

CETRA Un'Infrastruttura TeraHertz per la Ricerca Applicata

A. Doria

A nome del gruppo THz del Laboratorio Sorgenti Antenne e Diagnostiche

ENEA- Divisione Fisica della Fusione

Via E. Fermi 45, 00044 Frascati – Italy

RAIN15 -- RAdiazione per l'INnovazione 2015

12-13 October 2015 *Laboratori Nazionali INFN e Centro Ricerca ENEA di
Frascati*



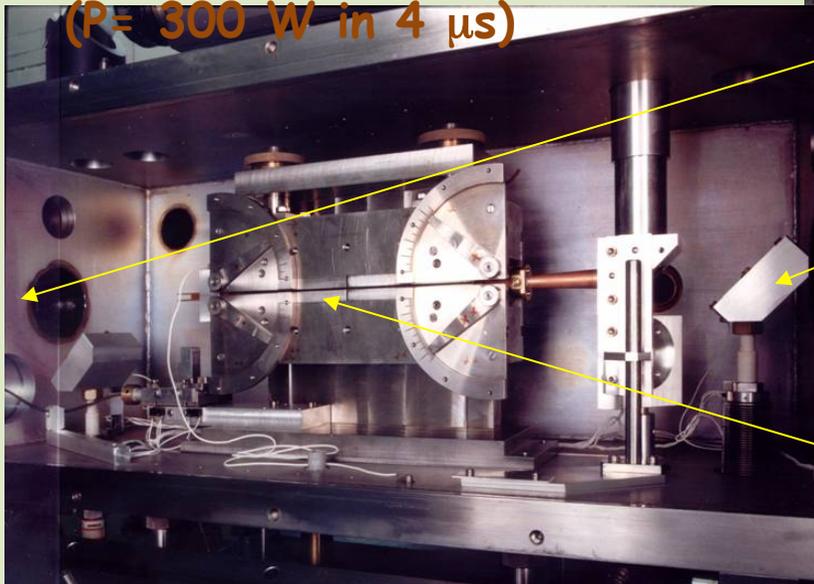
Outline

- Sorgenti THz presso l'ENEA
- Potenzialità delle Applicazioni THz
- Imaging di Beni Artistici
- Irraggiamento di Campioni Biologici
- Il nostro futuro è CETRA

Il FEL Compatto al THz dell' ENEA

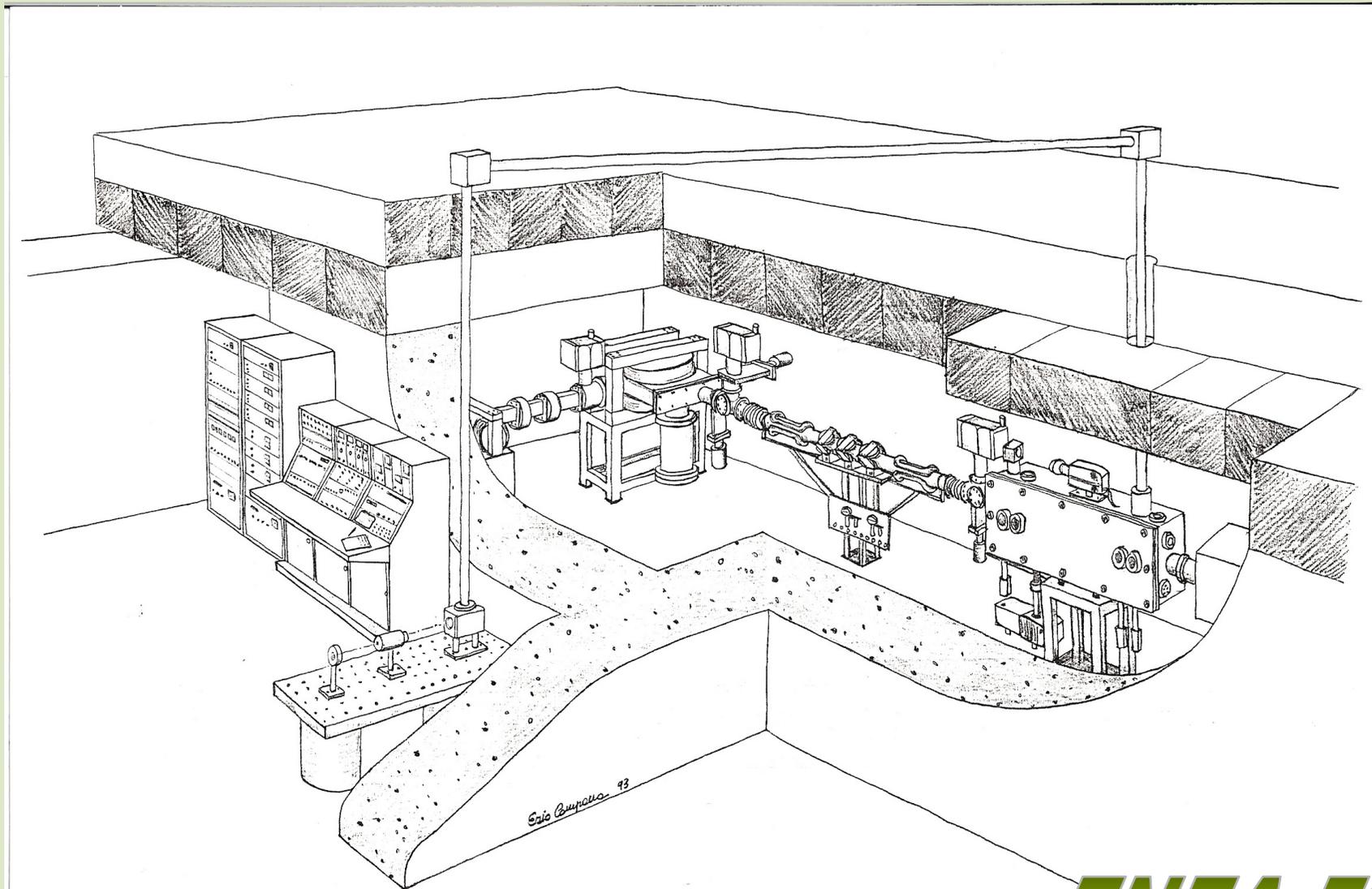
In un Laser ad Elettroni Liberi (FEL) elettroni di alta energia interagiscono con opportune strutture di campo magnetico (ondulatori magnetici) per generare radiazione elettromagnetica coerente

- Accordabilità da 90 a 150 GHz variando la lunghezza della cavità risonante
- Operazione a larga banda ($\Delta\nu/\nu=8\%$ $P = 10$ kW in 60 ps, $P = 1.5$ kW in 4 μ s)
- Operazione a singola frequenza ($P= 300$ W in 4 μ s)



Ondulatore & Risonatore
in Guida d'onda

LA FRASCATI FEL FACILITY ENEA



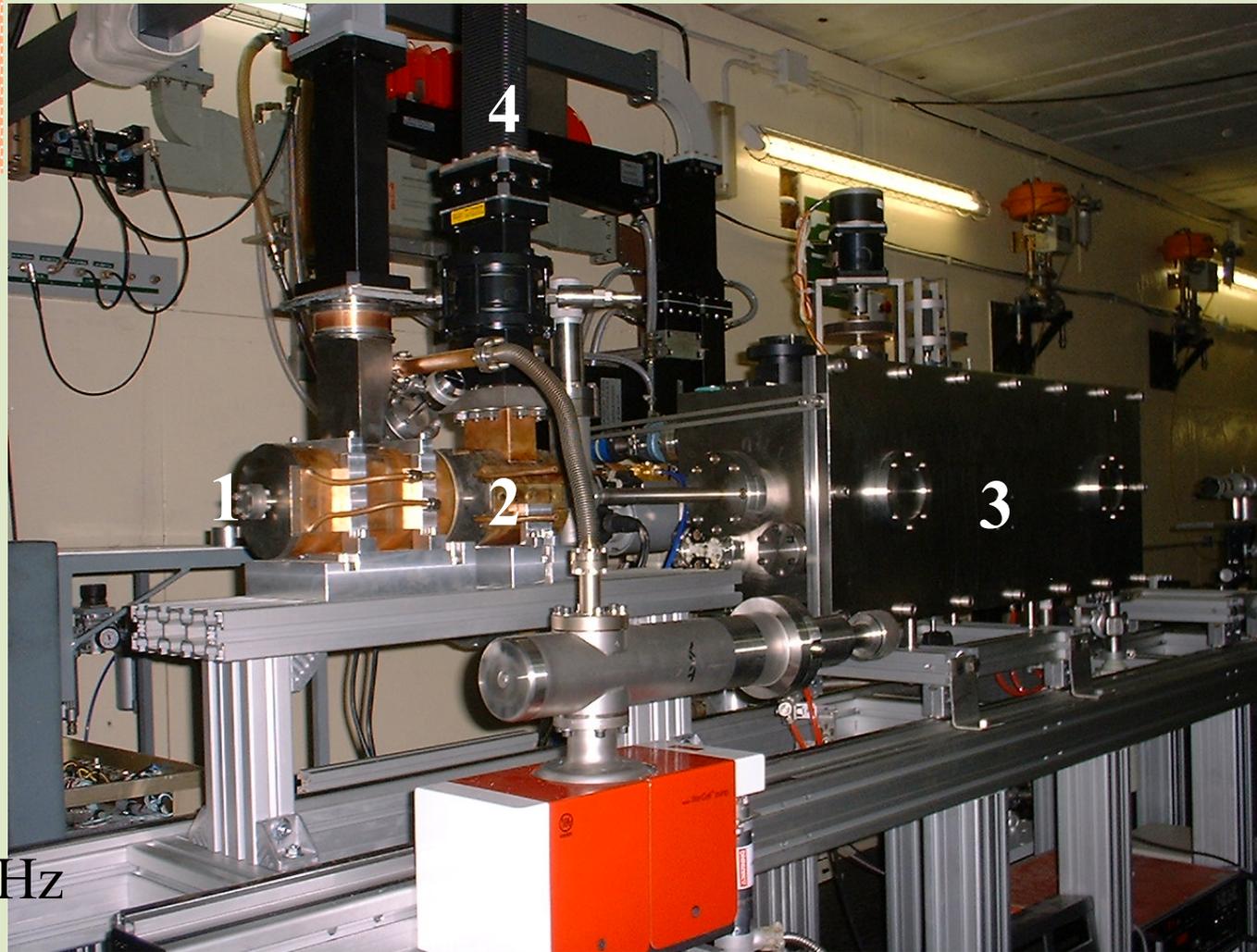
ENEA F3



CATS (Compact Advanced Thz Source)



$\gamma=4.56$
 $I_p = 5 \text{ A}$
 $\lambda_U = 2.5 \text{ cm}$
 $N=16$
Gap=10.4 mm
 $K=0.75$
 $a=24 \text{ mm}$
 $b=6 \text{ mm}$
 $\omega_{\text{OUT}}=0.4\text{-}0.7 \text{ THz}$



1: Linac - 2: PMD - 3: Camera da vuoto-Ondulatore - 4: Impianto RF

Le Sorgenti Laser THz in ENEA I

Laser a Gas con pompaggio ottico effettuato da un laser a CO_2 che può operare in CW, modulato fino ad 1 kHz o in "Q-Switching"

- **PRO:** ampia accordabilità in frequenza. Da $40\ \mu\text{m}$ (7.5 THz) con 1 mW CW fino a 1.2 mm (0.25 THz) con circa 1 mW passando per la riga più intensa @ $119\ \mu\text{m}$ (2.5 THz) con 150 mW CW
- **CONTRO (?)**: Emissione su righe spettralmente strette



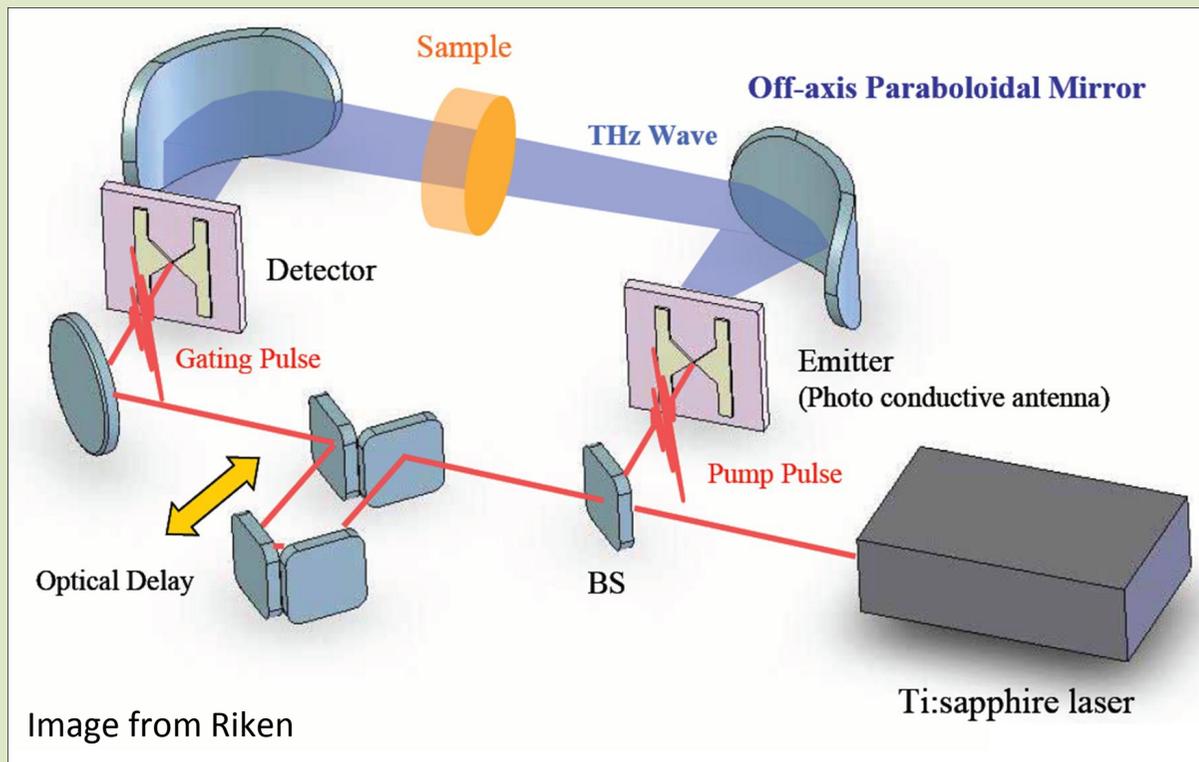
Le Sorgenti Laser THz in ENEA II

Laser a Ti:Sa pompato otticamente da un Nd:YAG duplicato da 10 W CW ed in grado di generare impulsi di circa 120 fs, centrati intorno ad 800 nm, mode-locked ad 80 MHz per una potenza media in continua di circa 1.5 W. Con tale sorgente si genererà radiazione THz su larga banda tra 0.5 e 2 THz



Le Sorgenti Laser THz in ENEA II

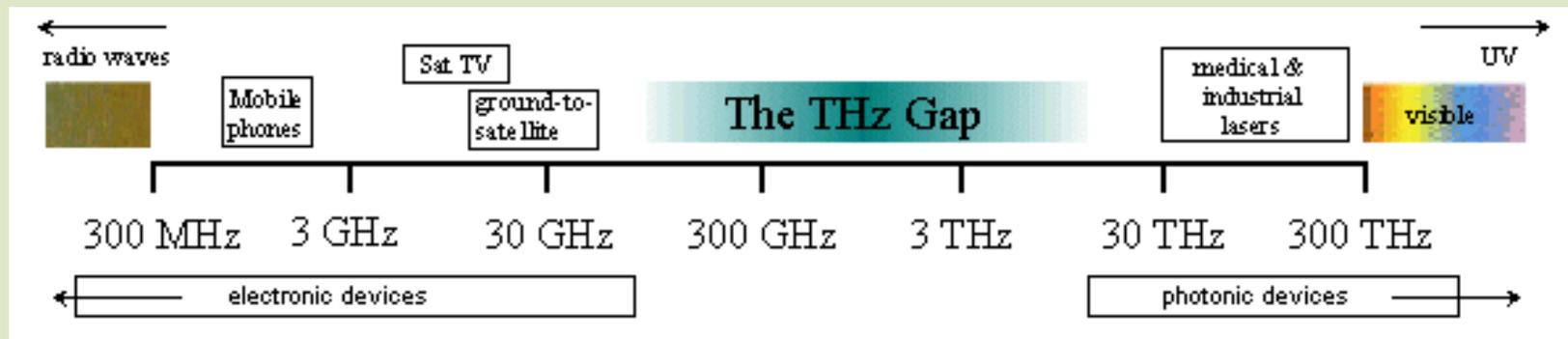
Emettitore THz



Diagnostiche su Plasma:

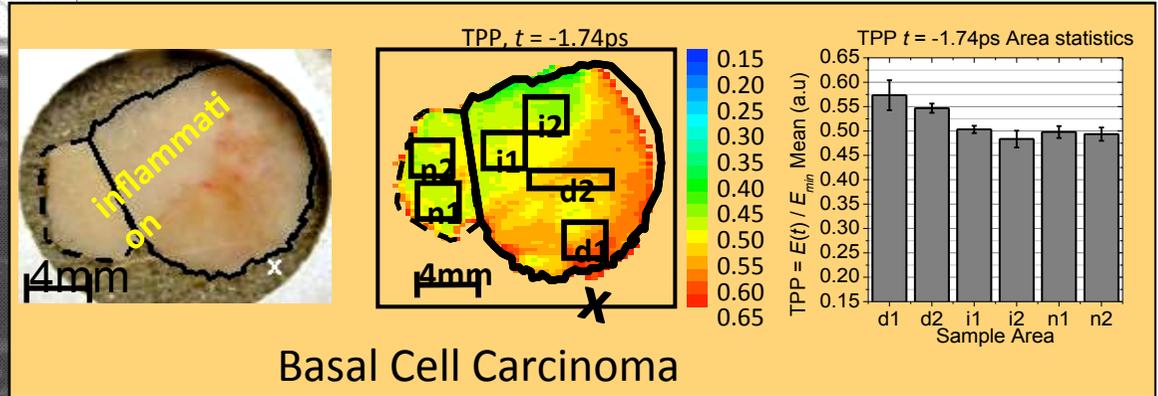
- Riflettometria i.e. misure di fluttuazione e di profilo di densità
- Misure di indice di rifrazione del plasma
- Misure di rotazione di Faraday per determinare campi magnetici locali

Caratteristiche e Potenzialità THz



- La radiazione THz è non-ionizzante e penetra la maggior parte delle materie plastiche, la cellulosa, i vestiti e molti dielettrici.
- La radiazione THz è meno soggetta alla diffusione Rayleigh rispetto all'infrarosso ed al visibile.
- Nonostante le limitazioni dovute all'assorbimento dell'acqua, la penetrazione del THz è sufficiente per indagini di superficie o dei primi substrati; in sistemi biologici l'acqua può essere usata come meccanismo di contrasto.
- Nonostante la lunghezza d'onda lunga, tecniche di Near Field possono essere usate per aumentare la risoluzione spaziale
- L'uso di impulsi corti o di tecniche phase-sensitive possono fornire informazioni di profondità.

La Radiazione THz è uno strumento non invasivo utilizzabile in di versi campi applicativi come bio-medicina, sicurezza e ambiente



Basal Cell Carcinoma



Exploring Sub-Terahertz Waves for Future Wireless Communications

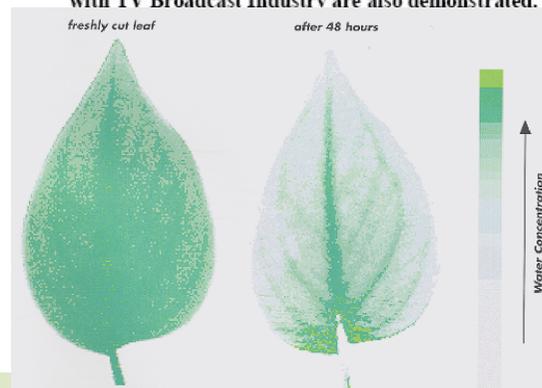
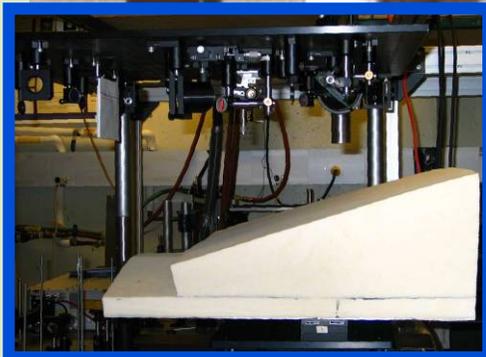
Tadao Nagatsuma

NTT Microsystem Integration Laboratories, NTT Corporation
3-1 Morinosato Wakamiya, Atsugi, Kanagawa 243-0198, Japan
ngtm@aecl.ntt.co.jp

Abstract—This paper describes a 10-Gbit/s wireless link system that uses a 120-GHz-band sub-terahertz (sub-THz) electromagnetic waves. Both photonically-assisted and purely electronic approaches have been examined. On-going field trials with TV Broadcast Industry are also demonstrated.

All Electronic Approaches

An MMIC chipset for all-electronic transmitters and receivers has recently been tested successfully. In the on-wafer testing, the maximum bit rate obtained with a bit error rate (BER) = 10^{-12} is 11 Gbit/s [7].



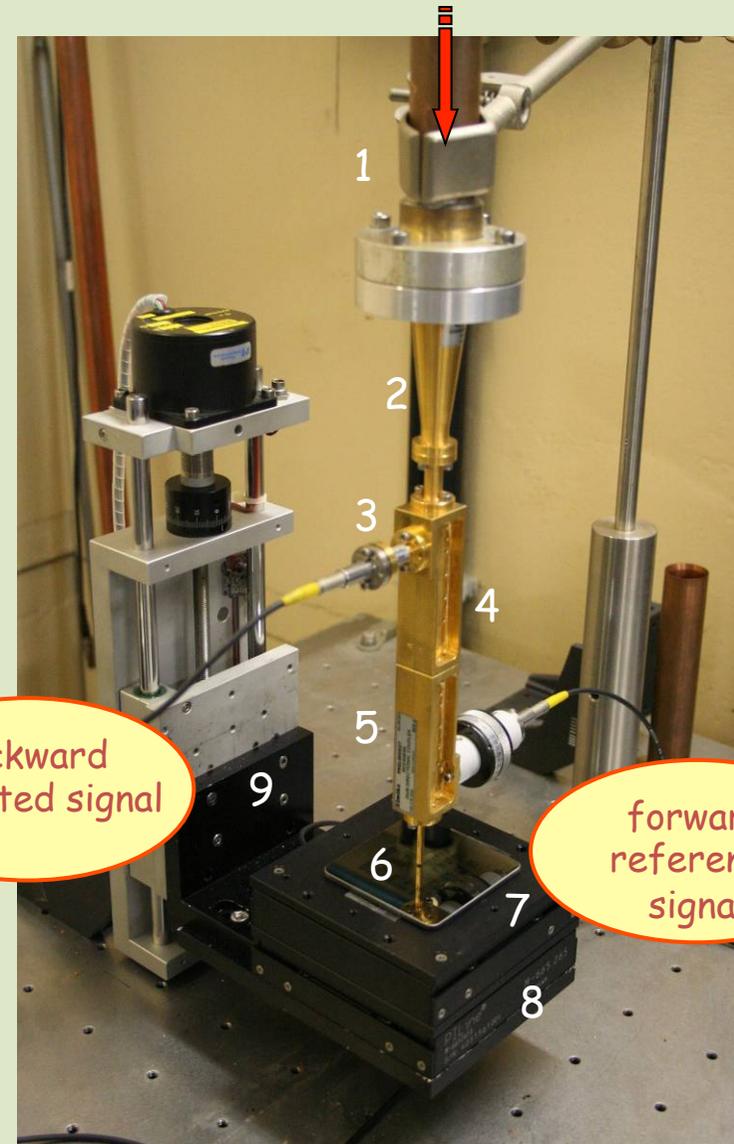
... wireless
... remarkable
... net LANs.
... mission of
... multiplex
... signals,
... sections.
... achieve a
... se carrier
... 1-4]. This



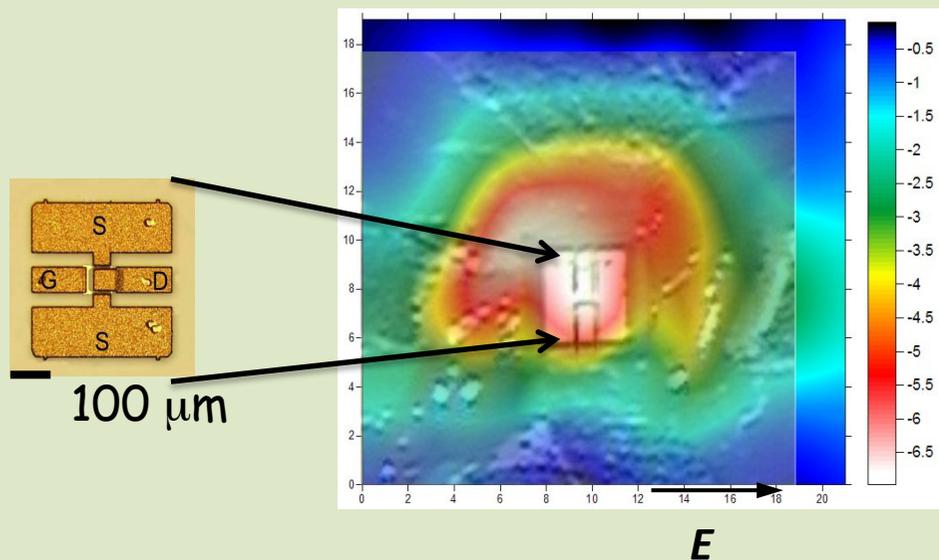
Figure 1. Photographs of the transmitter front end and its setup for the field trial.

Imaging al THz presso l'ENEA

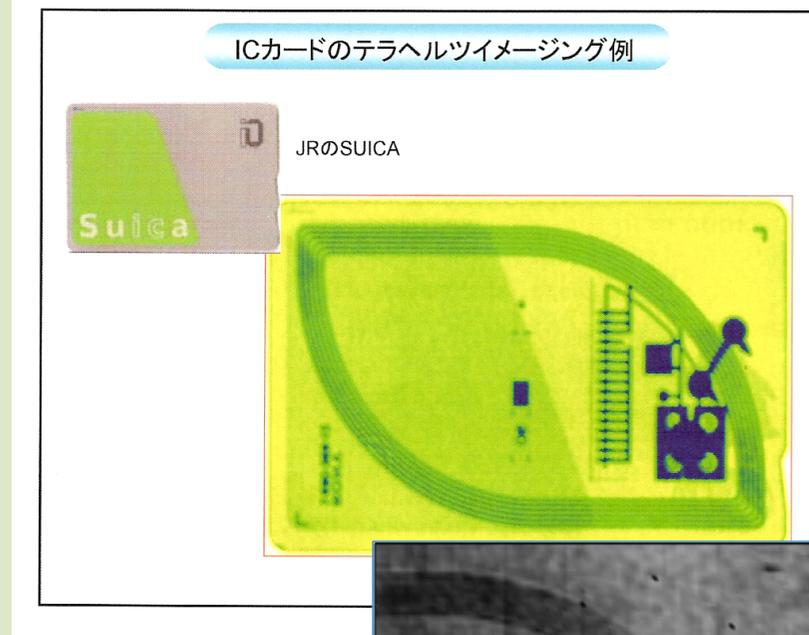
1. Light-pipe
2. Focussing cone
3. Schottky diode
4. 10 dB directional coupler
5. 20 dB directional coupler
6. WR6 imaging probe
7. Sample plane
8. XY axes traslational stage
9. Z axis traslational stage



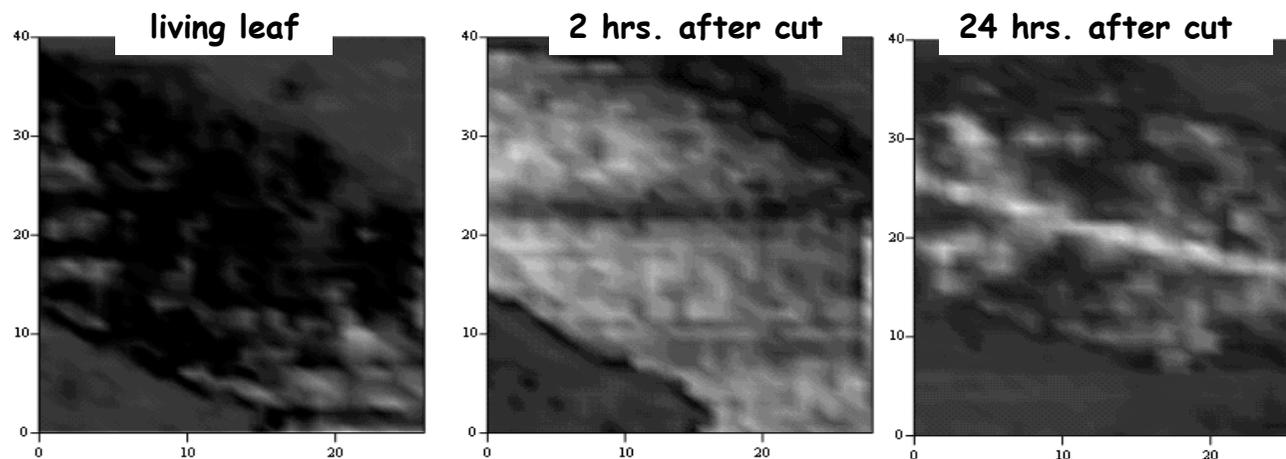
Dinamica dei dispositivi HEMT



Imaging di oggetti nascosti - Smart Card del Metro di Tokio



Imaging sull'idratazione di piante viventi



Applicazioni per la salvaguardia dei Beni Culturali

Dipinti nascosti dal gesso

Il contrasto è maggiore nella zona ricoperta dal gesso

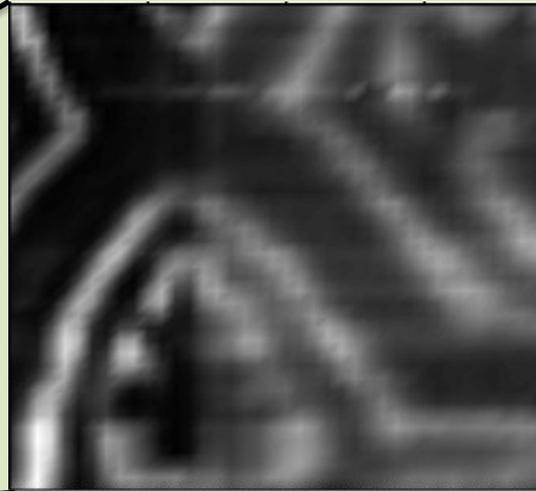
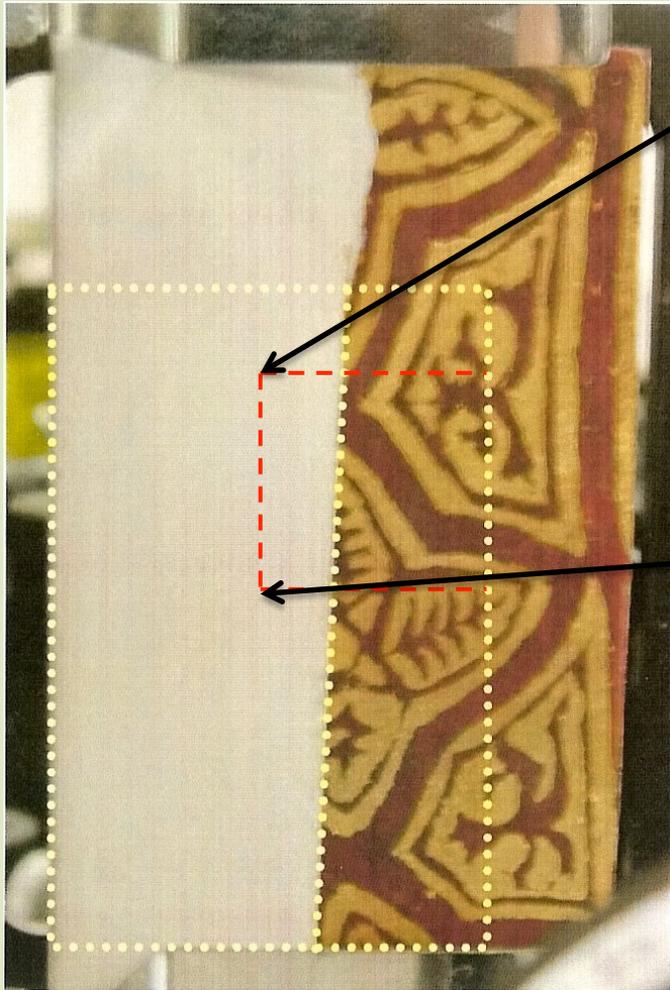


Immagine THz
in riflessione
@ 0.15 THz
ENEA Compact FEL

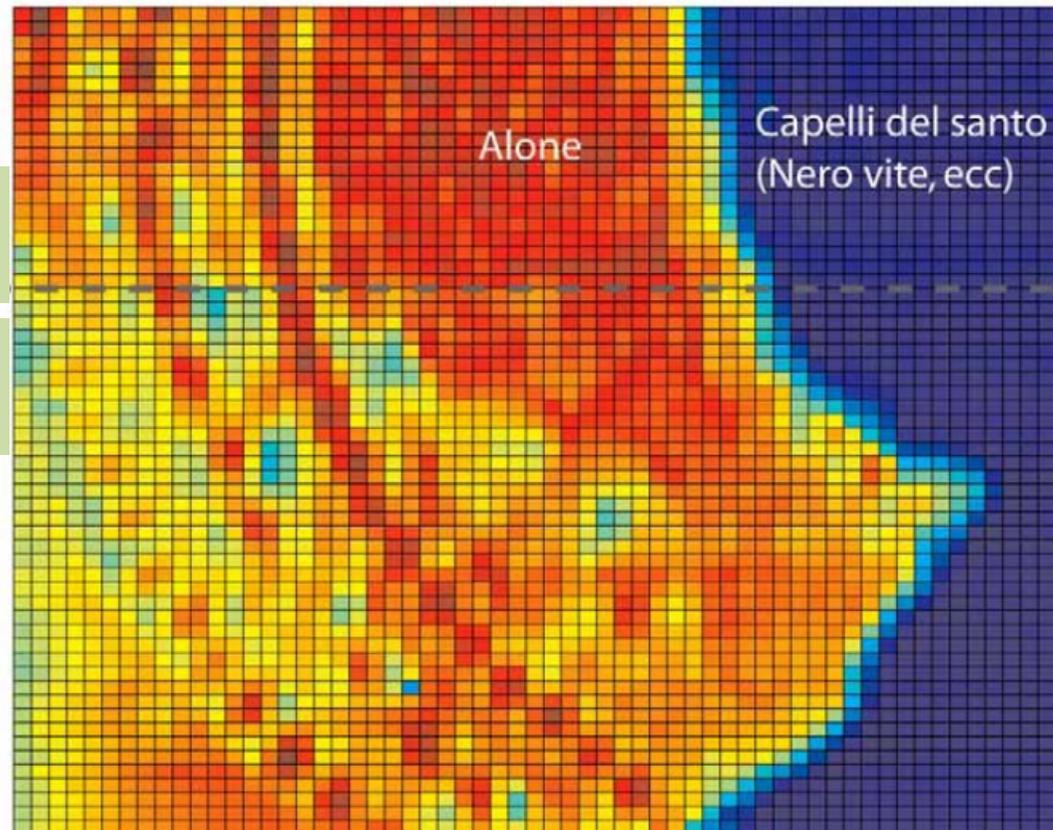
Dettaglio del quadrato
in rosso

Immagine Visibile

Applicazioni per la salvaguardia dei Beni Culturali

Dipinti nascosti da Nero-Fumo

Tempera campione B (Santo), Capelli e Alone (punteggiato)
Macchiato con diversi pigmenti



Parzialmente
coperta con
Nero-Fumok

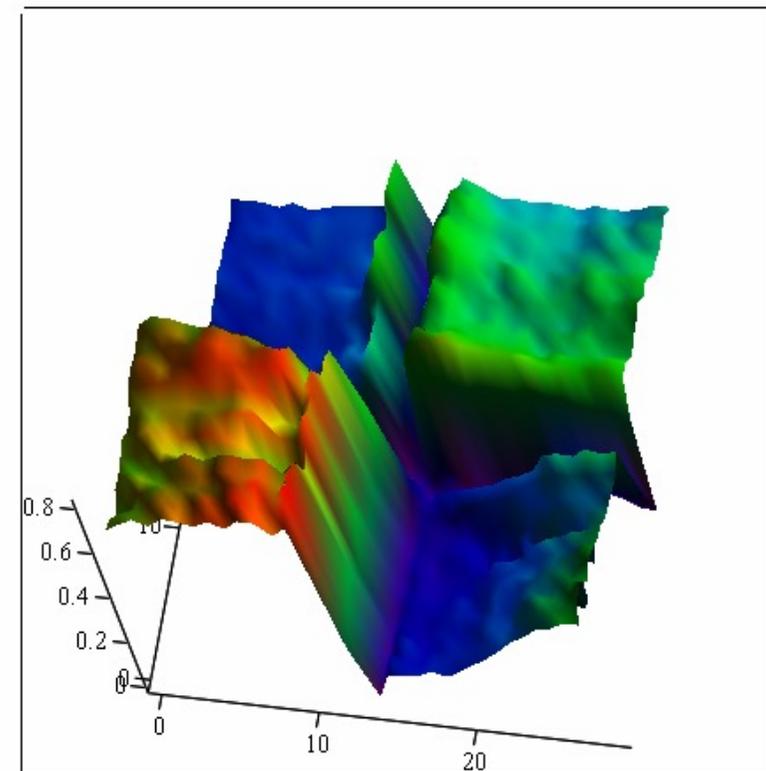
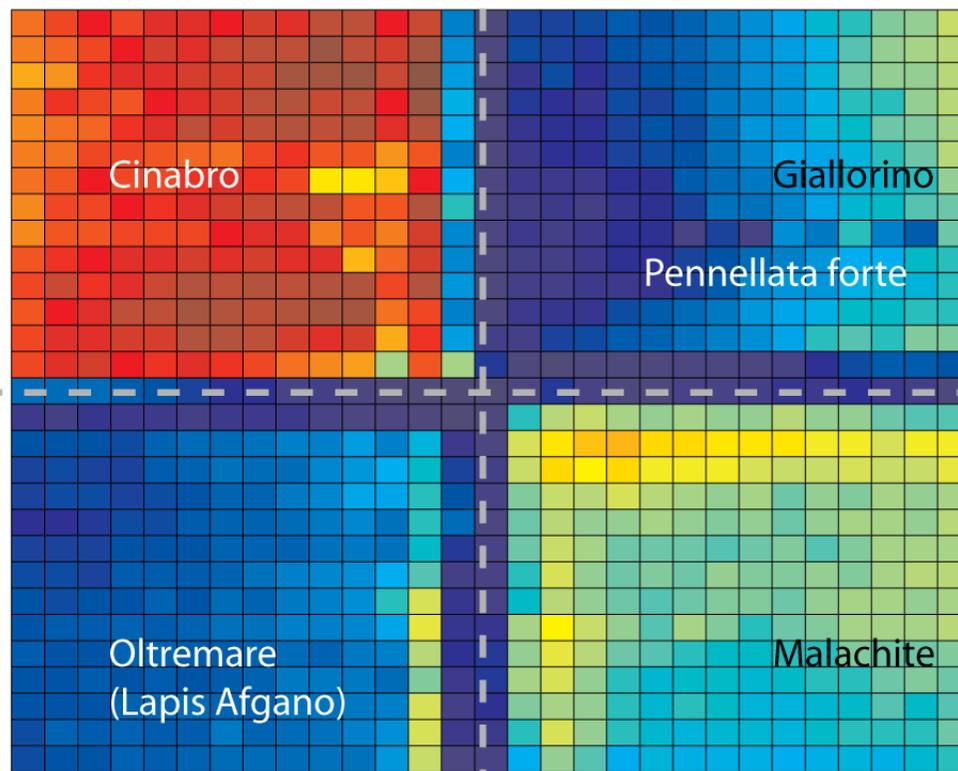
Parzialmente
coperto con
Biacca



Applicazioni per la salvaguardia dei Beni Culturali

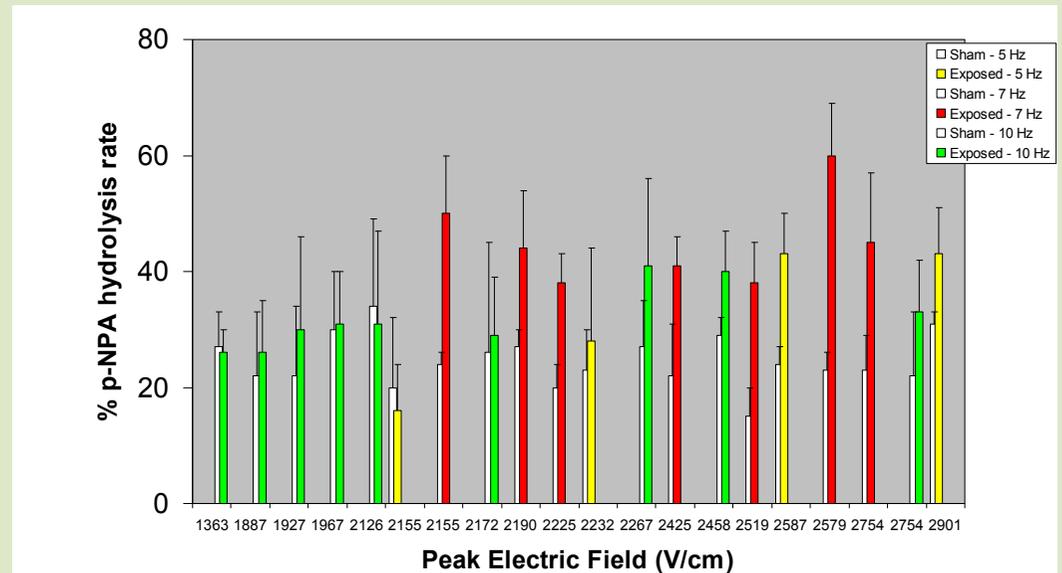
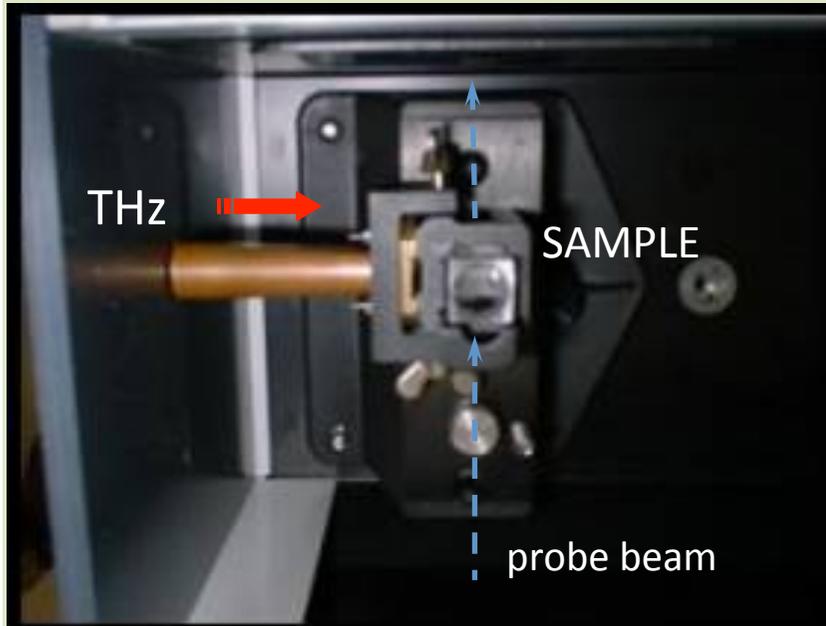
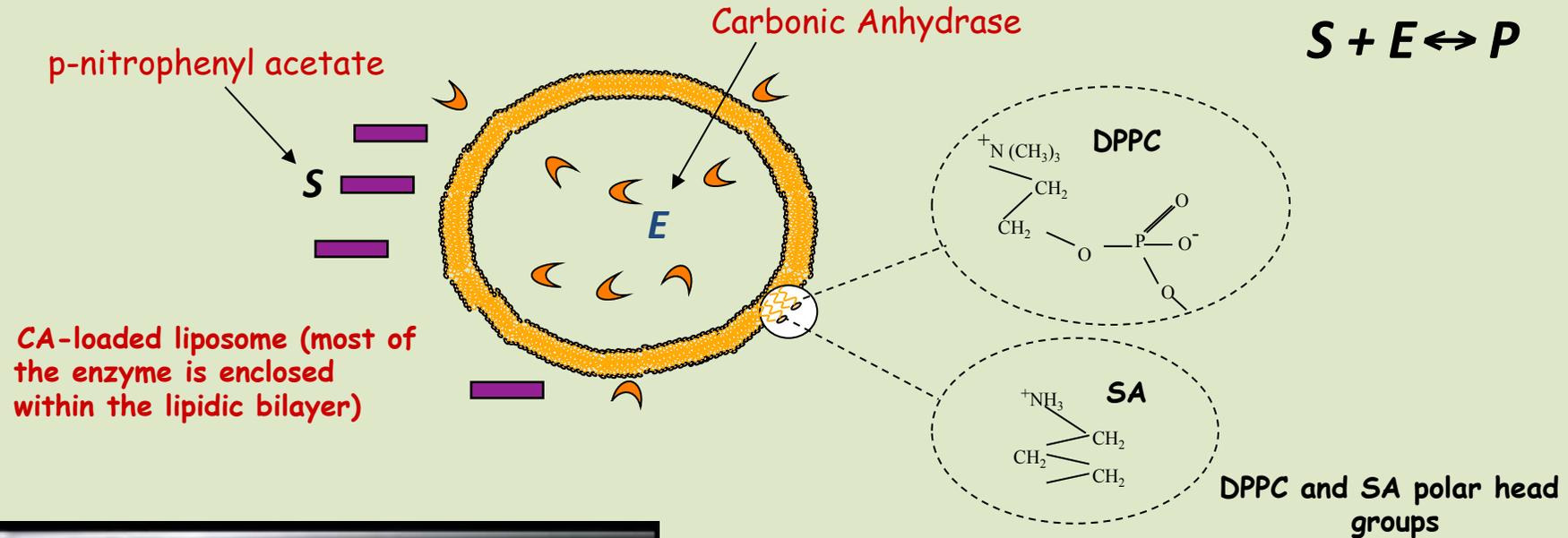
Identificazione dei pigmenti tramite contrasto di fase

Quattro colori (pezzi), ottimizzato alla parte cinabro



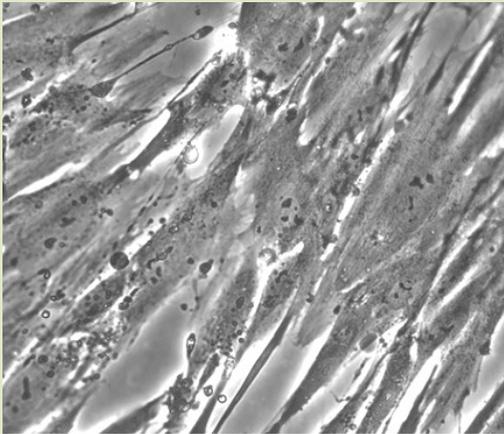
Irraggiamento di Campioni Biologici I

Penetrazione del THz attraverso membrane cellulari

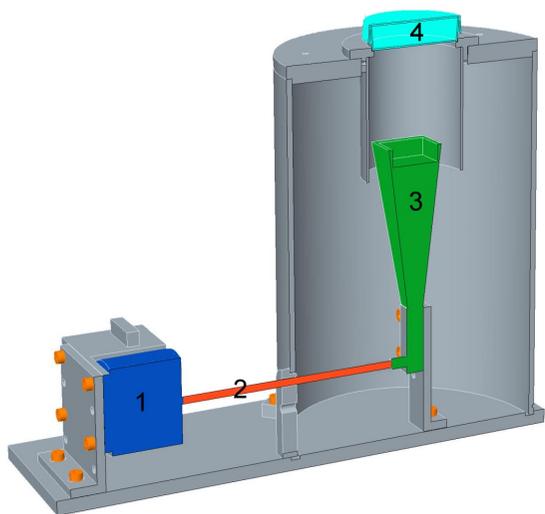


Irraggiamento di Campioni Biologici II

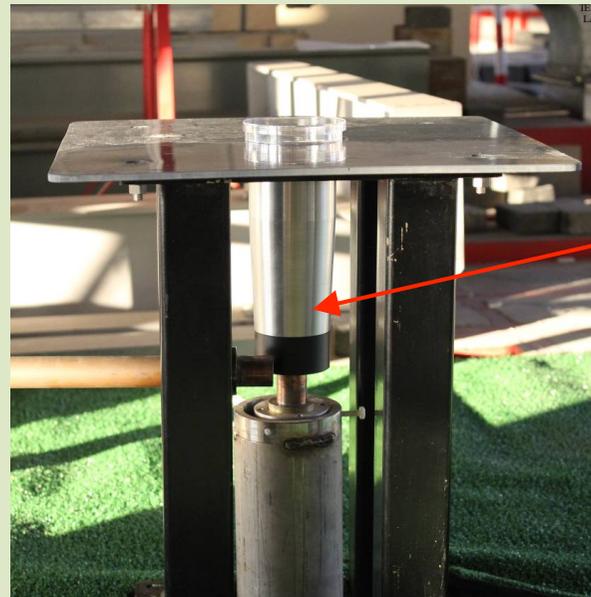
Irraggiamento di fibroblasti umani (GREAM)



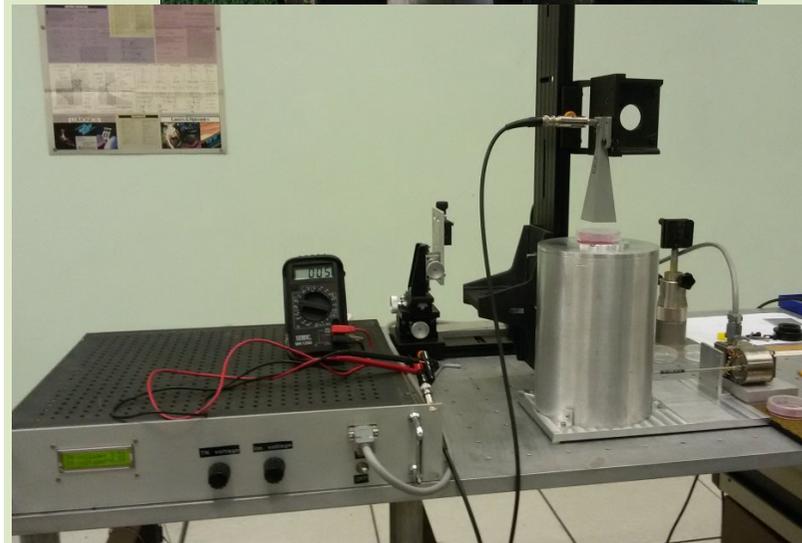
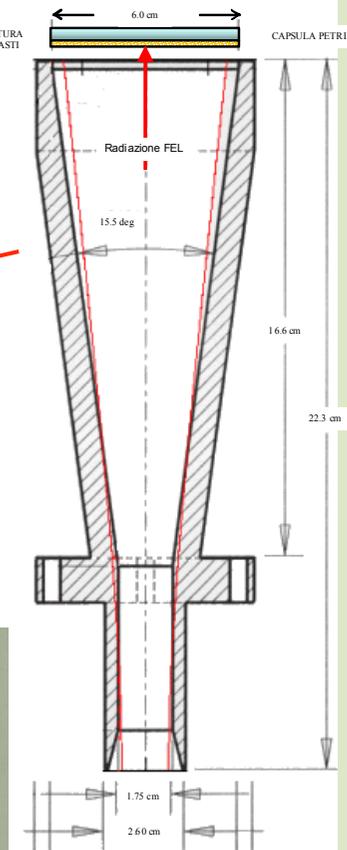
Set-Up di Irraggiamento tra 20 e 40 GHz



Set-up di Irraggiamento tra 100 e 150 GHz

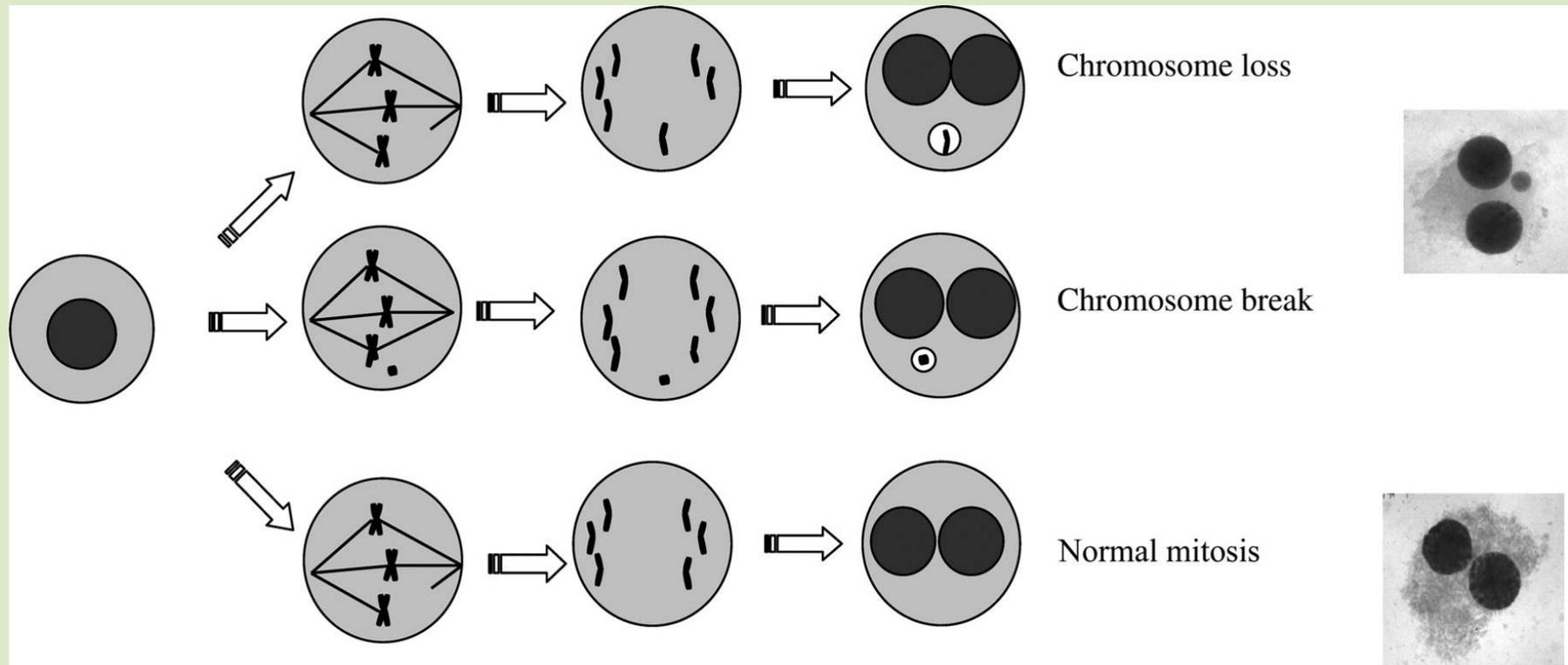


TERRENO DI COLTURA
LAYER FIBROBLASTI



Irraggiamento di Campioni Biologici III

Test dei Micronuclei: E' un'analisi citogenetica basata sull'osservazione di piccoli nuclei separati (micronuclei) nelle cellule binucleate (Fenech e Morley). Un micronucleo può essere un frammento acentrico del cromosoma (rottura dei cromosomi) o un intero cromosoma (perdita cromosoma).



Irraggiamento di Campioni Biologici III bis

Esposizione a 100 - 150 GHz

		Unexposed (MN in 1000BN)	Exposed (MN in 1000BN)	X^2 value
I Exp	Scorer 1	38	61	<0.001
	Scorer 2	48	62	<0.001
II Exp	Scorer 1	41	93	<0.001
	Scorer 2	58	81	<0.001
III Exp	Scorer 1	42	79	<0.001
	Scorer 2	67	93	<0.001
IV Exp	Scorer1	31	77	<0.001
	Scorer2	23	52	<0.001
V Exp	Scorer1	43	71	<0.001
	Scorer2	26	55	<0.001
	<i>Mean scorer 1</i>	39	76	<0.001
	<i>Mean scorer 2</i>	44	69	<0.001
	<i>Anova Exp</i>	<i>P = 0.3260</i>	<i>P = 0.1664</i>	
	<i>Anova Scorer</i>	<i>P = 0.5275</i>	<i>P = 0.3282</i>	

Irraggiamento di Campioni Biologici III ter

Esposizione a 25 GHz				
HFFF2	Scorer	Unexposed (MN in 1000 BN)	Exposed (MN in 1000 BN)	χ^2
Exp #1	1	11	19	$p < 0.01$
	2	11	23	$p < 0.01$
Mean		11	21	$p < 0.01$

Un aumento statisticamente significativo di MN è stato osservato dopo 20 min di irraggiamento sia nella banda 100-150 GHz che a 25.28 GHz con un'intensità media incidente di 0.4 mW/cm²

CETRA

Centre of Excellence for Terahertz Radiation and Applications



Programma Operativo Competitività 2007-2013

Fondo per lo Sviluppo Economico, Ricerca e Innovazione 2009-2011

Proposta di realizzazione di un Polo dell'innovazione tecnologica nell'utilizzo delle radiazioni elettromagnetiche nei settori delle bioscienze, della sostenibilità ambientale e delle diagnostiche per i Beni Culturali nel Centro Ricerche ENEA di Frascati.

Obiettivi

Realizzare all'interno del C.R. ENEA di Frascati nuovi laboratori di ricerca pubblico-privati con le seguenti finalità:

1. Esplorare le applicazioni della radiazione elettromagnetica nella regione spettrale del Terahertz in settori emergenti della Scienza e della Tecnologia.
2. Sviluppare metodologie e prototipi di strumentazione attraverso l'integrazione di competenze interdisciplinari.
3. **Rendere disponibili infrastrutture tecniche di eccellenza a ricercatori ed imprese.**
4. Inserire giovani talenti in progetti di ricerca aperti ad applicazioni innovative e al mercato.

CETRA

Centre of Excellence for Terahertz Radiation and Applications



Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca

Dipartimento per la Formazione Superiore e per la Ricerca

Direzione Generale per il Coordinamento, la Promozione e la Valorizzazione della Ricerca

ENEA - Agenzia Nazionale per le
nuove tecnologie, l'energia e lo
sviluppo economico sostenibile
c.a. del Commissario
Prof. Federico Testa
Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma (RM)
enea@cert.enea.it

Oggetto: "Piano Investimenti Italia" - Finanziamento progetti prioritari MIUR 2015/2016

CETRA

Centre of Excellence for Terahertz Radiation and Applications

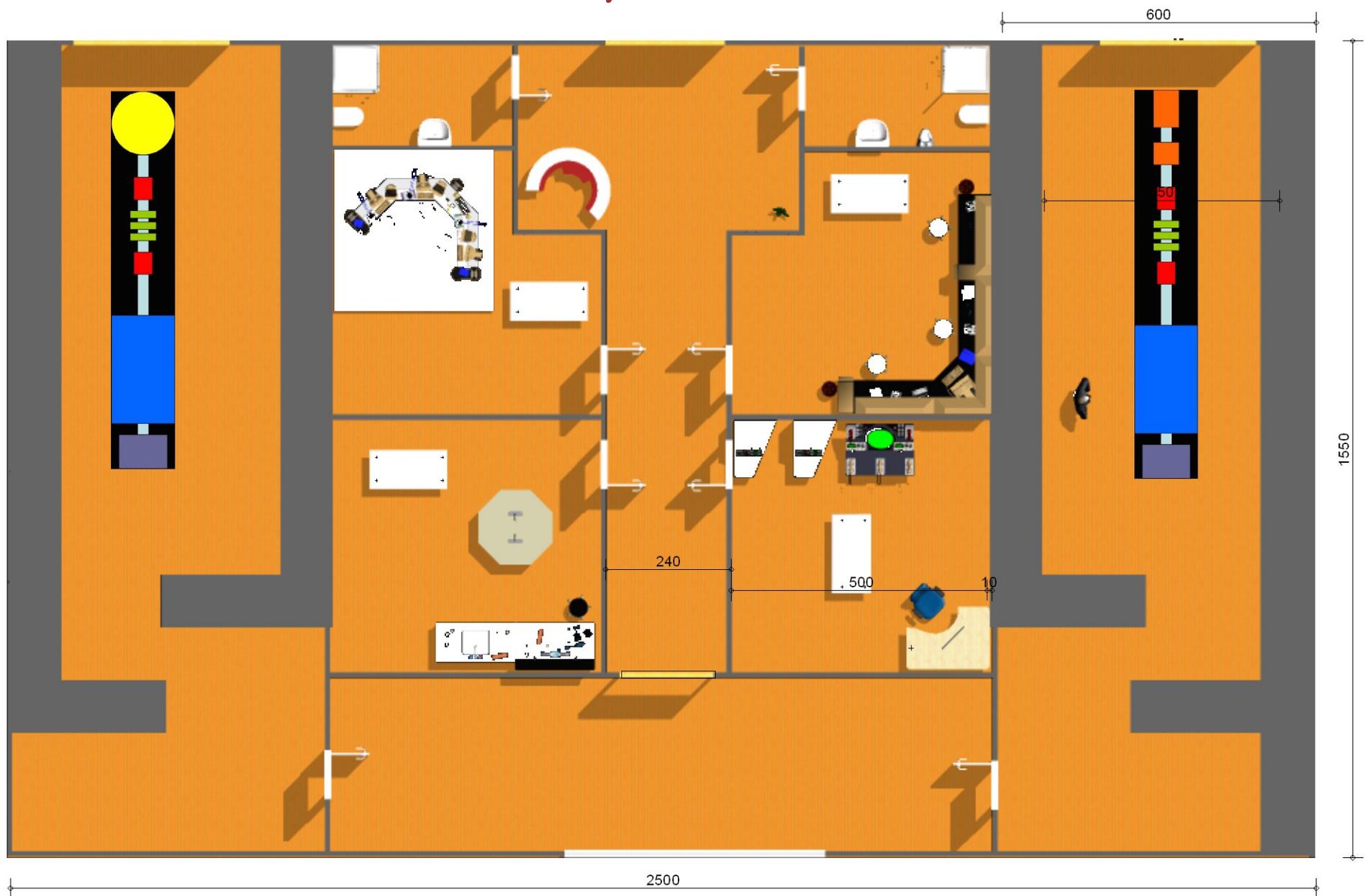
codesto ente, l'elenco di Infrastrutture di Ricerca (IR), come di seguito riportato:

- CETRA Center of Excellence for Terahertz Radiation and Applications
- DTT Divertor Tokamak test facility
- MONSTER MOLten Salts Technologies for solar Energy and Reforming
- Piattaforma Integrata - Bioenergia e la Chimica Verde

Il Ministero dell'Economia e delle Finanze sta elaborando un programma di investimenti che dovrebbe trovare copertura con finanziamenti da erogare da parte della Banca Europea degli Investimenti (BEI) nell'ambito del "piano Juncker".

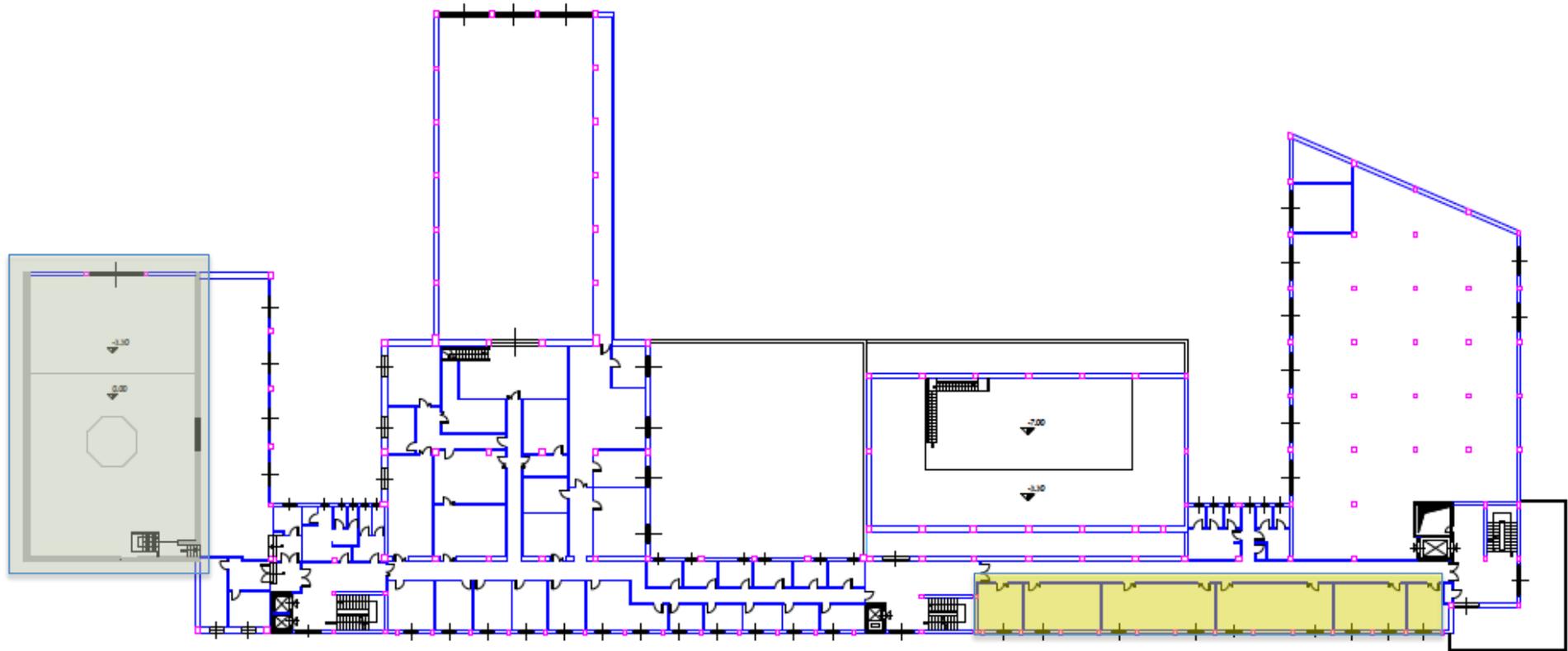
CETRA

Ipotesi I



CETRA

Ipotesi II



EDIFICIO F23

NEXT-STEP

DPP

NIXT

ABC

CETRA

CARM

TOP

FNG

EGERIA

