



Analisi statistica della sismicità registrata
nel periodo 2018-2022
dalla rete sismica Tempa Rossa installata
presso la Concessione Gorgoglione

Distribution

TOTALENERGIES EP ITALIA S.P.A.

Autrice

Camilla Rossi

Verificato da

Chiara Cocorullo

Data

07/12/2022



Sommarrio

1. Introduzione	3
1.1 <i>Frequency magnitude distribution (FMD), b- value e magnitudo di completezza</i>	3
1.2 <i>DBSCAN – clustering</i>	4
2. <i>Analisi della sismicità settembre 2018 – giugno 2022</i>	4
3. <i>Analisi della sismicità settembre 2018 – dicembre 2019</i>	7
4. <i>Analisi della sismicità dicembre 2019 – giugno 2022</i>	12
5. <i>CONCLUSIONI</i>	17
<i>Bibliografia</i>	18



1. Introduzione

Nel seguente report viene analizzata la sismicità registrata da settembre 2018 a giugno 2022 dalla rete microsismica denominata Tempa Rossa installata presso la Concessione Gorgoglione.

Nello specifico, si è considerata dapprima la sismicità dell'intero periodo e poi quella dei due periodi precedente l'inizio della produzione (settembre 2018 – 11 dicembre 2019) e successivo all'avvio della produzione (12 dicembre 2019 – giugno 2022).

Di seguito sono elencate le elaborazioni effettuate:

- Analisi della distribuzione della sismicità nello spazio e nel tempo
- Analisi della distribuzione di profondità e magnitudo degli eventi sismici
- Calcolo della frequency–magnitude distribution (FMD), stima della magnitudo di completezza e del b-value
- Clustering ipocentrale, epicentrale e temporale della sismicità nei due periodi precedente l'inizio della produzione e successivo all'avvio della produzione.

1.1 Frequency magnitude distribution (FMD), b- value e magnitudo di completezza

La frequency magnitude distribution (FMD), anche nota come legge Gutenberg-Richter (Gutenberg & Richter, 1954), definisce la relazione tra la magnitudo (M) e il numero di terremoti (N):

$$\log N = a - bM$$

Dall'equazione, è evidente che all'aumentare della magnitudo diminuisce il numero di terremoti.

Dei parametri a e b , rispettivamente l'intercetta e la pendenza della retta, ha interesse sismologico il valore di b , che generalmente varia da 0.6 a 1.5.

Il b -value dipende dalla zona sismogenetica e viene usato nel campo dell'hazard per la valutazione della probabilità di accadimento di un terremoto. Infatti, variazioni di b possono indicare cambiamenti nelle condizioni del campo di stress della zona, con la possibilità di attivare strutture tettoniche.



La magnitudo alla quale l'estremità inferiore della FMD si discosta dalla legge di Gutenberg Richter è chiamata *magnitudo di completezza* M_c . In un catalogo sismico M_c rappresenta la magnitudo più bassa identificabile da una rete sismica. Il calcolo della FMD e la stima della M_c e del *b-value* sono stati effettuati seguendo l'approccio utilizzato da (Herrmann & Marzocchi, 2020); in particolare, la M_c è stimata utilizzando il test di (Lilliefors H., 1967), tramite cui si determina la magnitudo più bassa al di sopra della quale la magnitudo è distribuita esponenzialmente; la stima del *b-value* è stata calcolata con il metodo della massima verosimiglianza (Utsu T., 1995).

1.2 DBSCAN – clustering

Il clustering della sismicità permette di classificare i terremoti identificandone gruppi con simili attributi sismici (epicentro, ipocentro, tempo origine, forme d'onda ecc..).

Il clustering è stato effettuato utilizzando il metodo DBSCAN (Ester, Kriegel, Sander, & Xu, 1996), che identifica i clusters come regioni densamente popolate, dove gli items (i terremoti) sono spazialmente vicini, e marca come outliers gli items che ricadono in regioni a bassa densità.

Nello specifico, il DBSCAN è controllato da due parametri fondamentali che definiscono una soglia di densità:

- N_{min} che definisce il numero minimo di items vicini che identificano i clusters
- ϵ che definisce la distanza massima alla quale due items appartengono allo stesso cluster.

Nel caso in esame, come attributi sismici che definiscono la distanza ϵ sono stati utilizzati gli epicentri, gli ipocentri ed il tempo origine degli eventi sismici.

2. Analisi della sismicità settembre 2018 – giugno 2022

Nel periodo in esame, la rete microsismica di Tempa Rossa ha registrato un numero totale di 313 eventi (Figura 1) localizzati nella zona di interesse, che si estende in superficie per circa 41x43 km e in profondità per 50 km, e che racchiude i Domini di Rilevazione.

La Figura 2 mostra la mappa della zona, gli epicentri degli eventi sismici e due sezioni in profondità (A-B e C-D) con la distribuzione degli ipocentri.

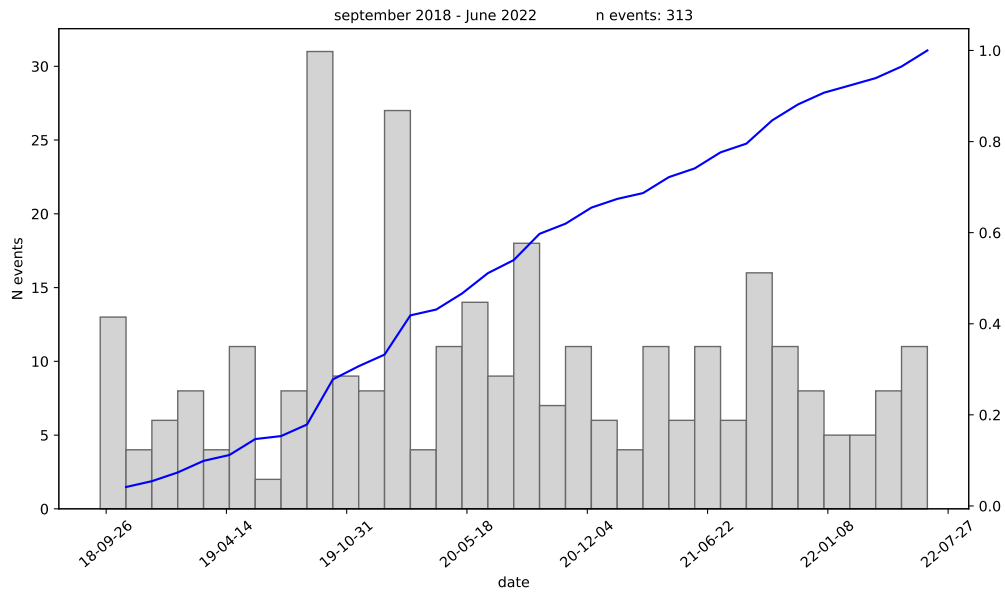


Figura 1 – Distribuzione del numero totale di eventi localizzati da settembre 2018 a giugno 2022. La linea blu rappresenta la cumulativa del numero di eventi normalizzata.

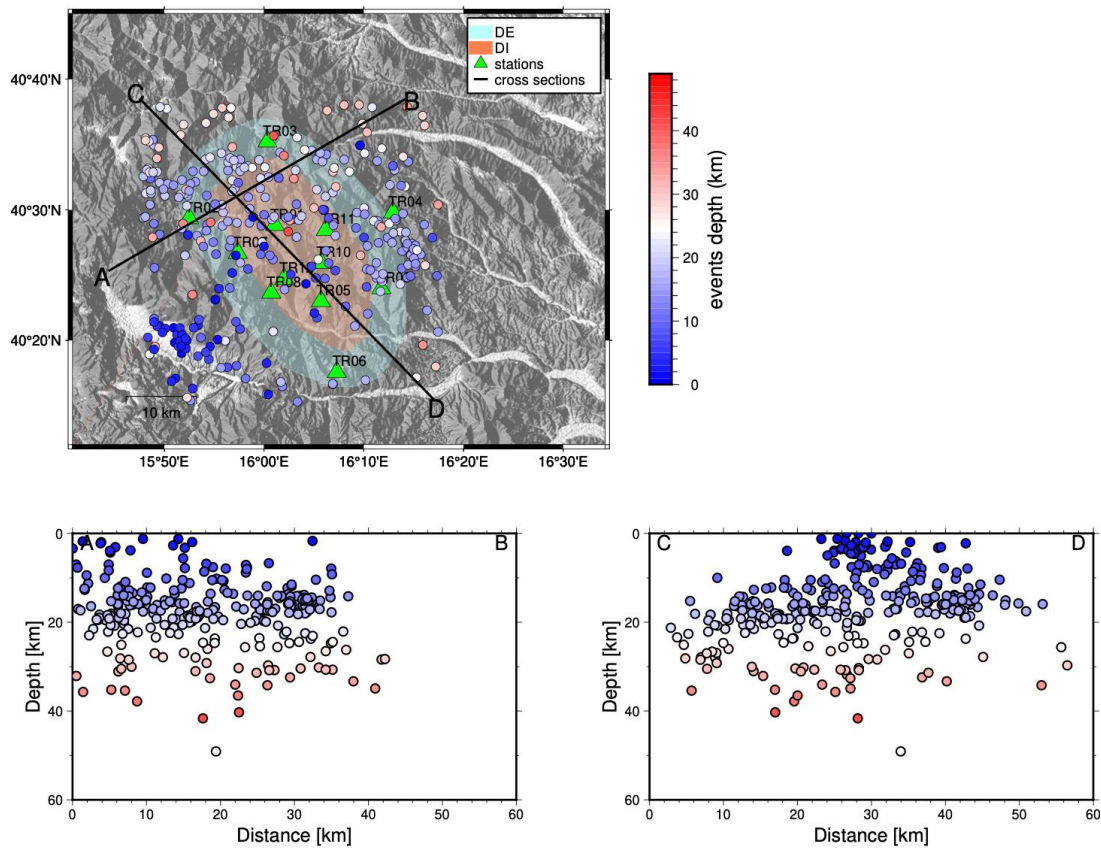


Figura 2 – Mappa e sezioni dell'area di interesse con la distribuzione degli epicentri e ipocentri della sismicità da settembre 2018 a giugno 2022.



In Figura 3 viene mostrata la distribuzione della magnitudo e della profondità degli eventi sismici nel periodo di interesse. La magnitudo degli eventi sismici è compresa tra -0.4 e 3.8, con circa il 65% degli eventi tra 0.1 e 1.0.

La distribuzione della profondità invece varia da 0 a 49.10 km, con il 20% degli eventi a profondità inferiori a 10 km, più del 65% a profondità comprese tra 10 e 25 km e circa il 15% a profondità maggiori di 25 km.

La Figura 4 mostra la frequency-magnitude distribution (FMD) con magnitudo di completezza di 0.5 e b-value di 0.91. Il numero degli eventi per il calcolo della FMD è inferiore rispetto al numero totale di eventi in quanto per alcuni eventi non erano state calcolate le magnitudo.

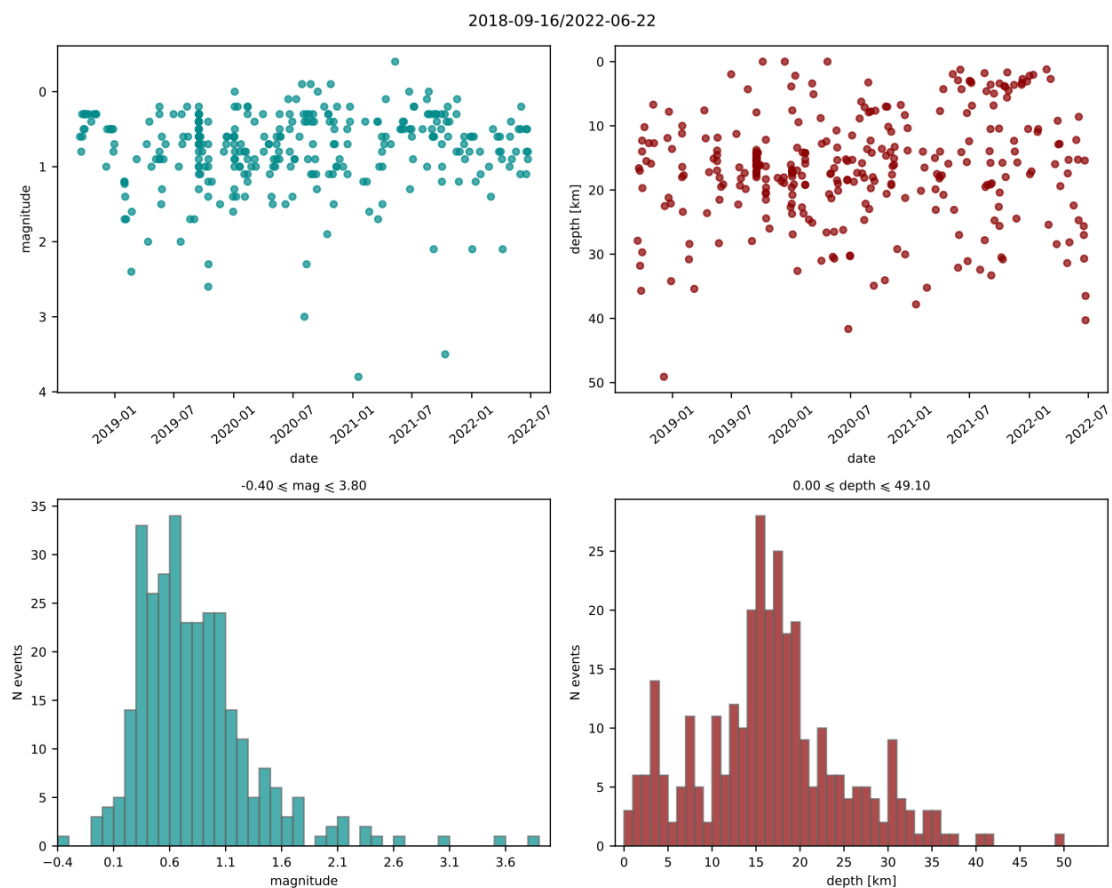


Figura 3 – Distribuzione della magnitudo (sinistra) e della profondità (destra) degli eventi sismici tra settembre 2018 e giugno 2022.

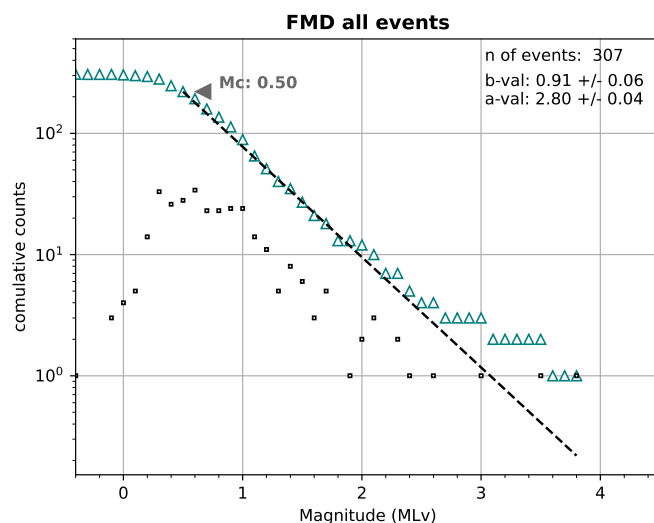


Figura 4 – FMD della sismicità registrata da settembre 2018 a giugno 2022. I quadrati neri rappresentano le magnitudo discrete, mentre i triangoli celesti sono i punti calcolati della FMD. Nel grafico sono indicati la magnitudo di completezza ed il b-value.

3. Analisi della sismicità settembre 2018 – dicembre 2019

Nel periodo precedente l'inizio della produzione (12 dicembre 2019), la rete microsismica ha localizzato 101 eventi sismici nella zona di interesse (Figura 5).

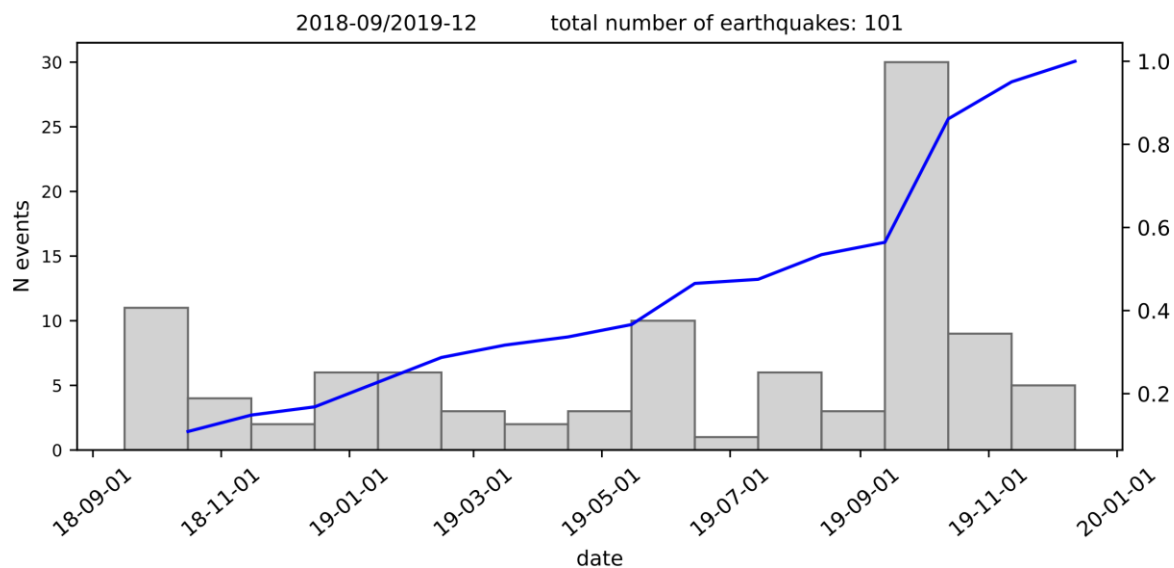


Figura 5 – Distribuzione del numero di eventi localizzati da settembre 2018 a dicembre 2019. La linea blu rappresenta la cumulativa del numero di eventi normalizzata.



In Figura 6 sono mostrate la mappa della zona di interesse con gli epicentri degli eventi sismici e due sezioni in profondità (A-B e C-D) con la distribuzione degli ipocentri.

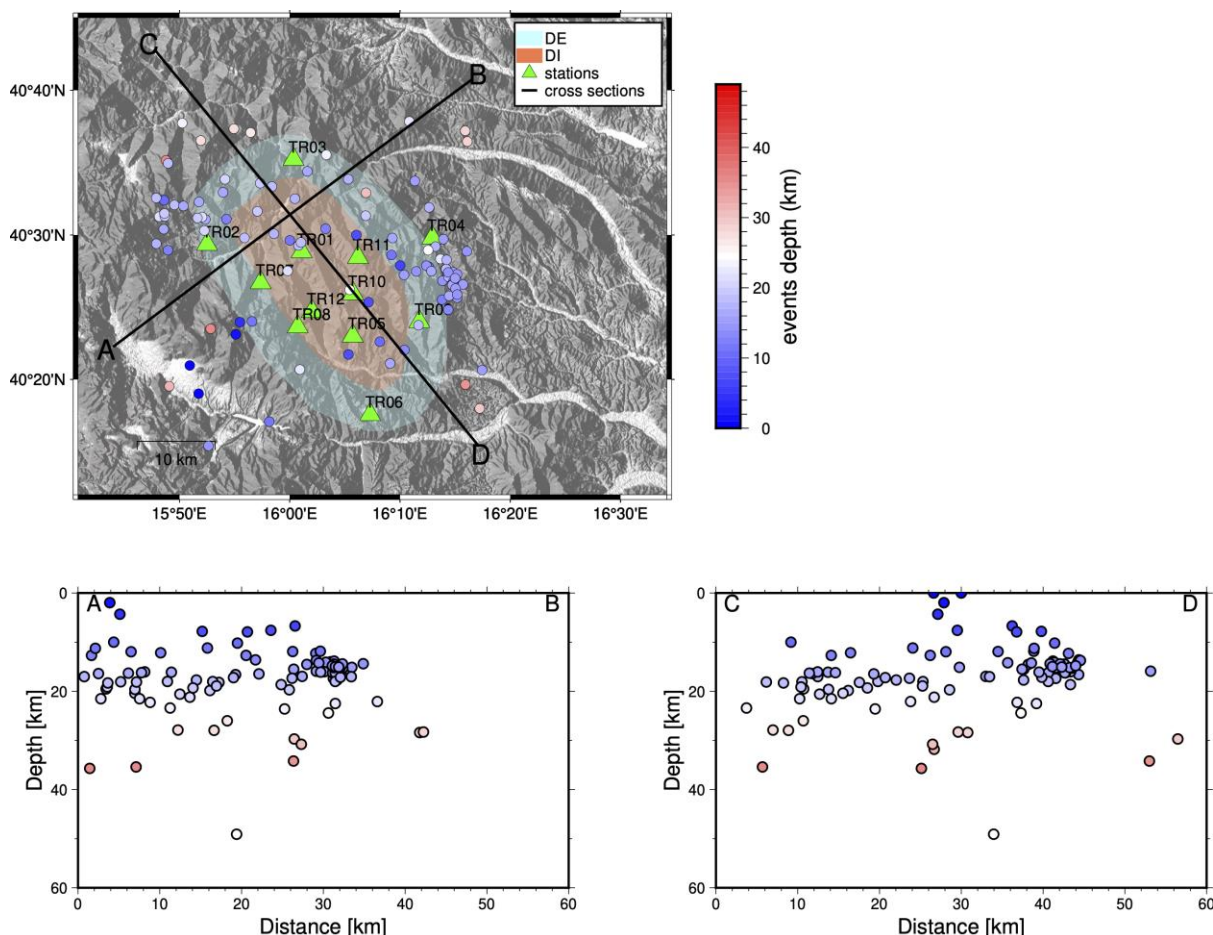


Figura 6 – Mappa e sezioni dell'area di interesse con la distribuzione degli epicentri e ipocentri della sismicità da settembre 2018 a dicembre 2019.

La magnitudo degli eventi sismici nel periodo settembre 2018-dicembre 2019 varia da 0.2 a 2.6; la maggior parte degli eventi (circa il 77%) ha magnitudo inferiore a 1. La profondità degli eventi varia da 0 a 49.10 km, con la maggioranza degli eventi (circa il 68%) a profondità comprese tra 10 e 20 km.

La magnitudo di completezza della sismicità registrata nel periodo in esame risulta 0.3, mentre il *b-value* di 0.82 (Figura 8).

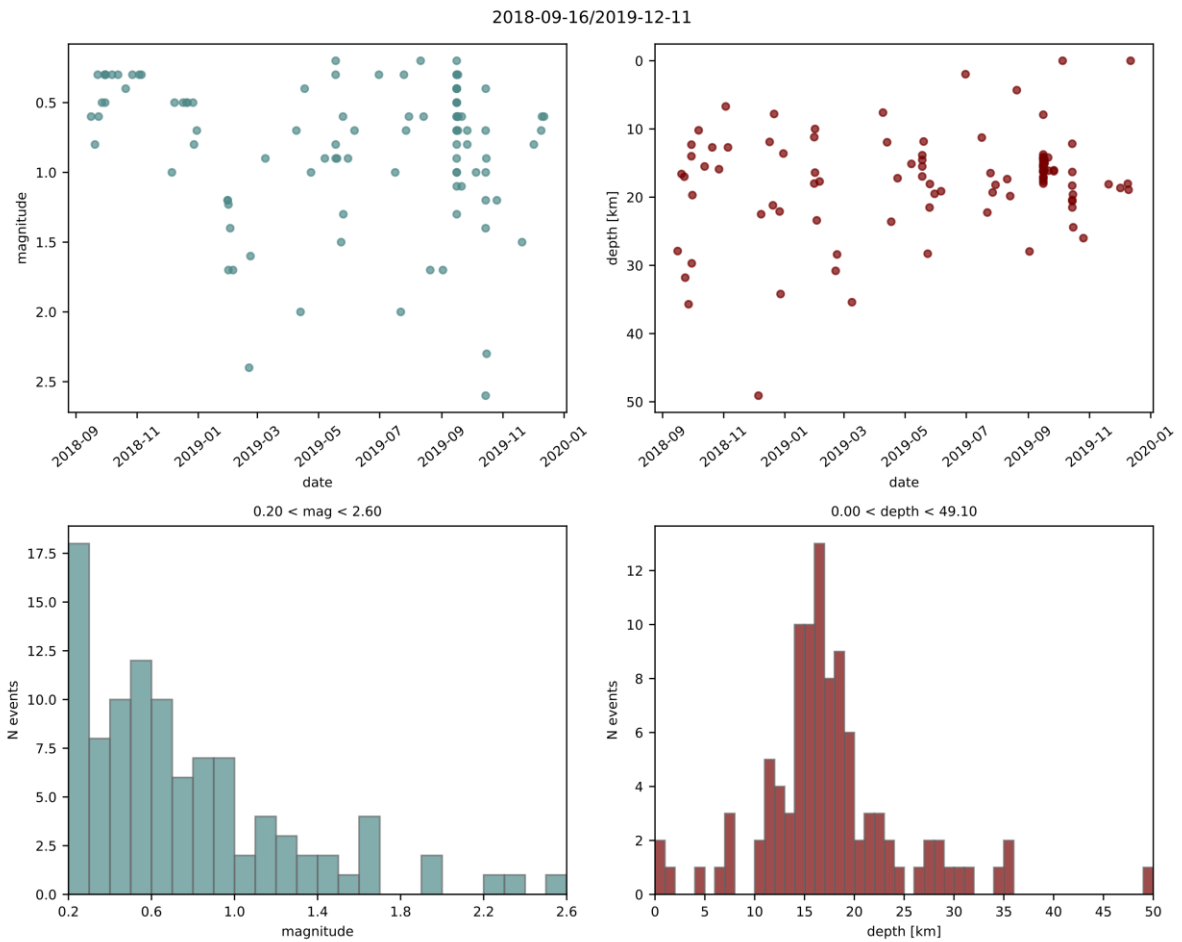


Figura 7 – Distribuzione della magnitudo (sinistra) e della profondità (destra) degli eventi sismici tra settembre 2018 a dicembre 2019.

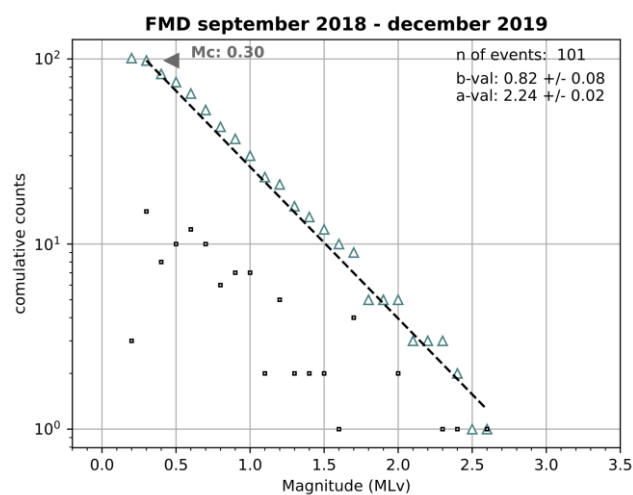


Figura 8 – FMD della sismicità registrata da settembre 2018 dicembre 2019. I quadrati neri rappresentano le magnitudo discrete, mentre i triangoli celesti sono i punti calcolati della FMD. Nel grafico sono indicati la magnitudo di completezza ed il b-value.



Per il periodo in esame si è calcolato il clustering ipocentrale, epicentrale e temporale. In Tabella 1 sono specificati i valori dei parametri utilizzati per calcolare il DBSCAN per il periodo settembre 2018 – dicembre 2019.

	hypocentral clustering	epicentral clustering	temporal clustering
ϵ	0.1	0.1	0.1
N_{\min}	10	10	5
n cluster	1	2	2

Tabella 1 – Valori dei parametri utilizzati per calcolare il DBSCAN nel periodo settembre 2018 – dicembre 2019.

Il clustering epicentrale evidenzia la presenza di 2 clusters (Figura 9 a), visibili anche nella mappa in Figura 6, mentre il clustering ipocentrale mostra la presenza di un solo cluster (Figura 9 b). Il clustering temporale identifica due clusters, di cui solo uno (evidenziato in verde nella Figura 9 c) è riscontrato anche dai clustering ipocentrale ed epicentrale. Tale cluster di eventi sismici corrisponde infatti alla sequenza sismica avvenuta nei pressi di Stigliano (MT) il 15 settembre 2019.

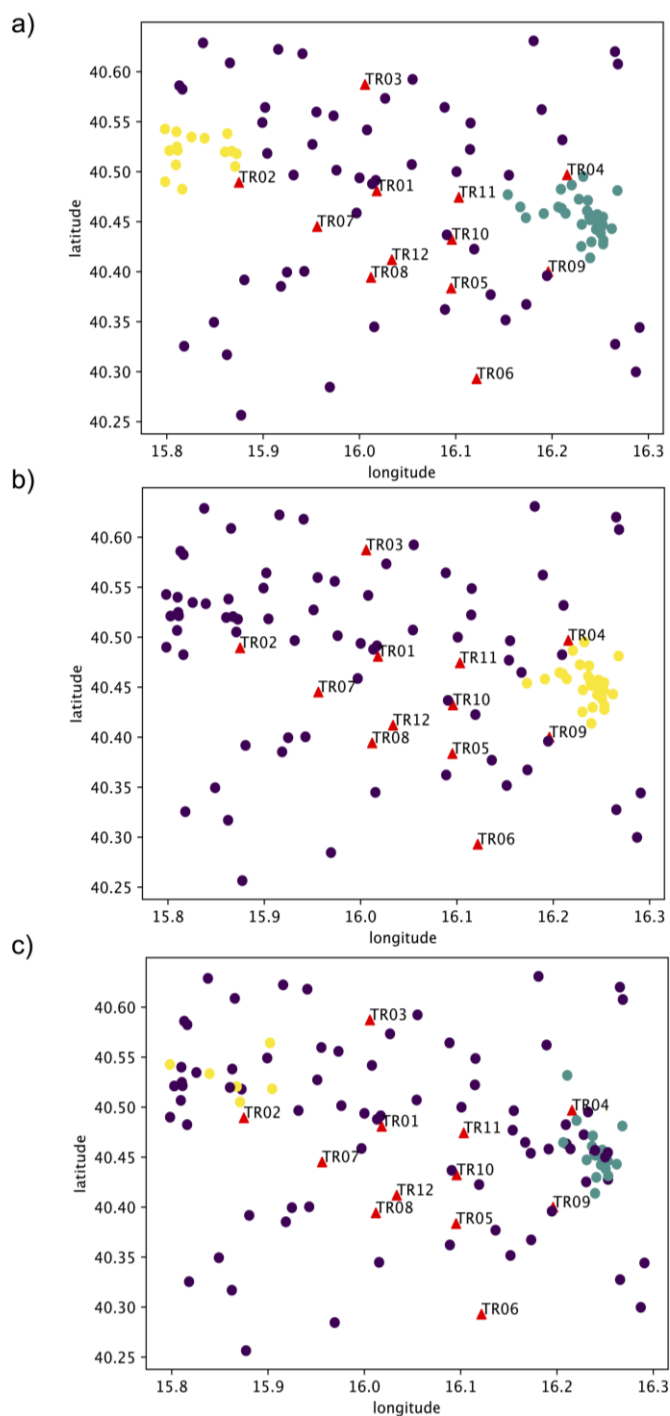


Figura 9 – Clustering calcolato utilizzando il DBSCAN nel periodo settembre 2018 – dicembre 2019. a) clustering epicentrale, b) clustering ipocentrale, c) clustering temporale. In viola gli outlier, in giallo e verde i cluster identificati. I triangoli rossi sono le stazioni sismiche.



4. Analisi della sismicità dicembre 2019 – giugno 2022

Nel periodo successivo all'avvio della produzione (12 dicembre 2019), la rete microsismica ha localizzato 212 eventi sismici nella zona di interesse (Figura 10). In Figura 11 sono mostrate la mappa della zona, gli epicentri degli eventi sismici e due sezioni in profondità (A-B e C-D) con la distribuzione degli ipocentri.

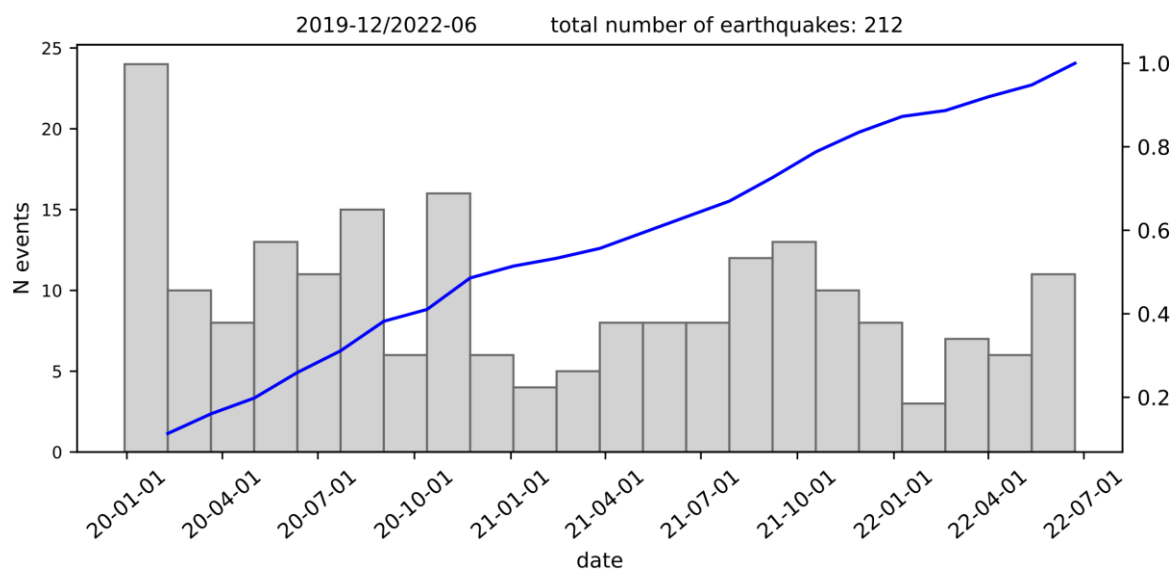


Figura 10 – Distribuzione del numero totale di eventi localizzati da dicembre 2019 a giugno 2022. La linea blu rappresenta la cumulativa del numero di eventi normalizzata.

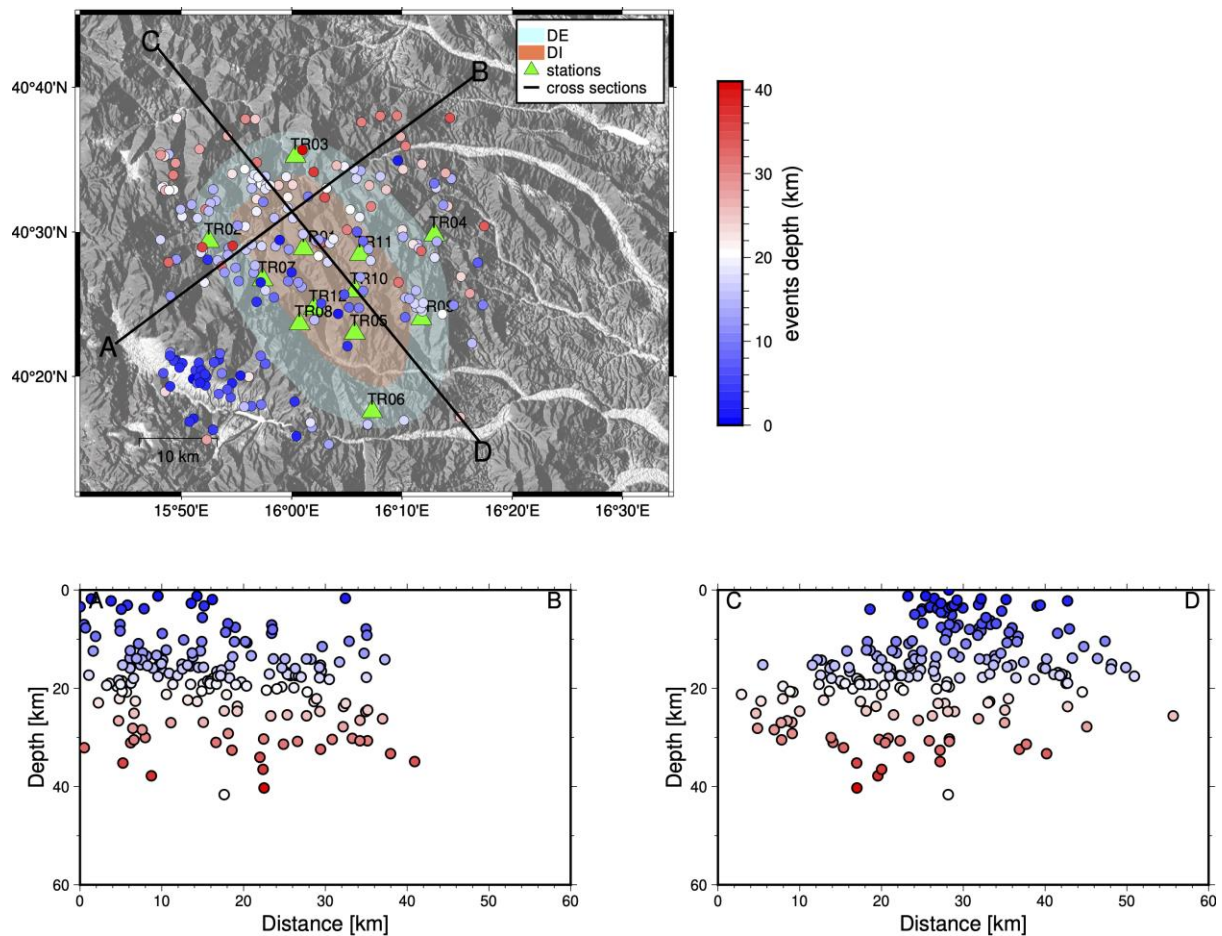


Figura 11 – Mappa e sezioni dell'area di interesse con la distribuzione degli epicentri e ipocentri della sismicità da dicembre 2019 a giugno 2022.

La magnitudo degli eventi sismici nel periodo dicembre 2019-giugno 2022 varia da -0.4 a 3.8, con la maggior parte degli eventi (circa il 77%) con magnitudo compresa inferiore a 1. La distribuzione in profondità degli eventi varia da 0.0 a 41.65 km, con circa il 47% degli eventi a profondità comprese tra 10 e 20 km (Figura 12).

La magnitudo di completezza è di 0.6, mentre il *b-value* di 0.90 (Figura 13).

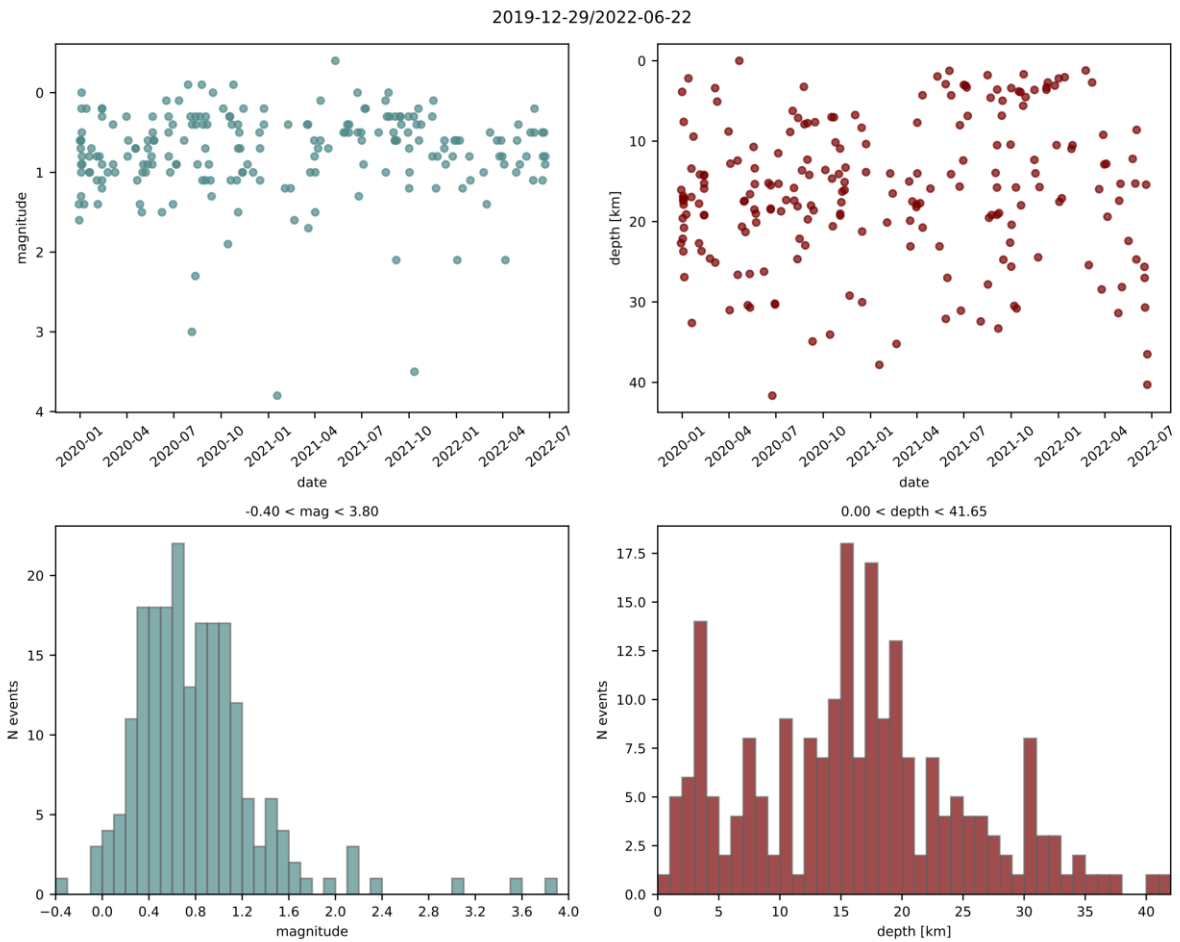


Figura 12 – Distribuzione della magnitudo (sinistra) e della profondità (destra) degli eventi sismici tra dicembre 2019 e giugno 2022.

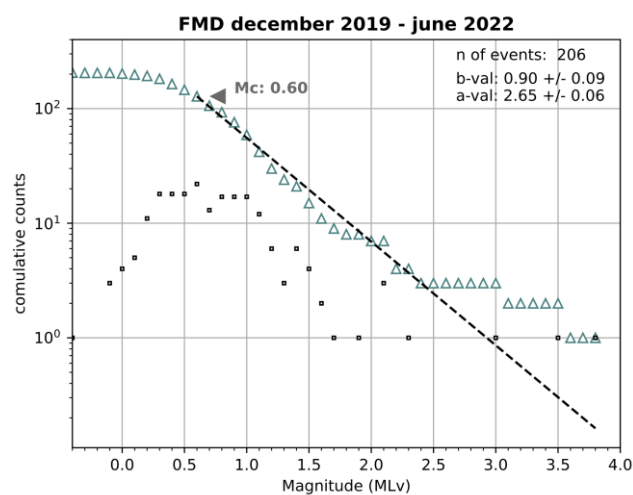


Figura 13 – FMD della sismicità registrata da dicembre 2019 a giugno 2022. I quadrati neri rappresentano le magnitudo discrete, mentre i triangoli celesti sono i punti calcolati della FMD. Nel grafico sono indicati la magnitudo di completezza ed il b-value



Per il periodo in esame si è calcolato il clustering epicentrale, ipocentrale e temporale.

In Tabella 2 sono mostrati i valori dei parametri utilizzati. Tra dicembre 2019 e giugno 2022, il clustering epicentrale identifica 2 clusters, mentre quello ipocentrale uno solo (Figura 14). Entrambi i clustering evidenziano lo stesso gruppo di eventi, localizzato nell'area a Sud-Ovest della zona di interesse, nei pressi del lago artificiale del Pertusillo (Val d'Agri). Tali eventi sismici risultano essere molto superficiali (profondità inferiori a 7 km) come evidenziato anche dalla distribuzione della profondità in Figura 7.

Il clustering temporale mostra la presenza di un solo cluster riconducibile agli eventi avvenuti il 12 febbraio 2020.

	hypocentral clustering	epicentral clustering	temporal clustering
ϵ	0.1	0.05	0.1
N_{min}	10	10	5
n cluster	1	2	1

Tabella 2 – Valori dei parametri utilizzati per calcolare il DBSCAN nel periodo dicembre 2019 e giugno 2022.

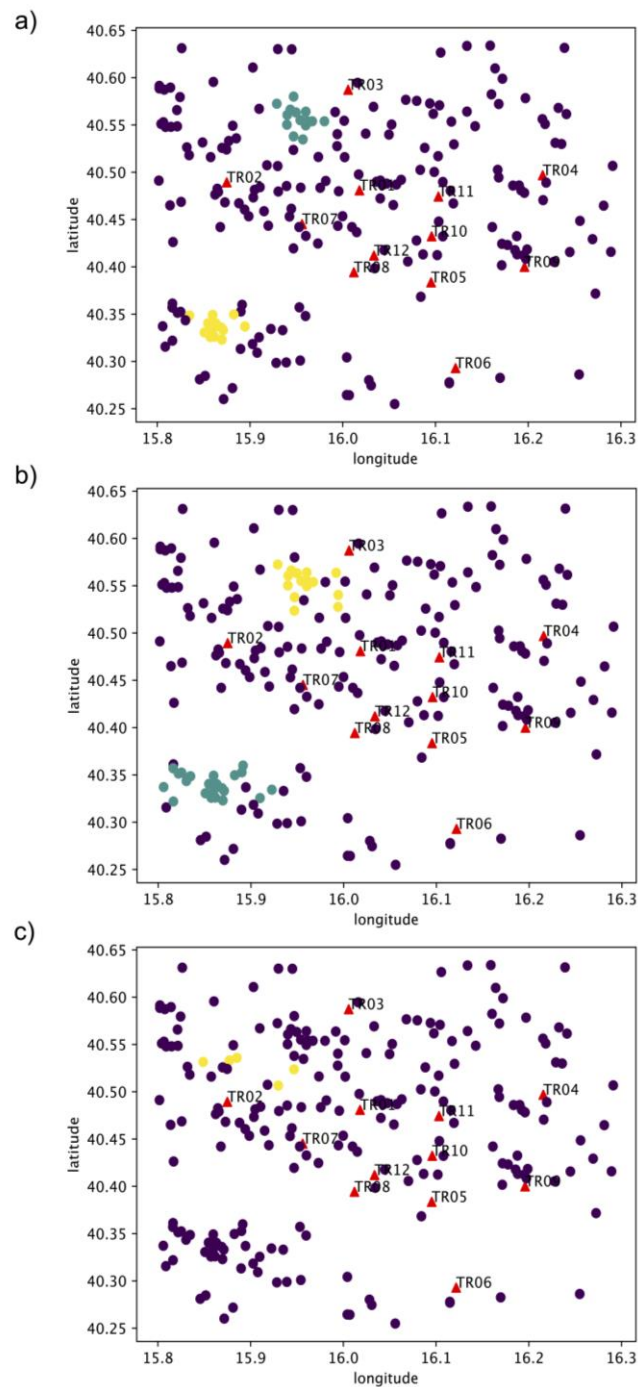


Figura 14 – Clustering calcolato utilizzando il DBSCAN nel periodo dicembre 2019 – giugno 2022. a) clustering epicentrale, b) clustering ipocentrale, c) clustering temporale. In viola gli outlier, in verde e in giallo i cluster identificati. I triangoli rossi sono le stazioni sismiche.



5. CONCLUSIONI

Da settembre 2018 a giugno 2022, la rete microsismica Tempa Rossa ha permesso di localizzare 313 eventi sismici nella zona oggetto di studio: di questi, 101 sono avvenuti tra settembre 2018 e l'11 dicembre 2019 (periodo precedente l'inizio della produzione), e 212 tra il 12 dicembre 2019 e giugno 2022 (periodo successivo all'avvio della produzione).

La magnitudo degli eventi nell'intervallo temporale considerato varia da -0.4 a 3.8, mentre la profondità è compresa tra 0 e 49.10 km.

Durante entrambe le 2 fasi, la maggior parte degli eventi risulta avere magnitudo inferiore a 1.0.

Dalle analisi effettuate, la M_c complessiva risulta 0.5, il b-value di 0.91 ± 0.06 . Tra il primo e il secondo periodo il b-value varia da 0.82 a 0.90. In Tabella 3 sono elencati i risultati delle analisi svolte.

	Intero periodo	Prima dell'inizio della produzione	Dopo l'inizio della produzione
N. eventi	313	101	212
Magnitudo di completezza	0.5	0.3	0.6
Range di Magnitudo	-0.4 - 3.8	0.2 - 2.6	-0.4 - 3.8
Range di profondità (km)	0 - 49.10	0 - 49.10	0 - 41.65
b-value	0.91 ± 0.06	0.82 ± 0.06	0.90 ± 0.09

Tabella 3 – Parametri calcolati nell'intero periodo e nei due sottoperiodi

È importante sottolineare che i valori ottenuti sono influenzati soprattutto dal numero di eventi, che nel secondo periodo (più lungo) sono più del doppio di quelli del primo. Pertanto, la M_c e il b-value maggiormente indicativi sono quelli ottenuti considerando l'intero dataset.

Nel periodo precedente l'inizio della produzione, i clustering ipocentrale, epicentrale e temporale hanno evidenziato la presenza di un cluster di eventi sismici appartenenti alla sequenza sismica di Stigliano (MT) avvenuta il 15 settembre 2019 a profondità maggiori di 10 km.

Nel periodo successivo all'avvio della produzione, si nota un cluster di eventi poco profondi (< 7 km) nell'area della Val D'agri, oltre il Dominio Esteso, riscontrato sia dal clustering ipocentrale che epicentrale.

Gli eventi superficiali (profondità inferiori a 10 km) e non clusterizzati, occorsi nel Dominio Interno, sono 3 nel primo periodo e 11 nel secondo.



Bibliografia

- Ester, M., Kriegel, H., Sander, J., & Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *KDD. 96*, p. 226-231. Portland, Oregon: AAAI Press. doi:10.5555/3001460.3001507
- Gutenberg, B., & Richter, C. (1954). *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena* (2 ed.). Princeton University Press.
- Herrmann, M., & Marzocchi, W. (2020). Inconsistencies and lurking pitfalls in the magnitude–frequency distribution of high-resolution earthquake catalogs. *Seismological Research Letters, 92*(2A). doi:10.1785/0220200337
- Lilliefors H. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American statistical Association 62*(318), 399-402.
- Utsu T. (1995). A method for determining the value of " b " in a formula $\log n = a - bM$ showing the magnitude-frequency relation for earthquakes. . *Geophys. Bull. Hokkaido Univ. 13*, 99-103.