



UNIVERSITÀ DI PISA



Tecniche di Misura e Strumentazione per l'adeguamento alle nuove Normative

Alessandro ROGOVICH

Dept. of Information Engineering, Pisa University, Pisa, Italy

Microwave & Radiation Laboratory
alessandro.rogovich@iet.unipi.it
Università di Pisa, Pisa (Italy)



SOMMARIO

- **SORGENTI DI CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO**
- **MISURE NELLE REGIONI DI CAMPO VICINO E LONTANO**
- **MISURA DIRETTA ED INDIRETTA**
- **MISURA A BANDA LARGA E A BANDA STRETTA**
- **STRUMENTI PER LA MISURA DEL CAMPO E, H**
- **BANCHI SPERIMENTALI A MICROONDE**



SORGENTI DI CAMPO E, H

SORGENTI DI CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO:

E



**È SOSTENUTO DALLE CARICHE ELETTRICHE E
DALLA VARIAZIONE TEMPORALE DI H**

H



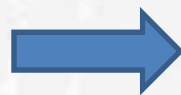
**È SOSTENUTO DALLE CORRENTI E DALLA
VARIAZIONE TEMPORALE DI E**

**IN PROSSIMITA'
DELLE SORGENTI**



**CAMPI MANTENUTI DA CARICHE
E CORRENTI: **DISACCOPPIATI****

**ALLONTANANDOSI
DALLE SORGENTI**



**CAMPI MANTENUTI DALLA MUTUA
VARIAZIONE TEMPORALE E SPAZIALE:
ONDA LOCALMENTE PIANA**



CARATTERIZZAZIONE DELLE SORGENTI



ZONA DI CAMPO VICINO

DISTANZA DALLA SORGENTE $< \lambda$
($< D^2 / \lambda$ SE E' NOTA LA DIMENSIONE D DEL RADIATORE)

E, H DISACCOPIATI  **DEVONO ESSERE MISURATI SEPARATAMENTE**

DISTANZA (ELETTRON.)
TRA SENSORE DI MISURA E SORGENTE RIDOTTA  **ACCOPPIAMENTO TRA SENSORE E SORGENTE**  **RIDOTTE DIMENSIONI DEL SENSORE**

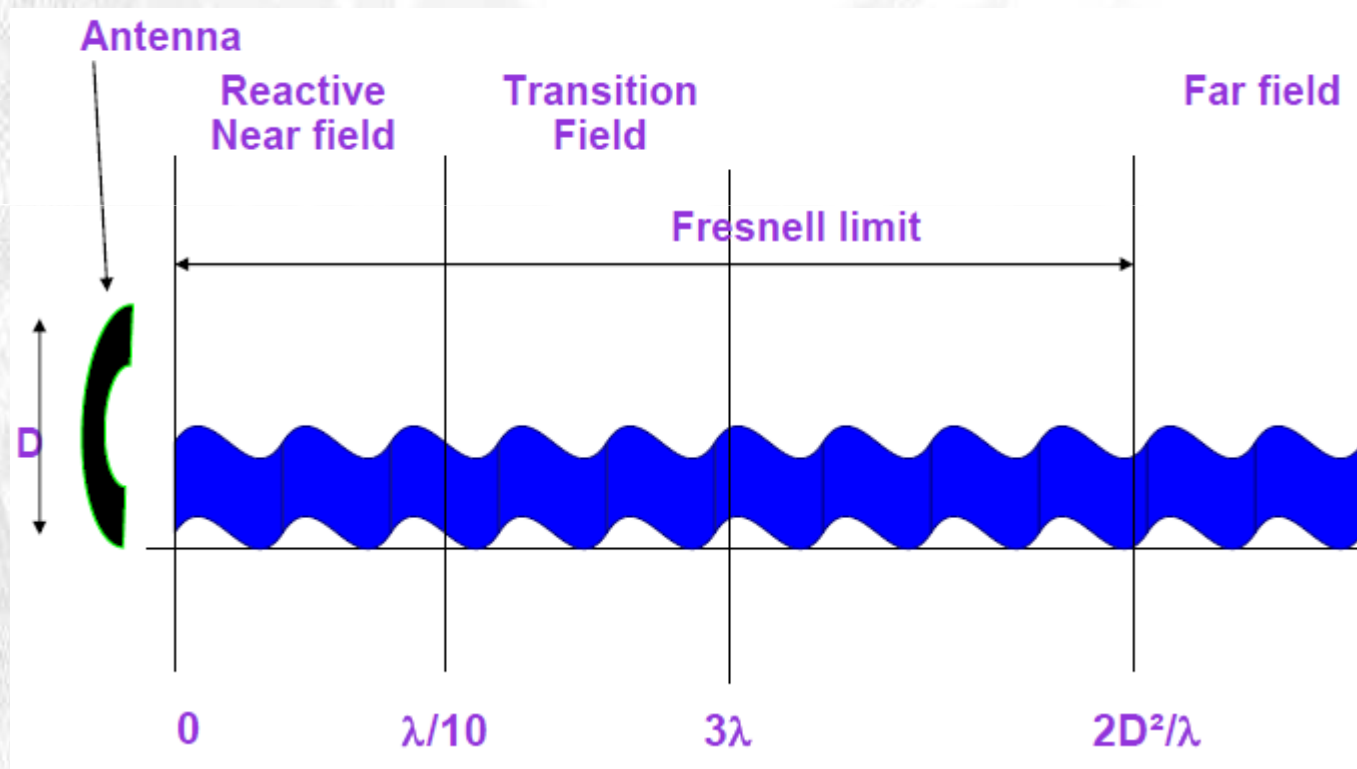


ZONA DI CAMPO LONTANO

E, H ACCOPPIATI: ONDA LOCALMENTE PIANA



È SUFFICIENTE MISURARE UNA DELLE DUE GRANDEZZE ($E=H/\xi$)





SENSORI

SENSORI DI
CAMPO ELETTRICO

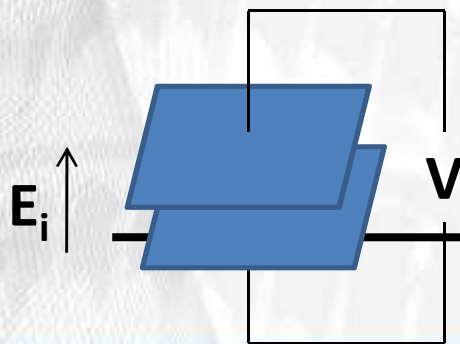


$$V = h_{\text{eff}} \cdot E_i$$

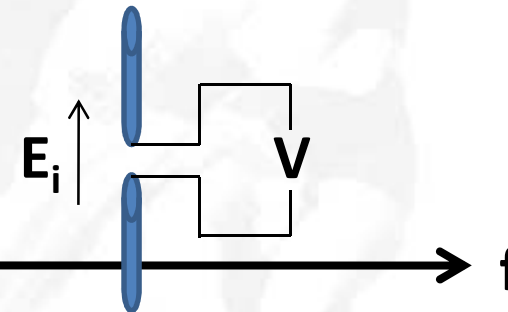
ACCOPIAMENTO CON IL CAMPO ELETTRICO DI TIPO CAPACITIVO

$$(I = h_{\text{eff}} \cdot C \cdot dE_i/dt)$$

SENSORE A
CONDENSATORE



SENSORE A
DIPOLO CORTO



100KHz

f



SENSORI

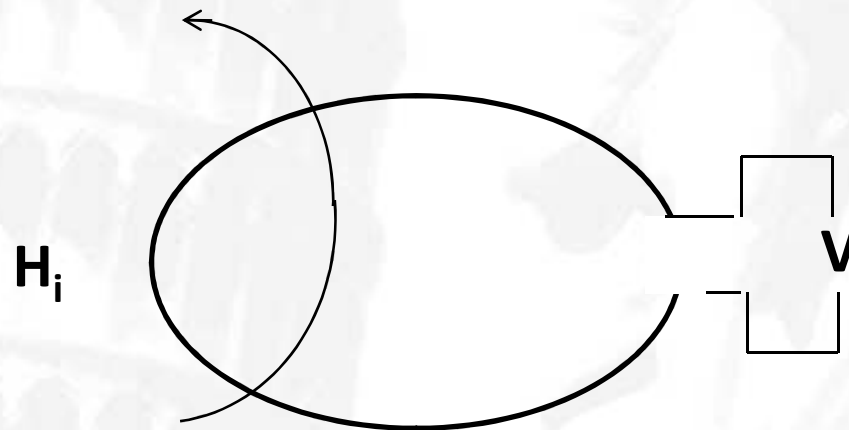
**SENSORI DI CAMPO
MAGNETICO**



$$V = k S \cdot f \cdot H_i$$

ACCOPIAMENTO CON IL CAMPO MAGNETICO DI TIPO INDUTTIVO

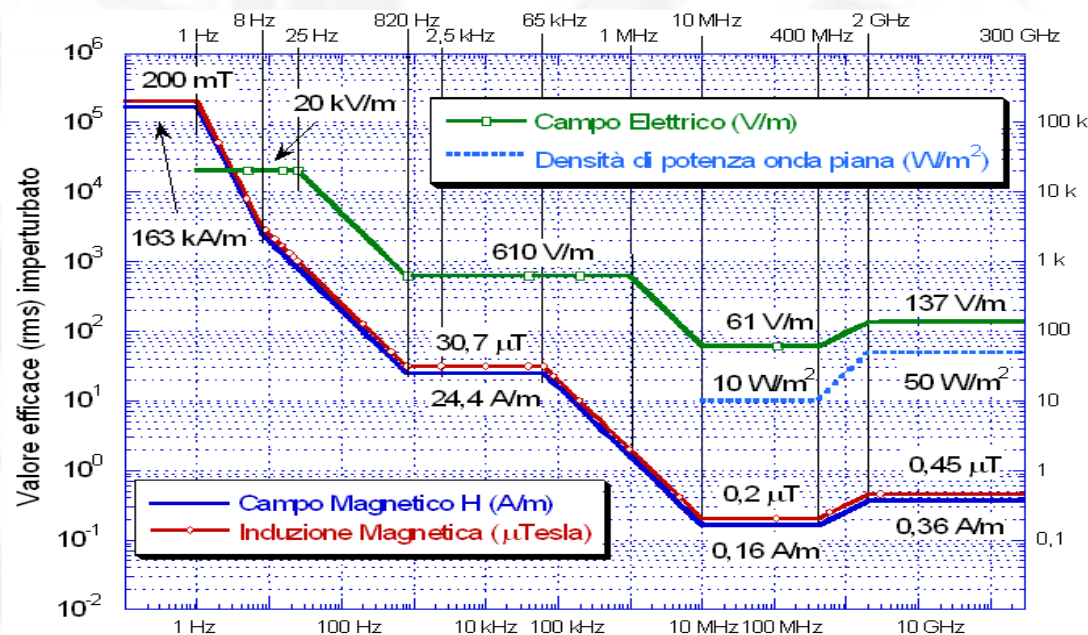
SENSORE A SPIRA





Emissioni di campo E.M.: verifica dei limiti normativi

- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz). Health Physics 1998; 74: 494-522.
- Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, “Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”.





PROCEDURE DI MISURA

MISURA DIRETTA



Gli strumenti rispondono ad un campo e.m. incidente con **sensibilità indipendente dalla frequenza** e perciò misurano l'intensità del campo senza indicazioni relative alla sua frequenza.

MISURA INDIRETTA



È possibile **sintonizzarsi sulla frequenza voluta** ma è necessario completare la lettura dello strumento con **valutazioni aggiuntive** per ottenere il valore effettivo del campo e prevedere l'uso di altri dispositivi, in particolare, **antenne**. Uno strumento tipico per misure indirette è l'**analizzatore di spettro**.



PROCEDURE DI MISURA

La verifica del rispetto dei limiti di campo elettromagnetico può essere di due tipi:

**MISURA A BANDA
LARGA**



La larghezza di banda del **SISTEMA DI MISURAZIONE** è maggiore di quella del segnale da misurare.

**MISURA A BANDA
STRETTA**



La larghezza di banda della **CATENA DI MISURA** è minore della larghezza di banda del segnale da misurare.



PROCEDURE DI MISURA

MISURE A BANDA LARGA



superamento dei limiti previsti dalla legge



MISURE A BANDA STRETTA

Le disposizioni prevedono infatti in tal caso, l'individuazione della sorgente (componente frequenziale) che maggiormente concorre al verificarsi del fenomeno.



REQUISITI PER MISURE IN BANDA LARGA

- Le dimensioni della parte sensibile, compreso l'alloggiamento, non devono superare una lunghezza d'onda alla frequenza massima di impiego;
- Eventuali linee di trasmissione (p.es. per il collegamento sensore-monitor) non devono perturbare il campo;
- Dinamica adeguata;
- Risposta piatta entro 2 dB nella banda di funzionamento;
- Tempo di risposta non superiore ad 1 s;
- Possibilità di mediare le misure su intervalli di 6 minuti;
- Isotropo: fornire risposte accurate per tutte le **direzioni di arrivo** e **polarizzazione** del campo;
- Deve essere garantita la misura della densità di potenza, del campo elettrico e/o magnetico;
- Misurare il valore RMS della grandezza considerata;
- Operare nel periodo di validità del certificato di calibrazione.



STRUMENTAZIONE A B. STRETTA E A B. LARGA

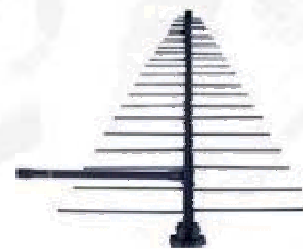
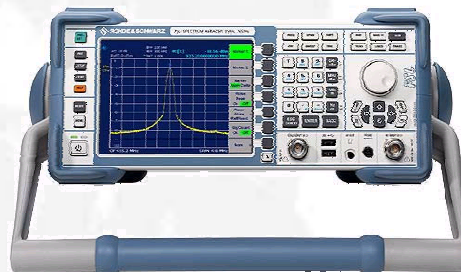
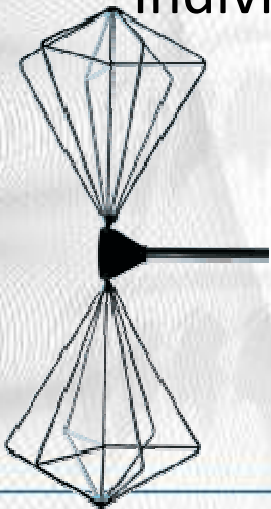
BANDA LARGA:

Il campo EM nel punto di misura risulta dal contributo di tutte le componenti frequenziali appartenenti alla banda dello strumento;



BANDA STRETTA:

Individuazione della frequenza spettrale a cui compete il maggiore contributo al campo EM nel punto di misura.





STRUMENTAZIONE PER MISURE A B. LARGA

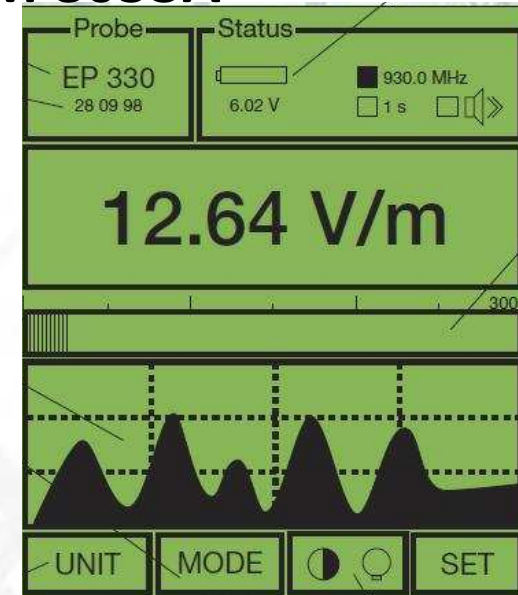
MISURATORE A BANDA LARGA: PMM 8053A

Campo di frequenza: 5 Hz ÷ 40 GHz (in funzione del sensore abbinato). Dinamica: > 140 dB (in funzione del sensore applicato)

Tempo di esecuzione della media:

1, 2, 3, 6, 10, 15, 30 min

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s^2(t) dt}$$



SENSORE ISOTROPICO DI CAMPO ELETTRICO: EP 330

Misuratore di campo elettrico a larga banda

Range frequenziale di operabilità: **100 kHz - 3 GHz**

Portata: 0.3-300 V/m

Risoluzione: 0.01 V/m

Sensibilità: 0.3 V/m



UNIVERSITÀ DI PISA

STRUMENTAZIONE PER MISURE A B. LARGA*

SENSORE A BASSA FREQUENZA: EHP 50C

Range frequenziale di operabilità: **5 Hz - 100 kHz**

Span: 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 10 kHz, 100 kHz

Tempo di acquisizione: registrazione fino a 24 ore

Collegamento PC: fibra ottica e gestione tramite interfaccia



Software di acquisizione
e
confronto diretto con Limiti ICNIRP

*Poiché tale strumento incorpora un analizzatore di spettro, permette di effettuare misurazioni relative ad una singola frequenza.



UNIVERSITÀ DI PISA

STRUMENTAZIONE PER MISURE A B. LARGA

SENSORE ISOTROPICO DI CAMPO ELETTRICO: EP 600

Misuratore di campo elettrico a larga banda

Range di frequenza operativa: **100 kHz a 9,25 GHz**

Ridotte dimensioni: 25g; 51mm

Gamma dinamica di misura: 0,14 - 140 V/m

Collegamento a PC: a fibra ottica e gestione tramite interfaccia software:





STRUMENTAZIONE PER MISURE A B. STRETTA

SCHEMA DI PRINCIPIO





UNIVERSITÀ DI PISA

STRUMENTAZIONE PER MISURE A B. STRETTA

ANALIZZATORE DI SPETTRO

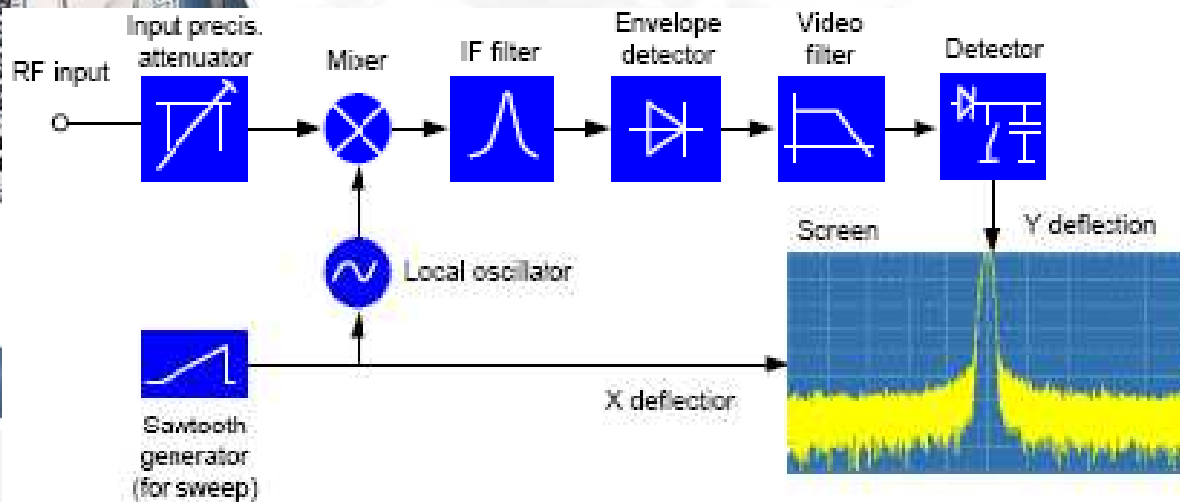
9 kHz to 18 GHz – NiMH battery (portatile)

Range di frequenza operativa: da 9 kHz a 18 GHz

Peso Ridotto: 8 kg

Alimentazione a batteria: 1 ora di operatività

Risoluzione in frequenza: da 300Hz a 10MHz

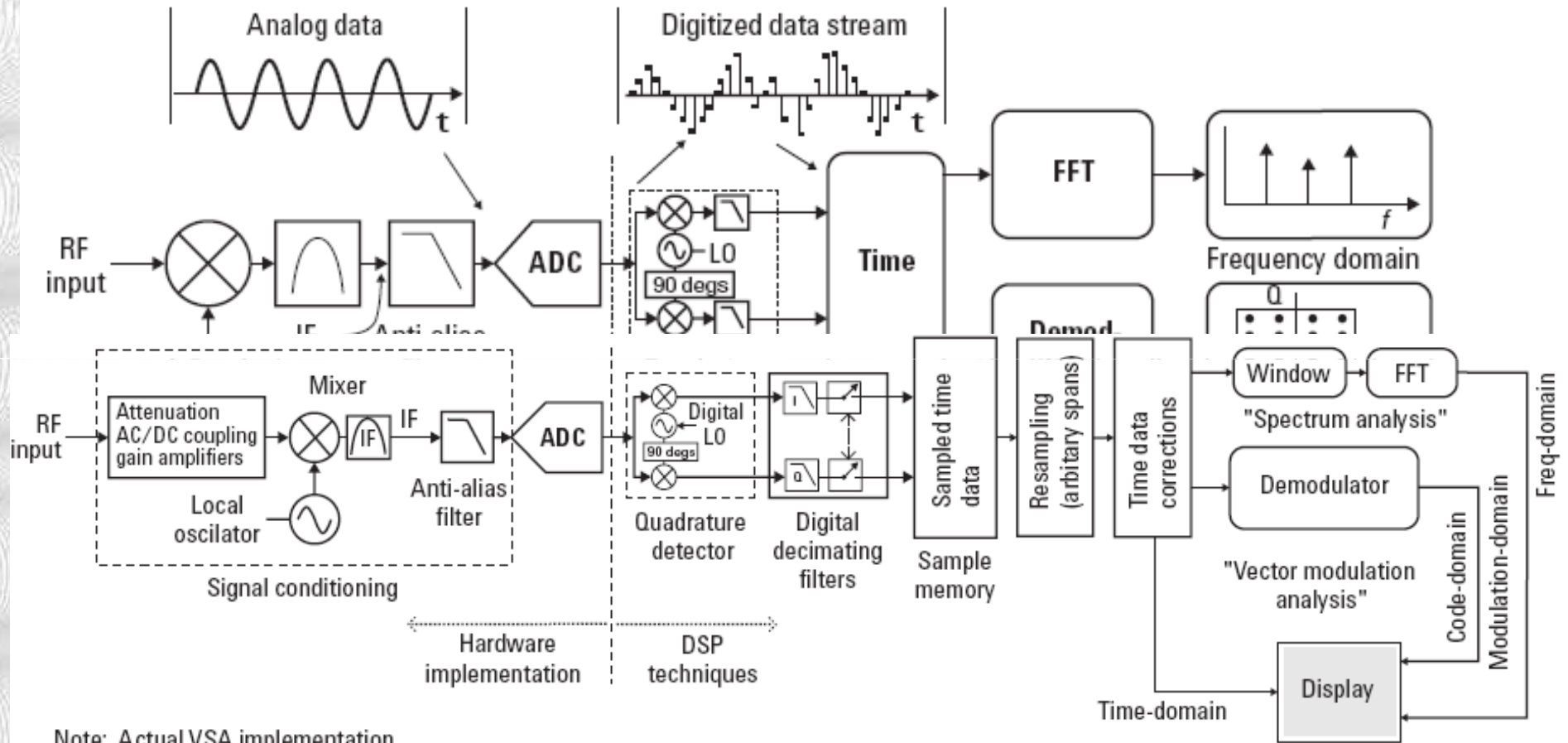




ANALIZZATORE DI SPETTRO

Agilent Vector Signal Analysis Basics

Application Note 150-15

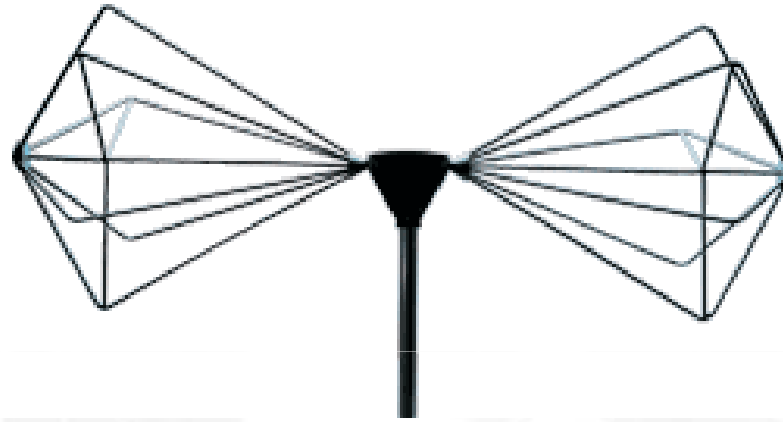


Note: Actual VSA implementation may be different.



STRUMENTAZIONE PER MISURE A B. STRETTA

ANTENNA BICONICA



Range di frequenza operativa: 20 - 300 MHz

VSWR (typ): 2.5

Impedenza d'ingresso: 50Ω

Peso: 3 kg



STRUMENTAZIONE PER MISURE A B. STRETTA

ANTENNA LOG. PERIODICA

Range di frequenza operativa: 200 - 1300 MHz

VSWR (tipico): 1.6

Guadagno: > 6dBi

Impedenza d'ingresso: 50Ω

Peso: 2 kg





STRUMENTAZIONE PER MISURE A B. STRETTA

ANTENNA DOUBLE-RIDGED WAVEGUIDE HORN ANTENNA

Range di frequenza operativa: 8 - 18 GHz

VSWR: ≤ 3 per $f < 1.5\text{GHz}$

VSWR: < 2 per $f \geq 1.5\text{GHz}$

Guadagno: da 5 a 14 dBi

Impedenza d'ingresso: 50Ω

Peso: 1.9 kg



HORN ANTENNA PER MISURE AD ELEVATE PRESTAZIONI

UNIVERSITÀ DI PISA

DUAL POLARISED HORN ANTENNA

Antenna con doppia polarizzazione, alimentata in cavo coassiale e ad elevate prestazioni sulla banda 2-18 GHz.

Applicazioni tipiche:

- Misure di interferenza em (EMI)
- Misure delle prestazioni di antenna
- Misure della RCS

Range di frequenza operativa: 2 - 18 GHz

VSWR: < 2.5

Guadagno: da 5 a 18 dBi

Polarizzazione: orizzontale e verticale



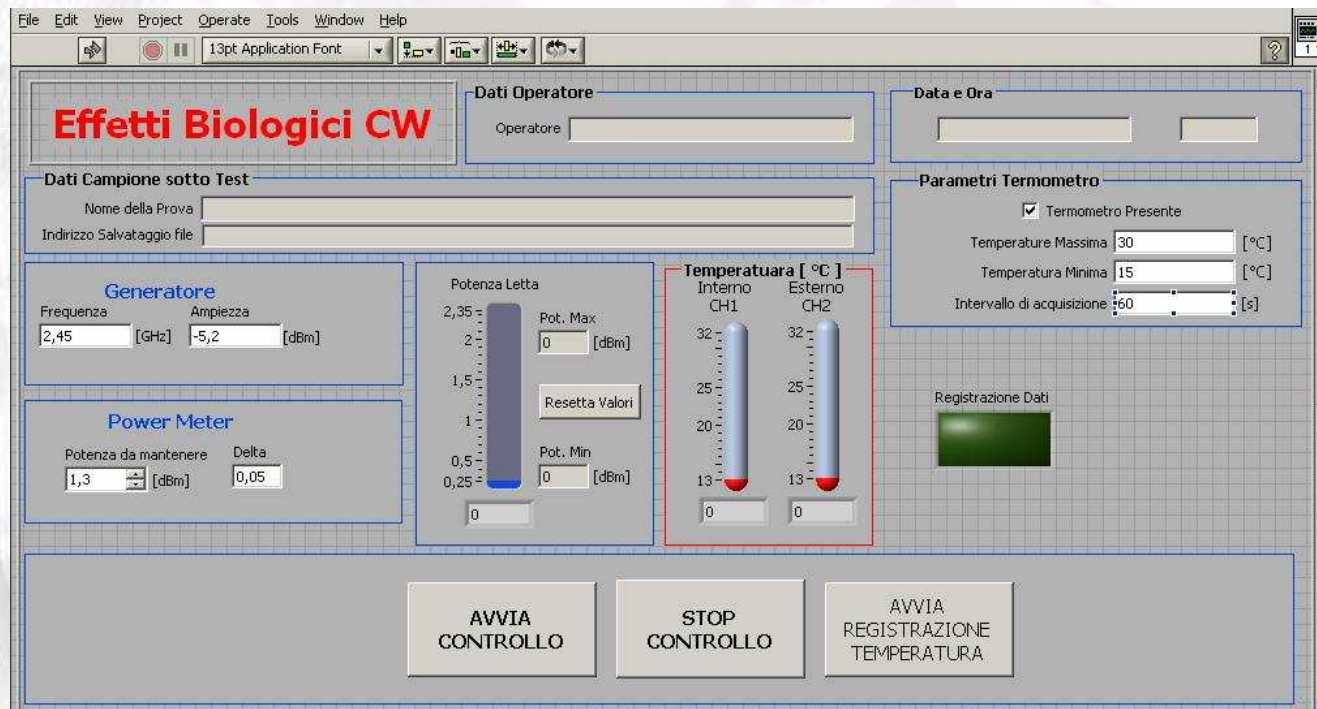
Model DP240-AB



BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

Per l'esposizione dei campioni biologici in condizione di **basso innalzamento termico** tramite segnali in onda continua.

Il mantenimento dell'uniformità del livello di esposizione dei campioni biologici avviene controllando la catena di irraggiamento attraverso un applicativo sviluppato in linguaggio LabView.

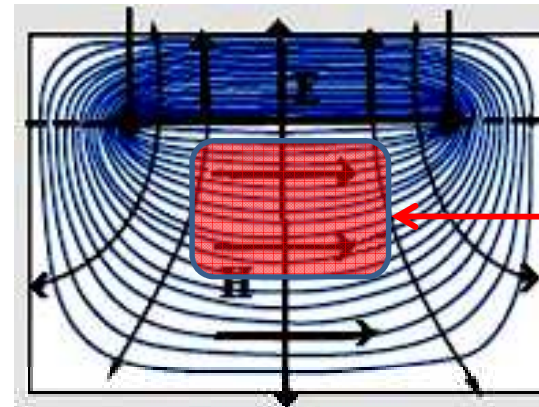
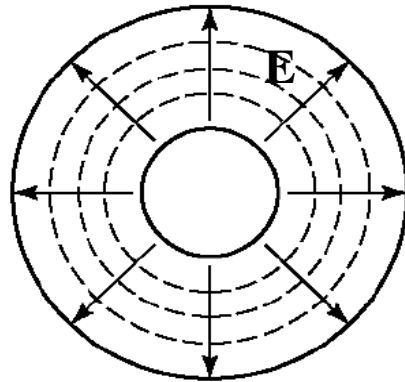




BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

ESPOSIZIONE IN CELLA G-TEM

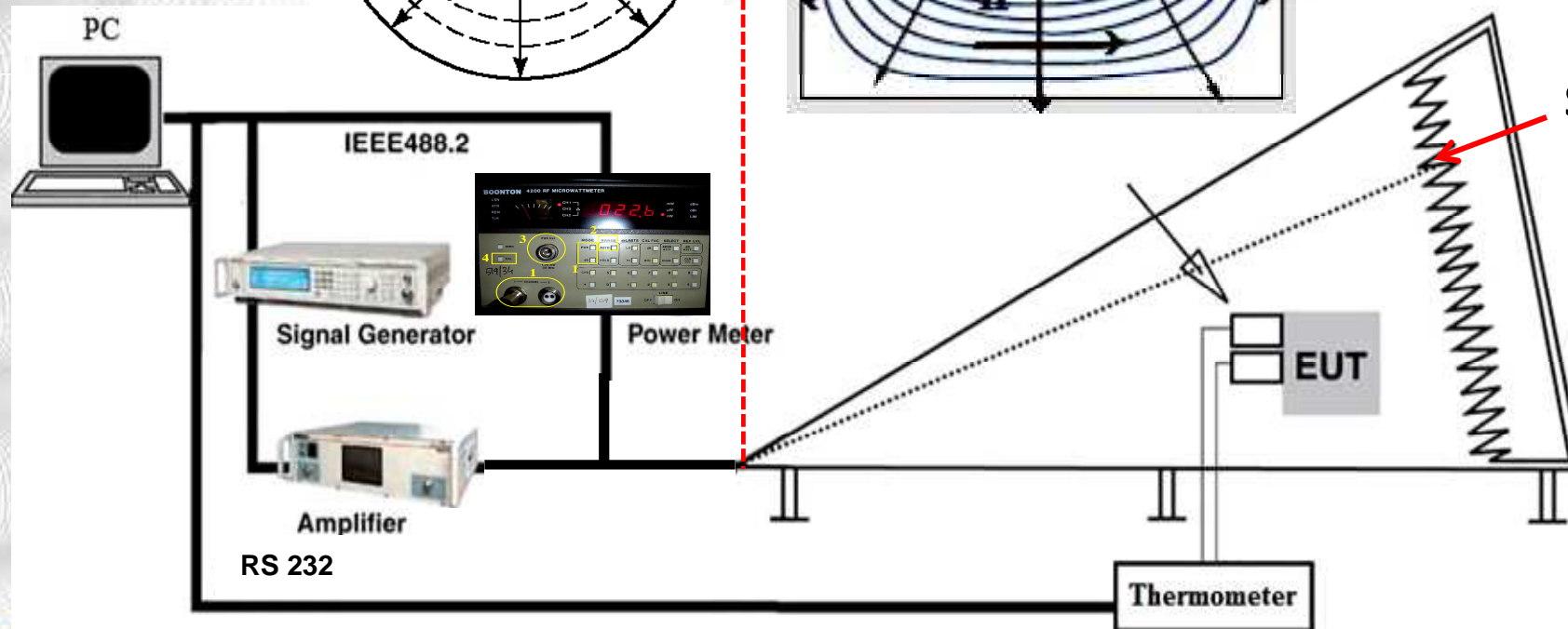
PERMETTE LA PROPAGAZIONE DEL MODO TEM



← SETTO

← REGIONE DI PROVA

← SETTO





UNIVERSITÀ DI PISA

BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

CELLA G-TEM

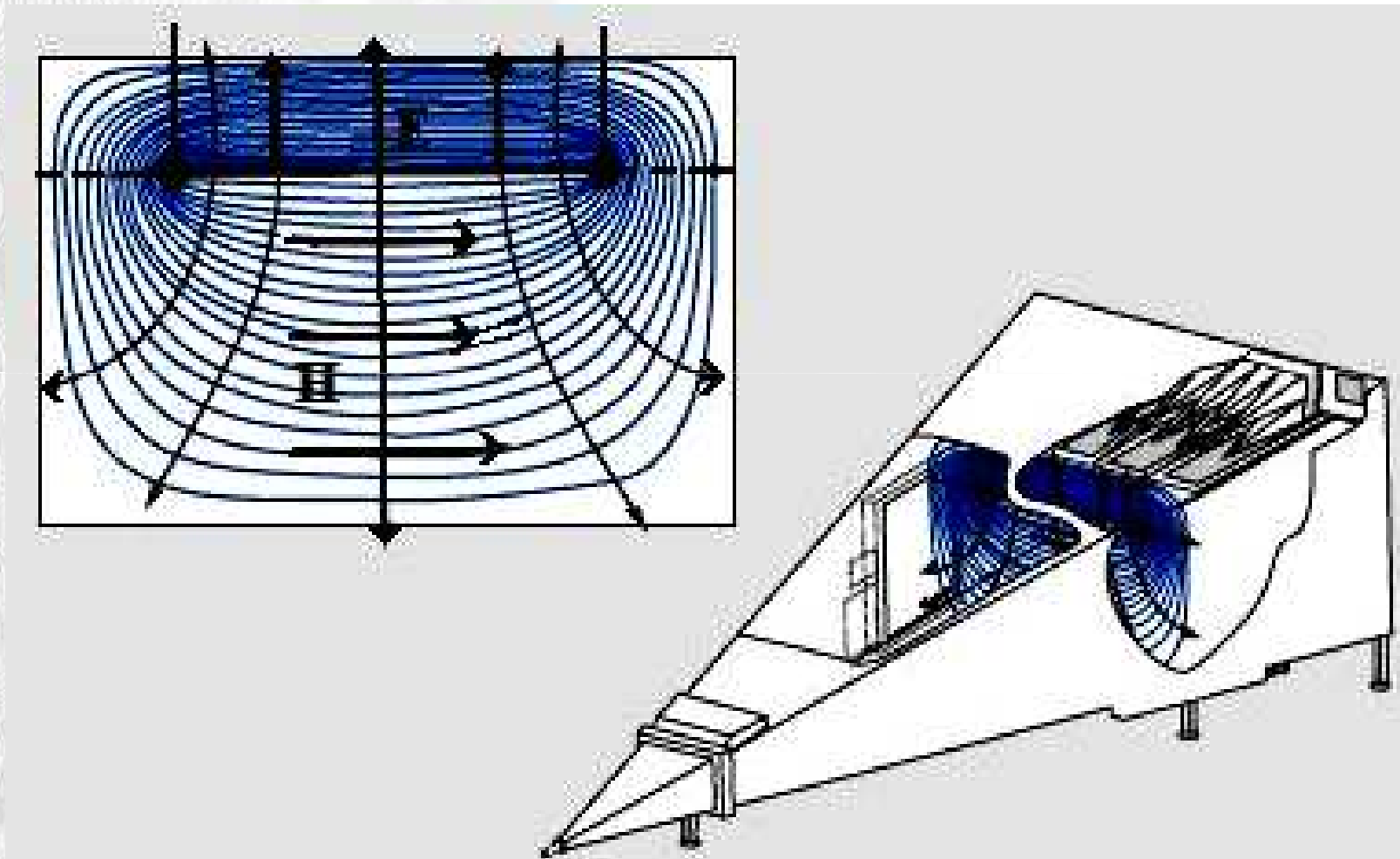




UNIVERSITÀ DI PISA

BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

CELLA G-TEM: PROPAGAZIONE



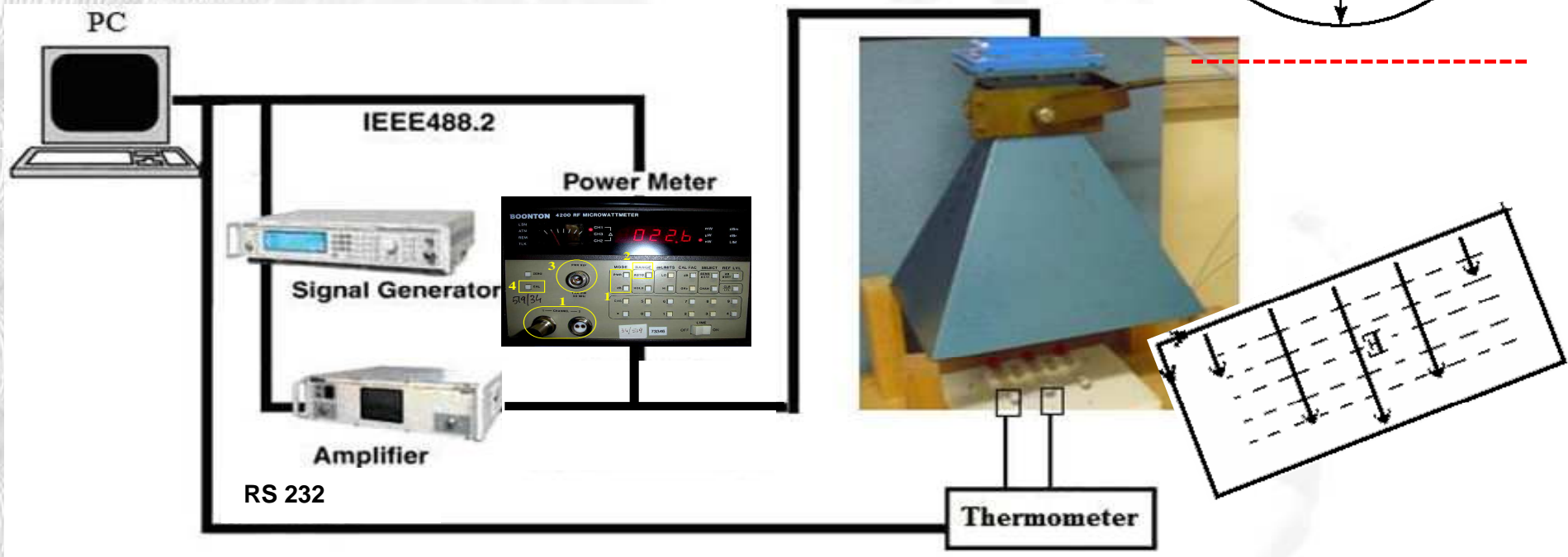
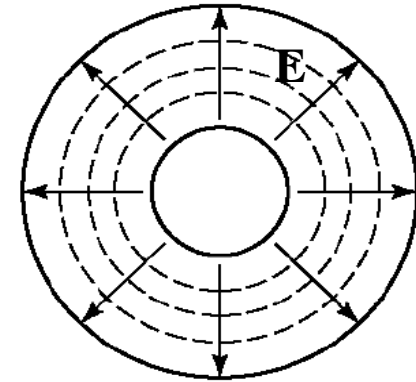


UNIVERSITÀ DI PISA

BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

ESPOSIZIONE CON ANTENNA HORN

TRANSIZIONE DAL MODO TEM AL TE₁₀





BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

CAMPI DA IMPOSTARE NELLA GUI

- Frequenza di lavoro (2.45 GHz)
 - Il controllo del sistema è basato sull'impostazione dei due campi "A" e "B"
- ↓
- "A" → Particolare valore della densità di potenza di esposizione del campione biologico internamente alla cella GTEM.
 - "B" → Velocità di convergenza: innalzamento termico.

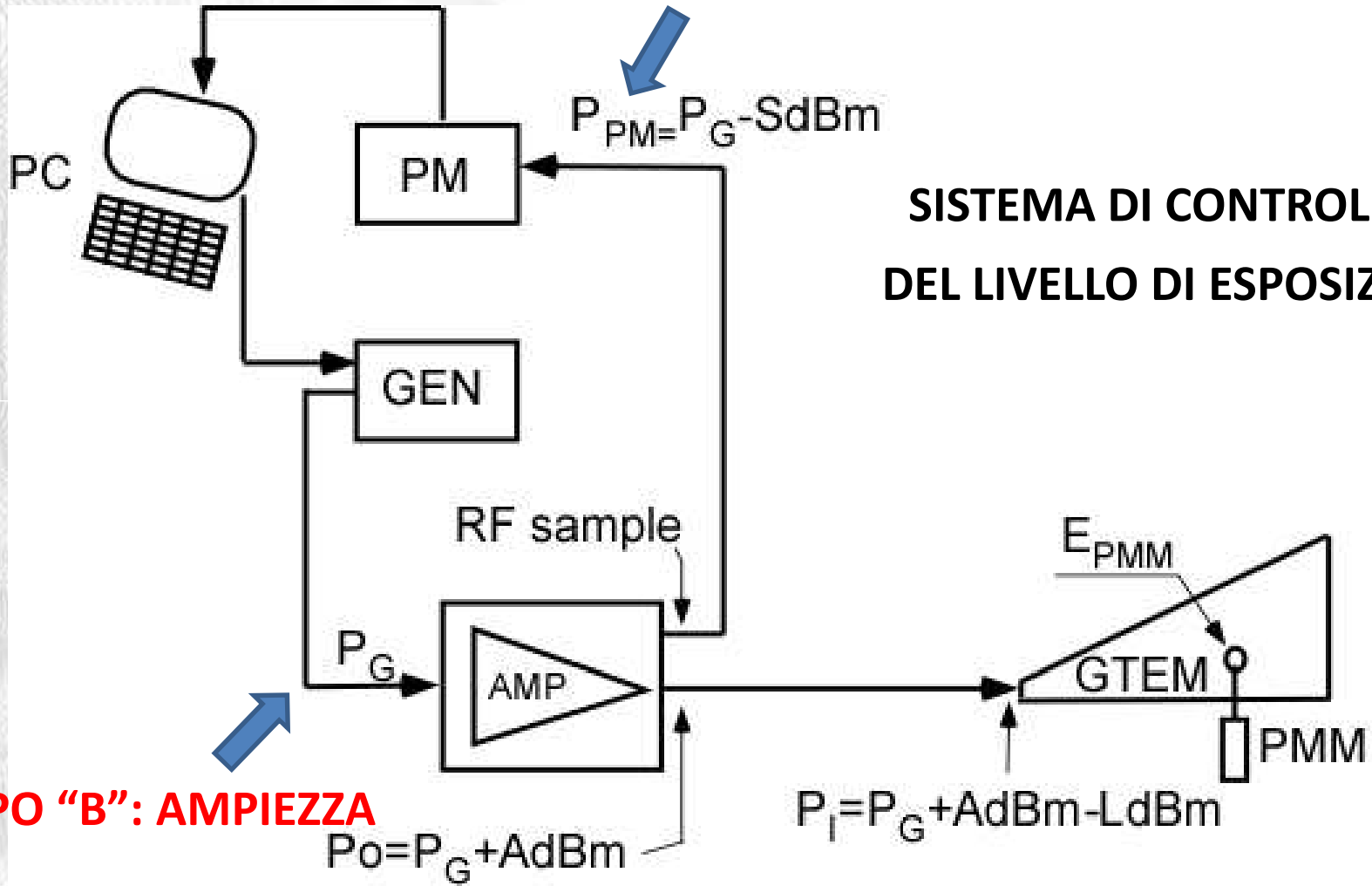
The screenshot shows a software interface titled "Controllo Generatore" for "Effetti Biologici CW". It features several control panels:

- Dati Campione sotto Test:** Includes fields for "Nome della Prova" and "Indirizzo Salvataggio file".
- Generatore:** Contains "Frequenza" (2,45 [GHz]) and "Ampiezza" (-27 [dBm]). The "Ampiezza" field is highlighted with an orange box and labeled "B".
- Power Meter:** Contains "Potenza da mantenere" (-15 [dBm]) and "Delta" (0,05). The "Potenza da mantenere" field is highlighted with an orange box and labeled "A".
- Potenza Letta:** A vertical scale from -13,95 to -16,05 dBm, with "Pot. Max" (0 [dBm]) and "Pot. Min" (0 [dBm]) fields, and a "Resetta Valori" button.
- Buttons:** "AVVIA CONTROLLO" and "CC" are located at the bottom right.



BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

CAMPO "A": POTENZA DA MANTENERE



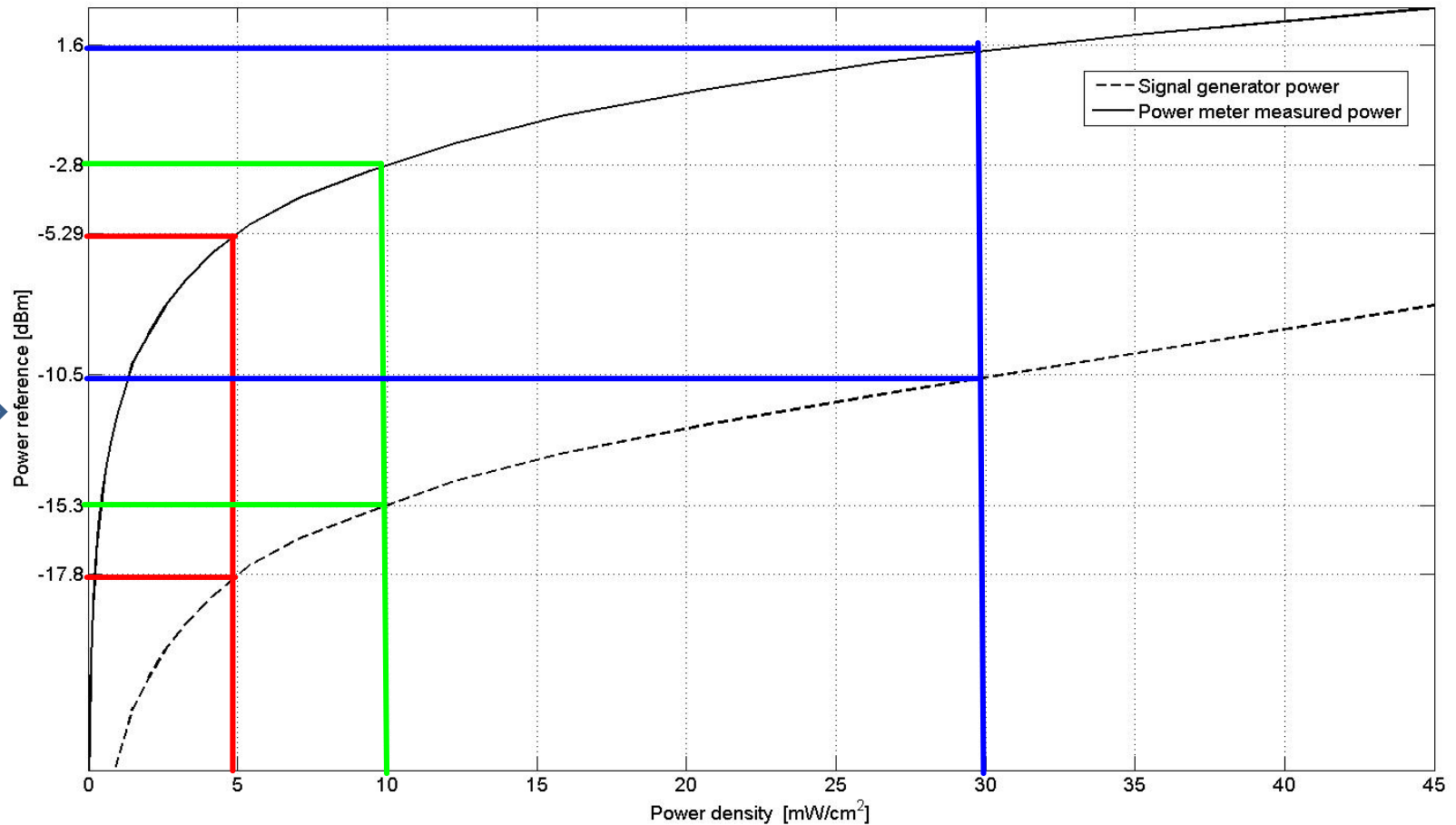
CAMPO "B": AMPIEZZA



BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

Valori di potenza da impostare (GUI: "A") per avere una densità di potenza prefissata nella regione di prova della cella GTEM

CAMPO: POTENZA DA MANTENERE

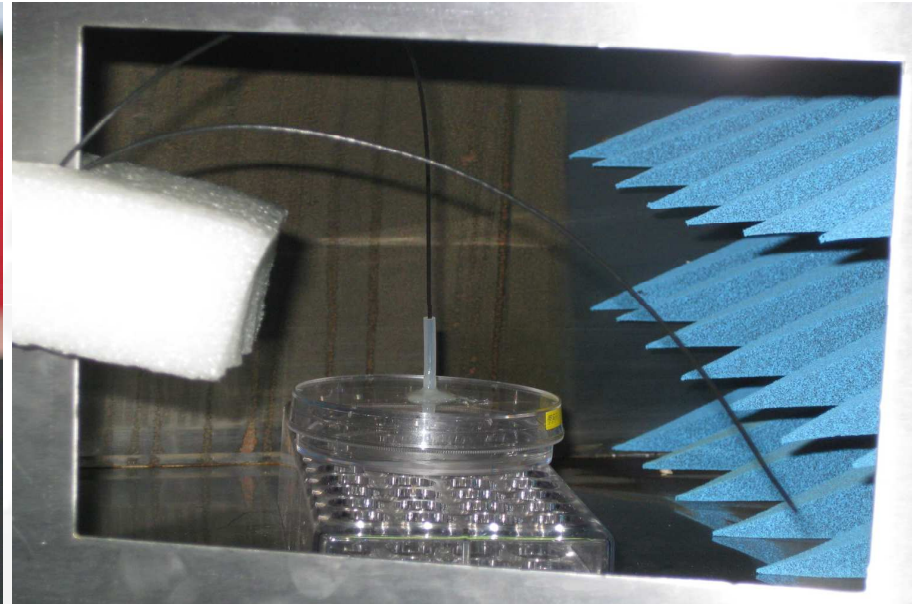
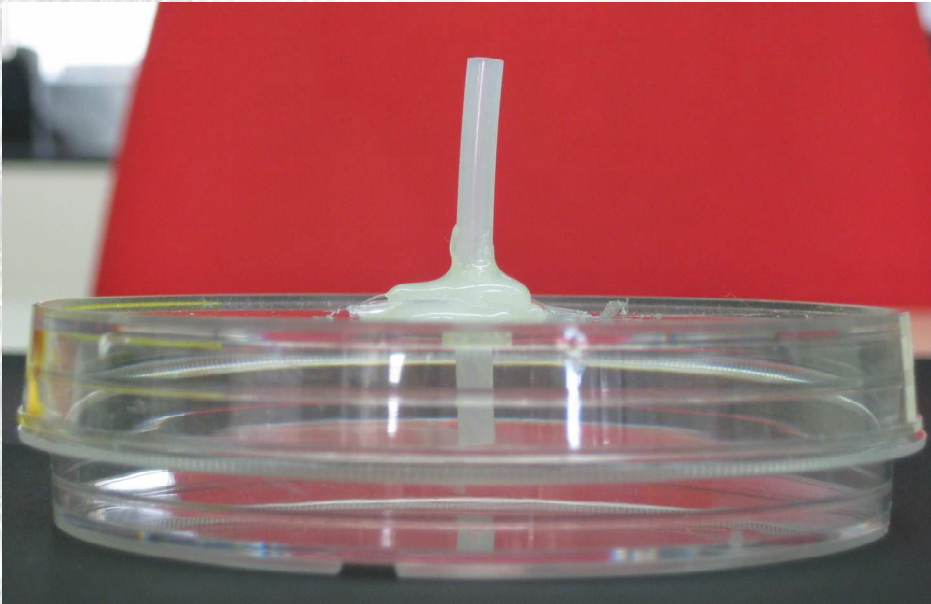




UNIVERSITÀ DI PISA

BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

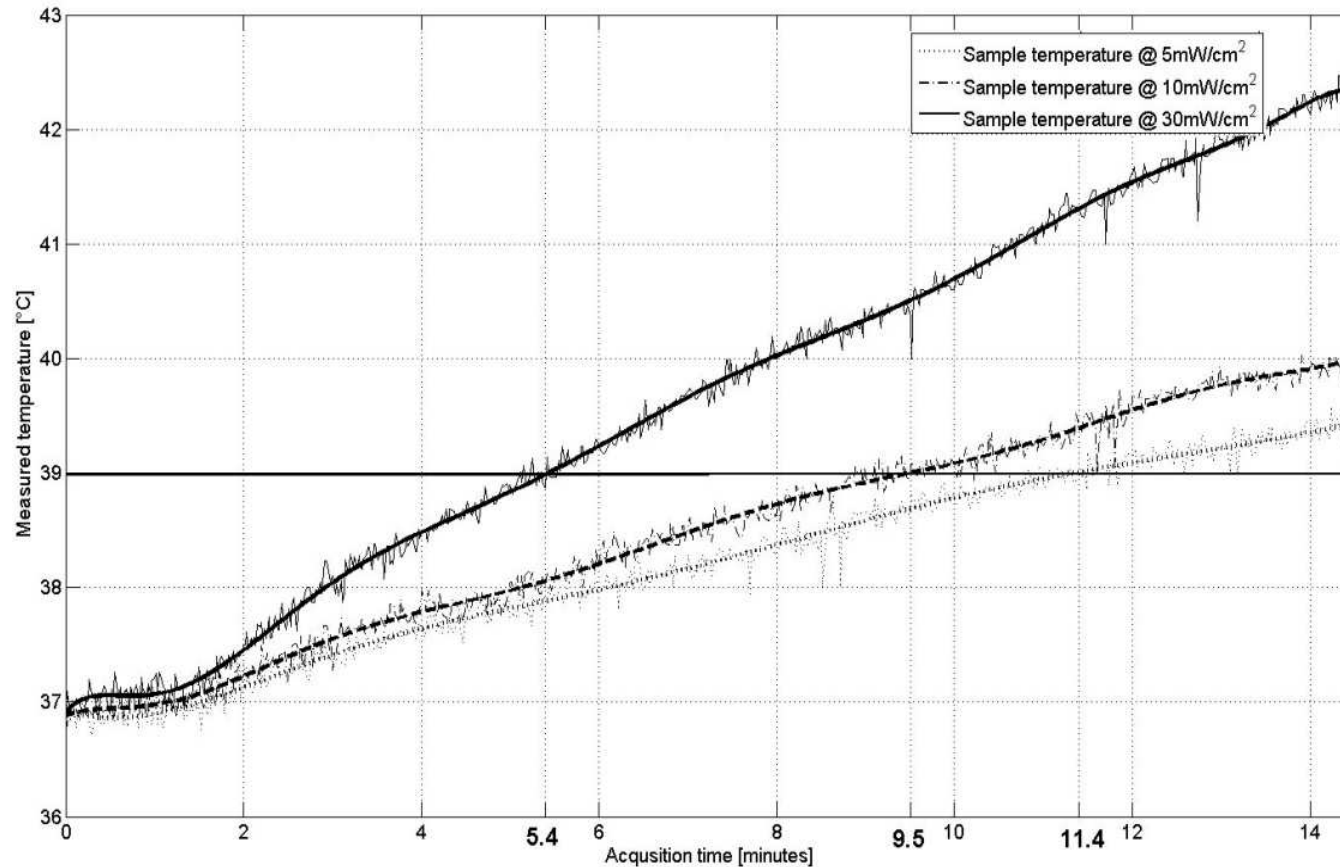
VALUTAZIONE DELLE CURVE DOSIMETRICHE





BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

PROFILI DI TEMPERATURA

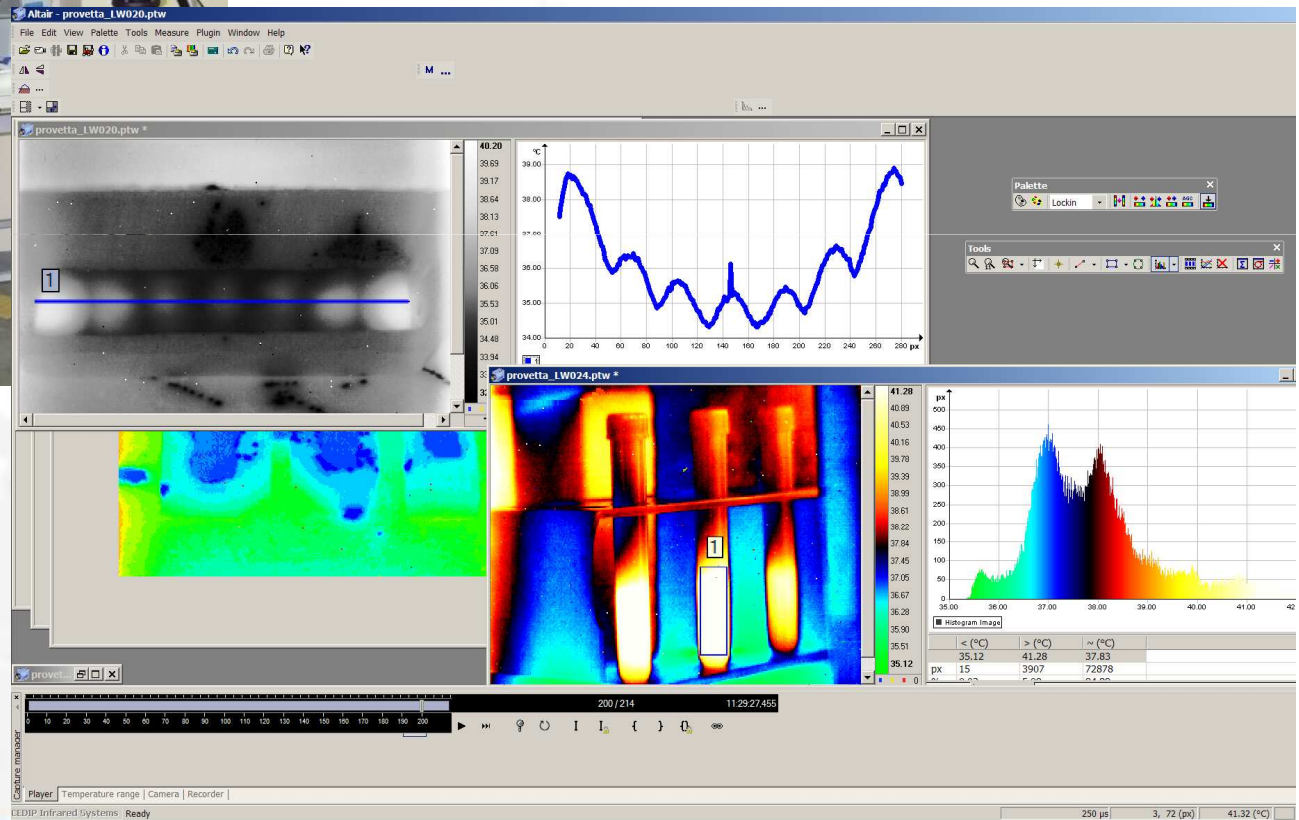
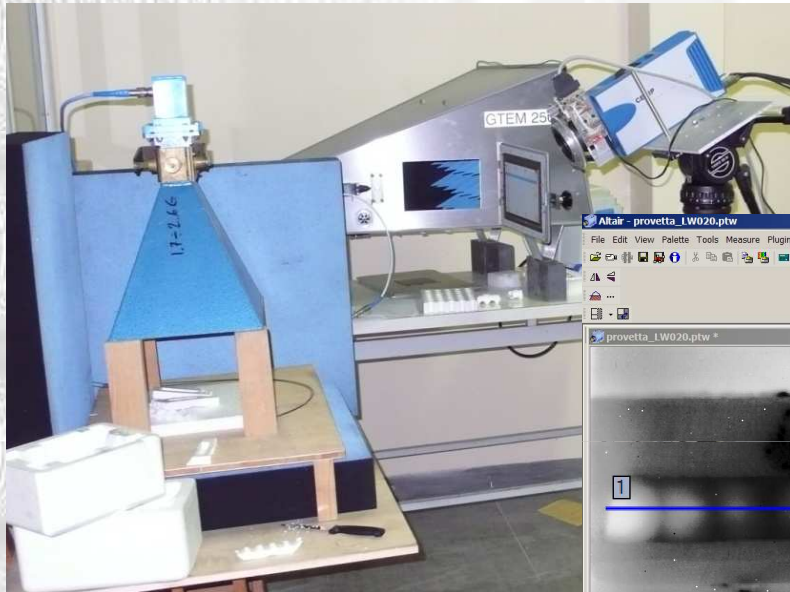




UNIVERSITÀ DI PISA

BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

ANALISI TERMOGRAFICA DELLA TEMPERATURA

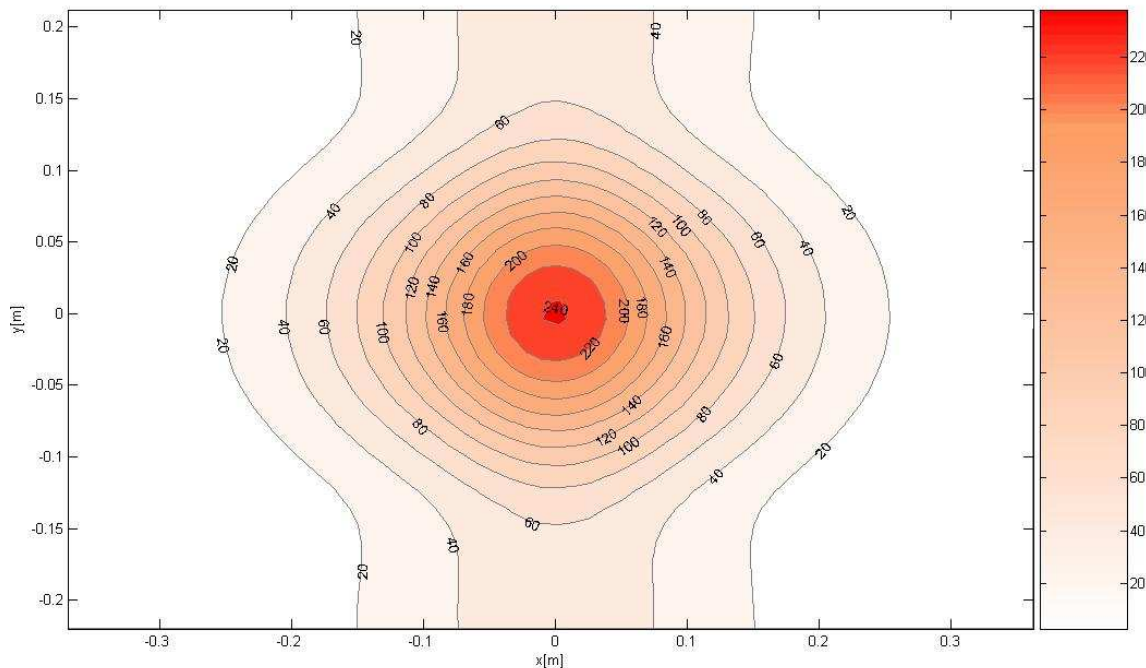
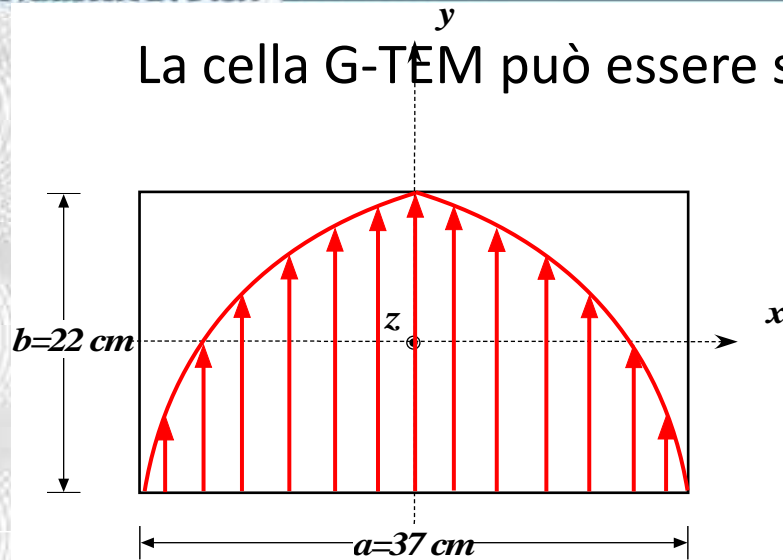




UNIVERSITÀ DI PISA

BANCO SPERIMENTALE PER ESPOSIZIONE CW

La cella G-TEM può essere sostituita con una Horn Antenna.



Il campo E_{tot} a 20 cm dall'apertura è uniforme.

BANCO SPERIMENTALE PER L'ESPOSIZIONE IMPULSIVA

UNIVERSITÀ DI PISA

