

RAPPORTI TECNICI INGV

SDQ: un tool Python-based per la
valutazione della qualità dei dati
sismo-accelerometrici della Rete
Sismica Nazionale dell'INGV



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

482

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editor in Chief

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

Editorial Board

Laura ALFONSI (laura.alfonsi@ingv.it)
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Simona CARANNANTE (simona.carannante@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Luca COCCHI (luca.cocchi@ingv.it)
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)
Luigi CUCCI (luigi.cucci@ingv.it)
Lorenzo CUGLIARI (lorenzo.cugliari@ingv.it)
Alessia DI CAPRIO (alessia.dicaprio@ingv.it)
Roberto DI MARTINO (roberto.dimartino@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Domenico DORONZO (domenico.doronzo@ingv.it)
Filippo GRECO (filippo.greco@ingv.it)
Alessandro IAROCCI (alessandro.iarocci@ingv.it)
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Daniele MELINI (daniele.melini@ingv.it)
Anna NARDI (anna.nardi@ingv.it)
Lucia NARDONE (lucia.nardone@ingv.it)
Marco OLIVIERI (marco.olivieri@ingv.it)
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)
Pierangelo ROMANO (pierangelo.romano@ingv.it)
Maurizio SOLDANI (maurizio.soldani@ingv.it)
Sara STOPPONI (sara.stopponi@ingv.it)
Umberto TAMMARO (umberto.tammaro@ingv.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)
Stefano URBINI (stefano.urbini@ingv.it)

Ufficio Editoriale

Francesca DI STEFANO - Coordinatore

Rossella CELI - Segreteria di Redazione

Produzione e grafica-redazionale

Barbara ANGIONI

Massimiliano CASCONI

Rossella CELI

Francesca DI STEFANO

Patrizia PANTANI

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

SDQ: un tool Python-based per la valutazione della qualità dei dati sismo-accelerometrici della Rete Sismica Nazionale dell'INGV

SDQ: a python-based open-source to improving data quality check of the INGV Italian Seismic Network

Fabio Varchetta^{1*}, Marco Massa¹, Rodolfo Puglia¹, Peter Danecek², Sandro Rao², Alfonso Mandiello², Davide Piccinini³

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

²INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

³INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

*Corresponding author

Accettato 27 febbraio 2024 | Accepted 27 February 2024

Come citare | How to cite Varchetta F. et al., (2024). SDQ: un tool Python-based per la valutazione della qualità dei dati sismo-accelerometrici della Rete Sismica Nazionale dell'INGV. Rapp. Tec. INGV, 482: 1-32, <https://doi.org/10.13127/rpt/482>

In copertina Immagine da Adobe Stock (licenza standard) | Cover from Adobe Stock (standard licence)

482

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	7
Introduzione	8
1. Rete Sismica Nazionale	9
2. Architettura software	10
3. Elaborazione dei dati	16
4. Risultati e Discussioni	22
5. Conclusioni	26
Ringraziamenti	27
Bibliografia	27
Sitografia	29

Riassunto

In questo lavoro si propone un nuovo applicativo denominato *Seismic Data Quality* (SDQ) per valutare la qualità dei dati accelerometrici e velocimetrici registrati dalla Rete Sismica Nazionale (RSN) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Il codice SDQ, sviluppato in *Python*, è stato realizzato con lo scopo principale di effettuare:

- un confronto sistematico di compatibilità tra il dato accelerometrico ed il dato velocimetrico di sensori co-installati allo stesso sito di registrazione;
- determinare una classe di qualità per ogni singola forma d'onda elaborata.

Per la verifica preliminare dell'applicativo, sono state considerate 230 stazioni della RSN, dotate di 6 canali di registrazione, sia accelerometrici che velocimetrici. In particolare, sono state analizzate oltre 15.000 forme d'onda acquisite dal gennaio 2012 a marzo 2023, relative a eventi sismici con magnitudo locale e/o momento (M_L e/o M_w) ≥ 3.5 e distanza ipocentrale (R_{ipo}) ≤ 150 km. Tutti i dati utilizzati sono stati scaricati da *European Distributed Data Archive* - nodo Italia (EIDA Italia) tramite l'utilizzo dei servizi di *webservices* [1] dell'INGV.

La qualità dei segnali sismici registrati dalle stazioni analizzate è stata valutata sia utilizzando i relativi metadati delle forme d'onda (*Peak Ground Acceleration* - PGA; *Peak Ground Velocity* - PGV) e sia la somiglianza delle serie temporali complete utilizzando algoritmi di cross correlazione. Per ciascuna forma d'onda è stata assegnata una classe di qualità da A (qualità ottima) a D (dato da rigettare) in base ad analisi basate sia sulla media quadratica dell'involuppo che sul contenuto energetico dello spettro di Fourier di ogni singola forma d'onda.

I risultati hanno consentito di determinare quali stazioni RSN ad oggi mostrano un corretto funzionamento e quali, al contrario, necessitano di verifiche finalizzate a determinare la causa dell'incongruenza tra i sensori co-locali.

Abstract

In this paper, Seismic Data Quality (SDQ), a new application devoted to estimating the quality of the accelerometric and seismometric data recorded by the INGV National Seismic Network, is proposed. SDQ has been developed in Python with the main purpose of performing both:

- *a systematic compatibility comparison between the accelerometric and velocimeter data of sensors co-located in correspondence with each seismo-accelerometric recording site;*
- *to assign to each recorded event waveforms a quality class.*

For the analyses, 230 multi-parametric stations (i.e., equipped with both accelerometric and velocimeter channels) of the INGV National Seismic Network were considered.

Data were acquired from January 2012 to March 2023 for a total of more than 15,000 event waveforms related to Italian earthquakes with local or moment magnitude (M_L e/o M_w) ≥ 3.5 and hypocentral distance (R_{ipo}) ≤ 150 km. All data used in this report were downloaded from the EIDA Italy node through the use of INGV webservices [1].

The quality of the data recorded from each single RSN station was assessed both using individual waveform metadata (Peak Ground Acceleration, PGA; Peak Ground Velocity, PGV) and the similarity of the whole time series by cross-correlation algorithms. For each waveform, it was also possible to assign a quality class from A (excellent quality) to D (data to be rejected) by analysing both the root mean square of the signal envelope and the energy content of the Fast Fourier spectrum. The results allow us to highlight which RSN stations show, at present, a correct operation and which, on the contrary, need verification aimed at determining the cause of the inconsistency between the co-located sensors.

Introduzione

L'Italia è caratterizzata da una sismicità medio-alta, che negli ultimi anni ha causato ingenti danni dal punto di vista sociale ed economico. Basti pensare ai recenti terremoti dell'Aquila del 2009 [Ameri et al., 2009], dell'Emilia del 2012 [Luzi et al., 2013], di Amatrice-Norcia del 2016 [Morasca et al., 2019] e di Casamicciola del 2017 [Pischiutta et al., 2022]. Proprio per questo motivo, negli ultimi anni, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha dedicato ingenti risorse per l'aumento del numero di stazioni sismiche distribuite su tutto il territorio nazionale. Tale impegno mira a migliorare l'attività di monitoraggio e a fornire dati fondamentali sia per la comprensione dei fenomeni sismici a scopo di ricerca, sia a scopi di protezione civile. Affinché le stazioni sismiche possano svolgere il loro ruolo in modo efficace, è essenziale garantire l'attendibilità dei dati registrati.

Negli ultimi anni, molti lavori hanno focalizzato la loro attenzione sulla questione dell'elaborazione e delle procedure di verifica dei dati, in particolare di dati *strong-motion* per la loro fondamentale importanza in caso di forti terremoti. Ad oggi, a livello italiano, sono disponibili due strumenti strutturati in modo tale da poter analizzare quotidianamente tutti i dati della Rete Sismica Nazionale (RSN) per la stima preliminare della qualità del dato, ovvero i portali *European Distributed Data Archive - nodo Italia* (EIDA Italia [2]) [Danecek et al., 2021] ed *INGV Strong Motion Data quality* (ISMDq [3]) [Massa et al., 2022].

Il nodo EIDA Italia è un'infrastruttura dalla quale è possibile scaricare porzioni selezionate di dato sismico (formato grezzo, unità *counts*) dallo *stream* in continuo ad ogni stazione. EIDA Italia utilizza un *tool* per la valutazione della qualità del dato sviluppato in ambito ORFEUS [4] in grado di fornire con un ritardo di circa 7 giorni informazioni relative ai valori di *Root Mean Square* (RMS) ed eventuali *gap* nel segnale per ogni stazione disponibile.

ISMDq, rappresenta un recente sistema di analisi della qualità dei dati in tempo quasi reale sviluppato sia per eventi di magnitudo > 3 registrati dalle stazioni accelerometriche RSN sia per dati in continuo registrati da tutte le stazioni a 6 canali della RSN e partner associati. ISMDq pubblica giornalmente per tutte le stazioni disponibili, i parametri di qualità tra cui RMS, *Power Spectral Density* (PSD), *Probability Density Function* (PDF) delle PSD [McNamara et al., 2004] oltre che informazioni sulla disponibilità del dato (*gap*, ecc.).

In questo contesto, il presente lavoro si propone di fornire uno strumento di ulteriore supporto agli operatori della sala di sorveglianza sismica INGV presso la sede di Roma [Margheriti et al., 2021] che permetta di valutare in modo rapido ed efficace il corretto funzionamento delle stazioni sismiche della RSN basandosi su un confronto tra dati accelerometrici e velocimetrici di eventi sismici registrati alla stessa stazione.

L'approccio proposto consiste nell'utilizzo di un codice sviluppato in *Python* semi-automatico nominato *Seismic Data Quality* (SDQ), ad oggi disponibile sulla piattaforma *GitLab* [5], della rete interna INGV [6].

Questo strumento è stato sviluppato per offrire un semplice supporto agli addetti ai lavori nell'ambito del monitoraggio sismologico con l'obiettivo di ridurre al minimo i tempi necessari per rilevare eventuali malfunzionamenti delle stazioni sismiche (talvolta sopraggiunti a posteriori) o problemi ai siti di installazione. Tale supporto è fornito dalla disponibilità di una serie di applicativi *Python* in grado di fornire, per ogni stazione sismica ed evento sismico analizzato, risultati facilmente interpretabili in termini di tabelle riepilogative, *file* di *log* e immagini relative

ai parametri di interesse.

L'applicativo SDQ è strutturato in quattro fasi:

1. scaricamento dati tramite EIDA Italia;
2. *pre-processing* dei segnali, che comprende l'applicazione di criteri di esclusione in base ai quali gli eventi vengono o non vengono processati;
3. *processing*:
 - determinazione della compatibilità tra segnali accelerometrici e velocimetrici;
 - identificazione della classe di qualità della forma d'onda;
4. produzione dei risultati in termini di tabelle e immagini.

1. Rete Sismica Nazionale

La RSN è la rete sismica permanente gestita dall'INGV [Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2005], i cui scopi vanno dal monitoraggio sismico del territorio nazionale, alla registrazione di parametri geofisici finalizzata alla ricerca scientifica di base, al fondamentale compito di supporto al Dipartimento di Protezione Civile (DPC) per l'adozione di misure di prevenzione e mitigazione del rischio sismico, in particolare in caso di emergenze sismiche.

La RSN attualmente conta circa 500 stazioni totali, tra quelle di proprietà dell'INGV e quelle gestite da enti terzi, distribuite su tutto il territorio nazionale. I dati vengono trasmessi in tempo reale presso il centro di acquisizione di competenza dell'Osservatorio Nazionale Terremoti (ONT [7]) presso la sede INGV di Roma, [Margheriti et al., 2021; Michelini et al., 2016]. I dati archiviati al centro di acquisizione principale vengono in alcuni casi ridondati presso le altre sedi INGV che si occupano di svolgere servizi specifici, quali ad esempio *backup* o analisi di qualità dei dati disponibili. In Figura 1 viene mostrata l'attuale distribuzione della RSN (IV rappresentati con i simboli rossi) insieme alle stazioni della *Mediterranean Very Broadband Seismographic Network - MedNet* (MN con simboli viola in Figura 1 [MedNet Project Partner Institutions, 1990; Pondrelli et al., 2020]) sempre di proprietà dell'INGV.

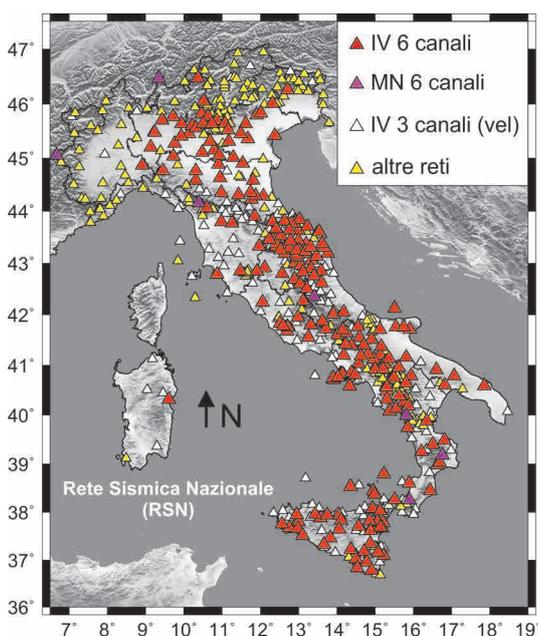


Figura 1 Distribuzione delle stazioni della RSN dell'INGV. I triangoli rossi (codice di rete FDSN IV) e viola (MN) indicano le stazioni a 6 canali, accelerometriche e velocimetriche, analizzate in questo lavoro.

Figure 1 Distribution of real-time stations within the Italian territory. The red triangles (FDSN IV network code) and purple triangles (MN) represent the 6-channel, accelerometric and velocimetric stations analysed in this study.

IV e MN sono i codici di rete assegnati alle due reti permanenti dall'*International Federation of Digital Seismograph Networks* (FDSN [8]).

Al monitoraggio sismico nazionale contribuiscono inoltre stazioni sismiche in capo ad altri Enti o Istituzioni governative o Università, tra cui si ricorda ad esempio la Rete Accelerometrica Nazionale (RAN; codice rete IT) gestita del Dipartimento di Protezione Civile [Presidency of Council of Ministers-Civil Protection Department, 1972], la rete sismica del nord-est Italia gestita dal Centro Ricerche Sismologiche dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS [9]; NI/OX) [Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), 2016]), la rete sismica dell'Italia Nord Occidentale e della Lunigiana Garfagnana gestita dall'Università di Genova (GU) [University of Genova, 1967], la rete dell'Irpinia (IsNet [10]; IX) oltre che dal contributo di *network* temporanei installati in ambito di esperimenti scientifici o durante le emergenze sismiche dai gruppi operativi dell'INGV [11].

La distribuzione sul territorio italiano di tutte le stazioni che contribuiscono alla RSN avviene tramite il portale EIDA Italia [2] [Danecek et al., 2021].

La maggior parte dei siti di installazione della RSN è dotata di acquisitori sismici a 6 canali accoppiati ad un sensore velocimetrico e ad un sensore accelerometrico. La co-locazione di entrambi i sensori in un sito permette di coprire l'intero intervallo di frequenza del processo di deformazione che porta all'occorrenza dei terremoti, evitando la perdita di registrazioni dovuta talvolta alla saturazione del velocimetro per eventi vicini di magnitudo significativa (solitamente con Magnitudo Locale o *Richter* (ML) o Magnitudo Momento (Mw) > 3.5), ma allo stesso tempo garantendo la corretta registrazione di eventi locali di bassa magnitudo, utili a caratterizzare la micro-sismicità. Ogni sito di installazione di una stazione sismica della RSN è dotato sia di sistemi di alimentazione (es. batterie, pannelli fotovoltaici, corrente continua) che di sistemi di trasmissione dei dati in tempo reale (apparati UMTS, ponti radio, internet, sistemi satellitari, ecc.). I dati una volta trasmessi ai centri operativi delle sezioni INGV che contribuiscono al monitoraggio sismico nazionale vengono centralizzati ed archiviati all'ONT, dove tramite EIDA Italia [Strollo et al., 2021] vengono resi disponibili in formato grezzo alla comunità sismologica.

2. Architettura software

SDQ è un codice semiautomatico sviluppato in *Python* [12] utilizzando principalmente il modulo *Obspy* [Beyreuther et al., 2010; Megies et al., 2011; Krischer et al., 2015] con lo scopo di valutare in maniera rapida la qualità delle registrazioni di singolo un evento sismico, di una singola stazione sismica o di un *dataset* contenente migliaia di registrazioni.

Il codice può essere lanciato, ad esempio in ambiente *Linux*, da terminale tramite una linea di comando, che deve contenere il nome del *file* di *input* esterno da importare. Tale *file* di *input* è un *file* di testo “.txt” e deve contenere tre colonne di dati, ovvero: codice identificativo dell'evento (variabile *eventID*) da bollettino sismico INGV [13], il codice della stazione (variabile *stacode*) e il codice di rete (variabile *netcode*).

Una volta importato il *file* di *input* esterno e lanciato il codice, esso è stato progettato e scritto per elaborare una grande quantità di dati nel minor tempo possibile tramite processamento di calcolo in parallelo utilizzando la libreria *Multiprocessing* di *Python* e sfruttando appieno le caratteristiche tecniche delle macchine computazionali disponibili.

Un esempio di linea di comando, attraverso il quale da terminale è possibile eseguire il codice SDQ, è sotto riportato:

```
test@test:~$ ./SDQ.py -wl file_MILN -cwl 1 2 3 -pp 8
```

dove la parte in grassetto è quella necessaria per eseguire il codice, ovvero nome *file* di *input* da importare (-wl) e identificativo numerico per le colonne dati da utilizzare (-cwl), contenenti, rispettivamente, le informazioni *eventID*, *stacode* e *netcode*.

La parte non in grassetto indica una delle possibili condizioni non obbligatorie senza le quali il codice verrebbe comunque eseguito correttamente. In questo caso la condizione non obbligatoria è data dal parametro *-pp*, che indica, ad esempio, l'utilizzo di 8 processori per il calcolo in parallelo sulla macchina *test*.

Il processo di elaborazione delle forme d'onda nel codice SDQ si svolge in tre fasi:

1. selezione del dato e scarico dati;
2. *pre-processing* per la verifica del dato;
3. *processing* per la stima della qualità del dato.

Tutte le operazioni di scarico e di calcolo eseguite sulle registrazioni sono implementate utilizzando gli strumenti di *Obspy*. In Figura 2 è riportato il diagramma di flusso del codice SDQ.

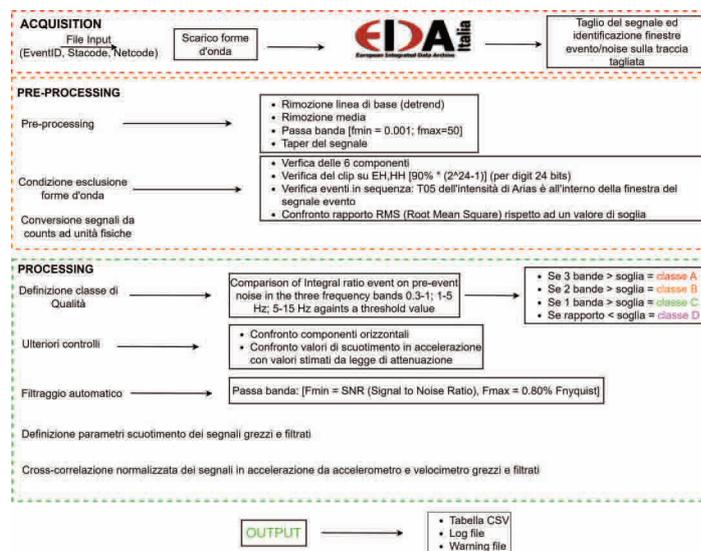


Figura 2 Diagramma di flusso del codice SDQ.

Figura 2 Flowchart of the SDQ code.

Come si può osservare dalla Figura 2, il codice è organizzato in modo tale che una forma d'onda prima di essere processata debba obbligatoriamente superare diverse condizioni.

Nella fase di acquisizione, una volta verificata l'esistenza dell'evento sul *webservice fdsnws-event* [14] dell'INGV, si procede allo scarico delle forme d'onda dell'evento tramite il nodo EIDA Italia. Successivamente, le tracce vengono tagliate identificando le finestre dell'evento e del *noise*.

Le operazioni di taglio del segnale ed il successivo riconoscimento delle finestre evento e rumore antropico pre-evento avvengono considerando una finestra mobile che dipende dalla magnitudo, dalla distanza ipocentrale e dal tempo di arrivo della fase P selezionata per l'evento *target* ad ogni stazione. Nel caso in cui il metadato relativo al tempo P non sia scaricabile da *webservices*, il tempo P teorico (*Ptime*), è stimato mediante le procedure riportate in Puglia et al. [2018], sviluppate a servizio dell'*Engineering Strong Motion (ESM) database*.

Una volta eseguito il taglio del segnale, inizia la fase di *pre-processing* per ogni singola forma d'onda registrata ad ogni stazione disponibile. La prima fase di *pre-processing* consiste nella conversione dei segnali scaricati da unità informatica (*counts*) a unità fisica (*cm/s* o *cm/s²*), nell'applicazione di operazioni di prefiltraggio del segnale e nell'implementazione di determinate condizioni di esclusione, che se superate consentono di passare al processamento del segnale. La conversione in unità fisiche dei segnali scaricati avviene in due modi: per i segnali accelerometrici, la conversione in *m/s²* avviene tramite la semplice applicazione della *sensitivity*

di canale disponibile nei *file xml* di stazione, mentre per i segnali registrati dal velocimetro la conversione in unità fisica (m/s) avviene utilizzando i *file dataless* di stazione che contestualmente consentono all'operatore di effettuare la deconvoluzione strumentale in modo da tenere in conto la risposta propria in frequenza dei diversi sensori velocimetrici.

Successivamente, viene eseguito un pre-filtraggio del segnale che consiste nella rimozione della linea di base (*detrend*), nella rimozione della media (*demean*), nell'applicazione di un filtro passa-banda ($f_{min} = 0.001$ Hz, $f_{max} = 50$ Hz) e nell'applicazione di un *cosin-taper* all'intera traccia del segnale scaricato.

Le forma d'onda prima di poter essere processate, devono superare determinate condizioni tra cui:

1. corretto funzionamento di tutte le componenti del moto (Nord-Sud, Est-Ovest, verticale) per entrambi i sensori installati alla stazione: se solo una delle 6 componenti analizzate non ha registrato l'evento *target*, la stazione viene scartata;
2. verifica del *clipping* sui segnali velocimetrici: la forma d'onda velocimetrica viene processata quando l'ampiezza del segnale è al di sotto di una soglia di saturazione, definita come una frazione 90% del fondo scala [$FS=(2^{24}-1)$] di un digitalizzatore a 24 bit. Qualora l'ampiezza del segnale grezzo in *counts* superi questa soglia, la forma d'onda viene scartata;
3. verifica di più eventi all'interno della finestra di taglio: viene effettuata una verifica di eventi multipli, utile soprattutto in caso di sequenza sismica. Se i segnali sono registrati correttamente e non sono individuati segnali velocimetrici saturi, l'individuazione di eventi multipli viene determinata considerando il valore del T_{05} della funzione cumulativa dell'Intensità di Arias. Se il valore del T_{05} si trova al di fuori della finestra di taglio del segnale dell'evento, è probabile che ci sia un evento antecedente all'evento *target* (o il *noise* di *background* presenta valori molto elevati) e quindi la forma d'onda viene scartata. La verifica e la validità di questa condizione vengono confermate tramite l'algoritmo di *triggering* della funzione *Short Time Average over Long Time Average* (STA/LTA) [Withers et al. 1998; Trnkoczy, 2009] implementato in *Obspy*;
4. viene valutata la variazione dell'ampiezza del segnale registrato nel tempo e viene confrontato il rapporto del RMS tra evento e rumore rispetto a una soglia prestabilita. Per questa condizione viene prima ottenuto l'involuppo del segnale nel dominio del tempo tramite l'applicazione della trasformata di *Hilbert* [Kanasewich, 1981] e successivamente calcolato il valore RMS considerando sia la finestra del rumore pre-evento che la finestra dell'evento analizzato, utilizzando la seguente formula:

$$RMS_{(evt,noi)} = \sqrt{[1/n (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)]} \quad (eq.1)$$

dove n è il numero di campioni della finestra analizzata e x il valore in ampiezza del singolo campione.

Successivamente, una volta calcolato l'RMS per la finestra dell'evento e per la finestra del rumore pre-evento, viene calcolato il rapporto (RMS_{evt}/RMS_{noi}). Se il valore risultante è inferiore a una specifica soglia impostata a priori, il codice esclude la forma d'onda.

La scelta del valore di soglia è stata effettuata in modo empirico (Tabella 1), basandosi sulla visualizzazione dei segnali e sulla distribuzione dei valori ottenuti dal rapporto considerando tutti gli eventi e le stazioni presenti nel *dataset* disponibile.

Superate queste condizioni, la forma d'onda non potrà più essere esclusa e passa quindi alla fase finale del *processing*. In questa fase, viene attribuita una classe di qualità ad ogni singola forma d'onda analizzata. Tale attribuzione avviene calcolando il rapporto tra gli integrali degli spettri di Fourier (FFT) in ampiezza dell'evento e del rumore antropico pre-evento per tre bande di frequenza e confrontando il valore con una soglia empirica determinata a priori per ogni banda di frequenza selezionata (Tabella 1). Attraverso un'ispezione grafica di centinaia di terremoti

target, in base a confronti tra FFT degli eventi e del rumore ambientale tipico di stazioni localizzate in differenti contesti geologici ed antropici sono state scelte 3 bande di frequenza rappresentative dei fenomeni sismici tipici della penisola italiana, ovvero 0.3-1 Hz, 1-5 Hz, 5-15 Hz. Le classi di qualità utilizzate per rappresentare la qualità dei dati vanno da A (ottimo) a D (dato da scartare).

In particolare, una forma d'onda appartiene alle classi A, B o C quando i valori del rapporto tra gli integrali degli FFT in ampiezza dell'evento e del rumore pre-evento sono maggiori rispetto a valori minimi di soglia fissati empiricamente rispettivamente per tutte le bande di frequenza (A, ottima qualità), per soli due intervalli sui tre (B, buona qualità) o solo per una banda di frequenza (C, bassa qualità). I valori di soglie empiriche sono riportati in Tabella 1.

Infine, una forma d'onda è classificata in classe D (dato di cattiva qualità), quando in nessun caso il valore dei rapporti integrali supera i valori soglia. Le forme d'onda in classe D non vengono comunque scartate a priori, ma l'informazione viene inserita in un *file* di *log* esterno contenente dei *warning* in relazione al fatto che il dato non è attendibile per delle analisi statistiche.

Una volta attribuita la classe di qualità alla forma d'onda, vengono eseguiti ulteriori controlli, non esclusivi, che suggeriscono in un *file* esterno di rivedere i dati qualora il riscontro di questo controllo non sia comunque positivo.

I controlli finali includono:

1. verifica dei valori di scuotimento delle due componenti orizzontali. Se il rapporto dei valori di scuotimento calcolato sulle due componenti orizzontali supera una determinata soglia (Tabella 1), sarà presente un *warning* descrittivo nel *file* di *log*;
2. confronto dei valori di scuotimento tra i dati reali e i dati stimati da una relazione di attenuazione di riferimento *Ground Motion Prediction Equations* (GMPE). Per il presente lavoro è stata utilizzata la relazione ITA10 [Bindi et al., 2011]. Se lo scuotimento dei dati reali non è compreso nell'intervallo di ± 3 deviazioni *standard* della relazione di attenuazione di riferimento, viene riportato un *warning* descrittivo nel *file log*.

Condizione	Valore soglia	Messaggio
Rapporto RMS	10	Error-forma d'onda non processata
Rapporto Integrali spettri evento su <i>noise</i> per bande di frequenza $f_1(0.3-1)$ Hz, $f_2(1-5)$ Hz, $f_3(5-15)$ Hz	$f_1(0.3-1 \text{ Hz}) = 5$ $f_2(1-5 \text{ Hz}) = 10$ $f_3(5-15 \text{ Hz}) = 7$	Identificazione classi di qualità segnale: Classe A Classe B Classe C Classe D (Avviso <i>Warning</i>)
Confronto componenti orizzontali	5	<i>Warning</i>
Confronto valori di scuotimento in accelerazione dei segnali con quelli stimati da GMPE (ITA10)	$\pm 3 \sigma$	<i>Warning</i>

Tabella 1 Valori di soglia empirica per i vari parametri di qualità e messaggi di errore e *warning*.

Table 1 Empirical threshold values for quality classes, error and warning messages.

Successivamente a queste ultime condizioni, viene definito l'intervallo di frequenze per il filtraggio automatico della forma d'onda. Il filtro automatico utilizzato è un filtro di *Butterworth* di ordine 3, in cui la frequenza minima viene scelta in base al rapporto segnale-rumore (*Signal to*

Noise Ratio, SNR), mentre la frequenza massima è definita come l'80% della frequenza di Nyquist [Bormann, 2012].

A seguito di vari test effettuati applicando soglie variabili di SNR tra 3 e 10 è stato scelto in maniera conservativa di utilizzare un valore di SNR uguale a 5. La ricerca del valore di frequenza minima di filtraggio avviene considerando il rapporto degli FFT in accelerazione dell'evento e del rumore di fondo: la frequenza minima di taglio corrisponde al primo valore per cui il rapporto tra le FFT è maggiore del valore di soglia impostato a priori. Tuttavia, nei casi in cui la bassa frequenza sia caratterizzata da valori in ampiezza significativi anche sul rumore di fondo questo modo di procedere può risultare inefficace producendo spesso valori di filtro irrealistici. Per ovviare a questa situazione vengono impostate delle soglie minime e massime di valori in frequenza per cui il valore del filtro deve ricadere all'interno di un intervallo definito a priori in modo tale da evitare errori grossolani sul filtraggio.

Queste limitazioni si basano sulle seguenti condizioni:

1. se il valore della frequenza minima è ≥ 0.4 Hz si impone il valore di frequenza = 0.4 Hz;
2. se per gli eventi con magnitudo < 4.5 il valore di frequenza minima è < 0.2 Hz, si impone un valore di frequenza = 0.2 Hz;
3. se per gli eventi tra magnitudo 4.5 e 5.5 si ha una frequenza minima < 0.1 Hz, si impone un valore di frequenza minima = 0.1 Hz;
4. se per gli eventi di magnitudo ≥ 5.5 si ha una frequenza minima < 0.05 Hz, si impone un valore di frequenza minima = 0.05 Hz.

Infine, per ogni segnale sia grezzo che filtrato, vengono calcolati:

1. i parametri di scuotimento in accelerazione (*Peak Ground Acceleration* - PGA) e velocità (*Peak Ground Velocity* - PGV) sia direttamente registrati dai sensori che ottenuti tramite conversione dell'accelerazione in velocità (integrazione) che tramite la conversione della velocità in accelerazione (derivata);
2. i coefficienti di cross-correlazione normalizzata (*Cross-correlation coefficient* - CC) per valutare il grado di similarità dell'intera forma d'onda, considerando i segnali (grezzi e filtrati) in accelerazione e l'accelerazione derivata dal segnale velocimetrico;
3. i rapporti tra i valori di scuotimento in accelerazione (PGA) e velocità (PGV) registrati direttamente dall'accelerometro e velocimetro ed i relativi valori ottenuti analiticamente tramite derivata e integrale;
4. il prodotto tra il coefficiente di cross-correlazione (CC) e il valore dei rapporti ottenuti al punto 3, utile per avere una stima più robusta della coerenza delle forme d'onda.

Al termine delle operazioni di *processing*, il codice restituisce in *output*:

1. una tabella riassuntiva in formato csv che raccoglie tutti i parametri di interesse per ogni forma d'onda processata;
2. un *file* di log in formato testuale per indicare se la forma d'onda è stata processata o se è stata scartata a causa di una determinata condizione;
3. un *file* di log in formato testuale contenente i *warning* per le forme d'onda processate ma che possono presentare ancora dei problemi riscontrati con i controlli supplementari alla fase di *processing*.

Infine, per facilitare la visualizzazione dei risultati vengono prodotti (opzionale) grafici comparativi con i valori di scuotimento calcolati e desunti da entrambi gli strumenti.

Nelle Tabelle 2, 3 e 4 vengono mostrati un esempio di *log-file* per errori, un esempio di *warning file*, mentre in Tabella 4 vengono esplicitati i termini riportati in ogni singola colonna della tabella riassuntiva ottenuta al termine del processamento e nella quale ogni record indica i risultati per evento/stazione/componente.

Log file	
(EventID, Netcode, Stacode)	OK: output table has been created!
(EventID, Netcode, Stacode)	ERROR: eventID=('Codice evento') has automatic/preliminary location!
(EventID, Netcode, Stacode)	ERROR: the number of streams for the accelerometer "H[N,G,L]" is not equal to 3!
(EventID, Netcode, Stacode)	ERROR: the number of streams for the velocimeter "[E,H]H" is not equal to 3!
(EventID, Netcode, Stacode)	ERROR: velocimetric signal clipped
(EventID, Netcode, Stacode)	ERROR: The Arias T05 value is before the start of signal window
(EventID, Netcode, Stacode)	ERROR: RMS(Value) is lower then threshold
(EventID, Netcode, Stacode)	ERROR: fmin not found (senza l'opzione -lff)
(EventID, Netcode, Stacode)	ERROR: eventID=('Codice evento') not found!

Tabella 2 Esempio di Log file per gli errori di esclusione.

Table 2 Example Log File for Exclusion Errors.

Warning file	
(EventID, Netcode, Stacode)	WARNING: event magnitude is lower than 3.5, then we can not use ITA10 GMPE
(EventID, Netcode, Stacode)	WARNING: epicentral distance is higher than 200 km, the we can not use ITA10 GMPE
(EventID, Netcode, Stacode)	WARNING: this waveform has value of PGA outside the +/-3 sigma interval of ITA10 GMPE
(EventID, Netcode, Stacode)	WARNING: the two horizontal components differs more than 5 times each others
(EventID, Netcode, Stacode)	WARNING: class is "D" for at least one component (E,N,Z)
(EventID, Netcode, Stacode)	WARNING: orientation might be reversed between the accelerometric and velocimetric sensors

Tabella 3 Esempio di Warning file di controllo.

Table 3 Example of Warning file.

ID	Event ID
<i>Date time</i>	Tempo del terremoto
<i>Netcode</i>	Codice della rete
<i>Stacode</i>	Codice della stazione
<i>Stream_acc</i>	Band e Instrument code dell'Accelerometro
<i>Sensitivity_Acc</i>	Sensitivity dell'accelerometro
<i>Stream_vel</i>	Band and Instrument code del Velocimetro
<i>Channel</i>	Canale dello strumento
<i>PGA_AA</i>	Valore PGA da accelerometro [m/s ²]
<i>PGA_AA_F</i>	Valore PGA da accelerometro filtrato [m/s ²]
<i>PGA_AV</i>	Valore PGA da velocimetro [m/s ²]

PGA_AV_F	Valore PGA da velocimetro filtrato [m/s ²]
PGV_VV	Valore PGV da velocimetro [m/s]
PGV_VV_F	Valore PGV da velocimetro filtrato [m/s]
PGV_VA	Valore PGV da accelerometro [m/s]
PGV_VA_F	Valore PGV da accelerometro filtrato [m/s]
RPGA_AA/PGA_AV	Rapporto valore PGA da accelerometro su velocimetro
RPGA_AAF/PGA_AVF	Rapporto valore PGA da accelerometro su velocimetro filtrati
RPGV_VV/PGV_VA	Rapporto valore PGV da velocimetro su accelerometro
RPGV_VVF/PGV_VAF	Rapporto valore PGV da velocimetro su accelerometro filtrati
CC	Coefficiente di cross-correlazione
CC_F	Coefficiente di cross-correlazione per i segnali filtrati
CC/RPGA	Rapporto CC/RPGA
CC_F/RPGA_F	Rapporto CC_F/RPGA_F
CC/RPGV	Rapporto CC/RPGV
CC_F/RPGV_F	Rapporto CC_F/RPGV_F
Repi	Distanza epicentrale [Km]
Ripo	Distanza ipocentrale [Km]
Mag	Magnitudo
S/N_RMS	RMS
RINT_0.3_1	Rapporto evento su <i>noise</i> dell'integrale FFT tra 0.3-1 Hz
RINT_1_5	Rapporto evento su <i>noise</i> dell'integrale FFT tra 1-5 Hz
RINT_5_15	Rapporto evento su <i>noise</i> dell'integrale FFT tra 5-15 Hz
Qletter	Indice di qualità del segnale (A-D)
Fmin	Frequenza minima del filtro passa-banda [Hz]
Fmax	Frequenza massima del filtro passa-banda [Hz]

Tabella 4 Parametri calcolati per ogni singola forma d'onda processata che andranno a costituire la tabella csv di output finale.

Table 4 Parameters calculated for each processed waveform that will form the final output csv table.

3. Elaborazione dei dati

Il codice SDQ è stato testato processando oltre 15.000 forme d'onda registrate per eventi di magnitudo (ML o Mw) > 3.5 e con una distanza ipocentrale (R_{ipo}) < 150 km, occorsi sul territorio italiano nell'intervallo di tempo gennaio 2012 - giugno 2023. Tale analisi ha coinvolto circa 230 stazioni appartenenti alla RSN equipaggiate sia con sensore accelerometrico che con sensore velocimetrico (Figura 1). Grazie a questo lungo periodo di osservazione, è stato possibile valutare non solo l'attuale corretto funzionamento di ogni stazione, ma stabilire inoltre temporanei periodi di malfunzionamento dovuti a problemi occorsi al sito di installazione, alla strumentazione o errori nei metadati dovuti a settaggi non corretti.

La *performance* in termini di tempo-calcolo del codice SDQ è stato testato considerando un computer con una memoria RAM di 15 Gigabyte, dotata di 8 processori del tipo Intel Core i7-9700 di nona generazione.

Questa specifica configurazione di *hardware* è confermata dalle informazioni ufficiali fornite sulla

pagina web del modello del processore accessibile al link [15].

Il test effettuato utilizzando 6 processori in parallelo, ha stabilito un tempo di circa 44 ore per elaborare le 15.000 forme d'onda del *dataset* disponibile.

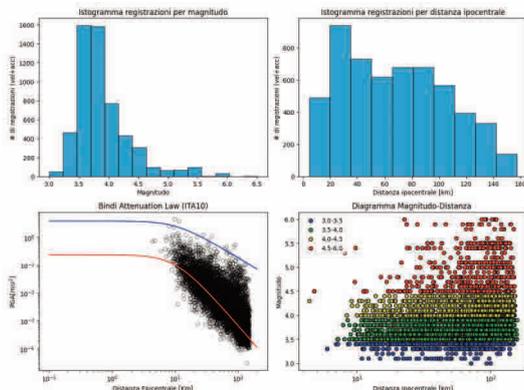


Figura 3 Dataset utilizzato per le analisi SDQ. In particolare, le linee rosse e blu indicano le mediane della GMPE calibrata da Bindi et al. [2011] per PGA per magnitudo 3.5 e 6.5 rispettivamente (limiti minimo e massimo del nostro dataset).
Figure 3 The dataset used for SDQ analyses. The red and blue lines represent the medians of the ground motion prediction equations (GMPE) calibrated by Bindi et al. [2011], for PGA at magnitudes 3.5 and 6.5, respectively (minimum and maximum limits of our dataset).

Nella Figura 3, è possibile osservare la distribuzione del nostro *dataset* in termini di magnitudo distanza e scuotimento in accelerazione. In particolare, la figura mette in evidenza come l'intervallo di magnitudo più rappresentativo sia compreso tra 3.5 e 4, mentre risulta più omogenea la copertura in distanza fino a circa 120 km. In particolare, come atteso, il pannello in basso a destra mostra come gli eventi di magnitudo significativa (> 5) siano per la maggior parte dei casi disponibili per stazioni con distanze > 20 km. Nel pannello in basso a sinistra, è possibile osservare l'intervallo dei valori di scuotimento disponibili confrontati con quelli stimati dalla relazione di attenuazione ITA10 [Bindi et al., 2011] per i limiti di magnitudo inferiore (< 3.5) e superiore (> 6.5) del nostro *dataset*.

In seguito, sarà presentato un esempio di elaborazione di forme d'onda estratte dal *dataset* disponibile. Nel dettaglio, sarà considerato l'evento occorso in data 2019/10/07 (06:11:32 UTC), avente come codice identificativo (ID) INGV uguale a 23231121 registrato alla stazione TIP della rete MN, installata presso Timpagrande in provincia di Crotona. La M_w dell'evento è pari a 4.0 mentre la R_{ip0} dalla stazione di riferimento è di 41.5 km.

Il codice, in prima istanza, verifica l'esistenza dell'evento sul *webservice* *fdsnws-event* dell'INGV e poi procede allo scarico delle relative forme d'onda attraverso il nodo EIDA Italia. Successivamente, viene selezionata la traccia di analisi e identificate le finestre di rumore pre-evento e la finestra evento (Figura 4) utilizzando l'algoritmo di taglio precedentemente descritto.

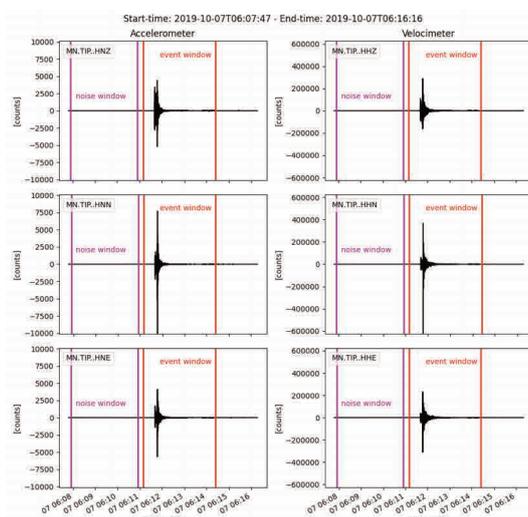


Figure 4 Finestra di analisi scaricata per l'evento e la stazione *target* e indicazione delle finestre pre-evento (viola) ed evento (rosso).

Figure 4 Downloaded analysis window for the event and target station and indication of pre-event (purple) and event (red) windows.

In Figura 4, sono mostrate le tracce evento-stazione come scaricate da EIDA Italia in formato grezzo ed unità informatica (*counts*): sulla sinistra vengono riportate le registrazioni dell'evento alla stazione TIP per le tre componenti dell'accelerometro (*Kinematics Episensor-FBA*), mentre a destra sono visualizzate le registrazioni per le tre componenti del velocimetro *broad-band* (*STS2-120s*).

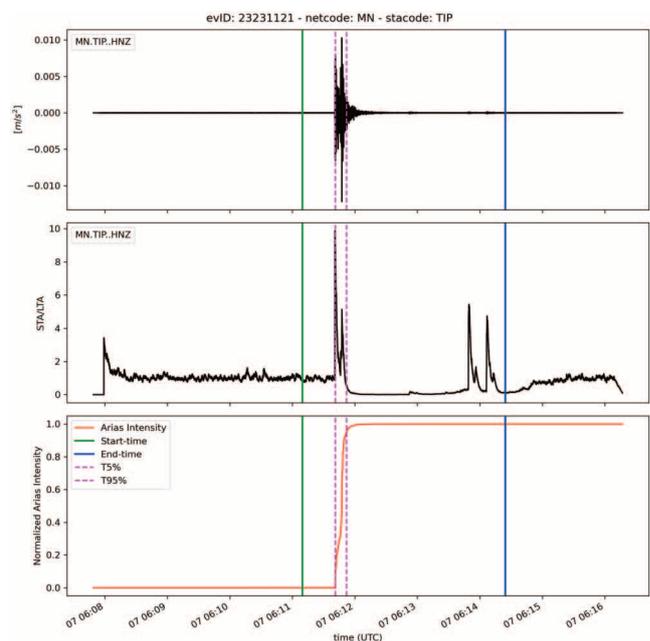
In questo caso, considerato che sono presenti tutte e 6 le componenti del moto e che le tracce velocimetriche non presentano problemi di clippaggio, è stato possibile effettuare le operazioni di *pre-processing* sulle finestre scaricate. In particolare, è stata eseguita la rimozione della media del segnale e della linea di base, è stato applicato un pre-filtraggio con un filtro *Butterworth* passa-banda tra 0.001 Hz e 50 Hz ed è stata applicata una funzione *taper* coseno all'inizio e alla fine delle finestre analizzate. Infine i segnali sono stati convertiti da unità informatiche a unità fisiche: per le tracce accelerometriche i valori in *counts* sono stati semplicemente moltiplicati per le rispettive *sensitivity* di canale relative all'accoppiamento dell'acquisitore *Quanterra Q330* e del sensore accelerometrico modello *Kinematics Episensor-FBA* (curva di risposta del sensore piatta da 0 a 200 Hz), mentre per il velocimetro la trasformazione è avvenuta mediante l'operazione di deconvoluzione del segnale, al fine di eliminare l'influenza della risposta propria del sismometro *Streckeisen STS2-120s* accoppiato con l'acquisitore già descritto precedentemente. Le informazioni necessarie per convertire il dato accelerometrico in unità fisiche e per deconvolvere il dato velocimetrico sono reperite sul relativo *file xml-station* - livello "*response*" - reperibile via web [16].

Una volta superata questa fase, viene effettuato il controllo per escludere la presenza di eventi multipli all'interno della traccia scaricata: la condizione di esclusione viene verificata confrontando il tempo relativo al valore del 5% della cumulata della funzione di *Arias* [Arias, 1970] calcolata sull'intera traccia, con il tempo previsto di inizio della traccia *strong-motion* (riga verticale verde in Figura 5 e 6). Inoltre, sulla medesima traccia, è calcolata la funzione *STA/LTA* utile per osservare il comportamento d'ampiezza del segnale, soprattutto nella finestra pre-evento. Qualora la condizione non venga rispettata viene prodotto un messaggio di errore nel *log-file* esterno.

Un esempio di questa condizione è mostrato nella Figura 5, dove per la componente Z della traccia accelerometrica dell'evento 2019/10/07 06:11:32 UTC (ID-INGV 23231121) registrato alla stazione MN.TIP (pannello A, in alto), vengono calcolate la funzione *STA/LTA* (pannello A, al centro) e la cumulata dell'Intensità di *Arias* (pannello A, in basso).

Figura 5 Evento 2019/10/07 06:11:32 UTC (ID-INGV 23231121) registrato alla stazione accelerometrica di TIP (in alto); funzione rapporto *STA/LTA* (al centro); cumulata dell'Intensità di *Arias* (in basso).

Figure 5 Event 2019/10/07 06:11:32 UTC (ID-INGV 23231121) recorded at the TIP accelerometer station (top); *STA/LTA* ratio function (in the middle); cumulative *Arias* Intensity (at the bottom).



Nella Figura 5, si osserva come per la stazione TIP la condizione sia verificata, ovvero il tempo corrispondente al 5% della cumulata dell'Intensità di Arias (tratteggio viola) ricade nella finestra evento (indicata dalle barre verdi e blu): questo indica che all'interno della traccia analizzata non siano presenti eventi significativi antecedenti all'evento analizzato, ovvero che il valore in ampiezza del rumore pre-evento sia significativamente inferiore rispetto alle ampiezze riscontrate sul transiente sismico.

Per confronto in Figura 6 viene riportato l'evento occorso in data 2019/07/08 04:38:28 UTC (ID-INGV 22632151) registrato alla stazione IV.ACATE, nel Comune di Acate in provincia di Siracusa, in cui il tempo relativo al 5% della cumulata dell'Intensità di Arias (viola tratteggio) è antecedente al tempo di inizio finestra (linea verde) dell'evento *target*: questa condizione indica la presenza di un evento molto rumoroso (cioè un evento preceduto da valori significativi di rumore antropico), oppure la presenza di eventi multipli nella stessa finestra di analisi.

In generale, la presenza o l'assenza di segnali multipli si può notare anche graficamente dalla forma della cumulata dell'intensità di Arias e dall'ampiezza (significativa) della funzione STA/LTA nella finestra del rumore pre-evento. In particolare, se nella traccia non vi sono eventi multipli la cumulata dell'intensità di Arias nell'intervallo 5%-95% non presenta nessuna rottura di pendenza come evidenziato dall'esempio della stazione TIP. Al contrario, nel caso di ACATE, all'occorrenza di ogni transiente significativo corrisponde un'evidente rottura di pendenza nella cumulata di Arias.

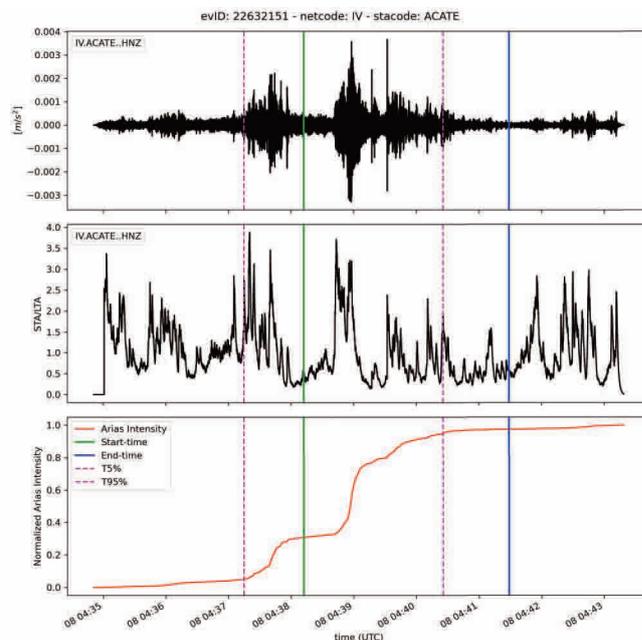


Figura 6 Evento 2019/07/08 04:38:28 UTC (ID-INGV 22632151). registrato alla stazione accelerometrica di TIP (in alto); funzione rapporto STA/LTA (al centro); cumulata dell'intensità di Arias (in basso).

Figure 6 Event 2019/07/08 04:38:28 UTC (ID-INGV 22632151). recorded at ACATE accelerometer station (top); STA/LTA ratio function (middle); cumulative Arias Intensity (bottom).

Una volta esclusi eventi multipli, per ogni singola forma d'onda viene valutato il rapporto dei valori di RMS dell'evento rispetto al rumore di fondo pre-evento. Il valore del rapporto di RMS è confrontato con il valore di soglia di riferimento determinato a priori e indicato in Tabella 1. In base ad un'analisi congiunta di ispezione grafica e statistica di tutti i dati disponibili è stata scelta una soglia empirica minima pari a 10.

Se il rapporto RMS_{evento}/RMS_{noise} risulta inferiore alla soglia limite la forma d'onda non viene processata ed è automaticamente esclusa dai processi successivi (l'informazione viene riportata nel file di log). Un esempio dell'applicazione di questa condizione è mostrato nella Figura 7.

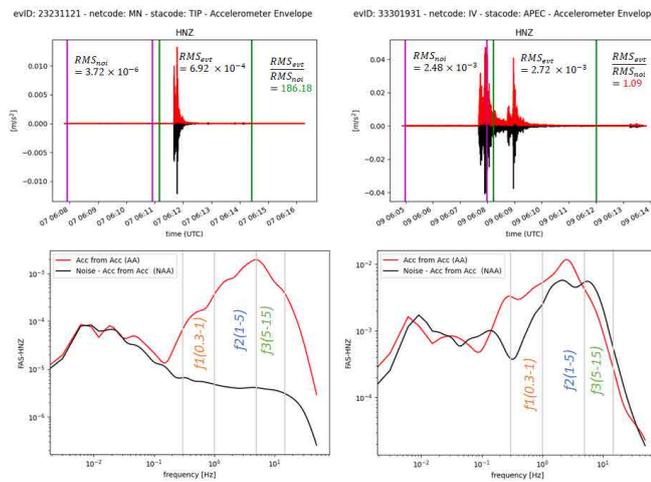


Figura 7 Calcolo del rapporto RMS_{evento}/RMS_{noise} e assegnazione della classe di qualità della forma d'onda sia per l'evento target (ID-INGV 23231121, stazione MN.TIP) che ha superato la condizione, sia per un evento di confronto (ID-INGV 33019331, stazione IV.APEC) escluso in quanto il rapporto RMS è risultato inferiore al valore di soglia.

Figure 7 Calculation of the RMS ratio event/noise and assignment of the waveform quality class both for the target event (ID-INGV 23231121, station MN.TIP) and for a comparison event (ID-INGV 33019331, station IV.APEC) that was excluded because the RMS ratio was below the threshold value.

In particolare, la Figura 7 mostra un esempio di applicazione del rapporto RMS per due segnali: a sinistra l'evento *target* (ID-INGV 23231121) registrato alla stazione MN.TIP e a destra un evento comparativo (ID -INGV 33019331) registrato alla stazione IV.APEC. I pannelli in alto di Figura 7 mostrano le tracce dei segnali nel dominio del tempo (nero), i relativi involucri (rosso) ed i valori di RMS per le finestre evento e rumore pre-evento, oltre che il valore dei rapporti. Nei pannelli inferiori, sono mostrate le ampiezze della trasformata di Fourier calcolata sia sulla finestra di pre-evento (nero), sia sulla finestra evento (rosso).

È evidente come segnali di ottima qualità mostrino valori del rapporto RMS molto elevati (TIP=186); al contrario la presenza di significativo rumore di fondo o eventi multipli all'interno della finestra di pre-evento generano di conseguenza rapporti RMS molto bassi (APEC=1.09) ed in generale inferiori alla soglia utilizzata come riferimento.

Una volta superato il controllo esclusivo della condizione dell'RMS si passa alla valutazione dell'indice di qualità della forma d'onda. Esso avviene nel dominio delle frequenze considerando l'ampiezza degli FFT calcolati sull'evento e per il rumore antropico pre-evento. Come mostrato dal pannello inferiore della Figura 7, in grigio si identificano tre bande di frequenze: $f_1 = 0.3-1$ Hz, $f_2 = 1-5$ Hz, $f_3 = 5-15$ Hz. Considerando ognuno dei tre intervalli di frequenza si calcola per ogni intervallo il rapporto tra gli integrali degli spettri dell'evento e del *noise*. L'algoritmo attribuisce una classe di qualità mediante il confronto dei rapporti degli integrali con i relativi valori di soglia empirici riportati in Tabella 2 per ogni banda di frequenza analizzata.

I segnali vengono di conseguenza classificati come A, B, C o D in base ai criteri esplicitati al paragrafo precedente.

In riferimento all'esempio di Figura 7 ed in base ai criteri selezionati, il segnale registrato alla stazione MN.TIP è classificato in classe di qualità A, considerando che in tutti gli intervalli di

frequenza il rapporto degli integrali è risultato superiori alle soglie predefinite. Al contrario, per quanto riguarda il segnale registrato alla stazione IV.ACATE, mostrato per confronto in Figura 7 la classe di qualità della forma d'onda risulta D in quanto nessuno dei rapporti integrali soddisfa la condizione minima. Va sottolineato che in questo caso il segnale IV.ACATE sarebbe in ogni caso stato escluso dalla precedente condizione di verifica sui rapporti RMS.

In ultimo vengono effettuati ulteriori controlli, in particolare:

1. viene effettuato un controllo tra i valori di scuotimento empirici e quelli predetti dalla relazione ITA10, al fine di verificare l'inclusione del picco in accelerazione registrato all'interno dell'intervallo di ± 3 deviazioni *standard* GMPE;
2. viene effettuato un confronto tra i valori massimi di accelerazione registrati dalle due componenti di moto orizzontali al fine di segnalare eventuali rapporti tra i valori delle componenti Nord-Sud ed Est-Ovest maggiori di una soglia empirica pari a 5.

Va sottolineato come queste due ultime verifiche non conducano in ogni caso all'esclusione della forma d'onda, ma semplicemente all'inserimento di un messaggio di *warning* nel *file log* di controllo. A seguito dell'assegnazione della classe di qualità e delle verifiche finali, il processamento termina assegnando alle forme d'onda un filtraggio automatico determinato in base agli algoritmi descritti al paragrafo precedente. Un esempio di definizione del filtraggio è presentato in Figura 8.

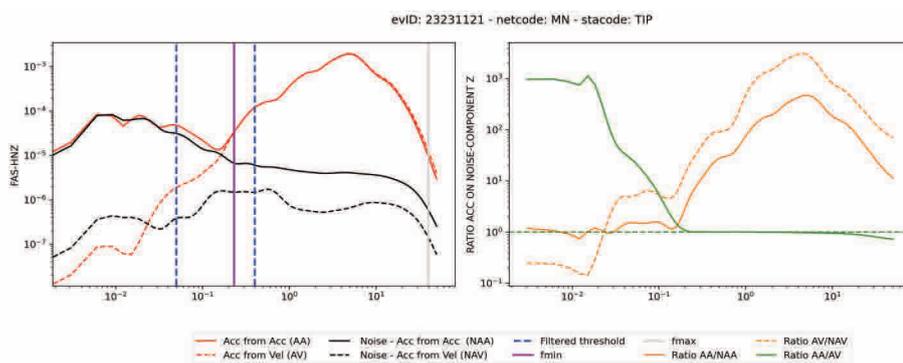


Figura 8 Esempio di filtraggio automatico desunto dal confronto tra FFT evento e rumore pre-evento calcolato sull'accelerazione verticale dell'evento *target* (ID -INGV 23231121) registrato alla stazione MN.TIP.

Figure 8 Example of automatic filtering derived from the comparison between event FFT and pre-event noise calculated on the vertical acceleration of the target event (ID-INGV 23231121) recorded at station MN.TIP.

In dettaglio, nel pannello di sinistra di Figura 8 vengono mostrati gli FFT calcolati sulle tracce in accelerazione del rumore pre-evento (nero continuo) e sull'evento *target* (rosso continuo) registrato alla stazione MN.TIP. Le linee verticali in viola e grigio rappresentano rispettivamente le soglie del filtraggio automatico rispettivamente in bassa e alta frequenza come determinati dagli algoritmi descritti al paragrafo precedente. Le linee tratteggiate blu delineano la banda di frequenza, con il limite inferiore e superiore definiti dalle condizioni di filtraggio descritte in precedenza, all'interno della quale si applica la condizione SNR per la ricerca della frequenza minima.

Le linee rosse e nere a tratteggio indicano rispettivamente i relativi spettri di Fourier desunti dall'accelerazione ottenuta a partire dal dato velocimetrico che evidenziano in questo caso la coerenza tra la registrazione accelerometrica e velocimetrica in riferimento all'evento selezionato.

Nel pannello di destra, vengono mostrate le funzioni SNR dei segnali in accelerazione da accelerometro (arancione continuo) e da velocimetro (arancione tratteggio): la funzione in verde

indica il rapporto spettrale delle FFT calcolate sull'evento da dato accelerometrico e velocimetrico convertito in accelerazione, confermando per le frequenze selezionate per il filtraggio la piena coerenza dei segnali.

Una volta filtrati i segnali, si valuta il grado di similarità delle forme d'onda in accelerazione registrati sia dall'accelerometro e sia derivando i segnali in velocità dal velocimetro.

Un esempio di funzione di cross-correlazione normalizzata è rappresentata dall'esempio di Figura 9 considerando la stazione MN.TIP per l'evento ID-INGV 23231121.

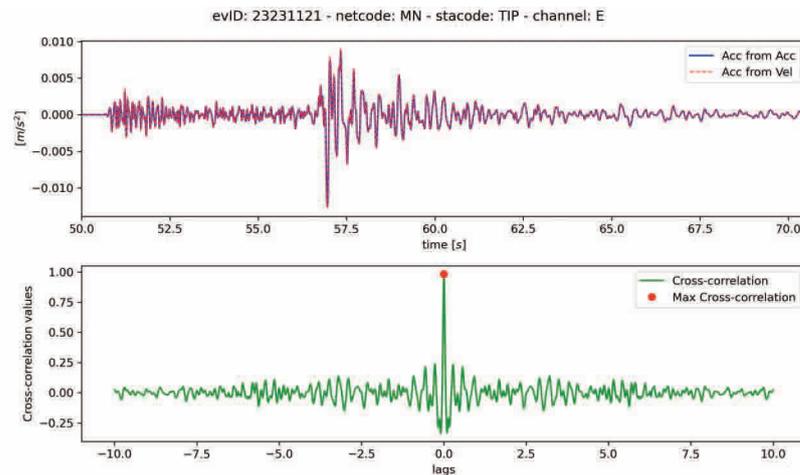


Figura 9 Esempio di funzione di cross correlazione (CC) tra il segnale in accelerazione registrato dall'accelerometro ed il relativo desunto dal velocimetro alla stazione MN.TIP per l'evento *target* (ID-INGV 23231121).

Figure 9 Example of the cross correlation (CC) function between the acceleration signal recorded by the accelerometer and the relative obtained by the velocimeter at the MN.TIP station for the *target* event (ID-INGV 23231121).

Come si osserva dalla Figura 9, nel pannello superiore sono mostrati in blu e in rosso rispettivamente i segnali in accelerazione registrati dall'accelerometro e il segnale in accelerazione derivato dal segnale velocimetrico per cui si vuole valutare la somiglianza.

Nel pannello inferiore, in verde viene rappresentata la funzione di cross-correlazione normalizzata in funzione del lags ottenuto mediante l'operazione di cross correlazione. Come si osserva dalla figura, la funzione presenta un picco, rappresentato da un simbolo in rosso, corrispondente ad un CC pari a 0.98 rappresentativo della completa somiglianza dei segnali confrontati.

Infine, per ogni forma d'onda che viene processata, ovvero per le forme d'onda che non producono un messaggio di errore, tutte le informazioni di stazione e di evento, insieme ai parametri calcolati durante il processamento vengono inseriti in una tabella in formato csv ordinata temporalmente.

In caso di esclusione della forma d'onda, le fasi del processamento ed i parametri per la verifica delle condizioni di esclusione del dato vengono registrati in due file di log in formato testuale, anch'essi ordinati temporalmente.

4. Risultati e Discussioni

I risultati delle analisi effettuate su tutte le 230 stazioni a 6 canali della RSN sono stati ottenuti considerando tutti gli eventi di Mw o ML > 3.5 registrati a partire dal 2012 considerando $R_{ip0} < 150$

km. In totale sono state analizzate circa 15.000 forme d'onda di eventi sismici.

Una volta eseguita l'analisi descritta ai paragrafi precedenti per ogni singola forma d'onda del dataset disponibile è stato possibile effettuare delle analisi riassuntive per stazione (volendo, anche per evento) tramite l'utilizzo di un codice esterno, scritto in *Python*, denominato *Summary_SDQ* al fine di comprendere a pieno le eventuali problematiche riscontrate nel tempo da ogni stazione della rete. Il codice *Summary_SDQ*, può essere eseguito in ambiente *Linux* tramite utilizzo di linea di comando, che deve obbligatoriamente contenere il nome del *file* di *input* esterno da importare che in questo caso è la tabella *csv* di *output* del codice SDQ.

Un esempio di linea di comando utilizzata per eseguire il codice *Summary_SDQ* è sotto riportata:

```
./Summary_SDQ.py -FILE_INPUT.csv
```

Il codice *Summary_SDQ* una volta eseguito produce in *output* per ogni stazione delle immagini esplicative, utili per monitorare il funzionamento della stazione analizzando tutti eventi sismici registrati, da questa, nel tempo.

In particolare, le immagini comprendono:

1. il confronto tra il valore di scuotimento in accelerazione (grezzo e filtrato) registrato dall'accelerometro ed il valore di scuotimento in accelerazione desunto dal velocimetro co-locato (grezzo e filtrato);
2. il rapporto del valore di scuotimento in accelerazione (RPGA) tra accelerazione registrata e ottenuta da velocimetro (grezzo e filtrato) in funzione sia del valore di scuotimento in accelerazione sia in funzione del tempo.

Alcuni esempi di immagini riassuntive per le stazioni IV.ACER (Acerenza, PZ) e IV.NRCA (Norcia, PG) vengono mostrate in Figura 10, mentre in Figura 11 vengono mostrati due esempi per le stazioni IV.APRC (Apricena, FG) e IV.CTL8 (Castelleone, CR).

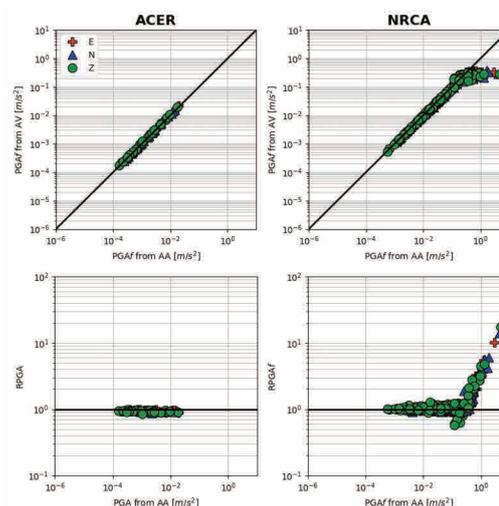


Figura 10 Immagini ottenute dal codice *SDQ_Summary* per le stazioni di IV.ACER e IV.NRCA dove vengono confrontati i valori di PGA (filtrati) registrati e quelli ottenuti dal velocimetro (pannelli in alto) ed i rapporti tra PGA reali e derivate dal velocimetro co-locato (pannello inferiore). In tutti i pannelli le componenti verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest, sono indicate rispettivamente con simboli verdi, blu e rossi.

Figure 10 Images obtained from the *SDQ_Summary* code for the IV.ACER and IV.NRCA stations where the (filtered) recorded PGA values and those obtained from the velocimeter are compared (top panels), as well as the ratios between real PGAs and those derived from the co-located velocimeter (bottom panel). In all panels, the vertical components, North-South and East-West, are indicated with green, blue and red symbols respectively.

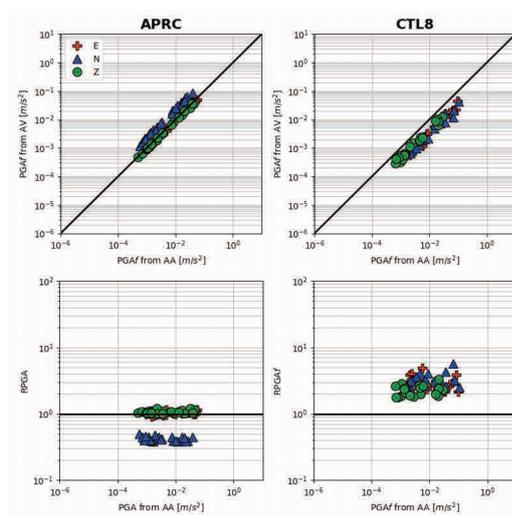


Figura 11 Immagini ottenute dal codice SDQ_Summary per le stazioni di IV.APRC e IV.CTL8 dove vengono confrontati i valori di PGA (filtrati) registrati e quelli ottenuti dal velocimetro (pannelli in alto) ed i rapporti tra PGA reali e derivate dal velocimetro co-locato (pannello inferiore). In tutti i pannelli le componenti verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest, sono indicate rispettivamente con simboli verdi, blu e rossi.

Figure 11 Images obtained from the SDQ_Summary code for the IV.APRC and IV.CTL8 stations where the (filtered) recorded PGA values and those obtained from the velocimeter are compared (top panels), as well as the ratios between real PGAs and those derived from the co-located velocimeter (bottom panel). In all panels, the vertical components, North-South and East-West, are indicated with green, blue and red symbols respectively.

Nelle Figure 10 e 11 i simboli in verde, blu e rosso indicano per ogni terremoto registrato alla stazione analizzata rispettivamente i risultati per le componenti di moto verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest. In particolare, nei pannelli in alto sono confrontate le PGA registrate (filtrate) rispetto a quelle desunte dal velocimetro, mentre i pannelli in basso mostrano i rapporti tra PGA reale e desunte da velocimetro in funzione del valore di PGA registrata.

Un corretto funzionamento della stazione, ovvero la piena coerenza tra accelerazione registrata e ottenuta da velocimetro, è evidenziato quando nei pannelli in alto i simboli si allineano lungo la diagonale o quando nei pannelli in basso i simboli si allineano lungo la linea orizzontale che indica un rapporto pari a 1.

In Figura 10 e 11 vengono mostrate 4 situazioni differenti:

1. il corretto funzionamento per la stazione di IV.ACER, che mostra la piena coerenza tra i valori accelerometrici registrati e quelli desunti da velocimetro, poiché tutti i valori di scuotimento per ogni componente si attestano lungo la diagonale (Figura 10 pannello superiore a sinistra) ed in corrispondenza della linea orizzontale indicante un rapporto pari a 1 (Figura 10 pannello inferiore a sinistra);
2. una variazione di comportamento nel tempo per la stazione IV.NRCA, dove si osserva per una parte del *dataset* un corretto funzionamento e valori che si allontanano dalla diagonale (e dal rapporto 1) con l'aumentare dei valori di scuotimento: questo andamento ha messo in evidenza problemi di saturazione nei sensori velocimetrici durante la registrazione di eventi con magnitudo > 4 e distanze ipocentrali < 20 km in occorrenza della sequenza Norcia-Visso-Amatrice del 2016 (Figura 10 pannelli a destra); questo andamento ha messo in evidenza che non sempre l'utilizzo del 90% della dinamica disponibile di un digitalizzatore a 24 bits non è in grado di riconoscere il dato clippato e quindi garantirne l'esclusione;
3. un probabile problema alla componente Nord-Sud per la stazione IV.APRC, dove i valori per tutto il periodo di installazione si discostano dai riferimenti (vedere i triangoli blu nei

pannelli a sinistra di Figura 11);

- un discostamento per tutte le componenti di moto alla stazione IV.CTL8. In questo caso il mancato allineamento dei valori della stazione (pannello di destra di Figura 11) è dipeso dal fatto che l'accelerometro è installato in superficie, mentre il velocimetro è installato in pozzo a 160 m di profondità. Questo caso ha messo in evidenza come in futuro sia necessario un controllo a priori sullo *stream* dei dati grezzi al fine di escludere a priori confronti tra sensori co-locati nello stesso sito, ma a profondità differente.

In particolare, le Figure 12 e 13 mostrano due esempi di serie temporali per le stazioni IV.NRCA e IV.APEC (Apecchio, PU).

Per quanto riguarda la stazione IV.NRCA in Figura 12, si evidenzia come l'aumento dei rapporti tra accelerazione registrata e desunta da velocimetro si verifichi in concomitanza della sequenza Norcia-Visso-Amatrice del 2016, a causa della saturazione dei velocimetri come sopra descritto. Per quanto riguarda la stazione IV.APEC mostrata dalla Figura 13 è evidente come per un breve periodo temporale i valori di scuotimento non risultano allineati lungo la linea di riferimento. La netta discontinuità fa supporre un intervento tecnico nel tempo che ha permesso il ripristino del corretto funzionamento della stazione.

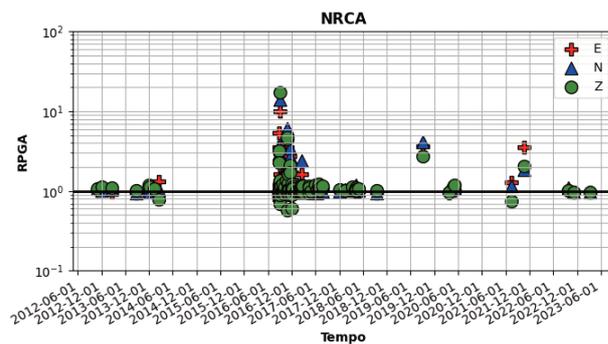


Figure 12 Andamento temporale del rapporto tra PGA registrate e desunte da velocimetro (RPGA) per la stazione di Norcia (IV.NRCA).

Figure 12 The temporal evolution of the ratio between recorded PGA and inferred from velocimeter (RPGA) for the Norcia (IV.NRCA) station.

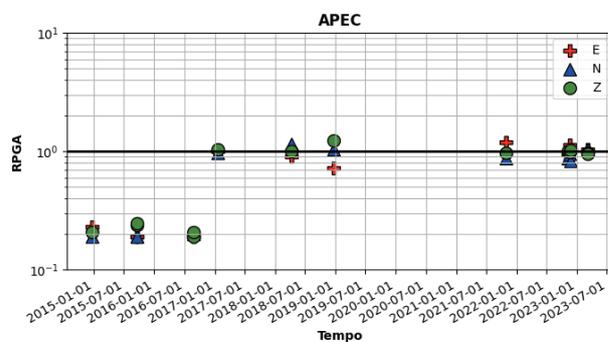


Figure 13 Andamento temporale del rapporto tra PGA registrate e desunte da velocimetro (RPGA) per la stazione di Apecchio (IV.APEC).

Figure 13 The temporal evolution of the ratio between recorded PGA and inferred from velocimeter (RPGA) for the Apecchio (IV.APEC) station.

Sulla base della tabella di *output* del codice SDQ e dall'osservazione congiunta dei risultati riassuntivi per ogni stazione forniti grazie al codice *Summary_SDQ* è stato possibile produrre una mappa riassuntiva e relativa tabella in cui sono indicate le stazioni funzionanti e quelle che nel tempo hanno avuto problemi di coerenza tra dato accelerometrico e velocimetrico convertito in accelerazione. Ad oggi, è stato possibile analizzare 198 stazioni, su un totale di circa 230 stazioni a 6 canali della RSN, in quanto per le rimanenti 37, essendo di recente installazione, non sono ancora disponibili forme d'onda adeguate su cui basare le analisi.

In generale circa il 70% delle stazioni analizzate conferma la piena coerenza tra accelerazioni registrate e ottenute dal sensore velocimetrico co-locato, mentre il rimanente 30% mostra la presenza di anomalie riguardanti una o più componenti di moto, sia per tutto il periodo di installazione della stazione, sia in periodi limitati nel tempo.

Nel dettaglio, delle 198 stazioni a 6 canali analizzate, 139 mostrano piena coerenza ad eccezione (in 27 casi) della presenza di sporadici *outliers* dovuti a casistiche particolari e temporanee, come ad esempio la presenza di dati clippati sul velocimetro dovuti a eventi di elevata magnitudo a brevi distanze (esempio IV.NRCA in Figura 10); 24 stazioni mostrano tuttora un problema di coerenza per tutta la durata dell'installazione, 14 stazioni mostrano un disallineamento tra dato velocimetrico ed accelerometrico solo temporaneo, mentre 21 stazioni mostrano problemi ad una sola delle componenti del moto. I dati sono riportati in dettaglio graficamente dalla Figura 14.

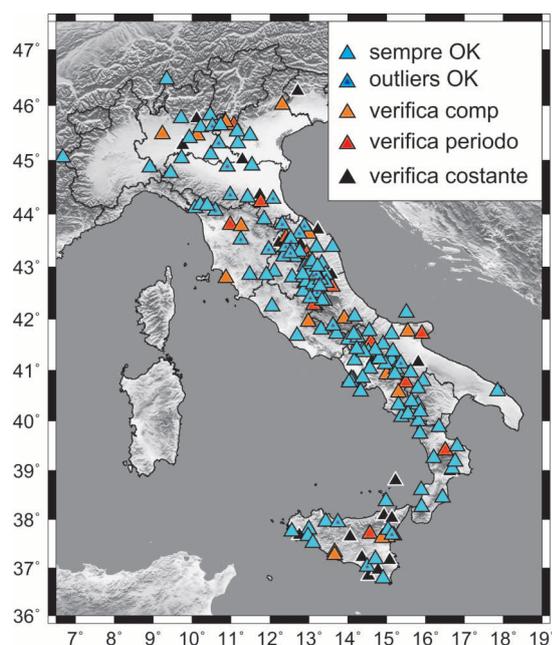


Figura 14 Distribuzioni delle stazioni RSN in relazione alla coerenza tra dato accelerometrico e velocimetrico convertito in accelerazione. Stazioni sempre OK = 112; outliers = 27; verifica di una sola componente = 21; stazione con problemi per tutto il periodo = 14; stazioni con problemi temporanei = 14.

Figure 14 Distributions of RSN stations about consistency between accelerometer and velocimeter data converted to acceleration. Stations always OK = 112; outliers = 27; verification of a single component = 21; stations with problems throughout the period = 14; stations with temporary problems = 14.

5. Conclusioni

In questo lavoro è stato presentato il codice SDQ, sviluppato per supportare sia le fasi di monitoraggio sismico che aspetti legati alla ricerca di base in campo sismologico. Il codice si

basa sull'analisi dati di una stazione sismica dotata di accelerometro e velocimetro co-locali. Il codice, sviluppato in *Python*, presenta due fasi successive, una di esclusività dei dati ed una seconda di semplice controllo e valutazione della qualità. Il flusso prevede un primo *step* in cui la singola forma d'onda debba superare determinati controlli esclusivi: presenza dell'evento sismico su *webservice*, funzionamento delle 6 componenti di registrazione, saturazione del segnale velocimetrico, esclusione di eventi multipli e stazioni con rumore di fondo con ampiezza elevata.

Una volta superati i controlli di esclusività la forma d'onda viene processata ed associata ad una classe di qualità del segnale.

Il codice SDQ restituisce agli operatori tabelle ed immagini esemplificative, unitamente a *file* di *log* esplicativi in grado di agevolare l'utente nella valutazione dei risultati.

Prima di essere reso disponibile sulla piattaforma *Gitlab*, il codice è stato testato processando 15.000 forme d'onda nell'intervallo di tempo gennaio 2012 - giugno 2023, considerando tutte le stazioni della rete sismica nazionale a 6 canali.

Il codice SDQ è tutt'ora in via di sviluppo, prevedendo nel breve termine la piena integrazione tra il codice principale e *Summary_SDQ*, con l'obiettivo di facilitare ulteriormente l'utilizzo del codice sia in termini di riduzione dei tempi macchina sia nella fase di gestione del numero di eventi e di stazioni prevedendo futuri data set caratterizzati da un numero di dati sempre crescente. In futuro è previsto inoltre l'integrazione del codice SDQ a servizio di banche dati strutturate per la pubblicazione automatica dei parametri di qualità del dato come - ad esempio - ISMDq tramite aggiornamento automatico del *file* di *input* (ad oggi esterno) con dati provenienti da nuovi terremoti o nuove stazioni installate in modo da garantire un monitoraggio dinamico dello stato di salute della rete sismica nazionale.

Ringraziamenti

La produzione dei dati della Rete Sismica Nazionale coinvolge molti colleghi dell'INGV che ricoprono diversi compiti nella catena di produzione del dato che va dal corretto funzionamento delle stazioni, all'acquisizione del dato, al suo trattamento, archiviazione e successiva distribuzione. Si ringraziano tutti i colleghi dell'INGV che contribuiscono quotidianamente alla gestione della Rete Sismica Nazionale e delle reti sismiche mobili dell'INGV.

Bibliografia

- Ameri G., Massa M., Bindi D., D'Alema E., Gorini A., Luzi L., Marzorati S., Pacor F., Paolucci R., Puglia R., Smerzini C., (2009). *The 6 April 2009, Mw 6.3, L'Aquila (Central Italy) earthquake: strong-motion observations*. *Seismological Research Letters*, 80(6), 951-966. <https://doi.org/10.1785/gssrl.80.6.951>
- Arias A., (1970). *A measure of earthquake intensity*. *Seismic design for nuclear plants*, 438-483.
- Beyreuther M., Barsch R., Krischer L., Megies T., Behr Y., Wassermann J., (2010). *ObsPy: A Python toolbox for seismology*. *Seismological Research Letters*, 81(3), 530-533. <https://doi.org/10.1785/gssrl.81.3.530>
- Bindi D., Pacor F., Luzi L., Puglia R., Massa M., Ameri G., Paolucci R., (2011). *Ground motion prediction equations derived from the Italian strong motion database*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9, 1899-1920. <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9313-z>
- Bormann P., (2012). *New manual of seismological observatory practice (NMSOP-2)*. IASPEI, GFZ Ger. Research Centre for Geosciences.
- Danecek P., Pintore S., Mazza S., Mandiello A., Fares M., Carluccio I., Della Bina E., Franceschini

D., Moretti M., Lauciani V., Quintiliani M., Michelini A., (2021). *The Italian node of the European integrated data archive*. Seismological Society of America, 92(3), 1726-1737. <https://doi.org/10.1785/0220200409>

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), (2005). *Rete Sismica Nazionale (RSN)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/SD/X0FXnH7QfY>

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), (2016). *North-East Italy seismic network*. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/SN/OX>

Kanasewich E. R., (1981). *Time sequence analysis in geophysics*. University of Alberta.

Krischer L., Megies T., Barsch R., Beyreuther M., Lecocq T., Caudron C., Wassermann J., (2015). *ObsPy: A bridge for seismology into the scientific Python ecosystem*. Computational Science & Discovery, 8(1). <https://doi.org/10.1088/1749-4699/8/1/014003>

Luzi L., Pacor F., Ameri G., Puglia R., Burrato P., Massa M., Augliera P., Franceschina G., Lovati S., Castro R., (2013). *Overview on the strong-motion data recorded during the May-June 2012 Emilia seismic sequence*. Seismological Research Letters, 84(4), 629-644. <https://doi.org/10.1785/0220120154>

Margheriti L., Nostro C., Cocina O., Castellano M., Moretti M., Lauciani V., Quintiliani M., Bono A., Mele F. M., Pintore S., Montalto P., Peluso R., Scarpato G., Rao S., Alparone S., Di Prima S., Orazi M., Piersanti A., Cecere G., Cattaneo M., Vicari A., Sepe V., Bignami C., Valoroso L., Aliotta M., Azzarone A., Baccheschi P., Benincasa A., Bernardi F., Carluccio I., Casarotti E., Cassisi C., Castello B., Cirilli F., D'Agostino M., D'Ambrosio C., Danecek P., Cesare W. D., Bina E. D., Di Filippo A., Di Stefano R., Faenza L., Falco L., Fares M., Ficeli P., Latorre D., Lorenzino, M. C., Mandiello A., Marchetti A., Mazza S., Michelini A., Nardi A., Pastori M., Pignone M., Prestifilippo M., Ricciolino P., Sensale G., Scognamiglio L., Selvaggi G., Torrisi O., Zanolin F., Amato A., Bianco F., Branca S., Privitera E., Stramondo S., (2021). *Seismic surveillance and earthquake monitoring in Italy*. Seismological Research Letters, 92(3), 1659-1671. <https://doi.org/10.1785/0220200380>

Massa M., Scafidi D., Mascandola C., Lorenzetti A., (2022). *Introducing ISMDq—A web portal for real-time quality monitoring of Italian strong-motion data*. Seismological Society of America, 93(1). 241-256. <https://doi.org/10.1785/0220210178>

McNamara D. E., 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>

MedNet Project Partner Institutions, (1990). *Mediterranean very broadband seismographic network (MedNet)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/SD/FBBTDTD6Q>

Megies T., Beyreuther M., Barsch R., Krischer L., Wassermann J., (2011). *ObsPy—What can it do for data centers and observatories?*. Annals of Geophysics, 54(1), 47-58. <https://doi.org/10.4401/ag-4838>

Michelini A., Margheriti L., Cattaneo M., Cecere G., D'Anna G., Delladio A., Moretti M., Pintore S., Amato A., Basili A., Bono A., Casale P., Danecek P., Demartin M., Faenza L., Lauciani V., Mandiello A.G., Marchetti A., Marcocci C., Mazza S., Mele F.M., Nardi A., Nostro C., Pignone M., Quintiliani M., Rao S., Scognamiglio L., Selvaggi G., (2016). *The Italian National Seismic Network and the earthquake and tsunami monitoring and surveillance systems*. Adv. Geosci., 43, 31-38. <https://doi.org/10.5194/adgeo-43-31-2016>

Morasca P., Walter W. R., Mayeda K., Massa M., (2019). *Evaluation of earthquake stress parameters and its scaling during the 2016-2017 Amatrice-Norcia-Visso sequence - Part I*. Geophysical Journal International, 218(1). 446-455. <https://doi.org/10.1093/gji/ggz165>

Pischiutta M., Petrosino S., Nappi R., (2022). *Directional amplification and ground motion polarization in Casamicciola area (Ischia volcanic island) after the 21 August 2017 Md 4.0*

- earthquake. *Frontiers in Earth Science*, 10, 999222. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.999222>
- Pondrelli S., Di Luccio F., Scognamiglio L., Molinari I., Salimbeni S., D'Alessandro A., Danecek P., (2020). *The first very broadband Mediterranean network: 30 yr of data and seismological research*. *Seismological Research Letters*, 91(2A), 787-802. <https://doi.org/10.1785/0220190195>
- Presidency of Council of Ministers - Civil Protection Department, (1972). *Italian Strong Motion Network*. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/SN/IT>
- Puglia R., Russo E., Luzi L., D'Amico M., Felicetta C., Pacor F., Lanzano G., (2018). *Strong-motion processing service: A tool to access and analyse earthquakes strong-motion waveforms*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 2641-2651. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0299-z>
- Strollo A., Cambaz D., Clinton J., Danecek P., Evangelidis C.P., Marmureanu A., Ottemöller L., Pedersen H., Sleeman R., Stammler K., Armbruster D., Bienkowski J., Boukouras K., Evans P.L., Fares M., Neagoe C., Heimers S., Heinloo A., Hoffmann M., Kaestli P., Lauciani V., Michalek J., Odon Muhire E., Ozer M., Palangeanu L., Pardo C., Quinteros J., Quintiliani M., Antonio Jara-Salvador J., Schaeffer J., Schloemer A., Triantafyllis N., (2021). *EIDA: The European integrated data archive and service infrastructure within ORFEUS*. *Seismological Society of America*, 92(3), 1788-1795. <https://doi.org/10.1785/0220200413>
- Trnkoczy A., (2009). *Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm*. In *New manual of seismological observatory practice (NMSOP)*, 1-20. Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. https://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2_IS_8.1
- University of Genova, (1967). *Regional seismic network of North Western Italy*. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/SN/GU>
- Withers M., Aster R., Young C., Beiriger J., Harris M., Moore S., Trujillo J., (1998). *A comparison of select trigger algorithms for automated global seismic phase and event detection*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1), 95-106. <https://doi.org/10.1785/BSSA0880010095>

Sitografia

- [1] https://terremoti.ingv.it/webservices_and_software
- [2] <https://eida.ingv.it/it/getdata>
- [3] <http://ismd.mi.ingv.it/quality.php>;
- [4] <https://www.orfeus-eu.org/data/eida/quality/>
- [5] <http://gitlab.rm.ingv.it/>
- [6] <https://gitlab.rm.ingv.it/EIDA/quality/sdq>
- [7] <https://www.ont.ingv.it/>
- [8] <https://www.fdsn.org/>
- [9] <https://www.ogs.it/it>
- [10] <https://www.fdsn.org/networks/detail/IX/>
- [11] <https://www.ingv.it/monitoraggio-e-infrastrutture/emergenze/gruppi-di-emergenza>
- [12] <https://www.python.org/>
- [13] <http://terremoti.ingv.it/>
- [14] <https://webservices.ingv.it/fdsnws/event/1/>
- [15] <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/sku/191792/intel-core-i79700-processor-12m-cache-up-to-4-70-ghz/specifications.html>
- [16] <https://eida.ingv.it/en/networks/network/MN/station/TIP>

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<https://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

<https://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

https://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

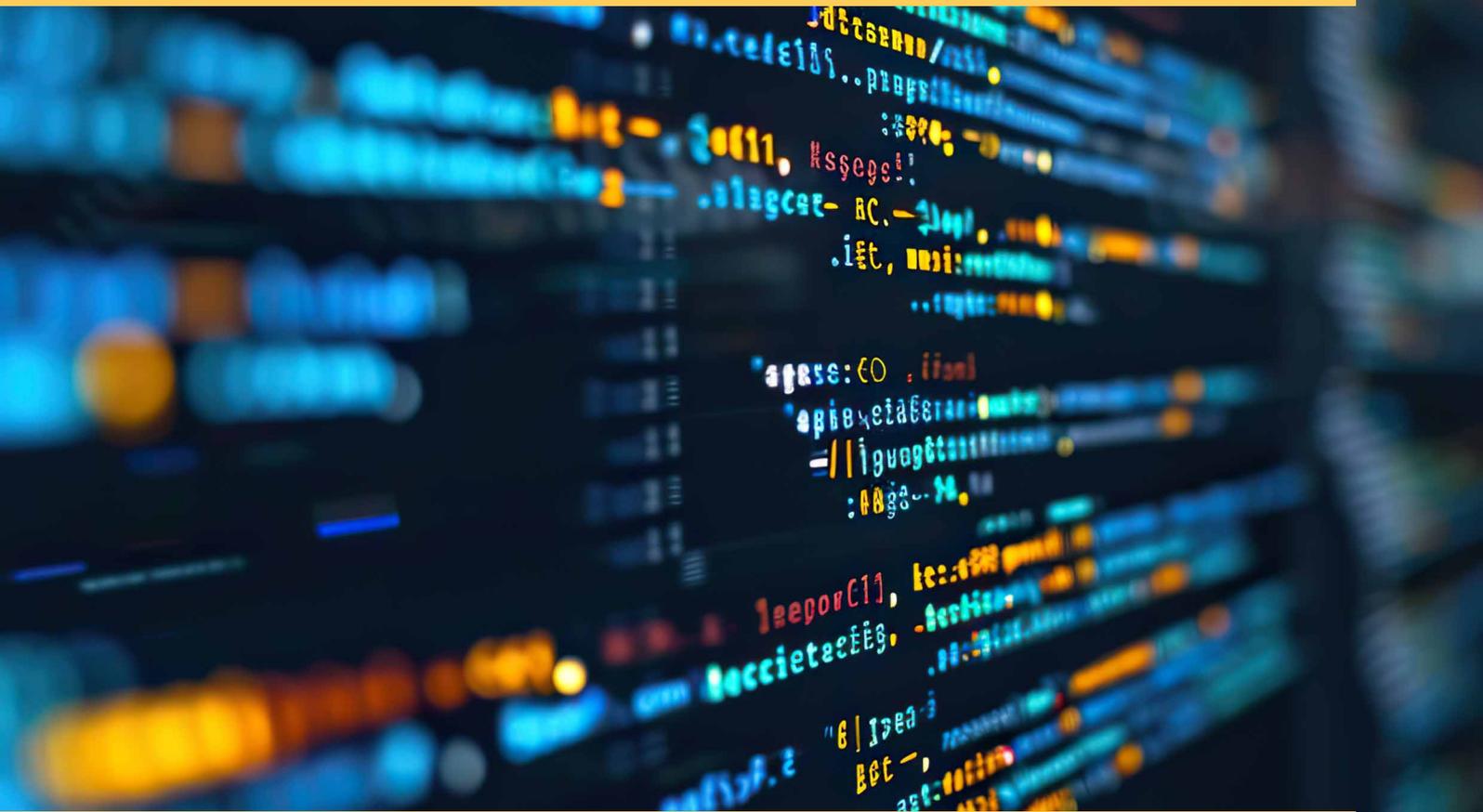
Impaginazione
Barbara ANGIONI
Patrizia PANTANI
Massimiliano CASCONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2024
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

