



RAPPORTI TECNICI INGV

Le attività del Gruppo Operativo SISMICO
durante la sequenza sismica nel 2020
a Salemi (Trapani, Italia)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

469

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

RAPPORTI TECNICI INGV

Le attività del Gruppo Operativo SISMICO
durante la sequenza sismica nel 2020
a Salemi (Trapani, Italia)

*The activities of the SISMICO task force 2020
seismic sequence in Salemi (Trapani, Italy)*

Salvatore Alparone¹, Marco Cattaneo², Maria Grazia Ciaccio³, Danilo Contrafatto¹, Ezio D'Alema⁴,
Graziano Larocca¹, Simone Marzorati², Milena Moretti², Davide Piccinini⁵, Stefano Speciale²

¹INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania - Osservatorio Etneo

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

³INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 1

⁴INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano

⁵INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

Accettato 4 aprile 2023 | Accepted 4 April 2023

Come citare | How to cite Alparone S., Cattaneo M., Ciaccio M.G., Contrafatto D., D'Alema E., Larocca G., Marzorati S., Moretti M.,
Piccinini D., Speciale S., (2023). Le attività del Gruppo Operativo SISMICO durante la sequenza sismica nel 2020 a Salemi (Trapani, Italia).
Rapp. Tec. INGV, 469: 1-26, <https://doi.org/10.13127/rpt/469>

In copertina Stazione T1574 installata dal personale dell'OE di Catania | Cover T1574 station installed by the staff of the OE of Catania

469

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	7
Introduzione	7
1. Inquadramento sismologico dell'area	8
2. Il Gruppo Operativo SISMIKO	12
2.1 Studio di fattibilità e progettazione della rete sismica temporanea	13
2.2 Realizzazione dell'intervento. Strumentazione installata e configurazione della rete sismica temporanea	14
2.3 Manutenzione e disinstallazione della rete sismica temporanea	17
3. Gestione e distribuzione dei dati	19
Ringraziamenti	19
Bibliografia	19
Sitografia	21

Riassunto

Nel pomeriggio del 19 settembre 2020 si è riunito il Comitato di Coordinamento di SISMIKO [1; 2], uno dei Gruppi Operativi (GO) di emergenza dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), per valutare un possibile intervento della rete sismica mobile in Sicilia occidentale. Nei giorni precedenti, alcuni eventi sismici localizzati tra gli abitati di Salemi, Vita e Gibellina (in provincia di Trapani) avevano creato preoccupazione alle Amministrazioni locali, con conseguente richiesta all'INGV da parte del Responsabile della Protezione Civile della Regione Sicilia di valutare una eventuale intensificazione del monitoraggio sismico dell'area. Al momento della convocazione del Comitato di Coordinamento si contavano circa 10 eventi di magnitudo locale (M_L) compresa tra 1.3 e 3.5, di cui quattro con $M_L > 3.0$ avvertiti dalla popolazione. A seguito dell'incontro è stato predisposto l'intervento di SISMIKO: esso si è concretizzato nell'installazione di una rete temporanea costituita da 4 stazioni sismiche, i cui dati trasmessi in tempo reale ai centri di acquisizione dell'INGV di Catania (Osservatorio Etneo - OE) e Roma (Osservatorio Nazionale Terremoti - ONT) sono stati integrati nel sistema che garantisce la sorveglianza sismica nazionale con il servizio H24 svolto presso la Sala Operativa dell'ONT. Il presente lavoro descrive le attività principali svolte da SISMIKO nelle sue varie fasi: dalla convocazione del Comitato di Coordinamento fino alla disinstallazione della infrastruttura.

Abstract

On 19 September 2020, the Coordination Committee of SISMIKO [1; 2], one of the Emergency Operational Groups (GO) [3] of the National Institute of Geophysics and Volcanology (In Italian: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV), met to evaluate an intervention by the mobile seismic network in Eastern Sicily. In the previous days some seismic events, located near the municipalities of Salemi, Vita and Gibellina in the province of Trapani, were troubling the local administrations. The Head of Civil Protection of the Sicily Region therefore asked the president of the INGV for an assessment of the intensification of the seismic monitoring of the area. At the time of the convocation of the Coordination Committee there were about 10 events of magnitude M_L between 1.3 and 3.5 M_L ; four of these earthquakes had been felt by the population. After the meeting, the decision has been taken to activate SISMIKO and to install a temporary network made up of 4 seismic stations. The data of the stations, transmitted in real time to the INGV acquisition centers of Catania (Osservatorio Etneo, OE) and Rome (Osservatorio Nazionale Terremoti, ONT), were integrated into the system to contribute to the national seismic surveillance services that are carried out at the ONT Operations Room. This work describes the main activities carried out by SISMIKO, starting from the convening of the Coordination Committee to the uninstallation of the infrastructure.

Keywords Indagini e monitoraggio sismico; Reti sismiche a risposta rapida; Archivi di dati aperti | Surveys and seismic monitoring; Rapid response seismic network; Open data archives

Introduzione

Nella seconda metà di settembre 2020, a seguito dell'accadimento di alcuni eventi sismici registrati in Sicilia occidentale, il Gruppo Operativo (GO) SISMIKO [Moretti et al., 2012; 2016a; 2016b] [1; 2; 3] dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha provveduto ad

installare una rete sismica temporanea nei dintorni dell'abitato di Salemi in provincia di Trapani. Le stazioni sismiche delle reti temporanee integrate alle stazioni delle reti permanenti assicurano sempre un miglioramento delle localizzazioni dei terremoti, sia per quanto concerne l'affidabilità dei parametri ipocentrali (migliorando l'accuratezza della localizzazione con particolare riferimento alla profondità dell'evento attraverso l'aumento del numero di picking delle fasi P ed S) che come stima della magnitudo [i.e Moretti et al., 2020]. La piccola sequenza di Salemi, iniziata il 9 settembre con il suo mainshock ($M_L=3.5$), era caratterizzata da terremoti con magnitudo ben al di sotto della soglia di attivazione riportata nel Protocollo Operativo di SISMICO, con la quale è previsto l'avvio automatico degli interventi in emergenza. Pertanto, in deroga a quanto stabilito nei documenti ufficiali dell'INGV, alla luce della consapevolezza che la sequenza in atto stava interessando un'area storicamente colpita da importanti terremoti, i vertici dell'ente hanno prediletto la scelta di predisporre ugualmente un intervento, atto a migliorare il monitoraggio della sismicità.

Di conseguenza, il Comitato di Coordinamento di SISMICO (da ora indicato come Comitato) ha pianificato le necessarie attività di intervento, che hanno visto coinvolto per le attività di campagna il personale delle sedi siciliane di Catania e Palermo e da remoto quello in forze alle sedi meno prossime all'area epicentrale.

Il *dataset* acquisito durante la campagna "Salemi 2020" [4], costituito dai segnali sismici registrati dalle stazioni installate in area epicentrale, è stato il primo a cui è stato assegnato un *Digital Object Identifier* (acronimo di DOI, in italiano "Identificatore di un oggetto digitale") a poche ore dall'avvio delle attività operative [Alparone et al., 2020]. È stato questo un importante test per il GO, che in tal modo, in occasione di una emergenza, in poche ore ha potuto condividere con la comunità scientifica il proprio *dataset*, garantendo contestualmente la sua certificata qualità.

L'intervento è stato realizzato mentre era in corso la seconda ondata della pandemia COVID-19, ampiamente diffusa sul territorio nazionale sin dall'inverno precedente. Pertanto, alle consuete preoccupazioni legate all'attività sismica ed alle ansie della popolazione colpita, si sono aggiunte anche alcune difficoltà logistiche legate alla sicurezza per ridurre l'esposizione al rischio di contagio.

1. Inquadramento sismologico dell'area

La sequenza sismica riportata nel presente lavoro ha avuto inizio con il terremoto delle ore 04:56 UTC del 9 settembre [5] di M_L pari a 3.4 (M_W 3.5), seguito da una piccola replica in giornata (M_L 2.0 alle 20:22 UTC). Il giorno successivo è stato registrato un terremoto di $M_L=1.4$, seguito poi da sei eventi il giorno 14, con magnitudo compresa tra M_d 1.3 e M_W 3.4 (alle 03:47 UTC). Successivamente, la sismicità è andata scemando abbastanza velocemente, con un unico terremoto di rilievo, di M_L 3.1, registrato il 23 settembre alle 20:50 UTC.

Il Data-Base ISIDe [Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base; ISIDe Working Group, 2007] [6] riporta 45 eventi sismici localizzati nei mesi di settembre, ottobre e novembre 2020, in un'area circolare con raggio di 20 km intorno all'abitato di Salemi (Figura 1), con magnitudo compresa tra 0.5 (M_L) e 3.5 (M_W).

Gli epicentri di questi sono prevalentemente allineati per circa 7 km in direzione NW-SE, e le profondità ipocentrali sono comprese tra i 7 e i 20 chilometri. L'evento principale del 9 settembre, avvertito soprattutto nei comuni più vicini all'epicentro ma anche fino quasi alla costa occidentale della Sicilia, è stato localizzato ad una profondità di 15 km. Nelle settimane successive alla sequenza, nel Bollettino Sismico Italiano (BSI) dell'INGV [7], sono state riportate le localizzazioni di tutti i terremoti calcolate utilizzando anche i dati acquisiti dalla rete sismica temporanea installata da SISMICO (vedi Capitolo successivo), oltre a quelli della Rete Sismica Nazionale (RNS), [INGV Seismological Data Centre, 2006; Michelini et al., 2016; Margheriti et al., 2021]. In Tabella 1 sono riportate le coordinate ipocentrali dei terremoti di magnitudo maggiore di 3.0 secondo quanto

riportato nel BSI. È importante sottolineare che, al momento della predisposizione dell'intervento, il quadro della sismicità in corso era quello desumibile solo dai dati prodotti dalla Sala Sismica dell'ONT, che forniva uno scenario leggermente diverso e sopravvalutato dal punto di vista delle energie coinvolte rispetto a quello successivamente confermato dal BSI. In particolare, le magnitudo calcolate in Sala Sismica dell'ONT di due dei terremoti verificati giorno 14 settembre, risultavano leggermente sovrastimate, con valori per entrambi pari a 3.1, rivisti e rettificati poi a 2.7 e 2.9 nel BSI.

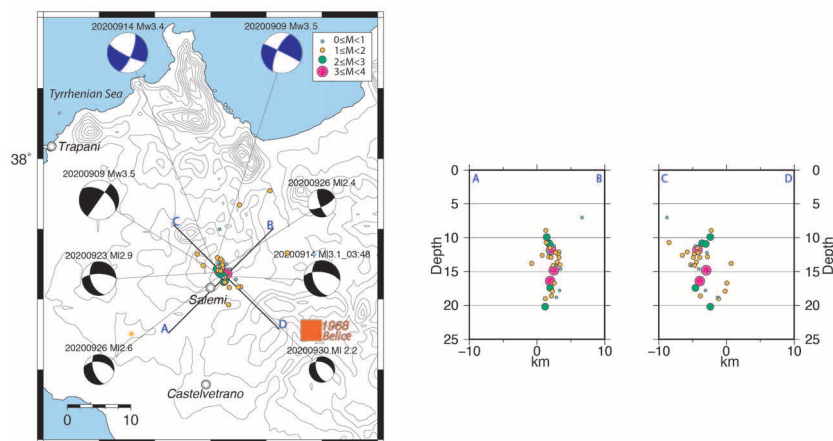


Figura 1 Mappa epicentrale e sezioni lungo i profili A-B e C-D dei terremoti registrati dal 1 ottobre 2020 al 31 novembre 2020, riportati nel BSI [7]. I colori e le dimensioni dei cerchi indicano i valori di magnitudo (vedi legenda). I meccanismi focali disponibili sono indicati in blu (*Time Domain Moment Tensor*, TDMT [Scognamiglio et al. 2006] [8]) e in nero (meccanismi focali calcolati in questo Rapporto con le prime polarità). Con il quadrato in arancione è riportato l'epicentro del terremoto della Valle del Belice del 1968, M_w 6.4 [CPTI15, Rovida et al. 2022; Rovida et al., 2020].

Figure 1 Epicentral map and sections along the A-B and C-D profiles with the earthquakes recorded from 1 October 2020 to 31 November 2020, reported in the BSI [7]. The colors and sizes of the circles indicate the magnitude values (see legend). The available focal mechanisms are indicated in blue (*Time Domain Moment Tensor*, TDMT [Scognamiglio et al. 2006] [8]) and in black (focal mechanisms calculated in this Report with the first polarities). The orange square shows the epicenter of the 1968 Valle del Belice earthquake, M_w 6.4 [CPTI15, Rovida et al. 2022; Rovida et al., 2020].

Data e Ora (UTC)	Magnitudo	Zona	Profondità	Latitudine	Longitudine
2020-09-09 04:56:58	M_L 3.4, M_W 3.5	3 km NE Salemi (TP)	15	37.84	12.83
2020-09-14 03:47:09	M_L 3.5, M_W 3.4	3 km NE Salemi (TP)	16	37.84	12.82
2020-09-23 20:50:11	M_L 3.1	3 km NE Salemi (TP)	12	37.84	12.82

Tabella 1 Lista degli eventi di magnitudo maggiore di 3.0 registrati nel raggio di 20 km dall'abitato di Salemi (TP) tra settembre e fine novembre 2020 (Fonte dati: BSI).

Table 1 List of events with magnitude greater than 3.0 recorded within a radius of 20 km from the town of Salemi (TP) between September and the end of November 2020 (Data source: BSI).

I *Time Domain Moment Tensor* (TDMT) [Scognamiglio et al. 2006] [8] dei due terremoti più forti mostrano una cinematica di tipo trascorrente (M_w 3.5 del 9 settembre [9] e M_w 3.4 del 14 settembre [10]). Per alcuni degli eventi più energetici è stato anche possibile calcolare i meccanismi focali con il metodo delle prime polarità delle forme d'onda, utilizzando il programma FPFIT [Reasenberg and Oppenheimer, 1985]. Le soluzioni focali di questi eventi, che hanno rivelato una cinematica principalmente di tipo trascorrente con componente distensiva, sono riportate in Figura 1. In Tabella 2 sono elencati i codici EventID che identificano l'evento sismico nel Database dell'INGV [ISIDe Working Group, 2007], la magnitudo (M_L o M_w quando disponibile), i parametri focali, strike, slip e rake dei due piani di faglia. Non è stato possibile calcolare i meccanismi focali per il 36% dei terremoti con $M_L \geq 2.0$.

Event ID	Data e Ora (UTC)	Magnitudo	S1	D1	R1	S2	D2	R2	Soluzioni disponibili
25235011	2020-09-09 04:56:58	M_w 3.5	296	87	-160	205	70	-4	TDMT
		M_L 3.5	35	90	40	-55	50	180	FPFIT
25266461	2020-09-14 03:47:09	M_w 3.4	116	78	-162	23	72	-12	TDMT
25266541	2020-09-14 03:48:01	M_L 2.9	160	50	-40	278	60	-132	FPFIT
25341721	2020-09-23 20:50:11	M_L 3.1	160	50	-30	270	67	-136	FPFIT
25370511	2020-09-26 12:33:59	M_L 2.5	160	60	-50	287	54	-127	FPFIT
25371991	2020-09-26 19:44:17	M_L 2.1	160	75	20	65	70	164	FPFIT
25390661	2020-09-30 04:39:43	M_L 2.2	160	55	-60	295	45	-125	FPFIT

Tabella 2 Terremoti con $M \geq 2.0$ avvenuti tra settembre e novembre 2020 nella zona di Salemi per i quali è stato possibile calcolare i meccanismi focali (Soluzioni TDMT e FPFIT First Polarities). Sono riportati i valori di Strike (S), Dip (D) e Rake (R) delle soluzioni di faglia.

Table 2 Earthquakes with $M \geq 2.0$ that occurred between September and November 2020 in the Salemi area for which it was possible to calculate the focal mechanisms (TDMT and FPFIT First Polarities). The Strike (S), Dip (D) and Rake (R) values of fault solutions are reported.

L'allineamento degli epicentri dei terremoti e le soluzioni focali suggeriscono la presenza ed il coinvolgimento di una struttura orientata NW-SE a cui sono associati movimenti di trascorrenza destra (Figura 1). Tuttavia, per ottenere un quadro sismotettonico più chiaro e completo, ulteriori approfondimenti saranno oggetto di ulteriori analisi.

L'area oggetto di studio si localizza a nord ovest della zona comunemente definita come la Valle del Belice, compresa fra le province di Agrigento, Trapani e Palermo, nota per la lunga sequenza sismica iniziata nel gennaio del 1968 e terminata nel mese di febbraio dell'anno successivo. Guardando alla sismicità storica il settore della Sicilia occidentale è stato colpito da terremoti che raramente hanno prodotto effetti disastrosi. Questo territorio è stato sede di poche decine di terremoti sia in epoca storica che nel periodo recente (Figura 2).

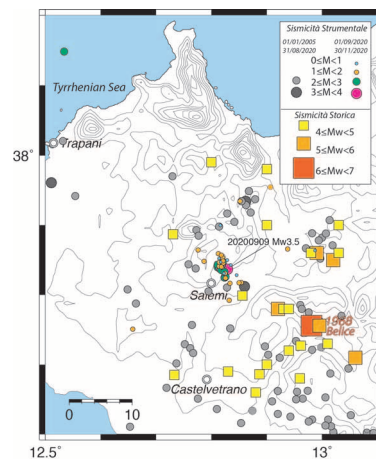


Figura 2 Mappa della sismicità strumentale $M \geq 2.0$ registrata dal 2005 all’inizio di settembre 2020. Sono inoltre riportati tutti gli eventi registrati a partire da settembre e fino a novembre 2020 (cerchi con dimensione crescente in base alla Magnitudo) - da ISIDe [6]. In mappa sono indicati anche i terremoti storici selezionati con $M_w \geq 4.0$ dal catalogo CPTI15 [Rovida et al., 2016] (quadrati con dimensione crescente in base alla Magnitudo). Si evidenziano, tra i forti terremoti del passato, quelli della Valle del Belice del 1968-1969.

Figure 2 The map shows the instrumental seismicity, $M \geq 2.0$, from 2005 to september 2020, and all magnitudes from september to november 2020 (circles with increasing size based on magnitude) - from ISIDe [6]. The map shows also the historical seismicity selected for $M_w \geq 4.0$ from the catalog of past earthquakes CPTI15 [Rovida et al., 2016] (squares with increasing size based on magnitude). Among the strong earthquakes of the past, those of the Belice Valley (1968-1969).

Prima della crisi sismica del 1968, la Valle del Belice era considerata un’area quasi asismica. La storia sismologica di tutta la Sicilia occidentale in epoca storica è, infatti, molto scarna di eventi importanti. Solamente due terremoti significativi, con magnitudo massima presunta pari approssimativamente a 5.8 e Intensità del X grado, sono avvenuti tra il 300 ed il 600 d.C. [Guidoboni et al., 2002; Bottari et al., 2009] a sud-ovest di Castelvetro, l’area dell’attuale Selinunte.

La sequenza sismica del 1968 ebbe inizio nel pomeriggio del 14 gennaio (alle ore 12:28 UTC) con una prima forte scossa di M_w 5.1. Nelle ore successive, altre scosse, di cui 3 con magnitudo M_w compresa tra 4.9 e 5.4, furono registrate rispettivamente alle 13:15 e 15:48 UTC del 14 gennaio ed alle 01:33 UTC del giorno successivo. La scossa più forte dell’intera sequenza avvenne nella notte tra il 14 e il 15 gennaio, alle ore 02:01 UTC (Figura 2). Questo terremoto, di M_w 6.4, fu avvertito in quasi tutta la Sicilia, fino a Catania e Messina, ed ebbe effetti disastrosi in un’area molto vasta, già colpita dalle precedenti scosse. In molti dei comuni ricadenti nella Valle del Belice furono stimati valori di Intensità massima pari al X grado. I morti accertati ufficialmente furono complessivamente 231 e i feriti oltre 600, anche se si ritiene che il bilancio delle vittime fosse molto più alto: oltre 400 morti e più di 1.000 feriti. Il numero contenuto di vittime e feriti, rispetto alla gravità della sequenza, fu probabilmente dovuto all’allerta data dal generale Carlo Alberto Dalla Chiesa, all’epoca comandante dei Carabinieri di Palermo, nel pomeriggio del 14 gennaio dopo le prime forti scosse. Alla scossa principale seguì una lunga serie di repliche (circa un migliaio, di cui oltre 80 con magnitudo superiore a 3.0), alcune delle quali molto forti, che si protrassero sino al febbraio del 1969.

In epoca recente, ad esclusione dei terremoti distruttivi del Belice (1968), la sismicità della Sicilia occidentale è stata caratterizzata da sequenze sismiche di moderata intensità (Figura 2) e, purtroppo, fino allo scorso decennio, la probabile microsismicità presente risulta scarsamente caratterizzata a causa della insufficiente copertura della RSN in quest’area [D’Alessandro et al., 2010].

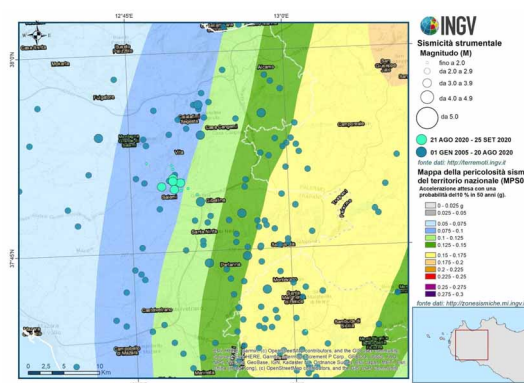
L'identificazione e la caratterizzazione delle strutture sismogenetiche della Sicilia occidentale ed in particolare dell'area del Belice, rimane ancora oggi una questione aperta. Studi basati principalmente sulle caratteristiche geomorfologiche della zona hanno messo in relazione l'attività sismica con l'esistenza di zone di giunzione fra aree a differente evoluzione geologica. Purtroppo, allo stato attuale delle conoscenze non è possibile associare gli eventi sismici a strutture sismogenetiche ben definite anche perché in nessun caso sono stati osservati fenomeni di fagliazione superficiale cosismica, a causa delle basse magnitudo degli eventi o della elevata profondità ipocentrale. Uno studio di Monaco et al. [1996], basato su osservazioni morfotettoniche, sismologiche e strutturali, suggerisce che, durante la sequenza sismica del 1968, potrebbero essersi generate delle fratture multiple sulla rampa di un thrust crostale cieco, localizzato al di sotto dell'area epicentrale ed immergente verso NNO al di sotto della Valle del Belice.

L'area di Salemi, oggetto della sequenza sismica in studio, si trova in una fascia a pericolosità sismica media, prossima alle zone più occidentali del Belice, dove invece la pericolosità risulta alta e dove storicamente si sono verificati i terremoti più forti della Sicilia occidentale (Figura 3). L'area epicentrale nella quale ricadono gli eventi della sequenza è localizzata nella fascia la cui accelerazione attesa è compresa tra 0.075 e 0.1g, con una probabilità del 10% in 50 anni (Fonte dati: Stucchi et al. [2004]) [11].

Per maggiori informazioni, relative all'inquadramento geologico strutturale dell'area, far riferimento al post pubblicato nel sito INGVterremoti [12].

Figura 3 La mappa mostra la pericolosità sismica dell'area interessata dalla sequenza sismica oggetto del presente lavoro (Fonte dati: Stucchi et al. [2004]) [11] e la distribuzione della sismicità strumentale registrata a partire dal 2005.

Figure 3 The map shows the seismic hazard of the area affected by the seismic sequence object of this work (Data source: Stucchi et al. [2004]) [11] and the distribution of instrumental seismicity recorded since 2005.



2. Il Gruppo Operativo SISMICO

SISMICO è la *task force* operativa dell'INGV che prevede il coordinamento a livello nazionale delle Reti Sismiche Mobili di Pronto Intervento in emergenza e coinvolge personale afferente a tutte le Sezioni dell'INGV, in particolare quelle che si occupano normalmente del monitoraggio sismico del territorio nazionale [Moretti et al., 2012; 2016a; 2016b] [1; 2].

Obiettivo di SISMICO è quello di densificare, nel più breve tempo possibile, la geometria della rete sismica permanente presente nell'area colpita da un terremoto mediante l'installazione di stazioni temporanee, possibilmente dotando la strumentazione di apparati per la trasmissione dei segnali in tempo reale. Questa integrazione consente di abbassare la soglia della magnitudo di completezza dei cataloghi disponibili e di migliorare la qualità delle localizzazioni dei terremoti, in particolare nella definizione della loro profondità ipocentrale. Le stazioni di SISMICO contribuiscono nell'immediato al Servizio di Sorveglianza Sismica per una migliore definizione del fenomeno in corso e contestualmente forniscono dati di ottima qualità e dettaglio per studi successivi di sismotettonica e fisica del terremoto.

Le attività preparatorie che SISMIKO predispone e quelle da svolgere in occasione di una emergenza sono codificate, così come per gli altri GO dell'INGV, in un Protocollo Operativo in cui sono definiti, oltre all'organigramma, anche i compiti, le modalità, l'afferenza, la policy dei dati, le collaborazioni, ecc. Secondo tale Protocollo Operativo, SISMIKO si attiva in caso di eventi sismici di magnitudo superiore a 5.0 sul territorio nazionale o in caso di sequenze sismiche con *mainshock* di tale entità. Ciò non toglie che se ci sono aree su cui porre particolare attenzione in considerazione dell'attività tettonica in atto, l'intervento può essere predisposto anche per terremoti aventi magnitudo minori.

2.1 Studio di fattibilità e progettazione della rete sismica temporanea

Al momento della convocazione del Comitato erano stati localizzati dai turnisti della Sala Operativa dell'ONT 10 eventi sismici in un'area compresa tra gli abitati di Salemi, Vita e Gibellina (tutti in provincia di Trapani); 4 di questi terremoti risultavano di magnitudo superiore a 3.0 (Figura 4). L'incontro è avvenuto a seguito della richiesta pervenuta dal Responsabile della Protezione Civile della Regione Sicilia e accolta dai vertici dell'INGV, di valutare l'installazione di stazioni temporanee nell'area in Sicilia occidentale dove da qualche giorno alcuni eventi preoccupavano popolazioni e autorità locali. Pertanto, il Comitato si è riunito telematicamente per valutare il contesto tecnico, scientifico e logistico del possibile intervento.

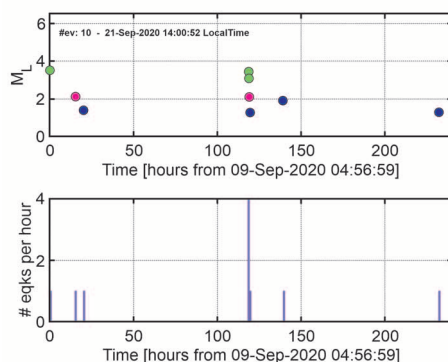


Figura 4 Distribuzione temporale delle magnitudo e del numero di eventi per ora a partire dal 9 al 21 settembre 2020 nell'area epicentrale vicina all'abitato di Salemi (Fonte dati: localizzazioni prodotte presso la Sala Operativa dell'ONT).

Figure 4 Time distribution of magnitudes and number of events per hour from 9 to 21 September 2020 in the epicentral area near Salemi (Data source: locations produced at the Rome Operations Room).

Una ipotesi di geometria della rete sismica temporanea è stata disegnata dopo aver reperito le informazioni sulla distribuzione e sulla funzionalità delle stazioni della RSN intorno alla sequenza sismica in corso (Figura 5), in considerazione della posizione dei 10 eventi registrati nei precedenti giorni e del meccanismo focale dell'evento maggiore (Figura 1) [9].

Considerando un'area con un raggio di 30 km dall'abitato di Salemi, si contavano 8 stazioni permanenti della RSN. Le due più vicine erano situate a meno di 10 km di distanza dagli epicentri degli eventi, ubicate rispetto a questi a NW e SE (MTGR a Montagna Grande e MFNL a Monte Finestrelle, entrambe in provincia di Trapani). Le altre distavano mediamente oltre i 15-20 km. Tra di esse una sola stazione era dotata di accelerometro (MBFT, Monte Bonifato), posizionata circa 16 km a NE dalla sequenza sismica. Nel momento in cui veniva studiato l'intervento, la stazione MTGR, situata poco a NW dall'epicentro dell'evento principale, risultava non funzionante ed era in corso di programmazione un rapido intervento per il suo ripristino.

Al termine della riunione del 19 settembre è stato predisposto l'intervento nell'area oggetto di studio; questo si è concretizzato nei giorni successivi con l'installazione di 4 stazioni sismiche temporanee, posizionate in modo da migliorare la copertura azimutale della RSN rispetto all'area epicentrale della sequenza e ritenendole più che sufficienti per monitorare l'evoluzione del fenomeno in corso (Figura 5).

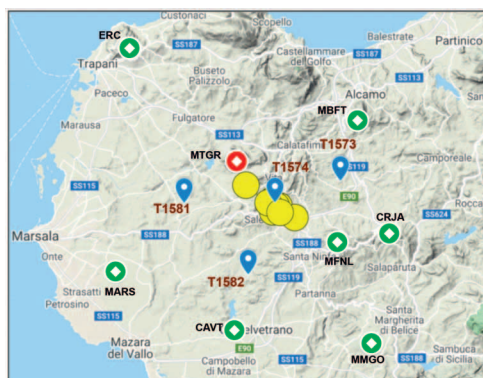


Figura 5 Distribuzione delle stazioni sismiche operanti nell'intorno dell'area interessata dalla sequenza sismica. Con i cerchi gialli è riportata la distribuzione della sismicità dell'area valutata durante la riunione del Comitato del 19/09/20. I cerchi verdi e bianchi rappresentano le stazioni funzionanti della RSN; con il cerchio rosso e bianco è indicata l'unica stazione guasta. In blu sono riportate le possibili posizioni delle 4 stazioni di SISMICO preventivate nel corso della riunione.

Figure 5 Distribution of the seismic stations around the area affected by the seismic sequence. The yellow circles are the seismicity of the area evaluated during the meeting of the 19/09/20 Committee. The green and white circles represent the working stations of the RSN; the red and white circle indicates the only faulty station. The theoretical sites for the 4 SISMICO stations are shown in blue.

2.2 Realizzazione dell'intervento. Strumentazione installata e configurazione della rete sismica temporanea

In Sicilia sono presenti due Sedi INGV che afferiscono a SISMICO, che, al momento dell'intervento, disponevano di 6 stazioni dedicate alle emergenze: 2 presso la sede di Palermo e 4 a Catania. Nella fase relativa allo studio di fattibilità dell'intervento, è stata data la disponibilità di ulteriori 2 stazioni e 2 unità di personale da parte del referente di SISMICO della Sede INGV di Napoli, relativamente prossima all'area di interesse. Disponibilità all'intervento, anche con strumentazione, è stata data dal personale (sempre afferente a SISMICO) di altre sedi dell'INGV, che avrebbero potuto raggiungere l'area epicentrale con tempistiche diverse.

Il 22 settembre 2020, il personale afferente a SISMICO della sede di Palermo che ha ordinariamente competenza sulla manutenzione delle stazioni della RSN in Sicilia centro-occidentale, si è recato innanzitutto a Montagna Grande per valutare il ripristino della stazione MTGR. In queste fasi è importante abilitare nuovi punti di osservazione del fenomeno in corso, ma consentire se possibile la continuità del dato di stazioni pre-esistenti è sempre la priorità. L'attività di installazione delle 4 stazioni temporanee è iniziata con la ricerca dei siti più idonei, partendo dai punti teorici indicati dal Comitato e in considerazione delle reali condizioni che gli operatori avrebbero trovato poi in campagna. Probabilmente, in questa fase logistica, la difficoltà maggiore è quella di individuare il luogo più idoneo che possa ospitare la strumentazione: esso dovrebbe essere il miglior compromesso tra la disponibilità di un sito poco rumoroso (lontano da strade, infrastrutture, corsi d'acqua, alberi, pali della luce, ecc.), sicuro (per evitare furti o atti vandalici), ben esposto al sole (per alimentare le batterie tramite i pannelli solari) e facilmente raggiungibile. La scelta dei siti è stata anche vincolata dalla tipologia dei sensori delle stazioni della RSN, in alcuni casi in questa zona non dotate di accelerometro. Due dei siti di installazione sono stati assegnati come competenza al personale di Catania (T1573 e T1574) ed altri due a quello di Palermo (T1581 e T1582).

Le stazioni sono state installate con il supporto delle autorità locali, contattate dal referente della Sede di Palermo, per garantire una maggior protezione della strumentazione nei siti selezionati.

Le stazioni sono state tutte equipaggiate di router UMTS/LTE, quindi capaci di trasmettere i segnali in tempo reale al centro di acquisizione dati dell'OE, per poi essere ritrasmessi all'ONT. Nelle Tabelle 3 e 4 è descritta la strumentazione installata in ogni sito, i riferimenti topografici ed il periodo di acquisizione.

Codice di rete	Sigla	Acquisitore	Velocimetro	Accelerometro	Sede SISMIKO
X3	T1573	Taurus-40Vpp /TRIDENT-40Vpp	Trillium-120C	CMG-5TC	Catania
X3	T1574	Taurus-40Vpp	Trillium-120C	CMG-5TC	Catania
X3	T1581	GAIA2-10Vpp /40Vpp	LE3D-Lite	Episensor-2G	Palermo
X3	T1582	GAIA2-10Vpp /40Vpp	LE3D-Lite	Episensor-2G	Palermo

Tabella 3 Descrizione della strumentazione installata nei 4 siti di SISMIKO.

Table 3 Details of the instrumentation installed in the 4 SISMIKO sites.

Rete	Località	Sigla	Latitudine	Longitudine	Quota (m)	Start Time (UTC) Stop Time (UTC)
X3	Gallitello (TP)	T1573	37.86280	12.93010	221	2020-09-23 09:30 2020-10-20 23:59
X3	Gallitello (TP)	T1573	37.86340	12.93050	226	2020-10-21 10:24 2020-10-25 12:24
X3	Salemi, Contrada Gialla (TP)	T1574	37.84210	12.8223	461	2020-09-22 12:30 2020-11-25 10:34
X3	Borgo Fazio (TP)	T1581	37.853302	12.68779	270	2020-09-23 09:30 2020-11-24 11:30
X3	Santa Ninfa (TP)	T1582	37.74610	12.77810	164	2020-09-22 13:20 2020-11-24 12:40

Tabella 4 Coordinate e periodo di funzionamento delle stazioni SISMIKO. I parametri sottolineati si riferiscono al secondo sito di installazione della stazione T1573.

Table 4 Details of the sites that hosted the SISMIKO stations. The underlined parameters are referred to the second installation site of the T1573 station.

La prima stazione installata è stata la T1574 in località Contrada Gialla di Salemi, in piena area epicentrale (Figure 5 e 6). Un'ora dopo era attiva anche la stazione T1582, installata in località Santa Ninfa, a sud ovest dell'area epicentrale ad una distanza di circa 10 km da questa. A conclusione di queste prime installazioni, sono stati effettuati i sopralluoghi presso gli altri due siti di possibile installazione delle altre due stazioni.

Il giorno successivo sono state avviate e concluse le attività tecniche di installazione anche per le stazioni T1573 e T1581, rispettivamente a Gallitello e Borgo Fazio, in provincia di Trapani (Figure 5 e 6).

Contestualmente alle operazioni in campagna, il personale di SISMIKO da remoto ha operato le richieste di modifica di rete sul sistema di acquisizione INGV di Roma tramite l'interfaccia WEB Seisface [Pintore et al., 2012], aggiornando le informazioni delle coordinate e dello *start time*, oltre ad alcune informazioni logistiche.

Sono state quindi effettuate delle analisi di qualità sul segnale acquisito attraverso la verifica dell'integrità del segnale continuo, la presenza di segnali anomali sulle componenti, analisi spettrali della rumorosità delle stazioni e delle possibili amplificazioni, ed è stata accertata la presenza di transienti riconducibili a micro repliche della sequenza.

Successivamente, è stato dato esito positivo al responsabile della Sala Operativa di Roma in modo tale da poter integrare tutti i segnali nel sistema di sorveglianza sismica nazionale per essere usati in tempo reale nelle localizzazioni di ulteriori terremoti nella zona.

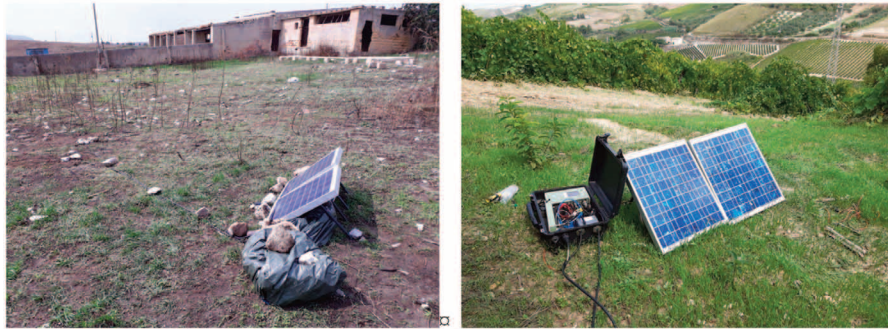


Figura 6 Le foto mostrano le stazioni T1573 (a sinistra) e T1574 (a destra) installate dal personale dell'OE di Catania. Vedere Tabelle 3 e 4 per i dettagli dei siti e sulla strumentazione impiegata.

Figure 6 The photos show the T1573 (left) and T1574 (right) stations installed by the staff of the OE of Catania. See Tables 3 and 4 for site details.

Le stazioni installate sono state contestualmente registrate sul portale *International Seismological Centre* (ISC) [13] come richiesto dalle procedure di acquisizione dati INGV.

In Figura 7 viene mostrata una porzione di sismogramma registrato dalla stazione temporanea T1574, ubicata nei pressi dell'abitato di Salemi, nella giornata successiva alla sua installazione. L'evento maggiore è relativo al terremoto di M_L 3.1 delle 20.50 UTC [14] le cui forme d'onda delle tre componenti del velocimetro sono riportate in Figura 8.

Figura 7 Sismogramma registrato alla stazione T1574 nelle ultime 4 ore del 23-09-2020.

Figure 7 Seismicity recorded by station T1574 (last 4 hours of 23-09-2020).

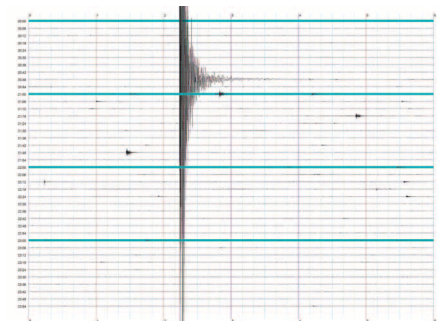
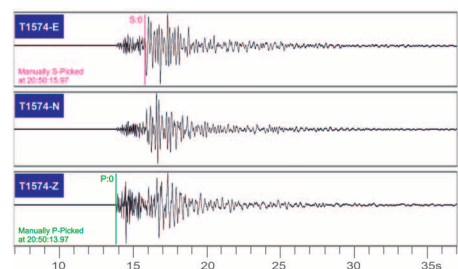


Figura 8 Esempio di evento registrato alle tre-componenti del velocimetro della stazione T1574, installata in area epicentrale a Salemi (23-09-2020, ore 20:50 UTC, $M_L=3.1$).

Figure 8 Example of event recorded in the epicentral area (23-09-2020, 20:50 UTC, M_L 3.1 recorded by station T1574, installed in Salemi).



Per valutare la bontà della rete, sono stati analizzati i dati acquisiti nei primi giorni di attività (22-27 settembre) con un *picker* automatico seguito da una revisione manuale degli eventi individuati.

Il software utilizzato è CASP [Scafidi et al., 2019] che prevede una prima fase di *detection*, in cui un tentativo di individuazione di possibili arrivi P tramite STA/LTA sulle forme d'onda in continuo (formato MiniSEED [15] viene convalidato o meno da una localizzazione approssimata con NonLinLoc [Lomax et al., 2000]. Per gli eventi che superano questa prima selezione viene estratta una finestra di segnale (con pre-evento e post-evento configurabili) in formato SAC. Queste finestre sono sottoposte al picker automatico (RsnPick), che produce una localizzazione e una magnitudo. Le stesse forme d'onda possono essere poi passate al programma di revisione manuale SacPicker. Entrambi i programmi usano NonLinLoc come localizzatore.

Per questo primo test non è stato possibile sviluppare un modello di propagazione delle fasi ad hoc, avendo analizzato i dati in tempo quasi reale; si è quindi adottato il modello 1D a gradiente utilizzato per l'analisi della sequenza sismica 2016-2017 in Italia centrale [De Luca et al., 2009], implementato nella versione di CASP disponibile per evitare effetti indesiderati sulle discontinuità. Il sistema è stato configurato con il criterio di coincidenza a una soglia molto bassa (3 stazioni), correndo il rischio di avere parecchi falsi allarmi ma con l'intenzione di riconoscere anche terremoti piccoli.

Oltre alle 4 stazioni temporanee (T1573, T1574, T1581, T1582), sono state selezionate le 8 stazioni più vicine della RSN (CAVT, CRJA, ERC, MARS, MBFT, MFNL, MMGO, MTGR), i cui dati sono stati scaricati dal *webservice dataselect* INGV.

Il sistema automatico ha prodotto 42 localizzazioni di discreta qualità, ossia con errori stimati inferiori ai 5 km. I dati sono poi stati sottoposti ad una revisione manuale, che ha portato a localizzare 111 terremoti.

In Figura 9 viene mostrato il confronto tra le localizzazioni prodotte dalla sala sismica in tempo quasi reale, dal *picker* automatico e da quello manuale qui descritti. Le dimensioni sono proporzionali alla magnitudo, il colore indica la profondità.

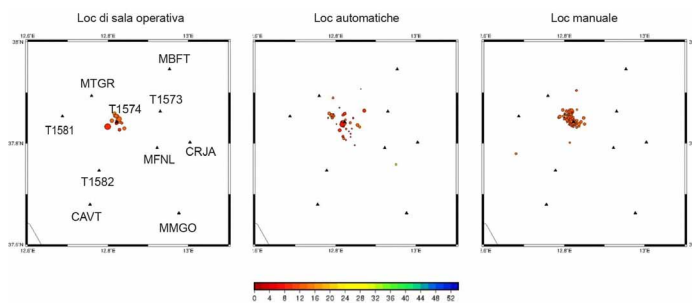


Figura 9 Confronto tra le localizzazioni prodotte presso la Sala Operativa di Roma, il *picker* automatico con il software CASP e la revisione manuale. Le dimensioni dei cerchi sono proporzionali alla magnitudo degli eventi e il colore indica la profondità.

Figure 9 Comparison between the localizations produced at the Operations Room in Rome, the automatic picker with the CASP software and the manual review. The dimensions are proportional to the magnitude, the color indicates the depth.

2.3 Manutenzione e disinstallazione della rete sismica temporanea

In linea di massima, le 4 stazioni installate, non hanno mostrato particolari problemi di funzionamento e di interruzioni nella registrazione dei segnali; piccoli interventi di manutenzione ed alcune lievi variazioni logistiche ai siti d'installazione sono state necessarie per garantire una quanto più efficace acquisizione dei segnali.

In data 21 ottobre, su richiesta del proprietario del terreno che ospitava la strumentazione, è stata spostata la stazione T1573 (Figura 10). La decisione è avvenuta a valle di un confronto interno al Comitato dopo aver ricevuto la comunicazione (in data 18 ottobre) da parte del

proprietario del terreno di riavere in tempi brevi l'uso esclusivo del terreno per la gestione del suo allevamento di ovini. Il nuovo sito, su suggerimento dello stesso proprietario, è stato individuato all'interno del medesimo podere, ad una distanza di circa 90 metri dal punto precedente (nuove coordinate: 37.8634, 12.9305, 226 m, Figura 10). Per tale motivo non è stata cambiata la sigla alla stazione; sono state aggiornate solamente le coordinate ai canali nel *dataless* della stazione.



Figura 10 Sito che dal 21 ottobre 2020 ha ospitato la stazione T1573.
Figure 10 New station site of T1573 station (since 21 October).

Lo stesso giorno, è stata eseguita la manutenzione alla stazione T1574, il cui segnale era interrotto dalla sera precedente. Al momento del sopralluogo, si è osservato un mal posizionamento del sensore velocimetrico: questo risultava leggermente dissotterrato e con il cavo che lo collega alla stazione in posizione diversa rispetto all'installazione. Dalla discussione avuta col proprietario del luogo in cui era installata la stazione si è venuti a conoscenza che a volte nell'area sono di passaggio animali di piccola taglia, compresi piccoli cinghiali. A seguito dell'intervento, la stazione è stata ripristinata in maniera corretta.

In accordo con i vertici dell'ente e previa comunicazione al Responsabile della Protezione Civile della Regione Sicilia, la rete è rimasta in funzione fino alla fine del mese di novembre, quando la sismicità era praticamente scomparsa (Figura 11).



Figura 11 Grafico delle magnitudo dei terremoti/tempo localizzati dalla Sala Operativa dell'ONT aggiornato al 24 novembre 2020 quando è stata disinstallata la rete temporanea X3.

Figure 11 Graph of the number of earthquakes over time from the ONT Operations Room updated to November 24, 2020 when the X3 temporary network was uninstalled.

La sismicità localizzata dalla Sala Operativa dell'ONT di Roma compresa in un raggio 10 km da Salemi, nelle prime settimane della sequenza, contava 35 terremoti, di cui 25 avvenuti dopo l'installazione della rete temporanea X3. Grazie all'installazione della rete mobile, a partire dal 23 settembre è stato osservato un incremento del rateo di accadimento delle scosse.

È opportuno specificare che questo apparente incremento di sismicità era una chiara conseguenza del migliore potere risolutivo della nuova geometria di rete. Infatti, l'incremento del tasso di accadimento delle scosse si è manifestato esclusivamente con un aumento delle scosse di bassa magnitudo, contrariamente a quanto si è verificato, invece, per quelle più energetiche, che da giorno 23 settembre sono diminuite drasticamente. In particolare, dai primi di ottobre non si sono più registrati terremoti con magnitudo superiore a 2.0 (Figura 11).

3. Gestione e distribuzione dei dati

I segnali acquisiti in tempo reale sono stati resi disponibili immediatamente e senza vincoli alla comunità scientifica tramite l'*European Integrated Data Archive* (EIDA) nel formato internazionale *Standard for Exchange of Earthquake Data* (SEED).

Per la prima volta nell'esperienza delle campagne di intervento gestite dal GO SISMIKO, quello di "Salemi 2020", con acquisizione dal 22 settembre al 25 novembre 2020, è stato il primo *dataset* ad aver assegnato un DOI mentre l'attività di acquisizione era ancora in corso [16]. L'attribuzione in breve tempo del DOI, a poche ore dall'installazione della rete temporanea, per il GO è stato un importante traguardo da confermare anche in futuro, a garanzia di un'efficace organizzazione dei dati acquisiti. Grazie anche a questa esperienza, l'utilizzo dei dataset raccolti durante le campagne di intervento del GO, sarà pertanto immediatamente consentito, a condizione che la fonte sia sempre citata tramite il DOI assegnato.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare tutti coloro che hanno contribuito alle attività descritte nel presente manoscritto relativamente alle installazioni in campagna, alla acquisizione dei dati, alla loro archiviazione e distribuzione: in particolare i colleghi Giuseppe Passafume, Sandro Rao, Leonardo Salvaterra, Diego Franceschi e Alfonso Mandiello. Un sentito riconoscimento va espresso ai colleghi del Comitato di Coordinamento Paola Baccheschi, Adriano Cavaliere, Felice Minichiello, Pierdomenico Del Gaudio, Lucia Margheriti, Danilo Galluzzo, nonché ad Ornella Cocina che ha partecipato alle riunioni per la definizione dell'intervento e la sua messa in opera. Gli Autori esprimono, inoltre, la loro gratitudine al revisore anonimo per i suggerimenti e le indicazioni fornite, che hanno contribuito a migliorare il manoscritto.

Lo studio ha beneficiato del contributo finanziario della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento Protezione Civile (DPC); la presente pubblicazione, tuttavia, non riflette necessariamente la posizione e le politiche ufficiali del DPC.

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 SISMIKO Emergency Group - Salemi-Italy 2020 - T15* [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/SD/LJFPEOSEK0>
- Bottari C., Stiros S.C., Teramo A., (2009). *Archeological evidence for destructive earthquakes in Sicily between 400 B.C. and A.D. 600*. *Geoarchaeology*, 24, No 2, 147-175. <https://doi.org/10.1002/gea.20260>
- D'Alessandro A., Luzio D., D'Anna G. and Mangano G., (2010). *Valutazione della performance di localizzazione della RSNC-INGV tramite simulazione numerica*. Quaderni di Geofisica, 83, pp.33.

- De Luca G., Cattaneo M., Monachesi G. and Amato A., (2009). *Seismicity in the Umbria-Marche region from the integration of national and regional seismic networks*. *Tectonophysics*, 476(1), 219-231. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.11.032>
- Guidoboni E., Muggia A., Marconi C., Boschi E., (2002). *A Case Study in Archaeoseismology. The Collapses of the Selinunte Temples (Southwestern Sicily): two Earthquakes Identified*. *Bull. seism. Soc. Am.*, 92, pp. 2961–2982.
- INGV Seismological Data Centre, (2006, January 1). *Rete Sismica Nazionale (RSN)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Italy. <https://doi.org/10.13127/SD/X0FXNH7QFY>
- ISIDe Working Group, (2007). *Italian Seismological Instrumental and Parametric Database (ISIDe)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/ISIDE>
- Lomax, A., J. Virieux, P. Volant, and Berge-Thierry 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*, ed. C. H. Thurber and N. Rabinowitz, 101–134. Dordrecht and Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Margheriti, L., Nostro, C., Cocina, O., Castellano, M., Moretti, M., Lauciani, V., Quintiliani, M., Bono, A., Mele, F.M., Pintore, S., Montalto, P., Peluso, R., Scarpato, G., Rao, S., Alparone, S., Di Prima, S., Orazi, M., Piersanti, A., Cecere, G., Cattaneo, M., Vicari, A., Sepe, V., Bignami, C., Valoroso, L., Aliotta, M., Azzarone, A., Baccheschi, P., Benincasa, A., Bernardi, F., Carluccio, I., Casarotti, E., Cassisi, C., Castello, B., Cirilli, F., D'Agostino, M., D'Ambrosio, C., Danecek, P., De Cesare, W., Della Bina, E., Di Filippo, A., Di Stefano, R., Faenza, L., Falco, L., Fares, M., Ficeli, P., Latorre, D., Lorenzino, M.C., Mandiello, A., Marchetti, A., Mazza, S., Michelini, A., Nardi, A., Pastori, M., Pignone, M., Prestifilippo, M., Ricciolino, P., Sensale, G., Scognamiglio, L., Selvaggi, G., Torrisi, O., Zanolin, F., Amato, A., Bianco, F., Branca, S., Privitera, E., Stramondo, S., (2021). *Seismic Surveillance and Earthquake Monitoring in Italy*. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220200380>
- Michelini A., Margheriti L., Cattaneo M., Cecere G., D'Anna G., Delladio A., Moretti, M., Pintore S., Amato A., Basili A., Bono A., Casale P., Danecek P., Demartin M., Faenza L., Lauciani V., Mandiello A.G., Marchetti A., Marcocci C., Mazza S., Mele F.M., Nardi A., Nostro C., Pignone M., Quintiliani M., Rao S., Scognamiglio L. and Selvaggi G., (2016). *The Italian National Seismic Network and the earthquake and tsunami monitoring and surveillance systems*. *Adv. Geosci.*, 43, 31-38. <https://doi.org/10.5194/adgeo-43-31-2016>
- Monaco C., Mazzoli S., Tortorici L., (1996). *Active thrust tectonics in western Sicily (southern Italy): the 1968 Belice earthquakes sequence*. *Terra Nova*, 8, 372-381.
- Moretti M., Abruzzese L., Abu Zeid N., Augliera P., Azzara R.M., Barnaba C., Benedetti L., Bono A., Bordoni P., Boxberger T., Bucci A., Cacciaguerra S., Calò M., Cara F., Carannante S., Cardinale V., Castagnozzi A., Cattaneo M., Cavaliere A., Cecere G., Chiarabba C., Chiaraluca L., Ciaccio M.G., Cogliano R., Colasanti G., Colasanti M., Cornou C., Courboux F., Criscuoli F., Cultrera G., D'Alema E., D'Ambrosio C., Danesi S., De Gori P., Delladio A., De Luca G., Demartin M., Di Giulio G., Dorbath C., Ercolani E., Faenza L., Falco L., Fiaschi A., Ficeli P., Fodarella A., Franceschi D., Franceschina G., Frapiccini M., Frogneux M., Giovani L., Govoni A., Improta L., Jacques E., Ladina C., Langlaude P., Lauciani V., Lolli B., Lovati S., Lucente F.P., Luzi L., Mandiello A.G., Marcocci C., Margheriti L., Marzorati S., Massa M., Mazza S., Mercerat D., Milana G., Minichiello F., Molli G., Monachesi G., Morelli A., Moschillo R., Pacor F., Piccinini D., Piccolini U., Pignone M., Pintore S., Pondrelli S., Priolo E., Pucillo S., Quintiliani M., Riccio G., Romanelli M., Rovelli A., Salimbeni S., Sandri L., Selvaggi G., Serratore A., Silvestri M., Valoroso L., Van der Woerd J., Vannucci G. and Zaccarelli L., (2012). *Rapid-response to the earthquake emergency of May 2012 in the Po Plain, Northern Italy*. *Annals of Geophysics*, Vol. 55, n. 4. 583 – 590, <https://doi.org/10.4401/ag-6152>
- Moretti M., Margheriti L. and Govoni A., (2016a). *Rapid response to the earthquake emergencies in Italy: temporary seismic network coordinated deployments in the last five years*. In: D'Amico S.

- (Ed): Earthquakes and their impacts on Society, Springer.
- Moretti M., Margheriti L., Govoni A., Marchetti A., Pintore S., Carannante S., D'Alema E., De Gori P., Piccinini D., Valoroso L., Stramondo S., (2020). *L'emergenza sismica in Molise (Agosto 2018). Implementazione della rete sismica di emergenza SISMIKO e condivisione dei dati*. Rapp. Tec. INGV, 418: 132. <https://doi.org/10.13127/rpt/418>
- Moretti M., Pondrelli S., Margheriti L., Abruzzese L., Anselmi M., Arroucau P., Baccheschi P., Baptie B., Bonadio R., Bono A., Bucci A., Buttinelli M., Capello M., Cardinale V., Castagnozzi A., Cattaneo M., Cecere G., Chiarabba C., Chiaraluce L., Cimini G.B., Cogliano R., Colasanti G., Colasanti M., Criscuoli F., D'Alema E., D'Alessandro A., D'Ambrosio C., Danecek P., De Caro M., De Gori P., Delladio A., De Luca G., De Luca G., Demartin M., Di Nezza M., Di Stefano R., Falco L., Fares M., Frapiccini M., Frepoli A., Galluzzo D., Giandomenico E., Giovani L., Giunchi C., Govoni A., Hawthorn D., Ladina C., Lauciani V., Lindsay A., Mancini S., Mandiello A.G., Marzorati S., Massa M., Memmolo A., Migliari F., Minichiello F., Monachesi G., Montuori C., Moschillo R., Murphy S., Pagliuca N.M., Pastori M., Piccinini D., Piccolini U., Pintore S., Poggiali G., Rao S., Saccorotti G., Segou M., Serratore A., Silvestri M., Silvestri S., Vallocchia M., Valoroso L., Zuccarello L., Michelini A. and Mazza S., (2016b). *SISMIKO: emergency network deployment and data sharing for the 2016 central Italy seismic sequence*. *Annals of Geophysics*, 59(5), 2016. <https://doi.org/10.4401/ag7212>
- Pintore S., Marcocci C., Bono A., Lauciani V., Quintiliani M., (2012). *SEISFACE: interfaccia di gestione delle informazioni della Rete Sismica Nazionale Centralizzata*.
- Reasenbergs P.A., and Oppenheimer D., (1985). *FPPIT, FPPLOT and FPPAGE: FORTRAN Computer Programs for Calculating and Displaying Earthquake Fault-Plane Solutions*. US Geological Survey Open-File Report 85-739. Italy: USGS, 109.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. and Gasperini P., (eds) (2016). *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>
- 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>
- Scafidi D., Spallarossa D., Ferretti G., Barani S., Castello B., Margheriti L., (2019). *A complete automatic procedure to compile reliable seismic catalogs and travel-time and strong-motion parameters datasets*. *Seismol. Res. Lett.* 90(3):1308-1317. <https://doi.org/10.1785/0220180257>
- Scognamiglio L., Tinti E., and Michelini A., (2009). *Real-time determination of seismic moment tensor for Italian region*. *Bull. Seism. Soc. of Am.*, Vol. 99, No. 4, pp. 2223-2242. <https://doi.org/10.1785/0120080104>
- 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>
- Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G., (2004). *Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04 [Data set]*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/sh/mps04/ag>

Sitografia

[1] Gruppo operativo SISMIKO - sito web: <http://sismiko.ingv.it/>

[2] SISMIKO: il coordinamento delle reti sismiche mobili INGV in caso di emergenza sismica:

- <https://ingvterremoti.com/2022/07/21/sismiko-il-coordinamento-delle-reti-sismiche-mobili-ingv-in-caso-di-emergenza-sismica/>
- [3] Gruppi Operativi di emergenza INGV: <https://www.ingv.it/it/monitoraggio-e-infrastrutture-per-la-ricerca/emergenze/gruppi-di-emergenza>
- [4] Scheda emergenza "Salemi 2020" nel sito web di SISMICO: http://sismiko.ingv.it/interventi-in-emergenza/emergenze-concluse/em-detail?pk_id=14
- [5] Pagina evento del 09/09/2020 04:56:58 (UTC), M_w 3.5: <http://terremoti.ingv.it/event/25235011?timezone=UTC>
- [6] Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base (ISIDe): <http://terremoti.ingv.it/search>
- [7] Bollettino Sismico Italiano (BSI): <http://terremoti.ingv.it/bsi>
- [8] Time Domain Moment Tensor (TDMT). <http://cnt.rm.ingv.it/tdmt>
- [9] TDMT del terremoto del 09/09/2020 di M_w 3.5: <http://terremoti.ingv.it/event/25235011?timezone=UTC#MeccanismoFocale>
- [10] TDMT del terremoto del 14/09/2020 di M_w 3.4: <http://terremoti.ingv.it/event/25266461?timezone=UTC#MeccanismoFocale>
- [11] Mappa Pericolosità sismica: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>
- [12] INGVterremoti, post dal titolo "Sequenza sismica in provincia di Trapani, settembre 2020" <https://ingvterremoti.com/2020/09/26/sequenza-sismica-in-provincia-di-trapani-settembre-2020/>
- [13] Sito web di International Seismological Centre: <http://www.isc.ac.uk>
- [14] Evento ML 3.1 del 23/09/2020 ore 20:50 UTC: <http://terremoti.ingv.it/event/25341721>
- [15] Formato sismologico miniSEED: <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/formats/miniseed/>
- [16] DOI della dataset della emergenza "Salemi 2020", <https://data.ingv.it/dataset/409#additional-metadata>

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

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

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

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

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

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

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

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

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

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

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

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

Coordinamento editoriale

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