

**INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DELLA DIGA DI GIUDEA
A GELLO NEL COMUNE DI PISTOIA (PT)**



PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato	Nome Elaborato:	Scala:
ET07	RELAZIONE SISMICA CORPO DIGA	-
		Data: 27/12/2019

Settore:  Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488 <small>Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000</small>	
PROGETTAZIONE : PROGETTISTA - PROJECT MANAGER : ING. GIOVANNI SIMONELLI GEOLOGO: DOTT. GEOL. FILIPPO LANDINI ESPROPRI: GEOM. ANDREA PATRIARCHI	COLLABORATORI : DOTT. GEOL. CARLO FERRI GEOM. MATTEO MASI
CONSULENTI TECNICI :  ING. DAVID SETTESOLDI  DOTT. GEOL. SIMONE FIASCHI  ING. GIOVANNI CANNATA	COMMESSA I.T. : INGT-TPLPD-PBAAC252 RESPONSABILE COMMITTENTE : ING. CRISTIANO AGOSTINI
DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANE :  ING. PAOLO PIZZARI	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : ING. LEONARDO ROSSI

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
01	27/12/2019	Prima Emissione	Catella	Settesoldi

INDICE

1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3	PERICOLOSITÀ SISMICA.....	7
3.1	RISPOSTA SISMICA LOCALE	7
3.1.1	<i>Spettri di risposta in accelerazione e accelerogrammi</i>	<i>7</i>
4	AZIONI INERZIALI DELL'ACQUA CONTENUTA NEL SERBATOIO	11
A.	SERIE TEMPORALI ACCELEROGRAMMI	13
	ACCELEROGRAMMI SLO	13
	ACCELEROGRAMMI SLD	16
	ACCELEROGRAMMI SLV	20
	ACCELEROGRAMMI SLC.....	23

ELENCO FIGURE

Figura 3-1 – Spettri di risposta in accelerazione SLO (Tr = 120 anni).....	8
Figura 3-2 – Spettri di risposta in accelerazione SLD (Tr = 201 anni).....	8
Figura 3-3 – Spettri di risposta in accelerazione SLV (Tr = 1898 anni).....	9
Figura 3-4 – Spettri di risposta in accelerazione SLC (Tr = 2475 anni).....	9
Figura A-1 – Serie temporale accelerogramma SLO M1.....	13
Figura A-2 – Serie temporale accelerogramma SLO M2.....	13
Figura A-3 – Serie temporale accelerogramma SLO M3.....	14
Figura A-4 – Serie temporale accelerogramma SLO M4.....	14
Figura A-5 – Serie temporale accelerogramma SLO M5.....	15
Figura A-6 – Serie temporale accelerogramma SLO M6.....	15
Figura A-7 – Serie temporale accelerogramma SLO M7.....	16
Figura A-8 – Serie temporale accelerogramma SLD M1.....	16
Figura A-9 – Serie temporale accelerogramma SLD M2.....	17
Figura A-10 – Serie temporale accelerogramma SLD M3.....	17
Figura A-11 – Serie temporale accelerogramma SLD M4.....	18
Figura A-12 – Serie temporale accelerogramma SLD M5.....	18
Figura A-13 – Serie temporale accelerogramma SLD M6.....	19
Figura A-14 – Serie temporale accelerogramma SLD M7.....	19
Figura A-15 – Serie temporale accelerogramma SLV M1.....	20
Figura A-16 – Serie temporale accelerogramma SLV M2.....	20
Figura A-17 – Serie temporale accelerogramma SLV M3.....	21
Figura A-18 – Serie temporale accelerogramma SLV M4.....	21
Figura A-19 – Serie temporale accelerogramma SLV M5.....	22
Figura A-20 – Serie temporale accelerogramma SLV M6.....	22
Figura A-21 – Serie temporale accelerogramma SLV M7.....	23
Figura A-22 – Serie temporale accelerogramma SLC M1.....	23
Figura A-23 – Serie temporale accelerogramma SLC M2.....	24
Figura A-24 – Serie temporale accelerogramma SLC M3.....	24
Figura A-25 – Serie temporale accelerogramma SLC M4.....	25
Figura A-26 – Serie temporale accelerogramma SLC M5.....	25
Figura A-27 – Serie temporale accelerogramma SLC M6.....	26
Figura A-28 – Serie temporale accelerogramma SLC M7.....	26

ELENCO TABELLE

Tabella 3-1 – Parametri sismici di base SLO, SLD, SLV e SLC.	7
Tabella 3-2 – Parametri dello spettro di risposta normalizzato ottenuto dalla risposta sismica locale.	10
Tabella 4-1 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite di esercizio SLO e SLD per la sezione CR_04.....	11
Tabella 4-2 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite ultimi SLV e SLC per la sezione CR_04.....	11
Tabella 4-3 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite di esercizio SLO e SLD per le sezioni CR_06 e CR_08.....	12
Tabella 4-4 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite ultimi SLV e SLC per le sezioni CR_06 e CR_08.....	12

1 PREMESSA

La presente relazione geotecnica è parte integrante del progetto definitivo degli interventi di adeguamento della diga di Giudea a Gello nel Comune di Pistoia (PT).

La relazione sismica del corpo diga è redatta in conformità delle normative e raccomandazioni di riferimento elencate al successivo paragrafo.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di riferimento è la seguente:

- **Legge n. 64 del 02/02/1974**
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988**
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- **D.M. 16 Gennaio 1996**
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- **Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.**
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- **Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.**
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.
- **Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)**
- **Circolare 617 del 02/02/2009**
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- **Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (D.M. 26 Giugno 2014)**
- **Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018)**
- **Istruzioni MIT DG Dighe Luglio 2019**
Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 26 Giugno 2014 e al D.M. 17 Gennaio 2018 in merito alle verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere accessorie.
- **Procedura MIT DG Dighe Marzo 2019**
Procedura per la rivalutazione sismica delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere accessorie.
- **Circolare n. 7 del 21/01/2019**
Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

3 PERICOLOSITÀ SISMICA

I parametri sismici del sito sono calcolati in base a quanto prescritto dal D.M. del 26 Giugno 2014 relativamente agli interventi eseguiti su nuove dighe come indicato nel cap. C.7.7.

Per la definizione della azioni sismiche, l'invaso di Gello è considerato come una **diga strategica** in quanto a prevalente utilizzazione potabile.

La **vita nominale** V_N è assunta pari a **100 anni** e il coefficiente d'uso C_U pari a 2, di conseguenza la **vita di riferimento** V_R è pari a **200 anni** in coerenza con la tabella C.2 del succitato Decreto.

I parametri sismici di base a_g , F_0 e T_c^* , riportati nella Tabella 3-1, sono ricavati per le seguenti coordinate:

- Longitudine FI: 43.960117 (ED50)
- Latitudine LA: 10.883661 (ED50)

Stato limite	P_{Vr} [%]	T_r [anni]	a_g [g]	a_g [m/s ²]	F_0	T_c^* [s]
SLO	81	120	0.103	1.010	2.421	0.271
SLD	63	201	0.126	1.236	2.414	0.279
SLV	10	1898	0.274	2.688	2.398	0.309
SLC	5	2475	0.298	2.923	2.397	0.317

Tabella 3-1 – Parametri sismici di base SLO, SLD, SLV e SLC.

3.1 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Al fine di aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche considerate nella presente progettazione sono determinate mediante un'analisi di risposta sismica locale.

Come riportato negli elaborati ET.04, la risposta sismica locale ha permesso di definire le modifiche che il segnale sismico subisce, a causa delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sito in oggetto, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Si ricorda che la definizione degli input sismici relativi agli stati limite SLO, SLD, SLV e SLC sono ottenuti mediante il codice di calcolo REXEL (Iervolino et al., 2010), che consente la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle NTC 2018.

Si ricorda, inoltre, che il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima β_s , attesa al sito è assunto pari a **1**.

3.1.1 SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE E ACCELEROGRAMMI

Nelle figure seguenti sono riportati i confronti tra lo spettro di risposta in accelerazione derivante dalla media degli spettri ottenuti dai n. 7 accelerogrammi utilizzati come input e gli spettri di normativa per le categorie di sottosuolo B e C, nonché lo spettro di risposta ottenuto dall'analisi di risposta sismica locale normalizzato.

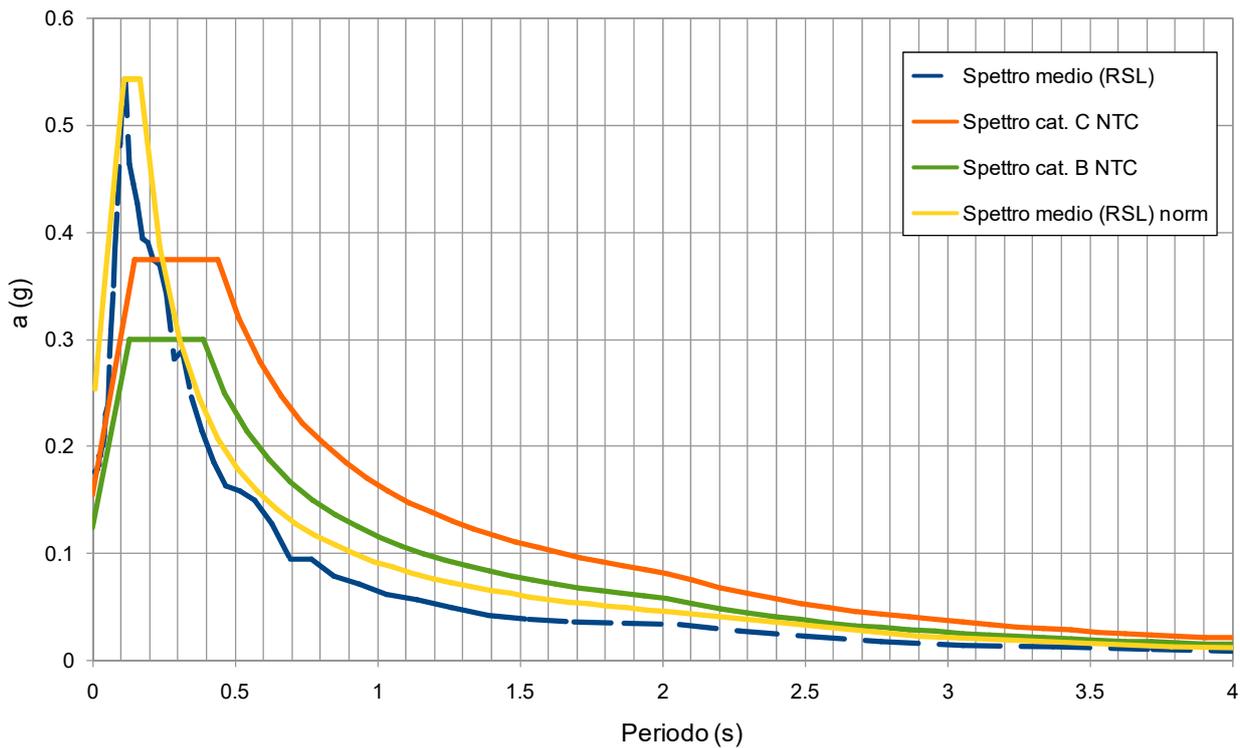


Figura 3-1 – Spettri di risposta in accelerazione SLO (Tr = 120 anni).

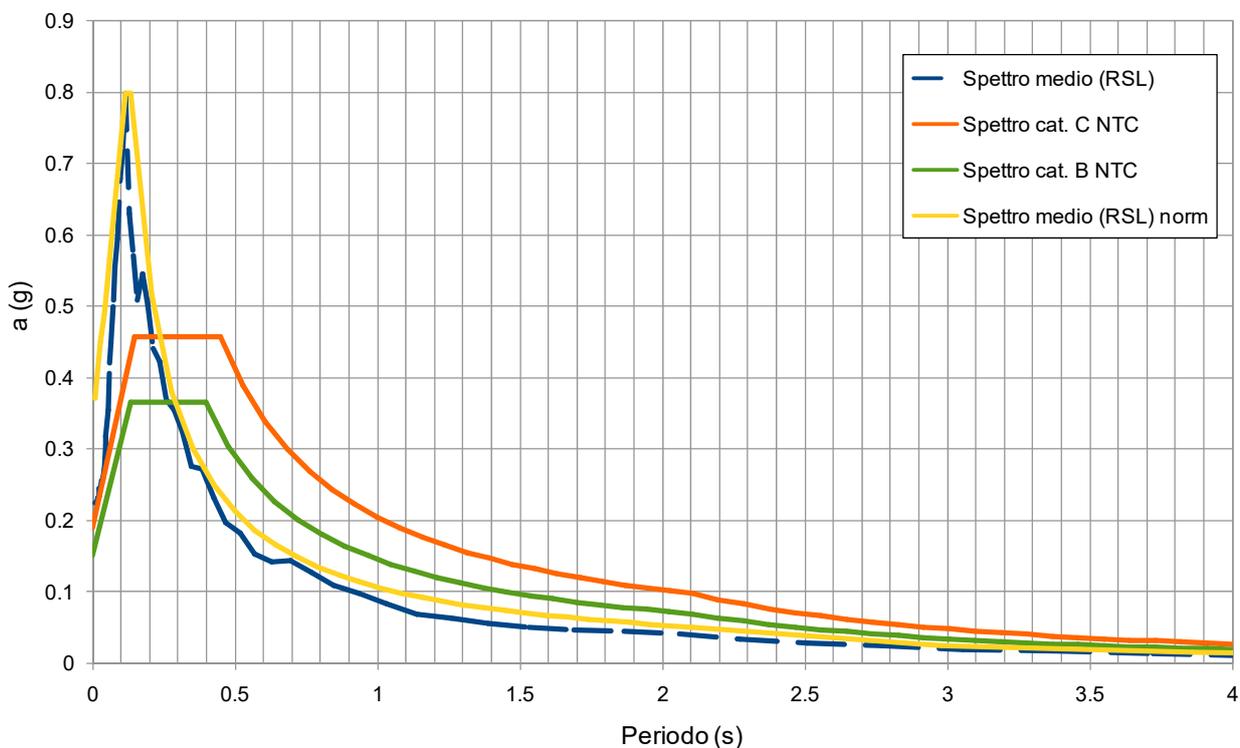


Figura 3-2 – Spettri di risposta in accelerazione SLD (Tr = 201 anni).

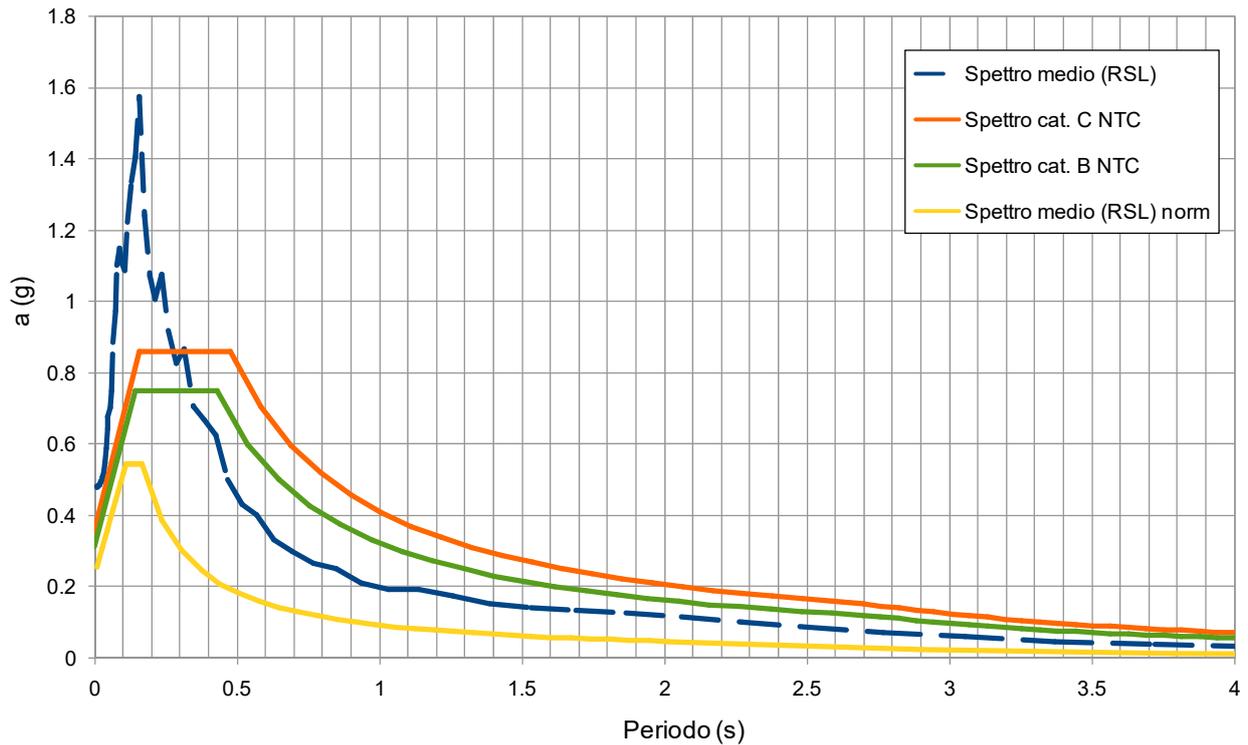


Figura 3-3 – Spettri di risposta in accelerazione SLV (Tr = 1898 anni).

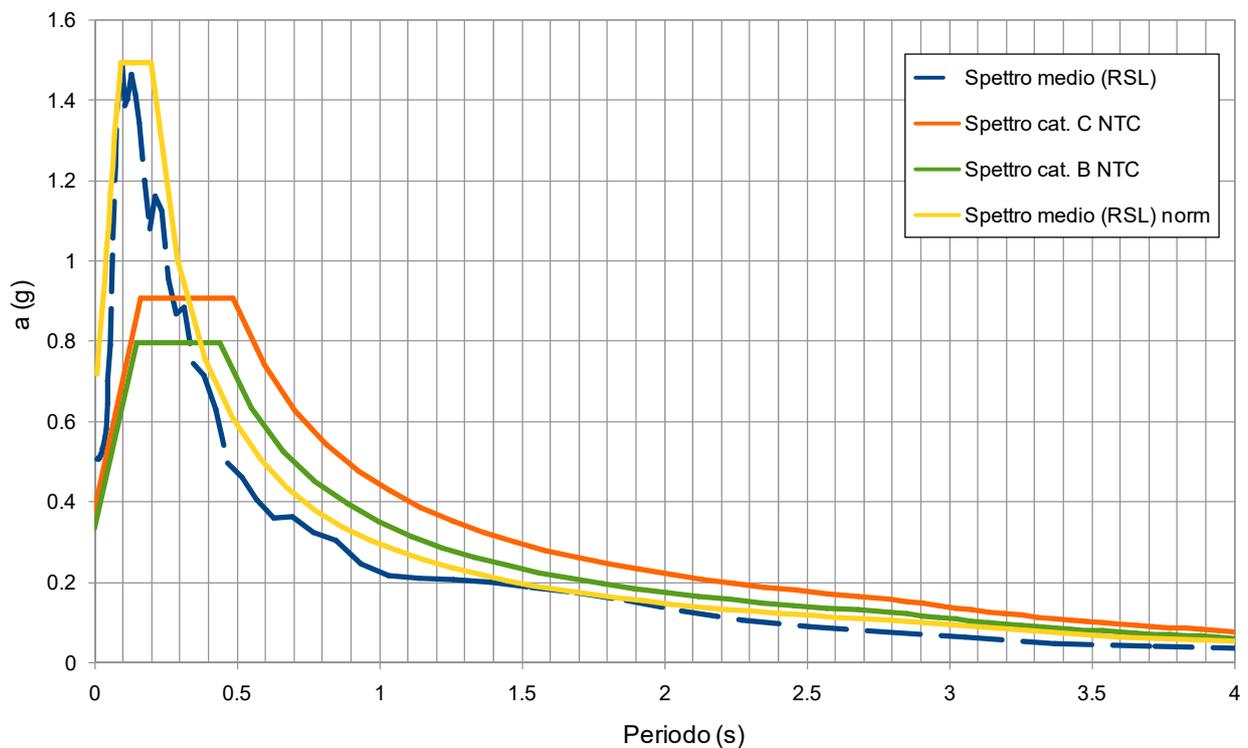


Figura 3-4 – Spettri di risposta in accelerazione SLC (Tr = 2475 anni).

Nella Tabella 3-2 sono riportati per ciascuno stato limite i principali parametri dello spettro di risposta normalizzato: il coefficiente amplificativo S che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche; il periodo T_B corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante; il periodo T_C corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

Stato limite	S	T_b [s]	T_c [s]
SLO	2.178	0.110	0.168
SLD	2.622	0.117	0.133
SLV	2.395	0.158	0.174
SLC	2.088	0.091	0.197

Tabella 3-2 – Parametri dello spettro di risposta normalizzato ottenuto dalla risposta sismica locale.

Per ogni stato limite, la risposta sismica locale ha permesso la ricostruzione di n. 7 accelerogrammi rappresentativi della sismicità del sito.

Gli accelerogrammi forniti descrivono la sola componente orizzontale dell'azione sismica come indicato al punto 3.2.3.1 delle N.T.C. 2008 e sono riprodotti in Appendice alla presente relazione.

4 AZIONI INERZIALI DELL'ACQUA CONTENUTA NEL SERBATOIO

Nelle verifiche sismiche è introdotto sul paramento di monte un carico aggiuntivo che rappresenta l'azione inerziale dell'acqua definito in coerenza con il cap. C.7.7.3 del D.M. 26 Giugno 2014.

Le azioni di inerzia dell'acqua sono calcolate assimilandole ad una distribuzione di pressione sul paramento di monte secondo la seguente espressione:

$$p = a \cdot \rho \cdot c \cdot y_0$$

dove a è l'accelerazione massima al sito, ρ la massa per unità di volume dell'acqua, y_0 la differenza di quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto più depresso dell'alveo naturale al piede del paramento e il parametro c è calcolato tramite l'espressione:

$$c = \frac{c_m}{2} \left[\frac{y}{y_0} \left(2 - \frac{y}{y_0} \right) + \sqrt{\frac{y}{y_0} \left(2 - \frac{y}{y_0} \right)} \right]$$

in cui y è la differenza di quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto generico del paramento a cui è associata la pressione p , mentre $c_m = -0.0073\alpha + 0.7412$ avendo indicato con α l'inclinazione del paramento rispetto alla verticale espresso in gradi sessagesimali. Per $\alpha \geq 60^\circ$ viene assunto $c_m = 0.3$.

L'accelerazione massima al sito tiene conto dei risultati dell'analisi di risposta sismica locale e, in particolare, del coefficiente amplificativo S funzione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche.

La determinazione delle azioni sul paramento del corpo diga è calcolata considerando il livello idrometrico associato alla quota di massima regolazione di 185.7 m s.l.m. nelle verifiche sismiche con invaso pieno.

Nelle tabelle seguenti sono riportati, per ciascuno stato limite, i risultati del calcolo delle azioni inerziali dell'acqua separatamente per ciascuna sezione di calcolo del corpo diga.

y [m]	c	p SLO [kg/m ²]	p_x SLO [kg/m ²]	p_y SLO [kg/m ²]	p SLD [kg/m ²]	p_x SLD [kg/m ²]	p_y SLD [kg/m ²]
0.0	0.00	0	0	0	0	0	0
2.6	0.16	390	378	97	575	556	143
5.3	0.24	573	555	143	845	818	210
7.9	0.29	676	655	168	996	965	248
10.6	0.30	710	687	177	1046	1013	260

Tabella 4-1 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite di esercizio SLO e SLD per la sezione CR_04.

y [m]	c	p SLV [kg/m ²]	p_x SLV [kg/m ²]	p_y SLV [kg/m ²]	p SLC [kg/m ²]	p_x SLC [kg/m ²]	p_y SLC [kg/m ²]
0.0	0.00	0	0	0	0	0	0
2.6	0.16	1141	1105	284	1082	1048	270
5.3	0.24	1678	1625	418	1591	1541	396
7.9	0.29	1979	1917	493	1876	1817	467
10.6	0.30	2077	2012	517	1969	1907	490

Tabella 4-2 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite ultimi SLV e SLC per la sezione CR_04.

y [m]	c	p SLO [kg/m ²]	p_x SLO [kg/m ²]	p_y SLO [kg/m ²]	p SLD [kg/m ²]	p_x SLD [kg/m ²]	p_y SLD [kg/m ²]
0.0	0.00	0	0	0	0	0	0
3.0	0.16	444	429	114	653	631	168
6.0	0.24	652	630	168	961	929	248
9.0	0.29	769	743	198	1133	1095	292
12.0	0.30	807	780	208	1189	1149	306

Tabella 4-3 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite di esercizio SLO e SLD per le sezioni CR_06 e CR_08.

y [m]	c	p SLV [kg/m ²]	p_x SLV [kg/m ²]	p_y SLV [kg/m ²]	p SLC [kg/m ²]	p_x SLC [kg/m ²]	p_y SLC [kg/m ²]
0.0	0.00	0	0	0	0	0	0
3.0	0.16	1298	1254	334	1231	1189	317
6.0	0.24	1909	1844	492	1810	1749	466
9.0	0.29	2251	2175	580	2134	2062	550
12.0	0.30	2362	2283	609	2240	2164	577

Tabella 4-4 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite ultimi SLV e SLC per le sezioni CR_06 e CR_08.

A. SERIE TEMPORALI ACCELEROGRAMMI

ACCELEROGRAMMI SLO

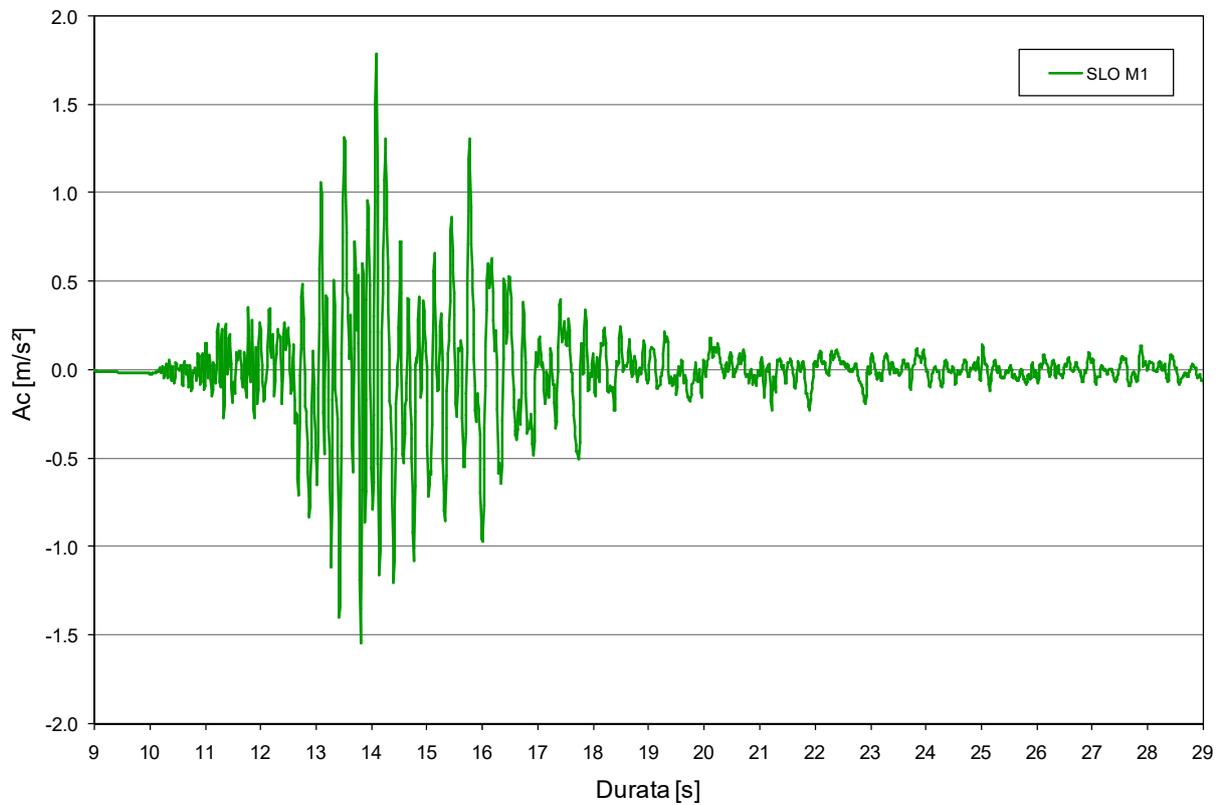


Figura A-1 – Serie temporale accelerogramma SLO M1.

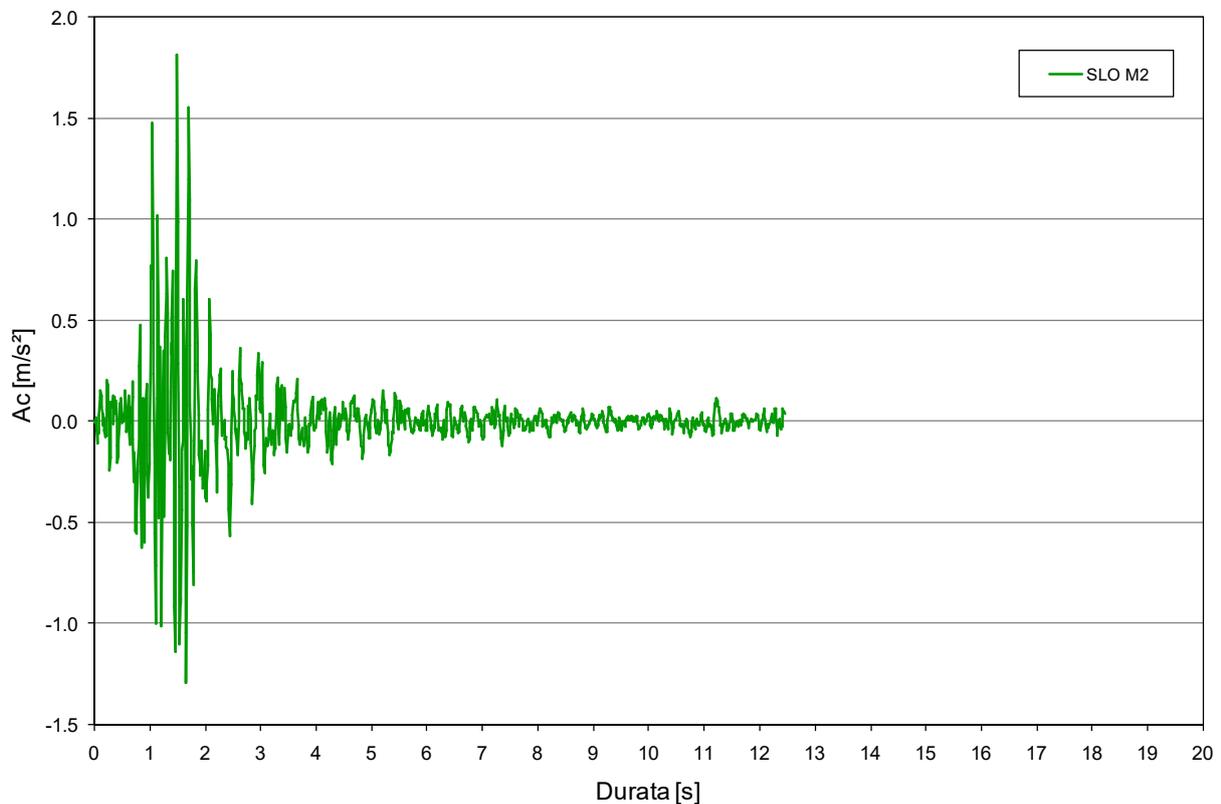


Figura A-2 – Serie temporale accelerogramma SLO M2.

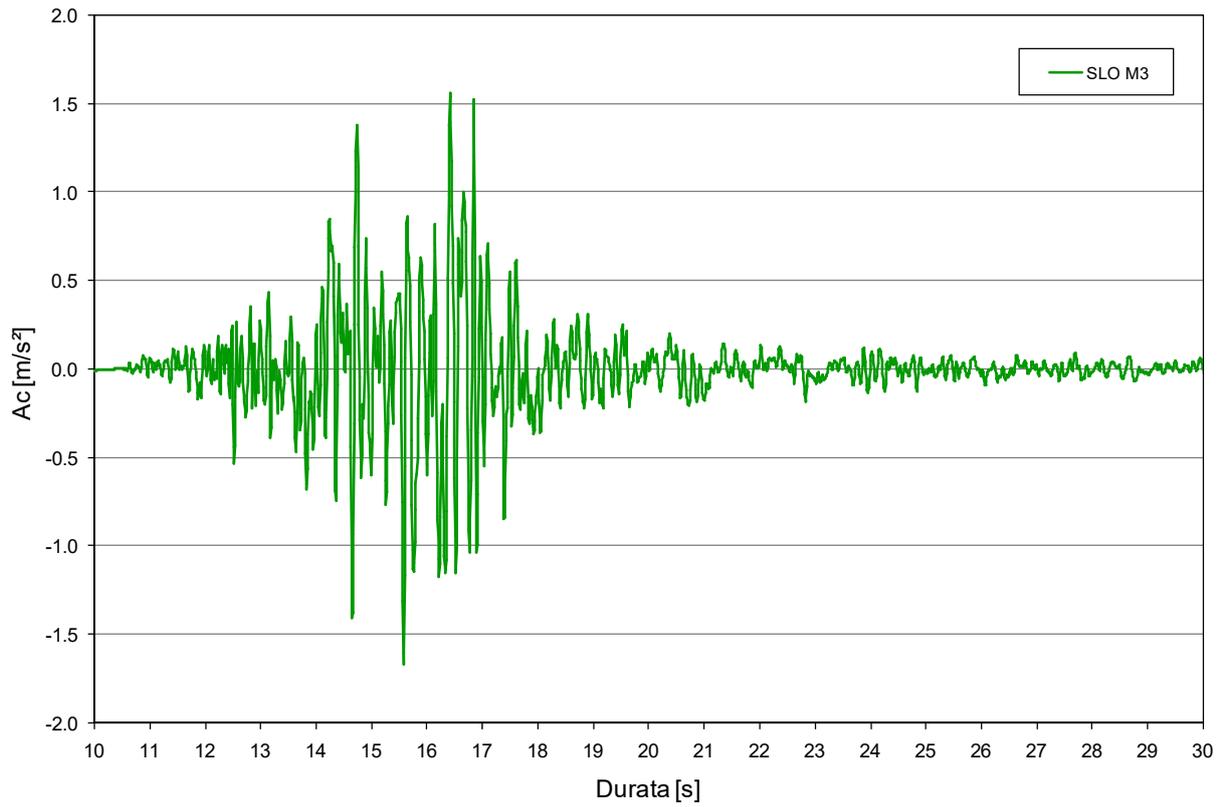


Figura A-3 – Serie temporale accelerogramma SLO M3.

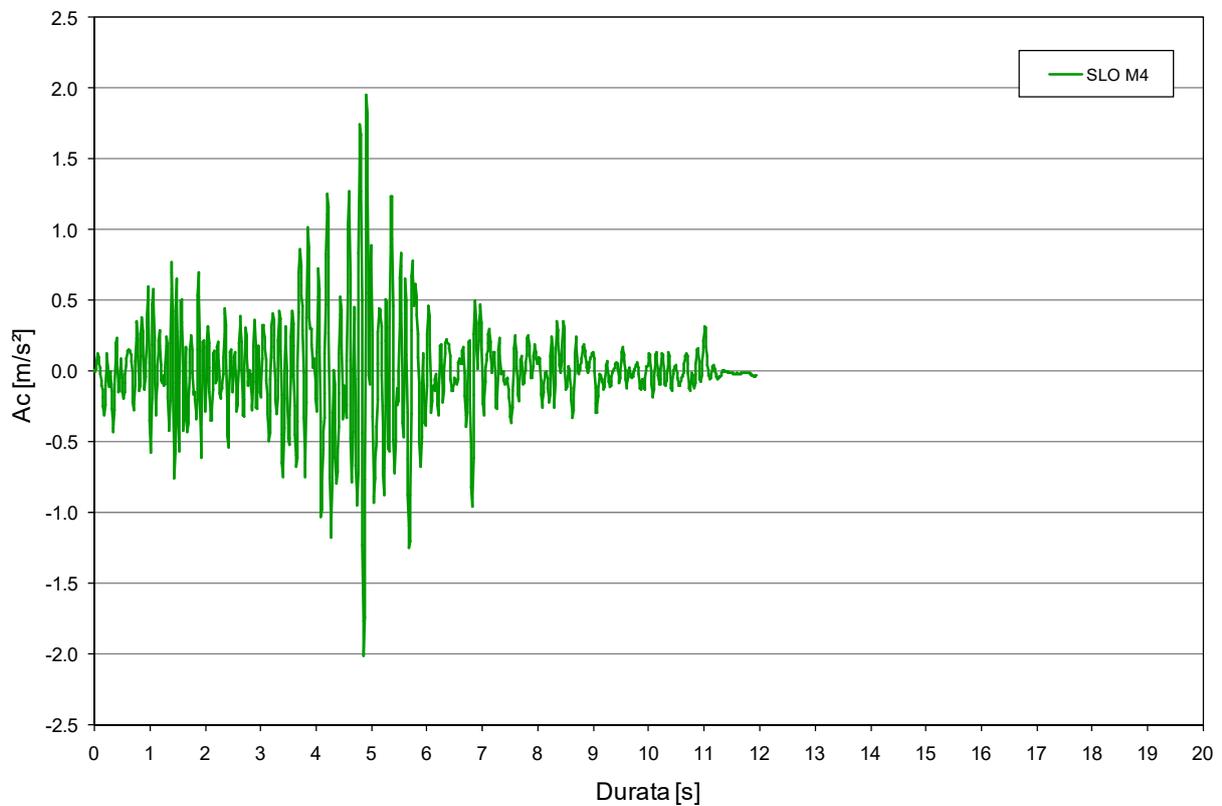


Figura A-4 – Serie temporale accelerogramma SLO M4.

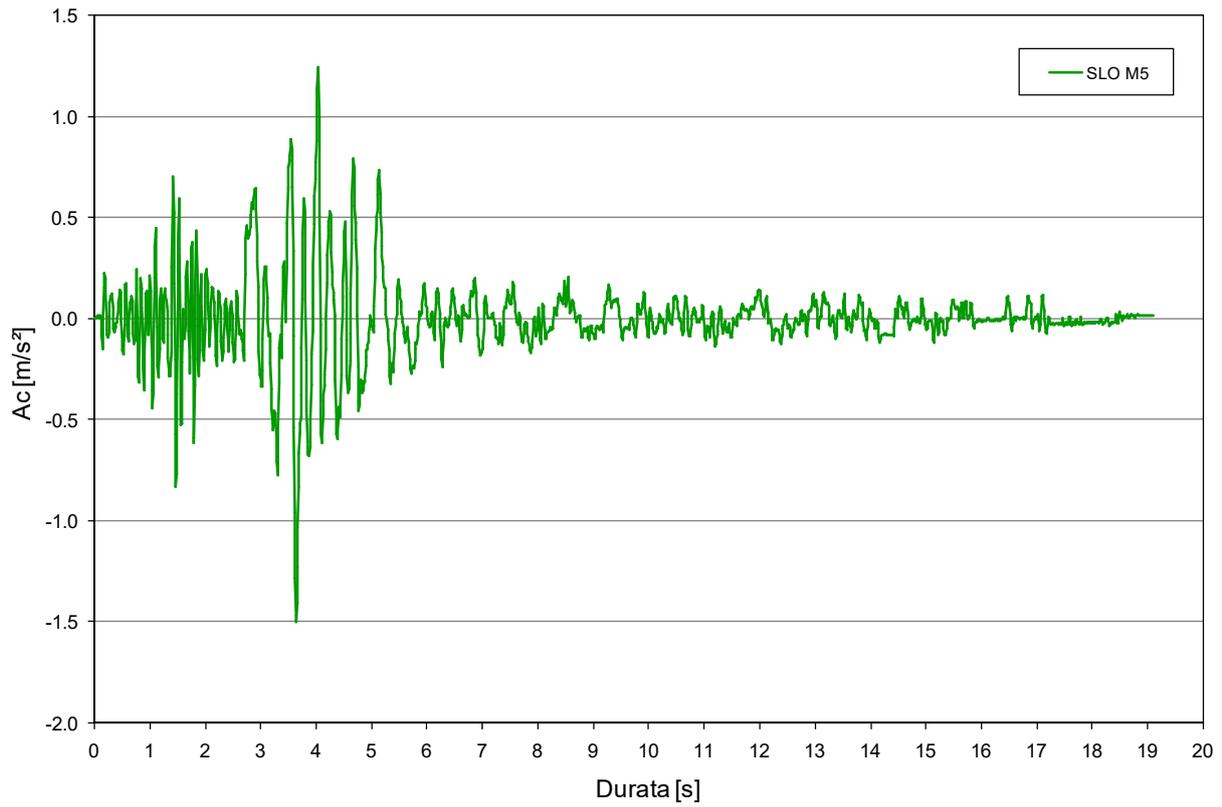


Figura A-5 – Serie temporale accelerogramma SLO M5.

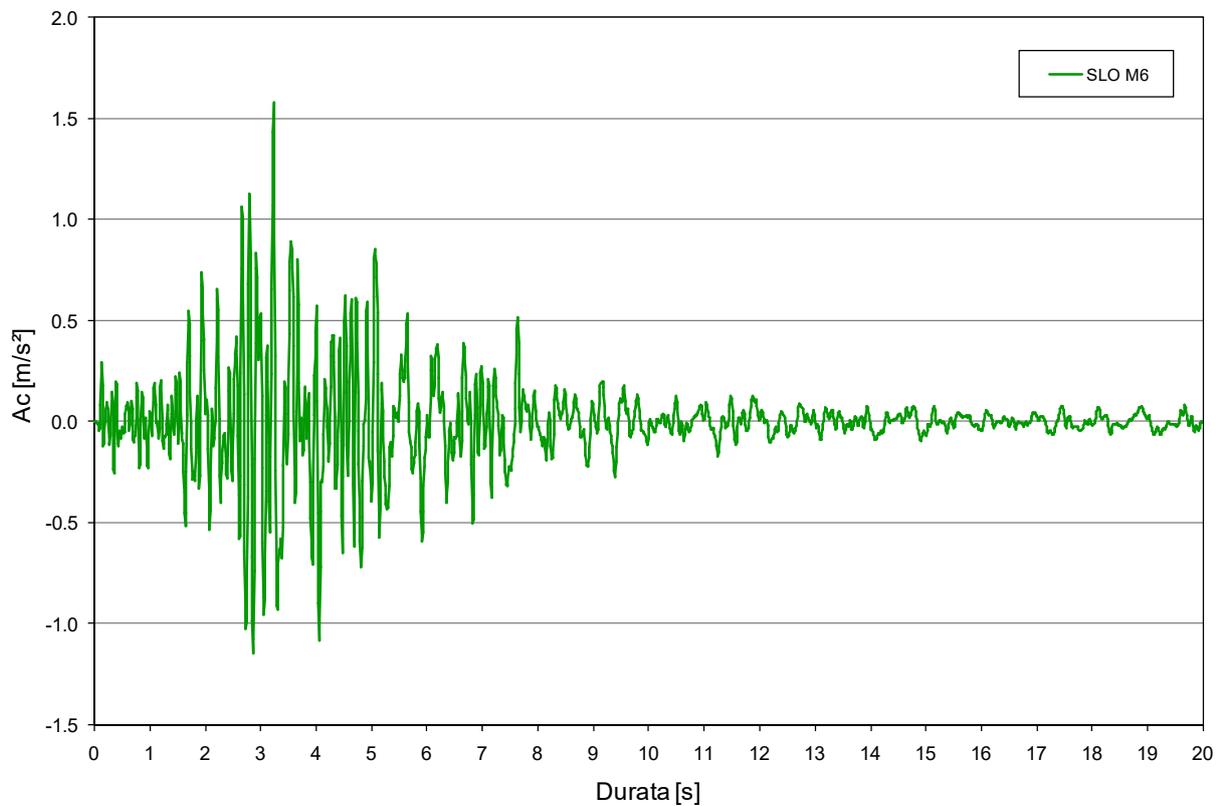


Figura A-6 – Serie temporale accelerogramma SLO M6.

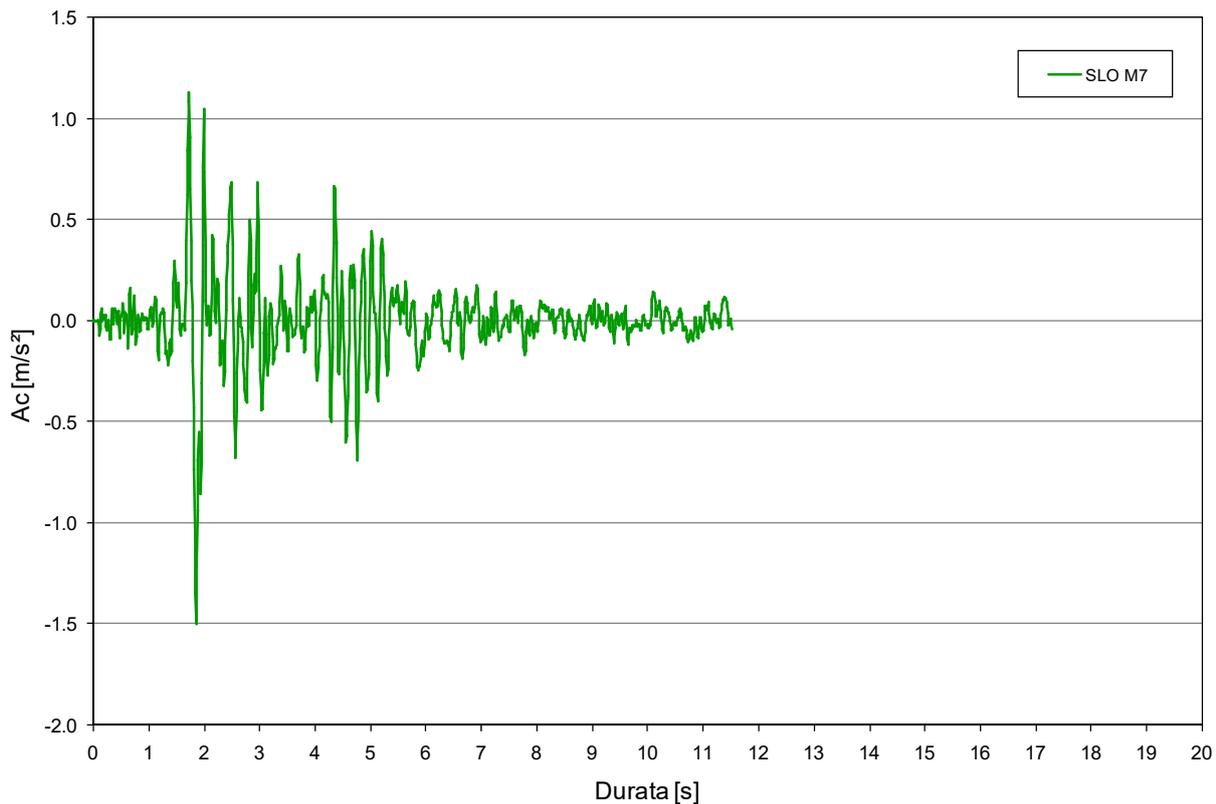


Figura A-7 – Serie temporale accelerogramma SLO M7.

ACCELEROGRAMMI SLD

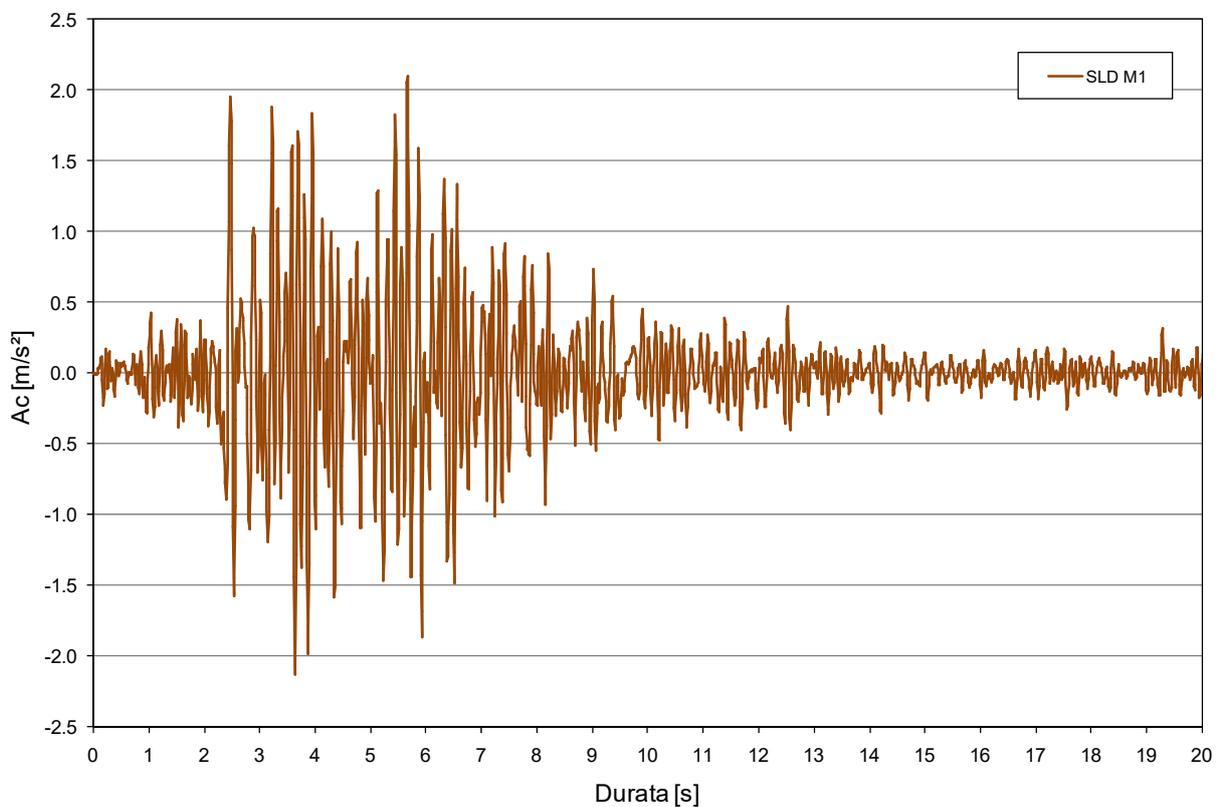


Figura A-8 – Serie temporale accelerogramma SLD M1.

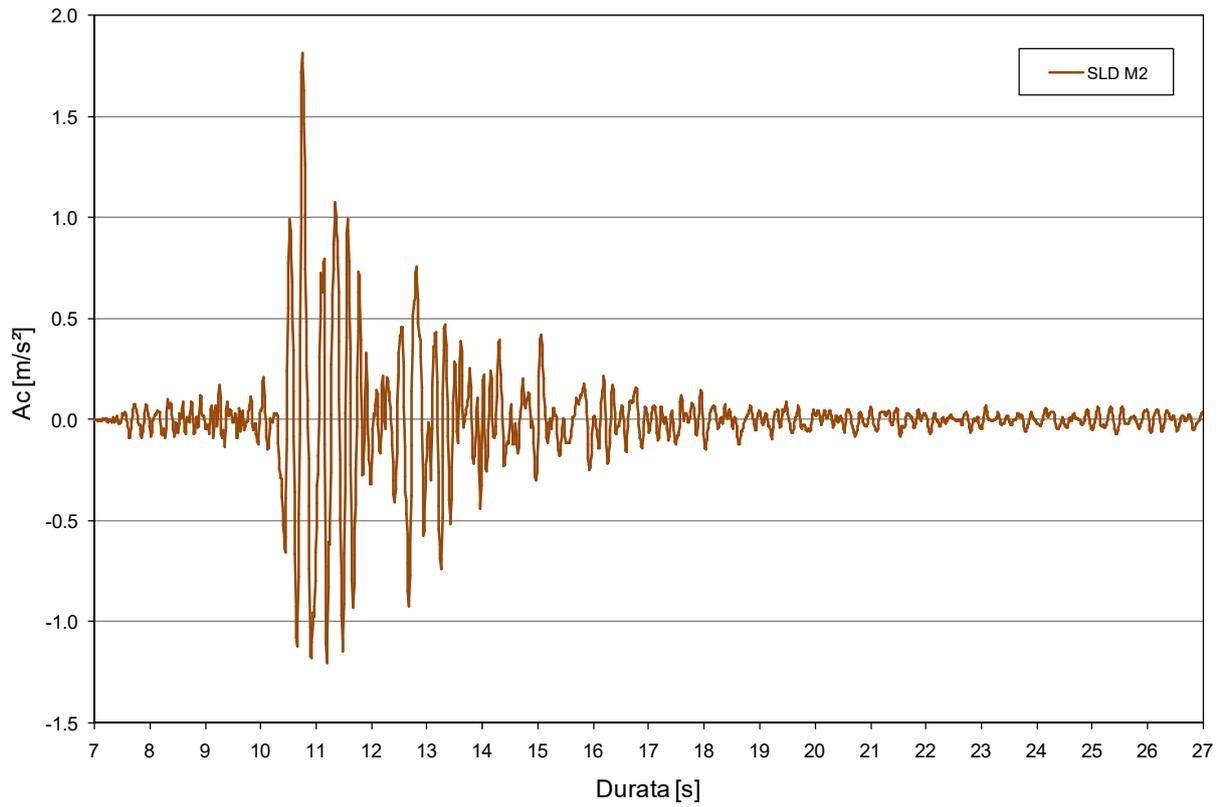


Figura A-9 – Serie temporale accelerogramma SLD M2.

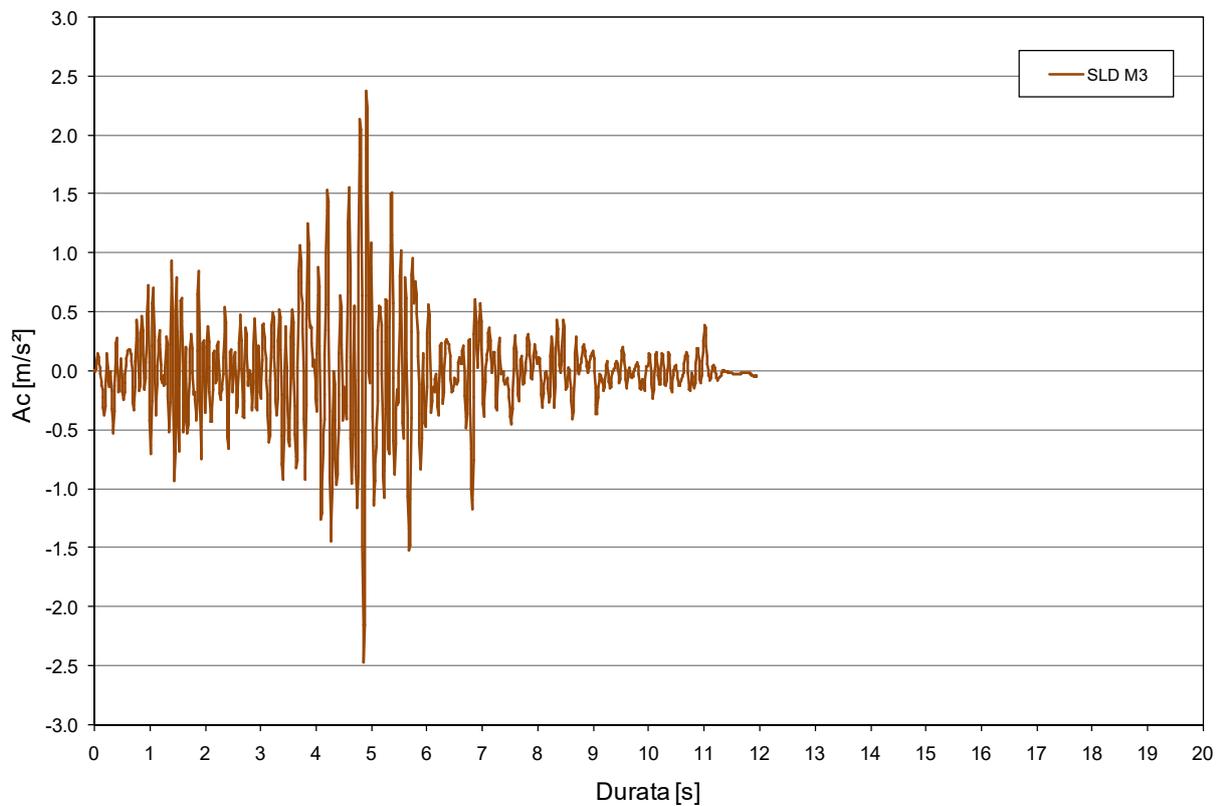


Figura A-10 – Serie temporale accelerogramma SLD M3.

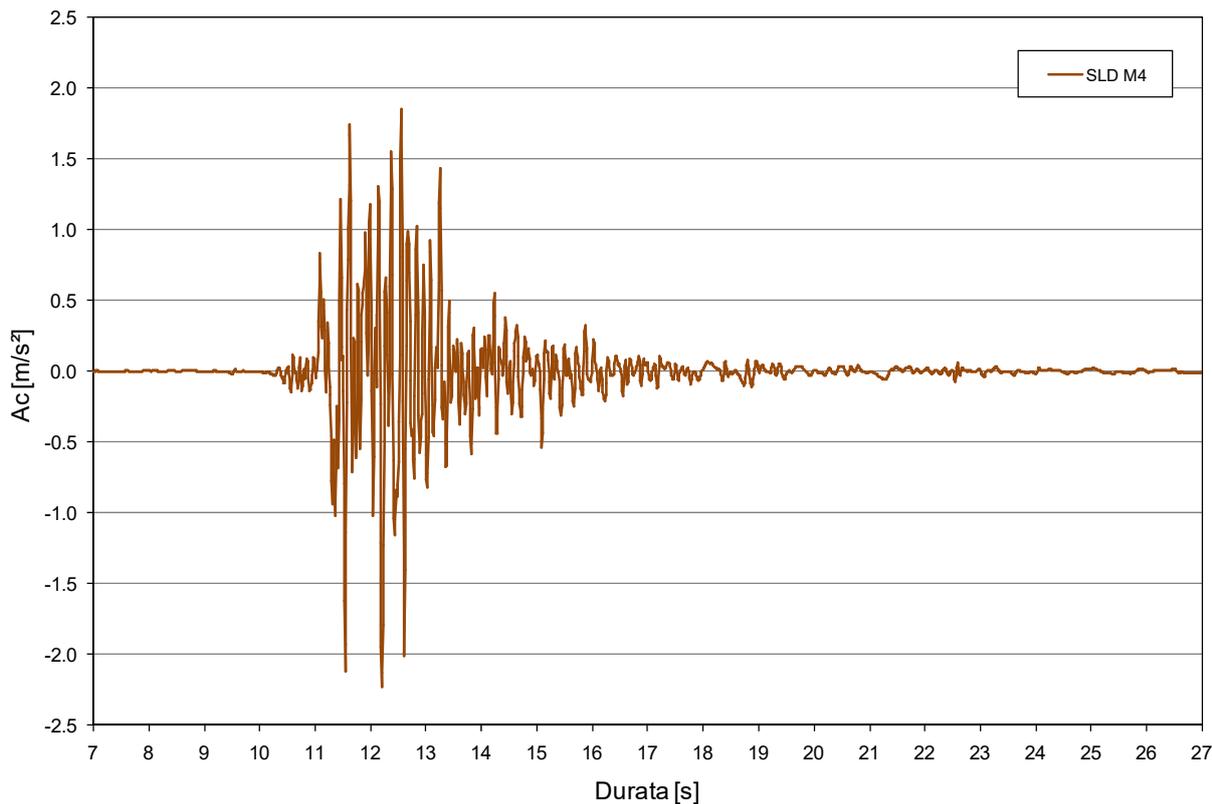


Figura A-11 – Serie temporale accelerogramma SLD M4.

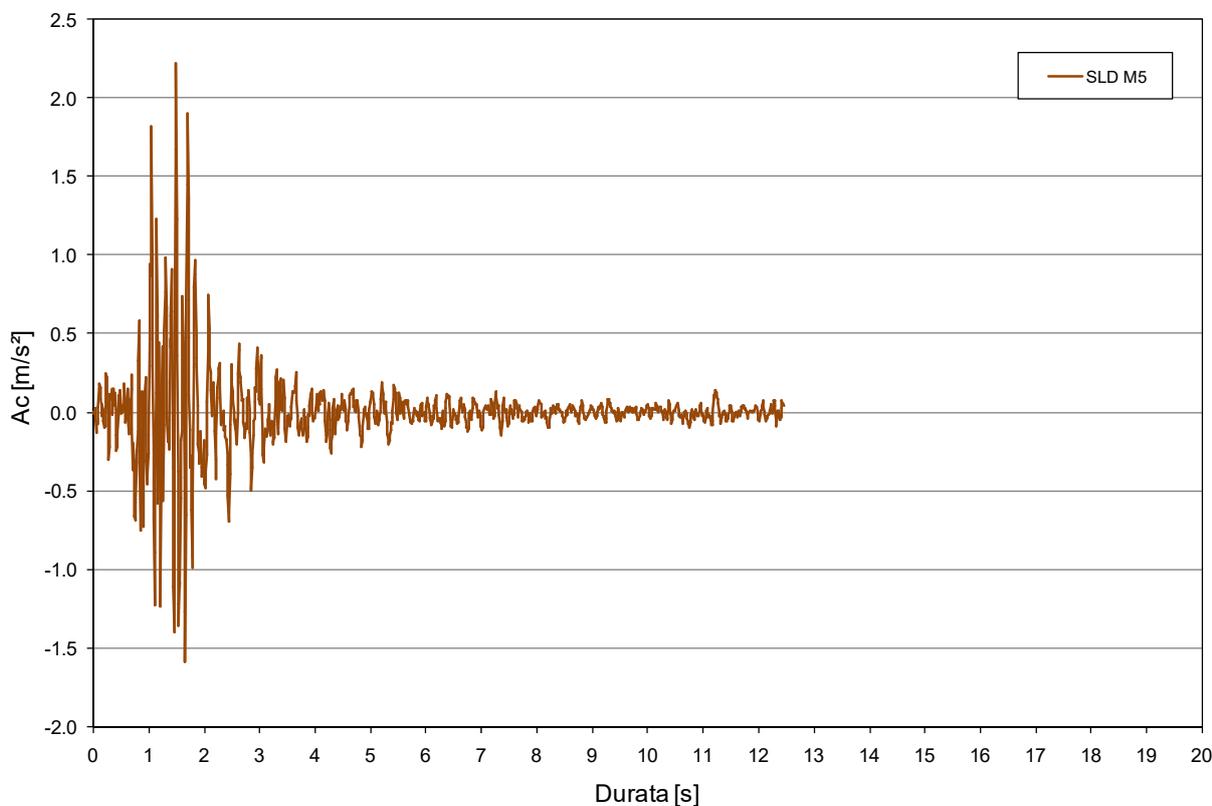


Figura A-12 – Serie temporale accelerogramma SLD M5.

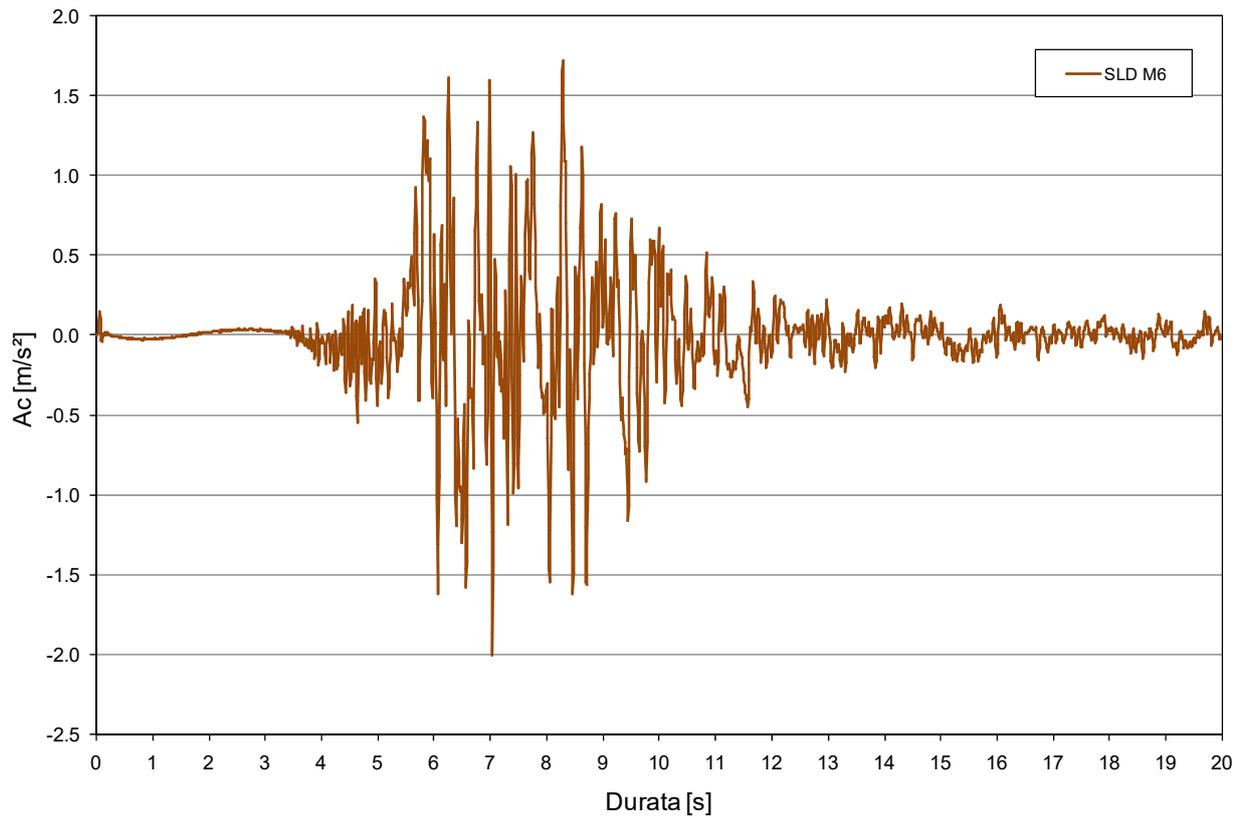


Figura A-13 – Serie temporale accelerogramma SLD M6.

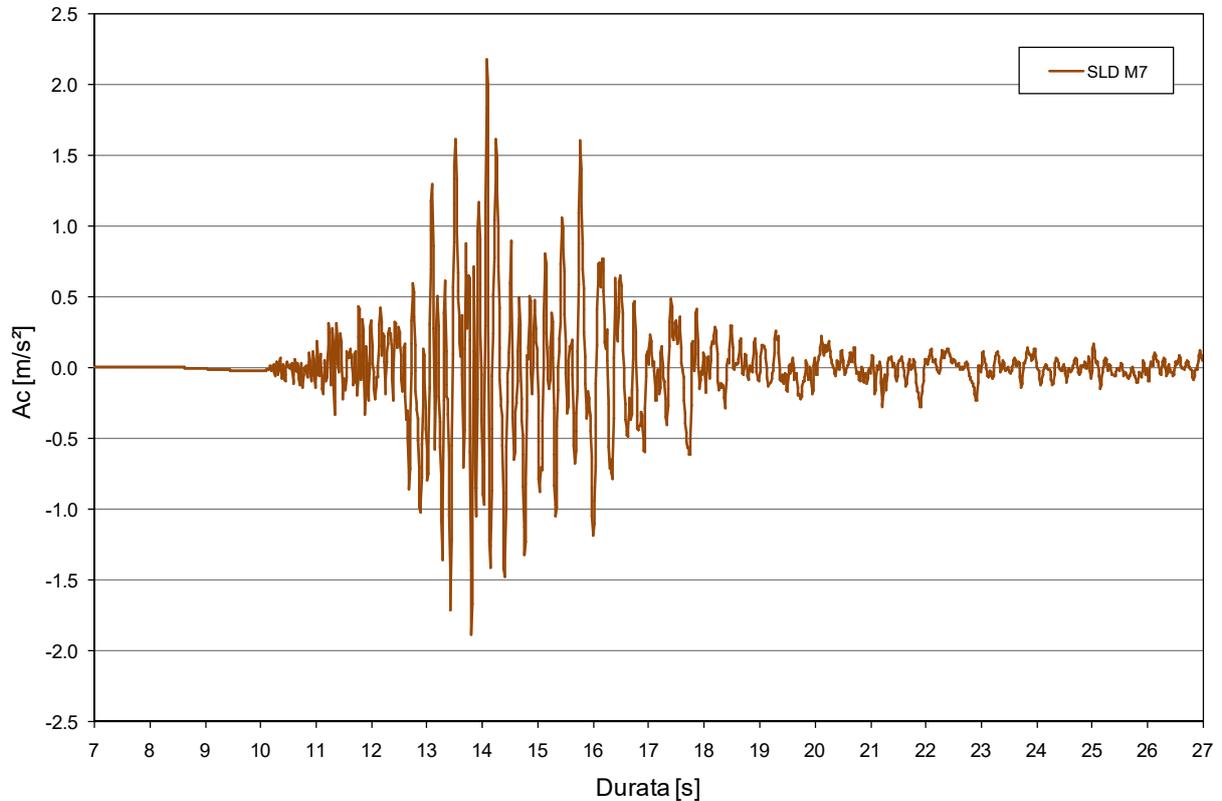


Figura A-14 – Serie temporale accelerogramma SLD M7.

ACCELEROGRAMMI SLV

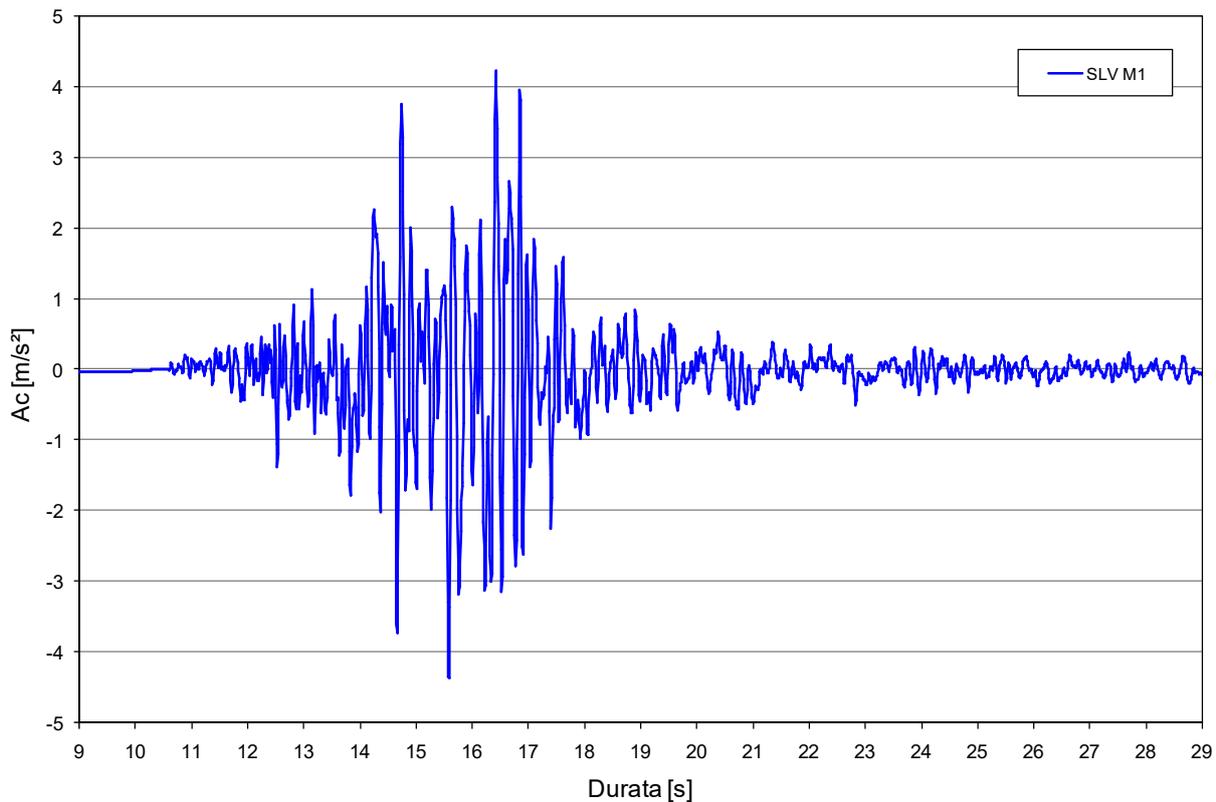


Figura A-15 – Serie temporale accelerogramma SLV M1.

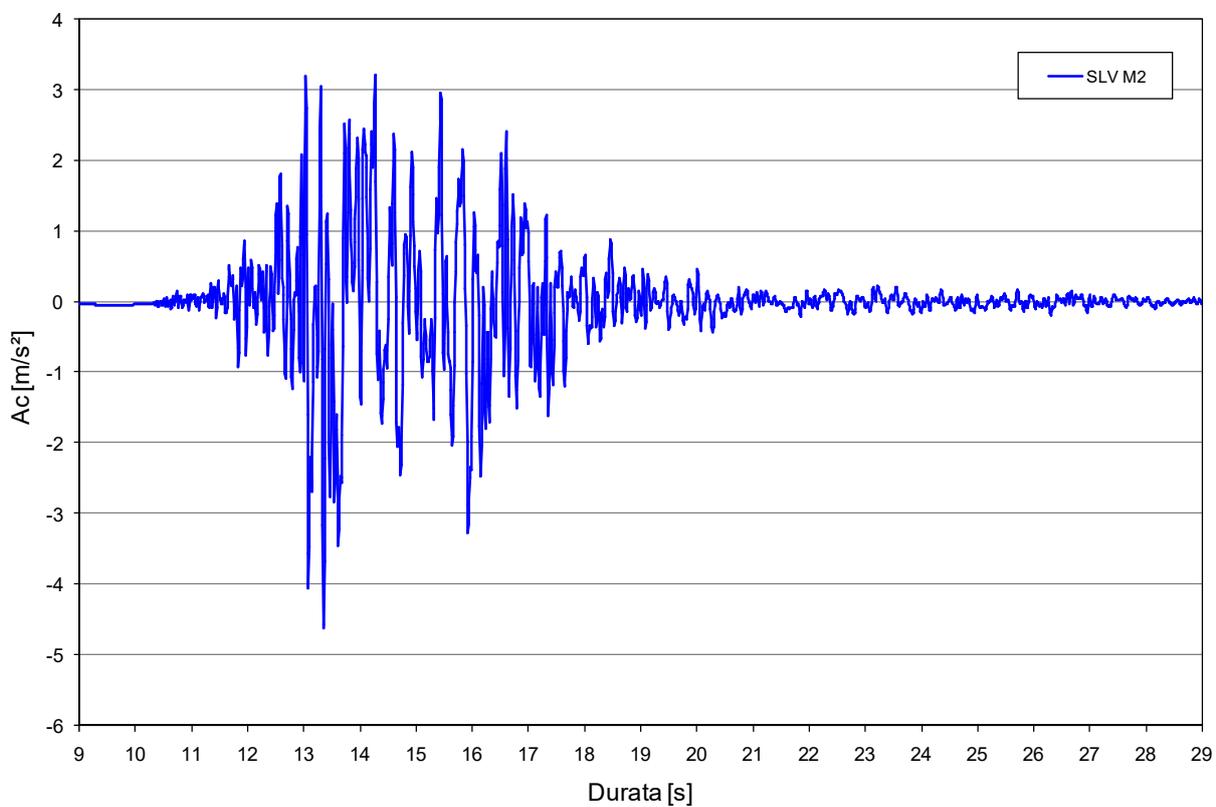


Figura A-16 – Serie temporale accelerogramma SLV M2.

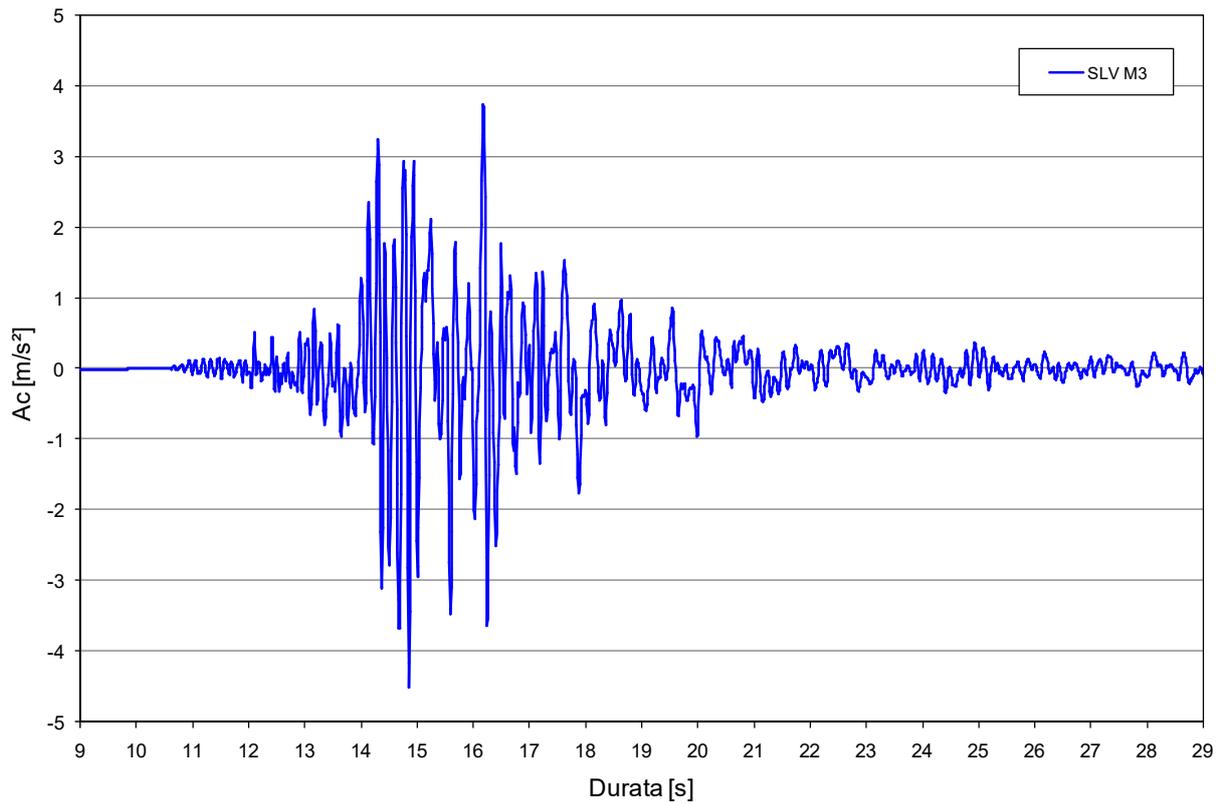


Figura A-17 – Serie temporale accelerogramma SLV M3.

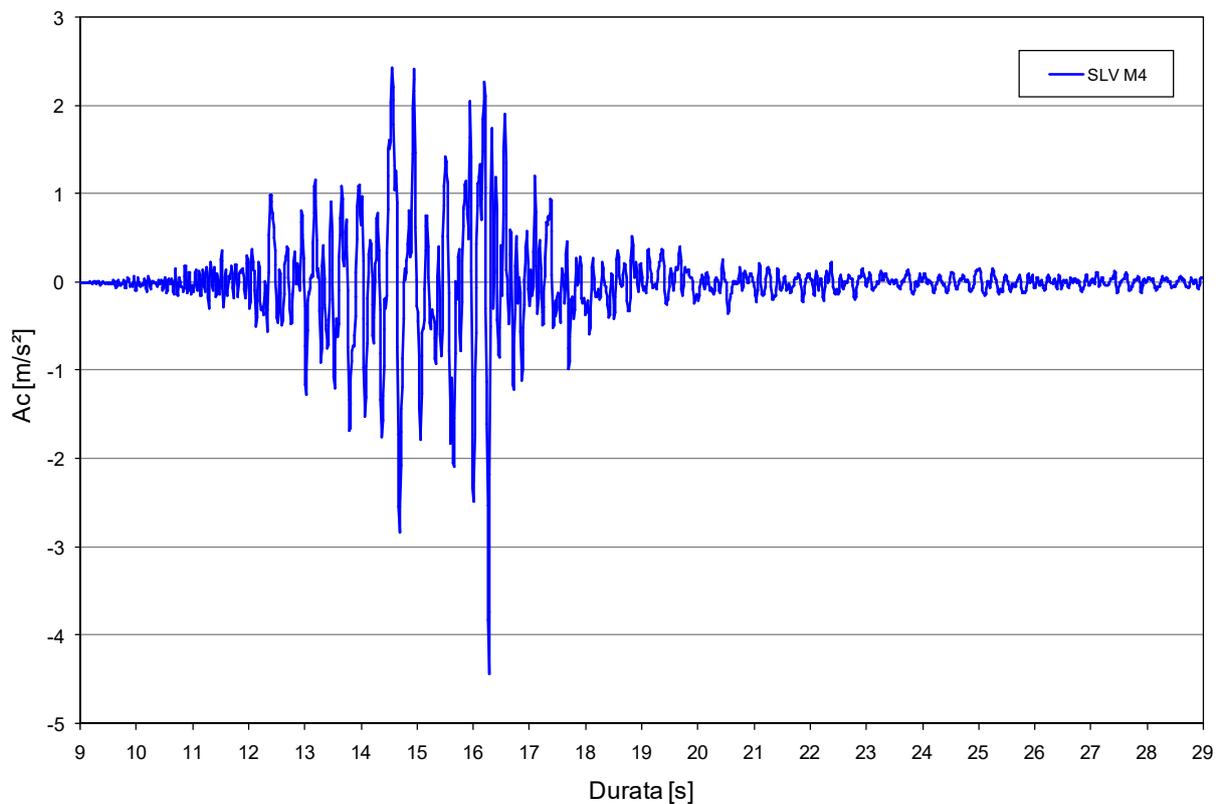


Figura A-18 – Serie temporale accelerogramma SLV M4.

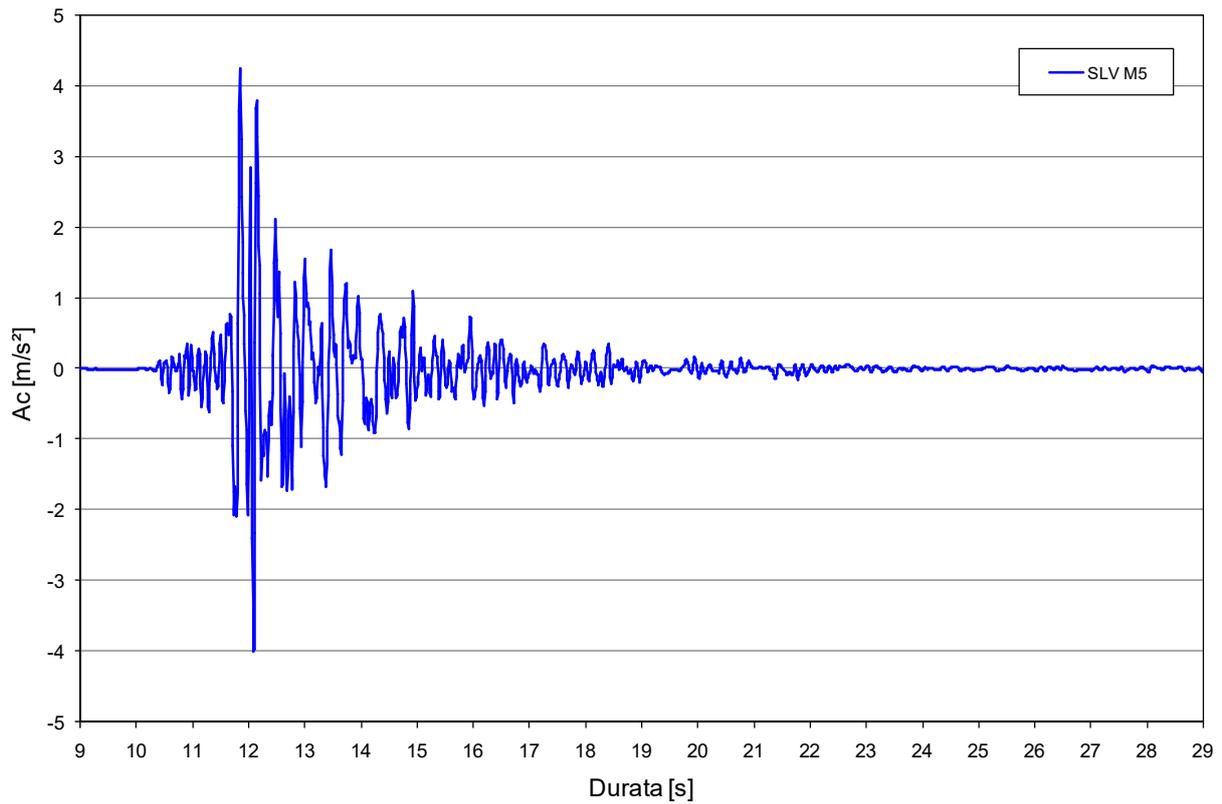


Figura A-19 – Serie temporale accelerogramma SLV M5.

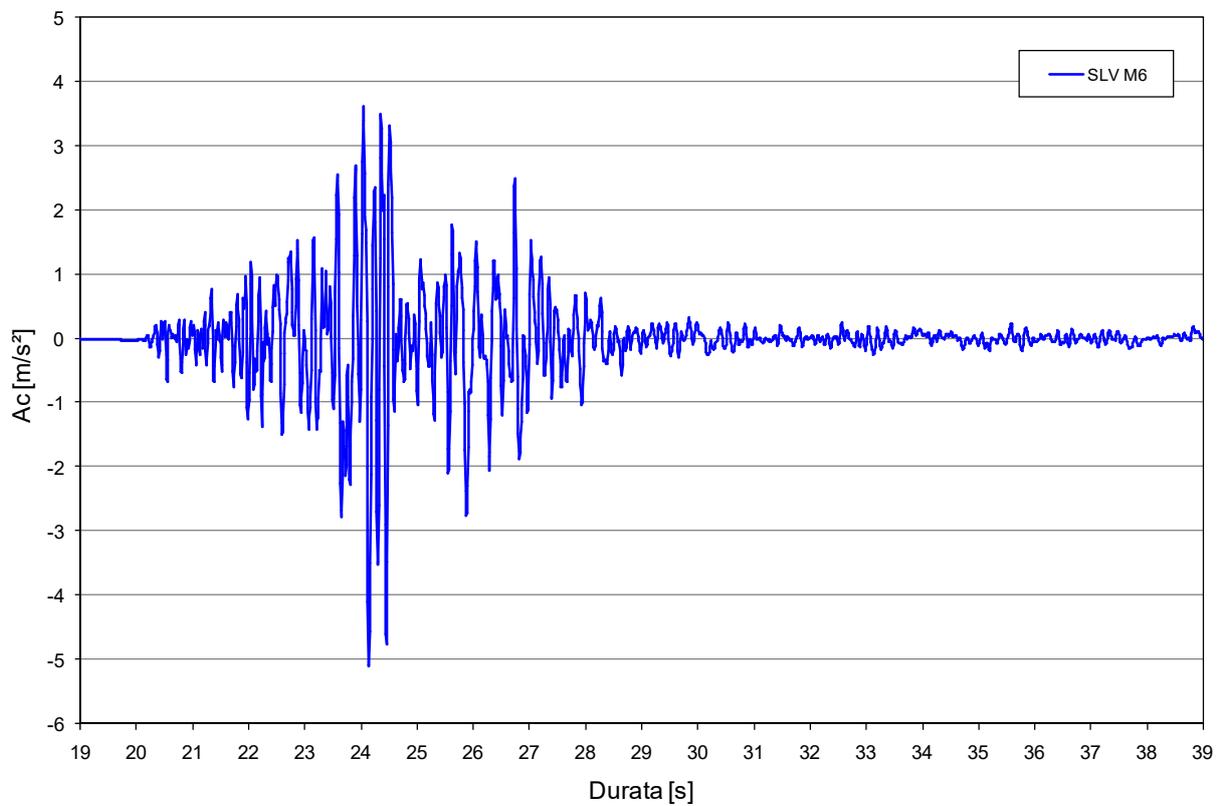


Figura A-20 – Serie temporale accelerogramma SLV M6.

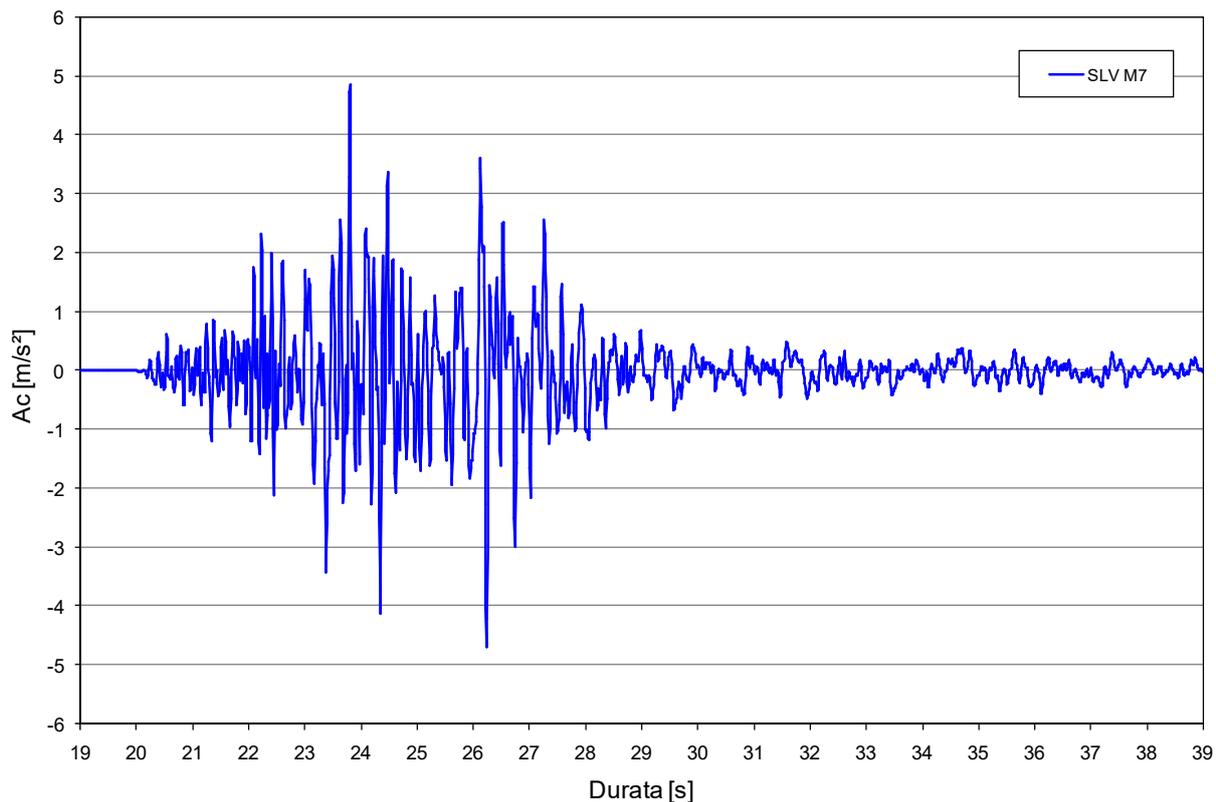


Figura A-21 – Serie temporale accelerogramma SLV M7.

ACCELEROGRAMMI SLC

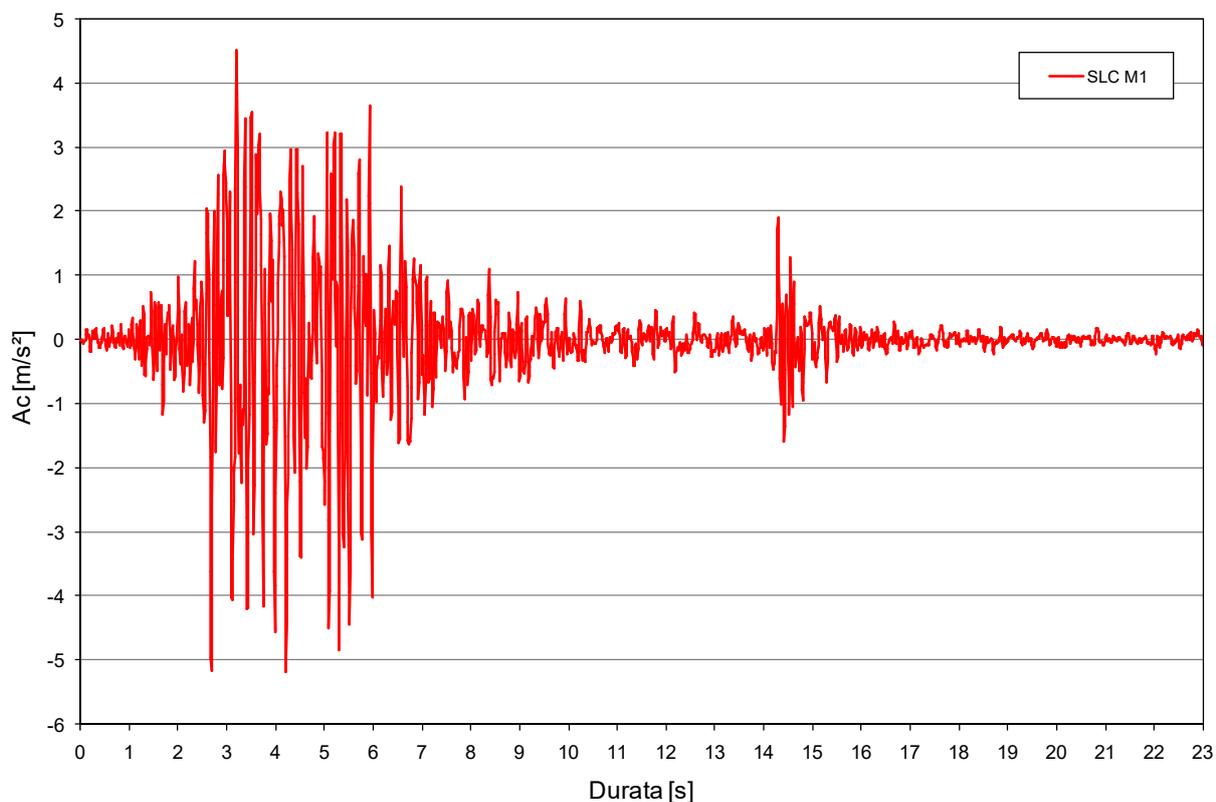


Figura A-22 – Serie temporale accelerogramma SLC M1.

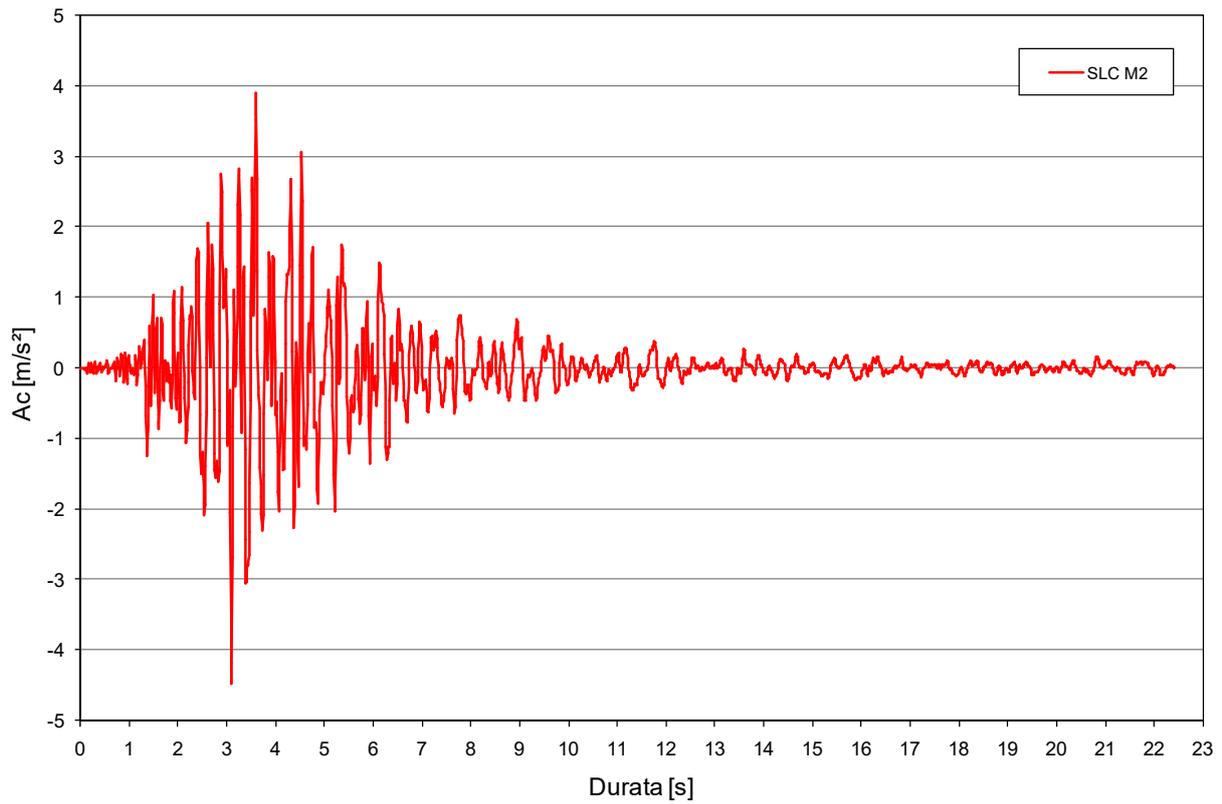


Figura A-23 – Serie temporale accelerogramma SLC M2.

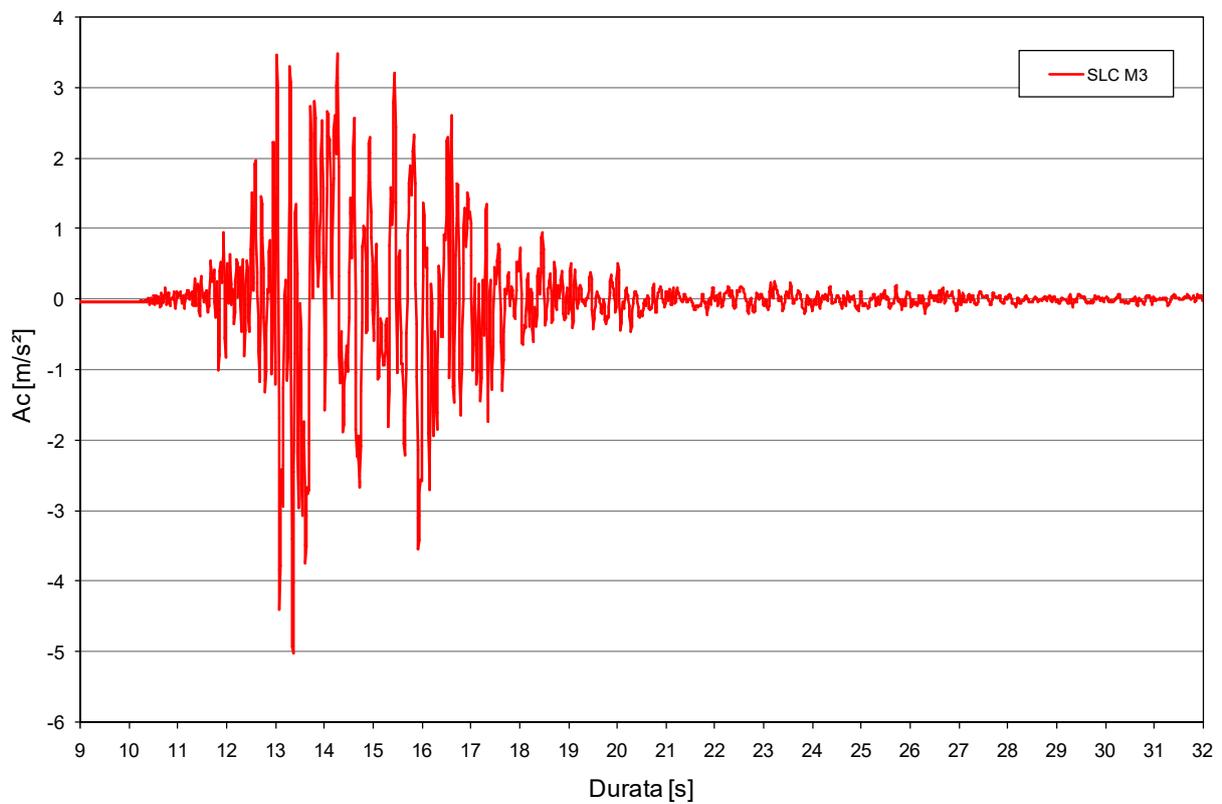


Figura A-24 – Serie temporale accelerogramma SLC M3.

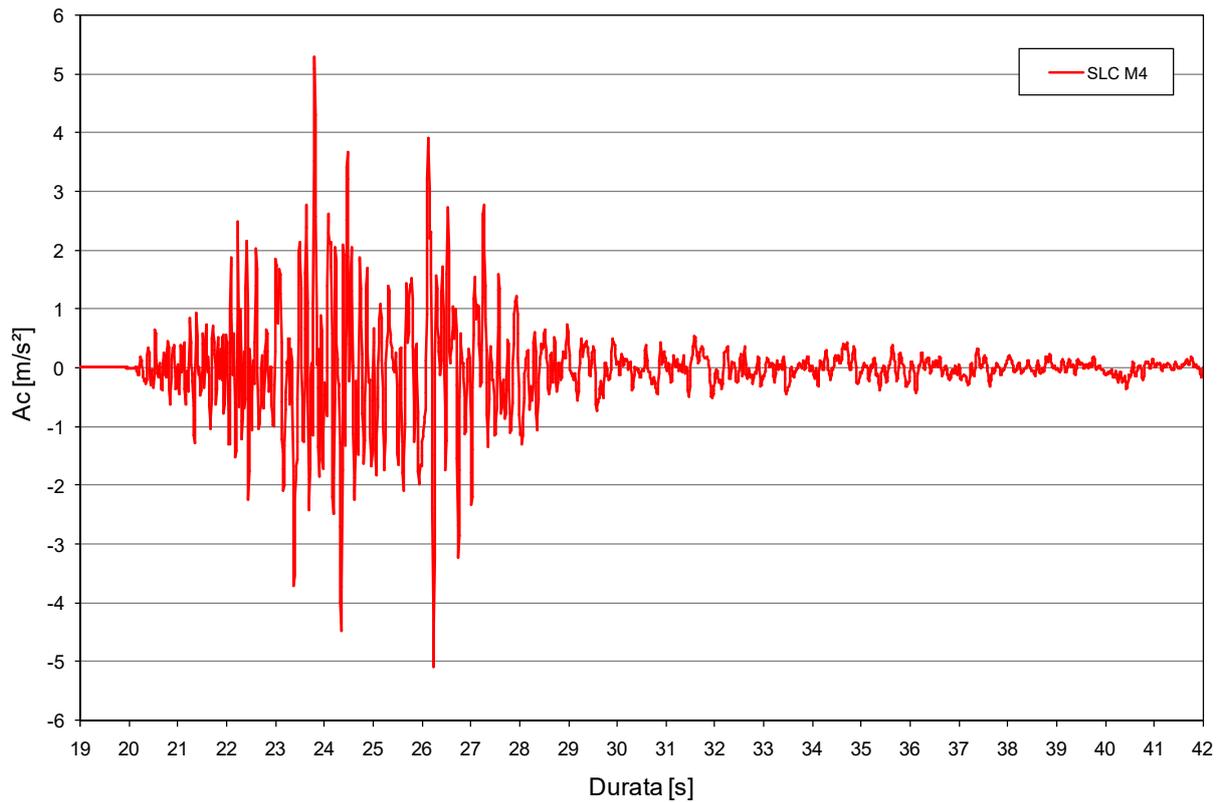


Figura A-25 – Serie temporale accelerogramma SLC M4.

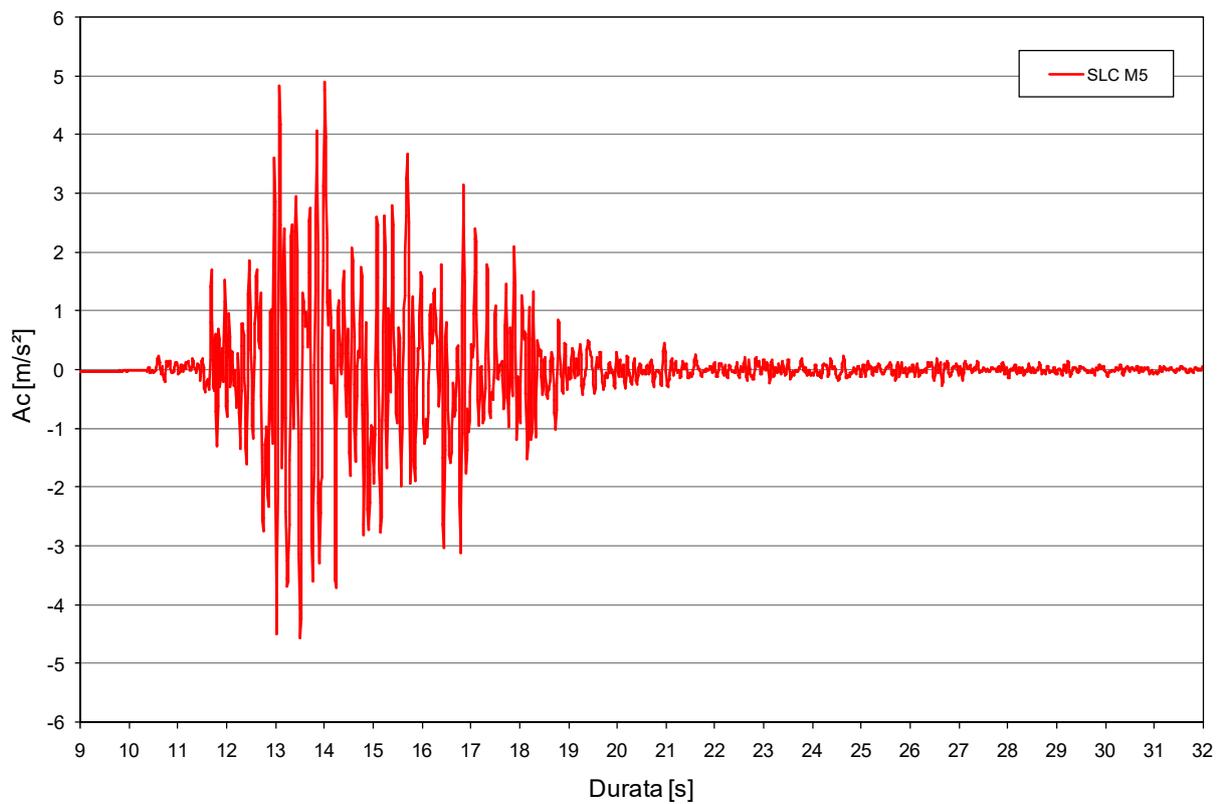


Figura A-26 – Serie temporale accelerogramma SLC M5.

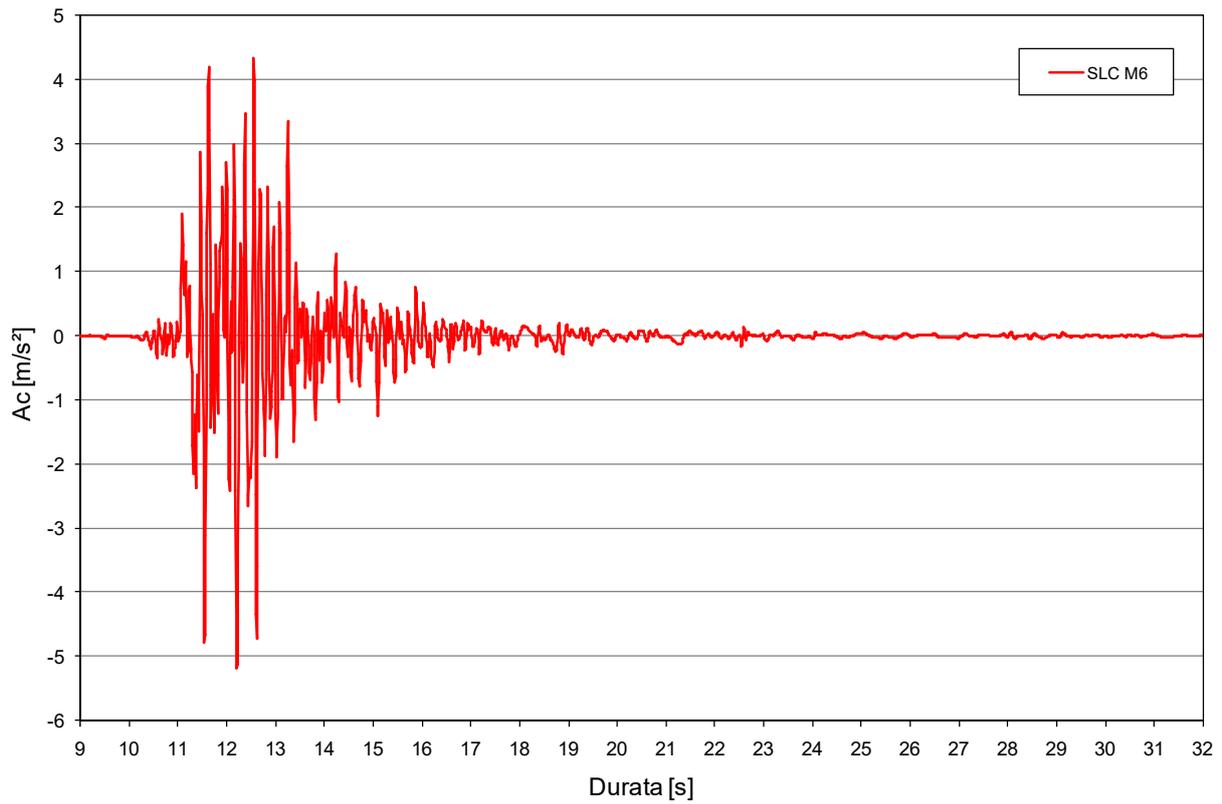


Figura A-27 – Serie temporale accelerogramma SLC M6.

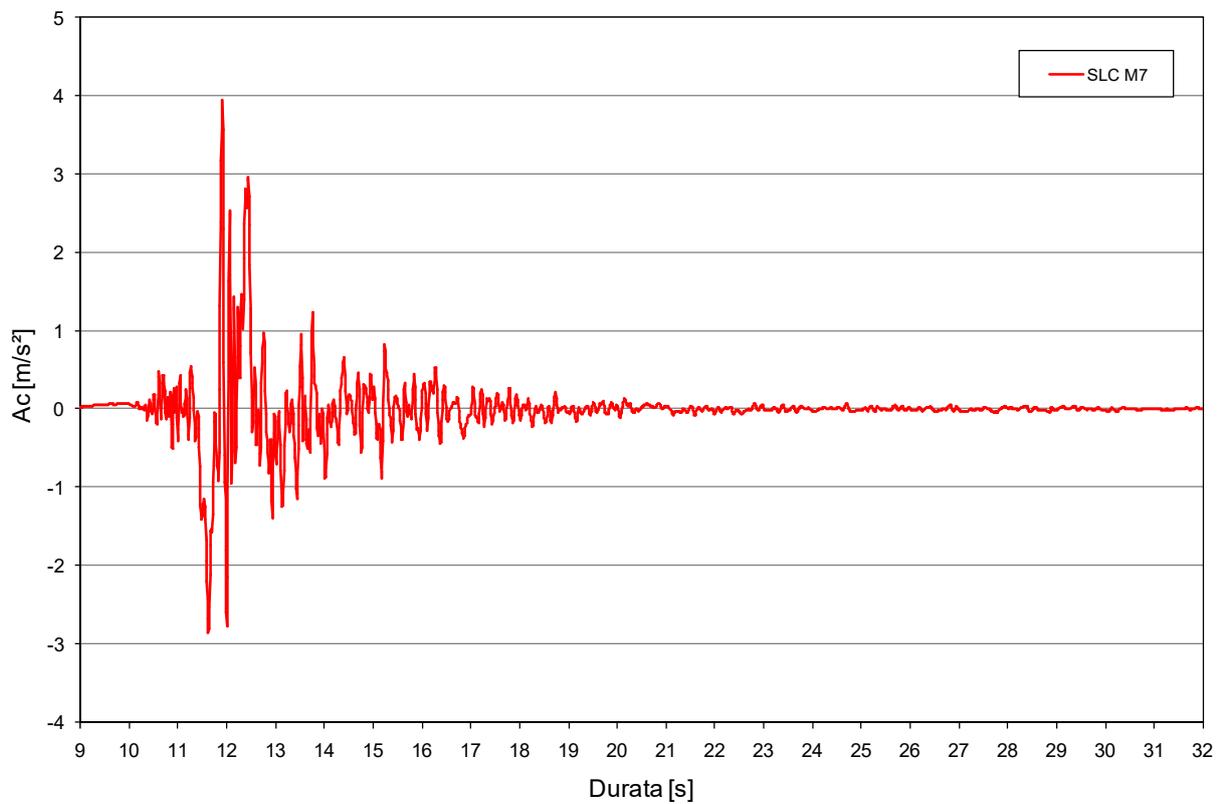


Figura A-28 – Serie temporale accelerogramma SLC M7.