Rapporto Scientifico

WP6 "SUPPORTO AGLI ENTI E AI PROFESSIONISTI PER LA PROGETTAZIONE SISMICA"

Convenzione tra la Regione Lombardia ed Eucentre

Responsabile: Dr. Ing. Barbara Borzi, PhD
Collaboratrice: Dr. Elisa Zuccolo, PhD

Pavia, 20 dicembre 2022

INDICE

1 PREMESSA 3
2 INTRODUZIONE 4
3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 5
3.1 Normativa 5
3.2 Letteratura tecnica 5
3.3 Codici di calcolo 6
3.4 Banche-dati 6
3.5 Altri documenti 6
4 INDICAZIONI NORMATIVE 7
5 SPETTRI ELASTICI DI NORMATIVA 10
6 MESOZONAZIONE DEL TERRITORIO 16
7 DEFINIZIONE DEGLI SPETTRI DI RIFERIMENTO 23
8 SELEZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI NATURALI ASSOCIATI AGLI SPETTRI DI RIFERIMENTO 31
9 SCALATURA LINEARE DEGLI ACCELEROGRAMMI SELEZIONATI PER RENDERLI SPETTRO-COMPATIBILI AI RIMANENTI SPETTRI 34
10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 39
11 APPENDICE A – RISULTATI 40
11.1 Periodo di Ritorno di 30 anni 41
11.2 Periodo di Ritorno di 50 anni 48
11.3 Periodo di Ritorno di 72 anni 55
11.4 Periodo di Ritorno di 101 anni 63
11.5 Periodo di Ritorno di 140 anni 71
11.6 Periodo di Ritorno di 201 anni 80
11.7 Periodo di Ritorno di 475 anni 91
11.8 Periodo di Ritorno di 975 anni 102
11.9 Periodo di Ritorno di 2475 anni 113
APPENDICE B – DESCRIZIONE DEL PRODOTTO FINALE 124

1 PREMESSA

L'input sismico prodotto nell'ambito dell'attività "Supporto agli enti e ai professionisti per la progettazione sismica" della convenzione tra la Regione Lombardia ed EUCENTRE è stato definito in termini di accelerogrammi naturali registrati su roccia affiorante (categoria di sottosuolo 'A' secondo le NTC, 2018).

Tali accelerogrammi sono direttamente utilizzabili come input per analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici e per l'analisi dinamica di strutture situate su terreni di categoria 'A'. Per categorie di sottosuolo diverse dalla categoria 'A' è opportuno utilizzare gli accelerogrammi forniti come input per analisi di risposta sismica locale, che consentono di modificare gli accelerogrammi in ingresso tenendo conto delle particolari condizioni locali al sito di interesse (ad esempio stratigrafia del sottosuolo e proprietà fisiche e meccaniche dei terreni di cui è costituito). Va comunque tenuto presente che le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza, derivante da specifiche indagini e prove, delle proprietà geotecniche dei terreni.

La selezione di accelerogrammi naturali su roccia associata all'esecuzione di analisi di risposta sismica locale è da preferirsi rispetto alla selezione diretta di accelerogrammi situati su categorie di sottosuolo diverse dalla 'A'. Infatti, tale pratica porterebbe inevitabilmente alla selezione di accelerogrammi con caratteristiche di sito (ad esempio, frequenza di risonanza e amplificazione) diverse da quelle associabili al sito di interesse. Di conseguenza, la variabilità del moto sismico selezionato non deriverebbe solo dai diversi terremoti considerati, ma anche dalle diverse condizioni di sito.

2 INTRODUZIONE

Questo documento costituisce il rapporto finale relativo all'attività "Supporto agli enti e ai professionisti per la progettazione sismica" della convenzione tra la Regione Lombardia ed EUCENTRE, finalizzato alla definizione dell'input sismico per la Regione Lombardia.

L'input sismico, così come anticipato alla premessa, è stato definito in termini di un gruppo di 7 accelerogrammi naturali (componenti orizzontali) registrati su roccia affiorante (categoria di terreno A secondo le NTC, 2018) e soddisfacenti al requisito della spettro-compatibilità allo spettro di risposta di normativa (NTC, 2018), per ciascun nodo della griglia utilizzata dalle NTC (2018) ricadente all'interno della Regione Lombardia, per i 9 periodi di ritorno considerati.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 NORMATIVA

- EC8-1 "*Design of Structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*" Pr-EN 1998-1. Final Draft. December 2003.
- NTC08. *Norme tecniche per le Costruzioni*, D.M. 14.1.2008 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
- NTC18. *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*, D.M. 17.1.2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
- Circolare NTC (2009). "*Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008*". Circolare n. 617, 2 febbraio 2009, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "
- Circolare NTC (2019). *Istruzioni per l'applicazione dell' - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" - di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*. Circolare 21 gennaio 2019, n.7, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

3.2 LETTERATURA TECNICA

- Ancheta TD, Darragh RB, Stewart JP et al (2014) *NGA-West2 database*. Earthq Spectra 30:989–1005. https://doi.org/10.1193/070913EQS197M
- Bahrampouri, M., Rodriguez-Marek, A., Shahi, S., Dawood H. (2020). *An updated database for ground motion parameters for KiK-net records*. Earthquake Spectra 37(1), 505-522, https://doi.org/10.1177/8755293020952447
- Baker J.W., Lee C. (2018) *An improved algorithm for selecting ground motions to match a conditional spectrum*. J Earthq Eng 22:708–723. https://doi.org/10.1080/13632469.2016.1264334
- Bommer J.J., Acevedo A.B. (2004). *The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis*. Journal of Earthquake Engineering, 8, 4, pp. 1-50
- Burkhard M., Grunthal G. (2009). *Seismic source zone characterization for the seismic hazard assessment project PEGASOS by the Expert Group 2 (EG 1b)*. Swiss J. Geosci., 102, 149–188.
- Chioccarelli E., Iervolino I., Convertito V. (2010). *Italian Map of Design Earthquakes from Multimodal Disaggregation Distributions: Preliminary Results*. Proceedings of the 14th European Conference On Earthquake Engineering - 14ECEE, 30 Agosto - 3 Settembre 2010, Ohrid, Macedonia.
- Corigliano M., Lai C.G., Rota M., Strobbia C. (2012). *ASCONA: Automated Selection of COmpatible Natural Accelerograms*. Earthquake Spectra, 28(3), 965-987.
- Faravelli, M., Bozzoni, F., Zuccolo, E., Di Meo, A., Quaroni, D., Polli, D., Rodriguez-Plata, R., Martelli, L., Borzi, B., Lai, C.G. (2021) *Mesozonazione del rischio sismico: la piattaforma WebGIS di EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna,* Progettazione Sismica – Vol. 13, N.3, Anno 2021, DOI 10.7414/PS.13.1.3-https://doi.org/10.7414/PS.13.1.3
- Iervolino I., Maddaloni G., Cosenza E. (2008). *Eurocode 8 Compliant Real Record Sets for Seismic Analysis of Structures*. Journal of Earthquake Engineering, 12, 54-90.
- Lai C.G., Strobbia, C., Dall'Ara A. (2008). *Definizione dell'input sismico nei territori toscani della Lunigiana e Garfagnana*. Rivista Italiana di Geotecnica, 1, pag 9-29.

- Lanzano G, Sgobba S, Luzi L et al (2019). *The pan-European Engineering Strong Motion (ESM) flatfile: compilation criteria and data statistics*. Bull Earthq Eng 17:561–582. https://doi.org/10.1007/s10518-018-0480-z
- Luzi L, Puglia R, Russo E, ORFEUS-WG5 (2016) *Engineering Strong Motion Database*, version 1.0. In: Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol. Obs. Res. Facil. Eur. Seismol.
- Montaldo V., Meletti C., Martinelli F., Stucchi M., Locati M. (2007*). On-Line seismic hazard data for the new Italian building code*. Journal of Earthquake Engineering, 11, 119–132.
- Progetto INGV-DPC S1 (2006). *Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi*. Convenzione INGV-DPC (2004-2006). Task 1 – *Completamento delle elaborazioni relative a MPS04*. http://esse1.mi.ingv.it
- Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. (2012) *Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms* Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.
- Zuccolo E., Corigliano M., Lai C.G. (2014). *Selection of spectrum- and seismo-compatible accelerograms for the Tuscany region in Central Italy*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 66, 305-313.
- Zuccolo, E., O'Reilly, G.J., Poggi, V., Monteiro, R.(2021) *haselREC: an automated open-source ground motion record selection and scaling tool*. Bull Earthquake Eng 19, 5747–5767 (2021). https://doi.org/10.1007/s10518-021-01214-w

3.3 CODICI DI CALCOLO

- haselREC: - HAzard-based SELection of RECords (https://github.com/elisa82/haselREC).

3.4 BANCHE-DATI

- ESM - European Strong-Motion database - versione 0.1 (http://esm.mi.ingv.it). ESM working group (2015). European Strong-Motion database, version 0.1, Network Activity 3: Networking acceleration networks and SM data users. Project NERA (www.nera-eu.org)
- NGA-West2 (peer.berkeley.edu/ngawest2). PEER 2013/03 – PEER NGA-West2 Database, by: Timothy D. Ancheta, Robert B. Darragh, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, Walter J. Silva, Brian S.J. Chiou, Katie E. Wooddell, Robert W. Graves, Albert R. Kottke, David M. Boore, Tadahiro Kishida, and Jennifer L. Donahue.
- KiK-net (Kiban-Kyoshin network, http://www.kyoshin.bosai.go.jp).

3.5 ALTRI DOCUMENTI

- Confini amministrativi in formato Shapefile-file forniti dal sito https: //www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/

4 INDICAZIONI NORMATIVE

La normativa cui si fa riferimento nel presente studio è rappresentata dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (2018) (NTC18) e dalle istruzioni per la loro applicazione (Circolare NTC, 2019) di cui al DM di gennaio 2018.

Le NTC18 definiscono l'azione sismica in termini di spettri di risposta elastici, approssimando gli spettri a pericolosità uniforme prodotti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) per l'intero territorio nazionale (Montaldo et al. 2007). Gli spettri di risposta sono caratterizzati da un'espressione analitica che dipende da tre parametri:

- a_g: accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^*: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi parametri sono definiti per 10751 nodi del reticolo di riferimento e per i 9 periodi di ritorno (da 30 a 2475 anni) considerati dall'INGV per la valutazione della pericolosità sismica. I loro valori sono contenuti nelle tabelle riportate nell'Allegato B delle NTC08. I punti del reticolo di riferimento sono caratterizzati da un ID e definiti in termini di Latitudine e Longitudine, ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito a_g è espressa in g/10, F_0 è adimensionale e T_C^* è espresso in secondi. Un estratto dell'Allegato B delle NTC08 è mostrato in Figura 4.1.

			T_R=30			T_R=50			T_R=72			T_R=101		
ID	LON	LAT	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*
13111	6,5448	45,134	0,263	2,50	0,18	0,340	2,51	0,21	0,394	2,55	0,22	0,469	2,49	0,24
13333	6,5506	45,085	0,264	2,49	0,18	0,341	2,51	0,21	0,395	2,55	0,22	0,469	2,49	0,24
13555	6,5564	45,035	0,264	2,50	0,18	0,340	2,51	0,20	0,393	2,55	0,22	0,466	2,50	0,24
13777	6,5621	44,985	0,263	2,50	0,18	0,338	2,52	0,20	0,391	2,55	0,22	0,462	2,51	0,24
12890	6,6096	45,188	0,284	2,46	0,19	0,364	2,51	0,21	0,431	2,50	0,22	0,509	2,48	0,24
13112	6,6153	45,139	0,286	2,46	0,19	0,366	2,51	0,21	0,433	2,50	0,22	0,511	2,48	0,24
13334	6,621	45,089	0,288	2,46	0,19	0,367	2,51	0,21	0,434	2,50	0,22	0,511	2,49	0,24
13556	6,6268	45,039	0,288	2,46	0,19	0,367	2,51	0,21	0,433	2,51	0,22	0,510	2,49	0,24
13778	6,6325	44,989	0,288	2,46	0,19	0,366	2,52	0,21	0,430	2,51	0,22	0,507	2,50	0,24
14000	6,6383	44,939	0,286	2,47	0,19	0,363	2,52	0,21	0,426	2,52	0,22	0,502	2,50	0,24
14222	6,6439	44,889	0,284	2,47	0,19	0,360	2,53	0,21	0,421	2,53	0,22	0,497	2,50	0,24

Figura 4.1 Estratto della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodo di ritorno (T_R) e per ogni nodo del reticolo di riferimento (identificato dalle coordinate geografiche e da un ID).

Indicazioni sull'impiego di accelerogrammi sono fornite nelle NTC18 al paragrafo 3.2.3.6. Per l'analisi dinamica delle strutture è consentito l'utilizzo di diversi tipi di accelerogrammi: artificiali, sintetici e registrati. Tuttavia, è ampiamente riconosciuto nella comunità scientifica che l'utilizzo di accelerogrammi registrati (o naturali) è preferibile rispetto alle altre due tipologie sia per problemi strutturali che geotecnici in quanto caratterizzati da un contenuto in frequenza più realistico, una corretta correlazione temporale tra le componenti orizzontale e verticale dello scuotimento, ed un realistico contenuto energetico in relazione ai parametri sismogenetici (EC8-1 Parte 5, Bommer e Acevedo 2004). Inoltre, le NTC18 non permettono l'uso di accelerogrammi artificiali nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici, tra cui ricadono le analisi di risposta sismica locale.

Per quanto riguarda gli accelerogrammi naturali, invece, la loro selezione presenta complicazioni per gli ingegneri che si occupano di progettazione in quanto implica conoscenze tipiche di esperti in sismologia. E' per questi motivi che il progetto è focalizzato a rendere disponibile per i nodi del reticolo NTC accelerogrammi naturali immediatamente utilizzabili ai fini della progettazione.

Le NTC18 ammettono l'utilizzo di accelerogrammi naturali "a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito". Inoltre, "le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame. Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite".

Non viene specificato un intervallo spettrale da utilizzare per la valutazione della spettro-compatibilità, che viene invece definito nel caso degli accelerogrammi artificiali. Per questi ultimi, la coerenza con lo spettro di risposta elastico viene valutata facendo riferimento al "maggiore tra gli intervalli 0.15s ÷ 2.0s e 0.15s ÷ 2T, in cui T è il periodo proprio di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e 0.15 s ÷ 1.5T, per le verifiche agli stati limite di esercizio. Nel caso di costruzioni con isolamento sismico, il limite superiore dell'intervallo di coerenza è assunto pari a $1.2T_{is}$, essendo T_{is} il periodo equivalente della struttura isolata, valutato per gli spostamenti del sistema d'isolamento prodotti dallo stato limite in esame."

Tali intervalli erano suggeriti anche dalla Circolare NTC (2009) per la valutazione della spettro-compatibilità dei segnali naturali.

Al paragrafo C3.2.3.6 della Circolare NTC (2019) si specifica che "quando l'azione sismica è rappresentata da accelerogrammi naturali, è necessario che la selezione di questi segnali sia coerente con la pericolosità sismica attesa al sito, in particolare, con la magnitudo e la distanza epicentrale rappresentative di uno o più eventi di scenario. Poiché la pericolosità sismica di base è definita sul territorio nazionale in termini probabilistici, gli eventi di scenario, se il sito di costruzione appartiene alle categorie A di sottosuolo (tabella 3.2.II) e T1 topografica (tabella 3.2.III), possono essere definiti a partire dai risultati della disaggregazione della pericolosità sismica disponibili al sito web dell'INGV (http://esse.gis.mi.ingv.it). In questo caso, come indicato al C.7.11.3.1.2, i siti di registrazione dovrebbero essere posti su un affioramento rigido (categoria A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1)."

Inoltre, è "opportuno contenere il fattore di scala in un intervallo limitato in modo da non alterare eccessivamente i segnali e renderli incompatibili alla magnitudo e alla distanza dalla sorgente degli eventi sismici a cui sono riferiti". Viene anche suggerito di "utilizzare un unico fattore di scala per le due componenti orizzontali, selezionato in modo da rendere la risultante delle azioni sismiche nel piano orizzontale compatibile con lo spettro risultante." Viene inoltre suggerito uno dei possibili metodi da adottare per la selezione di accelerogrammi naturali a due componenti (orizzontali):

- "1. per ogni coppia di registrazioni orizzontali, si costruisce uno spettro SRSS, dato dalla radice quadrata della somma dei quadrati degli spettri di ogni componente;

- 2. lo "spettro medio SRSS" è pari alla media degli spettri SRSS di ciascuna coppia di accelerogrammi, appartenente al medesimo gruppo di storie temporali;

- 3. le coppie di registrazioni, nel numero indicato dalla norma, devono essere selezionate e scalate in modo tale che lo spettro medio SRSS approssimi, secondo i criteri di coerenza spettrale di norma, lo "spettro di riferimento", dato dal prodotto dello spettro elastico di progetto per un opportuno coefficiente α." Viene inoltre suggerito un valore di α é pari 1,3 che corrisponde alla risultante di due componenti il cui rapporto è circa pari a 0,85."

Infine, al paragrafo 7.3.5 delle NTC18 si specifica che "la risposta è valutata applicando

simultaneamente le due componenti orizzontali della storia temporale del moto del terreno (e quella verticale, ove necessario). Si devono adottare almeno 3 storie temporali; si valutano gli effetti sulla struttura utilizzando i valori più sfavorevoli. Impiegando invece almeno 7 diverse storie temporali, gli effetti sulla struttura sono rappresentati dalla media dei valori più sfavorevoli".

5 SPETTRI ELASTICI DI NORMATIVA

In questo studio, sono stati considerati gli spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali per sito rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria 'A') associati ai nodi del reticolo di riferimento interni al territorio lombardo più quelli situati in prossimità dei confini regionali, per un totale di 958 nodi (Figura 5.1).

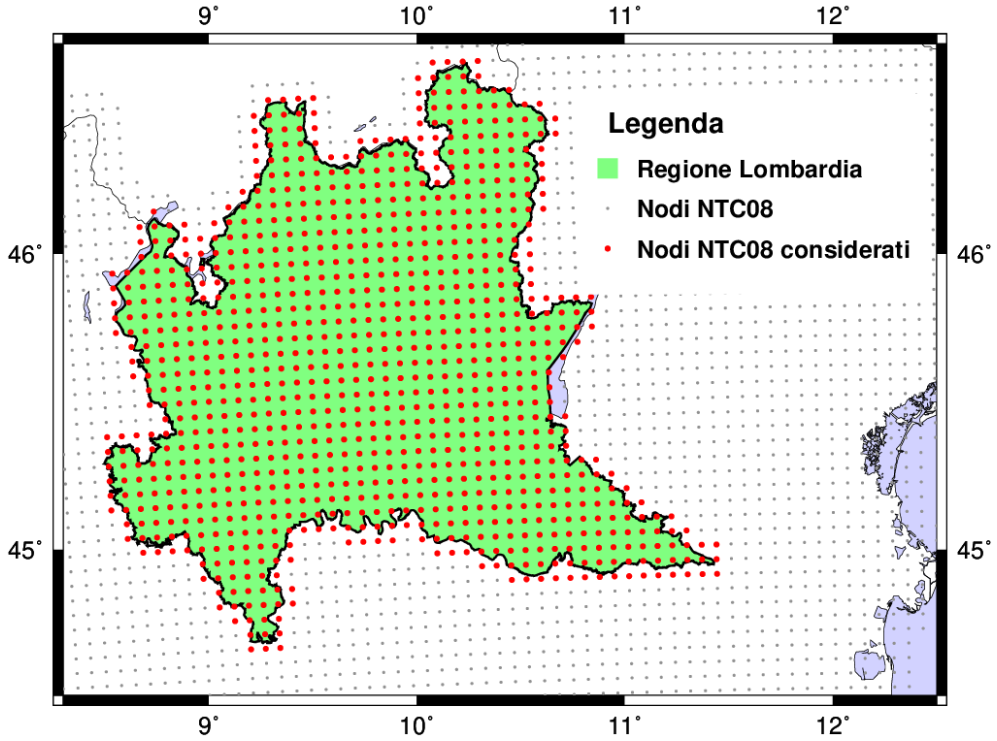
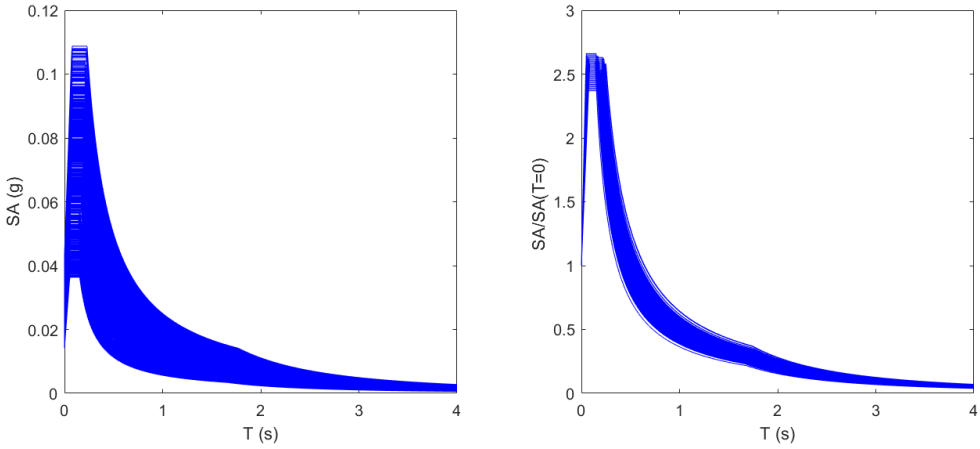


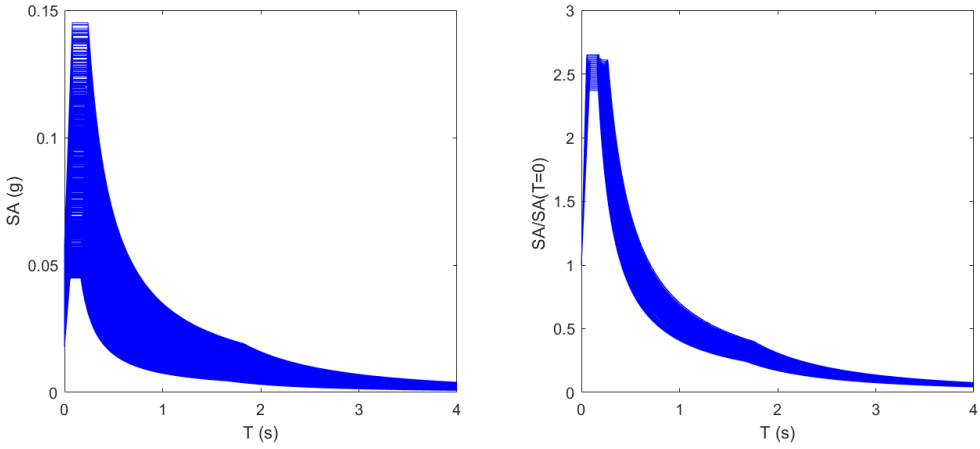
Figura 5.1 Reticolo di riferimento utilizzato dalle NTC08. Sono evidenziati in rosso i 958 nodi considerati nel presente studio.

Gli spettri di risposta per i 9 periodi di ritorno, TR, considerati nelle NTC08 (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni e 2475 anni) sono mostrati nei grafici dalla Figura 5.2 alla Figura 5.10, sia ancorati al valore di *amax* (a_g*10) fornito dalle NTC08, sia normalizzati al valore di *amax* al fine di evidenziare le differenze nella forma dello spettro.



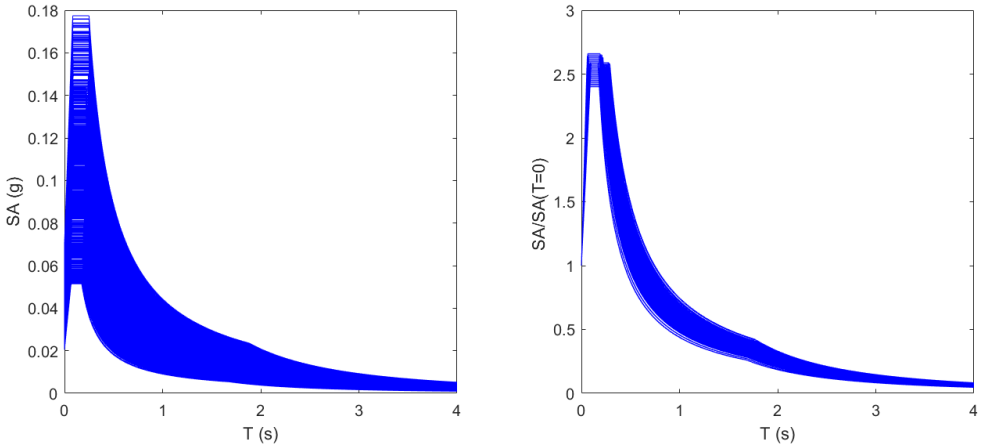
a) **b)**

Figura 5.2 Spettri di risposta per T_R=30 anni per i 958 nodi del reticolo di riferimento considerati: a) spettri di risposta ancorati al valore di *amax* definito nelle NTC08; b) spettri di risposta normalizzati allo stesso valore di *amax.*



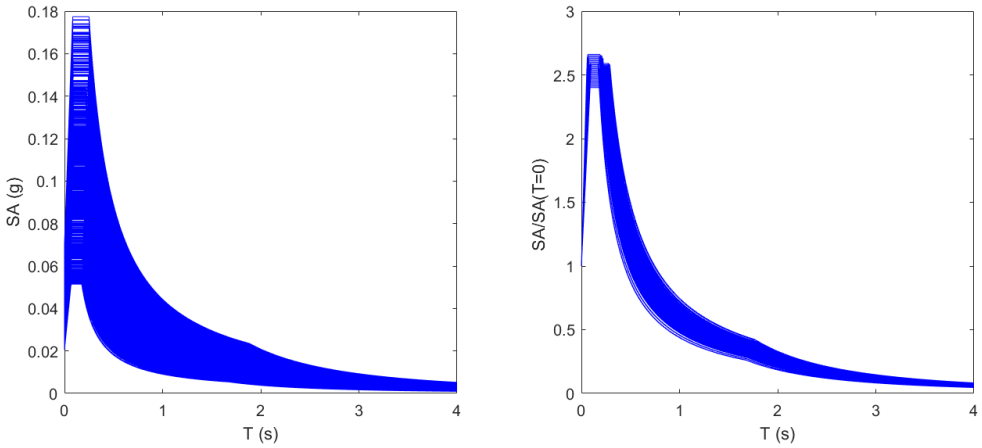
a) **b)**

Figura 5.3 Spettri di risposta per T_R=50 anni per i 958 nodi del reticolo di riferimento considerati: a) spettri di risposta ancorati al valore di *amax* definito nelle NTC08; b) spettri di risposta normalizzati allo stesso valore di *amax.*



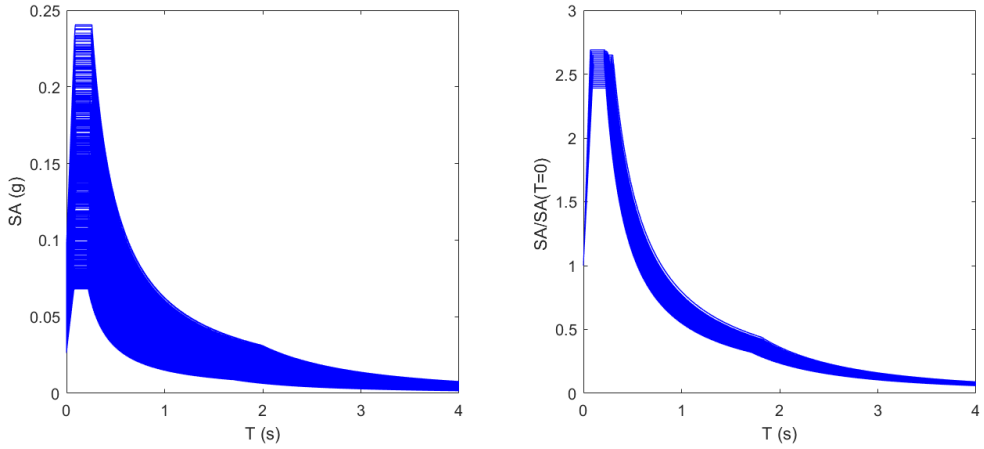
a) **b)**

Figura 5.4 Spettri di risposta per T_R=72 anni per i 958 nodi del reticolo di riferimento considerati: a) spettri di risposta ancorati al valore di *amax* definito nelle NTC08; b) spettri di risposta normalizzati allo stesso valore di *amax.*



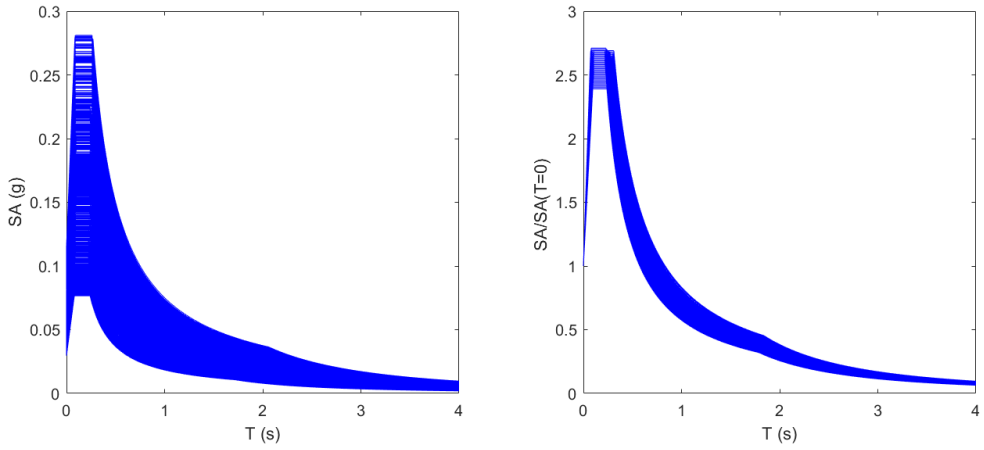
a) **b)**

Figura 5.5 Spettri di risposta per T_R=101 anni per i 958 nodi del reticolo di riferimento considerati: a) spettri di risposta ancorati al valore di *amax* definito nelle NTC08; b) spettri di risposta normalizzati allo stesso valore di *amax.*



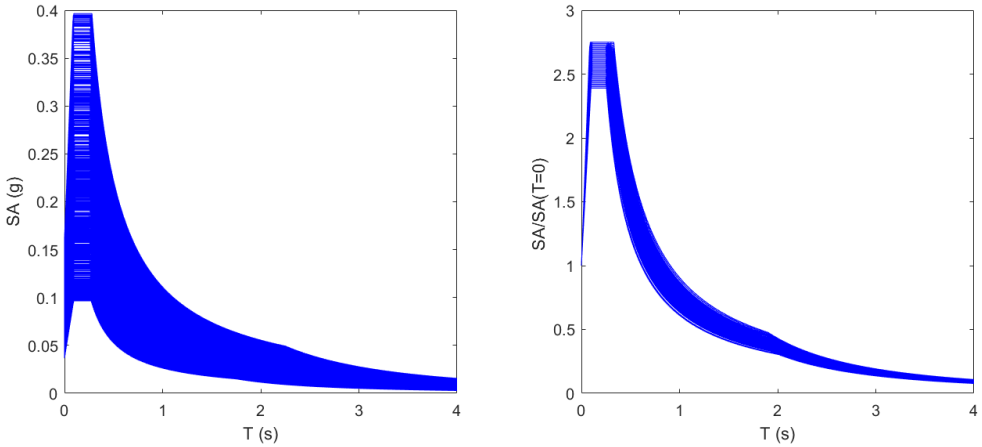
a) **b)**

Figura 5.6 Spettri di risposta per T_R=140 anni per i 958 nodi del reticolo di riferimento considerati: a) spettri di risposta ancorati al valore di *amax* definito nelle NTC08; b) spettri di risposta normalizzati allo stesso valore di *amax.*



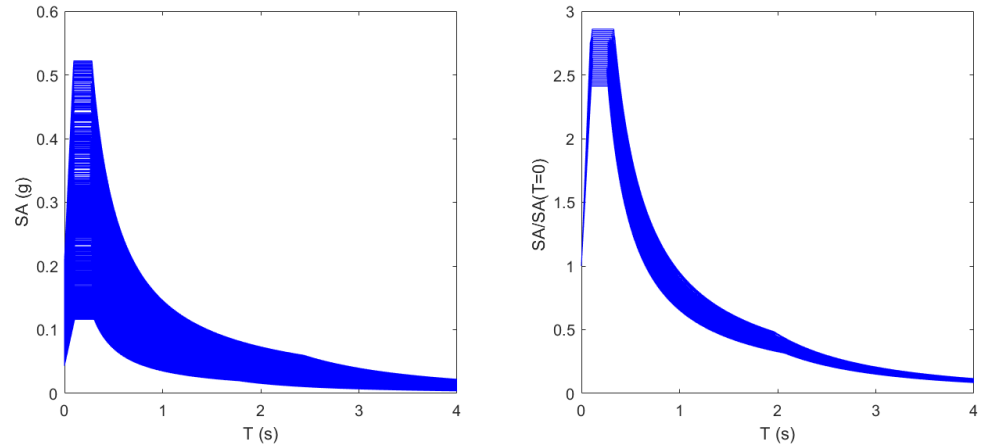
a) **b)**

Figura 5.7 Spettri di risposta per T_R=201 anni per i 958 nodi del reticolo di riferimento considerati: a) spettri di risposta ancorati al valore di *amax* definito nelle NTC08; b) spettri di risposta normalizzati allo stesso valore di *amax.*



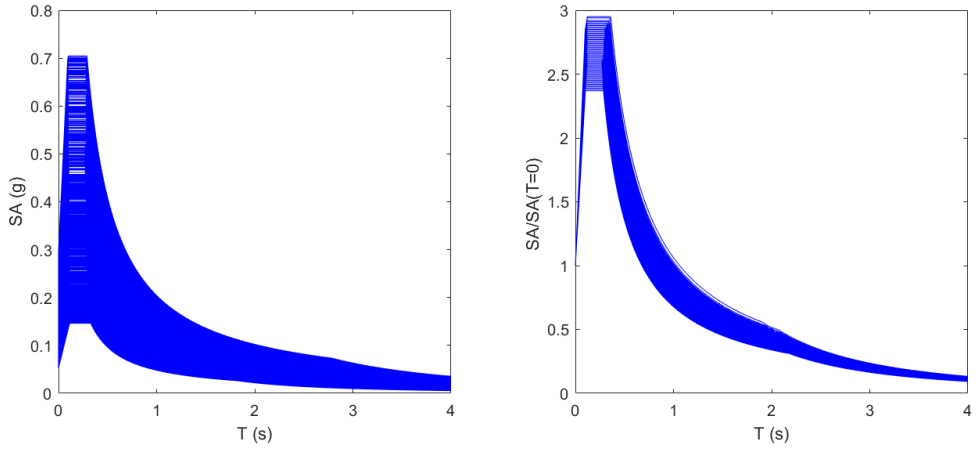
a) **b)**

Figura 5.8 Spettri di risposta per T_R=475 anni per i 958 nodi del reticolo di riferimento considerati: a) spettri di risposta ancorati al valore di *amax* definito nelle NTC08; b) spettri di risposta normalizzati allo stesso valore di *amax.*



a) **b)**

Figura 5.9 Spettri di risposta per T_R=975 anni per i 958 nodi del reticolo di riferimento considerati: a) spettri di risposta ancorati al valore di *amax* definito nelle NTC08; b) spettri di risposta normalizzati allo stesso valore di *amax.*



a) **b)**

Figura 5.10 Spettri di risposta per T_R=2475 anni per i 958 nodi del reticolo di riferimento considerati: a) spettri di risposta ancorati al valore di *amax* definito nelle NTC08; b) spettri di risposta normalizzati allo stesso valore di *amax*.

Per tenere conto della variabilità sia delle forme che dei valori delle ordinate spettrali degli spettri di risposta associati ai 958 nodi, si è deciso di adottare una procedura sviluppata ad EUCENTRE e già utilizzata per la definizione dell'input sismico sia a scala nazionale (SEISM-HOME, Rota et al., 2012, https://www.eucentre.it/seism-home-accelerogrammi/) che regionale (Regione Toscana, Zuccolo et al., 2014, e Regione Emilia Romagna, Faravelli et al., 2021). La procedura è articolata in 4 passi principali:

1. mesozonazione del territorio in modo da raggruppare gli spettri dei 958 nodi del reticolo di riferimento considerati in gruppi caratterizzati da forme spettrali simili e ampiezza limitata; questa operazione è stata effettuata indipendentemente per ciascun periodo di ritorno considerato;

2. definizione di uno spettro di risposta di riferimento per ciascun gruppo individuato;

3. selezione di un gruppo di 7 accelerogrammi naturali spettro-compatibili per ciascuno spettro di risposta di riferimento individuato, considerando le prescrizioni delle NTC18;

4. scalatura lineare degli accelerogrammi selezionati in modo da ottenere un gruppo di 7 accelerogrammi spettro-compatibili per uno spettro di risposta qualsiasi all'interno della regione Lombardia.

I due aspetti chiave della procedura utilizzata per la definizione dell'input sismico sono i criteri adottati per definire i gruppi (punto 1) e gli spettri di risposta di riferimento per ciascun gruppo (punto 2). Entrambi gli aspetti sono fondamentali per contenere i fattori di scala che devono essere applicati agli accelerogrammi selezionati (punto 3) in modo da renderli spettro-compatibili ad altri spettri del gruppo diversi dallo spettro di riferimento sul quale è basata la selezione (punto 4).

6 MESOZONAZIONE DEL TERRITORIO

L'operazione di mesozonazione del territorio lombardo ha richiesto la definizione di gruppi di spettri di risposta omogenei aventi forma, ampiezza e caratteristiche simili tra loro. Analogamente a quanto effettuato in Zuccolo et al. (2014) e Faravelli et al. (2021), l'identificazione dei gruppi è avvenuta sulla base di tre parametri, ovvero:

1) deviazione spettrale media δ (Iervolino et al., 2008);

2) parametro T_C^* (NTC08);

3) parametro F_0 (NTC08) – introdotto per limitare i fattori di scala applicati agli spettri di risposta diversi da quelli di riferimento.

I valori di soglia adottati per i tre parametri sono derivati dall'esigenza di trovare un compromesso tra il numero di gruppi omogenei indipendenti (che deve essere limitato per ridurre il numero di selezioni richieste) e la necessità che lo spettro di riferimento sia sufficientemente rappresentativo degli altri spettri del gruppo (per far sì che gli accelerogrammi selezionati siano spettro-compatibili a tutti gli spettri del gruppo).

L'algoritmo utilizzato è stato applicato indipendentemente per ciascun periodo di ritorno e si è articolato nell'implementazione dei seguenti passi:

1. identificazione dello spettro (S_{max}) caratterizzato dalla massima ordinata spettrale (determinata dal prodotto $a_g \cdot F_0$ maggiore);

2. per ciascuno spettro S_k, calcolo della sua deviazione spettrale media δ rispetto a S_{max} mediante:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{S_k(T_i) - S_{max}(T_i)}{S_{max}(T_i)}\right)^2}$$

dove N rappresenta il numero di periodi T_i (equi-spaziati) che sono stati assunti per discretizzare lo spettro. Il valore di δ è calcolato nell'intervallo di periodi rilevanti ai fini della spettro-compatibilità, ovvero tra 0.15s e 2s (NTC18). Un esempio del calcolo della deviazione spettrale media δ è riportato in Figura 6.1.

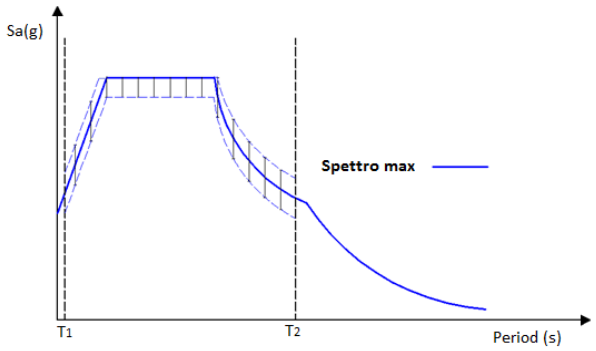


Figura 6.1 Rappresentazione grafica del controllo effettuato sulla deviazione spettrale media, δ, utilizzando come spettro di riferimento quello massimo, nell'intervallo di periodi T1÷T2.

3. individuazione degli spettri caratterizzati da $\delta < 0.2$;

4. identificazione del valore di T_C^* associato allo spettro S_{max}, ovvero $T_{c,max}^*$;

5. individuazione degli spettri caratterizzati da valori di T_C^*, $T_{C,k}^*$, tali che (vedi Figura 6.2):

$$\left|T^*_{c,\max} - T^*_{c,k}\right| \leq 0.05$$

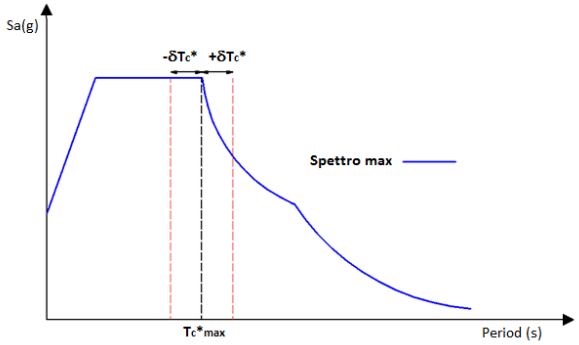


Figura 6.2 Raffigurazione grafica del controllo sulla forma spettrale effettuato dal parametro T_C*. Lo spettro massimo è assunto come spettro di riferimento (colore blu). In figura è indicata la fascia dei valori di T_C* che appartengono all'intervallo considerato (colore rosso). Nel caso in esame $\delta T_c^* = 0.05$.

6. identificazione dei valori di F_0 e a_g associati allo spettro S_{max}, ovvero $F_{0,max}$ e $a_{g,max}$, rispettivamente;
7. individuazione degli spettri caratterizzati da valori di F_0 e a_g ($F_{0,k}$ e $a_{g,k}$) tali che (vedi Figura 6.3):

$$\left(a_{g,k} \cdot F_{0,k}\right) > a_{g,\max} \cdot \left(F_{0,\max} - 0.5\right)$$

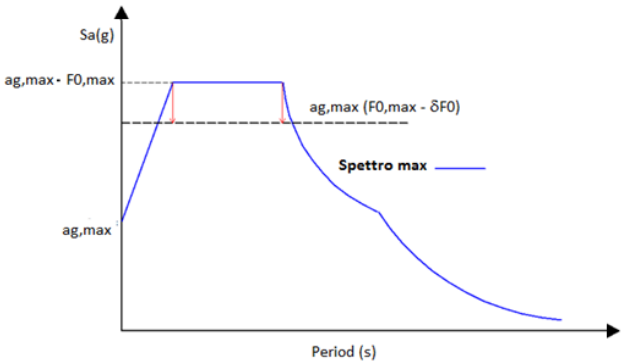


Figura 6.3 Rappresentazione grafica del controllo sulla forma spettrale effettuato dal parametro F_0, ottenuto limitando i valori nel tratto dello spettro ad accelerazione costante.

8. definizione di un primo gruppo di spettri di risposta composto dallo spettro massimo e dagli spettri che soddisfano contemporaneamente le condizioni descritte ai punti 3, 5 e 7.

Una volta definito il primo gruppo, caratterizzato da *n* spettri, il secondo gruppo è determinato applicando la procedura sopra descritta a tutti gli spettri non inclusi nel primo gruppo (958-*n*), e così via fino ad esaurimento di tutti gli spettri di risposta. Per evitare la formazione di gruppi composti da un numero ridotto di spettri o addirittura da un solo spettro, è stato fissato pari a 4 il numero minimo di spettri necessari per formare un gruppo. Pertanto, se $n<4$ non viene formato alcun gruppo ma gli spettri di questo gruppo "mancato" vengono inclusi nel gruppo precedente.

Attraverso questa procedura, per la Regione Lombardia, sono stati individuati 7 gruppi per i periodi di ritorno di 30 e 50 anni, 8 gruppi per i periodi di ritorno di 72 e 101 anni, 9 gruppi per il periodo di ritorno di 140 anni e 11 gruppi per i periodi di ritorno di 201, 475, 975 e 2475 anni. Nelle figure dalla

Figura 6.4 alla Figura 6.12 è mostrata, per ciascun periodo di ritorno, la posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza.

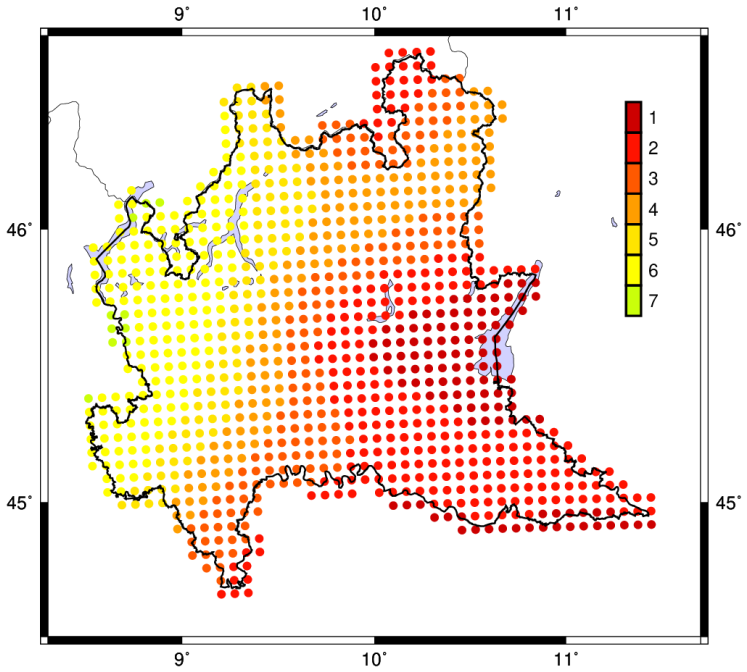


Figura 6.4 Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per T_R=30 anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

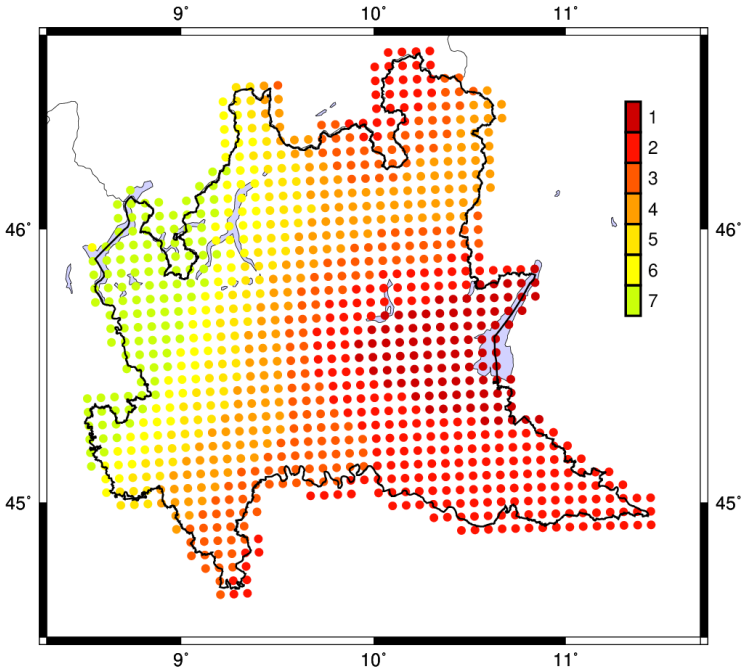


Figura 6.5 Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per T_R=50 anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

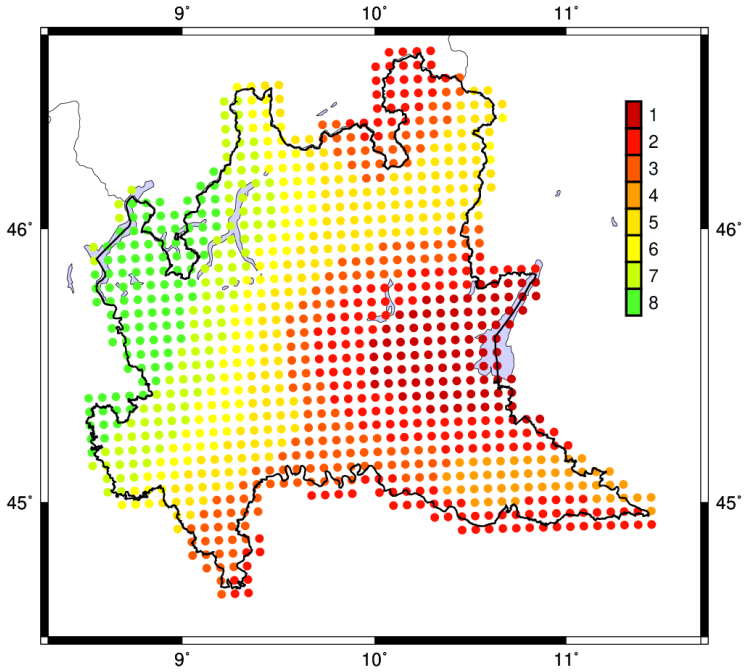


Figura 6.6 Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per T_R=72 anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

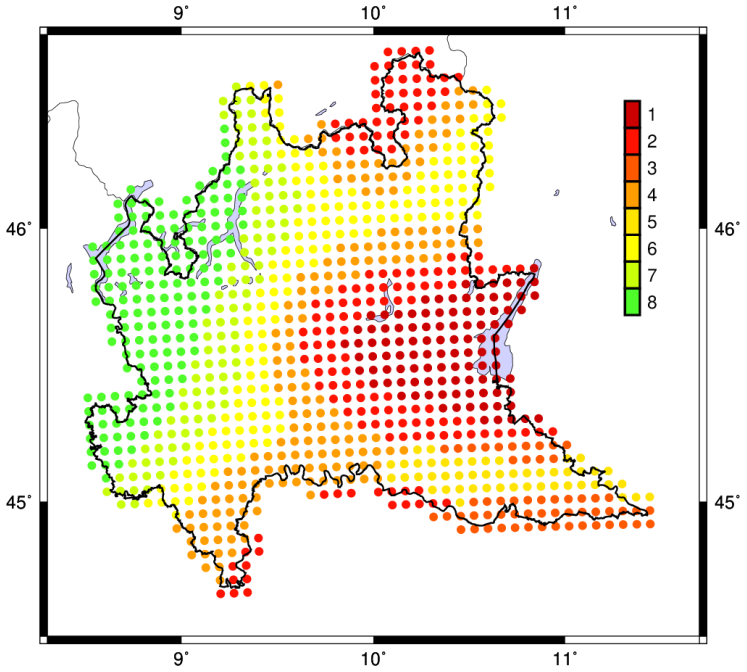


Figura 6.7 Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per T_R=101 anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

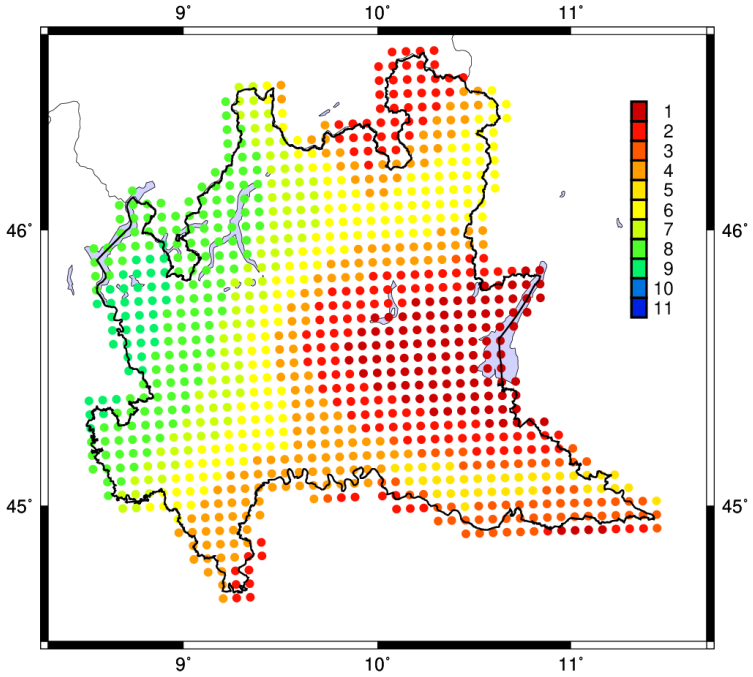


Figura 6.8 Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per T_R=140 anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

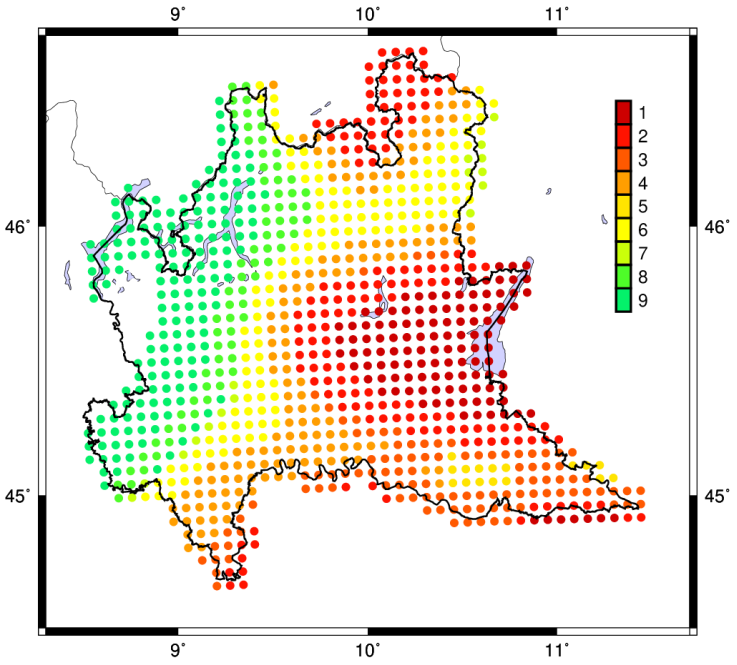


Figura 6.9 Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per T_R=201 anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

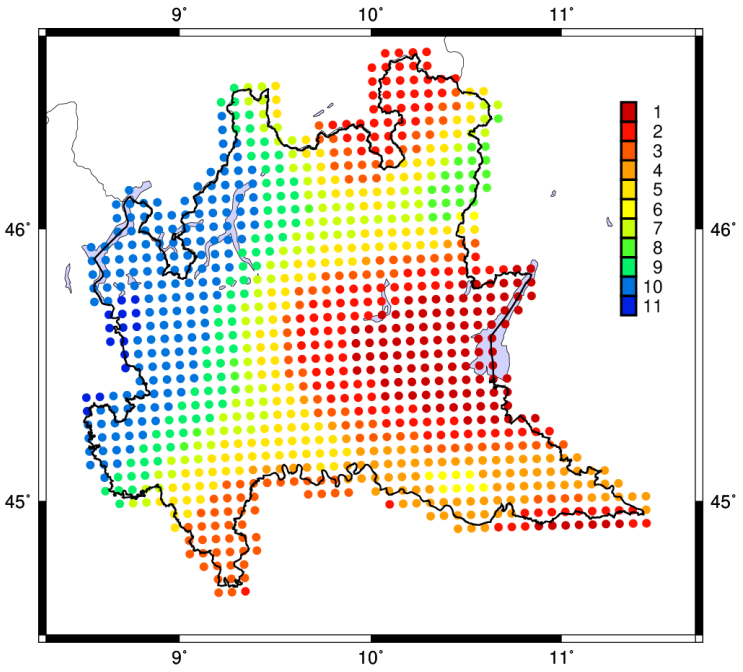


Figura 6.10 Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per T_R=475 anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

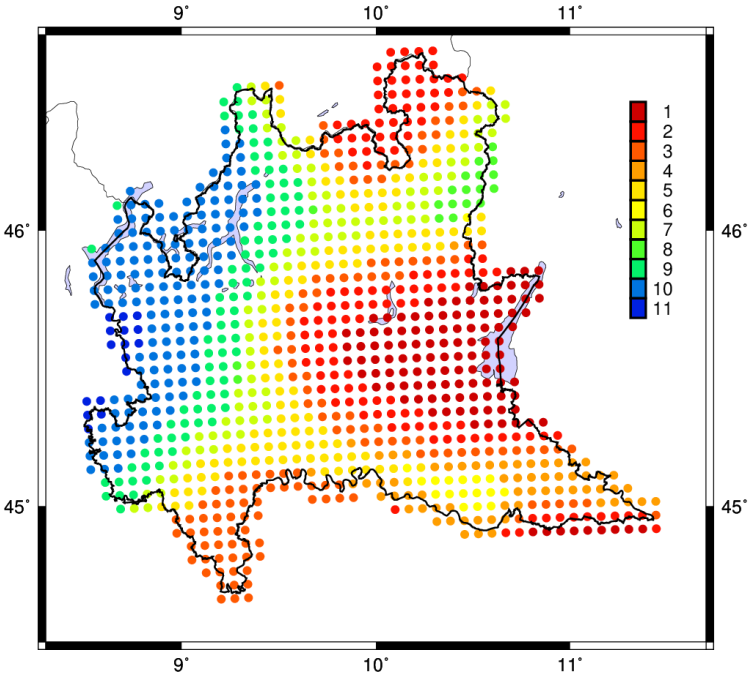


Figura 6.11 Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per T_R=975 anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

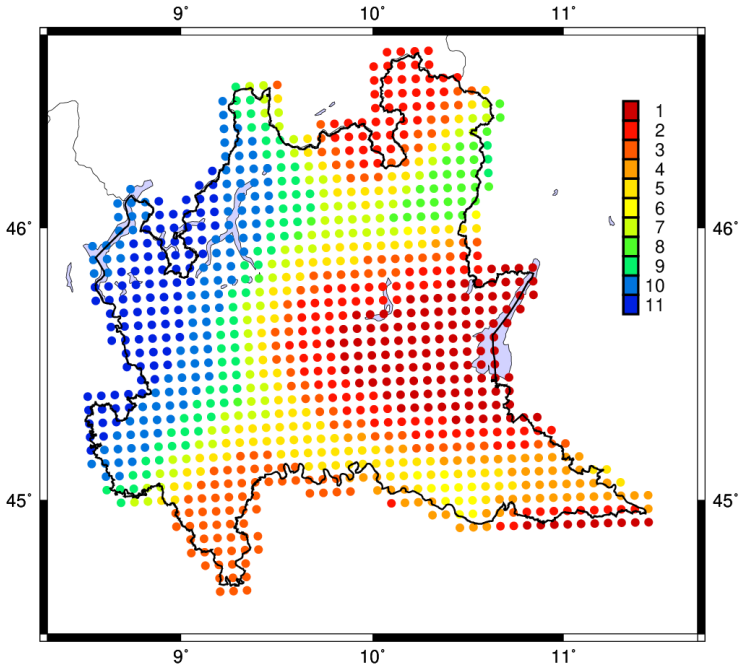


Figura 6.12 Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per T_R=2475 anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

Si può osservare come la distribuzione sul territorio dei gruppi rifletta la variabilità spaziale dei valori di a_g (Progetto INGV-DPC S1, 2006).

7 DEFINIZIONE DEGLI SPETTRI DI RIFERIMENTO

Per ciascuno dei gruppi individuati è stato quindi selezionato uno spettro di riferimento da utilizzare per la selezione e scalatura lineare degli accelerogrammi naturali. Lo spettro di riferimento, che deve rappresentare al meglio le caratteristiche e l'ampiezza delle forme spettrali presenti all'interno di ogni singolo gruppo omogeneo, è stato scelto tra quelli appartenenti al gruppo stesso. Analogamente a quanto effettuato in Zuccolo et al. (2014) e Faravelli et al. (2021), la scelta è stata effettuata sulla base dei seguenti passi:

1. calcolo dello spettro medio del gruppo, S_{med}:

$$S_{med}(T_i) = \frac{\sum_{k=1}^{n} S_k}{n}$$

dove *n* rappresenta il numero di spettri del gruppo composto dagli spettri S_k;

2. calcolo della deviazione spettrale media δ di ogni spettro del gruppo, S_k , rispetto a S_{med}:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{S_k(T_i) - S_{med}(T_i)}{S_{med}(T_i)}\right)^2}$$

3. lo spettro caratterizzato dal δ minore è scelto come spettro di riferimento del gruppo.

Gli spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi e gli spettri di riferimento calcolati in questo studio sono mostrati nelle figure dalla Figura 7.1 alla Figura 7.9.

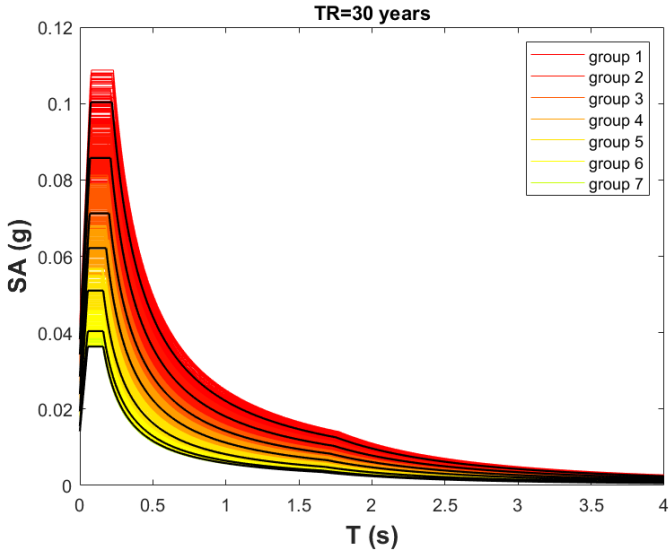


Figura 7.1 Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per T_R=30 anni.

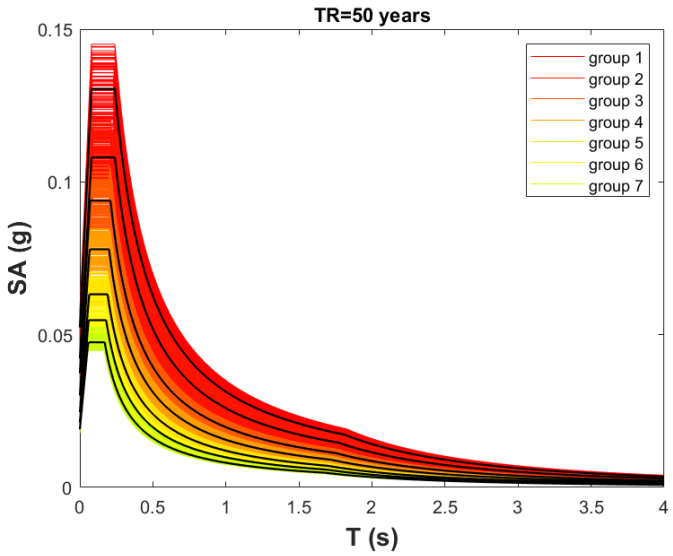


Figura 7.2 Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per T_R=50 anni.

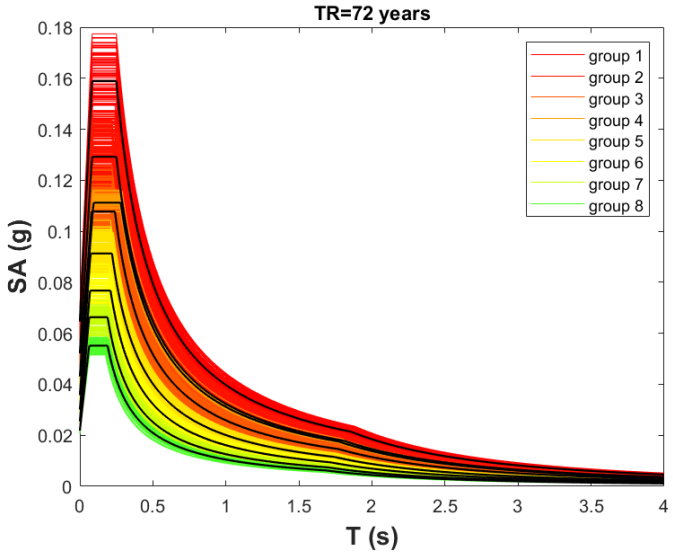


Figura 7.3 Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per T_R=72 anni.

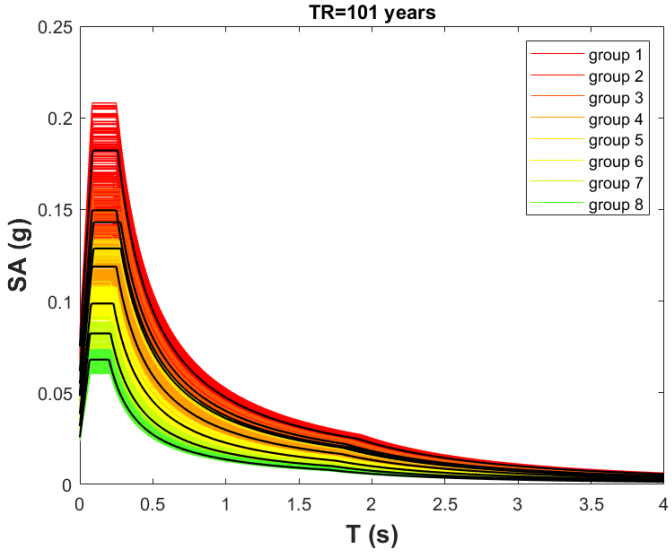


Figura 7.4 Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per T_R=101 anni.

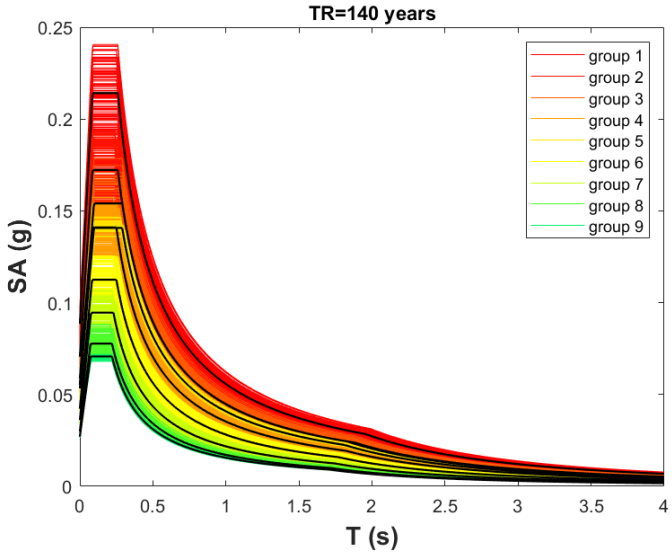


Figura 7.5 Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per T_R=140 anni.

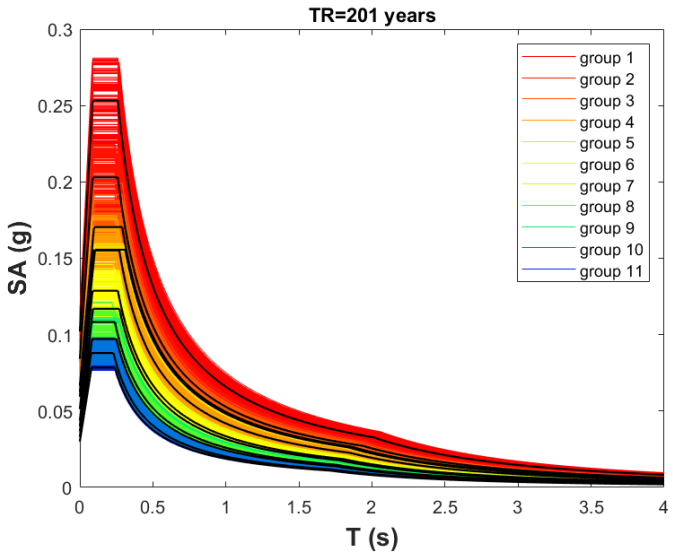


Figura 7.6 Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per T_R=201 anni.

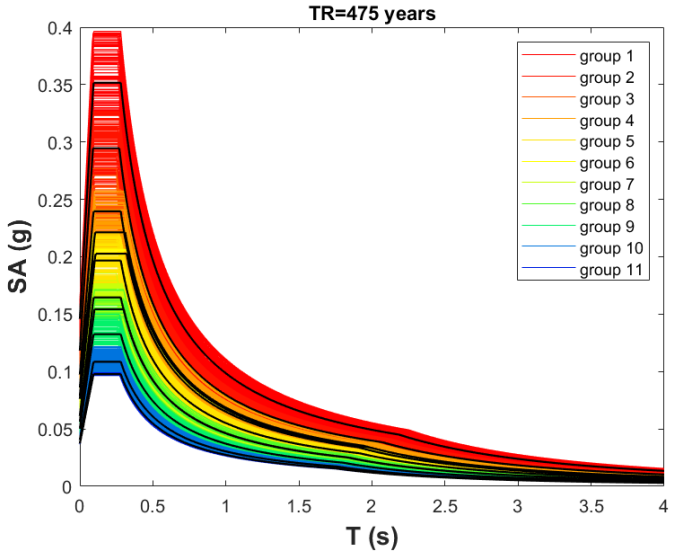


Figura 7.7 Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per T_R=475 anni.

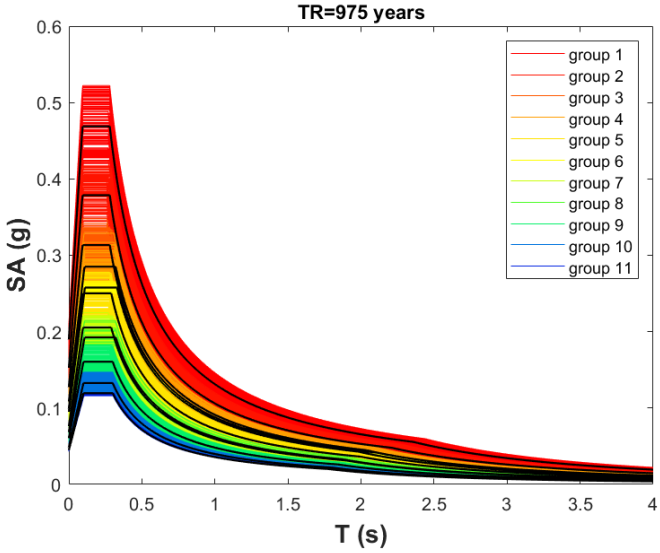


Figura 7.8 Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per T_R=975 anni.

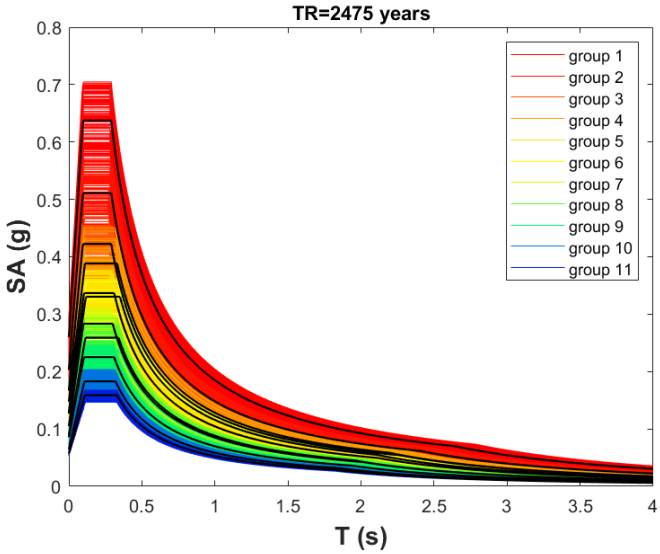


Figura 7.9 Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per T_R=2475 anni.

Le caratteristiche principali degli spettri di riferimento sono riportate in Tabella 7.1.

Tabella 7.1 Caratteristiche principali degli spettri di riferimento per ciascun gruppo e periodo di ritorno.

T_R	gruppo	ID	Longitudine (°)	Latitudine (°)	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
30	1	11171	10.6280	45.7510	0.0383	2.62	0.22
	2	15592	9.3407	44.7130	0.0343	2.50	0.21
	3	14260	9.3200	45.0120	0.0285	2.50	0.20
	4	9384	9.8171	46.1300	0.0239	2.60	0.18
	5	9380	9.5295	46.1210	0.0194	2.63	0.16
	6	10705	9.0490	45.8040	0.0156	2.59	0.16
	7	11587	8.6367	45.5880	0.0142	2.56	0.16
50	1	12498	10.2870	45.4420	0.0524	2.49	0.24
	2	14271	10.0960	45.0370	0.0422	2.56	0.24
	3	10716	9.8358	45.8300	0.0374	2.51	0.21
	4	8727	10.4570	46.2970	0.0301	2.59	0.20
	5	12925	9.0863	45.3040	0.0246	2.57	0.19
	6	10707	9.1921	45.8090	0.0213	2.57	0.18
	7	12476	8.7239	45.3910	0.0190	2.50	0.17
72	1	11390	10.4160	45.6960	0.0646	2.46	0.25
	2	13163	10.2240	45.2910	0.0521	2.48	0.25
	3	15145	9.1228	44.8050	0.0431	2.50	0.24
	4	14061	10.9420	45.1080	0.0431	2.58	0.28
	5	13593	9.2388	45.1600	0.0358	2.55	0.22
	6	12705	9.2245	45.3590	0.0301	2.55	0.21
	7	10929	9.1957	45.7590	0.0255	2.60	0.19
	8	10704	8.9776	45.8010	0.0218	2.53	0.19
101	1	12274	10.1420	45.4880	0.0753	2.42	0.26
	2	11160	9.8420	45.7300	0.0618	2.42	0.25
	3	14719	10.3840	44.9450	0.0550	2.60	0.28
	4	14922	9.0489	44.8520	0.0483	2.46	0.25
	5	13833	10.5150	45.1480	0.0499	2.58	0.28
	6	11376	9.4169	45.6660	0.0384	2.57	0.23
	7	10709	9.3350	45.8140	0.0318	2.59	0.21
	8	9819	9.1775	46.0090	0.0257	2.65	0.20

140	**1**	11830	10.1360	45.5880	0.0885	2.42	0.26
	2	10941	10.0530	45.7860	0.0706	2.44	0.26
	3	14496	10.3110	44.9930	0.0588	2.62	0.29
	4	10496	9.9759	45.8840	0.0555	2.54	0.25
	5	14277	10.5200	45.0480	0.0533	2.64	0.29
	6	9391	10.3210	46.1440	0.0423	2.66	0.25
	7	10488	9.4031	45.8660	0.0361	2.62	0.23
	8	12257	8.9331	45.4490	0.0299	2.60	0.22
	9	10479	8.7592	45.8430	0.0271	2.61	0.22
201	**1**	12721	10.3610	45.3940	0.1021	2.48	0.26
	2	12046	9.7118	45.5260	0.0842	2.41	0.26
	3	13837	10.7980	45.1550	0.0666	2.56	0.29
	4	14037	9.2459	45.0600	0.0623	2.49	0.27
	5	14279	10.6620	45.0510	0.0594	2.62	0.31
	6	14033	8.9635	45.0490	0.0513	2.51	0.26
	7	9172	10.5340	46.1990	0.0438	2.67	0.27
	8	9603	9.6047	46.0730	0.0401	2.70	0.24
	9	12038	9.1426	45.5070	0.0368	2.64	0.25
	10	10263	9.1847	45.9090	0.0332	2.65	0.23
	11	11589	8.7791	45.5930	0.0302	2.60	0.24
475	**1**	12052	10.1390	45.5380	0.1459	2.41	0.28
	2	10725	10.4800	45.8480	0.1183	2.49	0.27
	3	15367	9.1265	44.7550	0.0974	2.46	0.28
	4	14281	10.8030	45.0550	0.0861	2.57	0.31
	5	13593	9.2388	45.1600	0.0790	2.49	0.28
	6	14053	10.3760	45.0940	0.0762	2.66	0.32
	7	9383	9.7452	46.1270	0.0614	2.68	0.28
	8	9171	10.4620	46.1970	0.0563	2.74	0.30
	9	11817	9.2101	45.5590	0.0502	2.64	0.28
	10	8932	9.2347	46.2110	0.0405	2.68	0.28
	11	11365	8.6325	45.6380	0.0373	2.62	0.28
975	**1**	12946	10.5760	45.3500	0.1898	2.47	0.28
	2	13390	10.5810	45.2500	0.1527	2.48	0.28

	3	14703	9.2564	44.9100	0.1274	2.46	0.28
	4	14285	11.0850	45.0610	0.1084	2.63	0.32
	5	13374	9.4476	45.2170	0.0993	2.52	0.29
	6	14051	10.2350	45.0910	0.0951	2.71	0.33
	7	9383	9.7452	46.1270	0.0761	2.70	0.29
	8	9393	10.4650	46.1470	0.0683	2.82	0.32
	9	13145	8.9483	45.2490	0.0604	2.66	0.30
	10	9598	9.2456	46.0610	0.0488	2.72	0.30
	11	11144	8.6997	45.6900	0.0449	2.66	0.30
2475	**1**	14951	11.0910	44.9110	0.2602	2.45	0.29
	2	12268	9.7151	45.4760	0.2028	2.52	0.29
	3	10282	10.5470	45.9490	0.1670	2.53	0.29
	4	14502	10.7340	45.0030	0.1477	2.63	0.33
	5	10276	10.1160	45.9380	0.1290	2.61	0.31
	6	14053	10.3760	45.0940	0.1266	2.61	0.35
	7	8938	9.6668	46.2250	0.1050	2.70	0.30
	8	9391	10.3210	46.1440	0.0896	2.89	0.34
	9	13146	9.0191	45.2520	0.0856	2.63	0.31
	10	9378	9.3858	46.1160	0.0644	2.84	0.32
	11	10703	8.9061	45.7980	0.0571	2.78	0.33

8 SELEZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI NATURALI ASSOCIATI AGLI SPETTRI DI RIFERIMENTO

A differenza degli studi precedenti (Rota et al., 2012, Zuccolo et al., 2014 e Faravelli et al., 2015), la selezione degli accelerogrammi non è stata effettuata mediante il programma ASCONA (Automated Selection of COmpatible Natural Accelerograms, Corigliano et al., 2012), bensì tramite il software haselREC (https://github.com/elisa82/haselREC, Zuccolo et al., 2021). haselREC (HAzard-based SELection of RECords), nato come codice per la selezione di accelerogrammi spettro-compatibili allo spettro condizionato, è stato esteso in questo studio per consentire anche la selezione di accelerogrammi spettro-compatibli allo spettro di normativa.

haselREC consente pertanto di scegliere, da una banca-dati predefinita, un set di accelerogrammi naturali che soddisfano diversi criteri, con l'ulteriore condizione di spettro-compatibilità rispetto ad uno spettro di riferimento in uno specificato campo di periodi.

La banca-dati utilizzata da haselREC è formata dai flat-files di 3 banche "strong-motion" accreditate:

- Engineering Strong-Motion database (ESM, http://esm.mi.ingv.it/, Luzi et al. 2016 - Lanzano et al. 2019). Contiene le forme d'onda di eventi registrati principalmente nelle regioni Europa-Mediterraneo e Medio-Oriente.

- PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) NGA-West2 (http://peer.berkeley.edu/ngawest2/, Ancheta et al. 2014). Include un ampio insieme di registrazioni 'strong-motion' registrate nel mondo in regimi tettonici attivi caratterizzati da terremoti crostali superficiali.

- KiK-net (KibanKyoshin network) (http://www.kyoshin.bosai.go.jp, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience 2019). Comprende le forme d'onda registrate dalla rete giapponese K-net e KiK-net. A differenza delle altre due banche-dati utilizzate, le registrazioni non sono né processate né ben caratterizzate in termini di metadati. Per questo motivo, è stato fatto riferimento ai metadati compilati da Bahrampouri et al. (2020) - https://www.designsafe-ci.org/data/browser/public/designsafe.storage.published/PRJ-2547v2, che includono, tra le altre, anche le informazioni sulla velocità delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo ($Vs30$) associata alle stazioni sismiche, la tipologia di terremoto (ad es. crostale/subduzione) e le frequenze d'angolo da utilizzare per la correzione delle registrazioni. Per poter utilizzare (scalare) questi accelerogrammi, haselREC esegue le seguenti operazioni (in accordo a Bahrampouri et al., 2020): rimozione del trend lineare, applicazione di una finestra coseno alle code del segnale, zero-padding, applicazione di un filtro passa banda Butterworth del quarto ordine, conversione in unità di accelerazione.

Oltre ai metadati relativi alle registrazioni, i flat-files contengono gli spettri di risposta che vengono utilizzati da haselREC per la selezione degli accelerogrammi naturali.

Dopo aver importato i dati contenuti nei flat-files, haselREC individua gli spettri di risposta che soddisfano i criteri di selezione imposti dall'utente. In particolare, per questo studio, sono stati considerati solo accelerogrammi 'free field', registrati da stazioni poste su sito roccioso affiorante ($Vs30$ ≥ 800 m/s o categoria di sottosuolo EC8 'A'), quindi assunti non influenzati da eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale, e associati a terremoti crostali con profondità minore di 30 km, in modo da essere consistenti con il regime tettonico crostale della regione Lombardia.

Per quanto riguarda la magnitudo e la distanza epicentrale, visto l'elevato numero di nodi della griglia di riferimento per i quali fornire l'input sismico, è stato deciso di non far riferimento in senso stretto ai risultati dello studio di disaggregazione disponibili al sito web dell'INGV (http://esse.gis.mi.ingv.it). Infatti, tale studio è stato condotto per diversi periodi di ritorno con riferimento ad un solo periodo spettrale (cioè T=0, corrispondente al valore di a_g). Tuttavia, i risultati della disaggregazione cambiano al variare del periodo considerato (Chioccarelli et al., 2010), e più di un singolo evento di scenario può controllare la pericolosità del sito, specialmente se più sorgenti condizionano la pericolosità del sito. In

generale, pertanto, al fine di identificare le coppie di magnitudo e distanza più importanti che contribuiscono alla definizione dello spettro di risposta probabilistico, sarebbe necessario eseguire la disaggregazione per valori dell'accelerazione spettrale corrispondenti ad una gamma sufficientemente ampia di periodi. L'ampiezza della gamma è, in ultima analisi, funzione della forma dello spettro di risposta e quindi dalle caratteristiche sismogenetiche e di attenuazione regionali (Lai et al., 2008). In particolare, al crescere del periodo considerato, la coppia magnitudo-distanza che maggiormente condiziona la pericolosità è costituita da un evento di magnitudo maggiore a più grande distanza. Considerando inoltre che nel processo di selezione di accelerogrammi naturali, è spesso necessario allargare significativamente gli intervalli di magnitudo e distanza all'interno dei quali ricercare gli accelerogrammi (in modo da riuscire a trovare un gruppo di accelerogrammi spettro-compatibili allo spettro di riferimento di normativa, basato su uno spettro a pericolosità uniforme), è stato deciso di considerare, per tutte le selezioni, un unico intervallo di magnitudo e distanza compatibile con la sismicità italiana. Per quanto riguarda la distanza epicentrale, è stato imposto un limite inferiore di 10 km in modo da escludere accelerogrammi registrati da stazioni poste in campo vicino, che possono essere caratterizzate da un rapporto tra le due componenti orizzontali significativamente diverso da 1.

Oltre ai criteri sopra elencati, haselREC consente di definire il numero di accelerogrammi da selezionare (7, in questo studio), il massimo scarto ammissibile in difetto (tra lo spettro medio degli accelerogrammi selezionati e lo spettro di riferimento, 10% in questo studio), il massimo scarto ammissibile in eccesso (tra lo spettro medio degli accelerogrammi selezionati e lo spettro di riferimento, 30% in questo studio), il campo di periodi da utilizzare per la valutazione della spettro-compatibilità (0.15 s – 2.0 s, in questo studio), il massimo fattore di scala consentito (definito in questo studio in funzione del periodo di ritorno), nonché il periodo spettrale da utilizzare per la scalatura degli spettri (T=0.01 s in questo studio).

haselREC impone inoltre una serie di vincoli alla selezione delle registrazioni accelerometriche, che consentono di evitare che nello stesso gruppo di accelerogrammi siano presenti storie temporali registrate durante la stessa sequenza sismica o alla stessa stazione, in modo da escludere registrazioni tra loro fortemente correlate. Le registrazioni appartenenti alla stessa sequenza sismica sono identificate da haselREC stesso mediante l'algoritmo di declustering descritto in Burkhard e Grunthal (2009).

In aggiunta, haselREC è stato modificato in questo studio in modo da leggere gli spettri associati alle componenti orizzontali di ciascuna registrazione, calcolarne lo spettro SRSS seguendo le indicazioni della Circolare NTC (2019), e selezionare un gruppo di 7 spettri di risposta SRSS compatibili in media agli spettri di riferimento precedentemente identificati moltiplicati per 1.3 (ri-denominati nel seguito spettri di riferimento).

L'algoritmo di selezione implementato in haselREC effettua pertanto le seguenti operazioni:

- scalatura lineare degli spettri SRSS imponendo che l'ordinata spettrale in corrispondenza del periodo T=0.01 s sia pari a quella dello spettro di riferimento;

- calcolo dell'errore quadratico medio (MSE) di ciascuno spettro SRSS scalato rispetto allo spettro di riferimento;

- identificazione dei 7 spettri SRSS caratterizzati dai valori MSE più bassi e soddisfacenti i vincoli alla selezione delle registrazioni accelerometriche imposti da haselREC per escludere registrazioni tra loro fortemente correlate;

- ottimizzazione della selezione utilizzando il metodo proposto da Baker e Lee (2018), che consiste nel sostituire ciascuno spettro selezionato, uno alla volta, con un altro spettro della banca dati, in modo da provare a migliorare la compatibilità tra lo spettro medio e lo spettro di riferimento. Ad ogni sostituzione viene calcolato lo spettro medio e confrontato con lo spettro di riferimento, calcolandone lo scarto medio, lo scarto in difetto e lo scarto in eccesso all'interno del campo di periodi prefissato. Viene inoltre valutato anche lo scarto (in eccesso e in difetto) tra lo spettro sostituto e lo spettro di riferimento all'interno del campo di periodi prefissato. Queste condizioni sono considerate in termini di

funzioni di penalità, ciascuna con un peso definito dall'utente. L'ottimizzazione della selezione viene ripetuta per un numero di iterazioni decise dall'utente.

La selezione degli accelerogrammi naturali è stata effettuata per gli 83 spettri di riferimento mostrati in Tabella 7.1 di questo rapporto, per un totale di 83 selezioni di accelerogrammi. I risultati della selezione si trovano in Appendice A.

9 SCALATURA LINEARE DEGLI ACCELEROGRAMMI SELEZIONATI PER RENDERLI SPETTRO-COMPATIBILI AI RIMANENTI SPETTRI

Gli accelerogrammi spettro-compatibili agli spettri di risposta (S_{NTC}) diversi dagli spettri di riferimento (S_{rif}) sono stati ottenuti a partire dagli accelerogrammi selezionati per questi ultimi, scalandoli opportunamente. In particolare, sono stati applicati due fattori di scala: SF1 ed SF2.

SF1 è il fattore di scala necessario per passare da S_{rif} a S_{NTC} (appartenente allo stesso gruppo); è stato calcolato come il rapporto tra S_{NTC} e S_{rif} relativamente all'ordinata spettrale (T=0.01 s) rispetto alla quale sono stati scalati gli accelerogrammi in haselREC (il cui valore coincide con lo spettro medio derivante dalla selezione, S_{medio_gruppo}): $SF1=S_{NTC}(T=0.01\ s)/S_{medio_gruppo}(T=0.01\ s)$.

SF2 è un fattore di scala aggiuntivo che è servito per imporre la spettro-compatibilità del set di accelerogrammi scalati rispetto a S_{NTC}, laddove la spettro-compatibilità non è stata automaticamente preservata con l'applicazione del solo fattore di scala SF1 a S_{medio_gruppo}. Tenendo conto che il requisito di spettro-compatibilità riportato nelle NTC18 richiede che lo scarto massimo negativo sia minore del 10% e lo scarto massimo positivo sia inferiore al 30% in un prefissato intervallo di periodi, il fattore di scala SF2 è stato definito in modo da garantire che il massimo scarto negativo fosse pari al 10% e/o il massimo scarto positivo fosse pari al 30%.

Nello specifico, per ciascun nodo della griglia di riferimento interno alla regione Lombardia e per ciascun periodo di ritorno considerato, sono state eseguite le seguenti operazioni:

- calcolo dello spettro di risposta previsto dalle NTC18 (moltiplicato per 1.3) per il nodo e il periodo di ritorno specificato; chiamiamo quest'ultimo S_{NTC};

- ricerca del gruppo di appartenenza del nodo, per il periodo di ritorno specificato, che consente di risalire agli spettri e agli accelerogrammi selezionati per lo spettro di riferimento del gruppo di appartenenza del nodo, per il periodo di ritorno specificato. Chiamiamo lo spettro medio derivante dalla selezione con S_{medio_gruppo};

- calcolo del fattore di scala SF1 necessario per passare dallo spettro di riferimento allo spettro considerato, dato dal rapporto tra S_{NTC} e lo spettro di riferimento relativamente all'ordinata spettrale ($T_{scaling}$) rispetto alla quale sono stati scalati gli accelerogrammi in haselREC (il cui valore coincide con quello di S_{medio_gruppo}): $SF1=S_{NTC}(T_{scaling}=0.01\ s)/S_{medio_gruppo}(T_{scaling}=0.01\ s)$;

- moltiplicazione delle ordinate spettrali di S_{medio_gruppo} per SF1, così da ottenere lo spettro $S_{medio_gruppo_scalato}$;

- valutazione della spettro-compatibilità tra $S_{medio_gruppo_scalato}$ e S_{NTC} nell'intervallo di periodi 0.15s ÷ 2s;

- calcolo del fattore di scala SF2. Caso 1) Se la spettro-compatibilità è verificata, viene imposto SF2=1. Caso 2) Se la spettro-compatibilità non risulta verificata con l'applicazione del solo fattore SF1 (poiché le forme spettrali, per quanto simili, non sono le stesse per tutti i nodi appartenenti ad un gruppo omogeneo), SF2 viene calcolato in modo da garantire la spettro-compatibilità. Se lo scarto massimo negativo è maggiore del 10%, SF2 viene definito in modo da garantire che il massimo scarto negativo sia pari al 10%. Più precisamente:

$$SF2 = 0.9\frac{S_{NTC}(T_{scarto_max})}{S_{medio_gruppo_scalato}(T_{scarto_max})}$$

dove T_{scarto_max} rappresenta il periodo spettrale in cui lo scarto in difetto tra $S_{medio_gruppo_scalato}$ e S_{NTC} è massimo. Se invece lo scarto massimo positivo è maggiore del 30%, SF2 viene definito in modo da garantire che il massimo scarto positivo sia pari al 30%. Più precisamente:

$$SF2 = 1.3\frac{S_{NTC}(T_{scarto_max})}{S_{medio_gruppo_scalato}(T_{scarto_max})}$$

- Gli accelerogrammi e gli spettri (non scalati) selezionati per lo spettro di riferimento vengono moltiplicati per un fattore di scala (SF) calcolato come SF= SF0*SF1*SF2, dove SF0 rappresenta il fattore di scala tra lo spettro di risposta di riferimento del gruppo e lo spettro di risposta registrato (in altre parole, il fattore di scala individuato da haselREC associato al singolo accelerogramma).

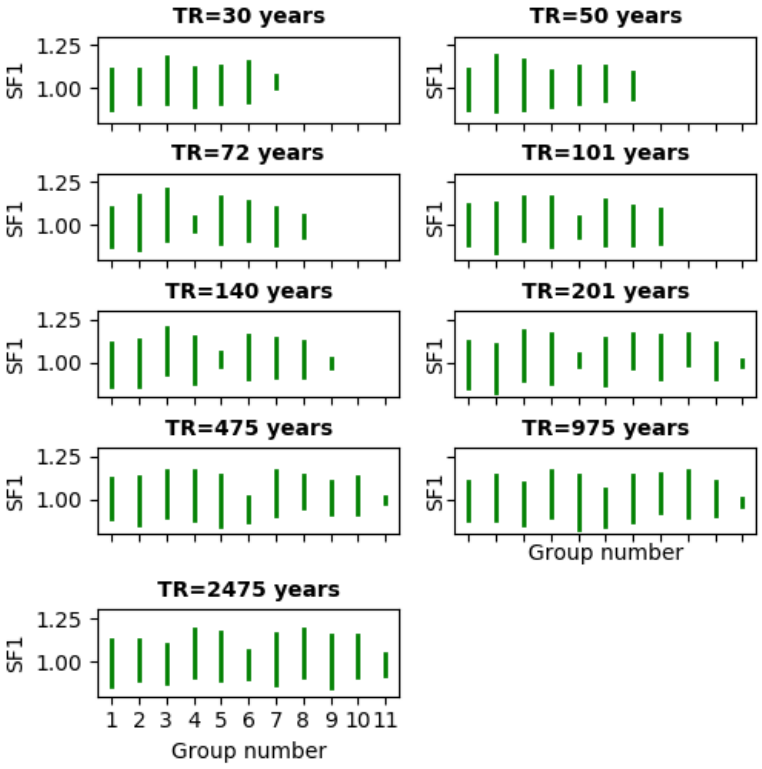
Nel caso in cui le coordinate del sito richiesto coincidano con quelle degli spettri di riferimento (ossia con quelle riportate in Tabella 7.1), si avrà:

- SF1=1, SF1*SF2=1;

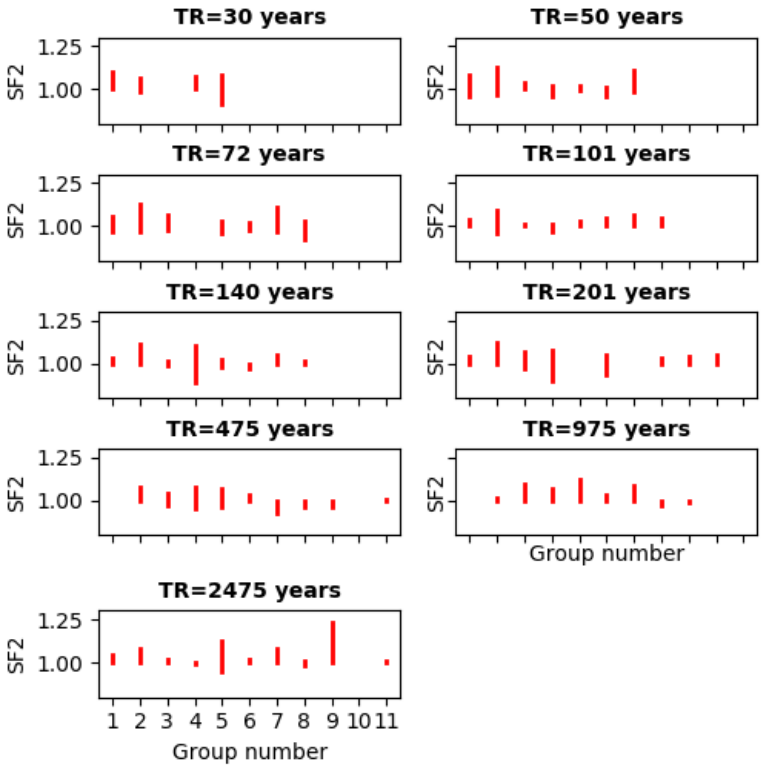
- S_{NTC} coincidente con lo spettro di riferimento del gruppo, per il periodo di ritorno richiesto;

- accelerogrammi e spettri di uscita coincidenti con quelli selezionati da haselREC per lo spettro di riferimento.

Il campo di variabilità dei fattori di scala SF1 ed SF2 per ciascun gruppo e periodo di ritorno è illustrato in Figura 9.1. I valori minimo e massimo dei due fattori di scala sono riportati anche in Tabella 9.1, in funzione del periodo di ritorno. Per gli spettri che soddisfano la spettro-compatibilità con il solo fattore di scala SF1, è stato assunto SF2=1. Si nota come i valori utilizzati per il fattore di scala SF2 sono molto vicini all'unità, per cui le ordinate degli spettri di risposta non sono modificate in modo significativo dall'introduzione di questo fattore di scala.



(a)



(b)

Figura 9.1 Variabilità (valore minimo e massimo per ciascun gruppo e periodo di ritorno) dei fattori di scala (a) SF1 (verde) e (b) SF2 (rosso), adottati per imporre la spettro-compatibilità degli accelerogrammi selezionati con uno spettro arbitrario del gruppo.

Tabella 9.1 Valore minimo e massimo, per ciascun periodo di ritorno, dei fattori di scala SF1 e SF2.

T_R	SF1		SF2	
	Min	**Max**	**Min**	**Max**
30 anni	0.88	1.18	0.91	1.1
50 anni	0.87	1.19	0.96	1.13
72 anni	0.86	1.21	0.92	1.13
101 anni	0.84	1.16	0.96	1.09
140 anni	0.86	1.2	0.89	1.11
201 anni	0.83	1.18	0.9	1.12
475 anni	0.85	1.17	0.93	1.08
975 anni	0.83	1.17	0.97	1.12
2475 anni	0.85	1.19	0.95	1.23

Grazie al raggruppamento degli spettri di risposta simili e alle soglie per i fattori di scala imposti in haselREC, i fattori di scala SF tra gli accelerogrammi forniti per ciascun nodo della griglia e gli accelerogrammi originari sono relativamente contenuti e comunque non eccedenti l'intervallo 0.37-5.83. In Figura 9.2 sono mostrati gli intervalli di variabilità di SF in funzione del gruppo e periodo di ritorno, mentre in Tabella 9.2 è riportato il campo di variazione (valore minimo, massimo e medio) di SF in funzione del periodo di ritorno. Si nota come il valore medio presenti una crescita abbastanza regolare e inevitabile con il periodo di ritorno, con una variazione compresa tra 1.23 e 2.44. La Tabella 9.2 riporta anche il numero di casi in cui SF è compreso tra 2/3 e 1.5, mostrando che per i bassi periodi di ritorno (fino a 101 anni) questo numero è circa il 50%, mentre è più basso per i periodi di ritorno più lunghi. Queste considerazioni riflettono la difficoltà nel selezionare registrazioni spettro-compatibili con bassi fattori di scala per i periodi di ritorno più lunghi, dovuta alla mancanza di registrazioni su roccia caratterizzate da grandi valori di PGA.

La descrizione del prodotto finale di questo studio è riportata in Appendice B.

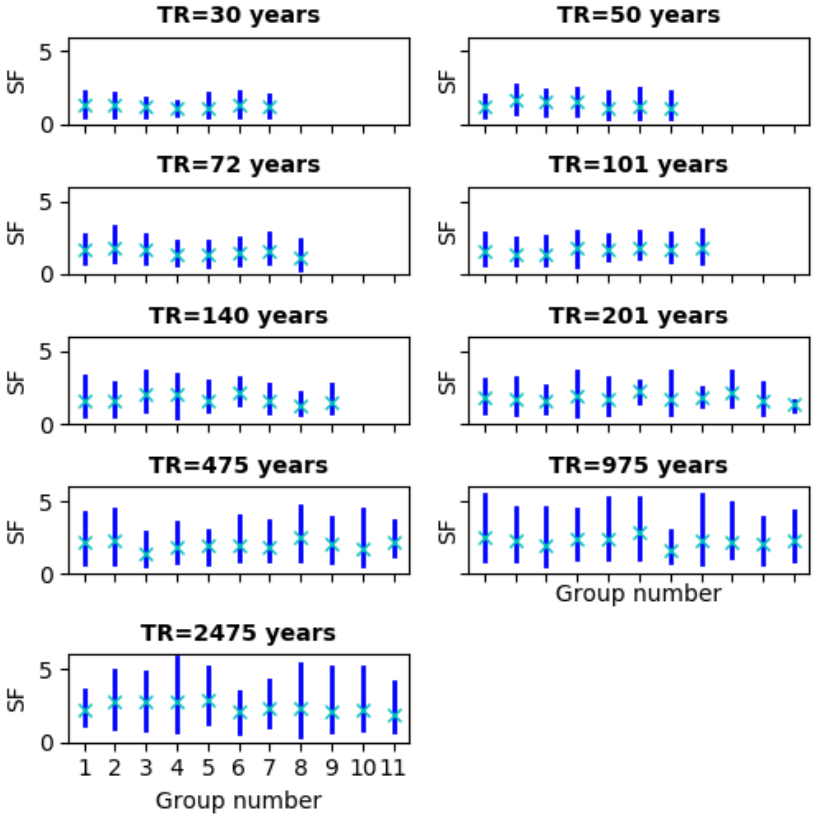


Figura 9.2 Valore medio (croce azzurra) e variabilità del fattore di scala finale (SF) in funzione del gruppo e periodo di ritorno.

Tabella 9.2 Valore minimo, massimo e medio, per ciascun periodo di ritorno, del fattore di scala finale SF. È anche riportato il valore percentuale dei casi con SF tra 2/3 e 1.5.

T_R (anni)	SF			% di casi con SF tra 2/3 e 1.5
	Min	Max	Medio	
30 anni	0.46	2.22	1.23	58.9
50 anni	0.42	2.63	1.40	47.7
72 anni	0.37	3.21	1.54	47.9
101 anni	0.54	2.99	1.65	44.8
140 anni	0.4	3.6	1.73	38.2
201 anni	0.52	3.63	1.79	32.5
475 anni	0.59	4.64	1.94	33.8
975 anni	0.59	5.5	2.20	27.5
2475 anni	0.45	5.83	2.44	24.6

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nel corso del presente studio è stato definito l'input sismico per la regione Lombardia seguendo le indicazioni fornite dalle NTC18.

L'input sismico è fornito sia in termini di spettri di risposta che di accelerogrammi spettro-compatibili. Si è optato per gli accelerogrammi *naturali* selezionati da banche dati accelerometriche "strong-motion" accreditate. Essi sono da preferire, secondo la normativa e la letteratura internazionale più avanzata per le analisi geotecniche e di risposta sismica locale, a fronte degli accelerogrammi artificiali.

Per la definizione dell'input sismico è stato fatto riferimento agli spettri di risposta definiti dalle NTC08/NTC18 per sito rigido con superficie topografica orizzontale. Il territorio lombardo è stato suddiviso in aree omogenee dal punto di vista delle forme spettrali prescritte dalle NTC08/NTC18 (mesozonazione), utilizzando una metodologia sviluppata e molto utilizzata ad EUCENTRE. Per ciascun gruppo di spettri di risposta e ciascun periodo di ritorno è stato quindi definito uno spettro di risposta di riferimento e sono stati selezionati 7 accelerogrammi reali (nello specifico, 7 coppie di componenti orizzontali), registrati su roccia, spettro-compatibili, secondo la definizione delle NTC18, allo spettro di riferimento di ciascun gruppo. La selezione degli accelerogrammi è stata eseguita mediante il codice di calcolo haselREC (Zuccolo et al., 2021) opportunamente modificato, utilizzando le versioni più recenti di banche dati accelerometriche accreditate. Infine, gli accelerogrammi selezionati sono stati opportunamente scalati in modo da fornire un gruppo di 7 accelerogrammi naturali spettro-compatibili per ciascun nodo della griglia di riferimento interno alla Regione Lombardia e per ciascuno dei 9 periodi di ritorno considerati nelle NTC08/NTC18 (ossia 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni).

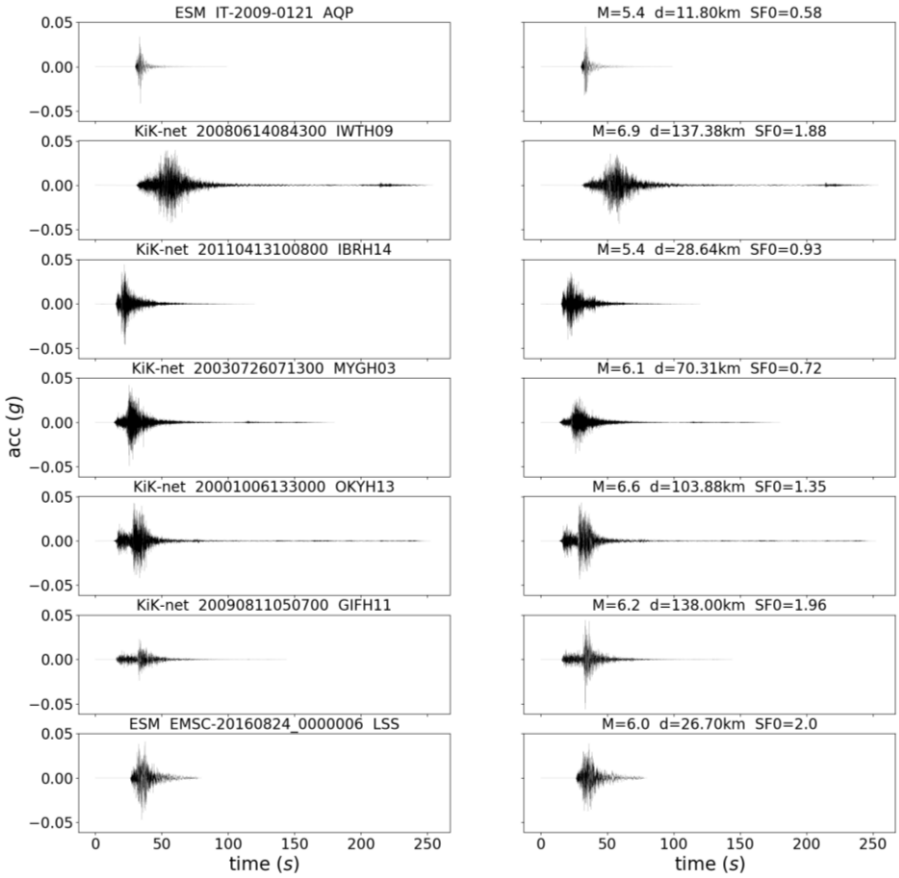
11 APPENDICE A – RISULTATI

In quest'appendice sono raccolte le figure relative alla selezione degli accelerogrammi per gli spettri di riferimento elencati in Tabella 7.1 (N.B. gli spettri di riferimento sono stati moltiplicati per 1.3 in modo da effettuare una selezione di accelerogrammi considerando entrambe le componenti orizzontali del moto del terreno)

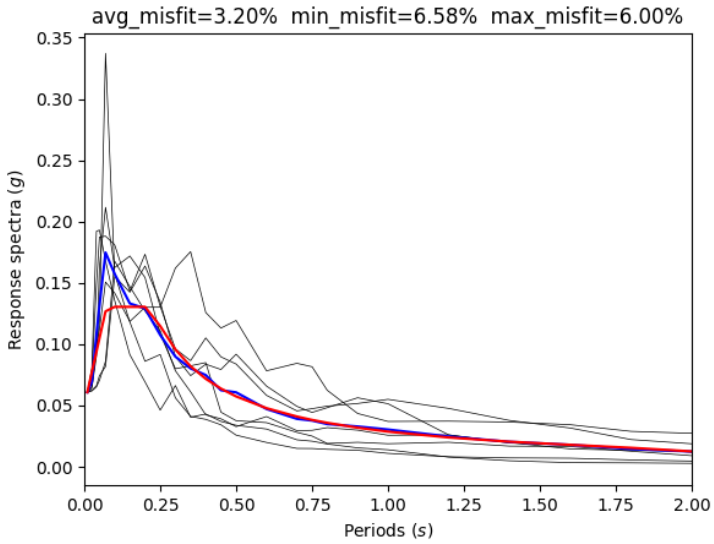
Per ciascun gruppo e periodo di ritorno sono mostrate 2 figure:

a) gruppo di 7 accelerogrammi (componenti orizzontali) selezionato da haselREC in media spettro-compatibili allo spettro di riferimento. Sopra ogni accelerogramma sono riportati: la banca dati di appartenenza dell'accelerogramma, l'ID dell'evento che ha generato l'accelerogramma, il codice della stazione che ha registrato l'accelerogramma, la magnitudo (M) dell'evento, la distanza epicentrale (d) alla quale è avvenuta la registrazione e il fattore di scala (SF0) tra lo spettro di risposta di riferimento e lo spettro di risposta registrato.
b) spettri di risposta dei singoli accelerogrammi (linee nere) selezionati per lo spettro di riferimento (linea rossa) e confronto con lo spettro medio (linea blu). In alto sono riportati: lo scarto percentuale medio (avg. misfit) nell'intervallo di periodi 0.15-2.0s, lo scarto negativo massimo (min_misfit) dello spettro medio rispetto allo spettro di riferimento nello stesso intervallo di periodi e lo scarto positivo massimo (max_misfit).

11.1 PERIODO DI RITORNO DI 30 ANNI

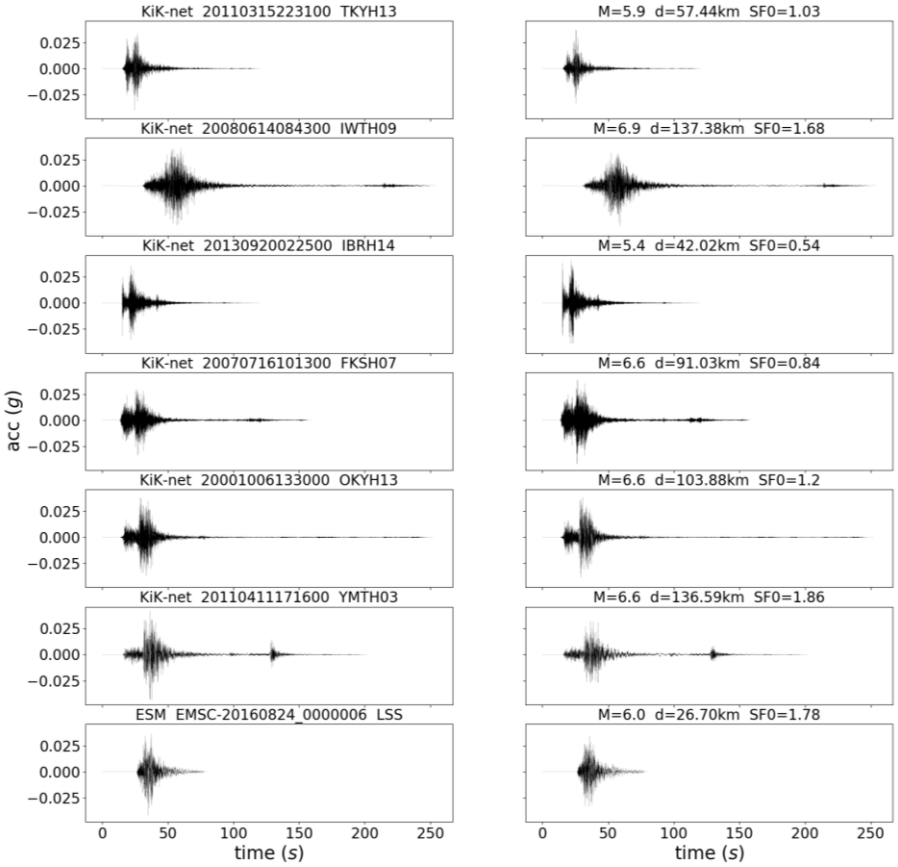


(a)

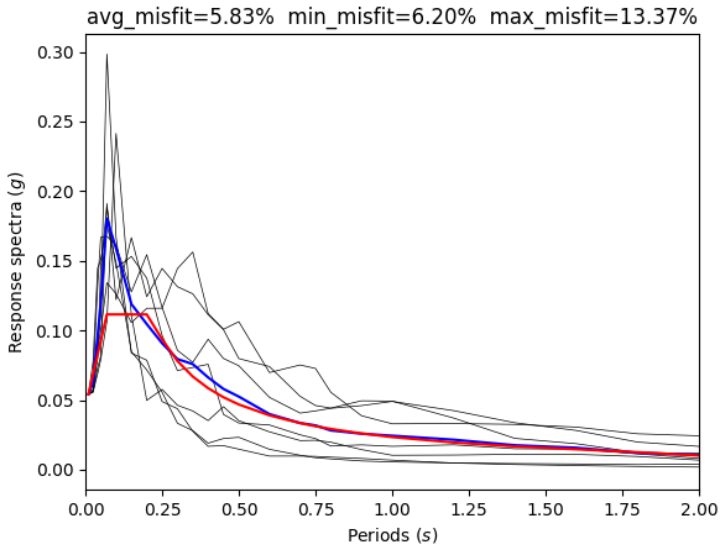


(b)

Figura 11.1 Risultato della selezione relativa al gruppo 1 - T_R=30 anni.

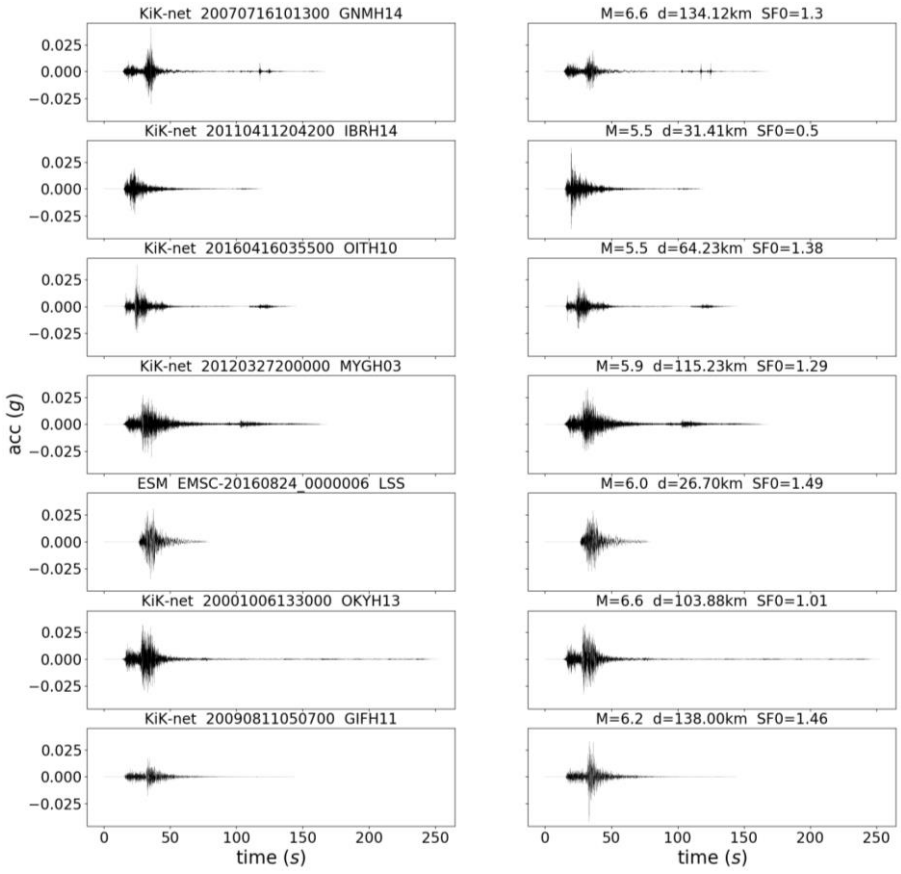


(a)

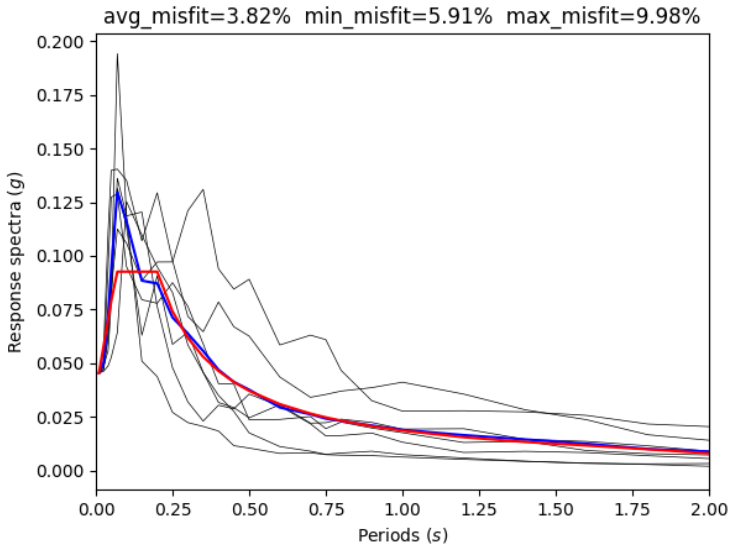


(b)

Figura 11.2 Risultato della selezione relativa al gruppo 2 - T_R=30 anni.

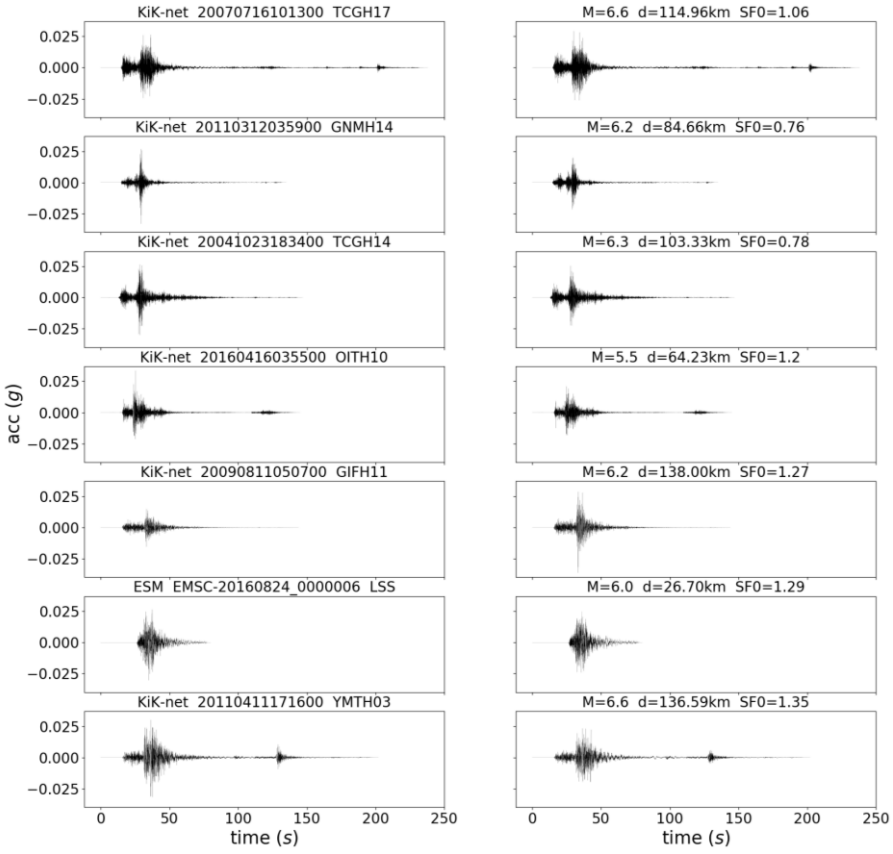


(a)

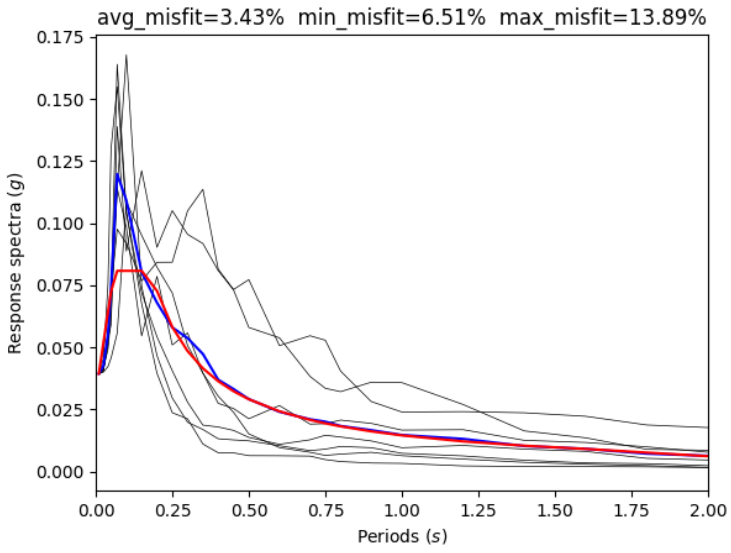


(b)

Figura 11.3 Risultato della selezione relativa al gruppo 3 - T_R=30 anni.

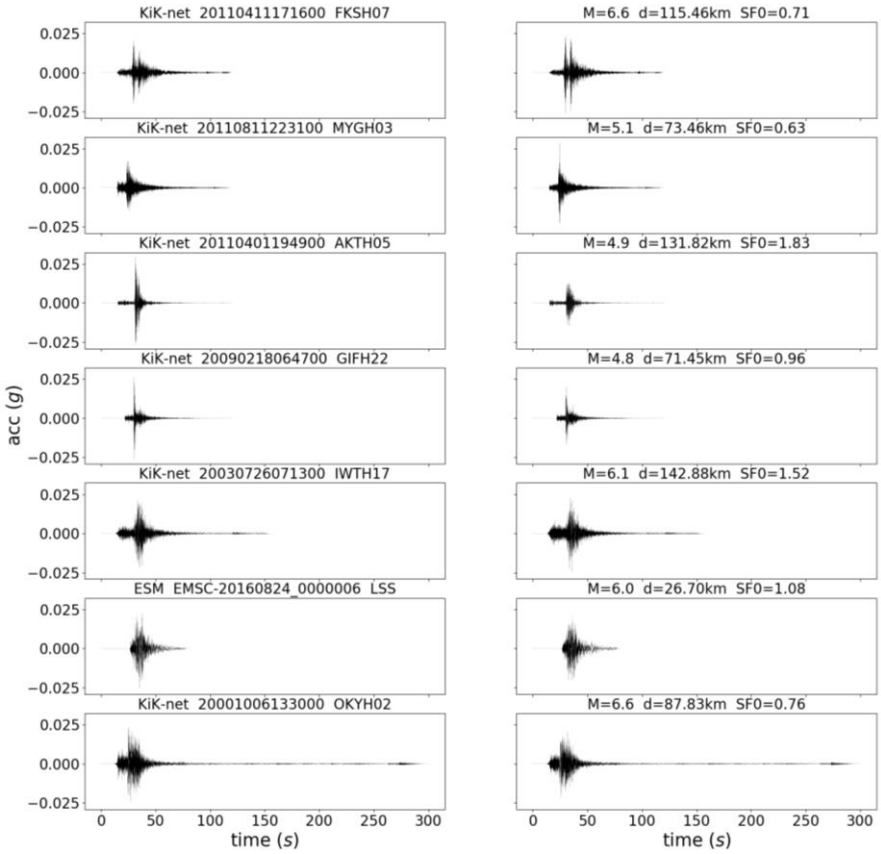


(a)

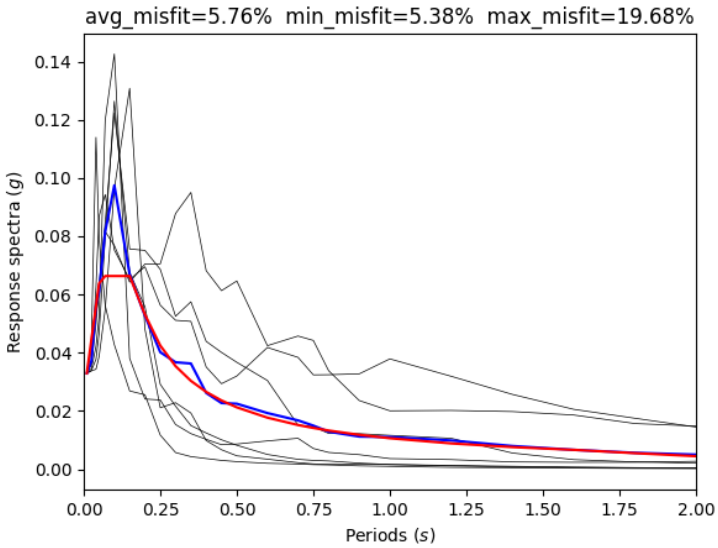


(b)

Figura 11.4 Risultato della selezione relativa al gruppo 4 - T_R=30 anni.

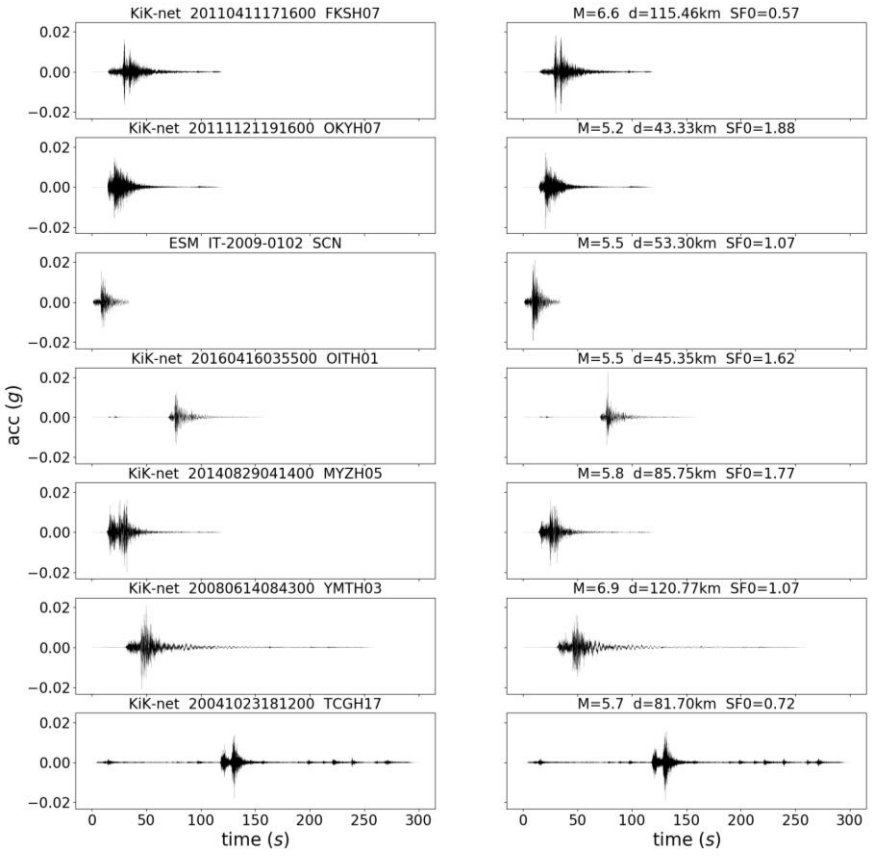


(a)

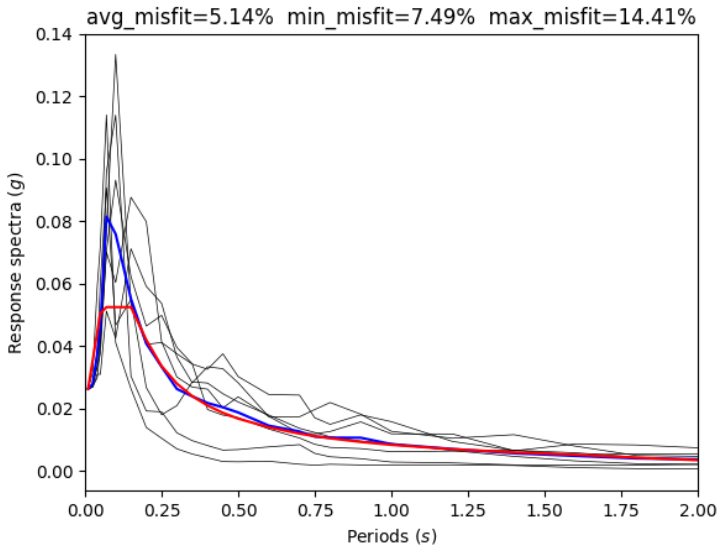


(b)

Figura 11.5 Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - T_R=30 anni.

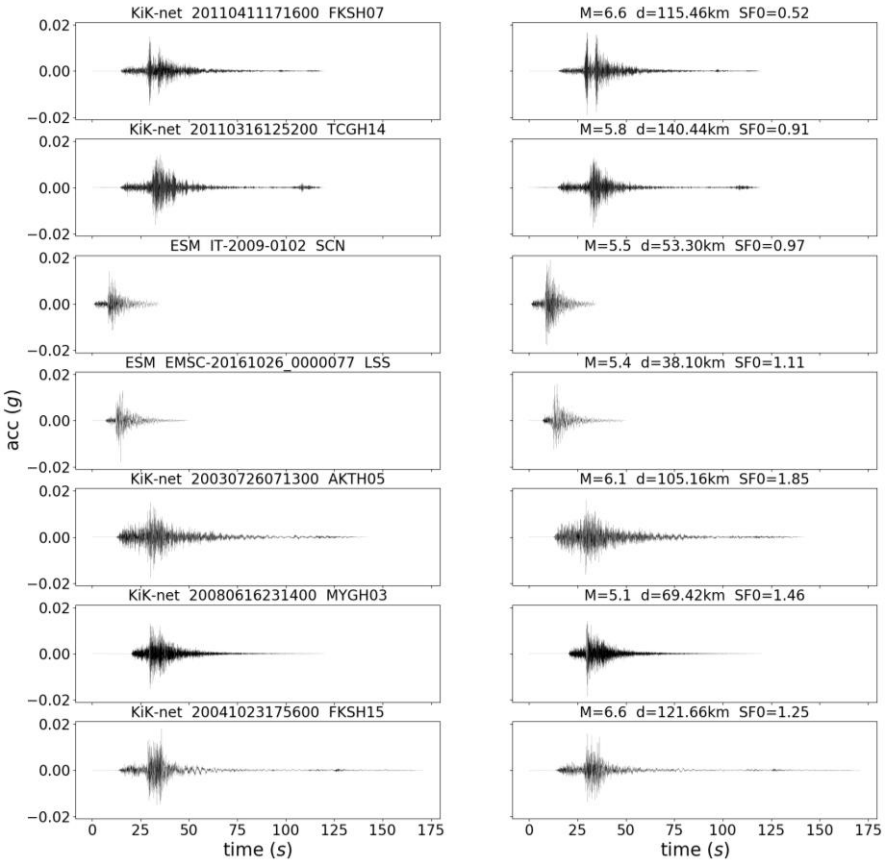


(a)

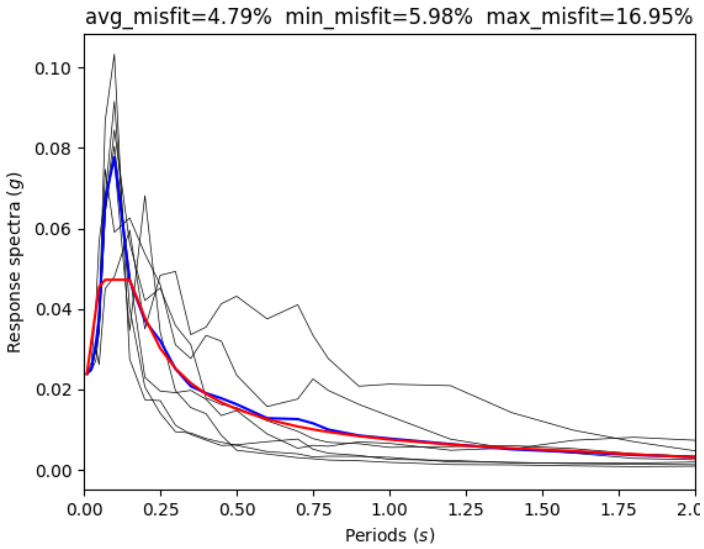


(b)

Figura 11.6 Risultato della selezione relativa al gruppo 6 - T_R=30 anni.



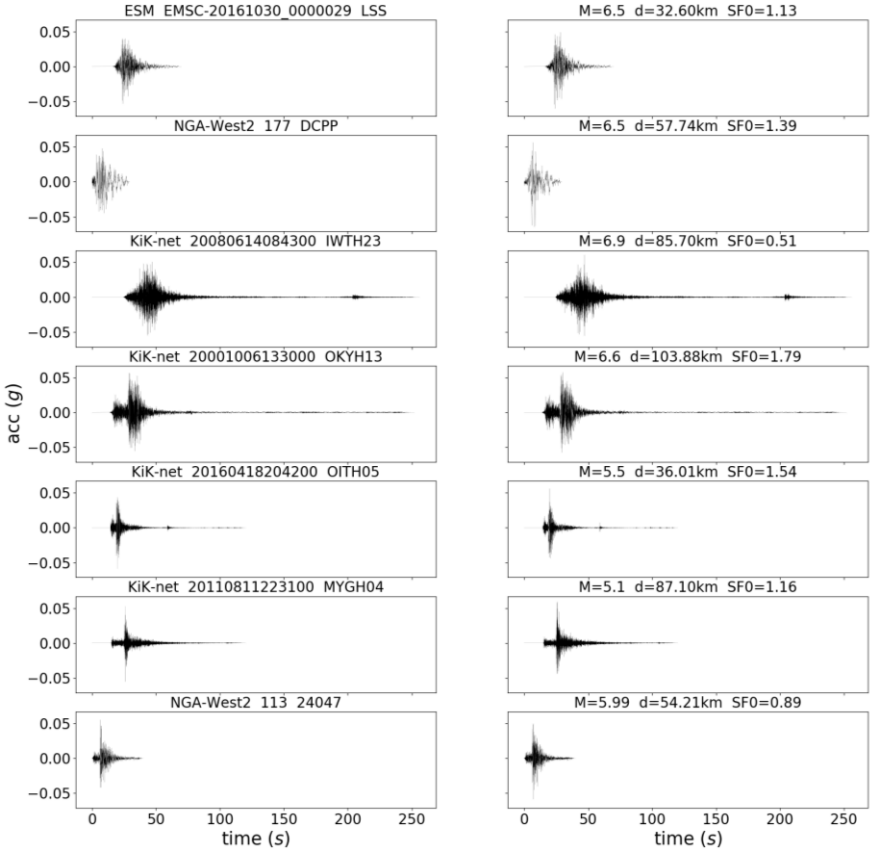
(a)



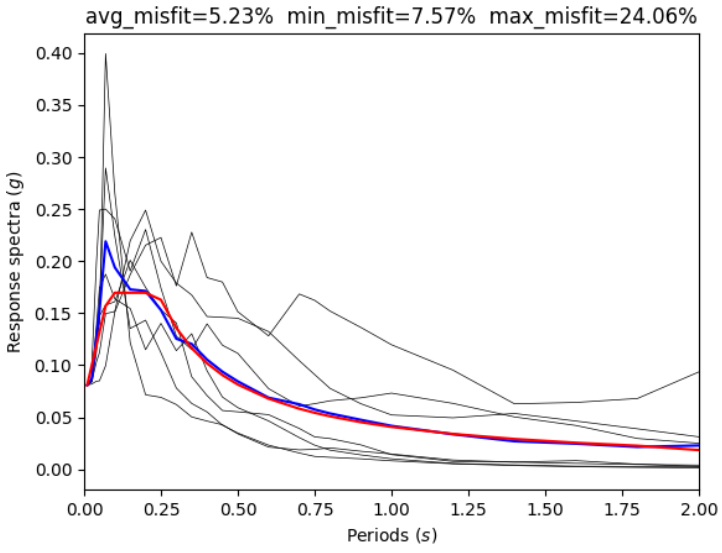
(b)

Figura 11.7 Risultato della selezione relativa al gruppo 7 - T_R=30 anni.

11.2 PERIODO DI RITORNO DI 50 ANNI

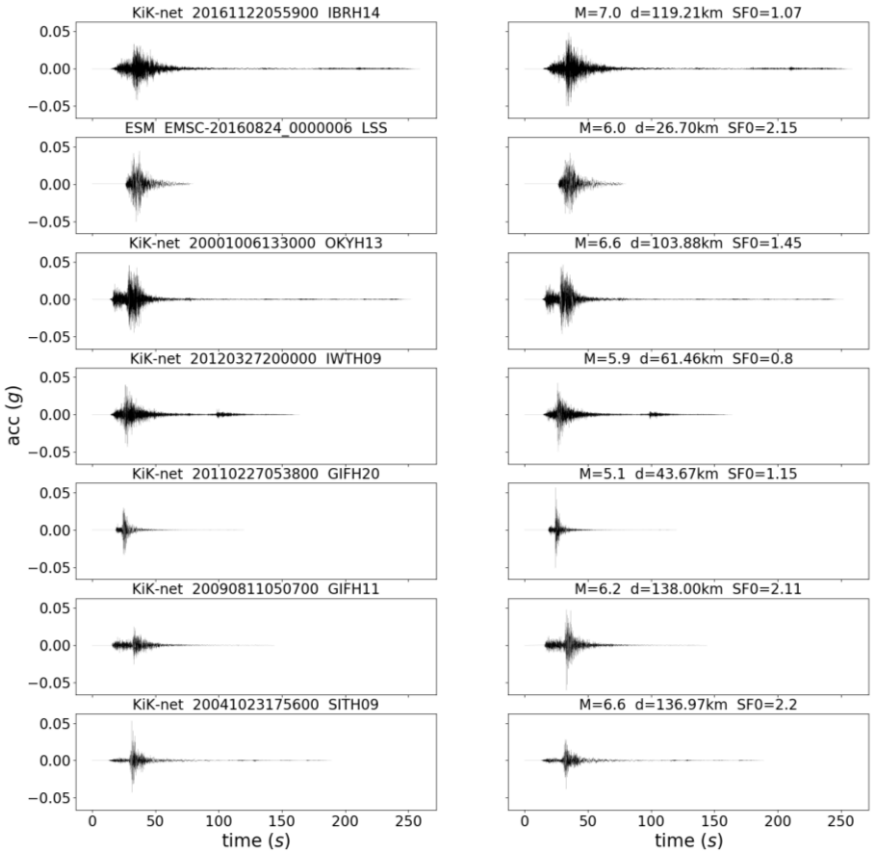


(a)

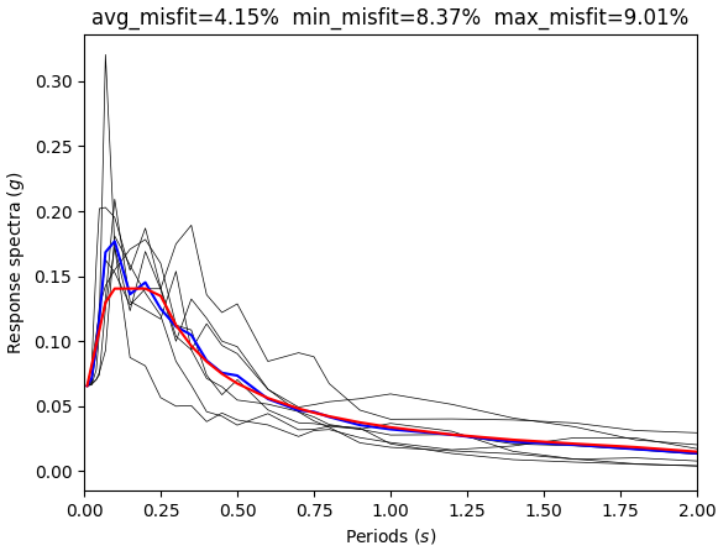


(b)

Figura 11.8 Risultato della selezione relativa al gruppo 1 - T_R=50 anni.

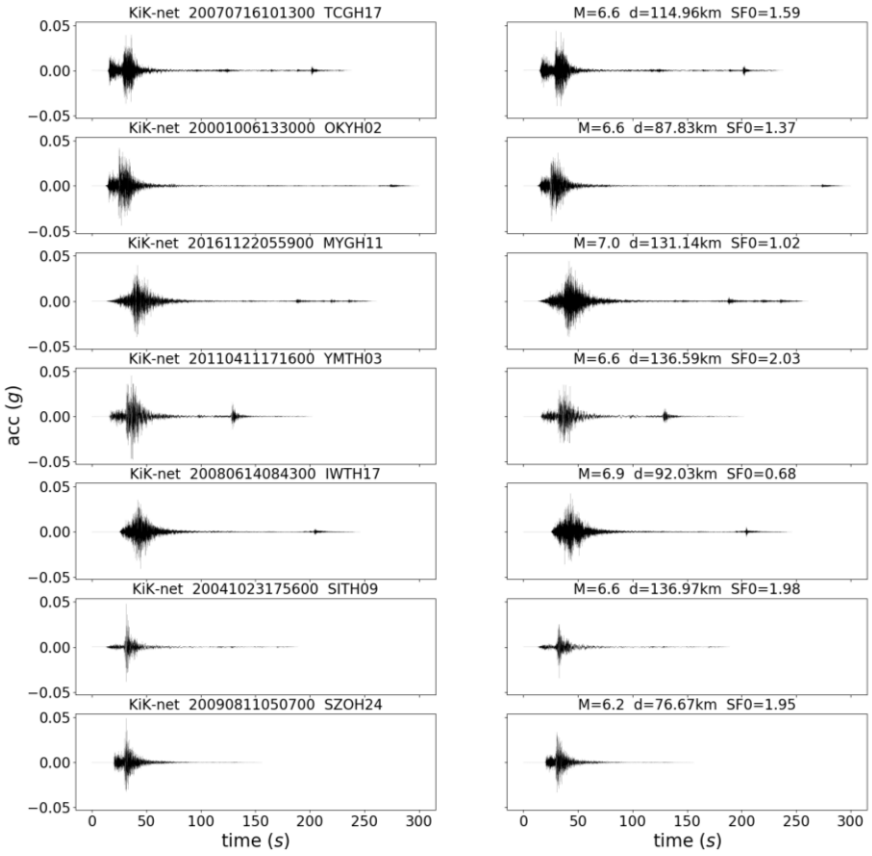


(a)

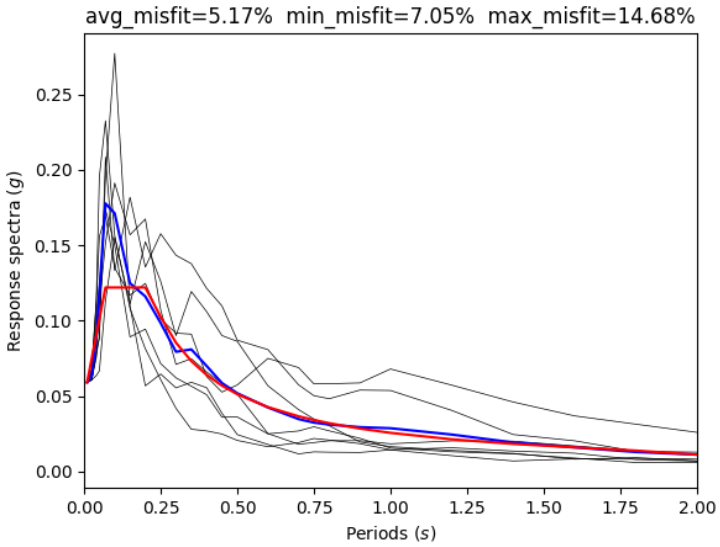


(b)

Figura 11.9 Risultato della selezione relativa al gruppo 2 - T_R=50 anni.

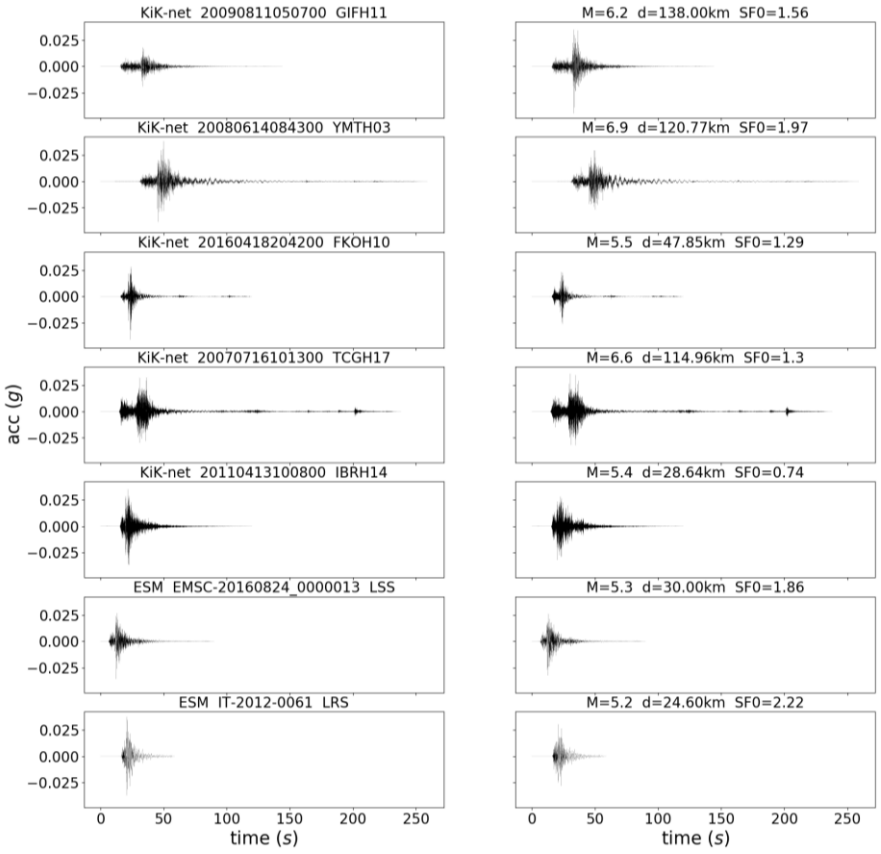


(a)

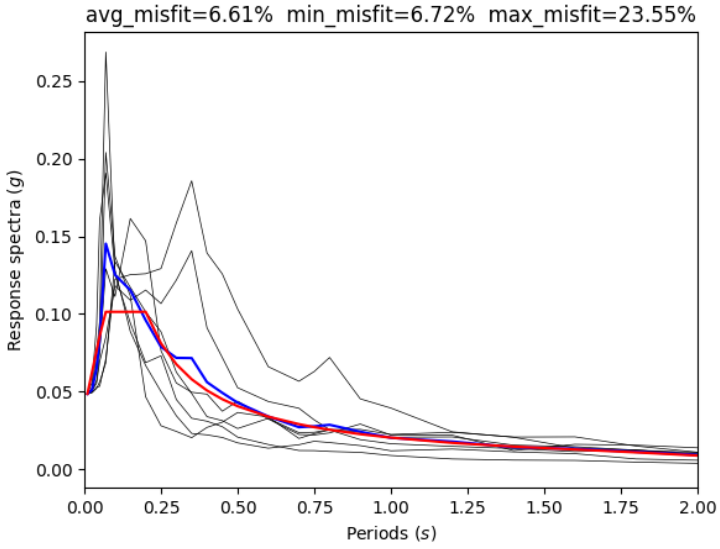


(b)

Figura 11.10 Risultato della selezione relativa al gruppo 3 - T_R=50 anni.

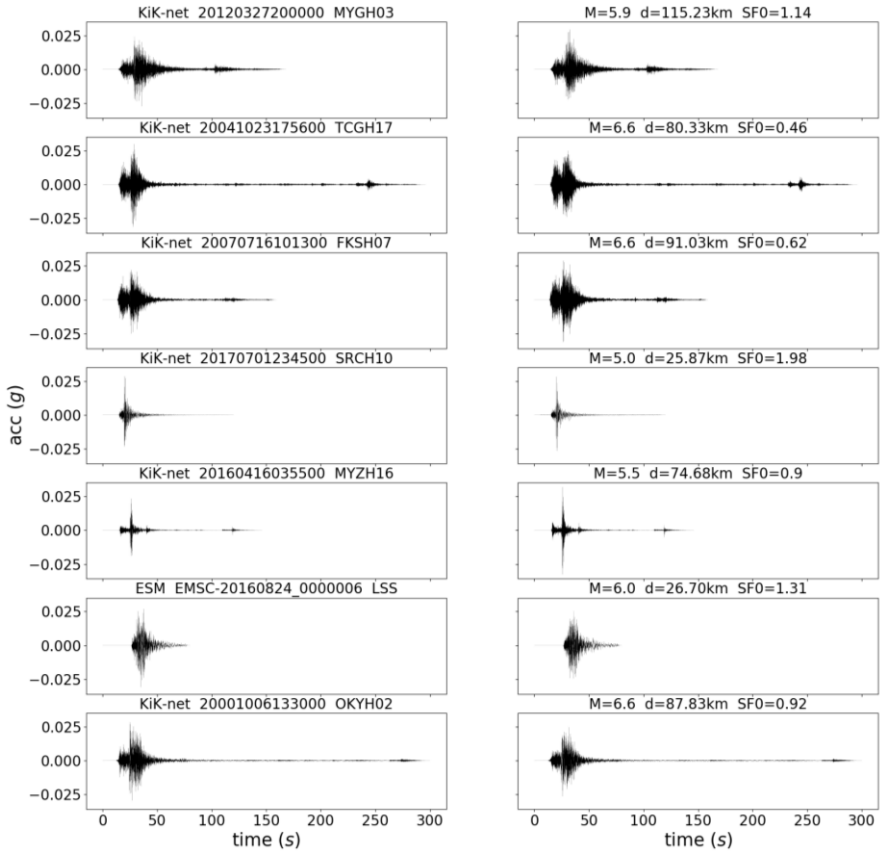


(a)

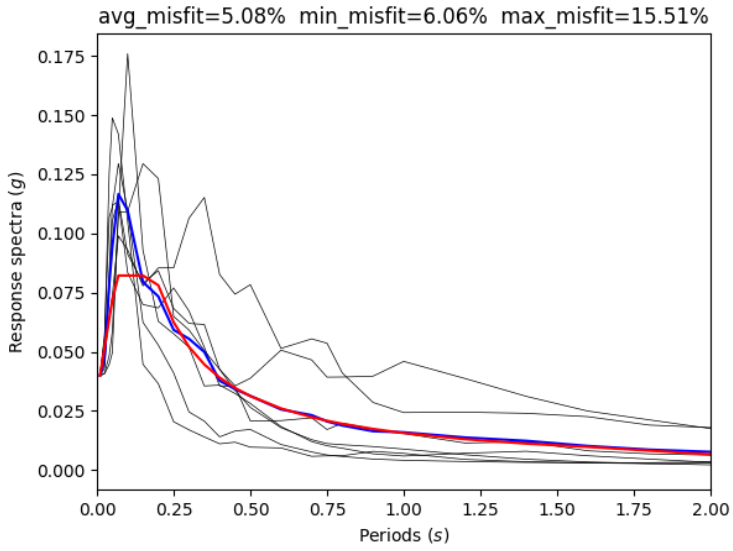


(b)

Figura 11.11 Risultato della selezione relativa al gruppo 4 - T_R=50 anni.

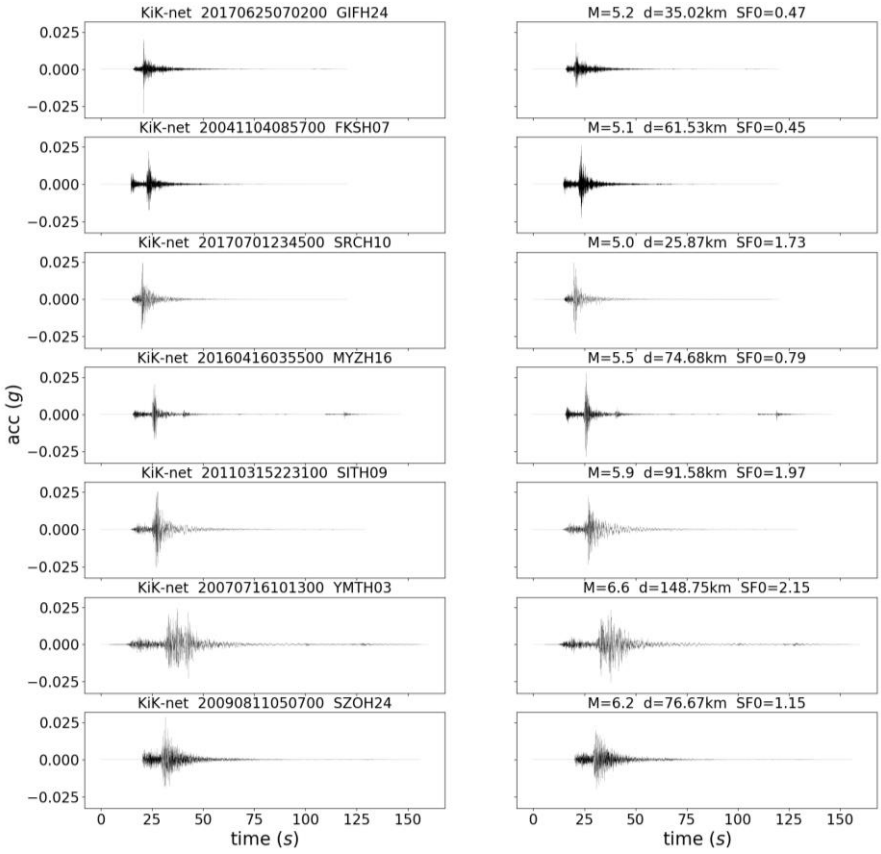


(a)

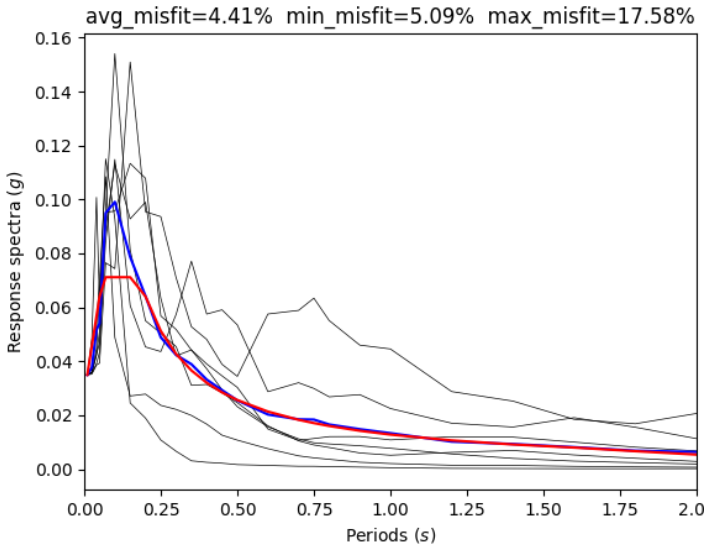


(b)

Figura 11.12 Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - T_R=50 anni.

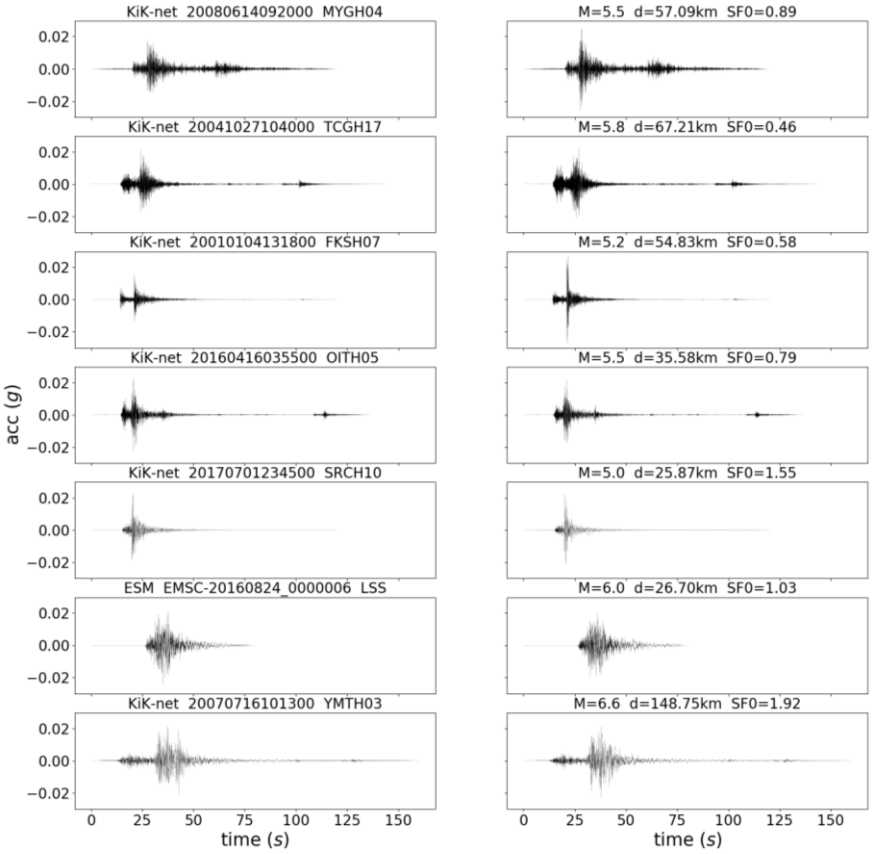


(a)

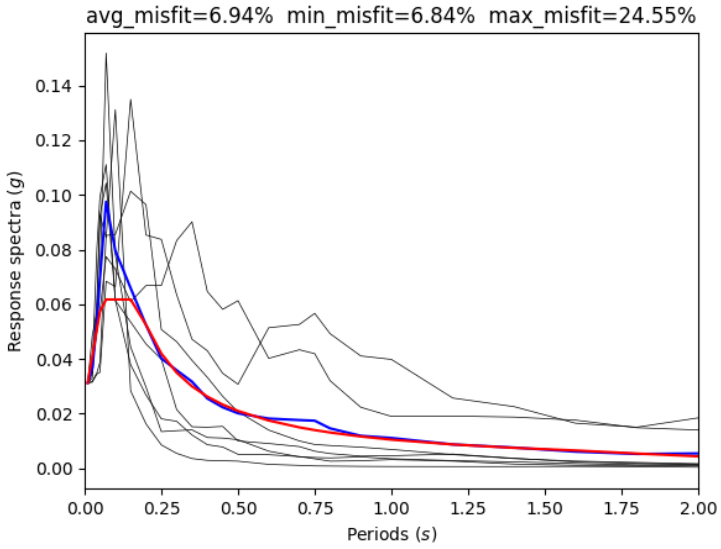


(b)

Figura 11.13 Risultato della selezione relativa al gruppo 6 - T_R=50 anni.



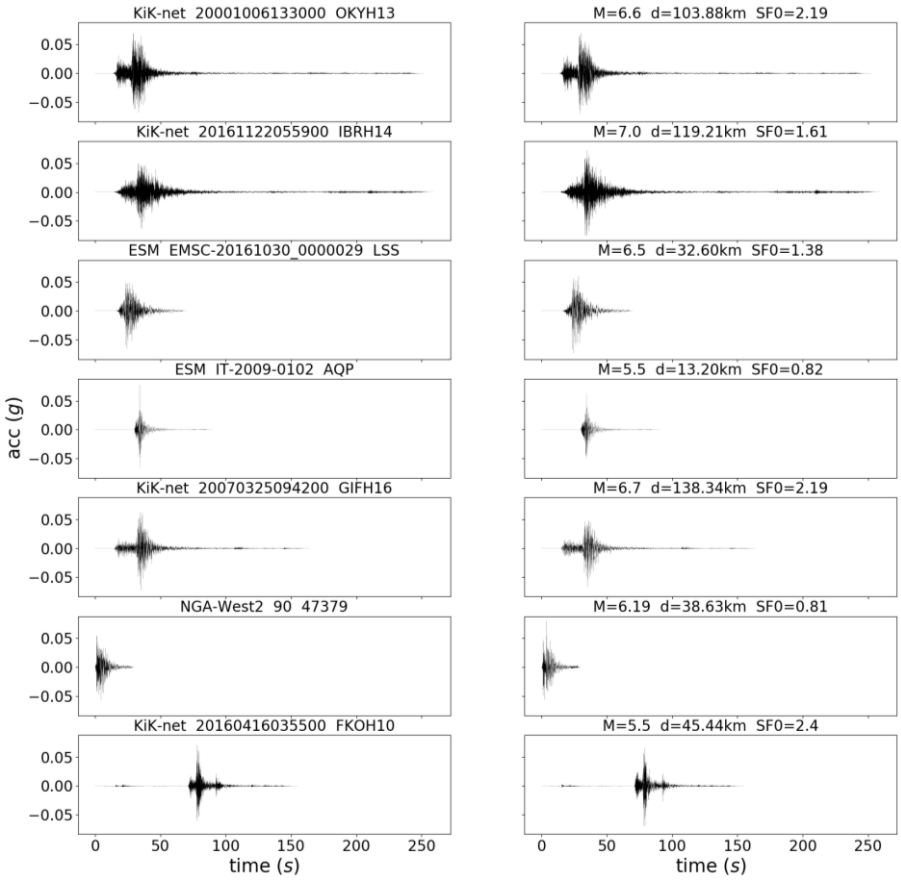
(a)



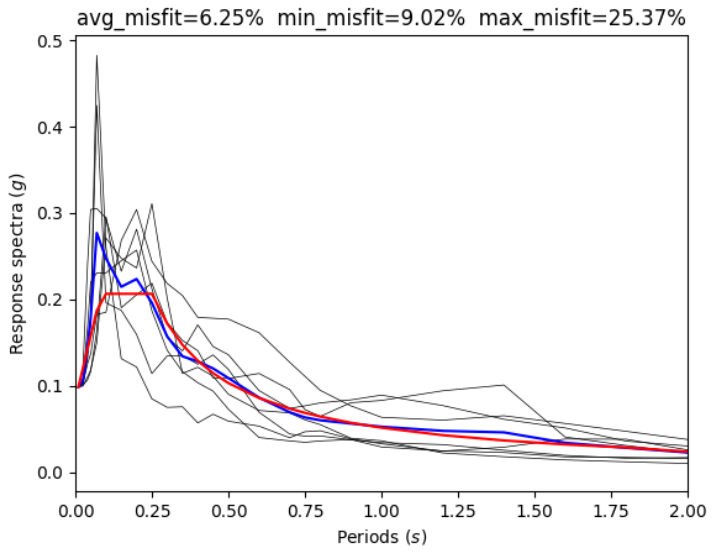
(b)

Figura 11.14 Risultato della selezione relativa al gruppo 7 - T_R=50 anni.

11.3 PERIODO DI RITORNO DI 72 ANNI

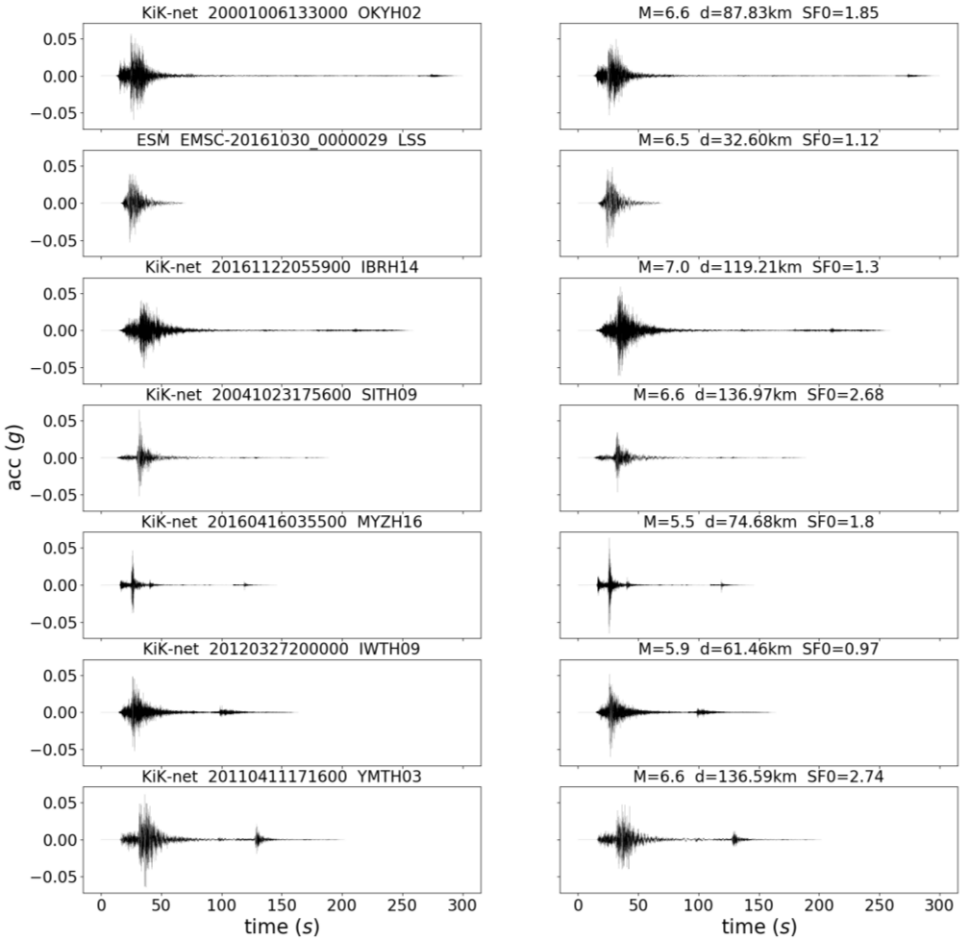


(a)

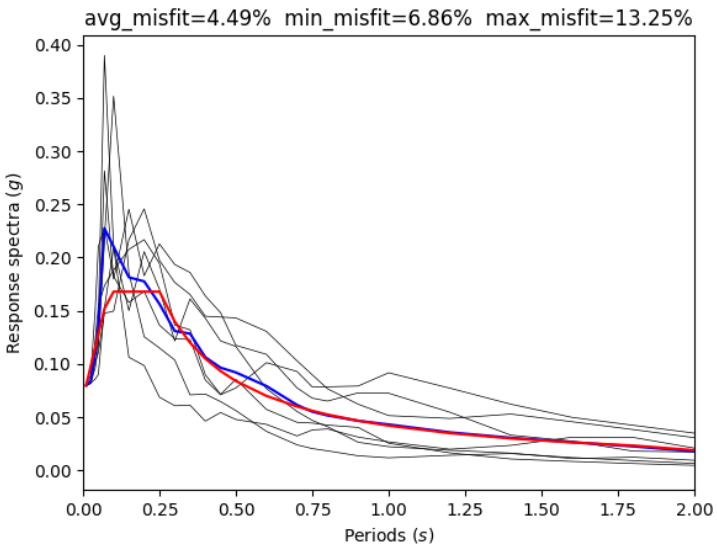


(b)

Figura 11.15 Risultato della selezione relativa al gruppo 1 - T_R=72 anni.

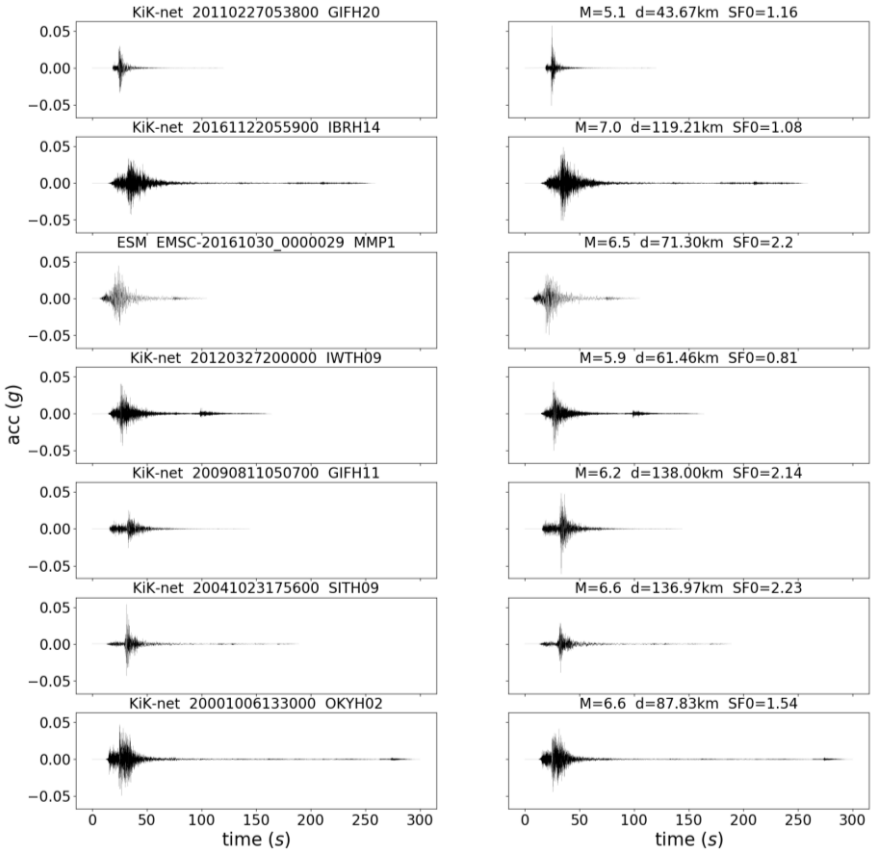


(a)

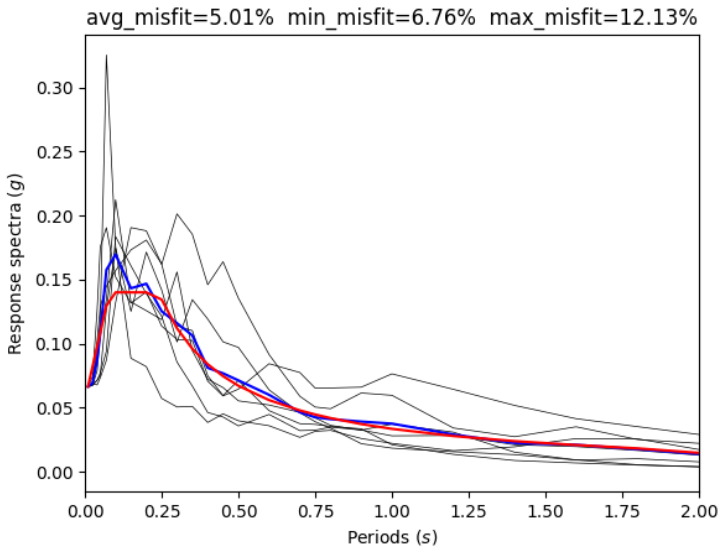


(b)

Figura 11.16 Risultato della selezione relativa al gruppo 2 - T_R=72 anni.

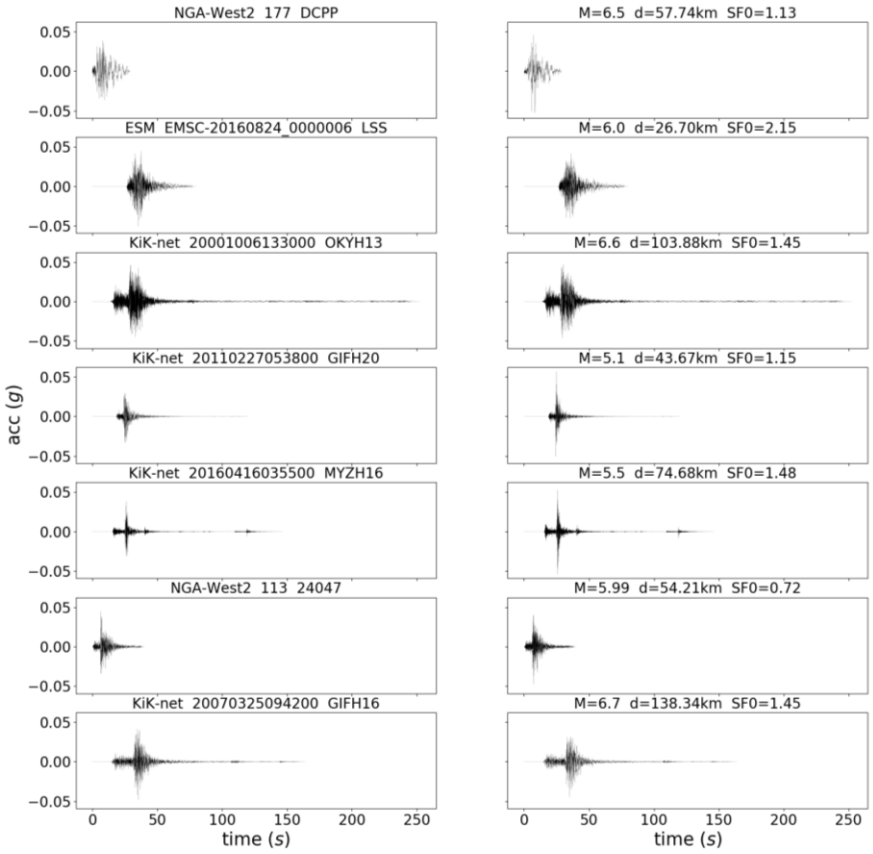


(a)

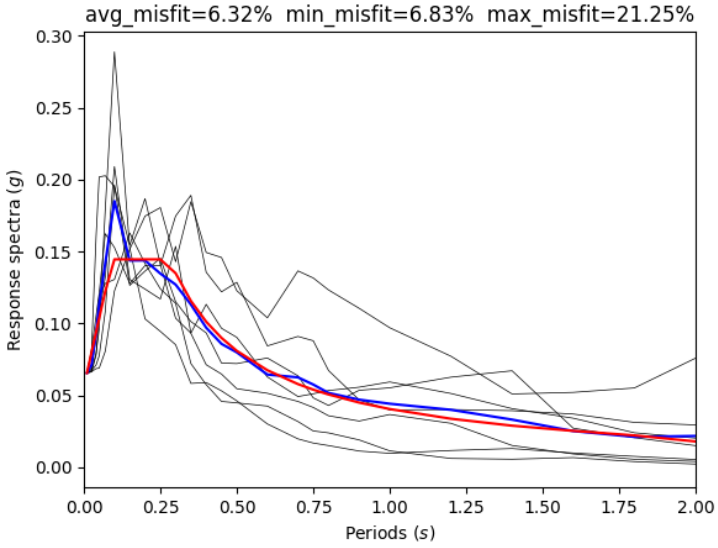


(b)

Figura 11.17 Risultato della selezione relativa al gruppo 3 - T_R=72 anni.

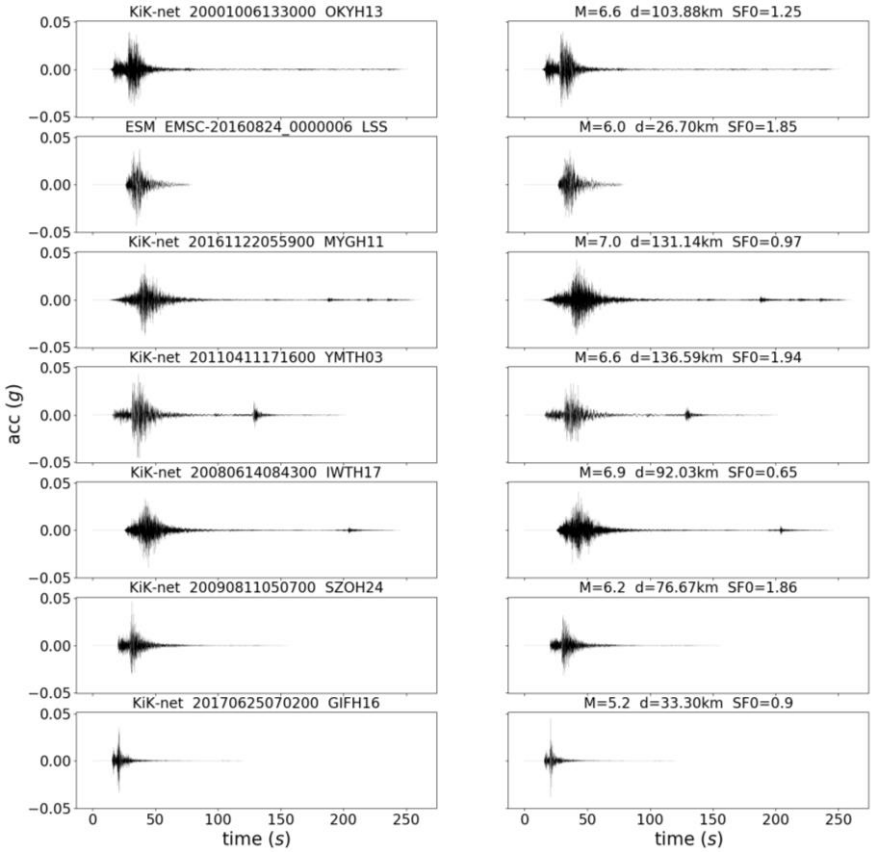


(a)

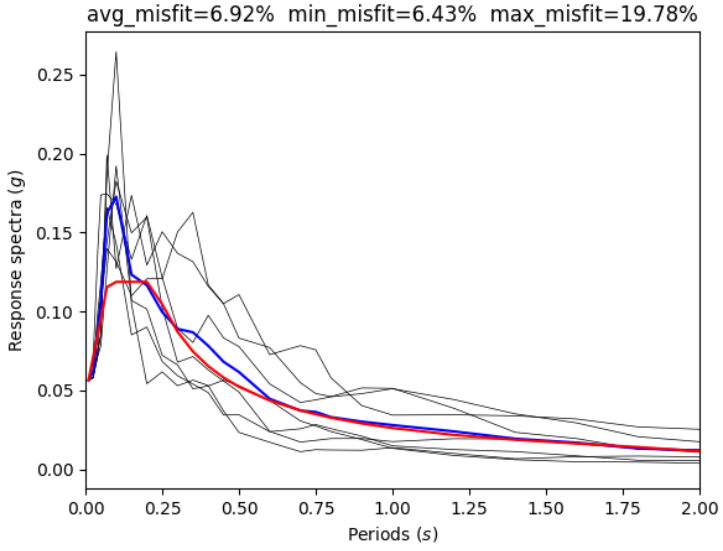


(b)

Figura 11.18 Risultato della selezione relativa al gruppo 4 - T_R=72 anni.

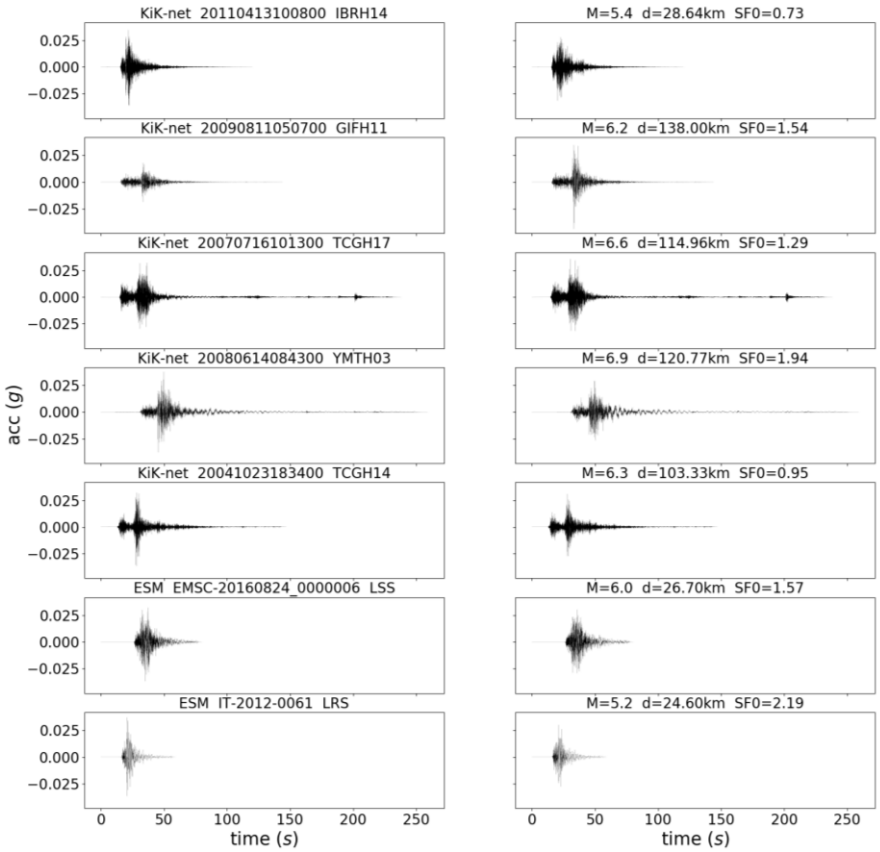


(a)

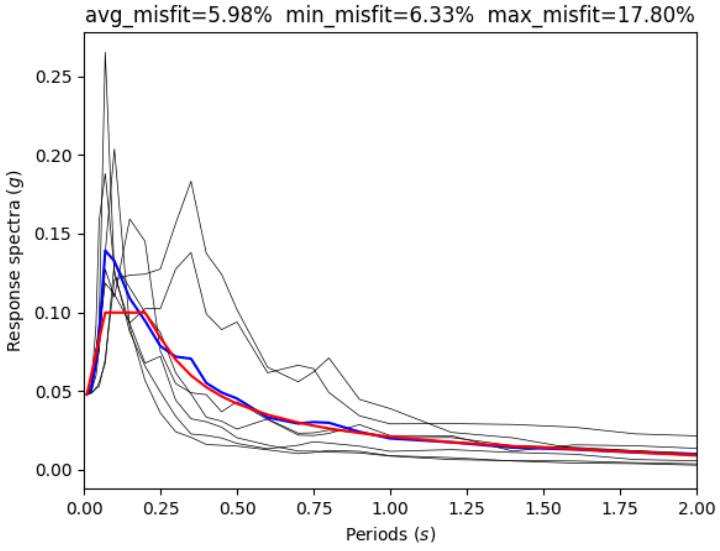


(b)

Figura 11.19 Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - T_R=72 anni.

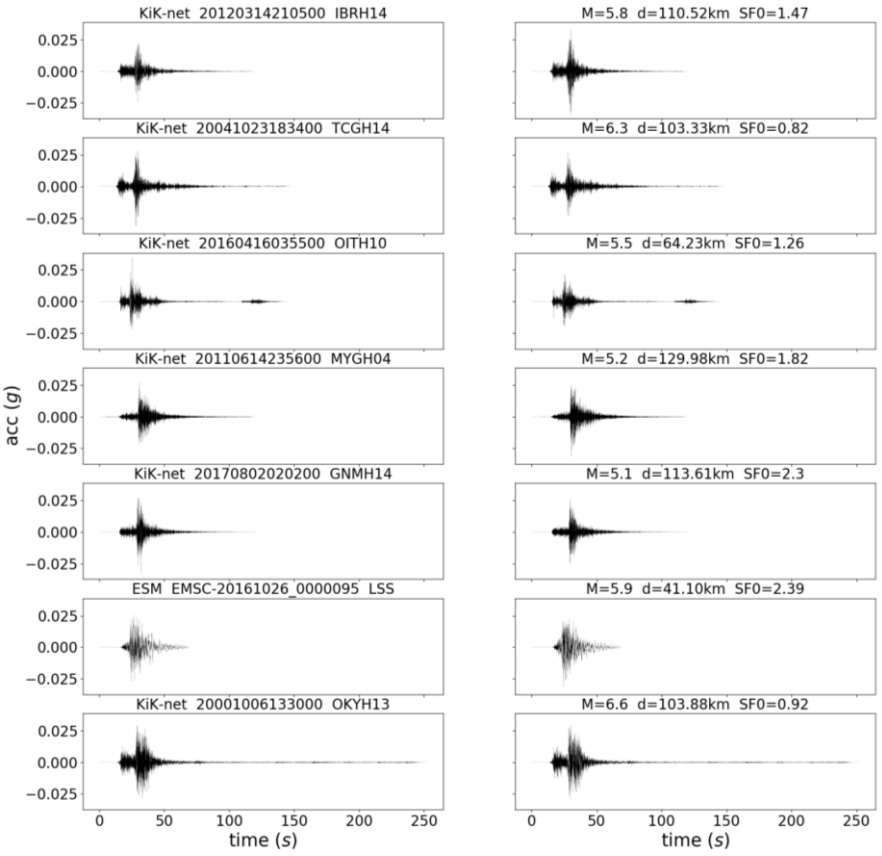


(a)

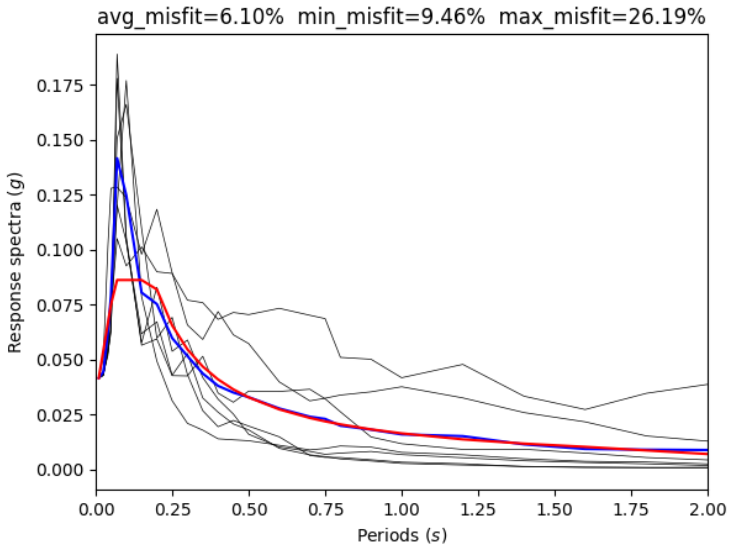


(b)

Figura 11.20 Risultato della selezione relativa al gruppo 6 - T_R=72 anni.

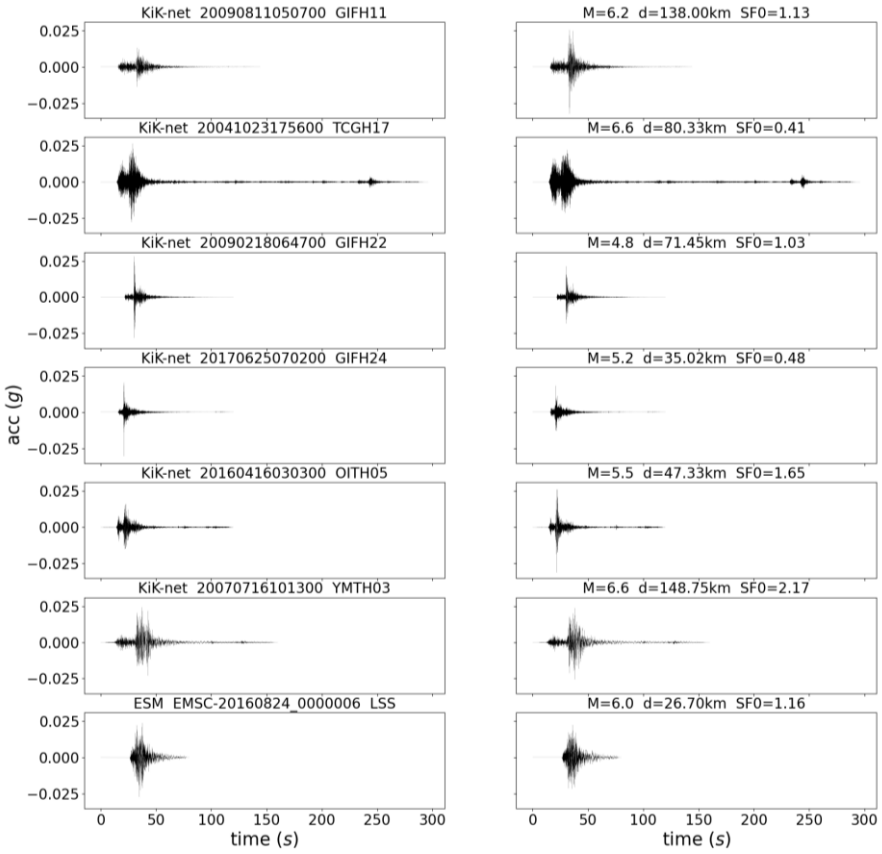


(a)

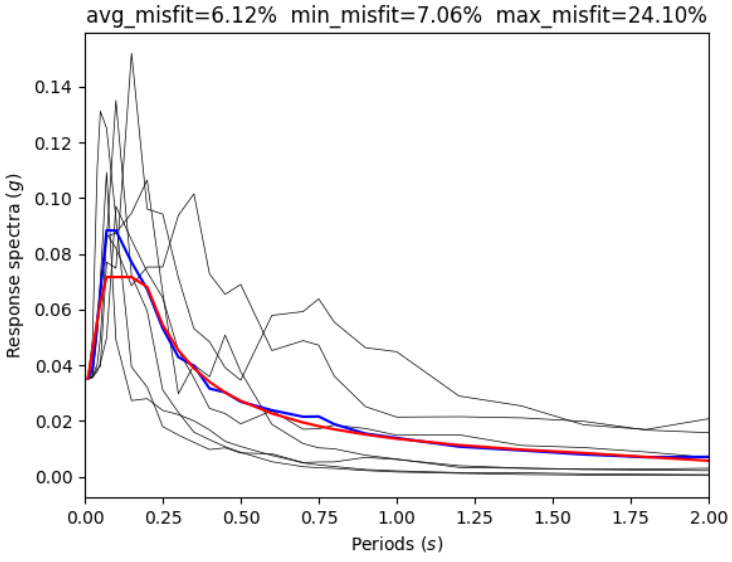


(b)

Figura 11.21 Risultato della selezione relativa al gruppo 7 - T_R=72 anni.



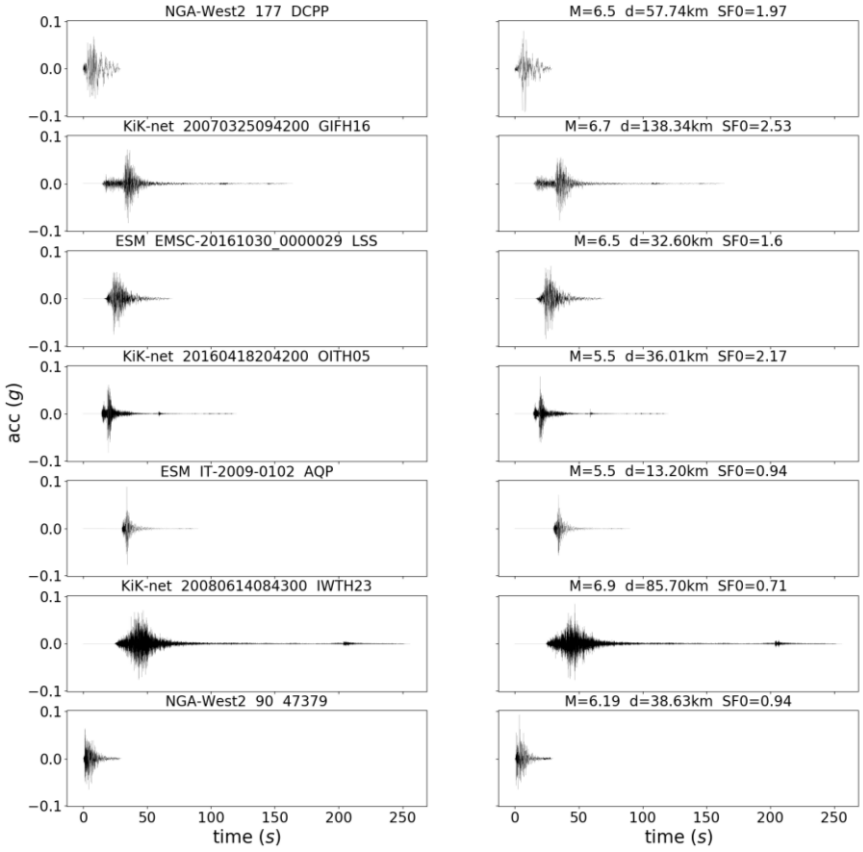
(a)



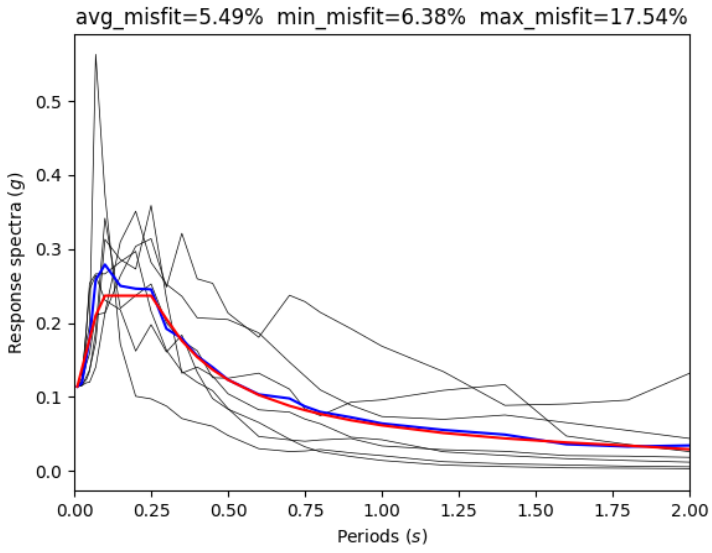
(b)

Figura 11.22 Risultato della selezione relativa al gruppo 8 - T_R=72 anni.

11.4 PERIODO DI RITORNO DI 101 ANNI

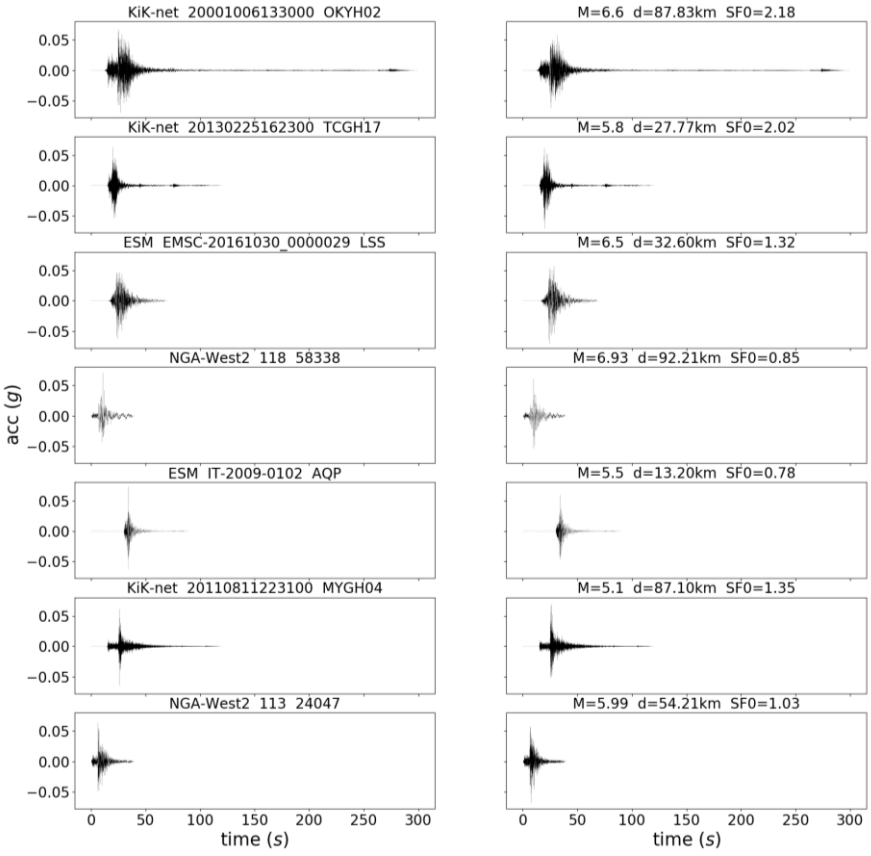


(a)

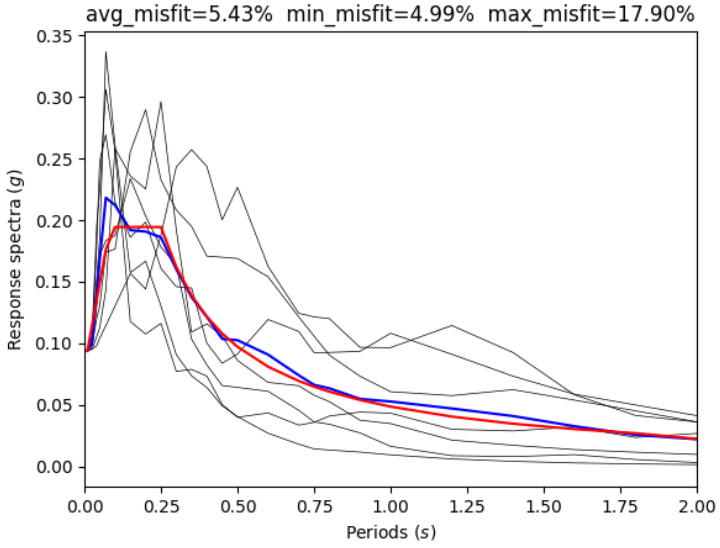


(b)

Figura 11.23 Risultato della selezione relativa al gruppo 1 - T_R=101 anni.

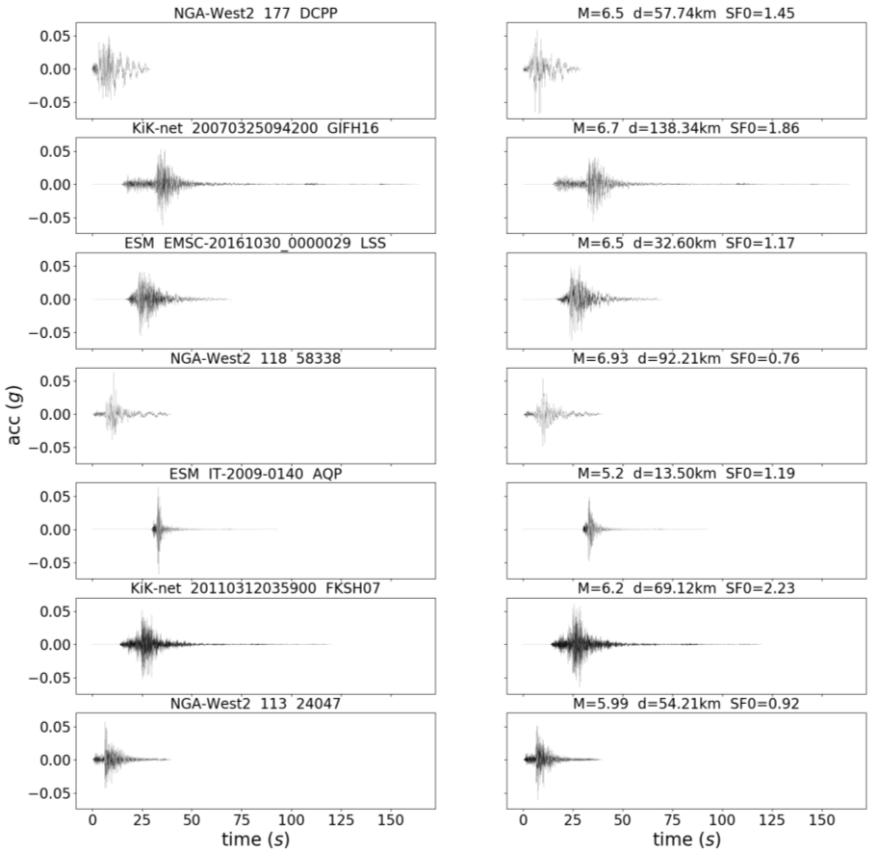


(a)

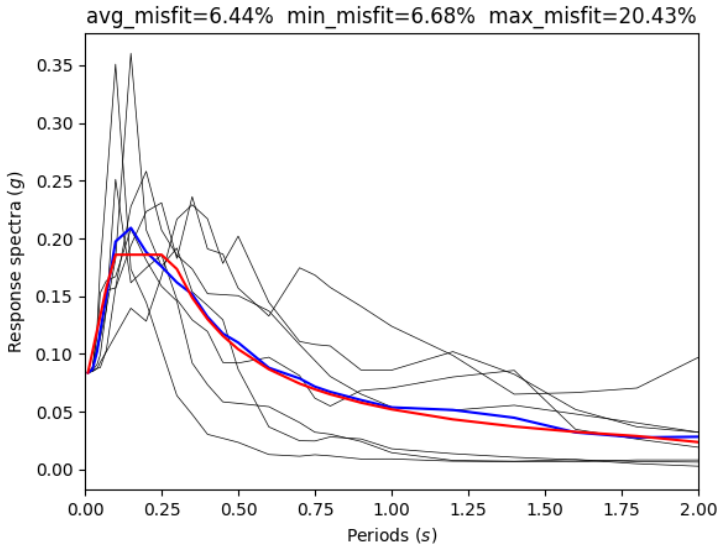


(b)

Figura 11.24 Risultato della selezione relativa al gruppo 2 - T_R=101 anni.

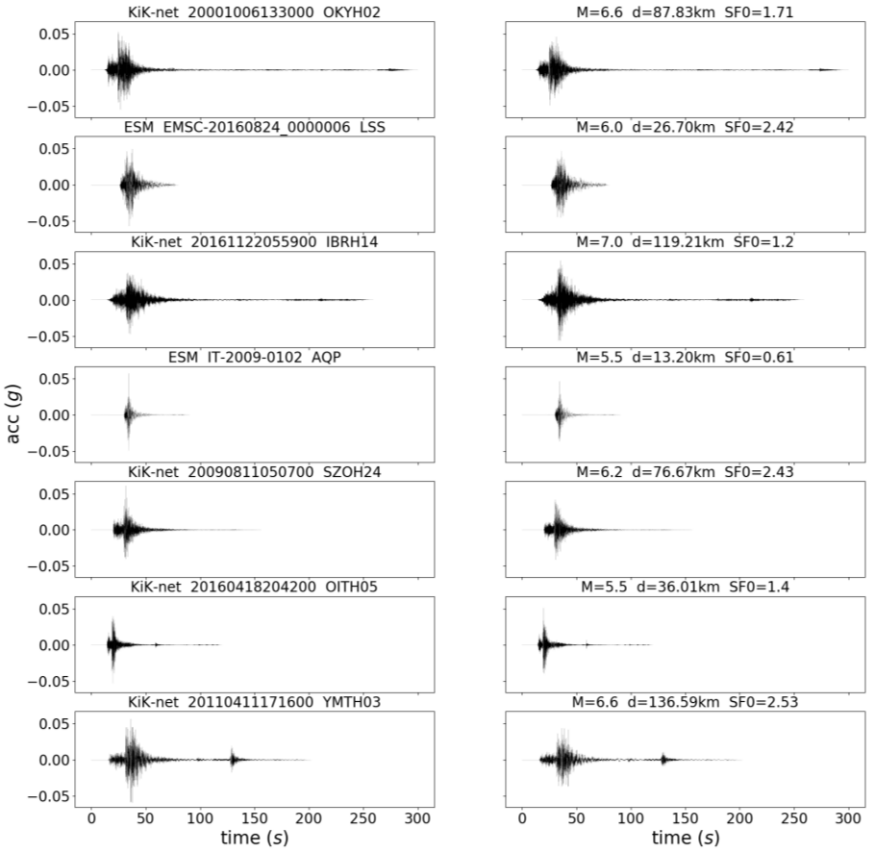


(a)

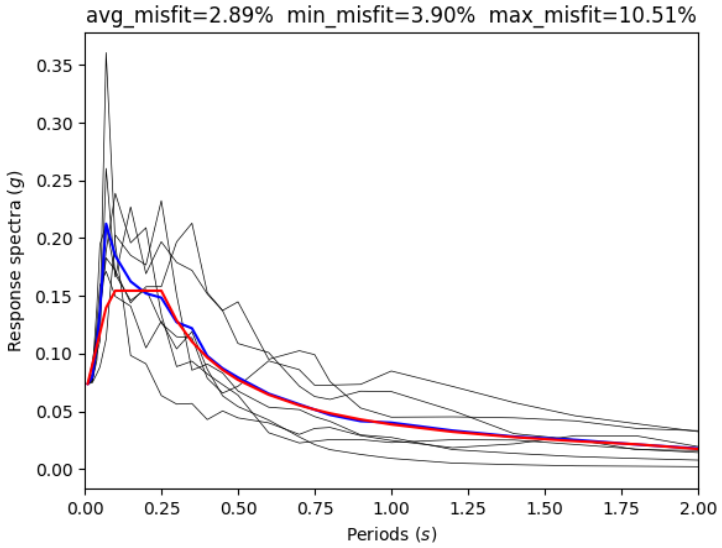


(b)

Figura 11.25 Risultato della selezione relativa al gruppo 3 - T_R=101 anni.

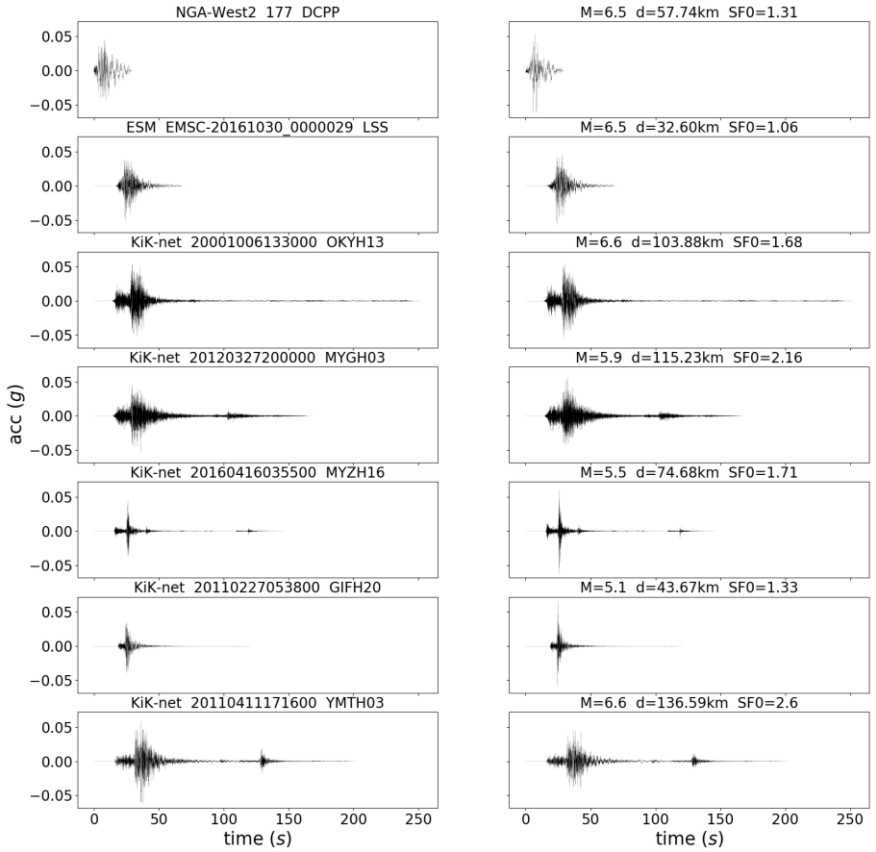


(a)

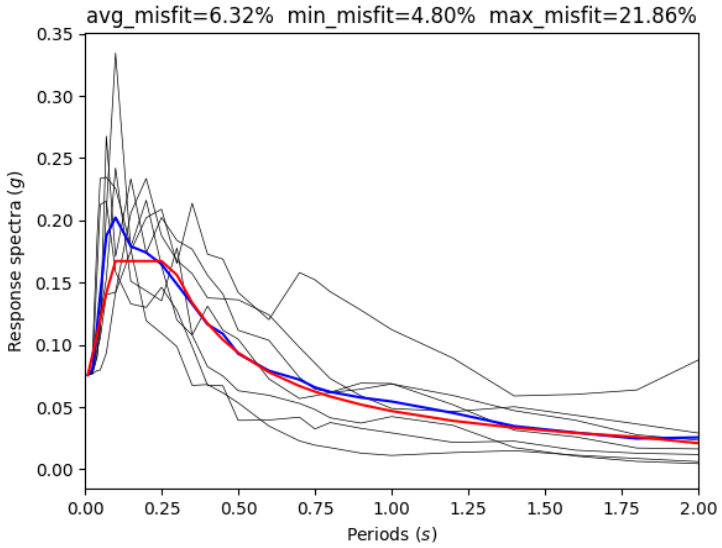


(b)

Figura 11.26 Risultato della selezione relativa al gruppo 4 - T_R=101 anni.

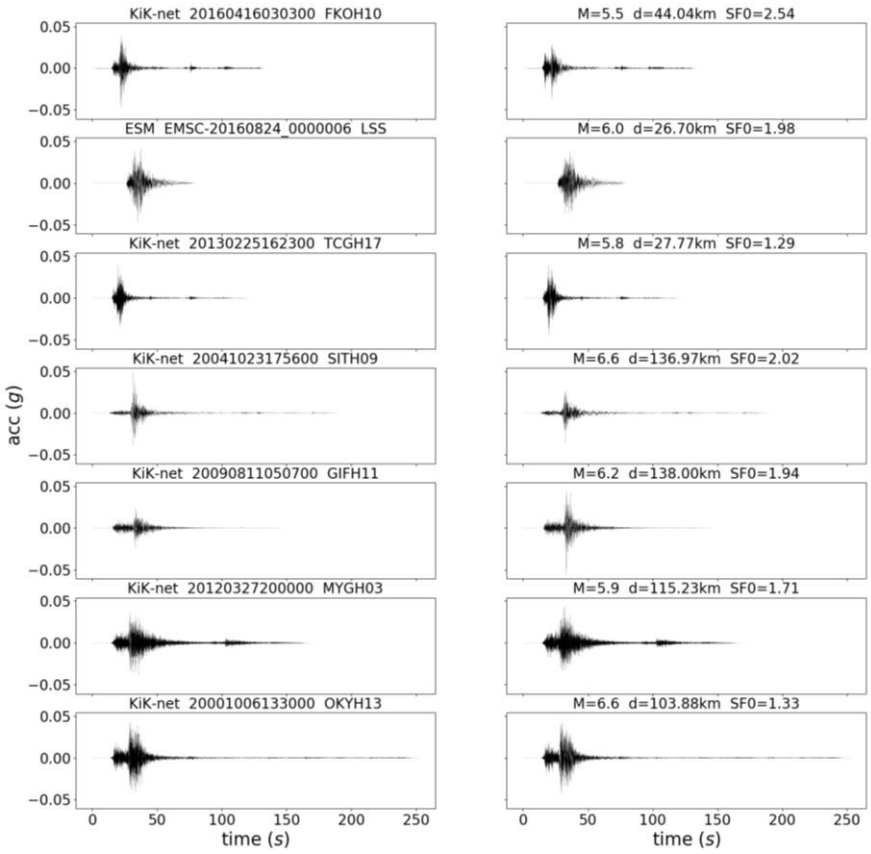


(a)

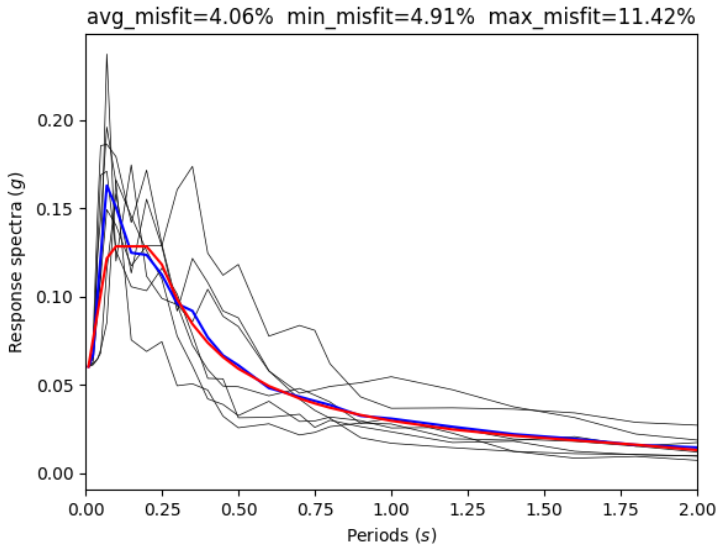


(b)

Figura 11.27 Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - T_R=101 anni.

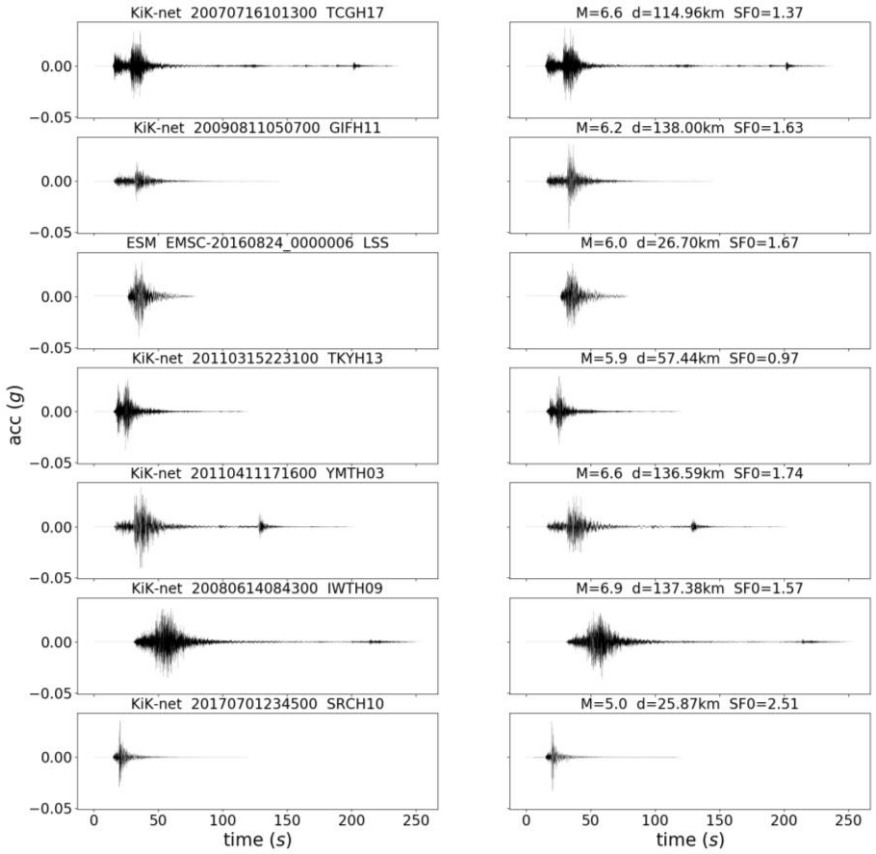


(a)

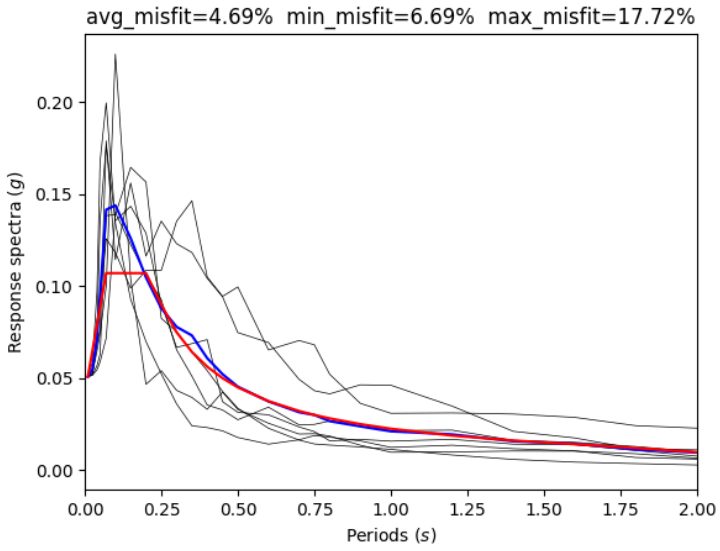


(b)

Figura 11.28 Risultato della selezione relativa al gruppo 6 - T_R=101 anni.

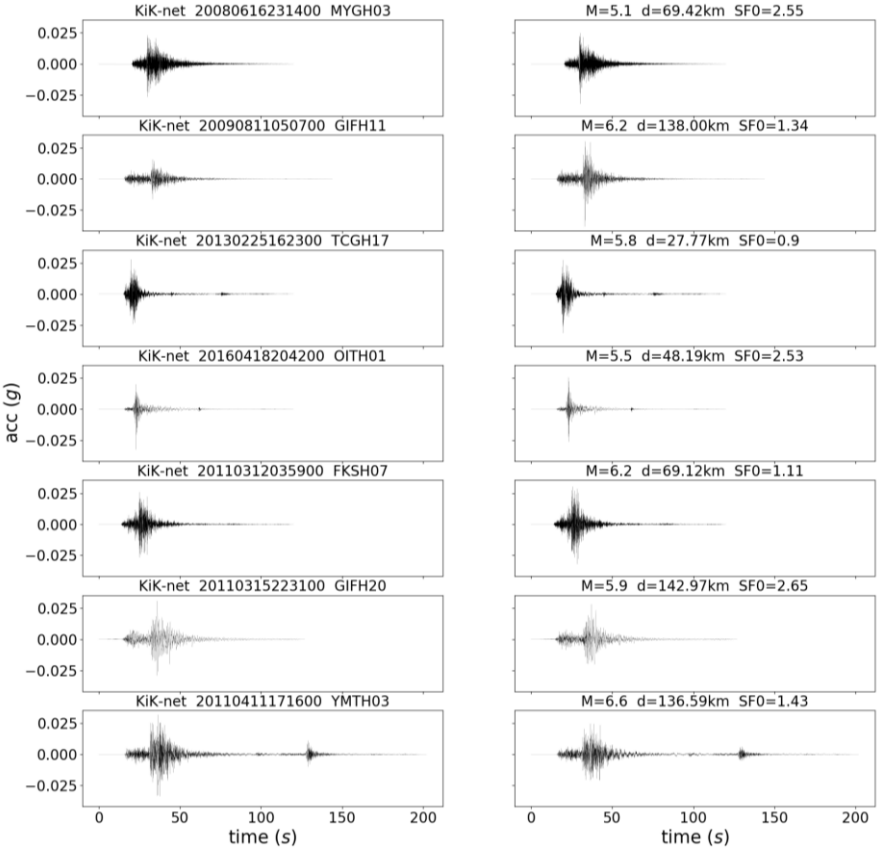


(a)

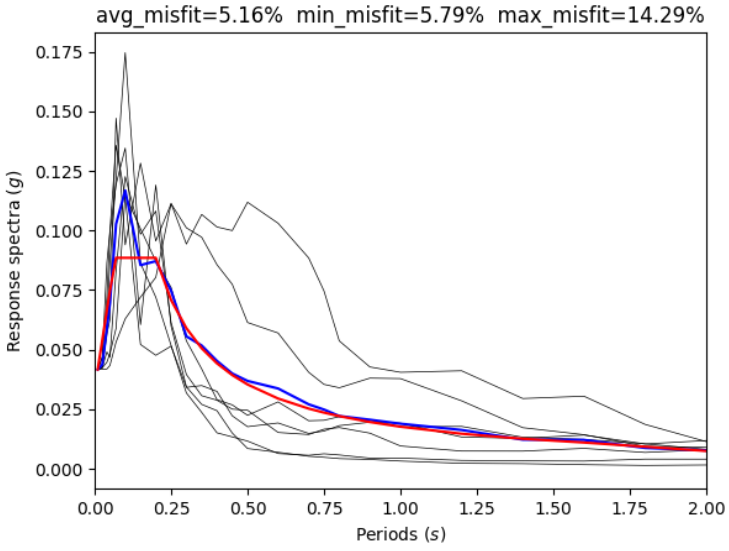


(b)

Figura 11.29 Risultato della selezione relativa al gruppo 7 - T_R=101 anni.



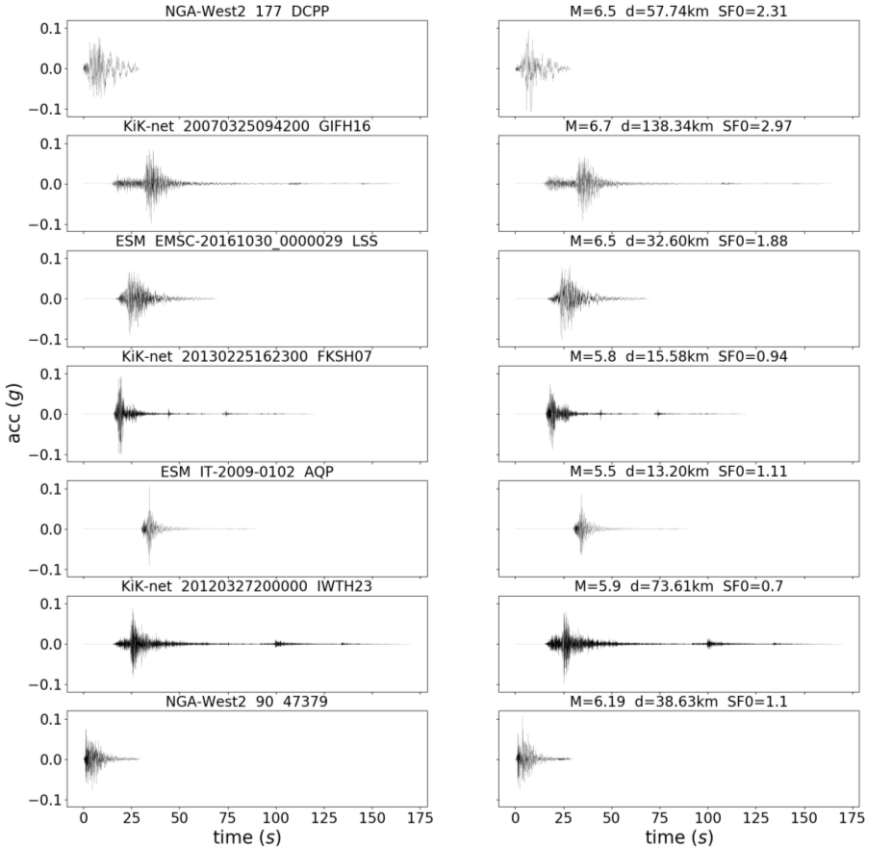
(a)



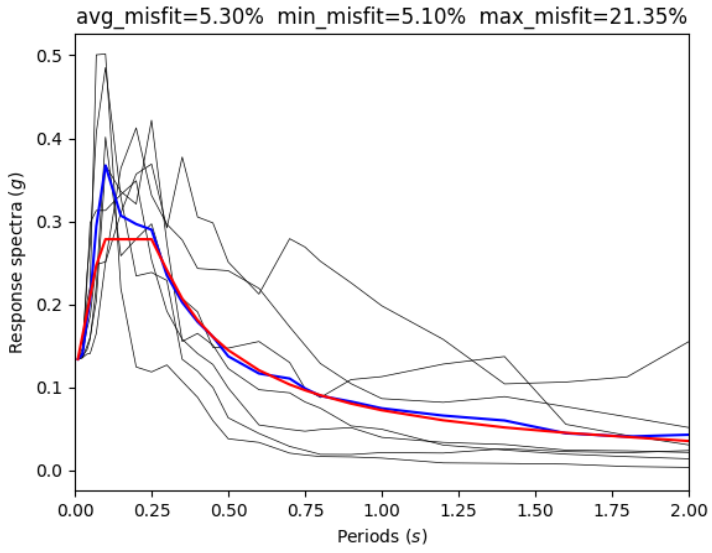
(b)

Figura 11.30 Risultato della selezione relativa al gruppo 8 - T_R=101 anni.

11.5 PERIODO DI RITORNO DI 140 ANNI

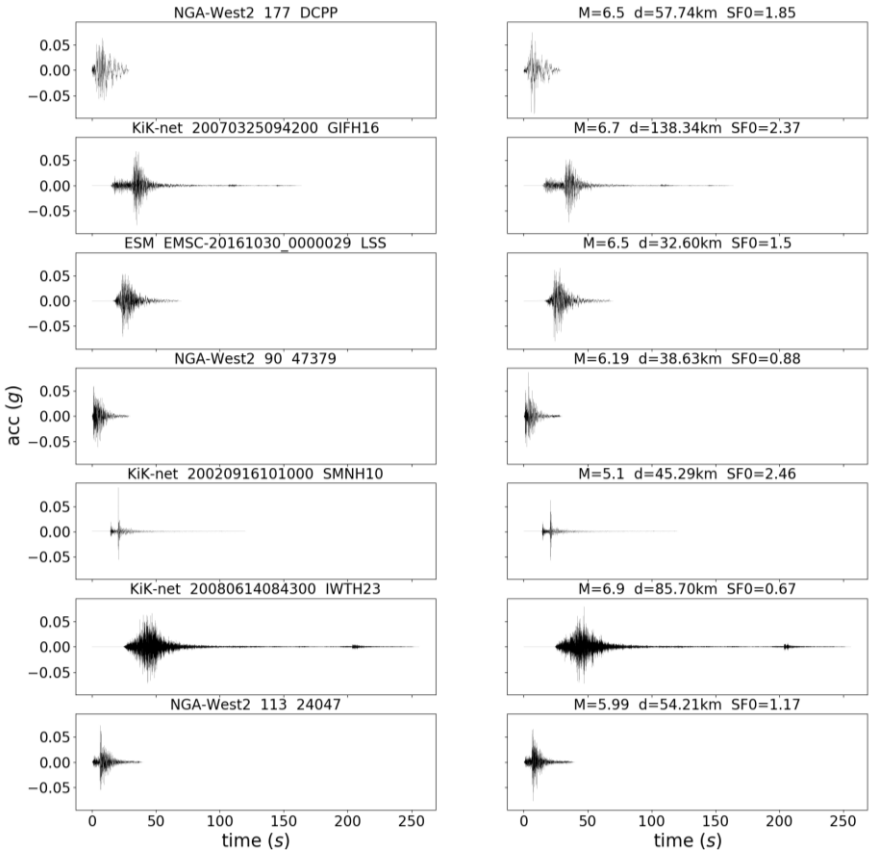


(a)

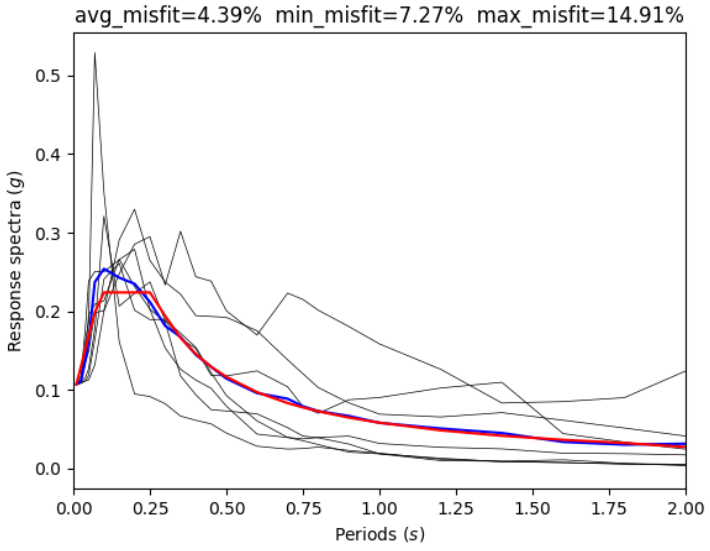


(b)

Figura 11.31 Risultato della selezione relativa al gruppo 1 - T_R=140 anni.

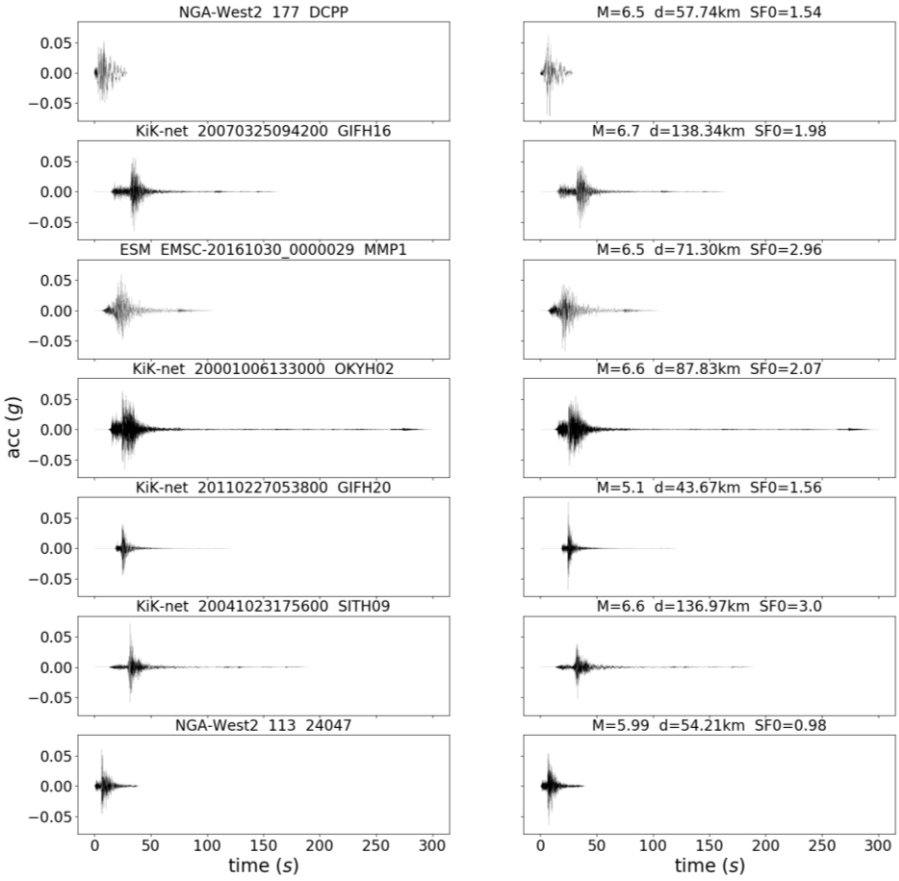


(a)

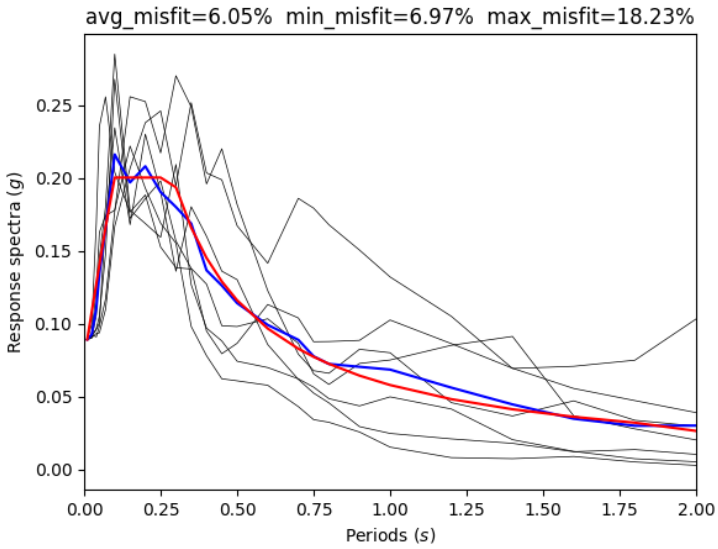


(b)

Figura 11.32 Risultato della selezione relativa al gruppo 2 - T_R=140 anni.

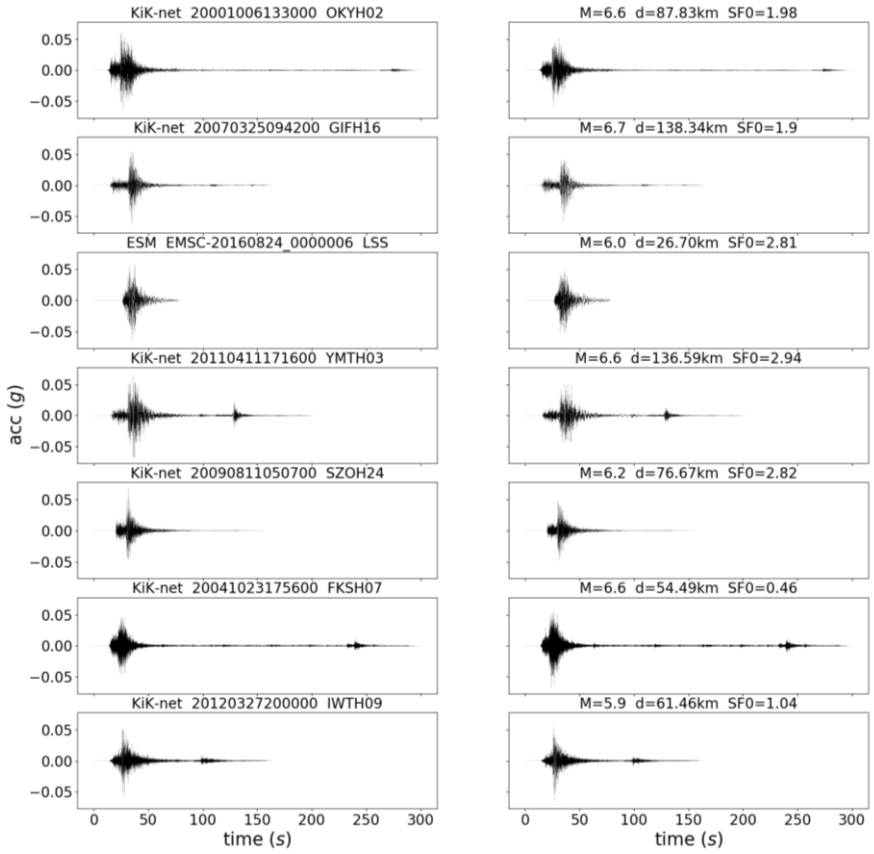


(a)

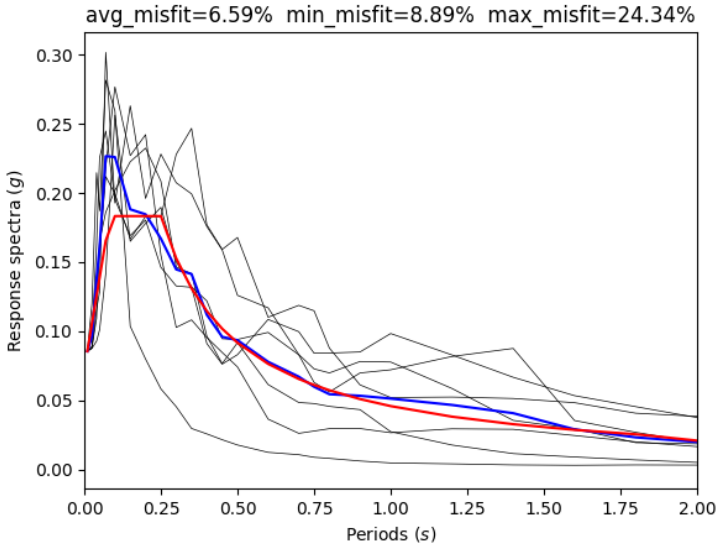


(b)

Figura 11.33 Risultato della selezione relativa al gruppo 3 - T_R=140 anni.

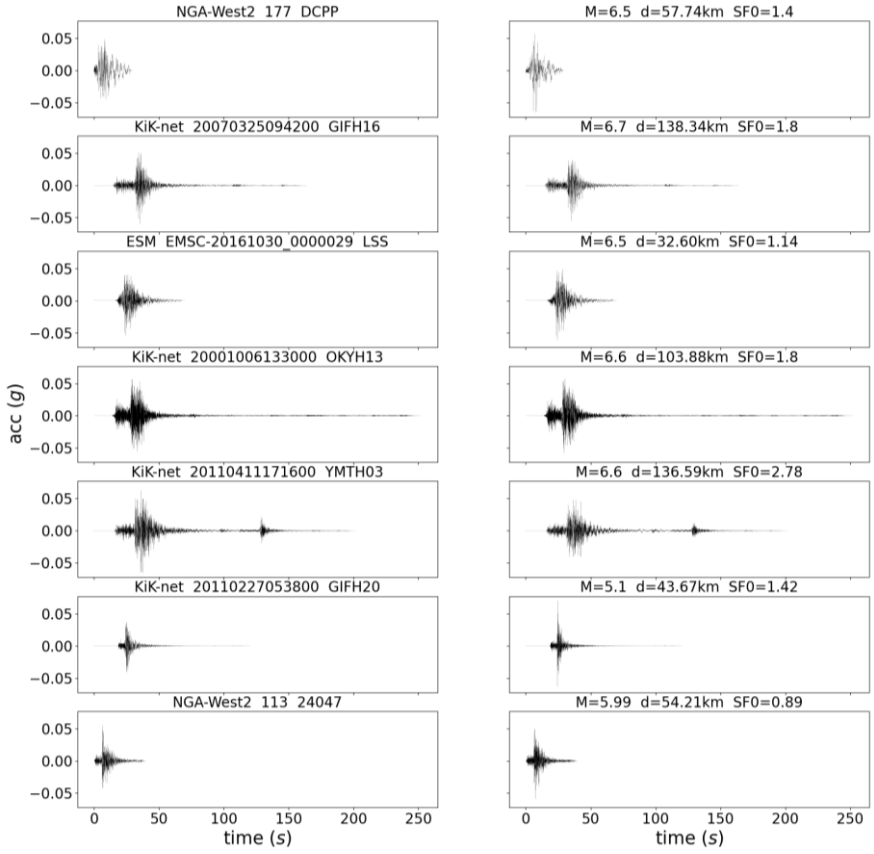


(a)

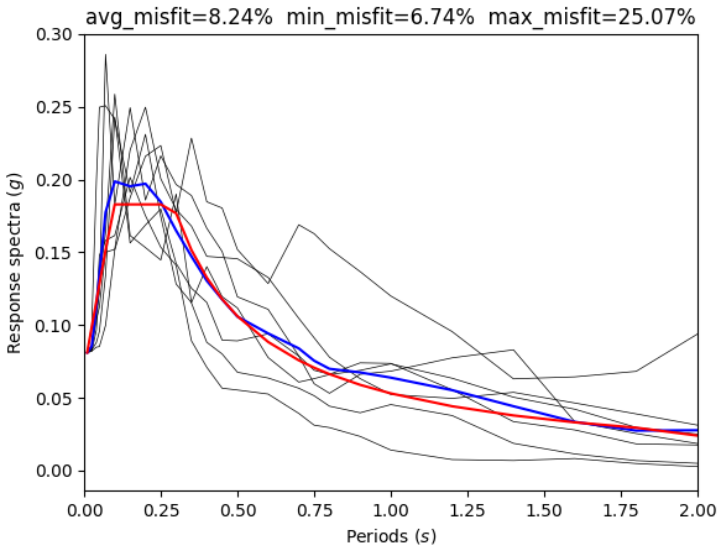


(b)

Figura 11.34 Risultato della selezione relativa al gruppo 4 - T_R=140 anni.

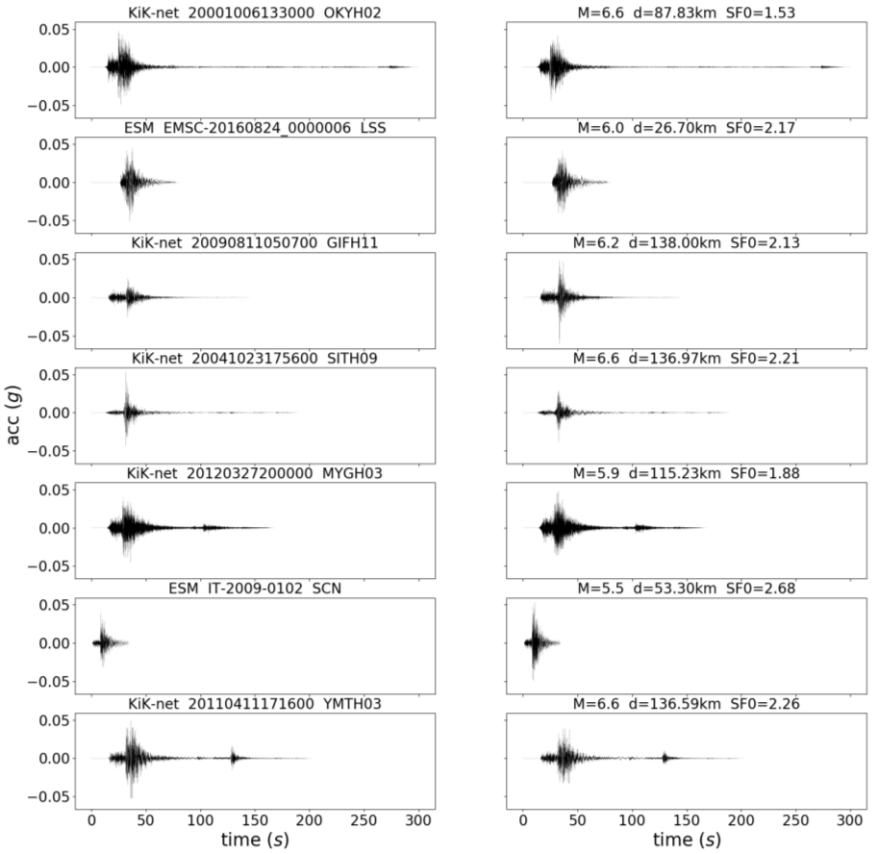


(a)

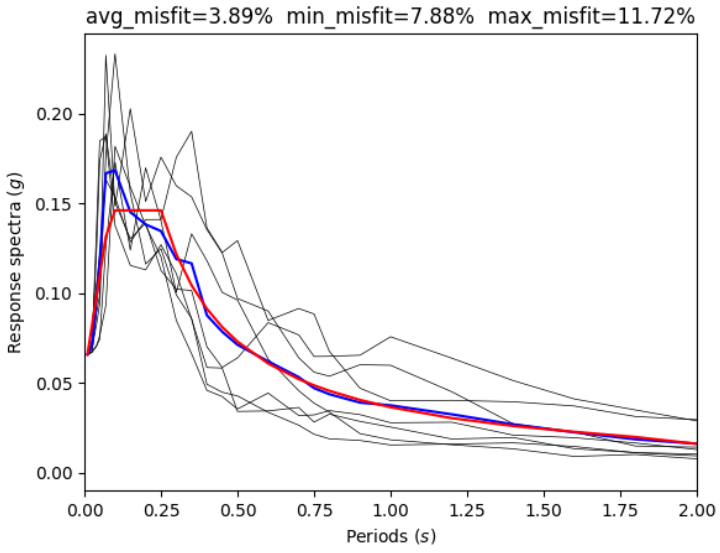


(b)

Figura 11.35 Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - T_R=140 anni.

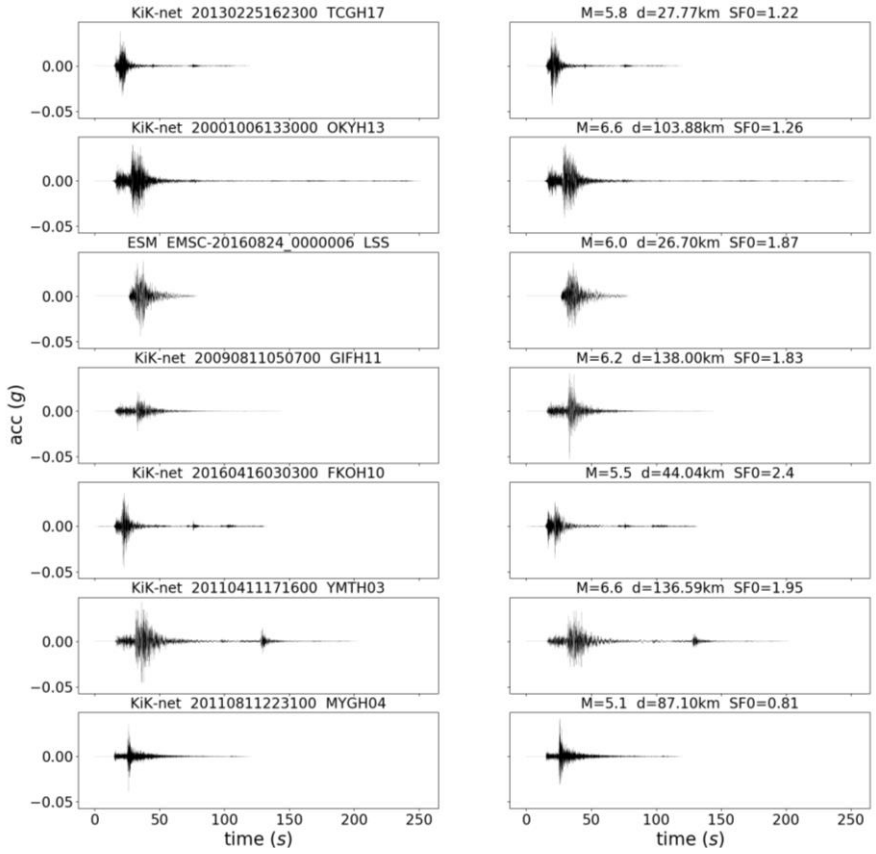


(a)

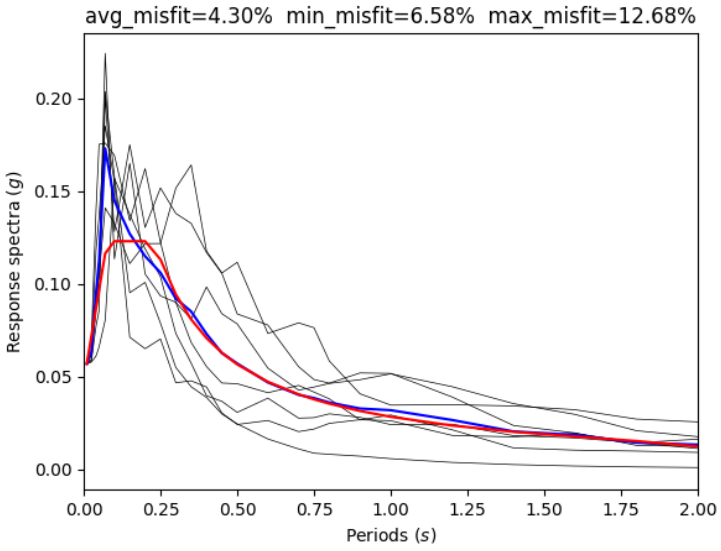


(b)

Figura 11.36 Risultato della selezione relativa al gruppo 6 - T_R=140 anni.

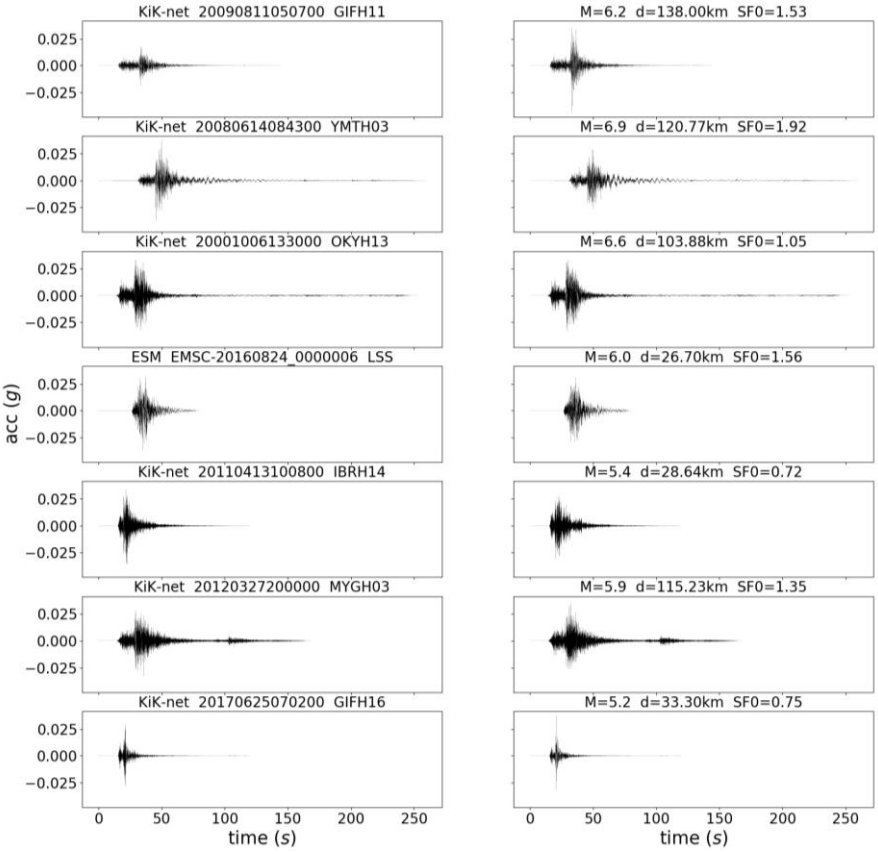


(a)

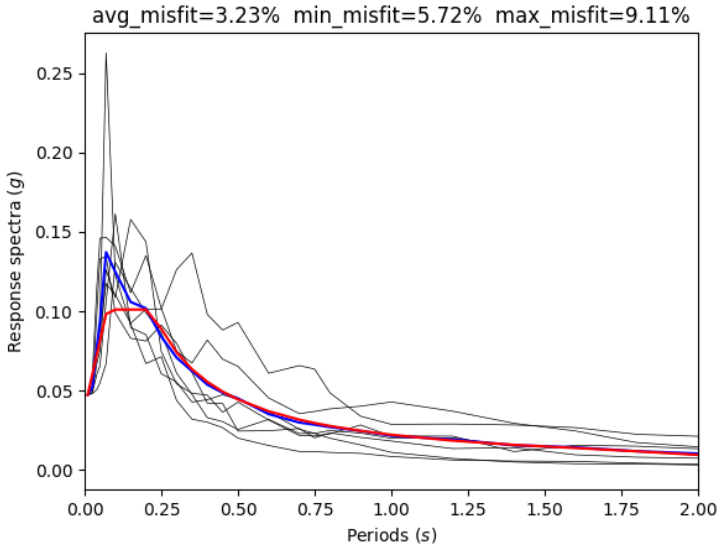


(b)

Figura 11.37 Risultato della selezione relativa al gruppo 7 - T_R=140 anni.

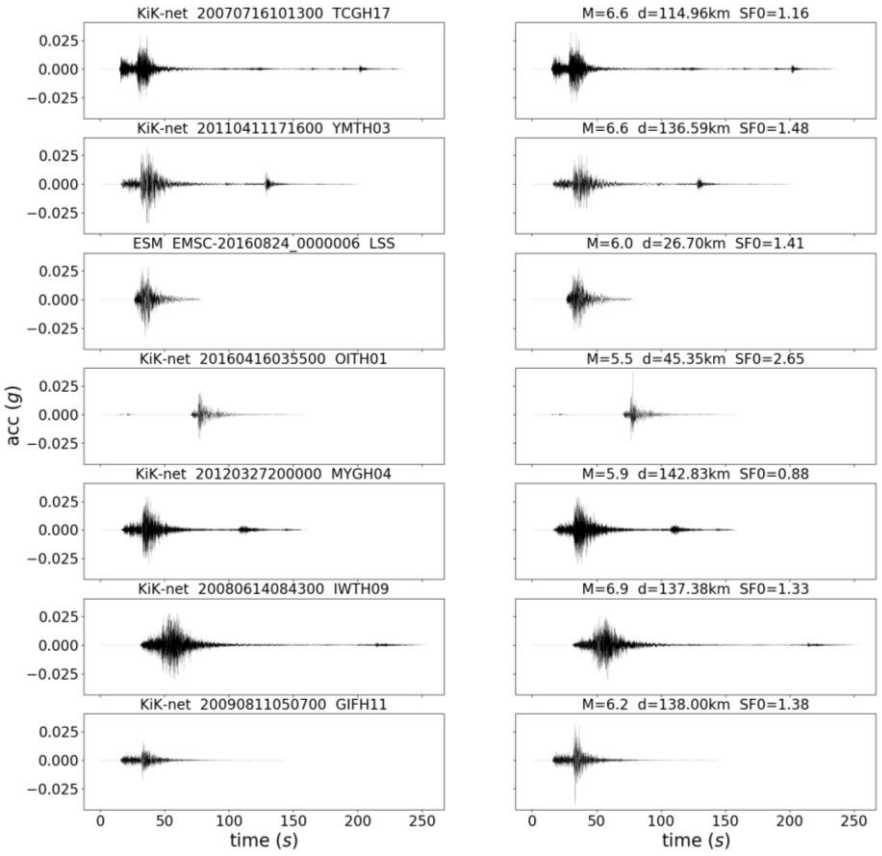


(a)

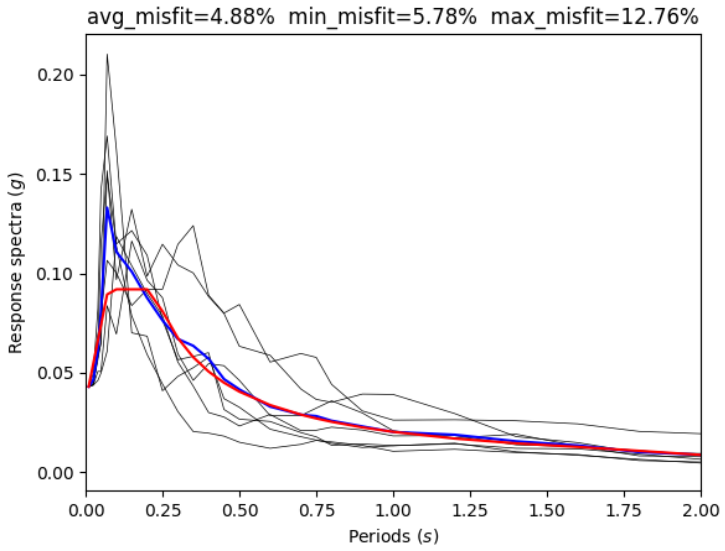


(b)

Figura 11.38 Risultato della selezione relativa al gruppo 8 - T_R=140 anni.



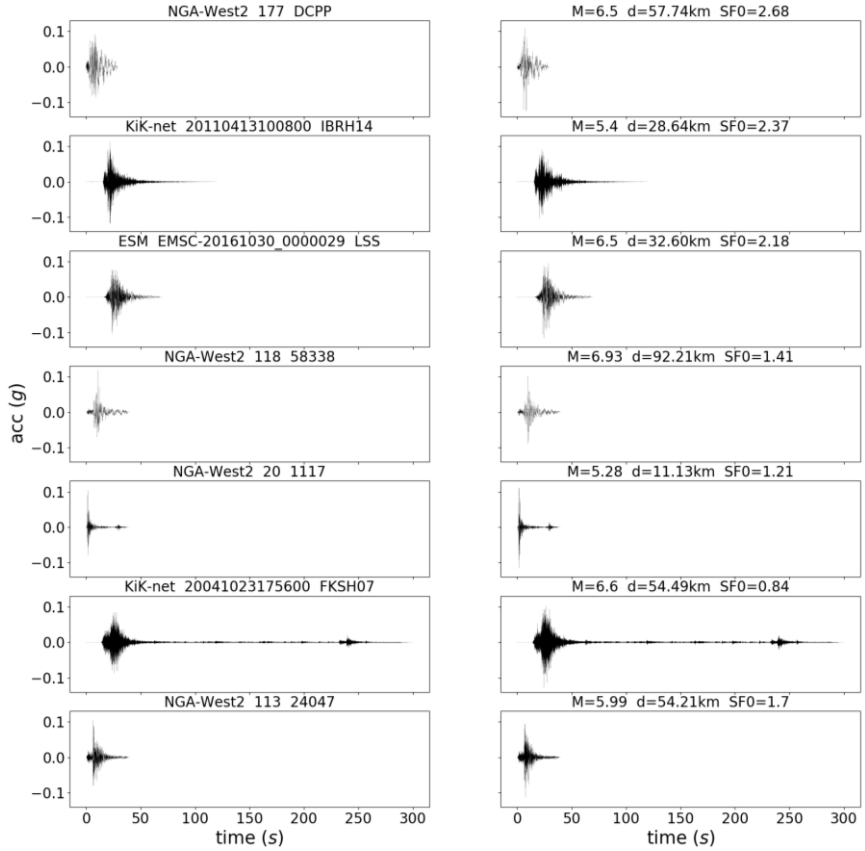
(a)



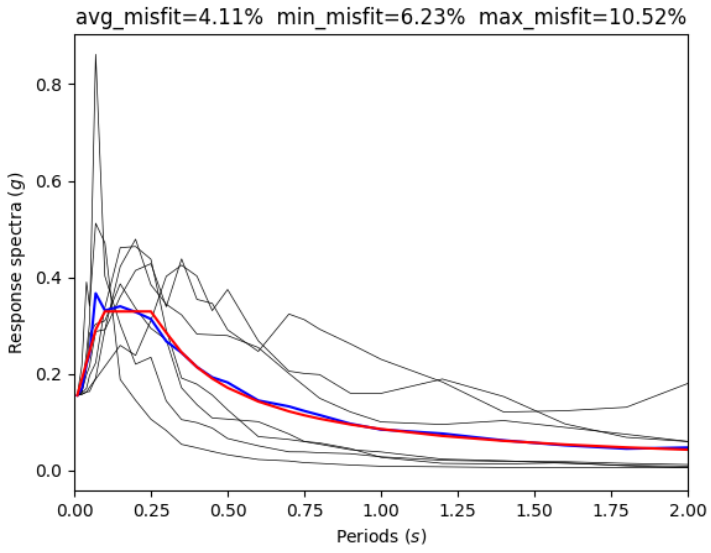
(b)

Figura 11.39 Risultato della selezione relativa al gruppo 9 - T_R=140 anni.

11.6 PERIODO DI RITORNO DI 201 ANNI

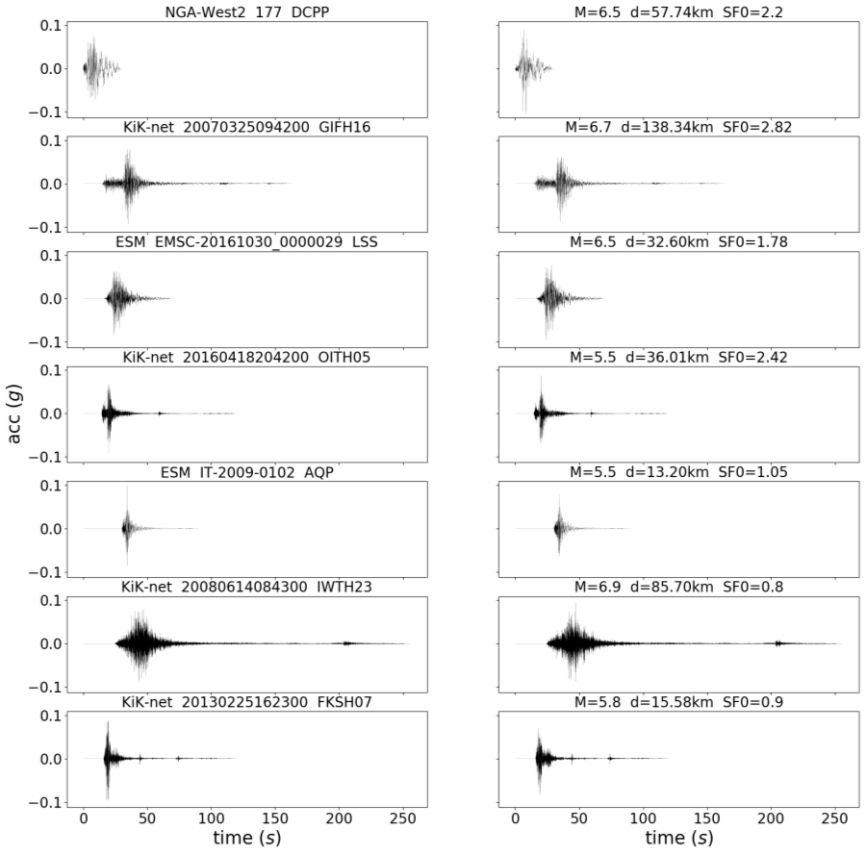


(a)

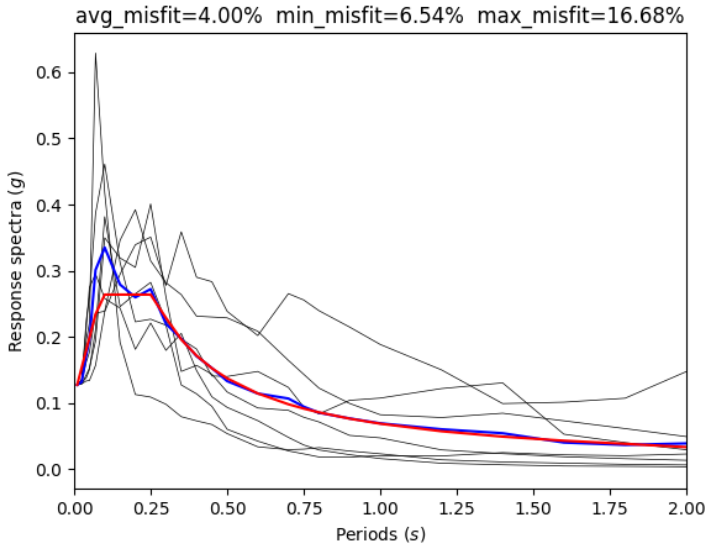


(b)

Figura 11.40 Risultato della selezione relativa al gruppo 1 - T_R=201 anni.

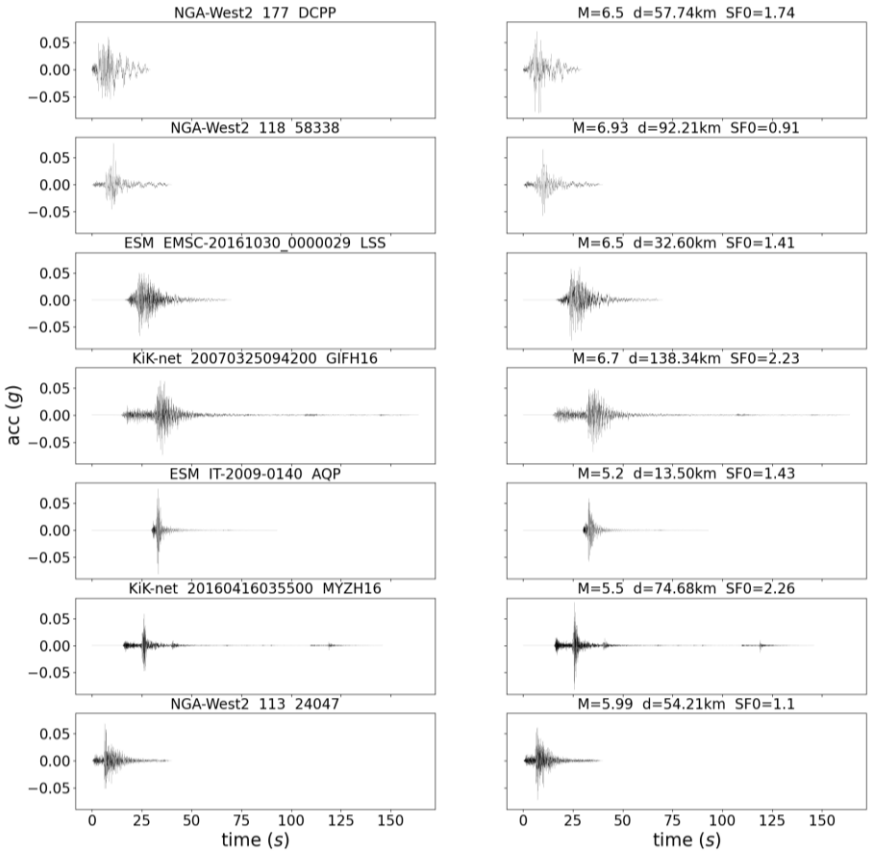


(a)

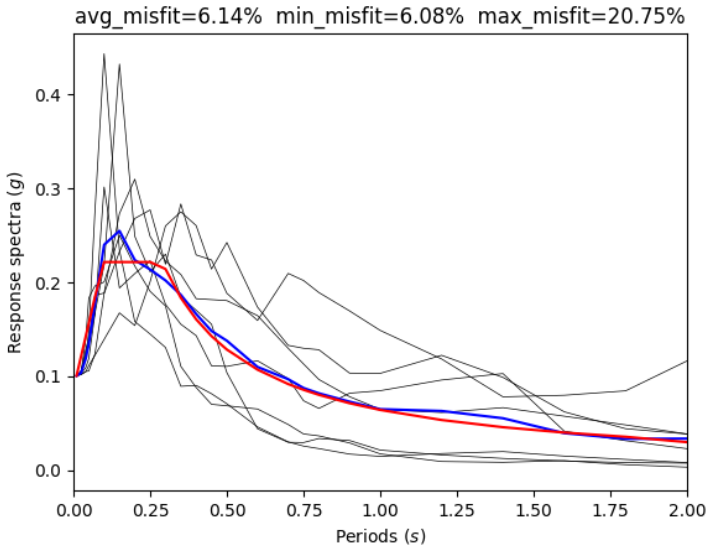


(b)

Figura 11.41 Risultato della selezione relativa al gruppo 2 - T_R=201 anni.

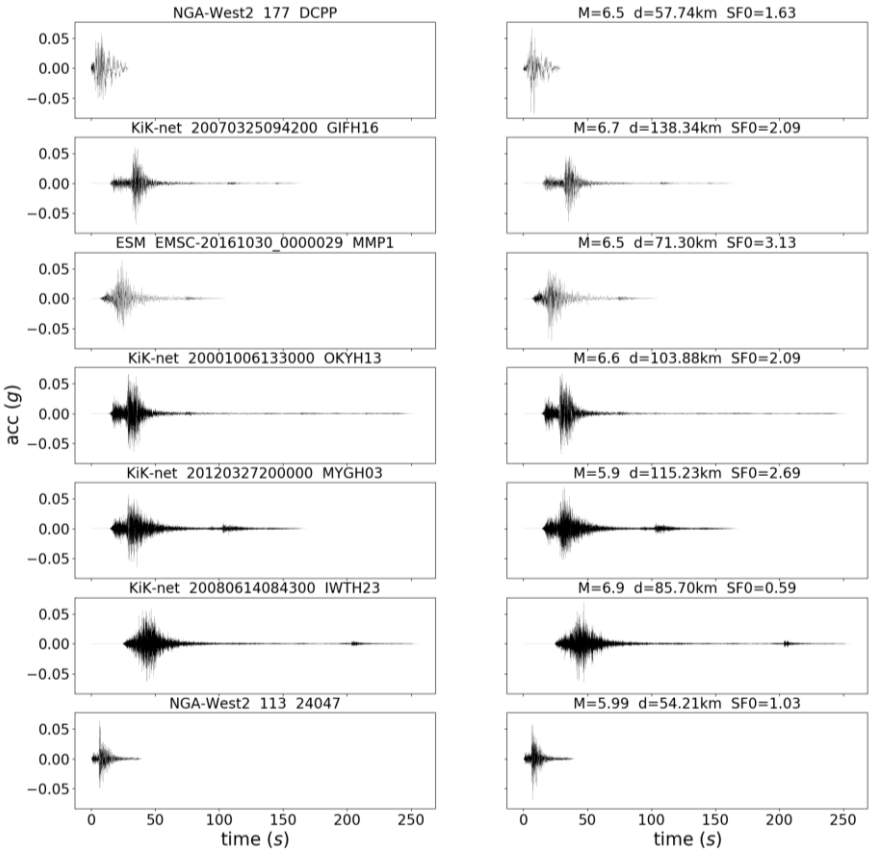


(a)

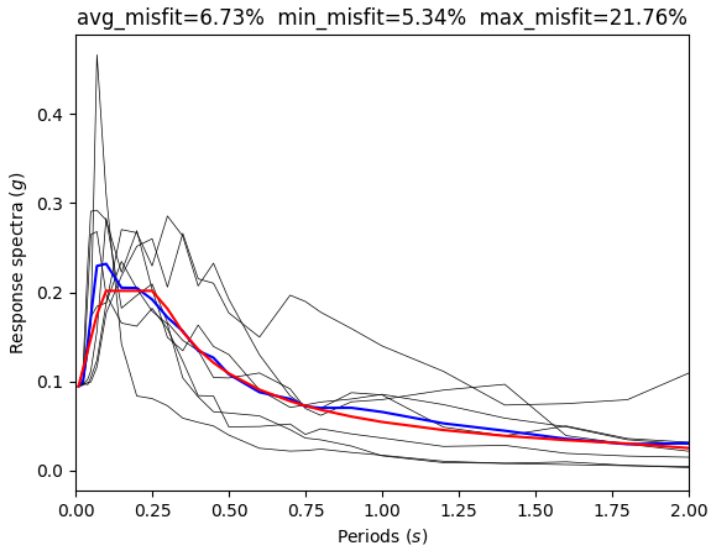


(b)

Figura 11.42 Risultato della selezione relativa al gruppo 3 - T_R=201 anni.

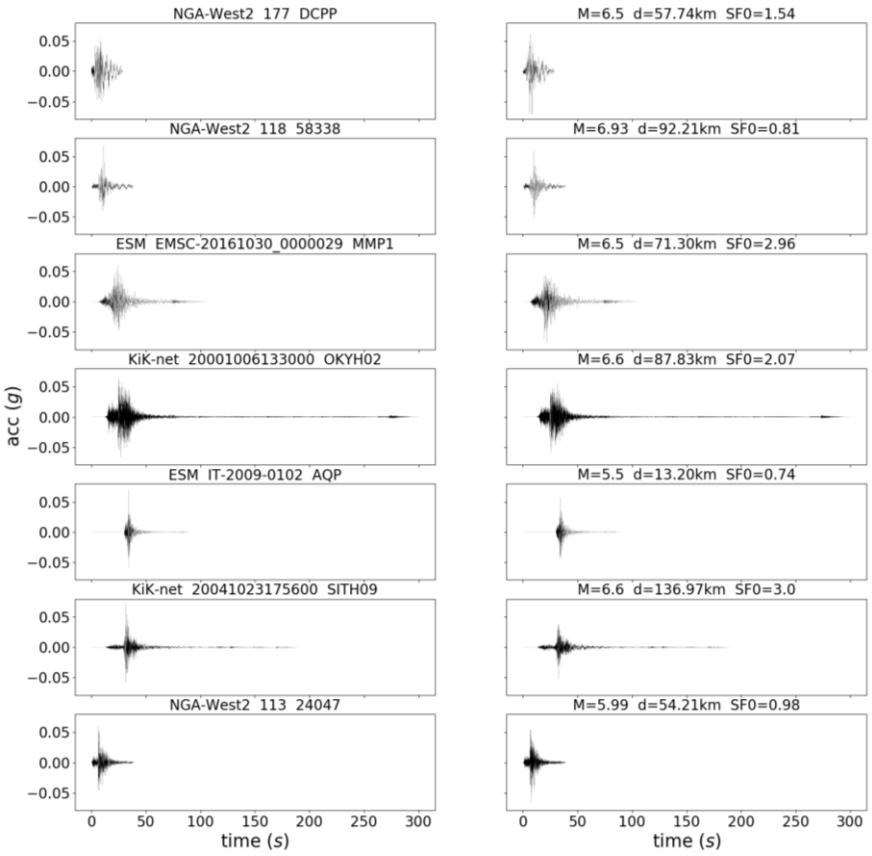


(a)

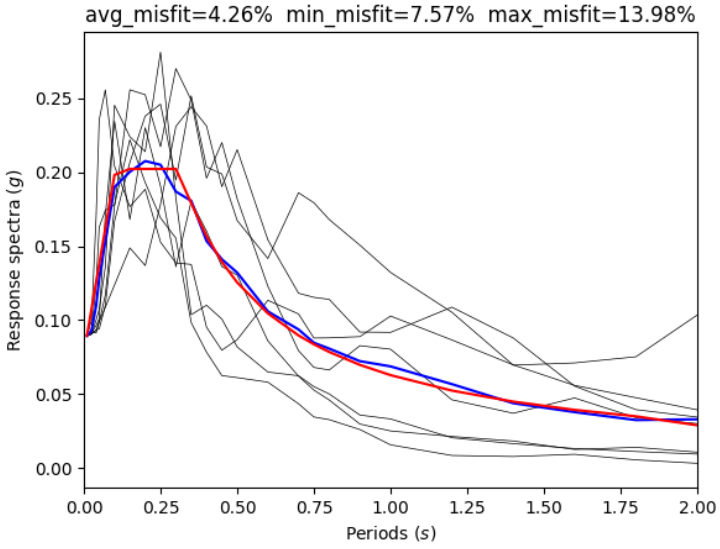


(b)

Figura 11.43 Risultato della selezione relativa al gruppo 4 - T_R=201 anni.

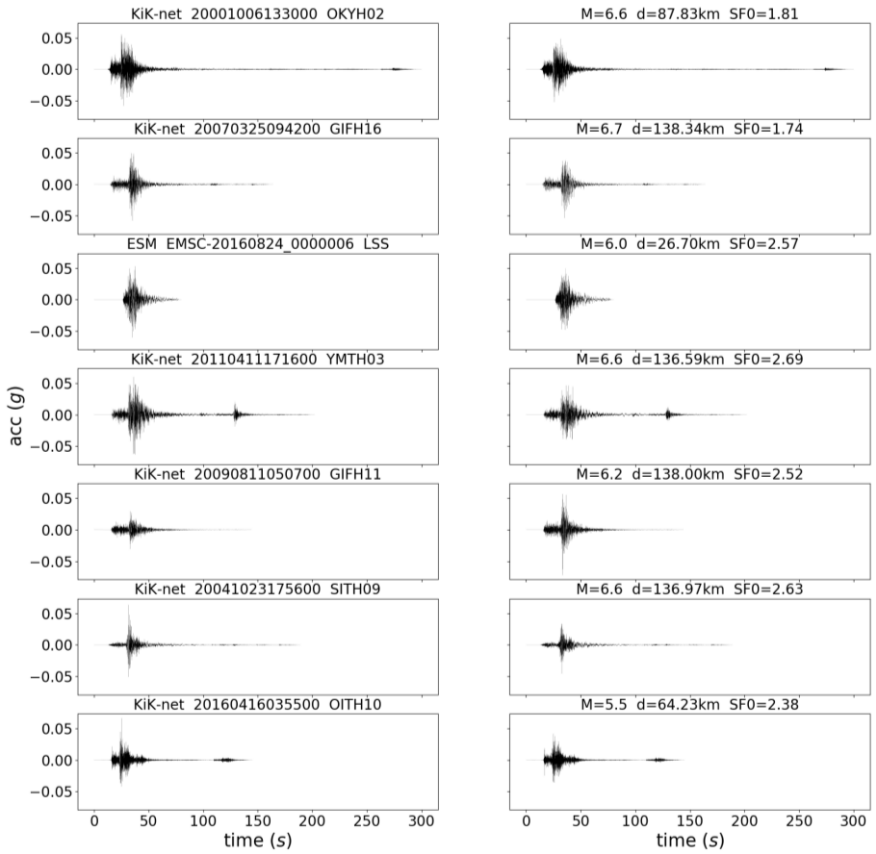


(a)

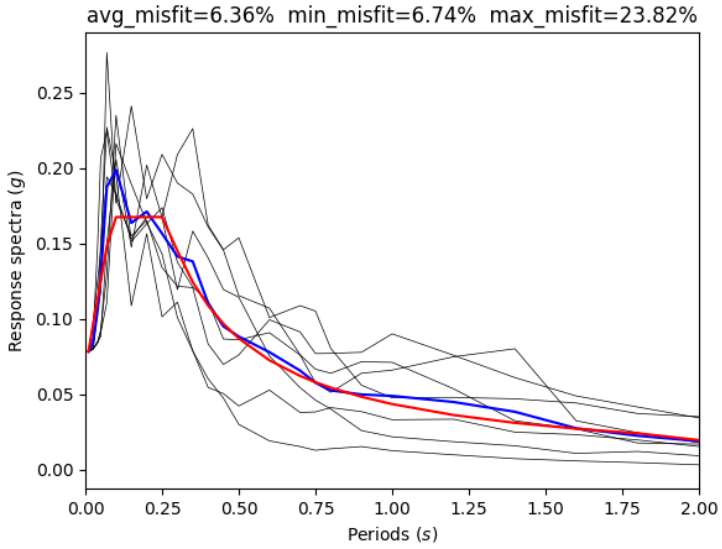


(b)

Figura 11.44 Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - T_R=201 anni.

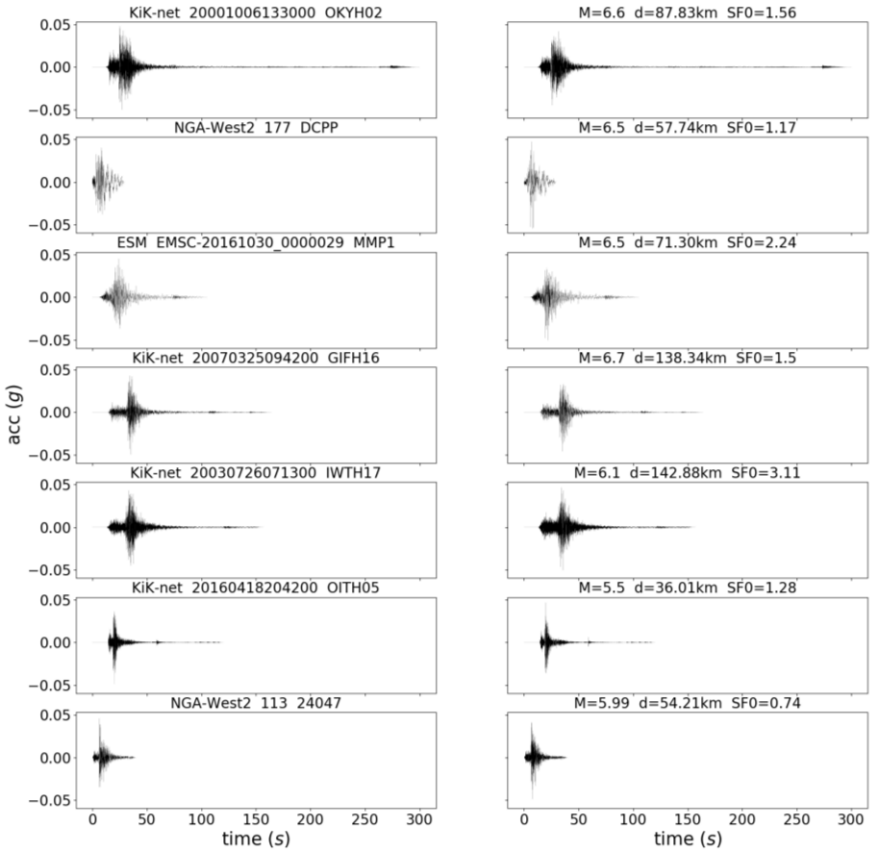


(a)

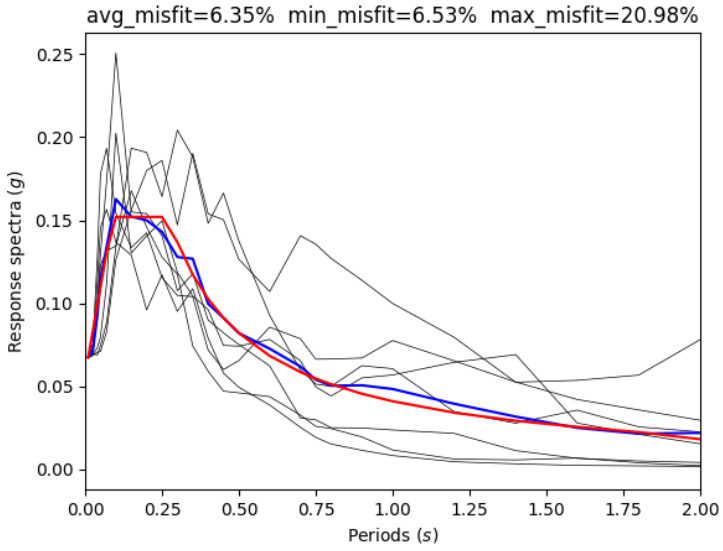


(b)

Figura 11.45 Risultato della selezione relativa al gruppo 6 - T_R=201 anni.

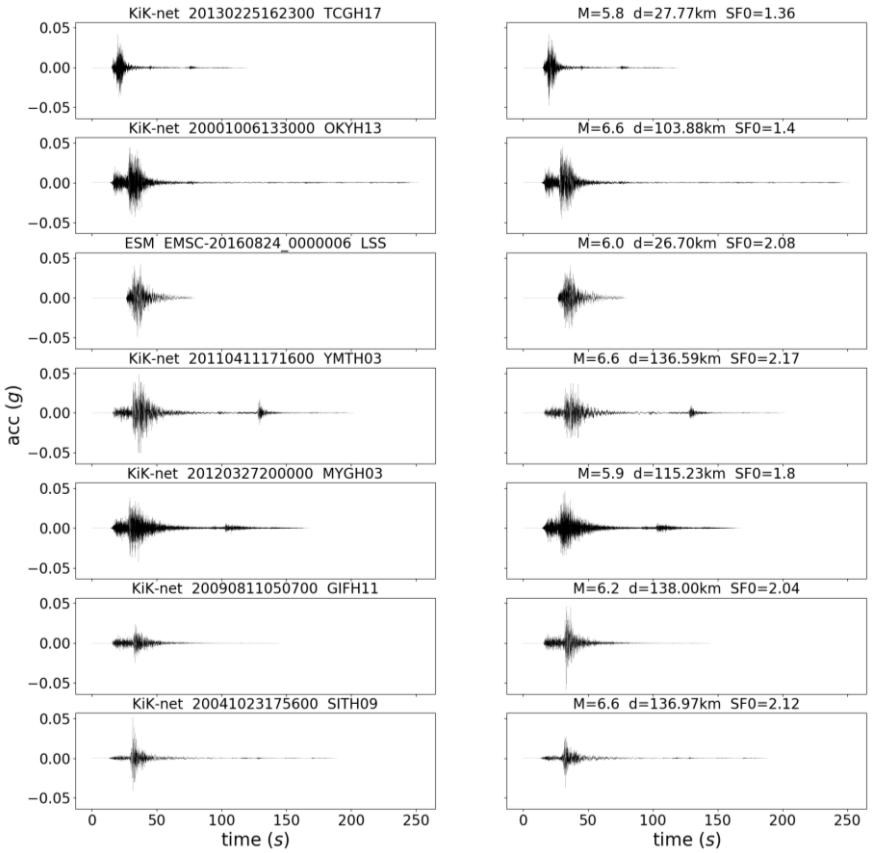


(a)

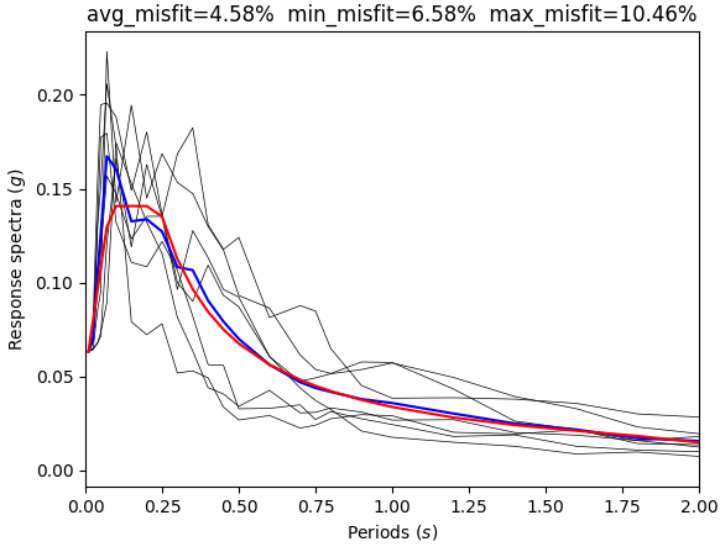


(b)

Figura 11.46 Risultato della selezione relativa al gruppo 7 - T_R=201 anni.

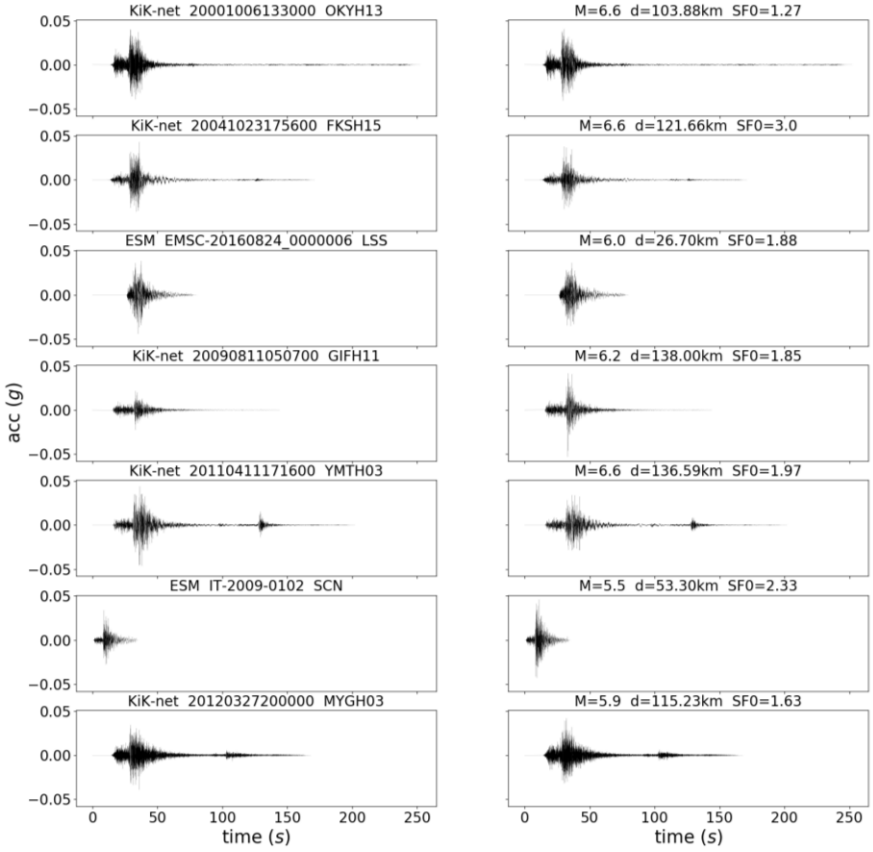


(a)

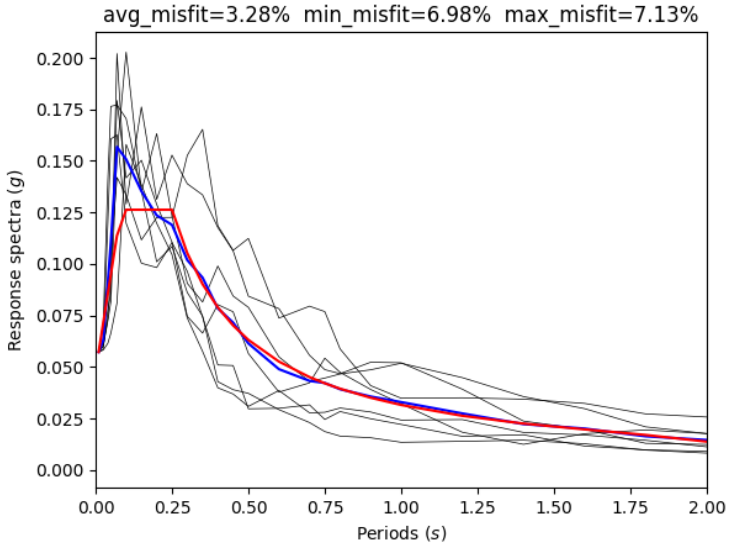


(b)

Figura 11.47 Risultato della selezione relativa al gruppo 8 - T_R=201 anni.

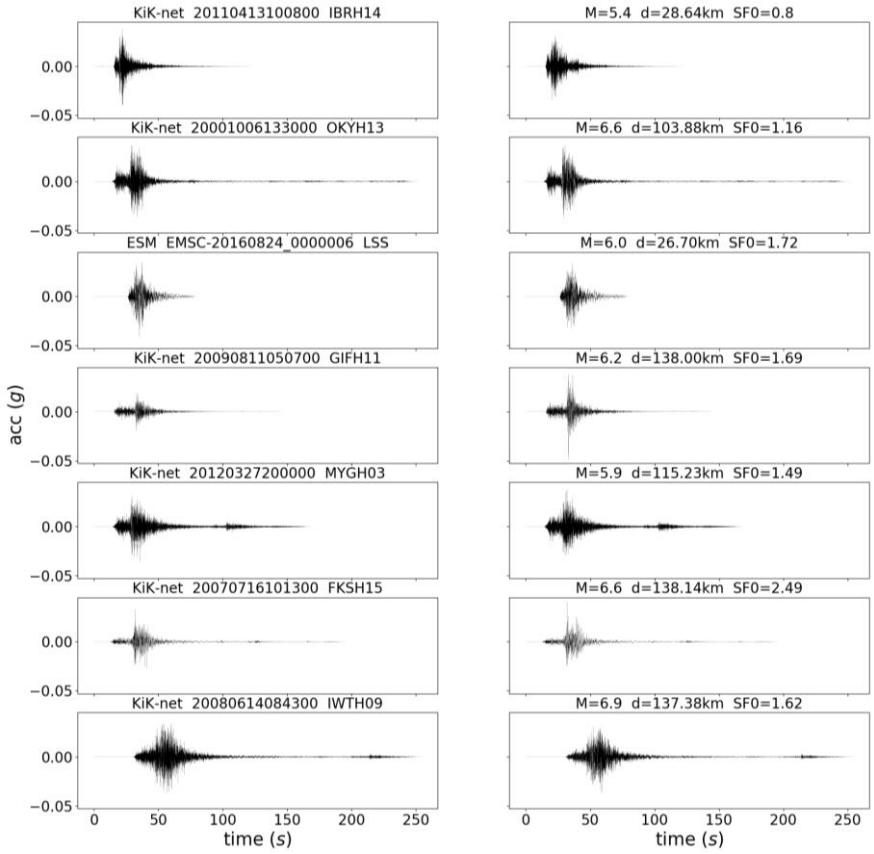


(a)

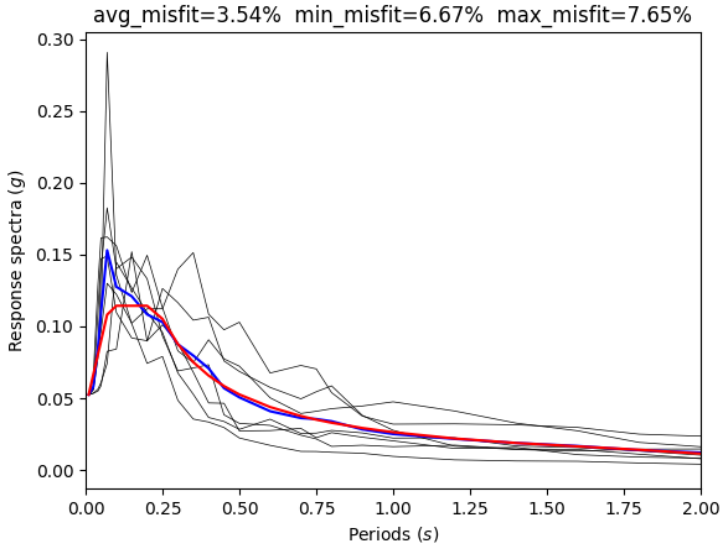


(b)

Figura 11.48 Risultato della selezione relativa al gruppo 9 - T_R=201 anni.

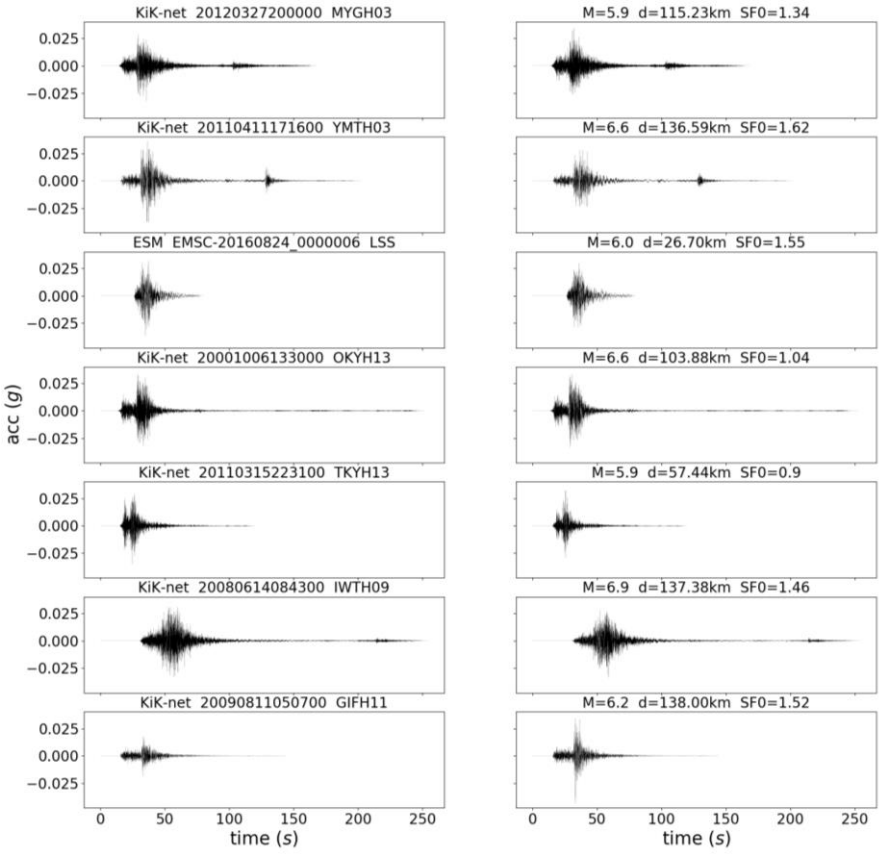


(a)

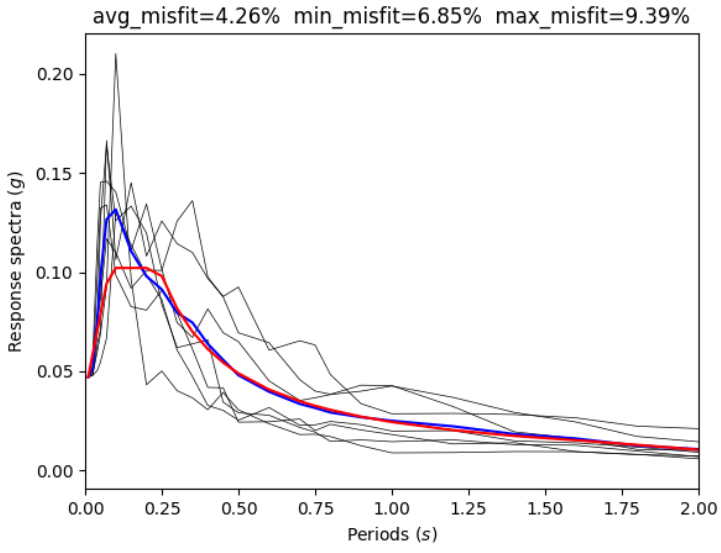


(b)

Figura 11.49 Risultato della selezione relativa al gruppo 10 - T_R=201 anni.



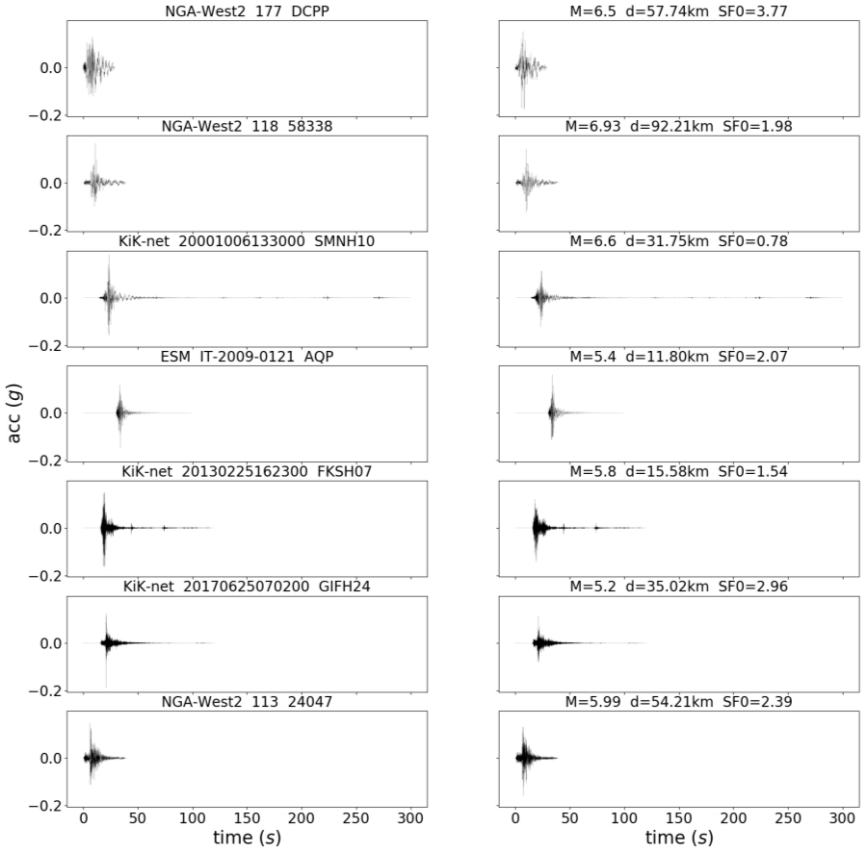
(a)



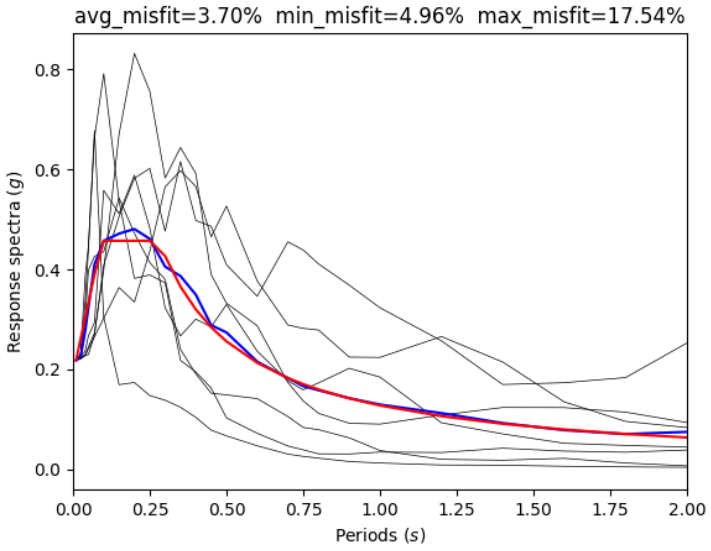
(b)

Figura 11.50 Risultato della selezione relativa al gruppo 11 - T_R=201 anni.

11.7 PERIODO DI RITORNO DI 475 ANNI

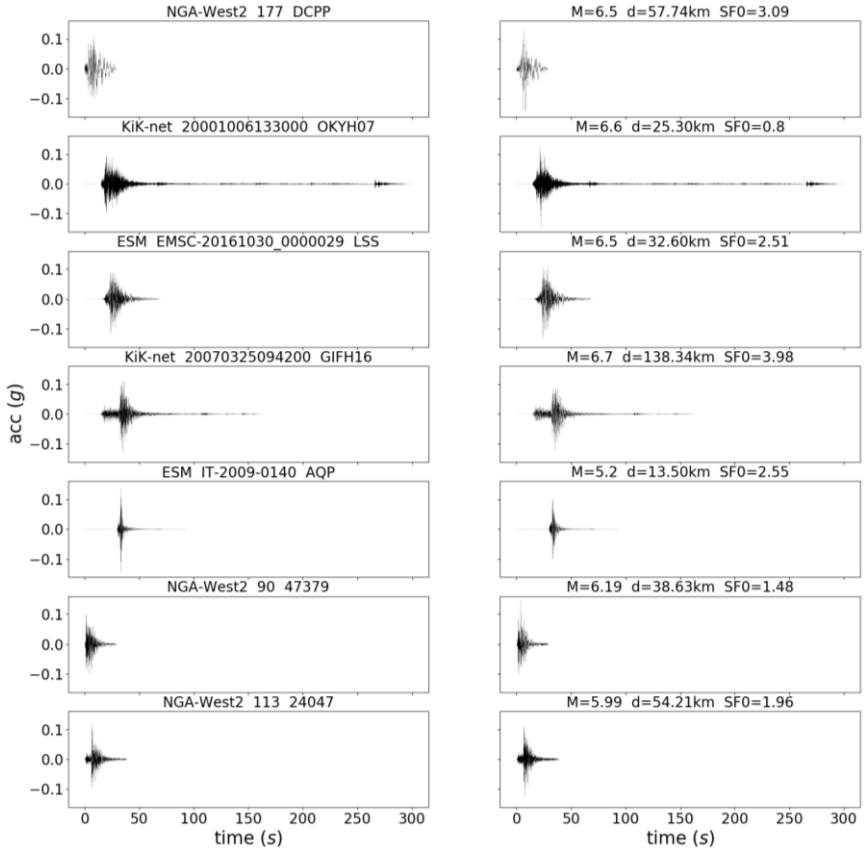


(a)

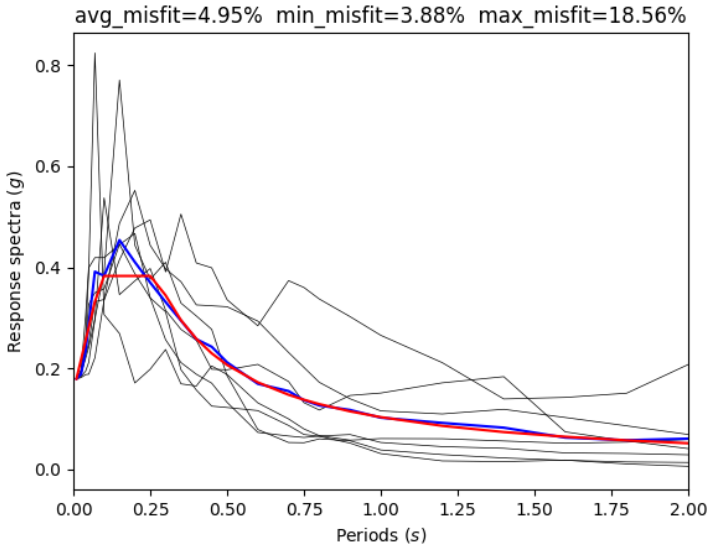


(b)

Figura 11.51 Risultato della selezione relativa al gruppo 1 - T_R=475 anni.

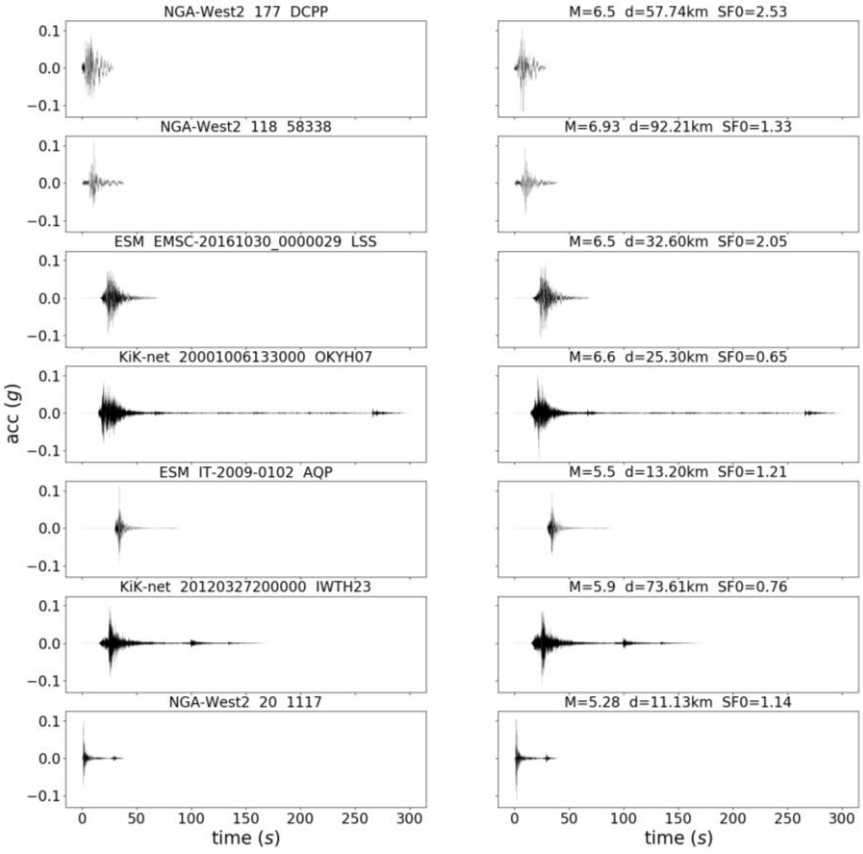


(a)

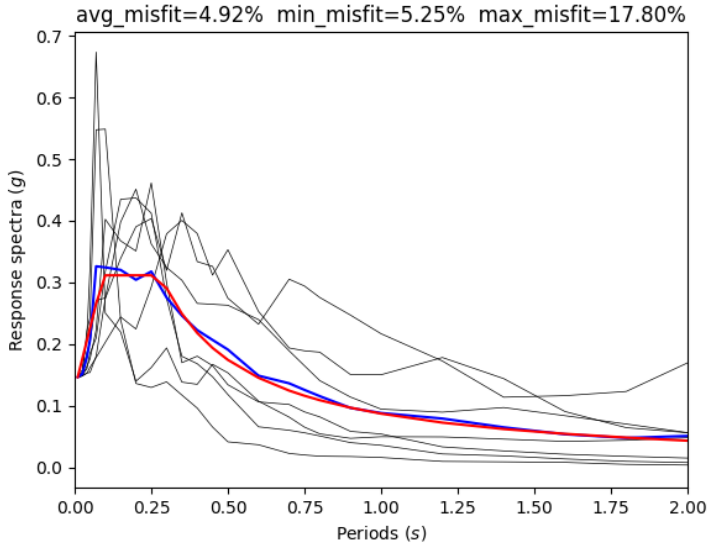


(b)

Figura 11.52 Risultato della selezione relativa al gruppo 2 - T_R=475 anni.

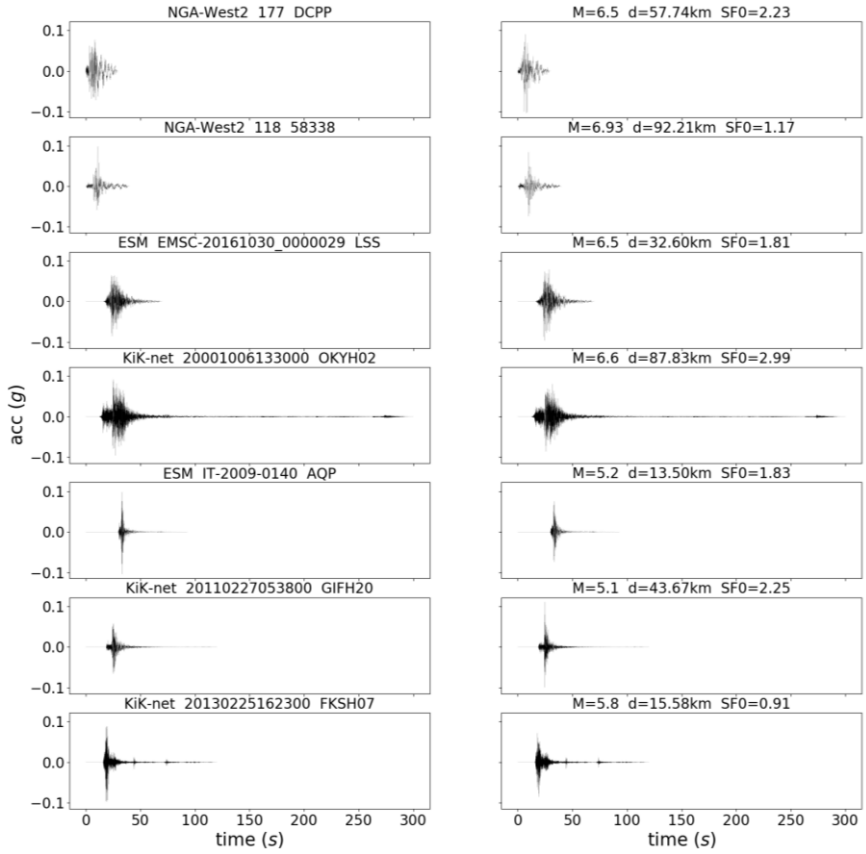


(a)

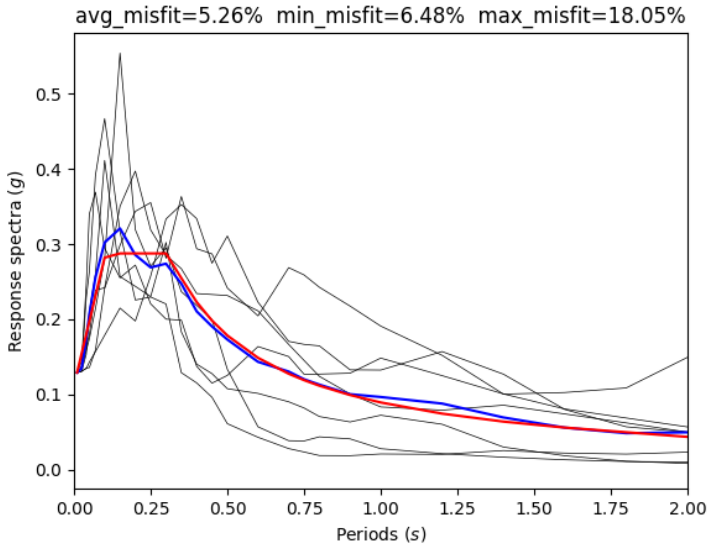


(b)

Figura 11.53 Risultato della selezione relativa al gruppo 3 - T_R=475 anni.

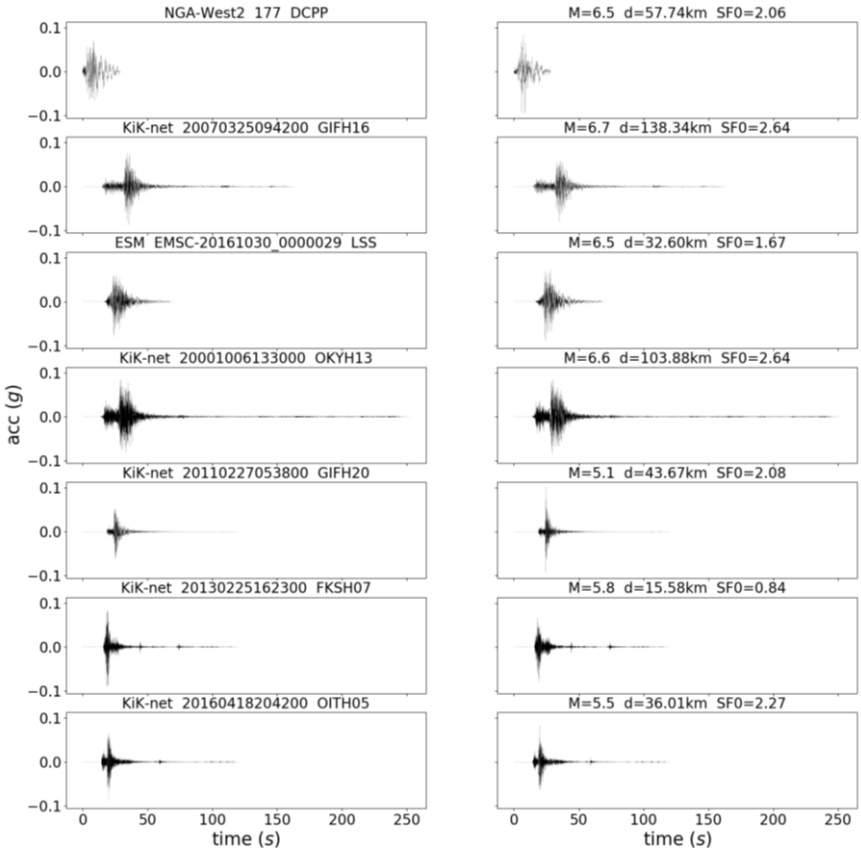


(a)

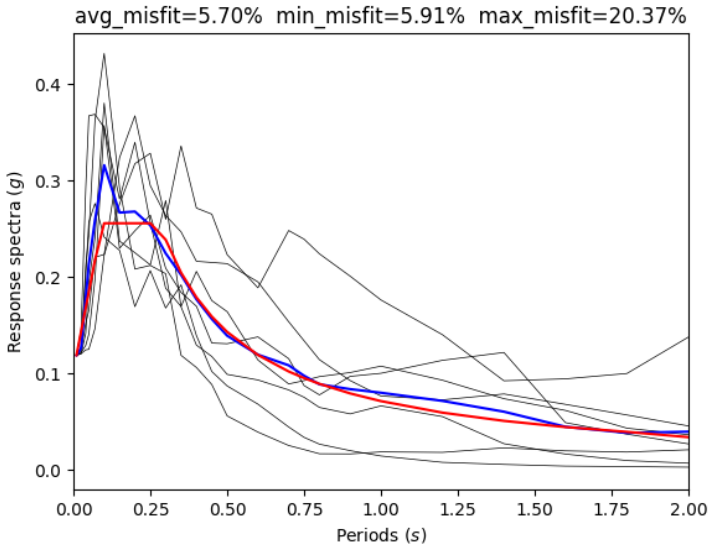


(b)

Figura 11.54 Risultato della selezione relativa al gruppo 4 - T_R=475 anni.

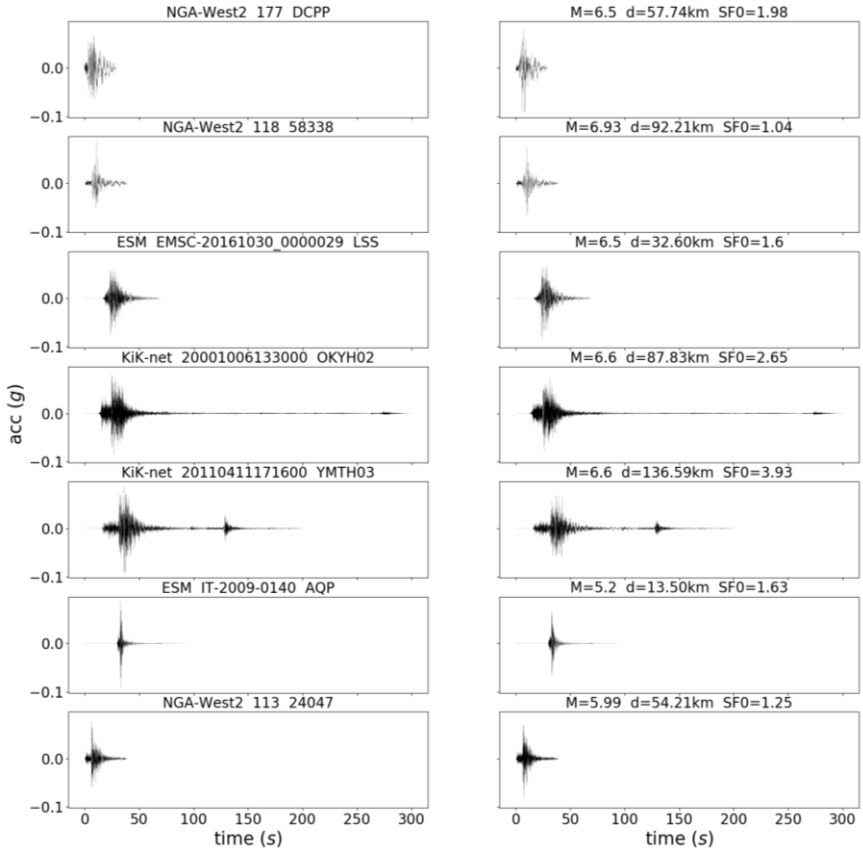


(a)

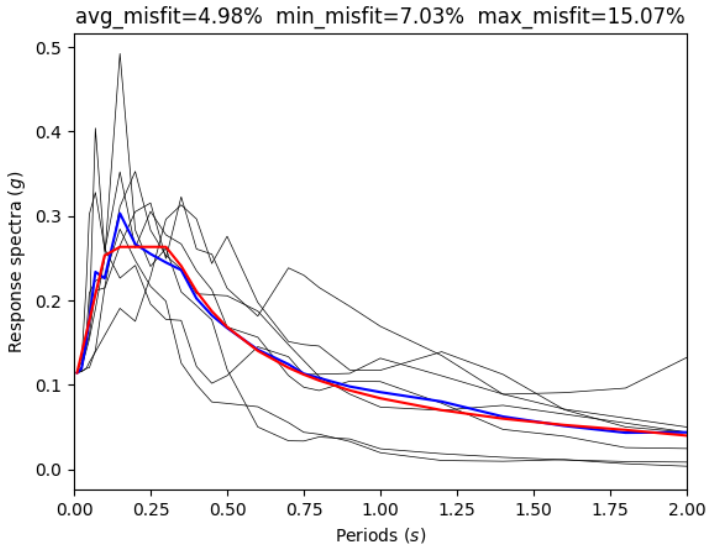


(b)

Figura 11.55 Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - T_R=475 anni.

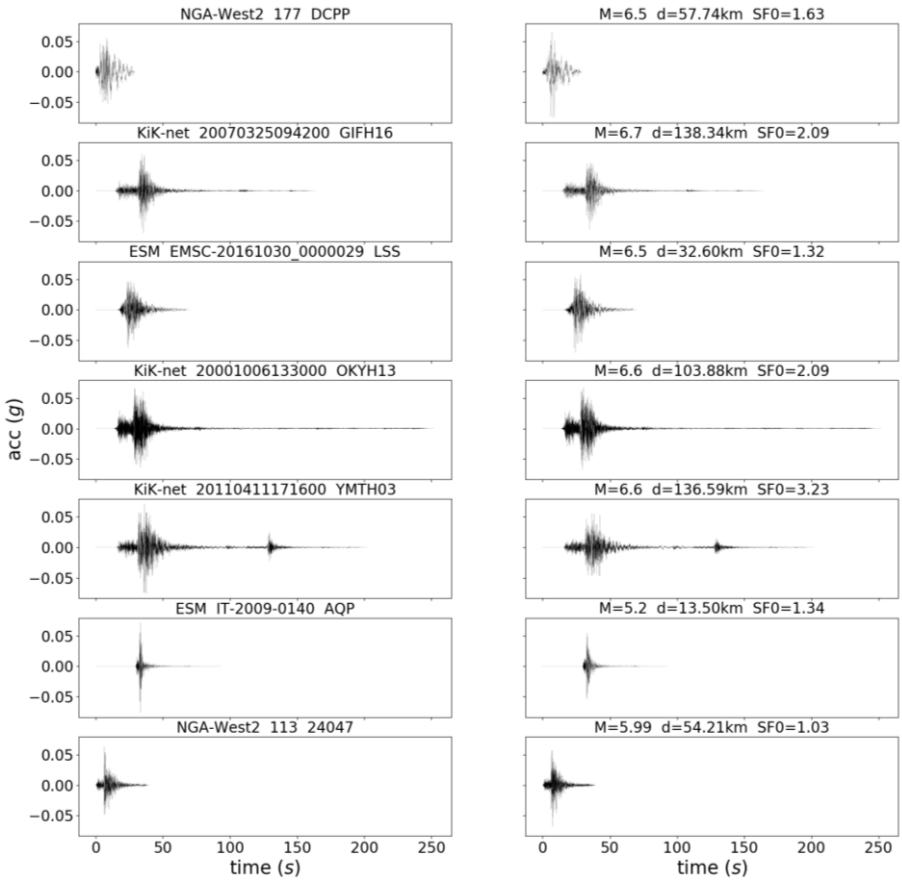


(a)

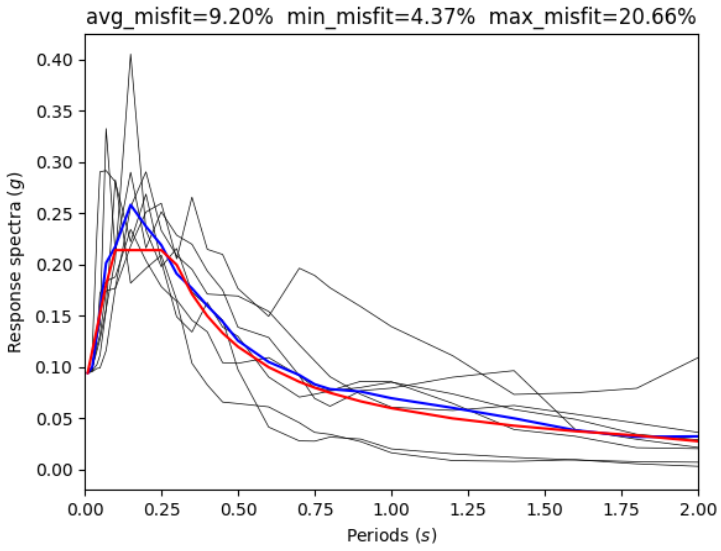


(b)

Figura 11.56 Risultato della selezione relativa al gruppo 6 - T_R=475 anni.

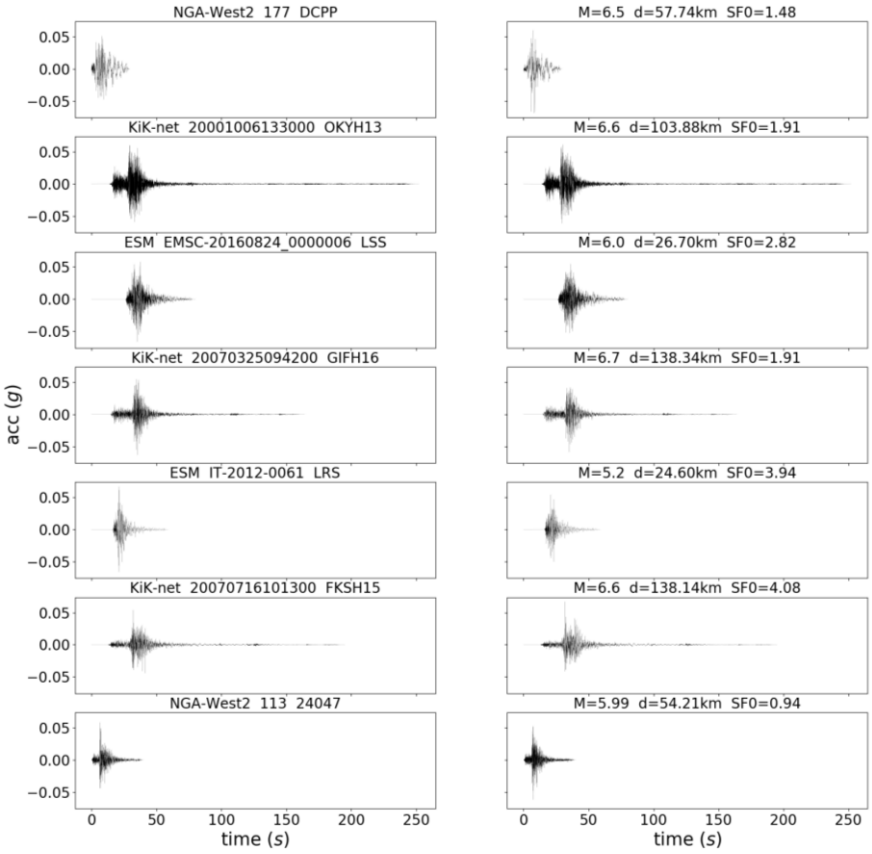


(a)

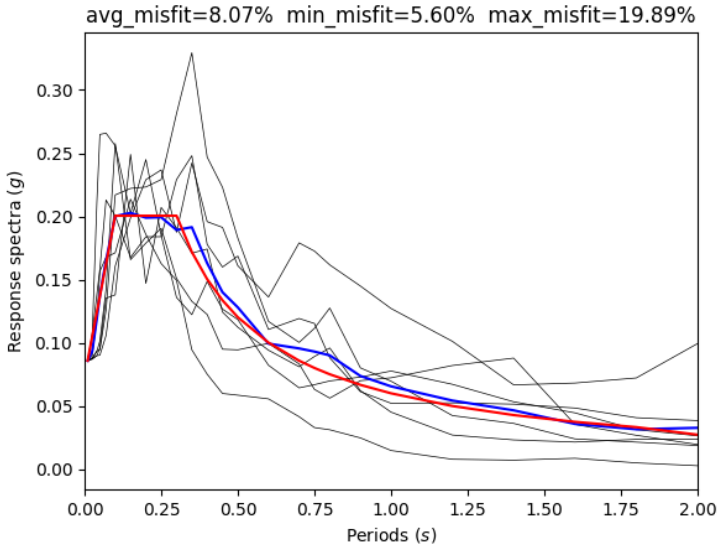


(b)

Figura 11.57 Risultato della selezione relativa al gruppo 7 - T_R=475 anni.

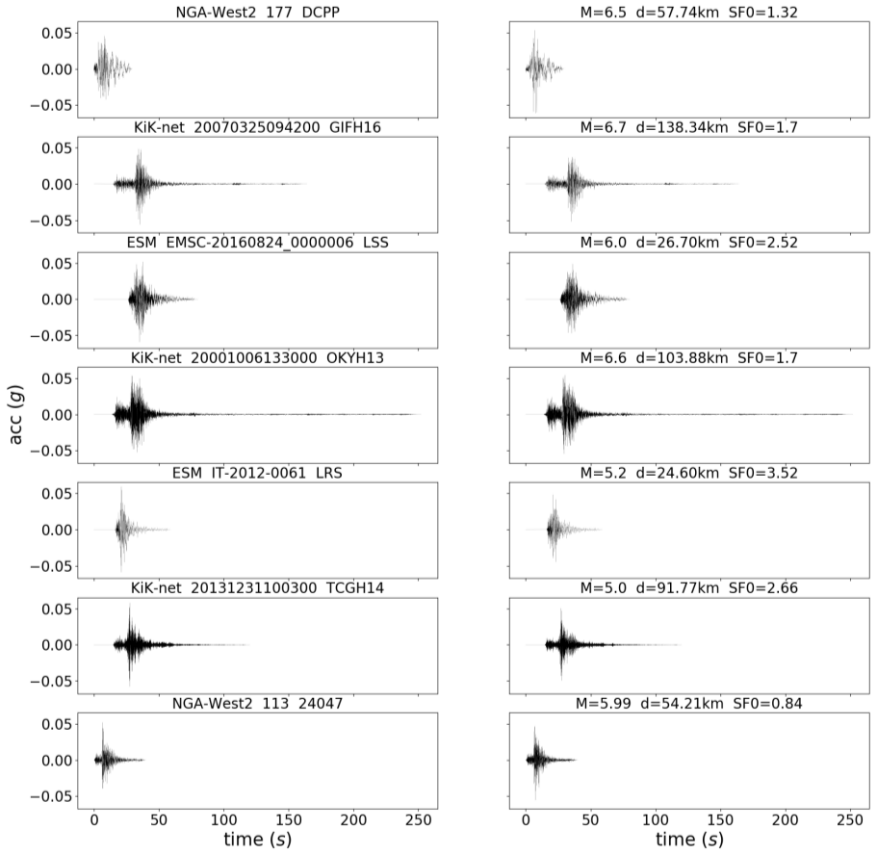


(a)

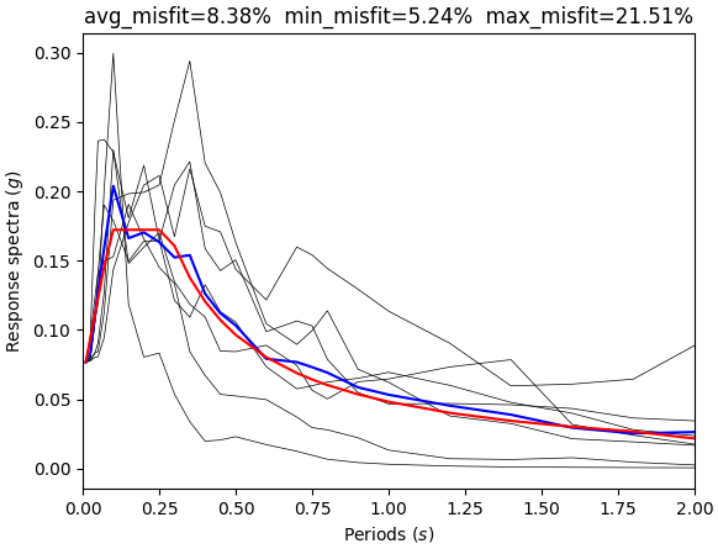


(b)

Figura 11.58 Risultato della selezione relativa al gruppo 8 - T_R=475 anni.

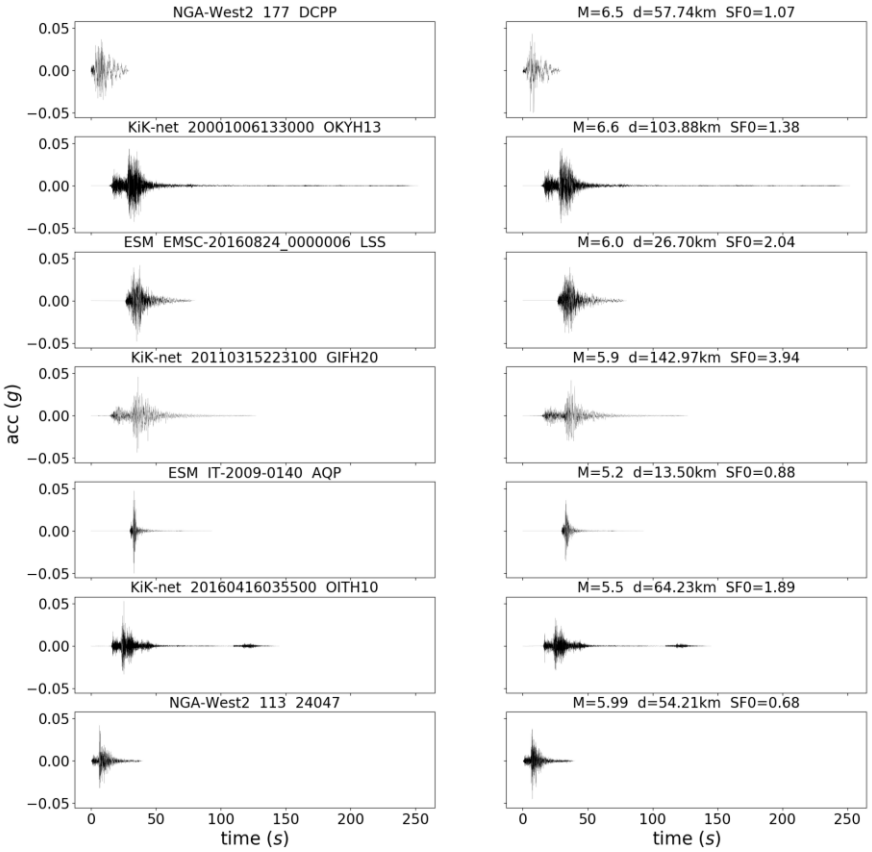


(a)

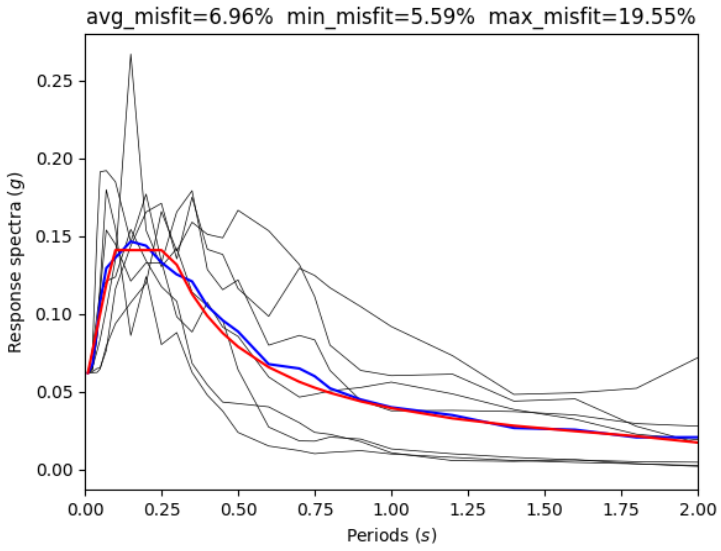


(b)

Figura 11.59 Risultato della selezione relativa al gruppo 9 - T_R=475 anni.

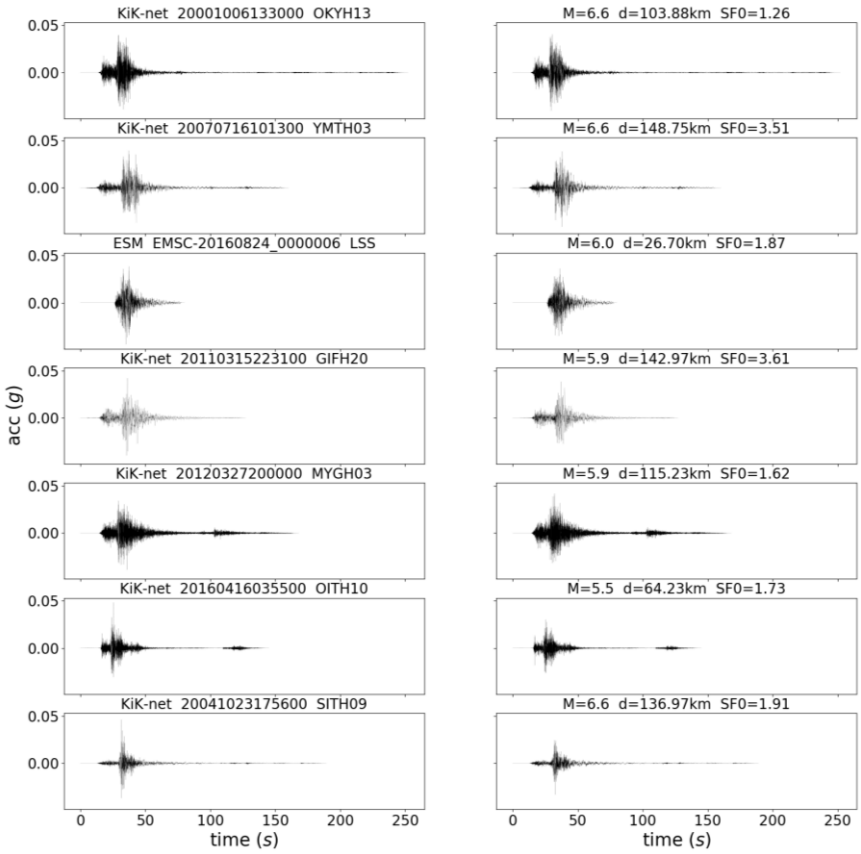


(a)

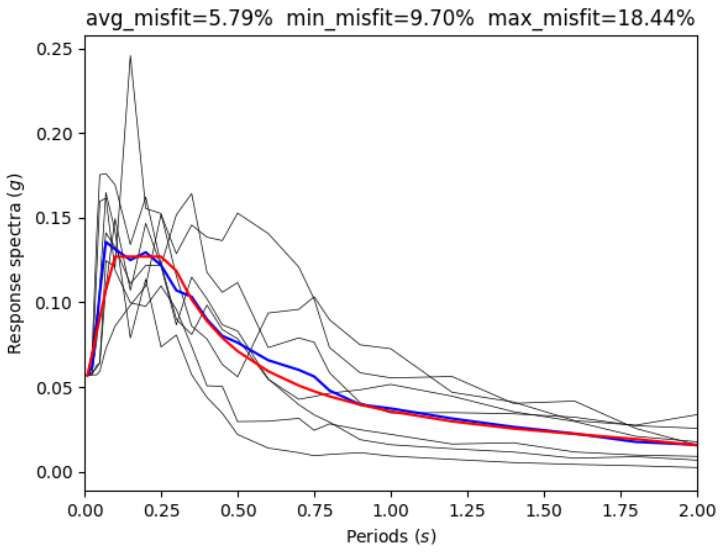


(b)

Figura 11.60 Risultato della selezione relativa al gruppo 10 - T_R=475 anni.



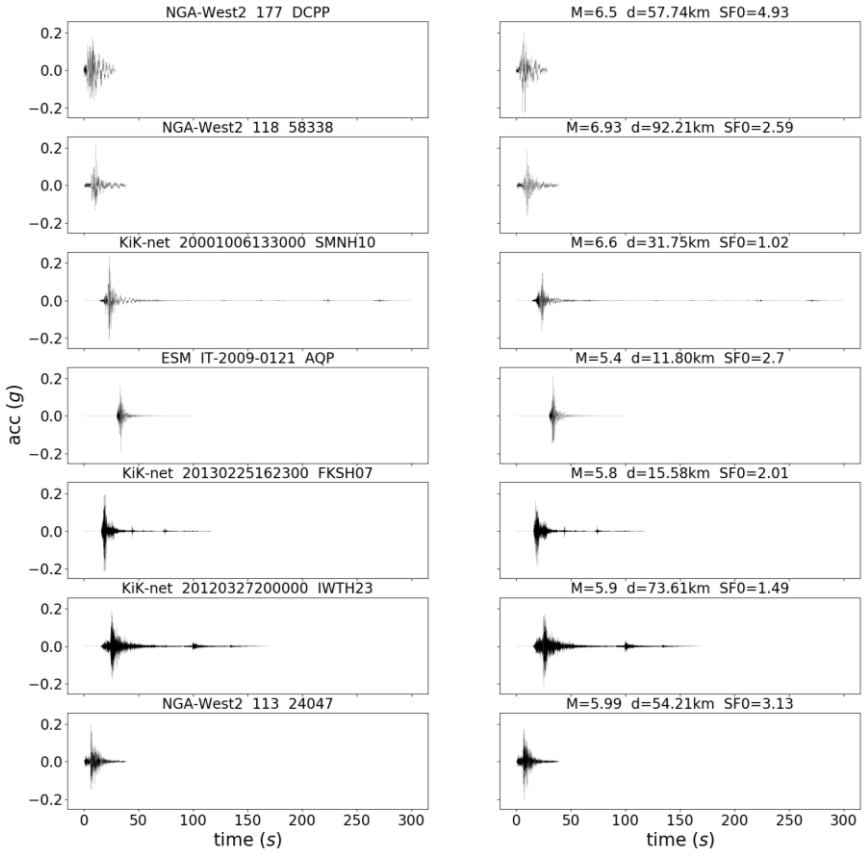
(a)



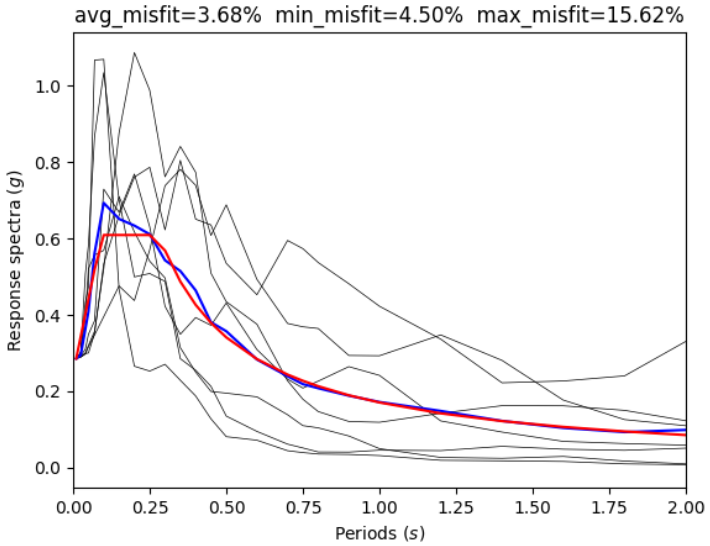
(b)

Figura 11.61 Risultato della selezione relativa al gruppo 11 - T_R=475 anni.

11.8 PERIODO DI RITORNO DI 975 ANNI

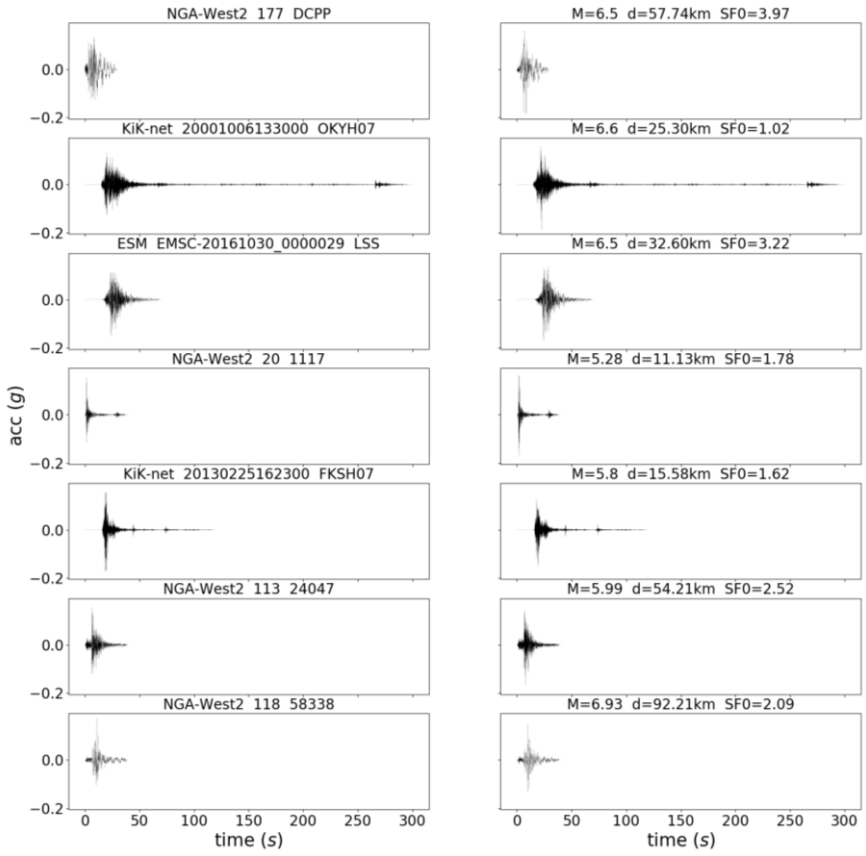


(a)

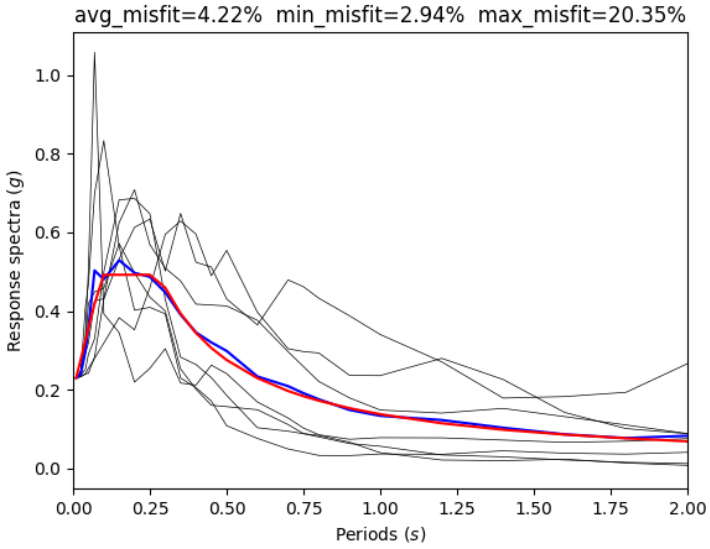


(b)

Figura 11.62 Risultato della selezione relativa al gruppo 1 - T_R=975 anni.

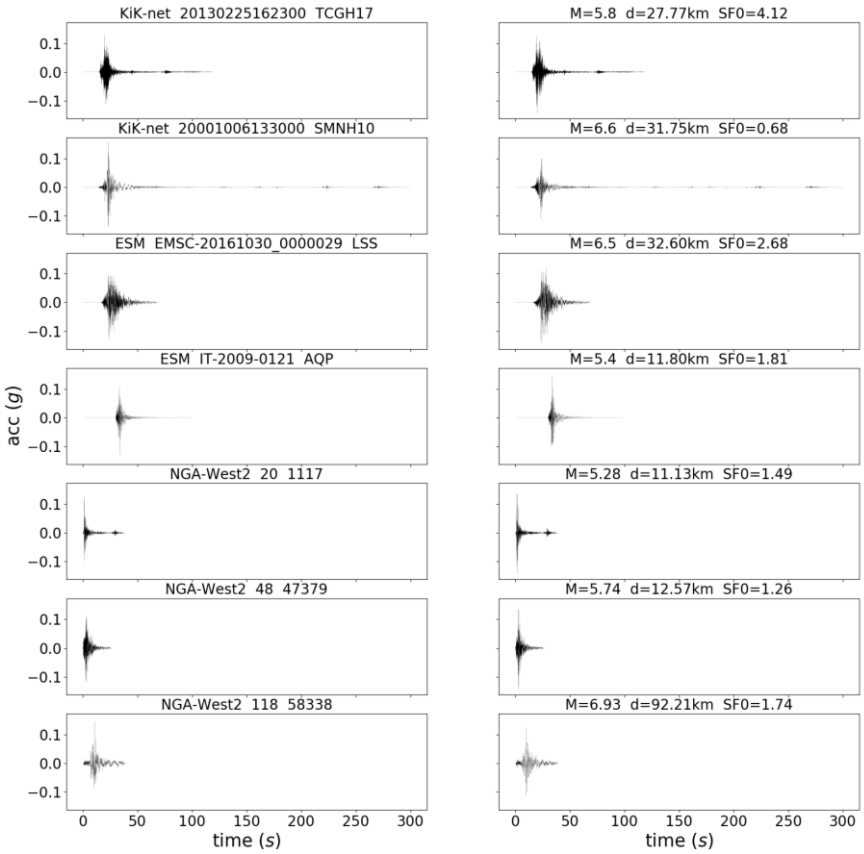


(a)

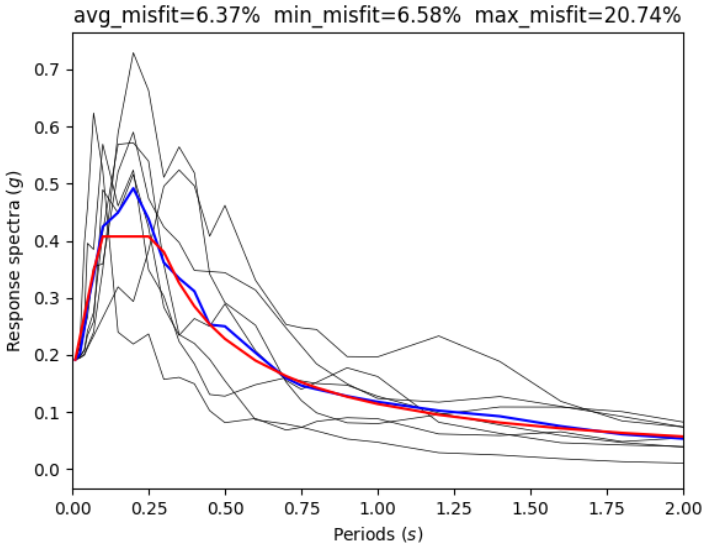


(b)

Figura 11.63 Risultato della selezione relativa al gruppo 2 - T_R=975 anni.

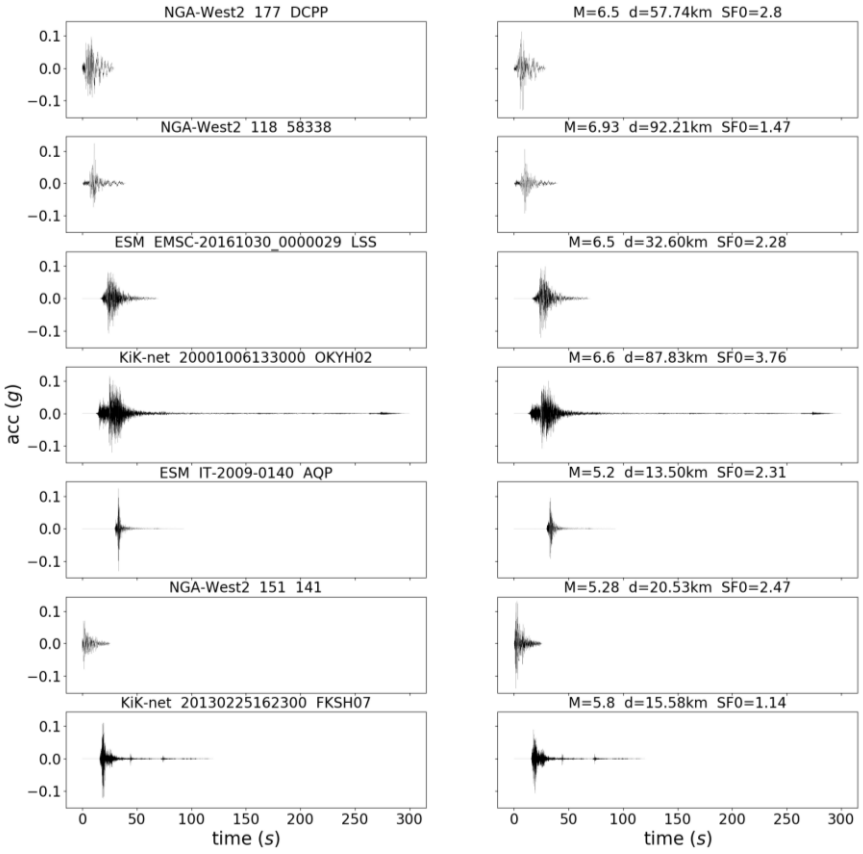


(a)

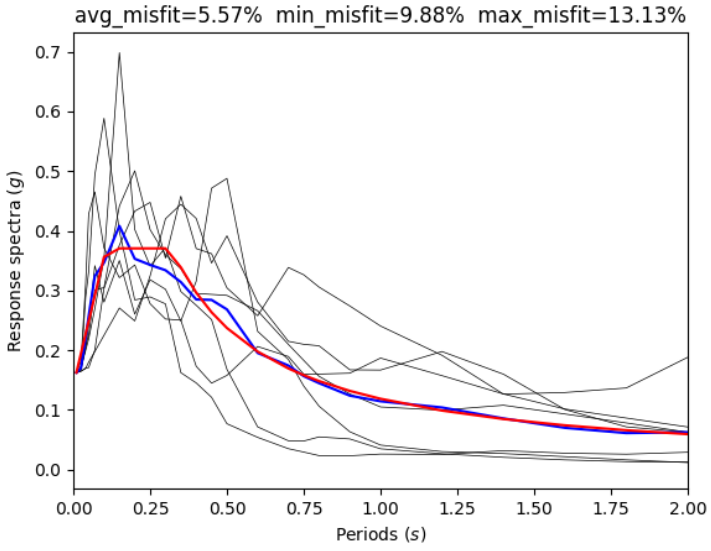


(b)

Figura 11.64 Risultato della selezione relativa al gruppo 3 - T_R=975 anni.

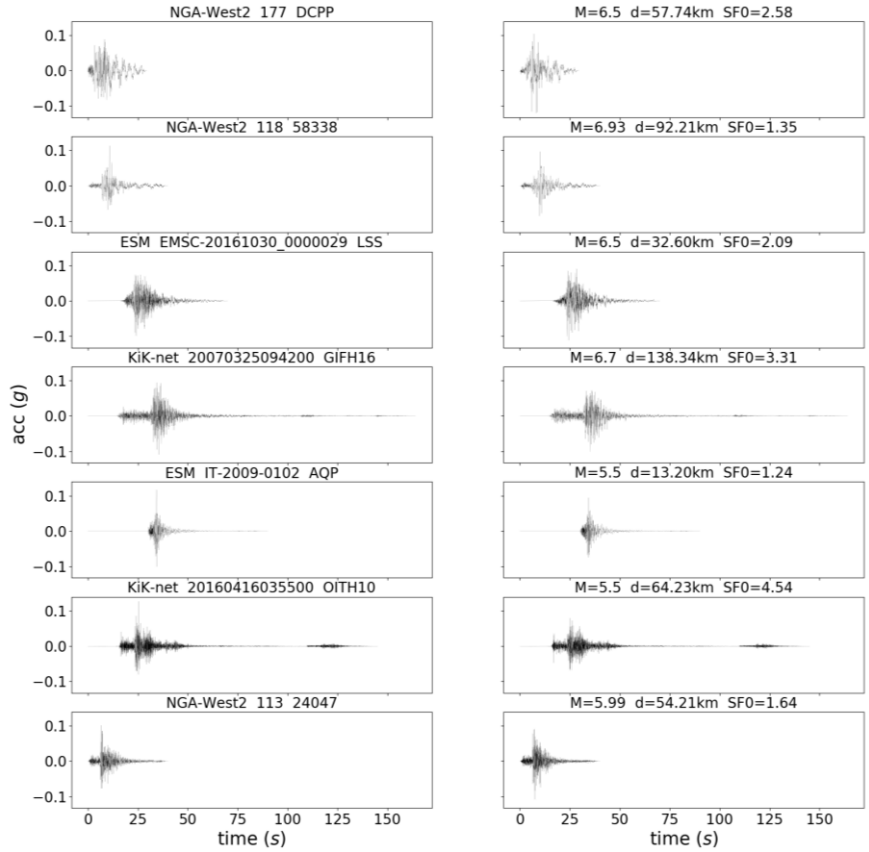


(a)

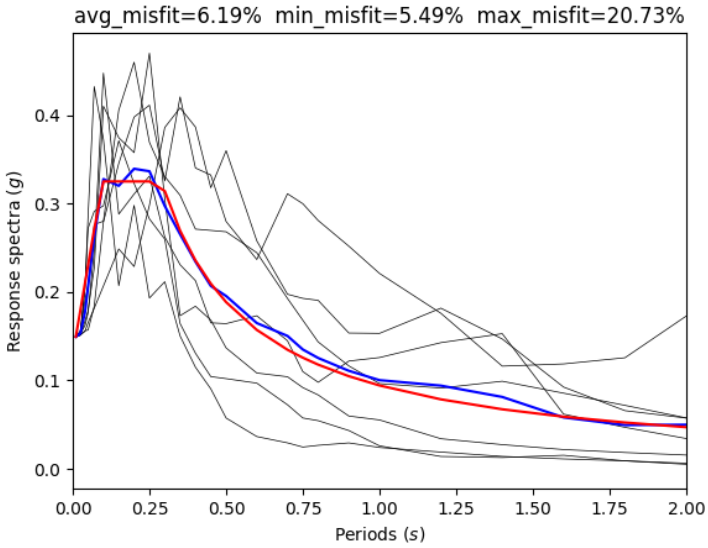


(b)

Figura 11.65 Risultato della selezione relativa al gruppo 4 - T_R=975 anni.

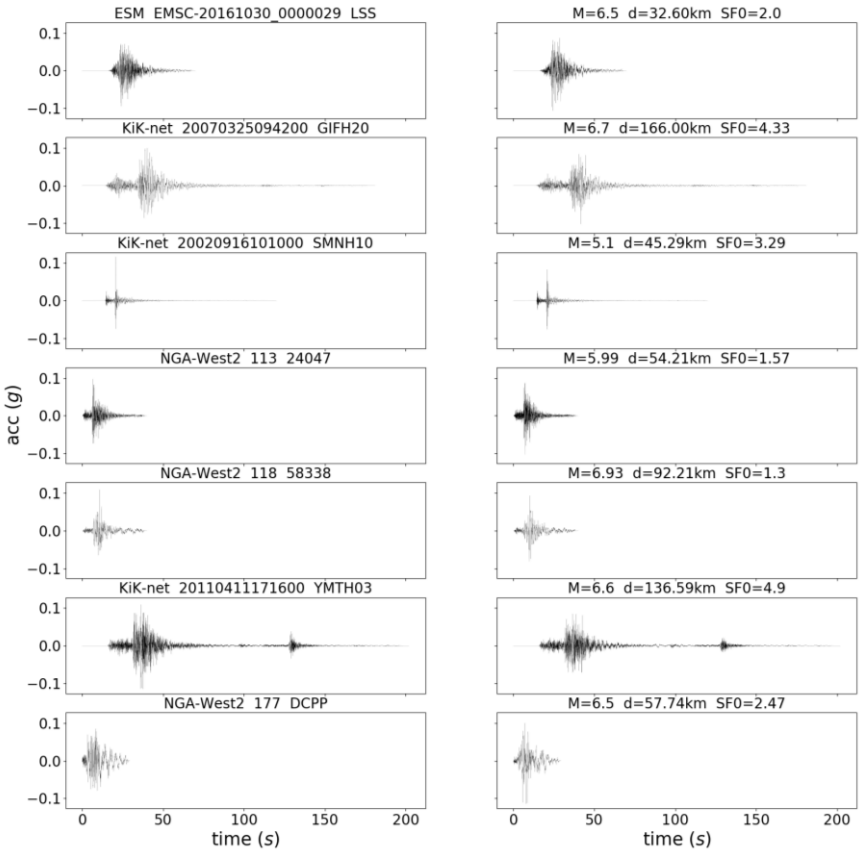


(a)

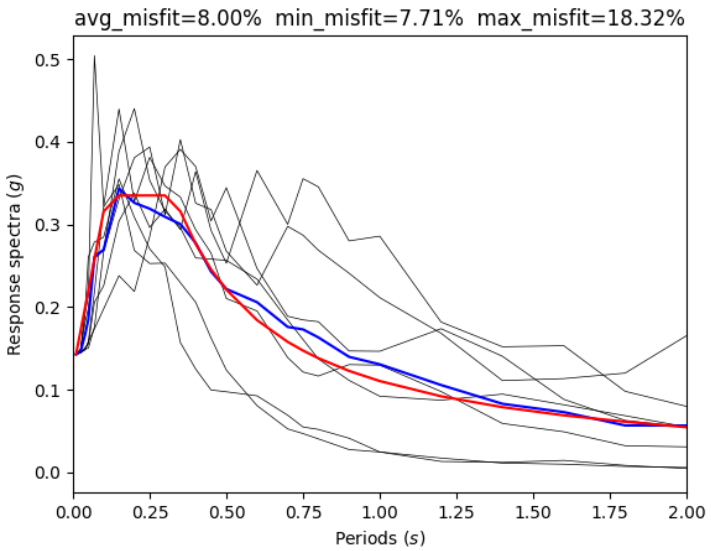


(b)

Figura 11.66 Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - T_R=975 anni.

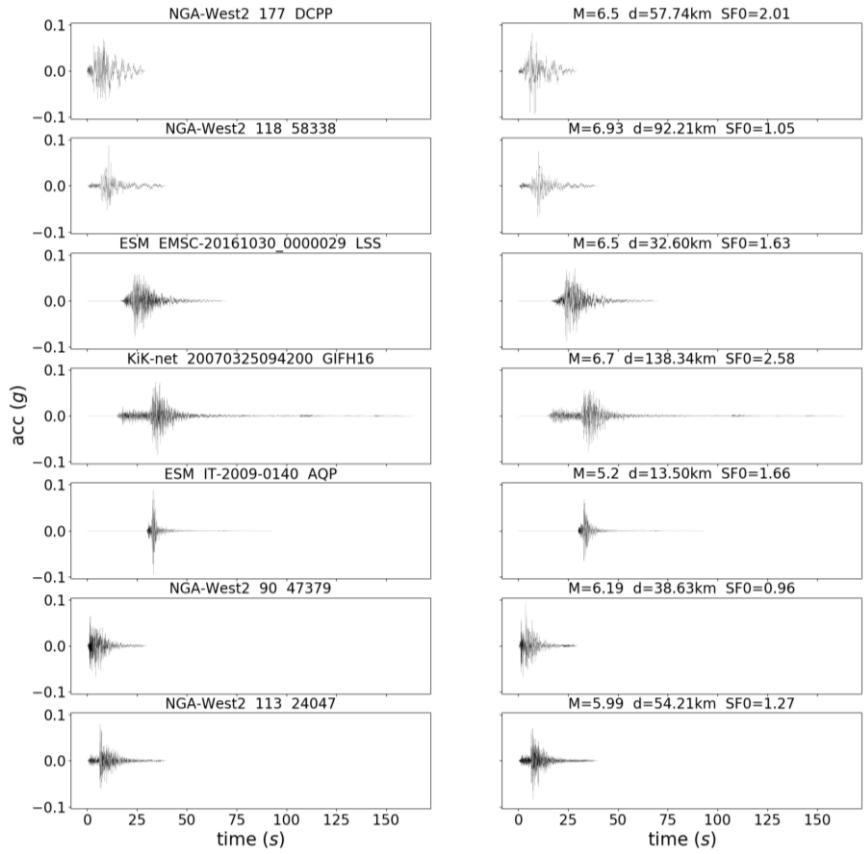


(a)

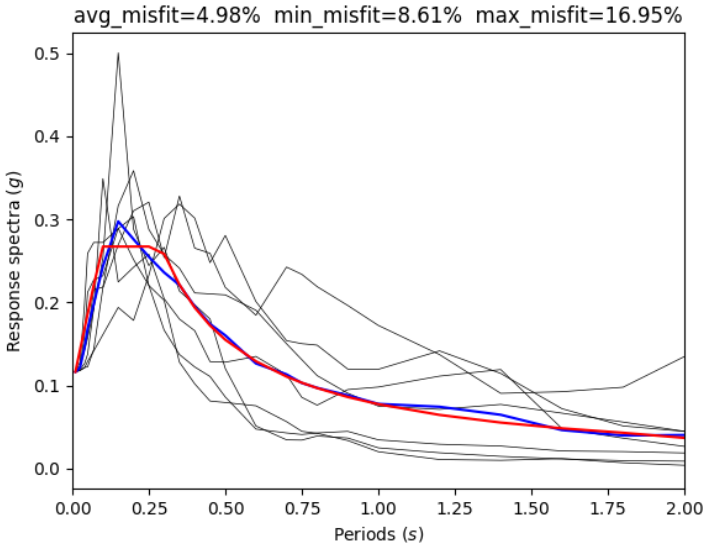


(b)

Figura 11.67 Risultato della selezione relativa al gruppo 6 - T_R=975 anni.

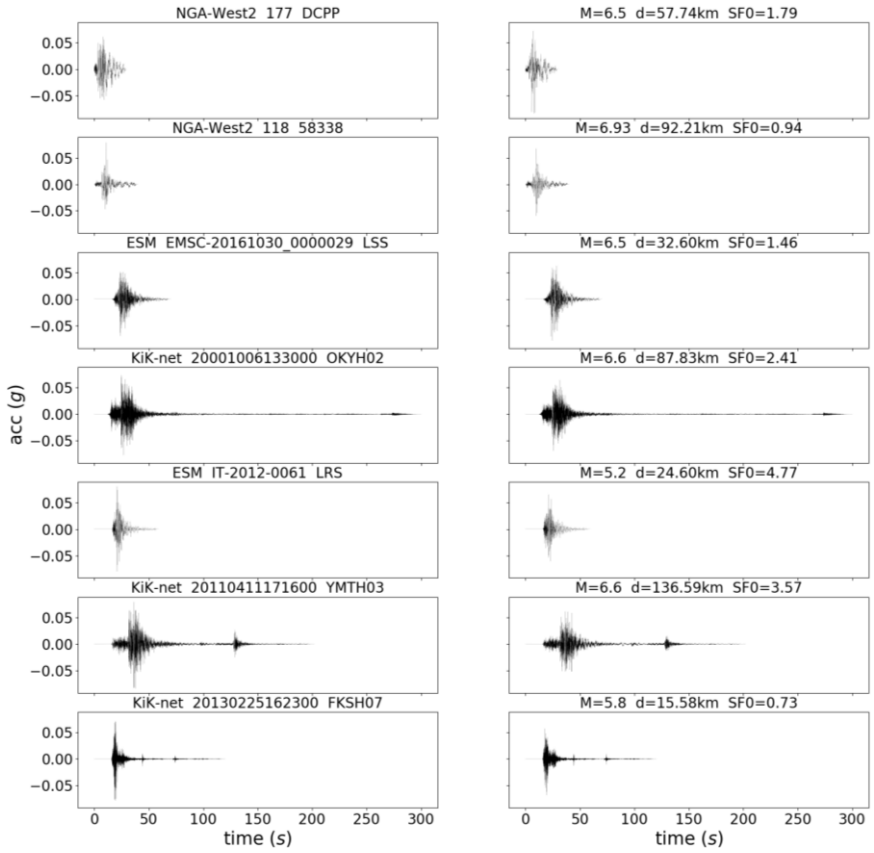


(a)

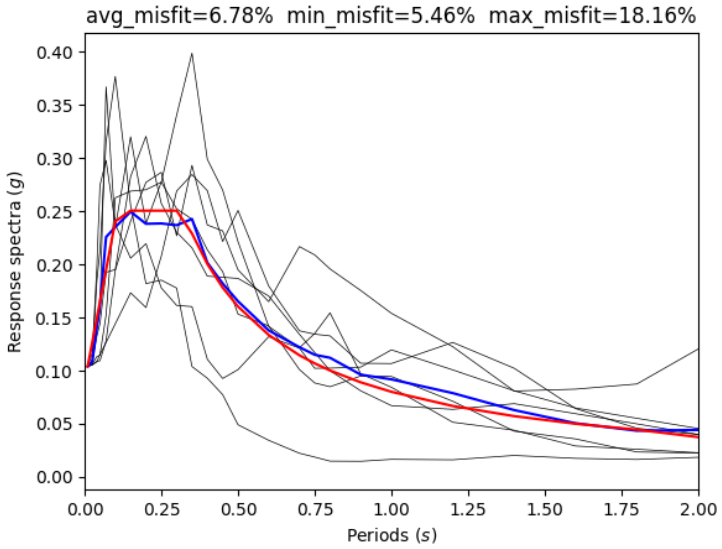


(b)

Figura 11.68 Risultato della selezione relativa al gruppo 7 - T_R=975 anni.

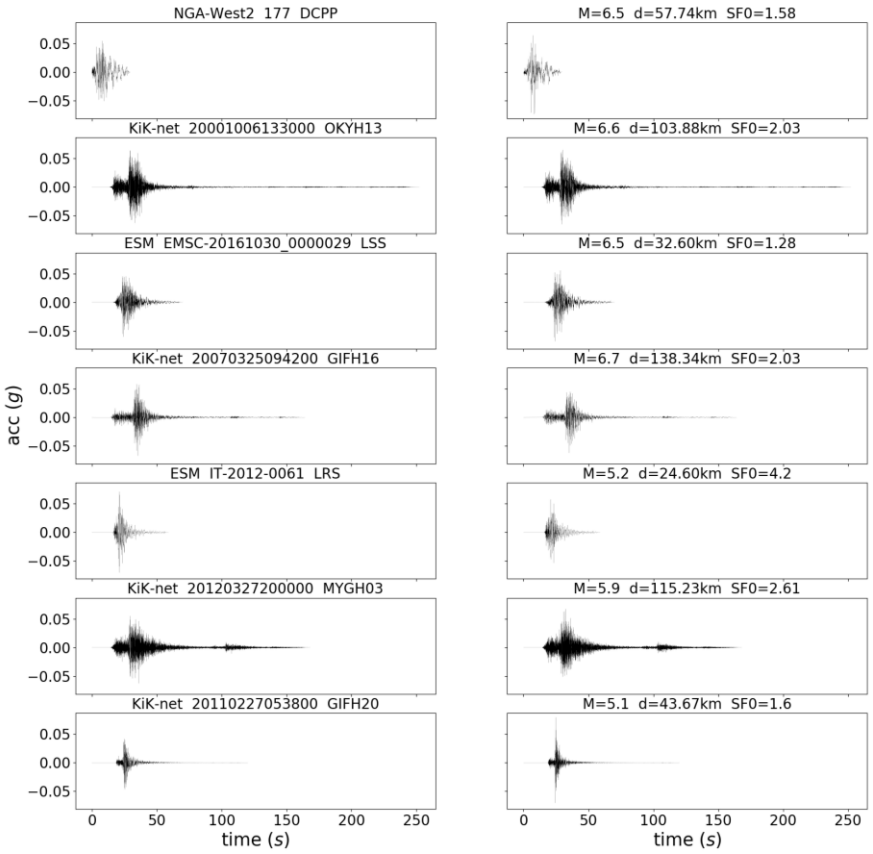


(a)

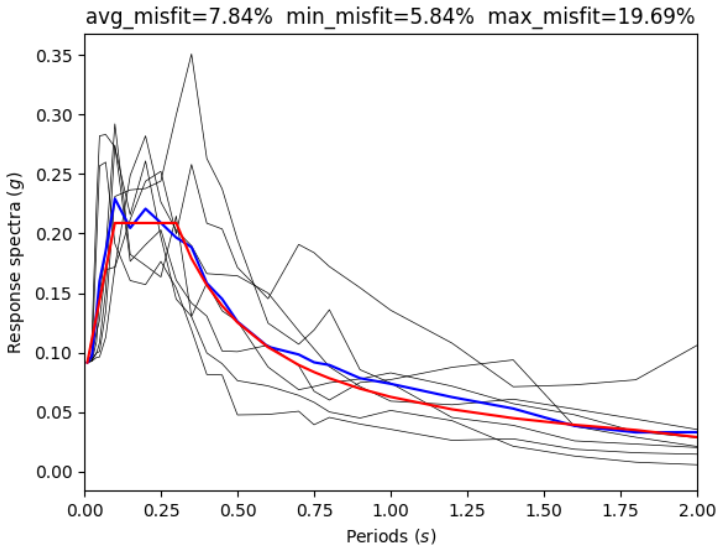


(b)

Figura 11.69 Risultato della selezione relativa al gruppo 8 - T_R=975 anni.

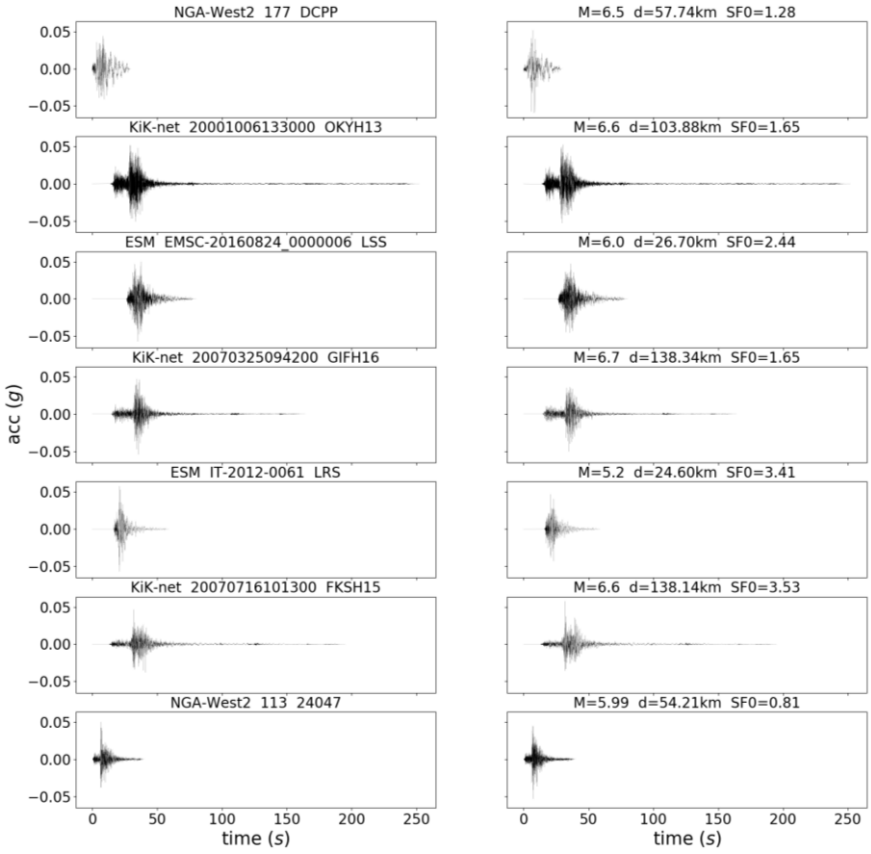


(a)

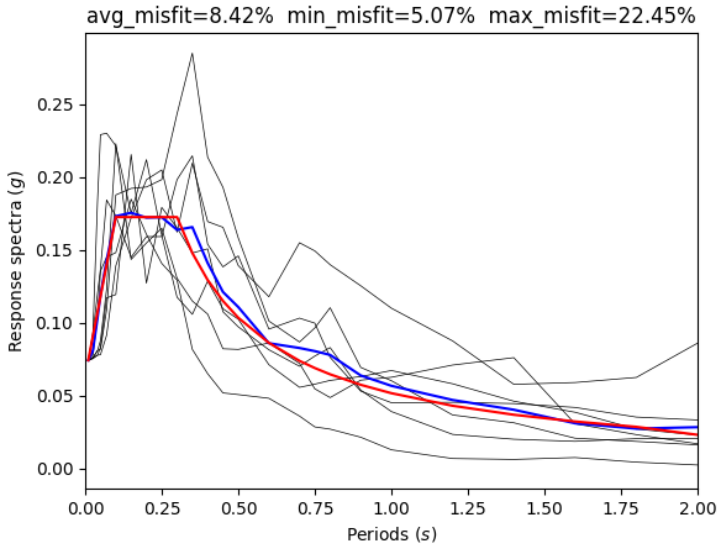


(b)

Figura 11.70 Risultato della selezione relativa al gruppo 9 - T_R=975 anni.

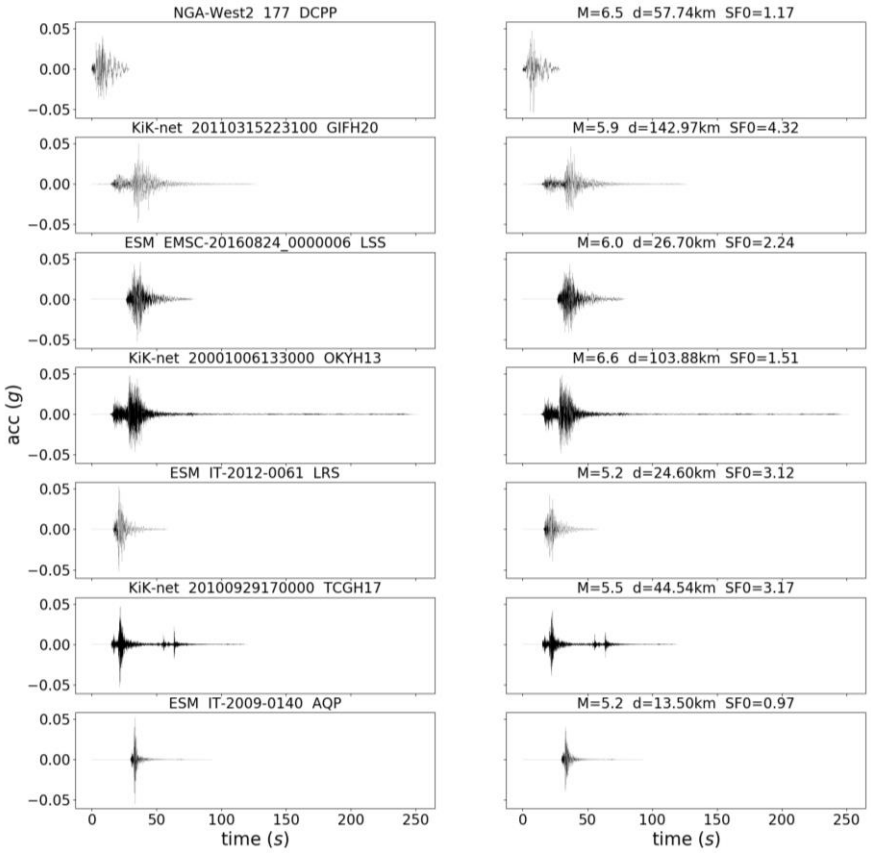


(a)

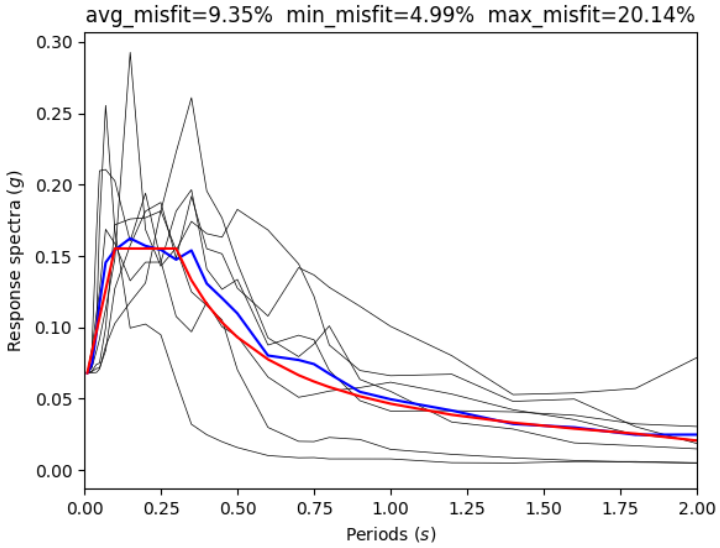


(b)

Figura 11.71 Risultato della selezione relativa al gruppo 10 - T_R=975 anni.



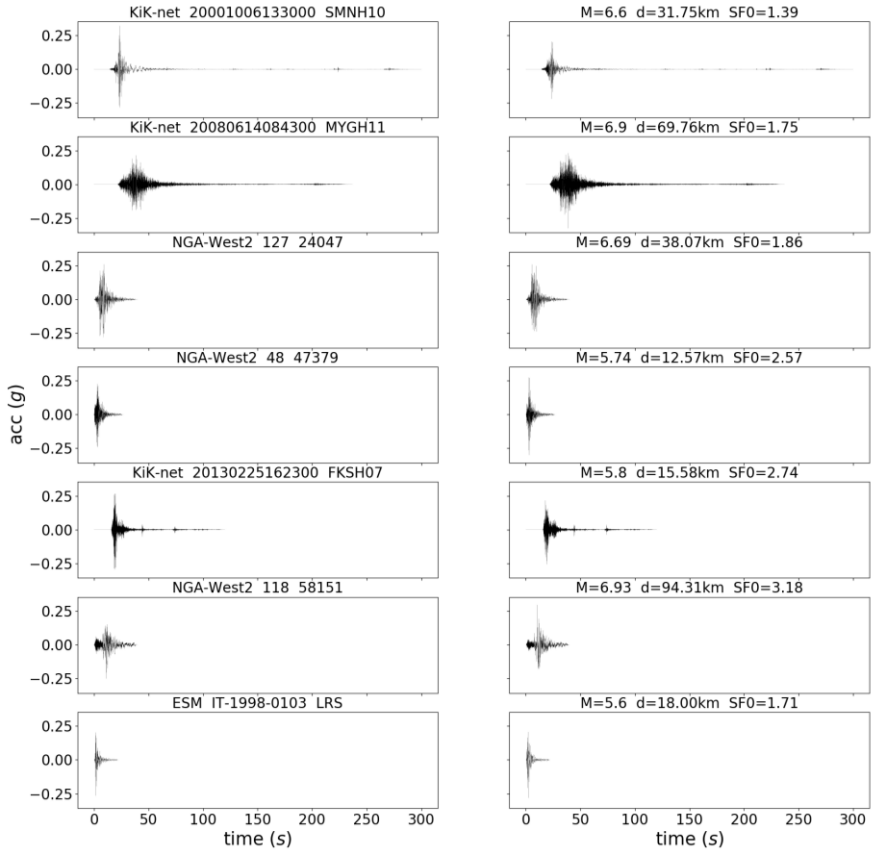
(a)



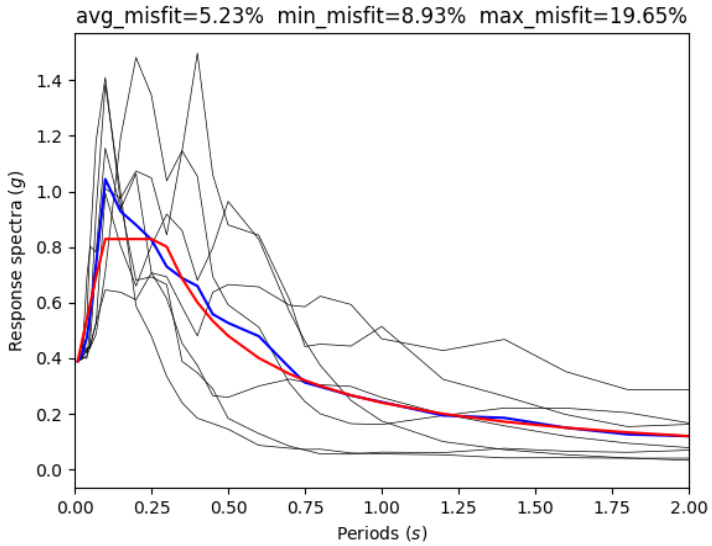
(b)

Figura 11.72 Risultato della selezione relativa al gruppo 11 - T_R=975 anni.

11.9 PERIODO DI RITORNO DI 2475 ANNI

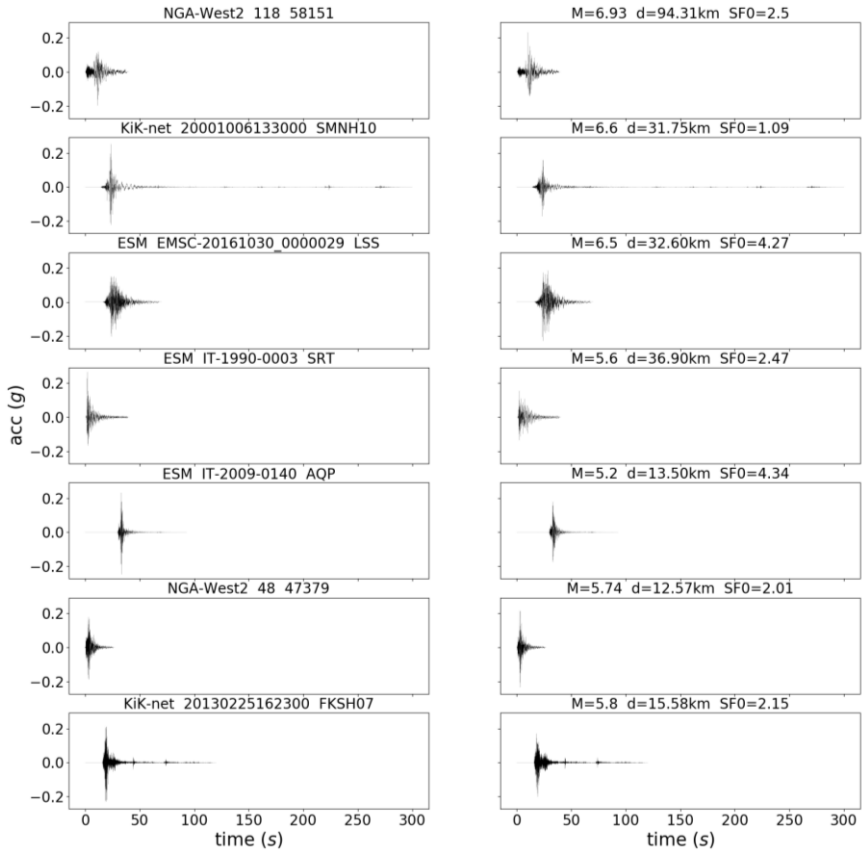


(a)

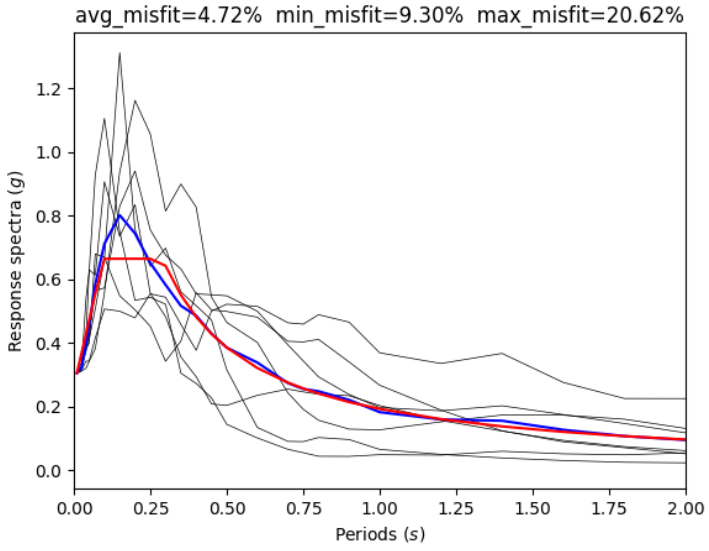


(b)

Figura 11.73 Risultato della selezione relativa al gruppo 1 - T_R=2475 anni.

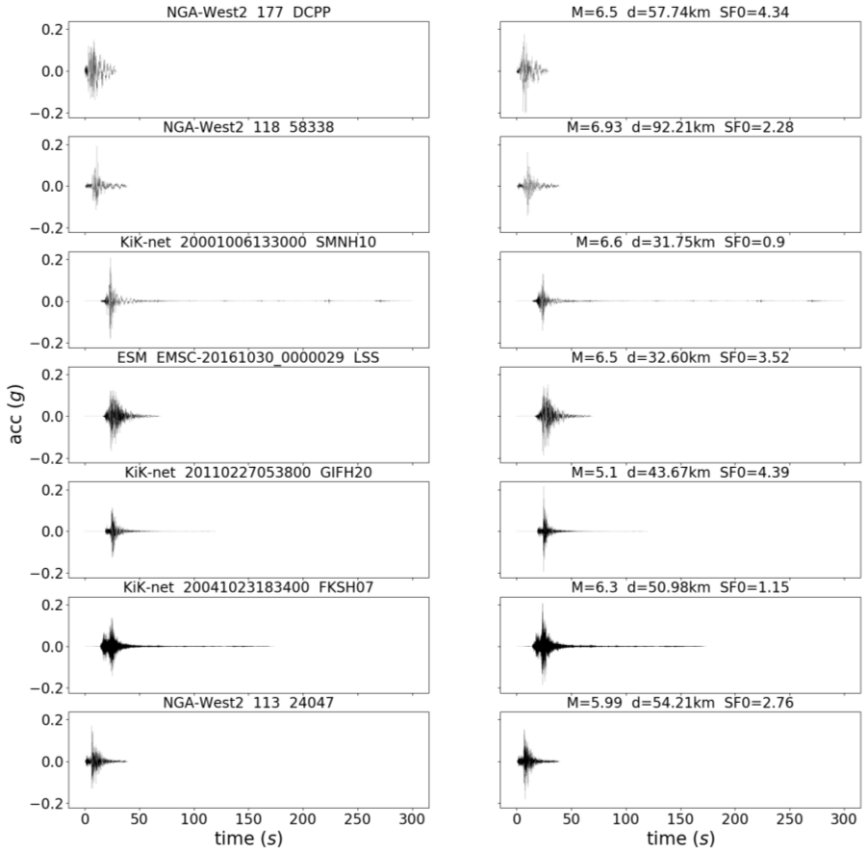


(a)

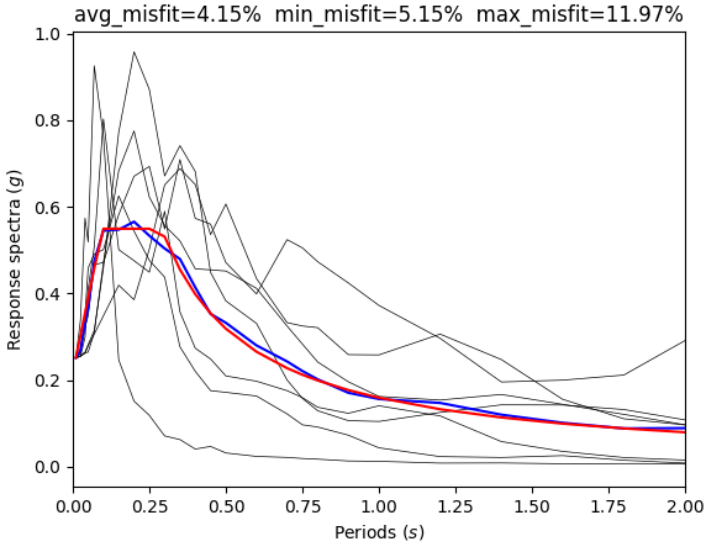


(b)

Figura 11.74 Risultato della selezione relativa al gruppo 2 - T_R=2475 anni.

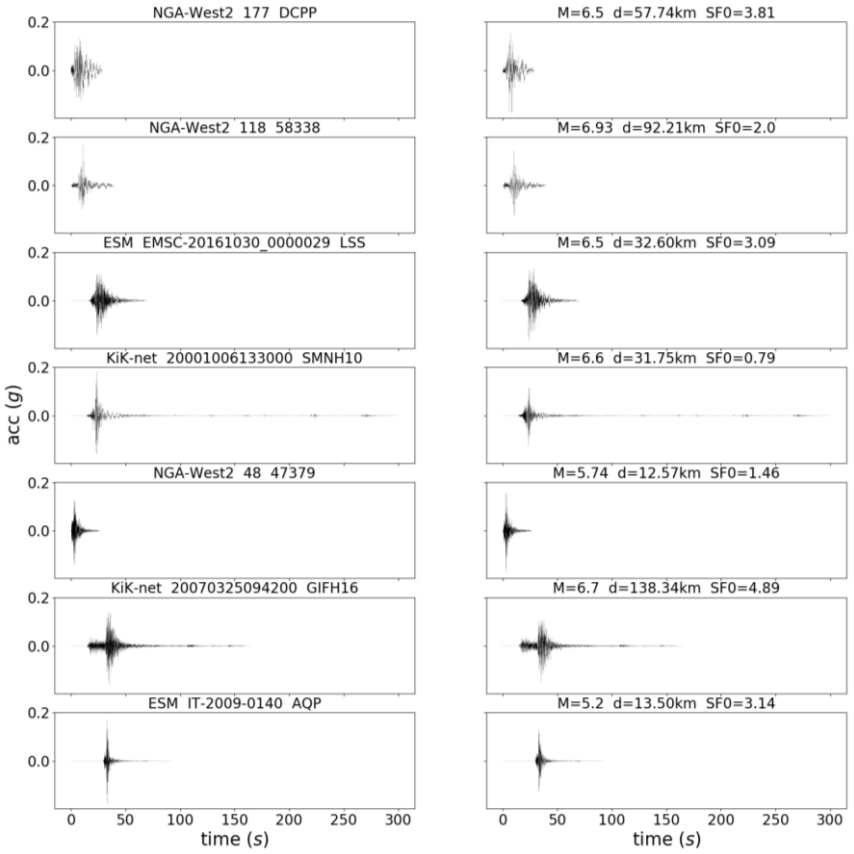


(a)

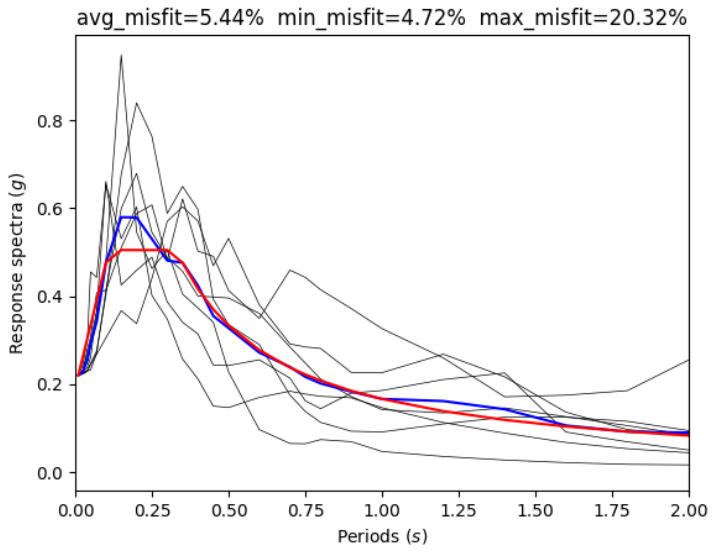


(b)

Figura 11.75 Risultato della selezione relativa al gruppo 3 - T_R=2475 anni.

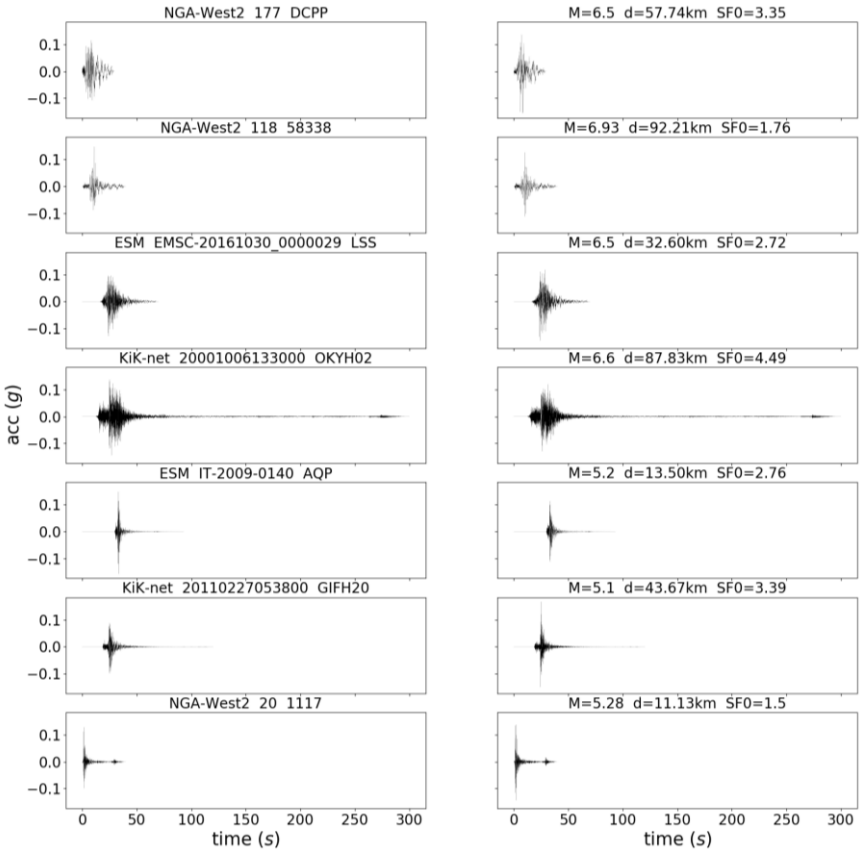


(a)

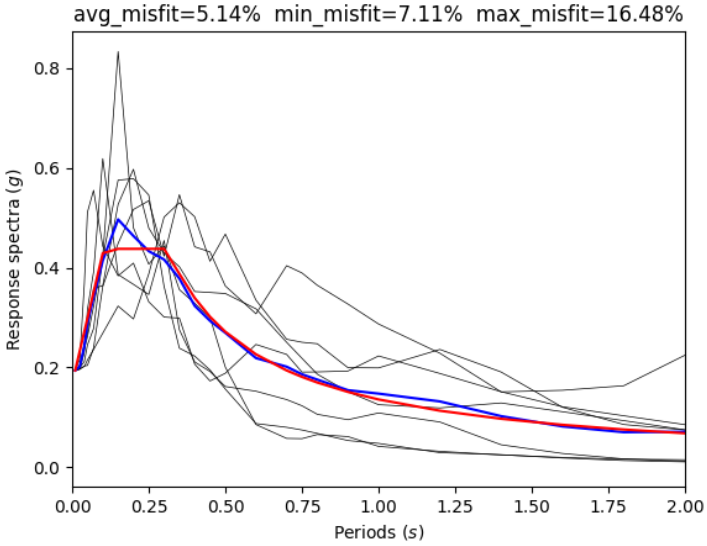


(b)

Figura 11.76 Risultato della selezione relativa al gruppo 4 - T_R=2475 anni.

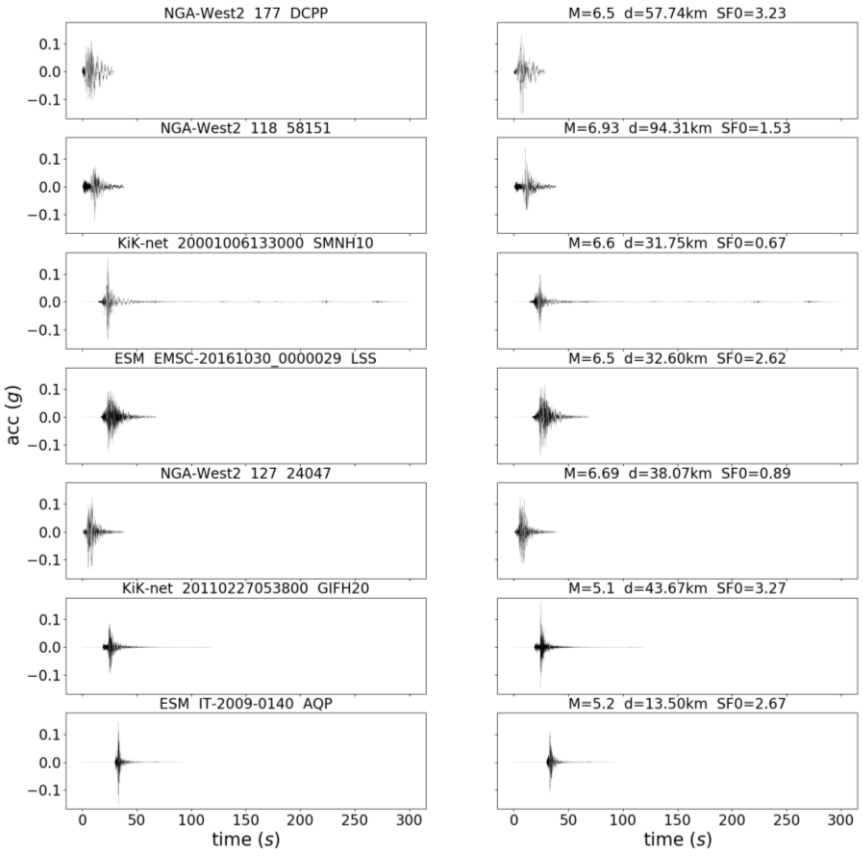


(a)

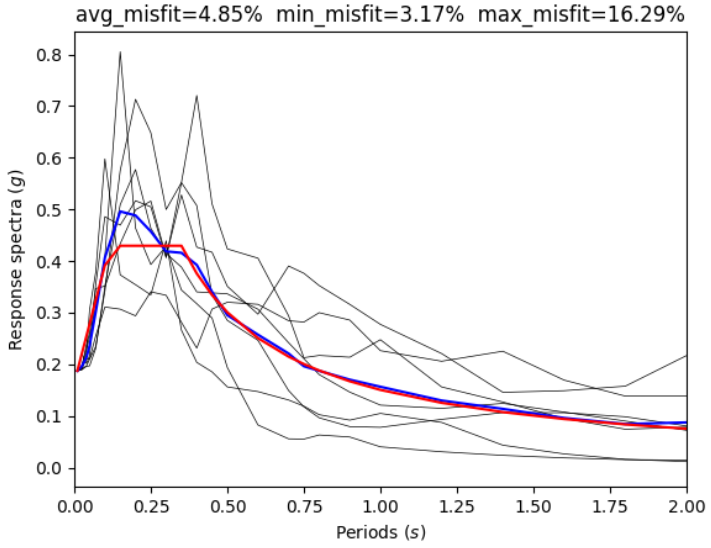


(b)

Figura 11.77 Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - T_R=2475 anni.

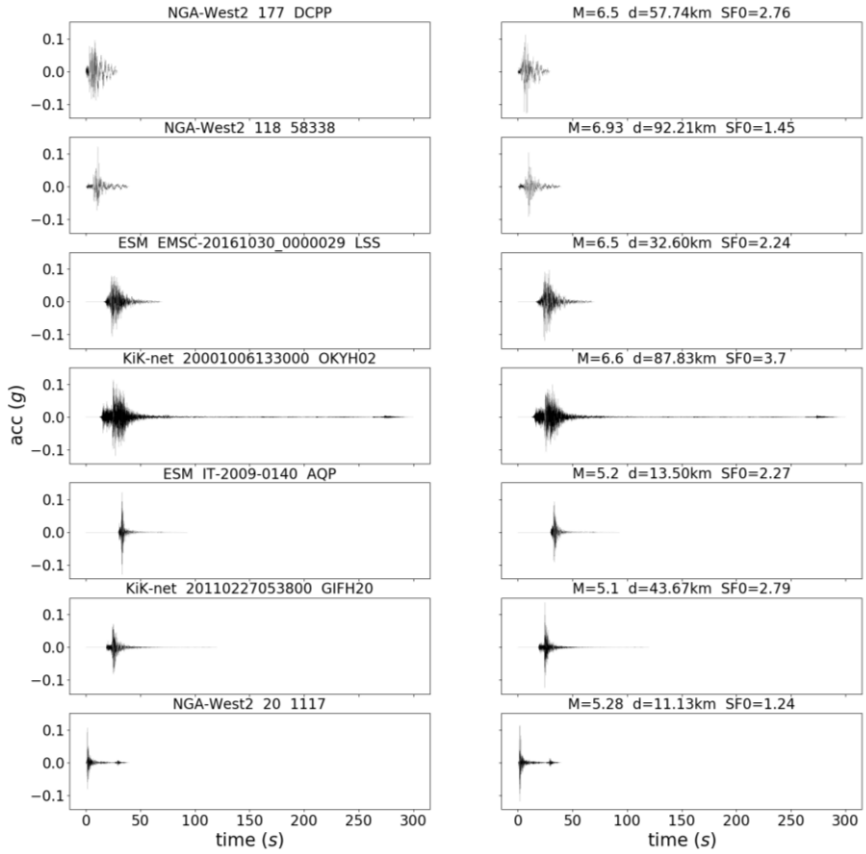


(a)

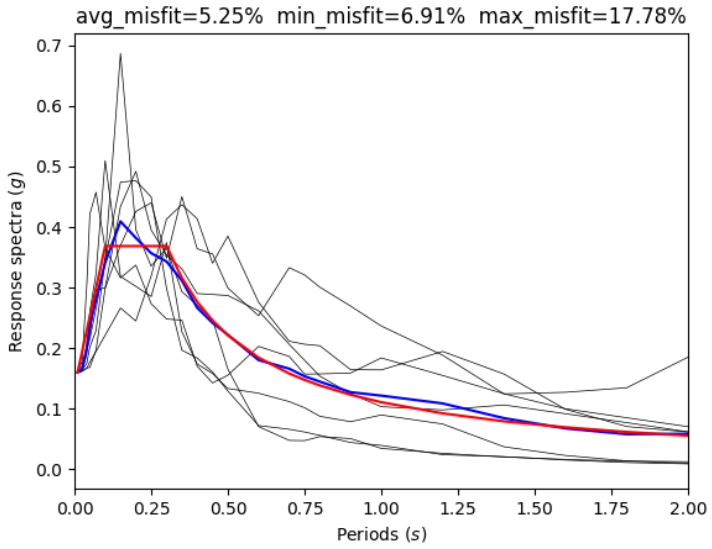


(b)

Figura 11.78 Risultato della selezione relativa al gruppo 6 - T_R=2475 anni.

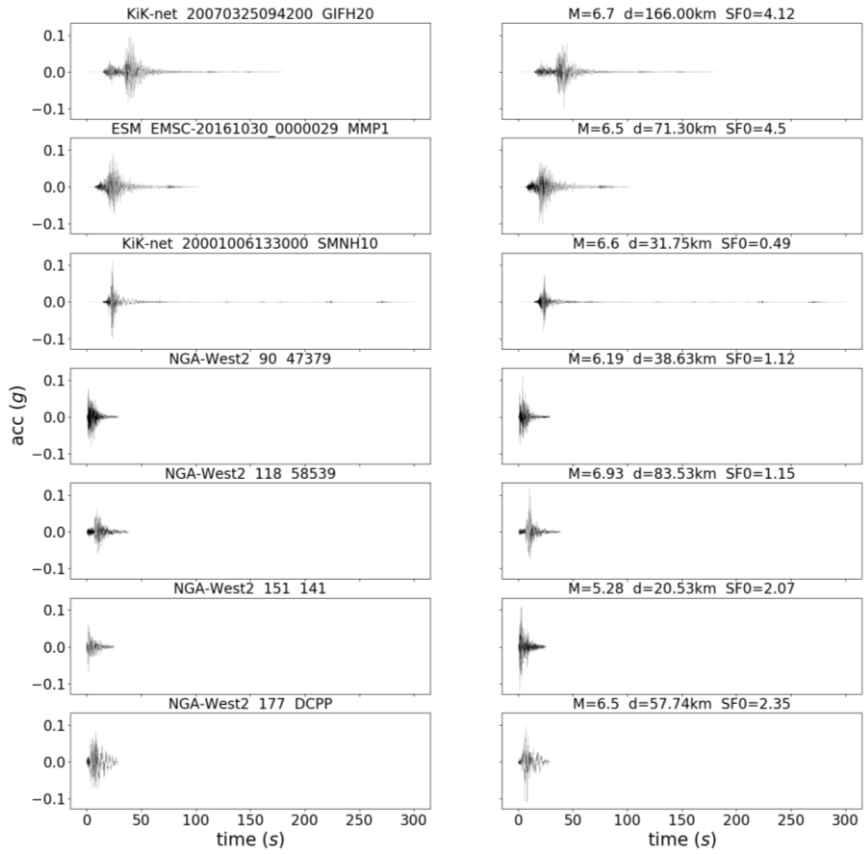


(a)

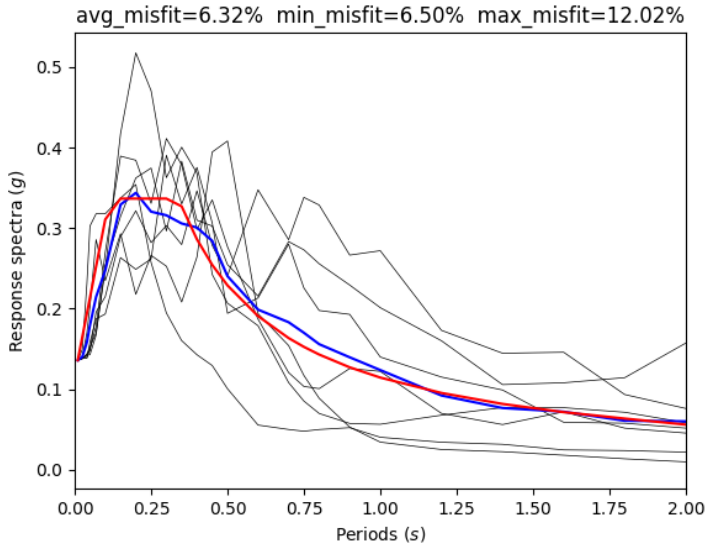


(b)

Figura 11.79 Risultato della selezione relativa al gruppo 7 - T_R=2475 anni.

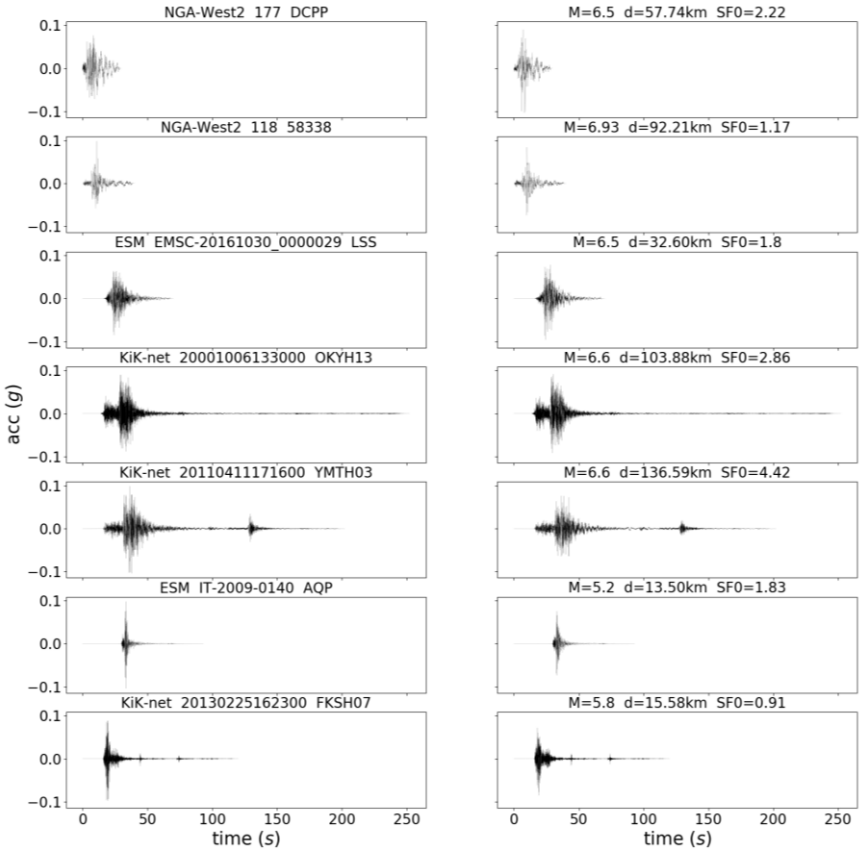


(a)

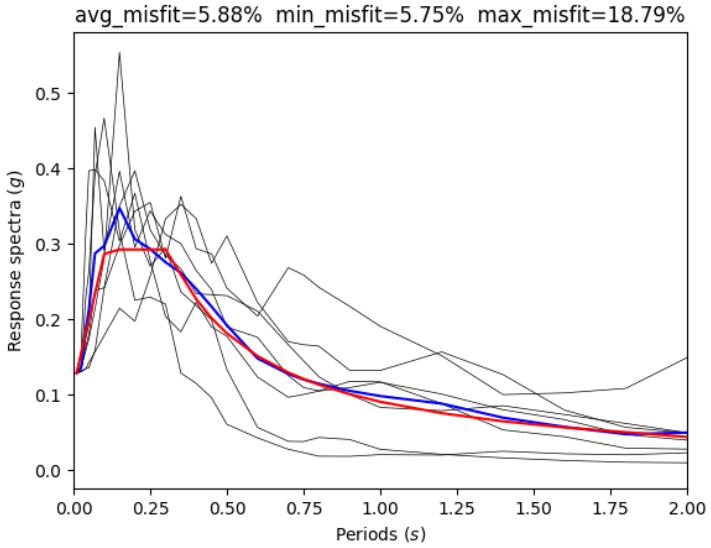


(b)

Figura 11.80 Risultato della selezione relativa al gruppo 8 - T_R=2475 anni.

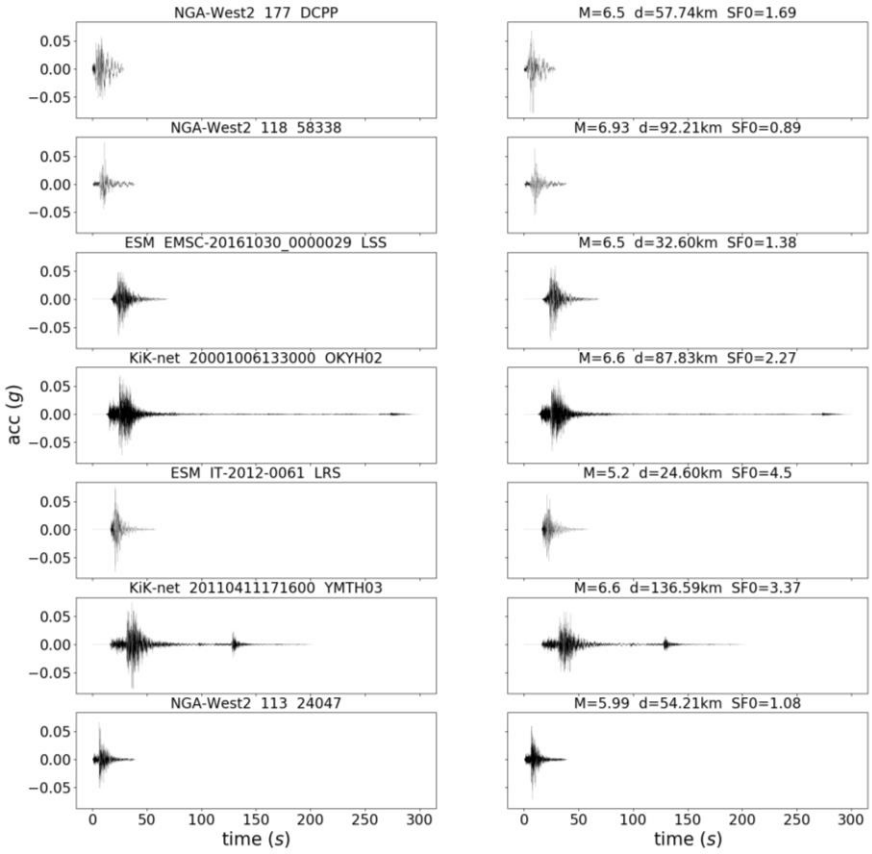


(a)

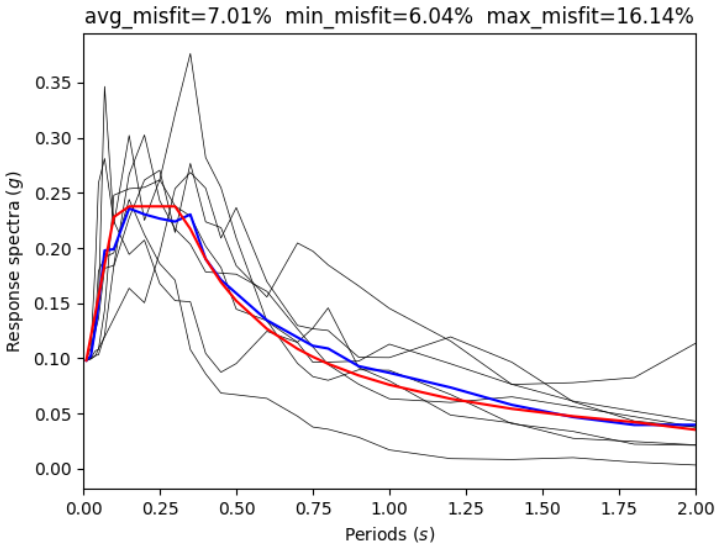


(b)

Figura 11.81 Risultato della selezione relativa al gruppo 9 - T_R=2475 anni.

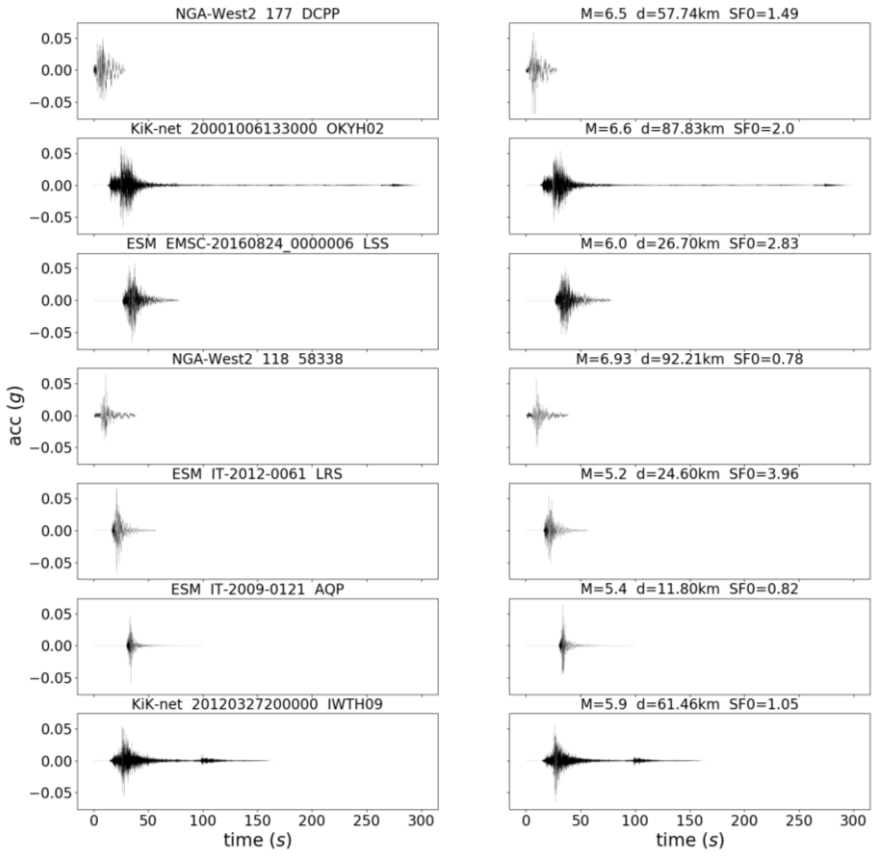


(a)

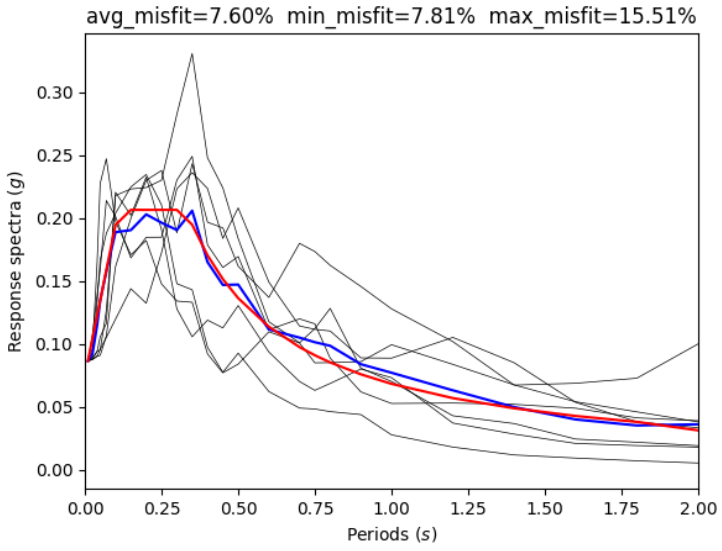


(b)

Figura 11.82 Risultato della selezione relativa al gruppo 10 - T_R=2475 anni.



(a)



(b)

Figura 11.83 Risultato della selezione relativa al gruppo 11 - T_R=2475 anni.

APPENDICE B – DESCRIZIONE DEL PRODOTTO FINALE

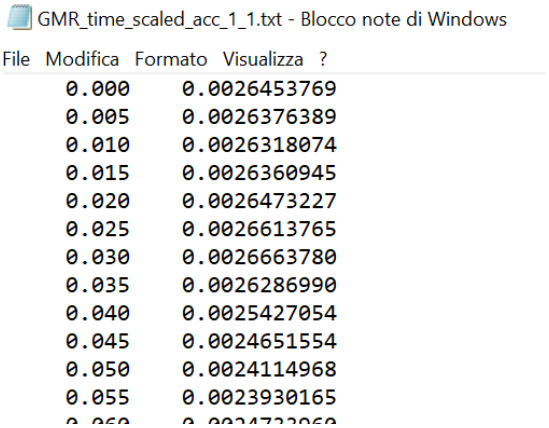
Il prodotto finale è rappresentato da un gruppo di 7 accelerogrammi naturali (7 coppie di componenti orizzontali) registrati su roccia e spettro-compatibili agli spettri di normativa. Il gruppo di accelerogrammi è stato definito in corrispondenza di ciascun nodo della griglia INGV ricadente all'interno della Regione Lombardia (identificato tramite un ID), per i 9 periodi di ritorno considerati.

Ciascun gruppo di accelerogrammi è accompagnato da un file "Readme" contenente diverse informazioni sugli accelerogrammi selezionati e da un file contenente gli spettri di risposta.

Nello specifico, viene fornito un file ZIP associato ad ogni selezione. Il file è denominato in questo modo: ***TR****[periodo di ritorno]****_ID****[ID nodo reticolo di riferimento]****.zip*** *(Esempio:* TR475_ID7168.zip).

Ciascun file ZIP contiene 16 file di testo:

- 14 file di testo denominati **GMR_time_scaled_acc**_*[indice accelogramma]*_*[indicente componente]***.txt** contenenti ciascuno un accelerogramma. *[indice accelerogramma]* è un numero intero che varia da 1 a 7, mentre *[indicente componente]* può assumere il valore 1 o 2 ed indica la componente orizzontale del moto del terreno. Ciascun file è formato da un numero variabile di righe suddivise in due colonne. La prima colonna contiene la serie temporale (in s), la seconda i valori di accelerazione (in g):



- 1 file di testo denominato ***TR****[periodo di ritorno]****_ID****[ID nodo reticolo di riferimento]*****_response_spectra.txt***. contenente gli spettri di risposta considerati. Nello specifico, ciascun file è formato da 30 righe e 11 colonne. La prima riga è una riga di intestazione e contiene i seguenti campi: "Period(s)", "target_spectrum", "sigma(ln)", "mean_spectrum", "RS_1", "RS_2", "RS_3", "RS_4", "RS_5", "RS_6", "RS_7". Le colonne contengono rispettivamente: periodi spettrali (in s) utilizzati per la definizione degli spettri di risposta ("Period(s)"), spettro NTC associato al nodo considerato moltiplicato per 1.3 ("target_spectrum", in g), deviazione standard dello spettro NTC ("sigma(ln)"), spettro medio utilizzato per la valutazione della spettro compatibilità ("mean_spectrum", in g), spettri SRSS dei 7 accelerogrammi (uno per ogni coppia di registrazioni orizzontali) (colonne denominate "RS_1", "RS_2", "RS_3", "RS_4", "RS_5", "RS_6", "RS_7", in g):

TR475_ID7168_response_spectra.txt - Blocco note di Windows

File Modifica Formato Visualizza ?

```
Period(s),target_spectrum,sigma(ln),mean_spectrum,RS_1,RS_2,RS_3,RS_4,RS_5,RS_6,RS_7
0.01,0.1899304,0.0,0.1899304,0.1899304,0.1899304,0.1899304,0.1899304,0.1899304,0.1899304,0.1899304
0.025,0.232441,0.0,0.199766636273,0.19255951979,0.205119443302,0.198336597549,0.194616000272,0.200437507349,0.208710060562,0.198587325087
0.04,0.2749516,0.0,0.249099071855,0.198818875089,0.276282952416,0.242458563487,0.206195545331,0.233141590128,0.323499888815,0.263296087718
0.05,0.303292,0.0,0.304190241726,0.199674144017,0.416599994234,0.263396864555,0.224399584279,0.255959485859,0.422914720286,0.34638689885
0.07,0.3599728,0.0,0.414727481581,0.233843369172,0.873462875662,0.351562041028,0.314358043943,0.315107535264,0.444145242004,0.370613263992
0.1,0.4072068,0.0,0.406033087963,0.355274466199,0.324641755852,0.356393774422,0.569543345905,0.413659580314,0.444160572496,0.378558120551
0.15,0.4072068,0.0,0.481066461154,0.439590965607,0.284958153882,0.516203677543,0.366587583117,0.816660032055,0.471300840102,0.472163975771
0.2,0.4072068,0.0,0.434864295063,0.506264850193,0.181303436681,0.585233712724,0.395461789915,0.470268764262,0.494860077049,0.410657434617
0.25,0.4072068,0.0,0.391833067109,0.523397541126,0.210141661965,0.469959707998,0.421236199946,0.398803048247,0.359589767679,0.359703542802
0.3,0.35291256,0.0,0.351015067014,0.414282677172,0.251401347959,0.420638041533,0.333685105074,0.434516018694,0.27202089826,0.330561380403
0.35,0.30249648,0.0,0.312021775946,0.535415592469,0.179444409115,0.393686187505,0.293722775973,0.348789397402,0.224077186635,0.209016882524
0.4,0.26468442,0.0,0.273076181299,0.432956530336,0.174854671 38,0.345023787305,0.270812408449,0.321849540942,0.19960917431,0.166427156373
0.45,0.23527504,0.0,0.25719418511,0.422887612045,0.216866446604,0.343145985671,0.210090532577,0.293779145636,0.180888132881,0.132701440358
0.5,0.211747536,0.0,0.224552236041,0.355924330355,0.199035952476,0.341171028842,0.208953341737,0.196434669015,0.140589648967,0.129756680893
0.6,0.17645628,0.0,0.179505530307,0.301260566371,0.139522136662,0.311022683444,0.220235451908,0.083615413942 2,0.077578304434,0.123304155387
0.7,0.15124824,0.0,0.164257102085,0.395872726991,0.105867226581,0.245243084274,0.184333467471,0.0563948465461,0.0699489560127,0.0921394067191
0.75,0.141165024,0.0,0.145165997217,0.381568959028,0.0848192572799,0.213875262807,0.139916681967,0.0558988516265,0.0669240166147,0.0731589511973
0.8,0.13234221,0.0,0.134052710699,0.357401166356,0.0707042002032,0.182613038889,0.124531189722,0.0639577347206,0.069881059798,0.0692805852029
0.9,0.11763752,0.0,0.124715127155,0.320447933549,0.0612441900819,0.148099791341,0.155084767427,0.0599741604679,0.0730605185146,0.0550945287012
1.0,0.105873768,0.0,0.108395674369,0.281221614292,0.0646235141475,0.122629783543,0.160129700741,0.0406833622287,0.0564332483399,0.0330484972911
1.2,0.08822814,0.0,0.097494272944,0.223872509586,0.0642514176615,0.116267453914,0.181554170525,0.0309874911593,0.0477739322906,0.0177529354705
1.4,0.07562412,0.0,0.0874664664735,0.147772276735,0.0595860132372,0.126019690694,0.194496731152,0.0239662991486,0.0442082846289,0.0162159697188
1.6,0.066171105,0.0,0.0666105307773,0.150948919331,0.0548311683589,0.108856050949,0.078676135711,0.018995068046,0.0345098950259,0.0194564780198
1.8,0.05881876,0.0,0.0611878424424,0.159831356861,0.0571648015489,0.0913239713256,0.0596529299462,0.0155727000513,0.0333457303985,0.0114234069655
2.0,0.052936884,0.0,0.0644212969526,0.219929220279,0.0626474039898,0.073203148535,0.0435628080431,0.0145066291279,0.03063424043,0.00646562826405
2.5,0.0355261545999,0.0,0.0485609291031,0.172239628734,0.0465042068242,0.0470119523132,0.0415028421759,0.00897966740086,0.0201454623768,0.00354274389692
3.0,0.0246709406944,0.0,0.0390356533588,0.143753170151,0.0335792445234,0.0427442566236,0.0351567347238,0.00627856819438,0.00985287275437,0.00188472654113
3.5,0.0181255890816,0.0,0.0401156428389,0.158288451834,0.0314628976929,0.0452534758172,0.0275314219161,0.00524045822354,0.0116503539962,0.00138244039296
4.0,0.0138774041406,0.0,0.037377702849,0.149089109264,0.0301807646947,0.038846340114,0.0255378155819,0.00437874114073,0.0125376542216,0.00107349492648
```

- 1 file di testo denominato ***TR**[periodo di ritorno]*_***ID**[ID nodo reticolo di riferimento]*_**summary_selection.txt**. contenente le informazioni associate agli accelerogrammi selezionati. Le prime 3 righe contengono gli indici utilizzati per la valutazione della spettro-compatibilità: massimo scarto negativo ("max_negative_misfit", in %), massimo scarto positivo ("max_positive_misfit", in %), scarto medio ("average_misfit", in %). La quarta riga rappresenta una riga di intestazione, mentre le 7 righe successive si riferiscono ciascuna ad uno degli accelerogrammi selezionati. Ciascuna riga contiene i seguenti campi: numero identificativo dell'accelerogramma selezionato ("num"), banca dati (ESM, NGA-West2 o Kik-net) alla quale appartiene l'accelerogramma originario ("source"), id dell'evento che ha generato l'accelerogramma ("event_id"), codice della stazione che ha registrato l'accelerogramma ("station_code"), id dell'accelerogramma all'interno della banca dati originaria ("recID"), componente del moto del terreno selezionata ("component"; il segno '-' indica che sono state selezionate entrambe le component orizzontali), magnitudo dell'evento che ha generato l'accelerogramma ("magnitude"), distanza alla quale è avvenuta la registrazione ("distance", in km), velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità associata al sito di registrazione ("vs30", in m/s), categoria di sottosuolo EC8 associata al sito di registrazione ("EC8"), fattore di scala utilizzato ("scale_factor"), frequenze di taglio utilizzate per la correzione dei segnali provenienti dalla banca dati Kik-net ("flowNS2", "fhighNS2", "flonwEW2", "fhighEW2"):

TR475_ID7168_summary_selection.txt - Blocco note di Windows

File Modifica Formato Visualizza ?

```
max_negative_misfit (%) =  3.775411631437945
max_positive_misfit (%) =  21.694539014775575
average_misfit (%) =  6.6488781914600565
num source event_id station_code recID component magnitude distance vs30 EC8 scale_factor flowNS2 fhighNS2 flonwEW2 fhighEW2
1 NGA-West2 177 DCPP 8167 - 6.5 57.74 1100.0 nan 3.27 nan nan nan nan
2 KiK-net 20001006133000 OKYH07 OKYH070010061330 - 6.6 25.30263935 929.2475153809747 nan 0.85 0.05 100.0 0.05 100.0
3 ESM EMSC-20161030_0000029 LSS nan - 6.5 32.6 1091.0 A 2.66 nan nan nan nan
4 KiK-net 20070325094200 GIFH16 GIFH160703250942 - 6.7 138.3448209 830.7692307692308 nan 4.22 0.05 100.0 0.05 100.0
5 ESM IT-2009-0140 AQP nan - 5.2 13.5 836.0 A 2.70 nan nan nan nan
6 NGA-West2 90 47379 455 - 6.19 38.63 1428.14 nan 1.57 nan nan nan nan
7 NGA-West2 113 24047 703 - 5.99 54.21 996.43 nan 2.08 nan nan nan nan
```