

SILVIA TOFANI

Consortium  
**GARR**

THE ITALIAN  
EDUCATION  
& RESEARCH  
NETWORK

# Progettazione e caratterizzazione di antenne ad onda leaky ad alta direttività per lo sviluppo di comunicazioni wireless nel terahertz



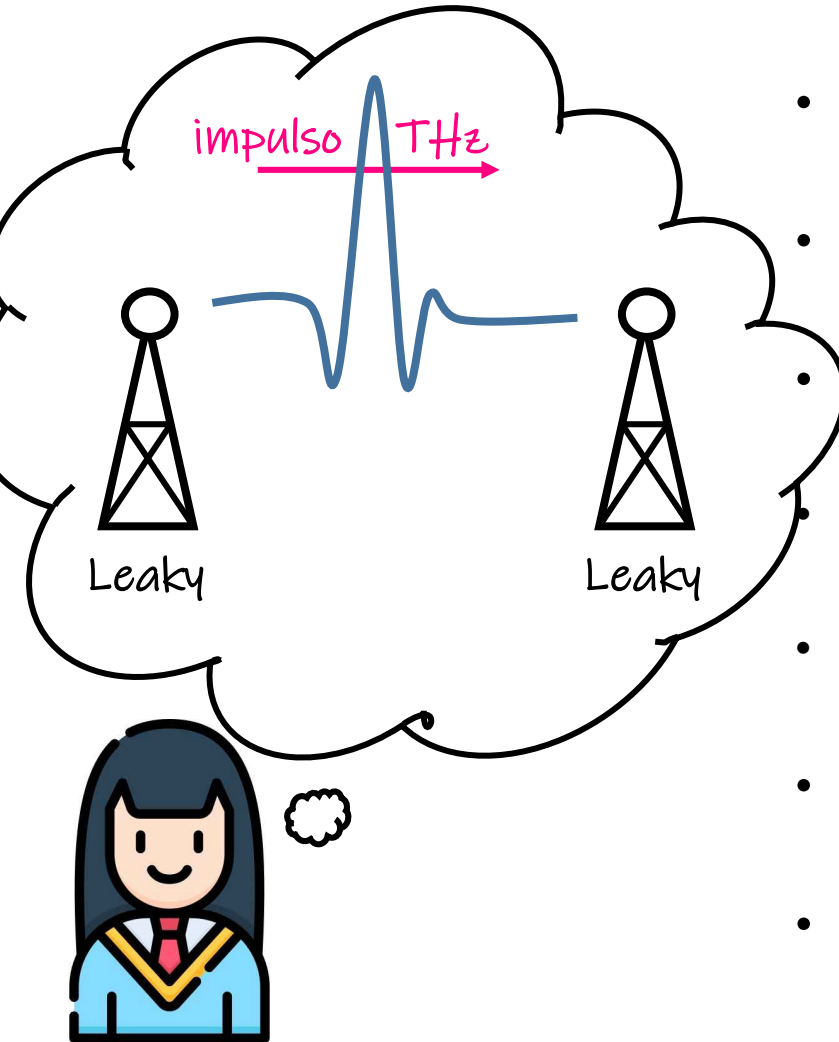
GIORNATA DI INCONTRO  
BORSE DI STUDIO GARR  
"ORIO CARLINI"  
ROMA

Roma, 25 novembre 2020

Borsisti Day 2020



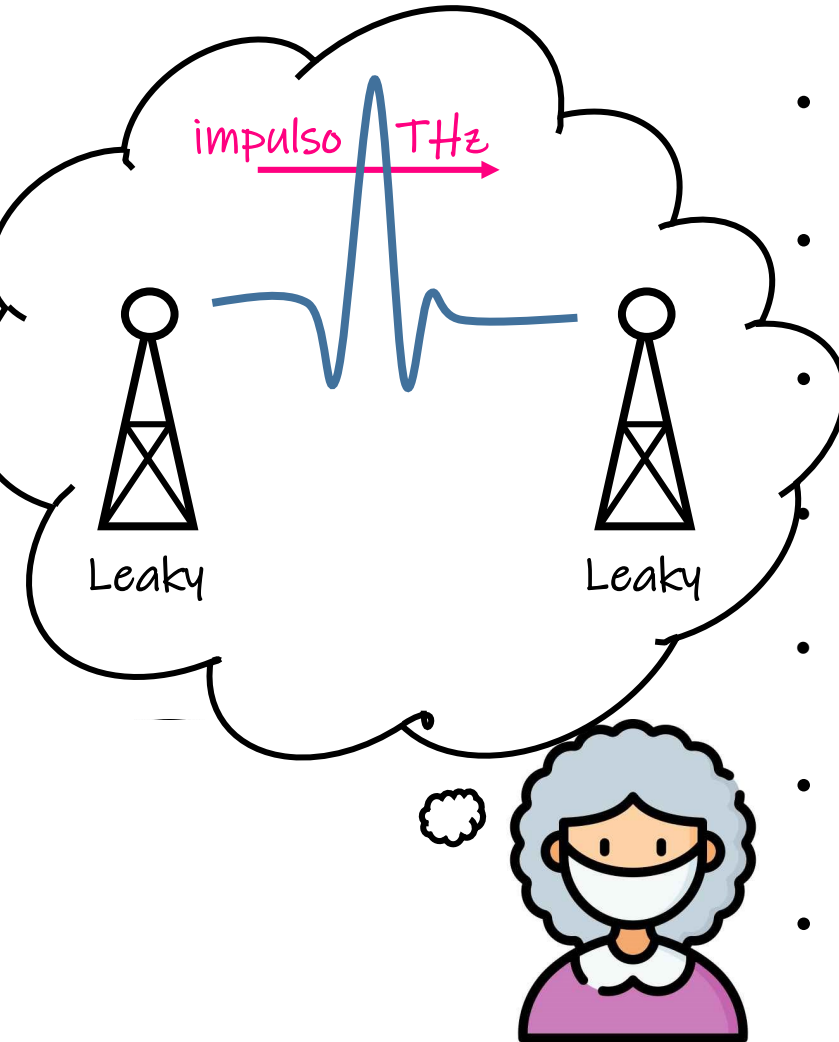
# Contenuti della presentazione



- La radiazione terahertz
- Comunicazioni wireless nel terahertz
- Antenne ad onda leaky
- Attività svolta nel primo anno di borsa GARR
- Attività svolta nel secondo anno di borsa GARR
- Disseminazione dei risultati
- Conclusioni



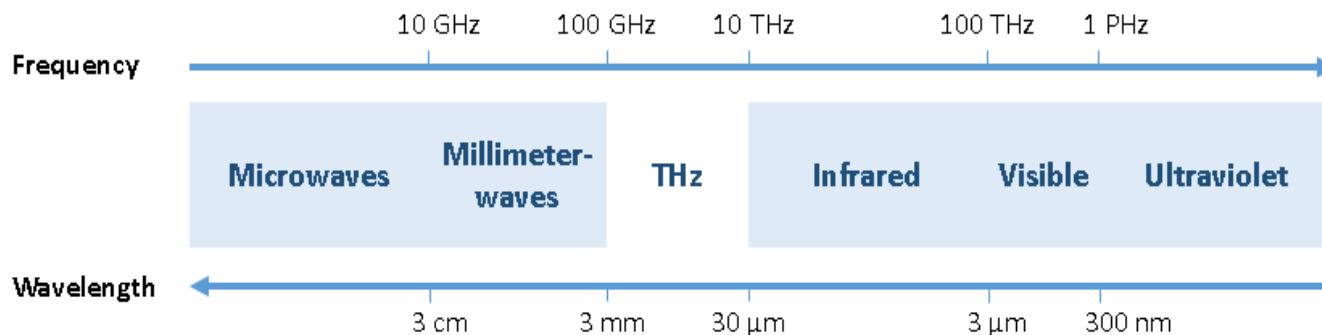
# Contenuti della presentazione



- La radiazione terahertz
- Comunicazioni wireless nel terahertz
- Antenne ad onda leaky
- Attività svolta nel primo anno di borsa GARR
- Attività svolta nel secondo anno di borsa GARR
- Disseminazione dei risultati
- Conclusioni



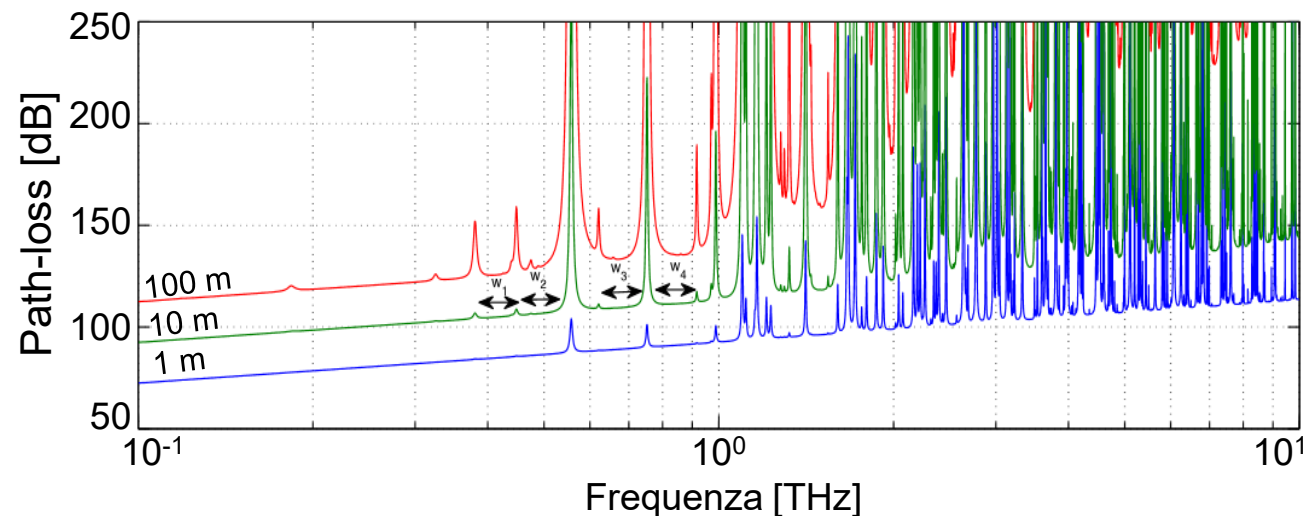
# La radiazione Terahertz



- Anello di congiunzione tra mondo **ottico** ed **elettronico**
- Non ne esiste una **definizione univoca**
  - Generalmente: 0.1 – 10 THz
- **Principali difficoltà tecnologiche: 0.3 – 3 THz**



# La comunicazione wireless nel Terahertz



Bande idonee allo sviluppo di collegamenti wireless nel THz:

- 0,38 - 0,44 THz
- 0,45 - 0,52 THz
- 0,62 - 0,72 THz
- 0,77 - 0,92 THz

I. F. Akyildiz, J. M. Jornet, and C. Han, *Phys. Commun.*, vol. 12, pp. 16–32, Sep. 2014.

## PRO

Possibilità di trasmettere con velocità del Tbps

Riduzione dei rischi per la salute

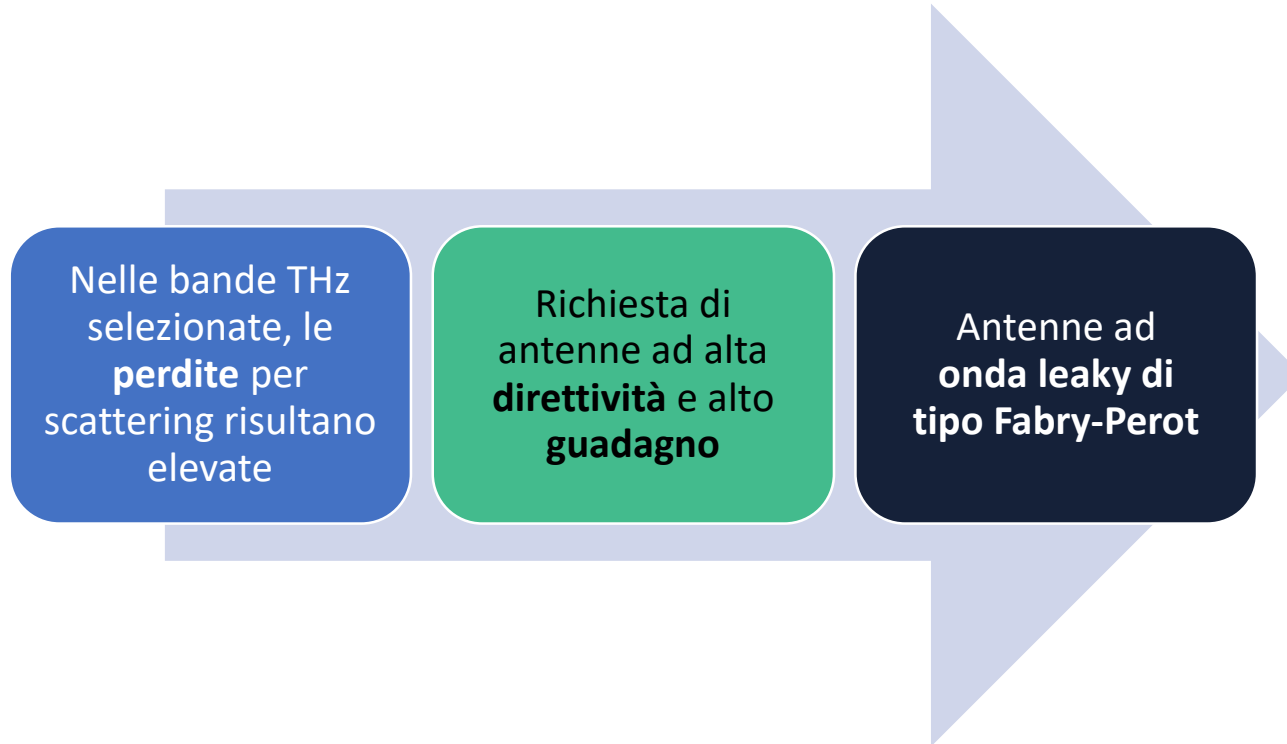
## CONTRO

Elevate perdite per scattering del segnale THz

Tecnologia giovane e non ancora matura



# Antenne ad onda leaky: definizione



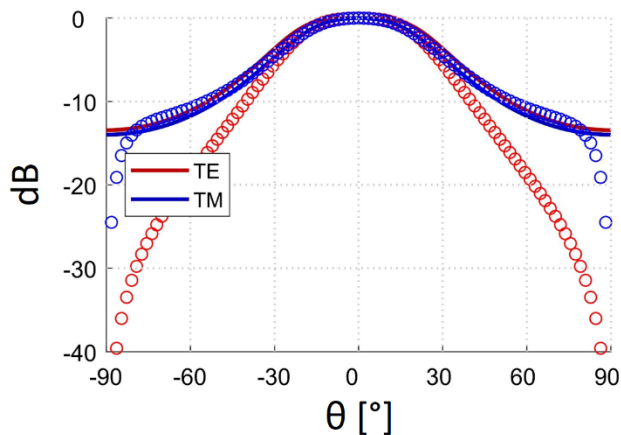
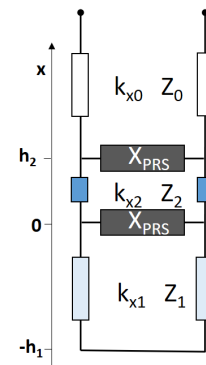
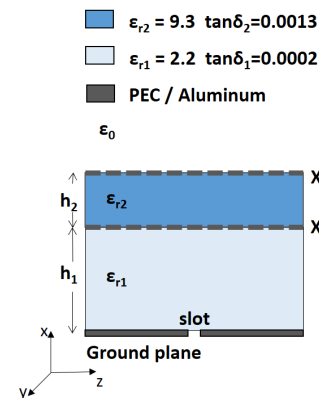
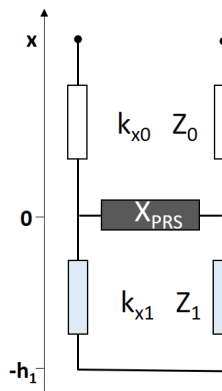
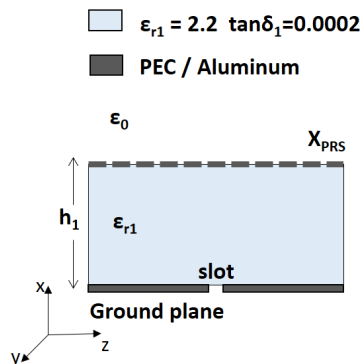
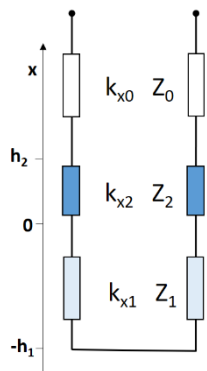
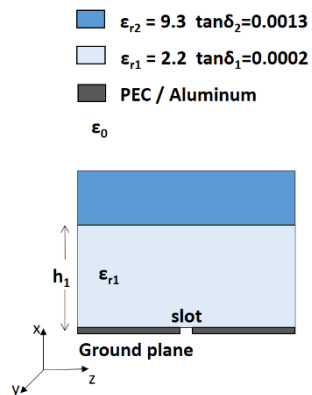
Il **formalismo «leaky»** permette di descrivere le antenne ad onda viaggiante come se fossero **strutture guidanti**:

- Il modulo del vettore d'onda è **complesso**:  $k_z = \beta_z - j\alpha_z$   
→ perdite per **irraggiamento**

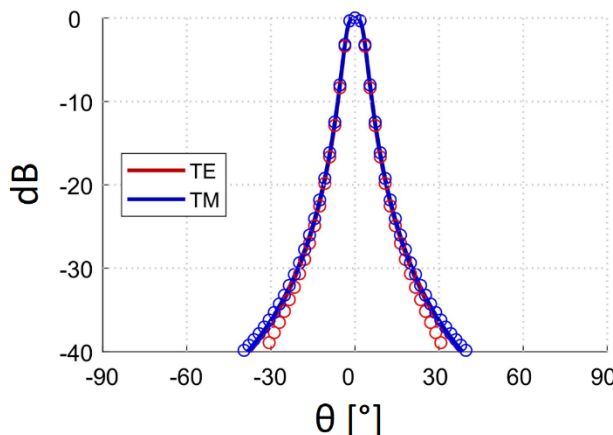




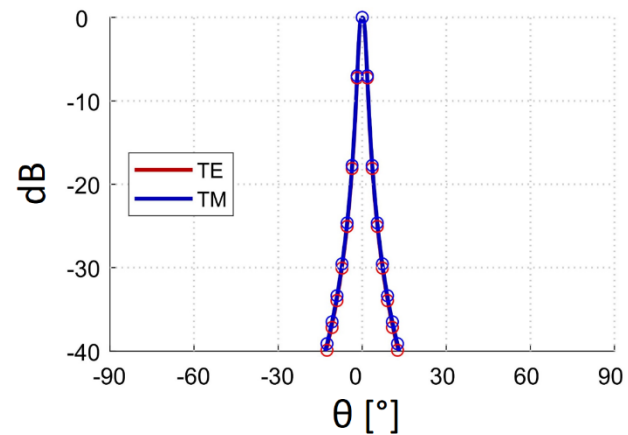
# Antenna leaky con doppia metasuperficie



D = 11.12 dB



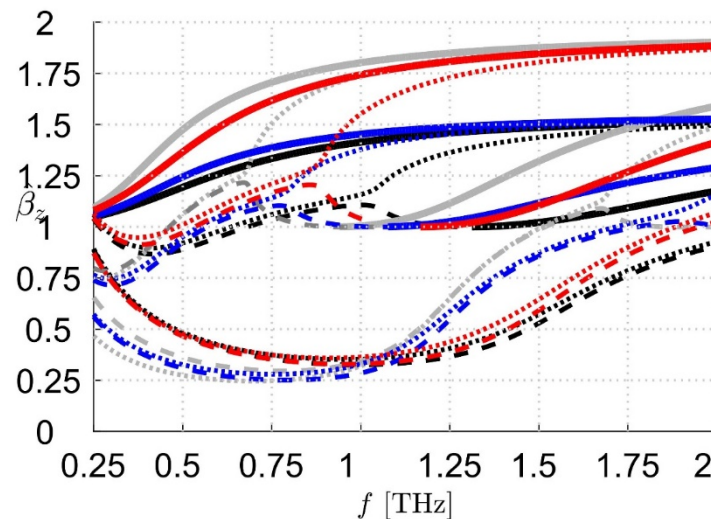
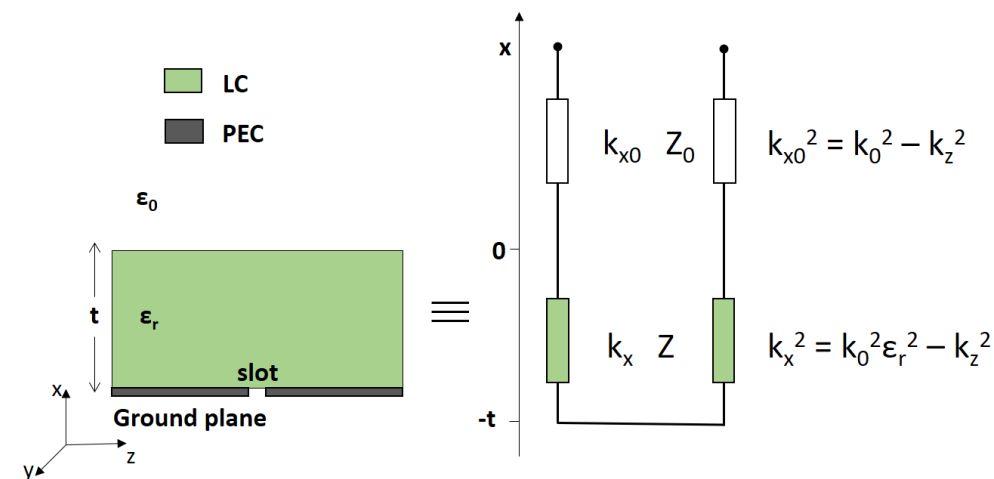
D = 25.02 dB



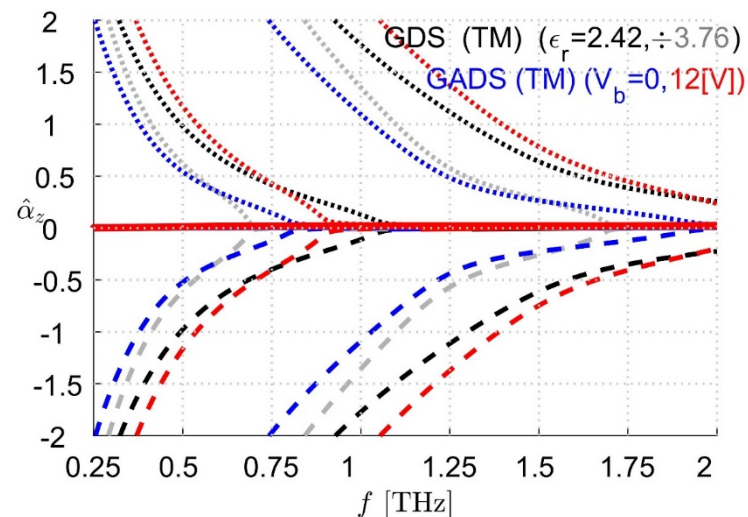
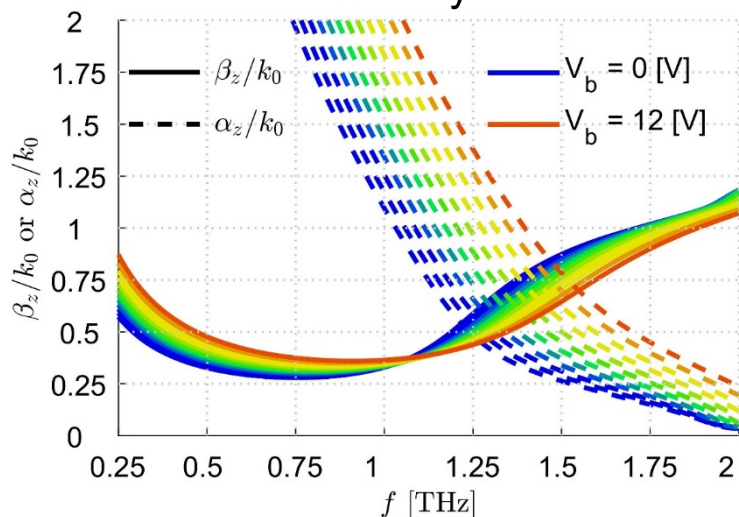
D = 35.41 dB



# Analisi modale di un substrato anisotropo a THz



modo leaky TM<sup>2</sup>

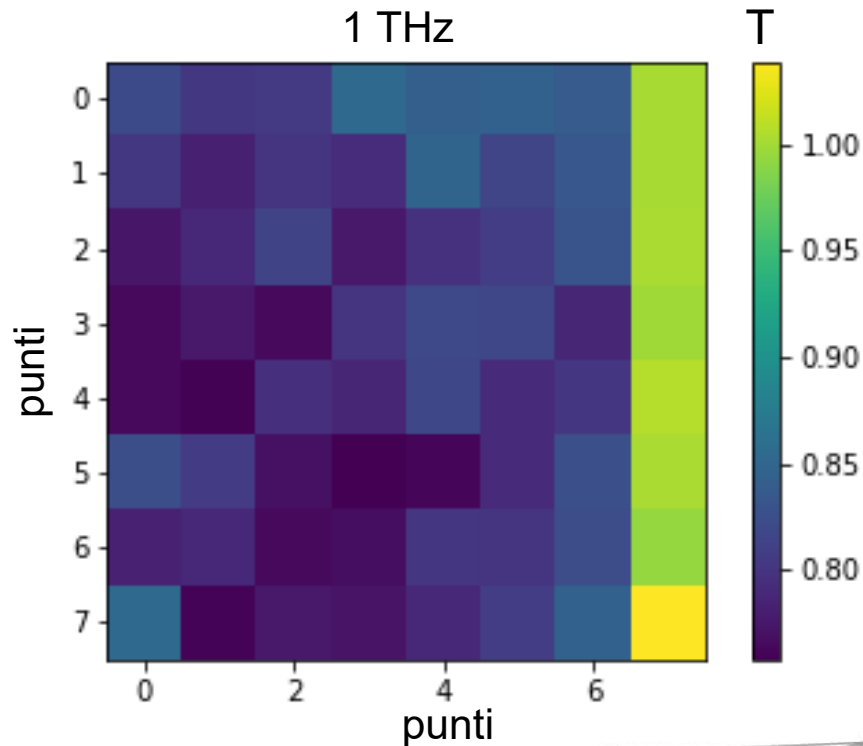
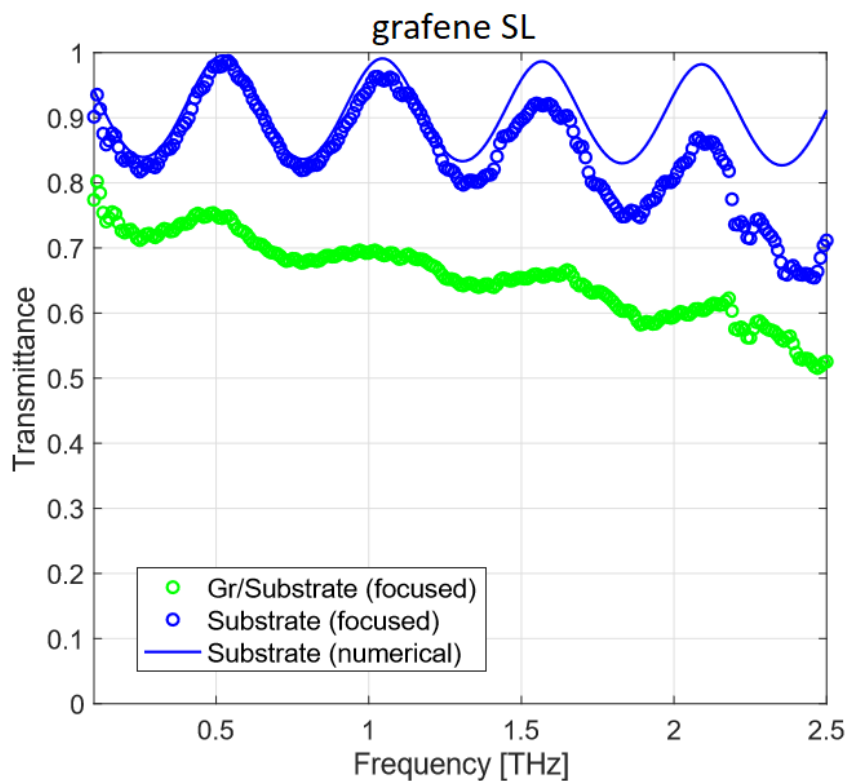






# Misure di trasmittanza THz del grafene

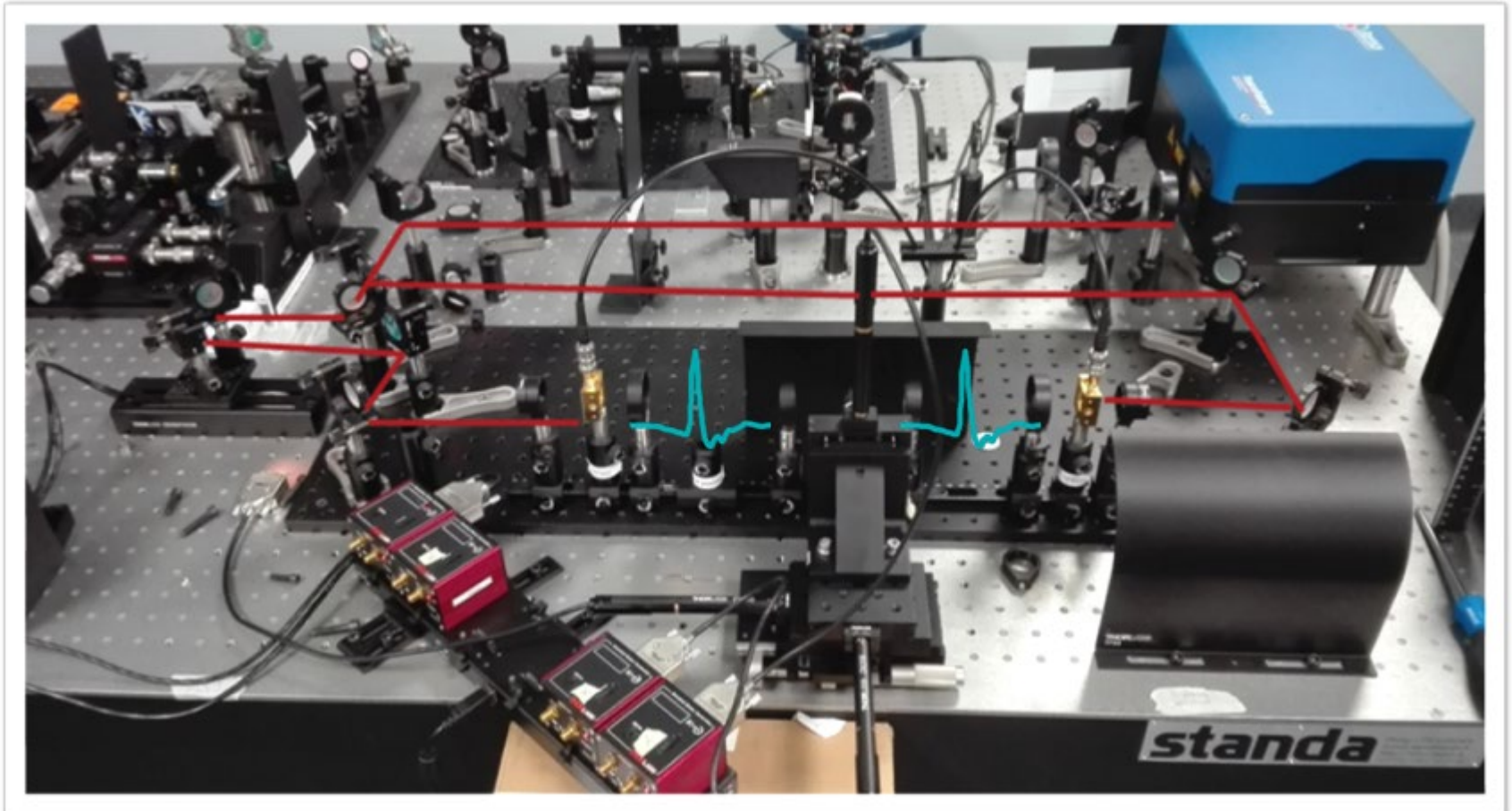
Campione	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Substrato	Zeonor	Zeonor	Zeonor	Mylar	Zeonor	Zeonor	Zeonor	HRFZ-Si
Spessore [ $\mu\text{m}$ ]	2000	2000	100	350	188	100	188	270



1 punto = 2 mm  $\varnothing$



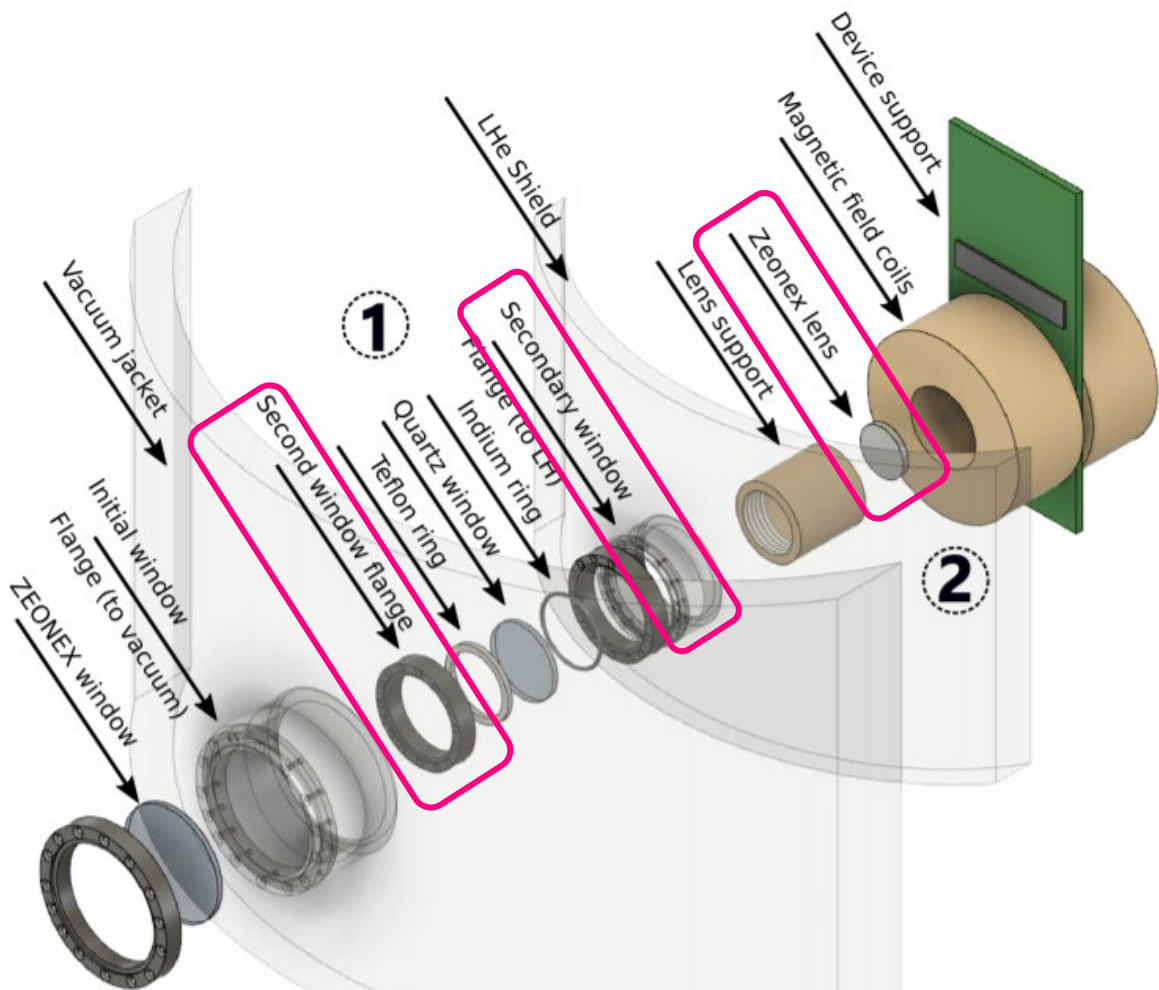
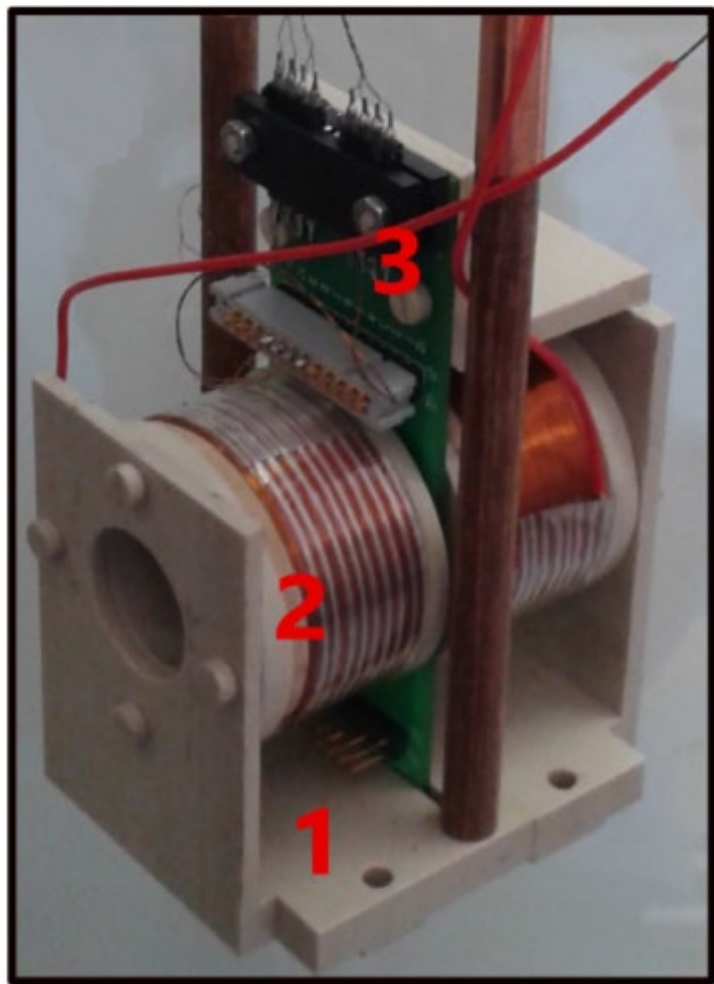
## Il set-up sperimentale



Sorgente a banda larga → sistema di specchi e lenti focalizzanti  
→ FPC-LWA → Filtro → detector incoerente



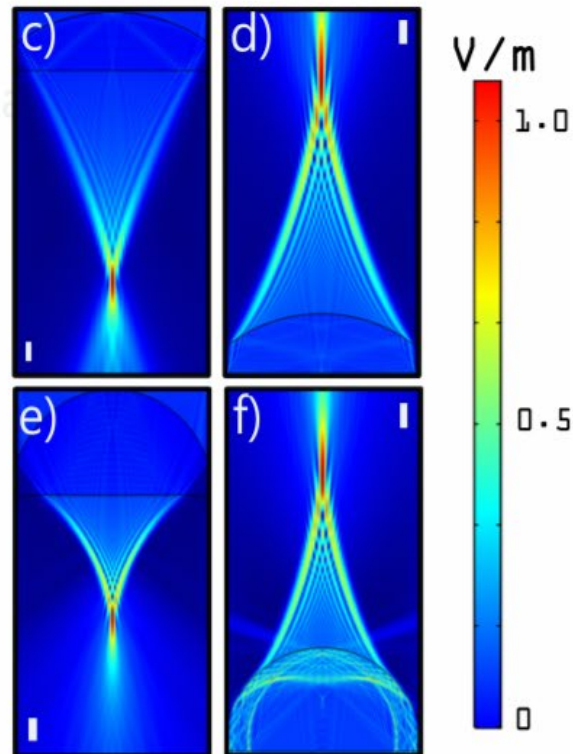
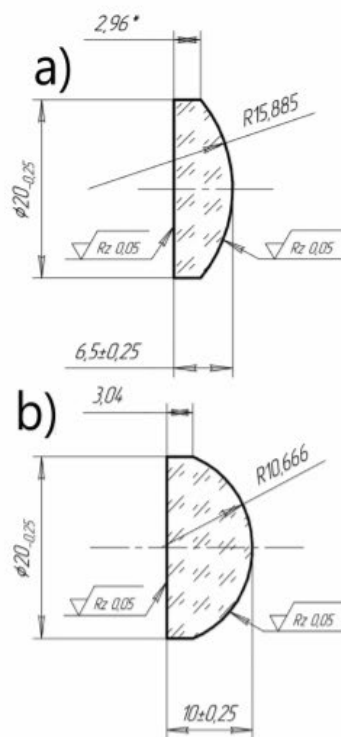
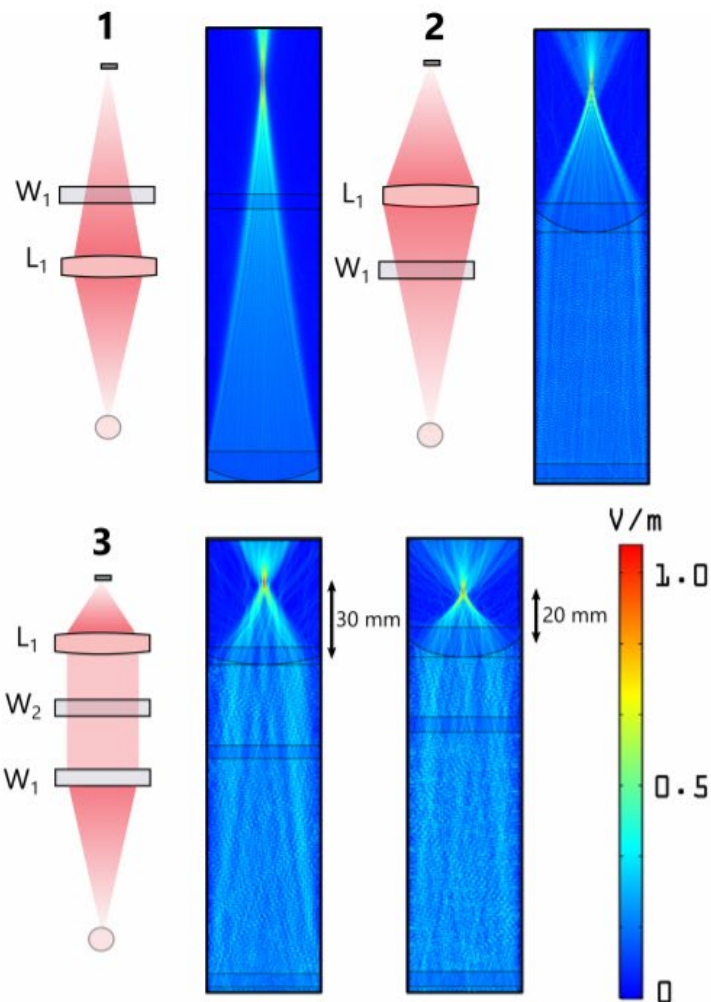
# Sistema di ottiche per rivelatore THz





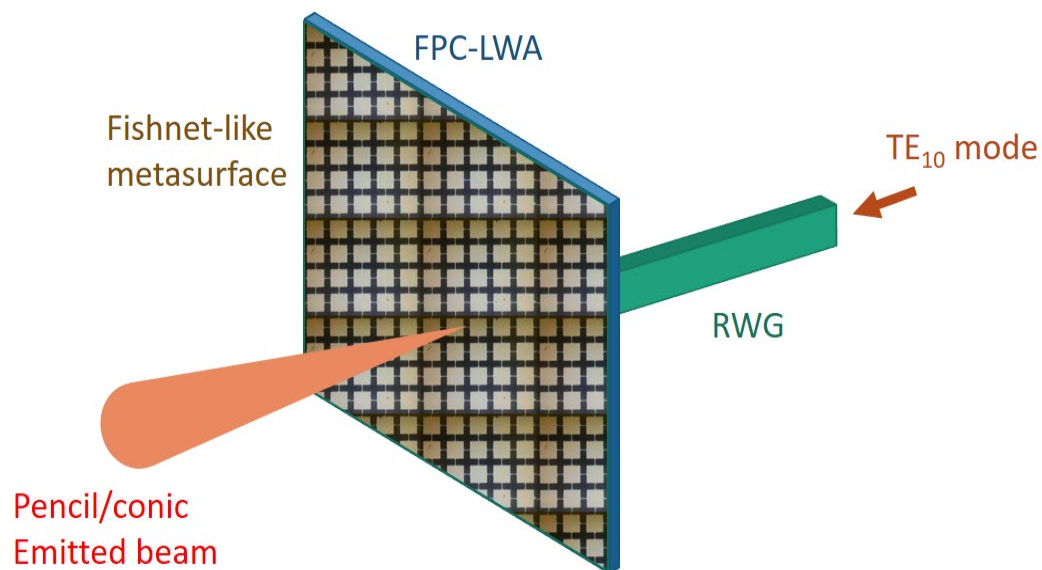


# Sistema di ottiche per rivelatore THz





# Adattamento tra LWA e guida d'onda



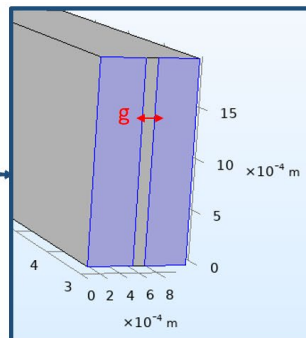
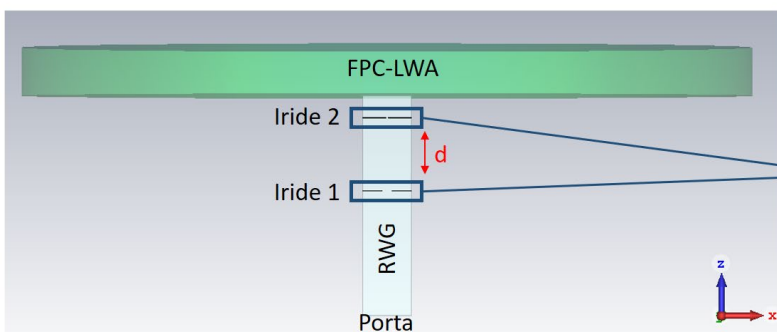
Simulazione su CST in assenza di iridi nella RWG per estrarre l'ammettenza 2D equivalente dell'antenna



Script Matlab per calcolare i parametri geometrici dell'iride (3 configurazioni a confronto)



Validazione su CST del sistema LWA + RWG + iridi capacitive

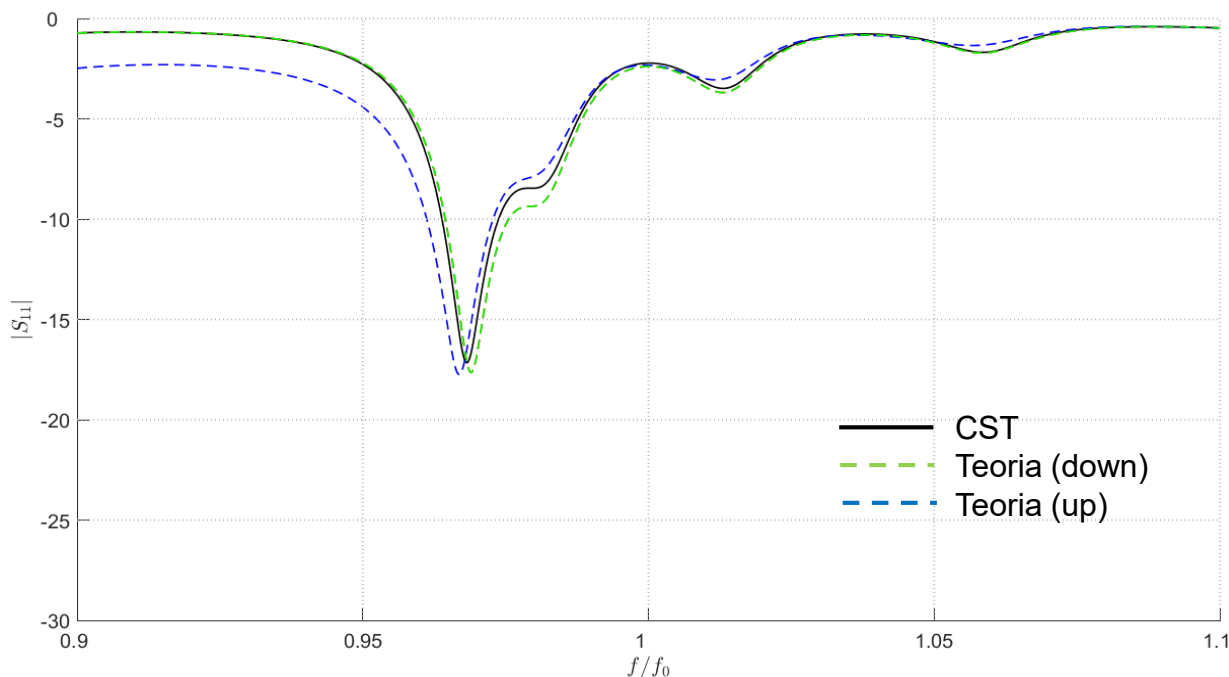




# Adattamento tra LWA e guida d'onda

Caso 1: LWA con metasuperficie di reattanza superficiale pari a  $25 \Omega$

FBW = 0.42%  
Frequenza operativa = 97 GHz  
Direttività:  $D_0 = 25 \text{ dB}$



Config#1: Largest FBW  
Config#2: Best Balance  
Config#3: Lowest S11 at fop

	Config#1	Config#2	Config#3
<b>d1</b>	0.1	0.15	0.1
<b>g1</b>	0.05	0.05	0.05
<b>g2</b>	0.35	0.2	0.15
<b>d2</b>	0.78	0.5	0.78
<b>FBW</b>	2.3814	1.134	2
<b>Balance</b>	0.99134	0	0.58763
<b>S11 (fop)</b>	-10.173	-16.753	-25.534

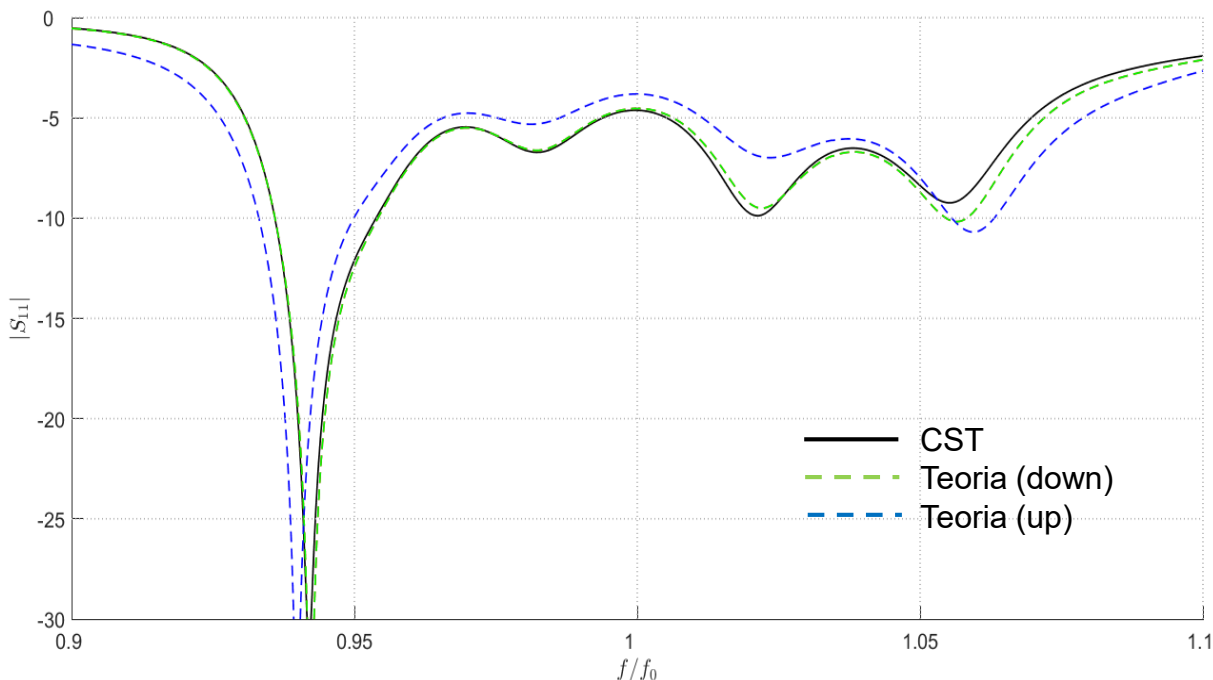




# Adattamento tra LWA e guida d'onda

Caso 1: LWA con metasuperficie di reattanza superficiale pari a  $50 \Omega$

FBW = 1.7%  
Frequenza operativa = 94.2 GHz  
Direttività:  $D_0 = 20 \text{ dB}$



Config#1: Largest FBW  
Config#2: Best Balance  
Config#3: Lowest  $S_{11}$  at fop

	Config#1	Config#2	Config#3
<b>d1</b>	0.1	0.25	0.1
<b>g1</b>	0.05	0.2	0.05
<b>g2</b>	0.25	0.05	0.1
<b>d2</b>	0.94	0.58	0.9
<b>FBW</b>	5.7856	1.1465	1.9214
<b>Balance</b>	0.96697	0	0.33702
<b>S11 (fop)</b>	-10.795	-26.774	-33.744



# Attività del primo anno di borsa GARR

- Sono stati **progettati** e analizzati **numericamente**:
  - un **prototipo di antenna** leaky, di tipo substrato-superstrato, contenente due metasuperfici e operante alle **onde millimetriche** (58-60 GHz a seconda della configurazione scelta)
  - un **substrato anisotropo**, con piano di massa, da inserire in un nuovo prototipo di antenna leaky in grado di **cambiare il proprio angolo di puntamento** a una frequenza di lavoro fissa di 1 THz.

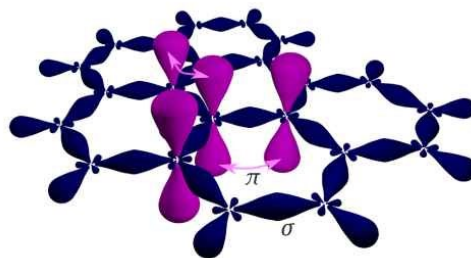


- alcune **configurazioni d'antenna** ad onda leaky operante alla frequenza di **3 THz** per la **rivelazione** di radiazione THz emessa da uno step well laser.



# Attività del primo anno di borsa GARR

- Da un punto di vista **sperimentale**:
  - sono stati caratterizzati alcuni campioni di **grafene** su substrati a basso assorbimento nel THz, come possibili **elettrodi** per il pilotaggio di celle a CL nel THz.



- È stato organizzato il **set-up sperimentale** e progettata la catena di misura.





## Attività del secondo anno di borsa GARR

- È stata progettata e studiata numericamente l'ottica necessaria allo sviluppo di un **detector THz** ad elevata sensibilità
  - necessità di **potenziare il set-up sperimentale** necessario alla caratterizzazione di antenne THz ad onda leaky



- Studio, tramite un modello semianalitico, dell'**adattamento** di una guida d'onda rettangolare per l'**alimentazione** di un'antenna ad onda leaky operante alle onde millimetriche (97 GHz).
- È stata avviata una collaborazione con l'Università di Rennes 1 per la **fabbricazione** e la **caratterizzazione** alle **onde millimetriche** di alcuni prototipi di antenna.



# Disseminazione dei risultati

## Contributi su rivista:

1. S. Tofani and W. Fuscaldo, "Fabry-Perot Cavity Leaky Wave Antennas with Tunable Features for Terahertz Applications", *Condensed Matter* 5.1 (2020): 11.
2. S. Macis, L. Tomarchio, S. Tofani, S.J. Rezvani, L. Faillace, S. Lupi, A. Irizawa, and A. Marcelli, "Angular Dependence of Copper Surface Damage Induced by an Intense Coherent THz Radiation Beam", *Condensed Matter* 5.1 (2020): 16.
3. A. D'Arco, V. Mussi, S. Petrov, S. Tofani *et al.*, "Fabrication and spectroscopic characterization of graphene transparent electrodes on flexible cyclo-olefin substrates for terahertz electro-optic applications," *Nanotechnology* (2020); doi: 10.1088/1361-6528/ab96e6.
4. S. J. Rezvani, D. Di Gioacchino, S. Tofani, A. D' Arco, C. Ligi, S. Lupi, C. Gatti, M. Cestelli Guidi and A. Marcelli, "A cryogenic magneto-optical device for long wavelength radiation," *Review of Scientific Instruments* 91 (2020); doi: 10.1063/5.0011348.



# Disseminazione dei risultati

## Contributi a conferenza:

1. S. Tofani, W. Fuscaldo, D. C. Zografopoulos, P. Burghignoli, P. Baccarelli, R. Beccherelli, and A. Galli, "Design-flow of Fabry-Perot cavity leaky-wave antennas based on homogenized metasurfaces", *European Conference on Antennas and Propagation*, 31 marzo – 4 aprile 2019, Cracovia, Polonia.
2. S. Tofani, W. Fuscaldo, D. C. Zografopoulos, P. Burghignoli, P. Baccarelli, R. Beccherelli, and A. Galli, "Terahertz modal analysis of a grounded liquid-crystal cell and its application as a tunable cavity antenna", *41<sup>st</sup> PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium*, 17 – 20 giugno 2019, Roma, Italia.
3. W. Fuscaldo, S. Tofani, P. Burghignoli, P. Baccarelli, and A. Galli, "Terahertz Fabry-Perot cavity leaky-wave antennas", *41<sup>st</sup> PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium*, 17 – 20 giugno 2019, Roma, Italia.
4. S. Tofani, W. Fuscaldo, P. Burghignoli, P. Baccarelli, and A. Galli, "Substrate-superstrate leaky-wave antenna with interleaved metasurfaces for directivity improvement", *European Microwave Conference*, 1 – 3 October 2019, Porte de Versailles, Parigi, Francia.



SILVIA TOFANI

Consortium  
**GARR**

THE ITALIAN  
EDUCATION  
& RESEARCH  
NETWORK

# Progettazione e caratterizzazione di antenne ad onda leaky ad alta direttività per lo sviluppo di comunicazioni wireless nel terahertz



GIORNATA DI INCONTRO  
BORSE DI STUDIO GARR  
"ORIO CARLINI"  
ROMA

Roma, 25 novembre 2020

Borsisti Day 2020