

RAPPORTI TECNICI INGV

Progetto per la misura, raccolta e
trasmissione di dati di emissione radon
per stazioni sismiche multiparametriche



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

421

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

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

redazionecen@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

Progetto per la misura, raccolta e
trasmissione di dati di emissione radon
per stazioni sismiche multiparametriche

*Project for the measurement, collection and
transmission of radon emission data
for multi-parametric seismic stations*

Stefano Farroni¹, Gianfranco Galli², Leonardo Salvaterra¹, Sandro Rao¹, Antonio Piersanti²,
Giuseppe Spinelli², William Thorossian¹

¹INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

²INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Sismologia e Tettonofisica

Accettato il 1 aprile 2020 | Accepted 1 April 2020

Come citare | How to cite Farroni S. et al., (2020). Progetto per la misura, raccolta e trasmissione di dati di emissione radon per stazioni sismiche multiparametriche. Rapp. Tec. INGV, 421: 1-18.

In copertina PCB della scheda di acquisizione | Cover Acquisition board PCB

421

INDICE

Riassunto	7
Abstract	7
Introduzione	8
1. Contatore impulsi lato remoto	9
2. Contatore impulsi lato centrale	11
2.1 Syncproc	11
2.2 DataBase MariaDB	11
2.3 Web server	12
3. Requisiti minimi di sistema	13
4. Prima installazione	13
Bibliografia	14

Riassunto

Il monitoraggio sismico del territorio nazionale e dell'area Euro-Mediterranea si avvale dei dati velocimetrici, accelerometrici e GPS (geodetici) acquisiti dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale, dalla Rete RING e dalla Rete MedNet. Nell'ambito del progetto FISR 2017 "Sale operative integrate e reti di monitoraggio per il futuro: l'INGV 2.0" (2017) si stanno integrando sensori in grado di rilevare contemporaneamente parametri geofisici e geochimici. In questo rapporto tecnico viene descritta l'integrazione di un sensore di Rn-222 (radon da qui in avanti).

Nel corso degli ultimi decenni il radon ha trovato una varietà di applicazioni di Scienza della Terra, che vanno dal suo utilizzo come potenziale precursore di terremoti ed indicatore di stress tettonico al suo ruolo specifico negli ambienti vulcanici, dove variazioni significative di concentrazione precedenti o concomitanti a crisi eruttive sono anche indotte da gas vulcanici, CO₂ ad esempio, che agiscono da carrier accelerando la migrazione del radon attraverso la crosta terrestre e quindi la sua rivelabilità. Al fine di esplorare la possibilità di un legame tra processi sismogenici e variabilità temporale delle emissioni di radon è stata creata una rete permanente a livello nazionale, IRON (*Italian Radon mOnitoring Network*), che impiega sia strumenti radon commerciali dotati di un sistema di memorizzazione, trasmissione e consultazione dati proprietario sia sensori INGV che necessitano di un'interfaccia per acquisire e rendere disponibili i dati da remoto.

È stata pertanto progettata, realizzata e testata un'interfaccia *hardware* e *software* in grado di i) contare e memorizzare gli impulsi in formato TTL generati dallo strumento per la misura della concentrazione di radon in aria, ii) essere collegata ad un *router* per l'invio ad un server dei dati acquisiti. È stato inoltre creato un servizio (*syncproc*) in PHP per interrogare, ad intervalli regolari, le stazioni remote e raccogliere i dati acquisiti destinati a popolare un *database*, creato con MariaDB. Un sito *web* appositamente realizzato consente di estrarre dal database i dati memorizzati e configurare ogni sensore installato.

I vari elementi *software* sono stati progettati utilizzando risorse *open source*.

Abstract

The seismic monitoring of the national territory and of the Euro-Mediterranean area makes use of the velocimetric, accelerometric and GPS (geodetic) data acquired by the stations of the National Seismic Network, by the RING Network and by the MedNet Network. As part of the FISR 2017 project "Integrated operating rooms and monitoring networks for the future: INGV 2.0" (2017), sensors capable of detecting both geophysical and geochemical parameters at the same time are being integrated. This technical report describes the integration of a Rn-222 sensor (radon hereafter).

Over the past few decades radon has found a variety of Earth Science applications, ranging from its use as a potential earthquake precursor and tectonic stress indicator to its specific role in volcanic environments, where significant changes in concentration previous or concomitant to eruptive crises are also induced by volcanic gases, CO₂ for example, which act as carriers accelerating the migration of radon through the earth's crust and therefore its detection. In order to explore the possibility of a link between seismogenic processes and temporal variability of radon emissions, a permanent national network has been created, IRON (Italian Radon mOnitoring Network), which uses both commercial radon instruments, equipped with a proprietary system for data storage, transmission and consultation, and INGV sensors that need an interface to acquire and make data available remotely.

A hardware and software interface has therefore been designed, built and tested capable of i) counting and storing the pulses in TTL format generated by the instrument which measures the

radon concentration in air, ii) being connected to a router for sending the acquired data to a server. A service (*syncproc*) was also created in PHP to query remote stations at regular intervals and collect the acquired data intended to populate a database created with MariaDB. An expressly created website allows to extract the stored data from the database and configure each installed sensor. The various software elements have been designed using open source resources.

Introduzione

Il monitoraggio sismico del territorio nazionale e dell'area Euro-Mediterranea si avvale dei dati velocimetrici, accelerometrici e GPS (geodetici) acquisiti dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale, dalla Rete RING e dalla Rete MedNet. Per la completezza della copertura territoriale, il sistema si avvale anche di dati provenienti da reti regionali ed estere. Una innovazione prevista per i prossimi anni è quella di rendere la rete multiparametrica; in quest'ottica, nell'ambito del progetto FISR 2017 "Sale operative integrate e reti di monitoraggio per il futuro: l'INGV 2.0" (2017), è in corso l'integrazione con altri sensori, in grado di rilevare altri parametri geofisici e geochimici. In particolare, nel presente documento ci occuperemo dell'integrazione di un sensore di Radon-222 (radon da qui in avanti).

Il radon è un gas radioattivo presente nella catena di decadimento della famiglia naturale dell'Uranio-238. Essendo un gas nobile interagisce difficilmente con altri elementi; tuttavia può trovarsi in soluzione nei fluidi (ad es. acqua, olii, idrocarburi), riconcentrarsi in composti solidi quali il silicone o, ad esempio, creare legami stabili con carboni attivi. La sua mobilità nel terreno per diffusione è limitata, a causa della sua emivita relativamente breve (3.823 giorni), e i fluidi, trasportandolo, svolgono un ruolo fondamentale per la sua migrazione.

Nel corso degli ultimi decenni, il radon ha trovato una varietà di applicazioni multidisciplinari di Scienza della Terra, che vanno dal suo utilizzo come potenziale precursore di terremoti ed indicatore di stress tettonico al suo ruolo specifico negli ambienti vulcanici, dove variazioni significative di concentrazione precedenti o concomitanti a crisi eruttive sono anche indotte da gas vulcanici, CO₂ ad esempio, che agiscono da *carrier* accelerando la migrazione del radon attraverso la crosta terrestre e quindi la sua rivelabilità [Riggio & Santulin, 2015; Neri et al., 2016].

Al fine di esplorare la possibilità di un legame tra processi sismogenici e variabilità temporale delle emissioni di radon è stata creata una rete permanente a livello nazionale, detta IRON (*Italian Radon mOnitoring Network*), per misurazioni quasi in tempo reale delle emissioni di radon del suolo in Italia in aree sismicamente attive [Piersanti et al., 2015; Cannelli et al., 2016; Piersanti et al., 2016; Cannelli et al., 2018].

In IRON sono impiegati sia strumenti radon commerciali dotati di un sistema di memorizzazione, trasmissione e consultazione dati proprietario sia sensori INGV che necessitano di un'interfaccia per acquisire e rendere disponibili i dati da remoto [Galli et al., 2019].

Scopo del presente rapporto tecnico è di presentare un progetto sia *software*, basato su programmazione in C [Kernighan et al., 2004], Yii Framework [Xue et al., 2014], MariaDB [<https://mariadb.com/kb/>], sia *hardware* al fine di:

- misurare gli impulsi provenienti dal sensore radon (contatore);
- realizzare una interfaccia per l'invio dei dati presso un centro di raccolta dati;
- creare un sito *web* per la visualizzazione dei dati raccolti da tutte le stazioni radon registrate sul DB centrale;
- creare un servizio (*syncproc*) per interrogare tutte le stazioni radon registrate sul DB centrale.

L'architettura generale può essere rappresentata come segue:

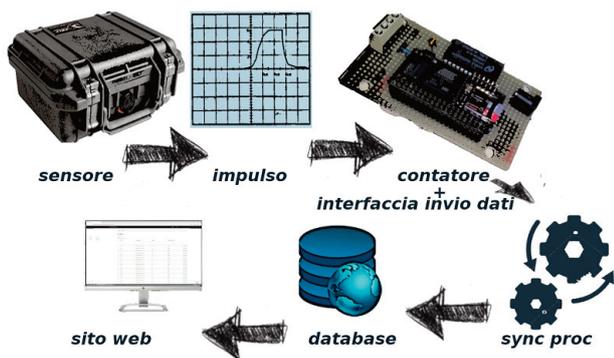


Figura 1 Architettura di monitoraggio radon lato centrale e remoto.

Figure 1 Central and remote radon monitoring architecture.

1. Contatore impulsi lato remoto

Per la realizzazione del contatore si è optato per l'utilizzo di un sistema *linux embedded* deputato alla lettura degli impulsi accumulati dall'integrato CD4040BCN il quale riceve in input impulsi in formato TTL generati dalla rivelazione delle particelle alfa prodotte dal decadimento del Po-218 e Po-214, figli del radon a breve tempo di dimezzamento. Di seguito viene mostrato lo schema dell'integrato:

Il circuito di Fig. 2 si compone di:

- J3 - ingresso alimentazione +12V.
- J2 - IC LM2825N Regolatore di tensione *switching*.
- J1 - *Linux embedded System On Module* con Microchip AT91SAMG25 ARM9@400MHz MPU.
- U1 - IC CD4040BCN Registro a scorrimento per contatori a 12 bit.

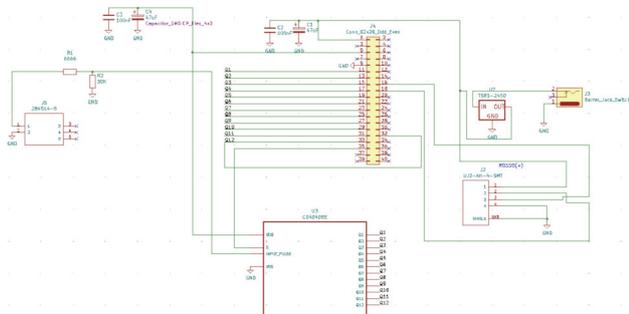


Figura 2 Schema elettrico della scheda di acquisizione.

Figure 2 Circuit schematic of the acquisition board.

Il PCB (supporto utilizzato per interconnettere tra di loro i vari componenti elettronici ovvero il circuito stampato) dell'interfaccia *hardware* è stato realizzato tramite CAD (PCAD 2006), Fig. 3, ed esportato in formato GERBER per essere elaborato con altro CAD (CircuitCAM 4) per la realizzazione tramite fresatrice 2D modello PROTOMAT C60.

A seguito del rilevamento di una particella ionizzante la sonda genera un impulso che farà avanzare di una unità il contatore CD4040BCN (v. Fig. 2 *INPUT_PULSE*). Ad intervalli regolari (es. 1 h) un processo dedicato (*flowchart* in Fig. 4), attivo sul sistema Arietta-G25, effettua la lettura dei 12 pin del contatore (valore binario del totale dei conteggi effettuati) convertendo tale risultato in decimale. Nel caso il contatore dovesse raggiungere il 4096-esimo impulso, il pin 1 del CD4040BCN effettuerà una variazione dal valore 1 a 0 attivando la *Interrupt Service Routine* (routine eseguita quando si verifica un evento esterno) registrata sul pin 32 del sistema Arietta-G25. Questa è la tecnica con cui sarà possibile superare il limite del valore di 4096 del contatore. Al termine della lettura viene eseguito un *reset* del contatore. Sul sistema Arietta-G25 è presente anche un secondo processo che rappresenta l'interfaccia responsabile di inviare, su richiesta, i dati al sistema centralizzato.

L'interfaccia per l'invio, su richiesta, dei dati raccolti dalla sonda è rappresentata da un server che si pone in attesa, su una porta tcp, di una richiesta di connessione dal sistema centralizzato al fine di inviare i dati registrati sul DB locale (flowchart in Fig. 5).

Figura 3 PCB della scheda di acquisizione.

Figure 3 Acquisition board PCB.

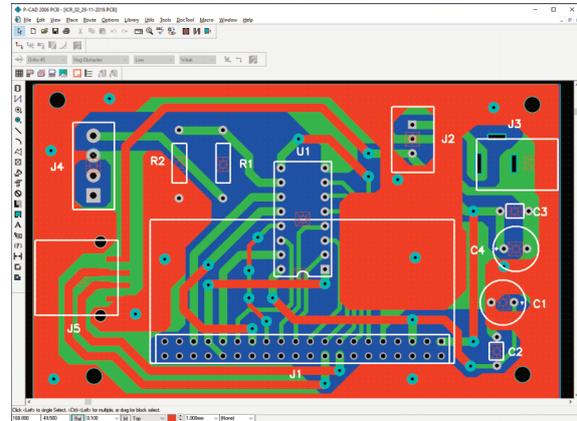


Figura 4 Flowchart del programma di lettura impulsi.

Figure 4 Pulse reading program flowchart.

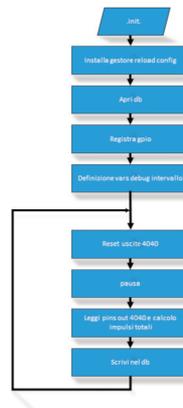
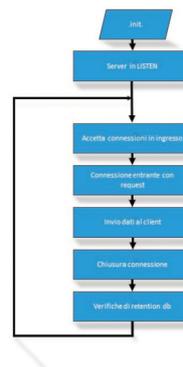


Figura 5 Flowchart programma Server invio dati.

Figure 5 Data sending Server program flowchart.



2. Contatore impulsi lato centrale

L'architettura generale prevede la presenza di un sistema centrale per la raccolta dei dati di tutte le stazioni radon remote. In termini generali abbiamo tre oggetti che realizzano la suddetta architettura:

- DB per l'archiviazione dei dati raccolti.
- Web server in PHP.
- Servizio in PHP che, ad intervalli regolari, contatta le stazioni remote per la raccolta dati.

2.1 Syncproc

Questo processo viene eseguito ad intervalli regolari (configurato in crontab, un programma attraverso il quale si controlla l'avvio di un processo in un momento stabilito) e permette di popolare il DB centrale con i dati raccolti da tutte le stazioni remote configurate nel DB stesso (flowchart in Fig. 6).

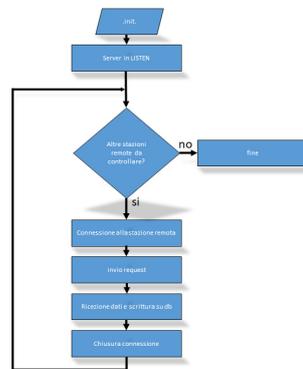


Figura 6 Flowchart programma syncproc.

Figure 6 Syncproc program flowchart.

2.2 DataBase MariaDB

Per l'archiviazione dei dati si è optato per il DB MariaDB. Esso è composto da due tabelle:

Nome campo	Definizione
timestamp	Data e ora di registrazione conteggio
impulsi	Numero di impulsi
Stazione	Identificativo della stazione

Tabella 1 Definizione della tabella lista Stazioni.

Table 1 Definition of the station list table.

Nome campo	Definizione
Stazione	Identificativo della stazione
Ip	<ip address>:<porta>
Funzionante	Stato di funzionamento. Valori possibili si/no
esito aggiornamento	Esito dell'ultimo aggiornamento

Tabella 2 Definizione della tabella lista Stazioni.

Table 2 Definition of the station list table.

2.3 Web server

Il web server per la visualizzazione dei dati registrati sul DB è scritto in PHP ed è composto al momento dalle tre pagine principali: Radon, Stazione e Grafico (si vedano Figg. 7 - 12).

3. Requisiti minimi di sistema

Per l'installazione del sistema lato centrale vengono definiti i seguenti requisiti minimi:

- Sistema Linux Debian 9.0.
- PHP 7.0.
- MariaDB 10.1.37.

Figura 7 Pagina WEB RADON: utilizzata principalmente per la visualizzazione di tutti i dati raccolti.

Figure 7 WEB RADON page: mainly used for viewing all the collected data.



Figura 8 Pagina WEB Stazioni: utilizzata principalmente per l'inserimento di nuove stazioni remote.

Figure 8 Stations WEB page: mainly used for the insertion of new remote stations.



Figura 9 Pagina WEB Crea Stazioni: utilizzata per l'inserimento di una nuova stazione.

Figure 9 Create Stations WEB page: used to insert a new station.



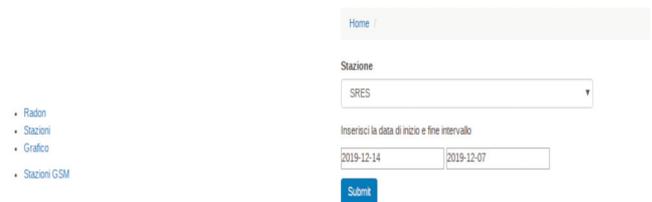
Figura 10 Pagina WEB Grafico: scelta della stazione della quale si vuole ottenere il grafico.

Figure 10 Plot WEB page: choice of the station for data plot.



Figura 11 Pagina WEB Grafico: scelta delle date che delimitano l'intervallo temporale per l'estrazione dei dati.

Figure 11 Plot WEB page: choice of dates that delimit the time interval for data retrieval.



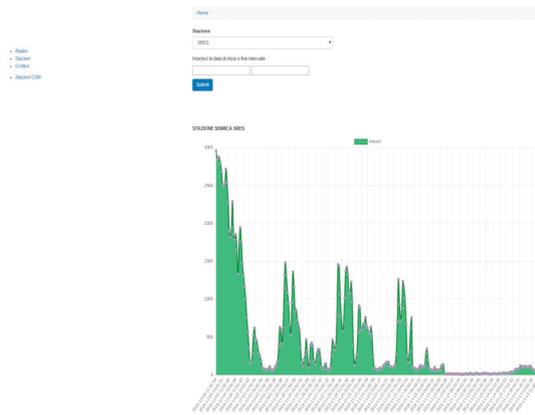


Figura 12 Pagina WEB Grafico: grafico ottenuto dopo aver indicato stazione e intervallo temporale.

Figure 12 Plot WEB page: plot obtained after indicating station and time interval.

4. Prima installazione

Il giorno 14/11/2019 è stato installato il primo acquirente presso il *bunker* di Soratte (Fig. 13 e 14). Il sistema è configurato per:

- essere connesso allo *switch* di rete della stazione sismica;
- effettuare l'aggiornamento orario verso degli *ntp server* di Internet;
- accettare solo connessioni internet provenienti dall'INGV;
- modificare *on-the-fly*, da operatore, l'intervallo di acquisizione del conteggio impulsi.

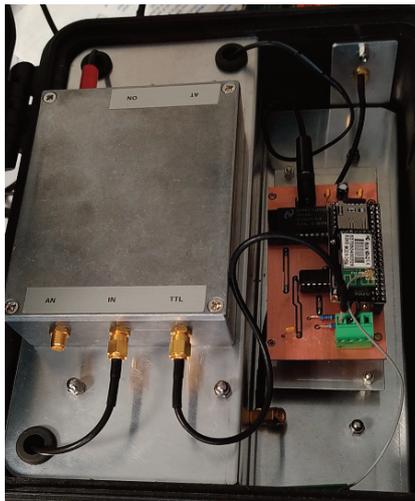


Figura 13 Interno della valigetta contenente il rivelatore radon e l'acquirente.

Figure 13 Interior of the case containing the radon detector and the acquisition board.



Figura 14 Nel riquadro: valigetta contenente sensore radon e acquirente installata presso la stazione sismica SRES (Monte Soratte).

Figure 14 In the frame: case containing radon detector and acquisition board installed at the SRES seismic station (Soratte Mount).

Bibliografia

- Cannelli V., Piersanti A., Spagnuolo E. and Galli G., (2016). *Preliminary analysis of radon time series before the M_L=6 Amatrice earthquake: possible implications for fluid migration*. Annals of Geophysics, [S.I.]. doi: <http://dx.doi.org/10.4401/ag-7166>
- Cannelli V., Piersanti A., Galli G. and Melini D., (2018). *Italian Radon mOnitoring Network (IRON): A permanent network for near real-time monitoring of soil radon emission in Italy*. Annals of Geophysics, 61. SE444. doi: 10.4401/ag-7604
- Galli G., Cannelli V., Nardi A. and Piersanti A., (2019). *Implementing soil radon detectors for long term continuous monitoring*. Applied Radiation and Isotopes. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.108813>.
- Kernighan B.W. and Ritchie D., (2004). *Il linguaggio C. Principi di programmazione e manuale di riferimento*. Ed. Milano, Pearson, MariaDB. Disponibile presso: <https://mariadb.com/kb>
- Neri M., Ferrera E., Giammanco S., Currenti G., Cirrincione R., Patanè G. and Zanon, V., (2016). *Soil radon measurements as a potential tracer of tectonic and volcanic activity*. Scientific Reports, 6, 24581. doi:10.1038/srep24581
- Piersanti A., Cannelli V. and Galli G., (2015). *Long term continuous radon monitoring in a seismically active area*. Annals of Geophysics, 58, S0437. doi:10.4401/ag-6735
- Piersanti A., Cannelli V. and Galli G., (2016). *The Pollino 2012 seismic sequence: clues from continuous radon monitoring*, Solid Earth, 7, pp. 1303-1316. doi:10.5194/se-7-1303-2016
- Riggio A. and Santulin M., (2015). *Earthquake forecasting: a review of radon as seismic precursor*. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 56, pp. 95-114. doi:10.4430/bgta0148
- Xue Q., Makarov A., Brandt C., Klimov P., (2014). *The Definitive Guide to Yii 2.0*. [PDF] Disponibile presso: <https://www.yiiframework.com/doc/download/yii-guide-2.0-en.pdf>

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

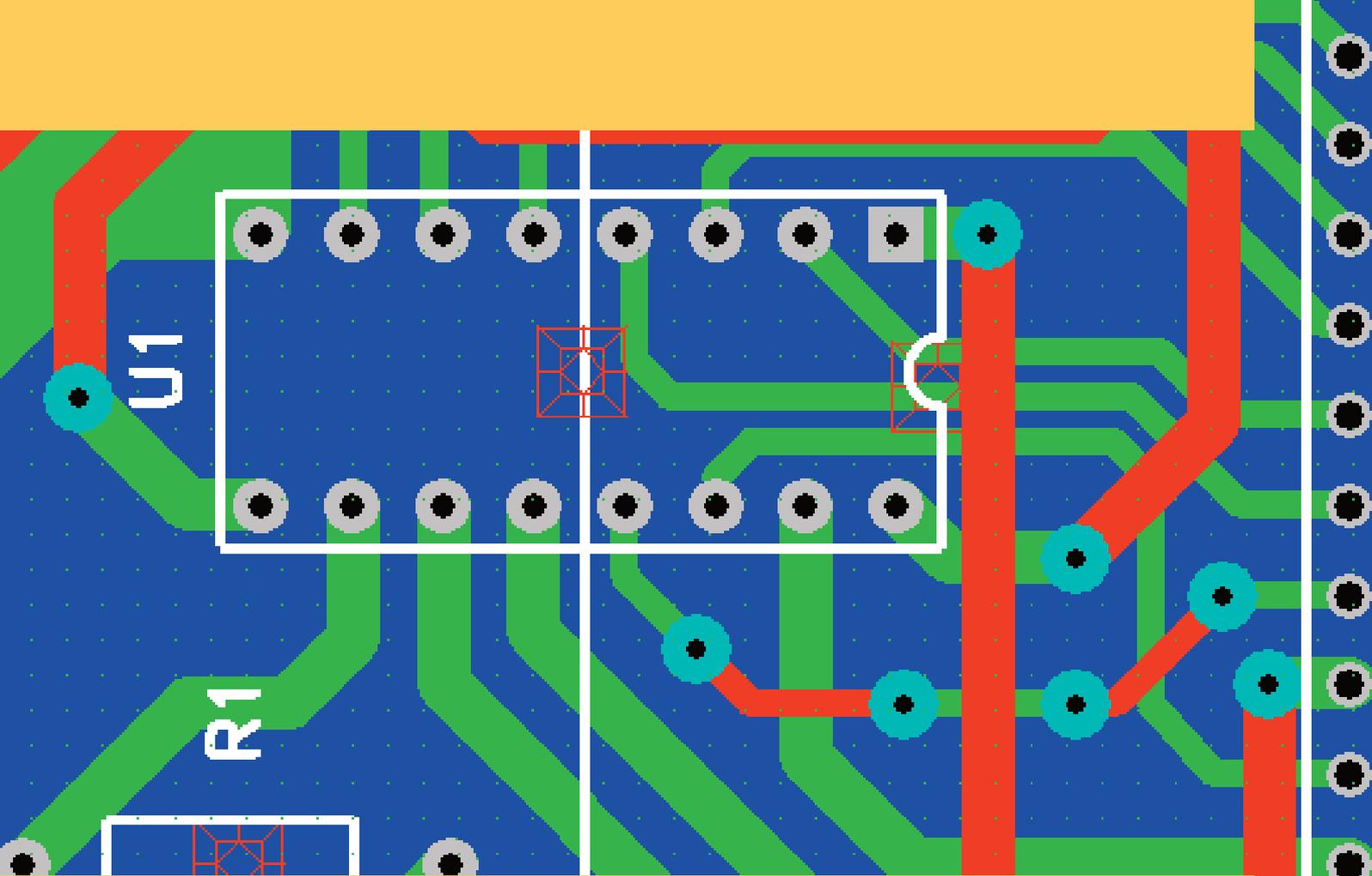
Francesca DI STEFANO, Rossella CELI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico e impaginazione

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2020
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA