

I-LUCE

(INFN Laser inUCed radiation production)

nuove sorgenti di radiazione ai LNS

Di cosa parleremo ?



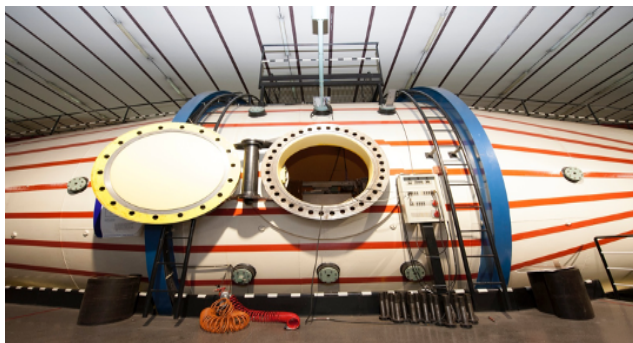
2

1. Gli acceleratori a LNS per come li conosciamo
2. L'accelerazione laser-plasma: come funziona?
3. I fasci di particelle e la fisica con una nuova sorgente
4. La facility I-LUCE
5. I fondi attualmente a nostra disposizione

Gli acceleratori a
LNS per come li
conosciamo

Il Tandem e il Ciclotrone Superconduttore

4



Lunghezza: 25 m

Peso: 120 t

Max tensione al terminale: 15MV

TANDEM	
Negative ions	Injected beam intensity [nA]
1H	1500
2D	1500
6Li	250
....	
¹⁹⁷ Au	700



Altezza: 28 m

Peso: 176 t

Max campo magnetico: 4.8 T

Ciclotrone Superconduttore	
^a X	E [MeV/amu]
H2+	62, 80
H3+	30,35,45
2D+	35,62,80
...	
²⁰⁸ Pb	10

- 1) Gli acceleratori di particelle sono dispositivi che trasferiscono energia a particelle cariche utilizzando campi elettromagnetici
- 2) La massima energia delle particelle accelerate è legata alle caratteristiche e alle dimensioni della macchina
- 3) Le macchine acceleratrici convenzionali hanno dimensioni delle decine (o centinaia) di metri e pesi di centinaia di tonnellate
- 4) Il fascio di particelle all'interno delle macchine acceleratrici viaggia sempre in vuoto
- 5) Talvolta è necessario raffreddare le macchine (vd CS e superconduttività)

L'accelerazione
laser-plasma:
come funziona?

Le particelle accelerate con i laser: cosa ci serve?

7



Laser

elevata potenza (TW - PW)

breve durata temporale (ps - fs)

Target sottile solidi o gassosi (micrometri - nanometri)

Qualche "altra cosa"

laser con un buon contrasto

target omogeneo

etc....

I laser di potenza: quali sono? come funzionano? dove sono?



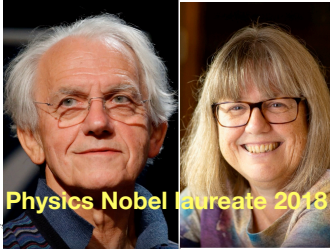
8

Volume 56, number 3 OPTICS COMMUNICATIONS

COMPRESSION OF AMPLIFIED CHIRPED OPTICAL PULSES ^{*}

Donna STRICKLAND and Gerard MOUROU
Laboratory for Laser Energetics, University of Rochester, 259 East River Road, Rochester, NY 14623-1299,
 Received 5 July 1985

We have demonstrated the amplification and subsequent recompression of optical chirped pulses. A 95 1.06- μm laser pulses with pulse widths of 2 ps and energies at the millijoule level is presented.

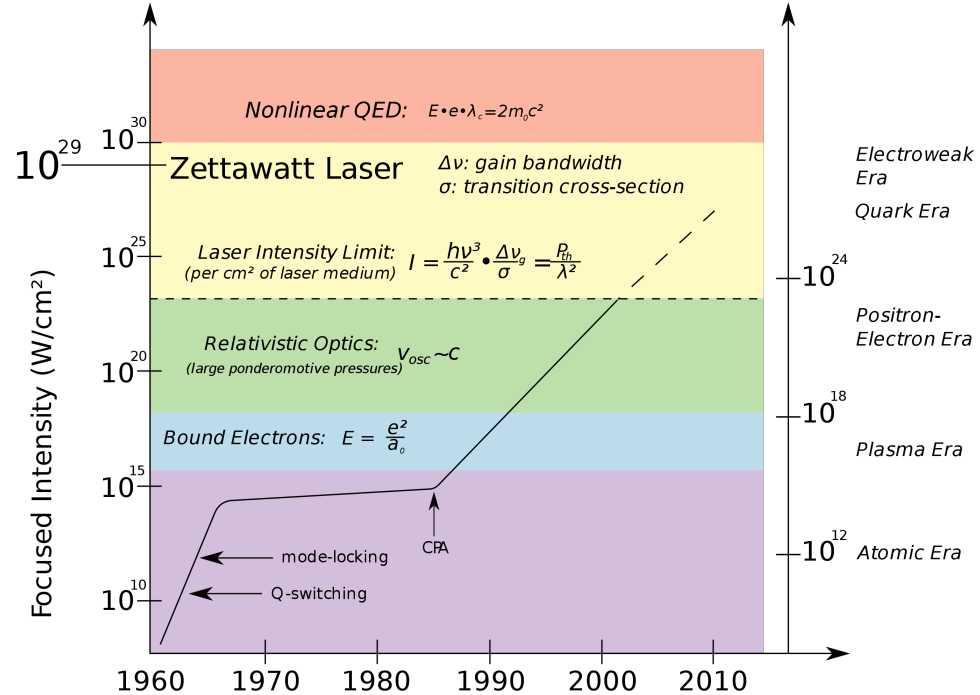


How Much Pressure Does a PW Laser Exert?

1 PW/ μm spot size corresponds to 10^{23} w/cm²

That is the equivalent of the pressure of 10 million Eiffel Towers on the tip of your finger!!

Seriously extreme!



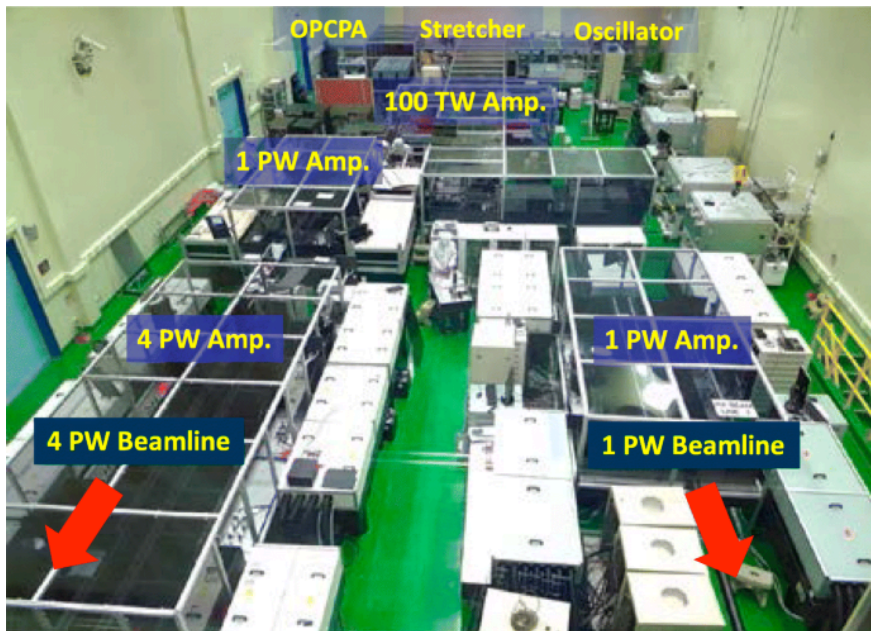
I laser di potenza: quali sono?

10

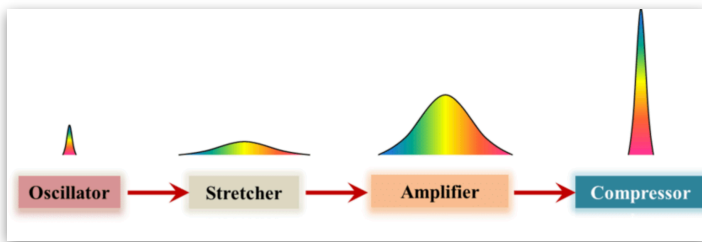
Center for Relativistic Laser Science

Explore the interaction between ultra-intense light and matter

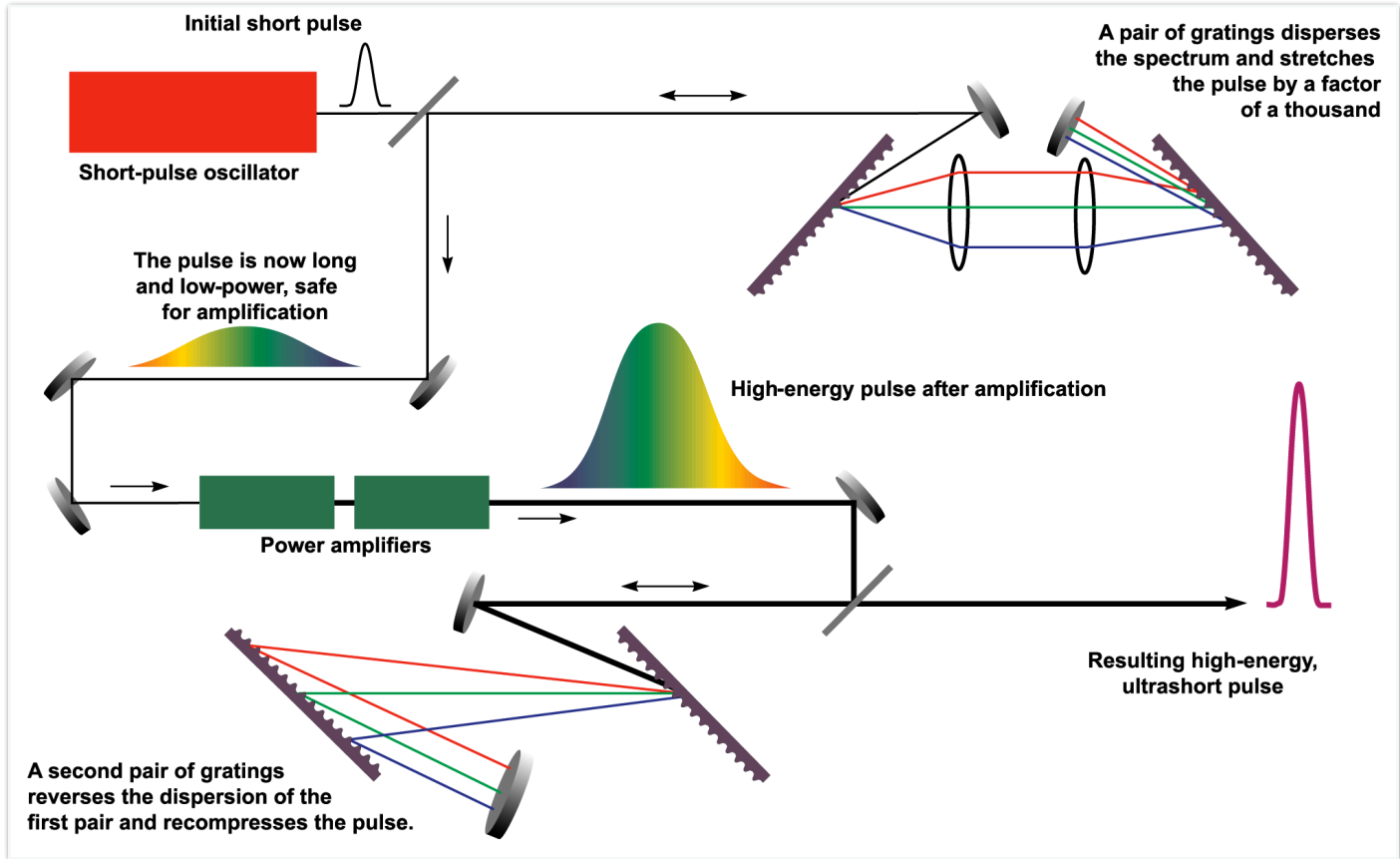
South Korea



Chirped Pulse Amplification



I laser di potenza: quali sono?



High energy CPA systems

- Nd: Glass technology
- 100s J energy, up to PW power
- Low repetition rate

- 100s fs duration **VULCAN, RAL (UK)**
Phelix, GSI (De)
- $I_{\max} \sim 10^{21}$ W/cm² **Trident, LANL (US)**
Texas PW, Austin (US)

.....

Ultrashort CPA systems

- Ti:Sa technology
- 10s J energy, up to PW power
- 1-10 Hz repetition

- 10s fs duration **GEMINI, RAL (UK)**
Draco, HZDR (De)
- $I_{\max} \sim 10^{21}$ W/cm² **Pulser I, APRI (Kr)**
J-Karen, JAEA (J)

.....

Electrons and
ions acceleration

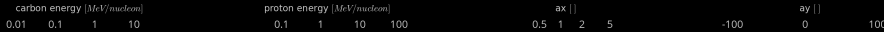
Come avviene l'accelerazione degli ioni: un laser e un target solido



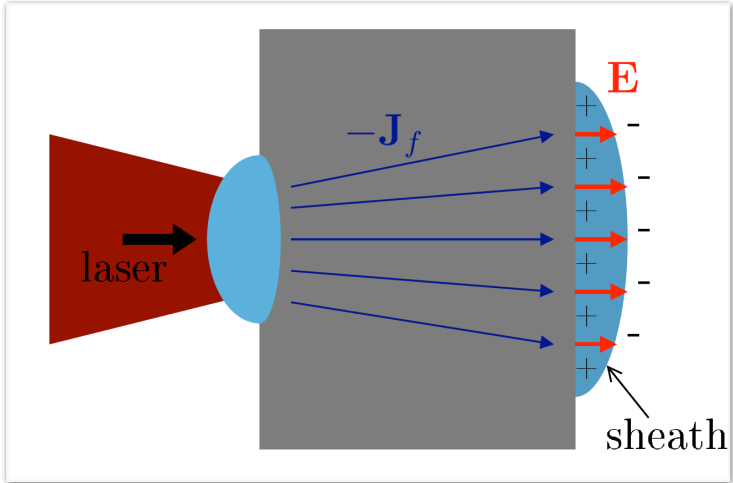
Laser-driven ion acceleration from plastic target

2D particle-in-cell simulation of the interaction of high-intensity laser pulse (parameters are relevant to L3 laser and thus ELI/MIA beamline) with a micrometer-thick flat plastic target. Acceleration of both protons (pink color) and carbon ions (green color), to maximum energy 150 MeV/nucleon and 40 MeV/nucleon, respectively, can be clearly distinguished in the visualization as well as different ion acceleration mechanisms (from the target front side and from its rear side). Such high-energy protons and ions have a great importance for various foreseen applications in Physics, Biology, Medicine, Chemistry, Materials Science, Engineering, and Archeology.

Time: 2 [fs]

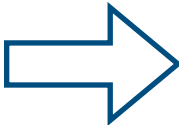


Target Normal Sheath Acceleration



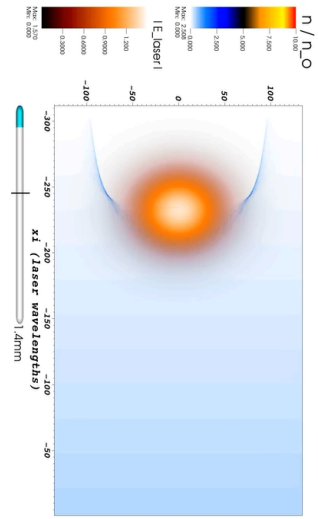
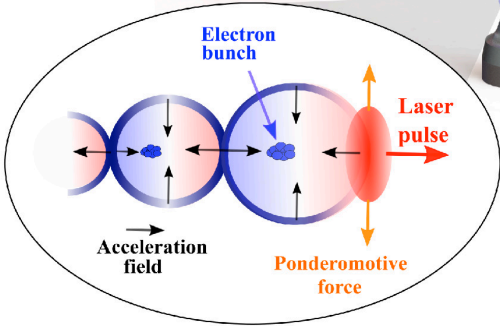
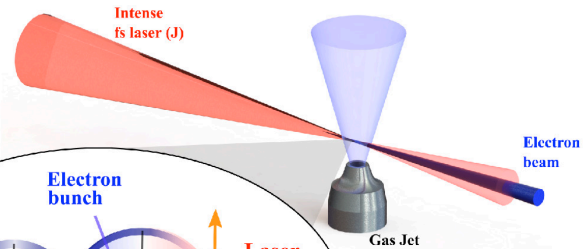
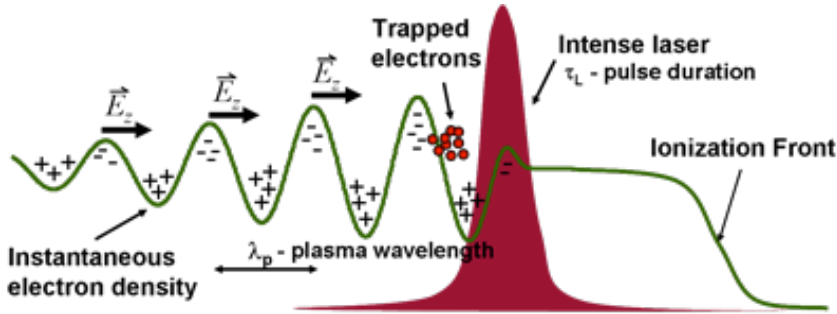
$$E(0) = \frac{KT_h}{e\lambda_D} = \sqrt{\frac{n_h KT_h}{\epsilon_0}}$$

Typical values are:
 $\lambda_D \sim 1 \mu\text{m}$
 $T_h \sim \text{MeV}$

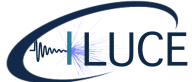


$$E(0) = \frac{10^6 \text{ V}}{10^{-6} \text{ m}} \sim \text{TV} / \text{m}$$

Come accelerare gli elettroni: un laser and un gas-jet

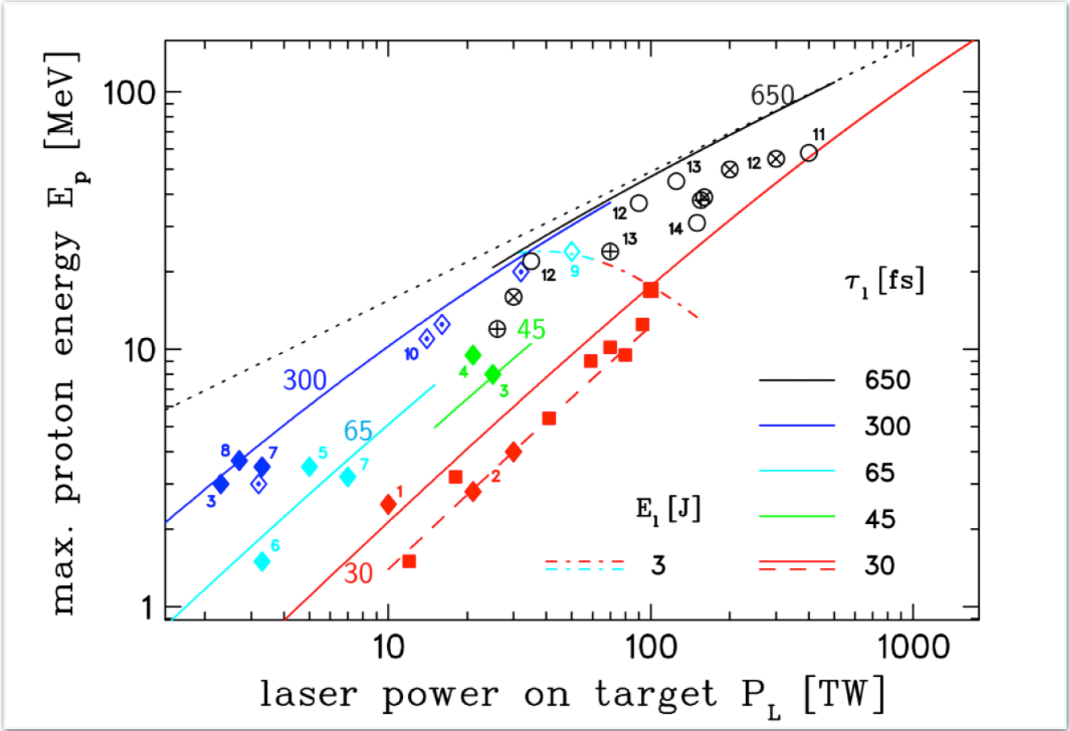


Le leggi di scala nell'accelerazione laser plasma per protoni

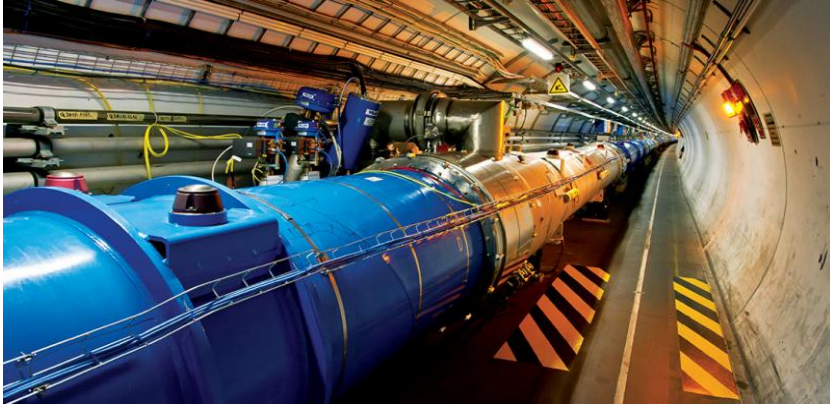


Intensity $I \propto \frac{E_p}{\tau A}$ W/cm^2

↑ pulse length τ
 ↓ proton energy E_p
 ← spot surface on target A



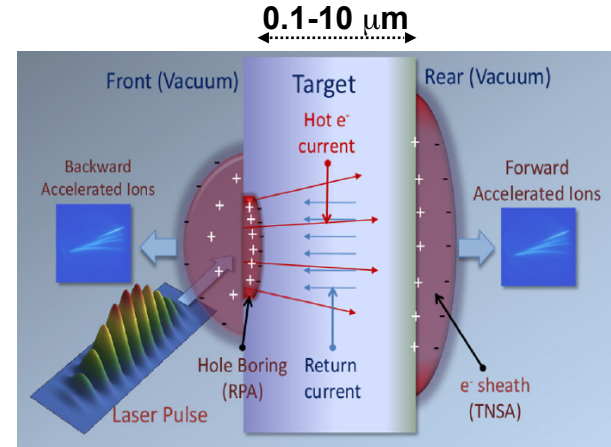
Acceleratori convenzionali



LHC @ CERN

- tunnel circolare (lungo **27 km!!**)
- elettromagneti superconduttivi
- massima energia dei protoni: 6.5 TeV

Accelerazione laser-plasma



Il guadagno energetico degli ioni nell'accelerazione laser-plasma è di diverse decine di **MeV/ μm**

10 MV/m per gli ioni 100 GeV/cm per gli elettroni

Quali sono i vantaggi dell'a celebrazione al plasma?

18

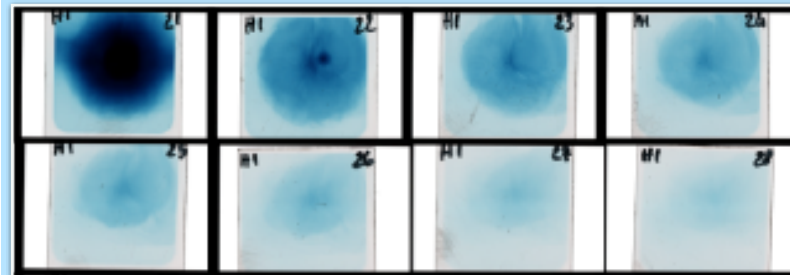
- 1) Con un unica "macchina" acceleratrice hai sia la sorgente delle particelle che il modo per accelerarle
- 2) I laser hanno dimensioni ridotte rispetto ad una macchina acceleratrice standard
- 3) Il fascio laser viaggia in aria non in vuoto
- 4) Non servono particolari sistemi di raffreddamento come per la superconduttività
- 5) Puoi produrre più particelle con la stessa macchina acceleratrice. Si possono produrre anche **neutroni, fotoni ed elettroni**

I fasci di particelle
e la fisica con una
nuova sorgente

Interazione laser-plasma

Durata dell'impulso (o bunch)	~ 1 ps
Intensità	$10^{11} - 10^{13}$ protons/ions in a single shot
Corrente	kA range
Divergenza	~ 10s degrees
Spettro energetico	Esponenziale decrescente

Courtesy of Marco Borghesi, QUB



Ion beam from TARANIS facility, QUB

E ~10 J on target in 10 μ m spot
 Intensity: $\sim 10^{19}$ W/cm²
 duration: 500 fs
 Target: Al foil 10um thickness

Caratteristiche dei fasci prodotti: facciamo un confronto

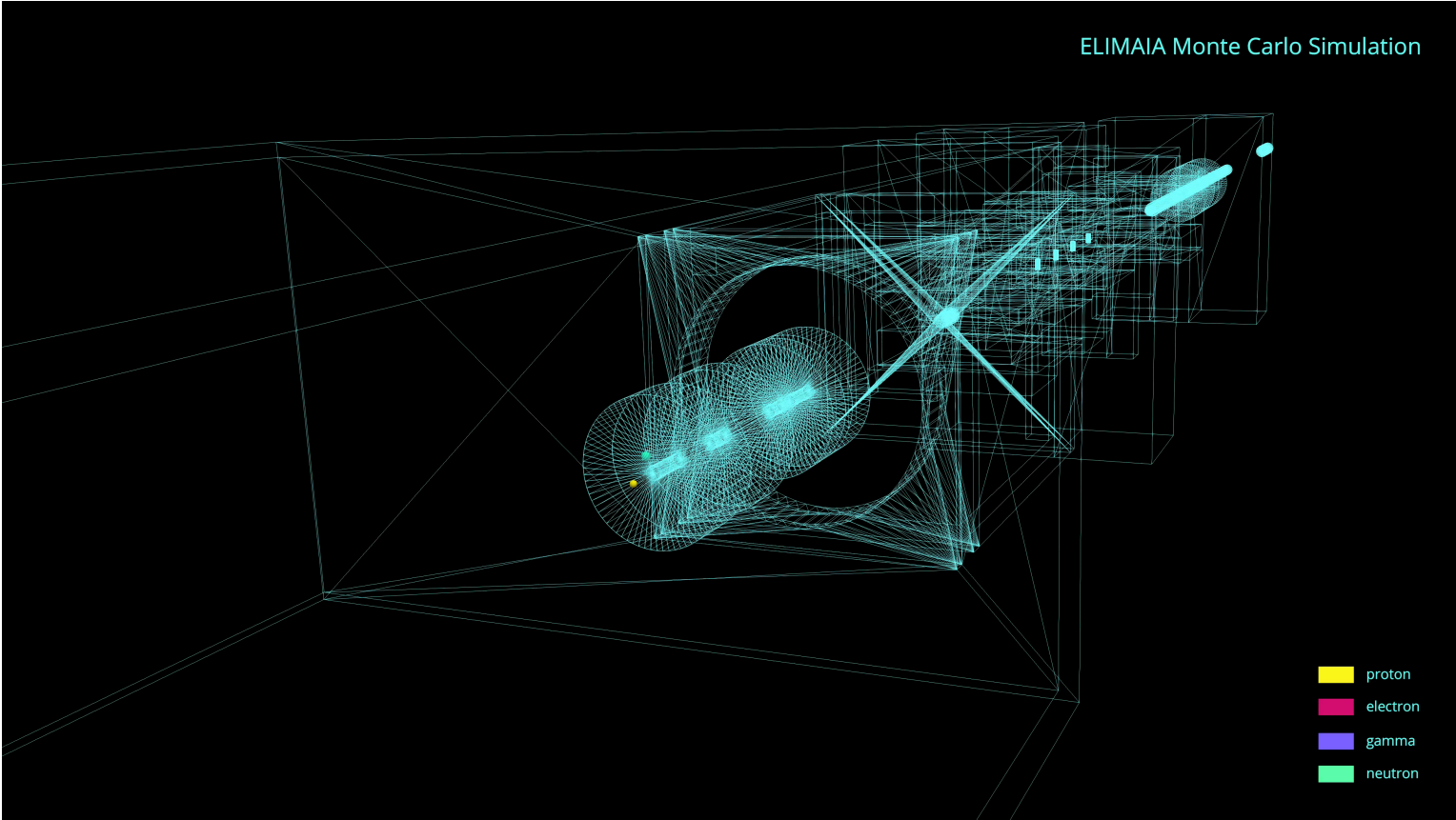
Interazione laser-plasma

Durata dell'impulso (o bunch)	~ 20 ns
Intensità	$10^{11} - 10^{13}$ protons/ions in a single shot
Divergenza	~ 10s degrees
Spettro energetico	Esponenziale decrescente



Fasci convenzionali (ad esempio il CS)

Durata dell'impulso (o bunch)	Continuum
Intensità	10/100 nA
Divergenza	few mrad
Spettro energetico	Monocromatico



L'accelerazione laser-plasma può essere competitiva rispetto agli acceleratori convenzionali?

Si....ma.....

- 1) Bisogna ridurre la divergenza angolare
- 2) Bisogna ridurre lo spread energetico
- 3) Bisogna aumentare il numero di particelle nell'irradiation point
- 4) Bisogna ridurre ridurre la contaminazione dovuta alle altre particelle
- 5) Bisogna sviluppare nuovi sistemi per controllare e monitorare i fasci

**c'è molta
ricerca da
fare!**

Quale è la storia di LNS
in questo campo?

2000 2009 2012 2018 2023



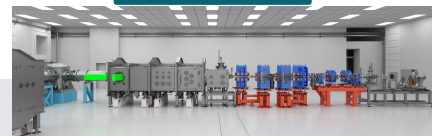
ECLISSE PLAIA PLATONE PLEIADI LILIA ELIMED L3IA FUSION
PLANETA

**Il 2000 è un anno
fondamentale**

Gruppi di discussione per
l'acquisizione di un laser di
potenza (L Calabretta et al)

Finanziamenti
BCT e PNNR

Contratto
ELIMED

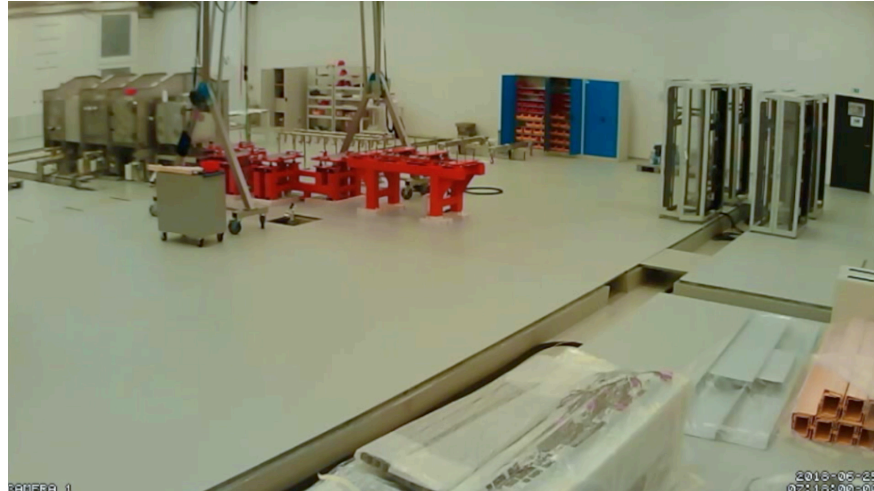
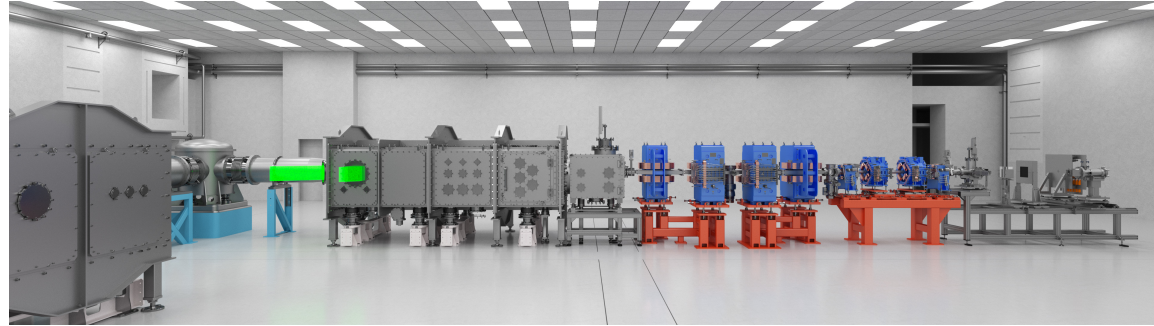


	Laser intensity [W cm ⁻²]	Number of protons	Max proton energy [MeV]
Maksimchuk et al., 2000	3*E18	> 1E9	1.5
Clark et al., 2000	5E+19	1E+12	18
Snively et al., 2000	3E+20	2E+13	58

Abbiamo l'esperienza di ELIMED

26

ELI-Beamlines, Prague (CZ)



INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

eli | beamlines

La facility
I-LUCE



INFN - Laser indUCEd radiation production

L'obiettivo è installare una facility laser nei nostri Laboratori per avere una nuova sorgente, una nuova macchina acceleratrice, dei nuovi utenti e una nuova “fisica” da studiare

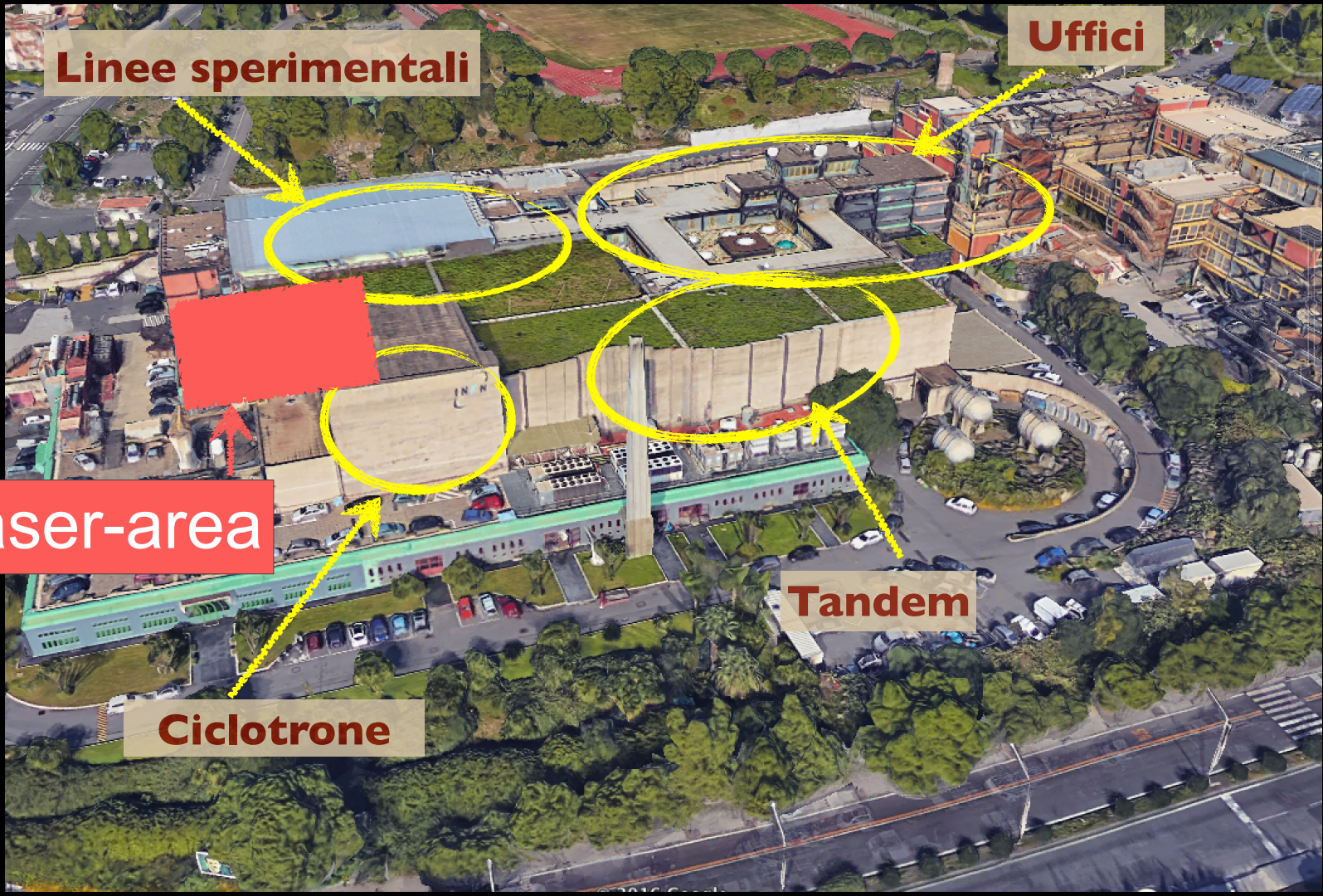
Linee sperimentali

Uffici

Laser-area

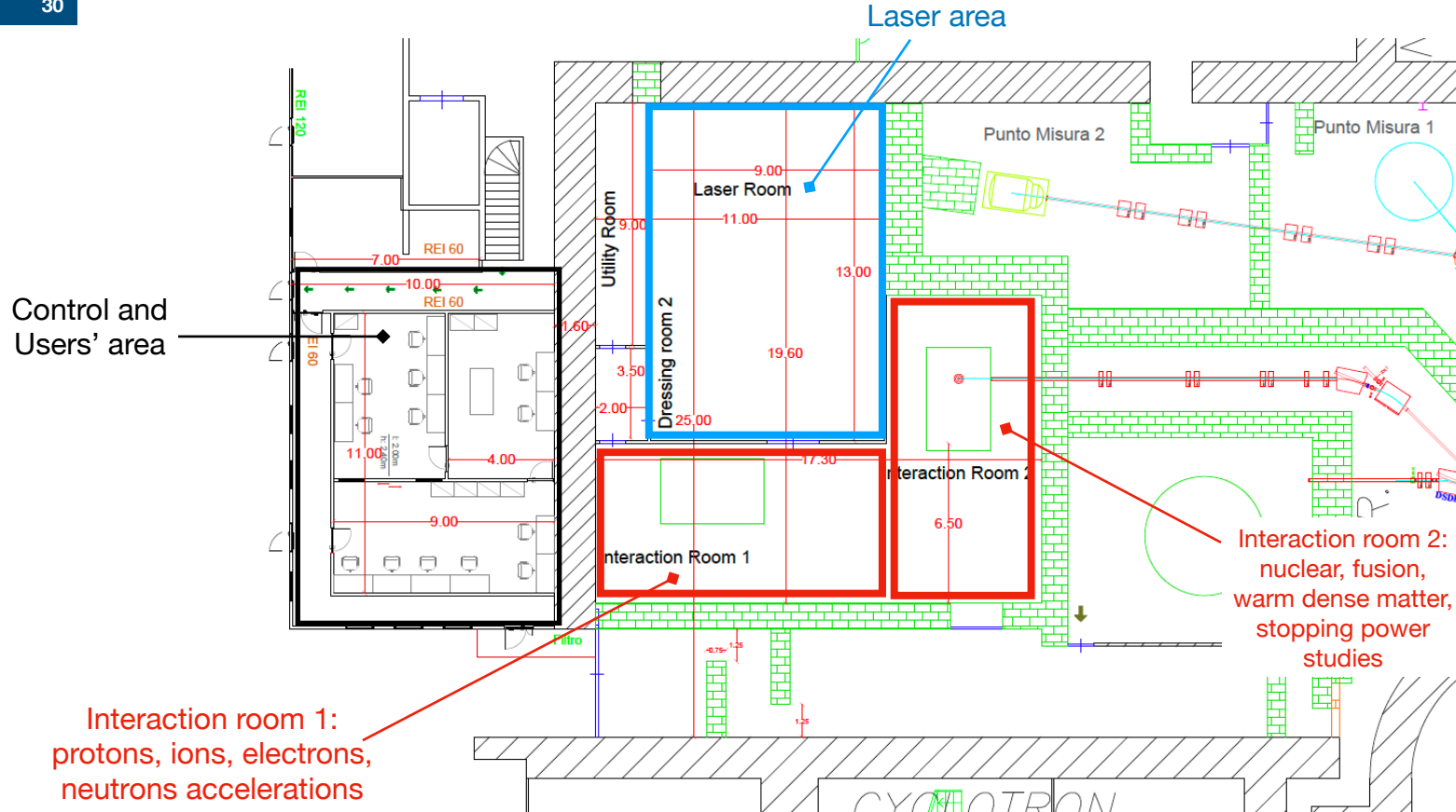
Tandem

Ciclotrone



La facility I-LUCE: dove siamo?

30



Ci saranno due camere d'interazione:

- 1) Interaction Chamber n.1 (quella più grande): dedicata all'accelerazione di protoni/ioni ed elettroni
- 2) Interaction Chamber n.2: dedicata agli studi di fisica basati sull'interazione tra fasci convenzionali (tandem e CS) e plasma prodotto dal laser

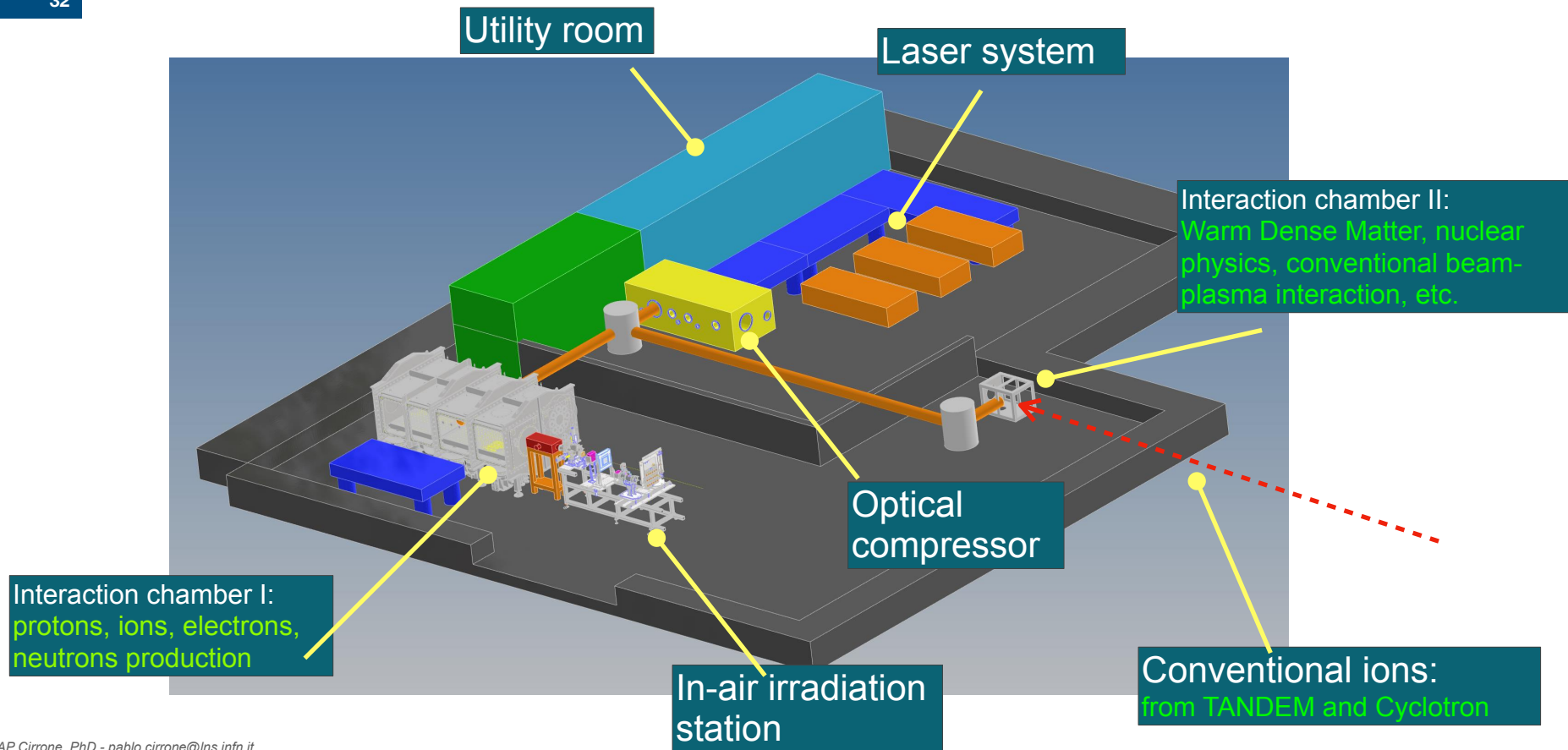
Il laser avrà due modalità di lavoro

- 1) Bassa Potenza: 50 TW
- 2) Alta Potenza: 350 TW

**Prevediamo di fare un upgrade del sistema in breve tempo
350 TW => 500 TW**

La facility I-LUCE

32



Modalità a bassa potenza: 50 TW

33

Laser Power		$\geq 50 \text{ TW}$
Energy per pulse		$\geq 1 \text{ J}$
Pulse duration		$\leq 23 \text{ fs}$
Focusing surface		$36 \mu\text{m}^2$
Max power density (at the target)		$1.21 \cdot 10^{20}$
$I \cdot \lambda^2$		$7.72 \cdot 10^{19}$
Contrast ratio @100 ps (ASE)		$> 10^{10}$
Repetition rate		$\geq 10 \text{ Hz}$
Protons Ions	Max energy	4 MeV
	Particle per pulse (at 2 MeV)	$10^{11} \text{ MeV}^{-1} \text{ Sr}^{-1}$
	Energy spread	100%
	Beam divergency (max)	$\pm 20^\circ$
Eletrons	Max energy	0.1 GeV
	Particles per pulse	10^9
	Beam divergency (max)	$\pm 20 \text{ mad}$
Neutrons	Max energy	TBD
	Particles per pulse	
	Energy spread	
	Beam divergency	
Gamma X-beams	Synchrotron radiation of the electrons inside the plasma or bremsstrahlung	
	Energy	up to 20 MeV
	Beam divergency	Directionality in the beam propagation direction

*Fusion studies,
nuclear studies,
radioisotopes production,
.....*

*Acting on the compression
procedure, the pulse duration can
be increased up to 1/10 ps:*

$$\implies 2.78 \cdot 10^{18} \text{ W/cm}^2$$

$$2.78 \cdot 10^{17} \text{ W/cm}^2$$

$$\implies i\lambda^2 = 1.77 \cdot 10^{18}$$

$$i\lambda^2 = 1.77 \cdot 10^{17}$$

Longer plasma expansion times:

- Decay studies
- stopping powers studies
- WDM characterisation

Power densities can be improved reducing the focusing spot:

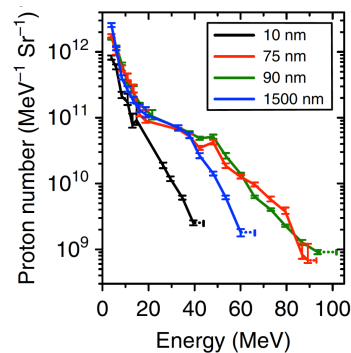
- shorter focusing parabola
- but issues related to the: target degree, back reflection, ...

Modalità ad alta potenza: 350 TW

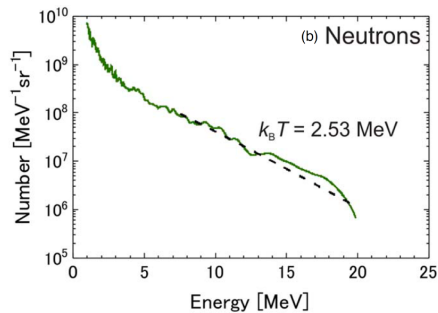
34

<p>Lasers Power</p> <p>Energy per pulse</p> <p>Pulse duration</p> <p>Focusing surface</p> <p>Max power density (at the target)</p> <p>$I \cdot \lambda^2$</p> <p>Contrast ratio @100 ps (ASE)</p> <p>Repetition rate</p>	<p>350 TW</p> <p>>7 J</p> <p>≤ 25 fs</p> <p>$36 \mu\text{m}^2$ or better</p> <p>$8.82 \cdot 10^{20}$</p> <p>$5.64 \cdot 10^{20}$</p> <p>$> 10^{10}$</p> <p>1 Hz</p>
<p>Protons Ions</p> <p>Max energy</p> <p>Particle per pulse (at 30 MeV)</p> <p>Energy spread</p> <p>Beam divergency (max)</p>	<p>50 MeV</p> <p>$10^{11} \text{ MeV}^{-1} \text{ Sr}^{-1}$</p> <p>100%</p> <p>$\pm 20^\circ$</p>
<p>Electrons</p> <p>Max energy</p> <p>Particles per pulse</p> <p>Beam divergency (max)</p>	<p>3 GeV</p> <p>10^9</p> <p>± 20 mad</p>
<p>Neutrons</p> <p>Max energy</p> <p>Particles per pulse</p> <p>Energy spread</p> <p>Beam divergency</p>	<p>20 MeV</p> <p>10^{10}</p> <p>100</p> <p>Isotropic</p>
<p>Gamma X-beams</p> <p>Synchrotron radiation of the electrons inside the plasma or bremsstrahlung</p> <p>Energy</p> <p>Beam divergency</p>	<p>up to 80 MeV</p> <p>Directionality in the beam propagation</p>

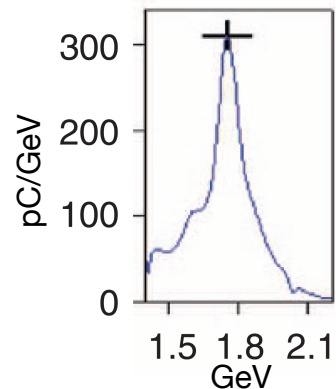
Protons spectra from A. Higginson et al. "Near-100 MeV protons via a laser-driven transparency-enhanced hybrid acceleration scheme", NATURE COMMUNICATIONS | (2018) 9:724



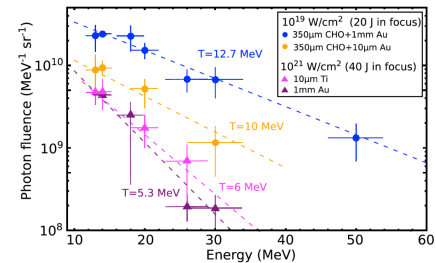
Neutrons spectra from A.Yogo et al. "Single shot radiography by a bright source of laser-driven thermal neutrons and x-rays", Applied Physics Express 14, 106001 (2021)



Electrons spectra from X. Wang et al. "Quasi-monoenergetic laser-plasma acceleration of electrons to 2 GeV", NATURE COMMUNICATIONS, 4:1988 2018 DOI: 10.1038/ncomms2988



Gamma spectra from M. M. Günther et al "Forward-looking insights in laser-generated ultraintense γ -ray and neutron sources for nuclear application and science" NATURE COMMUNICATIONS | (2022) 13:170



Una possibilità unica per la fisica dei nostri Laboratori

35

Studio della Warm Dense Matter dalla interazione ioni (anche/soprattutto di bassa energia) e plasma

Fisica del plasma: informazioni sul comportamento delle particelle cariche in questo stato e sulle proprietà globali del plasma stesso.

Fusione nucleare: l'interazione di fasci di ioni con un plasma può essere utilizzata per studiare la fusione nucleare controllata. La fusione nucleare è una possibile fonte di energia nel futuro e coinvolge la fusione di nuclei leggeri per formare nuclei più pesanti, rilasciando una grande quantità di energia. Lo studio dell'interazione dei fasci di ioni con un plasma può contribuire alla comprensione delle condizioni necessarie per raggiungere e mantenere una reazione di fusione nucleare stabile.

Fisica delle collisioni atomiche: l'interazione tra ioni di bassa energia e plasma può fornire informazioni sulla fisica delle collisioni atomiche. Ciò include lo studio delle collisioni tra ioni e atomi neutri nel plasma, nonché le collisioni tra particelle cariche all'interno del plasma stesso. Questi studi possono rivelare importanti informazioni **sulle sezioni d'urto di collisione, l'energia di eccitazione e ionizzazione degli atomi**, i processi di scambio di energia e quant'altro.

Processi di scattering: questi processi coinvolgono la deviazione di particelle cariche da parte di altre particelle o campi all'interno del plasma. L'analisi del processo di scattering può fornire informazioni sulla struttura interna del plasma, nonché sulle forze elettriche e magnetiche che agiscono sulle particelle.

Ionizzazione e ricombinazione: lo studio di questi processi può fornire informazioni sulle sezioni d'urto di ionizzazione e ricombinazione, nonché sulle rate di reazione in diverse condizioni di plasma.

Eccitazione atomica e spettroscopia: studio della eccitazione degli atomi nel plasma e la conseguente emissione di radiazione. Questo può includere lo studio della spettroscopia di emissione del plasma, che fornisce informazioni sulla struttura atomica e molecolare all'interno del plasma stesso.

Una possibilità unica per la fisica dei nostri Laboratori

36

Studio della Warm Dense Matter dalla interazione ioni (anche/soprattutto di bassa energia) e plasma

Eccitazione atomica e spettroscopia: l'interazione tra ioni di bassa energia e plasmi può essere utilizzata per studiare l'eccitazione degli atomi nel plasma e la conseguente emissione di radiazione. Questo può includere lo studio della spettroscopia di emissione del plasma, che fornisce informazioni sulla struttura atomica e molecolare all'interno del plasma stesso.

Risonanze di plasma: gli ioni nel plasma possono interagire con le onde elettromagnetiche generate dal plasma stesso. Queste interazioni possono portare alla formazione di risonanze di plasma, in cui l'energia viene scambiata tra le particelle cariche e l'onda elettromagnetica. Lo studio di queste risonanze può fornire informazioni sulle proprietà del plasma e sulle interazioni particella-onda.

Oscillazioni elettrostatiche: gli ioni nel plasma possono partecipare a oscillazioni elettrostatiche, come le onde di Langmuir, in cui le particelle cariche si muovono sincronamente sotto l'influenza delle forze elettriche. Lo studio di queste oscillazioni può contribuire alla comprensione delle proprietà di trasporto e delle caratteristiche dinamiche del plasma.

Onde elettromagnetiche: l'interazione tra ioni e plasmi può portare alla generazione e alla propagazione di onde elettromagnetiche nel plasma. Queste onde possono includere onde di plasma, onde di Langmuir, onde di Alfvén e onde elettromagnetiche più complesse. Lo studio di queste onde può fornire informazioni sulle proprietà del plasma, sull'assorbimento e sulla dispersione delle onde elettromagnetiche e sulle interazioni con le particelle cariche.

scientific reports

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

[nature](#) > [scientific reports](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | [Open Access](#) | [Published: 01 October 2018](#)

Experimental evidence for the enhanced and reduced stopping regimes for protons propagating through hot plasmas

[S. N. Chen](#) , [S. Atzeni](#), [T. Gangolf](#), [M. Gauthier](#), [D. P. Higginson](#), [R. Hua](#), [J. Kim](#), [F. Mangia](#), [C. McGuffey](#), [J.-R. Marquès](#), [R. Riquier](#), [H. Pépin](#), [R. Shepherd](#), [O. Willi](#), [F. N. Beg](#), [C. Deutsch](#) & [J. Fuchs](#)

[Scientific Reports](#) **8**, Article number: 14586 (2018) | [Cite this article](#)

2864 Accesses | 11 Citations | [Metrics](#)

I fondi PNRR a
nostra disposizione

Quattro canali di finanziamento per I-LUCE

38



Roma TV, LNF, Pisa CNR, LNS
15 M€



7.9 M€ **WP3 High-Power lasers**

Infrastruttura

Sistema laser e camere interazione

Electron acceleration



0.8 M€

Accelerazione di protoni e ioni



Advanced
technologies for
Human Centred
Medicine

23 Istituti; Spoke 4: Caserta, Pavia, INFN

1.3 M€

Accelerazione di elettroni e UHDR

BCT

Breast Cancer Therapy

2.5 M€

Linea di trasporto per fasci laser
driven dedicata a studi radiobiologici
di protoni

Supporto per la costruzione e il mantenimento di I-LUCE

39

Divisione Ricerca

Reparto Gestione e manutenzione apparati sperimentali
Reparto Laboratorio di tecniche chimico fisiche
Reparto Elettronica e rivelatori

Divisione Acceleratori

Reparto Vuoto
Reparto Elettronica, convertitori di potenza, diagnostica ed automazioni
Reparto Sistemi informatici
Reparto dispositivi meccanici
Reparto operazione e conduzione degli acceleratori
Reparto progettazione meccanica
Reparto metrologia, linee di fascio e allineamenti

Divisione Tecnica

Gestione laser	2 Tecnologi
Trasporto del laser ed interazione	2 Tecnologi
Diagnostica di plasma e di fasci, preparazione esperimenti	2 Tecnologi
Elettronica e acquisizione	
Allineamenti, laser management	Servizi e reparti LNS
Sviluppo target	
Rumore elettromagnetico e mitigazione	Gruppo lavoro I
Sistema di controllo	Gruppo lavoro II
	Gruppo lavoro X

Take-to-home message

Disponibilità di nuovi fasci che andranno a complementare gli esistenti

Studio di nuovi aspetti di fisica di base anche complementari ad altri apparati in sviluppo (ex PANDORA)

Una nuova facility europea che metterà a disposizione configurazioni uniche



Grazie per l'attenzione

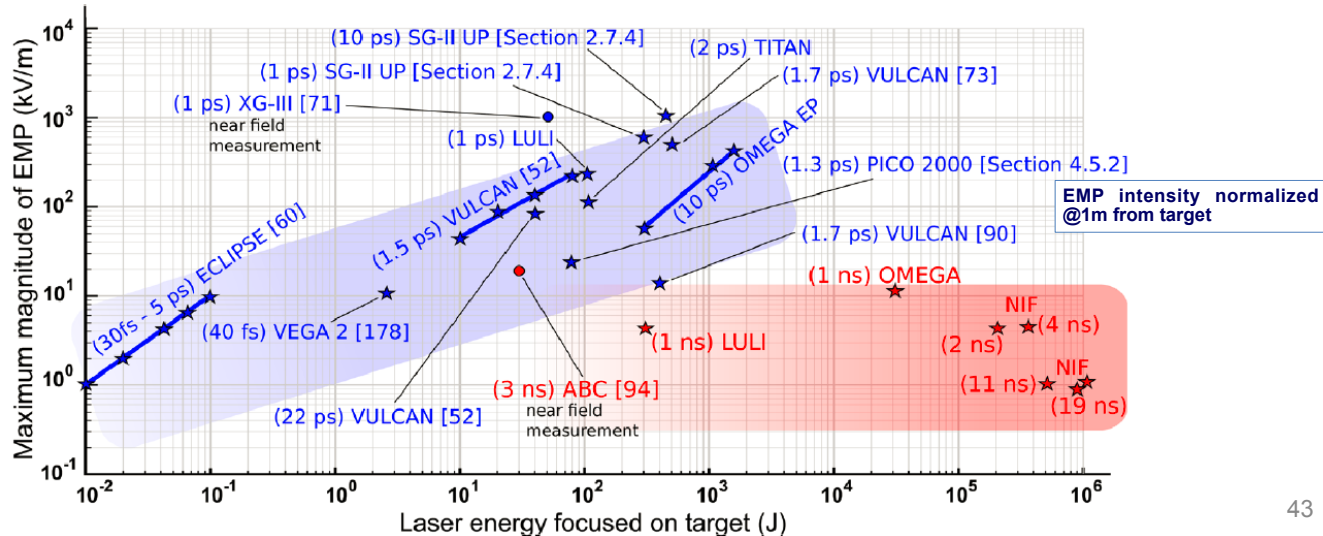




Backups

Impulsi elettromagnetici generati da interazione laser materia

- Impulsi elettromagnetici (electromagnetic pulses: EMPs) sono classicamente generati da interazioni laser materia ad alta intensità, con impulsi laser dal nanosecondo giù fino al femtosecondo
- Si ottengono intensità fino all'ordine del MV/m e anche oltre, alla distanza dal target di 1 m, e un ampio range di frequenze che vanno dall'ordine del MHz fino al THz
- Sono pertanto riconosciuti come un serio pericolo per l'elettronica, i computer, gli strumenti di diagnostica impiegati nella camera sperimentale, ma anche fuori. E ovviamente è importante confinarli adeguatamente perché non agiscano sul personale



Impulsi elettromagnetici generati da interazione laser materia

- E' quindi di estrema importanza
 - definire delle metodologie per minimizzare tali campi elettromagnetici
 - implementare delle soluzioni che
 - confinino il più possibile i campi in zone in cui non ci sia personale
 - minimizzino le intensità dei campi nelle zone in cui il personale è presente, per rispettare i valori di soglia della normativa
 - consentano il corretto funzionamento dell'elettronica e dei dispositivi di diagnostica impiegati
 - a tal fine la minimizzazione dei campi è certamente di primaria importanza
 - impiegando elettronica e dispositivi con alta schermatura ai campi elettromagnetici
 - Impiegare sensori calibrati che garantiscano il monitoraggio del rispetto delle soglie della normativa per il personale e per le condizioni sostenibili dall'elettronica impiegata.
- E' possibile provvedere in maniera adeguata alle operazioni elencate per la protezione del personale e dell'elettronica, come fatto dalle facility laser ad alta intensità operanti oggi nel panorama mondiale e per quelle al momento in fase di costruzione
- È importante provvedere ben prima della costruzione della facility alla parallela definizione ed implementazione di metodologie di adeguata schermatura e minimizzazione dei campi elettromagnetici

Come avviene l'accelerazione dei protoni e degli ioni

Laser-driven ion acceleration from plastic target

2D particle-in-cell simulation of the interaction of high-intensity laser pulse (parameters are relevant to L3 laser and thus ELIMIAA beamline) with a micrometer-thick flat plastic target. Acceleration of both protons (pink color) and carbon ions (green color), to maximum energy 150 MeV/nucleon and 40 MeV/nucleon, respectively, can be clearly distinguished in the visualization as well as different ion acceleration mechanisms (from the target front side and from its rear side). Such high-energy protons and ions have a great importance for various foreseen applications in Physics, Biology, Medicine, Chemistry, Materials Science, Engineering, and Archaeology.

Time: 2 fs



carbon energy [MeV/nucleon]

0.01 0.1 1 10

proton energy [MeV/nucleon]

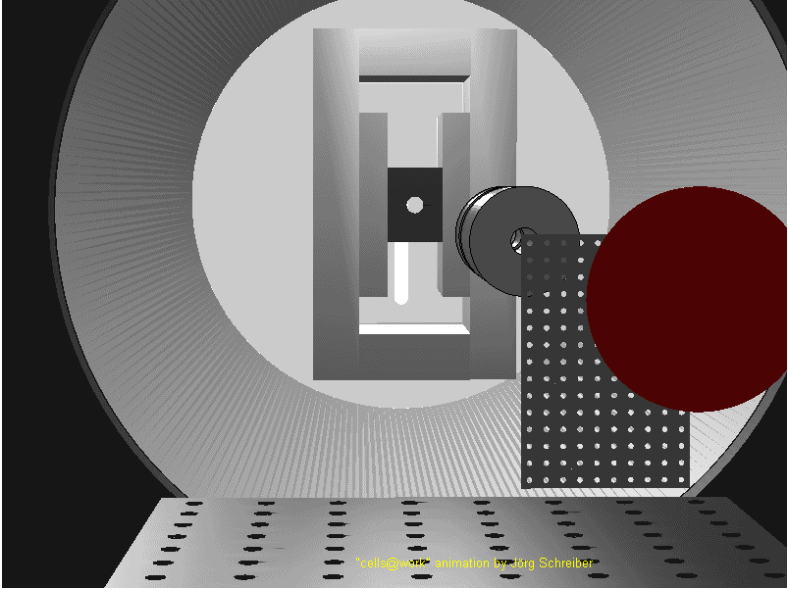
0.1 1 10 100

ax ||

0.5 1 2 5

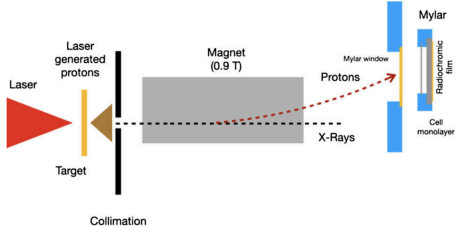
ay ||

-100 0 100



Collaborazione con Wolfgang Schreiber

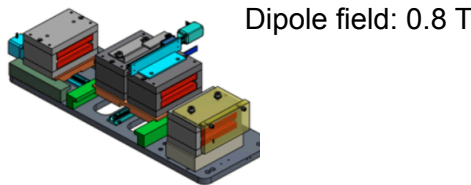
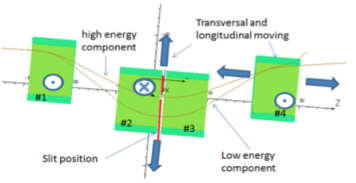
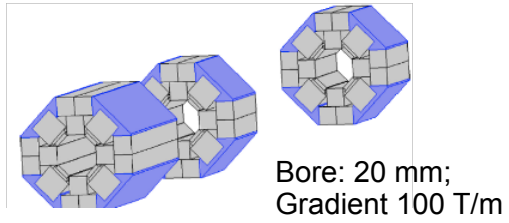
Soluzioni adottate per selezionare i fasci di protoni



Dipole field: 0.9 T
 Length: 100 mm
 Energy selection:
 up to 30 MeV proton

Single dipole for energy selection

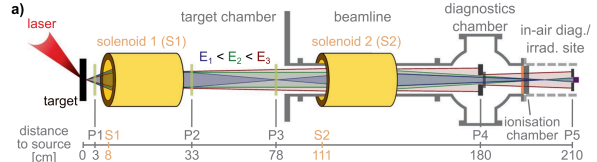
F Hanton, et al.
 Scientific Reports 9, 4471 (2019)



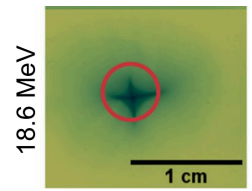
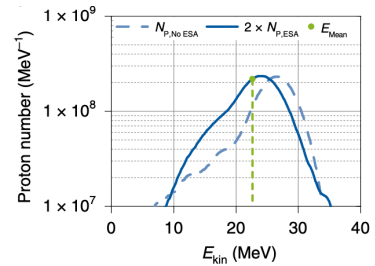
Quadrupoles + energy selector

Transport up to 30 MeV with an energy revolution of 5 %

F Schillaci, et al.
 NIMA, 837, 80-87 (2016)



On-axis magnetic field up to 19.5 T
 Rep rate: up to 3 pulse per minute



Pulsed solenoids

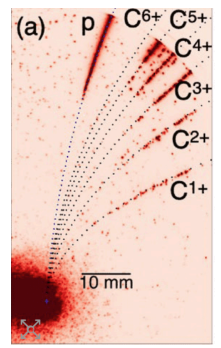
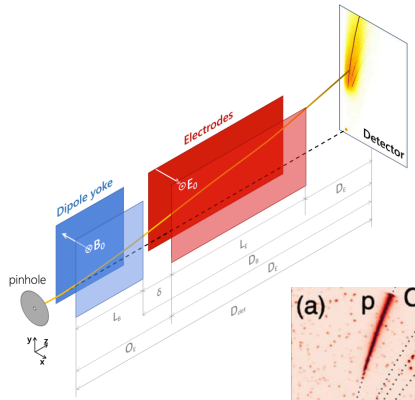
F Kroll et al. Nature Physics 18,
 316–322 (2022)

Esempi di rivelatori attivi

47

Thomson-like spectrometer

Particle max energy
Plasma species detection
Energy spectra if properly calibrated

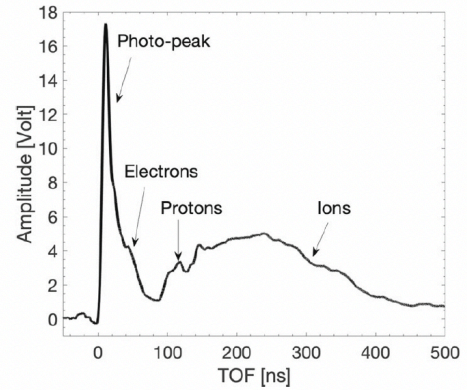


Principle:
Orthogonal Electric and magnetic fields
=>
charge separation and energy evaluation

A Alejo et al.
JNIST 11 C10005 (2016)

TOF - approach detectors

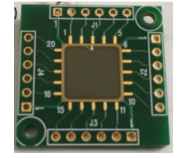
Particle max energy
Energy spectra



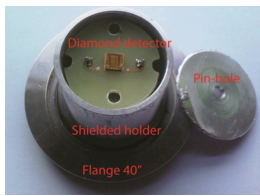
Typical Time of Flight spectra



Energy spectra can be derived



New generation of Silicon Carbide (left), Diamonds, Faraday Cups properly shielded for the EMP, are often used in this configuration



A diamond detector typically used in laser-driven experiments

M Marinelli et al.
JNIST 11 C10005 (2016)

G Milluzzo et al.
Review of Scientific Instruments 90, 083303 (2019); SI 11 C10005 (2016)

Scintillators both in single and stack configuration

Beam profile and energy spectra reconstruction

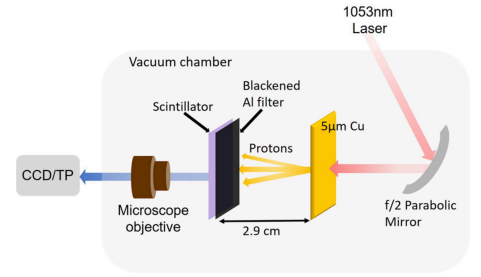


FIG. 1. A schematic of the experimental setup. A 1053 nm high intensity laser pulse is focused by a f/2 parabolic mirror onto a 5 μ m Cu target to generate TNSA proton beams. The proton beam is measured either by the TP spectrometer to measure the energy spectrum or by the scintillator imaged onto a CCD with/without a microscope objective system to diagnose the spatial resolution.

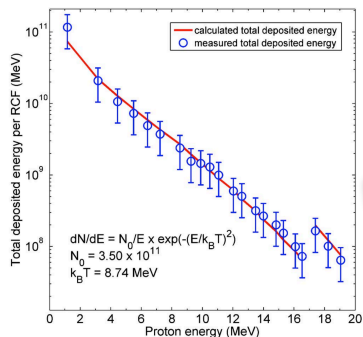
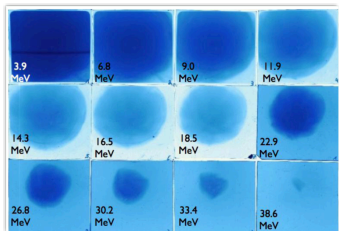
H Tang et al.
Rev. Sci. Instrum. 91, 123304 (2020);

Esempi di rivelatori passivi

48

Radiochromic films

beam profile and energy spectra reconstruction



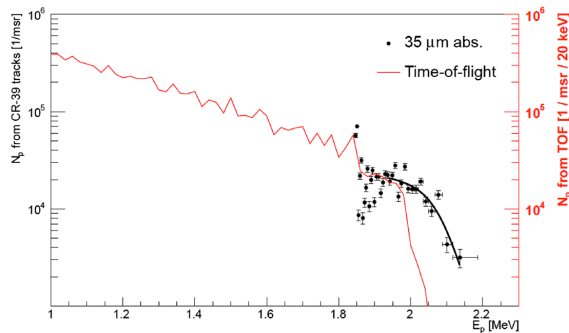
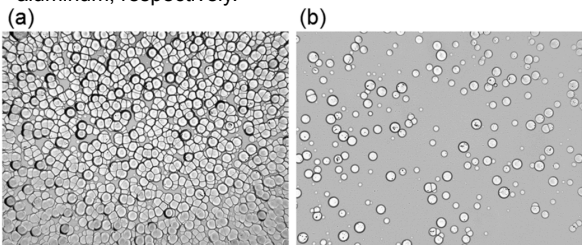
TRIDENT laser-driven protons
RAL (UK)

F Nürnberg, et al.
Review of Scientific Instruments 80,
033301 (2009);

CR39

Flux measure
Energy spectra

Microscopic images of CR-39 samples exposed to a single laser shot (example 3), covered with (a) 25 μm and (b) 35 μm of aluminum, respectively.

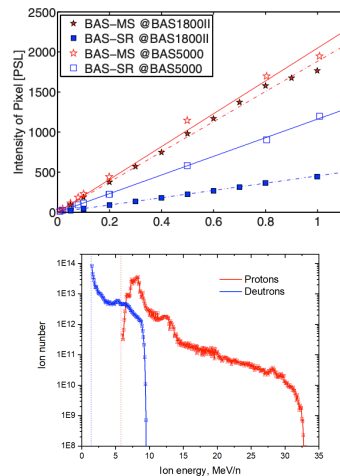


M Seimetz, et al.
Review of Scientific Instruments 89, 023302 (2018);

Image plate are photostimulable phosphor screen [BaFBr:Eu²⁺]

Flux measure
Energy spectra
Beam distribution

PSL: photo stimulated luminescence

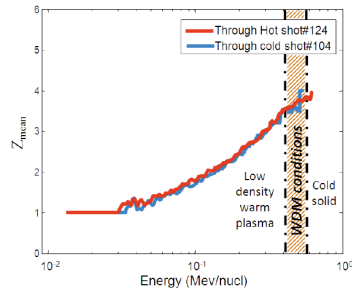


Laser-driven spectra of protons and deuterons

D O Gloving et al.
JINST 16 T02005 (2021);

Cos'altro possiamo fare?

Interaction of ion beams with plasmas
(charge exchange, stopping, etc)



M. Gauthier, et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 135003 (2013)



Istituto Superiore di Sanità



DETECTOR
DEVICES AND TECHNOLOGIES TORINO



fondazione CNAO
Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica per il trattamento dei tumori



Thanks for listening



Left to right:

Roberto Catalano, Davide Passarello, Pablo Cirrone, Emilio Zappalà, Nino Amato, Luciano Pandola, Giuliana Milluzzo, Michele Costa, Mariacristina Guarrera, Serena Fattori, Antonio Russo, Beatrice Cagni, Aina Kurmanova, Carmen Altana, Andrea Matamoros, Giuliana Navarra, Salvo Tudisco, Giacomo Cuttone, Giada Retringa, Gustavo Messina

INFN-LNS Medical Physics Group - Catania, April 30, 2021