

# Rapporti tecnici

## INGV

**Un sistema di telemetria real-time e  
di campionamento di gas come payload  
per un drone**

# 298



## **Direttore Responsabile**

Stefano Gresta

## **Editorial Board**

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)

Luigi Cucci (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM2)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Milena Moretti (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Antonio Guarnieri (INGV - BO)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (INGV - PA)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Barbara Angioni

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

# Rapporti tecnici INGV

## UN SISTEMA DI TELEMETRIA REAL-TIME E DI CAMPIONAMENTO DI GAS COME PAYLOAD PER UN DRONE

Alessandro Iarocci, Giovanni Romeo, Paolo Benedetti

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Sismologia e Tettonofisica)

# 298



## **Indice**

Introduzione	7
1. Descrizione del sistema	7
2. Dimensionamento meccanico del campionatore di gas	8
3. Schema elettrico e principio di funzionamento	9
4. Interfaccia software e test effettuati	12
Bibliografia	14



## Introduzione

LUSI LAB è un progetto europeo, finanziato dall'università di Oslo, che si propone di effettuare uno studio multidisciplinare usando il vulcano Lusi come un eccezionale laboratorio naturale [Mazzini et al., 2007]. La prima eruzione del vulcano Lusi si è verificata nel nord est dell'isola di Java nel maggio del 2006 a seguito di un terremoto di magnitudo 6.3 che colpì l'isola. Inizialmente comparvero diversi siti di eruzione (siamo in prossimità del complesso vulcanico Arjuno) di gas e fango lungo un sistema di faglia riattivata, successivamente nel giro di qualche settimana diversi villaggi della zona furono completamente sommersi da fango bollente. Tuttora il vulcano Lusi è attivo e continua ad eruttare gas, fango e acqua. In figura 1 una foto del vulcano Lusi com'è oggi, la foto è stata scattata durante la missione effettuata dall'INGV lo scorso dicembre 2013.



**Figura 1.** Il vulcano Lusi.

Il laboratorio LNTS partecipa al progetto, fornendo un drone dotato di payload per poter accedere al cratere ed effettuare campionamenti del gas emesso dal vulcano [Iarocci et al., 2014]. Il rapporto tecnico descrive il payload progettato dall'LNTS, che consiste di un sistema di campionamento di gas e di misura di parametri ambientali (pressione, temperatura, posizione) con telemetria *real-time*. L'obiettivo è quello di potere disporre, durante il sorvolo dell'area interessata, di una lettura costante dei parametri e dell'azionamento da remoto del sistema di campionamento del gas.

## 1. Descrizione del sistema

Il sistema di campionamento è composto da sei provette (sotto vuoto), ermeticamente sigillate da sottili membrane, e da tre servomotori. Ogni servomotore pilota due aghi ipodermici, installati su un apposito supporto calettato sull'albero del servomotore (fig. 4), uno per provetta; quando la *ground station* invia il comando per effettuare un campionamento di gas, il microprocessore aziona un servomotore facendo sì che l'ago perfori la membrana della provetta e permettendone quindi il riempimento col gas. La membrana

rimane perforata dall'ago per circa un secondo, trascorso il quale il servomotore torna nella sua posizione iniziale di riposo sfilando l'ago dalla membrana e permettendo così la cattura del gas nella provetta.

Per verificare la tenuta delle provette sono stati effettuati dei test di laboratorio: una volta praticato il vuoto al loro interno (mediante perforazione della membrana), è stato verificato strumentalmente che si è verificata una riduzione di circa il 10% della tenuta dopo 48 ore (con una differenza di pressione sulle membrane di circa 1 atm). Ne consegue che la tenuta del gas è sufficientemente garantita, considerando che dopo il campionamento la differenza di pressione che agisce sulla provetta è circa uguale a zero. In ogni caso per ridurre al minimo eventuali perdite di tenuta che comunque potrebbero verificarsi, considerando anche che i campioni possono essere analizzati anche diversi giorni dopo l'acquisizione, le provette vengono sigillate con del parafilm.

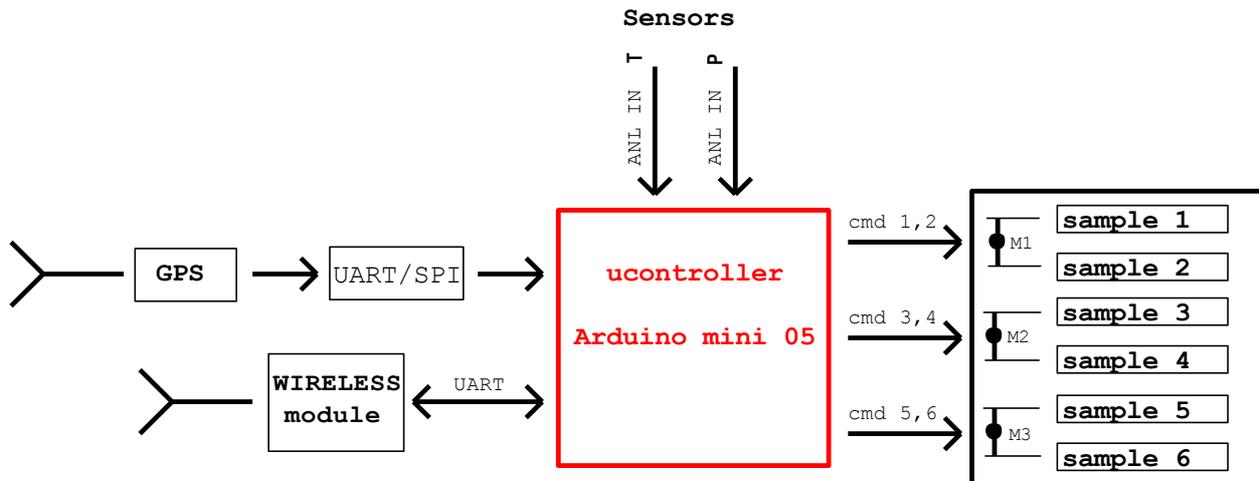
Con i campionamenti acquisiti dal sistema proposto è possibile effettuare molteplici analisi, tra cui quelle di anidride carbonica, metano, azoto, elio ed analisi gas-cromatografiche.

Il modulo di telemetria è composto da: un microprocessore, un ricevitore GPS, sensori di pressione e temperatura, un modulo wireless di comunicazione. Il modulo wireless ha una portata in linea di vista pari a 1,6 Km.

Il sistema di navigazione del drone utilizza un sensore di pressione per definire l'altezza di volo. Questo ci ha confortati, in fase di progetto, sulla bontà di un dato di pressione preso in condizioni difficili come quelle a bordo del multirobotore.

Il sensore di pressione del campionatore è stato protetto meccanicamente (con materiale espanso a vuacoli aperti, analogamente a quello di navigazione) per garantire una misura non influenzata dalle turbolenze indotte delle eliche del drone.

Lo schema a blocchi del sistema è rappresentato in figura 2.

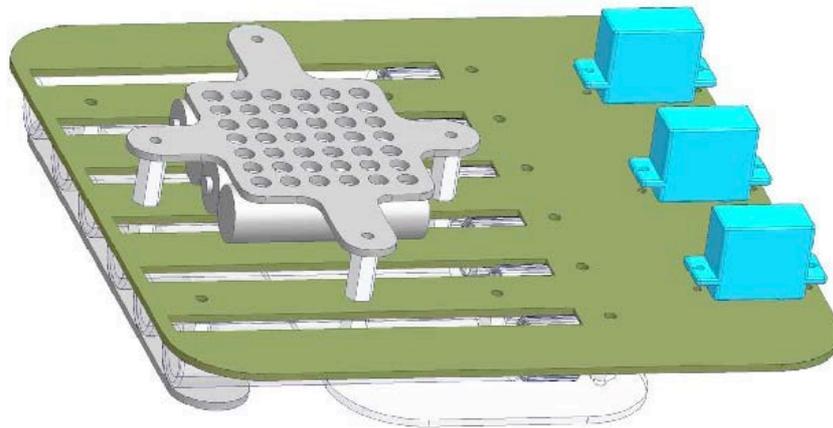


**Figura 2.** Schema a blocchi del sistema di telemetria e campionamento del gas.

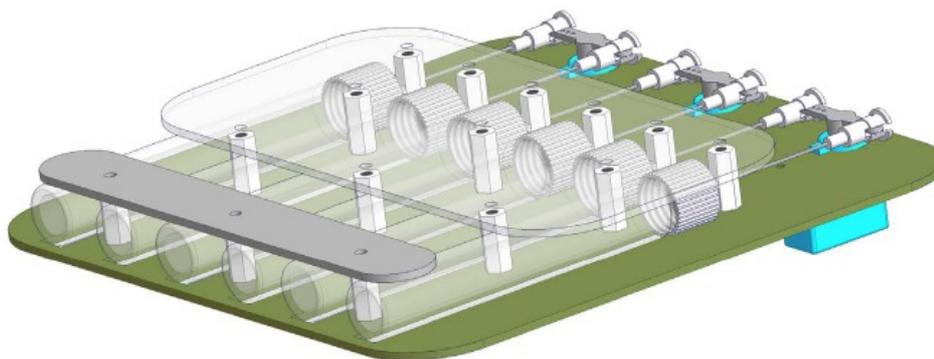
## 2. Dimensionamento meccanico del campionatore di gas

La figura 3 illustra la vista superiore del payload. Sono visibili i tre servomotori e le quattro batterie, con relativo fermo, che forniscono la corrente (1 A @ 5 V) ai servomotori e la tensione per alimentare l'elettronica del payload.

Nella figura 4 è mostrata la vista inferiore del payload, dove trovano alloggiamento le sei provette (ed i due fermi), e i dispositivi di foratura delle membrane di tenuta delle stesse calettati sugli alberi dei servomotori.



**Figura 3.** Vista superiore: alloggiamento dei servomotori e delle relative batterie.



**Figura 4.** Vista inferiore: alloggiamento delle provette e dei dispositivi di cattura del gas.

### 3. Schema elettrico e principio di funzionamento

Il processore utilizzato è un Arduino mini 05 (U5) [Arduino, 2014], dotato di clock a 16 MHz, 14 I/O digitali (dei quali 6 possono essere usate come uscite PWM), 8 ingressi analogici (risoluzione di 10 bit), un modulo UART. La tensione di alimentazione è pari a 5 V; viene fornita dal regolatore lineare di tipo a bassa caduta (U2) in modo da permettere un'alimentazione autonoma da 4 batterie AA. Lo schema elettrico dell'intero circuito è mostrato in figura 5.

Il modulo U1 è il modulo wireless, modello XBee PRO [Digi, 2014], che consente al payload la comunicazione bidirezionale real-time con la *ground station*. La sua frequenza di funzionamento è pari a 2,4 GHz, il data rate può arrivare a 250 Kbps. Il modulo si interfaccia con il processore mediante porta seriale; l'assorbimento di corrente in ricezione è pari a 55 mA, in trasmissione è pari a 215 mA. La tensione di alimentazione essendo pari a 3,3 V, ha richiesto l'impiego di un secondo regolatore lineare a bassa caduta (U3). Il modulo wireless ha una linea di vista pari a 1,6 Km.

Per interfacciare il ricevitore GPS (U9) con il microprocessore si è fatto ricorso all'integrato U8: è un convertitore UART/SPI modello MAX3100. In questo modo le stringhe seriali provenienti dal GPS vengono convertite nello standard SPI e così, dopo aver configurato opportunamente i pin 19, 20, 21, 22 di U5, inviate al microprocessore per essere acquisite. Le linee interessate nella comunicazione SPI sono: MOSI (Master

Output/Slave Input), MISO (Master Input /Slave Output), SCK (clock Input); CS (chip select). Al fine di avere una comunicazione più affidabile, l'integrato U8 fornisce in uscita sul pin 6 un segnale di Interrupt (IRQ) che viene utilizzato dal microprocessore. All'integrato viene connesso un cristallo (Y1) da 1,843 MHz che consente di ottenere un baud rate fino a 115200 bps.

Sul connettore J3 è presente la tensione di ingresso del sistema (+6V nr): è una tensione non regolata, del valore di circa 6 V, fornita da quattro batterie stilo collegate in serie tra loro. Tale tensione è l'ingresso del regolatore lineare a 5V (U2) e, dopo una caduta di tensione introdotta dal diodo D1 (voluta per alimentare adeguatamente i servomotori), del regolatore a 3,3V (U3). Il partitore costituito dalle resistenze R1 e R3 consente di monitorare il valore della tensione delle batterie. La tensione proveniente dalle batterie fornisce anche la corrente (circa 1 A al momento della perforazione della membrana) per il funzionamento dei servomotori. I tre servomotori sono collegati ai connettori J4, J5, J6. I segnali di pilotaggio dei servomotori (DRV1, DRV2, DRV3) sono segnali di tipo PWM e vengono generati dal microprocessore. La resistenza di shunt R4 e l'integrato MAX4376 (U4) consentono di monitorare eventuali assorbimenti anomali della corrente dei servomotori.

Come accennato in precedenza il payload dispone a bordo di sensori di temperatura e pressione. Per la misura della temperatura si utilizza il circuito integrato AD590 (U10), il quale produce un'uscita in corrente proporzionale alla temperatura assoluta. Per la misura della pressione invece si utilizza il sensore della serie MPX2200 (U6), che produce un'accurata e lineare tensione d'uscita direttamente proporzionale alla pressione applicata. Il condizionamento del segnale d'uscita è effettuato dall'amplificatore U7.

Al fine di limitare il peso e l'ingombro del payload, per non compromettere la già esigua autonomia del volo del drone (circa 15 minuti), si è deciso di realizzare il pcb del circuito elettrico direttamente sulla struttura meccanica del campionatore di gas. Tale struttura infatti è stata realizzata usando lastre di resina con superfici ramate che si utilizzano normalmente per realizzare i circuiti stampati a due soli layer, il top ed il bot. Il lato componenti è sul lato superiore della struttura (fig. 6), quello in cui essendo presenti esclusivamente gli alloggiamenti dei servomotori e delle batterie risulta più libero da ingombri; viceversa il lato bot risulta quello sul lato inferiore della struttura, dove sono presenti le provette ed i dispositivi di foratura delle membrane di tenuta (fig. 7).

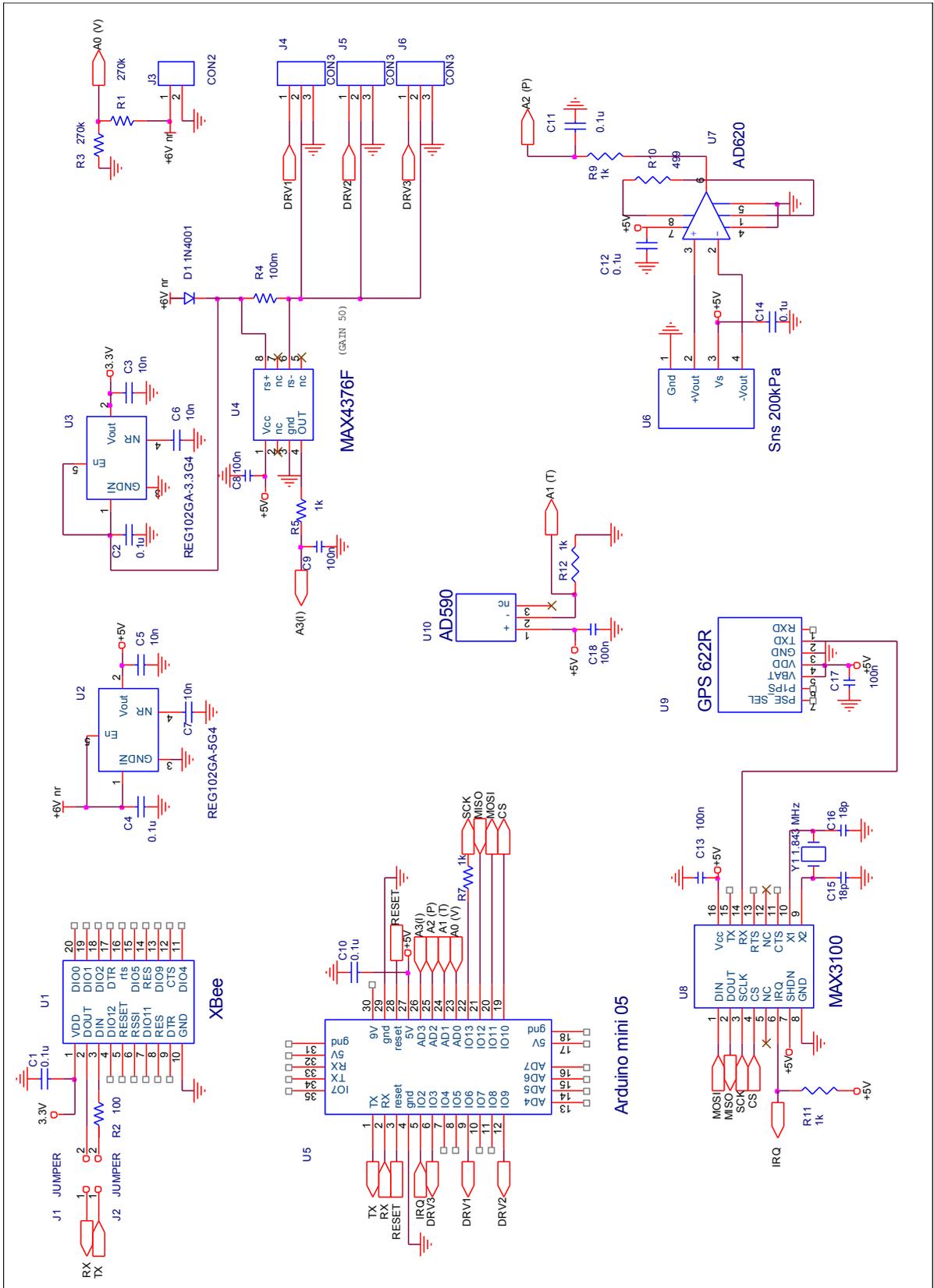
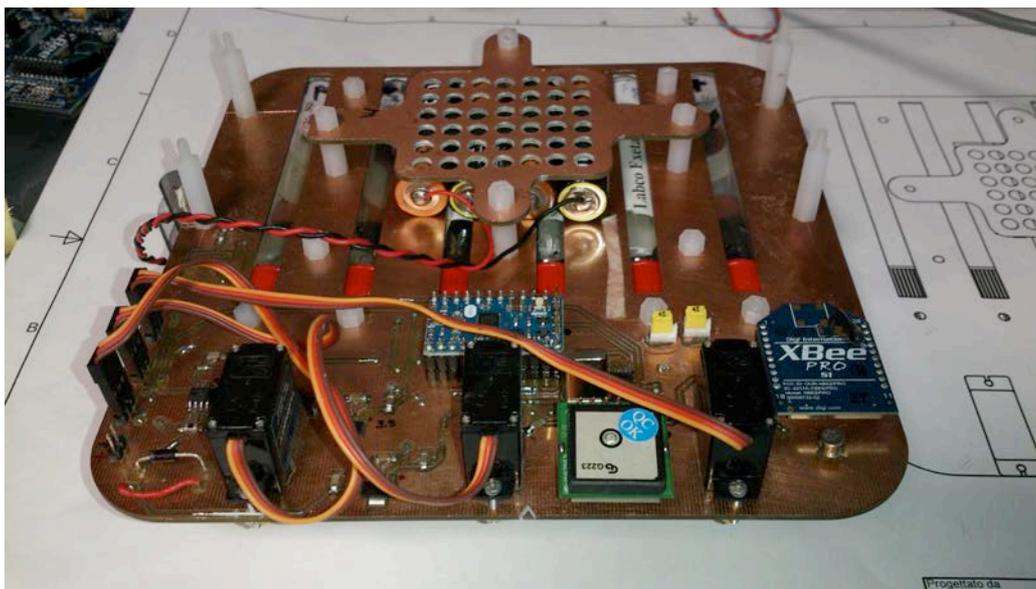
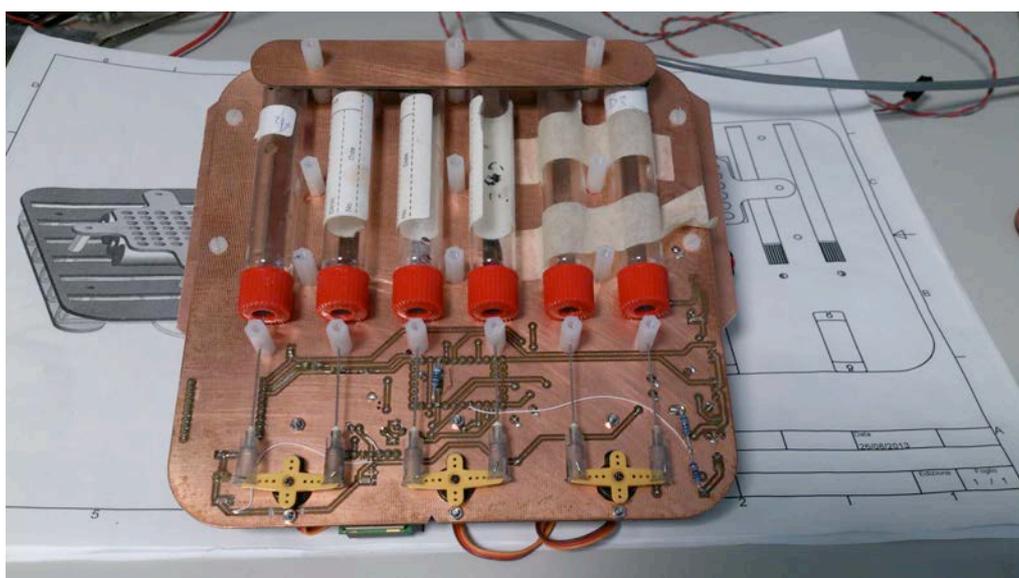


Figura 5. Schema elettrico del modulo di telemetria e campionamento del gas.



**Figura 6.** Lato componenti.



**Figura 7.** Lato bot.

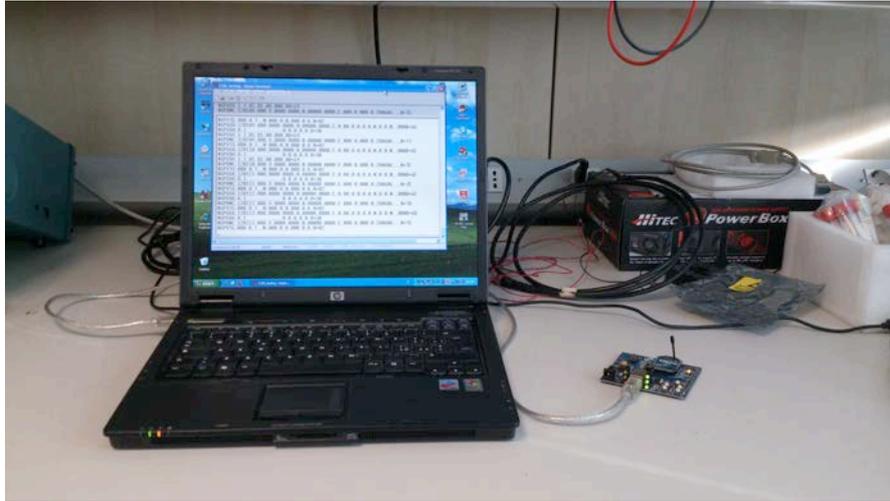
#### 4. Interfaccia software e test effettuati

Per poter comunicare dalla *ground station* con il *payload* è sufficiente poter disporre di un notebook connesso tramite una porta USB ad una scheda di sviluppo professional XBee-PRO (fig. 8).

Una volta instaurata la connessione wireless è possibile inviare comandi e ricevere i dati delle telemetrie utilizzando un comune software di comunicazione seriale di Windows come Hyper Terminal. È previsto l'invio in continuo dei dati GPS.

I comandi previsti sono:

- richiesta del valore della Temperatura;
- richiesta del valore della Pressione;
- richiesta del valore della Tensione delle batterie;
- invio comando per il campionamento del gas nella provetta n-ima (n: 1 – 6).



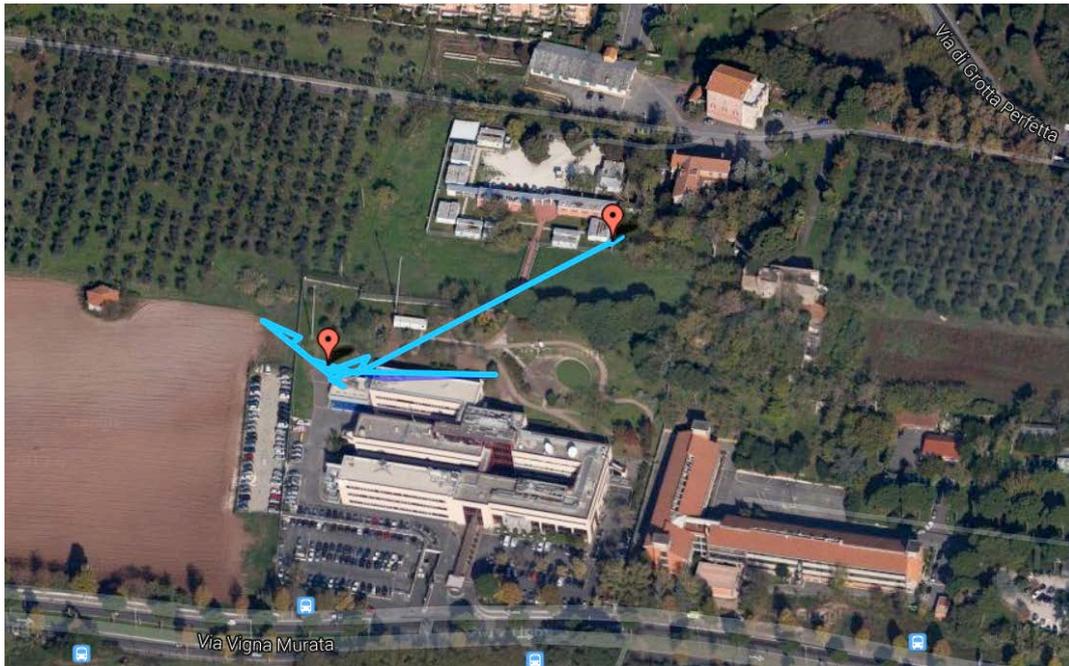
**Figura 8.** La *ground station*: un notebook connesso ad una scheda di sviluppo XBee-PRO.

Il sistema è stato testato nell'area circostante l'edificio della sede centrale di Roma dell'INGV. Nella figura 9 è visibile il drone con il payload durante un volo di prova. Il drone utilizzato, progettato ed assemblato dall'LNTS (Laboratorio Nuove Tecnologie e Strumenti) dell'INGV, ha la struttura in fibra di carbonio e riesce a sollevare *payload* fino ad 1 Kg.



**Figura 9.** Volo di prova effettuato nel cortile dell'INGV.

In figura 10 è mostrata la rotta del volo di prova, ottenuta caricando i dati GPS inviati dal payload sul sito Google Maps.



**Figura 10.** La rotta del payload nel volo di prova.

## Bibliografia

- Mazzini A., Svensen H., Akhmanov G.G., Aloisi G., Planke S., Malthe-Sorensen A. and Istadi B., (2007). *Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia*. Earth and Planetary Science Letters, 261(3-4): 375-388.
- Iarocci A., Romeo G., Mazzini A., Di Stefano G., Benedetti P., (2014). *UAV: a multidisciplinary tool to access extreme environments*. Whispers 2014 (Lausanne, Switzerland) proceedings.
- Digi (2014). *XBee-PRO datasheet* ([http://www.digi.com/pdf/ds\\_xbeemultipointmodules.pdf](http://www.digi.com/pdf/ds_xbeemultipointmodules.pdf)).
- Arduino, open-source electronics platform (2014) (<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMini>).



# Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2015 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

**<http://www.ingv.it>**



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**