

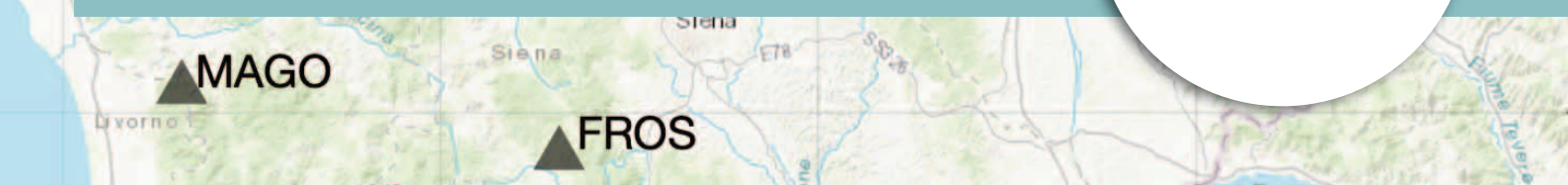
QUADERNI di GEOFISICA

Sciame sismico nel Chianti fiorentino
(2022). Le attività del Gruppo
Operativo di emergenza SISMOKO



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

185



Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editorial Board

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

Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)

Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)

Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)

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

Luigi CUCCI (luigi.cucci@ingv.it)

Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)

Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)

Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)

Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)

Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)

Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)

Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi@ingv.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

QUADERNI di GEOFISICA

Sciame sismico nel Chianti fiorentino (2022).
Le attività del Gruppo Operativo di emergenza
SISMIKO

*Seismic swarm in the Chianti fiorentino (2022).
The activities of the SISMIKO emergency group*

Davide Piccinini¹, Damiano Biagini¹, Ezio D'Alema², Michele D'Ambrosio¹, Simone Marzorati³,
Lucia Margheriti³, Milena Moretti³, Marina Pastori³, Gilberto Saccorotti¹, Laura Scognamiglio³,
Luciano Zuccarello¹

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

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

³INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

Accettato 15 marzo 2023 | Accepted 15 March 2023

Come citare | How to cite Piccinini D., Biagini D., D'Alema E., D'Ambrosio M., Marzorati S., Margheriti L., Moretti M., Pastori M., Saccorotti G.,
Scognamiglio L., Zuccarello L., (2023). Sciame sismico nel Chianti fiorentino (2022). Le attività del Gruppo Operativo di emergenza SISMIKO.
Quad. Geofis., 185: 1-26, <https://doi.org/10.13127/qdg/185>

In copertina | Mappa delle stazioni sismiche nell'area interessata dallo sciame sismico del Chianti fiorentino | Cover | Map of the seismic stations
located in the area affected by the seismic swarm

185

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	7
Introduzione	7
1. Inquadramento geologico-strutturale, sismotettonico e sismicità storica e sismicità strumentale recente	9
2. Lo sciame sismico del maggio 2022	11
3. L'intervento del Gruppo Operativo SISMICO	14
3.1 Manutenzione e disinstallazione della rete sismica temporanea	16
3.2 La gestione della rete e dei dati; analisi qualità siti	16
4. Analisi preliminari	17
5. Discussioni e conclusioni	19
Ringraziamenti	20
Bibliografia	20
Sitografia	22

Riassunto

Nel mese di maggio 2022 è iniziato uno sciame sismico, di breve durata, che ha interessato una piccola area del Chianti fiorentino a circa 15 km a sud dalla città di Firenze. I due terremoti più energetici hanno avuto una magnitudo momento pari a 3.7; nonostante la magnitudo modesta, tali eventi sono stati avvertiti distintamente fino a distanze di diverse decine di chilometri, e hanno destato preoccupazione nella popolazione prossima all'area epicentrale. Inoltre, dato l'ingente patrimonio artistico presente nel capoluogo toscano, questo episodio ha sollevato interrogativi sulla sua vulnerabilità anche a scuotimenti del suolo di piccola entità.

Al fine di migliorare le conoscenze sulla ubicazione e le dimensioni delle strutture sismogenetiche attive in prossimità di Firenze, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è intervenuto nell'area interessata dallo sciame attraverso il Gruppo Operativo (GO) di emergenza SISMIKO. Il 4 maggio, giorno successivo all'inizio dello sciame, cinque stazioni sismiche mobili sono state installate a distanza ravvicinata dall'area epicentrale, e integrate nel sistema di monitoraggio permanente INGV.

Questo lavoro descrive le procedure relative a: (i) l'installazione, la manutenzione e la disinstallazione della rete sismica mobile; (ii) la gestione e il controllo di qualità dei dati acquisiti. Infine, vengono presentate, in riferimento al contesto sismotettonico dell'area, le caratteristiche spaziali e l'evoluzione temporale dello sciame, che ha presentato una piccola ripresa nell'attività sismica ad agosto del 2022, con un terremoto di magnitudo locale 2.7 e successive repliche.

Abstract

During May 2022, a short-lived seismic swarm affected a small area of the Chianti fiorentino region about 15 km south of Florence. The two strongest earthquakes of the swarm reached Mw 3.7; nonetheless, they were distinctly felt up to distances of several tens of kilometers, causing residents' concern. Moreover, the presence of a huge artistic heritage in the surrounding areas raises questions about its vulnerability to even minor ground shaking. In order to improve knowledge of the location and size of active seismogenic structures in the vicinity of Florence, the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) responded promptly through the SISMIKO emergency group. On the 4th of May, the day after the beginning of the sequence, five mobile seismic stations were installed at close range from the epicentral area and integrated into the INGV permanent monitoring system. This report describes the procedures related to: (i) deployment, maintenance and dismissal of the mobile network; (ii) management and quality control of the acquired data. Finally, in the frame of the seismo-tectonic context of the area, we present a preliminary overview about the spatial features and temporal evolution of the swarm which had a slight resumption in August 2022, with a magnitude 2.7 event and its aftershocks.

Keywords | Sciame sismico; Reti sismiche di pronto intervento; Chianti fiorentino | Seismic swarm; Rapid response seismic networks

Introduzione

Con il suo straordinario patrimonio storico e artistico, la città di Firenze rappresenta un esempio emblematico di insediamento urbano soggetto a moderata pericolosità sismica, ma con un livello

di rischio molto elevato. La città è infatti ubicata a poche decine di chilometri da alcune importanti strutture sismogenetiche associate al bacino intermontano del Mugello, che in tempi storici recenti hanno prodotto terremoti fino a magnitudo momento (Mw) pari a 6.4 (evento del 29/06/1919 [Rovida et al., 2020; 2022]). Tuttavia, gli effetti sismici maggiori in città sono quelli legati all'azione di poche sorgenti sparse, meno estese, e quindi capaci di dare luogo a eventi sismici di minore energia.

Nel mese di maggio 2022, uno sciame sismico si è verificato nell'area del Chianti fiorentino, circa 15 km a sud della città di Firenze. I due terremoti più energetici hanno avuto Mw 3.7 e sono stati risentiti a distanze di diverse decine di chilometri dall'area epicentrale causando una notevole preoccupazione negli abitanti delle aree più prossime. È inoltre emerso, presso le autorità locali, il problema della vulnerabilità del patrimonio storico e artistico, sottoposto a un rischio considerevole anche nel caso di scuotimenti del suolo di piccola entità.

Allo scopo di migliorare la risoluzione nella localizzazione dello sciame sismico in corso, il Gruppo Operativo (GO) SISMICO [Moretti et al., 2016] [1] ha predisposto un intervento a partire dal 4 maggio, con l'installazione di una rete sismica temporanea composta da 5 stazioni sismiche posizionate in modo tale da aumentare la densità della rete sismica permanente nell'area (Figura 1), costituita dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV nell'area (RSN, codice di rete internazionale "IV" [Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2005]) integrata con la Rete Sismica regionale dell'Italia Nord-occidentale gestita dal DISTAV dell'Università di Genova (RSNI, codice "GU" [University of Genova, 1967]).

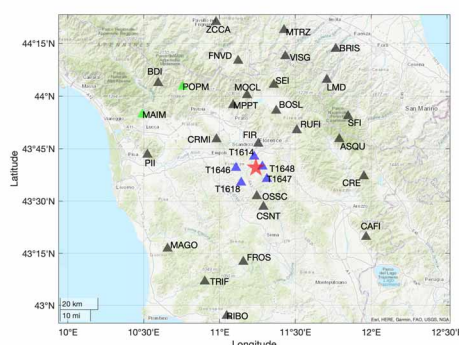


Figura 1 Mappa delle stazioni sismiche nell'area interessata dallo sciame sismico del Chianti fiorentino nel 2022. Con i triangoli neri sono indicate le stazioni sismiche permanenti della RSN dell'INGV (codice internazionale IV), in verde della RSNI dell'Università di Genova (GU), in blu le stazioni della rete temporanea installata da SISMICO in occasione dello sciame. La stella rossa indica l'epicentro del terremoto di Mw 3.7 del 3 maggio 2022 alle ore 15:50 UTC.

Figure 1 Map of the seismic stations located in the area affected by the seismic swarm. The permanent seismic stations of network IV are the black triangles, in green the permanent stations of the GU network, while the temporary stations installed during the sequence are blue. The red star indicates the Mw 3.7 earthquake location occurred on May 3, 2022 at 15:50 UTC.

Il GO SISMICO, che coordina le reti sismiche mobili di emergenza dell'INGV, interviene generalmente per terremoti di magnitudo maggiore di 5.0, ma considerato il grado di attenzione della popolazione locale sull'argomento, della storia sismica e del patrimonio storico e artistico dell'area, è andato in deroga a tale soglia [2] come già accaduto in passato (ad esempio, per il terremoto di Salemi nel settembre del 2020 [Alparone, et al., 2020]). Questo intervento ha inoltre offerto al GO la possibilità di verificare alcune procedure introdotte nel flusso di lavoro e ancora mai verificate in applicazioni reali.

La rete sismica temporanea, rimasta in funzione fino al 7 settembre 2022, ha trasmesso i dati in tempo reale al centro acquisizione INGV a Roma. I sismogrammi acquisiti dalle stazioni temporanee hanno contribuito, quando ritenuto necessario dal personale in turno, alle localizzazioni del servizio di sorveglianza sismica dell'INGV e successivamente al Bollettino Sismico Italiano (BSI [3]). Inoltre, tutti i segnali delle stazioni temporanee sono stati da subito integrati nel *database* delle forme d'onda *European Integrated Data Archive* nodo Italia (EIDA [4]), divenendo quindi liberamente fruibili dalla comunità scientifica.

1. Inquadramento geologico-strutturale, sismotettonico, sismicità storica e sismicità strumentale recente

L'area del Chianti, interessata dallo sciame sismico oggetto di tale studio, è una dorsale situata nella porzione centrale dell'Appennino settentrionale e separa i bacini Mio-Pliocenici del Valdarno a ENE da quelli della Val d'Elsa e Siena a WSW ed è costituita dai termini più recenti della Serie Toscana (Macigno e Scaglia Toscana) che hanno sovrascorso le Unità Liguri. La dorsale del Chianti è considerata una porzione di un elemento morfo-strutturale più ampio e articolato noto in letteratura come la dorsale Abetone-Cetona [Merla, 1951] che secondo alcuni autori [es. Carmignani et al., 2004] separa due diverse porzioni di Appennino. Come in altre parti dell'Appennino settentrionale, anche nell'area toscana si osservano elementi di tettonica compressiva progressivamente sostituiti da una tettonica estensionale. Da un punto di vista strutturale la dorsale del Chianti rappresenta un elemento di "alto" ed è caratterizzata da faglie normali orientate secondo la direzione appenninica NW-SE [es. Argnani et al., 2003; Cornamusini, 2012] prevalentemente immergenti a SW, ma non è rara l'attivazione di faglie orientate ENE-WSW con cinematica trascorrente, sia destra che sinistra, come quella degli eventi dello sciame del Chianti fiorentino qui descritta. Storicamente, i massimi effetti riportati nel Database Macrosismico Italiano (DBMI15 [Locati et al., 2022] [5]) per l'area di Firenze raggiungono un'intensità del VII grado MCS e sono relativi agli eventi del: 1148 con una magnitudo stimata pari a 5.1 a Firenze; 07/08/1414 con una magnitudo stimata 5.7, nelle Colline Metallifere; 28/09/1453 di magnitudo stimata 5.4 e 18/05/1895 di magnitudo stimata 5.5, entrambi nel fiorentino (Tabella 1).

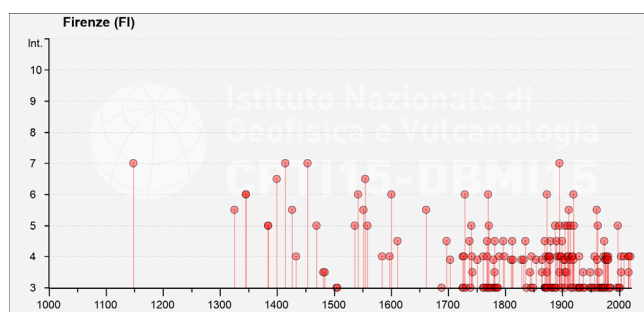
Intensità	A	M	G	h	m	S	Area Epicentrale	Lat	Lon	Mw
7	1148						Firenze	43,773	11,257	5,1
7	1414	8	7				Colline Metallifere	43,27	11,121	5,7
6-7	1399	7	20	23			Appennino modenese	44,441	10,925	5,1
6-7	1554	11	27	18	30		Firenze	43,773	11,257	4,86
7	1453	9	28	22	45		Fiorentino	43,783	11,287	5,38
7	1895	5	18	19	55	12	Fiorentino	43,703	11,264	5,5
6	1345	9	12				Firenze	43,773	11,257	4,63
6	1345	12	22				Firenze	43,773	11,257	4,63
6	1542	6	13	2	15		Mugello	44,006	11,385	6,02
6	1600	7	6				Firenze	43,773	11,257	4,63
6	1729	6	23				Casentino	43,773	11,486	4,63
6	1770	12	27	4			Valdarno superiore	43,701	11,409	4,86
6	1873	3	12	20	4		Appennino marchigiano	43,089	13,244	5,85
6	1919	6	29	15	6	13	Mugello	43,957	11,482	6,38

Tabella 1 Elenco dei terremoti storici avvertiti a Firenze con intensità maggiore o uguale a 6 (CPTI15 [Rovida et al., 2022] [5]).

Table 1 List of historic earthquakes felt in Florence with an intensity greater than or equal to 6 (CPTI15 [Rovida et al., 2022] [5]).

Il terremoto di magnitudo più elevata avvenuto in zona è quello avvenuto nel Mugello nel 1919 (Mw 6.4), che ha prodotto effetti relativamente bassi nella città di Firenze, raggiungendo un'intensità macrosismica pari a VI (Figura 2).

Figura 2 Grafico dei massimi risentimenti sismici riferiti al comune di Firenze a partire dall'anno 1000 e riportati nel DBMI15 [Locati et al., 2022][5].
Figure 2 Maximum seismic effects referred to the municipality of Florence starting from the year 1000 reported in the Database Macrosismico Italiano (DBMI15 [Locati et al., 2022] [5]).



Nel periodo compreso tra il 1° gennaio 1985 e il 30 aprile 2022, in un'area di 30 km centrata sull'epicentro del terremoto Mw 3.7 del 3 maggio 2022 alle ore 15:50 UTC, il servizio di sorveglianza sismica dell'INGV ha registrato 1867 eventi con magnitudo locale compresa fra $0.2 \leq M \leq 4.1$ (Figura 3).

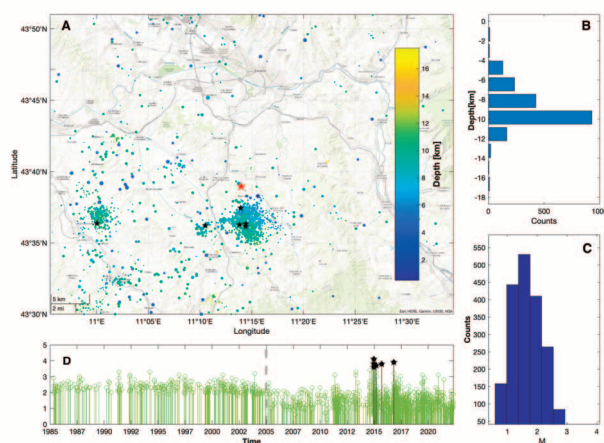


Figura 3 Grafici riassuntivi della sismicità localizzata dal servizio di sorveglianza sismica dell'INGV nel periodo 1° gennaio 1985 al 30 aprile 2022 in un'area di 30 km centrata sull'evento del 3 maggio 2022 alle ore 15:50 UTC (stella rossa in figura); si tratta di 1867 eventi con magnitudo fra $0.2 \leq M \leq 4.1$. A) Mappa della sismicità: il diametro dei cerchi è proporzionale alla magnitudo, il colore identifica la profondità. Le stelle nere, indicano gli eventi sismici con $M_L > 3.5$. B) Distribuzione della profondità della sismicità localizzata nell'area in mappa. C) Distribuzione delle magnitudo per la sismicità in mappa. D) Andamento temporale delle magnitudo per i terremoti avvenuti nell'area in esame. In nero sono riportati gli eventi con M_L maggiore di 3.5. La linea grigia individua il netto miglioramento della magnitudo di detezione per l'area.

Figure 3 Summary plot of the seismicity localized by the INGV seismic surveillance service in the period 01/01/1985-30/04/2022 in an area of 30 km centered on the event M_L 3.7 occurred on May 3, 2022 at 15:50 UTC, these are 1867 events with magnitude included between $0.2 \leq M \leq 4.1$. A) Seismicity map, the diameter of the circles is proportional to the magnitude, the color identifies the depth. Seismic events with $M_L > 3.5$ are indicated using black stars. B) Depth distribution of the seismicity located in the area. C) Magnitude distribution for the seismicity in map. D) Magnitude temporal distribution for the earthquakes that occurred in the area. The occurrence of events greater than M 3.5 are reported in black. The gray vertical line represents the sharp detection improvement for the RSN in this area.

In Figura 3A è riportata la localizzazione epicentrale della sismicità dell'area, mentre 3B e 3C mostrano il numero di terremoti suddivisi per profondità e magnitudo. Nella Figura 3D è riportato l'andamento delle magnitudo nel tempo ed è possibile notare il significativo decremento della soglia di detezione nell'area a partire dall'anno 2005 (indicato con la linea verticale grigia), in seguito all'ampliamento e al rinnovamento strumentale e tecnologico della RSN che ha interessato anche l'area di studio. Sono visibili anche gli incrementi della sismicità dovuti a uno sciame sismico avvenuto a dicembre del 2014 a circa 5 km a sud della sequenza del maggio 2022 (indicata dalla stella rossa in Figura 3A), localizzato in corrispondenza dello spartiacque della dorsale del Chianti: esso è caratterizzato da un *mainshock* di magnitudo (M_w 4.0) e tre eventi con $3.6 \leq M_w \leq 3.8$. Questo sciame sismico si è protratto per alcuni mesi e ha avuto una ripresa nel mese di marzo 2015 (magnitudo massima pari a M_w 3.7). Nel periodo preso in esame sono solo 6 i terremoti che hanno avuto una magnitudo superiore a 3.5 e sono evidenziati in Figura 3A e D. Si può notare come la sismicità di magnitudo più elevata sia legata alla presenza dei due cluster spaziali più produttivi dell'area indagata.

2. Lo sciame sismico del maggio 2022

Il 3 maggio alle ore 15:50 UTC, un evento sismico di M_L 3.7 (M_w 3.7) è stato localizzato dalla rete sismica permanente dell'INGV a circa 15 km a sud di Firenze, a una profondità di circa 7 km [6]. La scossa è stata ampiamente avvertita nel capoluogo toscano e in gran parte della regione. L'evento principale è stato preceduto da cinque eventi sismici di magnitudo massima pari a 1.8 verificatisi a partire dal 1° maggio e seguiti, nelle settimane successive, da uno sciame costituito da 267 terremoti [7].

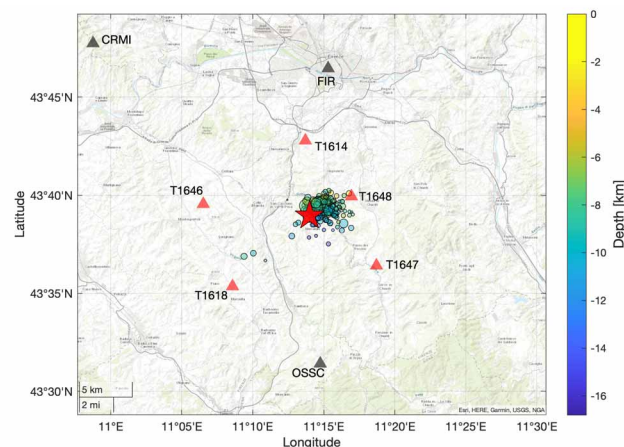
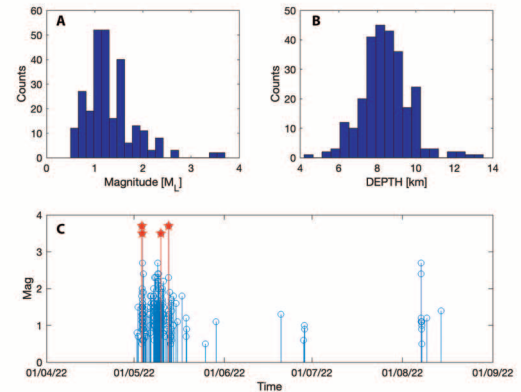


Figura 4 Mappa epicentrale dei 267 eventi localizzati dal sistema di sorveglianza sismica INGV [7]. La stella rossa indica l'evento principale del 3 maggio. Il colore dei cerchi è funzione della profondità ipocentrale, vedi la scala di corrispondenza chilometrica dei colori sulla destra. Con il simbolo del triangolo è indicata l'ubicazione delle stazioni sismiche; in rosso quelle appartenenti alla rete mobile temporanea e quelle in nero alla rete permanente.
Figure 4 Map of the 267 events located by the INGV seismic surveillance system. The red star indicates the M_w 3.7 event on 03/05/2022 at 15:50 (UTC). The circles' color is a function of the hypocentral depth. Triangles indicate the location of the seismic stations, red for temporary and black for permanent stations.

In Figura 5 viene descritta graficamente la distribuzione delle profondità e quella delle magnitudo con la quale si evidenzia l'andamento temporale del rilascio di energia. Le profondità ipocentrali della sismicità localizzata sono comprese fra i 4 e i 15 km e le magnitudo sono comprese fra 0.5 e 3.7.

Figura 5 Distribuzione delle magnitudo e delle profondità ipocentrali (A e B, rispettivamente) e andamento temporale delle magnitudo C) per gli eventi mostrati in Figura 4.

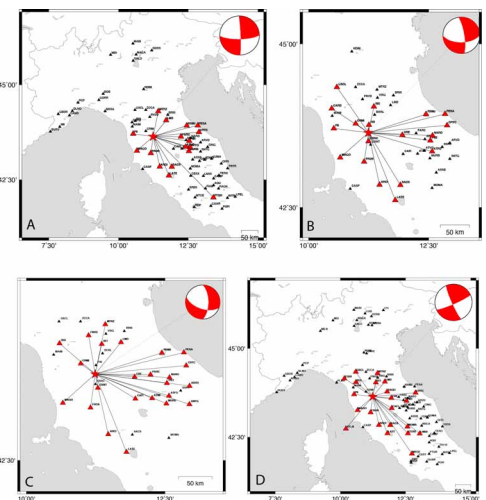
Figura 5 Magnitude and depth distribution (A and B respectively). In C, magnitude temporal distribution for the events shown in Figure 4.



All'interno dello sciami si sono verificati quattro eventi con magnitudo momento maggiore o uguale a 3.5, le cui soluzioni focali ottenute attraverso l'inversione del tensore momento [Scognamiglio et al., 2006][8] sono riportate in Figura 6 e Tabella 2. Tutte le soluzioni focali di doppia coppia descrivono una cinematica trascorrente, con una componente transtensiva da quasi assente (soluzioni A e D in Figura 6) a molto pronunciate (soluzioni B e C in Figura 6). Le soluzioni complete del tensore momento indicano una componente di non doppia coppia (CLVD, Compensated Linear Vector Dipole) in percentuale variabile fra il 24% e il 38%.

Figura 6 Mappe epicentrali dei quattro terremoti con $M_w \geq 3.5$ e relative soluzioni focali ottenute attraverso l'inversione del tensore momento: A) M_w 3.7 del 03/05/2022 alle 15:50:49 (UTC) [9]; B) M_w 3.5 del 03/05/2022 alle 20:14:20 (UTC) [10]; C) M_w 3.5 del 10/05/2022 alle 03:51:17 (UTC) [11]; D) M_w 3.7 del 12/05/2022 alle 21:12:03 (UTC) [12].

Figure 6 Maps of the 4 events with $M_w \geq 3.5$ and their relative focal solutions obtained through the inversion of the moment tensor: A) M_w 3.7 on 03/05/2022 at 15:50:49 (UTC) [9]; B) M_w 3.5 on 03/05/2022 at 20:14:20 (UTC) [10]; C) M_w 3.5 on 10/05/2022 at 03:51:17 (UTC) [11]; D) M_w 3.7 on 12/05/2022 at 21:12:03 (UTC) [12].



Data e Ora (UTC)	Lat (°)	Long (°)	Prof (km)	ML	Mw	Riferimento
2022-5-3 15:50:49	43.649	11.233	7	3.7	3.7	http://terremoti.ingv.it/event/30900271
2022-5-3 20:14:20	43.653	11.235	8	3.4	3.5	http://terremoti.ingv.it/event/30904161
2022-5-10 3:51:17	43.657	11.229	8	3.3	3.5	http://terremoti.ingv.it/event/30997491
2022-5-12 21:12:03	43.656	11.240	8	3.7	3.7	http://terremoti.ingv.it/event/31033941

Tabella 2 Parametri ipocentrali dei quattro terremoti dello sciami del Chianti fiorentino con $M_w \geq 3.5$.

Table 2 Hypocentral parameters of the 4 events of $M_w \geq 3.5$.

In Figura 7 viene mostrato l'andamento temporale della sismicità in termini di numero cumulato degli eventi e di rilascio di energia. Il 3 maggio, lo sciame ha rilasciato circa il 30% del momento sismico con i due terremoti di M_L 3.7 e 3.4 (M_w 3.7 e 3.5). Dopo un brevissimo periodo di diminuzione dell'attività, la frequenza di accadimento dei terremoti ha subito una brusca accelerazione con eventi sismici di modesta energia, fino al giorno 10 maggio quando si è verificato un terremoto di M_L 3.3 (M_w 3.5). A distanza di 2 giorni (il 12 maggio) è avvenuto anche l'evento di M_L 3.7 (M_w 3.7) che ha segnato l'inizio di un netto e continuo decremento del rilascio sismico.

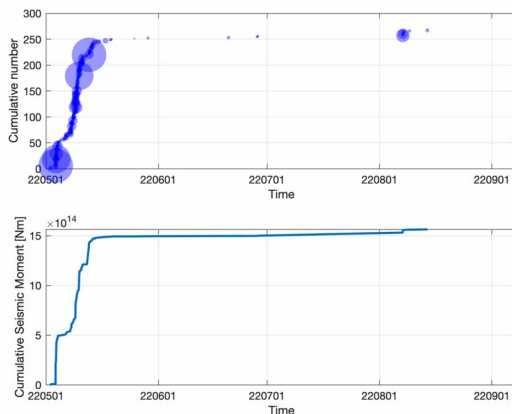


Figura 7 Andamento temporale del rilascio sismico dello sciame.

a) Viene mostrato il numero cumulato di eventi sismici nel tempo. La dimensione dei cerchi è proporzionale alla magnitudo.
b) Viene riportato il momento sismico cumulato nel tempo espresso in Nm (Newton * metro).

Figure 7 Trend in time of the seismic release of the seismic sequence.

a) Shows the cumulative number of seismic events over time.

The circles are scaled according to the magnitude of the earthquakes.

b) Shows the cumulative seismic moment over time expressed in Nm (Newton * meter).

Lo sciame, dopo alcune settimane di quiescenza, ha avuto una blanda ripresa nell'attività il 7 agosto con l'accadimento di un terremoto di M_L 2.7 seguito da alcune repliche di più bassa magnitudo.

Le mappe di scuotimento calcolate a partire dai dati delle reti sismiche e accelerometriche INGV e del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale (DPC con codice di rete "IT" [Presidency of Council of Ministers - Civil Protection Department, 1972]) dei due eventi più energetici dello sciame di M_w 3.7, mostrano alcune caratteristiche peculiari.

La mappa di scuotimento per l'evento del 3 maggio delle ore 15:50 UTC (Figura 8a) mostra dei livelli di scuotimento fino al IV-V grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS [Sieberg A., 1930]). La distribuzione degli effetti derivata dai questionari macrosismici [Tosi et al., 2007; 2015]) indica che la massima intensità avvertita è pari al V grado MCS [13]. È interessante notare come la distribuzione delle intensità avvertite per questo evento, sebbene mostri una forte simmetria rispetto all'epicentro, individui alcune osservazioni di intensità IV lungo la piana alluvionale dove è ubicato il centro abitato di Signa. Questi valori, più alti di quelli delle aree circostanti, potrebbero essere imputati a effetti di sito dovuti alla risonanza della piana alluvionale.

Anche l'evento sismico del 12 maggio delle ore 21:12 UTC (Figura 9a) mostra livelli di scuotimento fino al IV grado MCS, che tuttavia hanno una distribuzione fortemente asimmetrica, con un netto allungamento in direzione Nord-Nord-Ovest [14]. Questa caratteristica peculiare fornisce l'indicazione di possibili effetti di direttività della rottura della sorgente, e sebbene questo fenomeno sia solitamente associato a sorgenti sismiche di dimensione ben maggiore di quella in questione, alcuni autori hanno individuato questo fenomeno anche per terremoti di bassa magnitudo [Boatwright, 2007; Calderoni et al., 2015]. Per avvalorare questa ipotesi e tentare di spiegare le cause dell'anomalia nella distribuzione delle intensità avvertite saranno comunque necessari ulteriori studi di dettaglio.

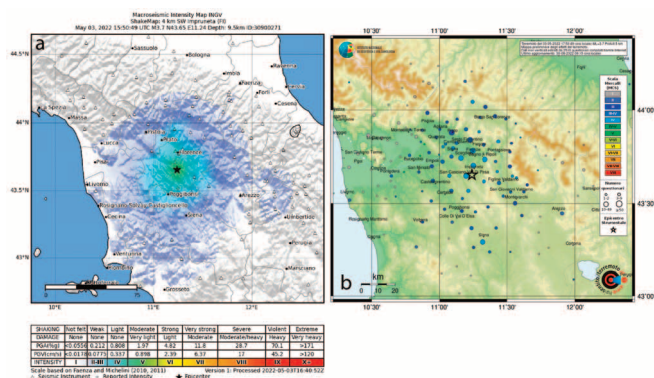


Figura 8 a) Mappa dei livelli di scuotimento dell'evento sismico del 3 maggio ore 15:50:49 UTC ottenuta elaborando i dati delle reti accelerometriche e sismiche INGV e DPC. b) Mappa dei risentimenti ottenuta utilizzando le osservazioni desunte dai questionari macrosismici [13].

Figure 8 a) Shakemap intensities of the seismic event occurred on May 3rd at 15:50:49 UTC obtained by processing the data of the accelerometric and seismic networks INGV and DPC. b) Intensity map obtained using the observations resulting from the macroseismic questionnaires [13].

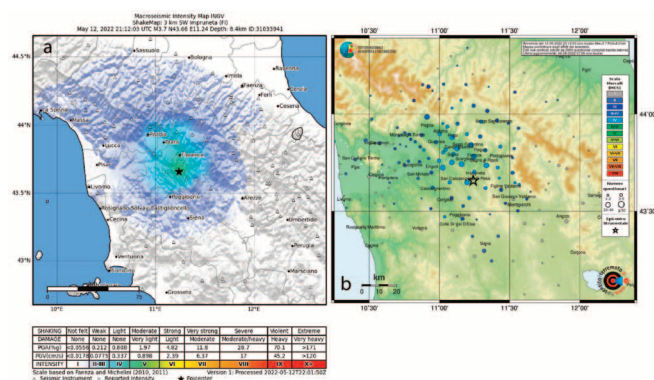


Figura 9 a) Mappa dei livelli di scuotimento dell'evento sismico del 23 maggio alle ore 21:12:03 UTC ottenuta elaborando i dati delle reti accelerometriche e sismiche INGV e DPC. b) Mappa dei risentimenti ottenuta utilizzando le osservazioni ottenute a partire dai questionari macrosismici [14]. Si noti come in entrambe le mappe sia evidente una asimmetria delle osservazioni in direzione NordNord-Ovest.

Figure 9 a) Shakemap intensities of the seismic event occurred on May 12th at 21:12:03 UTC obtained by processing the data of the accelerometric and seismic networks INGV and DPC. b) Intensity map obtained using the observations resulting from macroseismic questionnaires [14]. Note that an asymmetry of observations in the North-North-West direction is evident in both maps.

3. L'intervento del GO SISMICO

SISMICO è il gruppo operativo di emergenza dell'INGV che si occupa anche del miglioramento della geometria della rete sismica permanente nell'area interessata da un forte terremoto e/o una sequenza o sciame sismico di particolare interesse [Moretti et al, 2016][1]. In tali occasioni, il Comitato di Coordinamento di SISMICO, costituito da ricercatori, tecnologi e tecnici appartenenti a diverse sedi dell'INGV, decide le modalità di intervento in area epicentrale, installando un adeguato numero di stazioni sismiche temporanee a integrazione di quelle permanenti già presenti nell'area.

Riguardo l'evento del 3 maggio e dello sciame in via di evoluzione, il giorno 4 maggio è stata predisposta l'installazione di una prima rete sismica temporanea costituita da tre stazioni equipaggiate con velocimetri a corto periodo e accelerometri. L'intervento è stato deciso sebbene

la magnitudo massima degli eventi occorsi fino a quel momento fossero al di sotto della soglia ($M \geq 5.0$) che determina l'attivazione del GO SISMIKO (vedi Protocollo Operativo di Intervento [2]). La geometria della rete temporanea è stata individuata dal Comitato di Coordinamento riunito in via telematica, tenendo conto dello stato di funzionamento, della distribuzione e delle peculiarità delle stazioni delle reti permanenti presenti nell'area. In particolare, si è riscontrato che l'area epicentrale era posta a ugual distanza dalle stazioni FIR e OSSC posizionate rispettivamente a nord e sud (vedi Figura 1) e che la stazione FIR era ubicata in area urbana e quindi particolarmente affetta dal rumore (*noise*) prodotto dalle attività antropiche della città di Firenze [Piccinini et al., 2020]. Inoltre, si è osservato che l'area epicentrale mostrava due ampi settori, rispettivamente posizionati a W e a SE, caratterizzati da una scarsa densità delle stazioni della RSN.

La rete sismica temporanea è stata installata tra il pomeriggio del 4 maggio e la mattina del 5 maggio, dal personale della sede INGV di Pisa (vedi Tabella 3 e Figura 5). La T1647 (Figura 10), la prima stazione installata a Greti, frazione di Greve in Chianti (FI), in poche ore è stata inserita prima nel sistema di monitoraggio dell'INGV e successivamente, dopo qualche ora di pausa necessaria per valutare la qualità del sito e la continuità del segnale trasmesso, è stata integrata nel sistema di sorveglianza sismica dell'INGV, contribuendo alle localizzazioni prodotte presso la sala operativa di Roma. Il giorno 5 maggio sono state installate le altre due stazioni, T1646 e T1648, previste durante la fase di programmazione dell'intervento. Nei giorni successivi, dopo un'attenta valutazione dell'evoluzione spazio-temporale della sismicità, il GO SISMIKO ha deciso di individuare altri due siti dove installare delle stazioni per migliorare la geometria della rete nei settori a Sud-Ovest (T1618) e a Nord-Est (T1614) dell'area interessata dallo sciame. L'intervento in campagna è stato effettuato dai reperibili in turno per il servizio della rete sismica mobile di Roma in collaborazione con i colleghi ricercatori e tecnici della sede di Pisa.

Sigla	Località	Latitudine	Longitudine	Installazione	Disinstallazione
T1614	Impruneta (FI)	43.7131	11.2285	16/05/2022	07/09/2022
T1618	Tavarnelle (FI)	43.5891	11.1429	16/05/2022	07/09/2022
T1646	Montespertoli (FI)	43.6591	11.1085	05/05/2022	07/09/2022
T1647	Greti, Greve in Chianti (FI)	43.6068	11.3118	04/05/2022	07/09/2022
T1648	Santa Cristina, Greve in Chianti (FI)	43.6656	11.2823	05/05/2022	07/09/2022

Tabella 3 Coordinate delle stazioni temporanee installate in occasione dello sciame sismico del Chianti fiorentino dal GO SISMIKO.

Table 3 Coordinates of the temporary stations installed during the seismic swarm by the SISMIKO operational group.



Figura 10 Foto della stazione T1647, installata in località Greti (Greve in Chianti), durante le operazioni di manutenzione. Alle spalle dell'operatore, è visibile il supporto dell'antenna ad alto guadagno per la trasmissione dei dati in *real-time* che confluiscono nel sistema di monitoraggio nazionale dell'INGV (foto di Damiano Biagini).
Figure 10 Picture of the T1647 station installed in Greti (Greve in Chianti), during maintenance operations. Behind the operator, the high-gain antenna support is visible for the transmission of data in *real-time* that flows into the INGV national monitoring system (photo by Damiano Biagini).

3.1 Manutenzione e disinstallazione della rete sismica temporanea

La rete temporanea, durante i quattro mesi di funzionamento, ha mostrato complessivamente una buona continuità nell'acquisizione dei dati, pur mostrando alcune interruzioni dovute a problemi tecnici e di trasmissione (Figura 11), molti dei quali risolti attraverso le attività di manutenzione da parte del gruppo della Sezione di Pisa. In particolare, un intervento tecnico si è reso necessario il 18 maggio alla stazione T1618, nel corso del quale il *router* è stato equipaggiato con un'antenna ad alto guadagno, per una non ottimale copertura *Long Term Evolution* (LTE) dell'operatore telefonico dedicato. Successivamente, nel mese di luglio è stato effettuato un altro intervento di manutenzione a causa di una temporanea interruzione dell'acquisizione, che è stato risolto con un *reset* della stazione effettuato da remoto. Infine, un ulteriore intervento si è reso necessario il 13 luglio alla stazione T1647 per la sostituzione della sua memoria interna, allo scopo di evitare problemi nell'acquisizione in tempo reale. La rete sismica temporanea è stata in funzione fino al giorno 7 settembre, quando il Comitato di Coordinamento di SISMICO ha ritenuto opportuno la sua rimozione a causa della scarsa attività sismica dell'area monitorata. Il *dataset* registrato consta di oltre 125 giorni di acquisizione in continuo.

3.2 La gestione della rete e dei dati; analisi della qualità dei siti

Lo sciame sismico del Chianti fiorentino ha rappresentato la prima occasione di utilizzo a pieno regime del nuovo sistema di acquisizione in tempo reale progettato e realizzato dal GO SISMICO [D'Alema et. al., 2022].

In particolare, tutte le stazioni sismiche sono equipaggiate con un *router* LTE e utilizzano il servizio DynDNS dinamico creato dall'INGV [Sorrentino et. al., 2020]. Per l'acquisizione dati è stato utilizzato il codice di rete "ZH" [15] rilasciato dall'*International Federation of Digital Seismograph Networks* (FDSN), per i quali è stato ottenuto il DOI sui dati prodotti [Piccinini et al., 2022].

Tutte le stazioni sismiche installate hanno avuto una continuità di funzionamento prossima al 100%. Il sistema di trasmissione dati invece ha presentato alcune criticità. In particolare, la stazione T1647, a partire dal mese di agosto ha subito un blocco del *router* che di fatto ha impedito l'acquisizione dei dati in remoto. La stazione T1618, invece, ha risentito delle discontinuità nella copertura del campo LTE che hanno causato molte interruzioni della connettività dati. In entrambi i casi è stato possibile integrare il dato acquisito con il dato continuo acquisito in locale dalle singole stazioni.

La possibilità di archiviare i dati in modalità locale, in modo indipendente da quelli trasmessi, è una caratteristica fondamentale per una buona stazione sismica, in particolare per quelle dedicate alle reti di emergenza. La Figura 11 e la Tabella 4 riportano rispettivamente il dettaglio, per ogni stazione, della percentuale di dato trasmesso in tempo reale e della percentuale di dati archiviati sui dischi locali. Come si può osservare, a eccezione delle due stazioni T1647 e T1618, la percentuale dei dati archiviati sui dischi locali rispetto a quelli acquisiti in tempo reale è sostanzialmente identica.

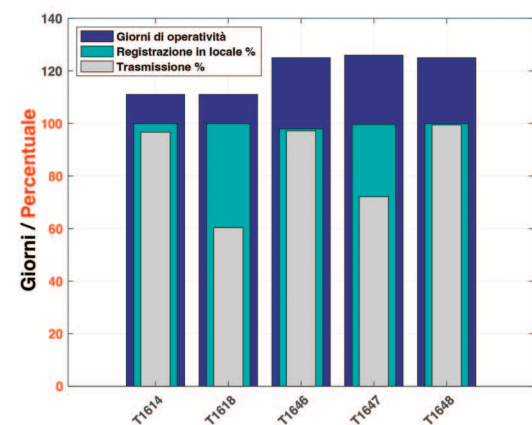


Figura 11 Grafico del raffronto fra la percentuale dei dati archiviati in locale (in celeste) e quelli trasmessi al server di acquisizione remota (in grigio) rispetto al tempo di funzionamento. In blu sono riportati i giorni di funzionamento delle singole stazioni.

Figure 11 Comparison chart between the percentage of data stored locally (light blue) and the percentage of those transmitted to the remote acquisition server (gray). In dark blue, the number of operation days of each station is reported.

Stazione	Componente	Dato trasmesso	Dato locale	Giorni di operatività	Note
T1614	EHZ	96.7 %	100 %	111	
	EHN	96.7 %	100 %		
	EHE	96.7 %	100 %		
	HNZ	96.7 %	100 %		
	HNN	96.7 %	100 %		
	HNE	96.7 %	100 %		
T1618	EHZ	60.5%	100 %	111	Problemi di copertura campo LTE
	EHN	60.5%	100 %		
	EHE	60.5%	100 %		
	HNZ	60.1%	100 %		
	HNN	60.1%	100 %		
	HNE	60.1%	100 %		
T1646	EHZ	97.4 %	98.0 %	125	
	EHN	97.4 %	98.0 %		
	EHE	97.4 %	98.0 %		
	HNZ	96.9 %	98.0 %		
	HNN	96.9 %	98.0 %		
	HNE	96.9 %	98.0 %		
T1647	EHZ	72.2 %	99.7%	126	Guasto del router dal giorno 3 agosto 2022
	EHN	72.2 %	99.7%		
	EHE	72.2 %	99.7%		
	HNZ	71.9 %	99.7%		
	HNN	71.9 %	99.7%		
	HNE	71.9 %	98.2 %		
T1648	EHZ	99.6 %	100 %	125	
	EHN	99.6 %	100 %		
	EHE	99.6 %	100 %		
	HNZ	99.2 %	100 %		
	HNN	99.2 %	98.4 %		
	HNE	99.2 %	100 %		

Tabella 4 Confronto tra le percentuali di completezza dell'archivio locale e quello remoto.

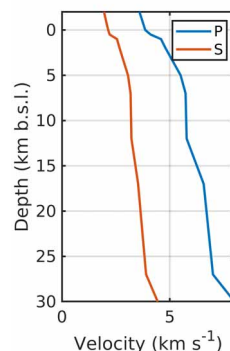
Table 4 Comparison between the completeness percentages of the local and remote archives.

4. Analisi preliminari

L'analisi preliminare dello sciame sismico è iniziata con la definizione di un catalogo di riferimento, includendo gli eventi verificatisi nel periodo compreso tra l'1 e il 31 maggio 2022 all'interno di un cerchio di raggio pari a 30 km centrato sul comune di Impruneta. È stata effettuata la lettura manuale dei tempi di arrivo delle fasi P ed S alle stazioni della rete temporanea per i primi 123

eventi, ovvero fino alle ore 12:00 del 9 maggio, quando i segnali della rete temporanea sono stati inclusi nel flusso di analisi della sala di sorveglianza sismica dell'INGV. In totale, il catalogo integrato ammonta a 267 terremoti. Successivamente è stato considerato un modello di velocità precedentemente ottenuto per l'area di studio, invertendo le curve di dispersione delle velocità di gruppo ottenute dalle funzioni di correlazione del rumore ambientale. Sulla base di questo modello, si è quindi proceduto alla rilocalizzazione degli eventi utilizzando il codice di calcolo NonLinLoc [Lomax et al., 2009]. Il modello di velocità utilizzato è raffigurato in Figura 12.

Figura 12 Modello di velocità delle onde P ed S utilizzato nel processo di rilocalizzazione.
Figure 12 P and S wave velocity model used in the relocation process.



I risultati della rilocalizzazione sono mostrati in Figura 13. La distribuzione epicentrale (Figura 13a) non mostra significative variazioni rispetto a quanto riportato dal catalogo sismico (vedi Figura 4). Abbiamo poi applicato l'analisi delle componenti principali per calcolare la regressione ortonormale a un piano dei dati ipocentrali. I risultati suggeriscono una struttura orientata in direzione circa Est-Ovest (N82°E), con giacitura subverticale e debole immersione verso Sud (dip 98°). Queste indicazioni sono consistenti con uno dei due piani della soluzione focale del primo evento dello sciame (3 maggio alle ore 15:50 UTC; vedi Figura 6A), indicativa quindi di una cinematica con trascorrenza destra.

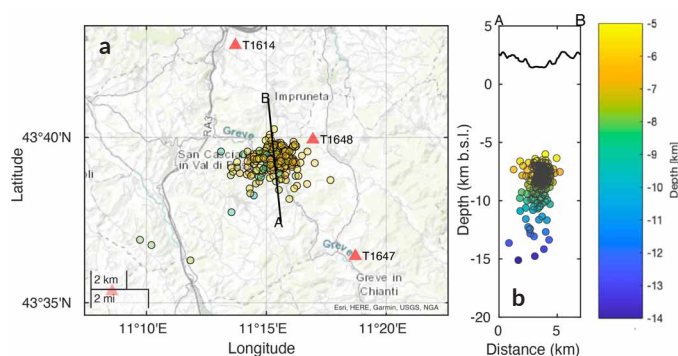


Figura 13 a) Localizzazione epicentrale dei 267 terremoti considerando i tempi di arrivo delle stazioni temporanee e il modello di velocità della Figura 12. La linea nera indica la traccia della sezione verticale mostrata in b). La sezione verticale è orientata perpendicolarmente alla direzione del piano ottenuto dalla regressione ortonormale dei dati ipocentrali. La scala del profilo topografico ha una esagerazione verticale di un fattore 10.

Figure 13 a) Epicentral location of the 267 earthquakes considering the arrival times of the temporary stations and the velocity model of Figure 12. The black line indicates the trace of the vertical section shown in b). The vertical section is oriented perpendicular to the direction of the plane obtained from the orthonormal regression of the hypocentral data. The topographic profile scale has a vertical exaggeration of a factor of 10.

5. Discussioni e conclusioni

L'intervento del GO SISMICO in occasione dello sciame che avuto inizio il 3 maggio 2022 in Toscana nell'area del Chianti fiorentino, ha assolto a tutte le attività che vengono effettuate in occasione di interventi ordinari, ovvero a seguito di terremoti con magnitudo maggiore o uguale a 5.0. Sebbene lo sciame sia stato caratterizzato da magnitudo considerevolmente inferiori rispetto alla soglia di intervento, questa occasione può essere considerata come uno *stress test* di tutte le procedure che il GO adotta in caso di intervento.

Nell'arco di poche ore, successive alla convocazione del Comitato di Coordinamento di SISMICO, sono state individuate e analizzate le criticità delle reti sismiche permanenti nell'area interessata dallo sciame ed è stata configurata una rete temporanea capace di colmare queste lacune e migliorare le capacità di detezione e localizzazione.

Il Comitato di Coordinamento si è riunito telematicamente nuovamente nelle prime ore della giornata del 4 maggio alle 17:00 locali quando la prima stazione (T1647) era stata già installata. Nella prima metà del giorno seguente, altre due stazioni (T1646 e T1648) erano già operative e trasmesse in *real time* al *server* di acquisizione dati di Roma.

Questa pronta risposta del GO è stata favorita dalla relativa vicinanza dell'area epicentrale alla sede INGV di Pisa, che ha permesso di condurre tempestivamente sia l'installazione che i successivi interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, grazie anche all'utilizzo di procedure di monitoraggio dello *state-of-health* delle stazioni remote sviluppate dal gruppo di SISMICO [Biagini et al., 2023]. La vicinanza all'area epicentrale di una sezione INGV (Pisa), di fatto premia le scelte del GO che, negli scorsi anni, ha deciso di decentrare il parco strumentale dedicato alle emergenze sismiche, alle Sezioni e sedi INGV dislocate sul territorio proprio allo scopo di rendere più veloci e rapidi gli interventi.

La collaborazione fra il personale delle varie sezioni è stata molto produttiva anche a livello scientifico. Durante lo sciame, infatti, sono state effettuate diverse elaborazioni preliminari che sono state incluse nei *report* informativi interni, prodotti molto utili nel fornire informazioni di dettaglio circa l'evoluzione spazio-temporale della sismicità registrata. Le analisi effettuate, sulla sincronia fra gli archivi registrati localmente e quelli presenti sul *server* di acquisizione remoto hanno evidenziato alcune criticità, la principale delle quali è legata alla forte variabilità spaziale dei livelli del segnale LTE nelle aree distanti dai centri urbani. Per ridurre più possibile tale problematica, si è provveduto all'installazione di antenne direzionali ad alto guadagno alle stazioni sismiche che presentavano questo inconveniente, ottenendo però solo una parziale soluzione del problema.

A tal proposito, la mancanza di mappe pubbliche dettagliate della copertura UMTS/LTE dei diversi gestori telefonici, rende complessa la fase iniziale di progettazione della rete sismica di pronto intervento e crea un *bias* fra l'individuazione iniziale dei siti idonei e disponibili a ospitare una stazione sismica e la reale fattibilità a occupare il sito. La trasmissione parziale del dato inoltre ha comportato una manutenzione straordinaria delle stazioni per effettuare il recupero dei dati periodico dalle memorie interne delle stazioni e ridurre, in modo significativo, il rischio di perdita definitiva del dato acquisito localmente.

La rete sismica temporanea di pronto intervento ha migliorato notevolmente la capacità di detezione della rete sismica permanente e la localizzazione degli eventi sismici, permettendo di ottenere un'immagine molto dettagliata della sismicità e di seguire l'andamento del rilascio sismico. Grazie alle analisi effettuate è possibile avanzare alcune ipotesi sulla geometria e sull'estensione della struttura responsabile dello sciame oggetto di studio. Il confronto tra la sismicità localizzata e i meccanismi focali ottenuti dall'inversione del tensore momento, ha infatti evidenziato che la porzione di faglia attivata si estende fra i 5 e i 15 km di profondità ed è orientata in direzione EW con una giacitura sub-verticale. Inoltre, il confronto con i meccanismi focali degli eventi più energetici, evidenzia una faglia con una cinematica trascorrente destra con una discreta

componente transtensiva. Va sottolineato che le soluzioni focali complete ottenute con l'inversione del tensore momento, individuano per tutti gli eventi una percentuale compresa fra il 24% e il 38% della componente CLVD.

Un aspetto particolare dello sciame sismico riguarda il diverso risentimento delle due scosse più energetiche (entrambe con Mw 3.7) del 3 e del 12 maggio le cui mappe di risentimento sono riportate in Figura 8 e 9. Per la prima scossa, la distribuzione delle intensità macrosismiche è piuttosto isotropa (Figura 8) e centrata sull'area epicentrale; nel caso dell'evento del 12 maggio i risentimenti mostrano un marcato allungamento in direzione NNW (Figura 9). Probabilmente, le lievi differenze nei rispettivi meccanismi focali (Figura 6) non sono sufficienti a spiegare le diverse distribuzioni spaziali dei risentimenti. È quindi verosimile ipotizzare che l'asimmetria osservata per la scossa del 12 maggio sia attribuibile a un effetto di direttività della rottura, che risulta misurabile anche per eventi di piccola magnitudo [es. Boatwright, 2007; Calderoni et al., 2015].

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano i colleghi Ivano Carluccio, Fabio Criscuoli, Pasquale De Gori, Emiliano Della Bina, Massimo Fares, Stefano Farroni, Valentino Lauciani, Matteo Quintiliani, Sandro Rao, Carlo Calamita e il Comitato di Coordinamento del GO SISMICO per il supporto dato durante tutto il periodo di attività.

Si ringraziano inoltre Gianfranco Radassao, Marisa Boschi, Jacopo Osticioli, Federico Pini, Francesco Bonomi per l'ospitalità data alle nostre stazioni.

Gli Autori ringraziano Andrea Ursino, per l'attenta revisione e i preziosi suggerimenti.

Questo studio ha beneficiato del contributo finanziario della Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile; il presente lavoro, tuttavia, non riflette necessariamente la posizione e le politiche ufficiali del Dipartimento.

Bibliografia

- Alparone S.C., Cattaneo M., Contrafatto D., D'Alema E., Franceschi D., Larocca G., Mandiello A.G., Marzorati S., Moretti M., Piccinini D., Rao S., Salvaterra L., and Speciale S., (2020). *Seismic Data acquired by the SISMICO Emergency Group - Salemi-Italy 2020 - T15 [Data set]*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/SD/LJFPEOSEK0>
- Argnani A., Barbacini G., Bernini M., Camurri F., Ghielmi M., Papani G., Rizzini F., Rogledi S., Torelli L., (2003). *Gravity tectonics driven by Quaternary uplift in the northern Apennines: insight from the La Spezia-Reggio Emilia geo-transect*. *Quat. Int.*, 101-102 (2003), pp. 13-26.
- Biagini D., D'Ambrosio M., Capello M., Bruni R., Giunchi C., Piccinini D., Saccorotti G., Zuccarello L., (2023). *Progettazione e realizzazione di infrastrutture a basso costo per stazioni sismiche semi-permanenti*. *Rapp. Tec. INGV*, 463: 1-30, <https://doi.org/10.13127/rpt/463>
- Boatwright J., (2007). *The Persistence of Directivity in Small Earthquakes*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 97, no. 6, Dec. 2007, pp. 1850-61. DOI. org (Crossref), <https://doi.org/10.1785/0120050228>
- Calderoni G., Rovelli A., Ben-Zion Y., Di Giovambattista R., (2015). *Along-strike rupture directivity of earthquakes of the 2009 L'Aquila, central Italy, seismic sequence*. *Geophysical Journal International*, Volume 203, Issue 1, October 2015, Pages 399-415, <https://doi.org/10.1093/gji/ggv275>

- Carmignani L., Conti P., Cornamusini G., Meccheri L., (2004). *The internal Northern Apennines, the northern Tyrrhenian Sea and the Sardinia-Corsica block*. Geol. Italy Spec. Vol. Ital. Geol. Soc. IGC 2004, 32, 59–77.
- Cornamusini G., Ielpi A., Bonciani F., Callegari I., Conti P., (2012). *Geological Map of the Chianti Mts. (Northern Apennines, Italy)*. Journal of Maps 8, 22–32.
- D'Alema E., Giunchi C., Marzorati S., Piccinini D., Moretti M., (2022). *SISMICO: il nuovo sistema di acquisizione dati sismici in tempo reale*. Rapp. Tec. INGV, 445: 1–26, <https://doi.org/10.13127/rpt/445>
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). (2005, December 13). *Rete Sismica Nazionale (RSN)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <https://doi.org/10.13127/SD/X0FXNH7QFY>
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A., (2022). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0 (Version 4.0) [Data set]*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>
- Lomax A., Michelini A., Curtis A., (2009). *Earthquake Location, Direct, Global-Search Methods*, In Encyclopedia of Complexity and System Science, Part 5, Springer, New York, pp. 2449–2473, <https://doi.org/10.1007/978-0-387-30440-3>
- Merla G., (1951). *Geologia dell'Appennino Settentrionale [Geology of the Northern Apennines]*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 70, 95–382.
- Moretti M. et al., (2016). *SISMICO: emergency network deployment and data sharing for the 2016 central Italy seismic sequence*. Annals of Geophysics, 59, Fast Track 5, 2016, <http://doi.org/10.4401/ag-7212>
- Piccinini D., Biagini D., D'Ambrosio M., D'Alema E., Zuccarello L., Saccorotti G., Pastori M., Carluccio I., Fares M., Della Bina E., Quintiliani M., Lauciani V., Criscuoli F., De Gori P., Mandiello A. G., Scognamiglio L., Moretti M., Marzorati S., & SISMICO Working Group, (2022). *Seismic Data acquired by the SISMICO Emergency Group - Chianti fiorentino - Italy 2022 - T16 [Data set]*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <https://doi.org/10.13127/sd/jhgagg3bnlq>
- Piccinini D., Giunchi C., Olivieri M. et al., (2020). *COVID-19 lockdown and its latency in Northern Italy: seismic evidence and socio-economic interpretation*. Sci Rep 10, 16487 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73102-3>
- Presidency of Council of Ministers - Civil Protection Department, (1972). *Italian Strong Motion Network [Data set]*. International Federation of Digital Seismograph Networks, <https://doi.org/10.7914/SN/IT>
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., (2020). *The Italian earthquake catalogue CPTI15*. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7), 2953–2984, <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>
- Scognamiglio L., Tinti E., Quintiliani M., (2006). *Time Domain Moment Tensor (TDMT) [Data set]*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <https://doi.org/10.13127/TDMT>
- Sieberg A, (1930). *Scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg)*. Geologie der Erdbeben, Handbuch der Geophysik, 2, 552–555.
- Sorrentino D., Salvaterra L., Vazzoler S., (2020). *Servizio DynDNS@INGV per le stazioni sismiche*, <https://doi.org/10.13127/rpt/420>
- Tosi P., De Rubeis V., Sbarra P., and Sorrentino D., (2007). *Hai Sentito Il Terremoto (HSIT)*, <https://doi.org/10.13127/HSIT>
- Tosi P., Sbarra P., De Rubeis V., and Ferrari C., (2015). *Macroseismic Intensity Assessment Method*

for *Web Questionnaires*. *Seismological Research Letters*, 86(3), 985–990, <https://doi.org/10.1785/0220140229>
University of Genova, (1967). *Regional Seismic Network of North Western Italy*. International Federation of Digital Seismograph Networks. Other/Seismic Network, <https://doi.org/10.7914/SN/GU>

Sitografia

- [1] <http://sismiko.ingv.it/>
- [2] <https://istituto.ingv.it/it/amministrazionetrasparente/disposizioni-general/atti-general/atti-amministrativi-general/decreti-e-delibere/anno-2020/decreti-del-presidente-e-del-direttore-generale-6/19447-n-058-dp-aggiornamento-del-protocollo-di-organizzazione-e-funzionamento-del-gruppo-operativo-ingv-sismiko-pdf/file.html>
- [3] <http://terremoti.ingv.it/bsi>
- [4] <http://eida.rm.ingv.it/>
- [5] <https://emidius.mi.ingv.it/DBMI/>
- [6] <http://terremoti.ingv.it/event/30900271>
- [7] http://terremoti.ingv.it/events?last_nd=-1&starttime=2022-05-01&endtime=2022-09-07&minmag=-1&maxmag=10&wheretype=pointradius&box_search=Mondo&minlat=-90&maxlat=90&minlon=-180&maxlon=180&municipio=&lat=43.649&lon=11.233&maxradiuskm=5&mindepth=-10&maxdepth=1000
- [8] <http://terremoti.ingv.it/tdmt>
- [9] <http://terremoti.ingv.it/event/30900271?timezone=UTC#MeccanismoFocale>
- [10] <http://terremoti.ingv.it/event/30904161?timezone=UTC#MeccanismoFocale>
- [11] <http://terremoti.ingv.it/event/30997491?timezone=UTC#MeccanismoFocale>
- [12] <http://terremoti.ingv.it/event/31033941?timezone=UTC#MeccanismoFocale>
- [13] <https://e.hsit.it/30900271>
- [14] <https://e.hsit.it/31033941>
- [15] https://www.fdsn.org/networks/detail/ZH_2021/

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

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

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

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

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

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

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

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

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

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

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

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

Coordinamento editoriale

Francesca DI STEFANO
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Impaginazione

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

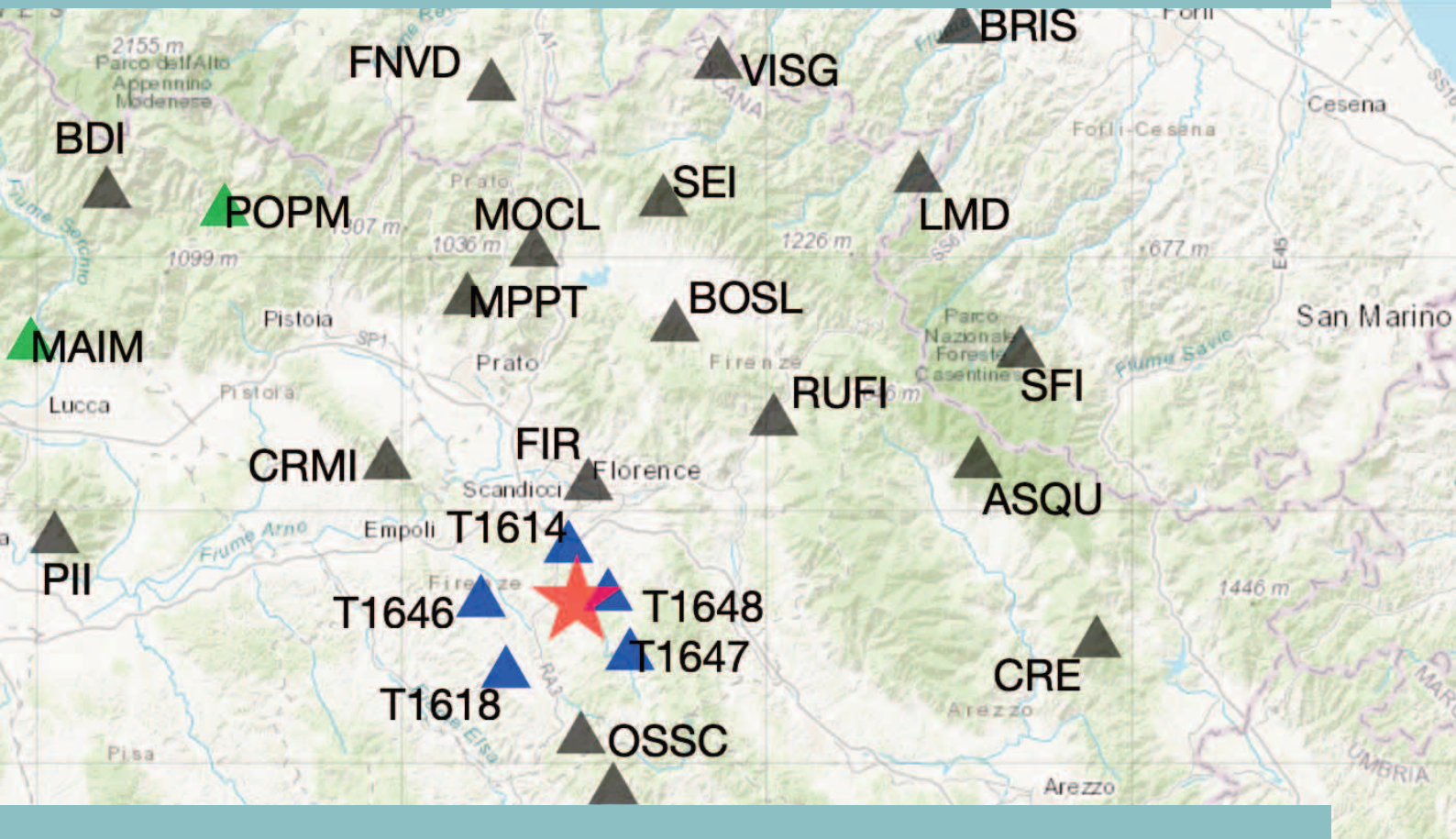
©2023

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

www.ingv.it



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

