

Rapporti tecnici

INGV

**Un payload per drone: misure di
temperatura in ambienti ostili**

401



Direttore Responsabile

Silvia MATTONI

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)

Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)

Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)

Mario CASTELLANO (mario.castellano@ingv.it)

Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)

Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)

Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)

Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)

Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)

Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)

Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)

Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)

Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)

Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)

Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



Rapporti tecnici INGV

UN PAYLOAD PER DRONE: MISURE DI TEMPERATURA IN AMBIENTI OSTILI

Alessandro Iarocci, Giovanni Romeo

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma1)

Come citare: Iarocci A., Romeo G., (2018). Un payload per drone: misure di temperatura in ambienti ostili. Rapp. Tec. INGV, 401: 1-20.

401

Indice

Introduzione	7
1. Descrizione del sistema	8
2. Termometri digitali	9
3. Schema elettrico	12
4. Modalità di funzionamento	12
5. Misure effettuate	14
6. Conclusioni e miglioramenti	15
Bibliografia	16

Introduzione

La modalità tipica per condurre una misura da un mezzo aereo è quella *contactless* (senza contatto). Infatti per sua natura un velivolo è predisposto all'osservazione di grandi quantità di territorio, e l'indagine ottica (non necessariamente nel visibile) è quella privilegiata. Purtroppo l'indagine ottica ha la necessità di conoscere, almeno in alcuni punti necessari per la calibrazione, la 'verità al suolo' (*ground truth*, nel linguaggio del telerilevamento). Tipicamente si raggiunge il punto in questione con mezzi di terra e si effettuano misure a contatto. Questo non è possibile in particolari circostanze, quando l'oggetto della misura non è raggiungibile con mezzi di terra o, comunque, non è raggiungibile senza mettere a rischio l'incolumità dell'operatore. Questo è particolarmente vero sulla manifestazione idrotermale LuSi (nord-est dell'isola di Giava, Indonesia) dove una fuoriuscita di fango bollente, iniziata nel 2006, ed attiva ancora oggi, ha coperto 7 km² di territorio [Mazzini et al., 2007]. I crateri di LuSi (fig. 1), interessati da temperature intorno ai 100°C, non sono raggiungibili (la parte fluida ha un raggio di circa 200 metri intorno ai crateri) e il modo più sicuro di raggiungerli è un velivolo a controllo remoto. Il laboratorio LNTS (Laboratorio Nuove Tecnologie e Strumenti) della Sezione Roma1 dell'INGV ha partecipato al progetto europeo LUSILAB fornendo un drone dotato di diversi *payloads* (letteralmente carichi utili, rappresentati dalla strumentazione installata a bordo del drone) per effettuare misure e campionamenti nei pressi dei crateri del vulcano [Di Stefano et al., 2017]. Il drone utilizzato è un velivolo esarotore, modello DJI S800 [DJI, 2012], capace di rimanere in volo stazionario fino a 16 minuti e sollevare al decollo fino a circa 2 kg di carico utile.

In particolare, attraverso una fotocamera termica ad infrarossi, installata a bordo del drone, sono stati effettuati rilievi termici in prossimità dei crateri [Di Felice et al., 2017]. Tali misure *contactless* si sono rivelate afflitte da errori provocati dal vapore acqueo presente in prossimità della superficie del vulcano. Da qui è nata l'esigenza di poter effettuare misure di temperatura a contatto al fine di poter operare le opportune correzioni delle misure effettuate tramite la tecnologia ad infrarossi.

Lo strumento descritto, nato per essere utilizzato con il verricello di cui è dotato il drone, è stato progettato per effettuare misure di temperatura a contatto, producendo la necessaria 'ground truth'.



Figura 1. Un'immagine acquisita dal drone di un cratere di LuSi.

1. Descrizione del sistema

Il sistema progettato è in grado di effettuare misure di temperatura fino a 125°C, di acquisire le coordinate geografiche del punto dove si effettua la misura (tramite un ricevitore *GPS*), e di memorizzare i dati su una memoria esterna microSD. Lo schema a blocchi del sistema è mostrato in fig. 2.

Il sistema è composto da:

- Microcontrollore;
- Ricevitore *GPS*;
- Termometri digitali;
- Memoria microSD.

Il microcontrollore utilizzato è un Arduino Pro Mini [Arduino, 2016] che si interfaccia tramite il protocollo di comunicazione 1-Wire (protocollo così chiamato in quanto consente comunicazioni bidirezionali su una sola linea dati) con due termometri digitali, modelli DS18B20 [Maxim Integrated, 2015]. Uno (*T ext*) effettuerà la misura della temperatura esterna, misurando la temperatura del fango in prossimità dei crateri del vulcano; l'altro (*T int*) misura la temperatura dell'elettronica all'interno del contenitore della sonda. I termometri digitali utilizzati garantiscono misure nell'intervallo da -55°C a +125°C.

Tramite l'interfaccia *UART* il microcontrollore riceve dal *GPS* le stringhe *NMEA* per geolocalizzare le misure effettuate.

L'archiviazione dei dati viene effettuata localmente su una memoria microSD attraverso il protocollo di comunicazione *SPI* (*Serial Peripheral Interface*). La frequenza di campionamento delle misure di temperatura è pari a 1 Hz, coincidente con quella del *GPS*.

Il sistema è dotato di un led bicolore (rosso/verde) di segnalamento: il led (*microSD OK*) acceso di colore rosso segnala che la memoria non è stata correttamente inserita nello slot o che il processo di inizializzazione della memoria microSD non è andato a buon fine; il led (*FIX OK*) intermittente di colore verde indica che il ricevitore *GPS* è agganciato ai satelliti per cui i dati provenienti dal *GPS* sono validi.

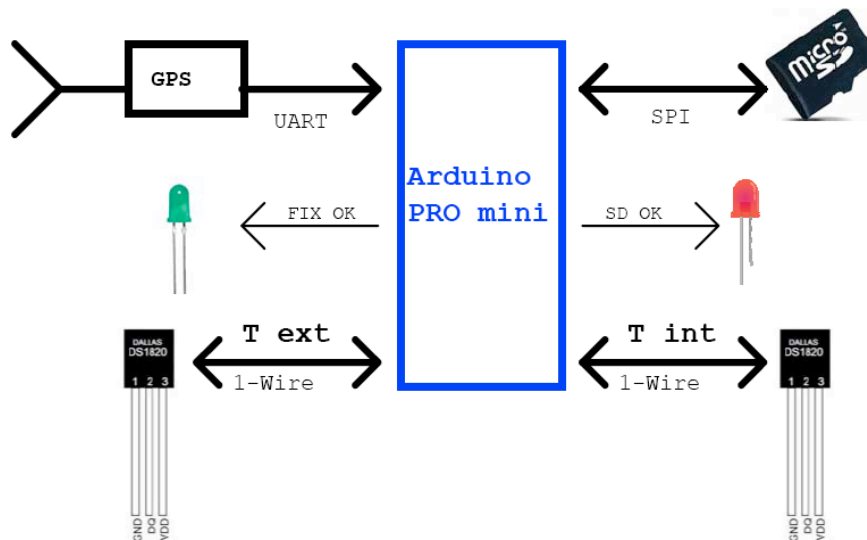
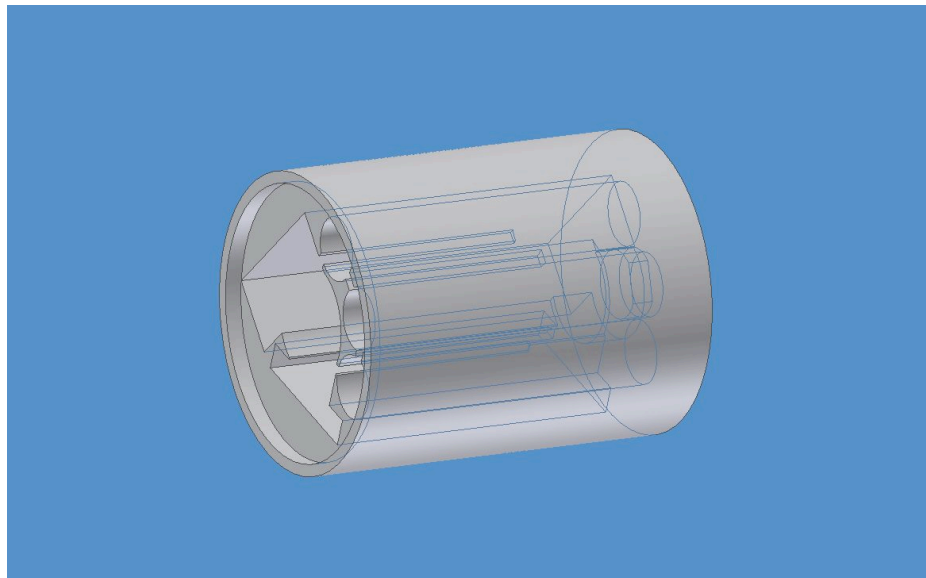
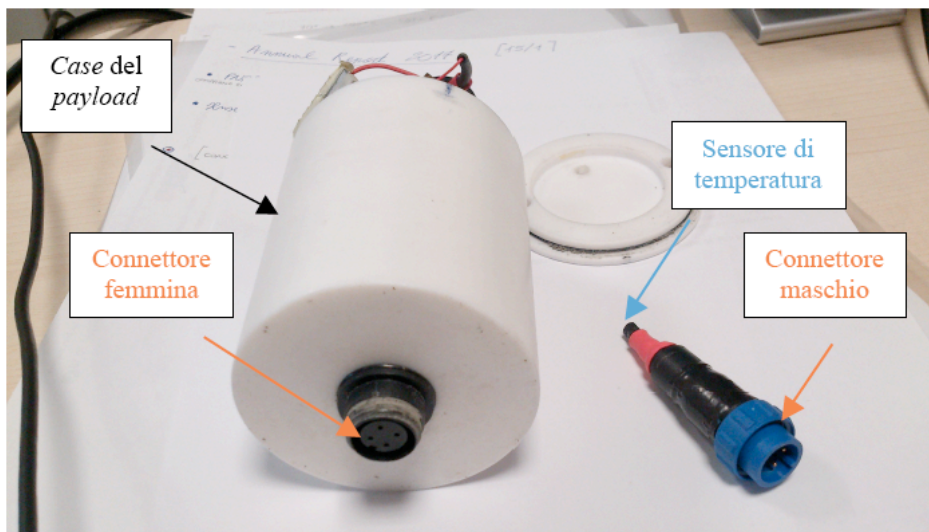


Figura 2. Schema a blocchi del payload.

Per la progettazione meccanica del contenitore dell'elettronica e delle batterie si è ricorso a software *CAD*; per la realizzazione finale in Teflon ci si è avvalsi dell'Officina meccanica della Sezione Roma1 dell'INGV. Nella fig. 3a una vista del modello 3D del contenitore, mentre nella fig. 3b una foto del contenitore ultimato, dove è visibile il connettore femmina di interfaccia presente nella parte inferiore del payload e il termometro esterno dotato di connettore maschio.



a)



b)

Figura 3. In alto la vista del modello in 3D, in basso il contenitore ultimato.

2. Termometri digitali.

Il cuore del sistema è un termometro digitale della serie 1-Wire, il DS18B20. Già utilizzato da LNTS per la costruzione di radiometri termici per uso vulcanologico, il dispositivo fornisce caratteristiche interessanti ad un prezzo abbordabile. La conversione A/D all'interno del sensore permette di trascurare i problemi del condizionamento del segnale e del trasferimento di un dato analogico. La conversione a 12 bit, su un intervallo di 180°C offre una risoluzione di 0.04°C, e tutto il sistema garantisce un'accuratezza di +/- 0.5°C nell'intervallo -10°C - +85°C.

Una misura di temperatura è una misura lenta. I fattori che influenzano la velocità nella risposta di un termometro sono la qualità dell'accoppiamento termico con il misurando e la capacità termica del sensore. Il prodotto della resistenza termica di accoppiamento per la capacità termica del sensore rappresentano la costate di tempo dello stesso, τ .

La legge con la quale il sensore termalizza quando posto in contatto con una sorgente ad una temperatura T_0 è:

$$T(t) = T_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1)$$

ovvero la tipica legge di accrescimento verso un asintoto di molti fenomeni naturali, come la velocità di caduta in un mezzo o la carica di un condensatore. La (1) ha un asintoto orizzontale, $T(t)|_{t \rightarrow \infty} = T_0$, che è la temperatura che dobbiamo misurare; in definitiva, la termalizzazione (la misura) avviene in un tempo infinito. È un po' lungo per un drone in *hovering*, che deve effettuare più misure nell'esiguo tempo messo a disposizione dalle batterie. La (1) può convenientemente essere utilizzata per estrapolare la temperatura all'asintoto utilizzando pochi campioni, garantendo una buona misura in un tempo ridotto.

In realtà l'accoppiamento del termometro potrebbe non essere schematizzabile con un unico elemento di accoppiamento (ovvero fango/plastica + plastica/sensore), in tal caso la funzione di trasferimento della temperatura potrebbe essere assimilata a due filtri passa basso in serie, ovvero:

$$\frac{1}{s+a} \cdot \frac{1}{s+b}$$

La cui antitrasformata di Laplace è:

$$-\frac{e^{-a \cdot t} - e^{-b \cdot t}}{a - b}$$

Quindi per estrapolare la temperatura all'asintoto si può utilizzare il seguente modello per il *fit*:

$$y = y_0 + A_1 e^{-\frac{x}{t1}} + A_2 e^{-\frac{x}{t2}} \quad (y_0, A_1, t1, A_2, t2 \text{ coefficienti}) \quad (2)$$

Tale modello applicato a una delle misure effettuate in prossimità del cratere (curva C in fig. 4) produce il risultato mostrato in fig. 4.

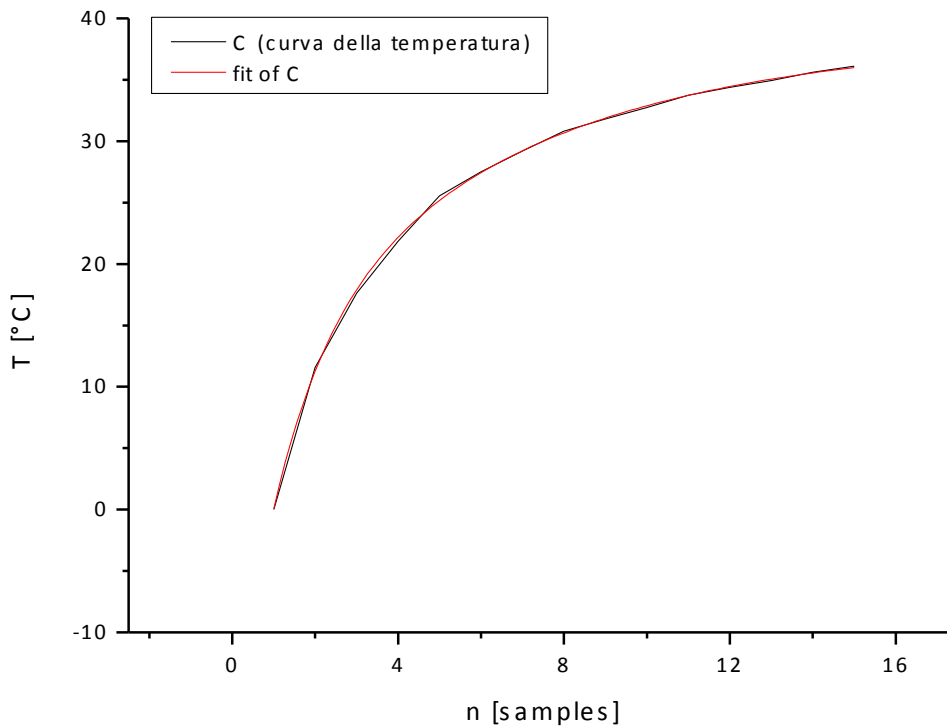


Figura 4. Andamento della temperatura e *fit* di una misura effettuata su Lusi. C: curva della temperatura misurata in prossimità di uno dei crateri. fit of C: *fit* del modello rappresentato dall'equazione (2) della curva C.

Nella fig. 4 viene riportato l'andamento di una misura di temperatura effettuata su Lusi (curva C) e il relativo *fit* del modello. Vengono considerati i primi dieci punti dell'acquisizione. La frequenza di campionamento delle misure è pari a 1 Hz. Il *fit* è stato effettuato usando il modello rappresentato dall'equazione (2). Nel grafico va tenuto conto che all'andamento della temperatura è stato sottratto un offset termico T_0 (nel caso specifico pari a $33,69^\circ\text{C}$) per potere eseguire il *fit*.

I valori dei coefficienti dell'equazione del modello risultano:

$$\begin{aligned}
 y_0 &= 35,05 \text{ (a cui va aggiunto l'offset termico } T_0 = 33,69^\circ\text{C)} \\
 A_1 &= -40,06 \\
 t_1 &= 3,57 \\
 A_2 &= -36,28 \\
 t_2 &= 0,49
 \end{aligned}$$

Lo stesso termometro 1-Wire è stato confrontato con una Pt100 (una resistenza di platino che offre 100 Ohm a 0°C) acquisendo la temperatura ambiente (un intervallo di 6 gradi) per un giorno. È stato verificato che una correzione lineare permette ai due termometri di allinearsi entro 0.06°C , poco al di sopra della risoluzione minima, mentre una correzione temporale migliora grandemente questo errore. Il termometro di riferimento Pt100 ha una capacità termica maggiore di quella del termometro 1-Wire, che risulta più responsivo: quindi si è scelto di operare numericamente un rallentamento su quest'ultimo. La fig. 5 mostra i risultati dell'allineamento temporale, operando semplicemente un ritardo nei dati del termometro 1-Wire, o applicando un filtro passa-basso IIR ad un polo, realizzato con la formula:

$$T_{n+1} = T_{n-1} + e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} (T_n - T_{n-1})$$

dove τ è la costante di tempo dello strumento e Δt il periodo di campionamento.

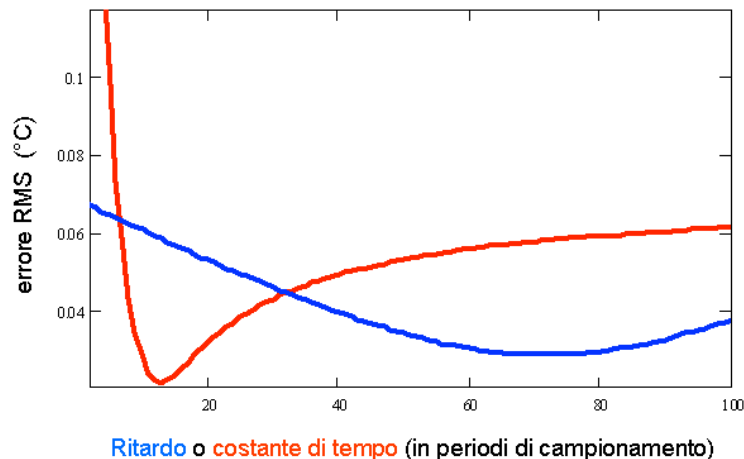


Figura 5. Il grafico mostra l'errore RMS tra una Pt100 di riferimento ed un termometro 1-Wire. La curva blu indica il risultato ottenuto dalla semplice introduzione di un ritardo nei dati del termometro 1-Wire, ovvero, assunto come riferimento il valore letto con la Pt100, la curva della temperatura letta dal DS18B20 è stata scalata temporalmente di un valore variabile (espresso in numero di campioni). In rosso la curva dell'errore RMS ottenuta applicando un filtro passa-basso ad un polo alla curva del termometro 1-Wire. In ascisse il numero di intervalli temporali di campionamento utilizzati per ritardare il segnale (curva blu) o come costante di tempo del filtro (curva rossa).

Il risultato che si ottiene in questo caso mostra un allineamento dei due sensori migliore della risoluzione garantita dal termometro 1-Wire. Questo non deve stupire perché il rumore intrinseco nelle misure ed il filtraggio temporale operano un processo di *dithering* (iniezione di rumore analogico e filtraggio digitale) aumentando la risoluzione a scapito della banda passante. Un'altra cosa che non deve stupire è il miglior funzionamento del filtro passa-basso rispetto ad un semplice ritardo temporale: la (1), che indica la

risposta del termometro ad un gradino di temperatura, è anche la risposta temporale al gradino di un filtro passa-basso ad un polo. In definitiva il termometro è, per la temperatura misurata, un filtro passa basso ad un polo.

3. Schema elettrico

Il sistema (schema elettrico in fig. 6) è alimentato da tre batterie ricaricabili del tipo stilo, ciascuna da 1.5V. Le tre batterie sono connesse in serie per avere una tensione di ingresso sul connettore J8 di circa 4.5V (batterie cariche).

Il regolatore U3 riceve in ingresso tale tensione e fornisce in uscita una tensione regolata di 3.3V che andrà ad alimentare tutti i dispositivi presenti sulla scheda.

Il microcontrollore U11 riceve i dati dal *GPS* tramite la porta *UART* (pin 1-TX, pin 2-RX). Il *GPS* a sua volta riceve in ingresso il segnale dell'antenna collegata al connettore J4.

Il software sviluppato per il microcontrollore effettua il log solamente della stringa *RMC* (*Recommended Minimum sentence C*) al fine di minimizzare lo spazio occupato sulla memoria microSD. Tale stringa è costituita da tredici campi: *UTC time, Status, Latitude, N/S indicator, longitude, E/W indicator, Speed over ground, Course over ground, UTC Date, Magnetic variation, Mode indicator, checksum*. Viene effettuato il controllo del secondo campo (*Status*): se è presente il carattere "A" (Active) vuol dire che il ricevitore si è agganciato ai satelliti e quindi i dati ricevuti sono validi, il microcontrollore quindi segnalerà il *fix* facendo lampeggiare ad intermittenza il led verde D2 presente nel circuito. In caso contrario il carattere ricevuto sarà "V" (Void) che indica il mancato aggancio dei satelliti, segnalato dal led verde D2 acceso in modo continuo.

Le porte digitali del microcontrollore da I/O10 fino a I/O13 sono configurate per il protocollo *SPI* per consentire le operazioni di lettura/scrittura sulla memoria microSD (U10). In particolare:

- La porta I/O10 è il *Chip Select (CS)*, e fornisce un segnale per l'attivazione di U10;
- La porta I/O11 è il *Master Output Slave Input (MOSI)* e consente la scrittura dei dati sulla memoria microSD;
- La porta I/O12 è il *Master Input Slave Output (MISO)* e consente la lettura dei dati dalla memoria microSD;
- La porta I/O13 è la linea dedicata al *clock* seriale (*SCLK*) durante le comunicazioni.

Il software caricato sul microcontrollore, ad ogni accensione durante le operazioni di *set-up*, effettua una procedura per l'inizializzazione della memoria microSD. Se tale procedura non va a buon fine il led rosso D1 si accenderà per segnalare l'anomalia.

I termometri digitali U8 e U9 sono dotati di tre terminali: massa (pin 1-GND), linea digitale per le comunicazioni (pin 2-DQ) e alimentazione (pin 3-Vdd); come detto sono dotati dello standard *1-Wire*, ciò consente al microcontrollore di dedicare solamente due linee, la porta I/O5 (DQ1) e la porta I/O6 (DQ2), per interrogare i sensori e ricevere le misure di temperatura digitalizzate.

4. Modalità di funzionamento

Il sistema è in grado di funzionare in due modalità: 1) Modalità Acquisizione; 2) Modalità Scaricamento Dati. La modalità di funzionamento dipende da cosa viene connesso al connettore JR1 (al centro della fig. 6 di tipo femmina, presente sul *case* del *payload*).

Nella Modalità Acquisizione viene connesso al sistema il termometro digitale U8, attraverso l'inserimento del connettore JP1 di tipo maschio su JR1 secondo i collegamenti illustrati nella fig. 7. In tale modalità nel terminale 1 di JR1 è presente la linea di comunicazione per il protocollo *1-Wire*, mentre nel terminale 3 di JR1 (*Vdd*) è presente la tensione delle batterie che va ad alimentare U8.

Il ponticello realizzato tra il pin 2 e il pin 4 di JP1 (lo stesso si vedrà per JP2) fa sì che solamente all'inserimento del connettore JP1 su JR1 il sistema venga alimentato, ovvero quando il polo negativo della batteria (*Batt-*) viene connesso alla massa del sistema.

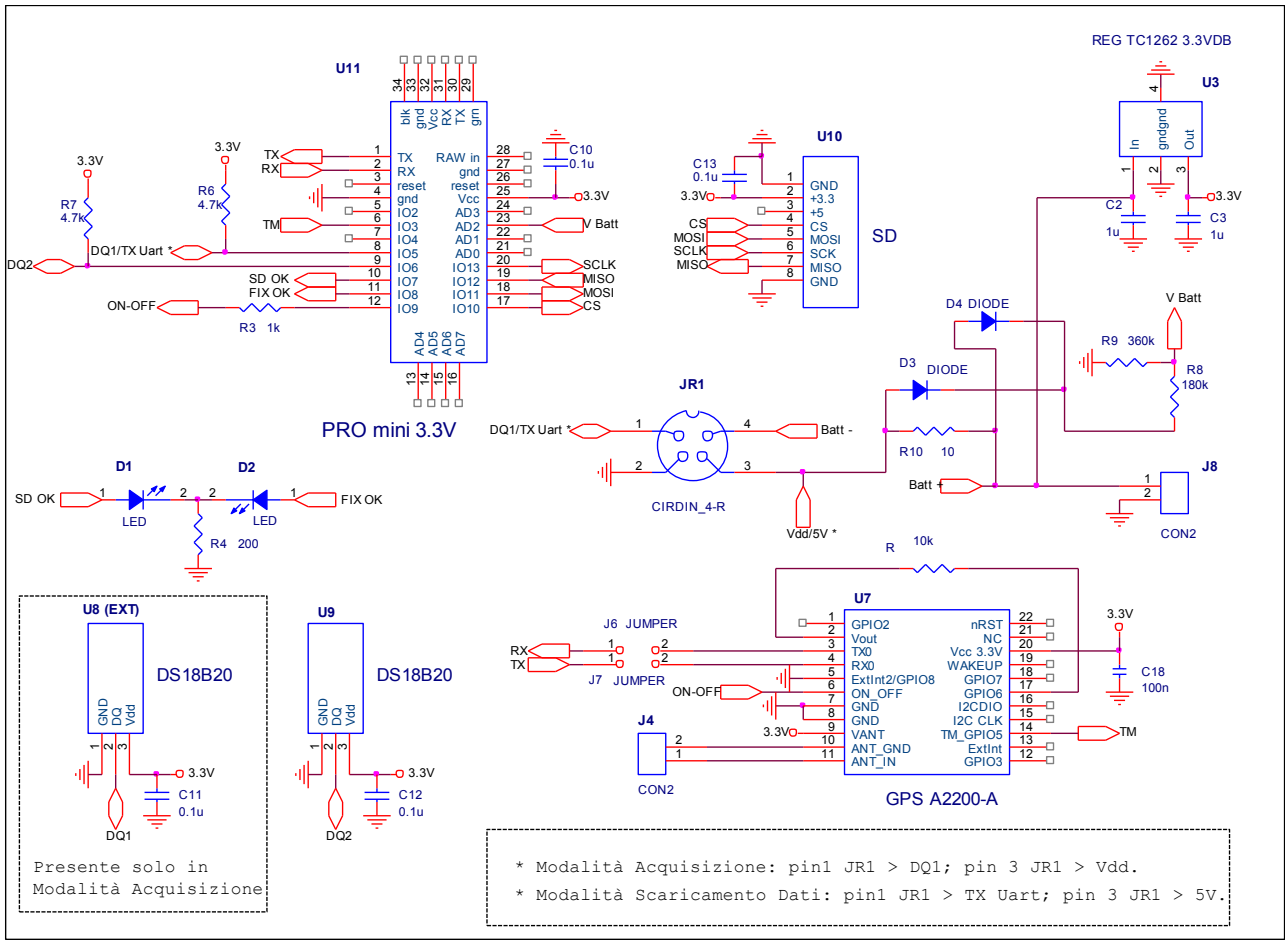


Figura 6. Schema elettrico del sistema.

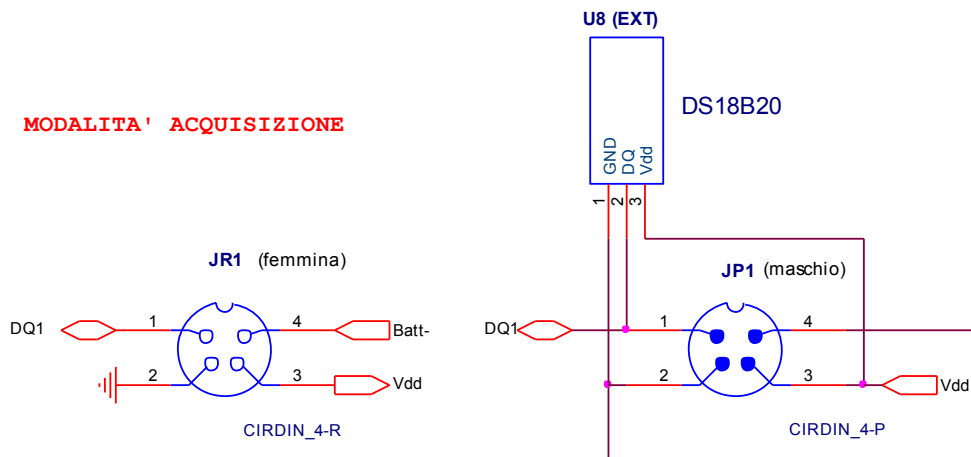


Figura 7. Connettori e relative connessioni nella Modalità Acquisizione. Il connettore JR1 di tipo femmina è montato sul case del payload; JP1 è il connettore maschio che consente di connettere il sensore di temperatura esterno U8 al payload.

Nella Modalità Scaricamento Dati viene connesso al sistema, attraverso l'inserimento del connettore JP2 di tipo maschio su JR1, un qualunque dispositivo dotato sia di interfaccia seriale *UART* tale da consentire la connessione al payload, sia di porta USB per la comunicazione con un PC, mediante il quale effettuare e visualizzare lo scaricamento dei dati (fig. 8). Il suddetto dispositivo, come mostrato in figura, può essere un semplice Arduino Uno. In tale modalità nel terminale 1 di JR1 è presente una linea seriale *TX*, attraverso la quale il microcontrollore U11 trasmette il flusso dei dati di misura. Ciò è reso possibile grazie alla possibilità software di configurare, durante tale modalità di funzionamento, la porta IO5 di U11 come porta seriale (*Software UART*).

In questa configurazione il terminale 3 di JR1 riceve una tensione di alimentazione di 5V che consente la ricarica delle batterie durante le operazioni di scaricamento dei dati.

In fig. 6 è mostrata la soluzione circuitale adottata per segnalare al sistema in quale delle due modalità di funzionamento deve operare. Sono stati inseriti i diodi D3 e D4 e realizzato un partitore di tensione mediante le resistenze R8 e R9. Il microcontrollore (U11) procede alla lettura di V_{batt} mediante la porta *AD2*. Se la tensione rilevata è prossima a 4.3V (va tenuto comunque conto della caduta del diodo di circa 0.7V) entra in Modalità Scaricamento Dati, viceversa per una tensione minore o uguale a 3.8V (tensione sulle batterie meno caduta del diodo) entra in Modalità Acquisizione.

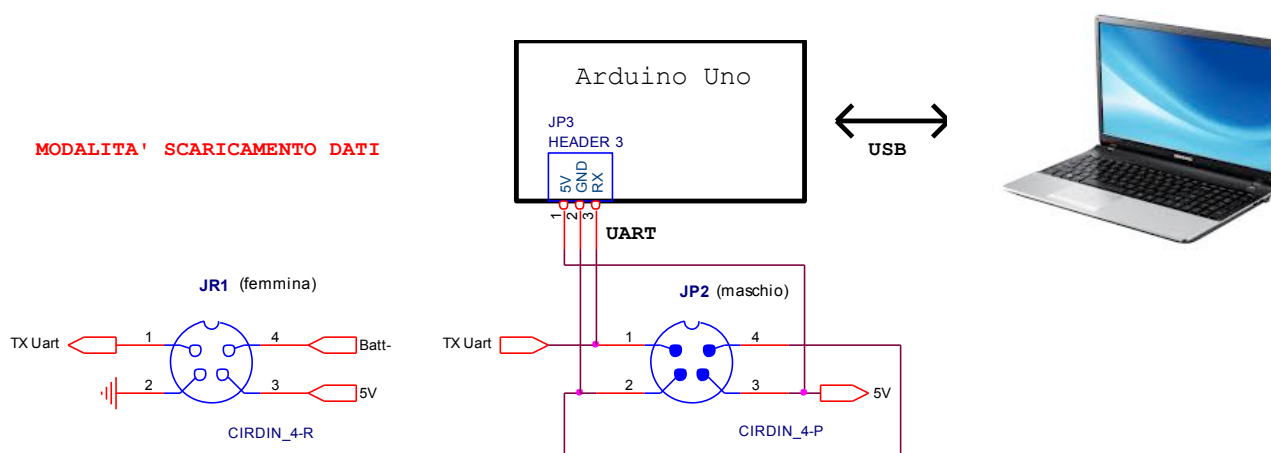


Figura 8. Connettori e relative connessioni nella Modalità Scaricamento Dati. Attraverso il connettore JP2 di tipo maschio è possibile connettere dispositivi esterni (es. Arduino Uno) dotati di interfaccia seriale *UART*, per la connessione al payload, e di porta USB per effettuare e visualizzare lo scaricamento dei dati attraverso un PC.

5. Misure effettuate

Il payload è stato utilizzato nella campagna di misura svoltasi nel marzo 2017 sul vulcano Lusi. Come accennato nell'introduzione il payload è stato agganciato al verricello di cui è dotato il drone. Una volta raggiunti i punti di misura in prossimità dei crateri, è stato azionato il verricello calando il payload a terra fino all'immersione nel miscuglio di acqua e fango presente.

Vengono di seguito mostrati i risultati ottenuti da due missioni, della durata di circa 10 minuti ciascuna, effettuate dal drone nella mattina del 27 marzo 2017 (fig. 9). Per ogni misura vengono forniti i grafici della temperatura acquisita e la schermata di Google Maps con indicata la traiettoria eseguita dal drone nella missione e i punti in cui si è misurata la massima temperatura.

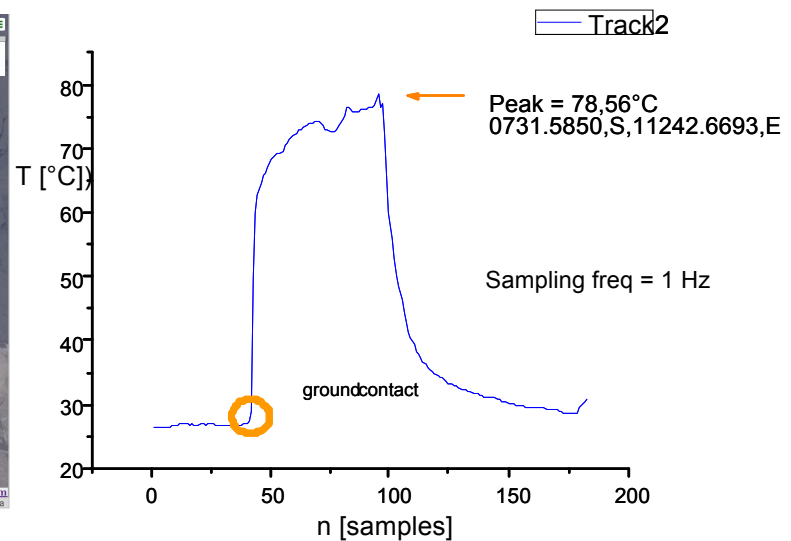
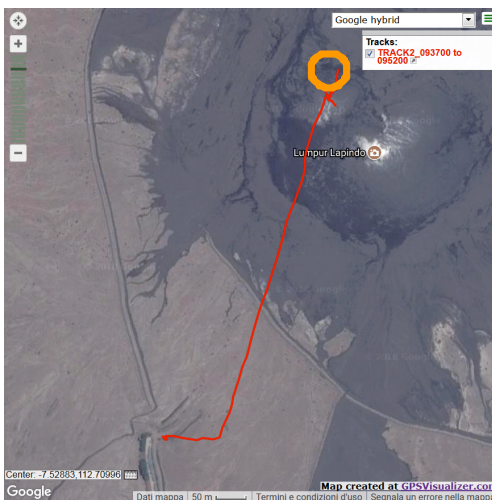
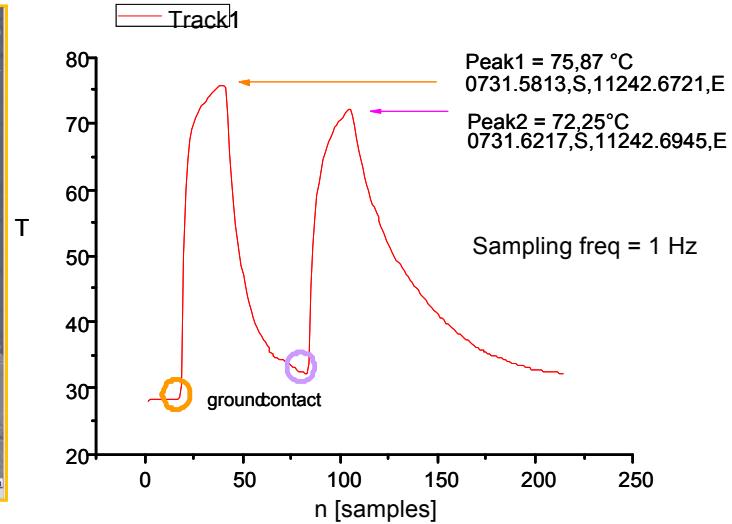
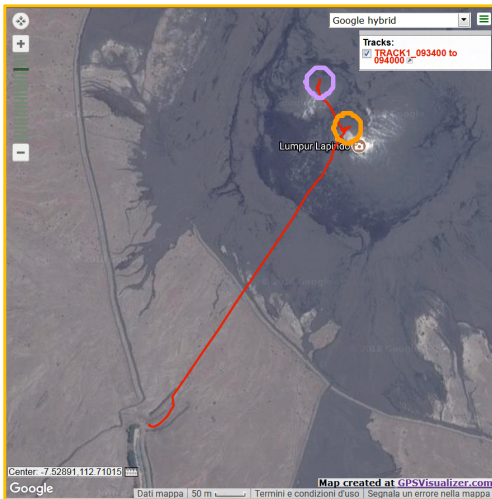


Figura 9. Le due missioni effettuate per la misura della temperatura al suolo. A sinistra appaiono le mappe con la traccia delle misure GPS, a destra invece gli andamenti della temperatura durante la misura. I cerchi colorati indicano, sulla mappa i punti in cui è stata misurata la massima temperatura, sul grafico gli istanti in cui è avvenuto il contatto della sonda col fango.

Nella prima missione si è riusciti ad effettuare due misure, mentre nella seconda solamente una. L'andamento discontinuo della curva relativa alla misura della temperatura effettuata durante la seconda missione può essere attribuito ad un cattivo atterraggio della sonda.

6. Conclusioni e miglioramenti.

Il sensore di temperatura presentato, in congiunzione con il verricello, ha mostrato di essere un sistema agile per misure multiple di temperatura a contatto al suolo utilizzando un drone. La presenza del *GPS* a bordo, indipendente da quello del drone, permette la semplice geolocalizzazione delle misure, a differenza di quanto si fa solitamente associando le misure ai waypoint predisposti sull'autopilota del velivolo. In caso di volo manuale (il pilota può scegliere visivamente il percorso ed il punto di misura) la geolocalizzazione indipendente è essenziale perché evita il riesame del *log* del volo alla ricerca del punto di misura.

La tecnica di estrapolazione della temperatura permette di accorciare il tempo di contatto del termometro senza attenderne la termalizzazione, aumentando così il numero di campionamenti per volo.

L'uso della sonda sul campo ha fatto emergere alcuni possibili miglioramenti. La scatola, costruita frettolosamente da un blocco di teflon massiccio è pesante (circa 330 g), ed un alleggerimento potrebbe aumentare l'autonomia di volo di qualche misura. Inoltre, l'autonomia del *payload*, che ha richiesto ricariche frequenti durante la campagna di misura, potrebbe essere accresciuta aggiungendo un altro elemento NiMH.

Bibliografia

- Arduino, open-source electronics platform (2016) (<https://store.arduino.cc/arduino-pro-mini>).
- Di Felice F., Mazzini A., Romeo G., and Di Stefano G., (2017). *Drone high resolution infrared imaging of the Lusi mud eruption*. Marine and Petroleum Geology. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.10.025>.
- Di Stefano G., Romeo G., Mazzini A., Iarocci A., Hadi S., Pelphrey S., (2017). *The Lusi drone: A multidisciplinary tool to access extreme environments*. Marine and Petroleum Geology xxx 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.07.006>
- DJI s800 specs (2012) (<https://www.dji.com/spreading-wings-s800/spec>)
- Maxim Integrated DS18B20 *datasheet* (2015) (<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.07.001>.

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html>

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/it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html>

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/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html>

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

© 2018 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