

γ -RESIST

(γ -Ray Emitter from SelfInjected Thomson Scattering)

Leonida A. Gizzi
INO-CNR and INFN, Pisa



Pisa, Bologna, Catania, Napoli

Indice

- Introduzione
- Scattering Thomson
- Stato esperimento
- Richieste

γ -sources (LINAC based) - Scenario



0.3 to 1 MeV
10 photons/eV/s
5% bandwidth

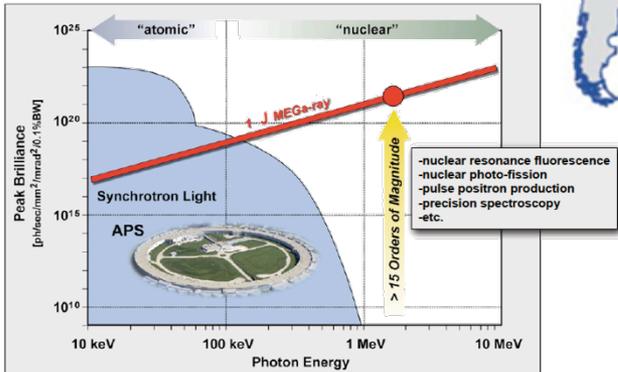
LLNL's T-REX: NRF detection of Li behind Pb and Al shielding

5.7 MeV
10 photons/eV/s
10% bandwidth

JAEA & AIST: NRF detection of Pb enclosed in Fe shielding

2 to 20 MeV
75 photons/eV/s
10% bandwidth

Duke's HIGS: NRF spectroscopy and detection studies of Pu & U

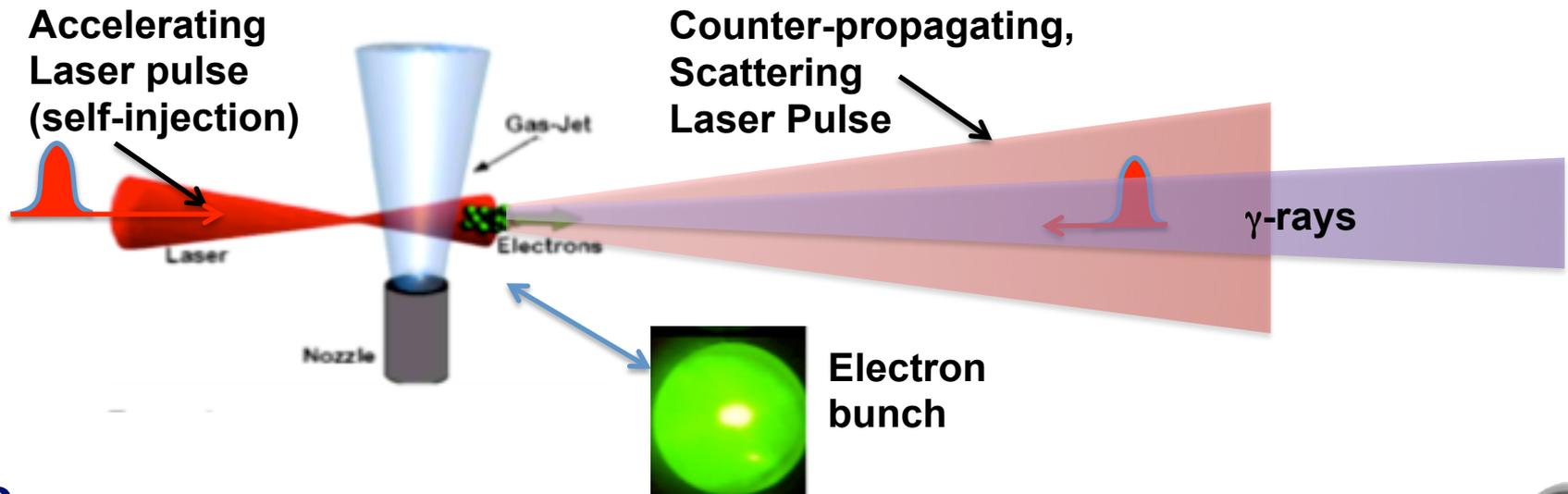


“All-optical” approach

Use electrons from laser-plasma acceleration

Electron bunches from laser wakefield acceleration with self-injection:

- Use existing GeV scale, self-injection configuration;
- Tunable using colliding pulse configuration¹
- Ultrashort bunch and ultrashort laser means ultrashort γ -ray source;
- Bremsstrahlung source readily available²;
- Potential for very compact MeV source compared to RF based config.



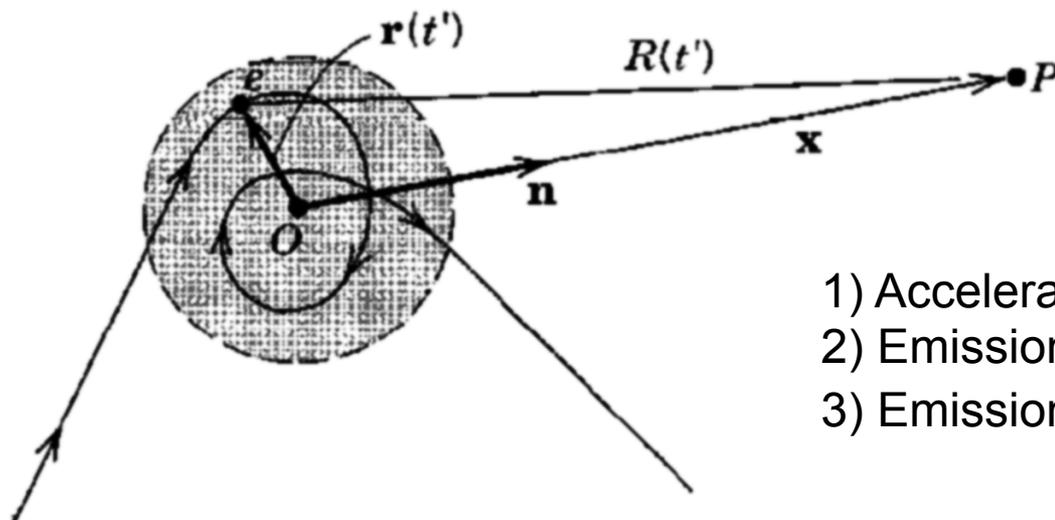
¹J. Faure *et al.*, Nature **444**, 737 (2006)

²A. Giulietti *et al.*, Phys. Rev. Lett., 101, 105002 (2008)

Radiation emission

Basic ingredients: a) relativistic electrons and
b) device to change their trajectory

$$\frac{dI^2}{d\Omega d\omega} = \frac{e^2}{4\pi^2 c} \left| \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\mathbf{n} \times [(\mathbf{n} - \boldsymbol{\beta}) \times \dot{\boldsymbol{\beta}}]}{(1 - \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{n})^2} e^{i\omega(t - \mathbf{n} \cdot \mathbf{r}(t)/c)} dt \right|^2$$

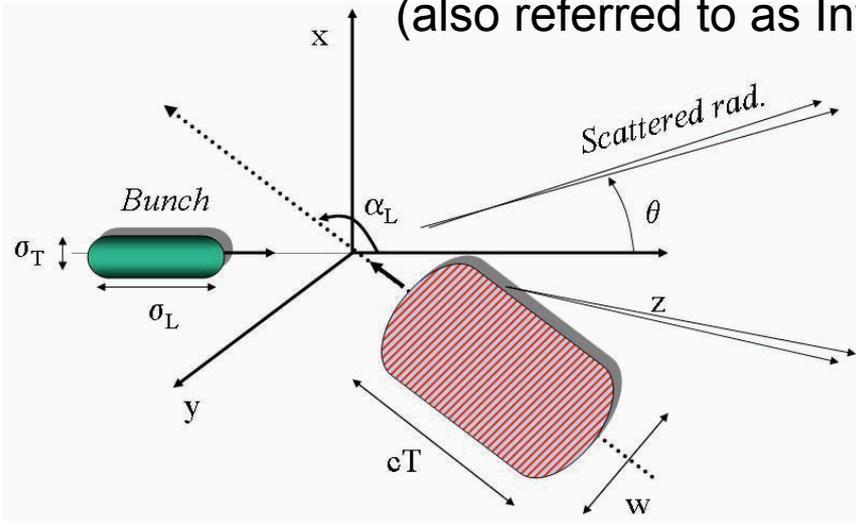


- 1) Acceleration \Leftrightarrow Emission;
- 2) Emission increases as $\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{n} \rightarrow 1$
- 3) Emission in the direction of $\boldsymbol{\beta}$

THOMSON Scattering: relativistic case

Scattering of electromagnetic radiation incident on a relativistic particle of charge e and mass m :

(also referred to as Inverse Compton Scattering)

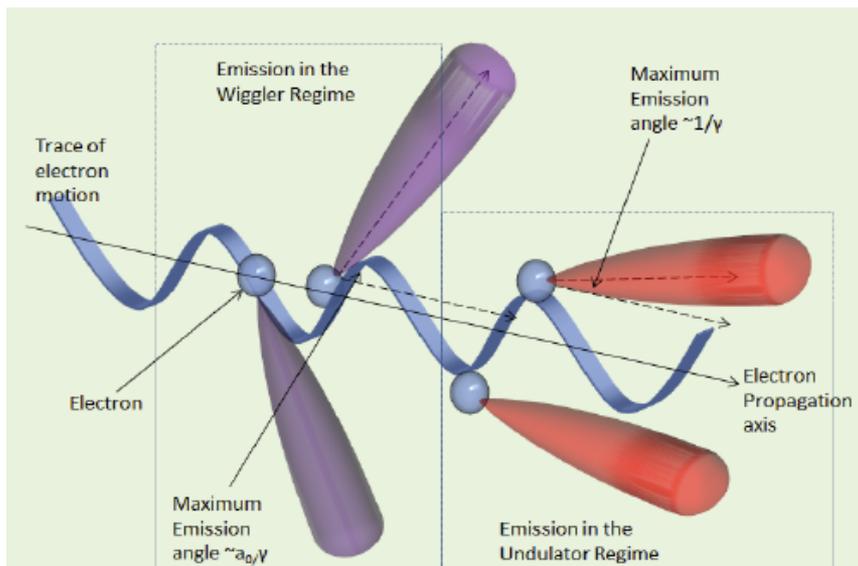


Thomson scattering geometry. The scattered radiation is emitted along the z axis, in a small cone of aperture $1/\gamma_0$.

When $\alpha L = \pi$ the backscattering geometry occurs giving:

- i) Radiation with the highest energy $E_{\text{back}} \approx 4\gamma^2 E_0$, where E_0 is the energy of laser photons;
- ii) Best overlap of the electron beam and the pulse and
- iii) Minimized spurious effects by the transverse ponderomotive forces of the laser.

Relativistic Thomson scattering regimes



Normalized vector potential

$$a_o = \frac{e A}{m_e c} = 0.85 \sqrt{I_{18} \lambda_{\mu m}^2}$$

Linear regime $a_o \ll 1$

$$N_{TS,Linear} \cong 1.2 \times 10^{-3} F N_e \omega_L T a_o^2$$

$$\omega_\gamma \cong 4 \gamma_o^2 \omega_L$$

Non-linear regime $a_o > 1$

$$\omega_{\gamma,N} \cong N_{th} \frac{4 \gamma_o^2 \omega_L}{1 + a_o^2/2}$$

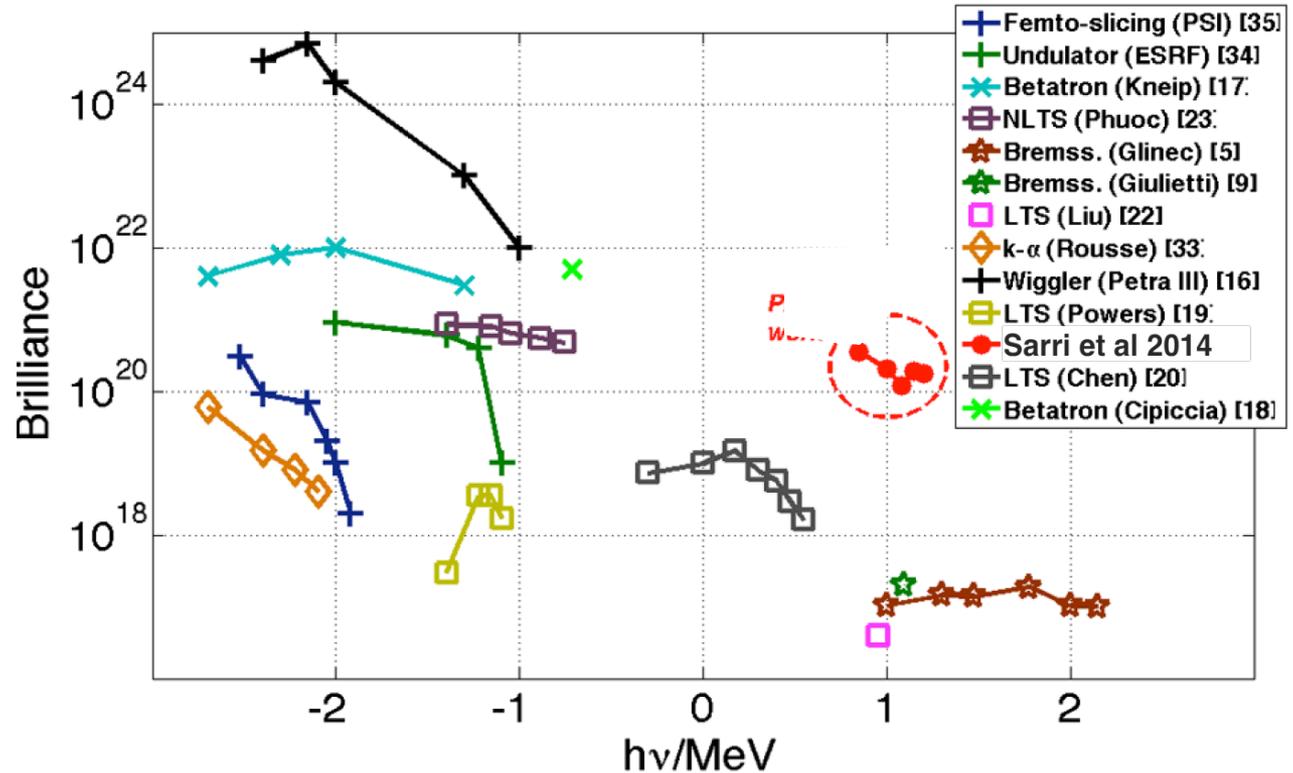
$$N_{TS,NonLinear} \propto a_o$$

See also undulator and wiggler regimes of synchrotron radiation (use the magnetic field strength parameter, K)

COMPARISON OF X/ γ -ray SOURCES

Rapid development of all-optical Thomson scattering sources at major laser facilities

- S. Chen et al., Phys. Rev. Lett. 155003, 1 (2013).
- G. Sarri et al., Phys. Rev. Lett. 113, 224801 (2014).
- C. Liu et al., Optics Letters 39, 4132 (2014).
- N. D. Powers et al., Nat. Photonics 8, 28 (2013).
- K. Khrennikov et al., Physical Review Letters 114, 1 (2015).
- A. Buck et al., Phys. Rev. Lett. 110, 185006 (2013).



γ -RESIST

- Esperimento di Thomson scattering basato su specifiche laser Flame (LNF);
- Proposto nel 2012, approvato nel 2013;
- Unità Pisa, Napoli, Bologna, Catania;
- Prima parte (accelerazione a plasma) completata a LNF nel 2013;
- Dal 2014 attività riorganizzata a Pisa (Laser ILIL-CNR).

Publicazioni 2014

	Titolo	Rivista	Cit.	INFN	Tot	Ratio	CIVR	HI-Q	
1	Case studies in space charge and plasma acceleration of charged beams ISI ID della pubblicazione: WOS:000344217500009	CR MECANIQUE, 342 , (2014)	2	4	5	80%	0%	YES	✓
2	High energy electrons from interaction with a structured gas-jet at FLAME ISI ID della pubblicazione: CCC:000331831100052	NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS, 740- , (2014)	0	9	11	82%	0%	YES	✓
3	IRIDE: Interdisciplinary research infrastructure based on dual electron linacs and lasers ISI ID della pubblicazione: WOS:000331831100029	NUCL INSTRUM METH A, 740- , (2014)	3	79	228	35%	0%	NO	✓
4	High energy electrons from interaction with a structured gas-jet at FLAME ISI ID della pubblicazione: WOS:000331831100052	NUCL INSTRUM METH A, 740- , (2014)	1	8	11	73%	0%	YES	✓
5	3-D numerical simulation of Yb:YAG active slabs with longitudinal doping gradien... ISI ID della pubblicazione: WOS:000333579200093	OPT EXPRESS, 22-5 , (2014)	3	2	10	20%	0%	YES	✓
6	Focusing and stabilizing laser-plasma-generated electron beams with magnetic devices ISI ID della pubblicazione: WOS:000342864700024	JPN J APPL PHYS, 53-9 , 092702 (2014)	0	4	9	44%	0%	NO	✓
7	Maxwell-Vlasov equations for laboratory plasmas: conservation laws and approxima... ISI ID della pubblicazione: WOS:000346645000001	EUR PHYS J D, 68 , 374 (2014)	0	3	3	100%	0%	YES	✓
8	Investigation on laser-plasma coupling in intense, ultrashort irradiation of a n... ISI ID della pubblicazione: WOS:000341854100011	PLASMA PHYS CONTR F, 56-9 , 095001 (2014)	1	4	11	36%	0%	NO	✓
9	The slingshot effect: A possible new laser-driven high energy acceleration mecha... ISI ID della pubblicazione: WOS:000345644200054	PHYS PLASMAS, 21-11 , 113105 (2014)	0	3	3	100%	0%	NO	✓
10	Photon mirror acceleration in the quantum regime ISI ID della pubblicazione: WOS:000347162700075	PHYS PLASMAS, 21-12 , 123105 (2014)	0	1	2	50%	0%	NO	✓
11	Dynamics of the wakefield of a multi-petawatt, femtosecond laser pulse in a conf... ISI ID della pubblicazione: WOS:000341313000015	EPL-EUROPHYS LETT, 107-4 , 44004 (2014)	0	1	3	33%	0%	NO	✓
12	On plane-wave relativistic electrodynamics in plasmas and in vacuum ISI ID della pubblicazione: WOS:000336807400015	J PHYS A-MATH THEOR, 47-22 , 225501 (2014)	2	0	1	0%	0%	NO	!
13	On Plane Waves in Diluted Relativistic Cold Plasmas ISI ID della pubblicazione: WOS:000341706300023	ACTA APPL MATH, 132-1 , (2014)	1	0	1	0%	0%	NO	!

Totale SL_G_RESIST : 13 Pubblicazione/i (di cui 2 con errori)

Talk e Tesi 2014

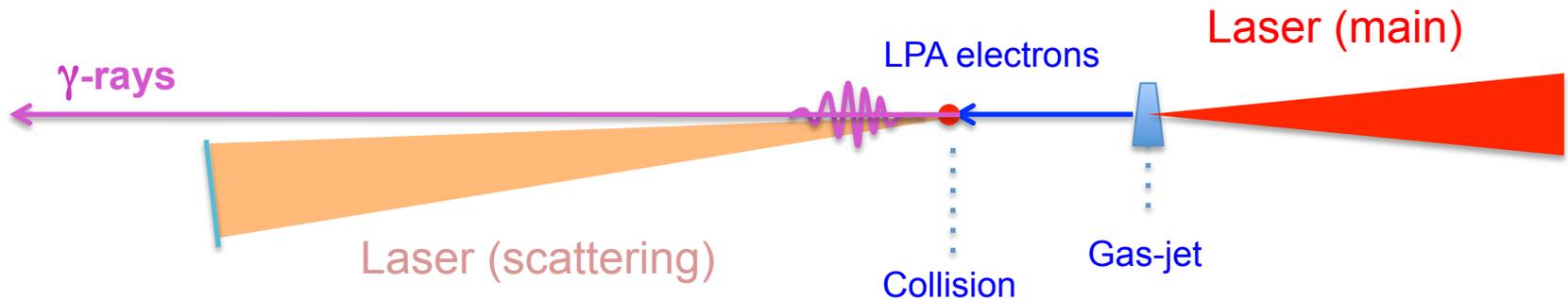
Speaker	Conference	Contr. Title	Type	Place	
1 Rossi F.	 16th Advanced Accelerator Concepts ...	"Nonlinear pulse propagation and phase velocity of laser driven plasma wav...	pos	San Jose, CA	✓
2 Rossi F.	 16th Advanced Accelerator Concepts ...	 "Nonlinear pulse propagation and phase velocity of laser driven plasma wa...	pos	San Jose, CA	✓
3 Gizzi L.	20th IMEKO TC-4 International Symposium	Particle acceleration based on intense lasers and plasmas: scientific and t...	inv	Benevento	✓
4 Rossi F.	Perspectives of GPU Computing in P...	 "Robust Algorithms for Current Deposition and Dynamic Load-balancing in ...	ple	Roma	✓
5 Labate L.	100° Congresso della Società Italia...	 Novel radiation sources from ultraintense laser interactions with plasmas ...	par	Pisa	✓
6 De Luca A.	100° Congresso della Società italia...	 Interferometry of plasmas from laser interaction with a gas jet target incl...	par	Pisa	✓
7 Gizzi L.	100° Congresso della Società Italia...	 Novel radiation sources from ultraintense laser interactions with plasmas ...	par	Pisa	✓
8 Giulietti D.	 6th International Conference on Cha...	 Laser-Induced Channels by Nanosecond to Femtosecond Pulses	inv	Capri	✓
9 Gizzi L.	 6th International Conference on Cha...	 "Laser-plasma acceleration for radiobiology and radiation sources	inv	Capri	✓

Titolo	Autore	Tipo	Univ.	Sez.	Relatori	
1 High brilliance X-gamma ray sources based on LASER-matter interaction ...	✓ Curcio A.	S	Pisa	LNF	Danilo Giulietti et al.	✓
2 Sviluppo di un software di ricostruzione dell'impulso per la caratter...	✓ Galletti F.	V	Pisa	LNF	Danilo Giulietti et al.	✓

Totale : 2 Tesi

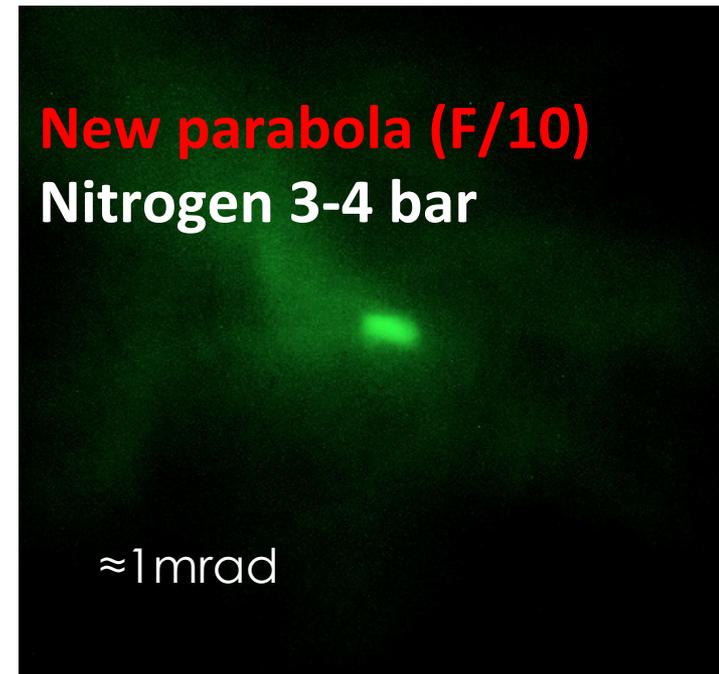
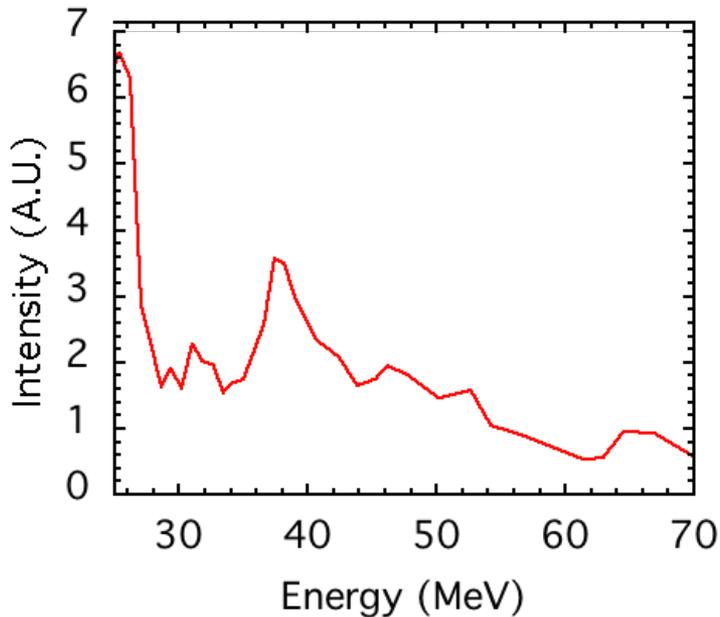
Thomson scattering layout

Use 2 laser pulses – one to drive laser-plasma acceleration with self-injection and one for the Thomson scattering



Laser-plasma acceleration

Parameter space fully explored. Accelerated bunch well characterized

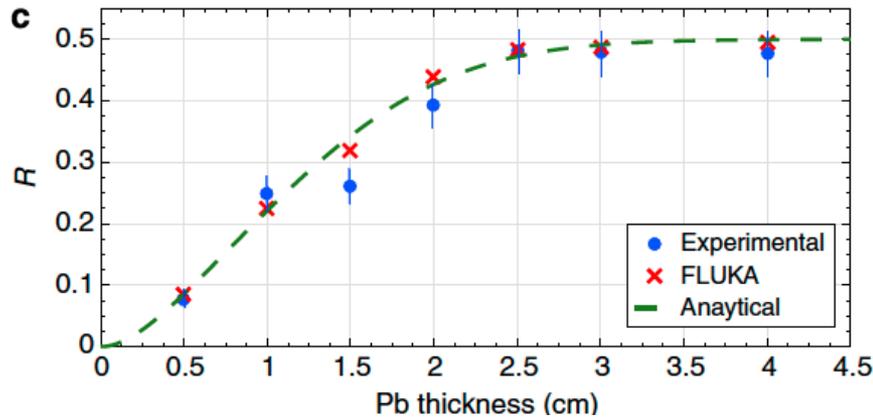


Energy up to 70 MeV
Component at 38 MeV with 10% bw

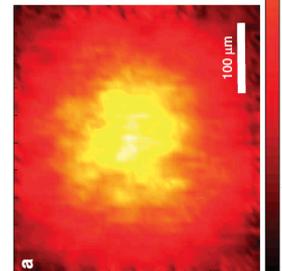
L.A. Gizzi, et al., NIM B, **355**, 241–245 (2015)
 Y. Oishi et al., JJAP **53**, 092702 (2014)
 G. Grittani, et al., NIM A740, 257-265 (2014)
 G Sarri et al., Plasma Phys. Control. Fusion **55** 124017 (2013)
 L.A. Gizzi et al., NIM B 309, 202-209 (2013)

LASER DRIVEN NEUTRAL ELECTRON-POSITRON BEAMS

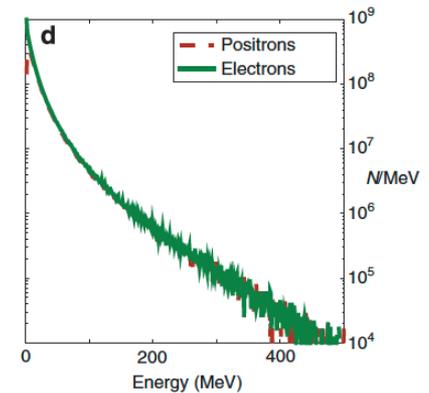
Laser-accelerated electrons with the proper choice of converter thickness yield a percentage of positrons close to 50%



electrons



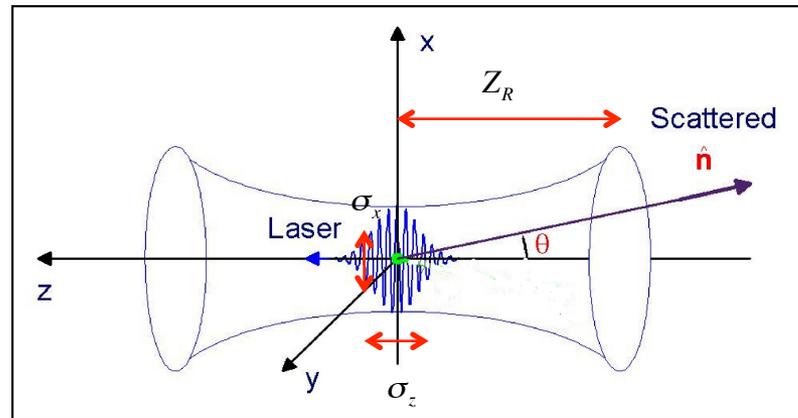
positrons



G.Sarri et al., Generation of neutral and high-density electron-positron pair plasmas in the laboratory, Nature Communications, 6, 6747 (2015)

THOMSON SCATTERING: SYNCHRONIZATION

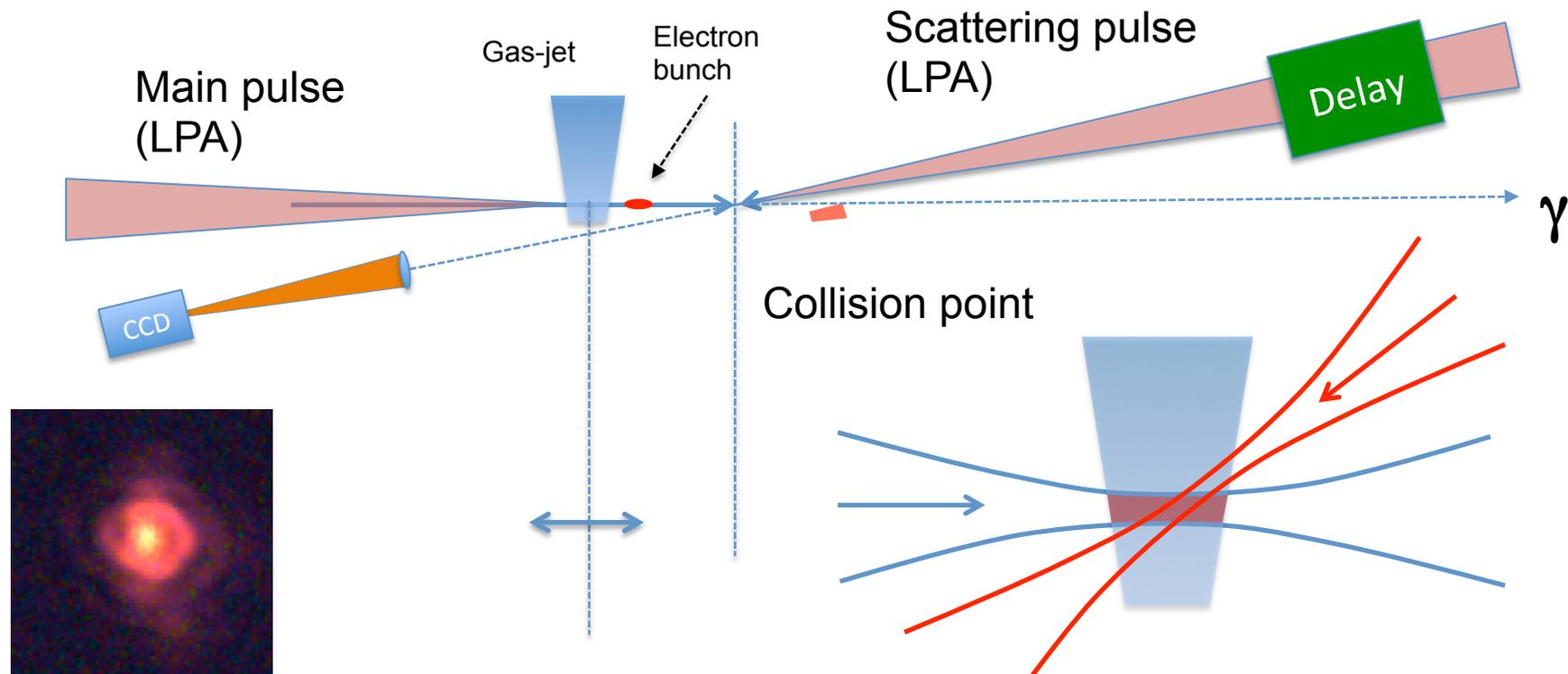
Temporal (and spatial) overlapping of Thomson scattering pulse and electron bunch must be controlled to optimize X-ray scattering



Ideal case: head-on collision (180°)

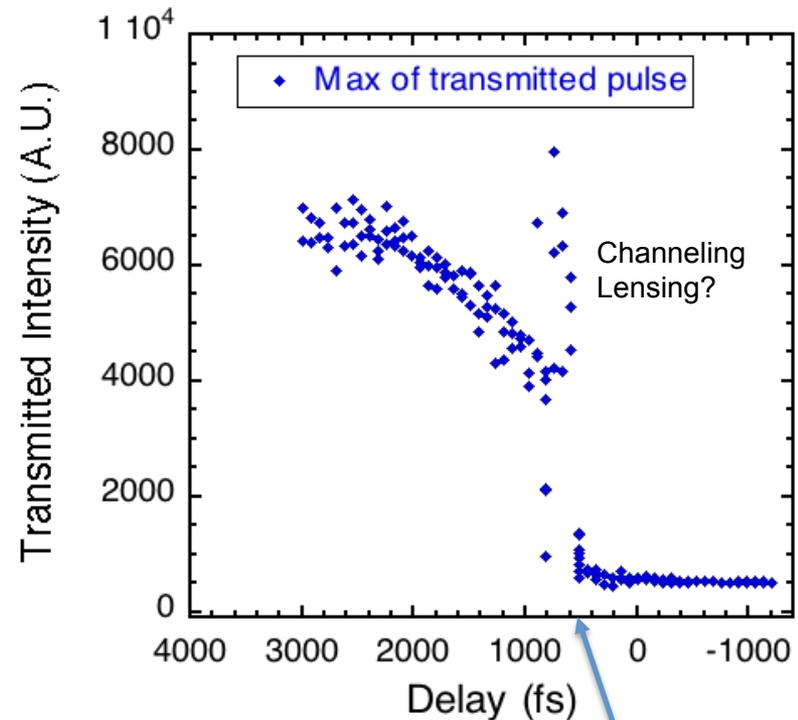
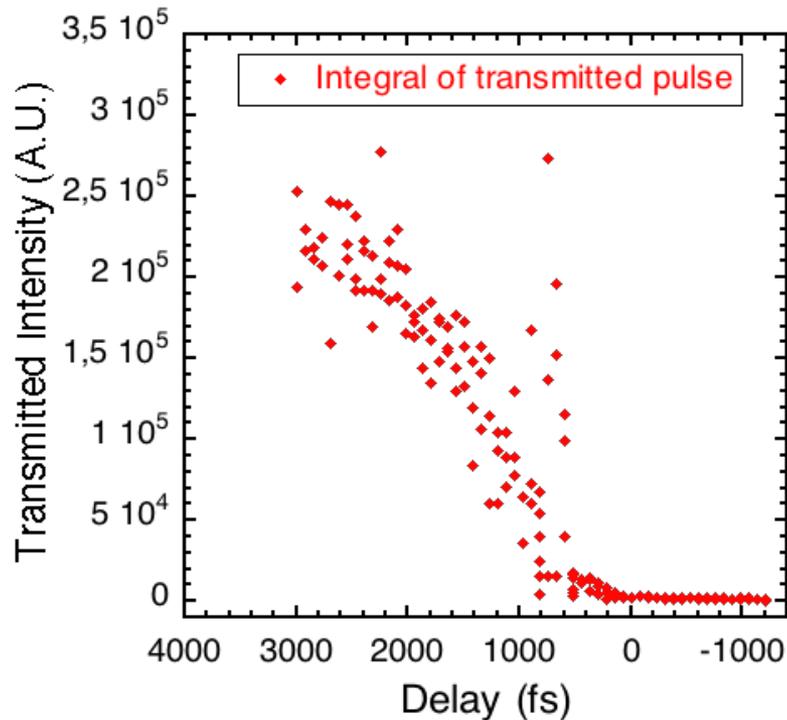
SYNCHRONIZATION: “plasma switch”

Temporal (and spatial) overlapping of Thomson scattering pulse and electron bunch must be controlled to optimize X-ray scattering



SYNCHRONIZATION: “plasma switch”

Versus delay relative to main pulse



Sync (≈ 100 fs)

Plasma opacity (to transmitted pulse) shows a sharp transition with delay, due to plasma formation by the main pulse Synchronization technique established.

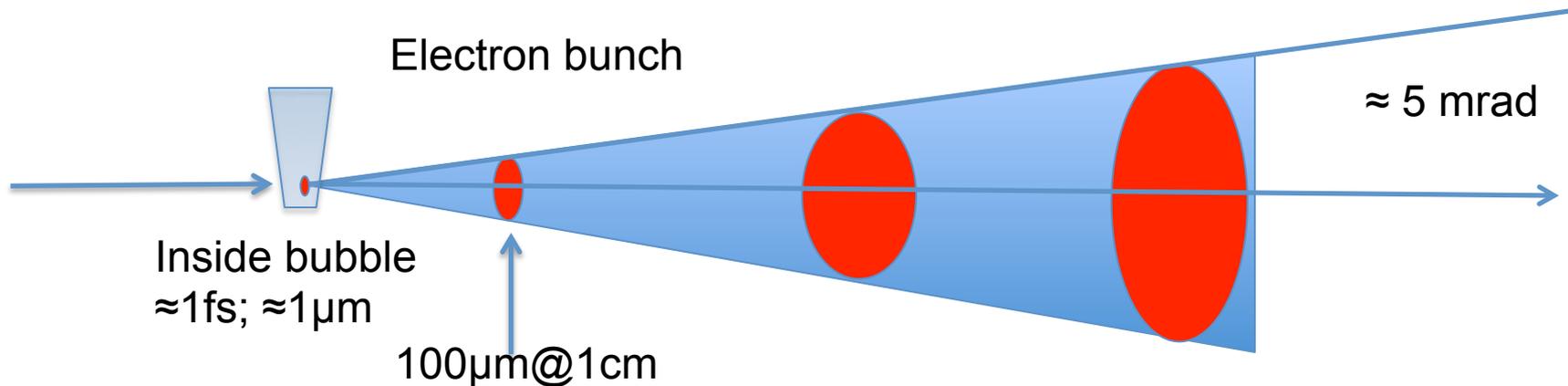
Open issue: laser energy on the scattering pulse

(linear Thomson Scattering)

$$N_{\gamma} \propto a_o^2$$

$$a_o = 0.85 \sqrt{I_{18} \lambda_{\mu m}^2} = 0.2$$

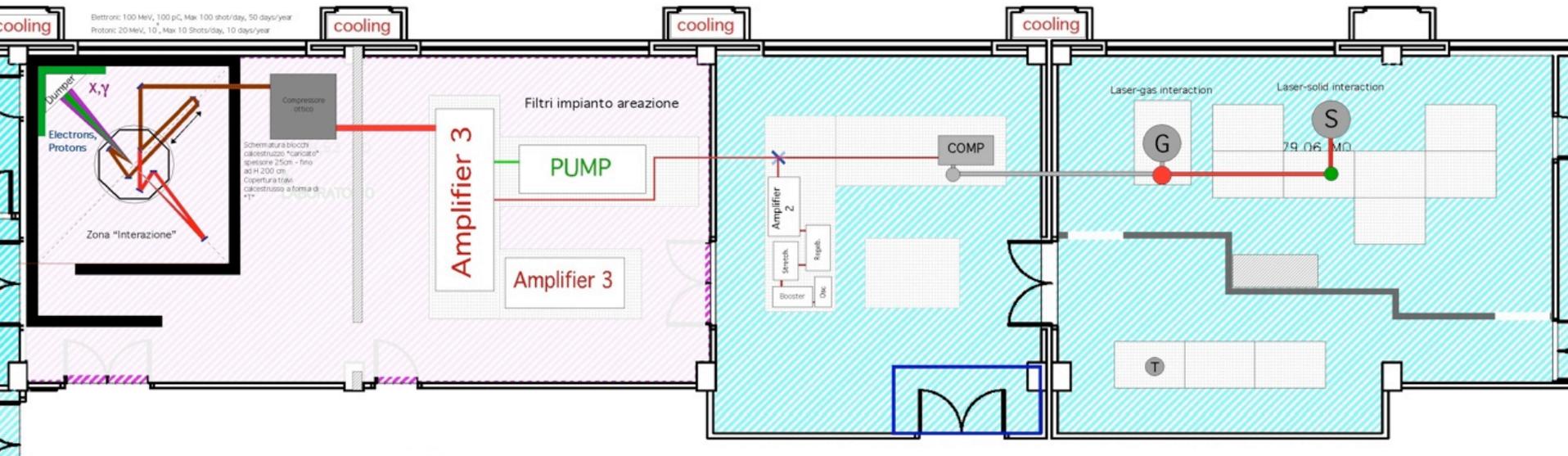
- FWHM Energy
- **10 μ m** -> **2.7mJ**
- 20 μ m -> 10.8mJ
- 50 μ m -> 67mJ
- **100 μ m -> 271mJ**
- 500 μ m -> 6794mJ



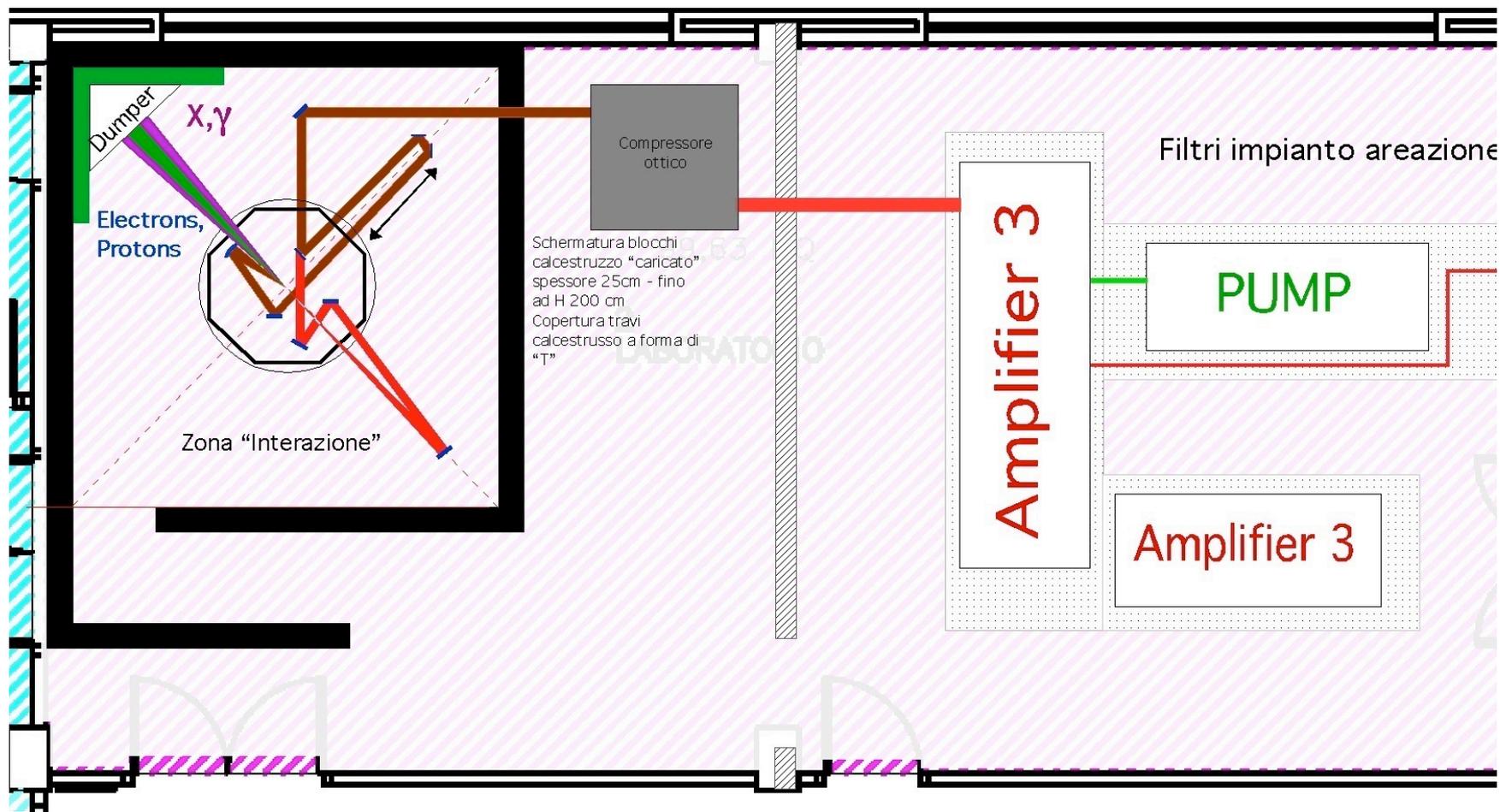
Scattering pulse energy >200 mJ needed – currently 5mJ available

INO-CNR (PI): Infrastructure development

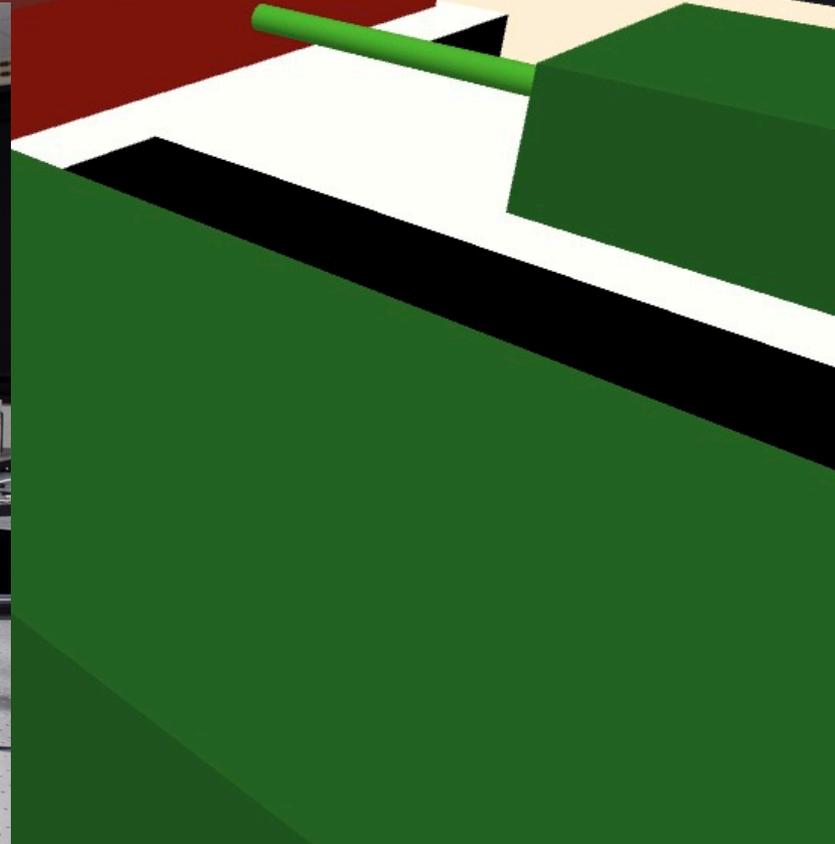
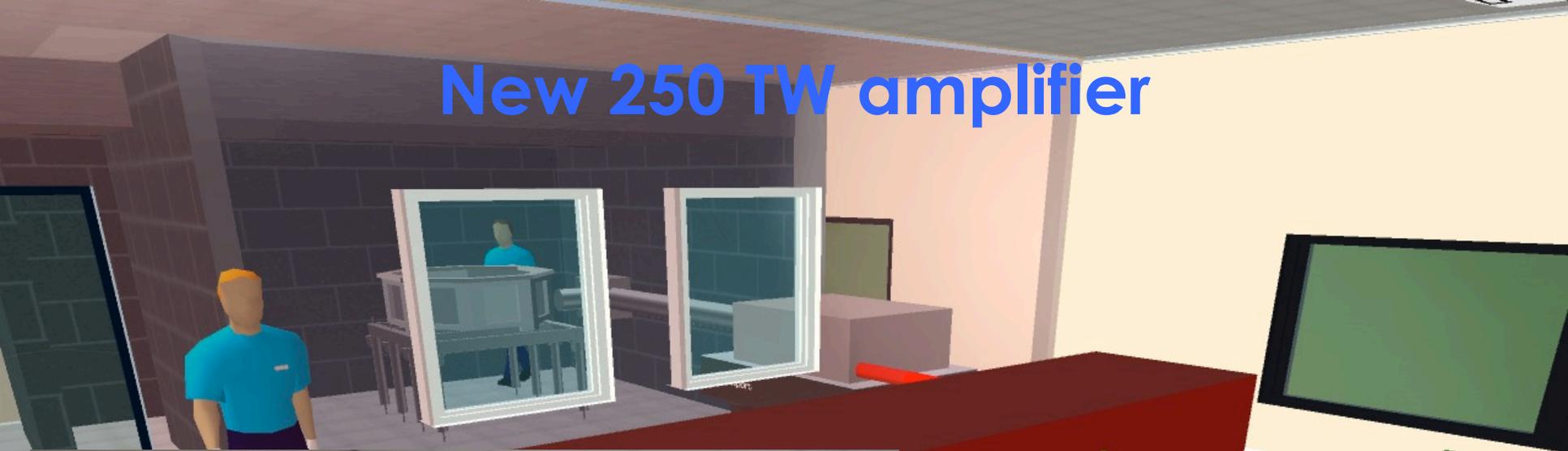
LASER UPGRADE TO 200 TW AND NEW, SHIELDED TARGET AREA



ILIL-PW – Thomson scattering configuration



New 250 TW amplifier



Richieste

- Si richiede il prolungamento al 2016
- L'attività da completare è prevalentemente di carattere sperimentale e prevede l'utilizzo di strumentazione già disponibile.
- Si richiedono finanziamenti di missioni per un totale di 10 ke (2.5 ke per unità) e consumo per un totale di 7 ke (4 PI, 1Na, 1Bo 1LNS), eventualmente anche sotto dotazione.

Summary

- Experimental set up (Pisa) completed;
- Laser-plasma acceleration established;
- Synchronization established within ≈ 100 fs using “optical switch”;
- Laser upgrade in progress to reach >200 mJ on scattering pulse;
- Full parameters and dedicated set-up available 2016.

γ -RESIST - Richiesta di prolungamento al 2016

Leonida A. Gizzi (PI), Graziano Servizi(BO), Renato Fedele (Na), Salvo Tudisco (LNS)

Abstract Con questo documento si intende illustrare la richiesta di un prolungamento dell'esperimento γ -RESIST per un ulteriore quarto anno per il solo completamento delle misure di scattering Thomson. Discuteremo l'estrema attualità e la rilevanza nel contesto internazionale della tematica oggetto di γ -RESIST, lo stato attuale dell'esperimento e le circostanze che hanno portato al ritardo sul programma. Infine presenteremo le iniziative messe in atto per il completamento del programma entro la fine del 2016

1 Contesto internazionale

L'esperimento γ -RESIST ha come obiettivo la realizzazione di una sorgente Thomson di radiazione X/ γ basata su scattering (upshifting) di radiazione laser da elettroni relativistici prodotti attraverso accelerazione a plasma con autoiniezione. Si punta quindi a realizzare una sorgente di radiazione γ completamente ottica (all-optical). Allo scopo, all'interno della collaborazione, sono stati sviluppati modelli numerici particle in cell (Bologna) e modelli semi-analitici (Napoli) e sono stati individuati schemi di interazione radiazione-materia di interesse nucleare (LNS). È quindi stato sviluppato (Pisa) uno schema sperimentale di accelerazione a plasma con autoiniezione.

Nel 2012, anno di presentazione del Conceptual Design Report di γ -RESIST alla commissione V, gli studi sulle sorgenti Thomson "all optical" erano nella fase pionieristica e i grandi laboratori laser si preparavano a sviluppare programmi in questa direzione. Requisito fondamentale per la realizzazione di esperimenti di questa classe è la disponibilità di laser ultraintensi di classe "multi-Joule", in grado cioè di generare impulsi laser ultracorti, di durata di poche decine di fs e di energia minima per impulso di 2-3 J. Infatti l'impulso laser viene utilizzato in parte per accelerare elettroni con i plasm, in parte per lo scattering nel punto di collisione. L'energia minima necessaria per l'impulso laser di scattering può essere ottenuta dalla relazione che dà il numero di fotoni Thomson prodotti nella collisione

che, a sua volta, dipende dall'intensità nel fuoco dell'impulso laser di scattering. È chiaro quindi che quest'ultimo deve contenere sufficiente energia e deve essere

Leonida A. Gizzi
Istituto Nazionale di Ottica - CNR, and INFN, Pisa, Italy e-mail: la.gizzi@ino.it

Name of Second Author
Name, Address of Institute e-mail: name@email.address

focalizzato su un'area confrontabile con la sezione del bunch nel punto di collisione. In base a queste considerazioni si trova che le energie tipiche per l'impulso di scattering sono tra i 100 mJ e 1 J. A questo si aggiunge l'energia laser necessaria per l'accelerazione a plasma, che nelle condizioni di autoiniezione è tipicamente superiore a 1J.

Il laser FLAME ad LNF era nel 2012 uno dei pochi sistemi al mondo in grado di offrire le specifiche richieste dall'esperienza γ -RESIST. Dal 2012, altri laboratori nel mondo hanno sviluppato sistemi laser della classe di FLAME o superiori e esperimenti basati su scattering Thomson all-optical sono attualmente in corso presso molti dei maggiori laboratori laser, tra i quali il laser Astra del Rutherford Appleton Laboratory (GB), il Laboratoire d'Optique Appliquée (FR), il laser Diocles presso l'Università del Nebraska (USA), il laser ATLAS presso il Max Planck Institute di Garching (DE).

Nel lavoro pubblicato nel 2013 da Chen et al., [1], Thomson scattering con elettroni da 250 MeV di energia di cut-off ha prodotto fotoni con energia fino ad 1.2 MeV. Nel 2014, Sarri et al., [2] hanno accelerato elettroni ad energie fino a 600 MeV producendo radiazione Thomson fino a 18 MeV, l'energia più alta ottenuta attualmente con queste tecniche. Risultati simili sono stati pubblicati da Liu et al [3] che hanno generato fotoni con energia superiore a 9MeV con elettroni di energia di picco di 400 MeV. Nell'ottica delle applicazioni di queste sorgenti è in fase di sviluppo anche la possibilità di variare l'energia dei fotoni variando l'energia degli elettroni con tecniche differenti. Powers et al., [4] hanno ottenuto tunabilità degli elettroni nel range da 50 MeV a 200 MeV modificando la densità del plasma di accelerazione dimostrando così tunabilità della sorgente Thomson nella regione da 70 keV a circa 1 MeV. Khrennikov et al., [5] hanno invece dimostrato tunabilità nella regione 5-42 keV usando una tecnica nota come shock-front injection [6] che si basa sull'utilizzo di elevati gradienti di densità nel plasma come modellizzato da Tomassini et al. [7].

2 Stato dell'esperimento

Il Conceptual Design Report (allegato) è stato presentato alla commissione V nel maggio 2012 e la sigla è stata aperta nel 2013. Nel programma erano previste le seguenti attività da sviluppare presso LNF utilizzando il Laser FLAME:

- 1) Self-injected beam optimization for reduced energy spread
- 2) First collisions at low laser energy using probe pulse as TS beam
- 3) Modification of FLAME target area for two beam collision at full laser energy
- 4) Collisions at full laser energy and > 100 MeV self-injected electron energy

La prima fase dell'esperimento prevedeva quindi lo sviluppo dell'accelerazione a plasma con autoiniezione come illustrato in [8] e [9]. Questa attività è stata portata avanti sperimentalmente con successo presso il laser FLAME come descritto in [10], [11], [12], [13] e [14]. È stata quindi dimostrata la produzione di bunch di elettroni

di energia compresa tra 80 MeV e 180 MeV, in accordo con i modelli numerici[15] e con le specifiche dell'esperimento γ -RESIST.

Parallelamente, nel quadro delle collaborazioni internazionali, sono state effettuate campagne di misure presso il laser ASTRA (GB) e presso il laboratorio laser della Japan Atomic Energy Agency (JAEA) a Nara (JP). Le misure presso il laser Astra hanno riguardato l'accelerazione ad energie massime di 600 MeV e la produzione di radiazione γ per la messa a punto di una nuova tecnica di spettroscopia[16] e la generazione di fasci di positroni [17]. Queste misure hanno portato recentemente alla pubblicazione di un lavoro su Nature Communications [18].

La seconda fase è stata avviata nel 2013 con un primo esperimento di collisione elettroni-fotoni a bassa energia di fascio di scattering. Queste misure hanno dimostrato la possibilità di monitorare efficacemente la sovrapposizione spaziale e la sincronizzazione temporale dell'impulso contropropagante con il bunch di elettroni attraverso shadowgrafia ottica e l'oscuramento da plasma (plasma switch). Quest'ultima tecnica si basa sulla misura pump-and-probe dell'energia laser trasmessa da un bersaglio gassoso eccitato da un altro impulso laser contropropagante. Da questo monitoraggio sono state ricavate informazioni sulla stabilità meccanica nel passaggio aria vuoto ed è stata quindi avviata la progettazione di un nuovo set up della target area come previsto nella fase 3 dell'esperimento, in attesa di poter effettuare nuove misure su FLAME nella seconda metà del 2014.

Nel periodo aprile-giugno 2014 è stata condotta a Flame una campagna di misure di accelerazione a plasma con autoiniezione promosso da una collaborazione internazionale comprendente gruppi dell'Università di Strathclyde e di Desy che ha visto la partecipazione della collaborazione γ -RESIST per gli aspetti di diagnostica ottica ed interferometrica. Tuttavia, problemi di funzionamento del laser FLAME hanno pregiudicato il raggiungimento degli obiettivi della campagna di misure. A seguito di questi eventi il laser FLAME è stato sottoposto ad una fase di manutenzione ed upgrade. La tempistica di questa fase e la disponibilità di FLAME per una nuova campagna di misure risultava indeterminata.

Allo scopo di proseguire con l'attività γ -RESIST, è stata realizzata una linea Thomson anche presso il laboratorio ILIL (Pisa) dove è operativo un laser di classe 10 TW ed è già disponibile dal 2008 [19] una linea di accelerazione a plasma con autoiniezione[20]. La linea Thomson di Pisa è stata finalizzata alla messa a punto del plasma switch in condizioni rilevanti per lo scattering Thomson, ovvero con impulsi laser ultracorti e con risoluzione temporale inferiore al picosecondo. Sono quindi state effettuate campagne di misura atte a caratterizzare questa tecnica in funzione dei parametri laser, in modo da poterla utilizzare in qualsiasi condizione sperimentale simile. Un grafico che mostra l'effetto "optical switch" visibile in Figura I risultati sono attualmente in fase di pubblicazione.

La possibilità di effettuare misure di scattering con generazione di radiazione Thomson presso ILIL è stata limitata dalla disponibilità di energia laser. Infatti, l'attuale impulsi ausiliario dell'ILIL utilizzato per lo scattering è dimensionato per interferometria ottica e l'energia dell'impulso è di soli 2 mJ, inferiore quindi ai 100 mJ tipici richiesti.

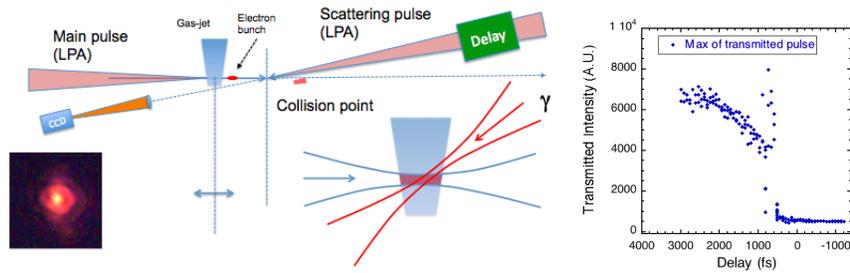


Fig. 1 Apparato sperimentale per la sincronizzazione dell'impulso di scattering rispetto all'impulso di accelerazione. Il grafico di destra mostra l'andamento dell'intensità della luce trasmessa in funzione del ritardo relativo. Lo switch ottico visibile a circa 500 fs

A partire dal 2014 è stato quindi anche avviato il progetto ELI-ILIL-PW che prevede un significativo upgrade del sistema laser ILIL con la realizzazione di un ulteriore stadio amplificazione e di una nuova sala sperimentale appositamente progettata per ospitare una nuova linea Thomson. L'upgrade è in fase avanzata di realizzazione, con lo stadio di amplificazione laser attualmente in fase di allineamento e la sala sperimentale in fase di costruzione.

3 Programma 2015-2016

Nell'anno in corso si prevede il completamento dell'amplificatore laser che nella prima fase opererà con una energia di pompa di 7 J. Si prevede poi il commissioning del nuovo compressore ottico che consentirà di raggiungere energie per impulso dopo la compressione > 1.5 J. Con queste nuove specifiche sarà possibile aumentare significativamente l'energia nel fascio di scattering mantenendo l'energia per l'accelerazione a valori superiori a 1J. Sempre nell'anno in corso si prevede una ulteriore campagna di misure di accelerazione per l'ottimizzazione dell'iniezione per ionizzazione [21] e per il controllo dell'energia.

Nel 2016 si prevede quindi di effettuare due campagne di misura dell'esperimenti γ -RESIST con l'upgrade ILIL-PW nel regime Thomson con le seguenti specifiche:

La prima campagna sarà dedicata alla misura del flusso e della divergenza angolare della radiazione Thomson. La seconda sarà invece dedicata alla misura dello spettro della radiazione. Questa misura richiederà un funzionamento ripetitivo della sorgente per l'acquisizione dello spettro con tecniche di singolo fotone. Andrà quindi messa a punto la riproducibilità della sorgente. Dal punto di vista della rivelazione e della caratterizzazione della radiazione γ , è già disponibile un set completo di sistemi per imaging e spettroscopia basati su sensori a scintillazione per la radiazione di energia superiore a 100 keV e su sensori CZT per energie fino a 100 keV.

Laser Specs	Plasma acceleration laser	Thomson Scattering Laser
Laser wavelength:	800 nm	400 nm
Laser polarization:	<u>linear</u>	<u>linear</u>
Laser repetition rate:	1 Hz	10 Hz
Energy/pulse	1.2J	200 <u>mJ</u>
Pulse duration	40 <u>fs</u>	40 <u>fs</u>
ASE Contrast ratio:	1x10 ⁹	2x10 ⁹
Pre-Pulse Contrast	10 ⁶	10 ⁶
RMS Pulse Stability	0.8 %	0.8 %
Pointing Stability	2 μ rad	2 μ rad

Electron bunch		γ -ray beam	
Electron energy	50-100 MeV	Photon energy	50-200 <u>keV</u>
Bunch Divergence:	2 <u>mrad</u>	N.of ph. per pulse:	10 ⁸
Energy Spread:	20%	N. of ph. 10% BW:	10 ⁷
Charge per pulse:	100 <u>pC</u>	Spectral density:	10 ² <u>ph/sec/ev</u>

Fig. 2 Lista dei parametri per la configurazione dell'esperimento γ -RESIST, aggiornata alla disponibilità del sistema laser ILIL-PW per il 2016.

4 Richiesta finanziarie

L'attività da completare è prevalentemente di carattere sperimentale e prevede l'utilizzo di strumentazione già disponibile. Si richiedono finanziamenti di missioni per un totale di 10 ke (2.5 ke per unit) e consumo per un totale di 7 ke (4 PI, 1Na, 1Bo 1LNS).

References

1. S. Chen *et al.*, Phys. Rev. Lett. **155003**, 1 (2013).
2. G. Sarri *et al.*, Phys. Rev. Lett. **113**, 224801 (2014).
3. C. Liu *et al.*, Optics Letters **39**, 4132 (2014).
4. N. D. Powers *et al.*, Nat. Photonics **8**, 28 (2013).
5. K. Khrennikov *et al.*, Physical Review Letters **114**, 1 (2015).
6. a. Buck *et al.*, Phys. Rev. Lett. **110**, 185006 (2013).
7. P. Tomassini *et al.*, Phys. Rev. Spec. Top. - Accel. Beams **6**, 121301 (2003).
8. L. A. Gizzi, F. Anelli, C. Benedetti, and C. A. Cecchetti, Nuovo Cim. **32**, 433 (2009).
9. L. Labate *et al.*, Radiation Effects and Defects in Solids **165**, 787 (2010).
10. T. Levato *et al.*, Proc. Int. Sch. Phys. "Enrico Fermi" (IOS Press, Amsterdam, 2012), Vol. 179, pp. 155–161.
11. T. Levato *et al.*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment **720**, 95 (2013).
12. L. A. Gizzi *et al.*, Appl. Sci. **3**, 559 (2013).
13. L. A. Gizzi *et al.*, Nucl. Instruments Methods Phys. Res. B **309**, 202 (2013).
14. G. Grittani *et al.*, Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip. **740**, 257 (2014).
15. C. Benedetti *et al.*, Nucl. Instr. Methods A **608**, S94 (2009).
16. D. J. Corvan, G. Sarri, and M. Zepf, Review of Scientific Instruments **85**, 1 (2014).
17. G. Sarri *et al.*, PLASMA Phys. Control. FUSION **55**, 124017 (2013).

18. G. Sarri *et al.*, *Nat Commun* **6**, 6747 (2015).
19. L. A. Gizzi *et al.*, in *Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena, The Science and Culture Series in Physics* (WORLD SCIENTIFIC, Singapore, 2010), pp. 485–501.
20. L. Gizzi *et al.*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **in press**, (2015).
21. C. E. Clayton *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 105003 (2010).