

Curriculum Vitae

Uccirati Sandro

Indirizzo

Dipartimento di Fisica
Università degli Studi di Torino
Via Giuria 1
10125 Torino
Italia
Telefono: +39 011-6707206
E-mail: uccirati@to.infn.it

Dati personali

Luogo di nascita: Aosta, Italia
Data di nascita: 26-02-1974
Nazionalità: italiana
Stato civile: celibe

Istruzione

Lug. 1993:

Maturità scientifica, Voto 58/60, Liceo scientifico di Pont-Saint-Martin (Ao)

Lug. 1999:

Laurea in fisica, Voto 110/110 cum laude, Università di Torino.
Titolo della tesi: Correzioni di QED al decadimento del bosone W.
Relatore: prof. G. Passarino (Università di Torino).

Gen. 2003:

Dottorato di ricerca in fisica all'università di Torino.
Titolo della tesi: Algebraic-Numerical methods for evaluating multi-leg and multi-loop Feynman diagrams.
Relatore: prof. G. Passarino (Università di Torino).

Feb. 2003 - Gen. 2004:

Assegno di ricerca all'Università di Torino.

Feb. 2004 - Sett. 2005:

Borsa di studio postdottorato al Max-Planck-Institut für Physik, München, Germania.

Ott. 2005 - Sett. 2007:

Assegno di ricerca all'INFN, sezione di Torino.

Ott. 2007 - Sett. 2010:

Borsa di studio postdottorato all'Institut für Theoretische Teilchenphysik, Università di Karlsruhe (KIT), Germania

Ott. 2010 - Sett. 2012:

Borsa di studio postdottorato presso Lehrstuhl für Theoretische Physik II, Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Universität Würzburg, Germania.

da Dic. 2011:

Ricercatore presso il Dipartimento di Fisica, Università di Torino, Italia

Lingue

Madrelingua: italiano.

Buona conoscenza dell'inglese, del francese e del tedesco.

Conoscenza software

Buona conoscenza di FORM e di FORTRAN

Partecipazione a Conferenze e scuole

Ott. 2001:

First Graduate School in Physics at Colliders, Torino, Italy;

Apr. 2002:

Physics At Colliders - Midterm meeting, Durham, UK;

Apr. 2003:

Incontri sulla Fisica delle Alte Energie XV - IFAE 2003, Lecce, Italy;

Giu. 2003:

Calculations for modern and future colliders, CALC 2003, Dubna, Russia;

Lug. 2003:

Second Graduate School in Physics at Colliders, Torino, Italy;

Sett. 2004:

Physics At Colliders - Final meeting, Montpellier, France;

Apr. 2006:

Incontri sulla Fisica delle Alte Energie XV - IFAE 2006, Pavia, Italy;

Lug. 2006:

International school-workshop Calculations for modern and future colliders, CALC 2006, Dubna, Russia;

Nov. 2006:

International linear collider (ILC-ECFA) workshop 2006, Valencia, Spain ;

Sett. 2007:

Workshop Advancing Collider Physics: from Twistors to Monte Carlos, Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics, Arcetri, Florence, Italy;

Giu. 2008:

International linear collider (ILC-ECFA) workshop 2008, Warsaw, Poland;

Nov. 2008:

2nd Annual Workshop of the Helmholtz Alliance 'Physics at the Terascale', Aachen, Germany;

Lug. 2009:

The 2009 Europhysics Conference on High Energy Physics (EPS HEP 2009), Krakow, Poland;

Ott. 2009:

RADCOR 2009 - 9th International Symposium on Radiative Corrections, Ascona, Switzerland;

Mar. 2010:

74. Jahrestagung der DPG und DPG Frühjahrstagung, Bonn, Germany;

Apr. 2010:

Inauguration Workshop of the LHC Higgs Cross Section Working Group, Freiburg, Germany;

Apr. 2010:

Loops&Legs 2010 - 10th Workshop on Elementary Particle Theory, Wörlitz, Germany;

Lug. 2010:

2nd LHC Higgs Cross Section Workshop, CERN, Geneva, Switzerland;

Sett. 2010:

The 3rd International Workshop on High Precision for Hard Processes at the LHC, Florence, Italy;

Nov. 2011:

Working Group on Electroweak precision measurements at the LHC CERN, Geneva, Switzerland.

Sett. 2013:

RADCOR 2013 - 11th International Symposium on Radiative Corrections (Applications of Quantum Field Theory to Phenomenology), Chester le Street, England

Esperienze di insegnamento

Gen.-Marzo 2006:

Tutoraggio di Elettromagnetismo e Ottica, Università di Torino.

Gen.-Marzo 2007:

Tutoraggio di Elettromagnetismo e Ottica, Università di Torino.

Ott. 2008-Feb. 2009:

Esercitazioni di Fisica delle particelle elementari, Università di Karlsruhe, Germania.

Ott. 2009-Feb. 2010:

Esercitazioni (Übungsleiter) di Elettrodinamica classica, Università di Karlsruhe, Germania.

Ott. 2010-Feb. 2011:

Esercitazioni di Meccanica analitica, Università di Würzburg, Germania.

Mag.-Aug. 2011:

Esercitazioni di Meccanica quantistica, Università di Würzburg, Germania.

Ott. 2011-Feb. 2012:

Esercitazioni di Meccanica analitica, Università di Würzburg, Germania.

Mag.-Aug. 2012:

Esercitazioni di Elettrodinamica classica, Università di Würzburg, Germania.

Gen.-Mar. 2013:

Esercitazioni di Elettromagnetismo e Ottica, Università di Torino.

Mar.-Giu. 2013:

Corso di Metodi di Caratterizzazione dei materiali, Università di Torino.

Ott.-Nov. 2013:

Corso di Teoria dei Gruppi, Università di Torino.

Gen.-Mar. 2014:

Esercitazioni di Elettromagnetismo e Ottica, Università di Torino.

Accompagnamento di dottorandi e laureandi

Durante il periodo al Max-Planck-Institut für Physik di München, ho seguito il lavoro dello studente di dottorato Ulrich Meier.

Durante il periodo all'Università di Karlsruhe ho seguito il lavoro dello studente di dottorato Falk Metzler e della studentessa Anastasiya Bierweiler per la tesi di laurea.

Publicazioni

- [1] **“Algebraic-numerical evaluation of Feynman diagrams: Two-loop self-energies”**
G. Passarino and S. Uccirati
Nucl. Phys. B **629**, 97 (2002) [arXiv:hep-ph/0112004]
- [2] **“The frontier of multi-loop Feynman diagrams: (Semi-) numerical techniques”**
A. Ferroglia, G. Passarino, M. Passera and S. Uccirati
Nucl. Phys. Proc. Suppl. **117** (2003) 206.
Prepared for 31st International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2002), Amsterdam, The Netherlands, 24-31 Jul 2002.
- [3] **“All-purpose numerical evaluation of one-loop multi-leg Feynman diagrams”**
A. Ferroglia, M. Passera, G. Passarino and S. Uccirati
Nucl. Phys. B **650**, 162 (2003) [arXiv:hep-ph/0209219]
- [4] **“A frontier in multi-scale multi-loop integrals: The algebraic-numerical method”**
A. Ferroglia, G. Passarino, S. Uccirati and M. Passera
Nucl. Instrum. Meth. A **502**, 391 (2003)
Prepared for 8th International Workshop on Advanced Computing and Analysis Techniques in Physics Research (ACAT 2002), Moscow, Russia, 24-28 Jun 2002
- [5] **“Algebraic-numerical methods for evaluating multi-leg and multi-loop Feynman diagrams”**
S. Uccirati
Mod. Phys. Lett. A **18**, 2849 (2003)
- [6] **“Two-loop vertices in quantum field theory: Infrared convergent scalar configurations”**
A. Ferroglia, M. Passera, G. Passarino and S. Uccirati
Nucl. Phys. B **680**, 199 (2004) [arXiv:hep-ph/0311186]
- [7] **“Electroweak physics”**
W. Hollik *et al.*
Acta Phys. Polon. B **35**, 2533 (2004) [arXiv:hep-ph/0501246]
Prepared for Meeting of the European Network 'Physics at Colliders', Montpellier, France, 26-27 Sep 2004
- [8] **“Two-loop tensor integrals in quantum field theory”**
S. Actis, A. Ferroglia, G. Passarino, M. Passera and S. Uccirati
Nucl. Phys. B **703**, 3 (2004) [arXiv:hep-ph/0402132]
- [9] **“Numerical evaluation of non-infrared two-loop vertices”**
S. Uccirati
Acta Phys. Polon. B **35**, 2573 (2004) [arXiv:hep-ph/0410332]

Talk given at Meeting of the European Network 'Physics at Colliders', Montpellier, France, 26-27 Sep 2004

- [10] **“The effective electroweak mixing angle $\sin^2(\theta(\text{eff}))$ with two-loop fermionic contributions”**
W. Hollik, U. Meier and S. Uccirati
Nucl. Phys. B **731**, 213 (2005) [arXiv:hep-ph/0507158]
- [11] **“Higgs-mass dependence of the effective electroweak mixing angle $\sin^2(\theta(\text{eff}))$ at the two-loop level”**
W. Hollik, U. Meier and S. Uccirati
Phys. Lett. B **632**, 680 (2006) [arXiv:hep-ph/0509302]
- [12] **“Two-loop vertices in quantum field theory: Infrared and collinear divergent configurations”**
G. Passarino and S. Uccirati
Nucl. Phys. B **747**, 113 (2006) [arXiv:hep-ph/0603121]
- [13] **“Two loop QFT in the making”**
S. Actis, G. Passarino and S. Uccirati
Nucl. Phys. Proc. Suppl. **160**, 145 (2006) [arXiv:hep-ph/0608294]
To appear in the proceedings of 8th DESY Workshop on Elementary Particle Theory: Loops and Legs in Quantum Field Theory, Eisenach, Germany, 23-28 Apr 2006
- [14] **“The effective electroweak mixing angle $\sin^2(\theta(\text{eff}))$ with two-loop bosonic contributions”**
W. Hollik, U. Meier and S. Uccirati
Nucl. Phys. B **765**, 154 (2007) [arXiv:hep-ph/0610312]
- [15] **“Recent developments on precise electroweak observables”**
S. Uccirati
*To appear in the proceedings of IFAE 2006 (in Italian), Pavia, Italy, 19-21 Apr 2006 Published in IFAE 2006: Proceedings. Edited by G. Montagna, O. Nicrosini and V. Vercesi. Springer, Jan 2007. (ISBN: 978-88-470-0529-7). pp. 157-161 Also in *Pavia 2006, IFAE* 157-161*
- [16] **“Complete Two-Loop Corrections to $H \rightarrow \gamma\gamma$ ”**
G. Passarino, C. Sturm and S. Uccirati
Phys. Lett. B **655**, 298 (2007) [arXiv:0707.1401 [hep-ph]]
- [17] **“Two-loop QED hadronic corrections to Bhabha scattering”**
J. H. Kuhn and S. Uccirati
Nucl. Phys. B **806** (2009) 300 [arXiv:0807.1284 [hep-ph]]
- [18] **“NLO Electroweak Corrections to Higgs Boson Production at Hadron Colliders”**
S. Actis, G. Passarino, C. Sturm and S. Uccirati
Phys. Lett. B **670** (2008) 12 [arXiv:0809.1301 [hep-ph]].

- [19] **“Two-Loop Threshold Singularities, Unstable Particles and Complex Masses”**
S. Actis, G. Passarino, C. Sturm and S. Uccirati
Phys. Lett. B **669** (2008) 62 [arXiv:0809.1302 [hep-ph]].
- [20] **“NNLO Computational Techniques: the Cases $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow gg$ ”**
S. Actis, G. Passarino, C. Sturm and S. Uccirati
Nucl. Phys. B **811** (2009) 182 [arXiv:0809.3667 [hep-ph]].
- [21] **“Higgs Pseudo-Observables, Second Riemann Sheet and All That,”**
G. Passarino, C. Sturm and S. Uccirati,
Nucl. Phys. B **834** (2010) 77 [arXiv:1001.3360 [hep-ph]].
- [22] **“NNLL electroweak corrections to gauge boson pair production at LHC,”**
S. Uccirati, J. H. Kuhn, F. Metzler and A. A. Penin,
PoS E **PS-HEP2009** (2009) 345.
- [23] **“NLO electroweak corrections to higgs boson production at hadron colliders,”**
S. Uccirati,
PoS **RADCOR2009** (2010) 060.
- [24] **“NNLL electroweak corrections to W-pair production at LHC,”**
S. Uccirati,
Nucl. Phys. Proc. Suppl. **205-206** (2010) 170-175.
- [25] **“Next-to-Next-to-Leading Electroweak Logarithms for W-Pair Production at LHC,”**
J. H. Kuhn, F. Metzler, A. A. Penin and S. Uccirati,
JHEP **1106** (2011) 143 [arXiv:1101.2563 [hep-ph]].
- [26] **“Complete Electroweak Corrections to Higgs production in a Standard Model with four generations at the LHC,”**
G. Passarino, C. Sturm, S. Uccirati,
Phys. Lett. B **706** (2011) 195 [arXiv:1108.2025 [hep-ph]].
- [27] **“Higgs production and decay with a fourth Standard-Model-like fermion generation,”**
A. Denner, S. Dittmaier, A. Muck, G. Passarino, M. Spira, C. Sturm, S. Uccirati and M. M. Weber,
Eur. Phys. J. C **72** (2012) 1992 [arXiv:1111.6395 [hep-ph]].
- [28] **“Handbook of LHC Higgs Cross Sections: 2. Differential Distributions,”**
S. Dittmaier, S. Dittmaier, C. Mariotti, G. Passarino, R. Tanaka, S. Alekhin, J. Alwall and E. A. Bagnaschi *et al.*,
arXiv:1201.3084 [hep-ph].
- [29] **“Electroweak corrections to W-boson pair production at the LHC,”**
A. Bierweiler, T. Kasprzik, H. Kuhn and S. Uccirati,
JHEP **1211** (2012) 093 [arXiv:1208.3147 [hep-ph]].

- [30] **“Recursive generation of one-loop amplitudes in the Standard Model,”** S. Actis, A. Denner, L. Hofer, A. Scharf and S. Uccirati, JHEP **1304** (2013) 037 [arXiv:1211.6316 [hep-ph]].
- [31] **“Electroweak corrections to $Z + 2$ jets production at the LHC,”** A. Denner, L. Hofer, A. Scharf and S. Uccirati, arXiv:1311.5336 [hep-ph], to be published in Proceedings of Science.
- [32] **“EW and QCD One-Loop Amplitudes with RECOLA,”** S. Actis, A. Denner, L. Hofer, A. Scharf and S. Uccirati, arXiv:1311.6662 [hep-ph], to be published in Proceedings of Science.

Seminari

Feb. 2003:

'Algebraic-Numerical methods for evaluating multi-leg and multi-loop Feynman diagrams', Max-Planck-Institut für Physik (Werner-Heisenberg-Institut), München, Germania.

Apr. 2003:

'Methods to compute multi-loop Feynman diagrams', IFAE 2003, Lecce, Italia.

Giu. 2003:

'Numerical evaluation of infrared two-loop vertices', CALC 2003, Dubna, Russia.

Nov. 2003:

'Numerical evaluation of infrared two-loop vertices', Physics Department of the University of Freiburg, Germania.

Sett. 2004:

'Numerical calculation of two-loop non infrared vertices', Physics At Colliders - Final meeting, Montpellier, Francia.

Gen. 2005:

'Numerical evaluation of two-loop vertex diagrams', Physics Department of the University of Karlsruhe, Germania.

Nov. 2005:

'Two-loop corrections to the effective electroweak mixing angle', Physics Department of the University of Durham, Inghilterra.

Apr. 2006:

'Recent developments on precise electroweak observables', IFAE 2006, Pavia, Italia.

Lug. 2006:

'Numerical computation of physical observables at two-loop level', CALC 2006, Dubna, Russia.

Nov. 2006:

'Two-loop corrections to the effective electroweak mixing angle', International linear collider workshop 2006, Valencia, Spagna.

Nov. 2006:

'GraphShot: a code to compute Feynman amplitudes', International linear collider workshop 2006, Valencia, Spagna.

Feb. 2007:

'Observables at two-loop level: the GraphShot project', invited seminar at the Institut für Theoretische Teilchenphysik, Universität Karlsruhe, Germania.

Nov. 2007:

'Complete two-loop corrections to $H \rightarrow \gamma\gamma$ ' invited seminar at the Institut für Theoretische Physik, Universität Zürich, Svizzera.

Apr. 2008:

'Complete two-loop corrections to $H \rightarrow \gamma\gamma$ ', invited seminar at the Paul Scherrer Institut (PSI), Svizzera.

Giu. 2008:

'Two-loop hadronic corrections to Bhabha scattering', International linear collider (ILC-ECFA) Workshop 2008, Warsaw, Polonia

Nov. 2008:

'NLO Electroweak Corrections to Higgs Boson Production at Hadron Colliders', 2nd Annual Workshop of the Helmholtz Alliance 'Physics at the Terascale', Aachen, Germania.

Lug. 2009:

'NNLL Electroweak Corrections to Gauge Boson Pair Production at LHC', The 2009 Europhysics Conference on High Energy Physics (EPS HEP 2009), Krakow, Polonia.

Ott. 2009:

'NLO Electroweak Corrections to Higgs Boson Production at Hadron Colliders', RAD-COR 2009 - 9th International Symposium on Radiative Corrections, Ascona, Svizzera.

Nov. 2009:

'NNLL Electroweak Corrections to Gauge Boson Pair Production at LHC', 3rd Annual Workshop of the Helmholtz Alliance 'Physics at the Terascale', Hamburg, Germania

Mar. 2010:

'Elektroschwache NNLL Korrekturen zur W-Paar Produktion am LHC', Eingeladener Vortrag bei der 74. Jahrestagung der DPG und DPG Frühjahrstagung, Bonn, Germania.

Apr. 2010:

'NNLL Electroweak Corrections to Gauge Boson Pair Production at LHC', Loops&Legs 2010 - 10th Workshop on Elementary Particle Theory, Wörlitz, Germania.

Sett. 2010:

'Higgs Pseudo-Observables', The 3rd International Workshop on High Precision for Hard Processes at the LHC, Firenze, Italia.

Giu. 2011:

'Electroweak Effects in Higgs Production (and Decay) at LHC', invited seminar at the Physikalisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, Germania.

Nov. 2011:

'Next-to-Next-to-Leading Electroweak Logarithms for W-Pair Production at LHC', Working Group on Electroweak precision measurements at the LHC, Cern, Genève, Svizzera.

Lug. 2012:

'Automatization of NLO electroweak corrections', invited seminar at the Max-Planck-Institut für Physik (Werner-Heisenberg-Institut), München, Germania.

Nov. 2012:

'The Theoretical Challenge', Workshop "Understanding the Higgs", Torino, Italia.

Sett. 2013:

'EW and QCD One-Loop Amplitudes with RECOLA', RADCOR 2013 - 11th International Symposium on Radiative Corrections, Chester le Street, England.

Attività scientifica e progetti di ricerca

Tecniche numeriche per il calcolo dei diagrammi di Feynman a uno e due loop

Nei primi anni la mia attività scientifica è stata principalmente indirizzata allo sviluppo di nuovi metodi algebrico-numeric per il calcolo dei diagrammi di Feynman. L'attenzione è stata focalizzata alla fisica elettrodebole, dove la presenza di molte scale di massa rappresenta l'ostacolo maggiore di qualunque calcolo a molti loop (sia nel Modello Standard che oltre). Invece di cercare soluzioni per processi o modelli specifici, ci siamo dedicati fin dall'inizio allo sviluppo di nuove strategie che potessero funzionare in completa generalità. Partendo dal lavoro di F.V. Tkachov sulla cosiddetta "generalized Berstein functional relation", abbiamo sviluppato nuovi algoritmi algebrici per ottenere una rappresentazione dei diagrammi di Feynman adatta ad essere integrata numericamente. Con questi metodi è stato possibile derivare accurati risultati numerici per le self-energie ([1]) e per i vertici ([6],[8] e [12]) a due loop. L'estrazione delle singolarità ultraviolette e infrarosse è fatta analiticamente e la loro cancellazione nei processi fisici può essere verificata facilmente. Le tecniche sviluppate sono particolarmente utili per problemi che contengono molte particelle pesanti con masse diverse e permettono di introdurre semplicemente schemi di calcolo che prevedono l'uso di masse complesse.

Parallelamente al lavoro sui diagrammi a due loop, abbiamo sviluppato nuove tecniche, basate sull'integrazione numerica ([3]), per il calcolo di diagrammi ad un loop con molte linee esterne. I problemi associati alla riduzione tensoriale standard (come la comparsa di cancellazioni dovute a piccoli determinanti di Gram) hanno una soluzione naturale in questo quadro.

Correzioni a due loop a $\sin^2 \theta_{\text{eff}}$

La prima osservabile calcolata con le nuove tecniche è stato l'angolo effettivo di mixing elettrodebole (θ_{eff}) con correzioni fermioniche e bosoniche a due loop ([10], [11] e [14]). In questi articoli sono stati inclusi anche alcuni miglioramenti delle tecniche usate, come per esempio un nuovo approccio al calcolo dei vertici non planari a due loop. Studiando il problema è poi risultato evidente che bisognasse dedicare un'attenzione particolare alla presenza di particelle leggere che creavano instabilità numerica se trattate nell'approccio generale. In tutti questi casi abbiamo estratto esplicitamente la dipendenza logaritmica nelle masse leggere ottenendo un accurato risultato numerico.

I processi $H \rightarrow \gamma\gamma$ e $gg \rightarrow H$

Come seconda applicazione, abbiamo calcolato le correzioni elettrodeboli e di QCD per il decadimento del bosone di Higgs in due fotoni e le correzioni elettrodeboli alla produzione dell'Higgs attraverso la gluon fusion al Large Hadron Collider ([16], [18], [20]). Le tecniche sviluppate studiando $\sin^2 \theta_{\text{eff}}$ per trattare le particelle leggere sono state generalizzate così da poter estrarre analiticamente i coefficienti dei logaritmi nelle masse leggere, in maniera analoga a quello che avviene per i poli UV e IR; in questo modo si è potuta verificare esattamente la loro cancellazione. Lo studio di questi processi ha anche rivelato l'importanza di avere a nostra disposizione metodi che potessero trattare efficacemente le masse complesse. Infatti i diagrammi che entrano in questi processi soffrono della presenza di molte soglie (WW e ZZ per esempio) e uno schema con masse complesse è l'unica possibilità di avere risultati stabili e precisi nelle regioni di soglia ([19], [21]).

L'analisi e' stata poi recentemente estesa alla produzione e al decadimento del bosone di Higgs in un'estensione del Modello Standard con la presenza di una quarta famiglia fermionica ([26],[27]). Essendo i fermioni della quarta generazione molto massivi, le correzioni elettrodeboli modificano sostanzialmente il comportamento perturbativo della teoria in questi processi.

Correzioni adroniche al Bhabha scattering

Come progetto a sé stante, abbiamo lavorato al completamento delle correzioni a due loop di QED al Bhabha scattering, calcolando le correzioni adroniche ([17]).

Produzione di coppie di bosoni di gauge all'LHC

Ci siamo occupati inoltre del calcolo delle correzioni elettrodeboli alla produzione di W^+W^- al LHC. Usando un approccio basato sulle equazioni di evoluzione (evolution equations) per il Modello Standard è stato possibile calcolare i contributi NNLL nel limite di alta energia ([25]). Recentemente abbiamo anche completato l'analisi delle correzioni ad un loop per tutto lo spazio delle fasi ([29]).

Automatizzazione dei calcoli ad un loop

Negli ultimi anni abbiamo lavorato all'automatizzazione delle correzioni elettrodeboli e di QCD al NLO nel Modello Standard ([30]). Usando le proprietà delle relazioni di ricorrenza per correnti off-shell ad un loop, è stato creato un codice per calcolare ampiezze di scattering per qualsiasi processo elementare. Il codice è generale e sufficientemente veloce per essere usato nei Montecarlo per l'integrazione sullo spazio delle fasi, in particolare per processi al LHC, dove è necessario un trattamento efficiente del colore.

Per quel che concerne i progetti futuri, ho intenzione di sfruttare le possibilità aperte dalle tecniche fin qui sviluppate e svilupparne di nuove. Un interessante terreno di ricerca sarebbe l'applicazione dei metodi contenuti in [3] per studiare ad un loop processi $2 \rightarrow 4$ e $2 \rightarrow 5$ importanti per il LHC e per i futuri linear collider. Questo richiederebbe lo sviluppo di Monte Carlo che potessero combinare l'integrazione dello spazio delle fasi (con tagli sperimentali) con il calcolo numerico delle ampiezze. Sotto questo aspetto potrebbe essere utile combinare il programma recentemente sviluppato per l'automatizzazione del calcolo delle ampiezze con le tecniche numeriche di [3].

Parallelamente allo studio di nuovi processi, vorrei anche produrre un codice pubblico per il calcolo dei vertici a due loop. Al momento l'automatizzazione delle tecniche sviluppate copre già un buon numero di configurazioni e l'estensione al trattamento di fermioni esterni leggeri completerebbe la lista dei casi di interesse fisico.

Infine, sarebbe interessante estendere al calcolo dei box a due loop le attuali tecniche per i vertici e così studiare processi $2 \rightarrow 2$ a due loop, come la produzione di $t\bar{t}$ o WW (correzioni di QCD e elettrodeboli) negli acceleratori adronici.