

# RAPPORTI TECNICI INGV

Configurazione del sistema PRESTo  
per l'allerta rapida di eventi sismici  
(early warning sismico)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

455



### **Direttore Responsabile**

Valeria DE PAOLA

### **Editorial Board**

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)  
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)  
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)  
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)  
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)  
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)  
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)  
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)  
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)  
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)  
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)  
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)  
alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)  
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

### **Segreteria di Redazione**

Francesca DI STEFANO - Coordinatore  
Rossella CELI  
Robert MIGLIAZZA  
Barbara ANGIONI  
Massimiliano CASCONI  
Patrizia PANTANI  
Tel. +39 06 51860068  
redazione@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

Configurazione del sistema PRESTo per l'allerta rapida di eventi sismici (early warning sismico)

*Configuration of the PRESTo system for the quick alert of seismic events (seismic early warning)*

Simona Carannante<sup>1</sup>, Marco Massa<sup>1</sup>, Alessandro Amato<sup>2</sup>, Ezio D'Alema<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano

<sup>2</sup>INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

Accettato 1 aprile 2022 | Accepted 1 April 2022

Come citare | How to cite Carannante S., Massa M., Amato A., D'Alema E., (2022). Configurazione del sistema PRESTo per l'allerta rapida di eventi sismici (early warning sismico). Rapp. Tec. INGV, 455: 1-34, <https://doi.org/10.13127/rpt/455>

In copertina Distribuzione degli eventi del catalogo ONT (particolare) | Cover Distribution events of ONT catalog (detail)

455



# INDICE

<b>Riassunto</b>	7
<i>Abstract</i>	7
<b>Introduzione</b>	7
<b>1. Descrizione del programma</b>	8
1.1 File di input	10
1.2 File params.txt e parametri di configurazione: descrizione	13
1.3 File di output	15
<b>2. Modello di velocità e stima delle travel time</b>	15
<b>3. Test di calibrazione: preparazione e metodo</b>	16
<b>4. Test di calibrazione: discussione</b>	22
<b>5. Configurazione del sistema PRESTo nella sede INGV di Milano</b>	29
<b>6. Conclusioni generali</b>	29
<b>Bibliografia</b>	30



## Riassunto

Il presente lavoro si inquadra nell'ambito del progetto premiale 2015 ART-IT (Allerta Rapida Terremoti in Italia) e si prefigge come scopo principale la verifica delle performance del sistema PRESTo [P**RO**babilistic and E**VO**lutionary early warning Sys**TE**m, Iannaccone et al., 2010; Satriano et al., 2011] tramite una calibrazione ad hoc dei parametri di configurazione del software, considerando le sole stazioni accelerometriche installate in un'area del Centro Italia, scelta come area test.

Il corretto funzionamento di un sistema di *early warning* sismico rappresenta un importante contributo ad una più efficace gestione in caso di emergenza sismica sin dai primi secondi dopo l'accadimento del terremoto, consentendo di adottare azioni repentine di riduzione dell'esposizione e quindi del rischio sismico. Per valutare le prestazioni del software è stata necessaria una fase preliminare di calibrazione dei parametri di configurazione al fine di garantire le migliori prestazioni, in termini di detezione degli eventi sismici ed affidabilità nella stima dei parametri ipocentrali. I test sono stati realizzati effettuando una serie di simulazioni a partire dalle forme d'onda registrate relative ad un catalogo selezionato di terremoti, con range di magnitudo compresa tra 3.9 e 5.4, verificatisi tra Amatrice e Norcia, con particolare riferimento alla sequenza del Gennaio 2017.

## Abstract

*The present work is part of the 2015 ART-IT project (Early Earthquake Alert in Italy). Its main purpose is the estimation of the PRESTo system [P**RO**babilistic and E**VO**lutionary early warning Sys**TE**m, Iannaccone et al., 2010; Satriano et al., 2011] performance through an ad hoc calibration of the software configuration parameters using only the accelerometric networks installed in an area of Central Italy, selected as test site. The correct operation of an early warning system could be used for a more correct and effective management of a seismic emergency from the first seconds after the occurrence of a strong earthquake, allowing to adopt sudden actions to reduce the exposure and, consequently, the seismic risk.*

*To evaluate the performance of the software, it is necessary to carry out an a priori calibration phase of the configuration parameters in order to guarantee the best performance in terms of seismic event detection and reliability in the estimation of hypocentral parameters. The tests were carried out by means of a series of recorded waveforms simulations considering a selected catalogue of earthquakes with a magnitude range between 3.9 and 5.4, occurred in the Amatrice-Norcia area, with particular focus on the seismic sequence of January 2017.*

Keywords PRESTo, Allerta Rapida Terremoti | Earthquake Early Warning

---

## Introduzione

A scala italiana è noto che i principali danni provocati dai terremoti si riscontrano nella maggior parte dei casi nelle aree più prossime all'epicentro, che nel caso di eventi superficiali (solitamente 15 km di profondità) e magnitudo non elevata ( $\leq 6$ ), non eccedono i 30-40 km di raggio. Per aree urbane poste a qualche decina di chilometri dalla sorgente sismica, i tempi di pre-allerta possono essere anche di alcune decine di secondi. In Italia un recente test effettuato utilizzando il sistema PRESTo simulando il terremoto dell'Irpinia del 1980 (Mw 6.9), ha evidenziato per i

comuni a distanze epicentrali comprese tra circa 20 e 60 km (area utile di intervento) una differenza fino a circa 20 secondi tra il tempo a cui viene lanciato l'allarme (*Lead Time*) e il tempo di arrivo delle onde sismiche S (causa dei danneggiamenti) [Picozzi et al., 2015], tempo più che sufficiente per ridurre alcuni fattori di rischio tramite allerte lanciate da sistemi automatici.

Diversi, inoltre, sono i lavori pubblicati negli ultimi anni che si sono focalizzati sulla applicabilità, in Italia, di sistemi di *early warning* a scala nazionale [Caruso et al., 2017] e regionale [Ladina et al., 2021; Emolo et al., 2016] e anche sugli aspetti più strettamente connessi all'impatto sociale e alle responsabilità legali [Valbonesi, 2021].

Il progetto premiale ART-IT nasce con l'idea di sviluppare e verificare un sistema integrato di Allerta Rapida per i terremoti in Italia (*Seismic Early Warning*), basato sulle reti sismiche e accelerometriche esistenti e sulla loro ottimizzazione e implementazione in alcune aree critiche. Nell'ambito di tale progetto la sezione di Milano si è occupata di testare il sistema di *early warning* PRESTo sviluppato dal gruppo RISSCLAB dell'Università di Napoli [<http://www.rissclab.unina.it>], utilizzando l'area della Val Tiberina come area test. A tal fine è stata effettuata una fase preliminare di calibrazione dei parametri di configurazione tramite una serie di simulazioni, descritta in dettaglio nel presente lavoro, ed una successiva (ancora in fase di realizzazione) di valutazione delle performance del software in *real time* sulla medesima area.

## 1. Descrizione del programma

PRESTo (*PRobabilistic and Evolutionary early warning SysTEm*) è un software open source designato all'*Early Warning* sismico mediante processamento in *real time* delle forme d'onda. Nel dettaglio, il software non effettua l'acquisizione dei dati sismici che analizza, ma ne esegue esclusivamente una lettura: nel caso di utilizzo in modalità *real time* le tracce sono lette nel formato mseed ([http://www.fdsn.org/pdf/SEEDManual\\_V2.4.pdf](http://www.fdsn.org/pdf/SEEDManual_V2.4.pdf)) non da un archivio statico bensì da un buffer dinamico che utilizza un collegamento ad un server *seedlink* (<http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/services/seedlink/>); nel caso di utilizzo in modalità *offline*, cioè quando sono analizzati eventi del passato, PRESTo esegue la lettura di un archivio di tracce in formato SAC [Goldstein et al., 2003; Goldstein e Snoke, 2005] relativo all'evento stesso. L'utilizzo di un *client seedlink* è diventato ormai uno standard mondiale per lo scambio dei dati sismici. Da questo punto di vista il sistema PRESTo presenta però una criticità: il software, infatti, apre una connessione verso un server remoto di richiesta dati per ogni stazione configurata; ad esempio, se si configurano N stazioni che chiedono i dati ad un unico server *seedlink* remoto, PRESTo apre N connessioni, una per ciascuna stazione, verso lo stesso server. Questa modalità non costituisce uno standard *seedlink*, che solitamente apre un'unica connessione con il server remoto eseguendo la richiesta dei dati per tutte le stazioni all'interno della singola connessione. Questa caratteristica di PRESTo può creare delle criticità nel server remoto poiché essendo un parametro da configurare specificatamente si rischia di non poter avere disponibili tutte le stazioni. Nei test effettuati nella sede INGV Milano, per ovviare a questo limite, è stato scelto di installare un *seedlink* sulla stessa macchina su cui è operativo PRESTo che ha la funzione di aprire una sola connessione con il server remoto per la richiesta dei dati; il *seedlink* locale è stato configurato per poter accettare molte connessioni dallo stesso indirizzo IP effettuate dal sistema PRESTo. Successivamente all'acquisizione del segnale, le principali fasi di processamento, realizzate dal programma in automatico e sintetizzate nel diagramma a blocchi (Figura 1), sono:

- 1 il *trigger* e la dichiarazione di un evento (Sezione *Event Declaration*);
- 2 la localizzazione dell'evento dichiarato (Sezione *RTLoc - Event Location*);
- 3 il calcolo della magnitudo (Sezione *RTMag - Magnitude Estimation*);
- 4 il calcolo della *PGA* (*Peak Ground Acceleration*) e della *PGV* (*Peak Ground Velocity*) (Sezione *Peak Ground Motion at Targets*).



Al processamento può seguire una quinta fase, di allerta, che consiste nella disseminazione delle informazioni ricavate dal sistema ad organi competenti o a siti target così da consentire l'attuazione di procedure di emergenza. Questa fase non è direttamente implementata all'interno dei moduli del programma ma può essere realizzata ad hoc dato che il software, alla fine dell'elaborazione, fornisce tutte le informazioni essenziali per poter produrre un messaggio di allerta.

La fase di dichiarazione dell'evento consta di una prima parte in cui mediante l'applicazione di un algoritmo di tipo STA/LTA [Allen, 1978; 1982; Bear e Kradolfer, 1987] viene individuata una potenziale fase P. Successivamente, tramite la ricerca di coincidenze, vale a dire la ricerca di un numero minimo di stazioni che hanno *triggerato* l'evento e la verifica di alcune condizioni (vedi Paragrafo 1.1), si determina se quello individuato è realmente un evento sismico o un falso *trigger*. Se il *trigger* viene riconosciuto come un evento sismico allora la medesima procedura stabilisce, sulla base di criteri dipendenti soprattutto dalla geometria, dall'estensione della rete e dalle distanze inter-stazioni (che sono settabili attraverso un file di configurazione, Paragrafo 1.1), quali dei *picking* individuati per le diverse stazioni sono effettivamente associabili all'evento rilevato e quindi utilizzabili per la sua localizzazione.

Una volta dichiarato l'evento e stabiliti i *picking* ad esso associati, segue la seconda fase di localizzazione (*Event Location* - Figura1). Questa è realizzata mediante un algoritmo [RTLoc, Satriano et al., 2008] che implementa al suo interno il programma di localizzazione *NLLoc* [Lomax et al., 2000; 2001a; 2001b] con un ulteriore miglioramento realizzato dando all'operatore la possibilità di utilizzare, come informazione aggiuntiva per la localizzazione, quella relativa alle stazioni che non hanno *triggerato* l'evento. L'idea alla base di quest'ultima opzione è che anche l'informazione per cui alcune stazioni non hanno *triggerato* l'evento può essere ugualmente utile nello stabilire la posizione dell'evento stesso. L'utilizzo o meno di queste stazioni è impostato ponendo a 1 o 0 il parametro *locate\_use\_non\_triggering\_stations* (crf. Paragrafo 1.1) e dunque abilitando o disabilitando il parametro, rispettivamente.

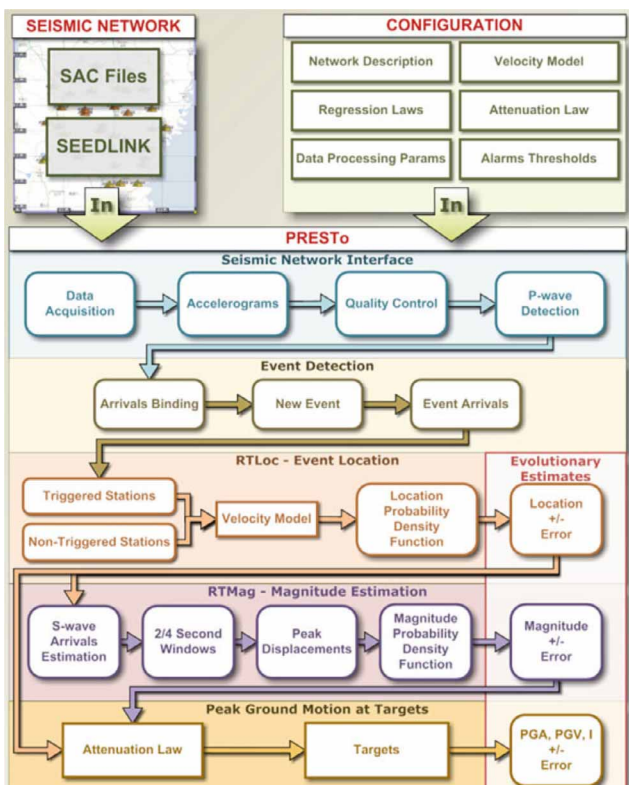


Figura 1 Diagramma a blocchi del sistema di Early warning PRESTo che mostra le principali fasi dell'analisi [da Zollo et al., 2014].

Figure 1 Block diagram of the PRESTo early warning system showing the main analysis steps [Zollo et al., 2014].

A seguito della localizzazione vengono calcolati gli altri parametri utili ai fini dell'EW (*Magnitude Estimation e Peak Ground Motion at Targets*, Figura 1), vale a dire la magnitudo, la PGA e la PGV per tutte le stazioni e i siti target.

Per la stima della magnitudo PRESTo si avvale dell'algoritmo *RTMag* [Lancieri e Zollo, 2008] che adopera un approccio di tipo Bayesiano, stimando un teorico arrivo S a partire dalla posizione della sorgente e misurando il picco di spostamento, all'interno di una breve finestra temporale successiva all'arrivo, di modo da ottenere una distribuzione di probabilità di magnitudo per la stazione in esame. Utilizzando la magnitudo e la localizzazione, PGV e PGA sono stimate nelle stazioni ed ai siti target utilizzando le leggi di attenuazione che sono specificate all'interno di alcuni dei file di input dell'algoritmo (*pga.txt*, *pgv.txt*.)

## 1.1 File di input

Per poter funzionare PRESTo richiede una serie di file di input che vengono caricati al momento dell'esecuzione del programma e che forniscono a quest'ultimo tutte le informazioni necessarie per un corretto processamento. Tali file permettono di configurare sia la parte grafica e di acquisizione sia la parte di analisi del dato. Da questo punto di vista è da evidenziare che il programma presenta una struttura molto rigida che non consente di specificare nessun tipo di percorso alternativo o nome differente da quelli prestabiliti. Questo comporta che, seguendo le indicazioni del manuale (<http://www.prestoews.org/documentation.php#Configuring-PRESTo>), ogni file deve avere un nome ben preciso e trovarsi lungo un percorso prefissato, all'interno della directory *PRESTo/*, contenente l'intero pacchetto di eseguibili e file di base. Principalmente si fa riferimento ai file con estensione *.txt* che forniscono a PRESTo le informazioni per l'elaborazione e sono sempre posizionati lungo il percorso "*PRESTo/data/DIR\_NETWORK*". Tali file sono:

- *broker.txt*: contenente le informazioni di accesso ad un generico server "*broker di messaggi*" a cui PRESTo passa le informazioni per l'eventuale disseminazione delle allerte;
- *pga.txt* e *pgv.txt*: contenente le relazioni di attenuazione del moto del suolo ed i rispettivi valori dei coefficienti per la predizione delle PGA e PGV, rispettivamente;
- *quake\_id.txt*: file letto solo in modalità real-time, contenente un numero intero progressivo che costituisce l'ID del terremoto da associare al terremoto successivo. In modalità simulazione l'ID iniziale è sempre 0;
- *rtloc.txt*: contenente l'elenco dei nomi delle stazioni e dei siti target, per i quali il programma andrà a caricare i valori delle *travel time* in ogni singolo nodo della griglia di calcolo al fine di determinare la localizzazione;
- *rtmag.txt*: contenente i coefficienti e le finestre temporali utilizzate per il calcolo della magnitudo;
- *seedlink.txt*: un file utilizzato solo in modalità *real time* che contiene l'elenco delle stazioni per lo streaming dei dati via *seedlink*;
- *stations.txt*: contenente l'elenco delle stazioni da utilizzare con le relative informazioni (tipo di strumento, coefficienti acquisite e sensore, canali acquisiti);
- *targets.txt*: contenente l'elenco dei nomi dei siti target. Questi sono generalmente siti considerati come luoghi sensibili (es. città, edifici civili, zone industriali) per i quali il programma effettua le medesime analisi effettuate per tutte le stazioni della rete (magnitudo, PGA, PGV).

Oltre a questi file, il programma necessita anche della directory *config/*, localizzata nella stessa posizione dell'eseguibile, in cui è presente il file *params.txt* contenente tutti i parametri di configurazione e la directory *time* di NLLoc, contenenti i valori delle *travel time* per ciascun target e stazione della rete (vedi Capitolo 2).

Di tutti i file di cui PRESTo necessita in fase di processamento, *params.txt* è sicuramente uno dei più importanti in quanto, al suo interno, è possibile impostare una serie di parametri che influiscono sulle prestazioni e la qualità dei risultati del programma. Tali parametri, discussi nel paragrafo successivo e oggetto del presente lavoro, riguardano essenzialmente la fase di dichiarazione dell'evento e la determinazione dei primi arrivi per ciascuna delle stazioni che hanno *triggerato* l'evento (vedi Tabella 1 e box rosso di Tabella 2). Ecco perché la corretta calibrazione dei suddetti parametri consente di ottimizzare l'intera procedura di detezione di un evento sia in termini di precisione dei calcoli (affidabilità delle localizzazioni finali) sia in termini di qualità delle soluzioni (errori sulla localizzazione). Inoltre permette di limitare sia il numero di falsi *trigger*, sia la perdita di eventi sismici.

In quanto file di configurazione *params.txt*, ovviamente, contiene non solo i parametri appena citati ma anche tutti quelli necessari al programma per il suo funzionamento (Tabella 2). Per una descrizione dettagliata del contenuto del file e del significato fisico/matematico di ciascuno dei parametri, per brevità, si rimanda al manuale online (<http://www.prestoews.org/documentation.php#Running-PRESto - Early Warning parameters in config\params.txt>). Di seguito verranno descritti e successivamente analizzati solo quei parametri le cui variazioni risultano direttamente influire sulle prestazioni del software.

FilterPicker [Picker]	Default	Description
<code>picker_filterWindow</code>	4.0	How far back in seconds the previous samples are examined. The filter window will be adjusted upwards to be an integer N power of 2 times the sample interval ( <code>deltaTime</code> ). Then <code>numRecursive = N + 1</code> "filter bands" are created. For each filter band <code>n = 0, N</code> the data samples are processed through a simple recursive filter backwards from the current sample, and picking statistics and characteristic function are generated. Picks are generated based on the maximum of the characteristic function values over all filter bands relative to the threshold values <code>threshold1</code> and <code>threshold2</code>
<code>picker_longTermWindow</code>	10.0	Long term window in seconds. It determines: a stabilization delay time after the beginning of data; before this delay time picks will not be generated. The decay constant of a simple recursive filter to accumulate/smooth all picking statistics and characteristic functions for all filter bands
<code>picker_threshold1</code>	8.0	Threshold to trigger a pick event (potential pick). This threshold is reached when the (clipped) characteristic function for any filter band exceeds <code>threshold1</code>
<code>picker_threshold2</code>	8.0	Threshold to declare a pick (pick will be accepted when <code>tUpEvent</code> reached). This threshold is reached when the integral of the (clipped) characteristic function for any filter band over the window <code>tUpEvent</code> exceeds <code>threshold2 * tUpEvent</code> , i.e. the average (clipped) characteristic function over <code>tUpEvent</code> is greater than <code>threshold2</code>
<code>picker_tUpEvent</code>	0.2	Maximum time the integral of the (clipped) characteristic function is accumulated after <code>threshold1</code> is reached (pick event triggered) to check for this integral exceeding <code>threshold2 * tUpEvent</code> (pick declared)

Event Declaration [Binder]	Default	Description
<code>binder_stations_for_coincidence</code>	3	Minimum number of triggered stations in the coincidence time window to declare an event. This and the following parameters need to be tailored for the network topology (i.e. average inter-station distance, network size, seismogenic zone distance etc.)
<code>binder_secs_for_coincidence</code>	2.0	Duration of the coincidence time window (seconds)
<code>binder_secs_for_association</code>	15.0	Duration of the association window (seconds): all picks after an event will be associated to the event if their time lies within this many seconds from the first associated pick
<code>binder_quakes_separation</code>	30.0	How many seconds should pass from the first pick of the previous event and the first pick of a new possible event. Below this threshold no new events are declared
<code>binder_quakes_life</code>	40.0	For how many seconds should the earthquake parameters be refined. After this many seconds the earthquake is no longer processed and source parameters estimates are considered "final"
<code>binder_apparent_vel_min</code> , <code>binder_apparent_vel_max</code>	3.85, 20	Picks coincidence and association require the apparent velocities of the picks (measured from the first, earlier pick) to fall within this range of velocities (km/s), i.e. a range compatible with the propagation of P-waves. The lower bound should be higher than the S-waves velocity, the upper bound should be high enough to account for deep / external events (almost simultaneous arrival at distant stations)
<code>binder_apparent_vel_stations_spacing</code>	30	Average inter-station distance (km). Within this distance to the first pick of a quake, the apparent velocity checks are not enforced (e.g. the apparent velocity can be "infinite" near the epicenter)
<code>binder_apparent_vel_max_distance</code>	120	Picks more distant than this value (km) from the first pick of an earthquake will not be associated to it

**Tabella 1** Elenco dei parametri di configurazione di PRESTo la cui calibrazione è oggetto del presente lavoro, con la descrizione del significato fisico/matematico.

**Table 1** List of PRESTo configuration parameters whose calibration is the subject of this work with the description of the physical/mathematical meaning.

**Tabella 2** Contenuto del file params.txt.  
I valori dei parametri di configurazione di PRESTo riportati in tabella sono quelli attualmente in uso presso la Sezione di Milano.

*Table 2 Contents of the params.txt file.*

*The values of the PRESTo configuration parameters in the table are those currently in use at the Milan section.*

<b>PARAMETRI DI CONFIGURAZIONE DEL PROGRAMMA PRESTo UTILIZZATI PRESSO LA SEDE DI MILANO</b>		
<b>Simulation</b>	<b>VALORI</b>	<b>TESTATI</b>
simulation speed	1	SI
simulation movie period	0	NO
simulation write_displacement	0	NO
simulation lag_mean	0	NO
simulation lag_sigma	0	NO
<b>Debug</b>		
debug_gaps_duration	0	NO
debug_gaps_period	0	NO
<b>Debug</b>		
debug_save_rtloc	0	NO
<b>SeedLink</b>		
slink timeout_secs	60	NO
slink delay_secs	30	NO
slink keepalive_secs	0	NO
slink_log_verbosity	0	NO
<b>Display</b>		
display_heli_max_num	60	NO
display_heli_min_accel	0.001	NO
display_heli_min_vel	0.0001	NO
display_heli_lag_threshold	10	NO
display_heli_secs	60	NO
display_heli_width	455	NO
display_map_fixed_size	1	NO
display_map_station_scale	1.0	NO
display_heli_show_mag	1	NO
display_real_quake	1	NO
<b>Waveform</b>		
waveform_rmean_secs	30.0	NO
waveform_clipping_secs	30.0	NO
waveform_min_snr	5	NO
<b>Picker</b>		
picker_filterWindow	1.5	SI
picker_longTermWindow	14.0	SI
picker_threshold1	9.0	SI
picker_threshold2	9.0	SI
picker_tUpEvent	0.3	SI
<b>Binder</b>		
binder_stations_for_coincidence	5	SI
binder_secs_for_coincidence	3.0	SI
binder_secs_for_association	10.0	SI
binder_quakes_life	15.0	SI
binder_quakes_separation	30.0	SI
binder_apparent_vel_min	4.30	SI
binder_apparent_vel_max	20	SI
binder_apparent_vel_stations_spacing	50	SI
binder_apparent_vel_max_distance	120	SI
<b>Locate</b>		
locate_ignore_error	0	NO
locate_force_sac	0	NO
locate_force_lon	-12345	NO
locate_force_lat	-12345	NO
locate_force_dep	-12345	NO
locate_use_non_triggering_stations	1	SI
locate_period	1.0	NO
<b>Magnitude</b>		
debug_save_rtmag	0	NO
magnitude_max_value	8.0	NO
magnitude_outlier_threshold	3.5	NO
magnitude_low_fmin	1.0	NO
magnitude_low_fmax	25	NO
magnitude_high_threshold	4.0	NO
magnitude_high_fmin	75	NO
magnitude_high_fmax	3.0	NO
magnitude_p_secs_short	2	NO
magnitude_p_secs_long	4	NO
magnitude_s_secs	2	NO
magnitude_p_can_overlap_s	0	NO
magnitude_secs_before_window	5	NO
<b>Alarms</b>		
alarm_heartbeat_secs	60	NO
alarm_during_simulation	0	NO
alarm_max_period	1.0	NO
<b>Latencies</b>		
latency_log_period_secs	600	NO

## 1.2 File params.txt e parametri di configurazione: descrizione

La parte iniziale del file *params.txt* contiene i valori dei parametri che configurano la fase di simulazione (sezione *Simulation*, Tabella 2). Tra questi ve n'è solo uno la cui variazione risulta influire sul risultato del processamento, ovvero la *simulation\_speed* (box blu Tabella 2) che permette di modificare la velocità di simulazione rispetto al *real time*. Impostando, ad esempio, un fattore 0.5 si avrà una velocità di simulazione pari alla metà di quella reale e quindi più lenta; la scelta di un fattore 2.0 invece comporta una velocità doppia rispetto a quella reale e dunque una simulazione più veloce. Ovviamente per una rapidità di calcolo, dovendo effettuare molte simulazioni (sia in termini di numero di eventi che di valori di parametri da testare) sarebbe auspicabile “velocizzare” la simulazione; d'altra parte si riscontra che l'aumento della velocità rispetto al caso reale può, in molti casi, generare risultati differenti poiché, come conseguenza, viene modificato il pacchetto di dati che il programma processa. Per ottenere una situazione quanto più realistica possibile si è deciso, pertanto, di lasciare il valore della *simulation\_speed* pari a 1 (e quindi una velocità uguale a quella reale) in tutte le simulazioni, anche se questo ha comportato un maggior dispendio di tempo in termini di calcolo.



**Figura 2** Screenshot dell'interfaccia grafica del sistema PRESTo. Nel riquadro a sinistra dell'interfaccia, sono mostrate le tracce in acquisizione e gli eventuali *picking* e le relative finestre delle fasi P ed S. Nella parte destra dell'interfaccia grafica vengono visualizzate la distribuzione delle stazioni in acquisizione, la posizione dei siti target e, in caso di terremoto, la localizzazione dell'evento e l'evoluzione dei fronti d'onda. In basso a destra è visualizzata l'evoluzione del calcolo della magnitudo e della profondità ipocentrale. Contestualmente al riconoscimento di un evento il software emette anche un segnale sonoro.

**Figure 2** Screenshot of the PRESTo system graphic interface. In the left panel the acquired signals, the pickings and the relative P and S windows are shown. On the right side of the graphic interface, the distribution of the stations, the position of the target sites and, in case of an earthquake, the event location and the evolution of the wave fronts are displayed. At the bottom, the evolution of the magnitude and the hypocentral depth calculation is also shown. At the same time when an event is detected, the software also emits an acoustic alarm.

Seguono poi alcuni parametri che controllano la fase di *debug* (sez. *Debug*, Tabella 2), l'acquisizione mediante protocollo *seedlink* (sez. *Seedlink* Tabella 2) e che consentono la personalizzazione dell'interfaccia grafica di PRESTo (sez. *Display*, Tabella 2) in base alle proprie

esigenze. PRESTo è infatti dotato di un'interfaccia grafica (Figura 2) che permette di visualizzare le tracce *miniseed* in tempo reale o, nel caso dei *playbacks*, le tracce, esclusivamente in formato SAC, caricate per il particolare evento in esame. Nel caso particolare in cui il sistema rilevi un evento, esso mostra inoltre l'evoluzione dell'analisi (*picking* dei primi arrivi, stazioni che hanno *triggerato* l'evento, propagazione dei fronti d'onda, calcolo della magnitudo) e la localizzazione finale dell'evento *triggerato*.

Sempre all'interno del medesimo file segue poi una parte - con i parametri che calibrano la fase di *trigger*/dichiarazione dell'evento (box rosso, Tabella 2). Questa costituisce una delle fasi più critiche perché, se non accuratamente calibrata, può determinare la perdita di un evento o la dichiarazione di falsi eventi. Inoltre, poiché determina anche il *picking* della fase P, a sua volta, influisce sui successivi steps di processamento. I principali parametri che riguardano la fase di *trigger* sono quelli che vengono utilizzati dal programma *FilterPicker* [Lomax et al., 2012] che, implementando l'algoritmo STA/LTA [Allen, 1978, 1982; Bear and Kradolfer, 1987, Trnkoczy, 1999], individua potenziali eventi. Essi sono contenuti nella sezione "*Picker*" (Tabella 2) e sono: *picker\_filterWindow*, *picker\_longTermWindow*, *picker\_threshold1*, *picker\_threshold2*, *picker\_tUpEvent*. I primi due parametri sono equivalenti ai parametri *Short-term average* and *Long-term average* dell'algoritmo STA/LTA. Le *threshold1* e *threshold2* sono invece le due soglie che il rapporto segnale/rumore della funzione caratteristica [cfr. Lomax et al., 2012] deve superare affinché sia *triggerato* l'evento. Il parametro *picker\_tUpEvent*, infine, costituisce il tempo massimo per il calcolo dell'integrale della funzione caratteristica dopo il raggiungimento della prima soglia, *picker\_threshold1*. Il *trigger* è definitivamente dichiarato se questo integrale supera il valore  $picker\_threshold2 * picker\_tUpEvent$ . La parte di file di configurazione che parametrizza la dichiarazione dell'evento come tale e che consente l'associazione dei singoli *picking* alle stazioni all'evento è quella relativa alla sezione "*Binder (Event Declaration)*" ed è costituita dai parametri: *binder\_stations\_for\_coincidence*, *binder\_secs\_for\_coincidence*, *binder\_secs\_for\_association*, *binder\_quakes\_life*, *binder\_quakes\_separation*, *binder\_apparent\_vel\_min*, *binder\_apparent\_vel\_max*, *binder\_apparent\_vel\_stations\_spacing*, *binder\_apparent\_vel\_max\_distance*.

I parametri del *picking* e quelli relativi al *binder* costituiscono parametri da calibrare accuratamente in quanto una o più variazioni dei loro valori possono produrre una modifica sostanziale dei risultati. Una buona calibrazione consiste nell'individuazione di valori ottimali ma al contempo anche nella ricerca di un "bilanciamento" nella combinazione di questi valori.

Infatti, mentre per i parametri di *picking*, che si basano principalmente sull'analisi del rapporto segnale rumore, gioca in generale un ruolo di maggior peso la tipologia di evento da *triggerare* ed il livello di rumore ambientale alle stazioni; per quelli relativi al *binder*, i fattori che influiscono sul risultato finale sono generalmente differenti: numero di stazioni per la coincidenza, geometria della rete, distanza inter-stazione. Scegliere una combinazione adeguata di questi valori non è affatto una procedura banale. Impostare, ad esempio, una coincidenza con un numero basso di stazioni (il minimo solitamente richiesto è 3) comporta una più alta probabilità di avere coincidenze su un *trigger* che quindi viene dichiarato come evento; allo stesso tempo però, se non si impostano opportunamente parametri quali la durata temporale di coincidenza (massima differenza temporale tra i *picking* delle stazioni su cui è stata individuata la coincidenza) o ad esempio la durata temporale della finestra di associazione (tale che tutti i *picking* verranno associati all'evento se il loro tempo è compreso in questi secondi dalla prima selezione), il rischio è quello di associare ad un evento *picking* che in realtà non gli appartengono ma sono dovuti a eventi limitrofi o fasi secondarie di eventi su scala regionale.

Sempre nel file *params.txt* seguono le sezioni che configurano le fasi che vengono indicate come *RTLoc-Event Location* e *RTMag-Magnitude Estimation* (Figura 1). Anche per queste fasi sono presenti dei parametri configurabili (*Sezioni Locate e Magnitudo*, Tabella 2) ma al momento si è deciso di lasciare volutamente invariati i parametri di default di queste ultime sezioni e di concentrare il lavoro sulla calibrazione dei parametri relativi al *FilterPicker* e all'*Event Declaration* (Tabella 1).

Per il calcolo della magnitudo attualmente si sta utilizzando la relazione pubblicata da Festa et al. [2018], calibrata sull'area in esame e ricavata utilizzando dati della sequenza del 2016 registrati sia dalle stazioni della RAN (Rete Accelerometrica Nazionale, codice FDSN - IT), gestite dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC) sia dalle stazioni della RSN (Rete Sismica Nazionale, codice FDSN - IV) gestite dall'INGV.

Anche le leggi per il calcolo di *PGA* e *PGV*, contenute nei rispettivi file *.txt*, sono state lasciate invariate e sono quelle presenti nel pacchetto PRESTo originale [Akkar e Bommer, 2007].

## 1.3 File di output

Eseguito in *real time*, PRESTo produce sempre due tipologie di file di output che vengono costantemente aggiornati durante tutto il periodo di funzionamento e permettono di monitorare lo stato di esecuzione del programma:

- un file con estensione *\_realtime.log* contenente lo storico dell'intero programma dal momento in cui viene fatto partire e che riporta tutte le informazioni dalla fase di configurazione a quella di acquisizione e processamento del dato;
- un file con estensione *\_realtime.err* che contiene principalmente i log sul protocollo seedlink.

Ogni qualvolta il programma rileva un evento produce inoltre altri tre file di output:

- un file *ID\_event.png* contenente uno *screenshot* dell'interfaccia grafica di PRESTo al momento del *trigger* dell'evento (vedi esempio in Figura 2);
- un file *ID\_event.kml* per la visualizzare tramite *Google Earth* della localizzazione dell'evento, la posizione delle stazioni della rete e dei siti target (vedi contenuto file *targets.txt*);
- un file *ID\_event.mail.log* che contiene le principali informazioni sulle varie fasi di processamento dell'evento.

Dal file *ID\_event.mail.log* è possibile, a sua volta, estrapolare le principali informazioni sull'evento (localizzazione, magnitudo, *PGA* e *PGV*) per poi eventualmente generare dei messaggi automatici di allerta. Una volta estrapolate le principali informazioni dal file mediante l'elaborazione del testo da parte dell'operatore, è possibile impostare per l'allerta un valore di soglia prestabilito (es. un valore di magnitudo, un valore di *PGA* o di *PGV* ad un sito target), superato il quale l'allerta, con le principali informazioni sull'evento, viene inviata ai siti target.

## 2. Modello di velocità e stima delle travel time

L'algoritmo *RTLoc*, designato alla localizzazione dell'evento, costituisce una versione implementata dell'originale algoritmo *NLLoc* di A. Lomax. Pur costituendone una versione più raffinata ed evoluta conserva, ugualmente, alcuni punti in comune col programma originale cosicché, per poter funzionare correttamente, PRESTo necessita di alcuni file contenenti informazioni indispensabili per procedere con la fase di localizzazione, che devono essere denominati e formattati secondo lo standard di *NLLoc*.

Per poter procedere alla localizzazione di un evento, il programma originale necessita essenzialmente dei tempi dei primi arrivi (*picking* P ed S) alle stazioni della rete e dei tempi di percorrenza (*travel time*) calcolati sulla base del modello di velocità usato per l'area in esame. Entrambe le informazioni sono contenute in file che vengono caricati da *NLLoc* in fase di processamento.

Nel caso di PRESTo, mentre i *picking* sono direttamente ricavati dal picker automatico implementato nel programma (*PickerFilter*), i valori delle *travel time* devono essere

precedentemente calcolati e dipendono principalmente dal modello di velocità utilizzato e dalla parametrizzazione (*grid*) scelta per la stima dei tempi di percorrenza.

Partendo da un modello di velocità (1D o 3D) convertito nello standard *NLLoc* tramite programmi contenuti nel pacchetto stesso (*Vel2Grid* o *Vel3Grid3D*) e dall'elenco delle stazioni che compongono la rete di monitoraggio, è possibile calcolare i valori dei tempi di propagazioni nei nodi di un grigliato la cui dimensione e il cui passo sono definiti dall'operatore all'interno del file di configurazione di *NLLoc* (*Control file* - <http://alomax.free.fr/nlloc/>). Una volta fissato il modello e la dimensione della griglia, i tempi di calcolo rimangono invariati e quindi non costituiscono più parte del processo di calcolo. Ovviamente, nel caso subentri una variazione rispetto alle condizioni iniziali (aggiunta di una stazione alla rete, riposizionamento di una stazione della rete, modifica del modello e/o del grigliato) sarà necessaria una nuova fase di calcolo. Per ogni stazione, il programma genera due tipi di file: un file testo contenente principalmente informazioni sul *grid* di calcolo ed un secondo file *bufferizzato* contenente i valori dei tempi di percorrenza in ciascun nodo del grigliato. Per ottimizzare i tempi di calcolo durante la fase di calibrazione si è deciso di utilizzare, per la stima dei tempi di percorrenza, un modello di velocità 1D, rimandando ad un secondo momento un'analisi più accurata sull'influenza dell'utilizzo di un modello 3D sulle performance del software.

**Tabella 3** Modello di velocità 1D utilizzato per il calcolo delle travel time [Carannante et al., 2013].

**Table 3** 1D velocity model used for travel time calculation [Carannante et al., 2013].

TOP STRATO (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)
-2.0	5.00	2.70
0.0	5.60	2.80
4.0	6.20	3.34
8.0	6.20	3.39
12.0	6.20	3.39
20.0	6.30	3.37
30.0	6.90	3.64
80.0	7.90	4.33

Il modello 1D utilizzato per l'area è quello di Carannante et al. [2013] costituito da 8 strati piano paralleli con velocità costante in ogni strato (Tabella 3) ed un grigliato di calcolo costituito da 65x56x20 nodi nelle direzioni x, y, z ed una cella cubica di 4 km<sup>3</sup> di dimensione. Test preliminari per studiare l'influenza del passo della griglia di calcolo sulle prestazioni del software, i cui risultati non sono riportati in questo rapporto per brevità, hanno evidenziato che, nel caso di un modello di velocità 1D, vista la mancanza di eterogeneità laterali, tale parametro non influisce in maniera sostanziale sulle localizzazioni, ma solo sui tempi di processamento dei dati. La scelta di un passo di 4 km costituisce pertanto un valore di compromesso tra velocità e precisione di calcolo.

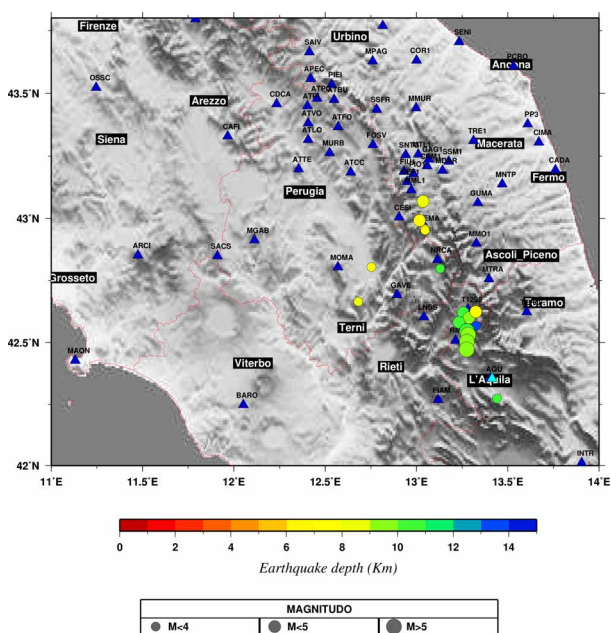
### 3. Test di calibrazione: preparazione e metodo

La calibrazione e l'ottimizzazione dei parametri, realizzata mediante simulazione *offline* di forme d'onda di eventi selezionati, rappresenta una fase molto delicata per qualunque sistema di *early warning* [Vassallo et al., 2012; Tusa et al., 2017]. Per tale motivo a questa fase è stata dedicata particolare attenzione al fine di individuare una configurazione in grado di garantire le migliori prestazioni del sistema PRESTo durante il funzionamento in *real time*. La fase di calibrazione è stata realizzata effettuando una serie di simulazioni mediante *playback* delle forme d'onda di un catalogo di eventi pre-selezionati, dal bollettino ONT (<http://cnt.rm.ingv.it/>). Una volta selezionato un catalogo di eventi, si è proceduto a scaricare dal server di acquisizione presso la



sede di Milano le corrispondenti forme d'onda, in formato mseed. Tali segnali, una volta tagliati e convertiti in formato SAC, sono stati dati in input a PRESTo per simulare l'arrivo, in *real time*, di un evento sismico e verificare che il software riuscisse a rilevarlo e localizzarlo correttamente. Questa operazione è stata ripetuta al variare dei parametri di configurazione oggetto dei test (Tabella 1), andando di volta in volta ad analizzare gli output. Come verrà illustrato in dettaglio nel paragrafo successivo, al fine di determinare i parametri che garantiscono le migliori prestazioni del software, sono stati effettuati dei confronti tra le localizzazioni automatiche fornite dal sistema PRESTo e quelle riviste manualmente del catalogo ONT. La ricerca dei valori ottimali per i parametri di configurazione è essenzialmente incentrata sull'idea di compromesso tra il numero di eventi dichiarati e l'affidabilità della soluzione: lo scopo quindi è quello di ottenere che la maggior parte degli eventi siano triggerati ma, al tempo stesso, garantire che le loro localizzazioni siano affidabili e dunque consistenti con quelle riviste dell'ONT.

Nell'ambito del progetto ART-IT è stata scelta come area test quella a cavallo tra Umbria e Marche (Figura 3). La scelta dell'area deriva sia dalla sua storia sismica, sia dalla densità di stazioni sismiche presenti, caratteristica fondamentale per realizzare l'*early warning*. Per le analisi si è deciso di selezionare un catalogo costituito principalmente da eventi sismici che rappresentassero un target per PRESTo, vale a dire con valori di magnitudo per i quali si ritiene auspicabile la presenza di una procedura di *early warning* ( $M_L \geq 5$ ). Benché sia possibile che il sistema rilevi e localizzi eventi con magnitudo basse, essendo un sistema di *early warning*, di fatto, la finalità principale del software è quella di lanciare allerta in caso di forti terremoti e/o alti valori di scuotimento. Adoperare, per la calibrazione, un catalogo con magnitudo troppo basse, potrebbe portare ad una forzatura del sistema ed una sua calibrazione errata. Poiché da catalogo ONT l'area risulta caratterizzata da un alto tasso di sismicità ma con magnitudo medio basse, pur essendo auspicabile adoperare un catalogo con  $M_L \geq 5$ , si è deciso di abbassare la soglia di magnitudo a  $M_L \geq 4$  così da poter lavorare con un catalogo con un certo numero di eventi. Il periodo esaminato va dal 01/01/2017 al 31/12/2019.



**Figura 3** Distribuzione degli eventi del catalogo ONT riportati in Tabella 3 e delle stazioni delle reti di monitoraggio acquisite presso il CED di Milano nell'area (triangoli blu: Rete Sismica Nazionale, codice FDSN IV; triangolo azzurro: rete Mednet, codice FDSN MN). I cerchi sono proporzionali alle  $M_L$  degli eventi; i colori rappresentano la profondità ipocentrale.

*Figure 3* Distribution of the catalog events shown in Tabella 3 and of the monitoring network stations available in the area (blue triangles: National Seismic Network, IV; blue triangle: Mednet network, MN). The circles are proportional to the  $M_L$  of the events; the color code identifies the hypocentral depth.

Anche questa ulteriore limitazione al periodo di analisi ha comportato la scelta di abbassare la soglia di magnitudo: limitandosi infatti solo ad eventi con  $M_L \geq 5$ , per il periodo in esame, avremmo avuto un catalogo di appena 4 eventi. La scelta di limitare il periodo di analisi e di non andare troppo a ritroso nel tempo è stata purtroppo dettata dalla necessità di assicurare sia una buona continuità della storia strumentale sia una coerenza con l'attuale configurazione della rete così da poter facilmente passare dalle simulazioni in *playback* al *real time*. Si deve infatti tener conto che, tra le informazioni che il software carica in input, sono comprese anche quelle relative alla strumentazione, tra cui la posizione ed i fattori di conversione da *count* ad unità fisica (contenuti nel file *station.txt*) che sono utilizzati per effettuare i calcoli della magnitudo. Il programma carica queste informazioni attraverso un file testo che non contiene l'intera storia strumentale come ad esempio accade per gli standard *xml FDSN* (<https://www.fdsn.org/xml/station/>) o *dataless* (<https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/formats/dataless-seed/>). Questo comporta che, di fatto, è premura dell'operatore assicurarsi che i dati che il programma utilizza per i calcoli siano corretti: se, ad esempio, durante il periodo utilizzato per la simulazione una stazione avesse subito diversi cambi di strumentazione nel tempo, a seconda del periodo in esame, avremmo dovuto "manualmente" utilizzare file *stations.txt* diversificati proprio per tener conto dei cambiamenti subiti dalla stazione in esame. Ovviamente, se fosse invece stato possibile caricare file *xml FDSN* o *dataless* tale problematica non si sarebbe posta perché il sistema avrebbe automaticamente caricato le informazioni giuste a seconda della storia strumentale. Garantendo, inoltre, che le configurazioni delle stazioni, in fase di simulazioni, siano coerenti con quelle attuali, possiamo eseguire il passaggio dal *playback* al *real time* senza ulteriori cambi di configurazione, certi che quanto testato nelle simulazioni è totalmente applicabile al *real time*.

Nel periodo analizzato sono stati selezionati 20 terremoti (Tabella 4) distribuiti per la maggior parte lungo la catena appenninica (Figura 3). Considerando che presso il CED della sezione di Milano sono acquisiti in tempo reale tutti gli stream accelerometrici della Rete Nazionale, si è deciso di utilizzare per le analisi di calibrazione esclusivamente i segnali relativi a tali stazioni. Sono state quindi utilizzate un totale di 60 stazioni: 59 appartenenti alla rete dell'INGV (codice FDSN - IV; <https://www.fdsn.org/networks/>) e 1 appartenente alla rete Mednet (codice FDSN - MN). È importante sottolineare che pur essendo presenti nell'area anche molte stazioni della rete RAN (codice FDSN - IT), esse non sono state utilizzate per le simulazioni perché nel periodo temporale di analisi i dati in continuo non erano ancora disponibili. A partire dal dataset di eventi selezionati e dalle rispettive forme d'onda è stata effettuata una serie di *playback* per individuare i valori dei parametri di configurazione che forniscono le migliori prestazioni del sistema PRESTO in termini di precisione delle soluzioni, ovvero *trigger* degli eventi e consistenza della localizzazione con il catalogo dell'ONT-INGV (<http://terremoti.ingv.it>).

Partendo dai valori dei parametri indicati sul manuale di PRESTO, si è proceduto a testare i parametri di *picker*, vale a dire quelli per il *trigger* degli eventi e quelli di *binder*, per la successiva dichiarazione. I diversi test sono stati realizzati effettuando diverse combinazioni dei parametri di configurazione (Tabella 5).

La variazione dei parametri potrebbe sembrare realizzata in maniera casuale; in realtà, partendo dai valori suggeriti dal manuale, si è tentato di variare gradualmente ogni singolo parametro con lo scopo di esplorare tutto lo spazio delle possibili combinazioni. È pur vero, però, che in alcuni casi, andando ad esaminare i risultati di un test, i parametri del successivo sono stati modificati sulla base di quanto ricavato dal precedente, proprio al fine di migliorarne i risultati con una conseguente variazione non sempre lineare dei parametri di configurazione.

Per ognuno di questi test sono state poi estrapolate le informazioni sul numero di eventi dichiarati, numero di *trigger* e localizzazioni ed una statistica sui *picker* automatici determinati dall'algoritmo rispetto a quelli rivisti manualmente del catalogo ONT, ovvero la differenza tra i tempi automatici e manuali del primo arrivo alle stazioni.

N_EVENTO	ID EVENTO	TEMPO ORIGINE	LAT	LON	PROFONDITA' (Km)	TIPO MAG	MAG
1	12269701	02/01/2017 03:36:13	42.8037	12.7528	7.5	Mw (ML)	3.9 (4.1)
2	12695491	18/01/2017 09:25:40	42.5450	13.2768	10.0	Mw (ML)	5.1 (5.4)
3	12697591	18/01/2017 10:14:09	42.5310	13.2838	9.6	Mw (ML)	5.5 (5.4)
4	12698071	18/01/2017 10:25:23	42.5033	13.2770	9.4	Mw (ML)	5.4 (5.3)
5	12698591	18/01/2017 10:39:24	42.5332	13.2710	10.3	ML	4.1
6	12700101	18/01/2017 11:07:37	42.6197	13.2557	10.7	Mw (ML)	4.1 (4.3)
7	12707401	18/01/2017 13:33:36	42.4733	13.2747	9.5	Mw (ML)	5.0 (5.1)
8	12712641	18/01/2017 15:16:10	42.5998	13.2878	9.0	Mw (ML)	4.3 (4.3)
9	12723601	18/01/2017 19:32:31	42.5808	13.2327	10.9	Mw (ML)	4.2 (4.3)
10	13274891	03/02/2017 03:47:55	42.9932	13.0203	7.1	Mw (ML)	4.0 (4.0)
11	13276121	03/02/2017 04:10:05	42.9920	13.0173	7.1	Mw (ML)	4.2 (4.4)
12	13436511	09/02/2017 09:58:27	42.6643	12.6807	8.1	Mw (ML)	3.7 (3.9)
13	15023141	27/04/2017 21:16:58	42.9572	13.0458	7.9	Mw (ML)	4.0 (4.0)
14	15023211	27/04/2017 21:19:42	42.9520	13.0467	7.9	Mw (ML)	4.0 (4.1)
15	16415301	22/07/2017 02:13:08	42.5670	13.3255	13.3	Mw (ML)	4.0 (4.1)
16	17769831	03/12/2017 23:34:11	42.6242	13.3252	7.6	Mw (ML)	4.0 (4.2)
17	18596591	04/04/2018 02:19:45	43.0598	13.0312	7.8	Mw (ML)	4.0 (3.9)
18	18673351	10/04/2018 03:11:30	43.0687	13.0365	8.1	Mw (ML)	4.6 (4.7)
19	18678961	10/04/2018 04:49:40	42.2738	13.4408	10.4	Mw (ML)	3.5 (3.3)
20	22984881	01/09/2019 00:02:39	42.7977	13.1307	10.3	Mw (ML)	4.0 (4.1)

**Tabella 4** Elenco degli eventi del catalogo ONT (<http://terremoti.ingv.it/>) utilizzati per i test di calibrazione.

Per i terremoti per i quali era indicata solo la  $M_w$  sono stati riportati tra parentesi i valori  $M_L$  per consentire un confronto con la stima effettuata da PRESTo. I parametri ipocentrali riportati in tabella sono il risultato di una revisione manuale ONT (aggiornato al 02/03/2020).

**Table 4** List of events of the ONT catalog (<http://terremoti.ingv.it/>) used for calibration tests. For earthquakes for which only  $M_w$  was indicated, the  $M_L$  values have been reported in brackets to allow a comparison with the PRESTo estimation. The hypocentral parameters shown in the table are the result of a manual ONT review (updated to 03/02/2020).

I TEST dall'1 al 16 sono stati realizzati focalizzando l'attenzione principalmente sui parametri relativi al *trigger* e quindi effettuando essenzialmente variazioni dei parametri della sezione *Picker* (*picker\_filterWindow*, *picker\_longTermWindow*, *picker\_threshold1*, *picker\_threshold2*, *picker\_tUpEvent*). Unitamente al numero di stazioni per la ricerca delle coincidenze ed al parametro *binder\_secs\_for\_coincidence* che individua la durata temporale della finestra per la ricerca delle coincidenze, questi parametri sembrerebbero quelli la cui variazione ha maggiore impatto sul numero di eventi dichiarati e di conseguenza sulle localizzazioni.

Una volta individuati dei valori di riferimento per i parametri del *picker* si è proceduto cercando di variare solo i parametri per la ricerca delle coincidenze. La Tabella 5 mostra infatti che, a partire dal TEST 17, le variazioni riguardano principalmente i parametri di *binder*. Per effettuare le analisi, oltre ad estrapolare da ogni file di output, ad ogni ciclo di test, informazioni sui parametri ipocentrali ed i relativi errori del singolo evento, da confrontare con quelli del bollettino, sono state estrapolate anche le informazioni sulle stazioni che hanno *triggerato* l'evento e sono state ad esso associate. Queste informazioni si sono rivelate particolarmente utili per le nostre analisi e anche per evidenziare particolari criticità del sistema.

Nel file di log di PRESTo vengono infatti memorizzate, tra le varie informazioni, quelle relative ai *picking* che risultano essere di due tipologie:

- quelli che cataloga come *PICK*, che sono *picking* che la procedura del *FilterPicker* associa alla stazione nel momento in cui vengono superate le soglie settate nel file di configurazione e dunque l'impulso viene catalogato come un "potenziale" *picking* della fase P dell'evento in esame.
- quelli che cataloga come *LINK* che sono invece i *trigger* che vengono "linkati" all'evento, ovvero quei *picking* che, sulla base dei parametri di *binder* che ricercano le coincidenze per la dichiarazione dell'evento, vengono effettivamente associati ad esso.

È ovvio che per la definizione stessa di *PICK* e *LINK*, questi ultimi saranno, in generale, in numero inferiore o uguale al numero dei *PICK*.

N_TEST	N_event_Trig	Filter_Window	LT_Window	th1	th2	tUpEvent	N_Stat_coinci	secs_for_coinci	sec_for_assoc	quakes_life	quakes_separ	app_vel_min	app_vel_max	app_vel_stat_spac	app_vel_max_dist	No_trigger
1	13	0.5	5.0	10.0	10.0	0.5	5	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	1
2	15	0.5	5.0	10.0	10.0	<b>0.3</b>	5	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	1
3	15	0.5	5.0	10.0	10.0	0.3	5	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	0
4	<b>20</b>	0.5	5.0	<b>5.0</b>	<b>5.0</b>	0.3	5	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	0
5	<b>20</b>	0.5	5.0	5.0	5.0	<b>0.5</b>	5	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	0
6	17	0.5	5.0	<b>10.0</b>	<b>10.0</b>	<b>0.3</b>	<b>4</b>	<b>5.0</b>	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	0
7	16	0.5	5.0	10.0	10.0	<b>0.2</b>	<b>5</b>	<b>3.0</b>	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	0
8	16	0.5	5.0	10.0	10.0	0.2	5	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	<b>1</b>
9	16	0.5	<b>8.0</b>	10.0	10.0	<b>0.4</b>	5	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	1
10	15	<b>0.3</b>	10.0	10.0	10.0	0.4	5	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	1
11	17	0.3	10.0	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	0.4	5	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	1
12	19	0.3	10.0	9.0	9.0	0.4	<b>4</b>	3.0	10.0	15.0	30.0	3.85	20	30	120	1
13	19	0.3	10.0	9.0	9.0	0.4	4	3.0	10.0	15.0	30.0	<b>4.30</b>	20	<b>50</b>	120	1
14	19	0.3	<b>12.0</b>	9.0	9.0	0.4	4	3.0	10.0	15.0	30.0	4.30	20	50	120	1
15	<b>20</b>	<b>0.8</b>	12.0	9.0	9.0	0.4	4	3.0	10.0	15.0	30.0	4.30	20	50	120	1
16	<b>20</b>	<b>1.5</b>	<b>14.0</b>	9.0	9.0	0.4	4	3.0	10.0	15.0	30.0	4.30	20	50	120	1
17	19	1.5	14.0	9.0	9.0	<b>0.3</b>	<b>5</b>	3.0	10.0	15.0	30.0	4.30	20	50	120	1
18	<b>20</b>	1.5	14.0	9.0	9.0	<b>0.4</b>	5	<b>4.0</b>	<b>15.0</b>	<b>20.0</b>	30.0	4.30	20	50	120	1
19	19	1.5	14.0	9.0	9.0	0.4	5	<b>3.5</b>	<b>12.0</b>	<b>15.0</b>	30.0	4.30	20	50	120	1
20	<b>20</b>	1.5	14.0	9.0	9.0	0.4	<b>4</b>	<b>3.0</b>	<b>10.0</b>	<b>20.0</b>	30.0	4.30	20	50	120	1
21	<b>20</b>	1.5	14.0	9.0	9.0	<b>0.3</b>	<b>5</b>	<b>4.0</b>	<b>15.0</b>	<b>20.0</b>	30.0	4.30	20	50	120	1
22	<b>20</b>	1.5	14.0	<b>9.5</b>	<b>9.5</b>	<b>0.35</b>	5	4.0	15.0	20.0	30.0	4.30	20	50	120	1
23	19	1.5	14.0	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	0.35	5	4.0	15.0	20.0	30.0	4.30	20	50	120	1
24	<b>20</b>	1.5	14.0	<b>9.5</b>	<b>9.5</b>	<b>0.4</b>	5	4.0	15.0	20.0	30.0	4.30	20	50	120	1
25	<b>20</b>	<b>1.8</b>	<b>18.0</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	0.4	5	4.0	15.0	20.0	30.0	4.30	20	50	120	1
26	<b>20</b>	<b>1.0</b>	<b>14.0</b>	9.0	9.0	0.4	5	4.0	15.0	20.0	30.0	4.30	20	50	120	1
27	<b>20</b>	1.0	<b>18.0</b>	9.0	9.0	0.4	5	4.0	15.0	20.0	30.0	4.30	20	50	120	1

**Tabella 5** Valori dei parametri di configurazione del sistema PRESTo testati in ogni singola simulazione, (numeri progressivi, prima colonna). La seconda colonna indica il numero di eventi dichiarati in ogni singolo test: il numero evidenziato in rosso indica per quali dei test si è riuscito ad ottenere la dichiarazione di tutti gli eventi del catalogo. I valori mostrati in grassetto evidenziano i parametri i cui valori sono stati modificati rispetto al test precedente. Per il significato matematico dei singoli parametri fare riferimento al testo (Paragrafo 1.2) o alla descrizione sul manuale online di PRESTo (<http://www.prestoews.org/documentation.php>).

*Table 5* Values of configuration parameters of the PRESTo system, tested in each single simulation, (progressive numbers in the first column). The second column indicates the number of events declared in each single test: the number highlighted in red indicates for which of the tests it was possible to obtain the declaration of all the events in the catalogue. The values shown in bold highlight the parameters whose values have been modified with respect to the previous test. For the mathematical meaning of the individual parameters, refer to the text (Paragraph 1.2) or description in the PRESTo online manual (<http://www.prestoews.org/documentation.php>).

## TEST7

ID_EVENT	DATE	TIME	LON	DLON	LAT	DLAT	Z (km)	DZ(km)	M
20170102033613	2017-01-02	03:36:14.31	12.7697	1.5	42.7984	1.2	11.844	8.7	5.2
20170118092540	2017-01-18	09:25:42.63	13.1953	2.6	42.6137	8.4	-4.617	7.9	6.1
20170118101409	2017-01-18	10:14:11.89	13.2279	3.7	42.5994	12.5	17.203	11.6	6.3
20170118101533									
20170118101639									
20170118102414	2017-01-18	10:24:17.12	13.1869	14.6	42.7038	26.4	-4.617	24.2	5.6
20170118102523	2017-01-18	10:25:30.62	13.2173	5.4	42.8949	16.7	15.289	10.6	5.7
20170118103924									
20170118110737	2017-01-18	11:07:39.10	13.1961	3	42.6869	7.1	3.039	8.6	5.5
20170118133336	2017-01-18	13:33:42.36	13.1927	6.3	42.8022	14.1	20.266	11	5.5
20170118151610	2017-01-18	15:16:13.69	13.1780	3.6	42.7489	9	-4.617	9.0	5.3
20170118193231	2017-01-18	19:32:33.90	13.1490	13.8	42.6703	20.1	-4.617	19.6	5.5
20170203034755	2017-02-03	03:47:56.36	13.0039	1.6	42.9875	1.2	-4.809	4.8	5.0
20170203041005	2017-02-03	04:10:05.64	13.0015	1.6	42.9917	1.1	-4.617	5.8	5.3
20170209095827	2017-02-09	09:58:27.37	12.6847	11.7	42.6579	27.4	-4.234	21.3	5.4
20170427211658	2017-04-27	21:16:59.80	13.0459	1.5	42.9451	1.2	551	6.5	5.0
20170427211942	2017-04-27	21:19:43.81	13.0601	1.8	42.9479	1.1	14.332	7.6	5.2
20170722021308	2017-07-22	02:13:10.53	13.2240	2.3	42.6698	6.6	-4.617	8.2	5.6
20171203233411	2017-12-03	23:34:13.53	13.2476	6.5	42.6781	12.5	1.891	9.7	5.2
20180404021945	2018-04-04	02:19:45.76	13.0139	1.1	43.0550	0.7	-4.043	3.9	5.0
20180410031130	2018-04-10	03:11:31.54	13.0328	1.3	43.0662	0.8	5.145	4.6	5.5
20180410044940									
20190901000239	2019-09-01	00:02:40.06	13.1434	1.1	42.8039	0.9	7.441	3.1	5.1

## TEST8

ID_EVENT	DATE	TIME	LON	DLON	LAT	DLAT	Z(km)	DZ(km)	M
20170102033613	2017-01-02	03:36:14.09	12.77	1	42.7956	0.8	11.898	7.6	5.2
20170118092540	2017-01-18	09:25:42.70	13.2036	1.9	42.6024	7.1	2.711	7.4	6.1
20170118101409	2017-01-18	10:14:11.47	13.2318	2.2	42.5853	7.4	2.711	10.4	6.3
20170118101533									
20170118101639									
20170118102414	2017-01-18	10:24:17.10	13.1881	2.4	42.6968	4.5	1.371	7.7	5.5
20170118102523	2017-01-18	10:25:30.23	13.2235	1.9	42.8850	8.9	16.301	7.1	5.7
20170118103924									
20170118110737	2017-01-18	11:07:38.72	13.2021	1.6	42.6798	4.2	4.434	6.9	5.5
20170118133336	2017-01-18	13:33:41.95	13.1963	2.4	42.7938	10.4	21.852	9.1	5.6
20170118151610	2017-01-18	15:16:13.31	13.1886	1.4	42.7390	5.2	-1.309	6.0	5.4
20170118193231	2017-01-18	19:32:33.53	13.1570	5.1	42.6590	10.5	-1.117	9.8	5.5
20170203034755	2017-02-03	03:47:56.17	13.0060	1.3	42.9847	1.0	-1.309	4.2	5.0
20170203041005	2017-02-03	04:10:05.93	13.0156	1.1	42.9931	0.7	8.262	4.2	5.3
20170209095827	2017-02-09	09:58:27.78	12.6749	47.9	42.6663	50.5	2.711	8.3	5.2
20170427211658	2017-04-27	21:16:59.53	13.0437	1.3	42.9451	1.0	2.902	4.4	5.0
20170427211942	2017-04-27	21:19:43.62	13.0580	1.7	42.9479	0.9	14.387	6.1	5.2
20170722021308	2017-07-22	02:13:10.15	13.2303	1.3	42.6599	3.8	-1.309	6.4	5.6
20171203233411	2017-12-03	23:34:13.10	13.2517	2.7	42.6753	5.7	2.711	7.3	5.2
20180404021945	2018-04-04	02:19:45.97	13.0257	1.0	43.0578	0.4	3.668	2.9	5.0
20180410031130	2018-04-10	03:11:31.29	13.0305	1.0	43.0634	0.3	5.965	3.0	5.5
20180410044940									
20190901000239	2019-09-01	00:02:39.81	13.1419	0.7	42.8011	1	8.262	1.6	5.1

Tabella 6 Valori dei parametri ipocentrali e dei corrispettivi errori ottenuti dal sistema PRESTo durante le simulazioni in *playback*, utilizzando la combinazione di parametri relativa al TEST7 e al TEST8, non utilizzando e utilizzando le stazioni che non hanno *triggerato* l'evento, rispettivamente.

Table 6 Values of the hypocentral parameters and corresponding errors obtained by the PRESTo system during *playback* simulations, using the combination of parameters of TEST 7 and TEST8, not using and using the stations that did not trigger the event, respectively.

## 4. Test di calibrazione: discussione

Procedendo nel modo illustrato nel paragrafo precedente, un primo risultato ricavato dai test (in particolare dai test 7 e 8) è stato quello relativo all'influenza sulla localizzazione dell'utilizzo delle stazioni che non hanno *triggerato* l'evento. Dopo aver effettuato i primi test (TEST1-TEST7) disabilitando l'utilizzo delle suddette stazioni, si è deciso di testare l'impatto di questa opzione sulla localizzazione effettuando i test 7 e 8 mantenendo invariati tutti i parametri di configurazione ad eccezione del *locate\_use\_non\_triggering\_stations*, ovvero del parametro che abilita le stazioni che non hanno *triggerato*. Confrontando i risultati dei due test (Tabella 6), si è verificato che, considerando la rete di monitoraggio disponibile e gli eventi esaminati, l'utilizzo delle stazioni che non hanno *triggerato* (TEST8) non ha effetti diretti sulla localizzazione finale, se non limitatamente alla qualità, considerando che gli errori orizzontali e verticali nel TEST8 risultano generalmente più bassi rispetto al TEST7 (*locate\_use\_non\_triggering\_stations* disabilitato). Tenendo conto che i test sono comunque realizzati utilizzando dei parametri non ottimizzati e che alcuni degli eventi analizzati a causa della qualità dei segnali o della posizione sfavorevole rispetto alla rete di monitoraggio sono comunque di difficile localizzazione, quello che si evidenzia è che, in entrambi i casi, le localizzazioni si presentano, generalmente, con errori orizzontali e verticali inevitabilmente importanti. Soprattutto la profondità ipocentrale risulta un fattore particolarmente critico cosicché, indipendentemente dall'abilitazione del parametro *locate\_use\_non\_triggering\_stations*, spesso essa si discosta notevolmente da quella del bollettino e in diversi casi posiziona l'evento in area (vedi Tabella 6, profondità in rosso). Non di meno, nel passaggio dal TEST7 al TEST8, si ottiene mediamente un decremento percentuale del 40% e del 38,6% negli errori in longitudine e latitudine e del 29,3% in profondità e, nel secondo caso, una maggiore stabilità della profondità (minor numero di eventi in aria).

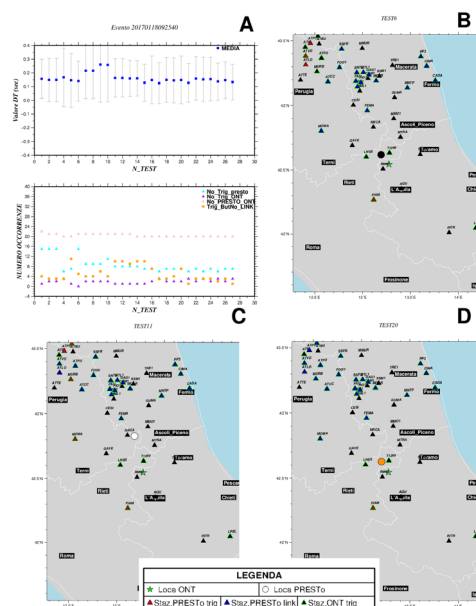
Evidenziato l'impatto positivo sugli errori di localizzazione, si è deciso di procedere con i successivi test (a partire dal TEST8) includendo sempre nel processamento anche le stazioni che non hanno *triggerato* l'evento (*locate\_use\_non\_triggering\_stations* = 1).

Per ogni terremoto del dataset selezionato sono stati effettuati 27 test (Tabella 5), ovvero 27 combinazioni differenti dei principali parametri di calibrazione oggetto del lavoro. Le analisi per valutare i valori dei parametri che garantiscono un'ottimizzazione delle prestazioni del software sono principalmente di due tipologie: la prima è incentrata sullo studio dell'andamento dei *trigger* di PRESTo (in termini di precisione e capacità di detezione) al variare dei test (e dunque dei parametri di calibrazione), mentre la seconda è basata sul confronto tra la localizzazione di PRESTo e quella del catalogo ONT anche in funzione della distribuzione delle stazioni che hanno *triggerato* l'evento e sono state ad esso associate. Per brevità, al fine di evidenziare le differenti risposte del software al variare dei parametri di configurazione, per differenti valori di magnitudo e per differenti geometrie della rete di monitoraggio, verranno mostrate le suddette analisi solo per due esempi campione: il primo (Figura 4) relativo all'evento  $M_L = 5.4$  del 18/01/2017 (09:25:40 UTC), decentrato rispetto alla rete di monitoraggio (evento #2 in Tabella 4) ed il secondo (Figura 6) relativo all'evento  $M_L = 4.1$  del 01/09/2019 (00:02:39 UTC), localizzato invece a centro rete, con le stazioni distribuite in maniera più uniforme nell'intorno dell'evento (evento #20 in Tabella 4).

Il primo evento è stato selezionato essenzialmente perché rappresenta un evento target dell'*early warning* sismico mentre il secondo, pur essendo meno rilevante da questo punto di vista, costituisce un buon esempio per mettere in luce come una copertura favorevole della rete di monitoraggio e l'utilizzo di un dataset di segnali sismici di buona qualità (alto rapporto segnale rumore) migliori le procedure di detezione e localizzazione.

Per quanto riguarda la prima tipologia di analisi (andamento dei *trigger*), nelle Figure 4 e 6, relative agli eventi  $M_L 5.4$  e  $M_L 4.1$ , rispettivamente, il grafico superiore del pannello A mostra, al variare del test (e dunque della combinazione dei parametri di configurazione), l'andamento del valor

medio della differenza tra i *picking* automatici di PRESTo ( $T_{\text{auto}}$ ) e quelli, rivisti manualmente, del catalogo ONT ( $T_{\text{ont}}$ ), per l'evento in esame ( $DT=T_{\text{auto}}-T_{\text{ont}}$ ). I valori, visualizzati in ordinata, sono stimati utilizzando i soli *trigger* associati all'evento (e dunque quelli catalogati come *LINK*) e come tali utilizzati per il calcolo dei principali parametri dell'evento. Il grafico inferiore del pannello A mostra invece l'andamento dei *trigger* diversificando tra numero di stazioni che non hanno *triggerato* in PRESTo (triangoli azzurri), che non hanno *triggerato* in ONT (triangoli viola), che non hanno *triggerato* in entrambi i casi (triangoli rosa) e che invece in PRESTo hanno *triggerato* ma non sono stati *linkati* all'evento sulla base dei parametri di *binder* impostati (quadrati arancioni). Per entrambi i grafici, in ascissa sono riportati i numeri progressivi dei TEST (ognuno associato ad una particolare combinazione di parametri di configurazione, crf. Tabella 5).



**Figura 4** Risultato delle simulazioni effettuate per l'evento  $M_L=5.4$ , del 18/01/2017 (ore 09:25:40 UTC). I grafici nel pannello A mostrano l'andamento del numero di eventi *triggerati* al variare dei parametri di configurazione dove ad ogni test, il cui numero è riportato in ordinata, è associata una combinazione differente di parametri. Nella parte superiore è mostrato l'andamento della media della differenza  $DT$ , tra i *picking* automatici della fase P di PRESTo ( $T_{\text{presto}}$ ) alle singole stazioni e i corrispettivi valori manuali del catalogo ONT ( $T_{\text{ont}}$ ), con i relativi errori. Nella parte inferiore del pannello A è invece mostrato l'andamento del numero di stazioni che non hanno *triggerato/linkato* l'evento al variare dei parametri. I pannelli B, C, D mostrano la distribuzione delle stazioni della rete di monitoraggio per tre diversi test effettuati (TEST6-B, TEST11-C, e TEST20-D) evidenziando quali stazioni in PRESTo hanno *triggerato* l'evento, quali sono state *linkate* ad esso e quali lo hanno *triggerato* nel catalogo ONT. Sono inoltre visualizzate la localizzazione di PRESTo (cerchio) e di ONT (stella) con il colore in funzione della profondità ipocentrale (si veda legenda colori di Figura 2).

**Figure 4** Result of the simulations carried out for the 16 January 2017,  $M_L=5.4$  earthquake (09:25:40 UTC). The graphics in panel A show the trend of the number of triggered events in function of the configuration parameters (a different combination of parameters is associated with each test, the number of which is shown in ordinate). In the upper part it is shown, the trend of the average of the  $DT$  difference between the PRESTo automatic picking of phase ( $T_{\text{presto}}$ ) at the single stations and the corresponding ONT manual values ( $T_{\text{ont}}$ ), with the relative errors. The lower part of panel A shows the trend of the number of stations that have not triggered/linked the event as the parameters change. Panels B, C, D show the distribution of the stations of the monitoring network for three different tests carried out (TEST6-B, TEST11-C, and TEST20-D) highlighting which stations in PRESTo, have triggered, have been linked to the event, and which ones are triggered in the ONT catalog (triangles with green borders). The localization of PRESTo and ONT are also displayed with the color as a function of the hypocentral depth (see color legend in Figura 2).

I pannelli B, C, D delle Figura 4 e 6 mostrano invece la distribuzione delle stazioni della rete di monitoraggio per tre diversi test effettuati (TEST6-B, TEST11-C, e TEST20-D) evidenziando quali stazioni, per quel particolare test, hanno *triggerato* in PRESTo (triangoli rossi), sono state anche linkate all'evento (triangoli blu) e quali invece hanno *triggerato* e possiedono *picking* nel catalogo ONT (triangoli evidenziati in verde). Nell'esaminare le differenze tra i risultati di PRESTo rispetto al catalogo ONT (in termini di *trigger* alle singole stazioni e di affidabilità della localizzazione), occorre tenere in considerazione alcuni aspetti importanti:

- 1 i test sono stati realizzati ipotizzando una rete di monitoraggio costituita dai soli sensori accelerometrici, come è prassi per una rete dedicata all'EW sismico. Di conseguenza, durante la preparazione del dataset delle forme d'onda, utilizzate per le simulazioni *offline*, talvolta non è stato possibile utilizzare i dati di stazioni installate in zona ed equipaggiate con solo sensore velocimetrico, che al contrario potrebbe essere stato utilizzato per le localizzazioni del catalogo ONT. Tutto questo può determinare un'incongruenza nei valori di localizzazione tra il catalogo PRESTo e quello ONT, essendo talvolta presente un differente numero di stazioni utilizzate nei processi.
- 2 i *picking* di PRESTo sono sempre automatici mentre quelli del catalogo ONT sono rivisti manualmente da operatore in tempi successivi, per cui oltre ad essere più precisi possono contenere dati di un numero maggiore di stazioni (es. dati di stazioni con trasmissione non in *real time* recuperati successivamente). Può dunque accadere che, stazioni scartate dall'automatico vengano poi utilizzate durante una revisione manuale oppure che stazioni i cui dati non erano disponibili all'epoca dell'evento, siano stati successivamente recuperati.

Questi fattori contribuiscono al fatto che, nella maggior parte delle analisi di confronto tra i due cataloghi, si riscontra generalmente un minor numero di *trigger* da parte di PRESTo rispetto all'ONT. Il numero di *trigger* influisce ovviamente anche sul calcolo dei parametri ipocentrali per cui i fattori appena descritti possono spiegare anche la differenza che si riscontra in alcuni casi tra le localizzazioni automatiche di PRESTo e quelle manuali di ONT. Va inoltre evidenziato come in questo lavoro, per garantire una situazione quanto più simile al *real time*, il confronto tra ONT e PRESTo viene effettuato solo sulle 60 stazioni accelerometriche che costituiscono la rete di monitoraggio permanente, ovvero sicuramente disponibile (a meno di stazioni non funzionanti) al tempo di occorrenza degli eventi.

Entrando nei dettagli delle analisi effettuate per singolo esempio, nel caso dell'evento  $M_L = 5.4$  del 18/01/2017 delle 09:25:40 UTC (Figura 4), appare evidente, innanzitutto, come la maggior parte delle stazioni della rete di monitoraggio siano installate a Nord dell'evento e dunque con una distribuzione non ottimale, con una considerevole influenza sulla qualità della localizzazione. Andando ad esaminare nel dettaglio il grafico superiore del pannello A, che mostra l'andamento del valore medio della stima della differenza DT, si può notare un andamento, inizialmente variabile, che va stabilizzandosi già a partire dal TEST12. Appare evidente che, mediamente, il DT si posiziona a  $\sim 0.15$  sec (ad indicare un *picking* di PRESTo spesso in ritardo rispetto alla fase manuale del catalogo ONT). Confrontando l'andamento della media con il grafico sottostante, che fornisce il numero di stazioni che hanno *triggerato* e sono state linkate all'evento, si nota, contemporaneamente ad un abbassamento del valore  $DT_{\text{medio}}$ , una diminuzione del numero di stazioni che non hanno *triggerato* l'evento e che non sono state associate ad esso (triangolo azzurro e quadrato giallo, Pannello A- Figura 4), a partire dal TEST17. Il fatto che il valore medio DT e il numero di stazioni non linkate all'evento risultano variabili nella prima parte del grafico e dunque nei primi test, e in diminuzione e più stabili nella seconda parte, è dovuto al fatto che, se si vanno ad esaminare i corrispondenti valori dei parametri di configurazione (Tabella 1), si può notare che durante le prime analisi sono stati parzialmente variati sia i parametri del picker (*picker\_filterWindow*, *picker\_longTermWindow*, *picker\_threshold1*, *picker\_threshold2*, *picker\_tUpEvent*) che quelli delle coincidenze (*binder\_stations\_for\_coincidence*, *binder\_secs\_for\_coincidence*).

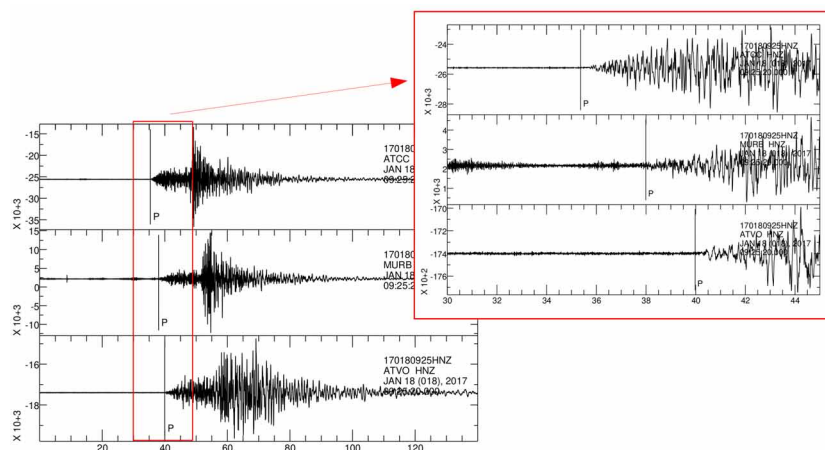


Nei test successivi, almeno fino al TEST21, vengono invece modificati soprattutto i parametri per la ricerca delle coincidenze e quindi quei parametri all'interno della sezione *binder* che determinano l'assegnazione di un *picking* ad un evento e la sua successiva, eventuale, dichiarazione come tale. In particolare, fino al TEST11, le variazioni riguardano principalmente i parametri per il *trigger* (da qui valori più alti e variabili nel numero di stazioni che non hanno *triggerato*); a partire dal TEST12 il numero di stazioni che non hanno *triggerato* diventa più stabile mentre varia il numero di stazioni che non sono state associate fino ad arrivare al TEST17, dove entrambe le distribuzioni raggiungono contemporaneamente i valori tra i più bassi.

Se si osservano i pannelli B, C, D della Figura 4 in cui sono confrontate la localizzazione ONT (stella verde), quella di PRESTo (cerchio) e le stazioni che hanno *triggerato* l'evento (triangoli rossi) e sono state associate ad esso (triangoli blu) si può notare come la localizzazione risenta della distribuzione delle stazioni che hanno *triggerato* l'evento e sono state ad esso associate. I test 6 e 11 presentano infatti una variabilità della localizzazione sia in orizzontale che in verticale attribuibile, almeno in parte, alla diversa distribuzione delle stazioni che *triggerano* l'evento e che vengono associate ad esso. È inoltre da sottolineare che il TEST6 è uno dei primi test in cui l'opzione *locate\_use\_non\_triggering\_stations* era disabilitata ed infatti, il fatto che in questo caso il sistema non adoperi le stazioni che non hanno *triggerato* l'evento porta la localizzazione più vicina a quella ONT. Nel momento in cui nel TEST11, l'opzione viene abilitata ma la configurazione non è ancora quella ottimale, la localizzazione automatica viene spostata più a nord perché tiene conto del fatto che le stazioni a sud non hanno *triggerato* l'evento. La localizzazione diviene più consistente con quella ONT nel TEST20 quando, a seguito dell'ottimizzazione dei parametri di configurazione, la maggior parte delle stazioni che hanno *triggerato* l'evento vengono anche associate ad esso.

Il motivo per il quale si nota questa variabilità nella risposta delle stazioni al variare dei parametri di configurazione può risultare più chiaro se si vanno ad analizzare i segnali di Figura 5. La figura mostra infatti tre esempi di segnali (componenti verticali) relativi a tre stazioni aventi stesso azimut rispetto all'evento in esame (~323°), ma poste a differenti distanze. È da evidenziare che la figura mostra le tracce accelerometriche in cui sono stati inseriti, come riferimento, i *picking* manuali presenti sul sito ONT desunti dalle corrispondenti tracce velocimetriche. Questa scelta è dovuta al fatto che, nel caso di PRESTo, i *picking* sono strettamente dipendenti dai parametri di configurazione. Dunque, per avere un punto di riferimento univoco, si è preferito utilizzare i *picking* ONT benché nel lavoro si stiano analizzando esclusivamente tracce accelerometriche. Ci si è focalizzati su queste tre stazioni perché, come si può notare dai pannelli B, C, D della Figura 4, la loro "risposta" all'evento è di fatto differente a seconda dei parametri di configurazione utilizzati. Nel caso della stazione MURB (Figura 5 - pannello inferiore) a cui sono associati valori di soglie STA/LTA più alti e che nel TEST6 non *triggera* l'evento, si può notare come il segnale si presenti più rumoroso prima del *picking* P se confrontata con le medesime componenti delle stazioni ATVO e ATCC (Figura 5 - pannello centrale e superiore). Questo comporta una probabilità più bassa, da parte della stazione MURB, di soddisfare le particolari condizioni imposte per la dichiarazione di un *trigger* nel TEST6. D'altro canto, nel medesimo test si osserva anche che la stazione ATVO, pur presentando una evidente potenziale fase P (box rosso, Figura 5) non viene linkata all'evento; questo perché, molto probabilmente, non soddisfa una delle condizioni per la coincidenza (distanza temporale o distanza spaziale) essendo la più lontana dall'evento (~120 km). La situazione cambia nel TEST11 in cui i valori delle soglie sia per il *trigger* che per la ricerca delle coincidenze vengono parzialmente modificate cosicché le tre le stazioni esaminate *triggerano* l'evento e due su tre di esse, vengono associate ad esso. Nel TEST20, infine, i valori dei parametri di calibrazione garantiscono che tutte e tre le stazioni *triggerino* l'evento e siano associate ad esso. L'aumento del numero di stazioni associate all'evento garantisce, come già accennato in precedenza, una localizzazione più stabile e più consistente con quella dell'ONT (Pannello D, Figura 4); in quest'ultimo esempio, infatti, la

differenza tra le due localizzazioni risulta essere di ~10 km in orizzontale, mentre l'evento è localizzato da PRESTo più in superficie, ad una profondità di ~4 km rispetto ai 9 km dichiarati ONT. La Figura 5 mostra nel pannello superiore anche la componente verticale della stazione ATCC come esempio di una stazione che *triggera* e viene sempre associata all'evento, indipendentemente dai valori dei parametri di configurazione, grazie alla qualità del segnale in cui è visibile nettamente sia la fase P che la fase S e alla minore distanza epicentrale dall'evento in esame. Se si osservano le stazioni più vicine all'evento si può notare come diverse di esse risultano non avere *trigger* né in PRESTo né per l'ONT (es. AQU, NRCA GAVE). Questo è dovuto, molto probabilmente, ad un momentaneo malfunzionamento o a problemi di connettività.



**Figura 5** Esempi di forme d'onda accelerometriche relative all'evento  $M_L = 5.4$  del 18/01/2017 (09:25:40 UTC), registrate alle stazioni ATCC (pannello in alto, distanza epicentrale ~ 90 km, azimuth ~ 324°), ATVO (pannello al centro, distanza epicentrale ~120 km, azimuth ~323°) e MURB (pannello in basso, distanza epicentrale ~104 km, azimuth ~323°). Per tutte le stazioni vengono visualizzate le componenti verticali perché costituiscono le uniche componenti utilizzate dal sistema PRESTo per la determinazione dei *picking* della fase P. Nel riquadro rosso a destra è mostrato uno zoom dei segnali sulla finestra temporale nell'intorno dei *picking*. Le barre verticali indicano i tempi dei primi arrivi (fasi P) secondo il bollettino ONT.

**Figure 5** Examples of accelerometric waveforms related to the 16 January 2017,  $M_L = 5.4$  earthquake (09:25:40 UTC), recorded at the stations ATCC (top panel, epicentral distance ~90 km, azimuth ~324°), ATVO (center panel, epicentral distance ~120 km, azimuth ~324°) and MURB (bottom panel, epicentral distance ~9104 km, azimuth ~323°). For all the stations only the vertical components are displayed because they are the only components used by the PRESTo system for the determination of the P phase picking. The red box on the right shows a zoom of the time window signals around the picking. The vertical bars show the times of the first arrivals (P phases) from the ONT bulletin.

Nonostante l'assenza di parte dei segnali, è comunque interessante notare come l'evento sia sempre *triggerato* dal software e che quindi, ottimizzando i parametri di configurazione, è possibile comunque ottenere localizzazioni coerenti con quelle ottenute mediante revisione manuale, con scarti dell'ordine dell'errore di localizzazione. Allo stesso modo risulta chiaro che la localizzazione risente fortemente della non uniformità sia della geometria di rete sia dell'assenza dei segnali di alcune delle stazioni installate in area epicentrale che all'epoca dell'evento o non erano funzionanti o non erano dotate di accelerometro.

L'effetto sulla localizzazione della maggiore uniformità della distribuzione delle stazioni della rete di monitoraggio e della presenza di un maggior numero di segnali disponibili, risulta particolarmente evidente se si vanno a fare le medesime considerazioni sull'evento di  $M_L = 4.1$  del 01/09/2019 delle 00:02:39 (Figura 6) per il quale erano disponibili i segnali per tutte le

stazioni e che si localizza nella parte più centrale della rete di monitoraggio. Come si può notare la presenza non solo di un maggior numero di registrazioni ma soprattutto di una rete più uniforme nell'intorno dell'epicentro, consente sia la detezione dell'evento in tutti i test effettuati, sia una localizzazione più stabile e consistente con quella del catalogo ONT anche nei primi test. Inoltre si può notare come, anche con parametri di configurazione non perfettamente calibrati (primi test effettuati), il numero di stazioni che hanno *triggerato/linkato* l'evento sia comunque più elevato rispetto all'evento  $M_L = 5.4$  (grafico inferiore, pannello A - Figura 6)

L'andamento del  $DT_{\text{medio}}$  (grafico superiore, pannello A - Figura 6) appare molto stabile con un valore che si assesta tra 0.02 s e 0.1 s, ad indicare una maggiore coerenza dei *picking* automatici di PRESTo con quelli manuali dell'ONT, indipendentemente dai valori dei parametri di configurazione. Confrontando con il grafico sottostante si può notare che il numero di stazioni che non hanno *triggerato* l'evento resta costante e quindi indipendentemente dal test, mentre il numero di stazioni che non sono state associate all'evento (alto nella prima fase dei test) subisce un brusco calo a partire dal test 18 (fatta eccezione per i test 19 e 20). I pannelli B, C e D di Figura 6 invece mostrano chiaramente come, indipendentemente dalla combinazione di parametri adoperati e dal numero di stazioni linkate all'evento, la localizzazione si presenta stabile e coerente con quella manuale dell'ONT.

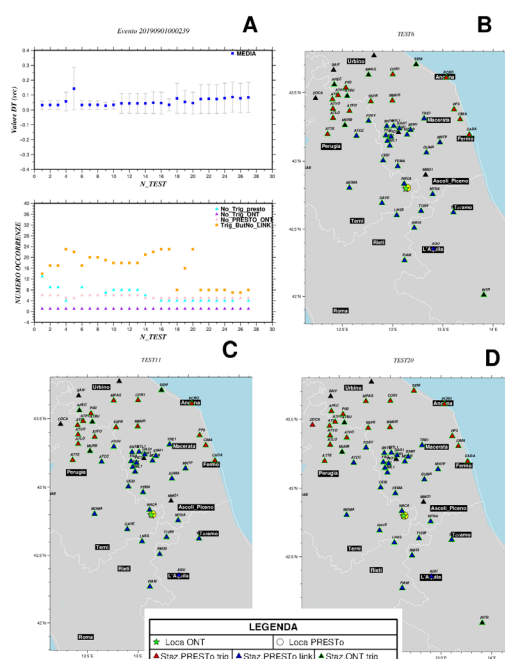


Figura 6 Stesse immagini di Figura 3, relative all'evento  $M_L = 4.1$  del 01/09/2019 (ore 00:02:39 UTC).

Figure 6 Same images of Figure 3, relative to the 01 September 2019,  $M_L = 4.1$  earthquake (00:02:39 UTC).

Questo è principalmente dovuto al fatto che per questo evento, localizzato a centro rete, sono disponibili i dati di tutte le stazioni nel raggio di  $\sim 60$  km. Mentre a variare tra un test e l'altro è di fatto il numero di stazioni associate all'evento, poste ad una maggiore distanza, il cui contributo, in questo particolare esempio, non risulta però influire in maniera sostanziale sulla stabilizzazione della localizzazione.

L'esempio relativo all'evento  $M_L = 4.$ , confrontato con il precedente caso dell'evento  $M_L = 5.4$  mette bene in evidenza come l'effetto della non uniformità della rete e della carenza di segnali risulti un aspetto critico. Andando ad esaminare le simulazioni relative a tutti gli altri eventi del catalogo con  $M_L > 5$  si riscontra la stessa problematica già evidenziata per l'evento di Figura 4, dato che essi si presentano tutti nella parte sud orientale della catena appenninica (Figura 3). Essendo gli eventi tutti localizzati nella medesima area, a bordo rete e mancando per essi il contributo delle stazioni più vicine, la loro localizzazione appare instabile ed una calibrazione dei

parametri di configurazione può solo garantire la detezione dell'evento e una sua localizzazione quanto più prossima a quella manuale. Lo stesso discorso risulta essere tanto più valido per quegli eventi del catalogo selezionato, posti a bordo rete e di magnitudo inferiore. Sulla base di queste considerazioni, pur essendo presenti nel catalogo 4 eventi target di magnitudo  $M_L > 5$  e 13 eventi con  $M_L > 4$ , dopo avere esaminato attentamente tutti i risultati delle simulazioni per tutti i test effettuati e per tutti gli eventi, si è deciso di selezionare per le analisi per l'ottimizzazione dei parametri di configurazione, solo gli eventi localizzati a centro rete con  $4 < M_L < 5$ . Quello che si è deciso di fare, partendo dagli 8 eventi selezionati, è di incrociare i migliori risultati ottenuti dai test per questi eventi. La Tabella 7 mostra per ogni evento, i 2 test che hanno fornito il miglior risultato per quell'evento in termini di numero di stazioni associate, valore medio del DT e precisione della localizzazione localizzazione più prossima a quella dell'ONT. Nelle colonne adiacenti al numero progressivo del test sono riportati i corrispondenti valori delle distanze tra localizzazione automatica di PRESto e quella dell'ONT, i valori della differenza nelle profondità ipocentrali ( $D_{\text{presto}} - D_{\text{ont}}$ ), i valori del numero di *picking* totali associati all'evento ed il corrispondente  $DT_{\text{medio}}$ .

Numero evento	Miglior risultato	Dist_epi (km)	Delta_D (km)	N stazioni linkate	DT_medio (sec)	Miglior risultato (2°)	Dist_epi (km)	Delta_D (km)	N stazioni linkate	DT_medio (sec)
1	TEST22	1.28	-2.49	33	0.06	TEST21	0.53	7.65	33	0.09
10	TEST17	0.32	-0.75	23	0.10	TEST20	0.00	-5.35	20	0.07
11	TEST17	0.52	-0.18	23	0.09	TEST20	0.50	-5.73	22	0.06
13	TEST17	1.39	-6.72	26	0.12	TEST22	1.44	-8.82	35	0.17
14	TEST18	0.98	-5.00	35	0.12	TEST26	0.98	-5.00	33	0.14
17	TEST17	0.49	-3.75	31	0.07	TEST20	0.49	-3.75	31	0.07
18	TEST17	0.29	-1.37	26	0.04	TEST20	0.29	-1.37	26	0.04
20	TEST21	0.91	-0.51	44	0.07	TEST20	0.75	-1.46	25	0.05

**Tabella 7** Sintesi dei risultati per i 2 migliori test per ognuno degli 8 eventi mostrati in Fig 7. Sono riportati per ciascun test le distanze (Dist\_epi) tra le localizzazioni di PRESto e ONT, le rispettive differenze nella profondità ipocentrali ( $\Delta D = D_{\text{PRESto}} - D_{\text{ONT}}$ ), il numero totale di *picking* associati all'evento (N\_linkate) ed il valore medio della differenza DT ( $DT = T_{\text{PRESto}} - T_{\text{ONT}}$ ).

**Table 7** Summary of results for the 2 best tests performed for each of the 8 events, shown in Fig 6. For each test, the epicentral distances (Dist\_epi) between the PRESto and ONT locations, the respective differences in the hypocentral depth ( $\Delta D = D_{\text{PRESto}} - D_{\text{ONT}}$ ), the total number of picking associated with the event (N\_linkate) and the average value of DT ( $DT = T_{\text{PRESto}} - T_{\text{ONT}}$ ), are shown.

Incrociando i risultati relativi agli 8 eventi in esame, al fine di individuare a quale test corrisponde il maggior numero di risultati migliori, si riscontra che per la maggior parte degli 8 eventi analizzati (e in realtà per buona parte degli altri eventi appartenenti al catalogo di cui qui non sono riportati i risultati per brevità) compaiono ripetutamente il TEST17 ed il TEST20 come quelli che forniscono il miglior risultato (occorrenza 5 volte su 8, tra primo e secondo miglior risultato). Se si va a visualizzare la localizzazione automatica di PRESto degli 8 eventi selezionati dal catalogo con la configurazione relativa al TEST17 (che nella tabella appare comunque sempre come il primo miglior risultato rispetto al TEST20) (Figura 6-B), si trova effettivamente un buon accordo tra le localizzazioni automatiche di PRESto e quelle manuali dell'ONT, fatta eccezione per l'evento 14 in cui la localizzazione automatica pone l'evento in aria (pallino nero). Incrociando tali risultati con quelli relativi agli altri eventi di  $M_L > 5$ , benché localizzati a bordo rete, si trova che le migliori prestazioni del programma sono quelle relative al TEST17.

## 5. Configurazione del sistema PRESTo nella sede INGV di Milano

Lo scopo del lavoro è stato la realizzazione di una serie di test al fine di ricavare i valori ottimali dei principali parametri di configurazione del sistema PRESTo di modo da garantire le migliori prestazioni del software in modalità *real time* in termini di deteazione di eventi e determinazione dei parametri ipocentrali.

I risultati ottenuti sono sintetizzati nella Tabella 2 del presente lavoro.

Da marzo 2019 il sistema PRESTo è in esecuzione in *real time* su una *workstation* della sede di Milano dell'INGV dove, acquisendo i dati delle stazioni accelerometriche installate nell'area target del Centro Italia, effettua, a seguito di ogni deteazione, le analisi automatiche di routine, emettendo un segnale sonoro ogni qualvolta un terremoto viene riconosciuto come tale e quindi *triggerato* da un numero minimo di stazioni impostato a priori. Il software è stato inizialmente eseguito utilizzando le configurazioni di default utilizzate dagli sviluppatori per la rete ISNet dell'Irpinia [Irpinia Seismic Network - <http://isnet.fisica.unina.it/>]. Essendo ISNet molto differente rispetto alla rete target utilizzata in Centro Italia per tipo di sensoristica, estensione, densità e geometria, è stato di conseguenza necessario individuare una configurazione ad hoc per l'area test selezionata nel progetto ART-IT. A seguito delle analisi eseguite e descritte nel presente lavoro, la configurazione del software è stata ottimizzata e da Luglio del 2020, il sistema processa in *real time* adoperando la configurazione riportata in Tabella 4.

## 6. Conclusioni generali

Le analisi effettuate hanno permesso di individuare una parametrizzazione ottimale per l'utilizzo di PRESTo (vedi Tabella 2). Nel contempo hanno anche permesso di mettere in luce criticità e problematiche riscontrate nella fase di calibrazione e analisi del software.

In particolare si è riscontrata una notevole complessità e poca flessibilità del software per quanto riguarda i file di input e di output. La rigidità sia nei nomi dei file sia in termini di loro localizzazione/path hanno reso particolarmente difficoltosa la fase di test basata sull'utilizzo di differenti file di configurazione (ad ognuno dei quali deve però essere assegnato il medesimo nome per essere riconosciuto dall'algoritmo) e conseguente produzione di differenti file di output che, appartenendo ad un medesimo evento ma generati con differenti configurazioni, se non immediatamente riposizionati, al termine del test venivano automaticamente sovrascritti a quelli prodotti nel test precedente. Anche la gestione delle stazioni si è rivelata difficoltosa, limitando, come già evidenziato dal Capitolo 3, le analisi: l'assenza di file contenenti la storia strumentale in termini di risposta quali file *.xml* o *dataless* rende la procedura per nulla automatica soprattutto in caso di complessa storia strumentale nel tempo.

A livello generale, come per la maggior parte dei sistemi di monitoraggio, si è riscontrata una forte dipendenza dalla geometria della rete e dalla densità di stazioni; il che comporta una pesante fase preliminare di pianificazione e ottimizzazione della geometria di rete.

Attualmente (da Luglio 2020) il sistema è in acquisizione con la nuova configurazione. Avendo più di un anno di dati a disposizione è auspicabile poter effettuare una serie di analisi che evidenzino sia le prestazioni del software in termini di *early warning* sia le sue potenzialità per un'applicazione a scala nazionale. Quanto visto finora con la fase di calibrazione mostra comunque una notevole difficoltà in termini di applicabilità dell'algoritmo a scala nazionale.

## Bibliografia

- Akkar S. and Bommer J.J., (2007). *Empirical prediction equations for peak ground velocity derived from strong-motions records from Europe and the Middle East*. Bull. Seism. Soc. Am., 97(2):511–530. <https://doi.org/10.1785/0120060141>
- Allen R.V., (1978). *Automatic earthquake recognition and timing from single traces*. Bull. Seism. Soc. Am., 68, 1,521–1,532. <http://doi.org/10.1785/BSSA0680051521>
- Allen R.V., (1982). *Automatic phase pickers: Their present use and future prospects*. Bull. Seism. Soc. Am., 72, S225–S242. <http://doi.org/10.1785/BSSA07206B0225>
- Baer M. and Kradolfer U., (1987). *An automatic phase picker for local and teleseismic events*. Bull. Seism. Soc. Am., 77, 1,437–1,445. <http://doi.org/10.1785/BSSA0770041437>
- Carannante S., Monachesi G., Cattaneo M., Amato A. and Chiarabba C., (2013). *Deep structure and tectonics of the northern-central Apennines as seen by regional-scale tomography and 3-D located earthquakes*. J. Geophys. Res., 118, no. 10, 5391–5403. <http://doi.org/10.1002/jgrb.50371>
- Caruso A., Colombelli S., Elia L., Picozzi M. and Zollo A., (2017). *An on-site alert level early warning system for Italy*, J. Geophys. Res. 122. <http://doi.org/10.1002/2016JB013403>
- Emolo, A., Picozzi M., Festa G., Martino C., Colombelli S., Caruso A., Elia L., Zollo A., Brondi P., and Miranda N., (2016). *Earthquake early warning feasibility in the Campania region (southern Italy) and demonstration system for public school buildings*. Bulletin of Earthquake Engineering, 14(9):2513–2529. <http://doi.org/10.1007/s10518-016-9865-z>
- Festa G., Picozzi M., Caruso A., Colombelli S., Cattaneo M., Chiaraluce L., Elia L., Martino C., Marzorati S., Supino M. and Zollo A., (2018). *Performance of Earthquake Early Warning Systems during the 2016–2017 Mw 5–6.5 Central Italy Sequence*, Seism. Res. Lett. 89, 1–12, <http://doi.org/10.1785/0220170150>
- Goldstein P., Dodge D., Firpo M., Minner L., (2003). *SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers*. Invited contribution to “The IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology”, Edited by WHK Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings, and C. Kisslinger, Academic Press, London.
- Goldstein P. and Snoko A., (2005). *SAC Availability for the IRIS Community*. Incorporated Institutions for. Seismology Data Management Center Electronic Newsletter.
- Iannaccone G., Zollo A., Elia L., Convertito V., Satriano C., Martino C., Festa G., Lancieri M., Bobbio A., Stabile T.A., Vassallo M. and Emolo A., (2010). *A prototype system for earthquake early-warning and alert management in southern Italy*. Bull. Earthquake Eng., <http://doi.org/10.1007/s10518-009-9131-8>
- Ladina C., Marzorati S., Amato A. and Cattaneo M., (2021). *Feasibility Study of an Earthquake Early Warning System in Eastern Central Italy*, Front. Earth Sci., <http://doi.org/10.3389/feart.2021.685751>
- Lancieri M. and Zollo A., (2008). *Bayesian approach to the real-time estimation of magnitude from the early P and S wave displacement peaks*. J Geophys. Res; 113(B12), <http://doi.org/10.1029/2007JB005386>.
- Lomax A., Virieux J., Volant P. and Berge C., (2000). *Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations*. in Advances in Seismic Event Location Thurber, C.H., and N. Rabinowitz (eds.), Kluwer, Amsterdam, 101-134.
- Lomax A., and Curtis A., (2001a). *Fast, probabilistic earthquake location in 3D models using Oct-tree importance sampling*, Geophys. Res. Abstr. 3, 955.
- Lomax A., Zollo A., Capuano P. and Virieux J., (2001b). *Precise, absolute earthquake location under Somma-Vesuvius volcano using a new 3D velocity model*. Geophys. J. Int., 146, 313-331. <http://doi.org/10.1046/j.0956-540x.2001.01444.x>

- Lomax A., Satriano C. and Vassallo M., (2012). *Automatic picker developments and optimization: FilterPicker - a robust, broadband picker for real-time seismic monitoring and earthquake early-warning*. Seism. Res. Lett., 83:531-540, <http://doi.org/10.1785/gssrl.83.3.531>
- Picozzi M., Zollo A., Brondi P., Colombelli S., Elia L. and Martino C., (2015). *Exploring the Feasibility of a Nation-Wide Earthquake Early Warning System in Italy*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. <http://doi.org/10.1002/2014JB011669>
- Satriano C., Lomax A. and Zollo A., (2008). *Real-time evolutionary earthquake location for seismic early warning*. Bull. Seism. Soc. Am., 98(3):1482-94, <http://doi.org/10.1785/0120060159>
- Satriano C., Elia L., Martino C., Lancieri M., Zollo A. and Iannaccone G., (2011). *PRESTo, the earthquake early warning system for southern Italy: Concepts, capabilities and future perspectives*. Soil Dyn. Earthquake Eng., 31(2), 137- 153, <http://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.06.008>
- Tusa G., Musumeci C. and Patanè D., (2017). *Estimation of Earthquake Early Warning Parameters for Eastern Sicily*, Bull. Seism. Soc. Am., 107 (3): 1464-1477, <http://doi.org/10.1785/0120160247>
- Trnkoczy A., (1999). *Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm*. In P. Bormann, New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2) (p. 20). Potsdam: IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences. [http://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2\\_IS8.1](http://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2_IS8.1)
- Valbonesi C., (2021). *Between Necessity and Legal Responsibility: The Development of EEWS in Italy and its International Framework*. Front. Earth Sci., <http://doi.org/10.3389/feart.2021.685153>
- Vassallo M., Satriano C. and Lomax A., (2012). *Automatic picker developments and optimization: An optimization strategy for improving the performances of automatic phase pickers*. Seism. Res. Lett., 83, 531-540, <http://doi.org/10.1785/gssrl.83.3.531>

# QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

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

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

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

# RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

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

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

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

# MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

[http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html](http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html/)

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

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



**Coordinamento editoriale**

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

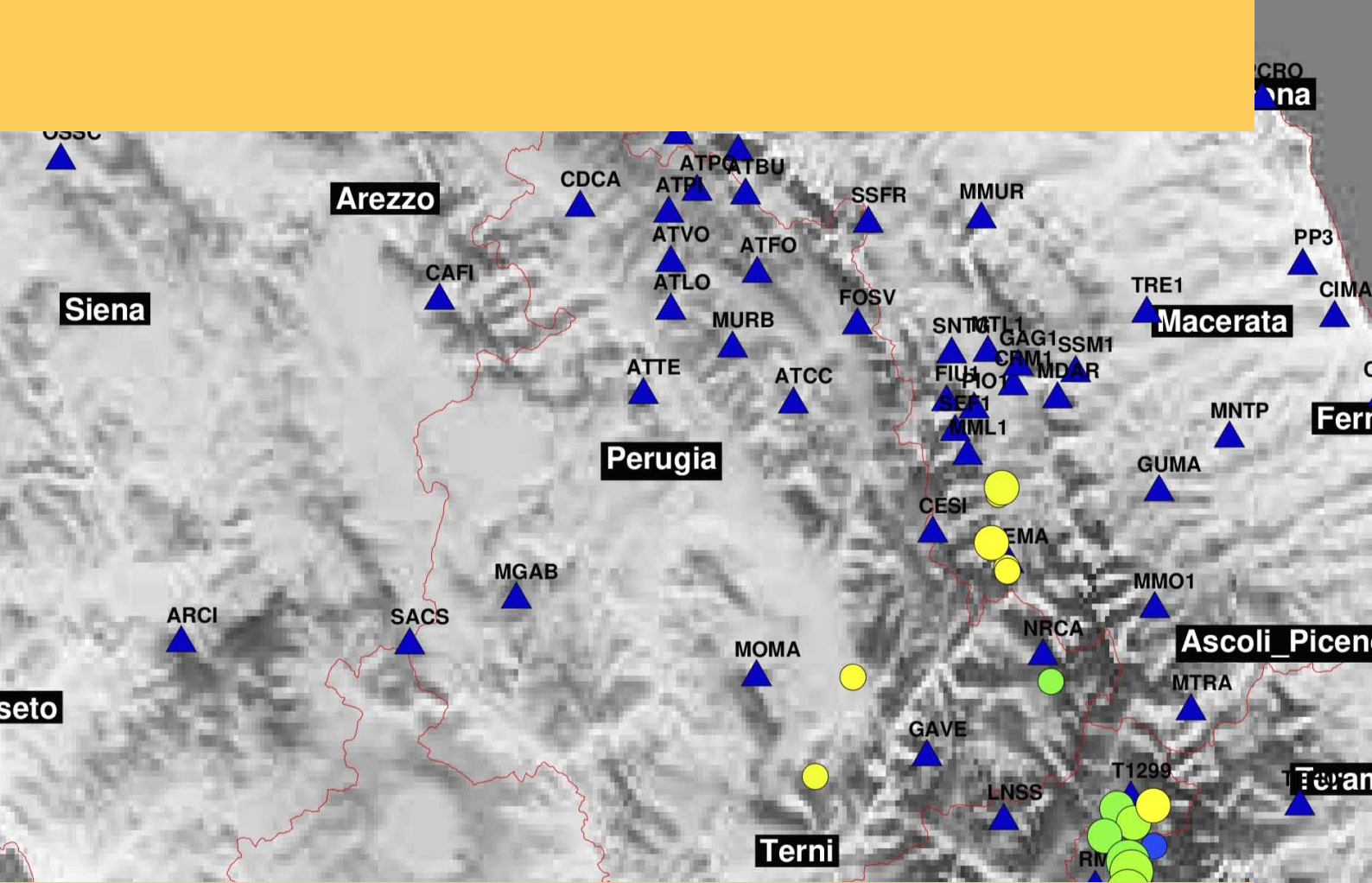
©2022

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

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

