



RAPPORTI TECNICI INGV

Progettazione e realizzazione di
infrastrutture a basso costo per
stazioni sismiche semi-permanenti



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

463

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editorial Board

Milena MORETTI - Editor in Chief (editorinchief.collane-editoriali@ingv.it)

Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)

Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)

Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)

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

Luigi CUCCI (luigi.cucci@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)

Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)

Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)

Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)

Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

Segreteria di Redazione

Francesca DI STEFANO - Coordinatore

Rossella CELI

Robert MIGLIAZZA

Barbara ANGIONI

Massimiliano CASCONI

Patrizia PANTANI

Tel. +39 06 51860068

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

Progettazione e realizzazione di
infrastrutture a basso costo per
stazioni sismiche semi-permanenti

*Low-cost infrastructures for long-term
seismic stations*

Damiano Biagini¹, Michele D'Ambrosio¹, Marco Capello¹, Rebecca Bruni^{1,2}, Carlo Giunchi¹,
Davide Piccinini¹, Gilberto Saccorotti¹, Luciano Zuccarello¹

¹INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

²INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

Accettato 8 settembre 2022 | Accepted 8 September 2022

Come citare | How to cite Biagini D., D'Ambrosio M., Capello M., Bruni R., Giunchi C. Piccinini D., Saccorotti G., Zuccarello L., (2023).

Progettazione e realizzazione di infrastrutture a basso costo per stazioni sismiche semi-permanenti. Rapp. Tec. INGV, 463: 1-30,

<https://doi.org/10.13127/rpt/463>

In copertina Fissaggio al suolo di un pannello solare | Cover Anchoring a solar panel to the ground

463

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	7
Introduzione	7
1. Configurazione generale di una stazione sismica	8
1.1 Caratteristiche dell'infrastruttura e della sua installazione	9
1.2 Procedure di installazione	9
1.3 Trasmissione e acquisizione dei dati	14
1.3.1 Monitoraggio dello State of Health delle stazioni sismiche	15
2. Le reti sismiche della Toscana: Amiata e Mugello	16
2.1 Linee guida per la scelta dei siti	16
2.1.1 Scouting	17
2.1.2 Valutazione della qualità del segnale sismico	17
2.2 Rete Amiata	17
2.3 Rete Mugello	21
2.4 Integrazione dei dati con la Rete Sismica Nazionale INGV	23
3. Conclusioni	25
Ringraziamenti	25
Bibliografia	26
Sitografia	27

Riassunto

Questo rapporto tecnico descrive lo stato dell'arte delle modalità di installazione delle stazioni sismiche utilizzato dal gruppo di sismologia sperimentale e dal Laboratorio di Sismologia della Sezione INGV di Pisa, con esempi e risultati tratti da pluriennali applicazioni in esperimenti di ricerca effettuati in diverse zone della Toscana, principalmente nelle aree del Monte Amiata e del Mugello. L'obiettivo del gruppo è stato quello di sviluppare delle infrastrutture a basso costo con caratteristiche di facile trasportabilità e di elevata adattabilità al suolo atte a ospitare stazioni sismiche ad alte prestazioni trasmesse in *real-time*.

Gli interventi di manutenzione necessari sulle infrastrutture temporanee sono tipicamente più frequenti rispetto a quelli richiesti dai siti permanenti, ed è proprio per ottimizzare queste attività (oltre a migliorare la tenuta strutturale delle installazioni) che sono stati sviluppati dei semplici applicativi di monitoraggio rivolti a rendere più efficienti le campagne di ripristino del funzionamento della strumentazione sismica.

Questa tipologia di installazione si è dimostrata essere sufficientemente robusta e adatta per installazioni con durata temporale di alcuni anni, in linea con gli obiettivi prefissati a seguito delle analisi effettuate durante e al termine degli esperimenti in cui sono state impiegate.

Abstract

This report describes the state of the art of the installation techniques for seismic stations developed by the Seismology Group and the Seismology Laboratory at the INGV branch in Pisa, with examples of applications taken from long-duration field experiments carried out in different areas of Tuscany, such as Monte Amiata and the Mugello basin.

Our goal was to develop a low-cost infrastructure, portable and easily adaptable to different terrains, suitable for hosting a variety of real-time seismic stations.

In addition to improving the structural resistance of the deployment, we also developed applications for the remote monitoring of the state of health of the seismic stations, which allowed a more efficient maintenance of the instrumentation.

The proposed type of installation has proved to be sufficiently robust and suitable for installations with a temporal duration of a few years, and in agreement with the expected targets, as proved by the analyses carried out during and at the end of the experiments in which they were used.

Keywords Stazioni sismiche; Installazione sensori sismici; Rete temporanea | *Seismic stations; Seismic sensor installation; Temporary network.*

Introduzione

Le reti di monitoraggio sismico sono principalmente finalizzate alla determinazione dei parametri ipocentrali e della loro evoluzione nel tempo. La determinazione precisa dell'area epicentrale e della magnitudo di un evento sismico sono infatti parametri di fondamentale importanza per la compilazione dei cataloghi sismici e, in caso di forte evento, per il rapido invio dei primi soccorsi nelle zone colpite. Per una corretta e tempestiva valutazione dei parametri della sorgente sismica, è necessario che le stazioni sismiche impiegate nel monitoraggio garantiscano elevati standard di qualità e continuità del dato.

Il gruppo di sismologia dell'INGV di Pisa negli ultimi anni ha gestito diverse reti di monitoraggio sismico locale per progetti a breve/medio termine (2-5 anni) sul territorio toscano, in particolare nelle zone del Monte Amiata e del Mugello.

Per questo motivo, sulla scorta di numerose precedenti esperienze [e.g. Capello, 1996; Uhrhammer et al., 1998; Buonocunto et al., 2001; Castellano et al., 2002; Bruni et al., 2022] si è reso necessario progettare una tipologia di installazione composta da un insieme di elementi semplici da mettere in opera anche in condizioni logistiche non ideali, ma che allo stesso tempo potesse assicurare elevate prestazioni della stazione ed una qualità dei dati acquisiti migliore possibile. La soluzione individuata è basata su un'infrastruttura a basso costo, autonoma dal punto di vista energetico, facilmente trasportabile e adattabile alle diverse situazioni topografiche.

In questo rapporto verranno descritte dettagliatamente le fasi di preparazione e di installazione delle stazioni sismiche, ed alcune procedure sviluppate per il monitoraggio remoto dello stato di salute di ciascuno strumento che compone la stazione.

1. Configurazione generale di una stazione sismica

La configurazione standard delle stazioni sismiche (Figura 1) che verranno descritte nel seguito è costituita dai seguenti elementi:

- Sistema di alimentazione elettrica a bassa tensione;
- Digitalizzatore con antenna GPS;
- Sensore/i velocimetrico/accelerometrico;
- Sistema di trasmissione dei dati.

Il sistema di alimentazione comprende batterie sigillate AGM (Ah variabili in base ai consumi della strumentazione installata), uno o più pannelli solari (W variabili in base alla capacità delle batterie installate) ed un regolatore di carica (da scegliere in base alla potenza del pannello solare).

Il sistema di trasmissione è costituito da un *router* LTE industriale dotato di scheda SIM e di antenna omnidirezionale che consente di trasmettere i dati a *server* remoti e di tenere traccia dello stato di salute della connettività a internet e dell'alimentazione della stazione tramite la trasmissione periodica di determinati parametri di stato [Moretti et al., 2010].

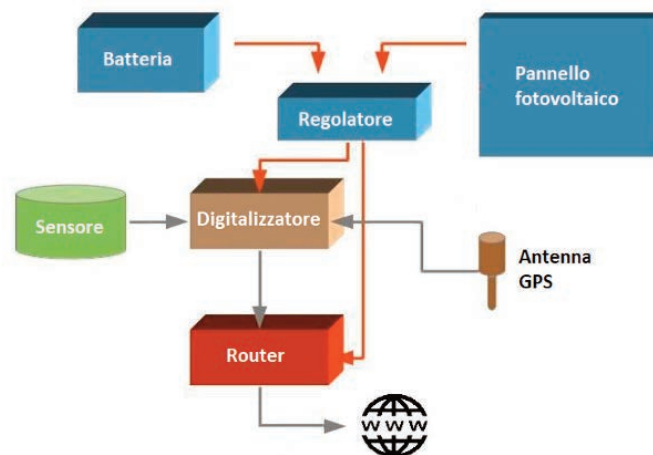


Figura 1 Schema di collegamento degli strumenti che compongono la stazione sismica.

Figure 1 Connection diagram of the seismic station instruments.

1.1 Caratteristiche dell'infrastruttura e della sua installazione

La stazione sismica si compone, oltre che degli elementi descritti nel paragrafo precedente, di un'infrastruttura che consente di ottimizzare le prestazioni strumentali e di proteggere la strumentazione dagli agenti atmosferici

L'infrastruttura nel suo complesso è costituita dai seguenti elementi:

- Pozzetto in PVC 40x40x40 cm con fondo cavo;
- Pozzetto in PVC 55x55x55 cm;
- Struttura di supporto dei pannelli solari con profilati a C in acciaio e zanche in acciaio;
- Mattonella di cemento;
- Tubo corrugato con interno liscio e raccordi a L;
- Minuteria varia;
- Rete metallica per recinzione con paletti in ferro;
- Pannelli in polistirene;
- Picchetti di ferro;
- Teli impermeabili;
- Corda elastica.

1.2 Procedure di installazione

La prima fase dell'installazione prevede l'esecuzione di uno scavo (Figura 2) in grado di ospitare il pozzetto da 40 cm all'interno del quale verrà successivamente inserito il sensore sismico. Lo scavo deve essere di dimensioni appena maggiori di quelle del pozzetto, ed essere eseguito cercando di mantenerne il fondo il più possibile piano e orizzontale. Dal fondo di questo scavo, individuando la direzione di massima pendenza topografica del sito, viene scavata una piccola trincea lineare lunga almeno un metro che ospiterà il condotto di drenaggio dell'acqua. Un'altra trincea di almeno 2 metri di lunghezza viene scavata per ospitare il passaggio del cavidotto corrugato (diametro 50 mm, con interno liscio) per il passaggio del cavo di collegamento sensore-digitalizzatore.



Figura 2 Operazioni di scavo inerenti al pozzetto da 40 cm del sensore.

Figure 2 Digging procedures related to the sensor's box.

Sul fondo dello scavo viene eseguita una gettata di cemento a presa rapida molto liquida, in modo da creare una base omogenea con uno spessore di circa 4-5 cm. Al centro della colata viene posizionata una mattonella di cemento di dimensioni più piccole della base del pozzetto (circa 30x30cm) e con spessore fra i 3 e i 4 cm, che servirà da base per il sensore. La presenza della mattonella consente di poter posizionare il sensore su una base levigata, solida e asciutta già durante la prima giornata di installazione, e per sopraelevare il sensore rispetto alla gettata

di cemento diminuendo il rischio che l'acqua piovana raggiunga lo strumento.

Prima di posizionare la mattonella sul fondo dello scavo, è consigliabile bagnare abbondantemente la base per facilitarne la coesione con il cemento fresco, nel quale verrà immersa per circa la metà del suo spessore. Inoltre, il lato inferiore della mattonella ospita tre perni per calcestruzzo di circa 3 cm che verranno immersi completamente nel cemento liquido per aumentare l'accoppiamento con la gettata. In questa fase viene effettuato un controllo periodico affinché la superficie superiore della mattonella risulti in bolla per facilitare le successive operazioni di posizionamento del sensore sismico. Una volta terminata questa fase è possibile stendere il tubo corrugato per il drenaggio dell'acqua, che viene ricoperto parzialmente con il materiale di riporto ottenuto durante lo scavo stesso.

Viene successivamente posizionata una cornice di polistirene di lato 40 cm lungo il perimetro della mattonella (Figura 3) che farà da appoggio alla base del pozzetto in PVC, il quale risulterà in questo modo disaccoppiato rispetto allo strato di cemento su cui è fissata la mattonella.

Figura 3 Posizionamento della mattonella 30x30cm alla base dello scavo.

Figure 3 Tile positioning on the bottom of the pit.



Dopo aver praticato un foro di 5 cm di diametro sul lato del pozzetto per il passaggio del corrugato destinato ad ospitare il cavo del sensore e averne rimosso il fondo, il pozzetto viene posizionato sulla cornice di polistirene (Figura 4) e si può procedere, utilizzando il materiale di risulta dello scavo, con il riempimento della cavità fra il terreno e le pareti esterne del pozzetto.

Figura 4 Pozzetto da 40 cm correttamente posizionato sulla cornice di polistirene.

Figure 4 Sensor's box positioning.



Una volta che il pozzetto di PVC è stabilmente vincolato al terreno, il sensore sismico viene posizionato sulla mattonella di cemento posta sul fondo del pozzetto, e successivamente orientato e messo in bolla (Figura 5). Va sottolineato che al termine degli esperimenti è stato possibile rimuovere completamente la base in cemento, consentendo di ripristinare il sito alle sue condizioni originali.



Figura 5 Posizionamento del sensore sulla mattonella di cemento.

Figure 5 Sensor positioning on the cement tile.

In seguito si procede collegando il cavo al sensore e, successivamente, inserendo i pannelli in polistirene utilizzati come isolamento termico (Figura 6 a,b). Le operazioni di isolamento termico sono particolarmente importanti nel caso di installazione di sensori a larga banda, poiché essi sono particolarmente sensibili alle variazioni termiche, che vengono in questo modo attenuate. A protezione ulteriore del pozzetto contenente il sensore, una volta chiuso con il coperchio, viene applicato un telo impermeabile a sua volta ricoperto da materiale di riporto al fine di aumentare l'isolamento dagli agenti atmosferici.

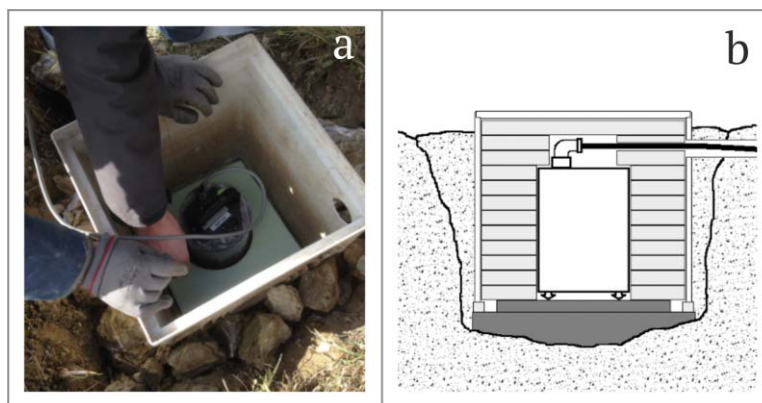


Figura 6 a) Collegamento del cavo al sensore e posizionamento dell'isolamento termico; b) Rappresentazione schematica della sezione (non in scala) del sensore correttamente posizionato e isolato con i pannelli in polistirene.

Figure 6 a) Cable connection to the sensor and positioning of thermal insulation; b) Schematic representation of the section (not in scale) of the placed sensor with the thermal insulation.

Successivamente alle operazioni di scavo e posizionamento del sensore, il pannello fotovoltaico viene fissato alla struttura in acciaio. La struttura che supporta i pannelli solari è composta da due profilati in acciaio di diversa altezza, vincolati da una staffa a cerniera (vedi schema in Figura 7). Il profilato più lungo viene fissato alla cornice del pannello fotovoltaico (Figura 8) attraverso dei bulloni a fissaggio rapido, mentre la gamba più corta funge da appoggio posteriore della struttura, con la possibilità di variarne l'ampiezza dell'apertura permettendo quindi di regolare l'angolazione del pannello rispetto al sole e di adattare la struttura alla superficie del terreno. Una serie di profilati di misure opportune saranno usati come rinforzi laterali che verranno fissati alla struttura utilizzando perni e squadre in acciaio.

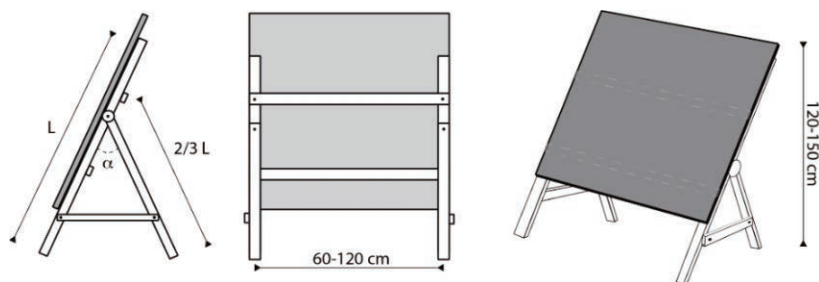


Figura 7 Schema realizzativo della struttura e delle sue dimensioni minime e massime, adattabile ai diversi modelli di pannello solare. L'angolo α di apertura del piede posteriore può essere variata per consentire la miglior esposizione del pannello solare in funzione della morfologia del terreno.

Figure 7 Design of the structure with its maximum and minimum dimensions, in order to be adapted to different solar panel models. The α angle can be changed to allow the best sunlight exposure.



Figura 8 a) Dettaglio di un bipiede assemblato. b) Due bipiedi fissati al pannello solare.

Figure 8 a) Assembled bipod. b) Two bipods attached to the solar panel.

Tutta la struttura descritta viene ancorata al suolo con l'ausilio di quattro picchetti di ferro di diametro 2 cm e lunghezza 100 cm, che vengono infissi alla maggior profondità possibile nel terreno in prossimità delle gambe, che a loro volta vengono ancorate ai picchetti con delle zanche in acciaio. Alla fine dell'installazione, il pannello solare fissato alla struttura risulterà sollevato dal suolo di alcune decine di centimetri (Figura 9): nella maggior parte delle condizioni questo è sufficiente ad evitare la copertura della parte inferiore del pannello da parte della vegetazione o dai possibili accumuli di neve.



Figura 9 Fissaggio al suolo del pannello solare con la sua struttura.

Figure 9 Anchoring of the solar panel structure to the ground.

Una volta fissata al suolo la struttura in acciaio opportunamente orientata in base alla topografia del sito, all'interno del pozzetto da 50 cm vengono poste le batterie (tipicamente due o più) e il resto della strumentazione elettronica, composto da regolatore di carica, digitalizzatore e router LTE. All'interno di un tubo corrugato verrà fatto passare il cavo che collega il digitalizzatore al sensore sismico (Figura 10).



Figura 10 Stendimento del tubo corrugato per il passaggio dei cavi al sensore.

Figure 10 Laying of the pipe for cable sensor.

Per isolare elettricamente le batterie dalla strumentazione elettronica viene posto uno strato di materiale isolante e ignifugo (Figura 11).

Il pozzetto in PVC è solitamente riposto sotto la struttura dei pannelli solari in modo da ripararlo dagli agenti atmosferici e minimizzare la lunghezza dei cavi che dal pannello vanno al regolatore di carica; in questo modo la struttura portante del pannello può essere utilizzata come supporto per le antenne GPS e di trasmissione dei dati.

Sulla parte laterale del pozzetto viene inoltre praticato un foro di aerazione, opportunamente protetto con una griglia di acciaio.



Figura 11 Pozzetto completo di digitalizzatore GAIA2, router Advantech UR5i e regolatore di carica Epever Tracer 1215BN.

Figure 11 Box containing the acquisition-recording unit GAIA2, router Advantech UR5i and solar charge controller Epever Tracer 1215BN.

Per ultimare le operazioni di installazione il pozzetto da 50cm viene chiuso con il relativo coperchio e protetto con un telo impermeabile assicurato con corda elastica, mentre l'intera area occupata dalla stazione sismica viene circondata da una recinzione (Figura 12).



Figura 12 a,b) Stazione sismica CSC5 dopo il completamento dell'installazione.
 Figure 12 Final configuration of the CSC5 seismic station.

La struttura composta da profilati, pozzetti, corrugati, cemento e la recinzione ha un costo orientativo di circa 200 euro, escludendo dal conto i pannelli solari e le batterie.

1.3 Trasmissione e acquisizione dei dati

La trasmissione dei dati dalle stazioni sismiche avviene utilizzando la tecnologia LTE che ha recentemente avuto un notevole sviluppo e dispone di una copertura del territorio nazionale soddisfacente. Nel nostro caso, è stato utilizzato il *router Advantech B+B SmartWorx* modello LR77 *Libratum* [1], un *router* industriale a basso consumo (circa 5.5W in connessione LTE), provvisto di sistema dual-SIM e due porte Ethernet 10/100. Questo tipo di *router* è già ampiamente utilizzato dall'INGV per la trasmissione dei dati della rete GPS [Falco, 2008] ed è basato su un *single-board computer* dotato di sistema operativo UNIX e un processore 32 bit ARM. Questi sistemi supportano una doppia SIM con selezione automatica dell'operatore col miglior segnale, molte tipologie di VPN e *tunneling*, servizi come il *Dynamic DNS*, sistemi di configurazione (sia tramite *upload* di file di configurazione sia tramite interfaccia *WEB*) ed aggiornamento del *firmware* remoti.

La funzione NAT (*Network Address Translation*) [Komar B., 1998] del *router* viene configurata in modo tale da rendere accessibili alcune specifiche porte di rete alle connessioni in ingresso. Attraverso queste connessioni viene inviato al *server* il flusso di dati acquisiti dalla stazione sismica. Per ovviare all'assegnazione di IP variabili da parte dei *provider* di rete, viene utilizzato il servizio di DNS dinamico MyIP [Sorrentino et al., 2020] sviluppato da INGV attraverso il quale ogni *router* diventa raggiungibile tramite un indirizzo univoco (Figura 13).

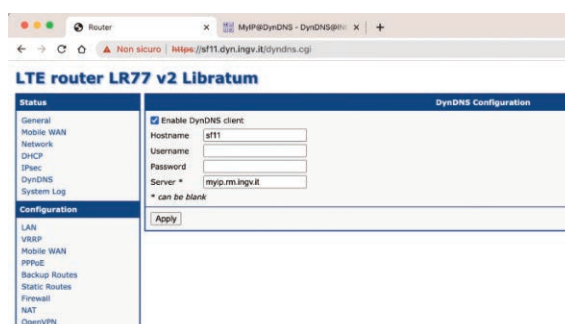


Figura 13 Configurazione del servizio DynDNS su router Advantech LR77.
 Figure 13 Dynamic DNS configuration on Advantech LR77 router.

L'acquisizione dei dati delle stazioni remote è gestita da un server Linux equipaggiato con sistema *Ubuntu 18.04.3 LTS* e una *release* di *SeisComP3 Jakarta* [2] capace di archiviare le forme d'onda in un archivio SDS (*SeisComP Data Structure*) [3]. La trasmissione dei dati avviene sfruttando il protocollo di trasmissione *SeedLink* [4] che, utilizzando una logica *server-client*, permette di inviare i dati in formato *miniseed* ad un *client* che li richiede attraverso una connessione TCP.

1.3.1 Monitoraggio dello State of Health delle stazioni sismiche

Per agevolare e ottimizzare le operazioni di manutenzione delle stazioni sismiche remote sono stati sviluppati alcuni applicativi con lo scopo di monitorare diversi parametri fondamentali per la definizione dello stato di salute delle stazioni sismiche, ovvero il livello di tensione delle batterie, la potenza del segnale EDGE/LTE e la latenza dei dati, oltre al controllo dei dati sismici acquisiti in tempo reale.

Questa operazione è resa possibile attraverso il protocollo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) [5] implementato sui router *Advantech* precedentemente descritti [6].

Grazie al costante monitoraggio delle stazioni è possibile verificare quanto fattori come la variazione stagionale dell'insolazione, la temperatura e il maltempo possono influenzare le prestazioni delle stazioni sismiche: in particolare la resa dei pannelli solari e l'influenza della temperatura sulle prestazioni delle batterie. Fra gli altri parametri di stato è possibile anche monitorare il livello del segnale EDGE/LTE per valutare interventi atti a migliorare la telemetria dei dati.

La richiesta dei parametri viene realizzata tramite alcuni programmi in linguaggio *Python* (Figura 14) eseguiti su un server Linux ed eseguiti ad intervalli regolari (gestiti da *crontab*): i dati ricevuti dalle stazioni vengono scritti su alcuni file da cui vengono generati i grafici.

Le librerie *Python* utilizzate per le operazioni sopra descritte sono *ObsPy* [7], *pysnmp* [8] e *matplotlib* [9].

```
47 def sf11():
48     oid = netsnmp.VarList(netsnmp.Varbind('.1.3.6.1.4.1.30140.3.4'))
49     res = netsnmp.snmpwalk(oid, Version = 2, DestHost='sf11.dyn.ingv.it',
50                           Community='public')
51     if len(res) == 0:
52         voltage = 10.0
53     else:
54         voltage = float(res[0])/1000.0
55     return voltage
```

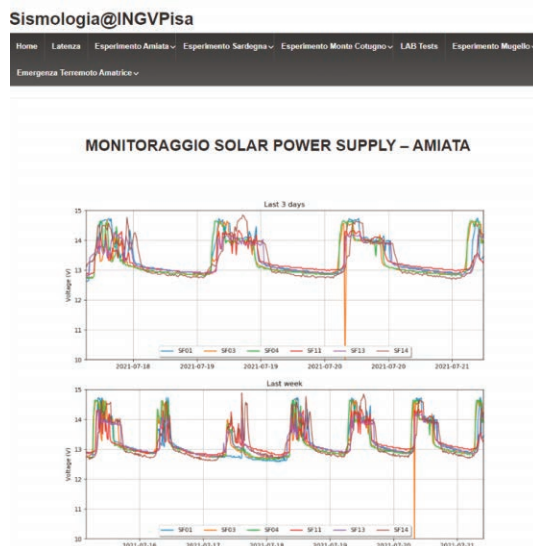
Figura 14 Estratto del programma in linguaggio Python raffigurante la richiesta SNMP specifica per la lettura del valore di tensione registrato dal router sulla stazione SF11.

Figure 14 Part of the Python program concerning the specific SNMP request for the voltage value recorded by the router of SF11 station.

Per renderne agevole la consultazione, le immagini vengono inviate ad un *server web* su piattaforma *WordPress* collegato ad un dominio adibito alle attività di monitoraggio della Sezione di Pisa. Per rendere più intelleggibili i grafici relativi alle diverse stazioni, ognuna di esse è riportata utilizzando un diverso colore (Figura 15).

Figura 15 Pagina web contenente i grafici di monitoraggio dello stato di carica delle batterie. I due grafici rappresentano il dettaglio delle ultime 72 ore (in alto) e dell'ultima settimana. Sono ben riconoscibili i cicli diurni di ricarica delle batterie di ogni singola stazione e la perdita di connessione temporanea della stazione SF03 (in arancio).

Figure 15 Web page showing the monitoring diagram of the solar power supply. The two diagrams show the details of the last 72 hours (on top) and last week. The daily battery recharging cycles for each station and the temporary loss connection of SF03 station (in orange) are clearly recognizable.



2. Le reti sismiche della Toscana: Amiata e Mugello

Di seguito vengono descritte nel dettaglio due reti sismiche locali, che hanno operato rispettivamente nei pressi del Monte Amiata e del Mugello, in cui le stazioni sismiche sono state installate seguendo le procedure presentate nei paragrafi precedenti. I dati di entrambe le reti sono stati trasmessi via LTE e registrati in remoto presso il centro di acquisizione dati installato presso la Sezione di Pisa.

2.1 Linee guida per la scelta dei siti

La geometria di entrambe le reti è stata definita considerando il consueto criterio di massimizzare la copertura azimutale dell'area sismogenetica oggetto di studio, considerando anche la disposizione delle stazioni della Rete Sismica Nazionale nell'area.

Una volta definite le posizioni approssimative dei punti di misura (con una tolleranza di qualche km), la scelta dei siti di installazione ha tenuto conto dei seguenti vincoli, esigenze ed opportunità:

- Per ogni singola stazione è richiesta l'esposizione a Sud, per consentire illuminazione sufficiente all'impianto fotovoltaico di alimentazione.
- È richiesta una buona copertura del segnale EDGE/LTE per la trasmissione dati.
- È richiesta una buona copertura del segnale satellitare GPS necessario alla sincronizzazione temporale dei singoli acquisitori.
- La distanza da strade, centri abitati ed ogni altra sorgente di rumore antropico o naturale deve essere di almeno 250-300 m.
- Sono da evitare zone boschive, a causa del rumore sismico generato dallo scuotimento della vegetazione d'alto fusto sotto l'azione del vento, e la copertura della radiazione solare ai pannelli fotovoltaici.
- Facilità di accesso con autoveicoli.
- Possibilità permanente di accesso, indipendentemente dalla presenza della proprietà.
- Necessità di evitare siti dalle topografie accidentate, per minimizzare possibili effetti di sito legati a complessità morfologiche locali.

2.1.1 Scouting

Prima dell'installazione di entrambe le reti è stata eseguita una ricognizione dell'area in esame in cui sono stati effettuati dei sopralluoghi nelle aree individuate dalla geometria di massima, in base alla quale è stato poi effettuato lo scouting di dettaglio e le conseguenti misure di rumore (Figura 16) mirate ad ottenere una valutazione quantitativa circa i livelli spettrali del rumore sismico ambientale.



Figura 16 Aspetto di una stazione sismica mobile composta da un digitalizzatore Lunitec Atlas e un velocimetro Lunitec Tellus 1s utilizzata durante le operazioni di scouting e valutazione preliminare del rumore sismico di un sito.

Figure 16 Appearance of a mobile seismic station composed by a Lunitec Atlas digitizer and a Lunitec Tellus 1s velocimeter used during scouting survey and preliminary assessment of the seismic noise.

2.1.2 Valutazione della qualità del segnale sismico

Durante il periodo di funzionamento delle reti, sono state eseguite analisi sul segnale sismico per determinare lo stato di salute delle stazioni. In particolare, sono state calcolate le *Probabilistic Power Spectral Densities* (PPSD) seguendo il metodo proposto da McNamara and Buland [2004] e McNamara and Boaz [2005]. Le PPSD rappresentano l'andamento della densità della potenza spettrale in funzione della frequenza comparata con i modelli di Peterson [1993] NLNM e NHHM (*New Low- and High-Noise model*, rispettivamente) quali riferimento per il rumore sismico della Terra.

Inoltre, sono state eseguite ulteriori elaborazioni per investigare la possibile presenza di effetti di amplificazione locale nei siti delle installazioni, utilizzando il metodo Nakamura [1989] per calcolare i rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale del segnale (HVSR). Il metodo consiste nel dividere la media degli spettri di Fourier delle due componenti orizzontali delle misure di rumore ambientale con il corrispondente spettro della componente verticale. Si ottiene così una curva che rappresenta il rapporto delle ampiezze HVSR come funzione della frequenza. Per verificare la direzionalità di una possibile amplificazione di rumore sismico le curve HVSR sono state analizzate in funzione dell'azimuth.

2.2 Rete Amiata

La rete sismica del M.te Amiata è stata installata nell'ambito di due contratti di ricerca con un operatore industriale del settore geotermico, ed era composta da un totale di 11 stazioni

sismiche (Figura 17), installate nei territori comunali di Piancastagnaio, Abbadia San Salvatore, Radicofani, Santa Fiora e Castell’Azzara. In Tabella 1 è riportata la configurazione delle 11 stazioni sismiche della rete.

SITO	TIPO STAZIONE	DIGITALIZZATORE	SENSORE
CSC1	Short period	ATLAS Lunitek 24-bit	TELLUS-1s Lunitek 400 V/m/s
CSC2	Short period	INGV GAIA2 24-bit	Lennartz LE-3Dlite 400 V/m/s
CSC3	Short period	INGV GAIA2 24-bit	Lennartz LE-3Dlite 400 V/m/s
CSC4	Short period	ATLAS Lunitek 24-bit	TELLUS-1s Lunitek 400 V/m/s
CSC5	Short period	ATLAS Lunitek 24-bit	TELLUS-1s Lunitek 400 V/m/s
SF01	Short period	INGV GAIA2 24-bit	Lennartz LE-3Dlite 400 V/m/s
SF03	Short period	INGV GAIA2 24-bit	Lennartz LE-3Dlite 400 V/m/s
SF04	Short period	INGV GAIA2 24-bit	Lennartz LE-3Dlite 400 V/m/s
SF11	Broadband	Guralp 6TD 24-bit	Guralp CMG-6TD 30s 2400 V/m/s
SF13	Broadband	Guralp 6TD 24-bit	Guralp CMG-6TD 30s 2400 V/m/s
SF14	Broadband	Guralp 6TD 24-bit	Guralp CMG-6TD 30s 2400 V/m/s

Tabella 1 Configurazione delle stazioni sismiche installate in Amiata.

Table 1 Configuration of the Amiata seismic stations.

La rete, in funzione da Marzo 2016 e Luglio 2018 (rispettivamente le stazioni SFXX e CSCX in Tabella 1) a Gennaio 2022, ha avuto il fine di determinare, rilevare e localizzare eventi sismici, e relativi parametri sismologici, all’interno e nei dintorni di due permessi di ricerca della risorsa geotermica. In particolare, il monitoraggio sismico è stato effettuato per rilevare la sismicità di fondo (“bianco imperturbato”) prima dell’inizio delle attività di coltivazione geotermica e cioè in condizioni non modificate dall’azione antropica.

In accordo con le prescrizioni espresse nelle “Linee guida per l’utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia” [Ministero per lo Sviluppo Economico, 2016] la rete è stata progettata per il rilevamento e conseguente localizzazione di eventi di bassissima magnitudo ($ML < 1$). Per conseguire tale livello di sensibilità, abbiamo rivolto particolare attenzione alla selezione dei siti in relazione alle condizioni del rumore di fondo, ed alle modalità di installazione dei sensori.

La rete composta da 8 stazioni a corto periodo e 3 a banda larga, è stata disegnata in modo da ottenere una distribuzione omogenea di azimuth e distanze delle stazioni rispetto ai permessi di ricerca oggetto del monitoraggio, tenendo conto anche della distribuzione delle stazioni permanenti della Rete Sismica Nazionale (RSN).

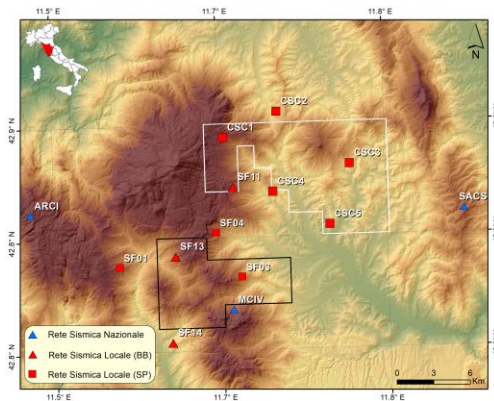


Figura 17 Mappa delle stazioni sismiche utilizzate per l’esperimento di acquisizione della sismicità locale in Amiata. Con il colore rosso sono indicate le stazioni della rete sismica locale (simbolo del triangolo per le BroadBand e simbolo del quadrato per le Short Period). Con il colore blu sono indicate le stazioni permanenti della RSN (Rete Sismica Nazionale). I due poligoni si riferiscono ai permessi di ricerca geotermici attivi nell’area durante le rilevazioni. (Dettagli sul DEM sono disponibili in Tarquini et al. [2007] e Tarquini et al. [2012]).

Figure 17 Amiata seismic station map. The local seismic network is represented in red (triangle symbols for the BroadBand stations, square symbols for the Short Period stations). The National Seismic Network is represented in blue. The two polygons refers to the geothermal research experiments that were active during the surveys. (details about the DEM can be found in [Tarquini et al., 2007] and [Tarquini et al., 2012]).

Una volta concluso l’esperimento di acquisizione dati nell’area del Monte Amiata, utilizzando la funzione *obspsy-sds-report* [10], si è ricavata la continuità di registrazione delle singole stazioni da cui è stato possibile estrapolare informazioni sulla completezza dell’archivio dei dati sismici riportato graficamente in Figura 18. Le cause principali della perdita dei dati (< 10%) sono: *i*) problemi di natura *software* sul digitalizzatore; *ii*) la mancanza di segnale 3G/4G, caratterizzata da brevi interruzioni di acquisizione. Mentre nel primo caso è necessario un intervento di manutenzione che implica inevitabili perdite di dati, nel secondo caso la presenza di un *ring-buffer* sulla memoria locale del digitalizzatore (di dimensione variabile a seconda del modello) ha permesso di recuperare larga parte dei dati non trasmessi.

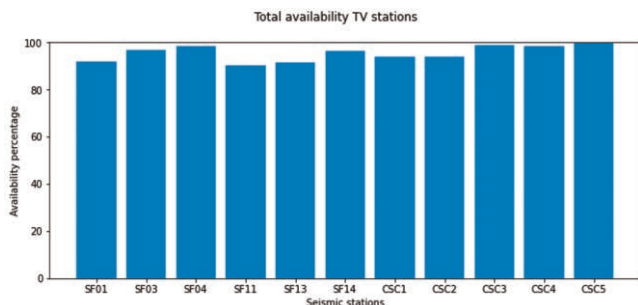


Figura 18 Grafico della completezza dell’archivio dati delle stazioni installate in Amiata (2016-2022). **Figure 18** Histogram of the total availability of the Amiatina data archive (2016-2022).

In Figura 19 è riportato un esempio della PPSD (riferito alla stazione SF11) ottenuta utilizzando uno *script Python* che sfrutta la funzione *ppsd* della libreria *ObsPy*, in cui la scala di colore rappresenta la probabilità percentuale di osservare una data potenza spettrale ad una data frequenza. Per le stazioni *broadband*, come ad esempio la SF11 (visibile in Figura 25), è stata impostata la lunghezza della finestra di analisi a 100 secondi su un intervallo di dati di 10 giorni.

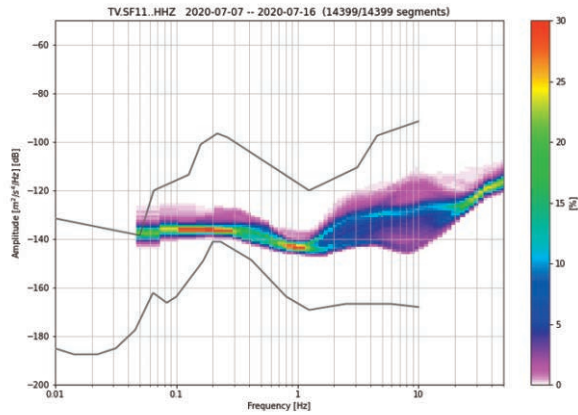


Figura 19 Grafico della PSD della stazione sismica broadband SF11.
 Figure 19 PSD chart of the SF11 broadband seismic station.

A frequenze minori di 0.1 Hz le PSD hanno un comportamento difforme rispetto a quanto atteso sulla base delle curve di Peterson. Gli spettri ottenuti alle altre stazioni a larga-banda mostrano un comportamento simile, portandoci a ritenere che si tratti di una limitazione strumentale piuttosto che a caratteristiche del sito o delle modalità di installazione.

In Figura 20 sono invece riportati degli esempi di rapporti HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) ottenuti utilizzando delle funzioni Matlab™ sviluppate appositamente. I rapporti spettrali sono stati calcolati sulle serie temporali dopo una deconvoluzione delle caratteristiche strumentali e filtrando preliminarmente i segnali nell'intervallo 0.1 - 40 Hz. Il dato continuo delle 3 componenti del moto del suolo è stato suddiviso in finestre temporali di 60 secondi su ognuna delle quali è stata calcolata la potenza spettrale. Dopo aver applicato uno *smoothing*, gli spettri delle tre componenti sono stati mediati e successivamente è stato calcolato il rapporto tra la componente verticale e la somma vettoriale delle componenti orizzontali (Figura 20a). L'individuazione della possibile direzionalità dell'amplificazione del rumore sismico è ottenuta producendo una mappa azimuthale del rapporto fra gli spettri in frequenza della componente verticale e radiale (Figura 20b).

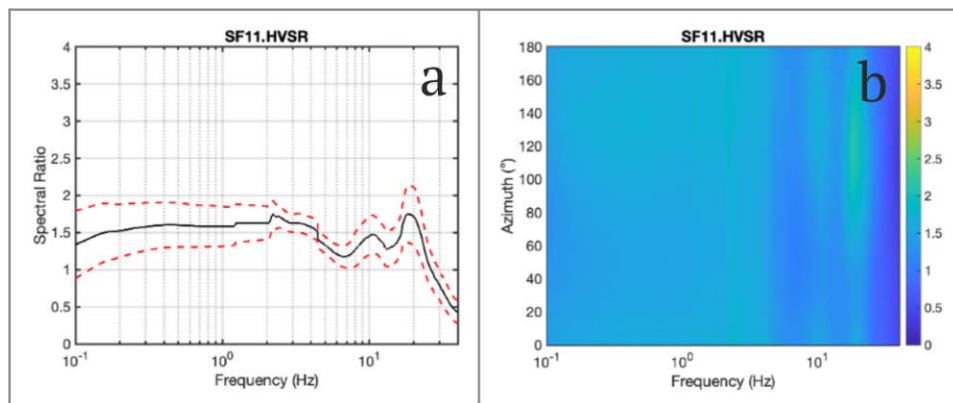


Figura 20 a) Grafico HVSR della stazione sismica SF11 in funzione del rapporto spettrale; b) Grafico HVSR della stazione sismica SF11 in funzione dell'azimuth.

Figure 20 a) HVSR chart of the SF11 seismic station according to spectral ratio. b) HVSR chart of the SF11 seismic station according to azimuth.

2.3 Rete Mugello

Per quanto riguarda l'esperimento condotto nel Mugello, l'obiettivo principale è stato quello di migliorare sia la completezza del catalogo sismico che la precisione delle localizzazioni per questa importante area sismogenetica. Nell'ambito di una collaborazione con le Università di Southampton (UK) e Firenze, e l'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR sono state quindi installate 9 stazioni sismiche temporanee a completamento delle reti permanenti attualmente in esercizio, che hanno acquisito dati per 23 mesi da Giugno 2019 a Maggio 2021, come riportato in Bruni et al. [2022]. In Tabella 2 è riportata la configurazione delle 9 stazioni della rete (Figura 21).

SITO	LAT (WGS84)	LON (WGS84)	TIPO STAZIONE	DIGITALIZZATORE	SENSORE
MBEN	4.414.831	113.107	Broadband	Guralp CMG-DCM/EAM 24-bit	Guralp 40TD
BOSL	4.393.093	1.137.433	Broadband	Guralp CMG-DCM/EAM 24-bit	Guralp 40TD
CASC	4.408.059	1.153.222	Broadband	Guralp CMG-DCM/EAM 24-bit	Guralp 40TD
CFER	4.388.798	1.142.189	Broadband	Guralp CMG-DCM/EAM 24-bit	Guralp 40TD
CRCL	4.394.426	1.123.742	Broadband	Guralp CMG-DCM/EAM 24-bit	Guralp 40TD
GAGN	4.405.697	1.111.862	Broadband	Guralp CMG-DCM/EAM 24-bit	Guralp 40TD
RINC	4.388.639	1.160.719	Broadband	Guralp CMG-DCM/EAM 24-bit	Guralp 40TD
RONT	4.399.353	1.143.296	Broadband	Guralp CMG-DCM/EAM 24-bit	Guralp 40TD
VISG	4.418.896	1.143.431	Broadband	Guralp CMG-DCM/EAM 24-bit	Guralp 40TD

Tabella 2 Configurazione delle stazioni sismiche della rete 9M installate in Mugello.

Table 2 Configuration of the seismic stations of 9M Mugello network.

La rete temporanea è stata registrata come 9M sull'*International Federation of Digital Seismograph Networks* (FDSN) con il nome di MULTIPLY (*Mugello Temporary Seismic Deployment*) [Bruni et al., 2019].

Durante il periodo dell'esperimento è stata registrata la sequenza sismica avvenuta in Mugello nel Dicembre 2019, il cui *mainshock* è stato un evento di magnitudo Mw 4.5 con epicentro a circa 5 Km da Scarperia e San Piero (FI) come riportato sul catalogo nazionale (<http://cnt.rm.ingv.it/event/23558121>). Un'immagine della registrazione di questo evento alla rete 9M è illustrata nella Figura 6 del Rapporto Tecnico Bruni et al. [2022].

Una volta concluso l'esperimento nell'area del Mugello, la completezza dell'archivio dei dati delle singole stazioni è stata verificata utilizzando la funzione *obspy-sds-report*. Anche in questo caso, l'incompletezza dell'archivio è imputabile alle cause illustrate nel paragrafo 2.2 per la rete Amiata.

In particolare, notiamo che questa rete sismica è stata attiva anche durante il periodo in cui erano in vigore le restrizioni dovute all'epidemia COVID-19 fra marzo e maggio 2020; ciò ha reso impossibile eseguire tempestivamente gli interventi di manutenzione straordinaria, influenzando negativamente sulla completezza dell'archivio di alcune stazioni (Figura 22).

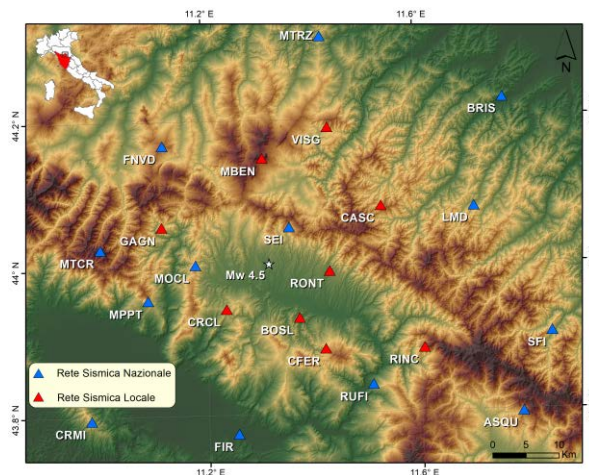


Figura 21 Mappa delle stazioni sismiche utilizzate per l'esperimento di acquisizione della sismicità locale in Mugello. Con il colore rosso sono indicate le stazioni utilizzate per l'esperimento, con il blu sono indicate le stazioni permanenti della RSN (Rete Sismica Nazionale). Inoltre è riportato l'epicentro dell'evento di Mw 4.5 avvenuto il 09/12/2019 presso Scarperia e San Piero (FI). (Dettagli sul DEM sono disponibili in Tarquini et al. [2007] e Tarquini et al. [2012]).

Figure 21 Mugello seismic station map. The red symbols represent the temporary network, the blue symbols represent the permanent stations of the National Seismic Network. The mainshock (Mw 4.5) occurred on 2019/12/09 in Scarperia e San Piero (FI) is also displayed. (Details about the DEM can be found in [Tarquini et al., 2007] and [Tarquini et al., 2012]).

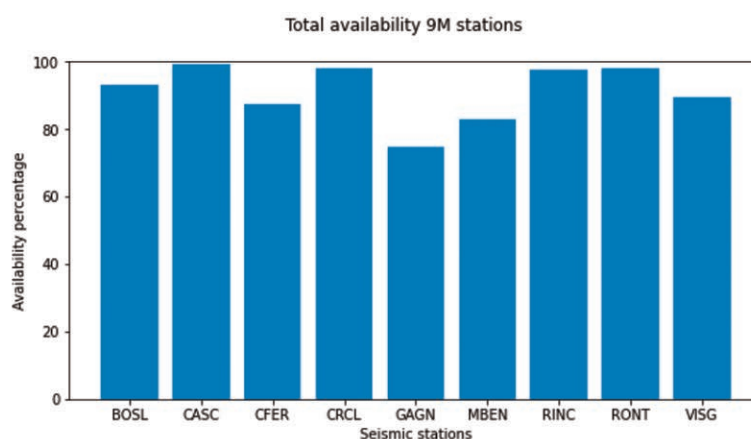


Figura 22 Grafico della completezza dell'archivio delle stazioni in Mugello (2019-2021). Da notare come le stazioni GAGN e MBEN abbiano una completezza molto inferiore alla media a causa dell'impossibilità di effettuare la manutenzione straordinaria durante il periodo di restrizioni dovute alla pandemia di COVID-19.

Figure 22 Histogram of the total availability of the Mugello data archive (2019-2021). GAGN and MBEN stations have a much lower availability due to the COVID-19 pandemic restrictions that blocked the extraordinary maintenance operations.

In Figura 23 mostriamo la PPSD ottenuta per una lunghezza della finestra di analisi impostata a 600 secondi su un intervallo di dati di 10 giorni.

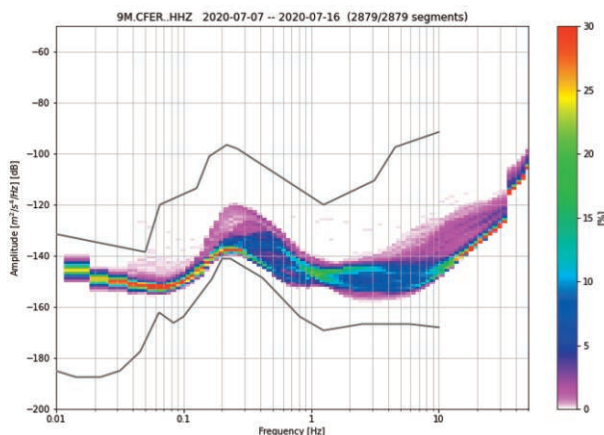


Figura 23 Grafico della PPSD della stazione sismica CFER.

Figure 23 PPSD chart of the CFER seismic station.

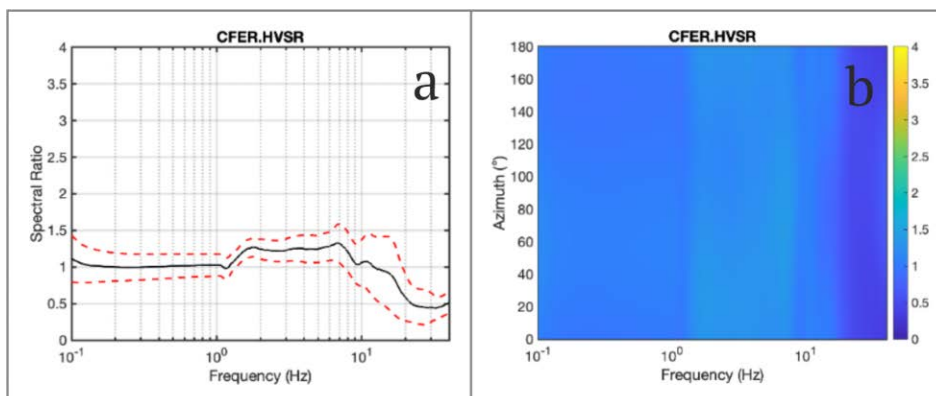


Figura 24 a) Grafico HVSR della stazione sismica CFER in funzione del rapporto spettrale; b) Grafico HVSR della stazione sismica CFER in funzione dell'azimuth.

Figure 24 a) HVSR chart of the CFER seismic station according to spectral ratio. (b) HVSR chart of the CFER seismic station according to azimuth.

Come già descritto nel paragrafo 2.2, per lo stesso periodo temporale è stato calcolato il rapporto HVSR e il rapporto fra la componente radiale e verticale (Figura 24).

2.4 Integrazione dei dati con la Rete Sismica Nazionale INGV

Le prime stazioni di questa tipologia ad essere integrate nella RSN (Rete Sismica Nazionale) sono state le *broadband* della rete Amiata (ovvero SF11, SF13, e SF14) da Giugno 2016 a seguito dell'evento sismico di magnitudo 4.1 a Castel Giorgio (TR), registrate con *network TV*. Per quanto riguarda la rete del Mugello invece sono state fornite le stazioni RINC, RONT e VISG da Dicembre 2019 a seguito dell'evento sismico di magnitudo 4.5 a Scarperia e San Piero (FI), registrate con *network 9M*.

I dati delle stazioni interessate vengono acquisiti, come primo accesso, nella sede di Roma su una macchina virtuale sfruttando un collegamento internet con il protocollo *SeedLink*. Questo server rende disponibili queste stazioni sia al flusso di dati della RSN che ad altri server di acquisizione ospitati presso il CED della sede di Pisa. Questo sistema permette di avere una maggiore ridondanza del dato senza compromettere la stabilità della connessione in uscita dai router 4G delle singole stazioni sismiche, mantenendo la possibilità di consultare il dato in tempo reale e garantire rapide operazioni di manutenzione.

Dopo la fine degli esperimenti in Amiata, è stata mantenuta in attività la sola stazione SF11 (<http://terremoti.ingv.it/instruments/station/SF11>) (Tabella 3) che risulta tuttora integrata nella RSN con il sistema sopra descritto come si vede in Figura 25.

Figura 25 Stazione SF11 provvista di due pannelli solari orientati verso sud.

Figure 25 SF11 station provided with two solar panels oriented to the south.




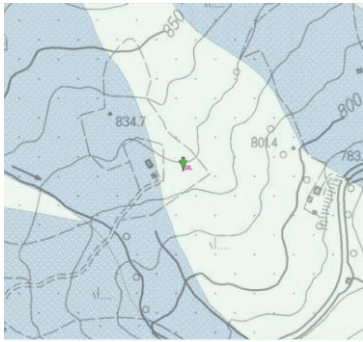
ID Stazione	SF11
Latitudine (WGS84)	42.86861° N
Longitudine (WGS84)	11.67894° E
Quota (m.s.l.m)	830
Geologia	Formazione di Sillano
Terreno	Suolo su substrato roccioso
Sensore	Guralp CMG-6TD 30s
Digitalizzatore	Guralp 6TD
Data Installazione	22/03/2016
 a	 b

Tabella 3 Scheda stazione sismica realizzata dopo il completamento dell'installazione sul sito SF11.

Table 3 Seismic station datasheet realized after the SF11 installation.

Per quanto riguarda invece il Mugello, i siti BOSL e VISG, già di proprietà della fondazione PARSEC, sono stati equipaggiati di nuova strumentazione e condivisi con la RSN.

3. Conclusioni

Le modalità e la tipologia di installazione descritte in questo rapporto tecnico hanno soddisfatto i requisiti di qualità e durabilità richiesti dal gruppo di sismologia sperimentale della Sezione INGV di Pisa, rivelandosi una soluzione scalabile e valida per campagne di acquisizione di dati sismologici a medio termine.

L'infrastruttura ideata e realizzata dal Laboratorio di Sismologia di Pisa si è rivelata particolarmente robusta, stabile e duratura anche nelle severe condizioni meteo-climatiche dell'Appennino settentrionale. Inoltre l'assenza pressoché totale di lavori in muratura ha consentito di effettuare le operazioni di installazione e messa in opera con un impatto paesaggistico ridotto e la possibilità di ripristinare completamente le condizioni dei siti al termine degli esperimenti.

La scelta tecnica di installare il sensore in un pozzetto con il fondo in cemento (completamente removibile alla fine dell'esperimento) e fornito di drenaggio per le acque meteoriche, ha garantito: i) una buona qualità dei dati registrati e ii) una buona protezione del sismometro, isolato termicamente e installato in un luogo asciutto, consentendo la facile ispezione del sensore durante le operazioni di manutenzione.

Il pozzetto in PVC in cui è stata alloggiata la strumentazione elettronica si è rivelato sufficientemente ampio da poter ospitare fino a 3 batterie di grandi dimensioni, utili nei periodi invernali per garantire (alle stazioni installate a quote più elevate) continuità di alimentazione anche durante periodi nevosi. La modularità dell'infrastruttura ha consentito in questi casi anche di aumentare facilmente la superficie dei pannelli solari con l'installazione di un pannello aggiuntivo.

La scelta di utilizzare materiale in acciaio inossidabile ha reso la manutenzione dell'infrastruttura praticamente inesistente, e al momento della sua rimozione non sono stati evidenziati punti particolarmente ossidati o da sostituire. Questa caratteristica sottolinea la sostenibilità e la riutilizzabilità dell'infrastruttura per future installazioni.

Le procedure di controllo dell'efficienza della strumentazione remota implementate dal Laboratorio di Sismologia della Sezione INGV di Pisa hanno permesso di verificare i livelli di tensione delle batterie e della stabilità di copertura LTE, consentendo di programmare interventi di manutenzione mirati e tempestivi sulla strumentazione installata, garantendo così un elevato livello di completezza dell'archivio dei dati sismici acquisiti.

Ringraziamenti

Sinceri ringraziamenti al Dott. Andrea Fiaschi della Fondazione PARSEC per il supporto operativo fornito durante le attività di installazione di alcune stazioni sismiche della rete Amiata e della rete Mugello.

Inoltre si ringraziano il Dott. Francesco Mazzarini e il Dott. Carlo Meletti per la costante e costruttiva collaborazione ai fini della predisposizione delle attività e del supporto logistico e fattivo nelle operazioni di campagna.

La strumentazione utilizzata per la rete 9M è stata fornita da SEISUK, grazie ad un prestito ottenuto da Derek Keir (*University of Southampton-UK* e Università di Firenze).

Bibliografia

- Bruni R., Saccorotti G., Keir D., Giunchi C. and Fiaschi A., (2019). *Mugello Temporary Seismic Deployment*. International Federation of Digital Seismograph Networks. Dataset/Seismic Network. https://doi.org/10.7914/SN/9M_2019
- Bruni R., Biagini D., Capello M., Corti G., D'Ambrosio M., Fiaschi A., Giunchi C., Keir D., Piccinini D., Sani F. and Saccorotti G., (2022). *A Temporary Network for Monitoring Seismicity in the Mugello Basin (Northern Apennines, Italy)*. Rapp. Tec. INGV, 442: 1-40, <https://doi.org/10.13127/rpt/442>
- Buonocunto C., Capello M., Castellano M. and La Rocca M., (2001). *La Rete Sismica Permanente dell'Osservatorio Vesuviano*. Osservatorio Vesuviano Open-File Report, 1-2001, 1-55 (in Italian).
- Capello M., (1996). *Progetto di stazione sismica analogica a tre componenti: manuale operativo, schede, componentistica*. Osservatorio Vesuviano Internal Report, 1-26 (in Italian).
- Castellano M., Buonocunto C., Capello M. and Caputo A., (2002). *A new standard for seismic station installation of the Osservatorio Vesuviano surveillance network (INGV, Napoli)*. Quad. Geofis., 25: 1-19, https://editoria.ingv.it/archivio_pdf/qdg/25/pdf/qdg_25.pdf
- Falco L., (2008). *Implementazione e gestione di una rete di monitoraggio GPS e sismica mediante tecnologie GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA*. Rapp. Tec. INGV, 69: 1-19, https://editoria.ingv.it/archivio_pdf/rapporti/68/pdf/rapporti_69.pdf.
- Komar B., (1998). *Teach Yourself TCP/IP Network Administration*. Sams Publishing.
- McNamara D.E., Raymond P. and Buland R.P., (2004). *Ambient noise levels in the continental United States*. Bulletin of the Seismological Society of America, 94(4): 1517-1527. <https://doi.org/10.1785/012003001>
- McNamara D.E. and Boaz R.I., (2006). *Seismic noise analysis system using power spectral density probability density functions: A stand-alone software package*. US Geological Survey. Open-File Report 2005-1438.
- MISE e MATTM, (2016). *Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia*. A cura del Ministero dello Sviluppo Economico e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. <https://unmig.mite.gov.it/wp-content/uploads/2016/10/linee-guida-geotermia.pdf>
- Moretti M., Govoni A., Colasanti G., Silvestri M., Giandomenico E., Silvestri S., Criscuoli F., Giovani L., Basili A., Chiarabba C. and Delladio A., (2010). *La Rete Sismica Mobile del Centro Nazionale Terremoti*. Rapp. Tec. INGV, 137: 1-66. https://editoria.ingv.it/archivio_pdf/rapporti/136/pdf/rapporti_137.pdf
- Nakamura Y., (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports, 30(1).
- Peterson J.R., (1993). *Observations and modeling of seismic background noise*. US Geological Survey Open-File Report, 93-322. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr93322>
- Sorrentino D., Salvaterra L., Vazzoler S., (2020). *Servizio DynDNS@INGV per le stazioni sismiche*. Rapp. Tec. INGV, 420: 1-18, <https://doi.org/10.13127/rpt/420>
- Tarquini S., Isola I., Favalli M., Mazzarini F., Bisson M., Pareschi M.T., Boschi E., (2007). *TINITALY/01: a new Triangular Irregular Network of Italy*. Annals of Geophysics 50, 407-425. <http://hdl.handle.net/2122/3673>
- Tarquini S., Vinci S., Favalli M., Doumaz F., Fornaciai A., Nannipieri L., (2012). *Release of a 10-m-resolution DEM for the Italian territory: Comparison with global-coverage DEMs and anaglyph-mode exploration via the web*. Computers & Geosciences, 38, 168170. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.04.018>
- Uhrhammer R.A., Karavas W. and Romanovicz B., (1998). *Broadband seismic station installation guidelines*. Seismol. Res. Letters, 69, 15-26.

Sitografia

- [1] <https://advantech-bb.com/product/lr77-v2-libratum/>
- [2] <https://www.seiscomp.de/>
- [3] <https://www.seiscomp.de/doc/base/concepts/waveformarchives.html#concepts-sds>
- [4] <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/services/seedlink/>
- [5] <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2271>
- [6] <https://icr.advantech.cz/support/router-models/download/217/snmp-object-identifiers-application-note-20211209.pdf>
- [7] <https://docs.obspy.org/>
- [8] <https://pysnmp.readthedocs.io/en/latest/>
- [9] <https://matplotlib.org/>
- [10] https://docs.obspy.org/packages/autogen/obspy.scripts.sds_html_report.html

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.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/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/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

Francesca DI STEFANO
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Impaginazione

Barbara ANGIONI
Patrizia PANTANI
Massimiliano CASCONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2023

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)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA