

Valerio Rossi-Albertini
email: valerio@ism.cnr.it
on behalf of the SPARC/SPARX working group

Physics with the FEL

Joint Meeting LI2FE / SPARX

LNF-INFN, December 9th 2010

Introduction

- Brilliance (about 9 orders of magnitude higher than 3rd generation synchrotron radiation)
- Time resolution: FEL pulse duration ~ 100 fs
- Full spatial coherence
- Availability of the polychromatic spontaneous emission



SPARX-FEL

Scientific Case

Version 0.14

14 July 2009

Scientific Case

CONTENT

1	STUDY OF SPONTANEOUS UNDULATOR RADIATION FOR SPARX	9
2	ATOMIC AND MOLECULAR PROCESSES WITH SHORT AND INTENSE FEL PULSES	23
3	FEMTOSECOND X-RAY STRUCTURAL STUDIES IN CONDENSED MATTER	41
4	TIME RESOLVED RESONANT INELASTIC X-RAY SCATTERING (RIXS) AND RELATED EXPERIMENTS ON SOLID SAMPLES WITH FEL RADIATION AT SPARX	51
5	A PROPOSAL FOR THE EXTRACTION OF TERAHERTZ RADIATION FROM SPARX	59
6	FEL'S LIGHT INTO LIFE: THE VALUE OF SPARX FOR LIFE SCIENCES	69
7	TIME-RESOLVED ENERGY DISPERSIVE X-RAY DIFFRACTION EXPERIMENTS	95
8	COHERENT X-RAY DIFFRACTION WITH SPARX	111
9	X-RAY SPECKLE METHODS	119
10	ADVANCED PLASMA PHYSICS STUDIES WITH X-FEL PULSES	127
11	ULTRAFAST X-RAY SPECTROSCOPY AND SCATTERING EXPERIMENTS ON LIQUIDS AND SOLIDS SYSTEMS AT SPARX	133

1 STUDY OF SPONTANEOUS UNDULATOR RADIATION FOR SPARX

E. Chiadroni, LNF- INFN

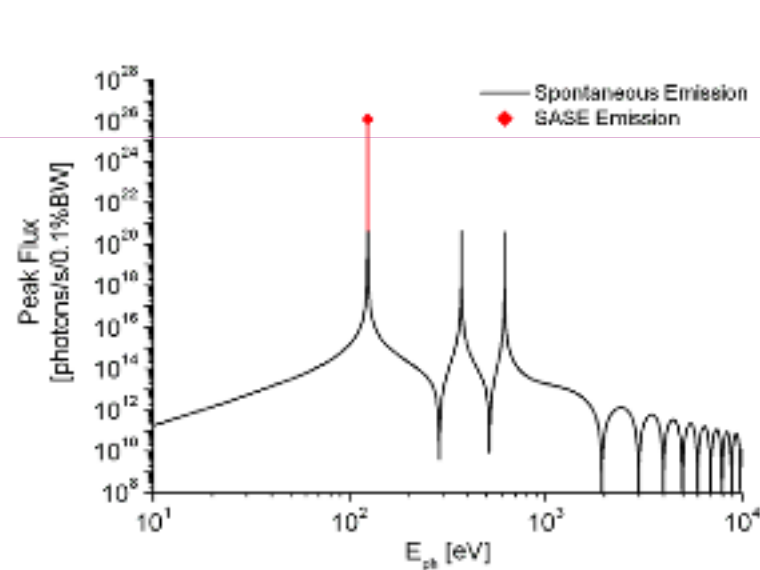


Figure 3: On-axis peak flux of the spontaneous VUV-EUV undulator radiation for the first three harmonics compared to the on-axis peak flux of the SASE emission at the fundamental wavelength, i.e. 10 nm.

2 ATOMIC AND MOLECULAR PROCESSES WITH SHORT AND INTENSE FEL PULSES

*P. Bolognesi, R. Flammini, P. O'Keeffe and L. Avaldi
CNR-Istituto di Metodologie Inorganiche e dei Plasmi
Area della Ricerca di Roma 1, CP 10, 00016 Monterotondo Scalo*

*S. Turchini, D. Catone, G. Contini, N. Zema, T. Prosperi
CNR-Istituto di Struttura della Materia
Area della Ricerca di Roma 2
Via Fosso del Cavaliere, Roma*

*P. Franceschi
Fondazione Edmund Mach
Via Edmund Mach 1, 38010 San Michele all'Adige, Trento*

*V. Feyer, K.C. Prince
Sincrotrone Trieste, Area Science Park
Basovizza, Trieste*

*P. DeCleva e M. Stener
Dipartimento di Scienze Chimiche
Università degli Studi di Trieste, Trieste*

Main proposers : L. Avaldi and S. Turchini

3 FEMTOSECOND X-RAY STRUCTURAL STUDIES IN CONDENSED MATTER

F. Boscherini

Physics Department, University of Bologna, viale C. Berti Pichat 6/2, 40127 Bologna, Italy

M. DeCrescenzi

Physics Department, University of Rome "Tor Vergata",
Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Roma, Italy

S. Mobilio

Physics Department, University of Roma TRE, via della Vasca Navale 84,
10046 Roma, Italy

4 TIME RESOLVED RESONANT INELASTIC X-RAY SCATTERING (RIXS) AND RELATED EXPERIMENTS ON SOLID SAMPLES WITH FEL RADIATION AT SPARX

Giacomo Ghiringhelli, Ettore Carpene, Claudia Dallera, Lucio Braicovich

CNR/INFM ULTRAS and Dipartimento di Fisica - Politecnico di Milano, Italy

5 A PROPOSAL FOR THE EXTRACTION OF TERAHERTZ RADIATION FROM SPARX

Main proposers:

P. Calvani, A. Nucara, and S. Lupi

Dipartimento di Fisica, Università di Roma

La Sapienza, Piazzale Aldo Moro 2, I-00185 Rome, Italy

Associate proposers:

M. Ortolani

CNR-Istituto di Fotonica e Nanotecnologie, Via Cineto Romano 42,

I-00156 Rome, Italy

G. P. Gallerano and A. Doria

ENEA, Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali, Via Enrico

Fermi 45 I-00044 Frascati, Italy

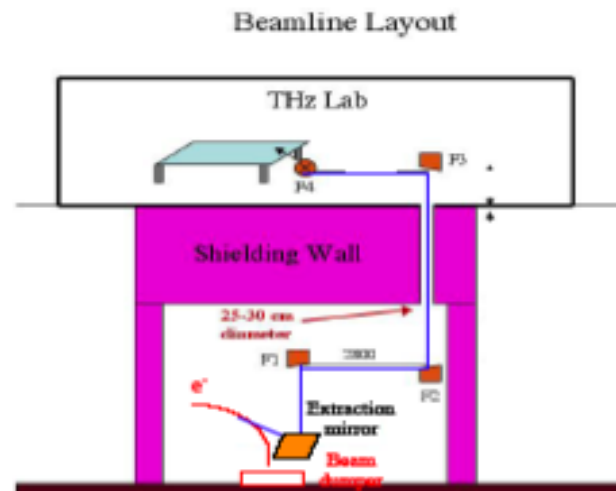


Figure 1: Schematic layout of the THz beamline. It originates from the bending magnet before the beam-dumper and it is located in the hall above the undulators

6 FEL'S LIGHT INTO LIFE: THE VALUE OF SPARX FOR LIFE SCIENCES

Stefania Alleva⁽¹⁾, Fabio Arnesano⁽²⁾, Alessandro Arcovito⁽³⁾, Giuseppe Arcovito⁽⁴⁾, Martino Bolognesi⁽⁵⁾, Vincenza Calò⁽²⁾, Giuseppe Chirico⁽⁶⁾, Maddalena Collini⁽⁶⁾, Agostina Congiu Castellano⁽⁷⁾, Enrico Dainese⁽⁸⁾, Liberato De Caro⁽⁹⁾, Stefano Della Longa⁽¹⁰⁾, Marco De Spirito⁽⁴⁾, Cinzia Giannini⁽⁹⁾, Vincenzo Lombardi⁽¹¹⁾, Maurizio Losacco⁽²⁾, Paolo Mariani⁽¹²⁾, Velia Minicozzi⁽¹⁾, Silvia Morante⁽¹⁾, Maurizio Paci⁽¹³⁾, Massimiliano Papi⁽⁴⁾, Emanuele Pontecorvo⁽⁷⁾, Alessia Quatela⁽⁷⁾, Massimo Reconditi⁽¹¹⁾, Nicola Rosato⁽¹⁴⁾, Giancarlo Rossi⁽¹⁾, Annalaura Sabatucci⁽⁸⁾, Tullio Scopigno⁽¹²⁾, Francesco Spinozzi⁽¹²⁾, Francesco Stellato⁽¹⁾, Giuseppe Zanotti⁽¹⁵⁾

BioFel Collaboration

⁽¹⁾ Dipartimento di Fisica Università di Roma "Tor Vergata" and INFN Sezione di Roma "Tor Vergata" Via della Ricerca Scientifica, 00133 Roma, Italia.

⁽²⁾ Dipartimento Farmaco-Chimico, Università di Bari "A. Moro", Via E. Orabona 4, 70125 Bari, Italia.

⁽³⁾ Istituto di Biochimica e Biochimica Clinica, Università Cattolica del Sacro Cuore, L.go F. Vito 1 00167 Roma, Italia.

⁽⁴⁾ Istituto di Fisica, Università Cattolica S. Cuore, L.go F. Vito, 1, 00168 - Roma, Italia.

⁽⁵⁾ Dipartimento di Scienze Biomolecolari e Biotecnologia, Università di Milano, Via Celoria 26, 20131 Milano, Italia.

⁽⁶⁾ Dipartimento di Fisica, Università di Milano Bicocca, Piazza della Scienza 3, 20126 Milano, Italia.

⁽⁷⁾ Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza, Piazz.le A. Moro 2, 00185 Roma, Italia.

⁽⁸⁾ Dipartimento di Scienze Biomediche, Università di Teramo, Piazza A. Moro 45, 64100 Teramo Italia.

⁽⁹⁾ Istituto di Cristallografia, CNR, via Amendola 122/O Bari, Italia.

⁽¹⁰⁾ Dipartimento di Medicina Sperimentale, Università dell' Aquila, via Vetoio loc. Coppito II, 67100 L' Aquila, Italia.

⁽¹¹⁾ Laboratorio di Fisiologia, Dipartimento di Biologia Evoluzionistica, Università di Firenze, Via Sansone 1, 50019 Sesto Fiorentino, Italia.

⁽¹²⁾ Dipartimento SAIFET, Sezione di Scienze Fisiche Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italia.

⁽¹³⁾ Dipartimento di Chimica Università di Roma "Tor Vergata" Via della Ricerca Scientifica, 00133 Roma, Italia.

⁽¹⁴⁾ Centro NAST, Nanoscienze & Nanotecnologie & Strumentazione, Via della Ricerca Scientifica, 00133 Roma, Italia, and Dipartimento di Medicina Sperimentale e Scienze Biochimiche, Università di Roma "Tor Vergata", Via Montpellier 1, 00133 Roma, Italia.

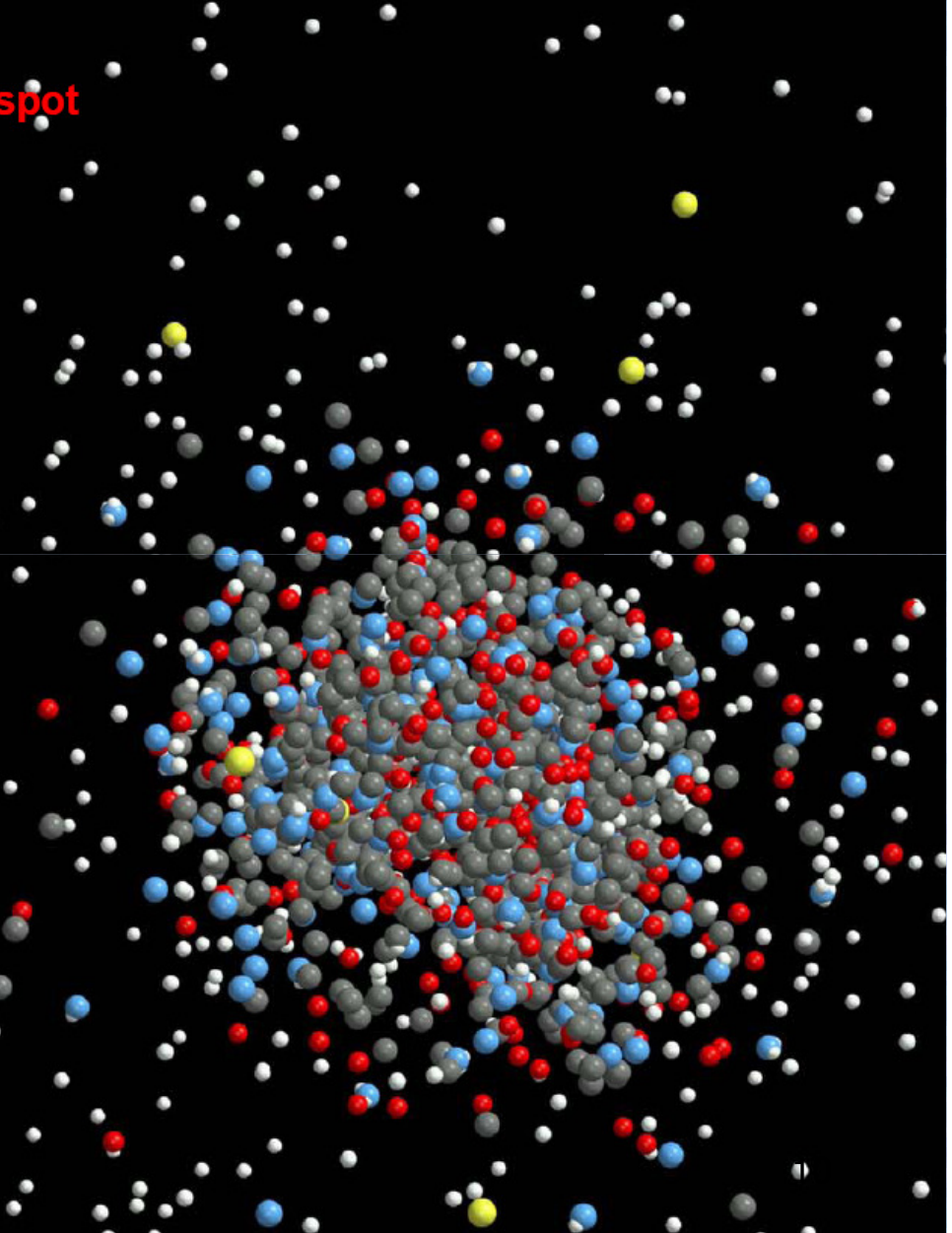
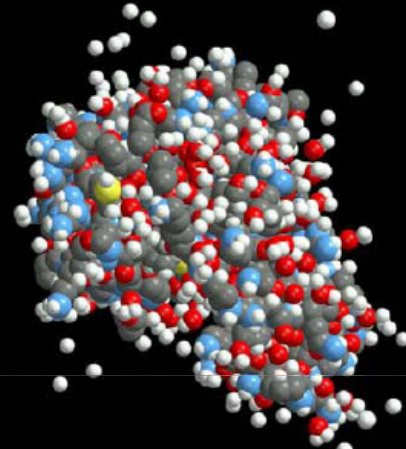
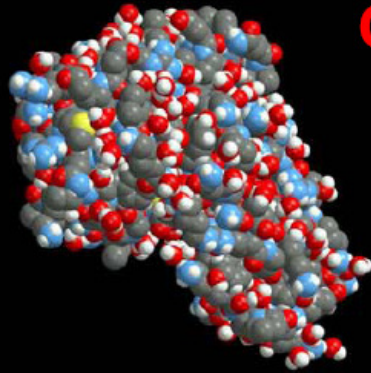
⁽¹⁵⁾ Dipartimento di Chimica Biologica, Università di Padova, Viale G. Colombo 3, 35121 Padova, Italia.

*To whom correspondence should be addressed.

Coulomb Explosion of Lysozyme

Coulomb explosion of a small protein (lysozyme)

50 fs
 3×10^{12} photons/100 nm spot
12 keV



Radiation damage
interferes with atomic
scattering factors and
atomic positions

Neutz

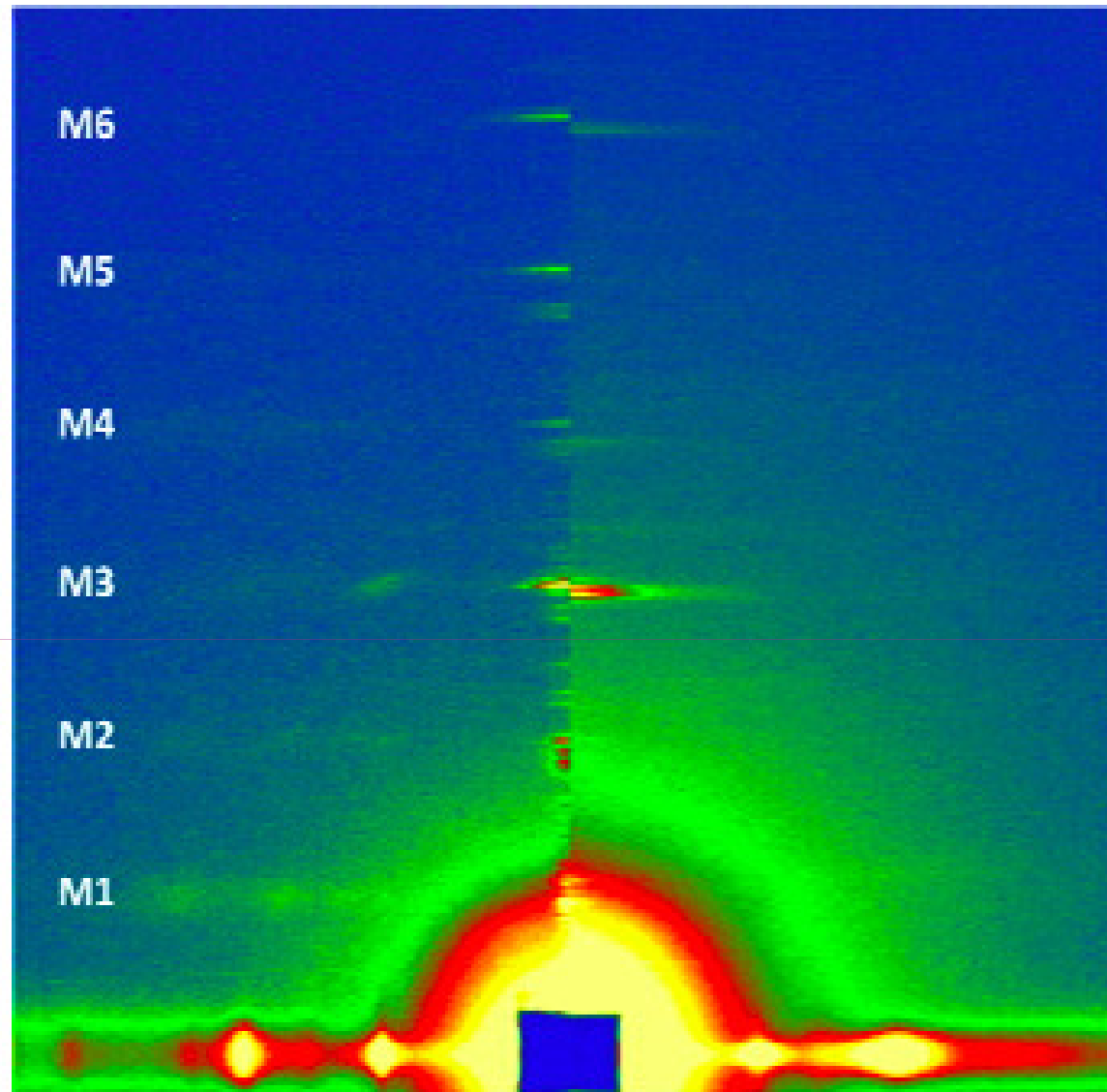


Figure 2: High resolution X-ray diffraction patterns from a single fibre from frog skeletal muscle at rest (left) and during isometric contraction (right). The patterns have been collected on a CCD detector at the BioCAT beamline of the Advanced Photon Source, Argonne IL, USA. The

7 TIME-RESOLVED ENERGY DISPERSIVE X-RAY DIFFRACTION EXPERIMENTS

Valerio Rossi Albertini¹, Barbara Paci¹, Paolo Perfetti¹, Giorgio Contini¹,
Julietta Rau¹, Amanda Generosi¹, Alessandro Isopo¹, Daniele Bailo¹, Marco
Fosca¹, Claudio Quaresima¹, Stefano Lagomarsino², Alessia Cedola², Antonio
Brunetti³

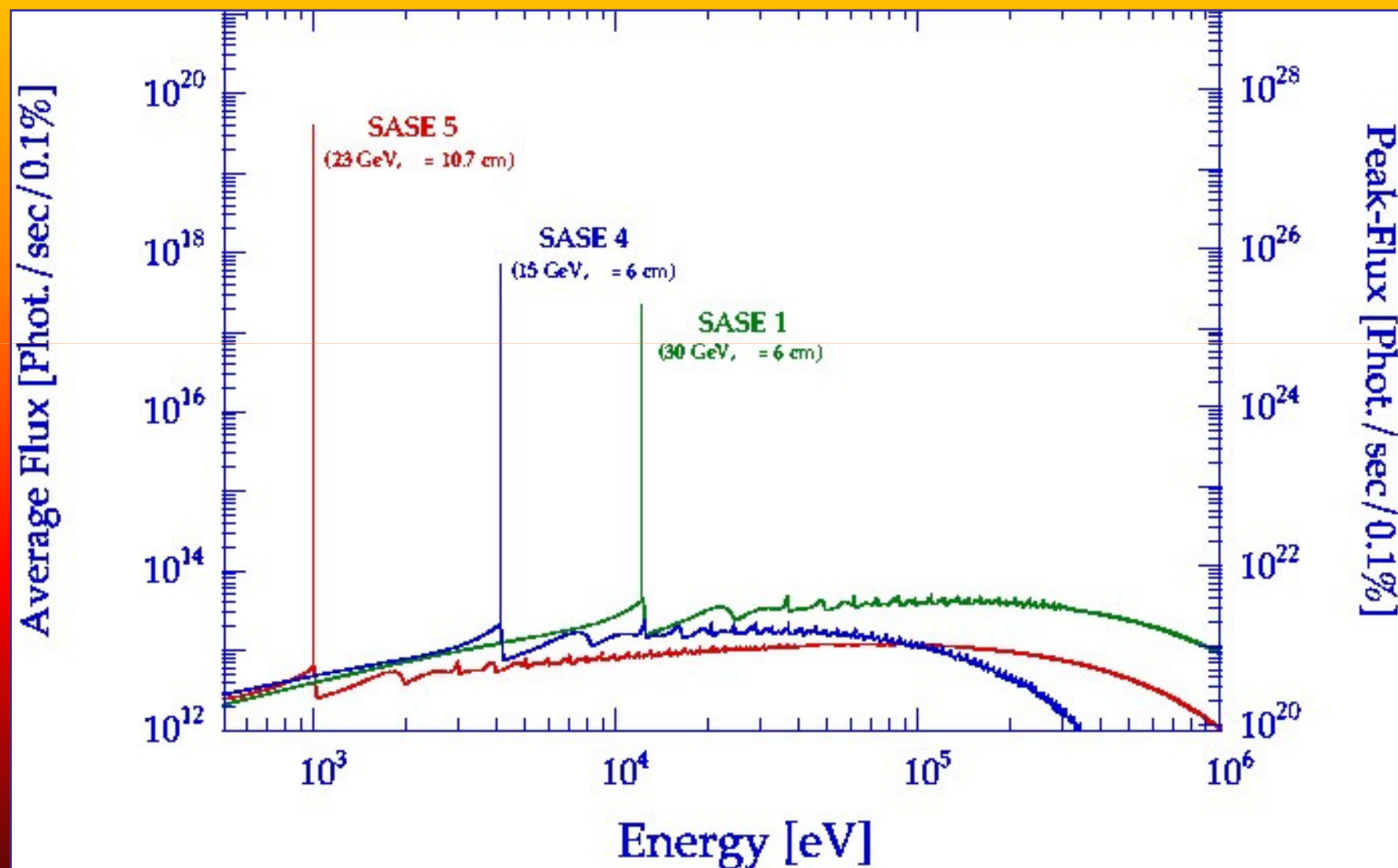
* main proposer and contact person

1) *Istituto di Struttura della Materia - CNR, Area della Ricerca di Tor Vergata,
Via Fosso del Cavaliere 100, 00133 Roma*

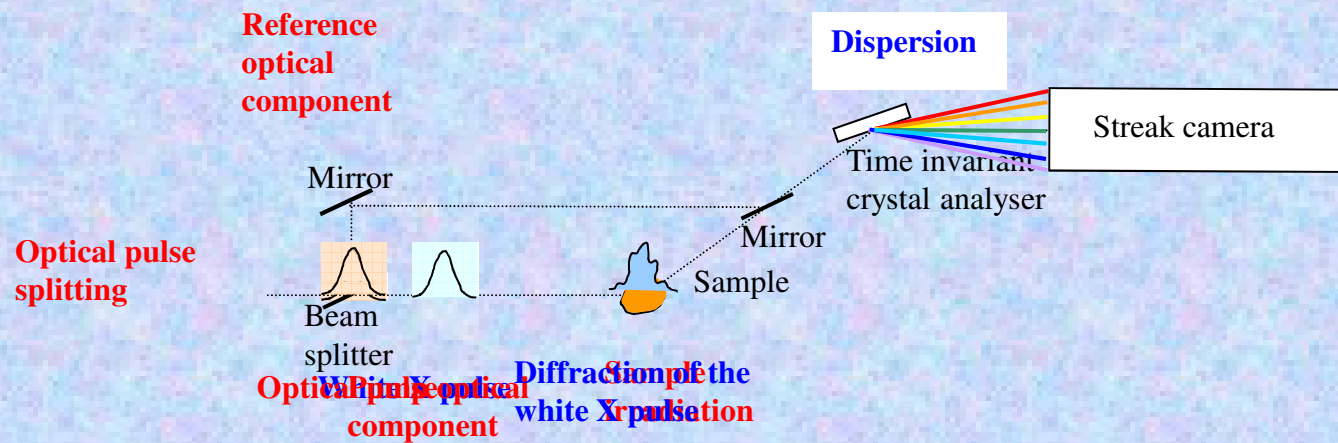
2) *Istituto di Fotonica e Nanotecnologie - CNR, Via Cineto Romano 42, 00156
Roma*

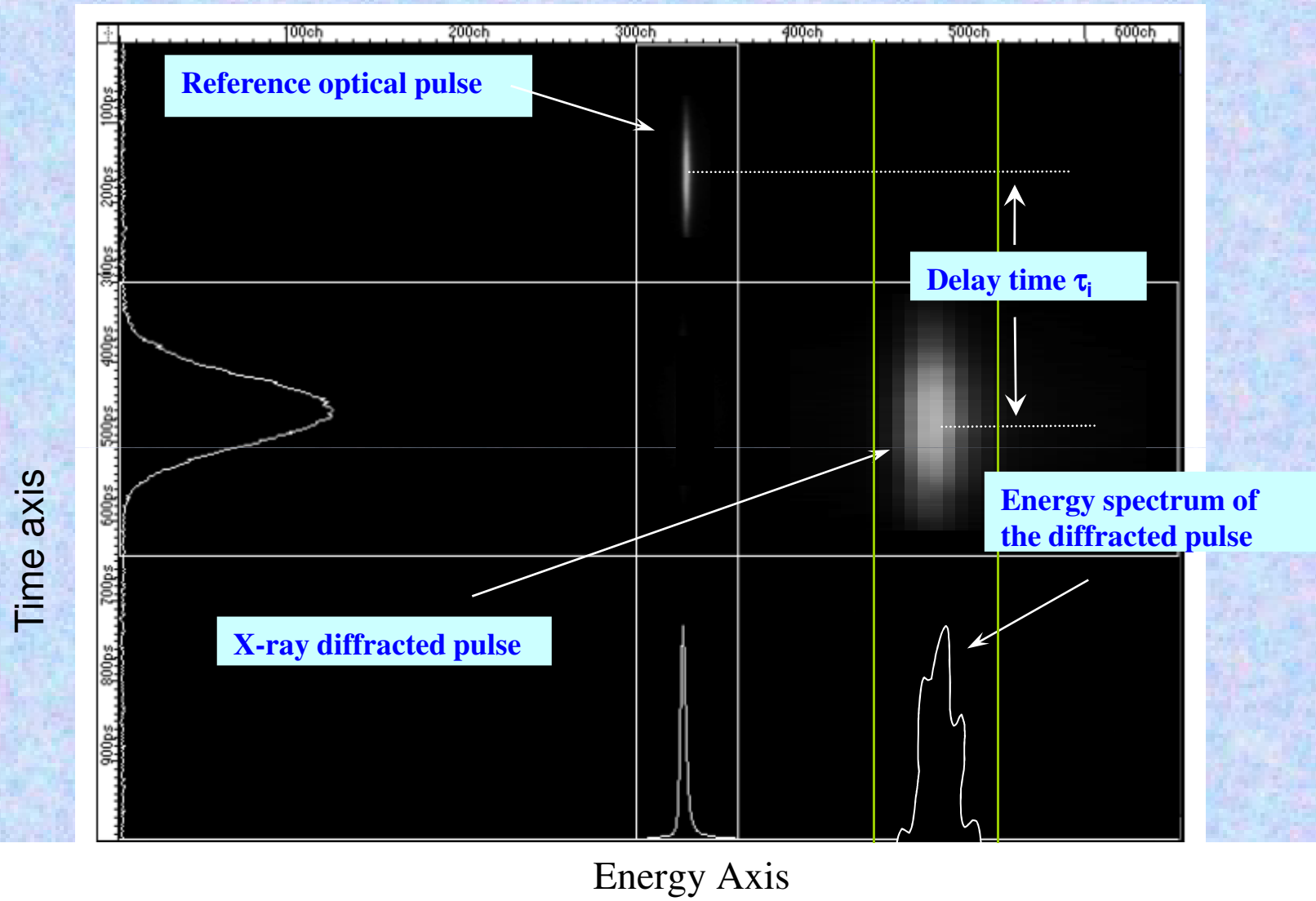
3) *Struttura Dipartimentale Matematica e Fisica, Università Sassari, via
Vienna 2, 07100 Sassari*

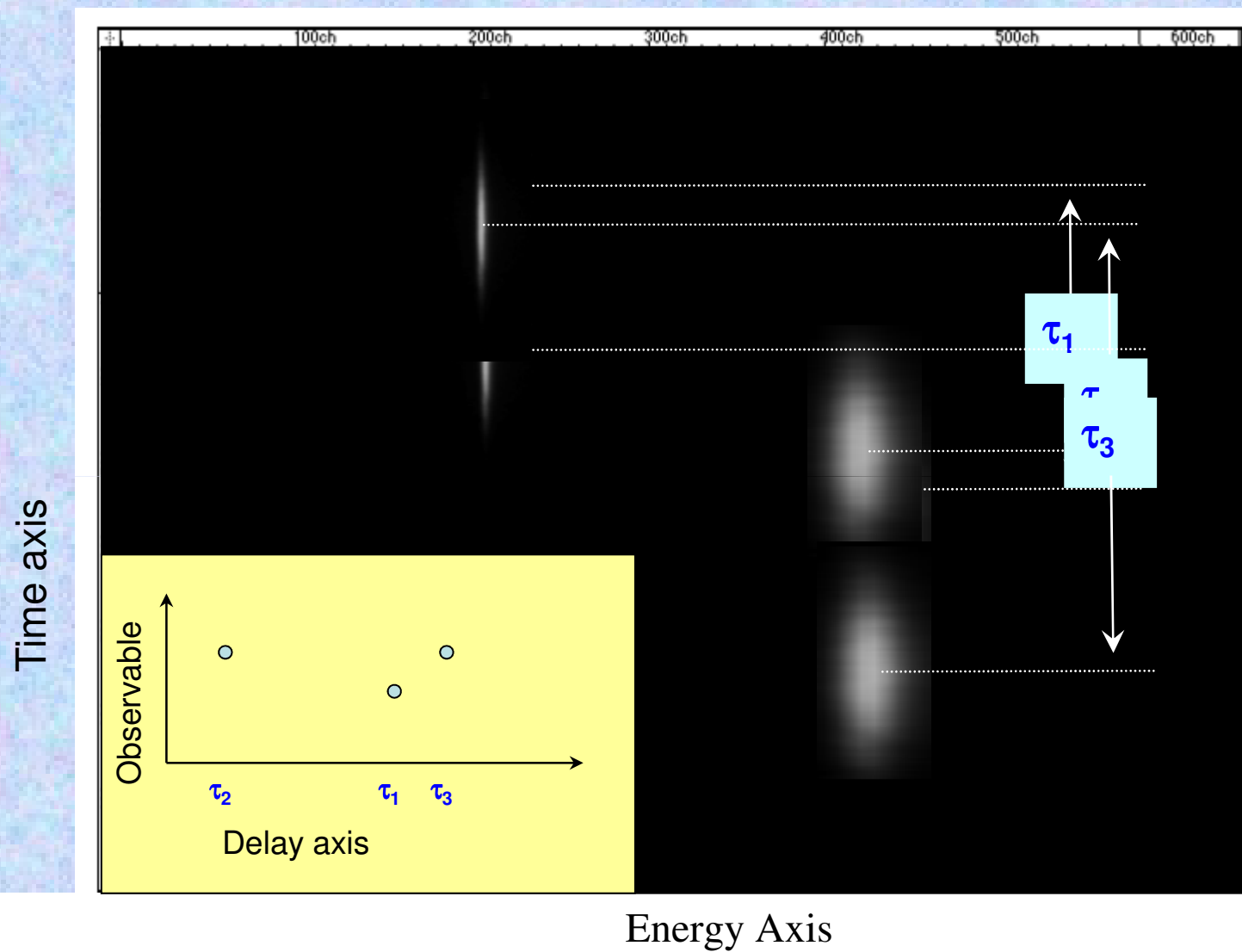
FEL monochromatic lines are superimposed to a strong white background (graph from DESY website)



Schematic setup of the experiment







The delay time τ is to be considered as a **random variable**. The only constrain is that t must be shorter than the sweep time of the streak camera (otherwise the two pulses cannot be both visualized in a single scan).

Therefore, instead of fixing τ **deterministically and *a priory***, for instance through a delay line, it is **measured *a posteriori*** as the sampling of a **stochastic variable** (like in the Montecarlo method).

In this way, the τ -space is progressively populated by repeating many times the diffraction experiment (construction of the ensemble of events by many repetitions of the experiment).

By fitting or deconvolving the spots produced by the two pulses (shorter than the resolution time of the streak camera), a **higher temporal resolution** on t than that of the streak camera can be obtained!!!

Where's the trick???

We already know the FEL pulse shape in the time domain:

It does not have to be measured by the streak camera...

The pulse distribution in the time domain is δ -like.

Therefore, what actually appears on the streak camera monitor is the transfer function of the camera itself, which can be fully characterized prior to the experiment

8 COHERENT X-RAY DIFFRACTION WITH SPARX

I. Bukreeva ^{a)}, A. Cedola ^{a)}, S. Lagomarsino ^{a)}, L. Poletto ^{b)}, V. Rossi Albertini ^{c)}, F. Scarinci ^{a)} G. Tondello ^{b)}

a) IFN-CNR - Via Cineto Romano, 42 00156 Roma

b) LUXOR - Laboratory for UV and X-Ray Optical Research c/o Department of Information Engineering, V. Gradenigo 6/B 35131 Padova (Italy)

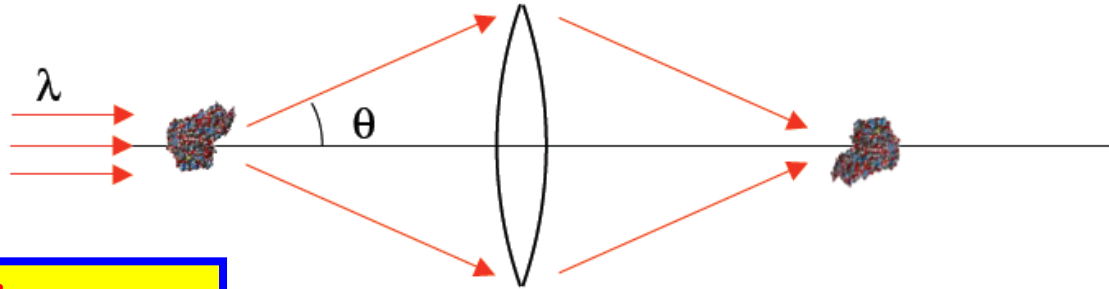
c) ISM-CNR - Via del Fosso del Cavaliere , Roma, Italy

9 X-RAY SPECKLE METHODS

Proposers: Marzio Giglio, Marco Potenza, Matteo Alaimo

Affiliation: University of Milan

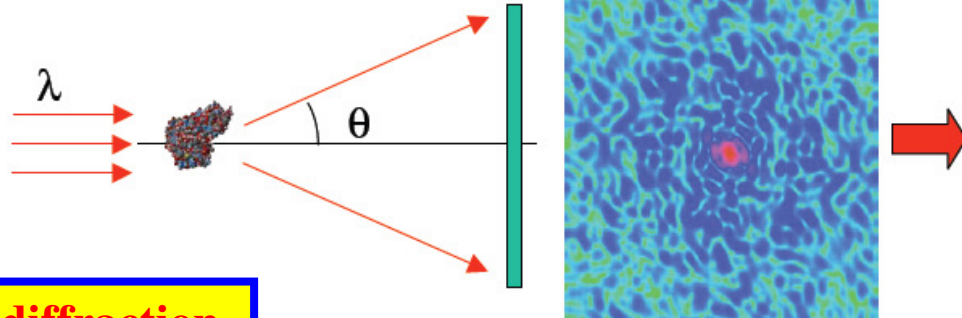
Difference between coherent imaging techniques. Microscopy, coherent diffraction, holografy.



microscopy

La lente ricombina i raggi diffusi preservandone la relazione di fase e restituendo l'immagine dell'oggetto

Vincoli sull'oggetto



diffraction

Un algoritmo calcola le fasi in accordo con le informazioni note a priori

Single Molecule Imaging by X-ray Heterodyne

T. Shintake, PR-E 78, 041906 (2008)

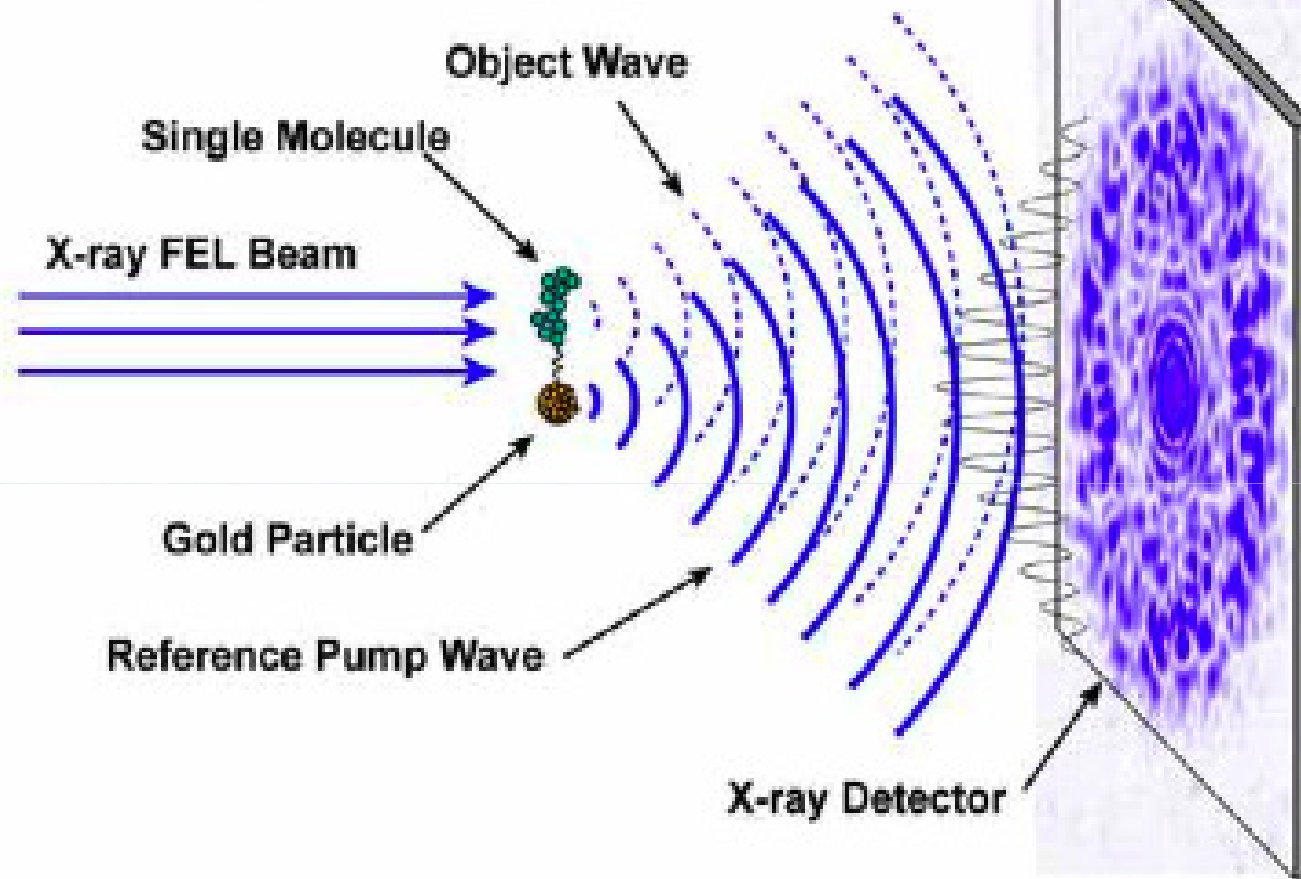


Figure 1. Principle of holographic microscopy of single peptides. The protein is linked to an amorphous gold particle that provide a reference spherical wave for the holographic recording of the diffracted X-ray FEL beam (with kind permission of T.Shintake).

10 ADVANCED PLASMA PHYSICS STUDIES WITH X-FEL PULSES

Danilo Giulietti ^{1,2,3}, Antonio Giulietti ^{2,3}, Leonida A. Gizzi ^{2,3}

1) Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa, Italy

2) IPCF-CNR, Pisa

3) Sezione INFN, Pisa

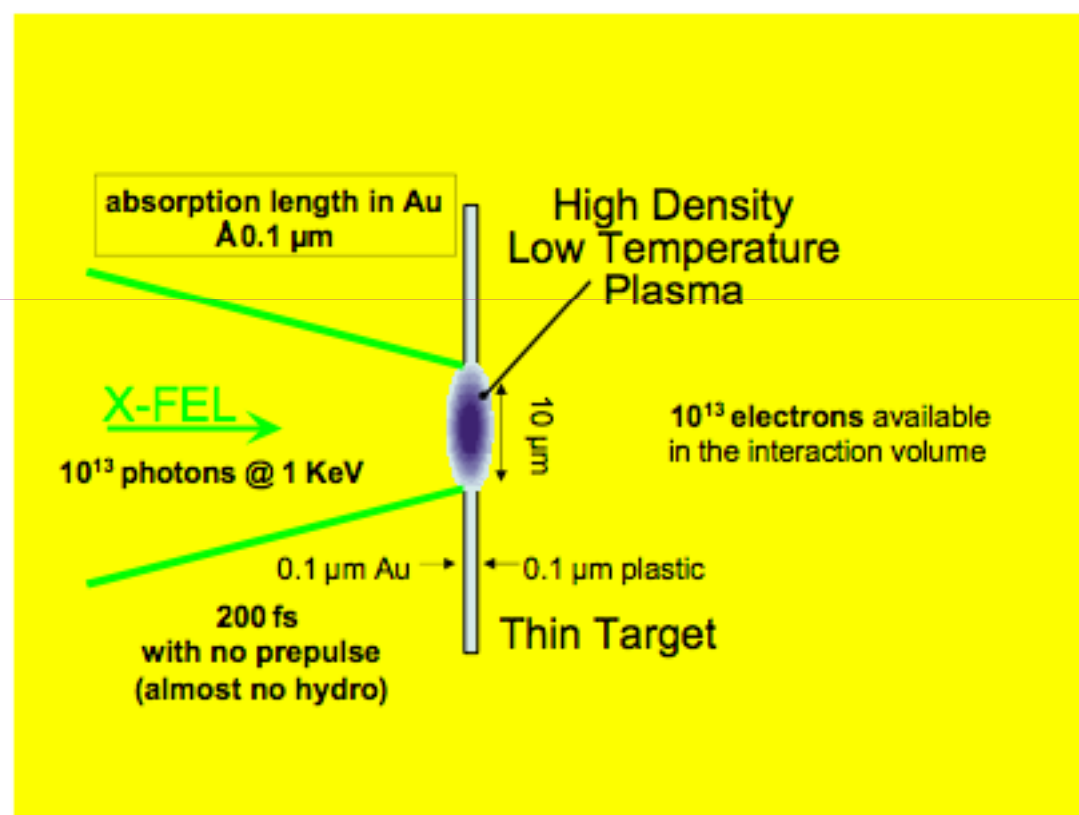


Figure 1. Laminar dense plasma produced by a X-FEL pulse. High density low temperature plasmas. Studies of transport phenomena in degenerate plasmas.

11 ULTRAFAST X-RAY SPECTROSCOPY AND SCATTERING EXPERIMENTS ON LIQUIDS AND SOLIDS SYSTEMS AT SPARX

M. Pedio, B. A. Davidson, R. Gotter, G. C. Panaccione,
TASC National Laboratori CNR-INFM Trieste

C. Mariani, G. Ruocco
Università di Roma La Sapienza

C. Masciovecchio, F. Bencivenga
Sincrotrone Trieste

A. Di Cicco
Università di Camerino

A. Filipponi
Univesrsità dell'Aquila

M.A. Malvezzi,
Dipartimento di Elettronica, Università degli Studi di Pavia

L. Poletto
LUXOR (Padova)

M. Chergui
Ecole Polytechnique Fédérale EPFL de Lausanne

M. Benfatto
LNF-INFN

Where we are (in 2009): tentative time schedule

- 2008 TdR completed
- 2009 Scientific Case completed
- 2010 beginning of the building
- 2011 infrastructures
- 2012 assembling of the components
- 2013 commissioning and first test experiments
- 2014 full operation of the machine
(phase I, VUV)

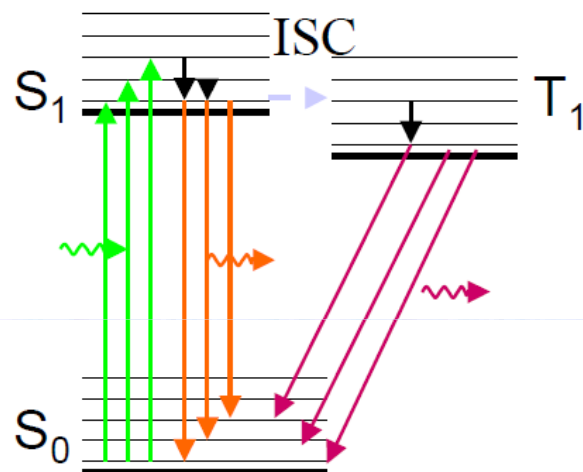
A proposal may be to further enhance one of the properties of FELs, for instance its **time resolution**

Electronic transitions are regarded as **instantaneous** on the time scale of atomic motions (Bohr-Oppenheimer approximation)

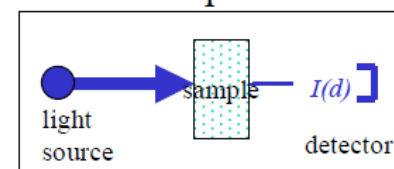
This holds for studies carried out with current FEL pulses. However, 5th generation FELs might reach the **sub-femtosecond** regime, allowing a direct observation of electronic rearrangements.

Electronic Transitions

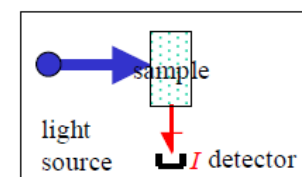
Jablonski
Diagram:



Absorption:



Fluorescence / Raman



How do we study these transitions?

- we need*
- 1. light source
 - 2. detector
 - 3. spectral resolution

Acknowledgments

M.	Alaimo	University of Milan
S.	Alleva	Dipartimento di Fisica Università di Roma "Tor Vergata" and INFN
A.	Arcovito	Istituto di Biochimica e Biochimica Clinica, Università Cattolica del Sacro Cuore
G.	Arcovito	Istituto di Fisica, Università Cattolica S. Cuore
F.	Arnesano	Dipartimento Farmaco-Chimico, Università di Bari "A. Moro"
L.	Avaldi	CNR-Istituto di Metodologie Inorganiche e dei Plasmi
F.	Bencivenga	Sincrotrone Trieste
M	Benfatto	Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Frascati
M.	Bolognesi	Dipartimento di Scienze Biomolecolari e Biotecnologia, Università di Milano
P.	Bolognesi	CNR-Istituto di Metodologie Inorganiche e dei Plasmi
F.	Boscherini	Physics Department, University of Bologna,
L.	Braicovich	CNR/INFN ULTRAS and Dipartimento di Fisica - Politecnico di Milano
I.	Bukreeva	IFN-CNR
V.	Calò	Dipartimento Farmaco-Chimico, Università di Bari "A. Moro"
P.	Calvani	Dipartimento di Fisica, Università di Roma
E.	Carpene	CNR/INFN ULTRAS and Dipartimento di Fisica - Politecnico di Milano
A.C.	Castellano	Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza
D.	Catone	CNR-Istituto di Struttura della Materia
A.	Cedola	IFN-CNR
M.	Chergui	Ecole Polytechnique Fédérale EPFL de Lausanne
E.	Chiadroni	LNF- INFN
G.	Chirico	Dipartimento di Fisica, Università di Milano Bicocca
M.	Collini	Dipartimento di Fisica, Università di Milano Bicocca
G.	Contini	CNR-Istituto di Struttura della Materia
E.	Dainese	Dipartimento di Scienze Biomediche, Università di Teramo
C.	Dallera	CNR/INFN ULTRAS and Dipartimento di Fisica - Politecnico di Milano
B.A.	Davidson,	TASC National Laboratori CNR-INFN Trieste
L.	De Caro	Istituto di Cristallografia, CNR
M.	De Spirito	Istituto di Fisica, Università Cattolica S. Cuore
P.	DeCleva	Dipartimento di Scienze Chimiche
M.	DeCrescenzi	Physics Department, University of Rome "Tor Vergata",

S.	Della Longa	Dipartimento di Medicina Sperimentale, Università dell' Aquila
A.	Di Cicco	Università di Camerino
A.	Doria	ENEA, Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali,
V.	Feyer	Sincrotrone Trieste, Area Science Park
A.	Filipponi	Univesrsità dell'Aquila
R.	Flammini	CNR-Istituto di Metodologie Inorganiche e dei Plasmi
P.	Franceschi	Fondazione Edmund Mach
G.P.	Gallerano	ENEA, Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali,
G.	Ghiringhelli	CNR/INFM ULTRAS and Dipartimento di Fisica - Politecnico di Milano
C.	Giannini	Istituto di Cristallografia, CNR
M.	Giglio	University of Milan
A.	Giulietti	Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa
D.	Giulietti	Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa
L.A.	Gizzi	Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa
R.	Gotter	TASC National Laboratori CNR-INFM Trieste
M.S.	Kapetanaki	Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza",
S.	Lagomarsino	IFN-CNR
V.	Lombardi	Laboratorio di Fisiologia, Dipartimento di Biologia Evoluzionistica, Università di Firenze
M.	Losacco	Dipartimento Farmaco-Chimico, Università di Bari "A. Moro"
S.	Lupi	Dipartimento di Fisica, Università di Roma
M.A.	Malvezzi	Dipartimento di Elettronica, Università degli Studi di Pavia
P.	Mariani	Dipartimento SAIFET, Sezione di Scienze Fisiche Università Politecnica delle Marche, Ancona
C.	Mariani,	Università di Roma La Sapienza
C.	Masciovecchio	Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza",
C.	Masciovecchio,	Sincrotrone Trieste
V.	Minicozzi	Dipartimento di Fisica Università di Roma "Tor Vergata" and INFN
S.	Mobilio	Physics Department, University of Roma TRE
S.	Morante	Dipartimento di Fisica Università di Roma "Tor Vergata" and INFN
A.	Nucara	Dipartimento di Fisica, Università di Roma
P.	O'Keeffe	CNR-Istituto di Metodologie Inorganiche e dei Plasmi
M.	Ortolani	CNR-Istituto di Fotonica e Nanotecnologie
M.	Paci	Dipartimento di Chimica Università di Roma "Tor Vergata"

G.C.	Panaccione	TASC National Laboratori CNR-INFM Trieste
M.	Papi	Istituto di Fisica, Università Cattolica S. Cuore
M.	Pedio	TASC National Laboratori CNR-INFM Trieste
L.	Poletto	LUXOR - Laboratory for UV and X-Ray Optical Research
E.	Pontecorvo	Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza
M.	Potenza	University of Milan
K.C.	Prince	Sincrotrone Trieste, Area Science Park
T.	Prosperi	CNR-Istituto di Struttura della Materia
A.	Quatela	Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza
M.	Reconditi	Laboratorio di Fisiologia, Dipartimento di Biologia Evoluzionistica, Università di Firenze
N.	Rosato	Centro NAST, Nanoscienze & Nanotecnologie & Strumentazione
G.	Rossi	Dipartimento di Fisica Università di Roma "Tor Vergata" and INFN
V.	Rossi Albertini	ISM-CNR
G.	Ruocco	Università di Roma La Sapienza
A.	Sabatucci	Dipartimento di Scienze Biomediche, Università di Teramo
F.	Scarinci	ISM-CNR
T.	Scopigno	Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza",
T.	Scopigno	Dipartimento SAIFET, Sezione di Scienze Fisiche Università Politecnica delle Marche, Ancona
F.	Spinozzi	Dipartimento SAIFET, Sezione di Scienze Fisiche Università Politecnica delle Marche, Ancona
F.	Stellato	Dipartimento di Fisica Università di Roma "Tor Vergata" and INFN
M.	Stener	Dipartimento di Scienze Chimiche
L.	Tondello	ISM-CNR
S.	Turchini	CNR-Istituto di Struttura della Materia
G.	Zanotti	Dipartimento di Chimica Biologica, Università di Padova
N.	Zema	CNR-Istituto di Struttura della Materia