



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

**DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE**

Corso di laurea in:

**Scienze Ambientali e Protezione Civile**

**APPLICAZIONE DI UN PROTOTIPO DI AEROMOBILE A PILOTAGGIO REMOTO (APR) O DRONE  
«MULTICOTORE» PER IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA.**

**APPLICATION OF A PROTOTYPE OF UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) OR MULTICOPTER DRONE,  
FOR THE MONITORATION OF AIR QUALITY.**

Tesi di laurea di:  
**ALBERTO CAPRIOTTI**

Docente referente:  
**Chiar.mo Prof. GIUSEPPE SCARPONI**

Sessione Autunnale Ottobre (2019)  
Anno accademico 2018/2019

ISSN: 1231-4005

e-ISSN: 2354-0133

DOI: 10.5604/01.3001.0010.2813

## **MULTIROTOR PLATFORM WITH SENSORY HEAD FOR MEASUREMENT OF SELECTED AIR PARAMETERS**

**Karol Jabłoński, Roman Czyba, Tomasz Grychowski  
Józef Wiora, Marcin Janik, Natalia Lomnicka, Maciej Galeja**

*Silesian University of Technology, Institute of Automatic Control  
Akademicka Street 16, 44-100, Poland  
tel.: +48 32 2371095, fax: +48 32 2372127  
e-mail: roman.czyba@polsl.pl*

### ***Abstract***

*In this article, a project of an unmanned aerial system designed for monitoring of air pollution is presented. The system consists of an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with a measurement head with sensors of chemical and physical properties of atmospheric air, and a ground control station arranged to store and display the collected data. The head contains modern sensors selective to the most important components of air in view of environmental pollution. Measurement data are acquired locally as well as transmitted wirelessly to a ground station. The UAV can be programmed to a particular measurement missions. The ground station dispose of a software for flight control and for visualisation of measurement results on-line. In this paper, an architecture of the entire system, a data processing performing by each subsystem, and communication methods between them are presented. This paper also includes a specification of sensors with their principles of operation, description of their metrological properties and the way, in which they are implemented in the designed electrical circuits. Results of preliminary tests in a laboratory and in a field, during a short flight, are also presented.*

**Keywords:** *Unmanned aerial vehicle, pollution measurement, on-line air monitoring, environmental monitoring, embedded gas sensing system*

# Introduzione

La pericolosità dell'inquinamento atmosferico è ormai tristemente nota. Ogni anno, persone si ammalano e muoiono a causa di sostanze indesiderabili nell'aria che respirano.

La qualità dell'aria nei centri pesantemente urbanizzati, ancora oggi, non può essere definita a dei livelli tollerabili per gli uomini. Il monitoraggio delle concentrazioni di sostanze indesiderate in atmosfera diviene a questo punto fondamentale per garantire la sicurezza delle persone.

Nel seguente lavoro viene descritta la progettazione e lo sviluppo di un prototipo di aeromobile a pilotaggio remoto (APR), destinato ad operazioni di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico.

Il drone in questione sembra essere molto promettente, e una volta perfezionato, potrebbe essere una valida alternativa alle attuali strumentazioni utilizzate in questo campo: stazioni fisse e mezzi di trasporto accessoriati, le quali presentano non poche limitazioni a confronto.

Per via dei numerosi vantaggi, sembrerebbe essere applicabile in numerosi contesti: misurazione delle concentrazioni locali dei parametri dell'aria selezionati, costruzione e verifica di modelli matematici sulla dispersione dei contaminanti in atmosfera, valutazione preliminare del pericolo di incendi, preparazione dei dati per pianificazione territoriale, localizzazione di cause di danno per l'ambiente e comprensione degli impatti, ecc.

Il suddetto APR è stato presentato nell'articolo: MULTIROTOR PLATFORM WITH SENSORY HEAD FOR MEASUREMENT OF SELECTED AIR PARAMETERS di Karol Jabłoński, Roman Czyba, Tomasz Grychowski Józef Wiora, Marcin Janik, Natalia Łomnicka, Maciej Gal.

# L'OBIETTIVO:

sviluppare un sistema composto da due macro-elementi:

- un aeromobile con sei eliche detto «**piattaforma multirottore**» (Fig.1) con sensori per le misurazioni, dotato di autopilota.
- una **Ground Control Station (GSC)**, cioè un centro di controllo che dà all'uomo la possibilità di interagire e comandare la piattaforma.

La progettazione del dispositivo multirottore è avvenuta tenendo conto dei seguenti requisiti fondamentali:

- almeno 500 g di carico trasportabile,
- dimensioni del sistema sensoristico 10x10x5 cm,
- struttura a moduli facili da assemblare,
- circa 20 min di autonomia in volo.

Possibilità di campionamento e analisi per principali contaminanti atmosferici.

Figura 1. Fotografia della piattaforma multirottore (Tratta dall'articolo di riferimento)

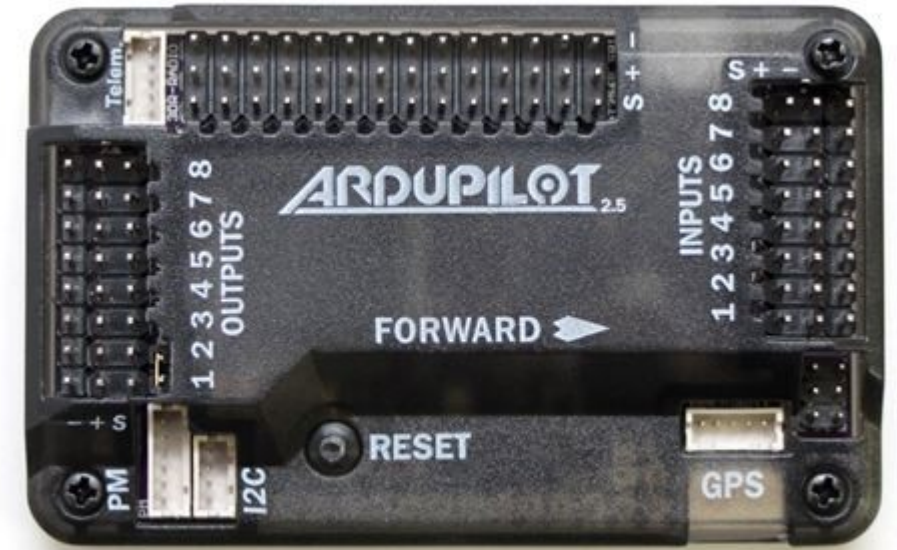


# Principali contaminanti atmosferici:

Composto	Origine	Effetti principali
Monossido di carbonio: $CO$	Prodotto dei processi di combustione.	Causa ipossia competendo con $O_2$ .
Ossidi di azoto: $-NO$  $-NO_2$	<i>-Composto formato da ossigeno e azoto atmosferici che si legano in seguito a processi ad alta temperatura, <math>-NO</math> che reagisce con <math>O_2</math> in presenza di radicali ossidrilici <math>\cdot OH</math>, idrocarburi e luce solare.</i>	Formano $HNO_3$ in presenza di $H_2O \rightarrow$ precipitazioni acide. Inalati causano danni ai tessuti che portano a patologie come ad esempio bronchite ed enfisema polmonare. Fondamentali nello smog fotochimico.
Biossido di zolfo: $SO_2$	Combustione di combustibili fossili in cui lo zolfo è presente come impurità.	Irritante per occhi e vie aeree, ma ha anche la capacità di entrare nel circolo sanguigno e ripartirsi in vari organi danneggiandoli (es. cervello, milza, fegato).
Ozono troposferico: $O_3$	Prodotto di reazioni fotochimiche di ossidi di N e C, idrocarburi.	Irritante per occhi e vie aeree. Causa dolore al torace, irritazione delle mucose e disturbi respiratori.
Particolato: $PM_{2.5}$ e $PM_{10}$	Varia, sia naturale che antropica.	Arrivano fino al polmone causando effetti tossici, infiammazioni delle vie aeree superiori, cancro del polmone, risposte allergiche e asma.
Benzene e benzopirene	Rilascio in atmosfera in seguito a combustione di combustibili fossili.	Potere cancerogeno (agente intercalante), danni al sistema nervoso, intossicazione e morte.
Metalli pesanti: Pb, As, Cd, Ni, Hg	Sono elementi naturali, ma anche emessi dall'attività umana.	Effetti diversi a seconda dell'elemento, tendono ad accumularsi nei tessuti e causano avvelenamento.

# L'architettura.

- Il fulcro del sistema di volo è il controllore Ardupilot AMP 2.6. Grazie a questa scheda il dispositivo riesce a coordinare i propri movimenti e stabilizzare il proprio volo calibrando la potenza dei motori a seconda delle uscite della strumentazione (es. barometro, GPS, giroscopio).
- L'applicazione «Mission Planner» funge da GCS, permette all'utente di interfacciarsi col dispositivo. Inoltre immagazzina i dati e ne rende possibile la visualizzazione in grafici e mappe.



Scheda ARDUPILOT [www.ardupilot.org](http://www.ardupilot.org)

	Command				Lat	Long	Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Dist	AZ
1	WAYPOINT	0	0	0	-35.0407928	117.8277898	100	X	🏠	🏠	95.7	104.5	1
2	WAYPOINT	0	0	0	-35.0406786	117.8260410	100	X	🏠	🏠	0.0	159.7	275
3	WAYPOINT	0	0	0	-35.0417239	117.8251612	100	X	🏠	🏠	0.0	141.2	215

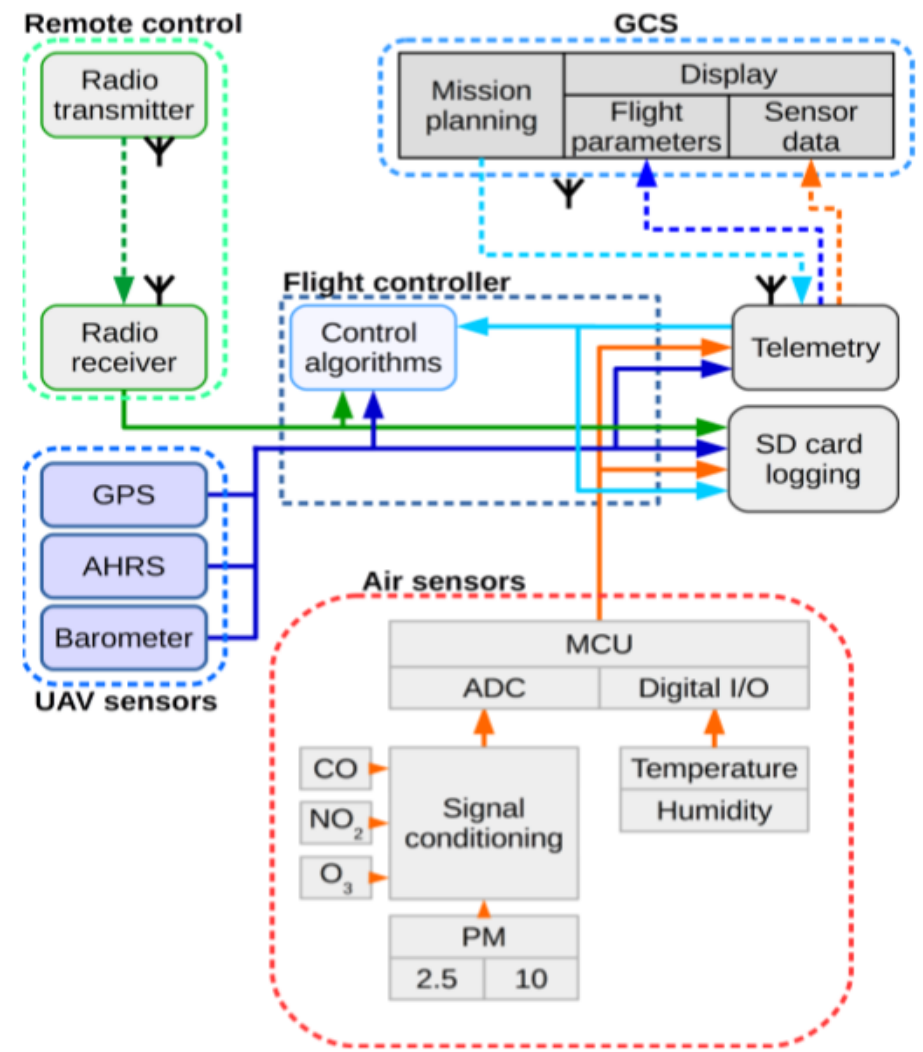
Es. schermata Mission Planner [www.ardupilot.org](http://www.ardupilot.org)

I software utilizzati sono stati significativamente modificati partendo dalle loro versioni di base rendendo possibile l'acquisizione dei dati dai sensori e dalla videocamera e lo scambio di pacchetti di informazioni pre-processate tra la piattaforma e la postazione a terra e viceversa.

# IL SISTEMA DI CONTROLLO:

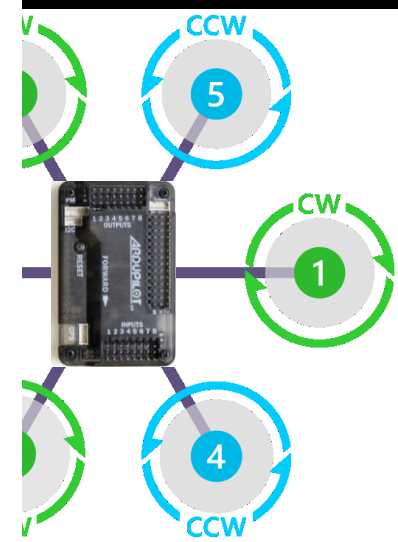
L'architettura di controllo è organizzata in modo decentrato. Troviamo organi di controllo hardware e software sia nella piattaforma che nel software. L'UAS può essere programmato in modo da eseguire diverse missioni e si può analizzare le scelte. La comunicazione è bidirezionale tra il sistema di controllo e la piattaforma.

1. Viene programmato inserendo le coordinate nella GCS



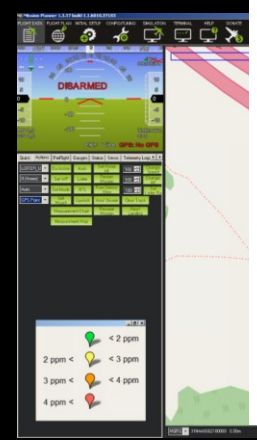
si può analizzare le scelte.

o inviate alla scheda



HEXA X

Fig. 3. Architecture of the control system; MCU Microprocessor Control Unit; ADC – Analog to Digital Converter; Digital I/O – Input/output for digital sensor signal; GPS – Global Positioning System; AHRS – Attitude and Heading Reference System (Tratta dall'articolo di riferimento della tesi.)



Mapa dell'area monitorata (Tratta dall'articolo di riferimento della tesi)

# Tecniche di misurazione e sensori:

Per ora è possibile solo effettuare misurazioni **AUTOMATICHE** ed in continuo, sarà sicuramente implementata la possibilità di effettuare di **MANUALI** in futuro, vista la capacità di carico del drone.

MISURAZIONE AUTOMATICA	
VANTAGGI	SVANTAGGI
No operatore: riduzione costi	Non applicabile per la determinazione di ogni sostanza.
Risultati rapidamente fruibili.	Qualità dei risultati più scarsa (incertezze più alte).

Nel nostro caso, questo tipo di misurazione è impiegata per determinare la concentrazione di  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$  troposferico, particolato, temperatura ed umidità.

Sensore a semiconduttore a ossido di metallo

Sensori elettrochimici

Sensore a infrarosso non dispersivo

*Tab. 1. List of used sensors*

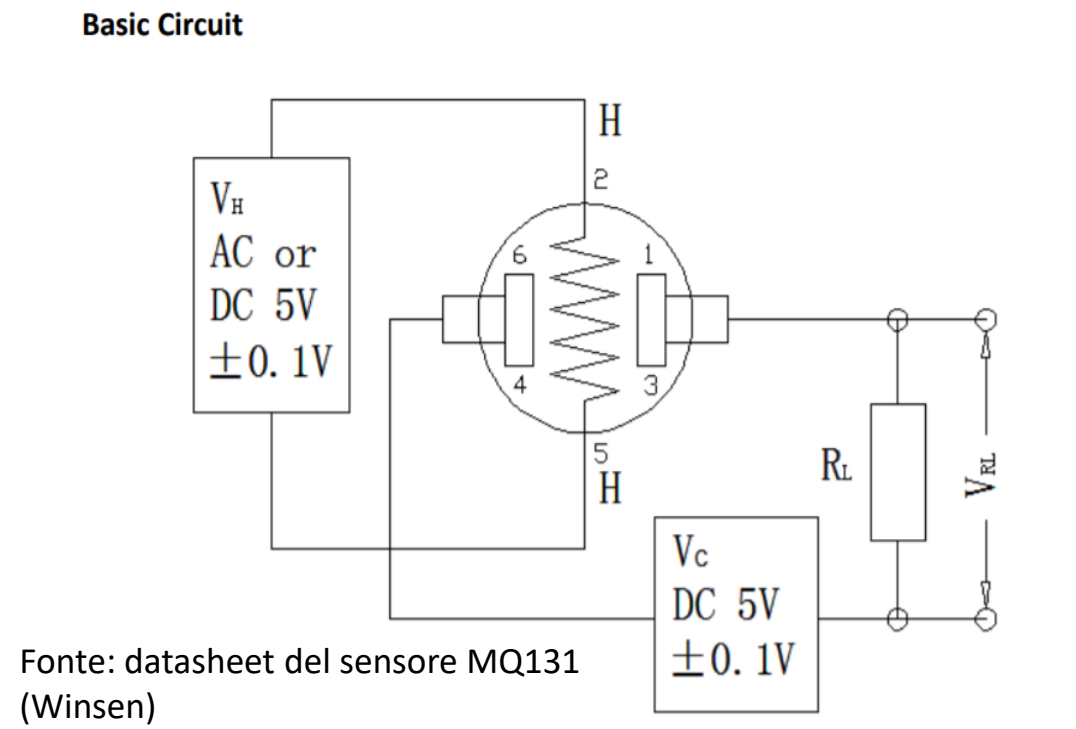
Parameter	Name	Sensor type	Range	Uncertainty
$O_3$	Ozone	MQ-131	10-2000 ppb	not defined
CO	Carbon oxide	TGS5342	0-1000 ppm	2 ppm
$NO_2$	Nitrogen dioxide	NAP-550	0-30 ppm	2% of signal
PM	Dust	GP2Y1010AU0F	0-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	not defined
Temp, RH	Air temperature and humidity	DHT22	-40- -80 °C 0-100 %RH	0.5 °C 2 %RH

Tabella 1 lista dei sensori utilizzati.



**Sensore  $O_3$  a semiconduttore a ossido di metallo.**  
 Sfrutta le proprietà conduttive di un film di ossido semiconduttore sottoposto a drogaggio, che reagisce con il gas scambiando elettroni, con conseguente variazione della conduttività.

**Determinazione dell' $O_3$  mediante curva di taratura.**



Fonte: datasheet del sensore MQ131 (Winsen)

Fig. 2. Circuito base del sensore per  $O_3$ .

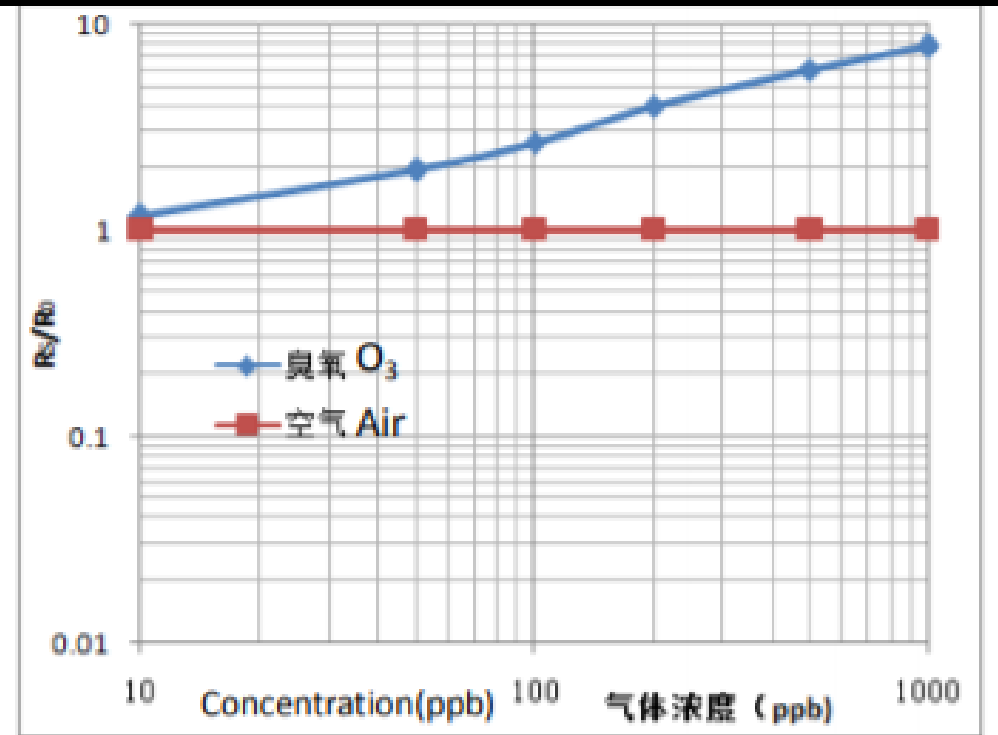


Fig. 3. Tipica curva di taratura per la quantificazione. Rapporto di resistenza  $R_S/R_0$  del sensore vs Concentrazione del gas in ppb.  
 $R_S$  = resistenza nel gas campione  
 $R_0$  = resistenza in aria pura



**Sensori elettrochimici voltammetrici ( $NO_2$  e  $CO$ ).**  
Celle elettrochimiche riempite con un elettrolita di supporto in cui sono immersi degli elettrodi. Il gas diffonde nell'elettrolita e sotto una differenza di potenziale applicata agli elettrodi dà origine a reazioni di ossidoriduzione con passaggio di corrente che varia in funzione della concentrazione dell'analita.



**Sensore di  $NO_2$**   
(Immagine tratta dal datasheet del NAP-550)



**Sensore di  $CO$**   
(Immagini tratte dal datasheet del TGS5342)

**Determinazione del  $CO$  mediante curva di taratura e selettività del sensore.**

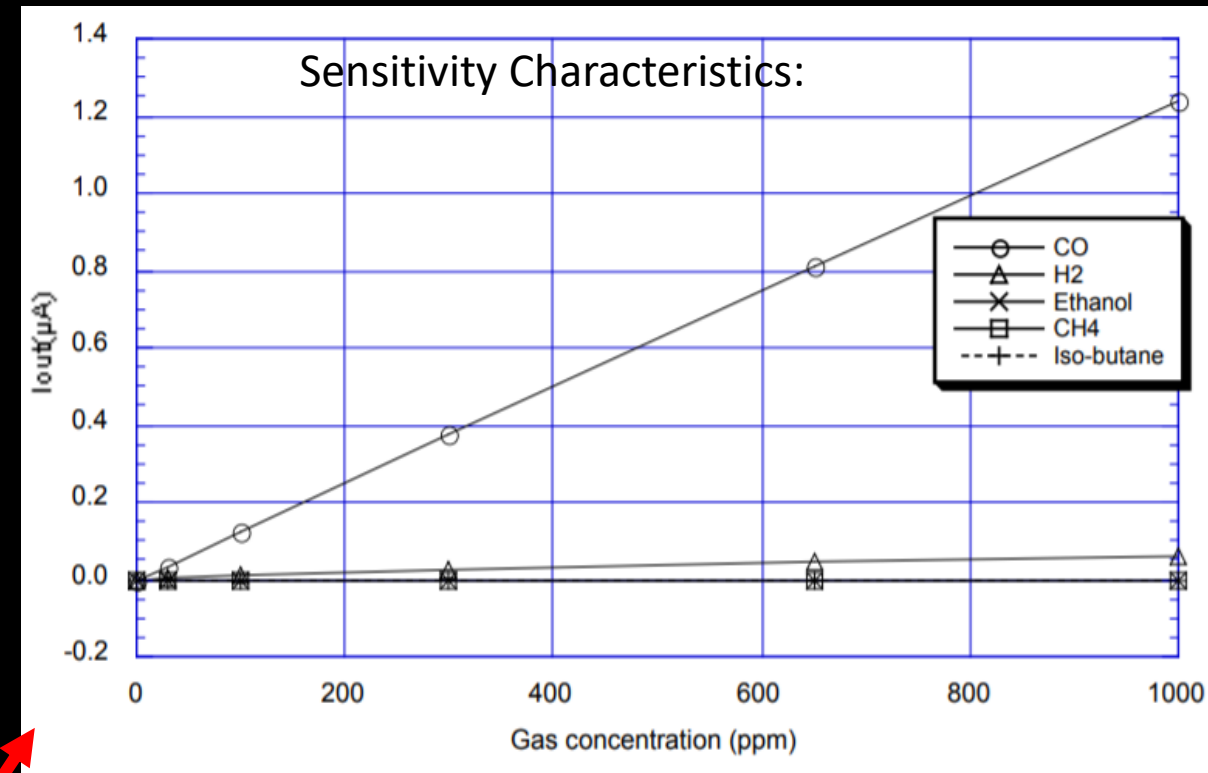


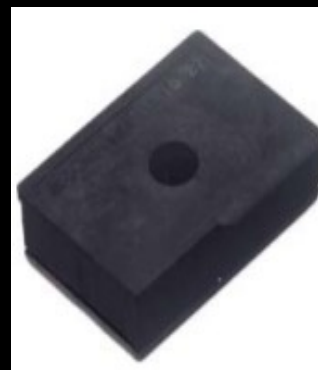
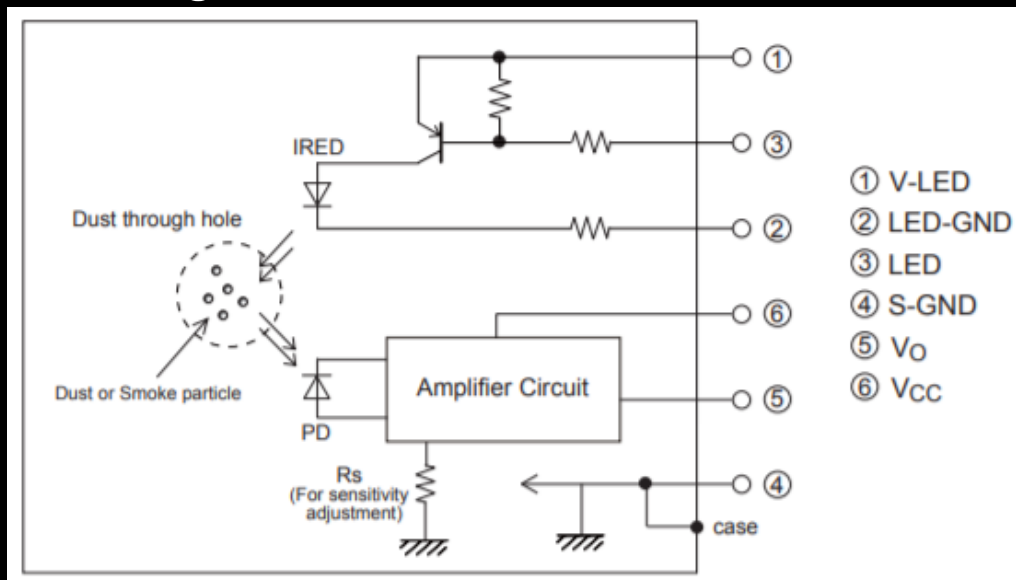
Fig. 4. Tipica curva di taratura per la quantificazione. Intensità di corrente in  $\mu A$  vs Concentrazione del gas in ppm. Evidenza della insensibilità del sensore rispetto ad altri gas.

## Sensore a infrarossi non dispersivo per particolato.

Sensore composto, in disposizione angolare, da una sorgente di radiazioni infrarosse, una camera dove entra il campione ed infine da un rivelatore spettrofotometrico a fotodiodi che misura la radiazione riflessa dal particolato.

Vengono rilevate particelle con diametro superiore a  $0,8 \mu\text{m}$  (Dust). Il sensore restituisce un'uscita in tensione, analogica e proporzionale alla concentrazione di particolato.

Diagramma schematico del sensore.



## Sensore PM

(Immagine tratta dal datasheet del GP2Y1010AU0F)

## Determinazione del particolato mediante curva di taratura

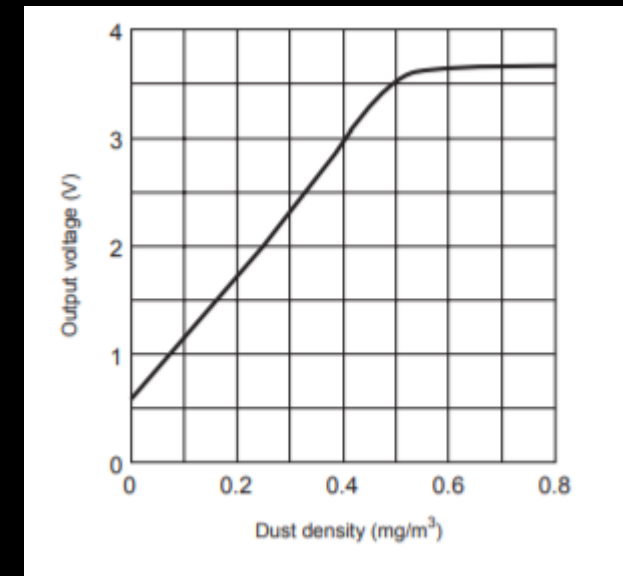
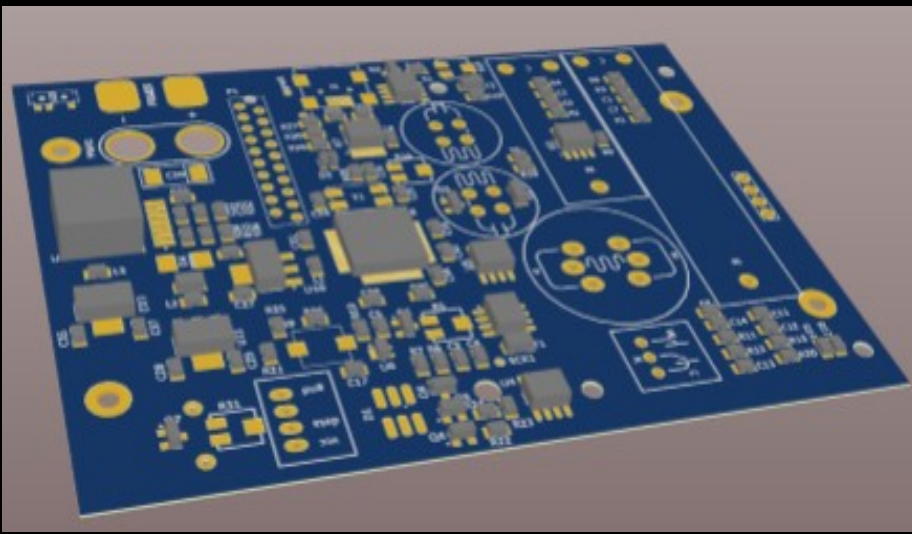


Fig. 5. Tipica curva di taratura per la quantificazione.

Tensione in uscita in V vs Concentrazione del particolato in  $\text{mg}/\text{m}^3$ .



Veduta di fronte del circuito stampato.  
(Tratta dall'articolo di riferimento della tesi)

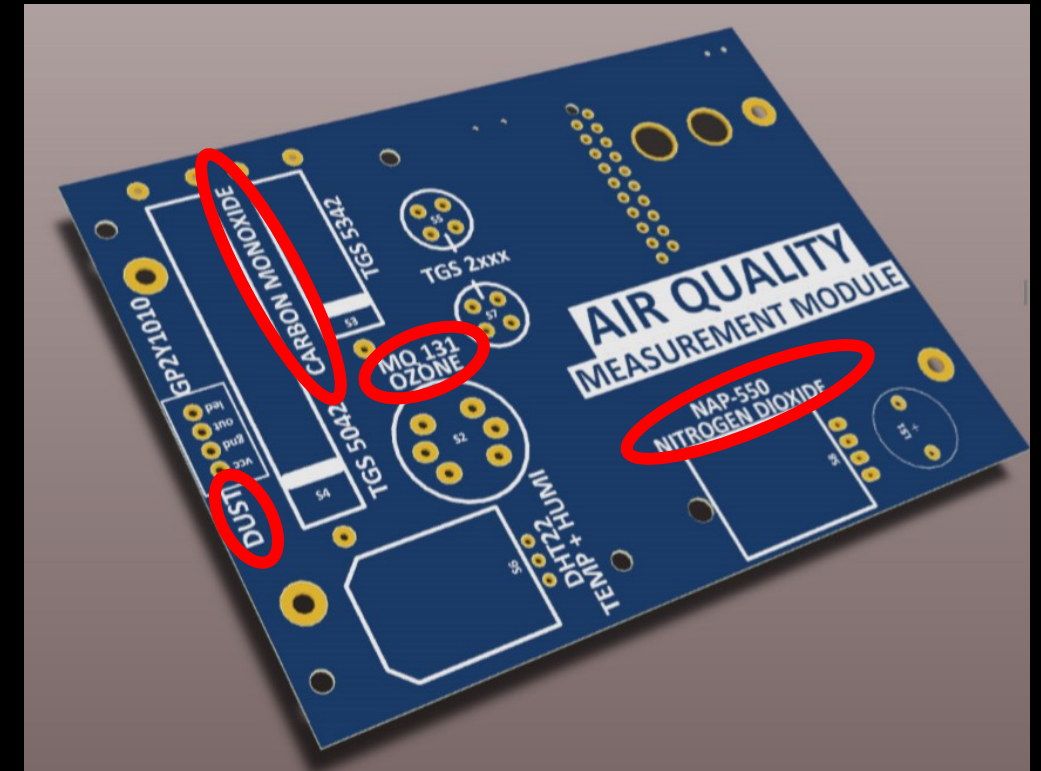
Oltre ai sensori per la misurazione sopradescritti, il dispositivo è dotato di:

- un buzzer piezometrico che produrrà un suono di allarme in concomitanza con la rilevazione di una contaminazione grave.
- Ammette tensioni fra 10V e 20V -> la configurazione scelta è quella con batterie a litio 2s e 3s (rispettivamente due e 3 celle).
- È possibile interfacciarsi direttamente da PC tramite USB.
- Il processore che regola gli I/O è un STM32 72MHz.
- Amplificatori operazionali a bassa corrente d'ingresso e bassa tensione di offset così da evitare possibili sovraccarichi al microprocessore.
- Potenziometri separati, uno per sensore.

**Il punto forte di questo sistema sensoristico sta nel basso consumo di energia e nel basso ingombro e peso.**

I sensori sono tenuti insieme da una basetta per circuiti stampati a doppio strato.

La struttura a moduli rende la piattaforma semplice da adattare al diverso tipo di missione da intraprendere.



Retro del circuito stampato.  
(Tratto dall'articolo di riferimento della tesi).

# Principali fonti di disturbo:

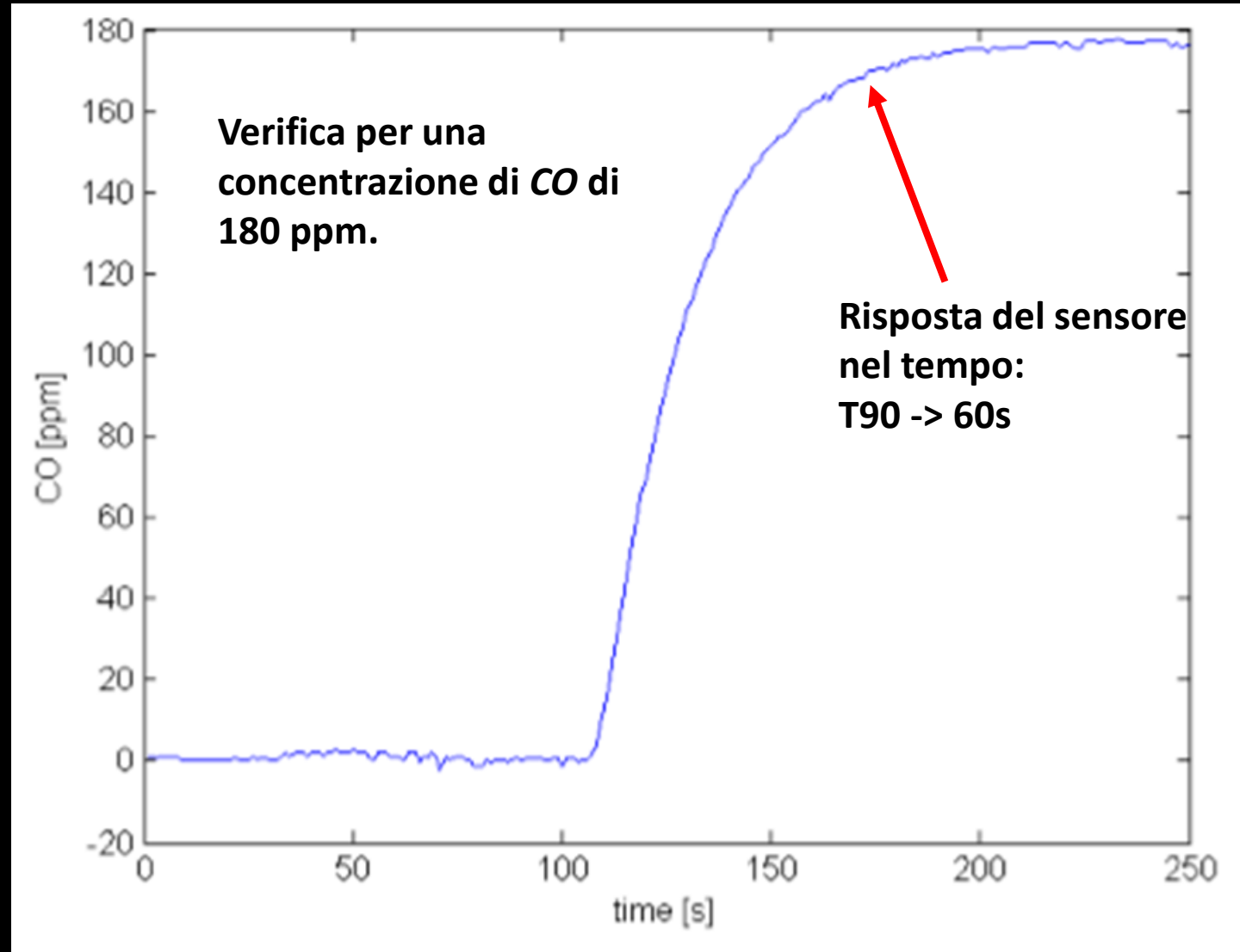
- campi elettrici generati da motori e cavi
- correnti d'aria generate dai rotori
- vibrazioni

## disturbi che

possono essere minimizzati collocando nel modo più opportuno i sensori rispetto alle fonti suddette

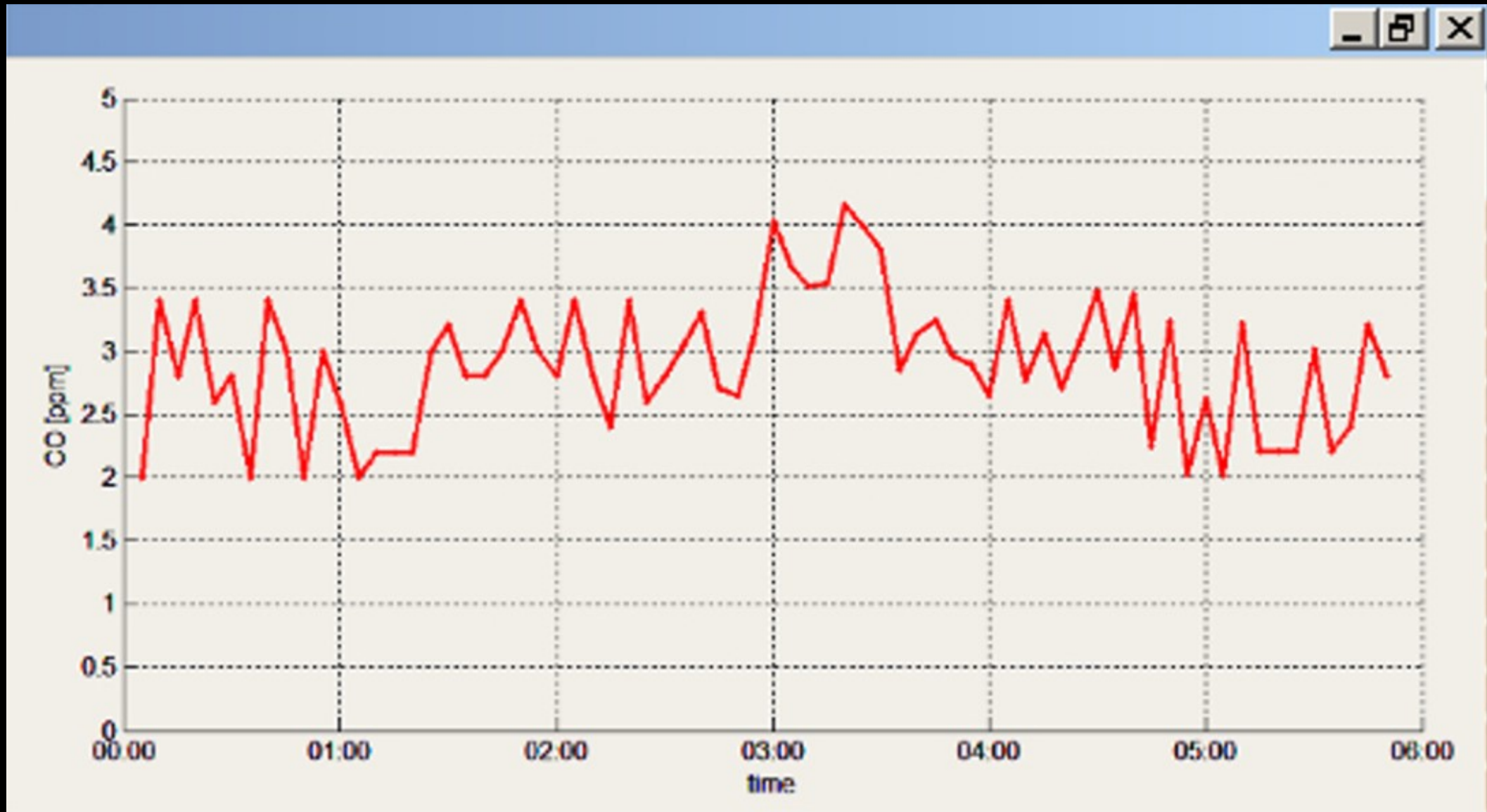
# I test: verifica accuratezza/tempo di risposta in laboratorio

È stato presentato soltanto il risultato inerente la misurazione della concentrazione di CO.



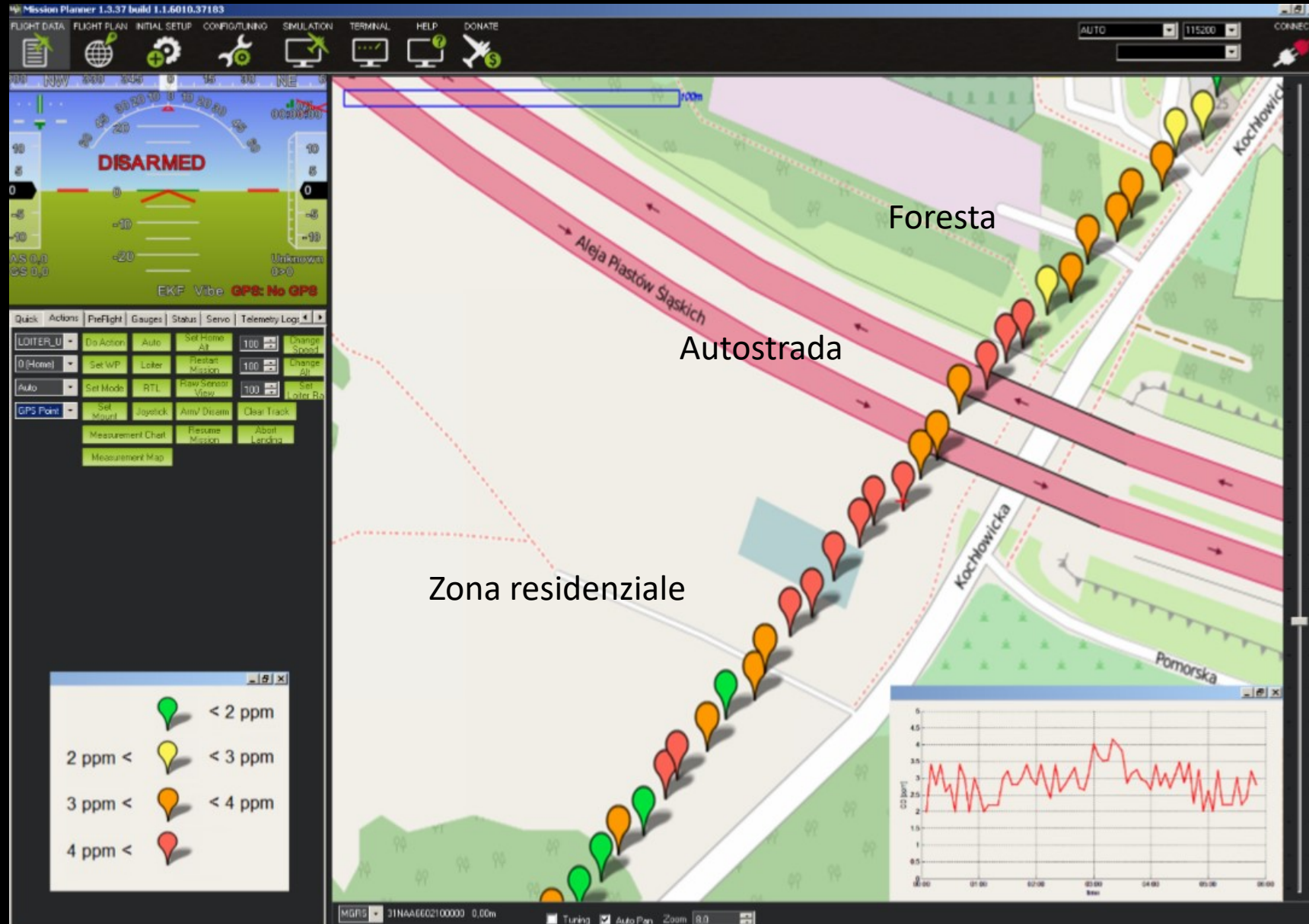
# I test: prova in campo – misure

Concentrazione di CO in un transetto che attraversa vari ambienti



# I test: prova in campo – elaborazione dati

## Concentrazione di CO in un transetto che attraversa vari ambienti



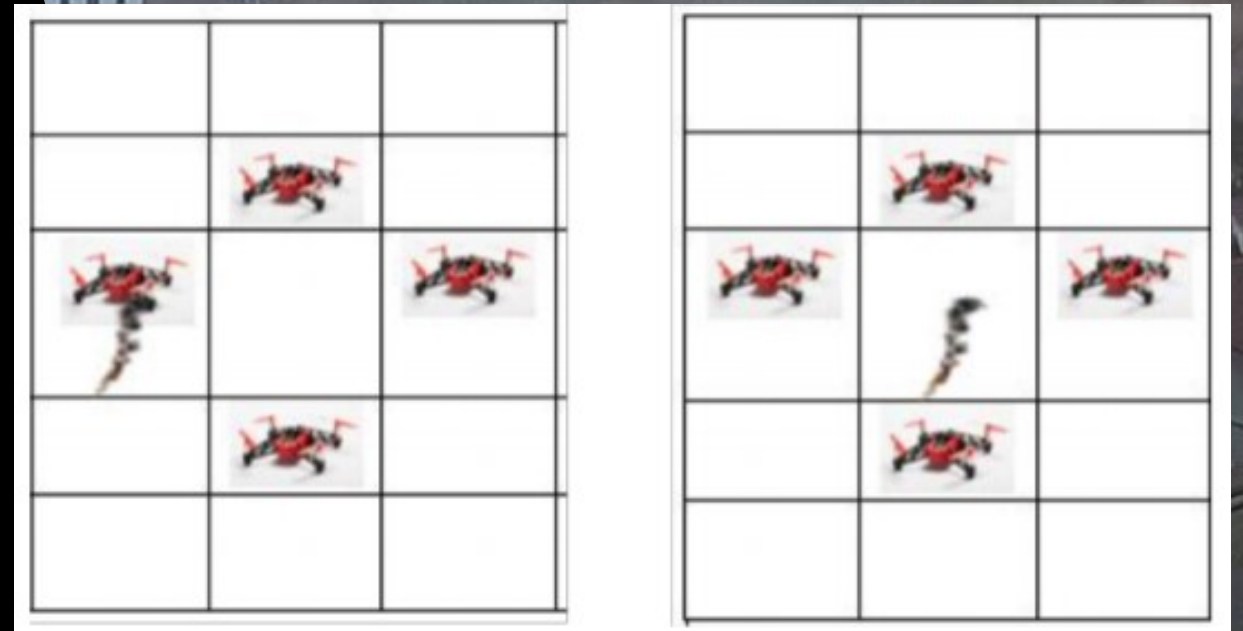
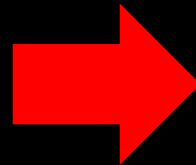


# Per il futuro:

Nonostante le problematiche evidenziate sopra, questa tecnologia fa ben sperare. Una volta superati gli ostacoli attuali, rappresenterà un ottimo modo per monitorare la qualità dell'aria, aggirando molte delle limitazioni delle odierne apparecchiature e abbassando **tempi** e costi delle analisi.

## Un esempio particolarmente interessante.

Uso di uno sciame di droni per tracciamento di emissioni da incendi. (\*)



(\*) **Tracking Hazardous Aerial Plumes using IoT-Enabled Drone Swarms (IEEE)**

Carl Seiber, David Nowlin, Bob Landowski and Matthew E. Tolentino Intelligent Platforms & Architecture Lab  
University of Washington, Tacoma, WA, USA {carls4, dbnowlin, ski0, metolent} @uw.edu