

Curriculum Vitae

INFORMAZIONI PERSONALI

Nome EMILIO
Cognome FIORDILINO
Recapiti Dipartimento di Fisica e Chimica - plesso di Via Archirafi 36
Telefono 39-09123891719
E-mail emilio.fiordilino@unipa.it

FORMAZIONE TITOLI

Notizie biografiche

1. Luogo e data di nascita: Mezzojuso (Palermo) 25.V.1953.
2. Titolo di studio: Laurea in Fisica con lode conseguita nel Novembre del 1976.
3. Membro del Dipartimento di Fisica e Chimica di Palermo.
4. Professore associato nel raggruppamento Fis/03 (Fisica della Materia) presso il Dipartimento di Fisica di Palermo;
5. Membro del collegio di docenti del dottorato in Fisica di Palermo.
6. Membro del progetto internazionale Core to Core program: Ultrafast Intense Laser Science COAST project diretto dal Prof. K. Yamanouchi (University of Tokyo).
7. Responsabile locale del progetto di rilevante interesse nazionale (PRIN) anno 2004 Modellizzazione dell'interazione laser-target per la formazione di nanostrutture.
8. Referee di PRIN
9. Referee per le riviste:
 - Physical Review A
 - Journal of Physics B e IOP in generale
 - Journal of Modern Optics
 - Applied mathematics and information science
 - Optics Letters

Curriculum accademico

- Dal 1.XI.1977 al 7.VII.1981 titolare d'una borsa di studio CRRNSM presso il gruppo di Fisica atomica e Plasmi di Palermo.
- Dal 1.I.1980 membro dell'Unità di Ricerca UR-14 del GNSM-CNR.
- Dal 7.VII.1981 Ricercatore Confermato nel Raggruppamento di Fisica Teorica presso l'Università di Palermo.
- Dal 1.I.1982 al 31.XII.1983 Research Associate presso 'The City University of New York' con borsa messa a disposizione dalla Research Foundation of New York.
- 1989 Rappresentante dei ricercatori al Comitato Consultivo dell'Area Scientifica Scienze Fisiche dell'Università.
- Dal 1994 membro dell'INFM.
- 1996 Ciclo di Lezioni alla Scuola Nazionale di Fisica Atomica a Molecolare su wavelet e fisica atomica tenuta al Centro di Ecologia Alpina, Viote del Monte Bondone (Trento) 4-10 Novembre.
- 1998: Membro dell'organizzazione del congresso internazionale Laser '98 tenutosi a Tucson (USA).
- 1999: Membro dell'organizzazione del congresso internazionale Laser '99 tenutosi a Quebec (Canada).
- 2000: Membro dell'organizzazione del congresso internazionale Laser 2000 tenutosi ad Albuquerque (USA).
- 2000: Membro del collegio di docenti del dottorato Uomo e Ambiente da cui si è dimesso per far parte del collegio di docenti del dottorato in Fisica.
- 2002: Membro del collegio dei docenti del dottorato in Fisica Università di Palermo.
- 2002: Dichiarato idoneo a ricoprire un posto di seconda fascia nel settore scientifico disciplinare FIS/03.
- 2005: Invited speaker a International Seminar on Atomic Processes in Intense Laser Fields and Related Many-Body Phenomena Shonan Village Center at Zushi (Giappone).
- 2005: Invited speaker a International Symposium on atoms, Molecules, and clusters in Intense Laser Fields 2, The University of Tokyo (Giappone).
- 2005: Responsabile di contratto di prestazione d'opera di collaborazione scientifica.
- 2006 - 2007: Responsabile del progetto Lauree scientifiche - Fisica della Facoltà di Scienze di Palermo.
- 2006 - oggi: Coordinatore della Rete per la diffusione e la Didattica della Fisica del Dipartimento di Scienze Fisiche e Astronomiche di Palermo,
- 2008 - seguenti Referee per il Cineca dei progetti PRIN e FIRB
- 2011 - Referente dell'area Fisica della Commissione per la creazione del nuovo Corso di Laurea Magistrale per la didattica nella scuola media LM-59
- 2012 Referente e presidente della Commissione per i Tirociii Formativi Attivi classe 038-Fisica
- Membro della giunta del Corso di Laurea Magistrale LM-59
- Fino al 2011 presidente della commissione dei test d'ingresso per l'iscrizione al corso di laurea in Fisica
- 2012 Membro del team di Referee dell'Anvur

ATTIVITA' DIDATTICA

CURRICULUM DIDATTICO

1984-1985

- Esercitazioni di Meccanica Razionale per Fisici.

1985-1986

- Esercitazioni di Meccanica Razionale per Fisici.

1986-1987

- Esercitazioni di Meccanica Razionale per Fisici.

1987-1988

- Esercitazioni di Meccanica Razionale per Fisici.

1988-1989

- Esercitazioni di Meccanica Razionale per Fisici.

1989-1990

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.
- Esercitazioni di Esperimentazioni di Fisica I per Fisici.

1990-1991

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.

1991-1992

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.
- Supplenza di Onde Elettromagnetiche per Fisici.

1992-1993

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.
- Esercitazioni di Esperimentazioni di Fisica II per Fisici.
- Supplenza di Onde Elettromagnetiche per Fisici.

1993-1994

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.
- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare per Fisici.
- Supplenza di Onde Elettromagnetiche per Fisici.

1994-1995

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.
- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare per Fisici.
- Supplenza di Onde Elettromagnetiche per Fisici.

1995-1996

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.
- Esercitazioni di Esperimentazioni di Fisica I per Fisici.
- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare per Fisici.
- Supplenza di Complementi di Fisica Generale I per Fisici.

1996

- Ciclo di Lezioni alla Scuola Nazionale di Fisica Atomica e Molecolare tenuta al Centro di Ecologia Alpina, Viote del Monte Bondone (Trento) 4-10 Novembre.

1996-1997

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.
- Esercitazioni di Esperimentazioni di Fisica I per Fisici.
- Supplenza di Onde Elettromagnetiche per Fisici.
- Ciclo di lezioni al I **Corso di Perfezionamento in Didattica della Fisica** su: Fondamenti della meccanica quantistica.

1997-1998

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.

- Esercitazioni di Esperimentazioni di Fisica I per Fisici.
- Supplenza di Onde Elettromagnetiche per Fisici.
- Ciclo di lezioni al **II Corso di Perfezionamento in Didattica della Fisica** su: Fondamenti della meccanica quantistica.

1998-1999

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.
- Esercitazioni di Esperimentazioni di Fisica I per Fisici.
- Supplenza di Onde Elettromagnetiche per Fisici.
- Ciclo di lezioni al **III Corso di Perfezionamento in Didattica della Fisica** su: Fondamenti della meccanica quantistica.

1999-2000

- Esercitazioni di Istituzioni di Fisica Teorica per Fisici.
- Esercitazioni di Esperimentazioni di Fisica I per Fisici.
- Supplenza di Onde Elettromagnetiche per Fisici.

2000-2001

- Esercitazioni di Esperimentazioni di Fisica I per Fisici.
- Corso di Fisica Moderna presso la **Scuola Interuniversitaria Siciliana di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario** (SISSIS).

2001-2002

- Precorso di Matematica di Base per Fisici.
- Supplenza di Metodi Matematici della Fisica per Fisici.
- Corso di Fisica Moderna presso la **Scuola Interuniversitaria Siciliana di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario** (SISSIS).
- Membro del collegio dei docenti del dottorato del CCCS in Fisica Università di Palermo.

2002-2003

- Precorso di Matematica di Base per Fisici.
- Corso di Metodi Matematici della Fisica per Fisici.
- Corso di Fisica Moderna presso la **Scuola Interuniversitaria Siciliana di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario** (SISSIS).
- Membro del collegio dei docenti del dottorato del CCCS in Fisica Università di Palermo.
- Ciclo di lezioni di **Interazione Radiazione Materia** del **Corso di Dottorato in Fisica**. Supplenza di Onde Elettromagnetiche per Fisici.

2003-2004

- Corso di Metodi Matematici della Fisica per Fisici.
- Corso di Fisica Moderna presso la **Scuola Interuniversitaria Siciliana di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario** (SISSIS).
- Ciclo di lezioni di **Interazione Radiazione Materia** del **Corso di Dottorato in Fisica**.

2004-2005

- Corso di Metodi Matematici della Fisica per Fisici.
- Corso di Fisica Moderna presso la **Scuola Interuniversitaria Siciliana di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario (SISSIS)**.
- Ciclo di lezioni di **Interazione Radiazione Materia** del **Corso di Dottorato in Fisica**.
- Ciclo di lezioni di Meccanica Quantistica e Relatività nell'ambito del Corso di Aggiornamento degli insegnanti del Liceo Statale Palmeri di Termini Imerese.

2005-2006

- Corso di Metodi Matematici della Fisica per Fisici.
- Corso di Elettromagnetismo avanzato per il **Corso di Dottorato in Fisica**.

2006-2007

- Corso di Metodi Matematici della Fisica per Fisici.
- Corso di Elettromagnetismo avanzato per il **Corso di Dottorato in Fisica**.

2007-2008

- Corso di Metodi Matematici della Fisica per Fisici.
- Corso di Elettromagnetismo avanzato per il **Corso di Dottorato in Fisica**.
- Corso di **L'energia e le sue trasformazioni, progetto PON**, presso il Liceo Scientifico Statale Ernesto Basile di Palermo

2008-2009

- Precorso di Matematica di Base per Fisici.
- Corso di Metodi Matematici della Fisica per Fisici.

2009-2010

- Precorso di Matematica di Base per Fisici.
- Corso di Metodi Matematici della Fisica per Fisici.
- Modulo di Statistica Classica nel corso di Meccanica Analitica, Relativistica, Statistica.

2010-2011

- Precorso di Matematica di Base per Fisici.
- Corso di Teoria dei Campi I.
- Modulo di Statistica Classica nel corso di Meccanica Analitica, Relativistica, Statistica.

2011-2012

- Precorso di Matematica di Base per Fisici.

- Corso di Meccanica Quantistica Avanzata.
- Corso di Complementi di Fisica Classica

2012-2013

- Precorso di Matematica di Base per Fisici.
- Corso di Meccanica Quantistica Avanzata.
- Corso di Complementi di Fisica Classica

Nel corso di tutta la carriera accademica

- **Relatore di Tesi di Laurea** in Fisica di primo e secondo livello.
- **Cotutor** di una **tesi di dottorato** presso il **Dipartimento "Uomo e Ambiente"**.
- **Tutor** di diverse tesi di dottorato presso il Dipartimento di Fisica e il Dipartimento di Fisica e Chimica di Palermo.

INCARICHI / CONSULENZE

Attività di consulenza

- 2005: Responsabile di contratto di prestazione d'opera di collaborazione scientifica.
- 2006 - 2007: Responsabile del progetto Lauree scientifiche - Fisica della Facoltà di Scienze di Palermo.
- 2006 - oggi: Coordinatore della Rete per la diffusione e la Didattica della Fisica del Dipartimento di Scienze Fisiche e Astronomiche di Palermo,
- 2008 - seguenti Referee per il Cineca dei progetti PRIN e FIRB
- 2011 - Referente dell'area Fisica della Commissione per la creazione del nuovo Corso di Laurea Magistrale per la didattica nella scuola media LM-59
- 2012 Referente e presidente della Commissione per i Tirociii Formativi Attivi classe 038-Fisica
- Membro della giunta del Corso di Laurea Magistrale LM-59
- Fino al 2011 presidente della commissione dei test d'ingresso per l'iscrizione al corso di laurea in Fisica
- 2012 Membro del team di Referee dell'Anvur

Attività di referee

Referee di PRIN e FIRB

Referee per le riviste:

- Physical Review A
- Journal of Physics B e IOP in generale
- Journal of Modern Optics
- Applied mathematics and information science

- Optics Letters

ASSOCIAZIONI SCIENTIFICHE

Socio della Società Italiana di Fisica.

Ricercatore del Gruppo di Fisica Atomica e Plasmi, finanziato con i Fondi ex 60% dell'Università di Palermo,

Ricercatore del Gruppo di Elettrodinamica in Campi Ultraintensi, finanziato con i Fondi ex 60% dell'Università di Palermo,

Ricercatore dell' Istituto Nazionale di Fisica della Materia e del Consorzio Nazionale Interuniversitario di Struttura della Materia.

Ricercatore dell'unità operativa di Palermo per il Progetto PRIN 2004 dal titolo:" Foto-deposizione di nanostrutture per ottica non lineare" - responsabile Prof. P.

Bicchi, Università di Siena.

Ricercatore del Consorzio COMETA, co-finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MIUR) nell'ambito del Piano Operativo Nazionale "Ricerca Scientifica,

Sviluppo Tecnologico, Alta Formazione" (PON 2000-2006).

Ricercatore partecipante al progetto PON Smart Cities, avviso 84/Ric del 2 Marzo 2012, dal titolo "Cluster OSDH-Smart FSE-Staywell", responsabile scientifico Dott. Pietro

Paolo Corso.

PUBBLICAZIONE

L'elenco delle pubblicazioni recenti, completo degli articoli consultabili in formato .pdf, si trova nel sito dell'Università di Palermo alla [pagina](#)

Di seguito viene pubblicato l'elenco completo.

Elenco pubblicazioni

1. K. Bennett, G. F. Bignami, V. Di Gesù, E. Fiordilino, W. Hermsen, G. Kanbach, G. G. Lichti, H. A. Mayer-Hasselwander, D. Molteni, C. Paizis, J. A. Paul, F. Soroka, B. N. Swanenburg, B. G. Taylor, R. D. Wills *COS-B Observations of Long Term Variability and Absorption Phenomena in The X-ray Emission from Cen X-3*, *Astron. & Astrophys.* **51**, 475 (1976).
1. H. Ögelman, K.P. Beuermann, G. Kanbach, H.A. Mayer-Hasselwander, D. Capozzi, E. Fiordilino, D. Molteni *Increase in the Pulsational Period of 3U0900-40* *Astron. & Astrophys.* **58**, 385 (1977).
1. G. Ferrante, E. Fiordilino, M. Zarcone *Valence and Core Electron Capture in Proton-Alkali Atom Collisions*, *Il Nuovo Cimento* **52B**, 151 (1979).

1. R. Daniele, G. Ferrante, E. Fiordilino *Cross-Section of High-Energy Proton-Alkali Atom Charge Exchange in the Eikonal Approximation* *Il Nuovo Cimento* **54B**, 185 (1979).
1. G. Ferrante, E. Fiordilino, C. Leone *Rearrangement Collisions in the Presence of a Laser Radiation Field*, *Lettere al Nuovo Cimento* **28**, 99 (1980).
1. G. Ferrante, E. Fiordilino, C. Leone *Eikonal Theory of Charged-Particle Scattering in the Presence of a Laser Field. A Quasi Static Approximation* *Il Nuovo Cimento* **56B**, 237 (1980).
1. G. Ferrante, E. Fiordilino *Proton-Alkali Atom Charge Exchange in the Eikonal Approximation* *Il Nuovo Cimento* **57B**, 1 (1980).
1. G. Ferrante, E. Fiordilino, M. Rapisarda *Electron Angular Distribution in Laser-Assisted X-ray Photoeffect* *J. Phys. B At. Mol. Phys.* **14**, (Letter to the Editor) L497 (1981).
1. G. Ferrante, E. Fiordilino, L. Lo Cascio *Multiphoton Emissions in Laser-Assisted Soft X-ray Absorption* *Phys. Lett.* **81A**, 261 (1981).
1. G. Ferrante, E. Fiordilino, C. Leone *Laser-Assisted X-ray Photoeffect and the Space Translation Method* *Phys. Lett.* **92A**, 276 (1982).
1. G. Ferrante, E. Fiordilino *Laser-Modified Angular Distribution of Compton Electrons* *J. Phys. B At. Mol. Phys.* **15**, 2157 (1982).
1. E. Fiordilino, M. H. Mittleman *Modification of the Photoionization of Hydrogen by a Low-Frequency Laser* *Phys. Rev.* **A28**, 229 (1983).
1. E. Fiordilino, M. H. Mittleman *Laser-Modified Electron Scattering from a Slowly Ionising Atom*, *J. Phys. B At. Mol. Phys.* **16**, 2205 (1983).
1. E. Fiordilino, M. H. Mittleman *Resonance Fluorescence of an Atom in a Standing-Wave Laser Field*, *J. Phys. B At. Mol. Phys.* **17**, 3037 (1984).
1. E. Fiordilino, M. H. Mittleman *Forces on Atoms in a Standing Laser Field*, *Phys. Rev.* **A30**, 177 (1984).
1. E. Fiordilino, M. H. Mittleman *Kinematics of Multiphoton Ionisation in a Laser Pulse*, *J. Phys. B At. Mol. Phys.* **18**, 4425 (1985).
1. E. Fiordilino, G. Ferrante, B. M. Smirnov *Resonant Collisions of Sodium Atoms in Rydberg States*, *Phys. Rev.* **A35**, 3674 (1987).

1. E. Fiordilino *A Method of Solution of the Two-State Schroedinger Equation*, *Il Nuovo Cimento* **9D**, 599 (1987).
1. E. Fiordilino, R. Zangara, G. Ferrante *Laser-Induced Modifications of Selection Rules in the Auger Effect*, *Phys. Rev* **A38**, 4369 (1988).
1. E. Fiordilino, F. Trombetta *Laser Pulse Effects in Two-Level Systems Driven by Coherent and Fluctuating Fields*, *J. Mod. Opt.* **35**, 1635 (1988).
1. F. Bagarello, E. Fiordilino *Three State Quantum Systems a Procedure for the Solution*, *Il Nuovo Cimento* **11D**, 405 (1989).
1. R. Zangara, E. Fiordilino, G. Ferrante *Auger Effect in Presence of a Laser Field*, *Optical and Acoustical Review* **1**, 297 (1990).
1. F. Bagarello, E. Fiordilino *Transitions in presence of short laser pulses*, *J. Mod. Opt.* **37**, 217 (1990).
1. R. Daniele, G. Ferrante, E. Fiordilino, S. Varrò *Photoelectric Effect From a Metal Surface*, *J. Op. Soc. Am.* **B9**, 1916 (1992).
1. E. Fiordilino, V. Miceli *Laser Pulse Shape Effects in Harmonic Generation from a Two-Level Atom*, *J. Mod. Opt.* **41**, 1415 (1994).
1. E. Fiordilino, R. Daniele, G. Ferrante *Periodic Structure Effects on Multiphoton Electron Ejection from a Metal Surface*, *J. Op Soc. Am.* **B11**, 1462 (1994).
1. E. Fiordilino, V. Miceli *Effects of Detuning and Laser Pulse Shape in Harmonic Generation from a Two Level Atom*, in **Proceedings of the International conference on Laser '93** ed.s V. J. Corcoran and T. A. Goldman, pag. 741-747 (1994) STS Press (McLean, VA).
1. V. T. Platonenko, V. V. Strelkov, G. Ferrante, V. Miceli, E. Fiordilino *Control of the Spectral Width and Pulse Duration of a single High-Order Harmonic*, *Laser Physics* **6**, 1164 (1996).
1. E. Fiordilino, V. Miceli *Spectrum Control in Harmonic Generation from a Two-Level Atom at Low Laser Intensity*, *Laser Physics* **6**, 1204 (1996).
1. E. Fiordilino, V. Miceli *Temporal Evolution of the Spectrum Emitted by a Two Level Atom in the Presence of a Laser Field*, *J. Mod. Opt.* **43**, 735 (1996).

1. S. De Luca, E. Fiordilino *Wavelet Temporal Profile of High Order Harmonics Emitted by a Two-Level Atom in the Presence of a Laser Pulse*, J. Phys. B Atom. Mol. Opt. Phys. **29**, 3277 (1996).
1. R. Daniele, E. Fiordilino *Bremsstrahlung and Harmonic Generation in Laser Assisted Electron Nucleus Collision*, Il Nuovo Cimento **D18**, 547 (1996).
1. A.V. Birulin, V. T. Platonenko, G. Ferrante, E. Fiordilino *Modifications of High Harmonic Spectra by Ion Resonant Transitions*, Laser Physics **6**, 1152 (1996).
1. E. Fiordilino, S. De Luca, G. Ferrante, V. Miceli, V. T. Platonenko, V. V. Strelkov *High-Order Harmonic Generation in the Presence of a Chirped Laser Field*, Laser Physics **7**, 627 (1997).
1. E. Fiordilino, F. Morales, R. Daniele *Fluctuating laser field that induces a blueshift in harmonic generation*, J. Opt. Soc. Am. **B15**, 118 (1998).
1. S. De Luca, E. Fiordilino *Wavelet analysis of short harmonics generated in presence of a two color laser field*, J. Mod. Opt. **45**, 1775 (1998).
1. F. Morales, R. Daniele, S. De Luca, E. Fiordilino *Fourier and wavelet spectrum emitted by an atom in presence of a fluctuating laser field*, in: **Proceedings of the International Conference on Laser '97**, ed.s J.J. Carroll and T.A. Goldman, pag. 213-220 (1998) STS Press (McLean, VA).
1. E. Fiordilino *High order harmonic generation and parametric oscillations*, Phys. Rev. **A59**, 876 (1999).
1. P. Caldara, E. Fiordilino *High order harmonic emission from a three level atom in a laser field* J. Mod. Opt. **46**, 743 (1999).
1. F. Morales, R. Daniele, E. Fiordilino *High order harmonic generation driven by a fluctuating laser field*, in: **Proceedings of the International Conference on Laser '98**, ed.s J.J. Carroll and T.A. Goldman, pag. 784-791 (1999) STS Press (McLean, VA).
1. E. Fiordilino, F. Morales, R. Daniele *Phase control of the harmonic yield in a two color laser driven two level atom*, Laser Physics **10**, 111 (2000).
1. A. Di Piazza, E. Fiordilino *Even and Odd Harmonics from Quasi Degenerate Atoms*, in: **Proceedings of the International Conference on Laser '99**, ed.s J.J. Carroll and T.A. Goldman, pag. 29-35 (2000) STS Press (McLean, VA).
1. E. Fiordilino, G. Napoli, C. Schembri *Chaotic-like oscillations in high order harmonic generation*, in **Proceedings of the Second Italian-Russian Symposium on Ultrafast Optical Physics, Tribute to N. I. Koroteev**, G. Ferrante, M. Vaselli and A. Zheltikov (ed.s), pag. 65-74 (2000).
1. A. Di Piazza, E. Fiordilino, M. H. Mittleman *Pulse shape control of the spectrum emitted by a two level atom*, J. Phys. B Atom. Mol. Opt. Phys. **34**, 3655 (2001).

1. A. Di Piazza, E. Fiordilino, M. H. Mittleman *Analytical study of the spectrum emitted by a two-level atom driven by a strong laser pulse*, Phys. Rev. **A64**, 013414 (2001).
1. A. Di Piazza, E. Fiordilino *Why hyper-Raman lines are absent in high-order harmonic generation*, Phys. Rev. **A64**, 013802 (2001).
1. R. Daniele, F. Morales, A. Di Piazza, E. Fiordilino *Wavelet analysis of the spectrum emitted by a one-dimensional atom driven by a strong laser pulse*, Laser Physics **11**, 205 (2001).
1. P. P. Corso, A. Di Piazza, E. Fiordilino, L. Lo Cascio, F. Persico *High order harmonic generation the role of the acceleration matrix elements and of the bound and continuum transitions*, J. Mod. Opt. **48**, 1373 (2001).
1. F. Morales, R. Daniele, E. Fiordilino *Bremsstrahlung and harmonic generation from a symmetrical molecule*, in **Proceedings of the International Conference on Laser 2000**, ed.s J.J. Carroll and T.A. Goldman, pag. 34-41 (2001) STS Press (McLean, VA).
1. E. Fiordilino, R. Daniele, F. Morales *The emission time of harmonics emitted by a molecule*, J. Phys. B Atom. Mol. Opt. Phys. **36**, 373 (2003).
1. R. Daniele, F. Morales, P. P. Corso, E. Fiordilino *High-order harmonic generation as a tool for probing the electron wavefunction* , Laser Physics **13**, 959 (2003).
1. P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *Confinement and high-order harmonic generation by a repulsive potential*, Phys. Rev. **A67**, 063402 (2003).
1. P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *The electron wavefunction in laser-assisted bremsstrahlung*, J. Phys. B Atom. Mol. Opt. Phys. **36**, 2823 (2003).
1. P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *Space-time localization of the radiation emitted by an electromagnetically driven charge and the question of the position of an electron*, J. Mod. Opt. **50**, 643 (2003).
1. R. Daniele, G. Camiolo, G. Castiglia, P. P. Corso, F. Morales, E. Fiordilino *Dynamics of H₂ molecule driven by an ultra-short laser field*, Appl. Phys. B - Laser and Opt. **78**, 813 (2004)
1. P. P. Corso, R. Daniele, E. Fiordilino, J. P. Marangos, F. Morales, R. Velotta *Electron and nuclear dynamics of a molecular ion in an intense laser field*, Phys. Rev. **A70**, 053410 (2004).
1. G. Castiglia, P. P. Corso, R. Daniele, E. Fiordilino, F. Morales, F. Persico *The dynamics of the electron in a homonuclear driven molecular ion*, J. Mod. Opt. **51**, 1163 (2004).

1. G. Castiglia, G. Camiolo, P. P. Corso, R. Daniele, E. Fiordilino, F. Morales *Probing the dynamics of a molecular ion with laser pulses*, Laser Physics **14**, 1185 (2004).
1. E. Fiordilino, G. Orlando, M. H. Mittleman Harmonic generation by a simple degenerate three-level atom, in: **Universality and Diversity in Science Festschrift in Honor of Naseem K. Rahman's 60th Birthday**, W. Becker, M. V. Fedorov ed.s, (pp. 77-91) World Scientific (SINGAPORE) (2004) (**su invito**).
1. P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *The two-level atom in high-order harmonic generation*, in: Recent Research Developments in Physics, Managing Editor S. G. Pandalai Transworlds Research Network (Kerala, INDIA) (vol. 5, pp. 1445-1486) Part III (2004).
1. P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *Ionization dynamics of a model molecular ion*, J. Phys. B At. Mol. Opt. Phys. **38**, 1015 (2005).
1. G. Orlando, P. P. Corso, E. Fiordilino *Analytical wave function of an atom in the presence of a laser pulse*, Phys. Rev. **A72**, 013408 (2005).
1. G. Castiglia, P. P. Corso, R. Daniele, E. Fiordilino, F. Morales, G. Orlando *Control of electron motion in a molecular ion dynamical creation of permanent electric dipole*, Laser Physics **17**, 1240 (2007).
1. P. P. Corso, E. Fiordilino, G. Orlando, F. Persico *Even harmonics from laser driven homonuclear molecules*, J. Mod. Opt. **54**, 1387 (2007).
1. P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *Direct theoretical evidence of nuclear motion in H₂⁺ by means of high harmonic generation*, J. Phys. B At. Mol. Opt. Phys. **40**, 1383 (2007).
1. P. P. Corso, E. Fiordilino, G. Orlando, F. Persico *Spectrum emitted by a trapped electron*, Open. Sys. & Information Dyn. **14**, 129 (2007).
1. A. Agliolo Gallitto, E. Fiordilino *Progetto Lauree Scientifiche - Fisica dell'Ateneo di Palermo*, Università e Scuola. vol. **XII** n. 1, pp. 39-41 ISSN 1124-5492 (2007).
1. F. Morales, G. Castiglia, P. P. Corso, R. Daniele, E. Fiordilino, F. Persico, G. Orlando, *Evidence of nuclear motion in H₂-like molecules by means of high harmonic generation*, Laser Physics **18**, 592 (2008).
1. G. Orlando, G. Castiglia, P. P. Corso, E. Fiordilino *Bremsstrahlung from a repulsive potential attosecond pulse generation*, J. Phys. B At. Mol. Opt. Phys. **41**, 055601 (2008).
1. G. Castiglia, P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *Rescattering and vibrations in homonuclear diatomic molecules in a strong electromagnetic field*, Phys. Lett. **A373**, 2556 (2009).

1. G. Camiolo, G. Castiglia, P. P. Corso, E. Fiordilino, J. P. Marangos *Two-electron systems in strong laser fields*, Phys. Rev. **A79**, 063401 (2009).
1. D. Cricchio, P. P. Corso, E. Fiordilino, G. Orlando, F. Persico *A paradigm of fullerene*, J. Phys. B At. Mol. Opt. Phys. **42**, 085404 (2009).
1. G. Orlando, P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *Piecewise static Hamiltonian for an atom in a strong laser field*, J. Mod. Opt. **56**, 986 (2009).
1. R. Daniele, G. Castiglia, P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Morales, G. Orlando *Nuclear molecular dynamics investigated by using high-order harmonic generation spectra*, J. Mod. Opt. **56**, 751 (2009).
1. G. Orlando, P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *Generation of isolated attosecond pulses using unipolar laser fields*, J. Mod. Opt. **56**, 1761 (2009).
1. G. Orlando, P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *A three-colour scheme to generate isolated attosecond pulses*, J. Phys. B At. Mol. Opt. Phys. **43**, 025602 (2010).
1. G. Orlando, P. P. Corso, E. Fiordilino *Use of three detuned lasers to generate isolated attosecond pulses*, J. Mod. Opt. **57**, 2069 (2010).
1. R. Daniele, F. Morales, G. Castiglia, P. P. Corso, G. Orlando, E. Fiordilino *Control of the high harmonic generation spectra by changing the molecule-laser field relative orientation*, J. Opt. Soc. Am. **B27**, 751 (2010).
1. E. Fiordilino *Quantum theory of a radiating harmonically bound charge*, J. Mod. Phys. **1**, 290 (2010).
1. C. Federico, P. P. Corso, E. Fiordilino, C. Cardellini, G. Chiodini, F. Parello, A. Pisciotta *CO₂ degassing at La Solfatara volcano (Phlegrean Fields) processes affecting d13C and d18O soil CO₂*, Geochimica et Cosmochimica Acta **74**, 3521 (2010).
1. A. Agliolo Gallitto, E. Fiordilino *A didactic experiment and model on a flat-plate solar collector*, Phys. Ed. **46**, 312 (2011).
2. A. Agliolo Gallitto, E. Fiordilino *The double cone a mechanical paradox or a geometrical constraint?*, Phys. Ed. **46**, 682 (2011).
1. A. Agliolo Gallitto, E. Fiordilino *Piano nazionale lauree scientifiche - Fisica un percorso di laboratorio sulle tematiche energetiche*, Giornale di Fisica **52**, 283 (2011).
1. G. Castiglia, P. P. Corso, E. Fiordilino, F. Persico *Pulse-duration dependence of the isotopic effect in simple molecular ions driven by a strong laser fields*, Phys. Rev. **A83**, 053421 (2011).

1. D. Cricchio, E. Fiordilino, F. Persico *Electrons on a spherical surface. Physical properties and hollow spherical clusters*, Phys. Rev. **A86**, 013201 (2012).
1. V. Lombardo, E. Fiordilino, A. Agliolo Gallitto, and P. Aglieco *An experiment on wind energy*, Phys. Ed. **47**, 755 (2012).
1. R. A. Ganeev, C. Hutchison, T. Witting, S. Weber, W. A. Okell, E. Fiordilino, D. Cricchio, F. Persico, A. Zair, J. W. G. Tisch, J. Marangos *Harmonic generation in fullerenes using few- and multi-cycle pulses of different wavelengths*, J. Opt. Soc. Am. **B30**, 7 (2013).
1. F. Aglione, A. Agliolo Gallitto, and E. Fiordilino *'Naughty cylinder' mechanical paradox*, Phys. Ed. **48**, 137 (2013).
1. G. Castiglia, P. P. Corso, R. Daniele, E. Fiordilino, and F. Morales *Polarization of high harmonic generated spectra in ion*, J. Mod. Optics (2013) DOI:10.1080/09500340.2013.793417; Already Published online: 29 Apr 2013).

ATTIVITA' SCIENTIFICHE

Le attività di ricerca sono state sviluppate lungo le seguenti direttrici:

- Studio di sorgenti stellari emettenti forte radiazione X.
- Teoria di collisioni atomiche rilevanti nella fisica della fusione nucleare controllata.
- Processi atomici e molecolari in presenza di campi elettromagnetici.
- Studio analitico e numerico di problemi connessi con l'interazione di radiazione e materia.
- Estrazione multifotonica di elettroni da metalli.
- Generazione di armoniche d'alto ordine da parte di atomi e molecole interagenti con radiazione.
- *Wavelet* e loro uso nella fisica atomica e molecolare.
- Tomografia laser di semplici molecole.
- Studio di nanoparticelle anche in presenza di forte radiazione laser.
- Didattica della Fisica.
- Geofisica.

Astrofisica

Emilio Fiordilino (EF) ha iniziato la propria ricerca nell'ultimo periodo del proprio corso di studi nel campo dell'astrofisica analizzando e interpretando i dati provenienti dal satellite europeo COS-B. Egli si è occupato dello studio della radiazione X proveniente da due diverse sorgenti stellari: Cen X-3 e Vela X-1, rivelata da un contatore proporzionale e sensibile a fotoni con energia compresa fra 2 e 12 KeV.

Vela X-1 e Cen X-3 erano note come due stelle doppie formate da un oggetto compatto (pulsar) orbitante attorno a una stella normale con periodi molto brevi (dell'ordine di pochissimi giorni). L'emissione dei raggi X da parte delle stelle è causata da caduta di massa dalla stella *normale* a quella compatta. Nel caso di Vela X-1 i parametri orbitali furono determinati con elevata accuratezza e fu osservato un aumento del periodo di pulsazione della pulsar in disaccordo con la teoria secondo la quale il momento angolare ceduto dalla massa scambiata tenda ad accelerare il moto di rivoluzione della pulsar. Nel caso di CEN X-3 fu confermato il modello di accrescimento per tramite di vento stellare e fu dimostrata la presenza di attività stellare che forma archi e protuberanza di materia in stelle diverse dal sole.

Collisioni atomiche

- **Collisioni di interesse per la fusione nucleare controllata**

La realizzazione della fusione nucleare controllata al fine di ottenere energia economicamente vantaggiosa è oggi ritenuta uno degli obiettivi scientifici e tecnologici più importanti. In quest'ambito è richiesta la produzione di fasci d'idrogeno neutro con energia fra i 5 e i 10 KeV per rifornire di combustibile nucleare la camera di fusione. Il metodo più semplice per ottenere questi fasci consiste nel neutralizzare protoni energetici con collisioni contro atomi alcalini. Diventa così necessaria la conoscenza delle sezioni d'urto per scambio carica nelle collisioni protone atomo alcalino.

EF nel calcolo di tali sezioni d'urto ha usato diversi metodi:

- Modello a elettroni indipendenti per gli elettroni di *core* e di valenza
- Approssimazione iconale per gli elettroni di valenza. Di notevole interesse è l'ottenimento, caso rarissimo in questo genere di calcoli, della sezione d'urto totale di scambio carica in forma analiticamente chiusa.
- **Collisioni risonanti**

In letteratura è stata riportata la sezione d'urto sperimentale di collisioni risonanti fra atomi di sodio nello stato di Rydberg $17s$. I livelli energetici degli atomi erano finemente modificati dalla presenza di campi elettrici statici in modo da rendere eguali le transizioni $17s \rightarrow 17p$ e $17s - 16p$. Durante la collisione uno dei due atomi perdeva energia che veniva assorbita risonantemente dall'altro. I risultati sperimentali mostravano che le sezioni d'urto sono fino a quattro ordini di grandezza maggiori delle dimensioni geometriche degli atomi. La ragione di tale fatto risiede nei grandi momenti di dipolo degli stati di Rydberg e nelle conseguenti forze di interazione fra gli atomi. La teoria sviluppata da EF sono non solo in

buon accordo con gli esperimenti ma hanno anche previsto la corretta larghezza della sezione d'urto del processo che a causa di un errore sistematico era stata sovrastimata nell'esperimento.

- **Atomi e molecole in forti campi esterni**

Parallelamente alla ricerca descritta nei paragrafi precedenti EF ha iniziato un'indagine su processi atomici e molecolari in presenza di forti campi laser. Ovviamente essa è motivata principalmente da intrinseco interesse conoscitivo. Infatti la fisica dell'interazione fra radiazione elettromagnetica e materia è ben nota quando la radiazione è molto poco intensa: in pratica soltanto quando il campo è popolato da un numero di fotoni per unità di volume molto basso. In questa situazione soltanto uno o pochi fotoni possono essere scambiati e il calcolo perturbativo rappresenta il linguaggio naturale della teoria e le previsioni presentano un'impressionante accordo con l'esperimento. Tuttavia in presenza di campi elettromagnetici intensi la probabilità di scambio di molti fotoni diviene significativa e la teoria delle perturbazioni non può più essere applicata nel modo usualmente descritto nei libri d'elettrodinamica quantistica nemmeno per ottenere descrizioni qualitative: si rendono necessari nuovi modelli teorici e nuove tecniche matematiche per descrivere i fenomeni. La relazione fra i regimi di basso e di forte campo sembra essere molto simile alla relazione esistente fra leggi della meccanica di Newton in grado di descrivere in modo analiticamente fruttuoso l'interazione di pochi corpi e meccanica statistica che descrive il comportamento di un grande numero di molecole in un gas.

Non bisogna tuttavia dimenticare che lo studio dell'interazione della materia con forti campi laser ha anche una fortissima ricaduta applicativa, pratica e tecnologica; infatti la presenza di intensa radiazione elettromagnetica è in grado di modificare lo svolgimento di processi atomici e dà luogo a nuovi fenomeni che in prospettiva possono trovare applicazione in grandi progetti d'interesse generale quali la fusione termonucleare controllata, l'intrappolamento atomico, la spettroscopia atomica, la costruzione di laser ad alta frequenza.

EF ha studiato come la presenza di un laser modifichi lo svolgimento di diversi processi fisici elementari

- *Effetto fotoelettrico.*
- *Collisioni assistite da laser.* EF ha sviluppato una delle prime teorie in cui la funzione d'onda atomica è stata esplicitamente scritta in modo da tener conto della presenza del laser.
- *Forze sugli atomi.* Da anni è noto che un campo laser risonante è in grado di modificare in modo rilevante lo stato interno di un atomo e pertanto di esercitare forze sull'atomo in questione; inoltre lo studio dello spettro di fluorescenza porta informazioni significative sul processo multiplo di eccitazione e diseccitazione dell'atomo da parte della radiazione laser. La luce laser stazionaria e risonante aggiunge due nuovi punti d'interesse al problema: 1) Il campo può essere scritto come la sovrapposizione di due onde che si propagano in verso opposto e che quindi subiscono uno spostamento Doppler diverso a causa del moto dell'atomo. Questo modifica drasticamente lo spettro di fluorescenza che si avrebbe nel caso d'onda viaggiante. 2) L'intensità del campo è adesso intrinsecamente funzione della posizione dell'atomo e quindi le forze agenti su di questo sono dipendenti da essa. Questo può grandemente favorire l'intrappolamento di un singolo atomo o di uno ione in una piccola regione di spazio.

- **Fluorescenza.** EF ha studiato la radiazione di fluorescenza da parte di atomi in presenza di un'onda stazionaria e risonante mostrando come la frequenza di radiazione emessa possa essere finemente regolata cambiando la velocità degli atomi. Questa pionieristica ricerca sembra anticipare di molti anni il problema della generazione di armoniche e dello studio del controllo dello spettro emesso da atomi.
- **Ionizzazione multifotonica.** Negli anni è stato portato a termine un gran numero di esperimenti di ionizzazione multifotonica in cui è stato misurato lo spettro energetico degli elettroni emessi. E' ormai fatto sperimentalmente assodato che nel processo di ionizzazione l'elettrone possa assorbire un numero di fotoni maggiore di quello minimo occorrente per l'ionizzazione mostrando pertanto uno spettro energetico discreto, a righe. EF ha studiato tale spettro quando il laser ionizzante è impulsato e predice che in questo caso la larghezza delle righe diminuisce all'aumentare del numero di fotoni assorbiti. Questo fenomeno che sembra contraddire il nostro intuito fisico si spiega tenendo presente la natura impulsata del laser.

EF ha inoltre studiato le modifiche indotte dal laser nello svolgimento dell'effetto Compton e dell'effetto Auger.

- **Metodi matematici**

Questa tematica di ricerca è frutto, in buona parte, della precedente. Lo studio dell'interazione fra radiazione e materia presenta usualmente problemi matematici di difficilissima o di impossibile risoluzione e richiede quasi sempre l'introduzione di approssimazioni e l'uso pesante del calcolatore. Alcuni di questi problemi e la loro risoluzione sono oggetto di questa tematica. Naturalmente nessuna soluzione è fine a sé stessa e le soluzioni trovate sono applicate in nuovi lavori per la comprensione di fenomeni fisici. Come è noto in molti casi la presenza di un numero infinito di stati in un atomo o in una molecola può essere approssimata in modo utile prendendo in considerazione solo due o tre stati. Ciò avviene ogni volta che l'interazione fra questi stati è molto più grande di quella fra ogni altra coppia. EF ha proposto un metodo generale di soluzione dell'equazione differenziale di atomi a due e tre livelli in presenza di radiazione laser. La soluzione proposta è di forma iterativa e può essere calcolata con il grado di precisione desiderata senza un apprezzabile allungamento dei tempi di calcolo e sono di facilissima codificazione numerica. Inoltre i metodi forniscono rilevanti informazioni analitiche sul processo in esame. Le teorie vengono applicate per studiare lo spettro diffuso da un atomo in presenza di laser.

Inoltre EF ha studiato il significato fisico delle applicazioni delle wavelet nel campo della fisica della radiazione elettromagnetica.

- **Effetto fotoelettrico da metalli**

Sono stati pubblicati alcuni risultati sperimentali sorprendenti sulla estrazione di elettroni da superfici metalliche irradiate da radiazione laser di moderata intensità. Negli esperimenti l'energia dei fotoni (1.17 eV) era più bassa della funzione lavoro del metallo (circa 5 eV) purtuttavia lo spettro di energia mostrava elettroni fino a 600 eV. Poiché alle intensità laser usate nell'esperimento l'ionizzazione multifotonica di atomi non produce elettroni tanto energetici l'esperimento sorprese i ricercatori e fu considerato con sospetto finché non venne confermato da altri e indipendenti esperimenti. Dal punto di vista della teoria il fenomeno restò oscuro. Con il formalismo di matrice S EF presenta pure una teoria perturbativa a tutti gli ordini nel campo laser, si trova uno spettro di energia elettronico vicino a quello sperimentale e prova che la ragione dell'alta energia di uscita di alcuni elettroni è dovuta alla struttura cristallina degli atomi del conduttore che si riflette nella struttura a bande dell'energia degli elettroni. La funzione d'onda degli elettroni nella struttura cristallina seminfinita è stata ottenuta in forma analiticamente chiusa in funzione dei vari parametri cristallini.

- **Generazione di armoniche**

Ormai è un fatto sperimentalmente assodato che atomi in presenza di un campo laser di intensità alta diventano sorgente di radiazione il cui spettro d'energia è distribuito su un largo *plateau* di linee di simile intensità e frequenza multiplo dispari delle frequenze laser. L'estensione del *plateau* aumenta con l'intensità di pompa ma dipende anche dalla rapidità di variazione dell'inviluppo dell'impulso eccitante. L'ordine massimo di armoniche rivelato oggigià è più grande di 300, cosicché un laser operante nell'ottico è in grado di stimolare un atomo o una molecola a emettere fotoni nel lontano ultravioletto. La radiazione generata gode di alcune proprietà della luce laser e questo fatto fa nascere la speranza che l'effetto, chiamato generazione d'armoniche d'alto ordine, possa fornire la base fisica per la costruzione di sorgenti di radiazione coerente e d'alta frequenza di già indicate come sincrotroni da tavolo. L'origine della radiazione diffusa sembra essere nella sua essenza compresa e risiede nelle oscillazioni rapidissime indotte dal campo esterno sugli elettroni. Da un punto di vista teorico l'effetto solleva moltissime curiosità.

- Naturalmente il processo di diffusione è l'effetto di interazioni fra l'atomo e il laser che sono non lineari nell'intensità del campo. Come si è già visto l'ordine di non linearità può essere anche molto grande (300). Comprendere l'origine delle non linearità proietterebbe vivida luce nel campo dell'interazione radiazione materia.
- Nella descrizione quantitativa del fenomeno, l'uso delle usuali tecniche perturbative è del tutto fuori luogo visto l'ordine di non linearità coinvolte e impone la ricerca di metodi alternativi.
- La trasformata di Fourier è uno strumento estremamente sensibile alle approssimazioni e fornisce informazioni attendibili solo quando funzioni d'onda accuratissime sono a disposizione.
- L'interazione atomo-radiazione ha molti parametri liberi il cui complesso gioco reciproco tende a mascherare la fisica. La natura stessa del problema richiede la costruzione di semplici modelli che riproducano la natura qualitativa del fenomeno; conducano a soluzioni analitiche in grado di separare il ruolo e i contributi dei vari parametri.
- Resta inoltre da stabilire la reale portata del modello a tre passi e la necessità dei suoi presupposti.

- **Radiazione da atomi a pochi livelli**

Dal punto di vista dei criteri sopra esposti l'uso di un modello di atomo a due o tre livelli sembra essere molto indicato: esso infatti riproduce tutte le caratteristiche fisiche degli esperimenti e in più, con la sua semplicità, permette di pervenire a formule analitiche. Gli atomi a pochi livelli non prevedendo stati nel continuo possono dare indicazione sull'importanza del processo di estrazione elettronica nel modello a tre passi. EF nei suoi calcoli prevede che quando la radiazione di pompa sia a) risonante e b) di breve durata è possibile la generazione di armoniche anche con campi di bassa intensità; questo fatto, in seguito osservato sperimentalmente, apre la strada a nuove possibilità sperimentali e tecnologiche. Infatti una pompa di bassa o intermedia intensità è facilmente controllabile e non induce rapida ionizzazione del gas emettente armoniche; in questo modo molte difficoltà tecniche verrebbero a essere rimosse. Naturalmente un successo importante della teoria della generazione di armoniche consiste nella determinazione dei parametri che permettono il controllo dello spettro per aumentare la massima frequenza emessa dagli atomi. Come già detto, il candidato ha suggerito che la forma dell'impulso laser può essere un parametro da non sottovalutare. Gli esperimenti hanno confermato questa previsione. Sempre in questo argomento EF ha mostrato in modo analitico che la forma dello spettro emesso può essere controllata in modo fine

costruendo sapientemente una opportuna forma dell'impulso laser.

- **Modelli atomici complessi**

Modelli più complessi di atomi e molecole per lo studio della emissione di radiazione sono stati usati dal candidato. Molti di essi hanno visto l'uso di trasformate wavelet e verranno descritte in seguito. Così rilassando l'approssimazione di atomo a pochi livelli lo studio della generazione di armoniche fornisce lo spunto per l'esame delle proprietà formali degli elementi di matrice dell'accelerazione. Vi si mostra che l'emissione di armoniche avviene in una regione di spazio vicina al nucleo e suggerisce che la rivelazione di radiazione possa portare informazioni sulla *posizione* dell'elettrone. EF affronta il problema dell'emissione di radiazione elettromagnetica nella collisione di un elettrone con un potenziale repulsivo. Alcuni risultati sorprendenti risaltano subito all'occhio: l'azione combinata del laser e del potenziale repulsivo è in grado di intrappolare per un lungo periodo di tempo gli elettroni in una zona di spazio vicino al centro del potenziale: in questo modo l'elettrone collide molte volte col centro di forze, è soggetto a reiterate, intense accelerazioni ed emette un ricco spettro di armoniche non prevedibili secondo il modello a tre passi sopra descritto. Infatti il potenziale repulsivo non ammette quello stato legato indispensabile alla emissione dell'energia secondo il modello. EF mostra che la radiazione emessa durante la collisione può essere filtrata in modo da generare impulsi elettromagnetici della durata di cento attosecondi. La realizzazione di impulsi laser molto brevi è considerato un obiettivo di grande importanza al fine della progettazione di orologi in grado di misurare brevissimi intervalli temporali.

- **Wavelet**

Come già visto la teoria della generazione di armoniche richiede la trasformata di Fourier dell'accelerazione e ha fornito una massa notevole di informazioni ma, ovviamente, può fare di più. Infatti la trasformata di Fourier necessita della conoscenza di tutto lo svolgimento temporale dell'accelerazione e la semplice modifica del segnale in un breve intervallo temporale determina il cambiamento dello spettro come un tutto. Ogni informazione temporale viene pertanto a essere dispersa per cui la domanda su quando una particolare frequenza venga emessa rimane senza immediata risposta. Invece da un punto di vista teorico è fondamentale determinare l'andamento temporale dello spettro al fine di guadagnare informazioni preziose sul meccanismo d'emissione. Si potrebbero, per esempio, mettere in luce strette correlazioni fra variazioni dell'impulso laser eccitante e l'emissione di particolare gruppi di fotoni. In quest'ambito è molto interessante la determinazione di nuove tecniche teoriche in grado di generalizzare le trasformate di Fourier e di dare le informazioni richieste.

Recenti studi volti alla generalizzazione dell'analisi di Fourier hanno portato al concetto di trasformata di Fourier a corto raggio e, soprattutto, a quello di trasformata wavelet. Ambedue queste trasformate forniscono lo spettro emesso in un intervallo di tempo e permettono lo studio di coincidenze temporali impossibili con l'analisi di Fourier. In matematica risulta particolarmente importante il concetto di trasformata wavelet che gode di una vastissima letteratura specializzata. Da un punto di vista applicativo le trasformate wavelet hanno trovato importantissime applicazioni nel campo della geofisica per lo studio dei terremoti, nel campo dell'astrofisica nel vitale (per gli astronomi) problema del riconoscimento automatico delle immagini, nel campo dell'acustica nello studio della simulazione elettronica dei suoni degli strumenti musicali, nel campo della tecnologia commerciale nella riduzione del rumore emesso da comuni elettrodomestici. Così l'utilizzazione delle wavelet ha fatto sì che venisse abbandonata l'idea tradizionale che il timbro degli strumenti musicali sia dato dallo spettro di potenza di Fourier per dare la corretta importanza all'evoluzione temporale dell'intensità delle armoniche presenti, constatazione che ha completamente rivoluzionato l'industria degli strumenti elettronici.

Al tema dell'evoluzione temporale degli spettri è concentrata l'attenzione di varie pubblicazioni di EF che, a sua conoscenza, è stato uno dei primi a usare la tecnica della trasformata di Gabor per studiare lo spettro emesso.

EF ha un costante interesse per il problema della generazione di impulsi di radiazione di breve durata. In essa le tecniche di analisi wavelet vengono usate per mostrare che l'uso di due frequenze molto vicine possa stimolare l'atomo a emettere treni di armoniche della brevissima durata di pochi cicli ottici.

- **Dinamica molecolare**

Generalmente le molecole in presenza di un campo elettromagnetico intenso mostrano effetti molto più complessi degli atomi a causa della presenza di molti più parametri e di gradi di libertà che possono avere un ruolo importante nella dinamica di interesse. Inoltre il fatto che il processo di emissione di radiazione sia influenzato dalla simmetria del sistema fisico emettente presenta le molecole come uno strumento potente di controllo dello spettro. Naturalmente anche la descrizione diviene di gran lunga più difficile sicché lo studio della dinamica molecolare in presenza di laser è molto meno sviluppato dello studio della dinamica atomica e richiede un lavoro preliminare di comprensione. Tuttavia nelle molecole la grande differenza di massa fra elettroni e nuclei risulta in una grande semplificazione delle equazioni da risolvere; di fatto spesso un trattamento classico del moto nucleare è soddisfacente.

EF studia la dinamica della molecola H_2 interagente con un campo di radiazione laser usando un approccio bidimensionale semiclassico, oltre l'approssimazione di nuclei fissi, in cui il moto dei nuclei viene descritto classicamente mentre il moto dell'elettrone viene descritto quantisticamente. Il moto dei nuclei è molto lento e l'elettrone può adattarsi adiabaticamente alla distanza variabile tra i nuclei. Sono stati esaminati in funzione del tempo sia le popolazioni nelle vicinanze dei due nuclei sia il segnale di ionizzazione per vari valori dell'intensità della radiazione e si è visto per quali di questi valori i nuclei iniziano ad allontanarsi velocemente dando luogo al tipico segnale di esplosione Coulombiana della molecola stessa.

EF studia in funzione del tempo la radiazione diffusa dallo ione molecolare omonucleare unidimensionale in presenza di un campo di radiazione laser. Si è visto che quando l'energia del fotone è risonante con la differenza di energia tra i primi due stati, la densità di probabilità elettronica oscilla lentamente tra i due nuclei. Queste oscillazioni risultano sincrone con le modulazioni che subisce la radiazione emessa. Dall'analisi delle variazioni della radiazione emessa si possono dunque ottenere informazioni sulla distribuzione della nuvola elettronica nella molecola durante il tempo di operazione del laser.

- **Tomografia**

L'individuazione di tecniche per l'osservazione diretta del comportamento di molecole al fine di controllare le reazioni chimiche, i processi di dissociazione e frammentazione molecolare, in breve al fine di rendere accessibile all'osservazione diretta e al controllo il cuore stesso dei processi chimici, è di fondamentale importanza da un punto di vista teorico ma ovviamente anche applicativo. In questo contesto è stato proposto in letteratura un metodo di osservazione per tramite di due impulsi laser: il primo serve a preparare la molecola in qualche sovrapposizione di stati rotovibrazionali e il secondo ionizza la molecola e ne provoca la dissociazione per repulsione coulombiana dei nuclei (esplosione coulombiana). Si è visto che lo spettro energetico dei frammenti dell'esplosione può essere correlato con lo stato della molecola che, pertanto, risulta misurabile. Questa tecnica ha lo svantaggio evidente di distruggere l'oggetto da osservare.

La presenza di un campo laser fornisce un secondo metodo, non distruttivo, di osservazione in tempo reale della cinematica e della dinamica molecolare in presenza di radiazione attraverso la rivelazione della radiazione diffusa dalla molecola. L'idea fisica che sta dietro questo suggerimento (del candidato e del gruppo di ricercatori con cui collabora) risiede nel fatto che la radiazione emessa da una carica q è data dalla formula di Larmor in cui figura l'accelerazione che è una quantità dinamica locale. La radiazione emessa pertanto trasporta informazione sullo stato delle molecole. La ricerca originale svolta negli anni precedenti dal candidato ha messo in luce il fatto che alcune caratteristiche della radiazione emessa possono essere messe in stretta correlazione con il comportamento istantaneo delle cariche molecolari. In particolare si è visto che l'intensità delle linee armoniche non rimane costante nel tempo e che tali variazioni possono essere correlate temporalmente con le oscillazioni della funzione d'onda elettronica sotto l'influenza del campo laser. Il periodo di variazione dell'intensità delle linee armoniche dipende dall'intensità e dalla frequenza del campo esterno e dal tipo di sistema fisico in esame, sebbene esso sia in generale abbastanza lungo da poter essere misurato con le tecniche oggi disponibili nei laboratori di ricerca. L'osservazione delle oscillazioni delle onde elettromagnetiche permette, dunque, il monitoraggio in tempo reale del comportamento molecolare. Una tale possibilità è particolarmente rilevante dal momento che fornisce uno strumento di controllo delle reazioni chimiche proprio mentre avvengono. I risultati della ricerca sono di seguito esposti.

EF studia l'emissione di radiazione da un semplice modello di molecola eteronucleare. Si vede che la funzione d'onda elettronica oscilla da un nucleo all'altro con un periodo dell'ordine di circa 20 cicli ottici e pertanto misurabile con moderne tecniche sperimentali. Il risultato nuovo e sorprendente è che l'intensità delle righe armoniche oscilla in fase con la densità elettronica cosicché la determinazione delle oscillazioni dell'intensità delle righe dà informazioni sulla *posizione* dell'elettrone nella molecola.

Da quanto si è detto fino a ora risulta evidente che un elettrone emette radiazione di apprezzabile intensità quando si trova in zona di spazio in cui agisce un campo molto intenso che ne causa elevata accelerazione: la zona attiva di emissione è quella

nelle vicinanze dei nuclei atomici. Lo spettro di emissione può essere controllato regolando la velocità dell'elettrone e che la rivelazione di energia emessa dall'elettrone fornisce informazione sulla posizione dell'elettrone.

Per comprendere l'interscambio di energia fra gradi di libertà elettronici e gradi di libertà rotovibrazionali di una molecola EF studia la dinamica dello ione H_2^+ bidimensionale che interagisce con un impulso laser. Ancora una volta la dinamica dei nuclei è stata trattata classicamente mentre agli elettroni è stato riservato il trattamento completamente quantistico. Si osserva che l'asse della molecola, inizialmente non allineato al campo esterno, oscilla lentamente attorno alla direzione del campo; parimenti il moto vibrazionale dei nuclei viene eccitato. La radiazione emessa dalle cariche oscillanti presenta variazioni sincrone al moto pendolare dei nuclei sicché la rivelazione di tali variazioni fornisce informazioni sul moto della molecola. In

questo modo il ricercatore ha a disposizione un modo non distruttivo di monitoraggio della dinamica molecolare utile per il controllo di reazioni chimiche.

EF studia analiticamente e numericamente lo spettro emesso dallo ione molecolare H_2^+ sotto l'azione di un campo laser di durata lunga abbastanza da eccitare gradi di libertà vibrazionale della molecola. Viene notato che le linee armoniche sono circondate da righe satelliti separate dalla linea centrale della frequenza di vibrazione nucleare. In questo modo è possibile ottenere informazione diretta sui gradi di libertà interni della molecola: la generazione di armoniche di alto ordine risulta dunque uno dei più potenti mezzi di analisi spettroscopica oggi a disposizione. Vista l'importanza concettuale e pratica del risultato è stato necessario controllare che l'effetto fosse indipendente dal modello. Nella pubblicazione 68 viene mostrato che l'effetto permane anche quando viene usata una molecola neutra. Per mezzo di alcune ipotesi generali si riesce a ottenere una trattazione analitica della funzione d'onda di un atomo in presenza di un laser tenendo conto sia degli stati legati sia degli stati del continuo. La trattazione riesce particolarmente elegante e godibile anche per l'uso piuttosto raro dei polinomi di Chebyshev nell'espansione degli stati del continuo. La ricerca descritta è stata portata avanti per mezzo di tecniche numeriche sofisticate per la soluzione delle equazioni accoppiate per il moto nucleare ed elettronico nonché attraverso l'uso di analisi wavelet della radiazione prodotta di cui il nostro gruppo è stato pioniere.

- **Studio di nanoparticelle anche in presenza di forte radiazione laser**

Il carbonio si presenta in forma di allotropi di immenso valore di base e applicativo. Fullereni, grafene, nanotubi sono alcuni di questi allotropi che presentano simmetrie intrinseche interessantissime. Sfruttando queste simmetrie EF è stato in grado di calcolare con modelli molto semplici la emissione di armoniche da parte del fullerene a simmetria sferica e di nanoring. Gli stessi modelli sono in grado di prevedere la dimensione di allotropi sferici del carbonio energeticamente stabili.

- **Didattica della Fisica.**

EF ha pubblicato diversi lavori didattici in cui si propone la presentazione del concetto fondamentale di energia all'interno del problema delle fonti di approvvigionamento energetico. Tale approccio risulta più vicino alle tematiche di cui gli studenti sentono parlare e rende palatabile lo studio.

AMBITI DI RICERCA

Gli ambiti in cui si è sviluppata l'attività di ricerca sono:

1. Studio di sorgenti stellari emettenti forte radiazione X.
2. Teoria di collisioni atomiche con particolare riferimento al problema dello scambio di carica rilevanti nella fisica della fusione nucleare controllata.
3. Processi atomici e molecolari in presenza di campi elettromagnetici.
4. Studio analitico e numerico di problemi connessi con l'interazione di radiazione e materia.
5. Estrazione multifotonica di elettroni da metalli.
6. Generazione di armoniche d'alto ordine da parte di atomi e molecole interagenti con radiazione.
7. Wavelet e loro uso nella fisica atomica e molecolare.
8. Tomografia laser di semplici molecole.
9. Studio di nanoparticelle anche in presenza di forte radiazione laser.
10. Didattica della Fisica.
11. Geofisica.