

# Prove valutative nell'ambito della Compatibilità Elettromagnetica

Firenze, 16 Maggio 2012

Marco Cati

## GENERAZIONE DI UN CAMPO ELETTROMAGNETICO CAMPIONE

Carlo Carobbi, Michele Borsero, Marco Cati, Carlo Panconi, Giuseppe Vizio  
Università di Firenze, INRIM, Esaote S.p.A., Elettroingegneria

# Non possiamo dire molto... adesso

2

- Tra le altre cose...
  - Non possiamo svelare troppi particolari
  - Non possiamo svelare troppi numeri
  - Non possiamo svelare il valore del livello di campo di riferimento
- Di cosa parleremo allora?
  - Precedenti confronti interlaboratorio
  - Realizzazione e caratterizzazione del generatore di riferimento
  - Verifica del sistema radiante
  - Principali contributi di incertezza

# Correva l'anno...

3

- Misura di emissione radiata a 3 metri in camere anecoiche compatte
- Due tipologie di confronti proposti (2006 e 2008):
  - I) **Intero sistema di misura itinerante (originale)**  
(emettitore, antenna ricevente, ricevitore e personale tecnico)
  - II) **Solo emettitore itinerante (classico)**
- Campo di frequenza indagato:  
30 MHz – 300 MHz (una decade)

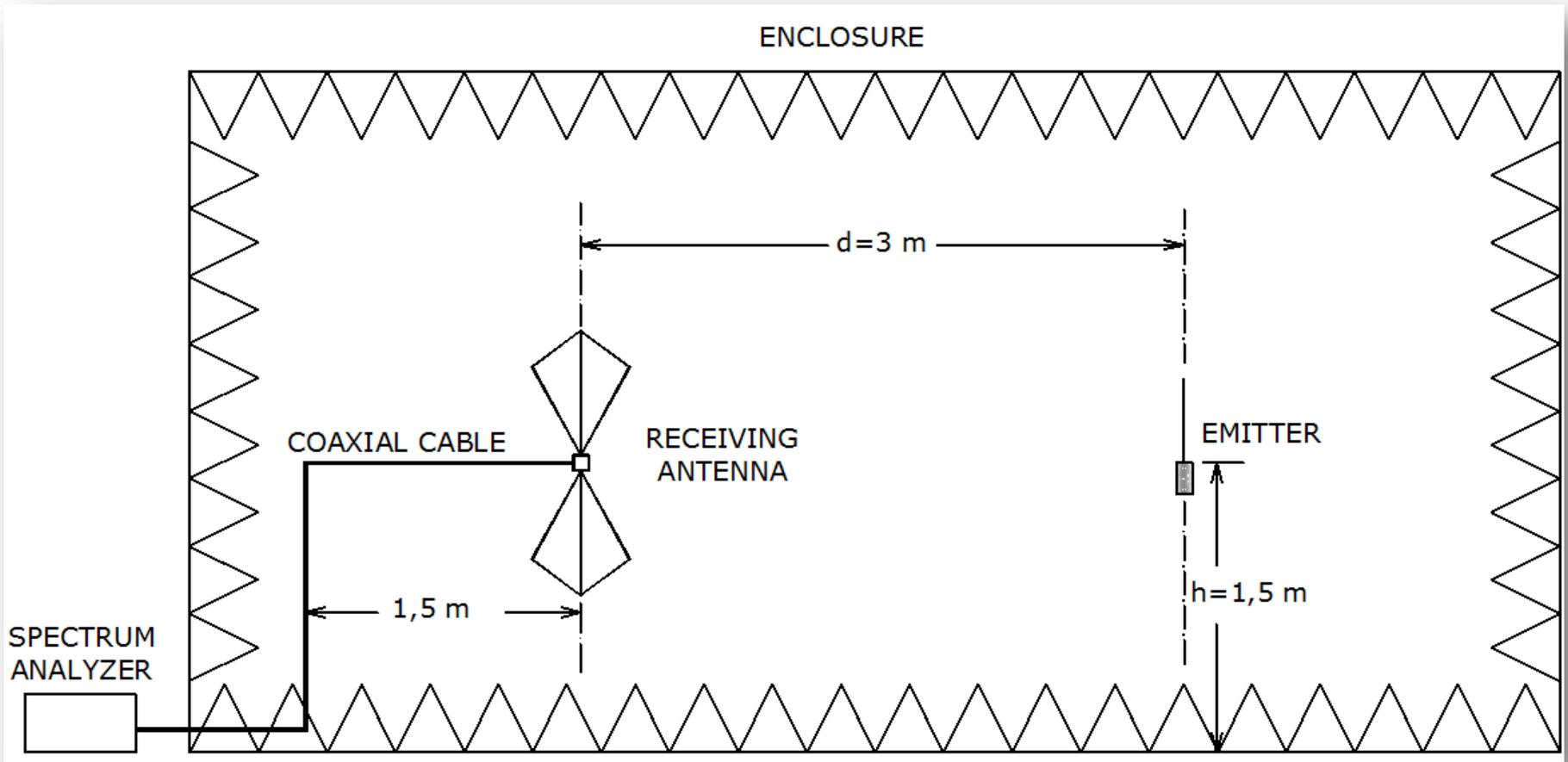
# Scopo dei due precedenti confronti interlaboratorio

4

- Valutare differenze da sito a sito (confronto a scopo scientifico/conoscitivo)
- 14 laboratori coinvolti
- **I confronto (originale)**
  - ▣ Differenze tra sito a sito dovute a:
    - *non idealità del sito di misura*
- **Il confronto (classico)**
  - ▣ Differenze tra sito a sito dovute a:
    - *non idealità del sito di misura,*
    - *strumentazione di misura del partecipante,*
    - *personale tecnico*

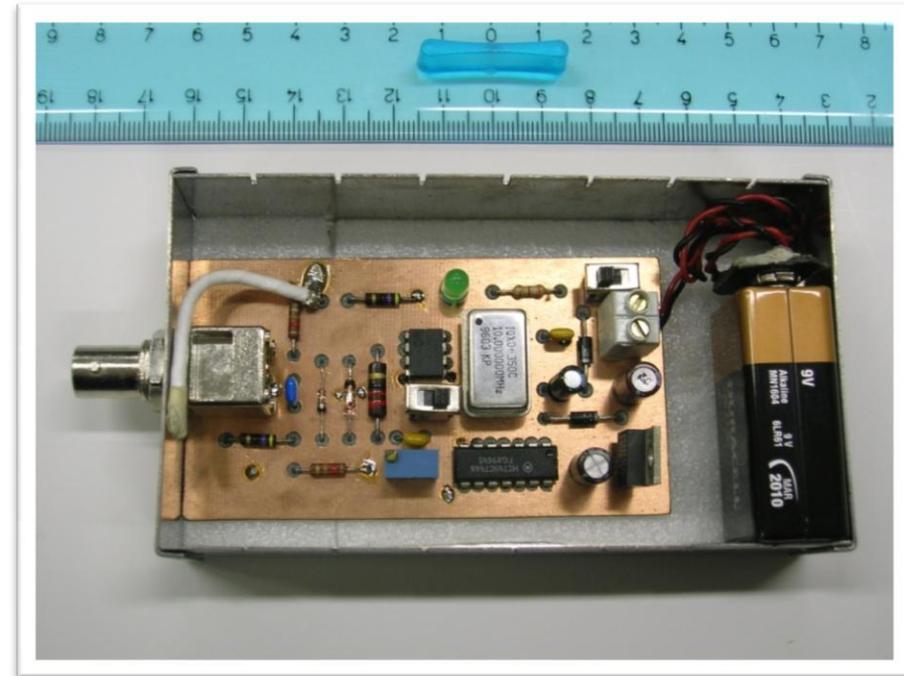
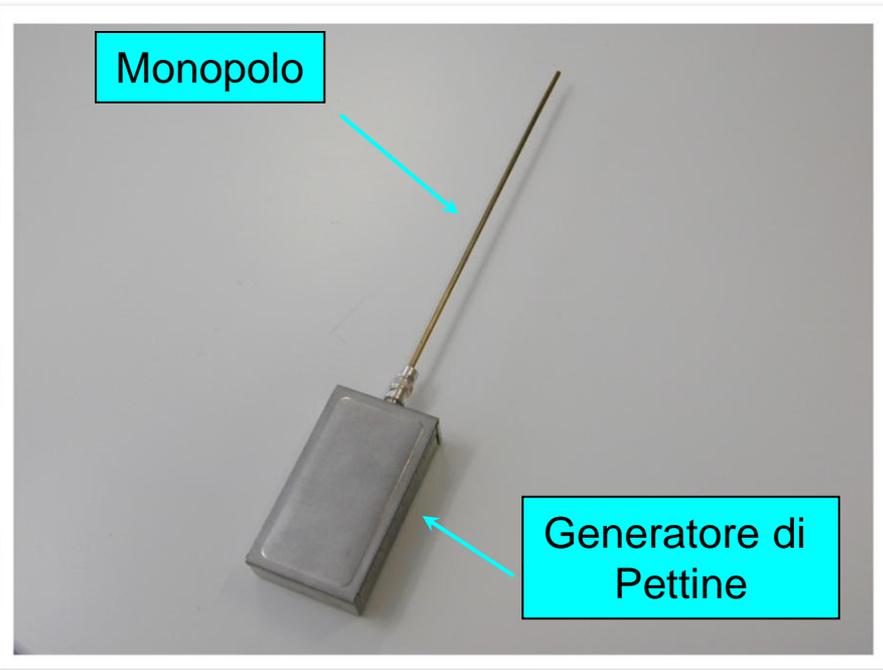
# Allestimento di prova

5



# Prototipo realizzato

6



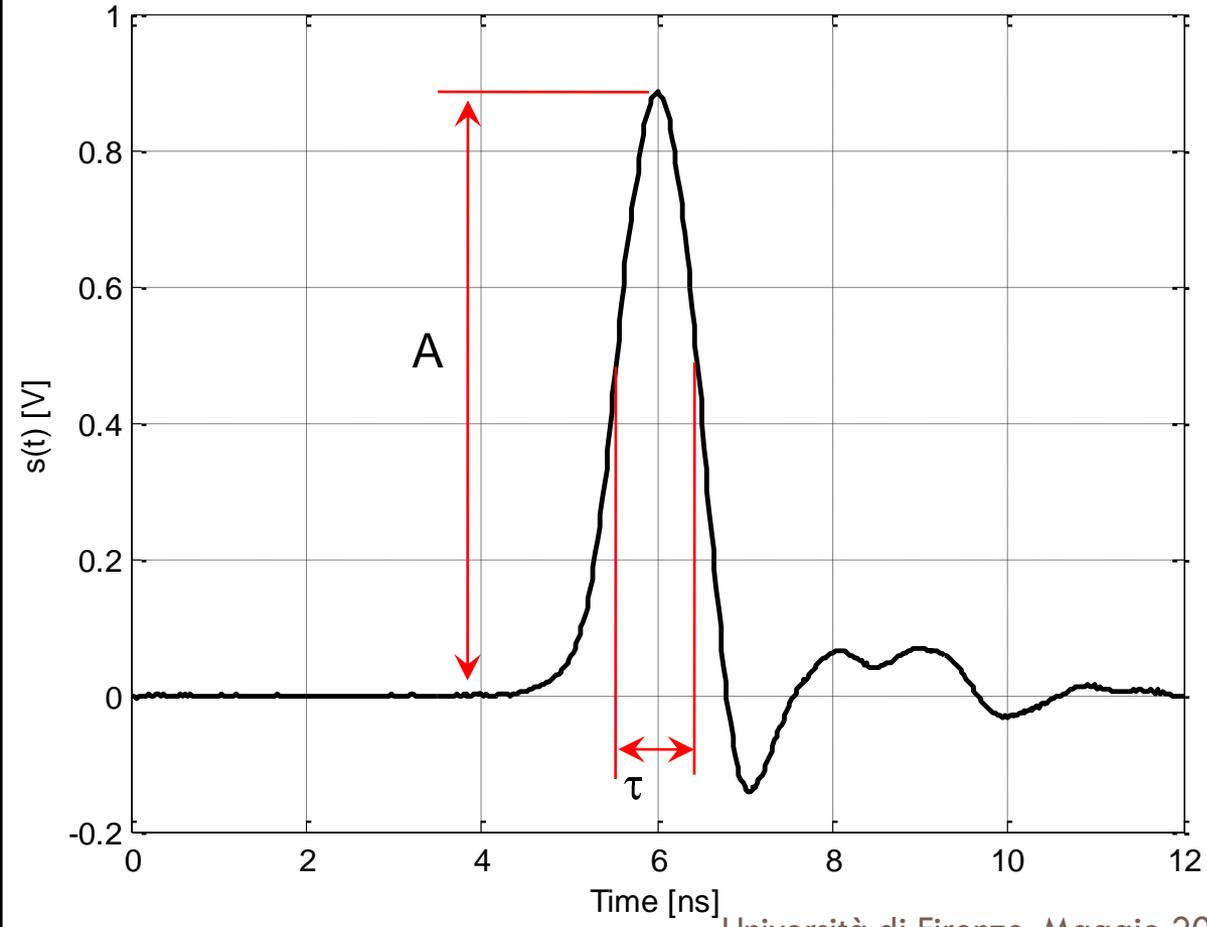
# Caratteristiche tecniche

7

- Alimentazione a batteria
  - ▣ Autonomia circa 3 ore
- Spaziatura armoniche
  - ▣ Ogni 5 MHz oppure ogni 2,5 MHz (switch)
- Corrente assorbita
  - ▣ Circa 20 mA
- Potenza su 50  $\Omega$  (righe ogni 5 MHz)
  - ▣  $-33 \text{ dBm} \pm 1 \text{ dB}$  fino a 300 MHz
  - ▣ Sopra a  $-40 \text{ dBm}$  fino a 700 MHz
- Campo radiato (stilo 30 cm, 30 MHz – 300 MHz)
  - ▣ 1 mV/m (max), a 3 m

# Impulso su 50 $\Omega$

8

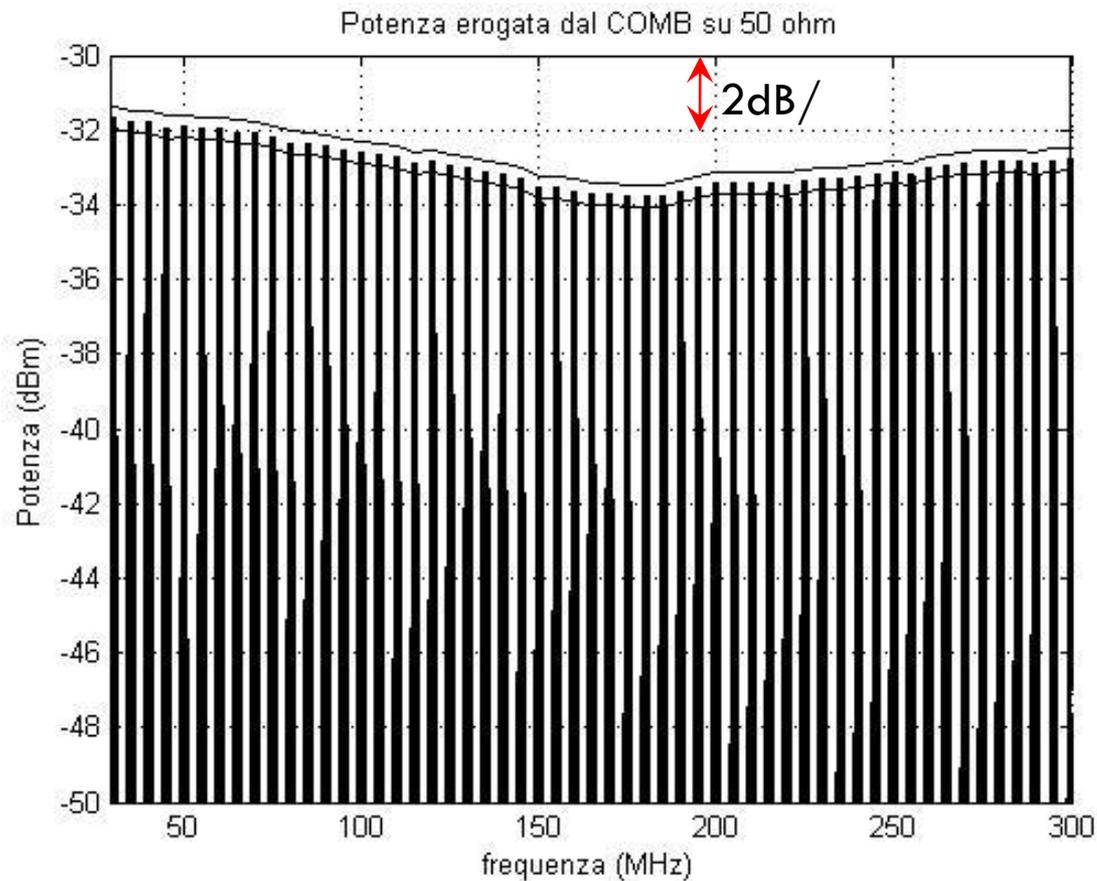


- ▣ Ampiezza:  $A=0,85$  V
- ▣ Durata:  $\tau=700$  ps

$$f_t = \frac{1}{\pi\tau} \cong 450 \text{ MHz}$$

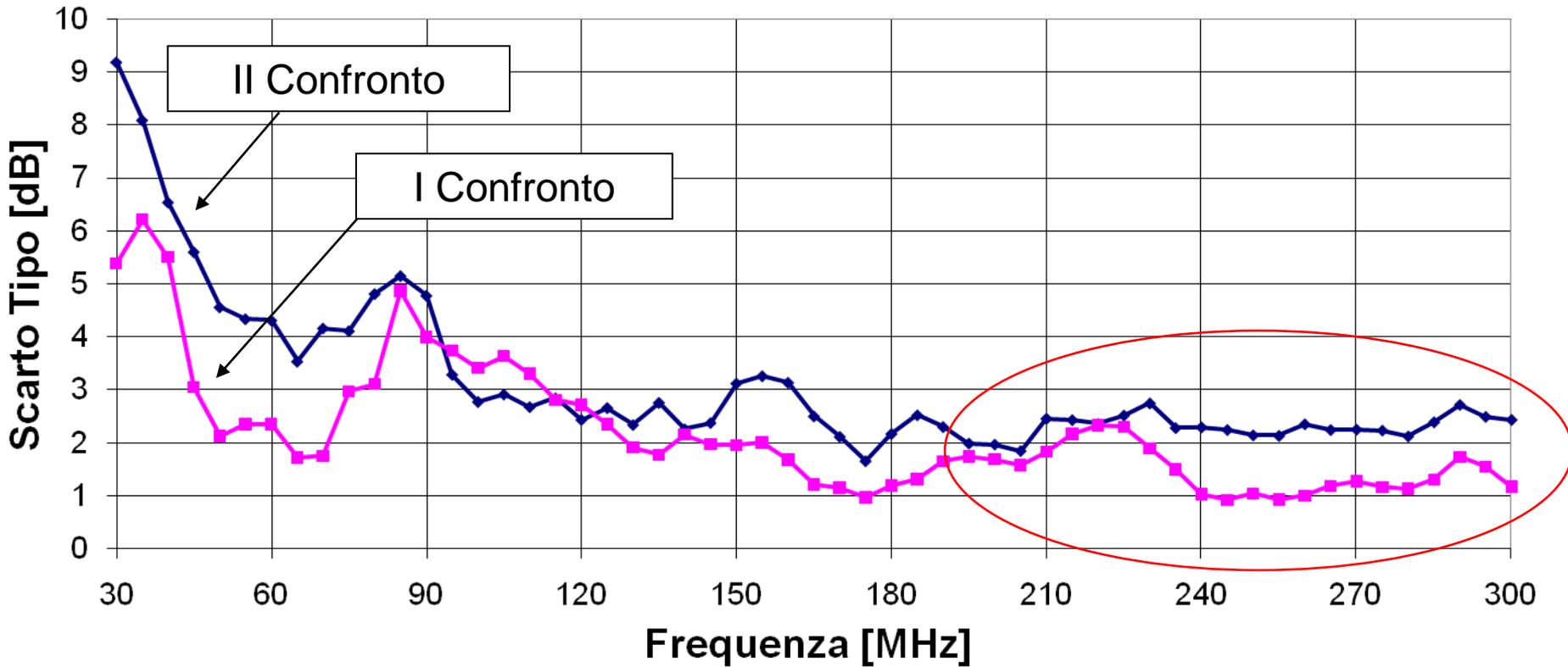
# Potenza su $50 \Omega$ , 30 – 300 MHz

9



# Risultati ottenuti: scarto tipo rispetto alla media

10



# ... e sopra a 300 MHz?

11

- E' emerso l'interesse da parte dei partecipanti ad estendere il campo di indagine fino (ed oltre) 1 GHz
- Realizzazione del campione di campo elettromagnetico
  - ▣ E' stato progettato e realizzato un generatore impulsivo capace di coprire una banda di frequenza da 20 MHz fino a 3 GHz (due decadi)
  - ▣ E' stato caratterizzato il generatore in termini di stabilità intrinseca, stabilità termica, autonomia, ecc.
  - ▣ E' stata selezionata e verificata un'antenna commerciale
  - ▣ Sono stati valutati tutti i contributi di incertezza
- **2012: Avvio confronto interlaboratorio tra 200 e 3000 MHz**

# Tipo di confronto interlaboratorio

12

- Consiste nel confronto di misure fatte su un campione in prova itinerante realizzato e messo a disposizione
- Esame di tipo quantitativo: ogni Laboratorio fornisce un risultato di misura in termini di valore atteso ed incertezza associata
- Il campione ha assegnato un valore di riferimento e la sua incertezza

Su cosa è basata la stima del valore di riferimento (campo elettrico) e della sua incertezza?

# Cosa si intende per “campione”

13

- International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms
- Campione di riferimento itinerante

## 5.1 (6.1)

### **measurement standard**

etalon

realization of the definition of a given **quantity**, with stated **quantity value** and associated **measurement uncertainty**, used as a reference

## 5.8 (6.9)

### **travelling measurement standard**

travelling standard

**measurement standard**, sometimes of special construction, intended for transport between different locations



# Caratteristiche richieste

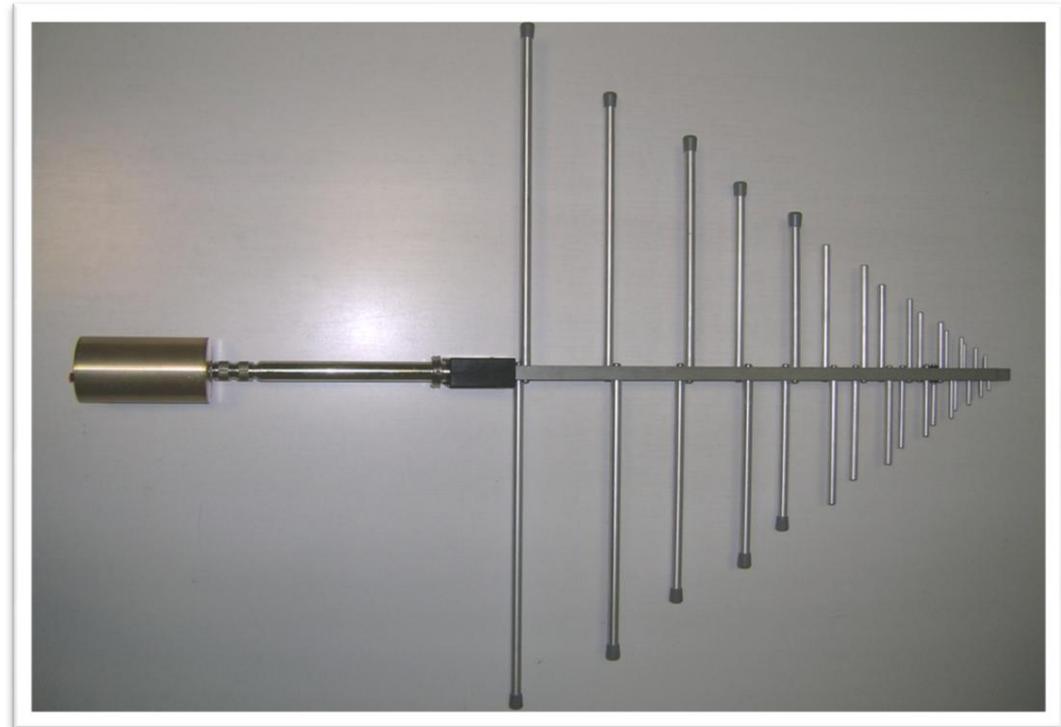
14

- **Generatore di pettine**
  - ▣ Stabilità (in ampiezza e frequenza) del segnale di uscita
  - ▣ Larghezza di banda
  - ▣ Risposta in frequenza “regolare”:
    - *Assenza di risonanze*
    - *Riconducibile ad una previsione teorica*
  - ▣ Alimentazione a batteria:
    - *Consumo accettabile*
    - *Potenza disponibile accettabile*
  - ▣ Realizzazione meccanica robusta ed affidabile
- **Antenna**
  - ▣ Larghezza di banda
  - ▣ Fattore di antenna riconducibile ad una previsione teorica (analitica e/o numerica)
  - ▣ Realizzazione meccanica robusta ed affidabile

# Il nostro “campione itinerante”

15

- Combinazione di un generatore di pettine autocostruito e di un'antenna logperiodica
- Righe spettrali spaziate di 20 MHz
- Campo elettrico a 3 m compreso fra 50 e 80 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) nell'intervallo di frequenza: 200 MHz - 3000 MHz



# Generatore di pettine

16

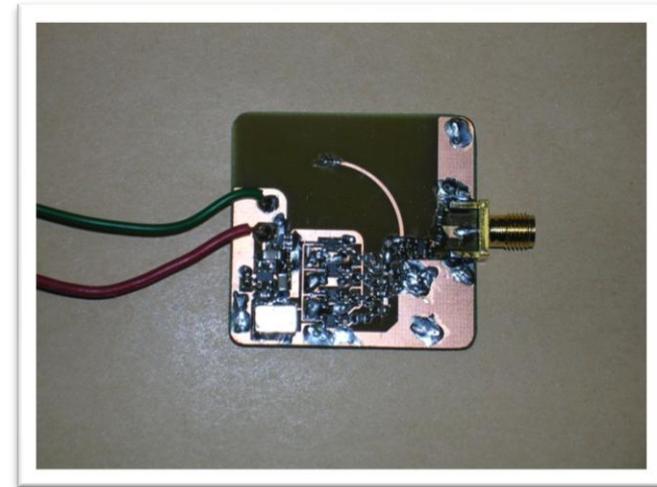


- Connettore N
- Involucro in alluminio
- 70 mm (dia) × 130 mm
- 450 g
- 4 batterie del tipo AA (autonomia > 24 h, spegnimento automatico se carica insufficiente)
- Accesso batterie separato da elettronica

# Caratteristiche tecniche

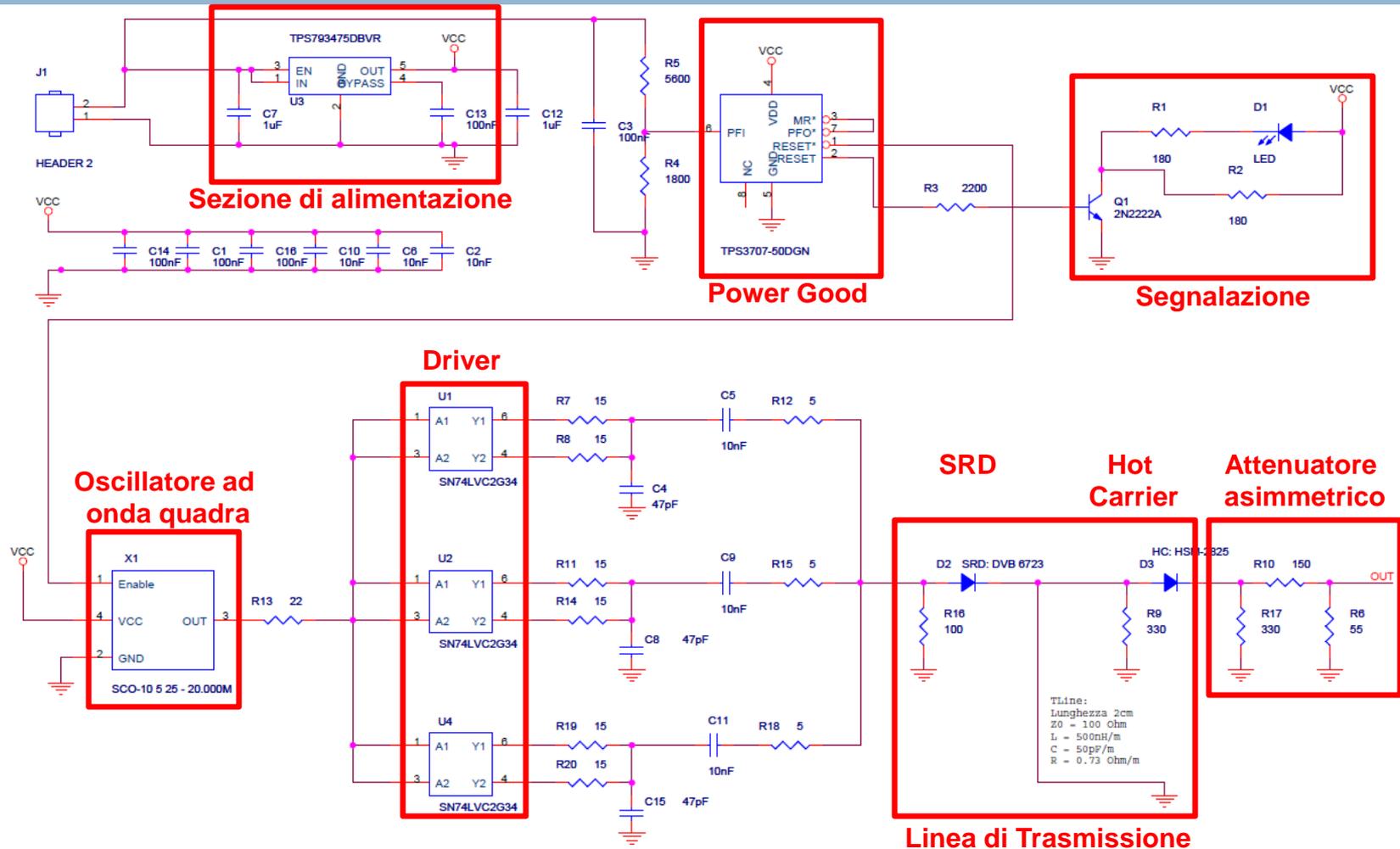
17

- Realizzazione SMD
- Alimentazione a batteria
  - ▣ Autonomia superiore a 24 ore
- Spaziatura armoniche
  - ▣ Ogni 20 MHz
- Corrente assorbita
  - ▣ Circa 50 mA
- Potenza su  $50 \Omega$  (righe ogni 20 MHz)
  - ▣  $-25,5 \text{ dBm} \pm 1 \text{ dB}$  fino a 1 GHz
  - ▣ Sopra a  $-45 \text{ dBm}$  fino a 3 GHz



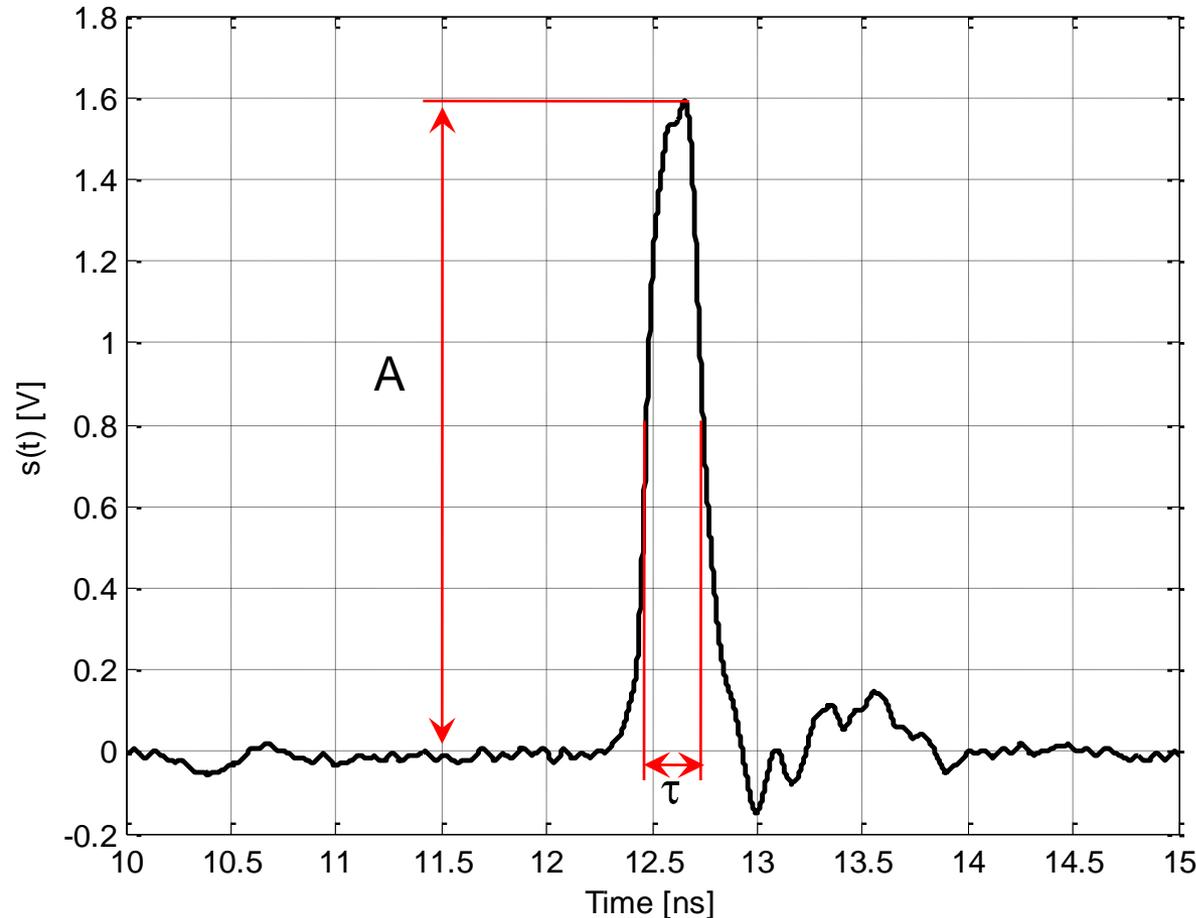
# Circuito generatore di pettine

18



# Impulso su $50 \Omega$ (Agilent DSO81204B – 12 GHz, 40 Gs/s)

19

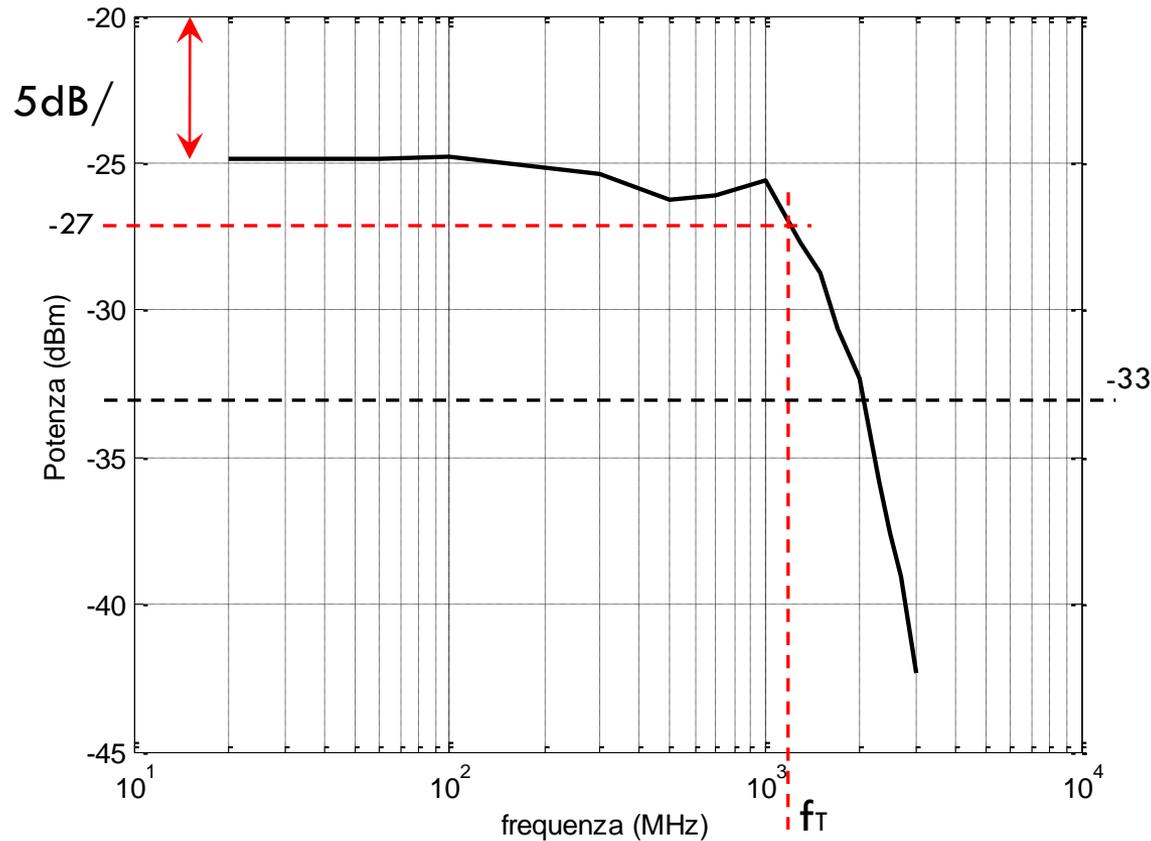


- Amplitude:  $A=1,60 \text{ V}$
- Durata:  $\tau=270 \text{ ps}$

$$f_t = \frac{1}{\pi\tau} \cong 1,17 \text{ GHz}$$

# Potenza su $50 \Omega$ , 20 – 3000 MHz

20



f	$P_{ref}$
[MHz]	[dBm]
500	-26,4
1000	-25,8
1500	-28,8
2000	-32,2
2500	-37,7
3000	-42,4

# Potenza del generatore di pettine e incertezza associata

21

- Valore atteso
  - ▣ La potenza fornita dal generatore di pettine ad un carico di  $50 \Omega$  è stata determinata con il metodo di sostituzione
- Contributi di incertezza
  - ▣ Incertezza intrinseca del generatore di pettine
  - ▣ Incertezza associata all'imperfezione del metodo di sostituzione
    - *Accuratezza del misuratore di potenza*
    - *Disadattamenti tra generatore e misuratore di potenza*
    - *Linearità*
    - *Instabilità a breve termine degli strumenti di misura*
  - ▣ Instabilità dovuta alla temperatura
    - *Caratterizzazione termica*

# Caratterizzazione termica

22

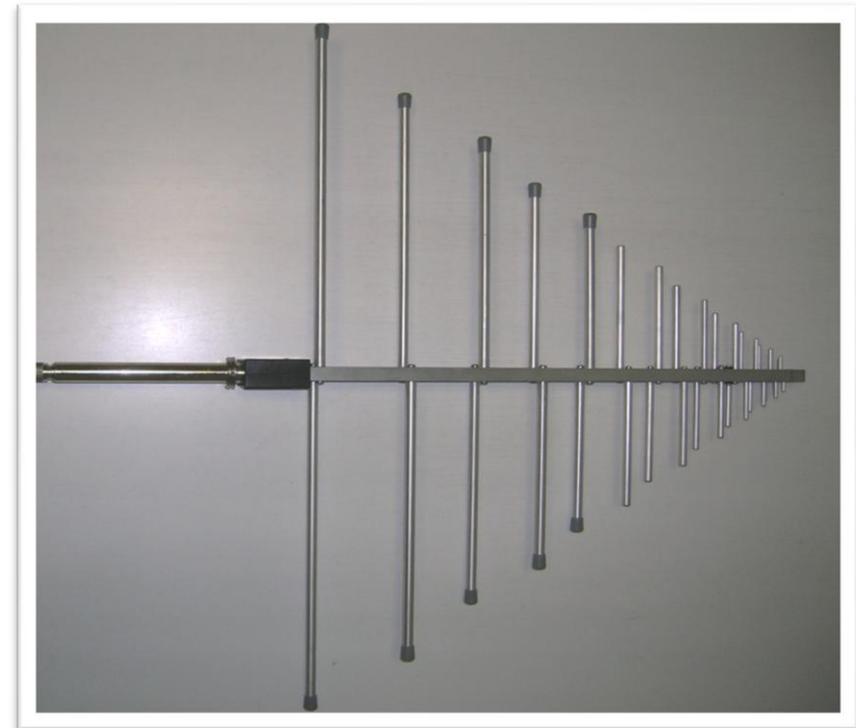
- Misure in camera climatica tra 15 °C e 25 °C (5° C e 35 °C)
- Acquisizione con cadenza regolare dell'ampiezza delle righe spettrali
- Analisi statistica



# Guadagno ed incertezza associata alla antenna logperiodica

23

- Quale guadagno?
- Quale incertezza?
- Informazioni a disposizione
  - ▣ Dati di taratura
  - ▣ Esperienza pregressa
    - *Impiego diretto sul campo*
    - *Predizioni teoriche di campo*
  - ▣ Simulazioni elettromagnetiche



# Il ruolo delle simulazioni

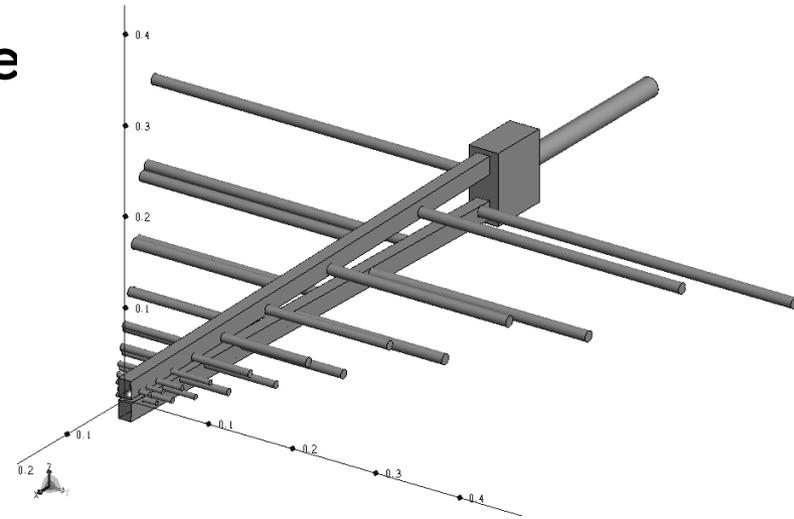
24

- Verifica attendibilità dati di taratura
  - ▣ Guadagno simulato Vs. Guadagno di taratura
- Confronto tra i dati simulati con quelli sperimentali ottenuti in configurazioni “semplici”
  - ▣ Campo elettrico predetto per tramite di formule analitiche Vs. campo elettrico simulato a 3 metri di distanza
- Capacità di predire il comportamento per situazioni complesse
  - ▣ Perdita inserzione misurata Vs. Perdita inserzione simulata tra due antenne logperiodiche affacciate a breve distanza

# Cosa è stato fatto?

25

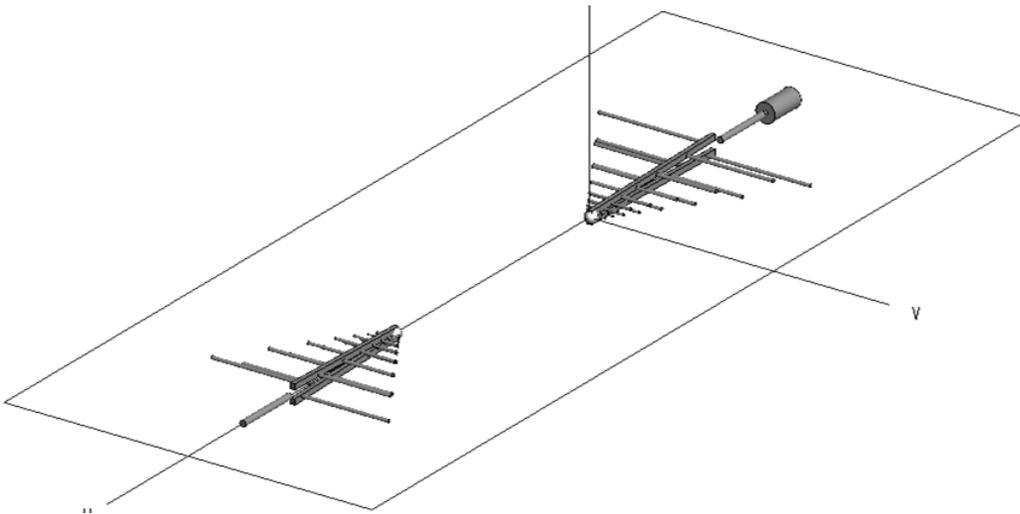
- Individuazione degli elementi essenziali della struttura radiante
- Trasposizione nel modello elettromagnetico della reale struttura fisica degli elementi radianti
- Scelta del metodo di analisi elettromagnetica (Metodo dei Momenti, Elementi Finiti, ecc)
- Simulazione elettromagnetica del sistema radiante
- Analisi dei risultati



# Esempio: perdita di inserzione a breve distanza

26

- Distanza tra le antenne: 1,0 m
- Altezza dal suolo: 1,8 m
- Polarizzazione: sia orizzontale che verticale
- Antenna alimentata dal generatore a pettine ( $MIS_{GP}$ )
- Antenna alimentata da un generatore ad inseguimento ( $MIS_{TG}$ )
- Confronto con predizioni utilizzando dati taratura (CAL)
- Confronto con risultati ottenuti da simulatore elettromagnetico (SIM)

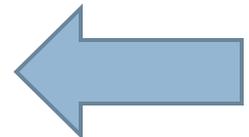


f [MHz]	CAL [dB]	$MIS_{GP}$ [dB]	$MIS_{TG}$ [dB]	SIM [dB]
200	19,05	19,56	19,58	18,42
400	15,52	14,55	14,72	14,87
600	17,45	17,00	16,92	16,64
800	17,54	17,55	17,53	17,59
1000	18,97	19,20	19,29	18,86
1500	21,89	22,06	22,10	21,85
2000	23,38	24,12	23,70	24,09
2500	28,26	28,88	28,82	28,45
2600	29,03	29,07	29,35	29,75
2800	28,85	29,38	29,45	28,95
3000	---	29,01	30,45	29,49

# Campo elettrico di riferimento ed incertezza associata

27

- La conoscenza approfondita delle caratteristiche del generatore di pettine e della antenna logperiodica impiegata permettono di stimare:
  - Valore atteso di campo elettrico misurato a 3 metri di distanza
  - Incertezza associata al valore di campo elettrico



**5.1** (6.1)

**measurement standard**

etalon

realization of the definition of a given **quantity**, with stated **quantity value** and associated **measurement uncertainty**, used as a reference

# Contributi di incertezza associata al campo elettrico di riferimento

28

- Incertezza tipo associata alla potenza che il generatore di pettine fornisce ad un carico di  $50 \Omega$  (instabilità termica inclusa)
- Incertezza tipo associata alla taratura della antenna logperiodica
- Incertezza tipo associata al disadattamento fra generatore di pettine ed antenna logperiodica

**L'incertezza tipo composta è 0,45 dB e l'incertezza estesa sul campo elettrico sarà 0,90 dB**

# Prove valutative nell'ambito della Compatibilità Elettromagnetica

Firenze, 16 Maggio 2012

Marco Cati

## GENERAZIONE DI UN CAMPO ELETTROMAGNETICO CAMPIONE

Carlo Carobbi, Michele Borsero, Marco Cati, Carlo Panconi, Giuseppe Vizio  
Università di Firenze, INRIM, Esaote S.p.A., Elettroingegneria