

***FACILITY REGIONALE" TBS di RX quasi-coerenti
concepita per applicazioni multidisciplinari.***

Roberto Bartolino ^{acf}, **Mauro Ghedini** ^{bcd} ,
Riccardo Barberi ^{ac}, **Raffaele Agostino** ^{ace}

a dip. di fisica, b dip.di chimica

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



c istituto nanotec del CNR
d INSTM unità di Cosenza
e CNISM unità di Cosenza
f centro interdisciplinare Linceo

STAR

(Southern Europe Thomson Back-Scattering Source for Applied Research)

1) IL PROGETTO, l'idea

2) *State of the art* Una storia dal sud , un altro sud

3) le aspirazioni



i n v e s t i a m o n e l v o s t r o f u t u r o

PON “Ricerca e Competitività” 2007 - 2013

PON MaTeRiA

Materiali e Tecnologie per la Ricerca Avanzata

Responsabile scientifico: Mauro Ghedini

MaTeRiA è un progetto per la realizzazione di una nuova infra-struttura di ricerca di servizio (facility) nell'area del Campus dell'Università della Calabria

Finanziamento €15.700.000 PON

8M€ Unical reindirizzando fondi sud per sito ed edificio

Partners:

UniCal, Università della Calabria

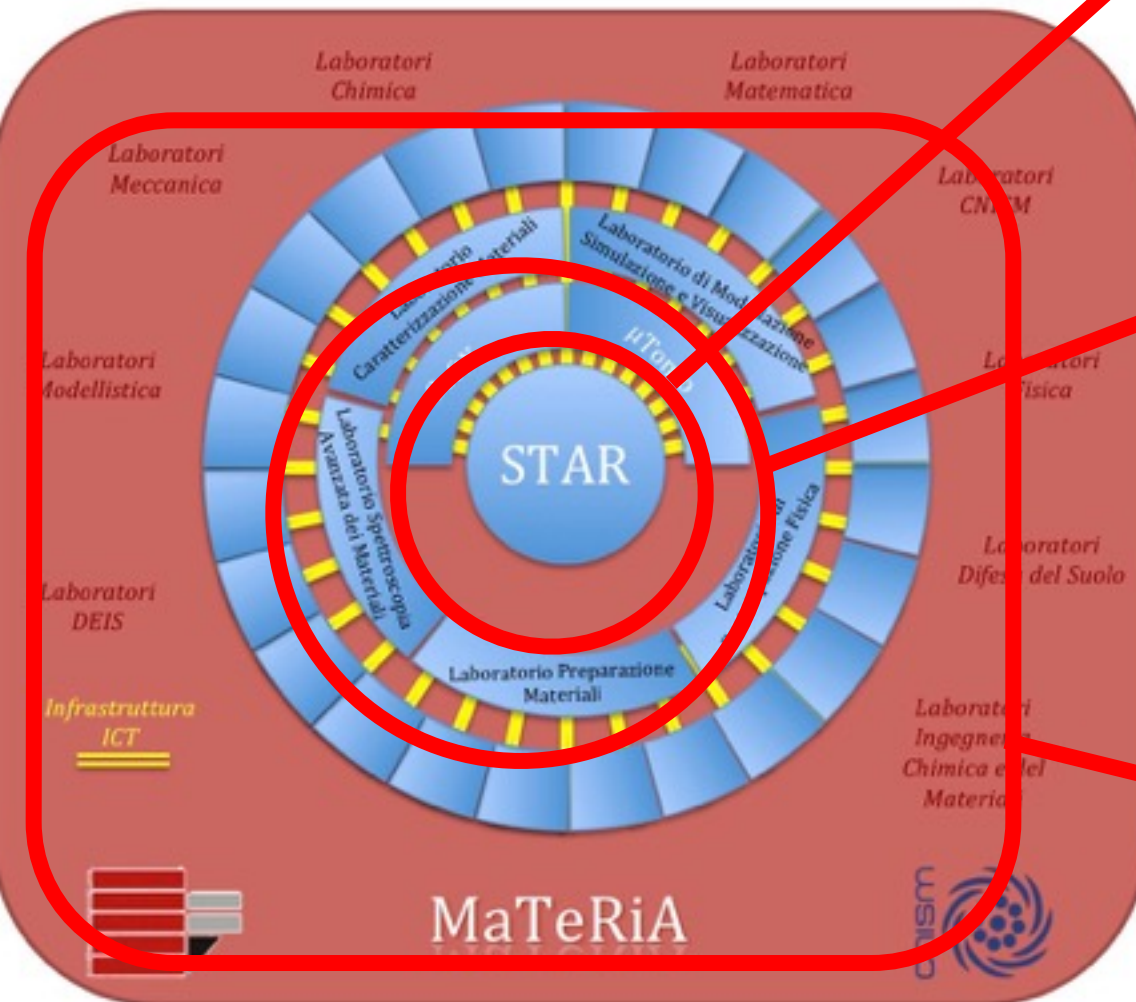
CNISM, Consorzio Nazionale Interuniversitario di Scienze fisiche della Materia

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



L'infrastruttura MaTeRiA

I laboratori specializzati che costituiscono MaTeRiA sono organizzati su tre livelli progressivi



Primo livello. Sorgente STAR (Southern Europe Thomson Back-Scattering Source for Applied Research) e stazione sperimentale μ Tomo.

Laboratori secondo livello:

1. Preparazione Materiali
2. Caratterizzazione
3. Modellazione, Simulazione
4. Prototipazione Fisica
5. Spettroscopia avanzata

Terzo livello. Rete dei laboratori dipartimentali

SITO MATERIA/STAR ALL'UNICAL



Unical

MaTeRiA

STAR



WORK IN PROGRESS



Ingegneria

Dip Fisica
INFN

AdR CNR

STAR

MaTeRiA

SILA

WORK IN PROGRESS



WORK IN PROGRESS



December '11

WORK IN PROGRESS



December '11

December '12

October '13

WORK IN PROGRESS

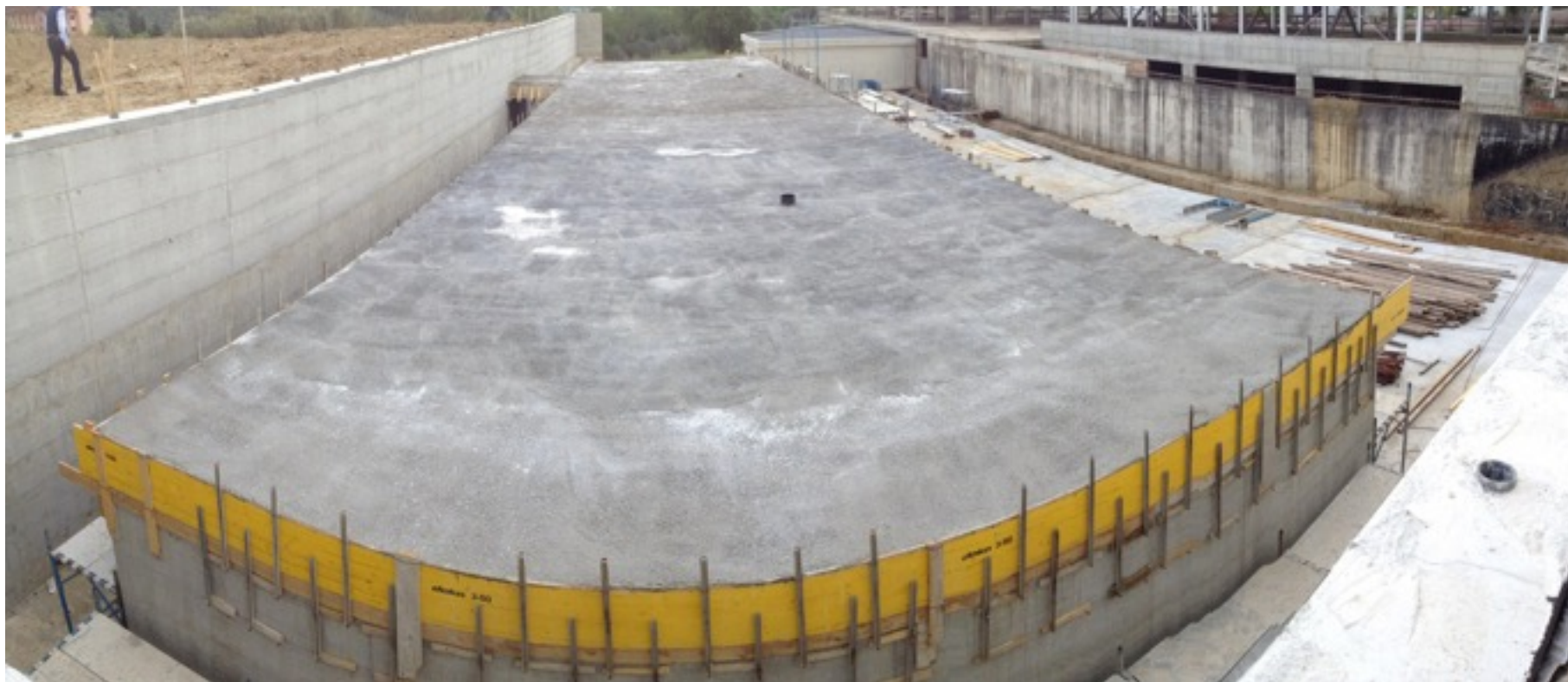


→ January '14

WORK IN PROGRESS



WORK IN PROGRESS



December '11

→ April '14

WORK IN PROGRESS

Sito STAR



December '11

March '12

December '12

July '14

STAR SITE



October 2013

The STAR facility site is the **University of Calabria campus**, in Rende (CS, Italy). The STAR source is located in a new building expressly designed to host it in its present layout.

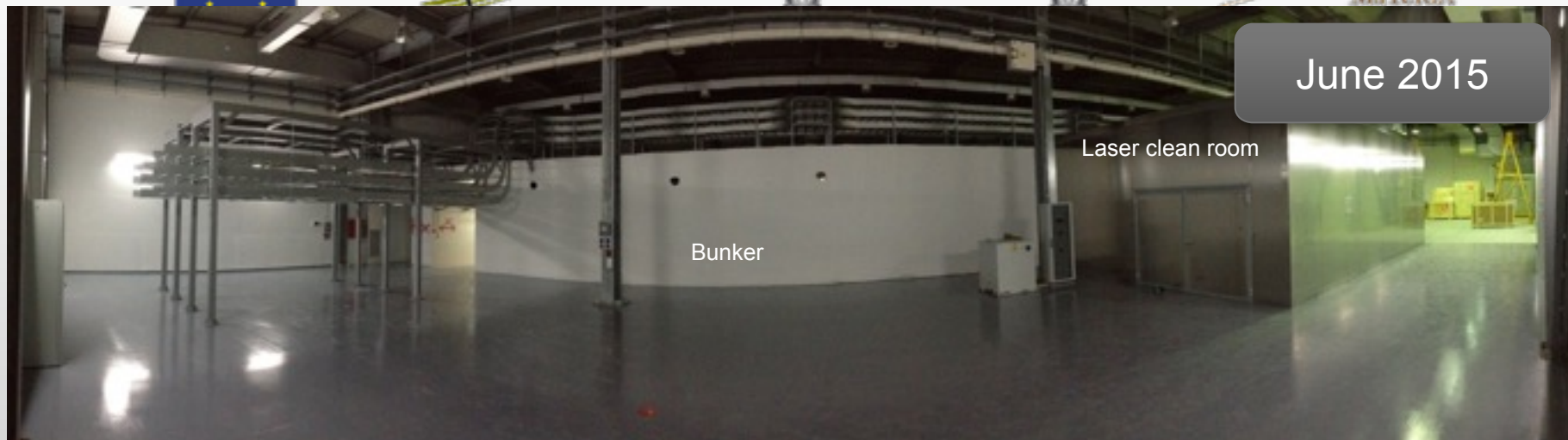
May 2015



Infrastruttura elettrica

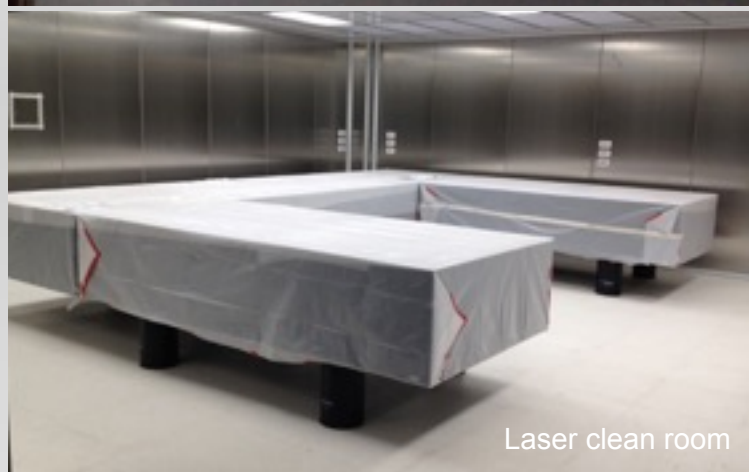
Infrastruttura condizionamento

June 2015



Bunker

Laser clean room



Laser clean room



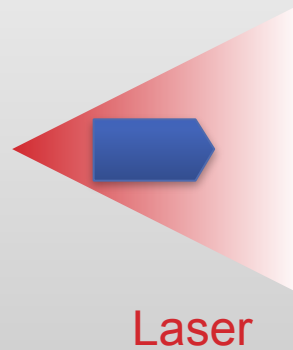
Conditioning systems

The STAR building is a 50x25x6.7h m hangar in which the **bunker** (37x12x3.5h m), the **laser clean room** and the μ Tomo experimental hutch are sited. Three satellite structures are connected to the Hangar to host the **control room** and the **electrical** and **conditioning systems**. The radiation shielding were designed for electron energies up to 350 MeV while several passive seismic monitoring experiments at different conditions were carried out allowing us to exhaustively characterize the seismic noise in terms of the power and space-time variability, both in frequency and wavelength.



La sorgente STAR è la prima user-facility, nata per la comunità delle scienze fisiche della materia soffice basata sull'emissione di raggi X duri per retrodiffusione Thomson o ad effetto Compton inverso. STAR emetterà luce polarizzata, monocromatica, e quasi coerente ad energia variabile con continuità fra 20 e 140 keV, in impulsi di durata di qualche ps e con flusso dell'ordine di 10^9 fotoni/s.

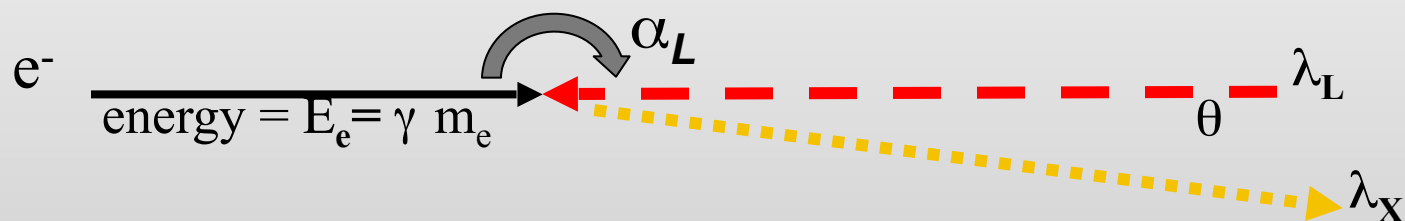
Inverse Compton Scattering (ICS) – Thomson Back-Scattering (TBS)



Raggi X

Monocromatici
Accordabili
Collimati
Intensi
quasi coerenti
A sorgente
puntuale

DIFFUSIONE THOMSON O COMPTON INVERSA



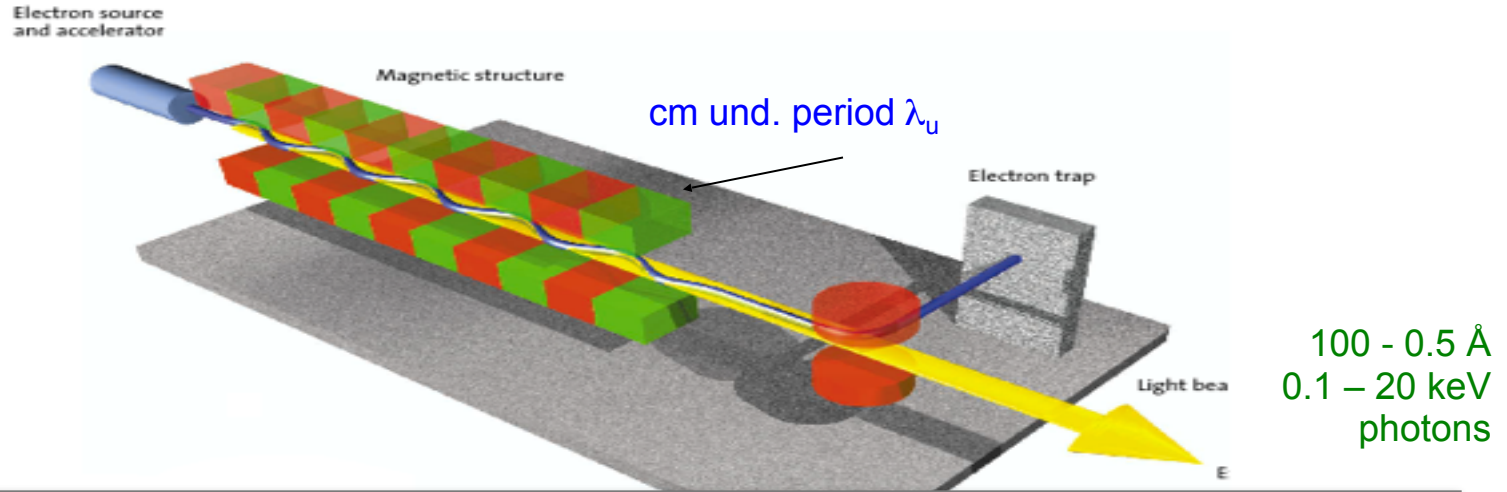
- ❑ Normal Compton Scattering the photon has higher energy than the electron
- ❑ The inverse process has the Thomson cross-section when $h\nu_x < E_e$
- ❑ The scattered photon satisfies the undulator equation with period $\lambda_L/2$ for head-on collisions

$$\lambda_X = \lambda_L \frac{(1 + a_0^2/2 + \gamma^2 \theta^2)}{4\gamma^2}$$
- ❑ Therefore, the x-ray energy decreases substantially at an angle $1/\gamma$

COMMON MECHANISM:

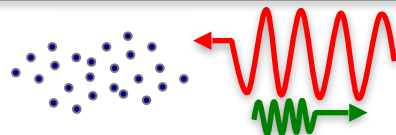
COLLISION BETWEEN A RELATIVISTIC ELECTRON AND A (PSEUDO)ELECTROMAGNETIC WAVE

1-25 GeV
electrons



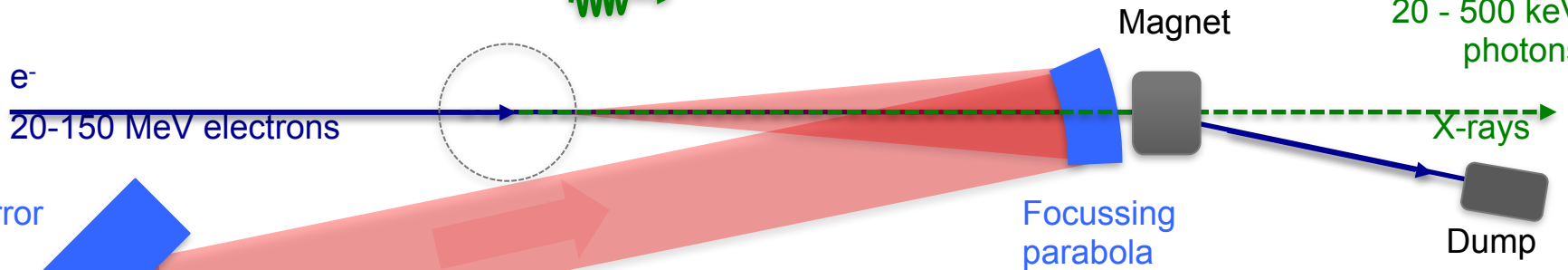
FEL's

Thomson Sources



e^-
20-150 MeV electrons

0.5 - 0.025 Å
20 - 500 keV
photons



1.0/2.4 eV - Laser beam

Courtesy of Luca Serafini

CONDIZIONI DI RISONANZA FEL

$$\lambda_R = \lambda_w \frac{(1 + a_w^2)}{2\gamma^2}$$

magnetostatic undulator

FEL's Example: for $\lambda_R = 1\text{A}$, $\lambda_w = 2\text{cm}$, $E = 7\text{ GeV}$ $a_w = 0.93\lambda_w [\text{cm}] B_w [\text{T}]$

Thomson Sources

$$\lambda_R = \lambda \frac{(1 + a_0^2/2)}{4\gamma^2}$$

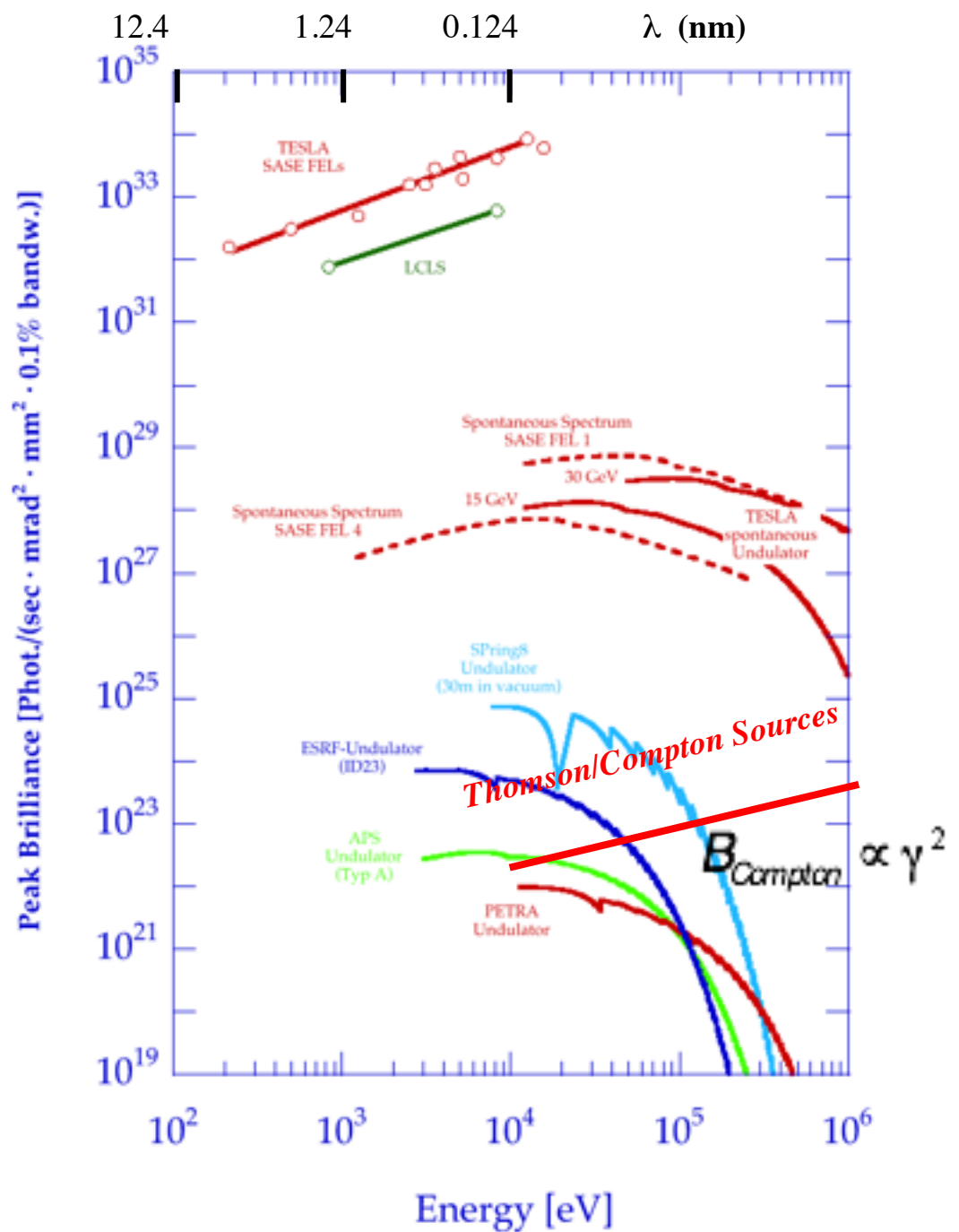
electromagnetic undulator

Example: for $\lambda_R = 1\text{A}$, $\lambda = 0.8\mu\text{m}$, $E = 25\text{ MeV}$

$$a_0 \propto \frac{\lambda [\mu\text{m}] \sqrt{P [\text{TW}]} }{R_0 [\mu\text{m}]}$$

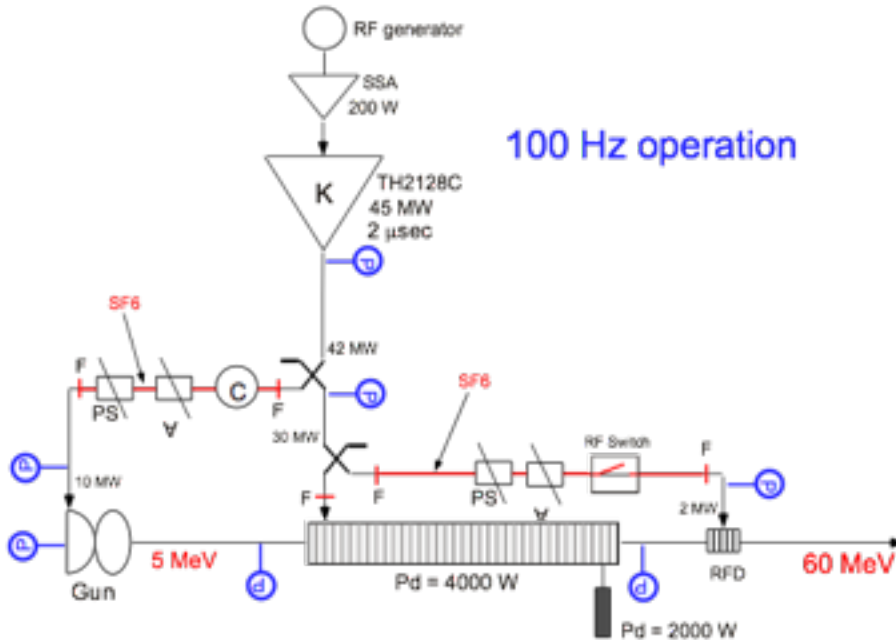
\dashrightarrow laser power
 \dashrightarrow laser spot size

BRILLANZA DELLE SORGENTI X



Courtesy of Luca Serafini

60 MeV Unical Linac



Accelerating section	150 k!
Phase shifters	2 x 20 k!
Attenuator	2 x 25 k!
Circulator	25 k!
<hr/>	
	265 k!

RFD	50k!
RF loads	3 x 10 k!
RF switch	15 k!
<hr/>	
	95 k!

Guide: 7-8 curve, 2 x RF splitters
4 dir.cpl., 5 finestre, 15 m. straighths:
tot. circa 80 k!

Klystron + electromagnet	250 k!
100 Hz Modulator	500 k!
250 W SSA	20 k!
RF generator + electronics	50 k!
<hr/>	
	820 k!

Cooling: chillers + piping ...	40 k!
Pumping	7 x 5 k!
SF6 system	5 k!
<hr/>	
	80 k!

Totale: 1340 k! + IVA = 1621 k!

STAR: X-RAY BEAM FEATURES

- X-ray energy **tuneable** on a wide range up to hard X-rays
- Controlled BW
- Low divergence
- Time structure on the ps-scale
- Circular μm -sized x-ray source
- Linear polarization up to 99% switchable pulse to pulse (H vs. V)
- **Simple evolution to higher energies and fluxes**

Table 2: Electron beam parameters

	Phase-1	Phase 2
Bunch charge (nC)	0.5	0.5
Energy (MeV)	20-60	20-85
Rms length (ps)	1-5	1-5
$\epsilon_{n,x,y}$ (mm-mrad)	1-3	<1.5
Energy spread (%)	0.1-2	0.05-0.5
Focal rms spot size (μm)	15-40	10-40

Table 3: Laser beam parameters

	Phase 1	Phase 2
Pulse energy (J)	0.8	0.8
Wavelength (eV)	1.2-2.4	1.2-2.4
FWHM pulse length (ps)	10-20	10-20
M^2	< 1.5	<1.5
Focal spot size w_0 (μm)	20-50	10-40

Table 4: Examples of various X-ray beams in Phase 1

	high flux	smal bdw	short pulse
Photon energy (KeV)	7-120	7-120	20-120
Photons/sec (@ 100 Hz)	10^{10}	10^9	10^7
Bandwidth (rms)	10%	1%	1%
Rms Pulse length (nsec)	1-5	1-5	<0.2

A TS source driven by high quality electron beams can works in different operating modes, e.g.:

- the high-flux- moderate-monochromaticity mode, suitable for medical imaging when high-flux sources are needed;
- the moderate-flux- monochromatic mode, suitable to improve the detection/dose performance;
- short-and- monochromatic mode, useful for pump-and-probe experiments.

Further the coherence properties of the radiation have been well investigated by phase contrast imaging and diffraction enhanced imaging.

STAR Specifications

In Table 1 X-ray beam characteristics are summarized, while electron beam and laser beam parameters are reported in Table 2 and Table 3.

RF and Laser repetition rate: 100 Hz

Phase 1 (present budget 7 M€) : non recirculation, single bunch mode

Phase 2 : multi-bunch, laser recirculation (>50 turns),
X-band corrector, 2nd accelerating section

Table 1: X-ray beam characteristics

	Phase-1	Phase 2
Photon energy (KeV)	7-120	7-240
Photons/sec (@ 100 Hz)	$5 \cdot 10^9$	10^{12}
Bandwidth (rms)	< 5%	< 2%
Rms Pulse length (psec)	< 5	< 5
Linear Polarization	> 95%	> 98%

X-ray at sample

SYRMEP @ Elettra

Energy range	8-35 keV
Energy Resolution	$DE/E = 2 \cdot 10^{-3}$
Photon Flux (at 23 m, 20 keV, 100 mA, 2.4 GeV)	$2.0 \cdot 10^8$ photons/s mm ²
Beam Size	120x4 mm ²

Immagini a contrasto di fase ed olografia

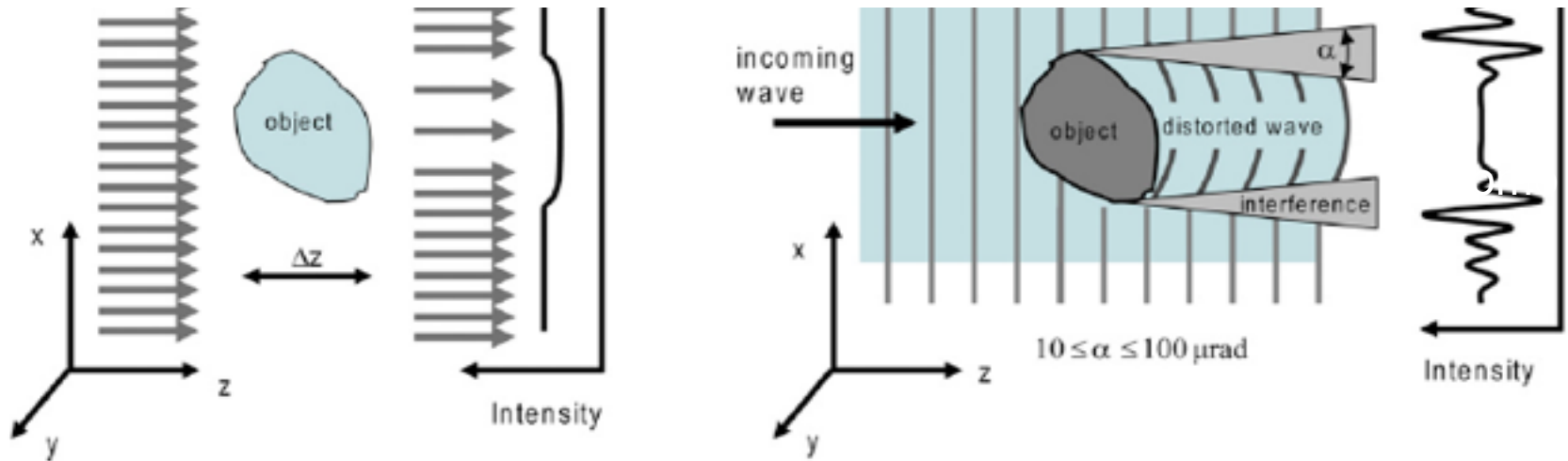
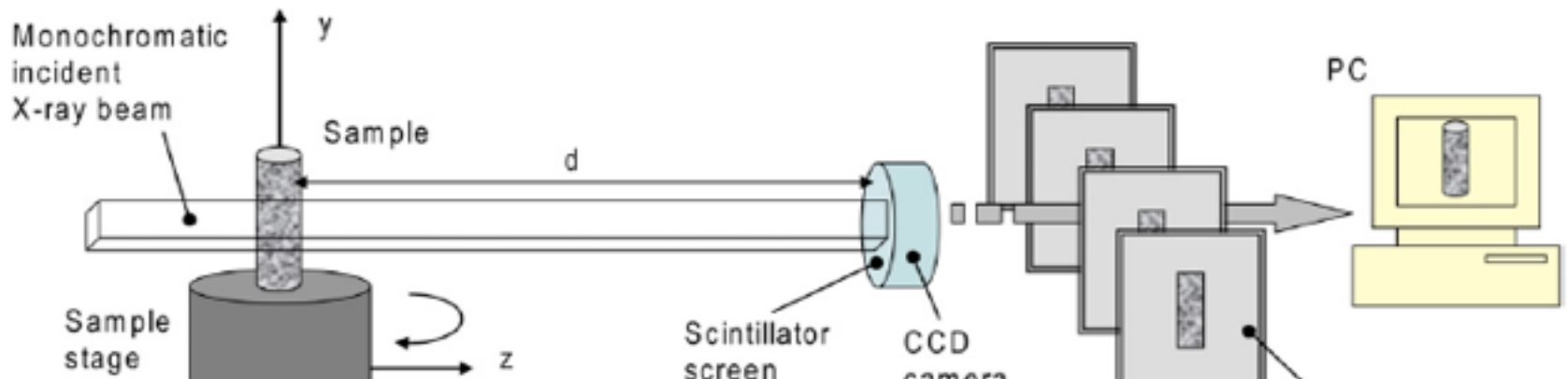
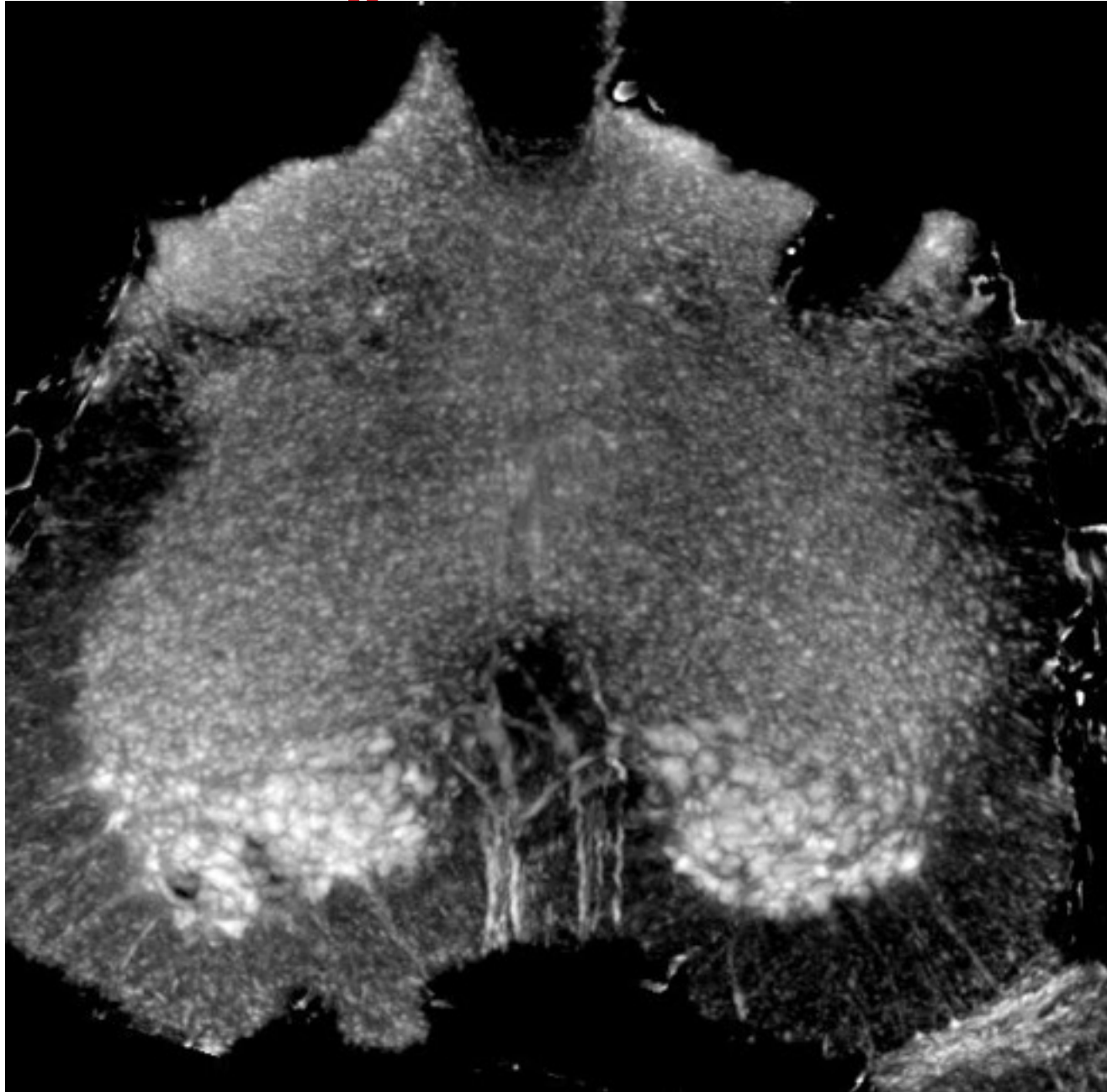
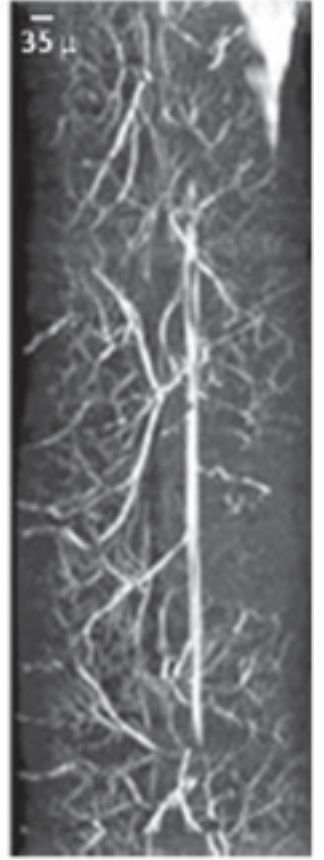
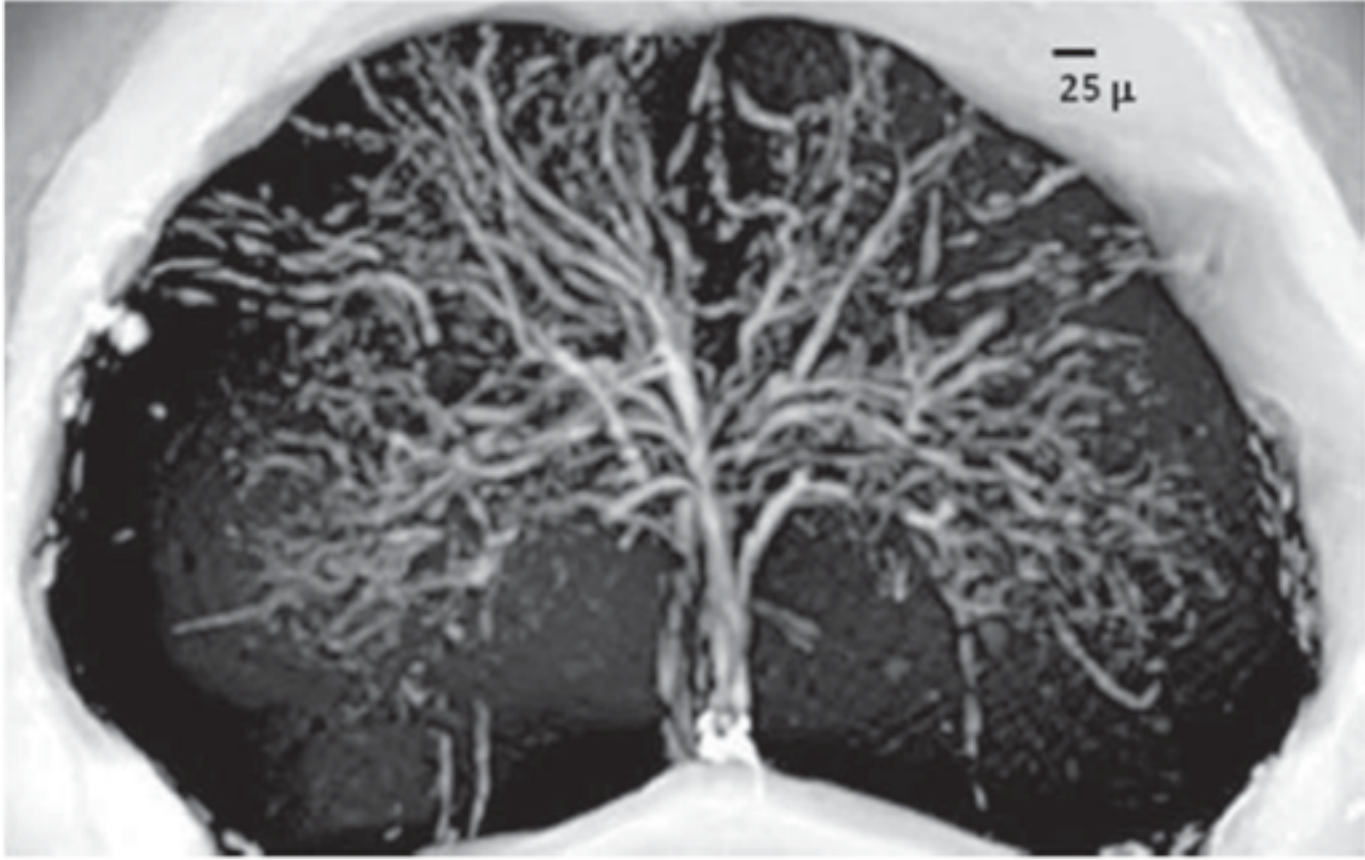


Fig. 3. X-rays impinging the sample: absorption (left) and phase shifts (right) effects.

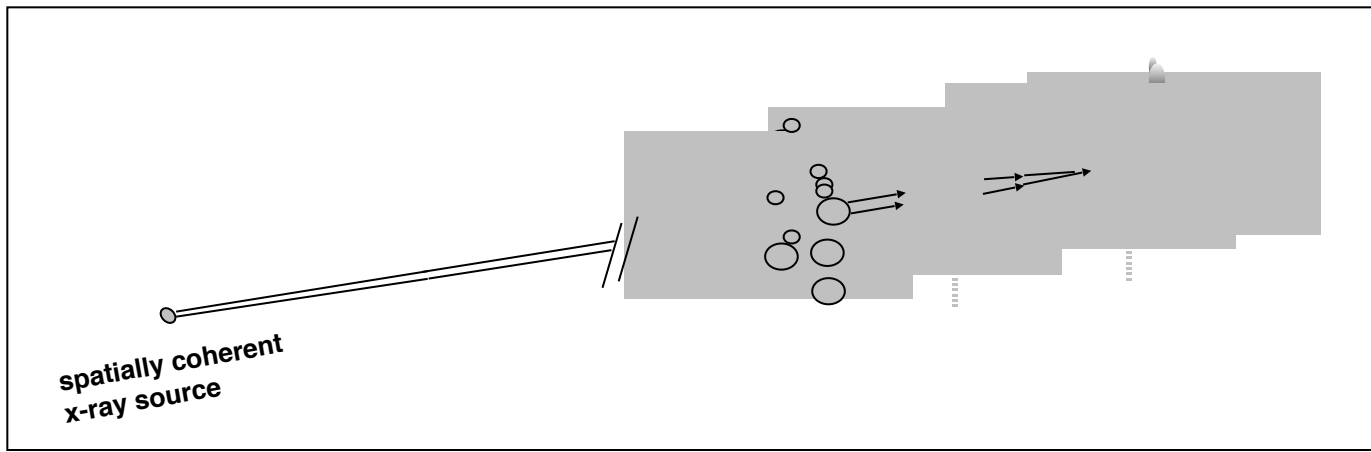
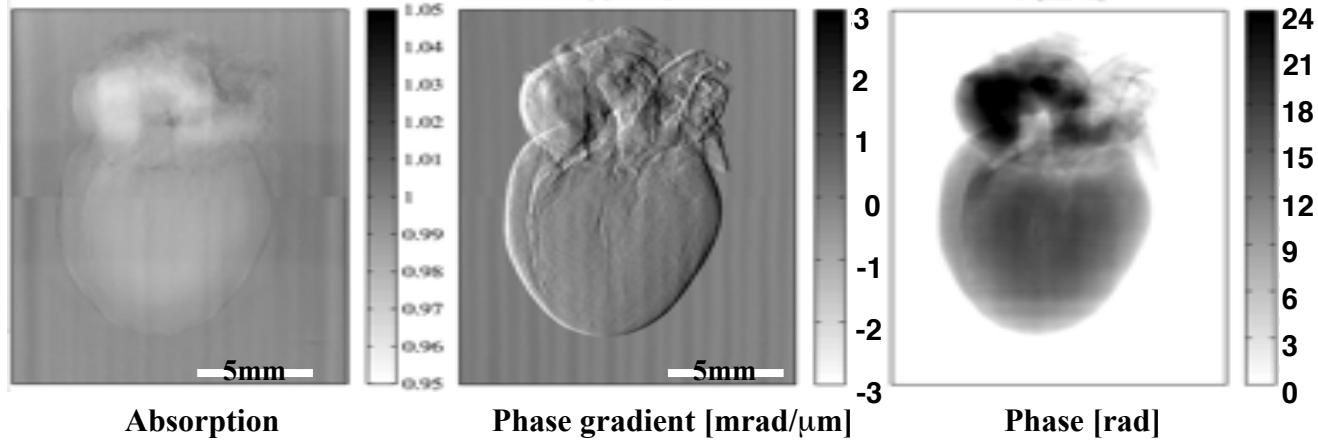


Applicazioni: radiografia ad alta risoluzione





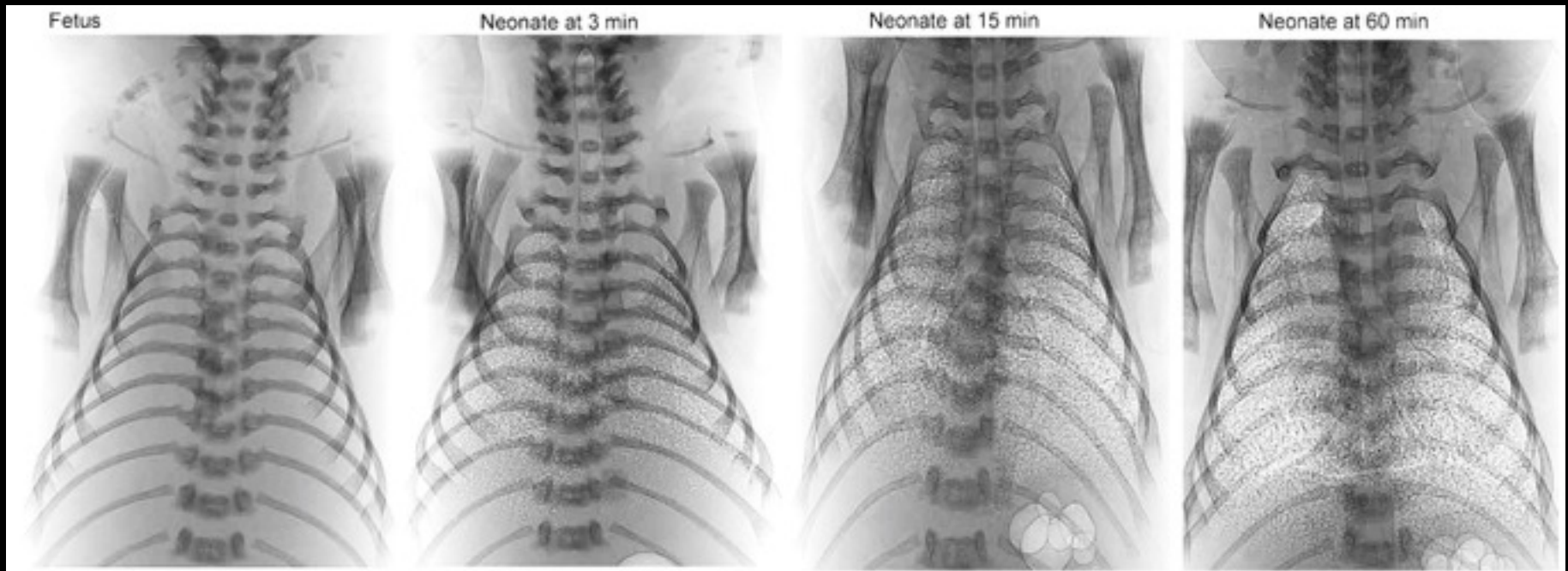
Application: High resolution radiography



Comparison between amplitude and phase contrast in a rat heart taken at the ESRF synchrotron. The phase contrast is obtained using a two grating interferometer which provides quantitative measurement of the phase (courtesy of C. David, PSI Viligen Switzerland)

Application: Time resolved phase-contrast micro-radiography

20B2 beamline at Spring8 - 25 keV



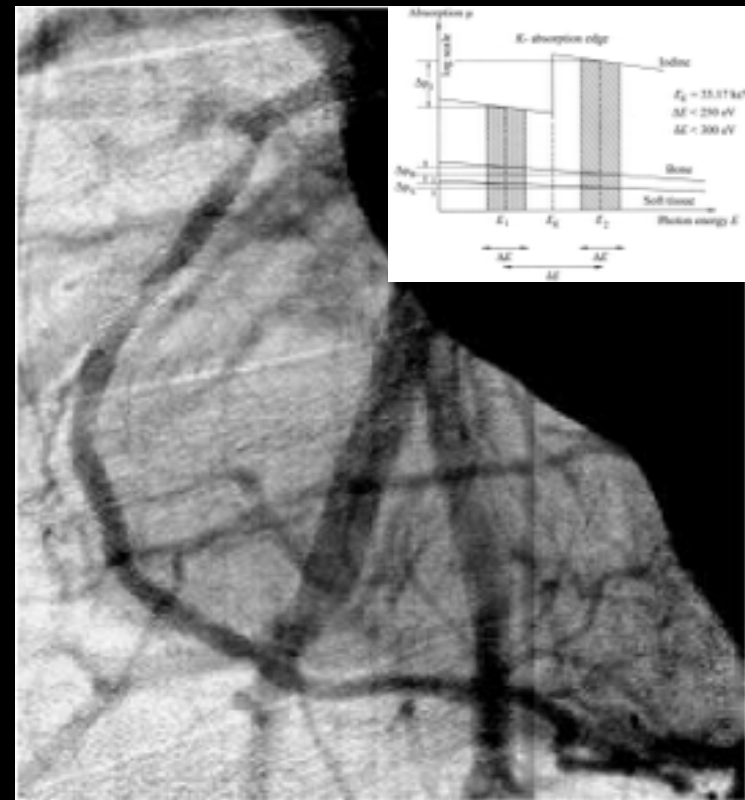
Images of the flow of air into the lungs of a neonatal rabbit using X-ray phase-contrast imaging. The phase contrast permits the visualization of the air entering the animal's lungs during its first breaths. (S.B. Hooper et al., *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 36, pp. 117-125 [91])

Applicazioni: contrasto chimico

Standard angiography



Iodine K-edge subtraction angiography



B. Bertrand et al., European heart Journal, 2005

SORGENTE STAR E STAZIONE MTOMO

La prima stazione sperimentale, multipurposes, μ Tomo, è dedicata alla microtomografia ed è disegnata per applicazioni in scienza dei materiali soffici, anche di origine biologica, ma possibilmente anche nella diagnostica medica e per i beni culturali anche sfruttando le potenzialità offerte dall'acquisizione di immagini a contrasto di fase ottenute grazie alla dimensione micrometrica della sorgente.

SORGENTE STAR E STAZIONE MTOMO

I progetti e la messa a punto della sorgente Thomson Backscattering e della stazione di microtomografia sono sviluppate da



Stazione μ Tomo

Microtomografia a raggi X

Aspetti innovativi:

μ Tomo sfrutta a pieno le caratteristiche dei raggi X di STAR:

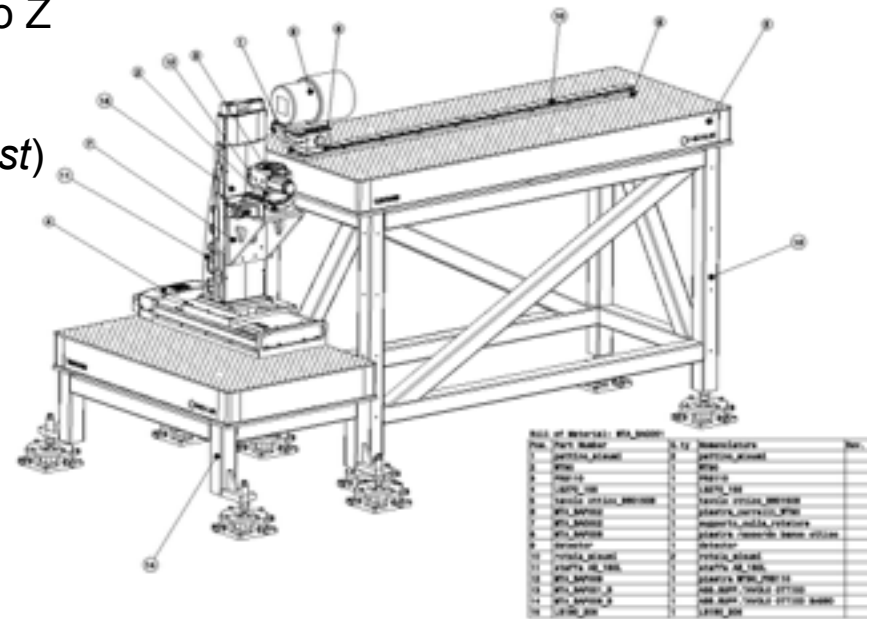
- Immagini a contrasto di fase (*diffraction limited source*)
- Micro-radiografie a contrasto chimico (*variabilità dell'energia del fascio monocromatico*)
- Potere penetrante e adatto agli elementi ad alto Z

Tecniche sperimentali:

- Radiografia a Contrasto di fase (*PHase Contrast*)
- Immagini radiografiche a contrasto chimico
- Micro-tomografia e olotomografia

Settori di interesse:

- Materiali funzionali
- Bio-medicina
- Beni culturali



STUDIO DI
PAPIRI DI
ERCOLANO

UN
GRUPPO
INTERDISC
IPLINARE
PAPYR- X

fisici, chimici
,umanisti

con varie
tecniche
neutroni e X
in diverse
sedi nel
mondo



Bukreeva I. Cedola A. Fratini M. Gigli G.



Ranocchia G. Lamarra A.
Campi G. Saviano M.



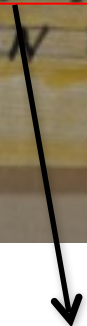
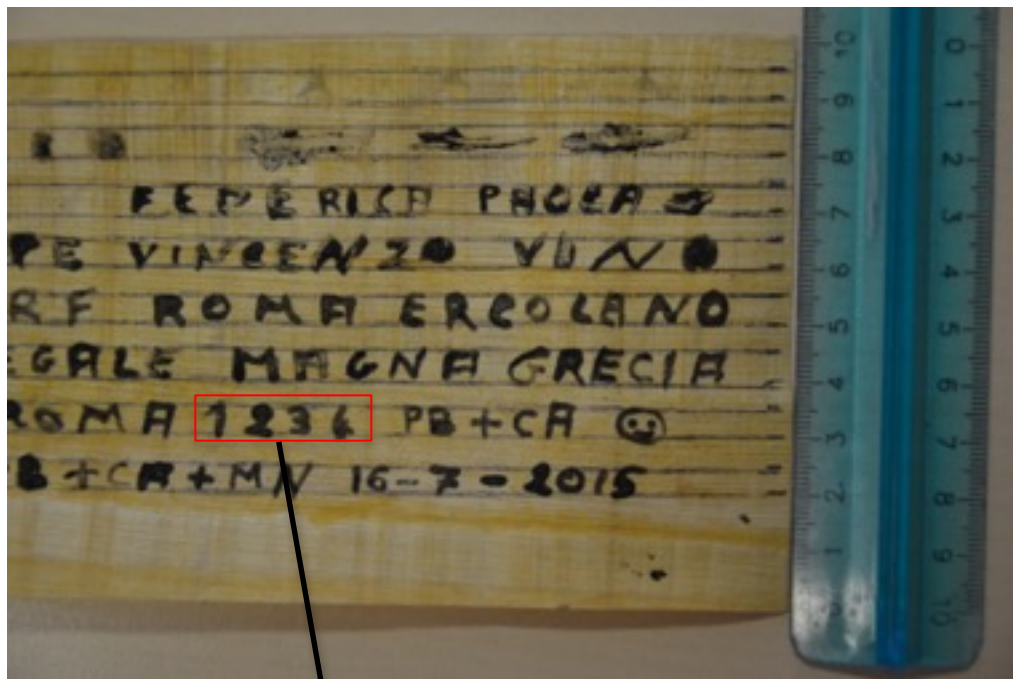
Ciuchi F. Formoso V., Giocondo M.
Bartolino R.



Festa G. Andreani C.



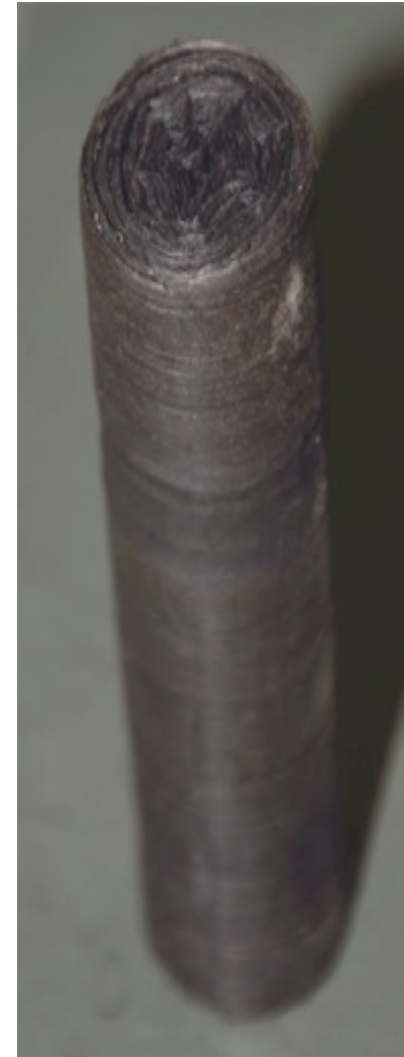
1)



3)



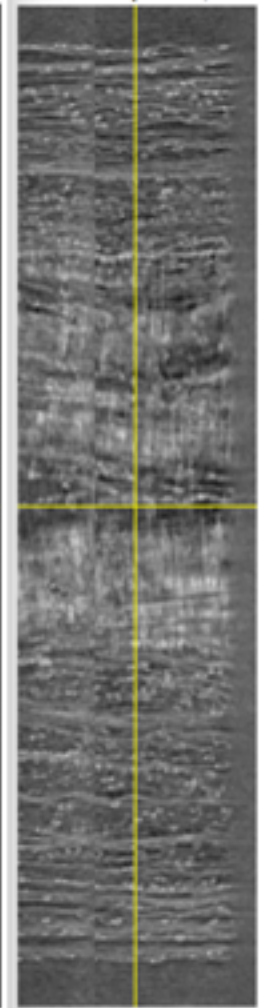
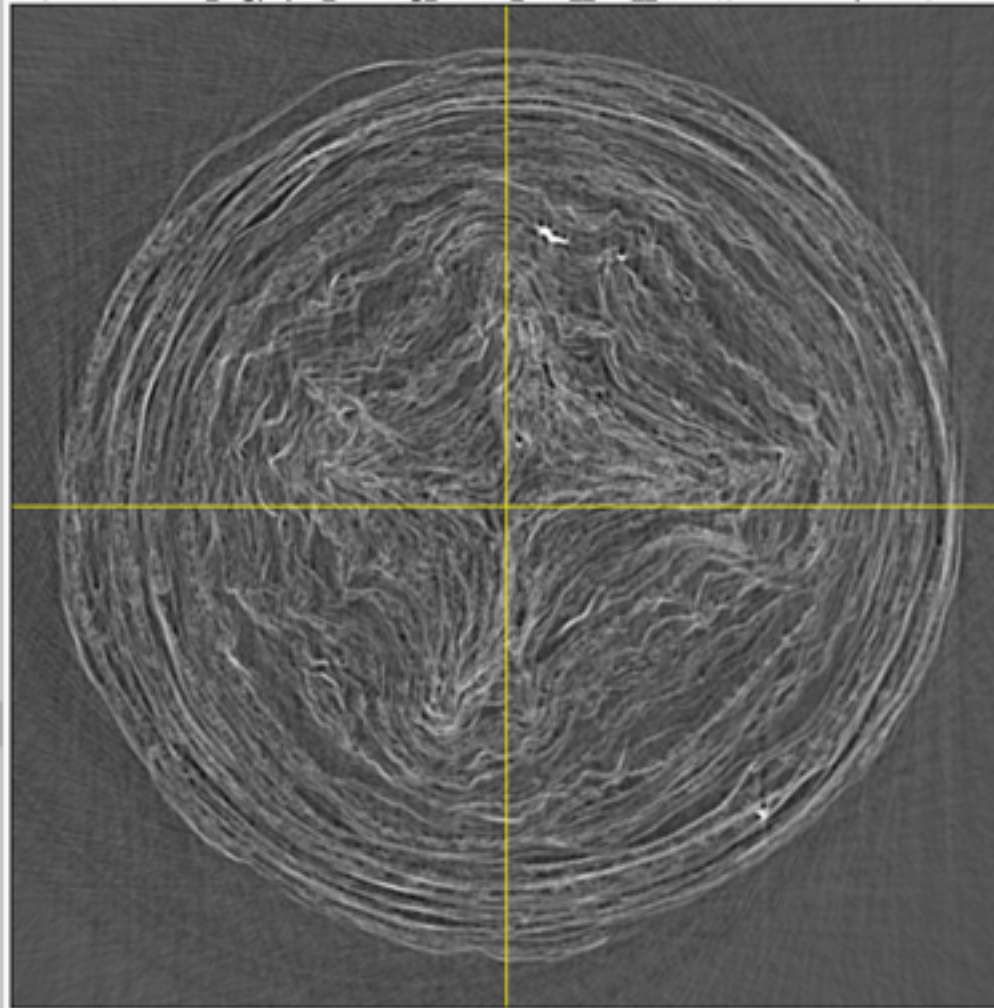
2)



REC_T_5153

YZ 262

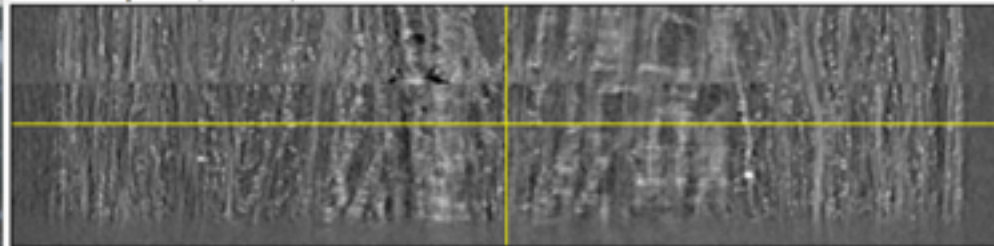
63/127 (modern_bigpaper_300deg_80keV_002_rec_0096); 525x531 pixels; 32-bit



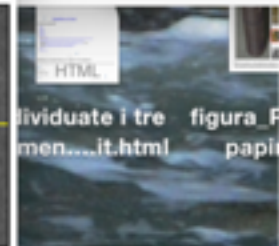
zo iugiu zu

XZ 265

525x127 pixels; 32-bit; 260K



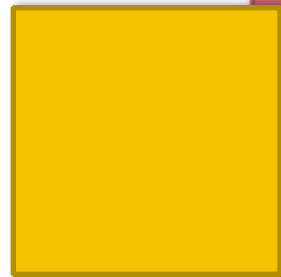
sonibill



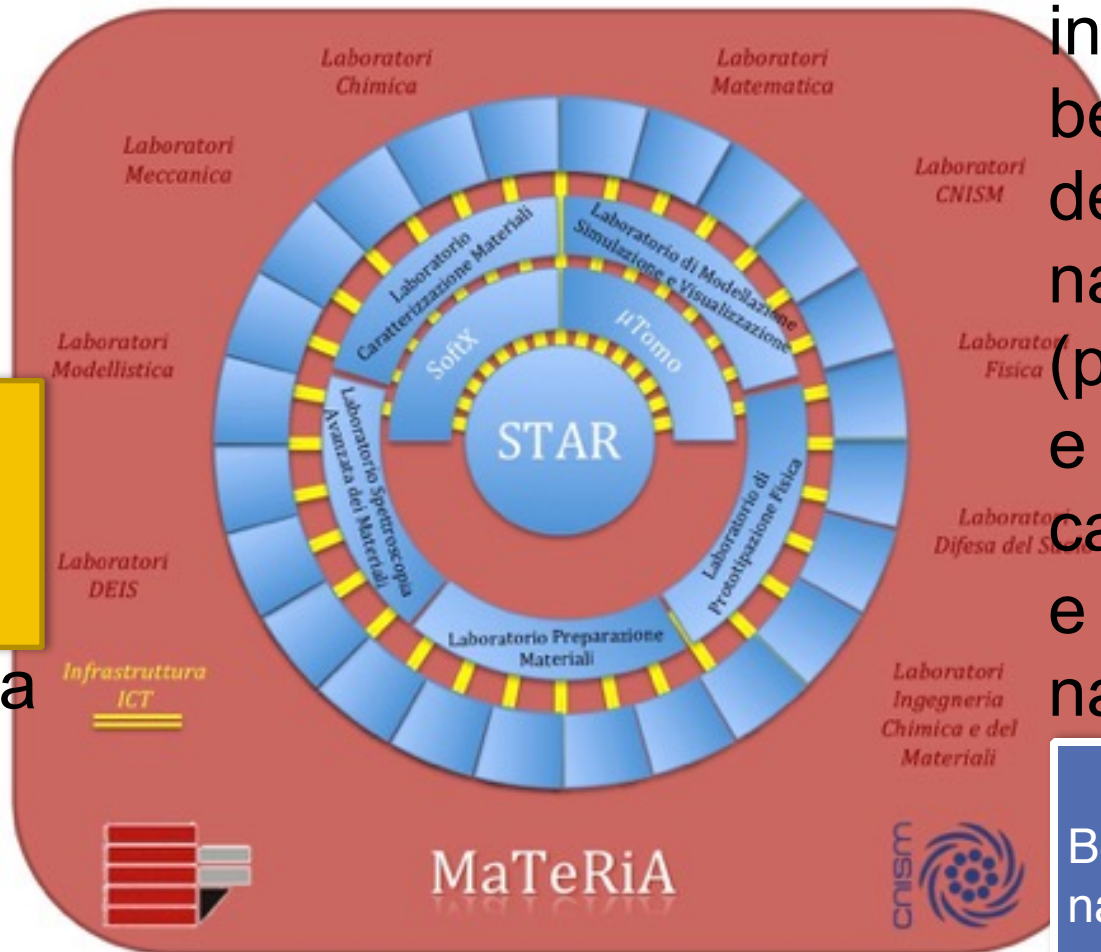
ividuate i tre figura_P
men....it.html papi

futuro immediato

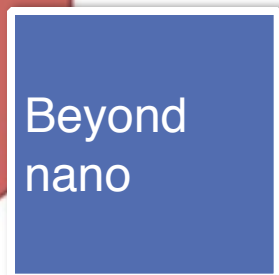
stipulare accordi di integrazione con altre infrastrutture
non costruite nello stesso bando sempre a Cosenza da
altri enti, per una sinergia strategica e funzionale



infrastruttura
informatica
dell'INFN



infrastruttura
beyond nano
del CNR per le
nanotecnologie
(preparazione)
e la
caratterizzazione
e di
nanostrutture



NATIONAL STEERING COMMITTEE

STAR-Lab

Prepariamo il futuro

Instituzioni

Membri

CERIC Carlo Rizzuto - **Presidente**

UniCal Riccardo Barberi

CNISM Ezio Puppin

INFN Luca Serafini

INSTM Andrea Caneschi

CNR Massimiliano Dibitetto

Elettra – ST Marco Marazzi

Nuova progettualità è già in atto sia sul lato della macchina (ampliare lo spettro di emissione verso il MeV, aumentare la brillantezza, accrescere il numero di linee di luce) che su quello delle applicazioni (microscopia X, diffusione X a piccoli angoli, irraggiamento controllato di componenti ottiche ed elettroniche, ...) per espandere le capacità di indagine ai materiali di interesse nei settori Aerospazio, Agrifood, Chimica verde, Energia, Salute, Tecnologie per gli Ambienti di Vita e Tecnologie per il Patrimonio Culturale. Sulla stessa facility si focalizza anche l'interesse di un'ampia comunità internazionale per lo sviluppo di esperimenti di fisica fondamentale, sempre utilizzando apparati a effetto Compton inverso

Prossimo futuro

STAR

1 Una infrastruttura di ricerca basata sui raggi X per la **Scienza della Materia** in connessione con altre infrastrutture di luce (ELI-NP, SPARC-INFN, Elettra, ...)



2 una struttura con poche beamlines specializzate e dedicate a beni culturali medicina
.....
aspettiamo anche proposte

3 Aperta alla cooperazione con la comunità scientifica dell'Area Mediterranea , soprattutto nelle aree specializzate BC etc