



Recenti Risultati del Free-Electron Laser del Progetto SPARC@LNF

Maurizio Serluca

Università di Roma TRE e INFN-ROMA1

IFAE 2011

Perugia 27/04/2011

Sommario:

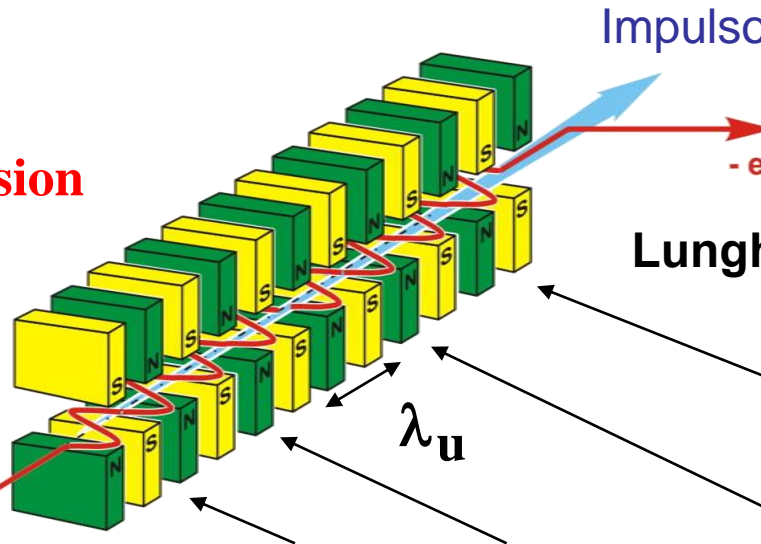
- Introduzione al Free-Electron Laser
- Il progetto SPARC
- Alcuni risultati del progetto

Schema di interazione FEL: Un Free Electron Laser è un dispositivo che converte una frazione dell'energia cinetica di un fascio di elettroni in radiazione coerente attraverso un meccanismo di instabilità collettiva all'interno di un lungo onduttore magnetico

SASE FEL
Self Amplified
Spontaneous Emission

Sorgente di elettroni ad alta brillantezza

$$E = mc^2 \gamma$$



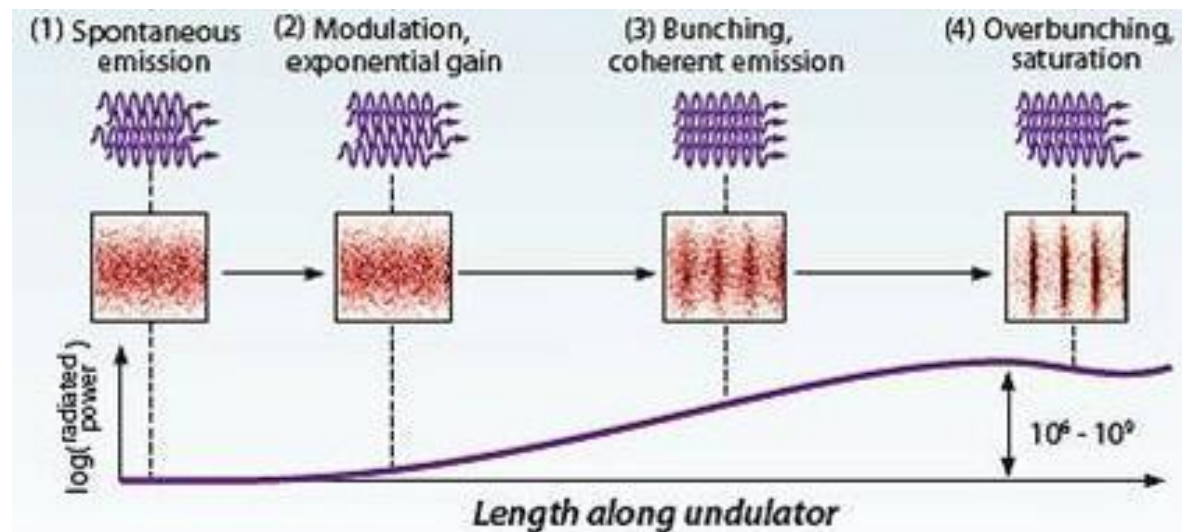
Impulso Laser FEL

Lunghezza d'onda risonante:

$$\lambda_r = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right)$$

Ampiezza normalizzata dell'ondulatore :

$$K = \frac{eB_0}{mck_u} \approx 1$$



SPARC

$$E \approx 150 \text{ MeV} \Rightarrow \lambda_R \approx 500 \text{ nm}$$

$$L_{\text{SAT}} \approx 10 \text{ m}$$

$$P_{\text{SAT}} \approx 100 \text{ MW}$$

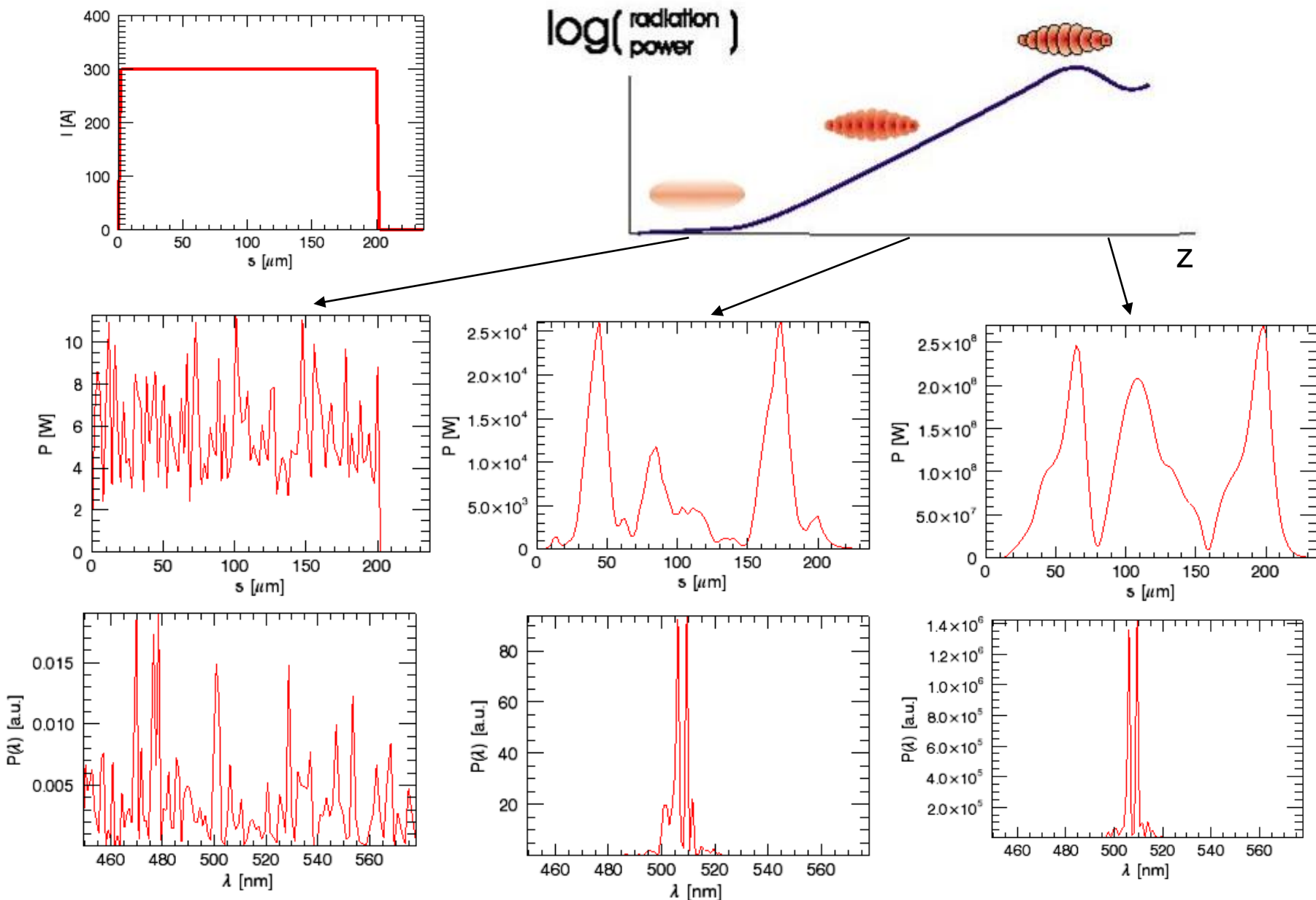
LCLS

$$E \approx 15 \text{ GeV} \Rightarrow \lambda_R \approx 0.1 \text{ nm}$$

$$L_{\text{SAT}} \approx 100 \text{ m}$$

$$P_{\text{SAT}} \approx 100 \text{ GW}$$

Spettro e struttura temporale dell'impulso SASE-FEL



Alcuni obiettivi del progetto SPARC

- Compressione del fascio di elettroni con la tecnica del “velocity bunching” con compensazione dell'emittanza
- Utilizzo dei fasci compressi per sperimentare il regime di singola spike nello schema SASE
- Esperimenti di generazione di armoniche con lo schema di SEED

SPARC

Transfer Line:
Diagnostics
and Matching

180 MeV
S-band
linac

Undulators
 $\lambda_u = 2.8$ cm
 $K_{max} = 2.2$
 $\lambda_r = 500$ nm

10 m

Solenoids

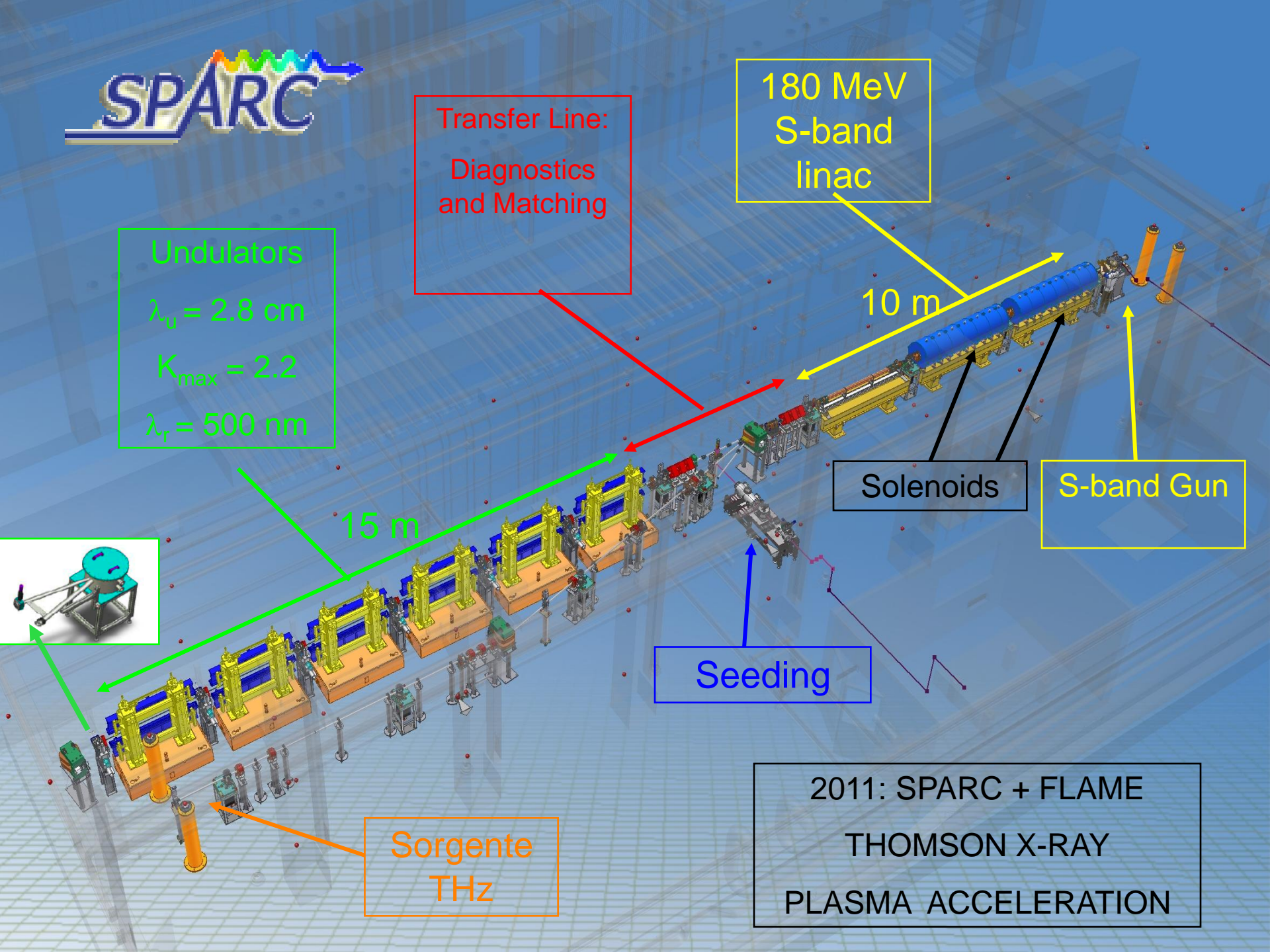
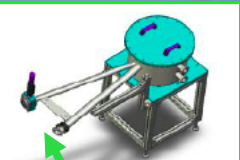
S-band Gun

15 m

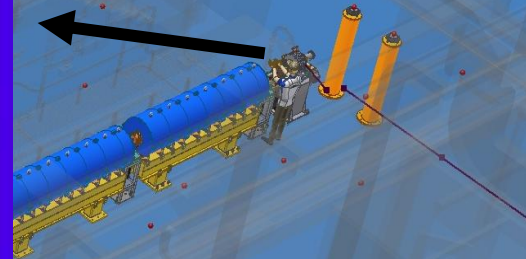
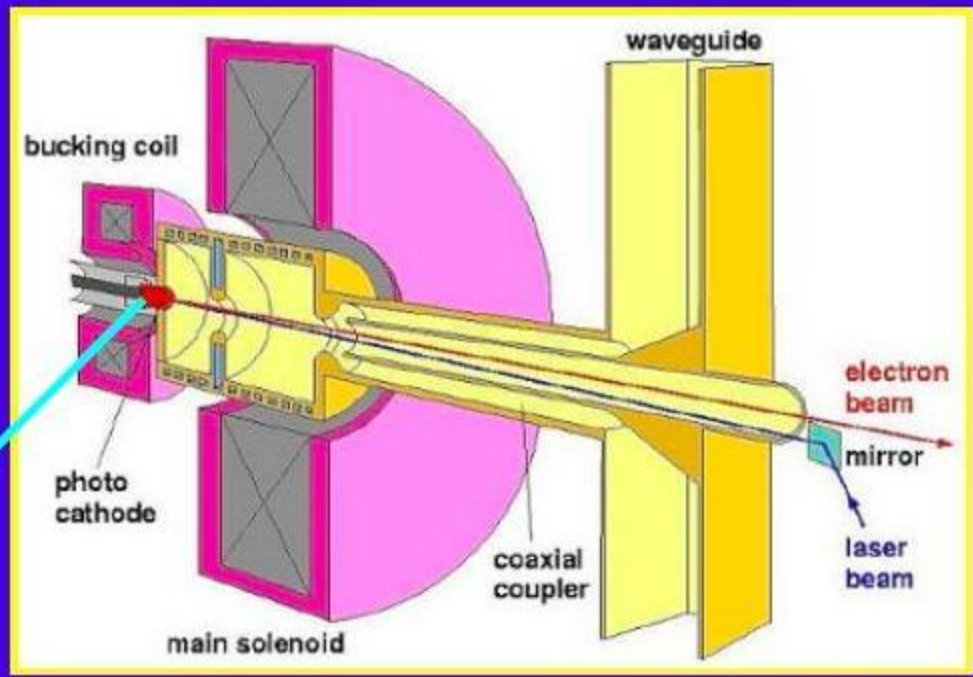
Seeding

Sorgente
THz

2011: SPARC + FLAME
THOMSON X-RAY
PLASMA ACCELERATION

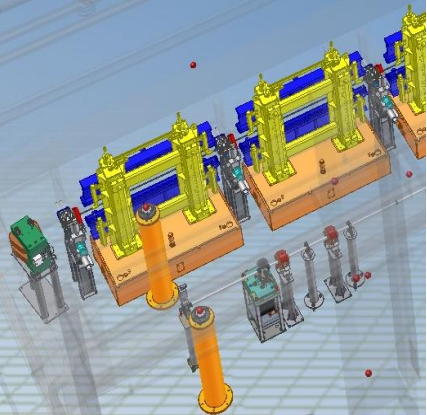


SPARC GUN: BLOW-OUT REGIME

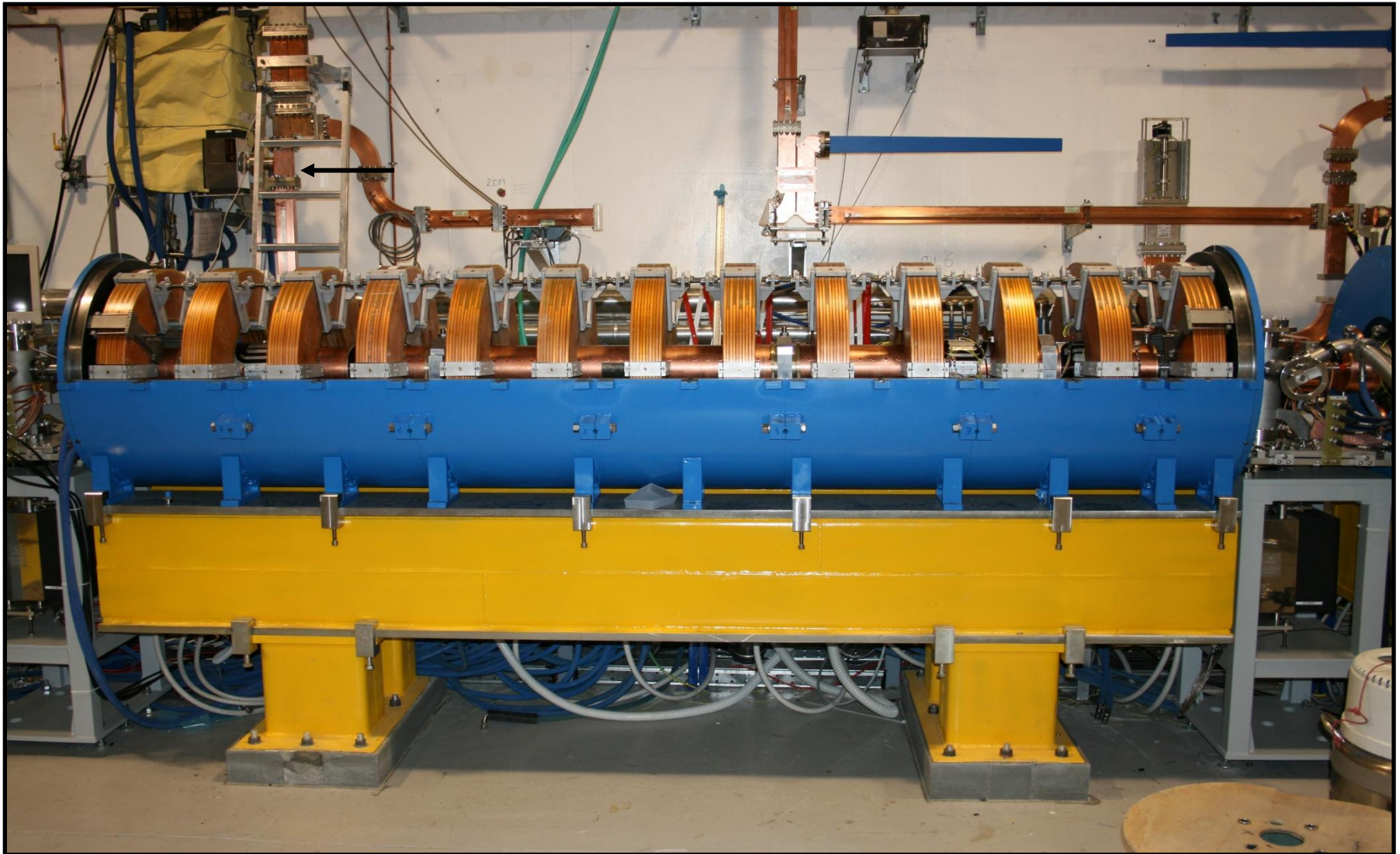


BLOW-OUT Regime:
Laser UV gaussiano sul catodo
Lunghezza RMS 0.15 ps

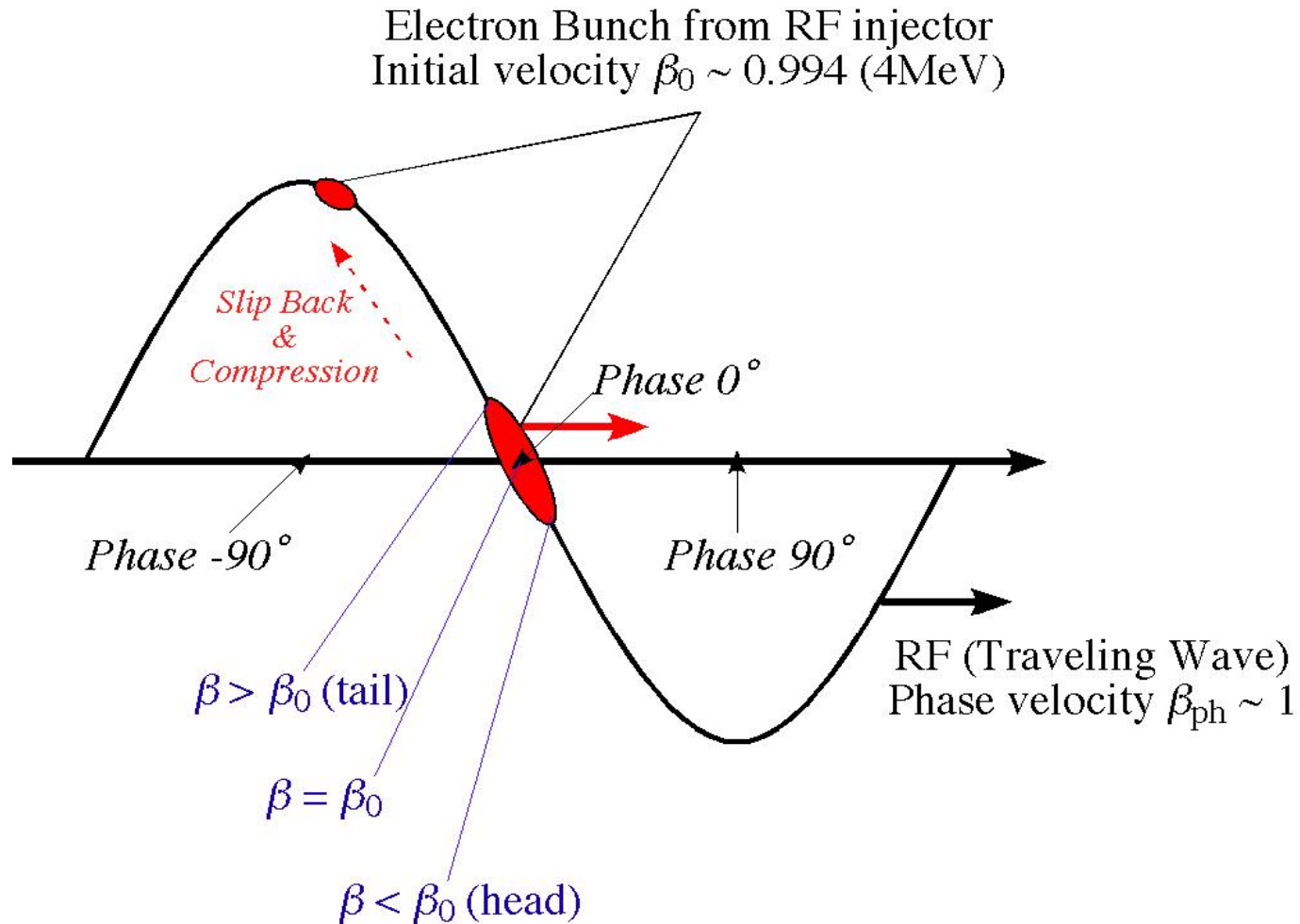
Fascio di elettroni:
Carica 50-250 pC
Lunghezza 2 ps (rms)
Energia 5 MeV
Corrente 80 A
Emittanza 2 mm-mrad



Tecnica di compressione del Velocity Bunching :



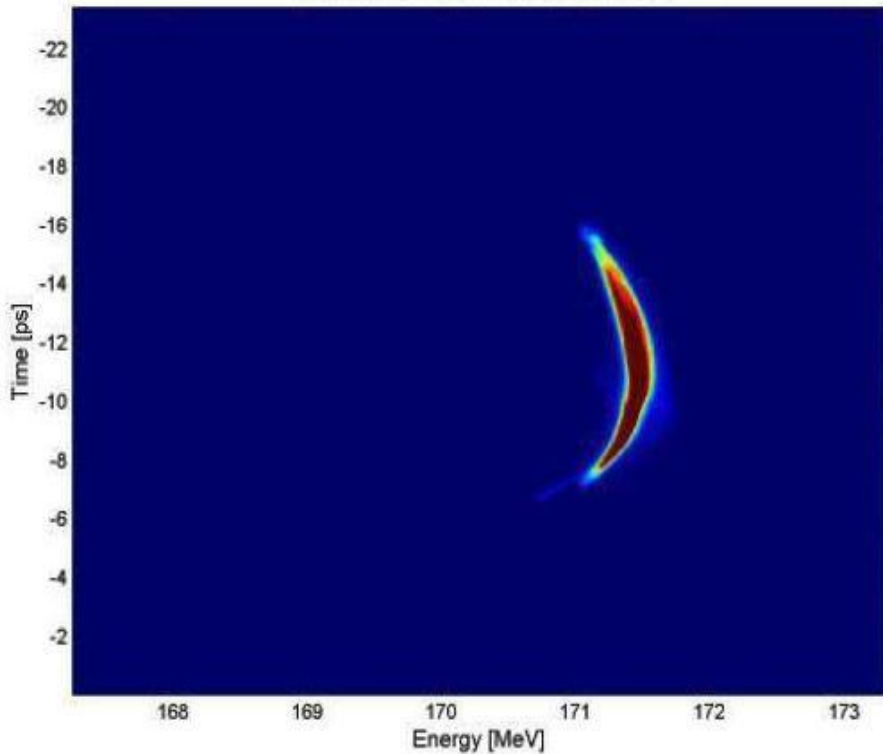
Tecnica di compressione del Velocity Bunching :



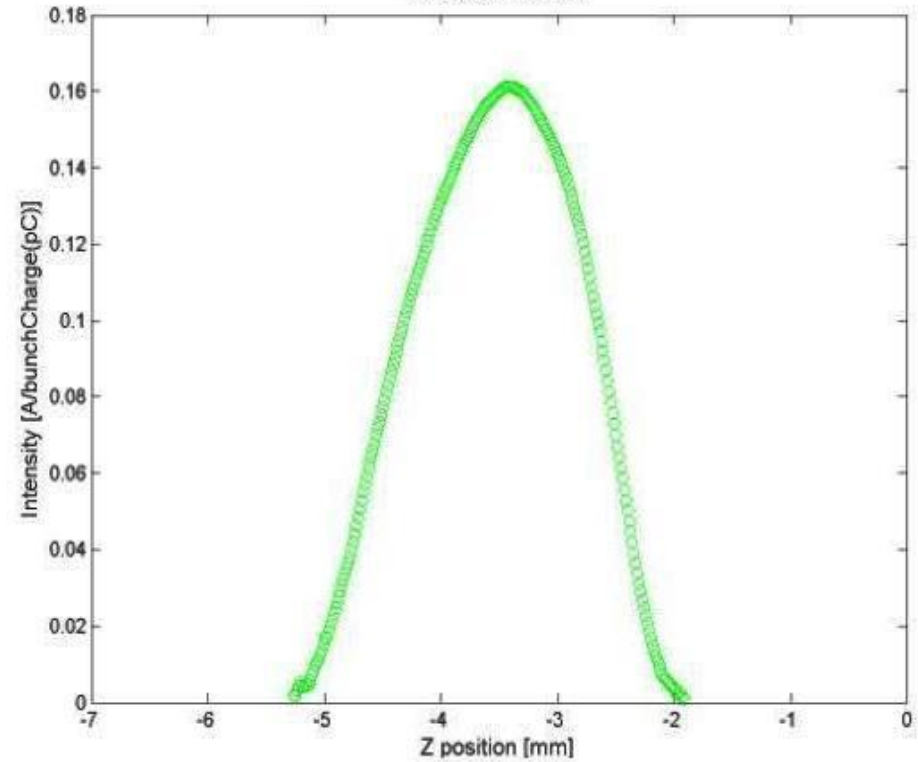
Spazio fase longitudinale:

BLOW-OUT REGIME : $L_B = 2$ ps (rms); $I = 80$ A; $E = 172$ MeV ; chirp_E = 0%

LONGITUDINAL TRACE SPACE



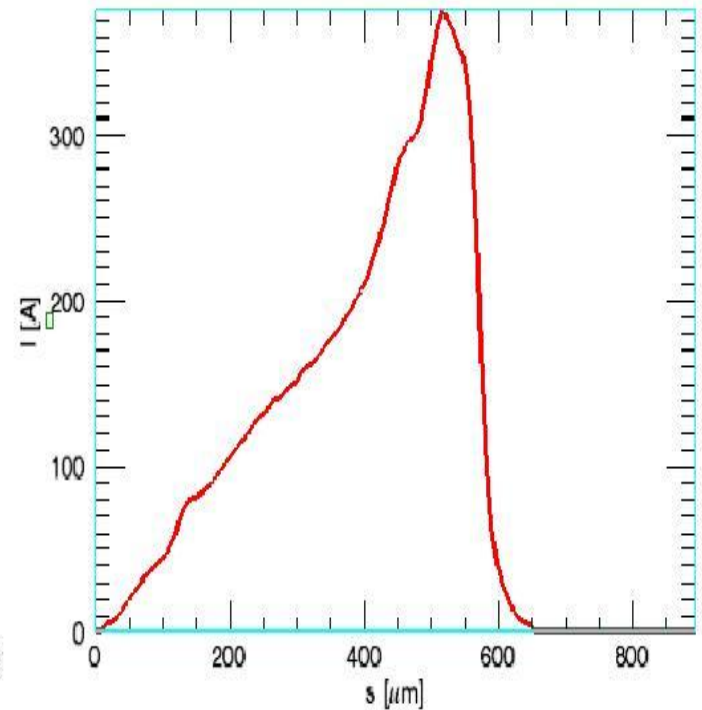
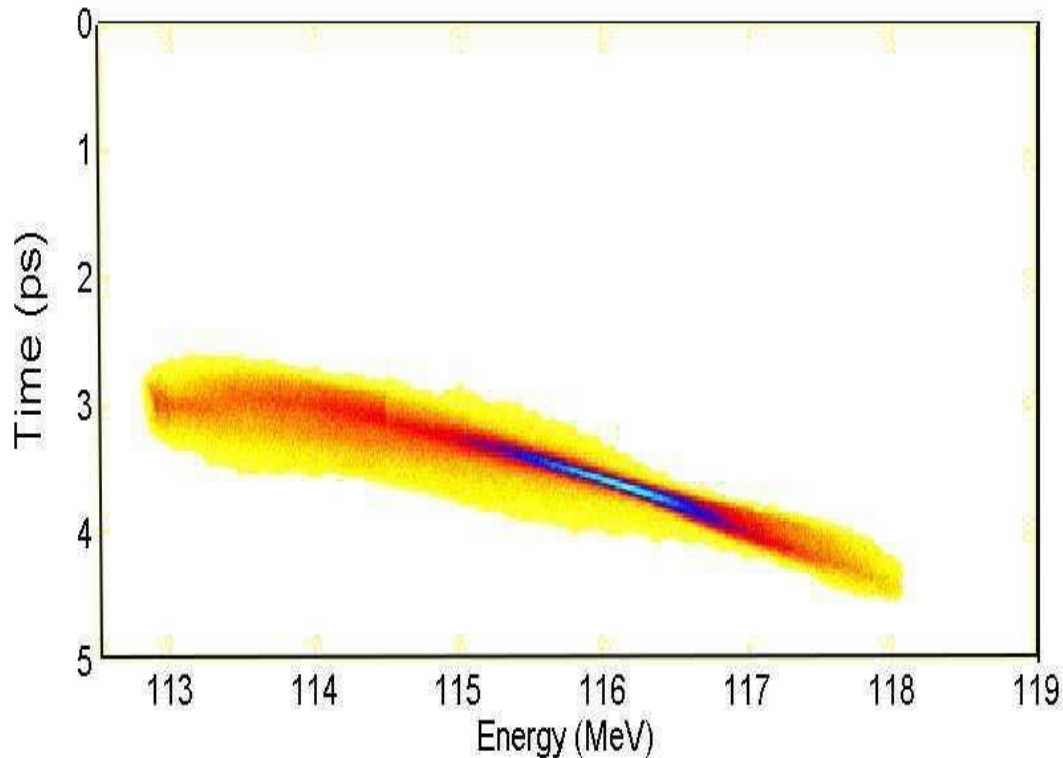
MEAN current



Spazio fase longitudinale:

BLOW-OUT REGIME : $L_B = 2$ ps (rms); $I = 80$ A; $E = 172$ MeV ; chirp_E = 0%

BLOW-OUT REGIME + compressione VB (C=5): $L_B = 0.42$ ps(rms); $I = 380$ A;
 $E = 115$ MeV ; chirp_E = 1.15%



Per compressioni maggiori il fascio ha energie troppo basse per “laserare” nel range del nostro spettrometro.

Spettro da fascio compresso con K costante:

Energy [MeV]	115.2
Energy Spread projec. [%]	1.15
Energy Spread slice [%]	0.3
Energy Chirp [keV/ μm]	6 ± 1.5
Norm. Emittance [mm-mrad]	2
Beam length [ps]	0.42
Beam Charge [pC]	300
Peak Current [A]	380



$K=1$; $\lambda_r = 540 \text{ nm}$

Risultati sperimentali:

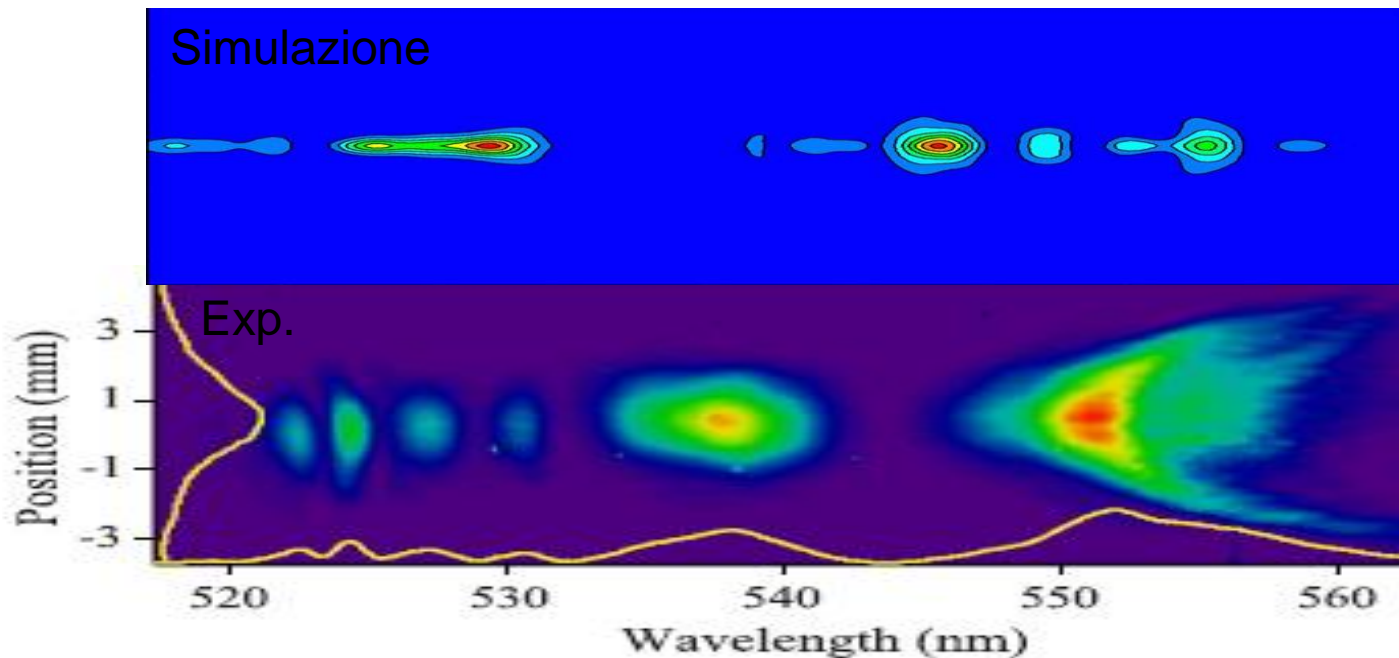
$N_{\text{Spike}} > 3$

$P_{\text{SAT}} = 1 \text{ MW} \ll 100 \text{ MW (theory)}$

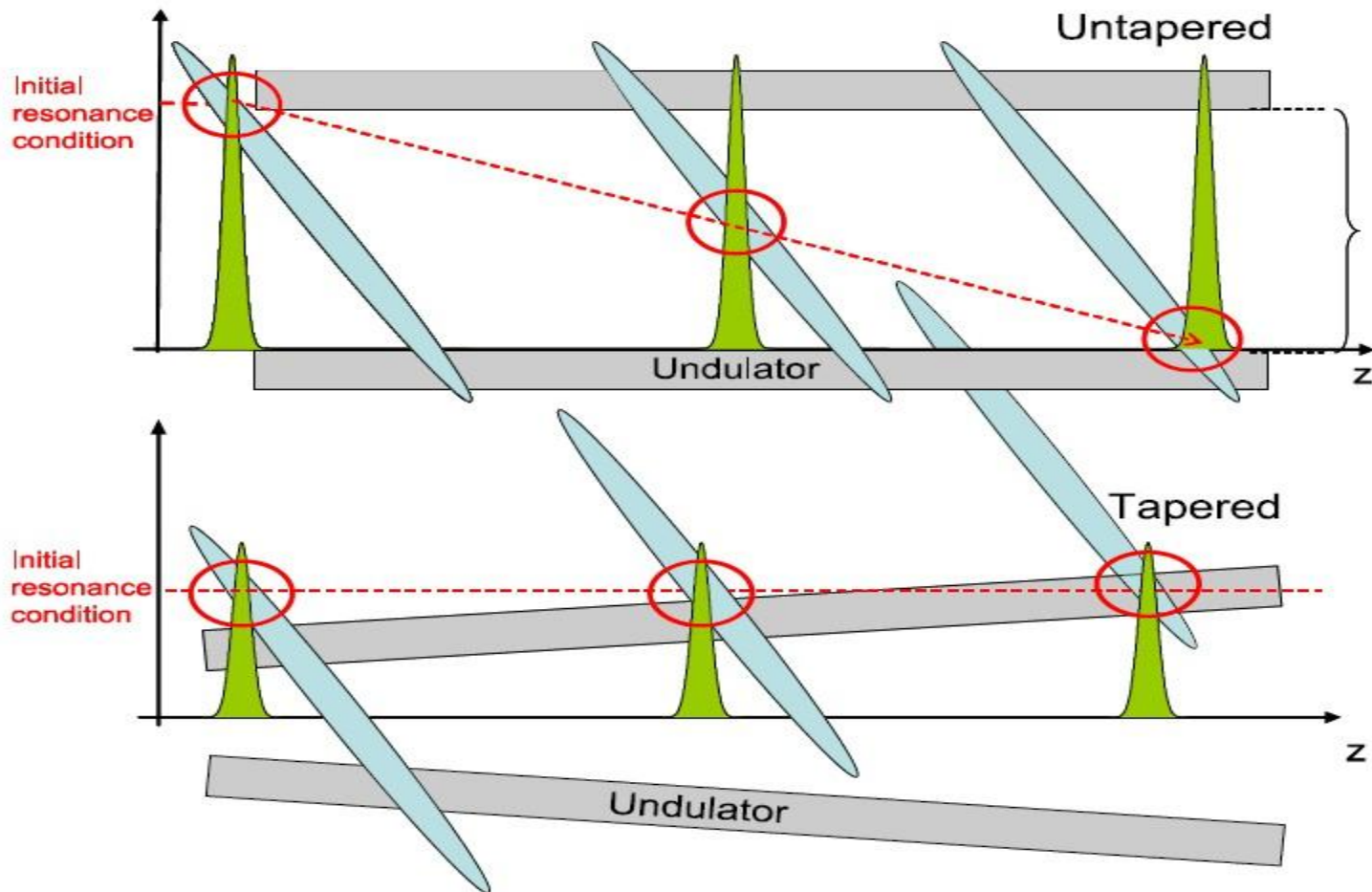
$L_{\text{SAT}} \gg 12 \text{ m}$

$B_{\omega}(\text{min}) = 1.5 > 0.6\% \text{ (theory)}$

Spettro all'uscita della sesta sezione :

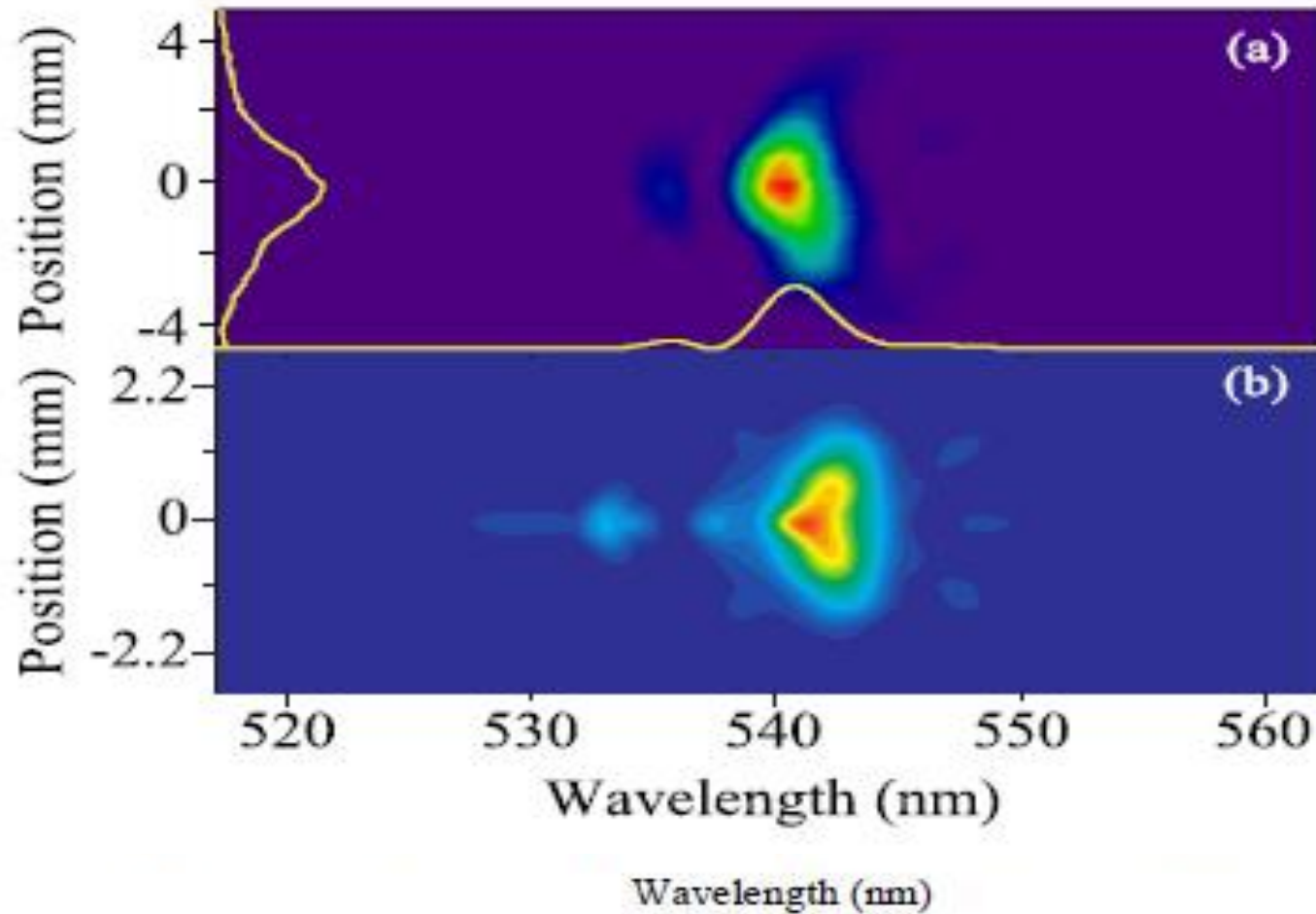


Compensazione del chirp in energia con un ondulatore con K variabile (Taper)



Risultati sperimentali per la singola spike

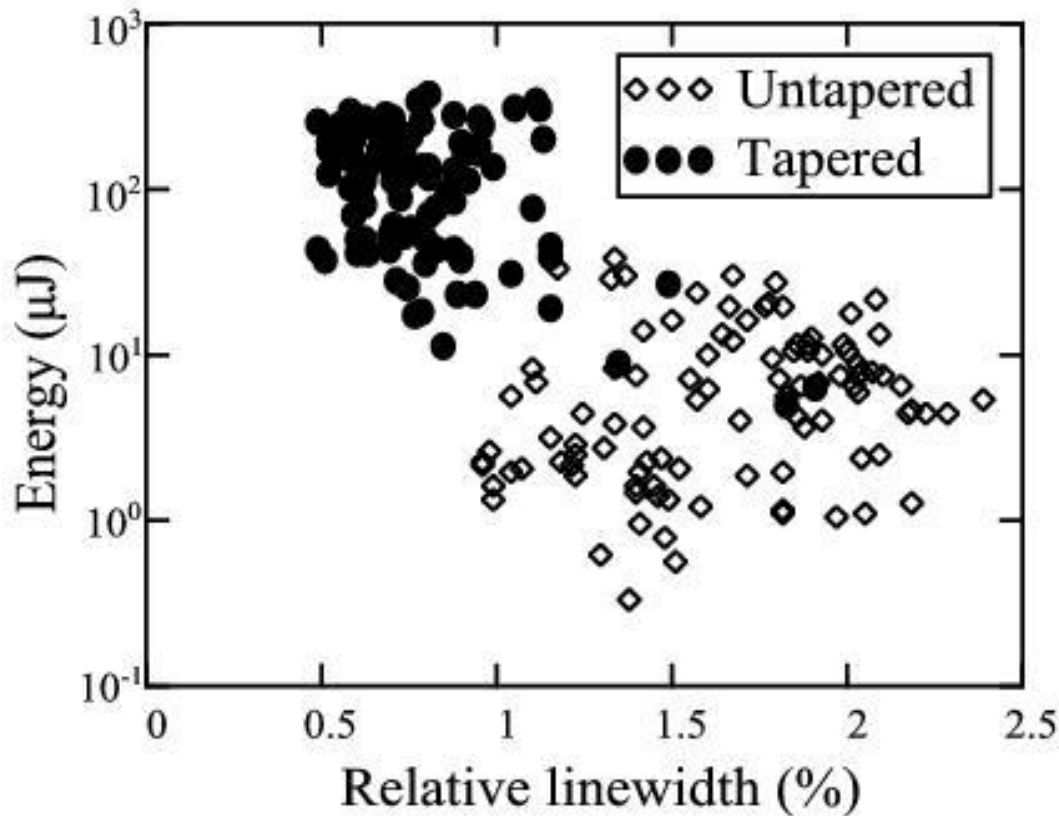
Alcuni colpi con energia maggiore di $300 \mu\text{J}$: la più alta mai ottenuta a SPARC



(a) Spettro sperimentale

(b) Spettro ricostruito dalle simulazioni

Risultati sperimentali per la singola spike



Media su 100 colpi

$$E(\text{exp.}) = 140 \pm 100 \mu\text{J}$$

$$E(\text{sim.}) = 130 \mu\text{J}$$

$$\Delta\lambda(\text{exp.}) = 1.5 \text{ nm}$$

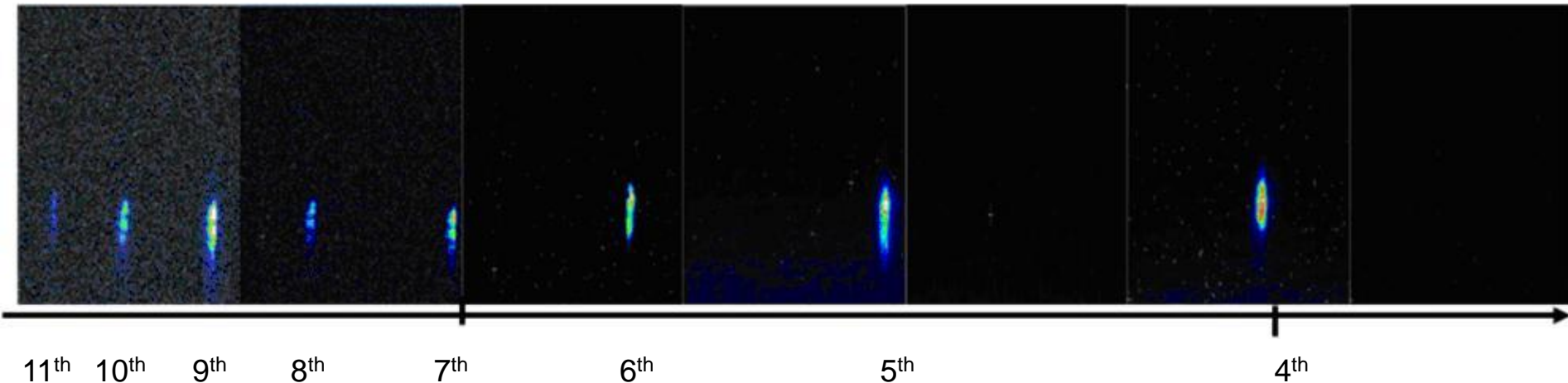
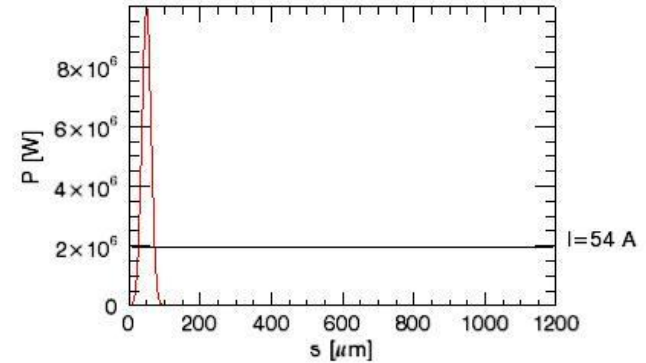
$$\Delta\lambda(\text{sim.}) = 1.6 \text{ nm}$$

High Gain Harmonics Generation HGHG in SEED FEL: esperimenti

$\lambda_r = 400$ nm (Lunghezza d'onda fondamentale)

Parameter	Uncompressed
Energy [MeV]	177.2
Energy Spread projec. [%]	0.13
Energy Spread slice [%]	0.05
Norm. Emittance x [mm-mrad]	2.9
Norm. Emittance y [mm-mrad]	2.5
Beam length [ps]	2.64
Beam Charge [pC]	400
Beam Current [A]	54

Impulso laser di seme e fascio di elettroni all'ingresso dell'ondulatore



Ringraziamenti

SPARC TEAM:

M. Ferrario, L. Giannessi, A. Bacci, M. Bellaveglia, M. Castellano, E. Chiadroni, A. Cianchi, F. Ciocci, M. E. Couprie, L. Cultrera, G. Dattoli, D. Filippetto, M. Del Franco, G. Di Pirro, L. Ficcadenti, A. Gallo, G. Gatti, M. Labat, G. Marcus, M. Moreno, A. Mostacci, E. Pace, A. Petralia, V. Petrillo, M. Quattromini, C. Ronsivalle, J. Rosenzweig, A. R. Rossi, E. Sabia, M. Serluca, I. Spassovsky, B. Spataro, V. Surrenti, C. Vaccarezza, e C. Vicario

Pubblicazioni:

M. Ferrario et al. 'Experimental Demonstration of Emittance Compensation with Velocity Bunching' PRL 104, 054801 (2010) DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.054801

V. Petrillo et al. 'Analysis of single-spike FEL visible radiation from three-dimensional and realistic beams' NIM in Phys. Res. Sect. A 621 (Sept., 2010) 1-14

M. Ferrario et al. 'Laser comb with velocity bunching: Preliminary results at SPARC' NIM in Phys. Res. Sect. A (in press) doi = 10.1016/j.nima.2010.02.018

L. Giannessi et al. 'Self Amplified Spontaneous Emission Free-Electron Laser with Energy-chirped Electron beam and Undulator tapering' PRL 106, 144801 (2011) DOI: 10.1103/PhysRevLett.106.144801