltre lo SM. Questo modello risolve il cosiddetto "problema gerarchico" dello SM, ovvero la grande separazione tra la scala di energia elettrodebole e la scala di Planck alla quale gli effetti della gravità a livello quantistico diventano ragguardevoli, introducendo un formalismo teorico che include una dimensione spaziale extra "distorta" (warped) in cui il campo gravitazionale può propagarsi. La caratteristica più peculiare che emerge in questo scenario consiste nell'esistenza di particelle di spin-2, i gravitoni, le cui masse ed accoppiamenti alle particelle dello SM sono determinati dalla scala di energia del TeV.

I gravitoni dovrebbero apparire negli esperimenti come risonanze con masse ben distinte tra loro. I decadimenti del gravitone in coppie di elettroni, muoni o fotoni rappresentano i canali ottimali per la ricerca di dimensioni extra. Tuttavia, estensioni ben motivate del modello RS originale interpretano la struttura del "sapore" (flavor) nello SM tramite la localizzazione dei fermioni nella dimensione extra distorta. In questo scenario, la produzione e il decadimento dei gravitoni attraverso i canali che coinvolgono fermioni leggeri sono fortemente soppressi ed i decadimenti in fotoni sono trascurabili; al contrario la produzione di gravitoni attraverso la fusione di due gluoni ed il successivo decadimento in coppie di bosoni di gauge pesanti (W e/o Z) è ragguardevole.

Ad oggi, nessuna indicazione di nuova fisica oltre lo SM è stata riportata dagli esperimenti operanti ad LHC. L'incremento dell'energia nel centro di massa dell'LHC da 7 TeV ad 8 TeV ed un campione di dati tre volte superiore al 2011 permetteranno di estendere nel 2012 la portata di scoperta per molti modelli



tre volte superiore di 2011, permetteranno di estendere nel 2012 la portata di scoperta per molti modelli di nuova fisica, inclusi quelli che prevedono nuove risonanze che decadono in coppie di bosoni vettori.

Il programma di ricerca è incentrato sullo studio dello stato finale WW ad LHC ed è motivato dagli argomenti discussi in precedenza che riassumono brevemente lo stato attuale delle conoscenze in ambito sperimentale e teorico. Questa proposta si inserisce bene nel programma di fisica dell'esperimento CMS ad LHC, nel quale ho lavorato dall'inizio del mio dottorato di ricerca nel 2004. Il progetto è strutturato in varie fasi, in base alle attività dell'LHC previste per i prossimi anni.

### 1) Ricerca di Nuove Risonanze che Decadono in Coppie di Bosoni Vettori

Nel primo periodo di contratto, lavorerò alla ricerca di nuova fisica oltre lo SM attraverso lo studio del decadimento di risonanze pesanti ( $X$ ) in coppie di bosoni vettori ( $VV = WW, WZ, o ZZ$ ). L'analisi si concentrerà sui canali semi-leptonici ( $lvjj$  ed  $lljj$ ) ed adronici ( $jjjj$ ) utilizzando i dati che saranno raccolti da CMS nel 2012 ad una energia nel centro di massa di 8 TeV. A questi stati finali corrispondono le maggiori frazioni di decadimento ("branching fraction"), il che permette quindi di estendere la sensibilità alla nuova fisica a valori più alti della massa della risonanza (ovvero valori più piccoli della sezione d'urto di produzione) rispetto ai canali interamente leptonici. Inoltre, durante gli anni passati in CMS, ho sviluppato una solida competenza nello studio di questi stati finali, sia in termini di metodi di analisi che nella ricostruzione degli oggetti di fisica impiegati in tali ricerche [1-3]. Tutti i canali potrebbero poi essere combinati per aumentare la sensibilità alla nuova fisica nell'intervallo di massa accessibile sperimentalmente, e per verificare la consistenza tra i dati e le diverse rappresentazioni del modello RS.

Per risonanze  $X \rightarrow VV$  di massa superiore al TeV, il momento dei bosoni vettori ( $V$ ) eccede di gran lunga la loro massa a riposo, ed i prodotti di decadimento del  $W/Z$  vengono emessi con una piccola separazione angolare nel sistema di riferimento del laboratorio. L'identificazione di un bosone vettore energetico che decade in una coppia di quark molto collimati, generando quindi in un singolo jet massivo, rappresenta una sfida sperimentale sia per i canali semi-leptonici ( $lvjj$  ed  $lljj$ ) che per quello adronico ( $jjjj$ ). Raggiungere questo obiettivo è importante per ridurre i fondi dello SM che derivano dalla produzione di  $W/Z$ +jets, eventi di QCD multijet, e coppie di quark top-antitop. Negli anni passati, sono stati introdotti diversi algoritmi per risolvere la struttura interna di un jet massivo. Un sommario completo, risultato del produttivo dialogo tra teorici e sperimentali a partire dal 2009, è riportato in Ref.[4].

Mi concentrerò sullo studio delle performance di algoritmi che permettono di analizzare la struttura interna dei jet, al fine di identificare quelli più promettenti nel contesto di questa ricerca sperimentale. Sebbene siano degli strumenti efficaci per l'analisi, le quantità fisiche legate alla struttura dei jet sono particolarmente sensibili alla descrizione specifica del Monte Carlo (MC) nella simulazione. Variazioni nel modello di "parton shower", nell'attività dell'"underlying event" e nella simulazione del rivelatore possono avere effetti non trascurabili nella descrizione della massa dei jet o nel numero di sotto-strutture all'interno del jet. Sarà importante confrontare queste distribuzioni tra diversi generatori e i dati di collisioni, per verificarne l'accordo e, se necessario, modificare i parametri del MC per migliorare la descrizione della simulazione.

### 2) Studio del "WW scattering" in collisioni pp ad un'energia nel centro di massa di 14 TeV

Il secondo periodo del contratto sarà dedicato allo studio dello scattering di due bosoni vettori polarizzati longitudinalmente ("WW scattering") che rappresenta una misura molto importante per comprendere l'origine della rottura spontanea della simmetria elettrodebole. Il WW scattering è un processo raro dello SM e dunque una grande quantità di dati sarà necessaria per realizzare questa analisi.

Il lavoro svolto al punto 1) sarà preadattivo allo studio del processo WW scattering nei suddetti stati

Il lavoro svolto al punto 1) sarà propedeutico allo studio del processo  $WW$  scattering nei suoi stati finali semi-leptonici ed adronici. Il piano di ricerca include un'accurato studio di ottimizzazione con eventi simulati da svolgere durante il lungo periodo di arresto dell'LHC, in preparazione alla fase ad alta luminosità ed energia nel centro di massa pari a 14 TeV prevista per il 2015. Nonostante esistano già studi sulla fattibilità della misura del  $WW$  scattering realizzati in passato all'interno della collaborazione CMS, ancora mancano delle analisi aggiornate con condizioni realistiche sia del rivelatore che dell'LHC. In particolare, è importante investigare nuovi metodi per estrarre il segnale della diffusione di bosoni vettori polarizzati longitudinalmente e distinguerlo dal fondo irriducibile rappresentato dalle polarizzazioni trasverse. In tal senso, una possibile strategia è lo studio delle distribuzioni angolari dei fermioni provenienti dal decadimento dei  $W$ , come suggerito recentemente in Ref.[5].

Il  $WW$  scattering avviene tramite il processo di fusione di due bosoni vettori (Vector Boson Fusion, VBF) con la produzione associata di due jet energetici "in avanti" (forward). Jet "in avanti" provenienti da interazioni multiple che si verificano ad ogni collisione di pacchetti di protoni (interazioni di pileup) potrebbero sovrapporsi ad eventi di produzione inclusiva di coppie  $WW$  (non VBF), e quindi simulare la segnatura caratteristica del  $WW$  scattering. Con l'aumento della luminosità dell'LHC, sarà importante studiare l'impatto negativo delle interazioni di pileup sull'analisi, oltre ad investigare metodi per ridurre questo effetto.

### 3) Calibrazione e Monitoraggio del Calorimetro Elettromagnetico di CMS

Ad alta energia nel centro di massa, lo studio dei decadimenti  $VV$  in stati finali semi-leptonici con elettroni è particolarmente importante visto che la risoluzione per elettroni di alta energia è migliore rispetto a quella di muoni o tau.

Il calorimetro elettromagnetico (ECAL) di CMS è un calorimetro omogeneo composto da cristalli di tungstato di piombo, e può raggiungere un'eccellente risoluzione in energia per la ricostruzione di elettroni e fotoni. Per elettroni di alta energia, come quelli provenienti dal decadimento di bosoni  $W/Z$  energetici discussi ai punti 1) e 2), la risoluzione in energia è dominata dalla precisione con cui il rivelatore viene calibrato. Il mantenimento delle prestazioni di ECAL è pertanto uno dei prerequisiti per il successo di questo programma di ricerca.

Durante il mio dottorato di ricerca a Roma, ho studiato la stabilità del sistema di alta tensione (HV) di ECAL [6] ed ho lavorato in CMS al primo studio di fattibilità sull'uso dei decadimenti di pioni neutri in due fotoni per la calibrazione dei cristalli di ECAL [7]. Questa tecnica è stata impiegata con successo nel 2010-11 per calibrare l'intero ECAL ad intervalli di pochi mesi.

Nella prima parte del contratto, contribuirò alla calibrazione di ECAL con pioni neutri utilizzando i dati del 2012, ed in particolare al miglioramento delle tecniche di calibrazione nella parte "in avanti" del rivelatore (endcaps). Verso la fine della lunga fase di arresto dell'LHC (2013-14), parteciperò alle fasi di riavviamento di ECAL ed al suo monitoraggio, trascorrendo alcuni periodi al CERN per i turni di presa dati.

---

La mia prima scelta per l'istituto dove intendo svolgere questo programma di ricerca è il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", con particolare interesse a collaborare con il gruppo coinvolto nell'esperimento CMS.

Il gruppo CMS di Roma si occupa di ricerca del bosone di Higgs e di ricerche di nuova fisica oltre lo SM. Alcuni dei fisici sperimentali a Roma ricoprono ruoli di responsabilità all'interno di gruppi di fisica di CMS i cui temi di ricerca sono strettamente connessi agli argomenti presentati in questo progetto. Il gruppo CMS di Roma ha inoltre svolto da sempre un ruolo di primo piano in tutte le fasi del calorimetro elettromagnetico (progettazione, costruzione, operazione ed ottimizzazione delle prestazioni).

Lo svolgimento di questo programma di ricerca a Roma potrà trarre beneficio dall'interazione con una parte del gruppo tecnico del Dipartimento di Fisica della "Sapienza" che è interessato alla

parte del gruppo teorico del Dipartimento di Fisica della Sapienza che è interessato alla comprensione della rottura di simmetria elettrodebole, e, più in generale, a teorie oltre lo SM. In conclusione, il mio programma di ricerca si integrerà molto bene con gli interessi e la competenza del gruppo CMS di Roma, fornendomi dunque la possibilità di continuare a dare un contributo significativo all'esperimento CMS.

### Riferimenti

1. CMS Collaboration, *Phys. Rev. Lett.* 106, 201802 (2011), *arXiv:1012.4031 [hep-ex]*
2. CMS Collaboration, *Phys. Lett. B* 703, 246 (2011), *arXiv:1105.5237 [hep-ex]*
3. CMS Collaboration, CMS PAS EXO-11-061 (2011), <http://cdsweb.cern.ch/record/1426654>
4. A. Abdesselam et al., *Eur. Phys. J. C* 71:1661(2011), *arXiv:1012.5412 [hep-ph]*
5. T. Han, D. Krohn, L-T. Wang and W. Zhu, *JHEP* 1003 (2010) 082, *arXiv:0911.3656 [hep-ph]*
6. A. Bartoloni et al., *Nucl. Instrum. Meth. A* 582, 462 (2007), <http://cdsweb.cern.ch/record/1027033>
7. D. del Re, S. Rahatlou, F. Santanastasio, CMS IN-2006/050 (2006), (documento interno)

### Inglese

One century of experimental measurements and progress in theoretical physics led to an extremely compact and elegant theory of fundamental interactions between elementary particles, the Standard Model (SM). Its success in reproducing measurements from different experiments in energy regimes spanning over several orders of magnitude is astonishing. Strong, weak and electromagnetic interactions are all described within the same mathematical framework of gauge theories. Although the electromagnetic and weak interactions are related to the same  $SU(2) \times U(1)$  invariance, only the electromagnetic symmetry is manifest in the mass spectrum. The rest of the electroweak symmetry is hidden, that is, it is spontaneously broken.

The detailed mechanism through which the breaking happens is not clear, though. The simplest way this could be explained theoretically is through the so-called Higgs mechanism of the SM. This mechanism explain, for instance, why elementary particles have mass. The Higgs mechanism postulates the existence of a new scalar particle, the Higgs boson, whose mass is not theoretically predicted by the SM, but that should be experimentally observable at particle colliders.

The Large Hadron Collider (LHC) is the largest proton-proton (pp) collider ever built. It is located at CERN, Geneva, and its main objective is to finally unravel the origin of the electroweak symmetry breaking (EWSB). Using the pp collision data at the center-of-mass energy of 7 TeV collected in 2011, ATLAS and CMS, the largest experiments at the LHC, excluded the SM Higgs in the mass range 127-600 GeV, while masses below 114 GeV were already excluded by previous experiments at the electron-positron LEP collider. Thus, the mass range 114 GeV-127 GeV is currently the only one in which a Standard Model Higgs boson can hide. In this mass window, the ATLAS and CMS experiments observe an excess of the data above the expected background, that is compatible with the existence of a SM Higgs boson with mass around 125 GeV. However, no claim of discovery is possible at the moment given the small statistical significance of the excess.

In 2012, the LHC will collide protons at a center-of-mass energy of 8 TeV, delivering a number of collisions three times larger than in 2011. The higher energy and larger amount of data will allow to either confirm the "125 GeV signal" or rule out the existence of a SM Higgs by the end of the year. The LHC is scheduled to enter a long technical stop at the end of 2012 to prepare for running at its full design center-of-mass energy of around 14 TeV in early 2015.

A complementary approach to unveil the EWSB is the study of the WW system. The W boson acquires mass and the longitudinal polarization degree of freedom through the symmetry breaking. The



scattering of two longitudinally polarized  $W$  bosons ( $WW$  scattering) carries a direct information about the EWSB mechanism, no matter whether a physical elementary Higgs particle exists or some kind of strongly interacting physics is responsible for this breaking. In absence of the Higgs boson contribution, this SM process would violate the unitarity of the scattering amplitude at a center-of-mass energy of around 1 TeV: in this scenario, interesting physics must emerge at that energy scale to restore unitarity. If the "125 GeV signal" is confirmed with high statistical significance by the 2012 data analysis, the energy dependence of the longitudinal  $WW$  scattering above the Higgs mass scale will tell us if the SM Higgs boson regularizes the  $WW$  scattering fully or only partially, as predicted in some theoretical models with composite Higgs. Therefore, the study of the  $WW$  scattering at high center-of-mass-energy is a fundamental milestone in the physics program of the LHC experiments.

The interest of the  $WW$  final state is not limited to the  $WW$  scattering: new resonances decaying to a pair of vector bosons are also foreseen by many models of physics beyond the SM such as technicolor, Sequential Standard Model, and others. The  $WW$  final state is also one of the possible decays of the Randall-Sundrum (RS) graviton.

The RS model of the Extra Dimensions is one of the most appealing and popular models that predict new physics beyond the SM. This model solves the hierarchy problem, i.e. the big gap between the electroweak energy scale and the Planck scale at which quantum effects of gravity become strong, using a theoretical framework that includes a warped extra spatial dimension in which gravity can propagate. The most distinctive feature of this scenario is the existence of spin-2 gravitons whose masses and couplings to the SM are set by the TeV scale.

The gravitons would appear in experiments as widely separated resonances. Decays of the graviton to pairs of electrons, muons, or photons are the golden channels for searches of extra dimensions. However well-motivated extensions of the original RS model address the flavor structure of the SM through localization of fermions in the warped extra dimension. In this scenario, graviton production and decay with light fermion channels are highly suppressed and the decays into photons are negligible; while the production of gravitons from gluon fusion and their decay into a pair of massive gauge bosons ( $W$  and/or  $Z$ ) is sizeable.

No signs of physics beyond the SM have been observed so far by the LHC experiments. The increase in the LHC center-of-mass energy from 7 TeV to 8 TeV and a sample of data three times larger than in 2011, will significantly extend in 2012 the discovery reach for many new physics models including those predicting a new resonance decaying in a pair of vector bosons.

The research program presented in this document is centered on the study of the  $WW$  final state at LHC and is motivated by the arguments discussed above that briefly summarize the current knowledge in the experimental and theoretical fields. This proposal fits well with the physics program of the CMS experiment at LHC, in which I have been working since the beginning of my graduate studies in 2004. The project is structured in various phases, accordingly with the LHC schedule for the next few years.

### 1) Search for New Resonances Decaying to Pairs of Vector Bosons

In the first period of the contract, I will search for new physics beyond the Standard Model by studying the decay of heavy resonances ( $X$ ) in pairs of vector bosons ( $VV = WW, WZ$ , or  $ZZ$ ). The analysis will focus on the semi-leptonic ( $lvjj$  and  $lljj$ ) and fully hadronic ( $jjjj$ ) final states using the data that will be collected by CMS in 2012 at a center-of-mass energy of 8 TeV. These decay channels have the largest branching fraction, thus allowing to extend the sensitivity to new physics to higher values of resonance mass (i.e. lower cross section) compared to the fully leptonic channels. In addition, I already developed a solid expertise in the study of these final states during the past years in CMS, both in terms of analysis methods and reconstruction of physics objects [1-3]. Ultimately, all channels could be combined to increase the sensitivity to the new physics in the entire mass range and to test the consistency between

*the data and different descriptions of the  $K_S$  construction.*

*For  $X \rightarrow VV$  resonances with mass above 1 TeV, the momentum of vector bosons (V) greatly exceeds their rest mass, and the W/Z decay products are emitted with a small angular separation in the laboratory reference frame. The identification of an energetic vector boson (V) decaying into a pair of very collimated quarks, and thus resulting in a single massive jet, is an experimental challenge for both the semi-leptonic ( $lvjj$  and  $lljj$ ) and fully hadronic ( $jjjj$ ) channels. Achieving this goal is important to reduce the SM backgrounds arising from production of W/Z bosons in association with jets, QCD multijet events, and pairs of top-antitop quarks. In the past few years, several algorithms to resolve the substructure of a massive jet have been proposed. A recent comprehensive summary, result of the fruitful dialogue between theorists and experimentalists since 2009, can be found in Ref. [4].*

*I will focus on the study of the performance of the existing jet substructure algorithms, in order to identify the most promising ones in the contest of the proposed searches. Although powerful tools for physics analyses, the jet substructure observables are particularly sensitive to the specific Monte Carlo (MC) description in the simulation. Variations in the parton shower model, the underlying event activity, and the detector model can have a non-negligible impact in quantities such as the jet mass or the number of substructures in the jet. It will be important to compare the distributions of such observables between different generators and collision data in order to verify the agreement, and eventually tune the MC parameters to improve the description of the simulation for this kind of analyses.*

## *2) Study of WW scattering in pp collisions at center-of-mass energy of 14 TeV*

*The second period of the contract will be devoted to the study of the scattering of longitudinally polarized vector bosons which is a crucial measurement to understand the origin of the electroweak symmetry breaking mechanism. The WW scattering is a rare process in the SM and a large amount of data will be needed to perform this analysis.*

*The work performed at point 1) will be preparatory to study the WW scattering in the aforementioned semi-leptonic and fully hadronic final states. The plan includes an accurate optimization study with simulated events to be performed during the long shutdown of the accelerator, in preparation for the 14 TeV, high luminosity phase of the LHC in 2015.*

*Although previous studies of the WW scattering have been performed in the past within the CMS collaboration, up-to-date studies with realistic detector and LHC conditions are still missing. In particular, it is important to study new strategies for extracting the signal from the scattering of longitudinally polarized vector bosons from the irreducible background arising from the transverse polarizations. A possible strategy in this sense is the study of angular distributions of fermions from W decays, as recently suggested in Ref. [5].*

*The WW scattering process occurs via the Vector Boson Fusion (VBF) process with the associated production of two energetic forward jets. Forward jets coming from multiple interactions occurring at each crossing of protons bunches (pileup interactions) might overlap with events from inclusive (not VBF-specific) WW production, thus faking the WW scattering signature. With the increase of the LHC luminosity, it will be important to study the negative impact on the analysis of pileup interactions, as well as the techniques to mitigate such effect.*

## *3) Calibration, Commissioning, and Monitoring of the Electromagnetic Calorimeter of CMS*

*At high center-of-mass energy, the study of VV decays in semi-leptonic final states involving electrons is particularly important due to the better resolution at high energy of electrons compared to muons or taus.*

*The CMS electromagnetic calorimeter (ECAL) is a homogeneous crystal calorimeter, made up of lead tungstate crystals, aiming to reach an excellent energy resolution for the reconstruction of electrons and photons. For electrons of very high energy, such as those coming from the decays of energetic W/Z*



bosons discussed in points 1) and 2), the energy resolution is ultimately dominated by the detector calibration precision. Maintaining ECAL performance is a prerequisite for the success of this physics program.

During my graduate studies in Rome, I studied the stability of the ECAL high voltage (HV) system [6] and I worked at the original feasibility study in CMS of using the decays of neutral pions in two photons for the calibration of the ECAL crystals [7]. This technique has been used extensively in 2010-11 to calibrate at regular intervals of few months the entire ECAL.

In the first part of the contract, I will contribute to the ECAL calibration with neutral pions using the data collected in 2012, in particular improving the calibration of the forward part of the detector (endcaps). Towards the end of the long LHC shutdown (2013-14), I will also contribute to the restart of the commissioning and monitoring activities of the ECAL detector by spending periods of time at the CERN laboratory and performing data taking shifts.

---

My first choice for the institution where I intend to conduct this research project is the Physics Department of the Università degli Studi di Roma "La Sapienza", with a particular interest in joining the group involved in the CMS experiment.

The CMS Rome group is actively involved in searches for Higgs boson and searches for new physics beyond the SM. Some of the experimental physicists at Rome currently cover responsibility roles within physics groups of the CMS collaboration whose research topics are closely connected with the subjects of this project. The CMS Rome group had also a leading role in all phases of the electromagnetic calorimeter project, from its design, building, operation and performance optimization.

Performing this research project in Rome will also benefit from the interplay with a part of the theoretical group of the Physics Department at "La Sapienza", which has been recently focusing on understanding the mechanism responsible for the breaking of the electroweak symmetry, and more in general on theories beyond the SM.

In conclusion, my research plan will integrate very well with the current interests and expertise of the CMS Rome group, giving me the opportunity to continue providing significant contributions to the CMS experiment.

## References

1. CMS Collaboration, Phys. Rev. Lett. 106, 201802 (2011), arXiv:1012.4031 [hep-ex]
2. CMS Collaboration, Phys. Lett. B 703, 246 (2011), arXiv:1105.5237 [hep-ex]
3. CMS Collaboration, CMS PAS EXO-11-061 (2011), <http://cdsweb.cern.ch/record/1426654>
4. A. Abdesselam et al., Eur. Phys. J. C71:1661(2011), arXiv:1012.5412 [hep-ph]
5. T. Han, D. Krohn, L-T. Wang and W. Zhu, JHEP 1003 (2010) 082, arXiv:0911.3656 [hep-ph]
6. A. Bartoloni et al., Nucl. Instrum. Meth. A 582, 462 (2007), <http://cdsweb.cern.ch/record/1027033>
7. D. del Re, S. Rahatlou, F. Santanastasio, CMS IN-2006/050 (2006), (internal document)

## COSTO COMPLESSIVO DEL PROGRAMMA

Voce di spesa	Spesa (€)	Descrizione dettagliata (in italiano) (max 5 righe)	Descrizione dettagliata (in inglese)
---------------	-----------	--	--

			<b>inglese</b> <b>(max 5 righe)</b>
<b>Materiale inventariabile</b>	<i>5.000,00</i>	<i>Laptop, computer desktop, accessori</i>	<i>Laptop, desktop computer, accessories</i>
<b>Pubblicazioni</b>	<i>0,00</i>		
<b>Missioni</b>	<i>50.000,00</i>	<i>Partecipazione a meetings della collaborazione presso il CERN, turni di presa dati al CERN e presentazione di risultati a conferenze</i>	<i>Collaboration meetings at CERN, data taking shifts at CERN, conferences</i>
<b>Altro</b>	<i>0,00</i>		
	<i>55.000</i>		

## LETTERE DI PRESENTAZIONE

n°	Nome	Cognome	Qualifica	E-mail	Ente	Lettera
1.	<i>SARAH</i>	<i>ENO</i>	<i>Professore</i>	<i>eno@umd.edu</i>	<i>University of Maryland</i>	
2.	<i>GIGI</i>	<i>ROLANDI</i>	<i>Professore</i>	<i>Gigi.Rolandi@cern.ch</i>	<i>CERN</i>	

## UNIVERSITÀ

1.	<i>Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"</i>
2.	<i>Università degli Studi di MILANO-BICOCCA</i>
3.	<i>Università degli Studi di TORINO</i>

La domanda è stata presentata in data *28/03/2012* alle ore *20:02*

## Allegati

- [Allegato 1](#) *Curriculum vitae dettagliato (inglese)*
- [Allegato 2](#) *Autocertificazione impegno di ricerca all'estero*
- [Allegato 3](#) *Elenco di tutte le pubblicazioni*
- [Allegato 4](#) *Pubblicazione realizzata nell'ultimo triennio*