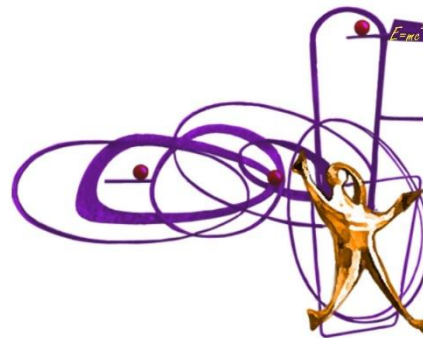




**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO**



DIPARTIMENTO INTERATENEO DI FISICA "M. MERLIN"

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA XXXI CICLO

Presentazione di fine primo anno

TECNICHE SPETTROSCOPICHE INNOVATIVE PER LA RIVELAZIONE DI TRACCE GASSOSE

Dottoranda: MARILENA GIGLIO

Relatore: Prof. Vincenzo Spagnolo

SOMMARIO

- Attività di ricerca
- Quartz Enhanced Photoacoustic Spectroscopy
- Obiettivi raggiunti nel primo anno
- Obiettivi anni successivi
- Percorso formativo
- Attività didattico-integrative
- Pubblicazioni, contributi a conferenze, premi

QUARTZ ENHANCED PHOTOACOUSTIC SPECTROSCOPY

- Gas di interesse eccitato da un fascio laser con $\lambda = \lambda_{\text{ass}}$

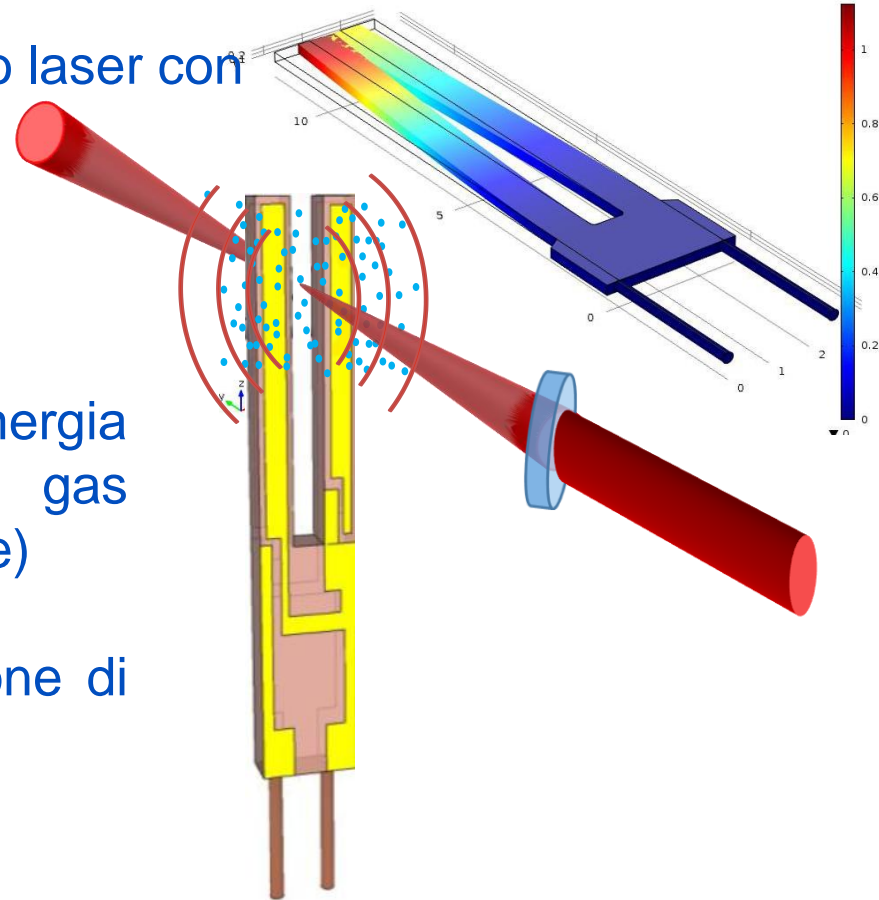
- Effetto fotoacustico:

- conversione in calore dell'energia luminosa assorbita dal gas (riscaldamento ed espansione locale)

- modulazione del laser \rightarrow generazione di un'onda sonora

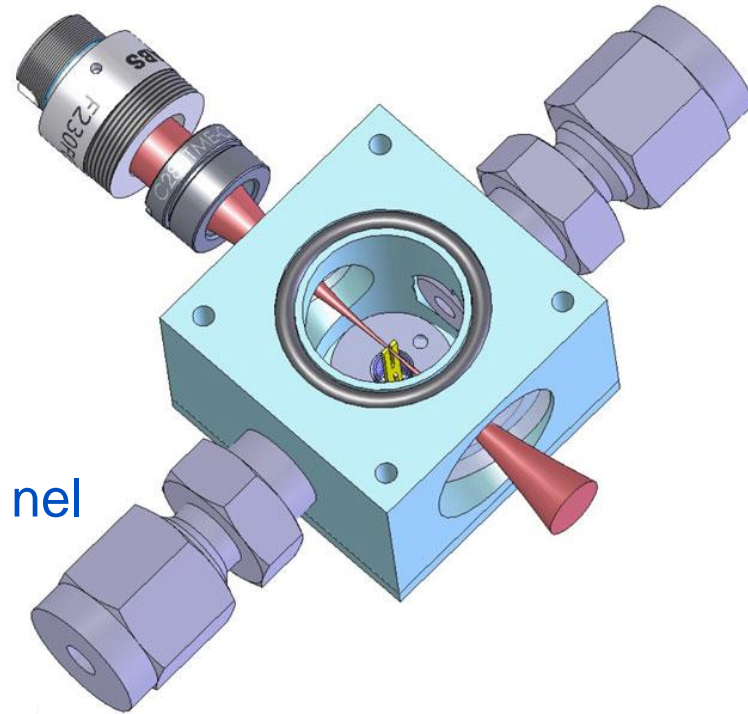
- Rivelazione mediante diapason di quarzo (piezoelettrico) risonante con l'onda sonora: conversione delle vibrazioni meccaniche in corrente

- Intensità del segnale proporzionale alla concentrazione del gas



QUARTZ ENHANCED PHOTOACOUSTIC SPECTROSCOPY

- Non è necessario un rivelatore ottico
- Miniaturizzazione
- Perdite dissipative estremamente basse
- Ampio range dinamico di rivelazione
- Elevata selettività del segnale acustico sia nel dominio delle frequenze che dello spazio
- Possibilità di operare in un ampio range di pressioni e temperature
- Immunità al rumore acustico ambientale → sensibilità limitata dal solo rumore termico



ATTIVITA' DI RICERCA

1- Studio, progettazione e realizzazione di sensori di gas QEPAS con diapason di quarzo (QTF) standard

- Sensore di H₂O: studio dei limiti di rivelazione dei sensori QEPAS ed individuazione dei distinti contributi al rumore
- Sensore di SF₆: monitoraggio di perdite in sistemi meccatronici ad alta tenuta. Sensore realizzato in collaborazione con la MASMEC S.p.A. ed attualmente in uso presso tale azienda

2- Progettazione di nuovi diapason, ottimizzati per scopi spettroscopici

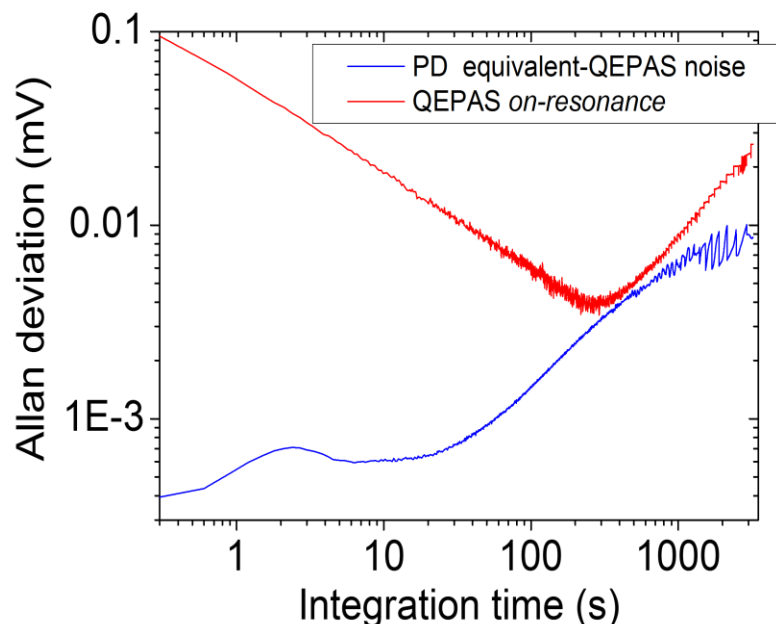
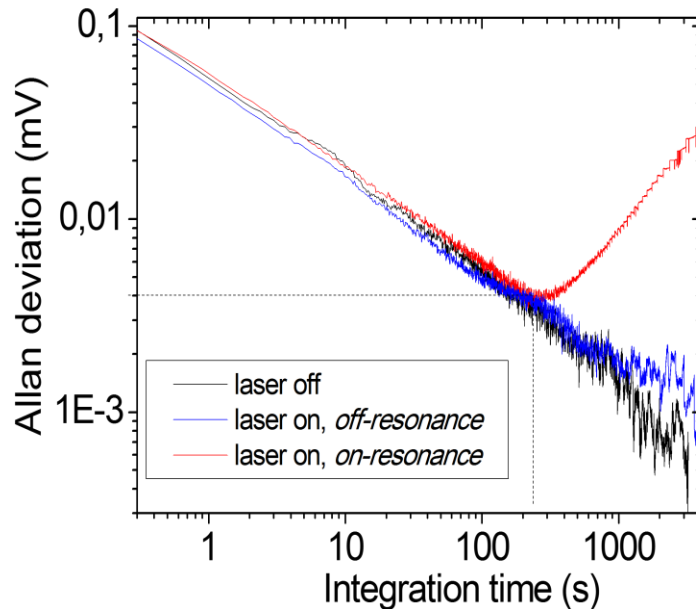
- Studio delle proprietà elettro-elastiche e optoacustiche di QTFs innovative
- Sensore di CH_3OH operante nel range spettrale del THz

3- Studio di nuove fibre di tipo Hollow-Core: ottenimento di fasci in un'uscita di tipo Gaussiano, con basse perdite di trasmissione, nel range spettrale 3.7-7.6 μm .

Allan Deviation Plot per l'analisi della stabilità di un sensore QEPAS su lunghi tempi

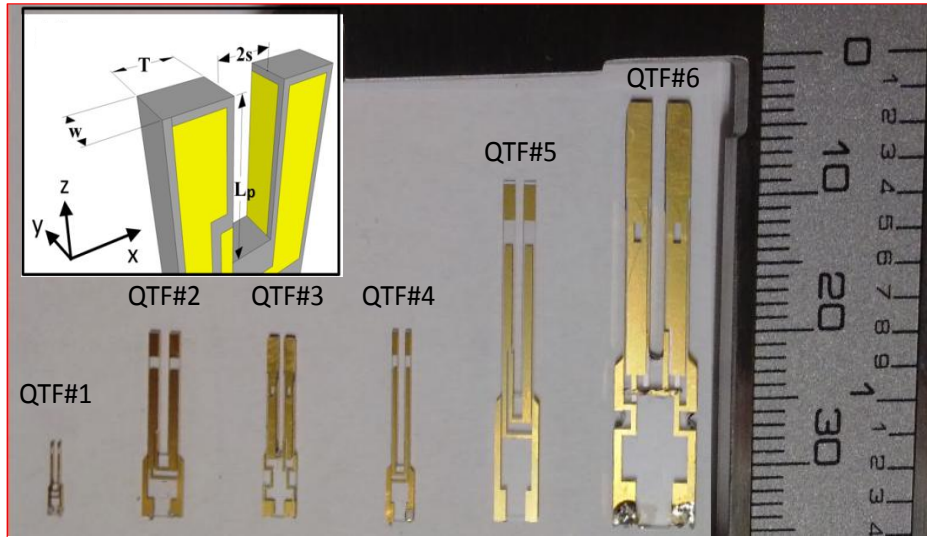
Sensore QEPAS per la rivelazione di vapori di H₂O

- Informazioni su quanto a lungo un segnale possa essere integrato;
- Determinazione della sensibilità del sensore;
- Determinazione delle principali sorgenti di rumore e dei loro distinti contributi



Studio delle proprietà elettro-elastiche e optoacustiche di diapason di quarzo innovativi (custom QTFs)

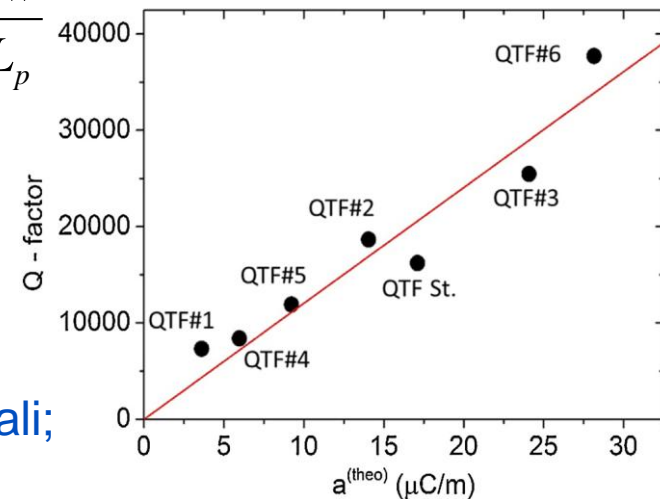
Analisi teorica e sperimentale dell'influenza delle dimensioni delle QTFs su frequenza di risonanza, fattore di qualità e resistenza elettrica



$$f_{n,vac} = \frac{\pi T}{8\sqrt{12}L_p^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} v_n^2 \quad Q = \frac{f}{\Delta f} \propto a$$

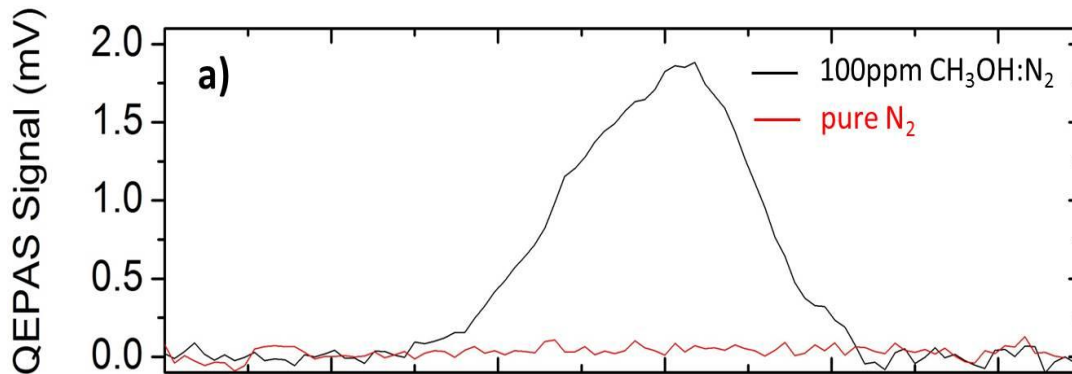
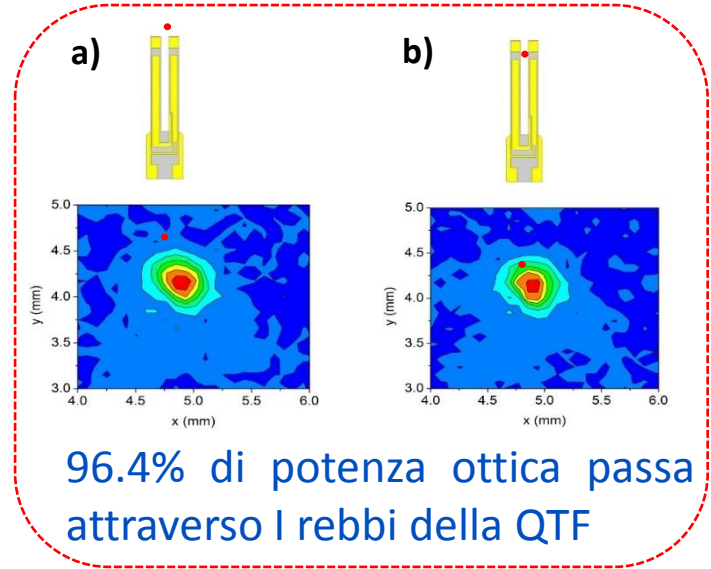
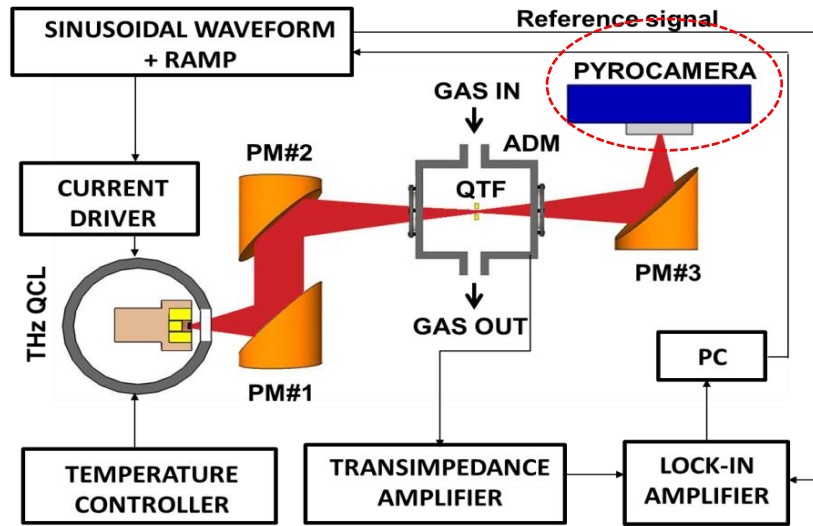
$$a = 3d_{11}E \frac{Tw}{L_p}$$

$$R = \frac{L_p^2}{w\sqrt{T}}$$



- Buon accordo tra previsione teorica e dati sperimentali;
- In termini di impiego di QTFs in sensori QEPAS, R deve essere mantenuta bassa, Q deve essere il più alto possibile, nei limiti in cui $f_0 \ll 1/2\pi\tau$ (40 kHz).

Rivelazione di metanolo nel THz mediante un sensore QEPAS che utilizza un diapason custom

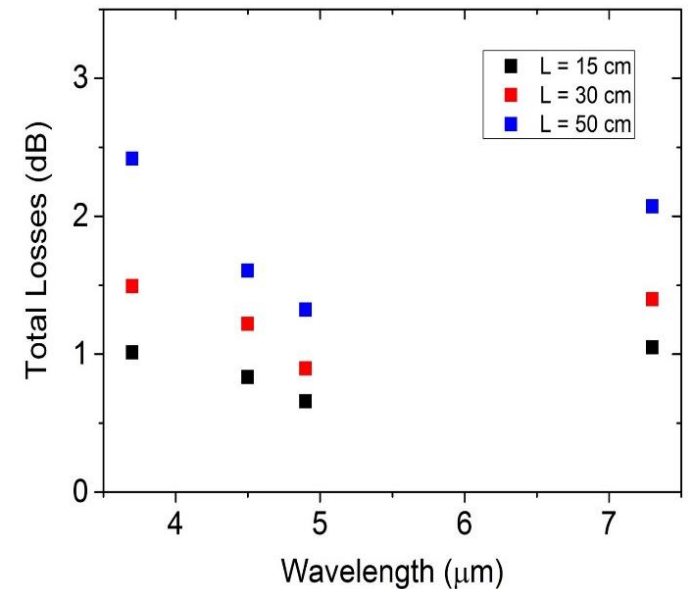
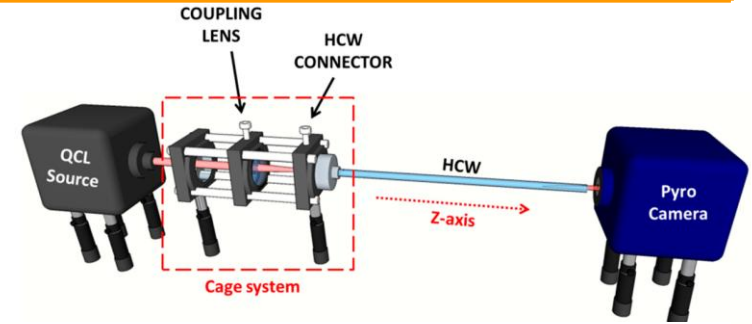
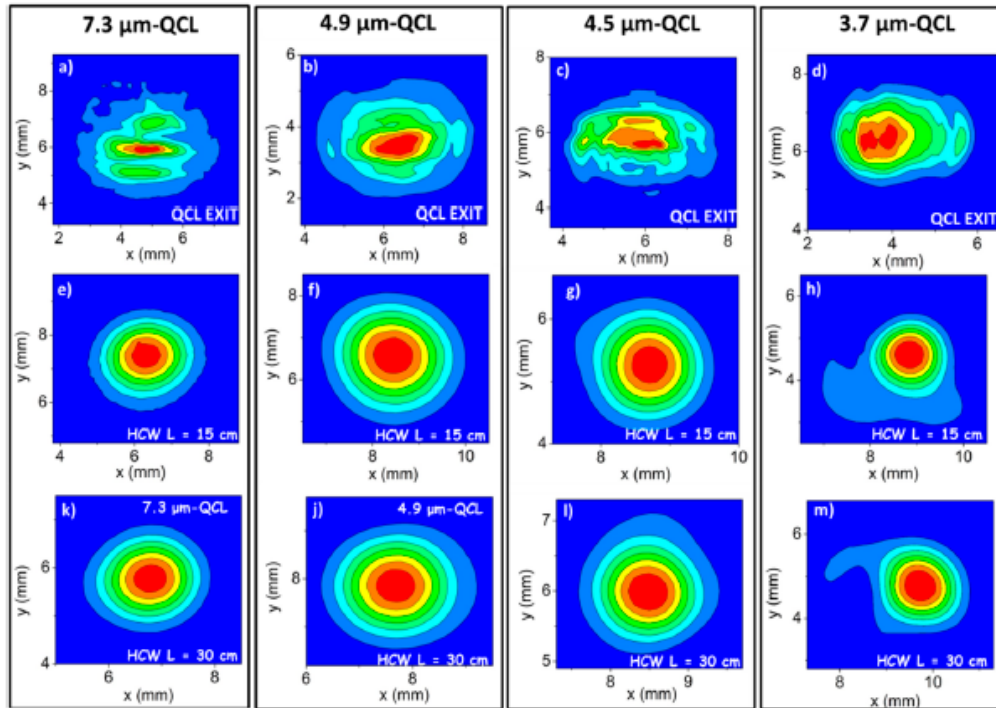


- MDL = 160ppb
- NNEA = $3.75 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1} \text{ W} / \sqrt{\text{Hz}}$

2016
QEPAS RECORD!

Accoppiamento di fibre Hollow-Core con laser a cascata quantica nell'intervallo spettrale 3.7-7.6 μm

Diametro interno: 200 μm
Lunghezza: 15, 30 e 50 cm



- Fasci con profili gaussiani per lunghezze d'onda fino a 4.5 μm ;
- Variazione delle perdite misurate: meno di 1dB quando la λ varia da 7.6 a 3.7 μm .

Obiettivi secondo anno

12 mesi di ricerca presso la Rice University, Houston, Texas

- Progettazione e studio di nuove custom QTFs
- Studio e test di Tapered Hollow-Core Waveguides
- Studio, progettazione e realizzazione di sensori basati sulla Electrically Pumped Interband Cascade (**EPIC**) Optical Frequency Comb Spectroscopy



DEFENSE ADVANCED
RESEARCH PROJECTS AGENCY



RICE

Percorso formativo (16 CFU)

- 1) Management and knowledge of European research model and promotion of research results
- 2) How to prepare a technical speech in English
- 3) LabView introductory Course
- 4) Complex Systems
- 5) Optical sensors
- 6) Principles of optoelectronic and photonic sensors
- 7) Programming FPGA with LabView
- 8) Gaseous detectors

Attività didattico-integrative (40 ore)

Insegnamento “Fisica Generale A” (12 CFU) presso il Corso di studio in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni del Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell’Informazione

Elenco delle pubblicazioni

- 1) **M. Giglio**, P. Patimisco, A. Sampaolo, G. Scamarcio, F.K. Tittel, V. Spagnolo, *Allan deviation plot as a tool for quartz enhanced photoacoustic sensors noise analysis*, IEEE- Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 63 (2016)
- 2) P. Patimisco, A. Sampaolo, L. Dong, **M. Giglio**, G. Scamarcio, F.K. Tittel, V. Spagnolo, *Analysis of the electro-elastic properties of custom quartz tuning forks for optoacoustic gas sensing*, Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 227 (2016)
- 3) P. Patimisco, A. Sampaolo, L. Mihai , **M. Giglio**, J. Kriesel , D. Sporea, G. Scamarcio, F. K. Tittel, and V. Spagnolo, *Low-loss coupling of quantum cascade lasers into hollow core waveguides with single mode output in the 3.7-7.3 μm spectral range*, Sensors, vol. 16 (2016)
- 4) A. Sampaolo, P. Patimisco, **M. Giglio**, M. S. Vitiello, H. E. Beere, D. A. Ritchie, G. Scamarcio, F.K. Tittel, V. Spagnolo, *Improved Tuning Fork for Terahertz Quartz-Enhanced Photoacoustic Spectroscopy*, Sensors, vol. 16 (2016)
- 5) A. Sampaolo, P. Patimisco, **M. Giglio**, L. Chieco, G. Scamarcio, F.K. Tittel, V. Spagnolo, *Highly sensitive gas leak detector based on a quartz-enhanced photoacoustic SF6 sensor*, Optics Express, vol. 24 (2016)

Proceedings di conferenze

- 1) P. Patimisco, L. Mihai, **M. Giglio**, A. Sampaolo, P. P. Calabrese, J. M. Kriesel, D. Sporea, G. Scamarcio, F.K. Tittel, V. Spagnolo, *Hollow-core waveguide for single-mode laser beam propagation in the spectral range of 3.7-7.3 μm* , SPIE Photonics West, 2016, San Francisco
- 2) A. Sampaolo, P. Patimisco, **M. Giglio**, P. P. Calabrese, L. Chieco, G. Scamarcio, F.K. Tittel, V. Spagnolo, *Quartz enhanced photoacoustic leak sensor for mechatronic components*, SPIE Photonics West, 2016, San Francisco
- 3) V. Spagnolo, P. Patimisco, A. Sampaolo, **M. Giglio**, G. Scamarcio, F.K. Tittel, *Quartz tuning forks with novel geometries for optoacoustic gas sensing*, SPIE Photonics West, 2016, San Francisco

Altri Contributi a conferenze e scuole

- 1) Invited talk: V. Spagnolo, P. Patimisco, A. Sampaolo, **M. Giglio**, G. Scamarcio, F.K. Tittel, *Innovative Quartz Enhanced Photoacoustic Sensors for CBRNs Detection Operating in THz and Mid-Infrared spectral Ranges*, NATO ARW on THz Diagnostics of CBRN effects and Detection of Explosives & CBRN, 3-6 November 2015, Izmir (Turkey).
- 2) Poster: **M. Giglio**, A. Sampaolo, P. Patimisco, P. P. Calabrese, J. Kriesel, G. Scamarcio, F.K. Tittel and V. Spagnolo, *Hollow core fibers coupled with Mid-Infrared Quantum cascade Lasers for Single Mode Output*, Congresso di Istituto CNR – IFN, Gennaio 2016, Rome (Italy).
- 3) Poster: **M. Giglio**, A. Sampaolo, P. Patimisco, P. P. Calabrese, G. Scamarcio, M. S. Vitiello, F.K. Tittel and V. Spagnolo, *Recent Advances in Quartz-Enhanced Photoacoustic Spectroscopy for Gas Sensing*, Congresso di Istituto CNR – IFN, Gennaio 2016, Rome (Italy).
- 4) Invited talk: V. Spagnolo, P. Patimisco, A. Sampaolo, **M. Giglio**, L. Dong, G. Scamarcio, F.K. Tittel, *Recent advances of the quartz-enhanced photoacoustic trace gas detection technique*, 37th PIERS Conference, August 2016 Shanghai (China)
- 5) Contributed talk: **M. Giglio**, *Terahertz quartz-enhanced photoacoustic spectroscopy employing a tuning fork with enhanced sensing performance*, Annual conference of COST Action MP 1204 & International Conference SMMO2016, 21-24 March 2016, Lisbon (Portugal),
- 6) Contributed talk: **M. Giglio**, A. Sampaolo, P. Patimisco, M. S. Vitiello, G. Scamarcio, F. K. Tittel and V. Spagnolo, *Methanol Quartz-Enhanced Photoacoustic Spectroscopy Sensor Employing a Terahertz Quantum Cascade Laser Source*, 70th THz Workshop - International School of Solid State Physics, 16-23 July 2016, Erice (Italy)

Premi e riconoscimenti

- 1) Miglior progetto di ricerca nel contesto del corso “Management and knowledge of European research model and promotion of research results”.
- 2) Best presentation at the 70th THz Workshop - International School of Solid State Physics, 16-23 July 2016, Erice, (Italy).