



Dipartimento INTERATENEO DI FISICA «M. MERLIN»  
SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA  
XXXIII ciclo

Presentazione dell'attività di ricerca del primo anno:

**SVILUPPO DI SENSORI OPTOACUSTICI INNOVATIVI  
PER APPLICAZIONI INDUSTRIALI E BIOMEDICALI**

**THORLABS**

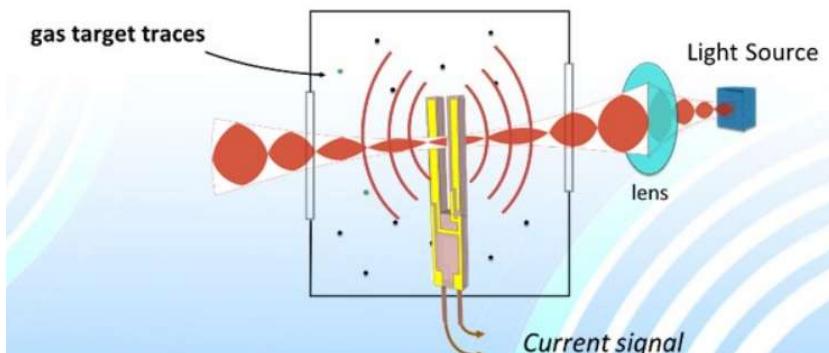
**MASMEC**

**Dottoranda: Arianna Elefante**

# SOMMARIO

- Spettroscopia fotoacustica a diapason di quarzo QEPAS
- Attività di ricerca
  - Sensore di etilene
  - Sensore per rivelazione simultanea di due gas
- Obiettivi futuri
- Corsi e conferenze

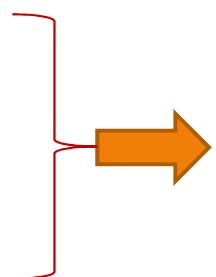
# Quartz Enhanced PhotoAcoustic Spectroscopy



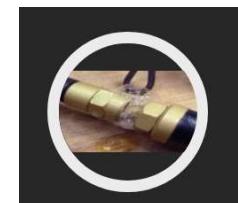
- Sorgente di eccitazione: laser a  $\lambda = \lambda_{\text{assorbimento-molecole}}$
- Effetto fotoacustico: generazione di un'onda di pressione a seguito del rilassamento non radiativo delle molecole eccitate dal laser
- Trasduttore Optoacustico: diapason al quarzo

*S~Concentrazione di gas target*

- ❖ Elevata sensibilità
- ❖ Selettività
- ❖ Rapidi tempi di risposta
- ❖ Compattezza



- Sensore di perdite per controllo di sistemi meccatronici



- Analisi del respiro

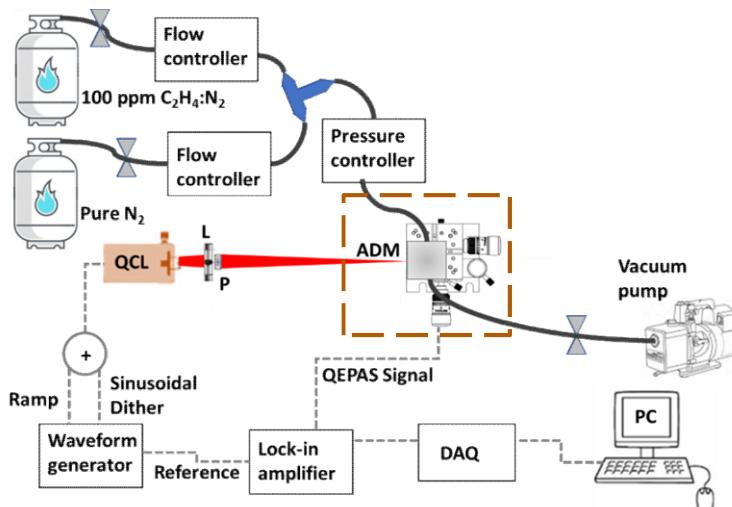


# SENSORE QEPAS di ETILENE

Quartz-enhanced photoacoustic sensor for ethylene detection implementing an optimized custom tuning fork-based spectrophone,  
 M. Giglio, A. Elefante, P. Patimisco, A. Sampaolo, F. Sgobba, H. Rossman, V. Mackowiak, H. W., F. K. Tittel, L. Dong, and V. Spagnolo, *Optics Express*, in press.

Etilene:

- Monitoraggio del trasporto del cibo per industria alimentare
- Bio-marcatore per le patologie infiammatorie presente nell'spirato umano

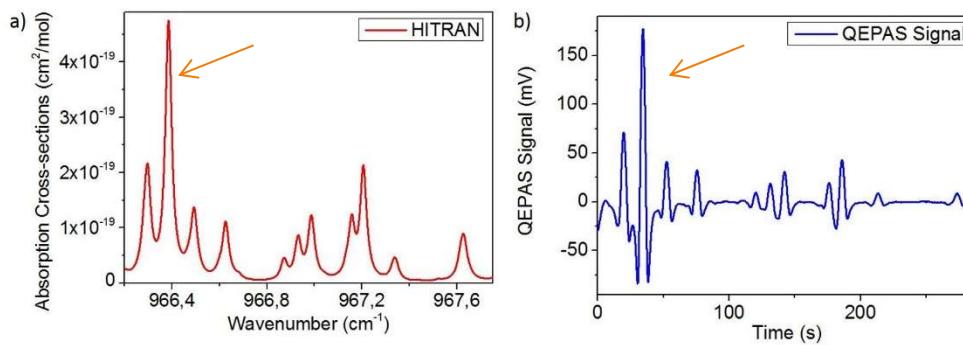


Diapason

$L_{\text{rebbi}}$	9.4 mm
$T_{\text{rebbi}}$	2.0 mm
$s_{\text{rebbi}}$	0.8 mm
$f_0$	12462.02 Hz

Tubi

$L_{\text{tubi}}$	12.4 mm
$ID_{\text{tubi}}$	1.59 mm



Sorgente laser:

DFB-QCL @ 10.34  $\mu\text{m}$

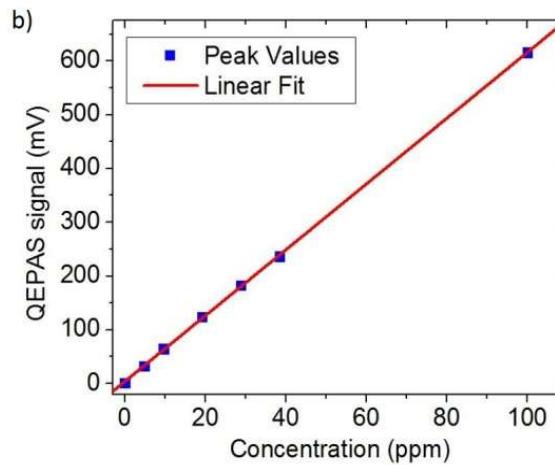
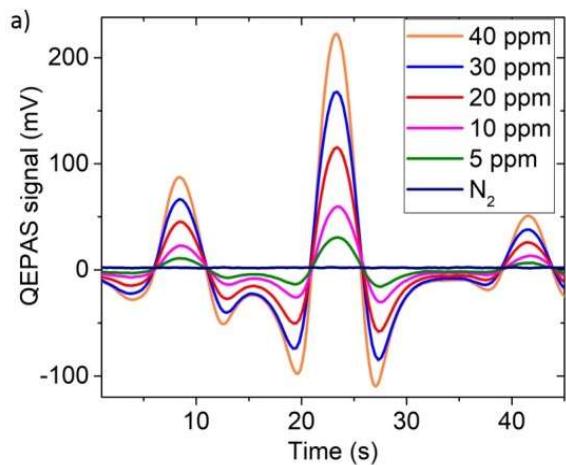
Linea di assorbimento selezionata:

$k = 966.38 \text{ cm}^{-1}$

Intensità di linea:  $2.2 \cdot 10^{-20} \text{ cm/mol}$

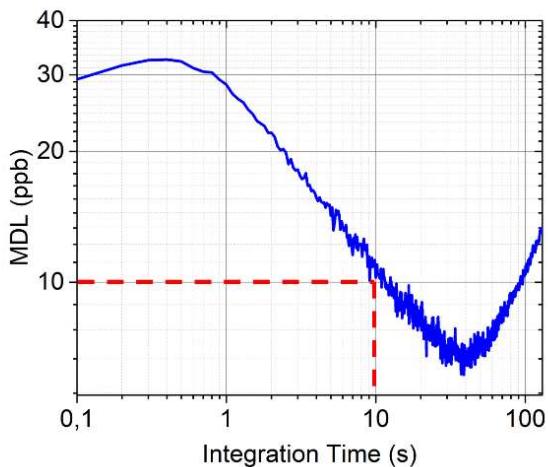
# SENSORE QEPAS di ETILENE

## ☐ Calibrazione



Curva di calibrazione:  
 $S = 6.12 \text{ mV/ ppm} \cdot \text{C} + 4 \text{ mV}$

## ☐ Analisi di varianza di Allan



@ **Tempo di integrazione di 100 ms**

SNR: 3420 per 100 ppm

MDL: 29 ppb

@ **Tempo di integrazione di 10 s**

SNR: 9770

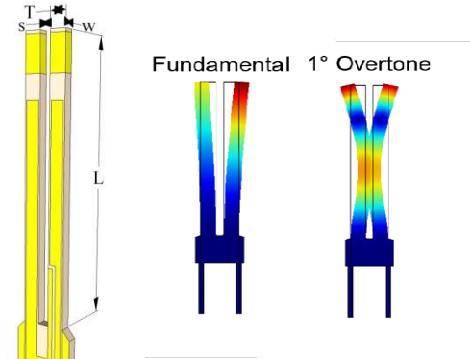
**MDL: 10 ppb**

# Dual-gas QEPAS

## Applicazioni:

- Analisi del respiro per monitorare diversi bio-marcatori allo stesso tempo
- Calibrazione di sensori
- Monitoraggio ambientale di gas serra come  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{H}_2\text{O}$ .

$$f_n = \frac{\pi T}{8\sqrt{12}L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} n^2$$

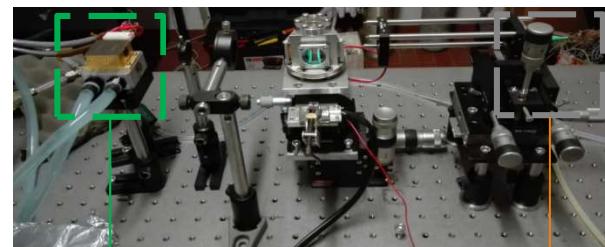
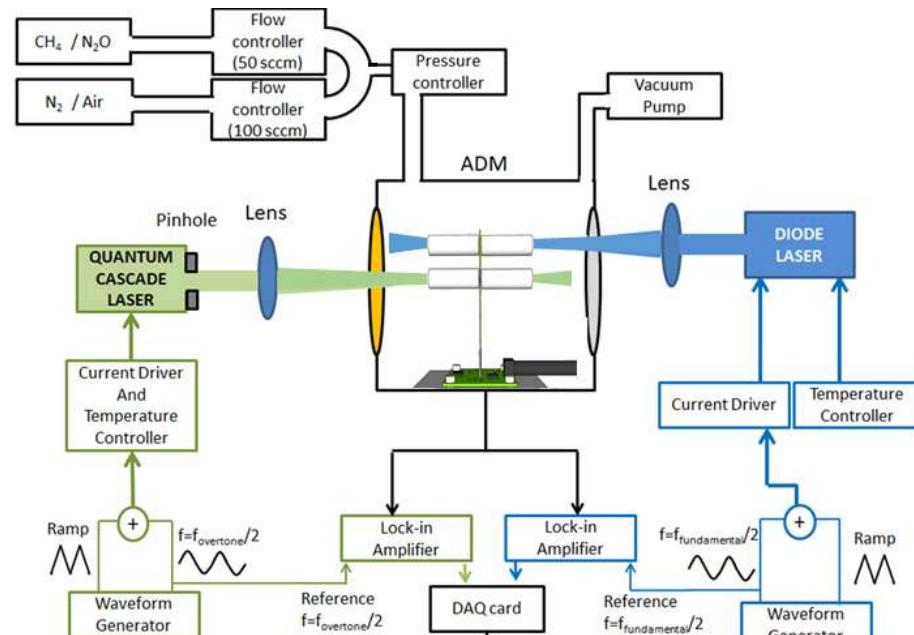


**QTF**

**Micro-resonator tubes**

L (mm)	17.0
w (mm)	0.25
s (mm)	0.7
T (mm)	1.0
$f_0$ (Hz)	<b>2871.5</b>
$f_1$ (Hz)	<b>17747.7</b>

$l_{f0}$ (mm)	9.5
$l_{f1}$ (mm)	8.5
ID (mm)	1.36



**QUANTUM CASCADE LASER**

$\lambda=7.73 \mu\text{m}$

Target:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$

**Overtone mode excitation**

**DIODO LASER**

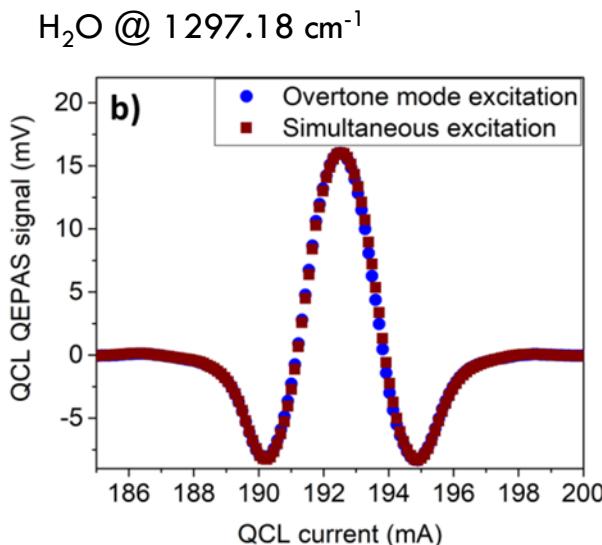
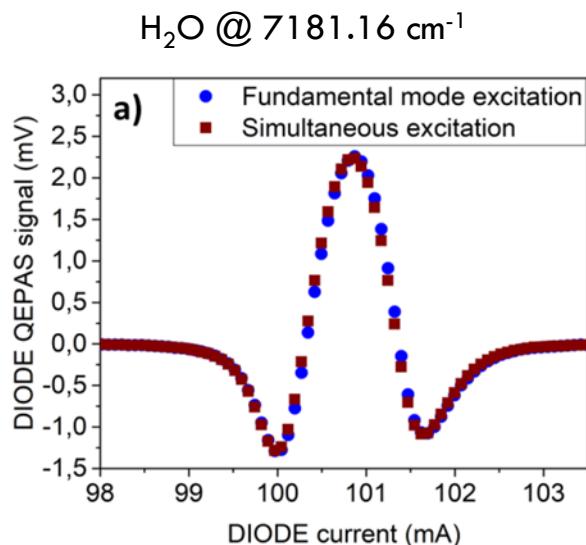
$\lambda=1.39 \mu\text{m}$

Target:  $\text{H}_2\text{O}$

**Fundamental mode excitation**

# Dual-gas QEPAS

## ☐ Eccitazione simultanea dei due modi vibrazionali



Excitation	$V_{\text{picco}}$ (mV)	$1\sigma_{\text{noise}}$ ( $\mu\text{V}$ )
Fundamental	2.26	0.9
Simultaneous	2.23	1.2

Excitation	$V_{\text{picco}}$ (mV)	$1\sigma_{\text{noise}}$ ( $\mu\text{V}$ )
Overtone	16.03	132
Simultaneous	16.03	138

No effetto di interferenza tra i due modi di eccitazione



## ☐ Rivelazione simultanea di $\text{N}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}$ e $\text{CH}_4/\text{H}_2\text{O}$

### DIODE laser

Target:  $\text{H}_2\text{O}$

Modo vibrazionale: fondamentale

### Linea di assorbimento $\text{H}_2\text{O}$ :

Wavenumber:  $7181.16 \text{ cm}^{-1}$

Intensità :  $1.4 \cdot 10^{-20} \text{ cm/mol}$

### QCL

Target:  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$

Modo vibrazionale: overtone

### Linea di assorbimento $\text{N}_2\text{O}$

Wavenumber:  $1297.05 \text{ cm}^{-1}$

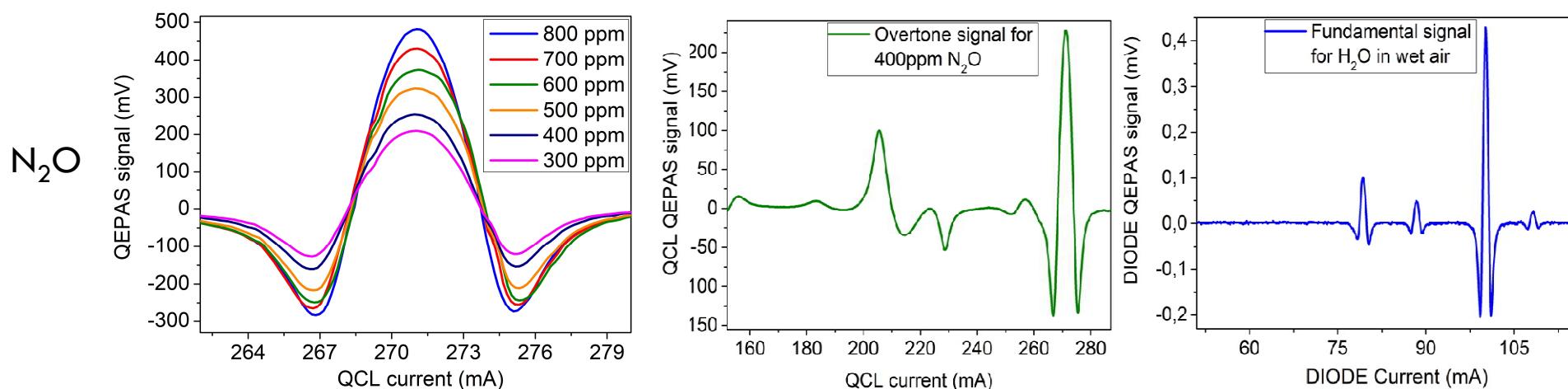
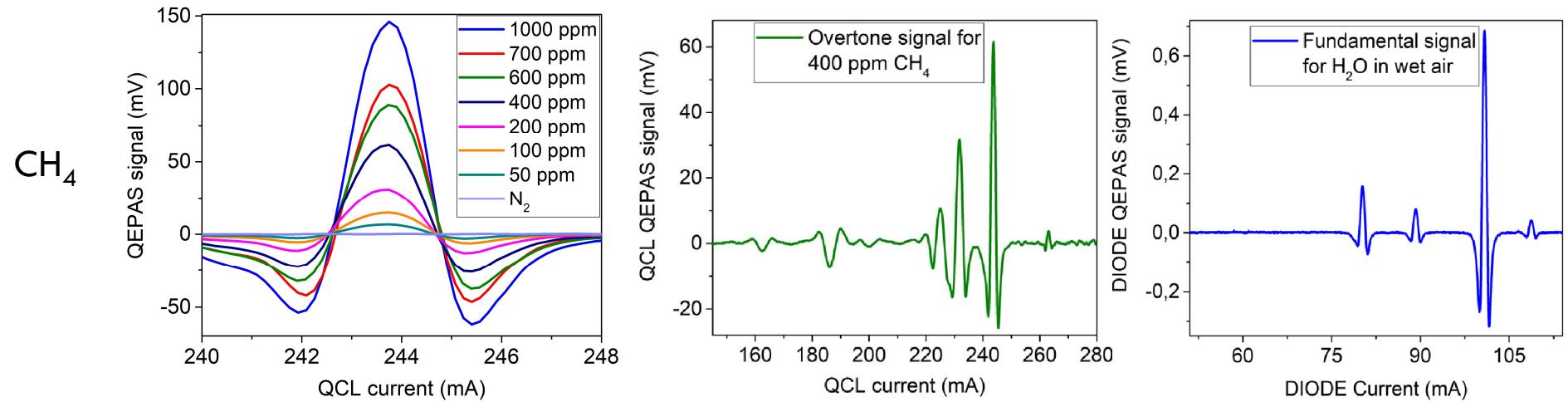
Intensità :  $1.7 \cdot 10^{-19} \text{ cm/mol}$

### Linea di assorbimento $\text{CH}_4$

Wavenumber:  $1297.47 \text{ cm}^{-1}$

Intensità :  $3.9 \cdot 10^{-20} \text{ cm/mol}$

# Dual-gas QEPAS: rivelazione simultanea di $\text{CH}_4/\text{H}_2\text{O}$ e $\text{N}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}$



# Obiettivi futuri

Il secondo anno di dottorato verrà svolto (a partire dal 1 Marzo 2019) presso il centro Thorlabs di Dachau, come previsto nel progetto di dottorato industriale.

I principali obiettivi saranno:

- Realizzazione di un sensore QEPAS compatto per la rivelazione di SF<sub>6</sub> come gas tracciante per rivelare perdite in sistemi meccatronici;
- Ottimizzazione del sensore di etilene in termini di compattezza per applicazioni in situ.

# Corsi e conferenze

- 
- 1) Management and knowledge of European research model and promotion of research results;
  - 2) Preparing a scientific presentation in English;
  - 3) Python programming;
  - 4) Fundamentals in advanced programming using C++ programming language;
  - 5) Green Photonics;
  - 6) Differential equations and physical phenomena;
  - 7) Atom-photon interactions;
  - 8) Optical sensors and spectroscopic techniques.

# Corsi e conferenze

## Pubblicazioni

- M. Giglio, G. Menduni, P. Patimisco, A. Sampaolo, **A. Elefante**, V. M. N. Passaro, and V. Spagnolo, *Damping Mechanisms of Piezoelectric Quartz Tuning Forks Employed in Photoacoustic Spectroscopy for Trace Gas Sensing*, **Phys. Status Solidi A**, 216, 1800552 (2019).
- M. Giglio, **A. Elefante**, P. Patimisco, A. Sampaolo, F. Sgobba, H. Rossmadl, V. Mackowiak, H. W., F. K. Tittel, L. Dong, and V. Spagnolo, Quartz-enhanced photoacoustic sensor for ethylene detection implementing an optimized custom tuning fork-based spectrophone, **Optics Express**, *in press*.

## Proceedings di conferenze

- P. Patimisco, A. Sampaolo, M. Giglio, S. dello Russo, **A. Elefante**, G. Menduni, V. M. N. Passaro, H. Rossmadl, V. Mackowiak, Bruno Gross, Alex Cable, F. K. Tittel, and V. Spagnolo, New generation of tuning forks for quartz-enhanced photoacoustic spectroscopy, **SPIE OPTO**, San Francisco, 2019.
- G. Menduni, A. Sampaolo, S. Csutak, P. Patimisco, M. Giglio, **A. Elefante**, V. M. N. Passaro, F. K. Tittel, M. Deffenbaugh and V. Spagnolo, Quartz Enhanced Photoacoustic sensors for detection of multiple hydrocarbon and methane isotopes, **SPIE OPTO**, San Francisco, 2019.
- M. Giglio, P. Patimisco, A. Sampaolo, A. Zifarelli, G. Menduni, **A. Elefante**, R. Blanchard, C. Pfluegl, M.F. Witinski, D. Vakhshoori, V. Passaro, F.K. Tittel, and V. Spagnolo, Quartz enhanced photoacoustic spectroscopy employing a distributed feedback quantum cascade laser array for nitrous oxide and methane broadband detection, **SPIE OPTO**, San Francisco, 2019.

## Poster

- **A. Elefante**, A. Sampaolo, P. Patimisco, M. Giglio, G. Menduni, V. Passaro, F.K. Tittel, and V. Spagnolo, Simultaneous dual gas QEPAS sensing of water and methane/nitrous oxide, **SPIE OPTO**, San Francisco, 2019.