

RAPPORTI TECNICI INGV

Elettronica ed elementi hardware
impiegati nel sistema intelligente
multi-sensore per la rilevazione e il
monitoraggio della cenere vulcanica
attraverso il processamento
delle immagini



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

433

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

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)

Redazione e Produzione editoriale

Francesca DI STEFANO - Coordinatore
Rossella CELI
Robert MIGLIAZZA
Barbara ANGIONI
Massimiliano CASCONI
Patrizia PANTANI

segreteria.collane-editoriali@ingv.it

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale
di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

RAPPORTI TECNICI INGV

Elettronica ed elementi hardware impiegati nel sistema intelligente multi-sensore per la rilevazione e il monitoraggio della cenere vulcanica attraverso il processamento delle immagini

Electronics and hardware components used in the intelligent multi-sensor system for the detection and monitoring of volcanic ash through the images processing

Giuseppe Suriani, Placido Montalto, Carmelo Cassisi, Daniele Andronico, Luigi Lodato, Emilio Biale, Salvatore Mangiagli

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania – Osservatorio Etneo

Accettato 7 febbraio 2021 | Accepted 7 February 2021

Come citare | How to cite Suriani G. et al., (2021). Elettronica ed elementi hardware impiegati nel sistema intelligente multi-sensore per la rilevazione e il monitoraggio della cenere vulcanica attraverso il processamento delle immagini. Rapp. Tec. INGV, 433: 1-48, <https://doi.org/10.13127/rpt/433>

In copertina Elaborazione di immagini relative a particelle di cenere vulcanica | Cover Image processing of volcanic ash particles

433

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	7
Introduzione	8
1. Obiettivi e requisiti di progetto	9
1.1 Schemi di principio	11
1.1.1 Rete di alto livello	11
1.1.2 Rete costituita dalla singola stazione	12
2. Single Board Computer (SBC)	14
2.1 Raspberry Pi	17
2.1.1 Raspberry Pi 4 Modello B: il cuore computazionale del sistema	17
2.2 Acquisizione dei dati con Raspberry Pi 4 Modello B	19
2.2.1 UART Serial Bus	20
2.2.2 I ² C Bus	20
2.2.3 SPI Bus	20
2.2.4 MIPI CSI e MIPI DSI	21
2.3 Acquisizione ed elaborazione delle immagini con Raspberry Pi 4 Modello B	22
2.3.1 Acquisizione immagini con Raspberry Pi Camera Module v2	22
2.3.2 Elaborazione immagini con Python	24
3. Sistema di archiviazione dei dati	29
3.1 Il web service del TSDSystem	29
3.2 Esempio di interfacciamento al web service	30
4. Principali elementi hardware impiegati nel sistema e loro funzione	32
4.1 Servo motore per la movimentazione del piatto di raccolta	32
4.2 Strip LED IP65 5V	33
4.3 Moduli relè 5V	34
4.4 Sensore di pioggia	35
4.5 Elementi hardware secondari	36
5. Dispositivi di networking	37
5.1 Router industriale compatto	37
5.2 Utilizzo della scheda di espansione per Raspberry Pi “SIM7600X 4G”	38
6. Analisi del consumo energetico	41
7. Prossimi sviluppi e considerazioni finali	42
Ringraziamenti	43
Bibliografia	43
Sitografia	44

Riassunto

Nell'ambito del progetto Ash-RESILIENCE, si è sviluppato un sistema innovativo, a basso costo, basso consumo energetico e di piccole dimensioni per il rilevamento e il monitoraggio della cenere vulcanica in aree sensibili, per gestire in tempo reale le informazioni e le segnalazioni generate da eventi di caduta di cenere vulcanica. L'obiettivo è quello di registrare, elaborare e condividere i dati acquisiti per monitorare le aree colpite da eventi di questo tipo. I dati raccolti saranno trasmessi collegando le stazioni direttamente al centro acquisizione dati dell'INGV-OE, in modalità *wireless*.

Per ottenere un sistema performante senza influenzare i costi e le sue dimensioni, si è scelto di utilizzare una soluzione che impiega un "Single Board Computer", come il Raspberry Pi.

Le principali sfide affrontate sono state:

- minimizzazione della complessità del sistema attraverso l'impiego di un numero minimo di sensori e parti meccaniche per una contemporanea massimizzazione dell'affidabilità;
- sviluppo di soluzioni software innovative, utilizzando potenti strumenti open source per l'elaborazione delle immagini.

Per conseguire tali obiettivi è stato sviluppato un algoritmo per il monitoraggio dei dati acquisiti con l'obiettivo di inviare dei messaggi di alert quando la quantità di cenere supera un valore di interesse predefinito.

Per perseguire tale obiettivo, sono state implementate procedure basate principalmente sull'elaborazione delle immagini dove i pixel sono divisi in due classi: sfondo (superficie di raccolta bianca) e primo piano (particelle di cenere scura). Sulla base della divisione in classi, viene individuata una soglia adattativa rispetto all'immagine originaria al fine di effettuare la binarizzazione della stessa e ottenere informazioni affidabili per la misura della quantità di cenere grazie all'utilizzo di una fotocamera compatta, *Full HD* e a basso costo.

Il prossimo obiettivo sarà integrare nell'algoritmo l'innovativo metodo «*Pixel Digital Weight*», da noi concepito, per stimare con elevata precisione il peso della cenere senza l'impiego di sofisticate bilance e sensori, ma esclusivamente per mezzo dell'elaborazione delle immagini.

Abstract

Within the framework of Ash-RESILIENCE, we are performing an innovative and extremely low cost, low energy consumption and small size wireless electronic multi-sensor system for the detection and monitoring of volcanic ash in sensitive areas, in order to manage information and alerts caused by ash fallout in real time. We want to implement a Wireless Systems Network in order to record, process and share data acquired to monitor areas affected by ash fallout. Collected data will be available through remote access connecting the systems directly to the acquisition center at INGV-OE.

To obtain an embedded device with appropriate computational power without influencing system costs and dimensions, we employed a "Single Board Computer", such as Raspberry Pi.

The main challenges are:

- *decreasing the overall complexity of the system using fewer sensors and mechanics to maximize reliability;*
- *promoting innovative software solutions, using powerful open source image processing tools.*

We developed an algorithm for ash detection to receive alerts and monitoring data when the ash amount in the ground exceeds a pre-specified value of interest.

From this point of view, to detect volcanic ash we used an image processing approach, which represents the central aspect of the system. To distinguish images pixels into two classes data,

background (white collecting surface) and foreground (dark ash particles), we determine an automatic adaptive image threshold to carry out the binarization of images to get dependable information for the measure of the ash quantity starting with the ash particles pictures acquired by a visible, small size, low cost Full HD camera.

The next goal will be integrating into the algorithm the innovative method "Pixel Digital Weight" we conceived, to accurately measure the ash weight, which does not require sophisticated scales and sensors, but only by means of the image processing.

Keywords Cenere vulcanica; Sistema elettronico; Monitoraggio | Volcanic ash; Electronic system; Monitoring

Introduzione

Oggetto del presente rapporto tecnico è la descrizione dettagliata dello sviluppo e realizzazione di un "sistema elettronico multi-sensore, robusto e affidabile, con capacità di comunicazione wireless per il rilevamento e il monitoraggio con elevata accuratezza di eventi relativi alla caduta al suolo di cenere vulcanica", denominato "De.Mo.ASH" (Figura 1).

Figura 1 Logo del sistema sviluppato, acronimo di "DEtection and MONitoring of volcanic ASH", in cui si sono voluti porre in rilievo grafico i due principali aspetti di maggior conto relativi allo sviluppo: cenere vulcanica e pixels (alla base del processamento di immagini) enfatizzati da diverse tonalità di colore.



Figure 1 Logo of the system, acronym of "DEtection and MONitoring of volcanic ASH", in which the two main aspects related to the development were highlighted: volcanic ash and pixels (behind the image processing) with different shades of color.

L'attività relativa allo sviluppo del sistema rientra all'interno del progetto "RESearch Infrastructure for volCanic ash hazard assessment to aviation and communitiEs living Near Italian active volCanoEs" (Ash-RESILIENCE), finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca" (MIUR). Il principale obiettivo del progetto Ash-RESILIENCE è di rafforzare la capacità di resilienza nei confronti di eventi di immissione in atmosfera e caduta della cenere al suolo di due tra i più importanti territori italiani in cui sono presenti vulcani attivi (Etna e Vesuvio), che si trovano all'interno di trafficati spazi aerei dovuti alla vicinanza di importanti aeroporti civili e militari (Vincenzo Bellini, Capodichino, Sigonella) e di due grandi aree metropolitane densamente abitate: Catania e Napoli. Gli eventi di immissione in atmosfera e caduta della cenere al suolo possono generare drammatici problemi correlati alla ordinaria gestione delle operazioni aeroportuali e alla mobilità stradale, oltre ad avere serie ripercussioni sull'agricoltura [Craig et al., 2015] sulla vita e salute delle persone [Barsotti and Andronico et al., 2010] e creare ingenti danni a molte infrastrutture come quella elettrica ed idrica [Wilson et al., 2011]. Ecco perché Ash-RESILIENCE si propone di sviluppare e fornire strumenti tecnologici e computazionali innovativi e all'avanguardia per la gestione di eventi critici correlati

alla cenere vulcanica, ed è esattamente in quest'ottica che si inserisce l'innovativo sistema De.Mo.ASH, il quale sarà adattabile a tutti i territori del globo in cui sono presenti vulcani attivi. Tra gli obiettivi primari di tale sistema è presente la volontà di implementare un nuovo modello "multi-purpose", semplice e a bassissimo costo, da utilizzare come uno strumento base e versatile per lo sviluppo di sistemi di varia natura per differenti tipologie di progetti, come ad esempio:

- acquisizione dati;
- monitoraggio e/o rilevazione di particolari eventi e/o grandezze fisico-chimiche;
- comunicazione affidabile dei dati da remoto.

L'immissione della cenere in atmosfera e la sua caduta al suolo, da parte dei vulcani attivi presenti sul nostro pianeta, rappresentano, come sopra accennato, problematici eventi da prevedere, monitorare e rilevare per minimizzare l'impatto distruttivo che possono avere sulle infrastrutture e sulla vita giornaliera della popolazione. Differenti soluzioni per il monitoraggio, la rilevazione e la misura della cenere vulcanica vengono ampiamente studiate e ricercate dalla comunità scientifica per offrire concrete risposte alla migliore gestione di eventi che necessitano di un pronto intervento e di comunicazione in tempo reale. Da questa prospettiva, le soluzioni sono variegata e spesso affidabili, ma la gran parte di queste risultano ingombranti e/o molto costose, in quanto impiegano al loro interno elettronica e sensoristica molto raffinata e complessa, equipaggiando per esempio radar per uso meteorologico e satelliti artificiali [Marzano et al. 2006; Pergola et al., 2004; Corradini et al., 2016] o strumentazione con meccanica soggetta a frequente usura e guasti, che si basa principalmente su effetti fisici di natura elettromagnetica e ottica. Ad oggi, in letteratura, sono pochissimi i tentativi di realizzare dispositivi compatti e a basso costo per il monitoraggio di eventi legati alla caduta della cenere vulcanica [Andò et al., 2013], ma spesso tali tentativi si concentrano solo su un particolare aspetto, limitando la loro versatilità e costringendo il loro utilizzo in associazione ad altri strumenti, aumentando inesorabilmente i costi e la complessità del sistema finale.

Il sistema De.Mo.ASH si prefigge di superare i limiti presentati all'interno del panorama descritto in precedenza e di sviluppare un sistema intelligente rispondente ai seguenti requisiti:

- completo;
- semplice;
- versatile;
- robusto;
- compatto;
- leggero;
- a basso costo.

Il rispetto delle sopra elencate specifiche, permette lo sviluppo di un sistema facilmente trasportabile e installabile, possibilità di collocare un numero considerevole di stazioni in breve tempo, così da costituire un'affidabile rete di comunicazione *wireless* che invia informazioni in tempo reale per il monitoraggio, rilevazione e misurazione della cenere vulcanica.

1. Obiettivi e requisiti di progetto

Lo sviluppo del sistema De.Mo.ASH è parte integrante del Work Package n.4 (WP4) del progetto Ash-RESILIENCE. In generale il WP4 si prefigge di sviluppare strumenti di tecnologie d'informazione e comunicazione (ITC) per il *data-mining* e condividere le *best practice* per la gestione delle emergenze causate da caduta di tefra e dalla rimobilizzazione delle ceneri vulcaniche nelle aree urbane e metropolitane.

Lo sviluppo di tecnologie ITC dedicate, potrebbe migliorare le procedure per gestire le emergenze vulcaniche, ad esempio avvisando di pericoli imminenti i cittadini che vivono nelle aree metropolitane. In Ash-RESILIENCE, per la prima volta sull'Etna e poi sui vulcani dell'area napoletana, saranno sviluppati servizi integrati e intelligenti basati su tecnologie ITC per l'acquisizione, la gestione e la condivisione dei dati, in particolare per gli obiettivi del progetto. Gli strumenti ITC consentiranno una migliore gestione della crisi in caso di eruzioni esplosive che colpiscono le aree metropolitane di Catania e Napoli e aiuteranno i processi decisionali in modo più semplice e veloce. Grazie alle tecnologie sviluppate potranno essere fornite opportune raccomandazioni, buone pratiche per gestire l'impatto della cenere durante le eruzioni esplosive dei vulcani. Infine, verrà implementato un nuovo sistema di comunicazione basato su tecnologie web e applicazioni mobili al fine di migliorare il flusso di comunicazione tra INGV e cittadini (ad esempio, avvisare i cittadini che vivono nelle aree metropolitane in merito a potenziali rischi imminenti) e viceversa (ad esempio, cittadini osservatori e "raccoltori" di dati ambientali in tempo reale o quasi). A questo proposito, i sistemi De.Mo.ASH, collocati in zone strategiche (aeroporti, autostrade, aree urbane, etc.), potranno inviare informazioni "qualificate", automatizzate e in tempo reale, sugli eventi di caduta cenere, alle sale operative dell'INGV e alla piattaforma *TefraNet* [Andronico et al., 2015], che comprende anche un'applicazione mobile che ogni cittadino potrà scaricare sul proprio smartphone per essere informato tempestivamente ed affrontare l'evento caduta cenere in modo più consapevole e mitigando il suo potenziale effetto negativo.

Il primo passo a monte dell'ideazione, progettazione, sviluppo e prototipazione del sistema De.Mo.ASH è stato quello di definire in maniera precisa i suoi requisiti-vincoli in accordo con gli obiettivi del progetto. Di seguito l'elenco delle principali caratteristiche che il sistema deve possedere:

- basso costo nella sua completezza;
- basso livello di consumo energetico (così da poter rendere possibile, in una fase successiva, l'implementazione di un sistema fotovoltaico ad accumulo per rendere autonoma la stazione);
- dimensioni molto compatte e peso leggero, ciò potrà permettere il suo agevole trasporto e portabilità, persino all'interno di un comune zaino a spalla e la sua facile installazione anche in luoghi di non semplice accesso o su pali, tetti, etc (a questo fine la faccia opposta a quella in cui è alloggiata l'elettronica sarà provvista di opportuni fori per il fissaggio di elementi che permettano l'ancoraggio ai pali);
- scambio dei dati e semplice gestione del sistema in modalità "remota";
- invio dei dati connessi alla rilevazione degli stati di inizio e fine di eventi di caduta cenere vulcanica alla piattaforma *TefraNet*;
- stabilire una connessione diretta con il centro acquisizione dati dell'INGV-OE per rendere disponibili le informazioni all'infrastruttura tecnologica e alle risorse umane della sala operativa.

È prevista la realizzazione di una decina di sistemi prototipali, i quali saranno installati in aree sensibili che possano essere maggiormente raggiunte dalla cenere vulcanica: aree urbane; strade e autostrade; aeroporti; etc. Le aree individuate si troveranno principalmente sul versante est del vulcano Etna, che sulla base dei venti prevalenti, rappresenta la parte afflitta in maggior misura da eventi di questo tipo.

Nell'immagine seguente viene mostrato il risultato degli sforzi progettuali e costruttivi relativi al primo prototipo "dimostrativo" e funzionante De.Mo.ASH, i cui ingombri e peso scenderanno ulteriormente nei sistemi prototipali destinati alle installazioni sul territorio e non presenteranno una struttura trasparente in quanto non sarà più necessario dare spazio all'aspetto dimostrativo, che caratterizza il primo prototipo. In aggiunta, le stazioni saranno dotate di piedini distanziatori dalla base di appoggio, i quali serviranno anche come elementi di fissaggio alla stessa base.

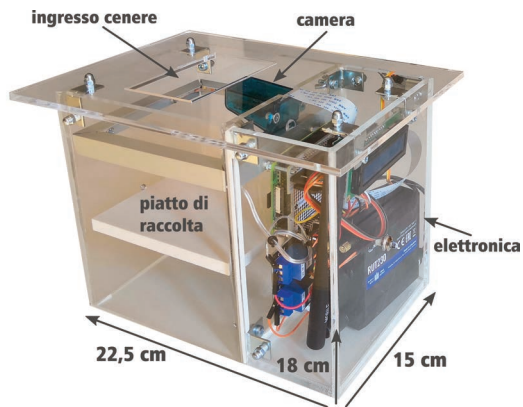


Figura 2 Immagine del primo prototipo dimostrativo e funzionante De.Mo.ASH, in cui sono indicate le misure del sistema e i suoi principali componenti.

Figure 2 Image of the first demonstrative and working prototype De.Mo.ASH, which shows the measurements of the system and its main components.

1.1 Schemi di principio

In questa sezione verranno mostrati alcuni schemi a blocchi per rappresentare il funzionamento generale dei sistemi e delle reti in cui essi sono integrati, quali siano le relazioni tra le diverse parti e quale sia la tipologia del flusso informativo. Per una migliore comprensione si partirà da un'astrazione di più alto livello per scendere ad un livello inferiore.

1.1.1 Rete di alto livello

In Figura 3 viene mostrata la rete in cui sono presenti n sistemi De.Mo.ASH disposti con una topologia "a stella", nella quale il "Centro Acquisizione Dati" (CAD) dell'INGV-OE, basato sul sistema TSDSystem [Cassisi et al., 2015], rappresenta il nodo *master*, nel quale convergono le informazioni delle stazioni per il monitoraggio e il rilevamento della cenere vulcanica. Nello specifico, le stazioni comunicheranno con il CAD per inviare la loro posizione, il loro stato, e altri tipi di informazioni. In aggiunta, quando una stazione o più stazioni rilevano anomalie legate ad un possibile evento di caduta cenere, provvederanno in tempo reale ad inviare le informazioni al CAD, dal quale verranno prontamente smistate e/o elaborate. Per esempio:

- le posizioni delle stazioni vengono visualizzate in una mappa interattiva, nella quale è possibile notare anche il loro stato, insieme ad altre utili informazioni che possano rispondere ad esigenze momentanee o relative a futuri sviluppi;
- le informazioni acquisite dal CAD vengono opportunamente elaborate per essere veicolate e integrate in sala operativa per una migliore valutazione e gestione degli eventi in corso;
- nel tempo le informazioni acquisite dal CAD costituiranno una grande quantità di dati, sotto il profilo qualitativo e quantitativo, per cui sarà possibile attivare processi per l'estrazione di informazioni utili attraverso metodi automatici o semi-automatici.

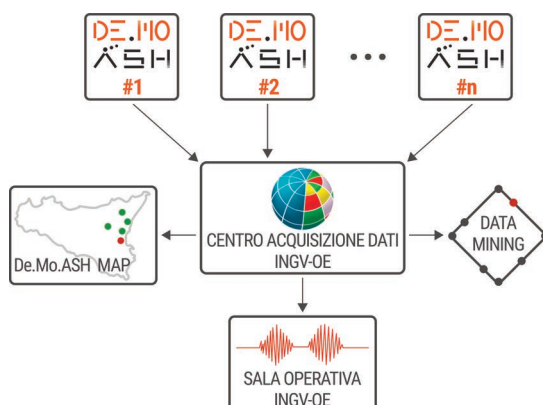


Figura 3 Schema di principio riguardante la rete di alto livello, nella configurazione a stella, costituita da n stazioni e dal nodo master rappresentato dal "Centro Acquisizione Dati" dell'INGV-OE.

Figure 3 High level network diagram, in the star configuration, consisting of different stations and the master node represented by the INGV-OE "Data Acquisition Center".

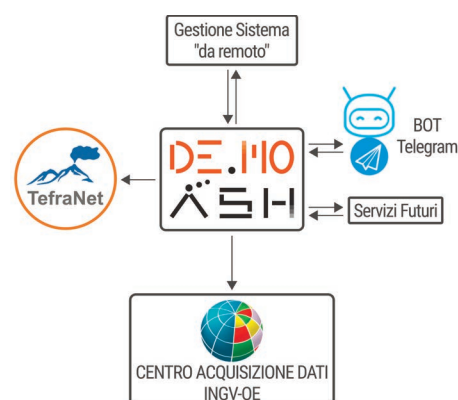
1.1.2 Rete costituita dalla singola stazione

In Figura 4 viene riportato lo schema di principio della rete di comunicazione attivata dalla singola stazione De.Mo.ASH, in cui i collegamenti tra i nodi sono disposti in una configurazione “a stella”. In questa configurazione la stazione rappresenta il nodo *master*, con il quale vengono scambiate le informazioni con i nodi periferici. Come già descritto nella precedente sezione, la stazione invia informazioni al CAD sul suo stato e sugli eventi rilevati, ma allo stato attuale essa scambia informazioni anche con i seguenti elementi:

- la piattaforma “TefraNet” è costituita da un’applicazione web di *backoffice* gestita dagli addetti ai lavori e da operatori “qualificati” come le stazioni De.Mo.ASH, le quali in maniera intelligente e in tempo reale provvedono ad effettuare segnalazioni su eventi di caduta cenere, inviando informazioni geo-spaziali alla piattaforma (in questo modo è possibile automatizzare il processo di segnalazione attraverso il presidio intelligente del territorio da parte delle stazioni H24, 365 giorni all’anno. In questo modo, saranno inviate notifiche e informative affidabili sullo stato degli eventi ai singoli cittadini, semplicemente visualizzandole sul display del proprio smartphone attraverso l’applicazione mobile di “TefraNet”. Sarà possibile, altresì, validare da parte delle stazioni stesse le segnalazioni che i cittadini possono effettuare con il proprio dispositivo, al fine di veicolare informazioni veritiere. Il flusso informativo sarà monodirezionale, dalla stazione alla piattaforma);

Figura 4 Schema di principio relativo alla rete informativa a stella stabilita dal sistema De.Mo.ASH, che rappresenta il nodo *master*.

Figura 4 Scheme of the star information network established by the De.Mo.ASH system, which is also the *master node*.



- “BOT Telegram”, implementato per automatizzare l’invio, da parte del bot [sito wikipedia del bot in informatica], di informazioni su chat singole o di gruppo di messaggistica istantanea Telegram, condivise tra gli addetti ai lavori per ottenere immediatamente dati e informazioni senza la presenza di ulteriori passaggi ed elementi che potrebbero causare rallentamenti al processo. Questa tecnologia è utilizzata anche per inviare, da parte degli addetti ai lavori, dirette richieste di informazioni al bot per ottenere precisi dati sullo stato degli eventi occorsi (se piove o meno, per richiedere le immagini della cenere catturate dalle stazioni, numero di eventi occorsi, dati relativi alla stazione, etc.) e intervenire tempestivamente su particolari aspetti della gestione delle stazioni inviando precisi comandi, come per esempio il riavvio del sistema.
In Figura 5 sono mostrate, a scopo esemplificativo, alcune schermate delle chat telegram gestite dal bot “AshDetect”. Il flusso informativo tra il sistema De.Mo.ASH e il bot Telegram sarà di tipo bidirezionale per i motivi descritti, allo stesso modo il flusso informativo tra il bot e le chat in cui saranno presenti gli addetti ai lavori sarà bidirezionale, in quanto questi ultimi potranno ricevere e richiedere informazioni al bot, che rappresenta, pertanto, un elemento di congiunzione e gestione tra le stazioni e gli stessi addetti ai lavori;
- “Gestione di Sistema da remoto”, prevede di poter dialogare e quindi “gestire” la stazione

per qualsiasi scopo o particolare esigenza (lavorare direttamente sulla stazione, manutenzione, modifica parametri e configurazioni, aggiornamenti software, etc.) senza recarsi fisicamente sul luogo in cui è installata. Una soluzione semplice per attuare ciò, è l'utilizzo dei *Virtual Network Computing* (VNC), applicazioni software di controllo remoto con cui è possibile amministrare e gestire i sistemi a distanza. Soluzioni software VNC ne sono presenti parecchie e sono generalmente costituite da un elemento “server” e da uno “viewer” (client), nel caso specifico della piattaforma *Raspberry Pi* (RPI), l'applicazione server VNC Connect® della software house RealVNC® è già inclusa con il sistema operativo Raspbian. L'utilizzo del RPI nel sistema De.Mo.ASH avviene in modalità *headless* (non collegato ad un monitor e a nessun'altra periferica) e pertanto non viene generato un *desktop* grafico, tuttavia, l'applicazione VNC Server crea un desktop virtuale fornendo un accesso remoto grafico su richiesta. All'interno della piattaforma RPI l'impiego del servizio della RealVNC® è gratuito per scopi didattici o non-commerciali.

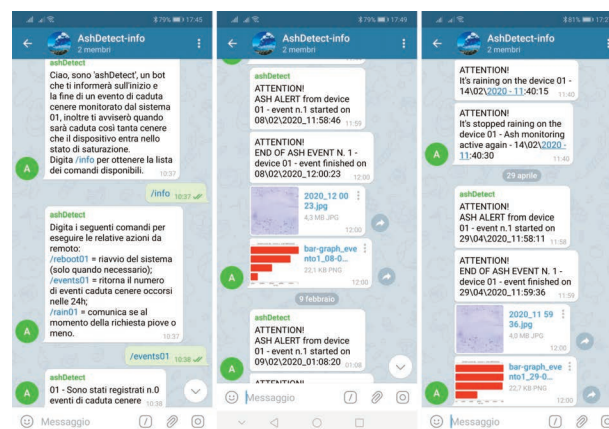


Figura 5 Istantanee della chat di gruppo, “AshDetect-Info”, del servizio di messaggistica Telegram in cui è presente l’utente bot “AshDetect”. Nella schermata di sinistra, a seguito di qualsiasi comando generico, esso risponde presentandosi e descrivendo la sua funzione. Attraverso un preciso comando (/info) è poi possibile ottenere l’elenco di tutti quelli disponibili. Si hanno comandi per la gestione della stazione (come il suo riavvio), richieste per ottenere informazioni sugli eventi di caduta cenere o per sapere se piove nel luogo in cui è installata la stazione. La schermata di mezzo e quella di sinistra mostrano le informazioni inviate in tempo reale sulla chat dal bot e relative ad un evento di caduta cenere in termini di inizio e fine. Per esempio, in corrispondenza della fine di un evento il bot potrebbe inviare l’ultima immagine acquisita della cenere depositata sulla superficie di raccolta, e ancora, un grafico che mostri l’andamento nel tempo della quantità di cenere accumulata durante l’evento. Infine, nella terza schermata sono anche presenti le segnalazioni inviate in tempo reale dal bot concernente l’inizio e la fine dell’evento pioggia.

Figure 5 Snapshots of the Telegram group chat, “AshDetect-Info”, in which the “AshDetect” bot is present. In the left screen, typing any generic command, it responds by introducing itself and describing its function; through a specific command it is possible to obtain the list of commands. There are commands for managing the station (such as restarting it), commands for obtaining information on ash fall events or knowing if it is raining in the place where the station is located. The middle and left screens show the information sent on the chat in real time by the bot and related to an ash fall event. For example, at the end of an event the bot could send the last acquired image of the ash deposited on the collection surface, and also a graph showing the trend over time of the amount of ash accumulated during the event. Finally, the third screen also contains the information sent by the bot in real time concerning the start and end of the rain event.

2. Single Board Computer (SBC)

Il *Single Board Computer* è un computer completo interamente realizzato su una singola scheda elettronica. La sua nascita e il successivo repentino sviluppo è stato reso possibile da un incremento esponenziale della densità dei componenti elettronici all'interno dei circuiti integrati (*chip*) nelle ultime decadi, andando così incontro alle economie di scala: diminuendo le dimensioni dei chip con maggiore densità di componenti e funzionalità è possibile diminuire i costi complessivi della produzione e naturalmente del prodotto finale. Alla luce di ciò, oggi, si possono acquistare SBC performanti e a basso costo, facendo esplodere, di fatto, il loro mercato e una moltitudine di progetti su di essi basati.

A differenza di un *personal computer desktop*, generalmente, il SBC non si basa sui canonici slot di espansione per funzionalità aggiuntive, ma contiene tutto l'occorrente al suo interno: microprocessore, memoria, I/O e altre funzionalità richieste ad un computer funzionale. In aggiunta e a differenza dei canonici *computer desktop*, sono presenti interfacce specifiche chiamate *General Purpose Input/Output (GPIO)*, che permettono di rendere il SBC molto versatile grazie al collegamento e alla gestione di una quantità molto ampia di componenti e dispositivi, quali sensori, attuatori, circuiti elettronici, etc. Questa opportunità consente, tra l'altro, lo sviluppo della fase di prototipazione e realizzazione di un qualsiasi sistema elettro-meccanico in maniera molto più robusta e veloce. In realtà il panorama di utilizzo e le applicazioni dei SBCs è molto vasto e comprende la didattica, la ricerca e la divulgazione scientifica, *makers*, ma anche applicazioni commerciali e industriali. I SBCs vengono impiegati nei sistemi automatici per il prelievo di contante, casse automatiche, *slot machine*, sistemi di controllo per l'automazione delle macchine, etc.

Nel caso specifico del sistema De.Mo.ASH, presentato in questo rapporto, la scelta per la sua prototipazione e sviluppo è ricaduta sulla soluzione SBC come fulcro del progetto hardware, per i suoi riconosciuti e talvolta indiscutibili punti di forza per attività di questo tipo:

- basso costo;
- dimensioni estremamente contenute;
- elevata leggerezza;
- basso consumo energetico;
- notevole potenza di calcolo messa a disposizione, talvolta comparabile alle *performance* dei più moderni *tablet* e *netbook*;
- molto spesso rappresentano delle piattaforme complete e pronte all'uso, sostenute da grandi comunità di utilizzatori sparsi in tutto il mondo che sviluppano continuamente componenti *software* e *hardware* di libero utilizzo perché *open source*;
- vasta disponibilità di componenti e schede elettroniche specificamente sviluppate per i SBCs, che rendono questi ultimi capaci di implementare innumerevoli funzionalità;
- affidabilità e robustezza.

Di seguito verranno introdotte alcune tra le principali soluzioni SBC presenti sul mercato, accennando alle loro caratteristiche più importanti, vagliate per la realizzazione del prototipo oggetto del presente rapporto.

Asus Tinker Board S

Prodotto di grande qualità e molto performante sotto il profilo prestazionale [Sito ufficiale Asus Tinker Board S] (Figura 6).

Nvidia Jetson Nano

Questa SBC rappresenta un'alternativa decisamente più costosa, ma anche parecchio più potente, un vero e proprio kit ideale per il *deep learning* e l'intelligenza artificiale. Dotato di una

scheda con processore ARM Cortex-A57 quad-core e GPU Maxwell 128-core basata su architettura NVIDIA [Sito ufficiale Nvidia Jetson Nano] (Figura 6).

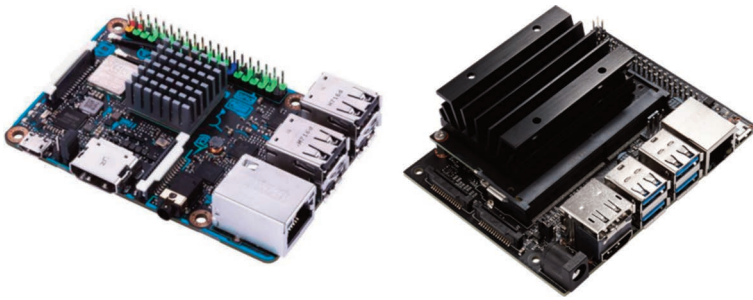


Figura 6 Sinistra: Asus Tinker Board S. Destra: Nvidia Jetson Nano.

Figure 6 On the left: Asus Tinker Board. On the right Nvidia Jetson Nano.

Orange Pi 3

La Orange Pi 3 offre nella configurazione avanzata la possibilità di includere anche 8 GB di memoria eMMCed on-board [Sito ufficiale Orange Pi 3] (Figura 7).

ODroid C4

È da evidenziare che l'azienda Sud Coreana non ha reso questa SBC hardware libero in quanto ha deciso di non divulgare alcuni schemi circuitali [Sito ufficiale ODroid C4] (Figura 7).

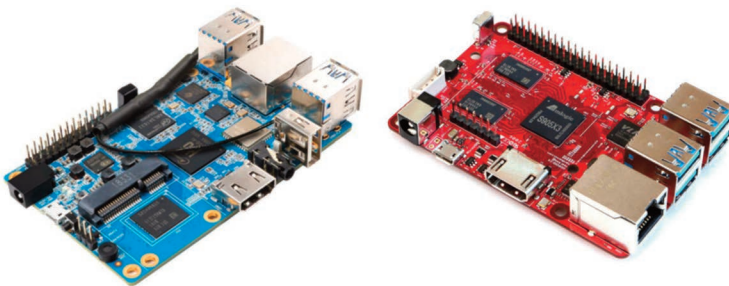


Figura 7 Sinistra: Orange Pi 3. Destra: ODroid C4.

Figure 7 On the left: Orange Pi 3. On the right ODroid C4.

Banana Pi M64

Buona alternativa, scheda a 64 bit e 8GB di memoria interna integrati [Banana Pi M64] (Figura 8).

Huawei Hikey 960

Huawei HiKey 960 può vantare di essere nata dalla collaborazione di Google, ARM e Huawei. Presenta 32GB di memoria interna. L'aspetto interessante è la presenza di un connettore per collegare un disco SSD e di due piastre di espansione (60 e 40 pin) che aumenta notevolmente la versatilità di questa scheda, purtroppo, importante punto di debolezza, non è supportata da una folta community (Figura 8).

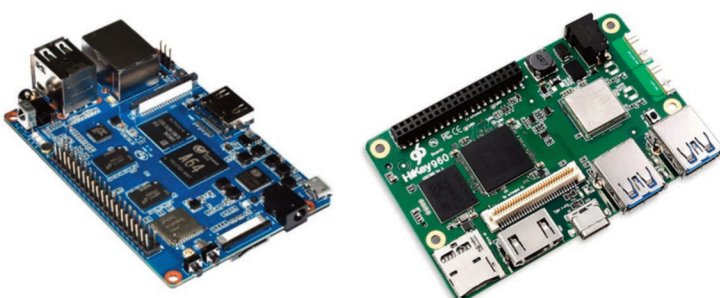


Figura 8 Sinistra: Banana Pi M64. Destra: Huawei Hikey 960.

Figure 8 On the left: Banana Pi M64. On the right: Huawei Hikey 960.

Rock Pi 4

L'archiviazione è affidata a un connettore M.2 che supporta SSD NVMe fino a 2 TB ed eMMC fino a 128 GB [Sito ufficiale Rock Pi 4] (Figura 9).

Figura 9 Rock Pi 4.

Figure 9 Rock Pi 4.



In Tabella 1 vengono comparate le principali caratteristiche delle SBCs presentate precedentemente e il loro costo medio di mercato nel momento in cui questo rapporto viene scritto.

	Asus Thinker Board S	Nvidia Jetson Nano	Orange Pi 3	ODroid C4	Banana Pi M64	Huawei Hikey 960	Rock Pi 4
CPU	Rockchip quad-core RK3288	ARM Cortex-A57 quad-core	ARM Cortex-A53 quad-core 64-bit	Amlogic S905X3 quad-core Cortex-A55	Allwinner 64 Bit Quad Core ARM Cortex A53	Kirin 960 4 Cortex A73 + 4 Cortex A53 Big	Rockchip RK3399
GPU	Integrated Graphic	Nvidia Maxwell 128-Core	Mali T720	Mali-G31	Mali 400 MP2	Mali G71 MP8	Mali T860MP4
RAM	2GB	4GB 64-bit	1-2GB	4GB	2GB	3GB	1-2-4GB
Memoria	16 GB	16 GB	-	-	8 GB	32 GB	-
GPIO	40	40	26	40	28	40+60	40
Camera	MIPI CSI*	MIPI CSI	no	no	no	2xMIPI CSI	MIPI CSI
USB	4	4	5	4	2	3	4
Ethernet	si	si	si	si	si	si	si
WiFi	si	si	si	si	si	si	si
Bluetooth	si	si	si	no	si	si	si
Dimensione (mm)	85,5 x 54	100 x 80	93,5 x 60	85 x 56	92 x 60	85 x 55	85 x 54
Costo medio	€ 70	€ 150	€ 35	€ 80	€ 60	€ 250	€ 40

*Mobile Industry Processor Interface - Camera Serial Interface. Interfaccia per il collegamento tra un modulo camera e un processore.

Tabella 1 Principali caratteristiche delle SBCs presentate.

Table 1 Main features of the SBCs.

2.1 Raspberry Pi

Il 2012 segnò la nascita del progetto *Raspberry Pi*, il *Single Board Computer* più venduto e di maggiore successo al mondo. Il progetto RPi originariamente era stato sviluppato con un'idea ben precisa: diffondere la cultura informatica e del *physical computing*¹ nel mondo della didattica. Il RPi è impiegato non solo in ambito educativo, ma anche in una moltitudine di altri settori e progetti, oltre ad essere presente in tante case, uffici, data centres, fabbriche, e persino su imbarcazioni con il pilota automatico, palloni spaziali, workstation desktop a basso costo, media center, smart home, robot, server tascabili, etc.

“*Raspberry*” (lampone) rispecchia la lunga tradizione di nomi di frutti fra le aziende informatiche. “Pi” rappresenta invece un'abbreviazione di “*Python*”, linguaggio di programmazione fortemente consigliato da RPi per l'apprendimento e lo sviluppo su questa piattaforma.

Uno tra i maggiori punti di forza del progetto RPi è rappresentato dalla vastissima e particolarmente attiva comunità di utenti che ha contribuito al suo sviluppo e al suo straordinario successo a livello planetario. Per comprendere meglio il mondo che ruota attorno alla piattaforma RPi, bisogna anche menzionare il sito web ufficiale della fondazione [sito ufficiale RPi] che raccoglie al suo interno una grande quantità di informazioni e strumenti legati al RPi, offrendo: un blog con le ultime notizie, tendenze e progetti; un forum, nel quale poter trovare qualsiasi risposta alle proprie domande; un'intera sezione dedicata alla didattica; riviste, tra cui “MagPi” (quella ufficiale) e molti libri. Il materiale ufficiale viene, inoltre, affiancato da centinaia di siti web. Anche in Italia è presente una folta community che supporta la piattaforma attraverso, tra gli altri, un sito web [sito ufficiale della comunità italiana RPi], in cui sono presenti molti strumenti. Tra gli altri punti a favore del RPi si registrano certamente le dimensioni simili a quelle di una carta di credito, ma principalmente il fatto che questa piattaforma rappresenta uno dei migliori esempi di applicazione dei modelli di business promossi da “*Hardware libero*” e “*Software libero*” insieme, da cui ogni singolo utilizzatore trova beneficio.

Tutte le precedenti argomentazioni, assieme ad altre valutazioni presentate nelle sezioni a seguire e associate alle peculiarità del progetto De.Mo.ASH, hanno orientato la scelta relativa all'utilizzo di questa SBC come cuore computazionale del sistema.

2.1.1 Raspberry Pi 4 Modello B: il cuore computazionale del sistema

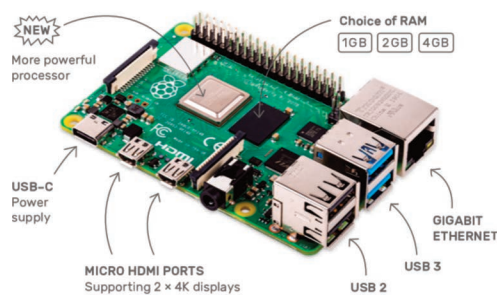
Nel momento in cui si è deciso di utilizzare la piattaforma RPi, era appena uscita sul mercato la versione n.4, una vera rivoluzione in termini di prestazioni e specifiche tecniche adottate rispetto alla precedente versione RPi 3 Modello B+, continuando comunque a mantenere la retrocompatibilità, un costo molto competitivo, le stesse dimensioni, un consumo energetico simile, ma offrendo maggiori funzionalità e scelta tra quattro versioni in base al taglio di RAM (1GB, 2GB, 4GB, 8GB). Anche quest'ultimo aspetto ha contribuito alla scelta definitiva del RPi 4 per il sistema De.Mo.ASH. In Figura 10 viene mostrata la scheda RPi 4 Modello B con le indicazioni delle sue principali caratteristiche.

Le principali specifiche e caratteristiche di questa scheda sono riportate nella tabella a seguire.

¹ In termini generali il *physical computing* è una struttura creativa per comprendere la relazione degli esseri umani con il mondo digitale. Nell'uso pratico il termine descrive spesso progetti di arte, design o di *makers* che utilizzano sensori e microcontrollori per tradurre input analogici in un sistema software per controllare dispositivi elettromeccanici come motori, servi, illuminazione o altro hardware.

Figura 10 Immagine del Raspberry Pi 4 Modello B, in cui vengono evidenziate le sue principali caratteristiche.

Figure 10 Picture of the Raspberry Pi 4 Model B, which highlights its main features.



Raspberry Pi 4 Modello B	
CPU	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
GPU	Broadcom VideoCore IV (variante personalizzata per RPi 4)
RAM	1GB, 2GB, 4GB o 8GB LPDDR4 (in base alla versione scelta)
Memoria	Slot Micro SD per il caricamento del sistema operativo e memorizzazione dei dati
GPIO	40-pin(pienamente retrocompatibile con le versioni precedenti)
Camera	2-lane MIPI CSI
Display	2 x micro HDMI 2-lane MIPI DSI
Suono	4-pole stereo e contemporaneamente porta video composita
USB	2 x 3.02 x 2.0
Porta ethernet	Gigabit Ethernet
WiFi	2,4 - 5,0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac
Bluetooth	5.0
Multimedia	H.265 (4Kp60 decode)H.264 (1080p60 decode, 1080p30 encode) OpenGL ES, 3.0 graphics
Alimentazione	5V DC via USB-C 5V DC via connettore GPIO Power over Ethernet-enabled (richiede modulo separato PoE)
Temperatura operativa	0-50°C
Tempo di produzione	almeno fino al 2026
Dimensione (mm)	85 x 56
Costo medio	Versioni: 1GB €35; 2GB €40; 4GB €60; 8GB €80

Tabella 2 Specifiche tecniche RPi 4 Modello B.
Table 2 Technical features of the RPi 4 Model B.

Per quanto concerne il System on Chip (SoC), che ora viene prodotto con un processo a 28 nm, il numero dei core rimane invariato, ma la CPU è stata spostata sul nuovo e più veloce Arm Cortex-A72 a 1,5 GHz. Il cambiamento più importante, tuttavia, è stato subito dalla GPU. Da sempre ogni RPi ha usato la GPU *Broadcom VideoCore IV*, mentre il RPi 4 passa a una variante personalizzata di *Broadcom VideoCore VI* con motore *scanout* derivato dal *VideoCore V*, con ottimi risultati ottenuti in termini di migliori prestazioni e permettendo adesso di prendere in considerazione anche il RPi per progetti in cui l'aspetto relativo alla elaborazione di immagini e video riveste una notevole importanza, come nel progetto De.Mo.ASH.

Il *Bluetooth* è stato aggiornato alla versione più veloce 5.0. Per quanto riguarda la porta *Ethernet*, che nelle precedenti versioni comunicava con il SoC tramite un canale USB 2.0 condiviso, nel RPi 4, invece, è stata implementata una connessione diretta che permette di sfruttare appieno la velocità concessa dagli standard Gigabit e USB 3.0. L'alimentazione della scheda viene adesso fornita attraverso una porta USB *Type-C*, classificata per 3A, rispetto ai 2,5A dei modelli precedenti, che consente anche di collegare dispositivi di potenza superiore senza bisogno di un *hub* USB alimentato.

Alla luce di queste importanti novità in termini di specifiche e prestazioni notevolmente migliorate, si è deciso di adottare un RPi 4 Modello B equipaggiato con 4GB di RAM, in modo da avere un sistema che possa essere più fluido e prestazionale durante il suo utilizzo.

I sistemi operativi ufficiali della RPi Foundation sono basati su *GNU/Linux*, tra cui "New Out of the Box Software" (NOOBS) e *Raspbian*, entrambi basati su *Debian GNU/Linux*. NOOBS contiene un installer semplificato mentre *Raspbian* propone un procedimento di installazione testuale come *Debian*. La versione disponibile sul RPi4 è naturalmente l'ultima sviluppata: *Raspbian Buster* (v10).

2.2 Acquisizione dei dati con *Raspberry Pi 4 Modello B*

Come già detto in precedenza, con il RPi è possibile effettuare *physical computing* e quindi interagire con il mondo esterno attraverso la GPIO, la quale rappresenta l'interfaccia per comunicare con altri componenti e circuiti, consentendo alla scheda RPi di operare come controller di un circuito elettronico più grande. In altre parole, la GPIO permette al RPi di acquisire dati utilizzando differenti varietà di protocolli. La porta GPIO è costituita da 40 pin, ognuno dei quali ha il proprio scopo e il funzionamento coordinato di diversi pin può creare interfacce particolari. La Figura 11 mostra il layout della porta GPIO. Nonostante la GPIO fornisca un'alimentazione di 5V ai pin n. 2 e 4, direttamente fornita dalla porta USB-C di alimentazione, il funzionamento interno del RPi si basa su una logica a 3,3V, disponibile in corrispondenza dei pin 1 e 17. I pin 6, 9, 14, 20, 25, 30, 34 e 39 sono il riferimento di *ground* (GND). La porta GPIO fornisce anche 17 pin di uso generico: 7, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 22, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38 e 40.

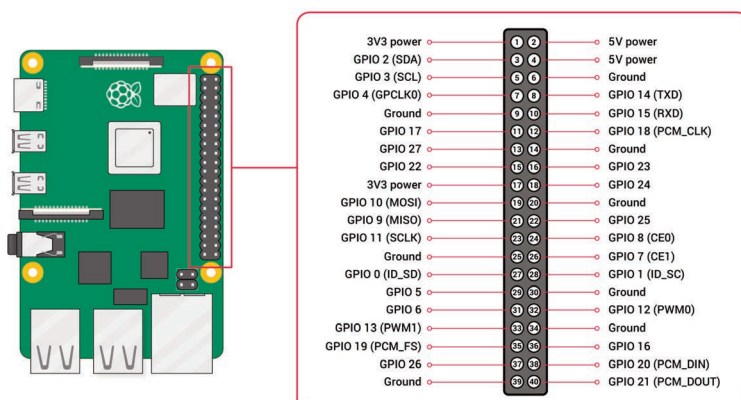


Figura 11 La porta GPIO del RPi e la definizione dei pin.

Figure 11 The GPIO module and pin specification.

Tali pin possono esprimere tre stati: *high* (3,3V); *low* (0V); *input*. I primi due equivalgono allo 0 e 1 della logica binaria e possono essere impiegati per attivare o disattivare altri componenti, il terzo pone il pin in uno stato di lettura dello stato fornito dall'esterno. I rimanenti pin della porta GPIO sono dedicati a *bus* specifici e vengono abilitati o disabilitati attraverso configurazioni software. A seguire vengono descritti in modo più approfondito tali bus di comunicazione seriale.

2.2.1 UART Serial Bus

Lo *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART) serial bus offre una semplice interfaccia seriale bifilare, converte flussi di *bit* di dati da un formato parallelo a un formato seriale asincrono o viceversa. Configurata una porta seriale con il file "cmdline.txt", questo bus può essere impiegato come porta per i messaggi. Collegando lo UART del RPi a un dispositivo in grado di visualizzare i dati, è possibile ottenere i messaggi del kernel Linux. Lo UART *serial bus* può essere raggiunto sui pin 8 e 10. La velocità viene impostata sempre per mezzo del file "cmdline.txt", normalmente a 115.200 *bit* per secondo (bps). Nella stazione il bus UART può essere utilizzato per stabilire la comunicazione seriale tra il sistema di networking e il RPi (maggiori dettagli al paragrafo 5 "Dispositivi di networking").

2.2.2 I²C Bus

L'*Inter Integrated Circuit* (I²C) bus è un sistema bifilare parecchio diffuso per le comunicazioni tra diversi circuiti integrati (IC). Nel caso specifico del RPi, uno di questi IC è il SoC Broadcom BCM2711. Dato che questi pin includono l'accesso alle resistenze di *pull-up* situate nella scheda, non sono necessarie resistenze esterne per accedere al bus. Per servirsi dell'I²C bisogna fare riferimento ai pin 3 e 5, come da protocollo *hardware*:

- il pin 3 rappresenta il segnale *Serial Data Line* (SDA);
- il pin 5 fornisce il segnale *Serial Clock* (SCL) e proprio per la presenza di questo segnale il bus è di tipo sincrono.

In realtà il SoC del RPi fornisce due differenti bus I²C, uno dei quali è riservato per la comunicazione con la "Raspberry Pi Camera Module", utilizzata nel sistema De.Mo.ASH (maggiori dettagli alla sezione 2.3) e da un eventuale *Display* di tipo *Touchscreen*, non previsto. Nella stazione viene operativamente utilizzato il bus I²C, connettendo i pin 3 e 5, per stabilire una comunicazione seriale tra il SoC del RPi e il circuito integrato del display alfanumerico di piccole dimensioni LCD o OLED per la visualizzazione di importanti messaggi di stato correlati al funzionamento della stazione. In realtà, una volta testato e collaudato l'intero sistema si potrebbe fare a meno di questi *display*, per diminuire sempre più il costo totale, la complessità e il consumo energetico dell'intera stazione, sebbene questi componenti richiedano un fabbisogno energetico davvero irrisorio. In definitiva, l'I²C è usato per comunicare con dispositivi in cui semplicità e basso costo sono prioritari rispetto alla velocità di trasmissione.

2.2.3 SPI Bus

Il *Serial Peripheral Interface* (SPI) bus è di tipo seriale sincrono che offre velocità migliori rispetto a I²C e serve principalmente per comunicare tra un microcontrollore e altri circuiti integrati o tra più microcontrollori. SPI è un bus a quattro fili con due linee *Chip Select*, che gli permettono

di comunicare con più di un dispositivo target. La trasmissione avviene tra un dispositivo detto *master* e uno o più *slave*. Il master controlla il *bus*, genera il segnale di clock e decide quando iniziare e terminare la comunicazione. Il bus SPI è disponibile sui pin 19, 21, e 23 del RPi, con le linee *Chip Select*, sui pin 24 e 26. Il pin 19 fornisce il segnale *SPI Master Output Slave Input* (MOSI), il pin 21 il segnale *SPI Master Input Slave Output* (MISO), il pin 23 il segnale *Serial Clock* (SLCK) impiegato per sincronizzare la comunicazione e i pin 24 e 26 i segnali *Chip Select* necessari ai dispositivi *slave* indipendenti, fino ad un massimo di due.

2.2.4 MIPI CSI e MIPI DSI

Il *Mobile Industry Processor Interface - Camera Serial Interface* e *Display Serial Interface* (MIPI CSI e MIPI DSI) sono delle interfacce ampiamente adottate, semplici e ad alta velocità destinate principalmente alla trasmissione di immagini e video punto a punto tra telecamere o moduli *display* e dispositivi *host*. Impiegati principalmente per la connessione di telecamere e display su dispositivi mobili (smartphone, tablet, laptop, etc.), settore automotive, *wearable*, IoT, etc., utilizzano i bus I²C o I³C per il loro funzionamento. Nel caso del RPi uno dei due bus I²C a disposizione viene esclusivamente adoperato per il collegamento di telecamere e display, i quali, naturalmente, devono supportare il protocollo MIPI CSI e MIPI DSI.

In Figura 12 viene mostrato lo schema di principio relativo alle connessioni tra la SBC RPi4 e gli elementi esterni del sistema De.Mo.ASH, con rispettiva indicazione della tipologia di *bus* impiegato per la loro comunicazione. Nello specifico:

- il modulo camera RPi per l'acquisizione di immagini impiega l'interfaccia MIPI CSI, sfruttando di fatto, un bus I²C;
- eventuali display utilizzano un bus di comunicazione I²C anche perché non si hanno particolari esigenze in termini di velocità;
- il sensore per la rilevazione della pioggia, il servo motore e l'elemento per l'illuminazione vengono gestiti da pin GPIO di tipo *general purpose*, i quali sono configurati come *input* per il primo e come *output* per gli ultimi due;
- il sistema di *networking* può comunicare attraverso bus UART o porta *ethernet*, in base al tipo di sistema impiegato (maggiori dettagli al paragrafo 5 "Dispositivi di *networking*").

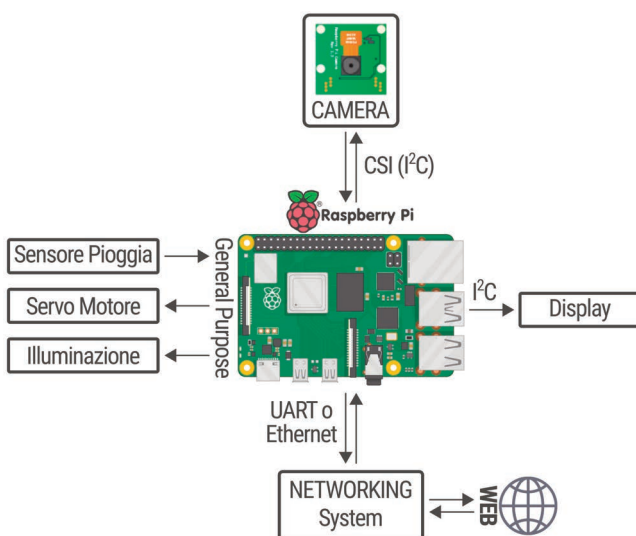


Figura 12 Schema di principio delle comunicazioni operate dal Raspberry Pi 4 con gli elementi esterni collegati, evidenziando le tipologie di bus utilizzati.

Figure 12 Diagram of the communications operated by Raspberry Pi 4 with the external elements connected, highlighting the different bus used.

2.3 Acquisizione ed elaborazione delle immagini con Raspberry Pi 4 Modello B

Ai fini del progetto De.Mo.ASH si può affermare che il componente più importante è quello deputato all'acquisizione ed elaborazione delle immagini, in quanto proprio da questa fase dipende, in elevata misura, l'affidabilità e l'efficacia in termini di rilevamento e monitoraggio di eventuale cenere che cade al suolo a seguito di eventi generati dai vulcani. In questo caso gli altri componenti del sistema, come le altre fasi sono a supporto dell'acquisizione ed elaborazione delle immagini. Questa determinazione è stata frutto di una attenta analisi e disamina relativa, da un lato, al risultato che si voleva raggiungere e dall'altro lato tenendo in considerazione i requisiti-vincoli di progetto. In ogni caso, il principio guida seguito durante tutte le attività, in particolar modo nel corso della fase di ideazione, è stato quello di individuare soluzioni semplici e funzionanti che si adattassero allo scopo. Da questa prospettiva la via che si è deciso di perseguire viene rappresentata dalla volontà di:

- minimizzare la complessità generale del sistema De.Mo.ASH, al fine di massimizzare la sua robustezza e affidabilità, pertanto, no all'impiego di costose componenti *hardware* o di natura elettromeccanica soggette a guasti e frequente manutenzione, quali laser, sistemi elettromagnetici, bilance di precisione, etc;
- cercare, d'altro canto, di spostare il carico della soluzione sul comparto software, al fine di individuare innovative soluzioni applicate alla rilevazione della cenere vulcanica.

Alla luce di ciò, si è deciso che la migliore strategia e approccio da seguire fosse l'utilizzo del processamento di immagini attraverso l'impiego di strumenti *software* completamente *open source* in combinazione all'utilizzo del linguaggio di programmazione *Python*. Il primo passo in questa direzione è stata la constatazione del colore della cenere vulcanica, la quale risulta parecchio scura, e se associata ad una superficie di raccolta del sistema di colore bianco, si vengono a determinare condizioni di elevato contrasto delle immagini, condizione ideale per attuare un processamento conosciuto come "binarizzazione delle immagini"². Quando sono presenti solo due classi di pixel, una di queste sarà rappresentativa della misura della cenere vulcanica depositata su una superficie di dimensioni determinate, che costituirà il piatto di raccolta fisico della stazione. Ovviamente, bisogna definire una soglia che permetta un'adeguata rilevazione rispetto alla minima sensibilità di rilevazione da parte del sensore e alla possibilità di escludere il rilevamento di polveri o di piccoli corpi estranei sul piatto di raccolta pulito. In questa maniera quando si è sotto soglia non avviene nessuna segnalazione, al contrario, quando la misura di pixel sarà sopra soglia scatterà la segnalazione di allarme.

2.3.1 Acquisizione immagini con *Raspberry Pi* Camera Module v2

Per una rilevazione ottimale dell'immagine della cenere, bisogna scegliere un modulo telecamera con precise caratteristiche: di qualità e con buone risoluzioni, ma che al contempo sia estremamente compatto, a basso costo e a basso consumo energetico. Ciò considerato, dopo un'attenta valutazione e analisi costi-benefici su diversi modelli, si è scelto il "*Raspberry Pi Camera Module v2*" (Modulo Camera), in quanto rispetta esattamente i requisiti di progetto. Il Modulo Camera (Figura 13) rappresenta un prodotto ufficiale della *RPi Foundation*, da loro progettata e sviluppata per funzionare in perfetta sinergia proprio con le schede *RPi*.

²Rendere binaria un'immagine significa generarne una costituita esclusivamente da pixel bianchi o neri, a partire da quella originaria a colori. Le metodiche che permettono di effettuare ciò, vengono chiamate nel linguaggio tecnico "*Image Thresholding Processing*".

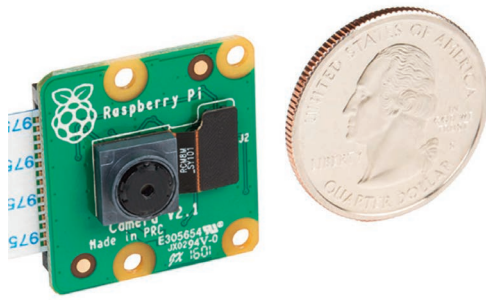


Figura 13 Il Raspberry Pi Camera Module, la comparazione dimensionale con una piccola moneta evidenzia quanto sia piccolo questo dispositivo.

Figure 13 The Raspberry Pi Camera Module, comparison with a small coin shows how small it is.

Il Modulo Camera è caratterizzato da un sensore Sony IMX219 da 8 megapixel, del tipo usato normalmente negli smartphone, che viene posizionato dietro una lente a fuoco fisso e ha un consumo di energia irrisorio (aspetto fondamentale nel caso il RPi fosse alimentato da un sistema ad energia solare con batterie di accumulo). Nella tabella seguente vengono riportate le principali caratteristiche del Modulo Camera.

Il Modulo Camera si collega al RPi tramite un cavo piatto e flessibile (*ribbon*), che deve essere inserito nel connettore CSI. In questo modo il modulo funziona in tandem con il processore grafico del RPi per garantire che il video e le immagini in alta risoluzione vengano catturate in maniera fluida, senza sovraccaricare la CPU o richiedere eccessiva memoria. Ciò non sarebbe accaduto se si fosse adoperata una webcam da connettere via porta USB, impegnandola a discapito di altri componenti. Anche per questo modulo, sviluppato dalla RPi Foundation, è presente una vasta comunità a suo supporto, che determina uno sviluppo di terze parti che ne aumenta le potenzialità e la facilità l'utilizzo.

Utilizzando *Python*, il modo più flessibile e diretto per gestire il Modulo Camera è avvalersi della libreria *software open source* "picamera" [Sito della documentazione ufficiale della libreria *python picamera*], utilizzata nel programma che gestisce il sistema De.Mo.ASH per catturare le immagini ed effettuare regolazioni *software* del Modulo Camera.

	Raspberry Pi Camera Module v2
Sensor	SONY IMX219 CMOS
Still resolution	8 Megapixels
Pixel size	1,12 μm x 1,12 μm
Sensor image size	3.68 x 2.76 mm (4.6 mm diagonal)
Total number of pixels	3296(H) x 2512(V) approx. 8.28M pixels
Number of effective pixels	3296(H) x 2480(V) approx. 8.17M pixels
Number of active pixels	3280(H) x 2464(V) approx. 8.08M pixels
Chip size	5.095mm (H) x 4.930mm (V) (w/ Scribe)
Focus type	Fixed focus
Optical size	1/4"
Focal length	3.04 mm

Horizontal field of view	62.2 degrees
Vertical field of view	48.8 degrees
Video modes	1080p30, 720p60 and 640 × 480p60/90
Connection type	MIPI CSI (two lines)
Picture formats	JPEG (accelerated), JPEG + RAW, GIF, BMP, PNG, YUV420, RGB888
Video formats	raw h.264 (accelerated)
Effects	negative, solarise, posterize, whiteboard, blackboard, sketch, denoise, emboss, oilpaint, hatch, gpen, pastel, watercolour, film, blur, saturation
Exposure modes	auto, night, nightpreview, backlight, spotlight, sports, snow, beach, verylong, fixedfps, antishake, fireworks
Automatic white balance modes	off, auto, sun, cloud, shade, tungsten, fluorescent, incandescent, flash, horizon
Extra modes	demo, burst/timelapse, circular buffer, video with motion vectors, segmented video, live preview on 3D models
Weight	3g
Size (mm)	25 x 24 x 9
Net Price	€25

Tabella 3 Specifiche tecniche del Raspberry Camera Module v2.

Table 3 Technical features of the Raspberry Camera Module v2.

2.3.2 Elaborazione immagini con Python

Python [Sito ufficiale *Python*] è un linguaggio di programmazione moderno, dalla sintassi potente, di alto livello, dinamico e orientato agli oggetti, utilizzabile per differenti tipologie di sviluppo software. È un linguaggio multi-paradigma che ha tra i principali obiettivi: dinamicità, semplicità e flessibilità. Tra le caratteristiche principali riconoscibili di *Python* troviamo le variabili non tipizzate e l'uso del meccanismo di *garbage collection*, il quale si occupa automaticamente dell'allocazione e del rilascio della memoria, consentendo al programmatore di usare variabili liberamente, senza doversi preoccupare di dichiararle e di allocare e rilasciare spazi di memoria manualmente. Visivamente si presenta in modo semplice e ha pochi costrutti sintattici rispetto ad altri linguaggi strutturati come *C*, *Perl* o *Pascal*. In aggiunta, in *Python* sono stati sviluppati e resi pubblici una elevata quantità di moduli software. Questi sono alcuni punti a favore della scelta di *Python* come linguaggio di programmazione impiegato per lo sviluppo del sistema De.Mo.ASH. A titolo di esempio, si riporta una porzione di codice *Python* del programma che gira in De.Mo.ASH e che definisce la funzione per l'acquisizione delle immagini e di altre azioni, che vengono eseguite attraverso pochissime righe di codice e grazie all'importazione di sole due librerie: *gpiozero* e *picamera*.

```
def imgCapture():
    light.on() # accensione sistema illuminazione
    camera.brightness = 55 # gestione luminosità acquisizione
    camera.start_preview() # avvio camera
```



```

sleep(2) # stabilizzazione della camera prima dello scatto
camera.capture(filePathName) # memorizzazione dell'immagine
sleep(1)
light.off() # spegnimento sistema illuminazione
camera.stop_preview() # chiusura camera

```

Esistono parecchie librerie e moduli software per il processamento di immagini in *Python*, più o meno complesse, spesso specifiche per certe tipologie di funzionalità e la quasi totalità è di libero uso. A seguire verranno brevemente descritte le principali librerie che sono state considerate e valutate durante il processo di scelta degli strumenti software per l'elaborazione delle immagini acquisite dal sistema per la rilevazione della cenere vulcanica.

Python Image Library (PIL o Pillow)

PIL è una libreria per la manipolazione delle immagini, abbastanza semplice, che offre strumenti piuttosto basilari per l'apertura, la manipolazione e il salvataggio di differenti formati di immagine [Sito documentazione *Python Image Library*]. È disponibile per *Windows*, *Mac OS X* e *Linux*. *Pillow* implementa differenti procedure standard per la manipolazione delle immagini, tra le quali:

- *per-pixel*;
- mascheramento e gestione della trasparenza;
- filtro delle immagini, come sfocatura, contornatura, levigatura o rilevamento dei bordi;
- miglioramento dell'immagine, come nitidezza, regolazione di luminosità, contrasto o colore;
- aggiunta di testo alle immagini e molto altro.

Inizialmente *Pillow* era stata valutata per lo strumento di estrazione dei bordi, che non avviene con accuratezza anche in presenza di una immagine abbastanza semplice, come mostrato nella figura a seguire.

Di seguito il codice *Python*, per l'estrazione dei contorni dell'immagine.

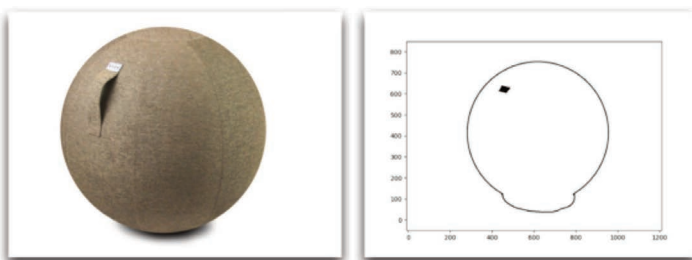


Figura 14 Estrazione dei bordi di un'immagine semplice (a sinistra) attraverso l'impiego della libreria *Pillow*. A destra il risultato a seguito del processamento.

Figure 14 Edges detection of a simple picture (on the left) through the use of the *Pillow* library. On the right the image processing result.

```

from PIL import Image
from pylab import *
# legge l'immagine e la converte in array
im = array(Image.open('palla.jpg').convert('L'))
# crea una nuova figura
figure()
# funzione che permette di estrarre i contorni
contour(im, levels=[145], colors='black', origin='image')
axis('equal')
show()

```

Scikit-learn Library

È una libreria principalmente per il *machine learning*, completamente *open source*, concepita per *Python*. Presenta vari algoritmi di classificazione, regressione e *clustering* ed è progettata per interagire con le librerie numeriche e scientifiche *Python NumPy* e *SciPy*. Adoperata anche per l'elaborazione di immagini grazie ad un elevato numero di algoritmi per l'*image processing* [Sito ufficiale Scikit-learn Library]. Come per la libreria *Pillow*, anche questa è stata valutata per lo strumento di estrazione dei bordi, che in una fase iniziale si voleva applicare alle immagini di cenere vulcanica, con risultati deludenti relativamente alla sua rilevazione, dato che mediamente si ha a che fare con particelle di dimensioni sotto il millimetro o di alcuni millimetri. Di seguito alcune elaborazioni eseguite su un'immagine generica e una in cui sono presenti particelle di cenere con granulometria tra 1 e 2 mm.

Figura 15 Estrazione dei contorni attraverso gli algoritmi di *Roberts* e *Sobel* implementati nella libreria *Scikit-learn*. Nella colonna di sinistra vengono mostrate le immagini originali da cui estrarre il contorno. Nelle immagini delle colonne di mezzo e destra, rispettivamente i contorni estratti con l'algoritmo di *Roberts* e *Sobel*.



Figure 15 Edge detection through *Roberts* and *Sobel* algorithms inside the *Scikit-learn* library. The original pictures are shown in the left column. The pictures in the middle and right columns show, respectively, the edges detected with the *Roberts* and *Sobel* algorithm.

Di seguito il codice *Python* utilizzato per l'estrazione dei contorni delle immagini.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from skimage import data
from skimage.color import rgb2gray
from skimage.filters import roberts, sobel, sobel_h, sobel_v, scharr,
\
    scharr_h, scharr_v, prewitt, prewitt_v, prewitt_h
image = data.imread('immagini.jpg', 0)
image = rgb2gray(image)
edge_roberts = roberts(image)
edge_sobel = sobel(image)
fig, ax = plt.subplots(ncols=2, sharex=True, sharey=True, figsize=(8,
4))
ax[0].imshow(edge_roberts, cmap=plt.cm.gray)
ax[0].set_title('Roberts Edge Detection')
ax[1].imshow(edge_sobel, cmap=plt.cm.gray)
ax[1].set_title('Sobel Edge Detection')
```

```

for a in ax:
    a.axis('off')
plt.tight_layout()
plt.show()

```

OpenCV Python Library

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) è una libreria software multiplatforma principalmente dedicata alla computer vision in tempo reale [Sito Ufficiale *OpenCV*]. Modulo software molto articolato, è uno strumento potente di libero utilizzo sotto licenza *open source* BSD. *OpenCV* è disponibile per i seguenti sistemi operativi: *Windows, Linux, macOS, FreeBSD, NetBSD, OpenBSD*. *OpenCV* è anche disponibile per i seguenti sistemi operativi *mobile*: *Android, iOS, Maemo, BlackBerry 10*. Le principali aree di applicazione includono:

- strumenti per funzionalità 2D e 3D;
- sistema di riconoscimento facciale;
- riconoscimento dei gesti;
- interazione uomo-computer (HCI);
- robotica mobile;
- comprensione del movimento;
- identificazione dell'oggetto;
- segmentazione immagini (*image thresholding processing*);
- *stereopsis stereo vision*: percezione della profondità da due telecamere;
- *motion tracking*;
- realtà aumentata.

Alla luce delle precedenti caratteristiche della libreria *OpenCV*, della sua affidabilità e dal largo impiego che se ne fa sulla piattaforma RPi, si è deciso di utilizzare i suoi strumenti di *Image Thresholding Processing* [Sito sulla documentazione ufficiale degli strumenti di *Image Thresholding Processing* di *OpenCV*]. Dopo un periodo impiegato ad analizzare, valutare e testare i differenti algoritmi riadattati per gli scopi del sistema De.Mo.ASH, si è arrivati alla soluzione cercata utilizzando l'algoritmo di "*Adaptive Thresholding*". Il risultato ottenuto viene supportato da una serie di test effettuati sulla stazione, simulando un evento di caduta di cenere vulcanica. In Figura 16 vengono riportate le immagini relative al *pre-processing* e al *post-processing* di alcune simulazioni effettuate, in cui è possibile osservare come nella riga inferiore, dove si trovano le immagini binarizzate, avvenga in modo molto accurato la rilevazione delle particelle di cenere, anche delle più piccole con granulometria minore di 0,5mm, a partire dalle immagini reali acquisite dal piatto di raccolta della stazione.

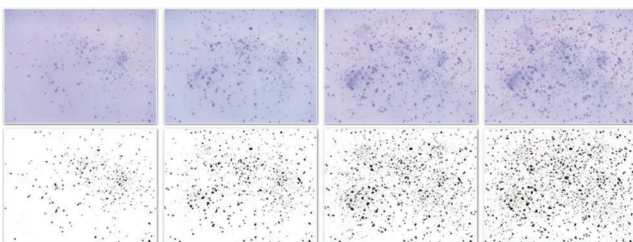


Figura 16 Elaborazione di immagini relative a particelle di cenere vulcanica attraverso algoritmi di *Adaptive Thresholding* di *OpenCV*. Sulla riga superiore sono presenti le immagini reali, acquisite dal Modulo Camera, sulla riga inferiore sono presenti le immagini processate e quindi binarizzate.

Figure 16 Image processing of volcanic ash particles using *OpenCV's Adaptive Thresholding* algorithms. At the top there are the original pictures, acquired by the Camera Module, at the bottom the binarized pictures.

Matplotlib

Matplotlib è una libreria per la generazione di grafici di ogni tipo per *Python*, vasta, molto versatile e di libero uso [Sito ufficiale libreria *Matplotlib*]. La generazione dei grafici nel sistema De.Mo.ASH avviene attraverso l'impiego di questo modulo *software*.

Per un quadro più completo e chiaro delle fasi relative all'acquisizione ed elaborazione delle immagini del sistema De.Mo.ASH, in Figura 17 viene riportato uno schema di principio, nel quale è facile intendere dove ogni blocco interviene e con quale sequenzialità. Entrando più nel dettaglio, si inizia con il catturare l'immagine del piatto di raccolta attraverso il Modulo Camera, gestito per mezzo della libreria *picamera*. Viene catturata e salvata in memoria l'immagine a colori, a questo punto vengono applicate le funzionalità di *OpenCV* mediante i seguenti passi eseguiti in maniera ricorrente attraverso un intervallo temporale da impostare in base a diverse esigenze richieste dal luogo di installazione della stazione:

- lettura del file collegato all'immagine acquisita;
- conversione dell'immagine a colori in una in scala di grigio, per essere opportunamente processata dal passo successivo;
- elaborazione dell'immagine attraverso l'*Adaptive Thresholding*, che rende l'immagine di partenza binaria, in cui sono solo presenti esclusivamente *pixel* bianchi e neri;
- viene effettuato il conteggio di un tipo di *pixel* come misurazione della quantità di cenere rilevata;
- se la quantità misurata è minore di una soglia (*Th*), adeguatamente scelta, non si è in presenza di caduta cenere e non viene generata nessuna segnalazione;
- se la quantità misurata è maggiore della *Th*, si è in presenza di caduta cenere e viene generata la segnalazione di allerta e contemporaneamente subentra il modulo software *matplotlib*, grazie al quale vengono generati grafici che, per esempio, possano descrivere informazioni come l'andamento nel tempo della quantità di cenere rilevata e quindi caduta nel punto d'installazione della stazione;
- qualora la quantità misurata sia maggiore della *Th* e contemporaneamente maggiore di un valore di "saturazione", opportunamente impostato, significa che sul piatto di raccolta è presente un'eccessiva quantità di cenere, tale da non permettere una sua misura affidabile, in questo caso viene generata una segnalazione di allerta saturazione per evento straordinario di caduta cenere.

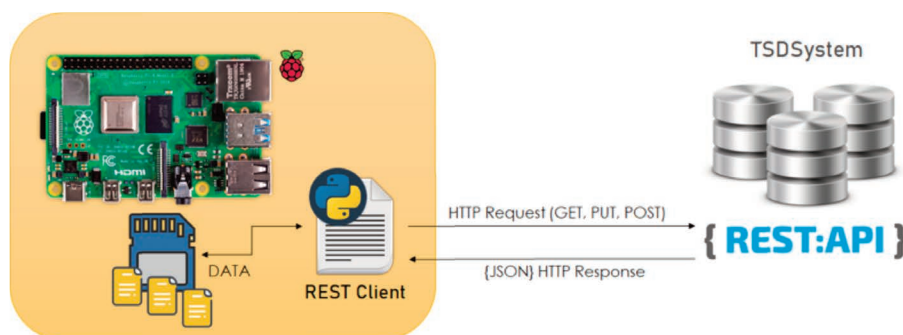


Figura 17 Schema di principio della fase di acquisizione ed elaborazione del sistema De.Mo.ASH, in cui si osservano i moduli software che intervengono durante il processo.

Figure 17 Diagram of the acquisition and processing phase of the De.Mo.ASH system, showing the software modules involved in the process.

3. Sistema di archiviazione dei dati

Questa sezione si occupa di spiegare come i dati raccolti dai sistemi De.Mo.ASH saranno trasmessi ed archiviati presso il centro acquisizione dati dell'INGV-OE.

All'INGV-OE è stato progettato ed implementato il framework TSDSystem (*TimeSeries Database System*) [Cassisi et al., 2015], il quale gestisce, oltre all'accesso e alla memorizzazione delle informazioni della rete delle stazioni, il salvataggio in maniera standardizzata delle diverse serie temporali all'interno di un database. L'operazione di standardizzazione rende il sistema capace di rispondere a richieste congiunte di differenti serie temporali proponendo la visualizzazione su un asse temporale comune, oppure la realizzazione di sistemi di allerta automatici basati su soglie. Sebbene il modello dei dati del TSDSystem non segua rigidamente il modello relazionale, per l'implementazione del database il TSDSystem si avvale del supporto dell'RDBMS (*Relational DataBase Management System*) MySQL (version 5.7) [Sito ufficiale MySQL].

3.1 Il web service del TSDSystem

I dati, una volta acquisiti e salvati nella memoria locale della stazione, verranno inviati in modalità *wireless* sfruttando il protocollo di rete HTTP (*HyperText Transfer Protocol*). Il TSDSystem fornisce delle API (*Application Program Interface*) sia per l'archiviazione che per l'interrogazione dei dati, per le quali è stato abilitato un web service REST (*Representational State Transfer*) contattabile attraverso il suddetto protocollo.

L'architettura REST [Fielding, 2000] prevede due ruoli ben precisi:

- il client che genera e consuma le richieste;
- il server che risponde alle richieste.

Un client invoca il servizio inviando il corrispondente messaggio di richiesta, il server respinge la richiesta o esegue l'attività richiesta prima di inviare un messaggio di risposta al client. La gestione delle eccezioni è delegata al client. Il servizio è *stateless*, ovvero non c'è uno storico della comunicazione tra le parti. Ciascuna richiesta di un client non è correlata ad una precedente, e deve quindi contenere tutte le informazioni necessarie al servizio per comprendere il significato della richiesta. Tutti i dati sullo stato della sessione vengono restituiti al consumatore del servizio alla fine di ciascuna richiesta. Ogni risorsa è accessibile attraverso un indirizzo univoco o URL (*Uniform Resource Locator*) e viene rappresentata in formato JSON (*JavaScript Object Notation*), HTML (*HyperText Markup Language*), o XML (*eXtensible Markup Language*); i server, infatti, rispondono alle richieste in questo formato. Nell'implementazione del TSDSystem viene utilizzato il formato JSON. Nella Figura a seguire viene definito e sintetizzato, sotto il profilo grafico, il processo di comunicazione tra il sistema De.Mo.ASH e il TSDSystem.

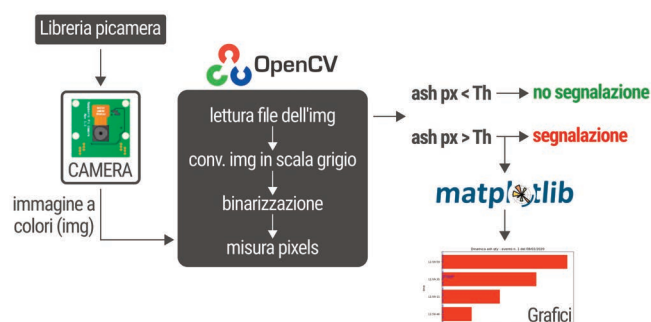


Figura 18 Sistema comunicativo e relativi protocolli utilizzati per lo scambio di dati tra la stazione De.Mo.ASH e il TSDSystem.

Figure 18 Communication system and related protocols used for data exchange between De.Mo.ASH and the TSDSystem.

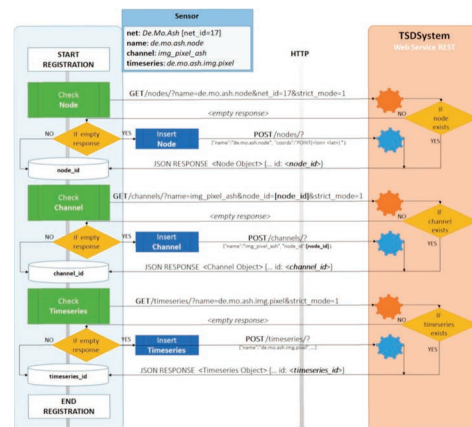
3.2 Esempio di interfacciamento al web service

La scelta dello standard HTTP permette l'implementazione e lo sviluppo di moduli per l'interfacciamento con il servizio attraverso svariate soluzioni e linguaggi di programmazione. Nel nostro caso, all'interno del RPi, verranno sviluppati in *Python* degli appositi moduli (o *script*) di caricamento che contatteranno il servizio inviando i dati letti dalla memoria locale utilizzando le credenziali fornite dal sistema. L'utilizzo delle API è infatti sottoposto a degli schemi di autenticazione ed autorizzazione che si basano sull'impiego dei token JWT (*JSON Web Token*) [Sito ufficiale JWT].

Inizialmente, il sistema contatterà il *web service* per controllare se i dati relativi al sistema stesso e alle serie temporali da caricare sono già presenti all'interno del database: in caso di esito negativo il sistema provvederà ad effettuare la registrazione delle informazioni necessarie (questo è il caso di una nuova installazione, si veda esempio di Figura 19); in caso di esito positivo, il sistema invierà gli ultimi dati della serie temporale letti e non ancora archiviati nel database.

Figura 19 Esempio di registrazione di una stazione attraverso il web service REST del TSDSystem.

Figure 19 Station registering example using the TSDSystem REST web service.



Di seguito un esempio di codice scritto in Python per l'inserimento di nuovi dati di una serie temporale già registrata con `timeseries_id=>5c8c6d67-bc4f-11ea-baef-00155d654c70`.

```
import requests
import json
```

```
timeseries_id = «5c8c6d67-bc4f-11ea-baef-00155d654c70»
```

```
# host servizio REST (accessibile solo in VPN)
service_host = «http://hpcufsoelab1/tsd/»
headers = {} # variabile contenente le informazioni dell'HEADER HTTP
```

```
# input per la generazione del token
payload = {
«username»: <my_username>,
«key»: <my_API_key>,
«http_method»: «POST»,
«requested_url»: «timeseries/»+timeseries_id+»/values»,
«instance_id»: timeseries_id
}
```

```
# end-point per rilascio token di autorizzazione (verbo HTTP POST)
url = service_host + «token/upstream»

# invio richiesta token JWT (tramite il verbo HTTP POST)
response = requests.post(url=url, headers=headers, data=payload)

# carica il contenuto della risposta in formato JSON
json_resp = json.loads(response.content)

# se le credenziali sono corrette e il server riconosce che l'utente
# specificato ha i diritti per poter effettuare l'operazione indicata
# nella richiesta, nel contenuto della risposta ci sarà un campo
# «jwt_token» valorizzato
post_token = json_resp[«jwt_token»]

# Esempio di inserimento di nuovi valori di una serie temporale.
# Parametri per il POST:
# - DateTimeList [stringa: lista tempi UTC in formato Zulu (es.: '2017-
# 01-01T00:00:00Z') separati da ';']
# - ValueList [stringa: lista valori numerici separati da ';']
# - insertSyntax [REPLACE, INSERT IGNORE, INSERT] (stessa sintassi
# MySQL)
# - debug [0|1] -> mostra info più dettagliate sull'esito
# dell'operazione
datetime_list = [«2019-05-17T00:00:00Z», «2019-05-17T00:01:00Z»]
value_list = [0.15, 3.12]

# input della richiesta
payload = {
«DateTimeList»: str.join(';', datetime_list),
«ValueList»: str.join(';', map(str, value_list)),
«insertSyntax»: «INSERT IGNORE»
}

# inserisci il token di autorizzazione nell'HEADER della richiesta
# HTTP
headers['Authorization'] = post_token

# invio dati (tramite il verbo HTTP POST)
response = requests.post(url=url, headers=headers, data=payload)

# stampa l'esito dell'invio dei dati
print(«Response from « + url)
if response.status_code == 500: # in caso di esito negativo
print(response.content)
else: # in caso di esito positivo
json_resp = json.loads(response.content)
print(json.dumps(json_resp, indent=4, sort_keys=True))
print(«\n»)
```

4. Principali elementi hardware impiegati nel sistema e loro funzione

In questa sezione verranno presentati, con maggiore dettaglio, i principali elementi hardware e le principali funzionalità da essi implementate, necessarie per il corretto funzionamento del sistema De.Mo.ASH. Le scelte qui esposte non devono essere valutate come le uniche alternative da considerare, bensì una possibile soluzione dettata da caratteristiche primarie quali rapporto qualità/costo e ridotte dimensioni, oltre ad ulteriori caratteristiche secondarie relative a proprietà intrinseche dell'elemento hardware.

4.1 Servo motore per la movimentazione del piatto di raccolta

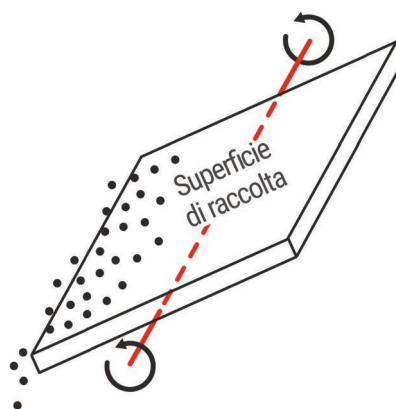
Uno dei componenti hardware di cruciale importanza per il corretto funzionamento dell'intero sistema e per la valida rilevazione della cenere relativa ad un preciso momento temporale, è certamente il piatto di raccolta. Tale elemento dovrà sicuramente essere caratterizzato da:

- basso costo (€0,50-1 con dimensioni di 13cm x 13cm), per cui è possibile prendere in considerazione materie plastiche espanse, che conferiscono contemporaneamente rigidità e leggerezza, caratteristiche imprescindibili per l'ottimale movimentazione attraverso un servo motore;
- una superficie, su cui viene raccolta la cenere, di colore bianco opaco per contrastare maggiormente le particelle di cenere scure, come descritto nella sezione 2.3;
- superficie antiadesiva ed antiaderente (angolo di contatto maggiore di 100°) con basso coefficiente di attrito per poter pulire il piatto dalla cenere successivamente alla conclusione di ogni evento di caduta cenere, a tal proposito si potrebbe considerare il politetrafluoroetilene (PTFE), che possiede interessanti caratteristiche per l'applicazione in questione (eccellente inerzia chimica, ottima resistenza sia alle basse che alle alte temperature, nessuna igroscopicità, resistenza all'invecchiamento).

Il servo motore viene impiegato per eseguire la movimentazione del piatto con l'obiettivo di pulire la superficie adibita alla raccolta delle particelle di cenere per l'acquisizione delle immagini da elaborare. Il processo di pulizia deve essere attentamente valutato e progettato per evitare, dopo la sua esecuzione, rimanenze non volute di particelle di cenere che andrebbero ad inficiare le misure delle successive rilevazioni. Come mostrato in Figura 20, il servo motore ruota il piatto attorno l'asse centrale, in figura evidenziato in rosso, attraverso alcuni step di rotazione e breve bloccaggio in modo da provocare leggeri scossoni al piatto che potrà meglio liberarsi delle particelle raccolte e pulire in maniera efficace la superficie.

Figura 20 Modalità di rotazione del piatto di raccolta della cenere vulcanica attorno l'asse centrale per permettere una efficace caduta delle particelle, ovvero della pulizia della superficie.

Figure 20 Rotation around the central axis of the plate for the collection of volcanic ash to allow an effective fall of the particles, in order to clean the surface.



Una possibile configurazione di movimentazione, considerando la posizione di raccolta a 0°, potrebbe essere: primo step portare il piatto a 45°; secondo step 90°; terzo step 135°; ultimo step riportare il piatto alla posizione di raccolta a 0°. Qualora si voglia conferire maggiore efficacia al processo di pulizia, si potrebbero prevedere due o tre cicli costituiti dagli step prima descritti. In questo modo la cenere caduta durante il processo di pulizia giungerà sulla base di appoggio o verrà semplicemente scaricata al di sotto del piatto di raccolta, in quanto la camera in cui quest'ultimo è alloggiato è aperta nella parte inferiore, al fine di una corretta evacuazione della cenere vulcanica accumulata. La movimentazione del piatto per la sua pulizia è previsto avvenga dopo ogni volta che il processo di elaborazione dell'immagine determina lo stato di sottosoglia (no caduta cenere) e successivamente alla determinazione dello stato relativo alla fine dell'evento di caduta cenere per ripulire il piatto dalle particelle raccolte ed essere pronto per la nuova attività di monitoraggio e in attesa dell'evento seguente.

La movimentazione viene attuata anche quando, in condizioni di pioggia, il sensore preposto ne rileva la presenza, per portare il piatto di raccolta in posizione di riparo per tutta la durata dell'evento pioggia, in modo da non bagnare la superficie ed essere asciutta per la successiva rilevazione della cenere. Al momento questo processo viene eseguito per evitare problematiche di rilevazione dovute ad eventuali mescolanze tra cenere e acqua piovana, che potrebbero generare fanghiglia, la quale potrebbe aderire in modo anomalo alla superficie, e in fase di pulitura determinare la sua pulizia parziale, generando false rilevazioni oltre a misurazioni non corrispondenti alla reale quantità di cenere caduta.

Un buon compromesso potrebbe essere il Micro Servo MG90S (Figura 21), costituito da ingranaggi in metallo, esso riesce ad esprimere sovrabbondanti performance di potenza rispetto all'applicazione De.Mo.ASH, nonostante sia caratterizzato da consumi di energia e dimensioni molto ridotti. Di seguito le sue principali proprietà:

- dimensioni (LxAxP) 28,1mm x 22,8mm x 12mm;
- tensione operativa 4.8V ~ 6.0V DC;
- coppia 2,1 kg/cm (@4,8V);
- peso 13g;
- corrente operativa 20mA
- velocità 0.13 sec/60° (@4,8V);
- temperatura di funzionamento da -30°C a 60°C;
- costo €2-4.

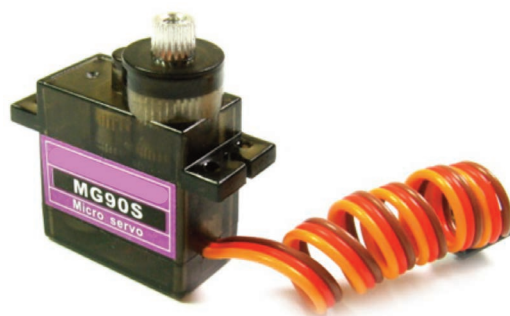


Figura 21 Micro Servo Motore MG90S.

Figure 21 Micro Servomotor MG90S.

4.2 Strip LED IP65 5V

Per effettuare l'acquisizione delle immagini relative alla superficie del piatto di raccolta con le medesime condizioni nel tempo, quindi sia in presenza di luce naturale, sia in sua assenza, o ancora in presenza di eventuali ombre, è necessario illuminare l'intero piatto di raccolta adeguatamente e in maniera omogenea. La soluzione maggiormente versatile per la sua elevata

modellabilità, il suo basso consumo energetico e ingombro minimo a fronte di un'elevata luminosità, è la *Strip LED* (Figura 22). Naturalmente, essa deve operare all'interno della camera di raccolta, ove è presente il piatto, e seppur riparata da un profilo a L che serve da supporto per il suo stabile ancoraggio, bisogna impiegare una variante stagna di categoria almeno IP65. Tale caratteristica permette il suo utilizzo per lunghissimo tempo anche in situazioni ambientali umide o nelle quali è presente la pioggia. Il profilo a L, che scorre lungo i quattro lati della camera per permettere l'applicazione della *strip* in altrettanti lati per la generazione di un'illuminazione omogenea, è di alluminio, in modo da essere estremamente leggero, ma contemporaneamente assolvere alla funzione di dissipatore passivo del calore prodotto dalla *strip* e garantirgli una vita utile più lunga, non sottoponendo il componente a stress termici, che durante i periodi estivi potrebbero essere elevati.

Figura 22 *Strip LED* IP65 utilizzata come elemento di illuminazione del piatto di raccolta.

Figure 22 IP65 strip LED used as a lighting element of the collection plate.



Di seguito le principali caratteristiche:

- tensione 5V;
- potenza assorbita 3,5W/m;
- consumo energetico 1,8W circa (considerando circa 50 cm di lunghezza); tale valore in assoluto rappresenta già un valore basso, ma se si considerano i tempi di accensione limitati esclusivamente ad alcuni secondi in cui il sistema acquisisce l'immagine, allora saranno valori esigui se considerati in ottica di media temporale;
- temperatura di colore indifferente se al di sotto dei 6000K;
- costo €3-5.

4.3 Moduli relè 5V

Nel sistema De.Mo.ASH vengono impiegati due Relè elettromeccanici (Figura 23) con contatto pulito per il pilotaggio della *strip LED* e per garantire l'isolamento elettrico del segnale che comanda il servo motore durante i periodi di inattività. La *strip LED* non può essere pilotata direttamente dai segnali della GPIO del RPi, perchè operanti con logica a 3,3V ed inoltre non sarebbero in grado di erogare la potenza richiesta per il suo corretto funzionamento. Per quanto concerne il servo motore, è possibile collegare il segnale che lo comanda direttamente ad un piedino *general purpose* della GPIO. Questa continuità elettrica espone il servo motore ad inconvenienti da evitare nei periodi di non impiego, come rumore elettrico e deboli spike di tensione che possono generare delle micro movimentazioni del piatto di raccolta determinando il possibile spostamento delle particelle di cenere o addirittura la loro caduta, falsando la misura effettuata dal sistema. Risulta necessario, pertanto, assicurare una separazione galvanica tra il piedino della GPIO e il connettore di segnale del servo motore; ciò viene garantito attraverso l'uso del relè, che lo alimenterà esclusivamente durante il periodo in cui è richiesta la movimentazione del piatto di raccolta e assicurando, d'altro canto, una ferma tenuta in posizione di raccolta nei momenti di inattività.

Di seguito le sue principali proprietà:

- dimensioni (LxAxP) 33mm x 26mm x 17mm;
- tensione di alimentazione 5V;
- assorbimento di corrente <80mA
- costo €1-2 a pezzo.

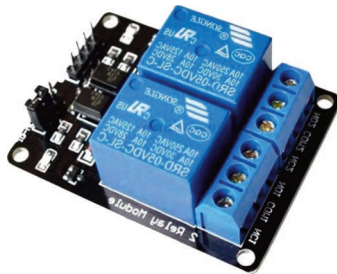


Figura 23 Coppia di relè impiegati per la gestione dell'illuminazione e del servo motore.

Figure 23 Relays used for lighting and servomotor management.

4.4 Sensore di pioggia

Come già introdotto nella sezione 4.1, durante le fasi di pioggia o neve è opportuno posizionare il piatto di raccolta del sistema in posizione di riparo, al fine di mantenere asciutta il più possibile la superficie designata alla raccolta delle particelle di cenere vulcanica e ricollocarla nuovamente in posizione di rilevamento attivo non appena l'evento pioggia si sia concluso. Per effettuare tali operazioni bisogna impiegare un sensore che possa rilevare la pioggia/neve, generando opportuni segnali da inviare alla RPi per il loro processamento. Nel caso specifico è stato impiegato un sensore di pioggia contraddistinto da due differenti parti (Figura 24) per una migliore disposizione delle stesse:

scheda di rilevazione, che bisogna esporre al di fuori della struttura del sistema per venire a contatto con la pioggia/neve e che dispone di entrambe le facce sensibili alla rilevazione;

scheda di controllo, nella quale è presente un trimmer con cui poter regolare la sensibilità di rilevazione.

Di seguito le principali caratteristiche:

- dimensioni scheda di rilevazione (LxA) 50mm x 40mm;
- dimensioni scheda di controllo (LxA) 32mm x 14mm;
- tensione di alimentazione 5V;
- assorbimento di corrente di poche decine di mA;
- costo €2-3.



Figura 24 Sensore per la rilevazione della pioggia e della neve, costituito dalla scheda di rilevazione (sinistra) e dalla scheda di controllo (destra).

Figure 24 Rain and snow detection sensor, consisting of the detection board (on the left) and the control board (on the right).

4.5 Elementi hardware secondari

I componenti hardware secondari sono degli elementi utili per implementare specifiche funzionalità, ma la loro presenza non è indispensabile come per i componenti primari, i quali, invece, sono necessari per il corretto funzionamento del sistema De.Mo.ASH, così come ideato e progettato. In generale tra i requisiti-vincoli di progetto sono presenti il basso costo del sistema nella sua interezza e la semplicità come principale criterio guida, motivi per cui la tendenza che viene seguita è quella di considerare solo i componenti non superflui per lo sviluppo della stazione e delle sue funzionalità primarie.

Nello specifico, il prototipo dimostrativo di Figura 2, in quanto sistema dimostrativo e utilizzato come vero e proprio laboratorio di prove, è provvisto di:

- n. 1 led ad elevata luminosità di colore rosso, impiegato come led di “stato”, comunicando lo stato del sistema attraverso la sua accensione o lampeggiamento, per esempio, durante la rilevazione di cenere vulcanica il led inizia a lampeggiare in segno di allarme, cercando di comunicare uno stato di emergenza. Tale funzione potrebbe essere utile in un contesto in cui sono presenti persone che possono raccogliere la comunicazione visiva fornita dalla stazione;
- n. 1 *display* alfanumerico LCD monocromatico contraddistinto da 32 caratteri disposti su due righe; esso è caratterizzato da un bassissimo consumo energetico ed utilizzato per veicolare brevi informazioni sui differenti stati in cui il sistema si trova o su precise informazioni tecniche relativamente al funzionamento della stazione, ciò può essere utile per un duplice motivo, il primo, come nel caso precedente, per veicolare informazioni ai non addetti ai lavori, mentre, nell'altro caso per fornire informazioni al personale addetto ai lavori che effettuano manutenzioni, aggiustamenti o semplicemente controllano il corretto funzionamento dei sistemi, agevolando il lavoro di questi ultimi anche in termini di tempo impiegato nell'attività. Risulta chiaro che è possibile utilizzare differenti soluzioni di *display* sulla base delle varie esigenze, come OLED, *touch*, a colori, etc;
- *case* protettivo e da utilizzare per l'ancoraggio stabile del Modulo Camera (Figura 25), il quale è costituito da una piccola scheda elettronica in cui viene alloggiato il sensore senza protezione. Sebbene la sua collocazione è all'interno della camera di rilevazione, necessita comunque di essere protetto da umidità e schizzi dovuti a gocce di pioggia.

Per quanto dei led e display si possa fare a meno, nelle stazioni che saranno oggetto di installazioni reali sul territorio non si potrà fare a meno del *case* protettivo per il modulo camera, dove l'impiego di questo elemento secondario connota il sistema di maggiore robustezza, prolungando la sua vita utile.

Figura 25 Esempio di case protettivo per il modulo camera del RPi, in cui si distinguono le coppie di fori per il suo fissaggio stabile.

Figure 25 Protective case for the RPi Camera Module, where the pairs of holes for its fixing are distinguished.



5. Dispositivi di networking

L'obiettivo di questa sezione è quello di fornire strumenti e suggerimenti relativi all'utilizzo di dispositivi di *networking*, per consentire la connessione remota della SBC alla rete dati in luoghi in cui è presente una copertura del segnale cellulare e qualora non sia del tutto presente una rete *WiFi*, o lo sia in modo instabile e/o inaffidabile. La presente trattazione non ha la pretesa di essere esaustiva ma ha solo scopo esemplificativo, considerando i dispositivi presenti sul mercato durante la stesura del rapporto in questione.

Si ricorda come gli SBC RPi 4 abbiano integrata la capacità di collegamento con le reti *WiFi* presenti nei luoghi di installazione e pertanto di accedere ad *internet*, qualora la rete lo permettesse; tuttavia, spesso in molti dei luoghi di interesse non sarà disponibile una rete *WiFi*, dovendo così ricorrere ad opportuni dispositivi di *networking* da accoppiare con la SBC. Bisogna inoltre evidenziare come la copertura del segnale cellulare, attraverso le relative reti, sia pressoché totale su tutto il territorio nazionale e in ogni caso sempre presente in luoghi remoti ma sensibili o di particolare rilevanza, come alcuni siti dove il sistema De.Mo.ASH verrà installato. L'affidabilità e la stabilità di tali reti cellulari a livello mondiale, offre, dunque, una elevata sicurezza di connessione delle stazioni ad *internet* e di conseguenza ciò concorre ad una elevata affidabilità dell'intero sistema in termini di invio e ricezione delle informazioni relative ad eventi di caduta cenere che si verificano. Alla luce delle precedenti considerazioni i sistemi De.Mo.ASH possono quindi definirsi, a tutti gli effetti, sistemi IoT (*Internet of Things*), in quanto sistemi intelligenti e connessi.

Il ventaglio di dispositivi e soluzioni per il *networking*, da impiegare per gli scopi oggetto di questo rapporto è ampio; ciò nonostante, di seguito si presenteranno con maggiore dettaglio solo due soluzioni alternative con caratteristiche differenti e da privilegiare l'una o l'altra sulla base della specifica tipologia di applicazione da sviluppare. Tra le tante sono state individuate queste due perché compatibili con i requisiti da perseguire nel progetto De.Mo.ASH, tra i quali si ricorda la compattezza, il basso consumo energetico e il basso costo.

5.1 Router industriale compatto

I dispositivi presi in considerazione sono i seguenti:

- *Teltonika* RUT230;
- *Teltonika* RUT240 [Sito ufficiale *Teltonika*].



Figura 26 Aspetto del router industriale *Teltonika* RUT230.

Figure 26 Appearance of the *Teltonika* RUT230 industrial router.

Sono router *WiFi* 3G (4G nel caso del RUT240) di tipo industriali, di dimensioni compatte, economici e sicuri per applicazioni professionali. Offrono prestazioni elevate per comunicazioni cellulari *mission-critical* in ambienti severi e pericolosi in cui è richiesta un'ampia temperatura operativa. Dotato di due porte *Ethernet*, supporto per scheda SIM, ingresso/uscita digitale e LED di stato dell'intensità di segnale, garantisce una facile implementazione e gestione della

rete. I connettori di tipo SMA esterni consentono di collegare le antenne desiderate (*mobile e/o WiFi*) per trovare facilmente la migliore posizione del segnale.

Nel caso specifico dell'applicazione De.Mo.ASH è stato testato il modello RUT230, dato che offre una più che soddisfacente velocità in termini di trasmissione dati per le esigenze dell'applicazione ad un costo minore rispetto alla versione 4G.

Nella Figura 26 viene mostrato il *router Teltonika RUT230*.

Punti di Forza

- Come già detto il maggiore dei punti di forza è l'estrema facilità in termini di implementazione e gestione della rete. Questa soluzione permette in pochi minuti di dotare il SBC di una connessione ad internet inserendo la SIM nel suo supporto e collegando il router attraverso un cavo *ethernet*, senza alcuna esigenza di implementare e gestire la rete attraverso moduli software da scrivere per gestire particolari aspetti richiesti dall'applicazione.
- Progettato per resistere in condizioni ambientali severe e con elevate escursioni termiche (da -40 °C a 75 °C), caratteristiche tipiche, per esempio, di luoghi all'aperto in cui verranno installate le stazioni.
- Robustezza del dispositivo grazie alla presenza di un alloggiamento in alluminio, che non pregiudica il peso di soli 125 grammi.

Punti di Debolezza

- Ingombro. Seppure rappresenti in generale una soluzione compatta (8,3 x 7,4 x 2,5 cm antenne escluse), per il sistema De.Mo.ASH non possiede ingombri da prediligere. L'obiettivo è realizzare un sistema che possa essere il più compatto possibile e a questo proposito i RUT230-240 non permettono di confinare tutta l'elettronica in un alloggiamento di minime dimensioni, come è possibile notare in Figura 2, in cui viene mostrato il prototipo dimostrativo dove è presente il RUT230 come dispositivo di networking. In questo caso la camera dedicata non può avere misure molto più piccole di 17,5 x 15 x 7,5 cm, mentre l'idea è quella di confinare tutta la parte elettronica in un alloggiamento al massimo di 15 x 11 x 7 cm.
- Alimentazione 9-30V. Questi parametri di tensione non sono compatibili con quelli del RPi (5V), ciò comporta dover utilizzare due alimentatori differenti, con due cavi diversi che devono entrare nell'alloggiamento dedicato all'elettronica, rendendo meno semplice il sistema in generale, perché presenti un numero maggiore di elementi che costituiscono il sistema.
- Costo intorno ai 100€. Pur essendo, in termini generali di mercato, un costo adeguato rispetto al prodotto e alle sue qualità, esso risulta essere eccessivo per il requisito di costo generale richiesto al sistema De.Mo.ASH.
- Consumo energetico. In condizioni di carico di lavoro medio e con una copertura del segnale cellulare soddisfacente il dispositivo consuma poco più di 2W, in tutte le altre condizioni il consumo è comunque sempre minore di 5W. In generale un consumo esiguo, ma relativamente al sistema De.Mo.ASH si punta ad una soluzione con fabbisogni energetici ancora più bassi a parità di qualità e affidabilità di prodotto.

5.2 Utilizzo della scheda di espansione per *Raspberry Pi* “SIM7600X 4G”

Il modulo SIM7600E-H 4G (versione europea) [Wiki ufficiale Waveshare® SIM7600E-H 4G HAT] nasce come scheda di espansione da utilizzare con i più noti SBCs e sistemi a microcontrollore, come *Raspberry Pi*, *Nvidia Jetson Nano*, *Arduino*, *STM32*, etc. Se si considera la piattaforma RPi,

tale modulo viene definito modulo HAT (*Hardware Attached on Top*). Le schede HAT sono progettate per collegarsi direttamente al modulo GPIO del RPi, in modo da ottenere facilitazioni in termini di:

- collegamento fisico dei piedini di alimentazione e I/O, replicando il più delle volte la disponibilità dell'intero modulo GPIO sulla stessa scheda HAT;
- minimo ingombro, in quanto tali moduli HAT non prevedono involucri contenitivi o *case*, ma sono generalmente costituiti dalla sola PCB (*Print Circuit Board*) e dai componenti necessari per il suo funzionamento.

In Figura 27 viene mostrata la parte superiore ed inferiore dell'HAT per RPi SIM7600E-H 4G della Waveshare, in cui vengono numerati, e successivamente descritti, i suoi principali componenti.

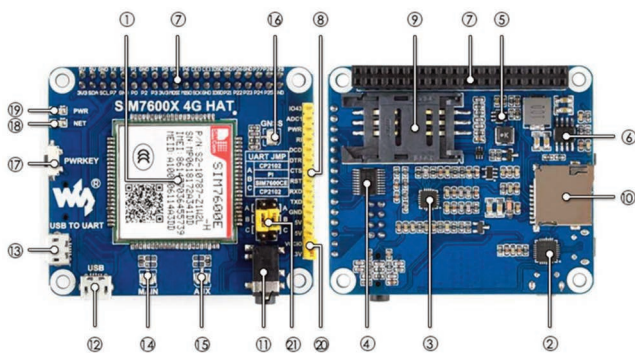


Figura 27 Scheda di espansione Waveshare® SIM7600E-H 4G per Raspberry Pi. A sinistra la parte superiore, a destra quella inferiore.

Figure 27 Electronic board Waveshare® SIM7600E-H 4G for Raspberry Pi. On the left the top side, on the right the bottom side.

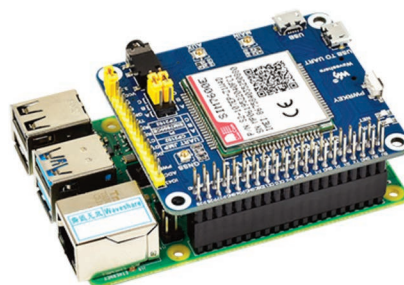
1. Chip SimCom SIM7600E-H
2. CP2102 USB-UART converter
3. NAU8810 audio decoder
4. TXS0108EPWR voltage translator, utilizzato per abbassare i livelli di tensione da 3.3V/5V a 1.8V
5. MP2128DT power chip
6. MP1482 power chip
7. Raspberry Pi GPIO header, utilizzato per una connessione diretta con il Raspberry Pi
8. SIM7600 control interface, utilizzato per una connessione diretta con schede e MCU quali Arduino, STM32
9. SIM card slot, supporta SIM card a 1.8V/3V
10. TF card slot, permette la memorizzazione di file, SMS, etc.
11. jack 3.5mm per cuffie/microfono
12. Interfaccia USB, utilizzato per testare comandi AT, ottenere i dati di posizionamento GPS, etc.
13. Interfaccia USB to UART, utilizzato per il *serial debugging* o il *login* al Raspberry Pi
14. Connettore (MAIN) per l'antenna che riceve il segnale cellulare
15. Connettore per l'antenna di tipo AUX
16. Connettore per l'antenna di tipo GNSS (*Global Navigation Satellite System*)
17. Power switch
18. Network status LED
19. Power LED
20. Jumper per la selezione della tensione di alimentazione
21. Jumper per la selezione della modalità UART: A) accesso al RPi via USB to UART; B) controllo della SIM7600 dal RPi; C) controllo della SIM7600 via USB to UART

Punti di forza

- Compattezza e leggerezza. Tali caratteristiche sono tipiche dei moduli HAT, come già detto, essi rappresentano delle schede minimali, spogliate di qualsiasi aspetto superfluo e non presentano nessun involucro contenitivo, potendosi così agganciare direttamente al modulo GPIO del RPi. In Figura 28 viene mostrata una scheda HAT Waveshare® SIM7600E-H 4G connessa al RPi. Si può facilmente notare come questa sia una soluzione eccellente sotto il profilo degli ingombri e della leggerezza del sistema complessivo dato dalla somma dei due.

Figura 28 Sistema costituito dalla connessione diretta tra Raspberry Pi e la scheda HAT Waveshare® SIM7600X 4G.

Figure 28 Direct connection between Raspberry Pi and the Waveshare® SIM7600X 4G HAT board.



- Alimentazione. Il modulo HAT in questione può essere alimentato, in base alle specifiche esigenze di progetto, sia a 3,3V che a 5V. Tali livelli di tensione sono i medesimi forniti dalla piattaforma RPi, ciò comporta che il modulo HAT può essere alimentato direttamente dallo stesso alimentatore a 5V del RPi grazie alla diretta connessione tra di loro, così come effettuato nell'immagine di Figura 25. Questo è un aspetto parecchio importante, in quanto permette di utilizzare un solo alimentatore (opportunamente dimensionato in termini di potenza) e un solo cavo in ingresso alla camera riservata all'elettronica, semplificando il sistema nel suo complesso.
- Costo. Rispetto alla soluzione con *router* questa presenta un costo più basso, pur mantenendo elevati standard di qualità e affidabilità.
- Consumo energetico. Anche in questo caso, rispetto alla soluzione presentata nella sezione precedente, si riscontra un consumo energetico minore. Mediamente ci si attesta ad un valore più basso di 2W, contribuendo ad un fabbisogno energetico minore del sistema in termini complessivi, aspetto cruciale qualora si voglia alimentare la singola stazione con moduli fotovoltaici.
- Versatilità. Il collegamento alla rete dati cellulare da parte della scheda SIM7600E-H 4G è solo una delle tante funzionalità che possiede. Prima tra tutte bisogna citare il supporto al sistema di posizionamento satellitare, tra i quali: *GPS*, *Glonass*, *BeiDou* e *LBS base station positioning*. L'utilizzo di uno di questi sistemi di posizionamento, permetterebbe di fornire affidabili informazioni sulla rilevazione della posizione del sistema all'interno di una rete o in uno specifico territorio. In aggiunta e in base ai requisiti di progetto, il modulo HAT SIM7600E-H 4G supporta anche le seguenti funzionalità e protocolli: chiamate telefoniche, SMS, MMS, *dial-up*, email, TCP, UDP, DTMF, HTTP, FTP, etc.

Punti di debolezza

- A fronte di tanti punti di forza espressi dal modulo HAT Waveshare® SIM7600X 4G, il risvolto della medaglia è rappresentato da una non semplice implementazione e gestione della rete. A differenza della soluzione con *router*, in questo caso non basta effettuare una connessione fisica ma bisogna agire a più basso livello, attraverso precisi comandi (per esempio comandi di tipo AT) o *script* scritti in linguaggi di programmazione come *Python*

o C++. Bisogna, pertanto, studiare e capire come ragiona il modulo HAT e implementare del codice per fare eseguire le azioni richieste. Sebbene non sia nulla di particolarmente difficoltoso, ciò comporta comunque investire tempo in questi processi e nella fase di testing affinché tutto funzioni in modo stabile ed efficace. In conclusione, l'utilizzo di questa soluzione rispetto al *router* non è immediata e non è indicata ai soggetti che non abbiano specifiche conoscenze di natura informatica ed elettronica, ma certamente permette una gestione delle azioni e modulazione dei singoli parametri che non si potrebbe avere altrimenti; in aggiunta bisogna anche evidenziare che questo svantaggio viene ulteriormente compensato dal fatto che lo *script* viene scritto e testato un'unica volta per essere poi disponibile per tutte le stazioni attraverso la semplice e veloce azione di caricamento del codice in memoria.

In base alle osservazioni effettuate, la soluzione che impiega il modulo HAT SIM7600E-H 4G si è ritenuta come la più adeguata rispetto ai vincoli-requisiti di progetto e ritenendo, inoltre, che la possibilità di intervenire a più basso livello per l'implementazione, la gestione e il controllo delle singole azioni da compiere sia in definitiva un ulteriore punto di forza non in senso assoluto ma relativamente a questo particolare progetto.

Di seguito un esempio di comandi in bash per effettuare l'accesso alla rete dati cellulare e dotare il sistema di connettività internet grazie all'utilizzo del modulo HAT.

```
sudo qmicli -p -d /dev/cdc-wdm0 -dms-set-operating-mode='online'
sudo qmicli -p -d /dev/cdc-wdm0 -dms-get-operating-mode
sudo qmicli -p -d /dev/cdc-wdm0 -nas-get-signal-strength
sleep (3)
sudo qmicli -p -d /dev/cdc-wdm0 -nas-get-home-network
sleep (3)
sudo qmicli -p -d /dev/cdc-wdm0 -w
sudo ip link set wwan0 down
echo 'Y' | sudo tee /sys/class/net/wwan0/qmi/raw_ip
sudo ip link set wwan0 up
sudo qmicli -p -d /dev/cdc-wdm0 -wds-start-network=»apn='YOUR_APN',
username='YOUR_USERNAME',password='YOUR_PASSWORD',ip-type=4» -
client-no-release-cid
sudo route add -net 0.0.0.0 wwan0
sudo udhcpc -i wwan0
sudo ip a s wwan0
sudo ip r s
```

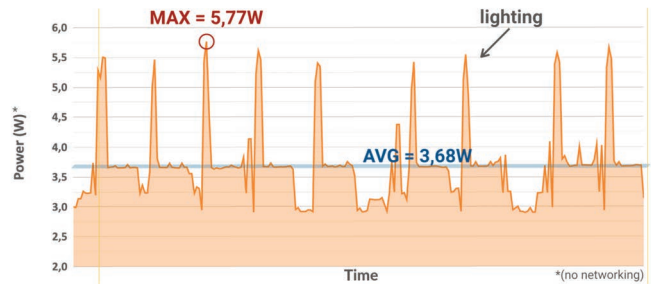
6. Analisi del consumo energetico

In Figura 29 viene mostrato l'andamento temporale della potenza necessaria per il normale funzionamento del sistema De.Mo.ASH. In questo caso il fabbisogno energetico della stazione viene registrato senza tenere conto del contributo del sistema di networking, che come si è visto nella precedente sezione, può essere di diversa natura in base alle specifiche esigenze del progetto. Come è possibile notare dal grafico la potenza media assorbita si attesta intorno i 3,68 W, valore davvero esiguo ma che garantisce l'adeguato funzionamento dell'intero sistema. Dall'analisi del grafico si notano anche dei picchi di potenza assorbita che si presentano in modo costante, con il valore maggiore che si attesta a 5,77 W. Tali picchi sono dovuti all'accensione

automatica del sistema di illuminazione, e pertanto il fabbisogno energetico della strip led si attesta ad un valore di circa 2,1 W. Il periodo temporale tra i picchi consecutivi di massimo assorbimento coincide, con buona approssimazione, con l'intervallo temporale impostato tra un'elaborazione dell'immagine catturata e la successiva.

Figura 29 Andamento temporale relativo alla potenza assorbita dal sistema De.Mo.ASH durante il suo normale funzionamento.

Figure 29 Evolution over time of the power by the De.Mo.ASH system during its normal operation.



7. Prossimi sviluppi e considerazioni finali

Il sistema, oggetto di questo rapporto, può essere migliorato e dotato di numerose funzionalità, alcune delle quali sono, allo stato attuale, in fase di analisi e sviluppo iniziale. Di seguito vengono presentate le più importanti.

Considerando i dati presenti in letteratura, si possono ricavare informazioni relative al peso specifico della cenere vulcanica legato a particolari zone territoriali, se tali zone comprendessero i luoghi di installazione delle stazioni, allora sarà possibile determinare una stima piuttosto precisa di quello che abbiamo chiamato il "Pixel Digital Weight" (PDW), in altre parole la stima del peso di un singolo pixel che rappresenta la cenere vulcanica in un'immagine binaria. Conosciuto il valore del PDW, si può stimare la misura del peso, per unità di superficie, della cenere vulcanica caduta al suolo. In questa maniera è possibile ottenere in tempo reale, e contestualmente, sia l'informazione sull'inizio e fine di un evento di caduta cenere, ma anche conoscere la stima del suo peso per unità di superficie con una buona accuratezza; informazioni chiave per agire nell'immediato rispetto ad una serie di azioni da intraprendere nel minore tempo possibile. Lo studio, l'approfondimento e lo sviluppo di questa importante funzionalità del sistema è già iniziata e i primi risultati sono molto incoraggianti, sintomo che si sta percorrendo la strada giusta.

In termini di sviluppi futuri, certamente una via interessante da esplorare è quella relativa all'impiego di tecniche di Intelligenza Artificiale per il riconoscimento e l'esclusione di corpi estranei, tra i quali: gocce di pioggia, escrementi di uccelli, etc., in modo da ottenere sempre un risultato molto accurato ed inviare avvisi di manutenzione immediati.

Alla luce di ciò che è stato presentato in questo rapporto tecnico, si può affermare che il sistema sviluppato risponde in modo ottimale ai requisiti del progetto *Ash-RESILIENCE*, infatti il sistema De.Mo.ASH risulta essere:

- a bassissimo costo, lo si può assemblare spendendo meno di €200;
- a basso consumo energetico, assorbendo pochi *watts* di potenza, condizione ideale per un futuro utilizzo in combinata con un sistema fotovoltaico con accumulo di energia;
- di dimensioni compatte e a basso peso (abbondantemente sotto i 2 kg), pertanto di facile trasporto e installazione.

Bisogna, altresì, sottolineare come ogni singolo punto precedente sia passibile di significativi miglioramenti continuando un costante sviluppo del sistema.

In definitiva il sistema De.Mo.ASH, rappresenta un sistema versatile, al quale è possibile aggiungere nuove funzionalità in modo semplice. per diventare uno strumento utile nel campo del monitoraggio e rilevazione in tempo reale delle ceneri vulcaniche.

Ringraziamenti

Le attività legate a questo lavoro e lo sviluppo del sistema De.Mo.ASH hanno beneficiato dei finanziamenti forniti dal progetto Premiale Ash-RESILIENCE, il quale è stato finanziato dal MIUR (FOE 2015), con “Nota Prot. n. 850”. Grazie a ciò, l'Ing. Giuseppe Suriani ha potuto dedicarsi allo sviluppo del sistema oggetto di questo rapporto, grazie al conferimento di due assegni di ricerca ognuno dei quali di durata annuale. È doveroso ringraziare tutti gli autori di questo lavoro, i quali si sono sempre dimostrati disponibili e hanno contribuito, seppur in misura diversa, in modo determinante ed essenziale allo sviluppo del sistema.

Tra questi, altresì, è doveroso ringraziare in modo speciale le persone che hanno permesso che il progetto De.Mo.ASH diventasse realtà, permettendo uno svolgimento fluido delle attività grazie al loro aiuto, dedizione, cortesia e acume scientifico-gestionale: il Dott. Daniele Andronico e l'Ing. Placido Montalto, rispettivamente Responsabile Scientifico e Responsabile del *Work Package* n.4 del progetto Ash-RESILIENCE. Si vuole anche ringraziare il Dott. Carmelo Cassisi per la sua grande disponibilità e capacità nel fornire un contributo chiave a questo lavoro.

Bibliografia

- Andò B., Baglio S., Marletta V., Medico S., (2013). *A smart multisensor system for volcanic ash fall-out monitoring*. Sensors and Actuators A: Physical, Volume 202, 1 November 2013, Pages 13-22.
- Andronico D., Ferrari F., Merenda R., Reitano D., Scollo S., Cristaldi A., Lodato L. and Mangiagli S., (2015). *Tefranet: a collaborative system for tephra fallouts from Etna using mobile and web-based apps*. 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Prague, Czech Republic, 22 June - 2 July 2015.
- Barsotti S., Andronico D., Neri A., Del Carlo P., Baxter P.J., Aspinall W.P, Hincks T., (2010). *Quantitative assessment of volcanic ash hazards for health and infrastructure at Mt. Etna (Italy) by numerical simulation*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 192, Issues 1-2, 20 April 2010, Pages 85-96.
- Cassisi C., Montalto P., Aliotta M., Cannata A., Prestifilippo M., (2015). *TSDSystem: un database multidisciplinare per la gestione di serie temporali*. In: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Rapporti Tecnici, ISSN: 2039-7941, n. 304.
- Corradini S., Montopoli M., Guerrieri L., Ricci M., Scollo S., Merucci L., Marzano F.S., Pugnaghi S., Prestifilippo M., Ventress L.J., Grainger R.G., Carboni E., Vulpiani G. and Coltelli M., (2016). *A Multi-Sensor Approach for Volcanic Ash Cloud Retrieval and Eruption Characterization: The 23 November 2013 Etna Lava Fountain*. Remote Sens. 2016, 8(1), 58.
- Craig H., Wilson T., Stewart C., Outes V., Villarosa G. and Baxter P., (2015). *Impacts to agriculture and critical infrastructure in Argentina after ashfall from the 2011 eruption of the Cordón Caulle volcanic complex: an assessment of published damage and function thresholds*. J. Applied. Volcan., 5:7, 1-31.
- Fielding R.T., (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*, Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000.
- Marzano F.S., Barbieri S., Vulpiani G., Rose W.I., (2006). *Volcanic Ash Cloud Retrieval by Ground-Based Microwave Weather Radar*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,

Volume: 44, Issue: 11 , Nov. 2006.

Pergola N., Tramutoli V., Marchese F., Scaffidi I., Lacava T., (2004). *Improving volcanic ash cloud detection by a robust satellite technique*. Remote Sensing of Environment, Volume 90, Issue 1, 15 March 2004, Pages 1-22.

Wilson T.M., Stewart C., Sword-Daniels V., Graham S.L., David M.J., Cole J.W., Wardman J., Wilson G., Barnard S.T., (2012). *Volcanic ash impacts on critical infrastructure*. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volumes 45-46, 2012, Pages 5-23.

Sitografia

Sito wikipedia sul significato del bot in informatica:

[https://it.wikipedia.org/wiki/Bot_\(informatica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Bot_(informatica))

Sito ufficiale Asus Thinker Board:

<https://www.asus.com/it/Single-Board-Computer/Tinker-Board-S/>

Sito ufficiale Nvidia Jetson Nano:

<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>

Sito ufficiale Orange Pi 3: <http://www.orangepi.org/Orange%20Pi%203/>

Sito ufficiale ODroid C4: <https://www.hardkernel.com/shop/odroid-c4/>

Sito ufficiale Banana Pi M64: <http://www.banana-pi.org/m64.html>

Sito ufficiale Rock Pi 4: <https://rockpi.org/rockpi4>

Sito ufficiale Raspberry Pi: <https://www.raspberrypi.org/>

Sito ufficiale Raspberry Pi Italia: <https://www.raspberrypi.org/>

Sito della documentazione ufficiale della libreria python picamera:

<https://picamera.readthedocs.io/en/release-1.13/>

Sito ufficiale Python: <https://www.python.org/>

Sito documentazione Python Image Library: <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/>

Sito ufficiale Scikit-learn Library: <https://scikit-learn.org/stable/>

Sito Ufficiale OpenCV: <https://opencv.org/>

Sito ufficiale libreria Matplotlib: <https://matplotlib.org/>

Sito ufficiale MySQL: <https://www.mysql.com/it/>

Sito ufficiale JWT: <https://jwt.io/>

Sito ufficiale Teltonika: <https://teltonika-networks.com/>

Wiki ufficiale Waveshare SIM7600E-H 4G HAT:

https://www.waveshare.com/wiki/SIM7600E-H_4G_HAT

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

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

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Francesca DI STEFANO, Rossella CELI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico e impaginazione

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2021

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

