



COMUNE DI PARMA
SETTORE LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONI

responsabile unico del procedimento
geom. MARCO FERRARI

progetto strutturale
S&O INGEGNERIA S.R.L.



progetto architettonico
ing. SARA MALORI

computo metrico
geom. LUIGI CAMPANINI

coordinamento sicurezza in progettazione
ing. SARA MALORI



SCUOLA PRIMARIA "ULISSE CORAZZA"

I Stralcio: Interventi di miglioramento sismico

PROGETTO ESECUTIVO

revisione	data	descrizione	redatto da:	controllato da:	approvato da:
00	mag 2016	emissione	L. Monardi	P. Oddi	M. Ferrari
01					
02					
03					
04					
05					

titolo elaborato:

Relazione sismica

TAVOLA:

serie	numero
S	R4.0
formato	A4
scala	
file:	SR4-0.dwg

Relazione sismica

SOMMARIO

1. Introduzione	2
2. Processo di scelta e calibrazione degli accelerogrammi	3
3. Segnali accelerometrici riscalati	12
3.1 Accelerogrammi per analisi di SLV	13
3.2 Accelerogrammi per analisi di SLC.....	20

Relazione sismica

1. Introduzione

Nella fase di studio dei rinforzi per il miglioramento sismico della capacità portante della struttura in C.A. esistente della scuola "Ulisse Corazza" di Parma, sono state analizzate varie soluzioni progettuali tecnicamente percorribili, considerandone (almeno qualitativamente) anche le specifiche interferenze che, durante la fase esecutiva, avrebbero generato all'attività didattica.

La soluzione di rinforzo, che si è deciso di adottare, è quella che è risultata meno impattante dal punto di vista della gestione dell'attività scolastica, e consiste nel realizzare dei setti di irrigidimento in struttura metallica, esterni alla scuola, ai quali poi saranno collegati, mediante dissipatori viscosi, i telai in C.A. della struttura portante della scuola stessa.

L'intero sistema strutturale *telai in C.A. + setti di rinforzo*, è stato analizzato conducendo un'analisi dinamica con integrazione diretta delle equazioni del moto della struttura ed eccitazione sismica alla base, per i seguenti motivi: QUALE OSCILLATORE?

- il dimensionamento dei setti di rinforzo e/o il loro effetto irrigidente sulla struttura in C.A. esistente, non può prescindere da una valutazione attenta delle azioni che, mutuamente, i due sistemi strutturali si scambiano per effetto del sisma: l'interazione tra essi rende difficoltoso, o poco realistico, individuare una separazione delle equazioni del moto del sistema risolvende, che consentirebbe invece una soluzione semplificata (dinamica per sovrapposizione modale o con analisi modale e spettro di risposta) del moto dell'intero sistema struttura in C.A. + setti di rinforzo;
- la presenza di dispositivi viscosi, a risposta già di per sé non lineare, e la necessità, per il loro dimensionamento, di valutarne attentamente il regime di spostamenti e velocità relative agli estremi, comporta la necessità di considerarne gli effetti sulla risposta sismica del sistema, valutandone il comportamento in modo più realistico possibile;
- anche volendo utilizzare una tecnica di analisi più semplice ed usuale (*analisi dinamica modale con spettro di risposta*), come individuare le caratteristiche dell'oscillatore equivalente al sistema strutturale *telai in C.A. + setti di rinforzo*, in modo tale che lo schema di calcolo potesse fornire una rappresentazione sufficientemente realistica della risposta sismica dell'intero sistema?
- per le qualità (non particolarmente elevate) dei materiali componenti la struttura portante esistente in C.A. della scuola, e per la necessità di dimensionare i setti di rinforzo cercando di contenerne il più possibile le dimensioni geometriche (per motivi architettonici), era importante valutare nel modo più aderente alla realtà, le sollecitazioni che tanto la struttura in C.A. della scuola quanto i setti di rinforzo, avrebbero dovuto sopportare, senza eccessivi sovradimensionamenti (che inevitabilmente nascono invece con tecniche di calcolo più semplici).

Rispetto quindi alle tecniche di analisi più usuali (che nel caso specifico, oltretutto, non risultavano percorribili così agevolmente), l'analisi dinamica con integrazione diretta delle equazioni del moto della struttura, con eccitazione sismica alla base, se eseguita considerando un certo numero di registrazioni accelerometriche (almeno 7), consente di contenere le azioni di riferimento da assumere in fase di verifica, e di individuare quindi una via da percorrere (forse unica nel caso specifico) per giungere ad un efficace e significativo miglioramento della risposta sismica della struttura portante esistente in C.A. della scuola, senza eccedere in sovra valutazioni delle azioni sismiche.

In fase di analisi, i materiali costituenti le membrature resistenti del telaio esistente in C.A. della scuola, e quello dei nuovi setti di rinforzo esterni, sono stati considerati in ambito elastico, trascurandone quindi le risorse dissipative intrinseche (perché quelle degli elementi in C.A. sarebbero risultate praticamente nulle).

Per il dettaglio dei calcoli di verifica della soluzione progettuale adottata, è opportuno riferirsi all'Allegato specifico della relazione di calcolo, mentre il presente documento costituisce un ulteriore allegato la Relazione di Calcolo generale, in cui si descrive il processo seguito per la scelta e la calibrazione delle registrazioni accelerometriche adottate in analisi ed in verifica.

Relazione sismica

2. Processo di scelta e calibrazione degli accelerogrammi

I segnali accelerometrici, utilizzati in fase di verifica, sono stati ricavati da **registrazioni accelerometriche reali di sismi naturali**.

Più precisamente, sono state individuate 7 registrazioni accelerometriche complete, che rappresentano il campionamento temporale delle componenti (X, Y e Z) del vettore accelerazione del terreno (per effetto del sisma), rispetto ad un sistema cartesiano di riferimento.

I segnali accelerometrici originali, poiché campionati con una scansione temporale troppo fitta (ai fini di una risoluzione numerica del moto strutturale con tempistiche accettabili), sono stati ulteriormente ricampionati con un intervallo di campionamento di 0.02 s, così che il passo temporale di integrazione del sistema delle equazioni del moto della struttura, fissato in 0.01 s, potesse permettere di giungere alla conclusione dell'analisi strutturale in tempi ragionevoli (nonostante questo il "run" della soluzione definitiva impiega quasi 8 ore per giungere alla conclusione).

Gli accelerogrammi individuati sono tutti relativi ad **una tipologia di suolo "C"** (che, come si evince anche dalla Relazione Geologica allegata al progetto esecutivo, è la categoria di sottosuolo che è stata individuata per il sito) e **sono stati scelti in modo tale da risultare spettro-compatibili**, ovvero: lo spettro calcolato come media degli spettri dei singoli accelerogrammi, non deve risultare inferiore a più del 10% rispetto allo spettro di risposta di riferimento per il sito, in un "range" di periodi compresi tra 0.15 s e due volte il periodo fondamentale della struttura (ovvero 2 s, dal momento che il periodo fondamentale della struttura è di circa 1 s nella configurazione dello stato di fatto).

La ricerca degli accelerogrammi spettro-compatibili, è stata effettuata sfruttando i risultati della *disaggregazione della pericolosità sismica* per il sito, ovvero: considerando la magnitudo attesa dell'evento sismico e la distanza epicentrale (esistono infatti correlazioni empiriche tra, la forma spettrale del segnale accelerometrico, e la magnitudo attesa e la distanza epicentrale; tramite tali informazioni è più agevole individuare le registrazioni accelerometriche naturali spettro-compatibili).

La ricerca delle registrazioni accelerometriche è stata condotta in *European Strong-Motion Database*, tramite un software idoneo che, per volontà degli autori, deve essere citato così:

REXEL v 3.5

Computer aided record selection for code-based seismic structural analysis

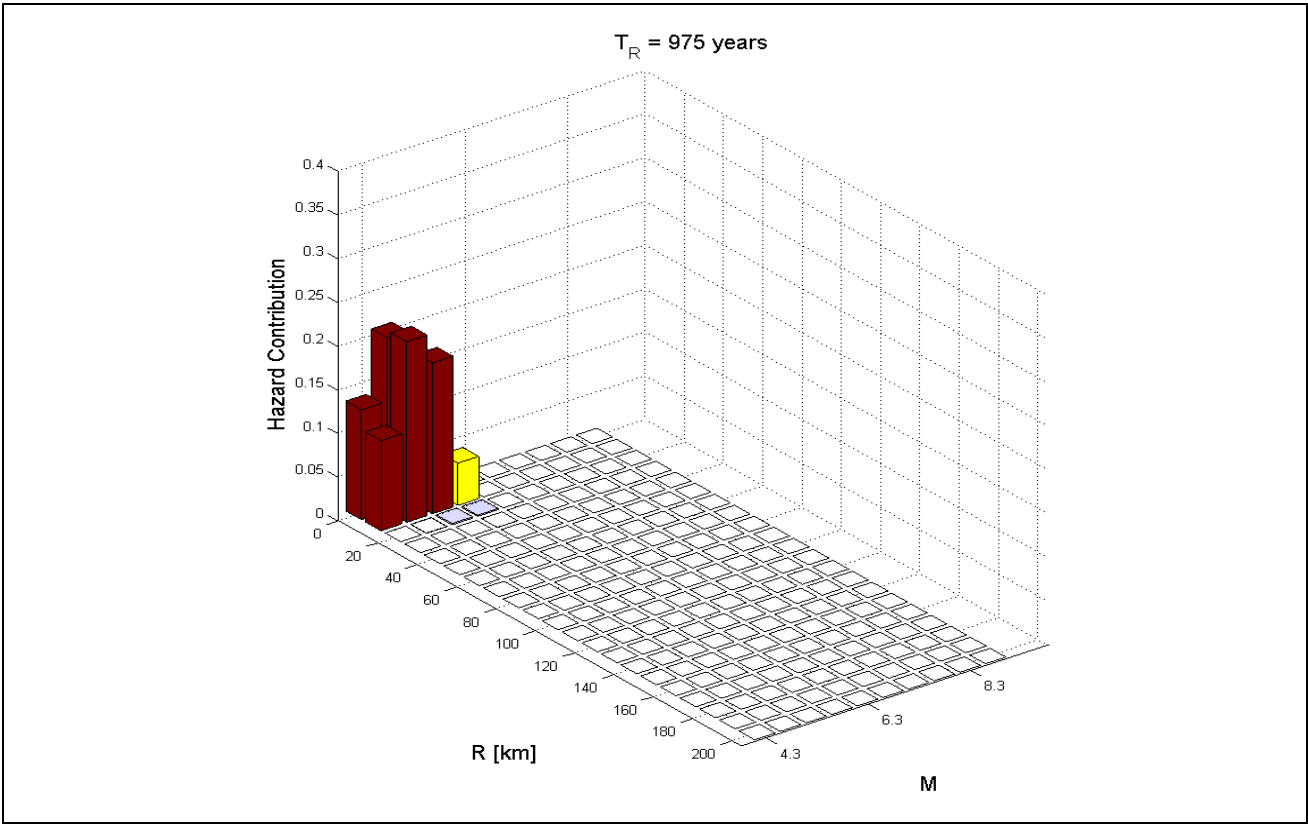
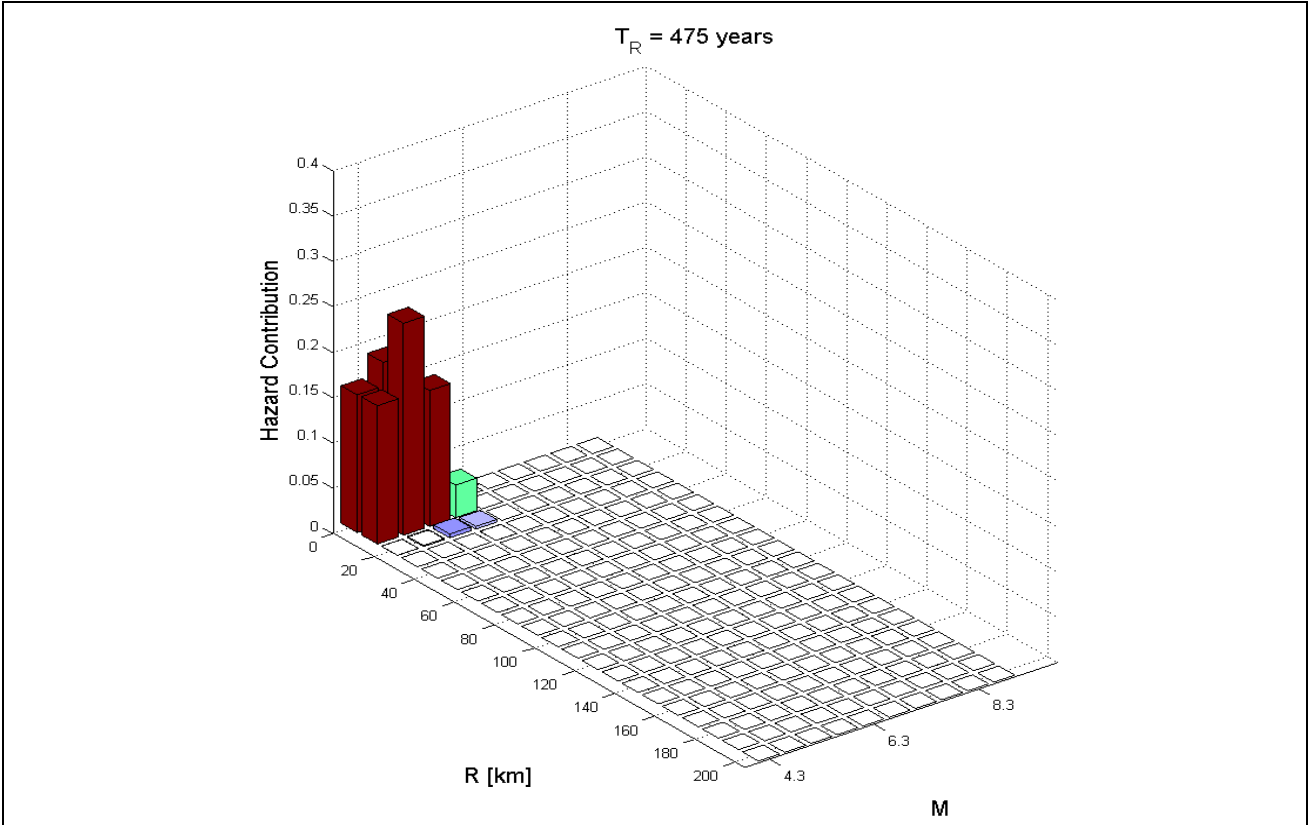
© I. Iervolino, C. Galasso, E. Cosenza (2010)

Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362

Poiché i dissipatori viscosi devono essere verificati e dimensionati anche per sismi a SLC, la disaggregazione della pericolosità sismica e, conseguentemente, la ricerca degli accelerogrammi, è stata svolta sia per eventi sismici tipici dello SLV che per lo SLC.

I grafici seguenti mostrano i risultati della disaggregazione della pericolosità sismica per il sito, a SLV e a SLC; essi esprimono la magnitudo e la distanza epicentrale dell'evento sismico che, statisticamente, ha la maggiore probabilità di produrre il superamento del valore dell'accelerazione di picco di progetto per il sito in esame:

Relazione sismica



Relazione sismica

Il set di registrazioni accelerometriche spettro-compatibili è stato individuato procedendo per tentativi. Al primo tentativo, la ricerca dei segnali accelerometrici naturali, è stata effettuata impostando i seguenti range:

- magnitudo compresa tra 4 e 6 Richter;
- distanza epicentrale fino a 20 km;

Nei tentativi ulteriori che sono stati svolti, fino a trovare il set di 7 terne spettro-compatibili, è stato lasciato invariato il range di magnitudo attesa, mentre è stato aumentato il range della distanza epicentrale.

La tabella seguente riporta i dati essenziali dei segnali accelerometrici che sono stati individuati ed impiegati in fase di verifica:

Registrazioni per sismi a SLV							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
772	350	ST223	Umbria Marche (aftershock)	03/10/1997	5.3	normal	20
600	286	ST223	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal	22
6960	473	ST3266	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8	oblique	27
1911	282	ST126	Komilion	25/02/1994	5.4	oblique	15
133	63	ST33	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	9
386	176	ST152	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	24
6975	473	ST3272	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8	oblique	26
Registrazioni per sismi a SLC							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
7010	2159	ST772	Izmit (aftershock)	11/11/1999	5.6	oblique	41
772	350	ST223	Umbria Marche (aftershock)	03/10/1997	5.3	normal	20
378	175	ST152	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	16
42	30	ST8	Ionian	04/11/1973	5.8	thrust	15

Relazione sismica

591	290	ST221	Umbria Marche	26/09/1997	5.7	normal	3
599	290	ST223	Umbria Marche	26/09/1997	5.7	normal	25
6975	473	ST3272	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8	oblique	26

I grafici che seguono, invece, permettono di valutare la spettro-compatibilità dei segnali accelerometrici scelti, sia per eventi sismici di SLV che per eventi di SLC.

In ogni grafico sono riportati:

- gli spettri relativi ad ogni registrazione accelerometrica;
- lo spettro medio (linea continua nera e spessa), ottenuto mediando le ordinate spettrali degli spettri dei vari segnali;
- lo spettro di risposta elastico di normativa (linea continua rossa e sottile);
- il limite inferiore di accettabilità dello spettro medio (linea tratteggiata rossa), ottenuto riducendo del 10% le ordinate dello spettro di risposta di normativa;
- il limite inferiore del range di periodi in cui valutare la spettro compatibilità, pari a 0.15 s (linea tratteggiata verticale nera);
- il limite superiore del range di periodi in cui valutare la spettro compatibilità, pari a 2 s (linea tratto-punto verticale nera);

Nel grafico è segnato anche un limite superiore di accettabilità dello spettro medio (linea punteggiata rossa), corrispondente ad un incremento del 30% delle ordinate dello spettro di risposta di normativa; tale limite superiore non è imposto dalla normativa vigente, ma è ragionevole limitare superiormente le ordinate dello spettro medio, per non avere segnali accelerometrici troppo differenti rispetto allo spettro di normativa.

Nella legenda di ciascun grafico, sono riportati anche i fattori di riscalatura dello spettro e conseguentemente del segnale accelerometrico, per giungere alla spettro-compatibilità.

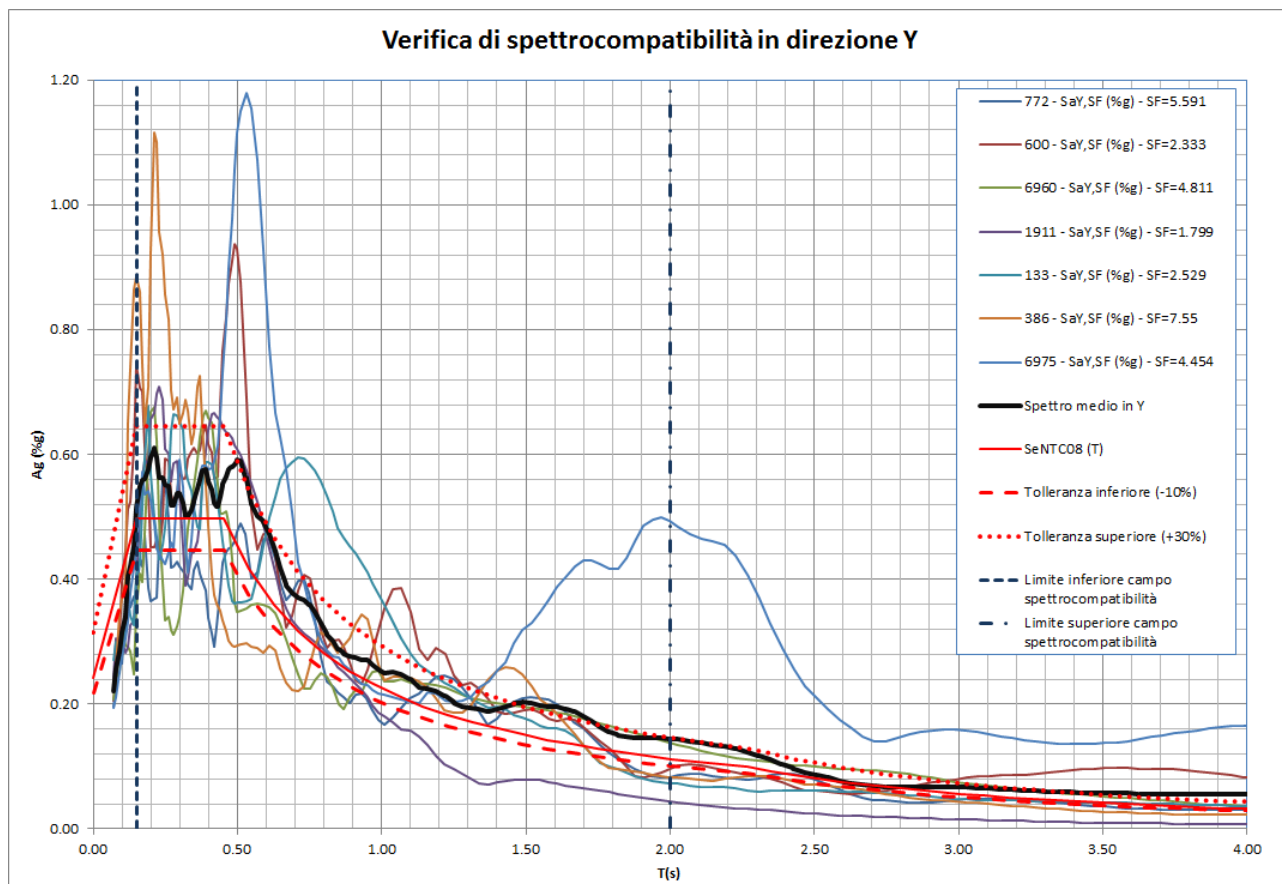
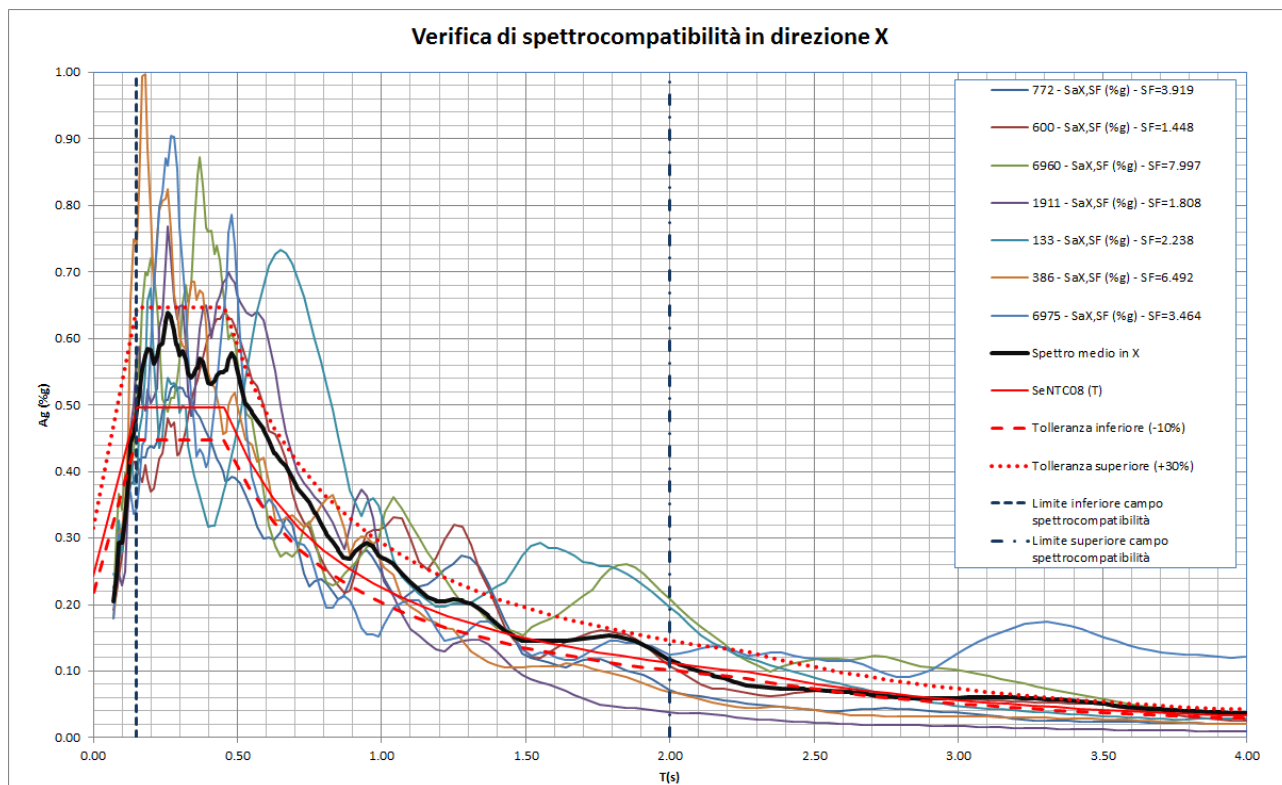
La riscalatura degli accelerogrammi è stata effettuata in riferimento alle PGA, ed il relativo fattore di riscalatura è calcolato con la relazione seguente:

$$SF = \frac{PGA_{NTC08} \cdot g \cdot S}{PGA_{REAL}}$$

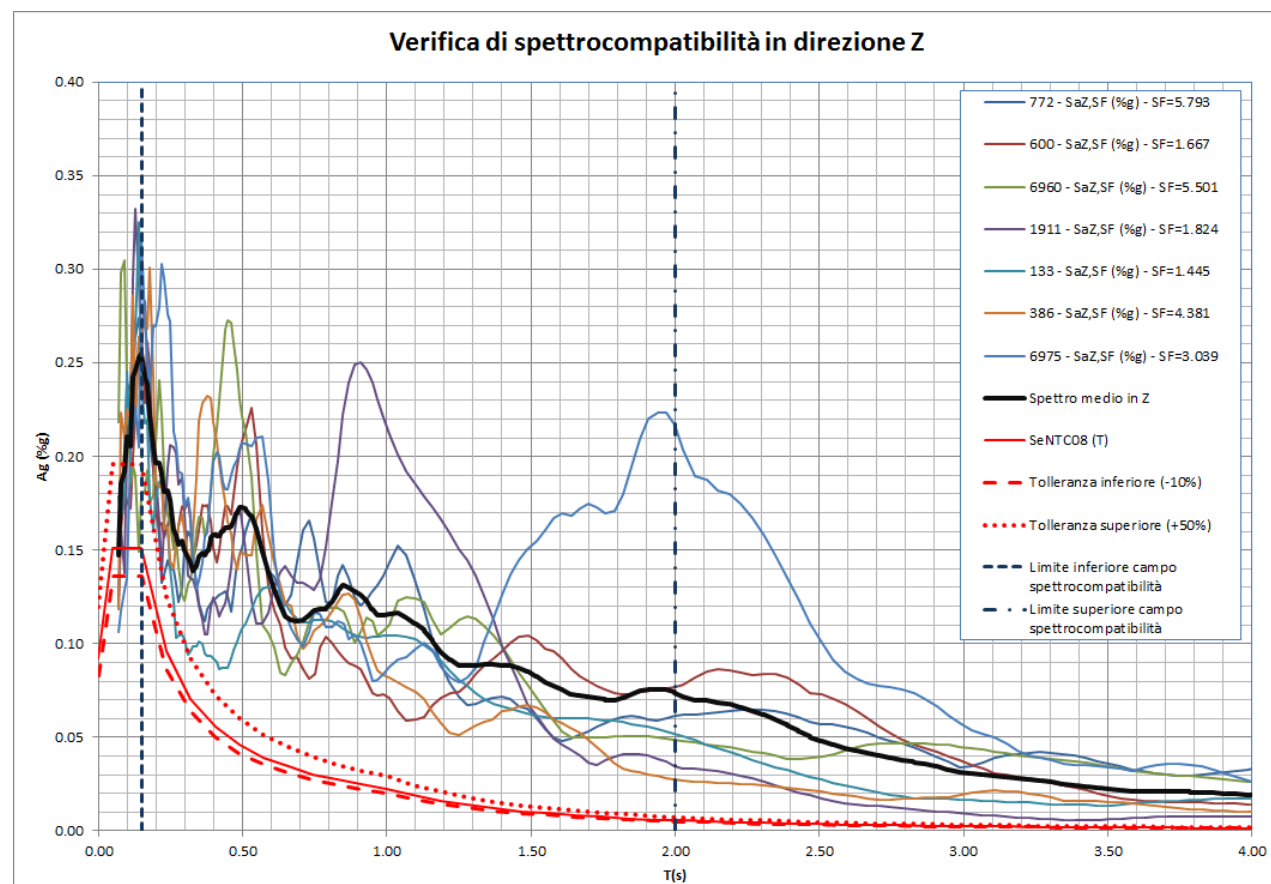
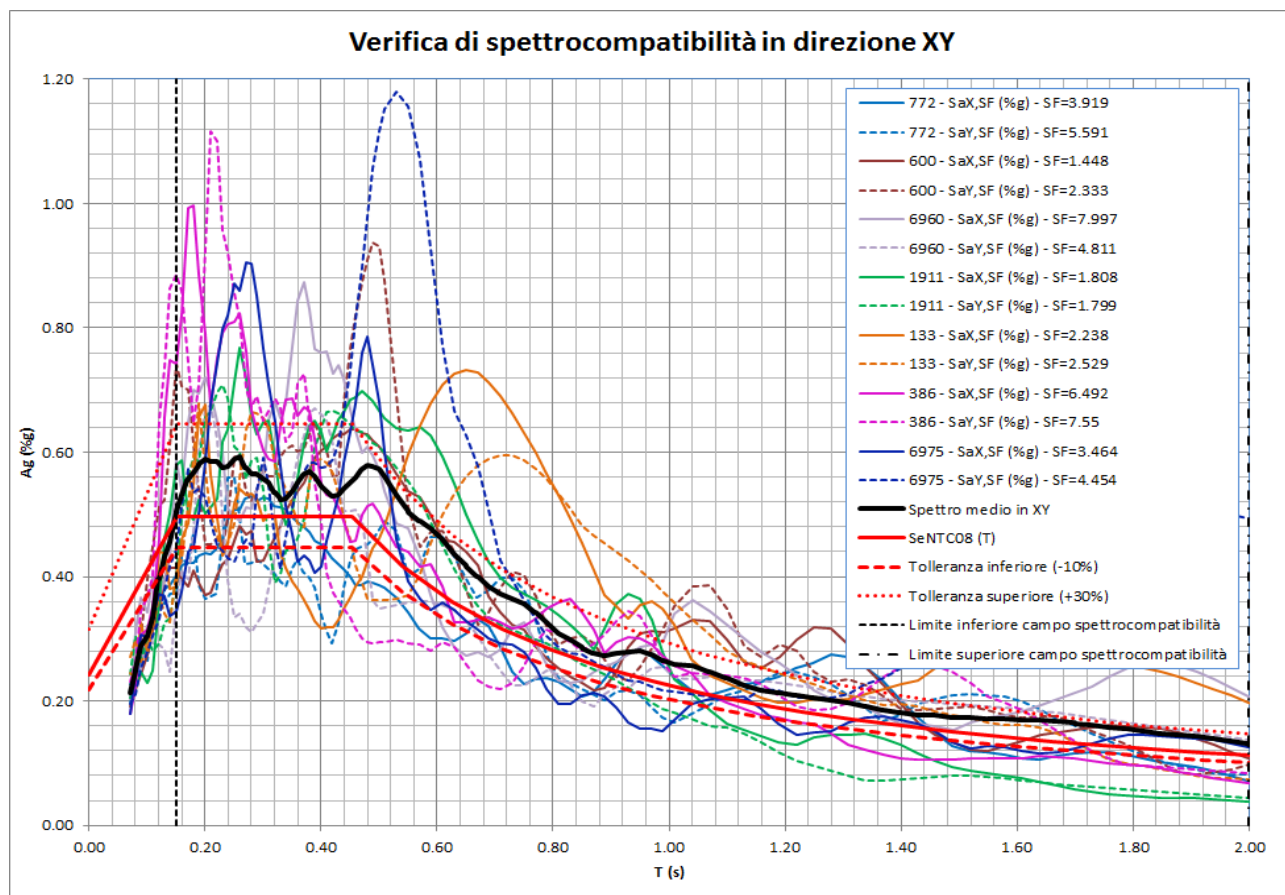
in cui:

- $PGA_{NTC08} \cdot g$, in m/s^2 , rappresenta l'accelerazione, al bedrock, della pericolosità sismica del sito;
- S è il fattore di suolo e definisce l'amplificazione delle ordinate spettrali per effetto della natura del terreno di fondazione al di sopra del *bedrock*; $PGA_{NTC08} \cdot g \cdot S$, rappresenta quindi l'accelerazione di picco, al suolo, della pericolosità sismica del sito;
- PGA_{REAL} è l'accelerazione di picco, al suolo, della registrazione accelerometrica dell'evento sismico; PGA_{REAL} è il valore assoluto massimo delle accelerazioni registrate durante l'evento e, sullo spettro relativo all'accelerogramma, corrisponde al valore di accelerazione in corrispondenza del periodo $T=0$;

Relazione sismica

Spettro-compatibilità per accelerogrammi di eventi SLV:

Relazione sismica

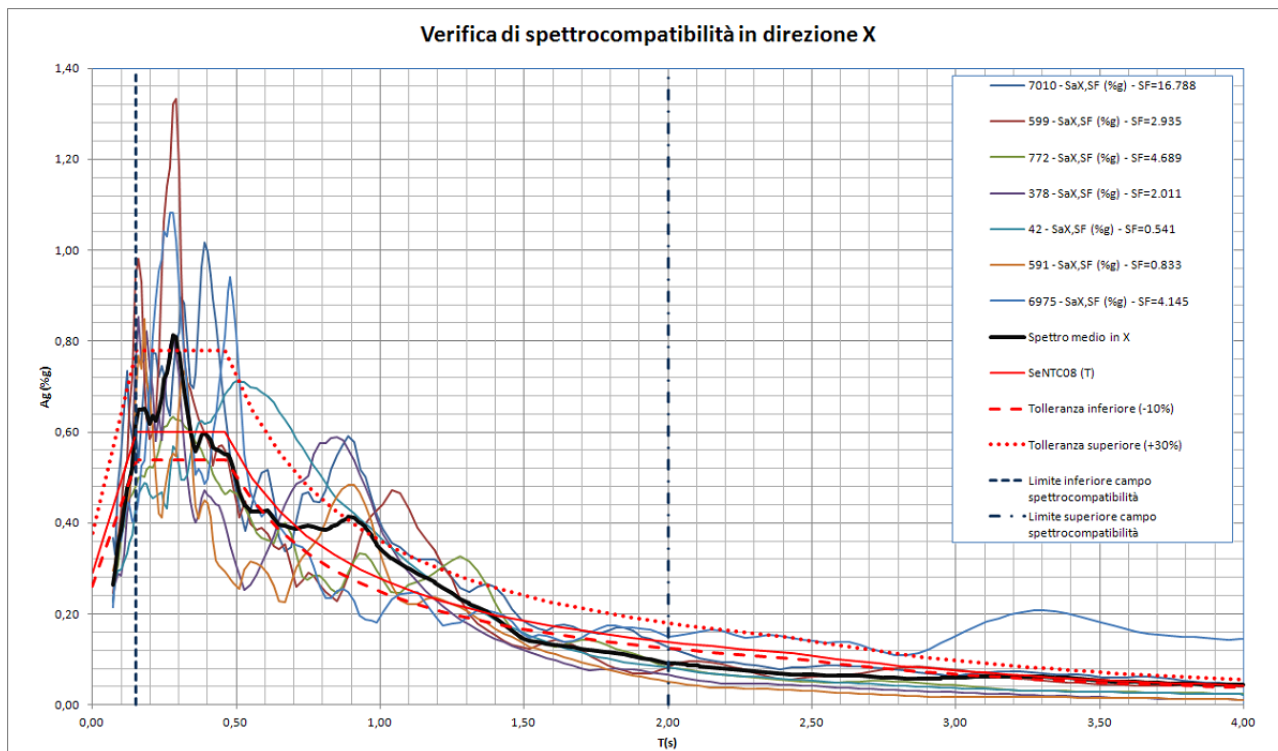


Relazione sismica

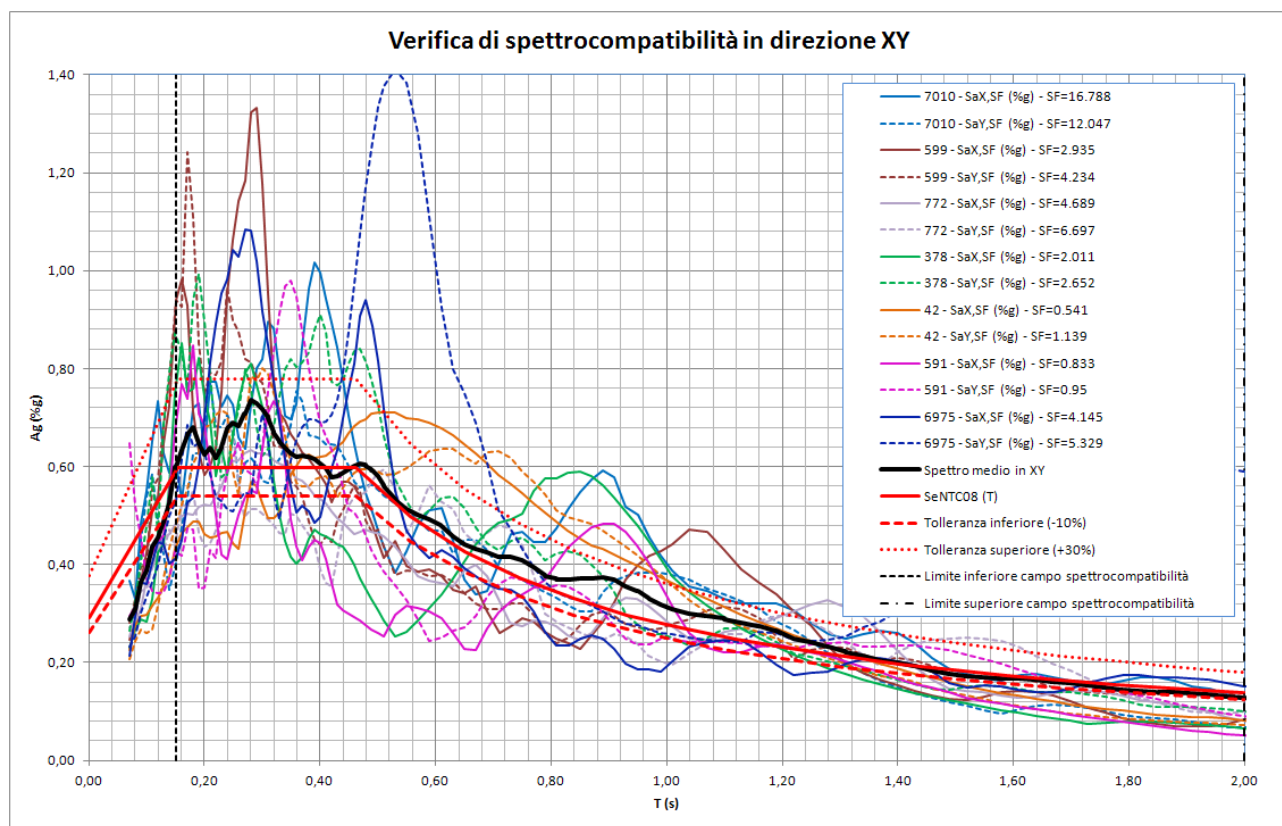
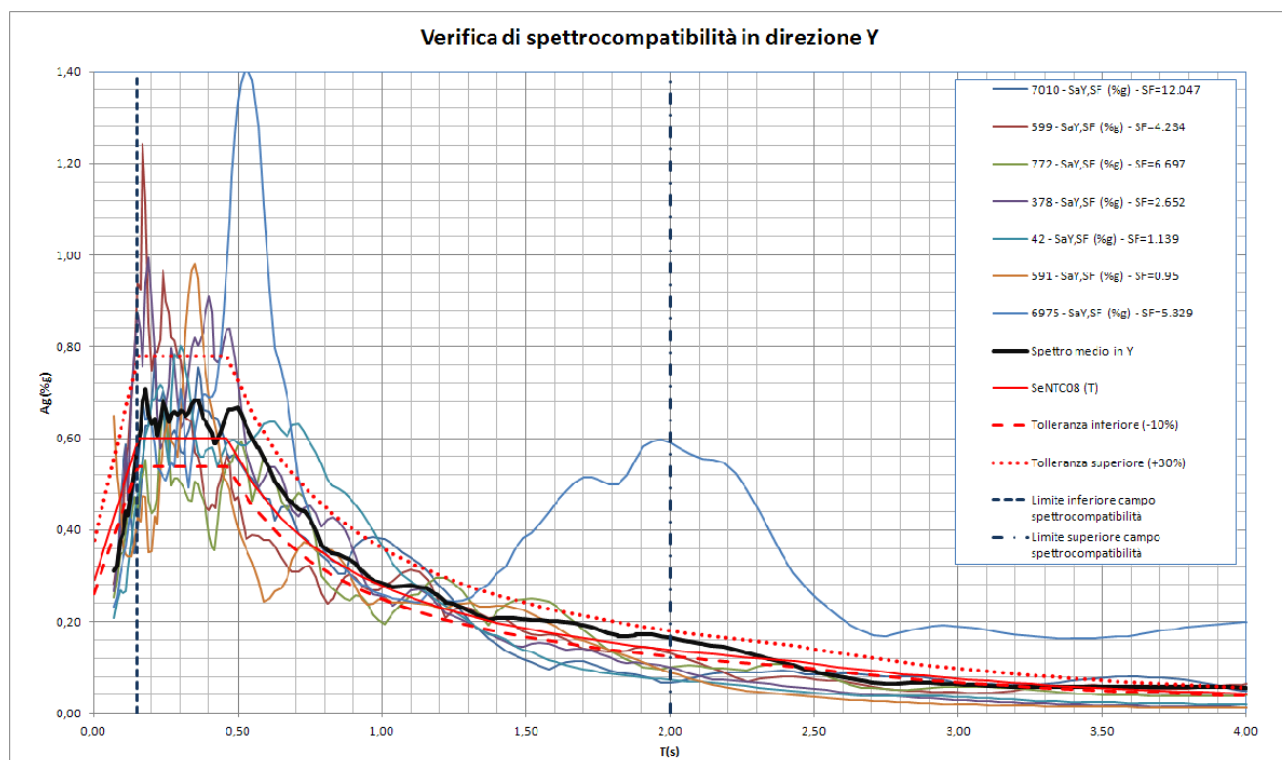
E' immediato constatare quindi che, per i segnali individuati, mentre per le componenti di accelerazione orizzontali lo spettro medio resta all'interno del range di tolleranza fissato per le ordinate spettrali, in direzione verticale lo spettro medio è molto più alto del limite superiore di tolleranza.

Poiché gli spettri medi, sia in direzione verticale che orizzontale, sono maggiori di quello di normativa (per la componente verticale in modo marcato), la struttura in C.A. esistente ed il sistema dei setti di rinforzo, saranno dunque analizzati e verificati per sollecitazioni sismiche leggermente più grandi di quelle prescritte dalla normativa attuale per il sito.

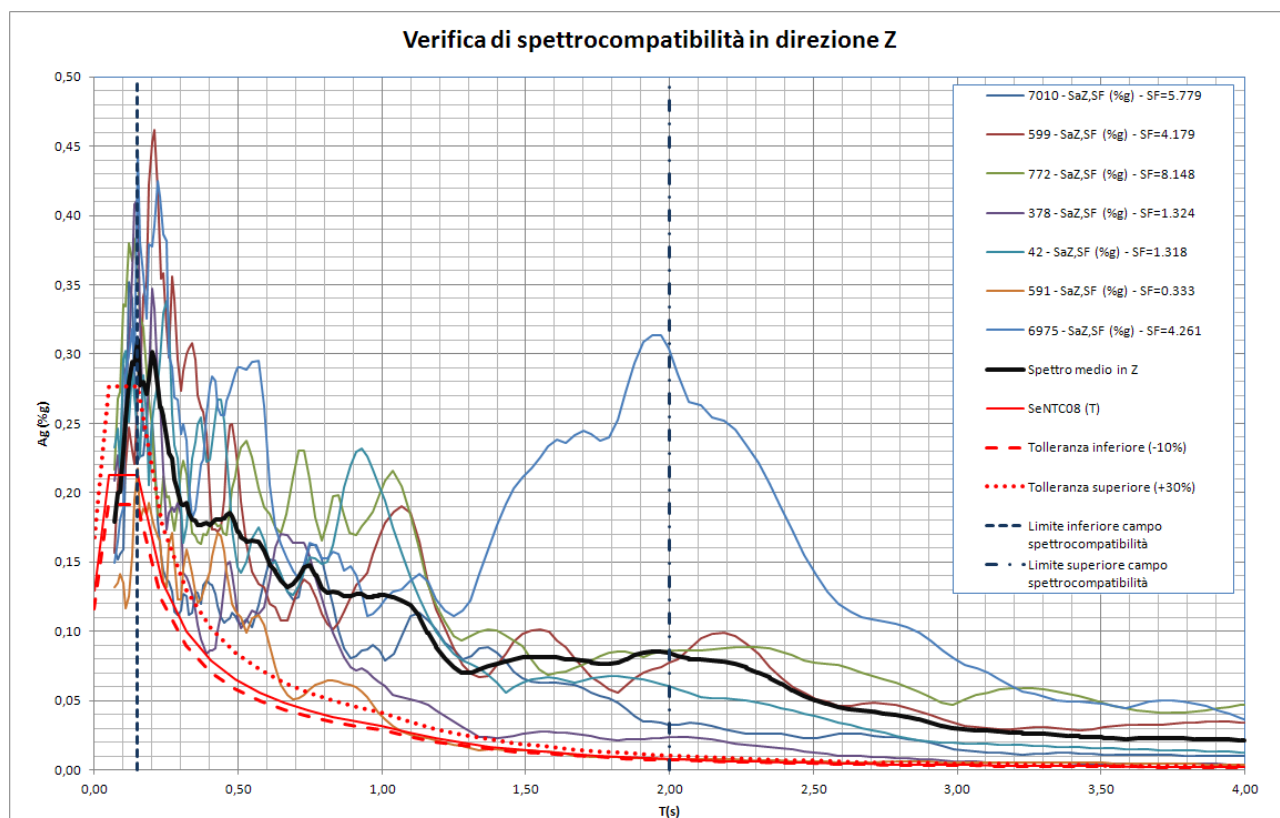
Spettro-compatibilità per accelerogrammi di eventi SLC:



Relazione sismica



Relazione sismica



E' immediato constatare quindi che, per i segnali individuati, le componenti di accelerazione orizzontali restano entro il range di tolleranza fissato per le ordinate spettrali, tranne che per un piccolo intervallo di periodi in direzione X, mentre lo spettro medio dell'azione combinata XY è spettro-compatibile.

Il range di periodi in cui lo spettro medio è appena al di sotto del limite inferiore di tolleranza, non è comunque significativo né per il sistema *telaio in C.A. + setti di rinforzo* (per il quale i periodi significativi sono più corti) che per il solo telaio in C.A. della configurazione dello stato di fatto (in cui i periodi significativi sono più lunghi).

Anche a SLC il valore dello spettro medio per la componente verticale è ben al di sopra di quello di riferimento per il sito in esame.

Relazione sismica

3. Segnali accelerometrici riscaldati

L'effetto della riscalatura degli accelerogrammi, in riferimento al valore della PGA, è evidente dai grafici seguenti: il valore di picco dell'accelerazione al terreno, di ogni singola registrazione riscalata, tende al valore del prodotto:

$$PGA_{NTC08} \cdot g \cdot S$$

Per i segnali accelerometrici relativi ad eventi di SLV, il valore di picco dell'accelerazione al suolo (per la componente orizzontale e verticale) si ha quindi:

$$PGA_{NTC08,H} \cdot g \cdot S = 0.164 \cdot g \cdot 1.457 \cong 2.35$$

$$PGA_{NTC08,V} \cdot g \cdot S = xxx \cdot g \cdot xxx \cong xxx$$

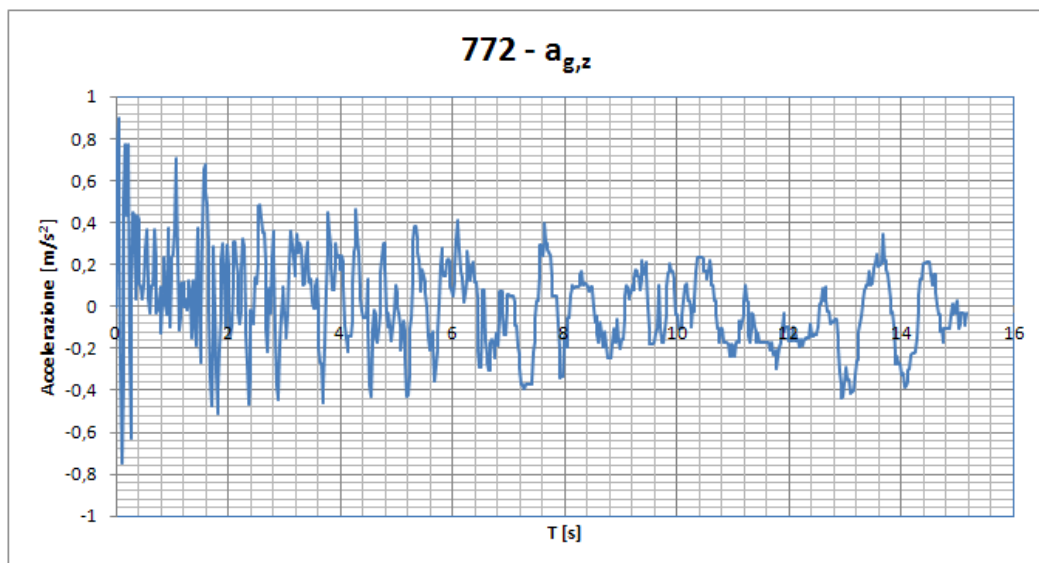
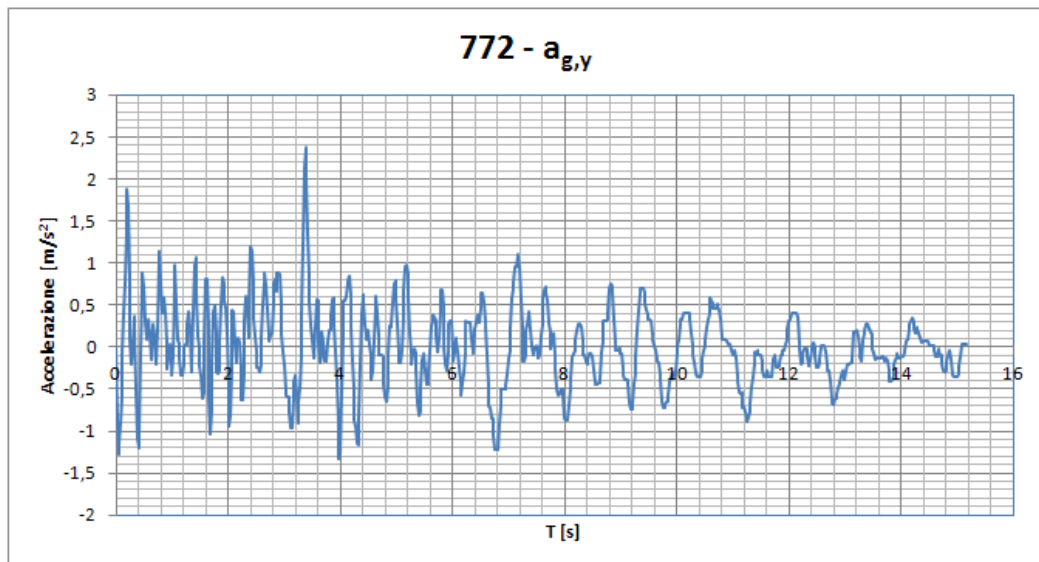
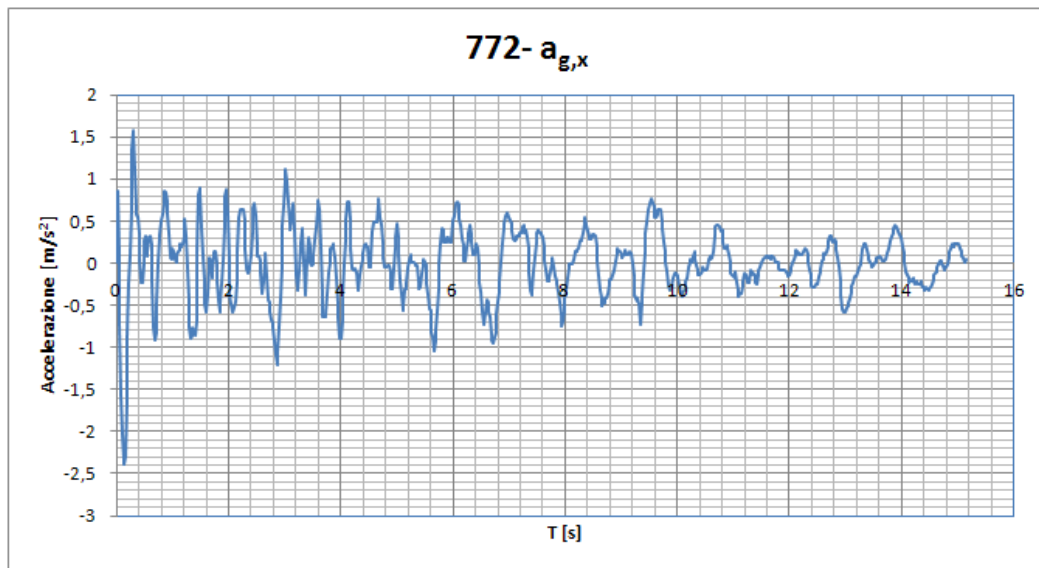
mentre per gli accelerometri relativi ad eventi di SLC:

$$PGA_{NTC08,H} \cdot g \cdot S = 0.209 \cdot g \cdot 1.39 \cong 2.85$$

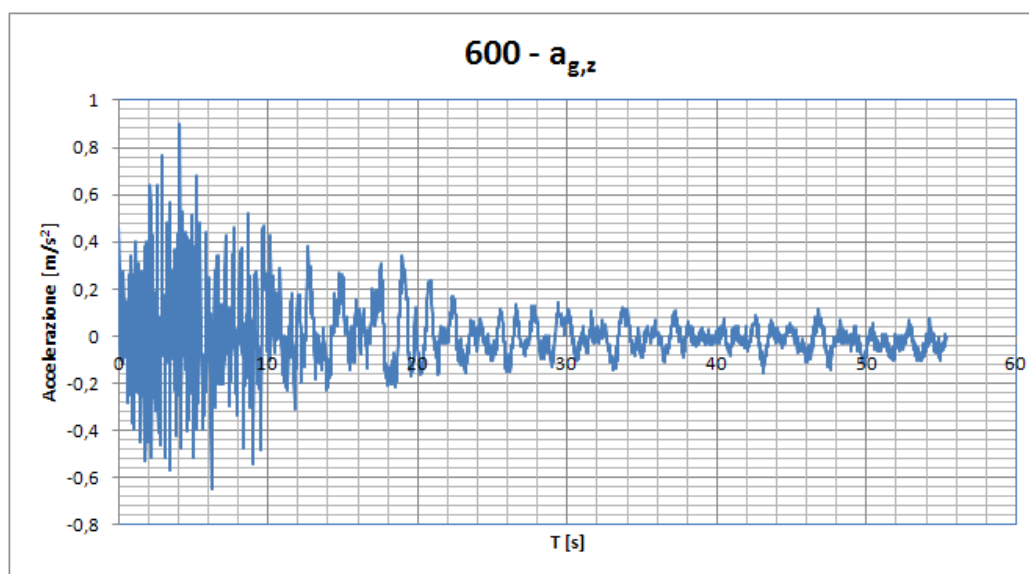
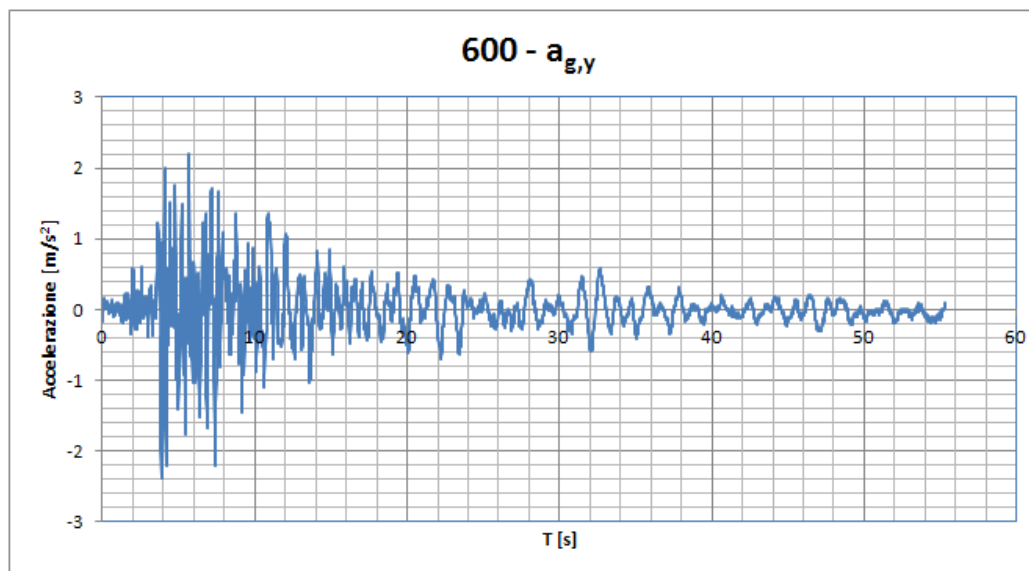
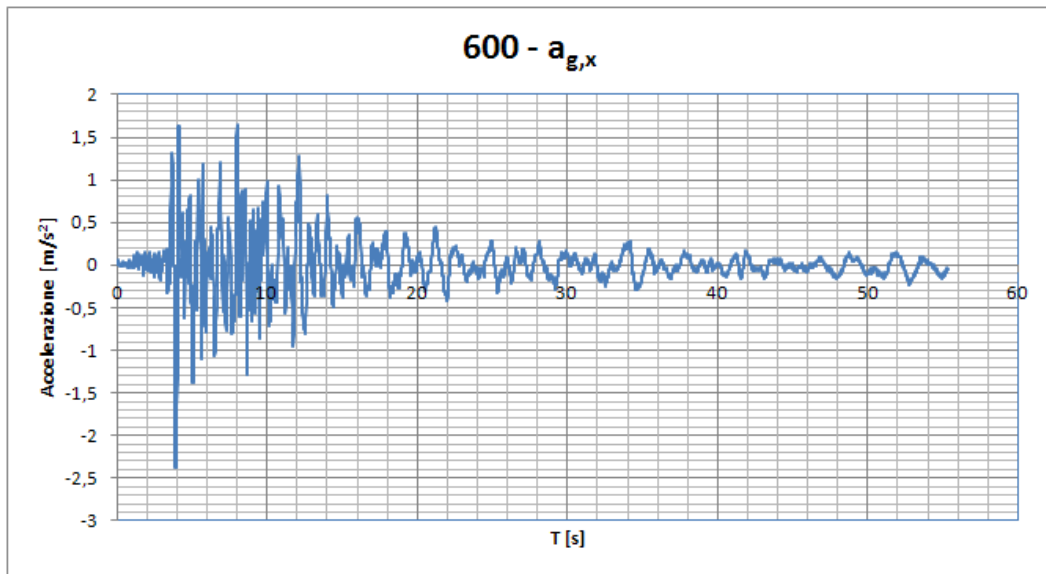
$$PGA_{NTC08,V} \cdot g \cdot S = 0.129 \cdot g \cdot 1 \cong 1.26$$

Relazione sismica

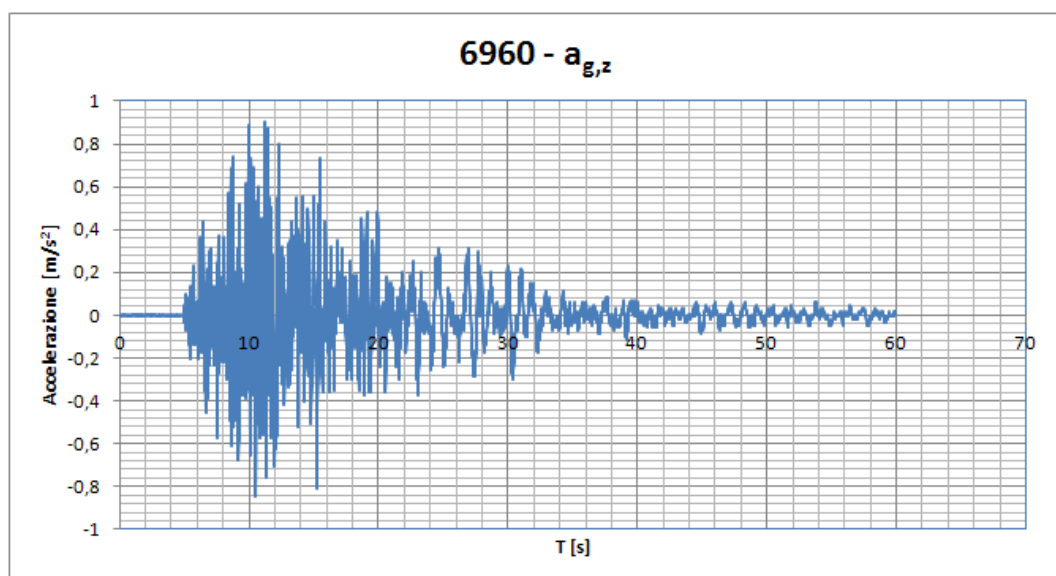
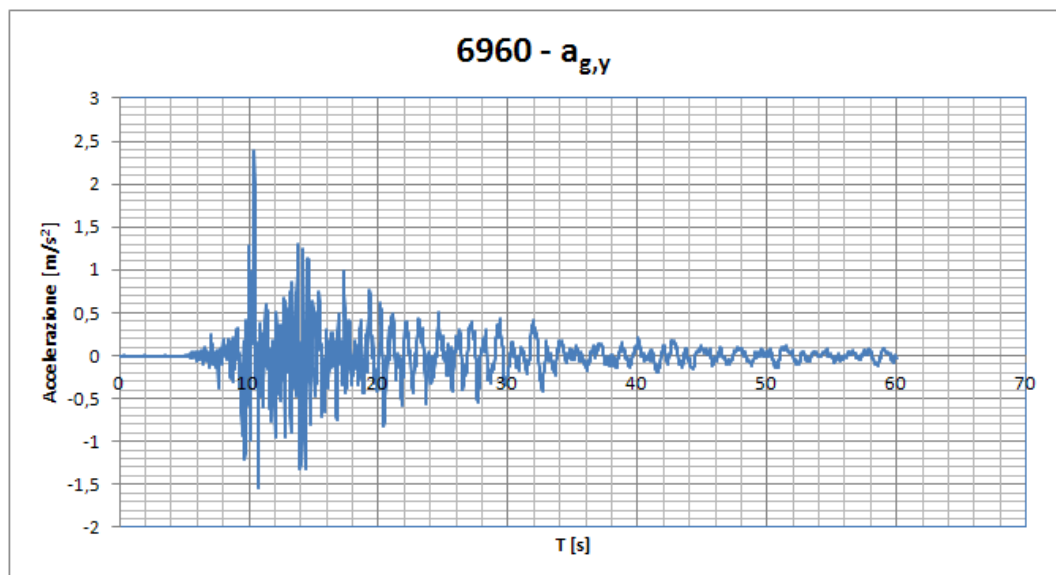
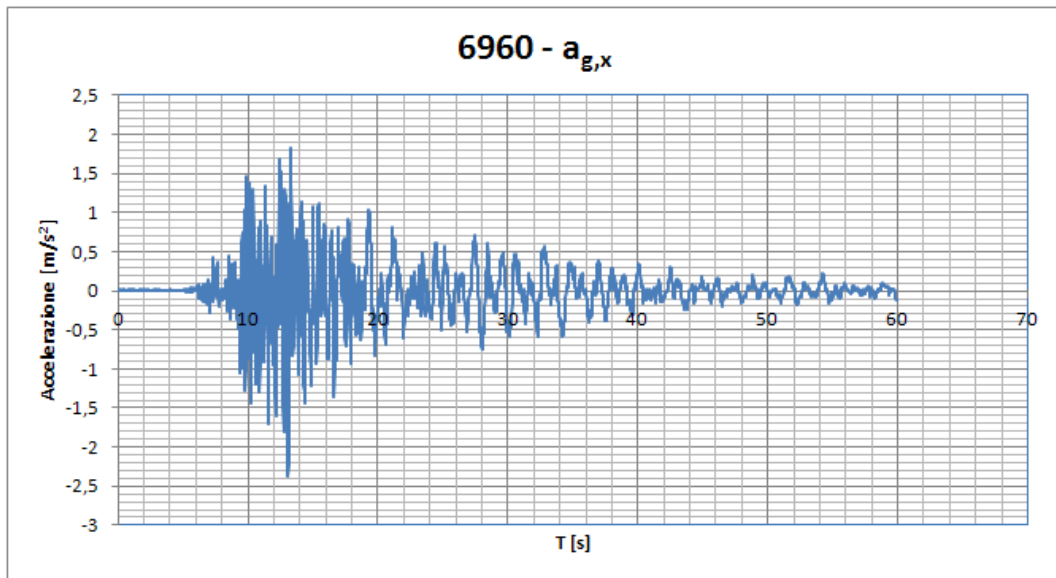
3.1 Accelerogrammi per analisi di SLV



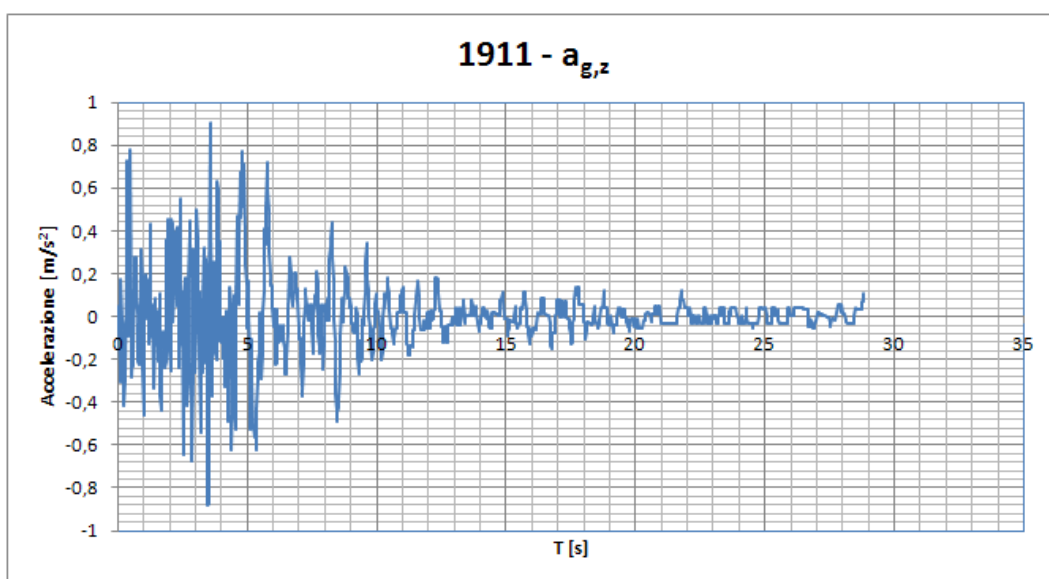
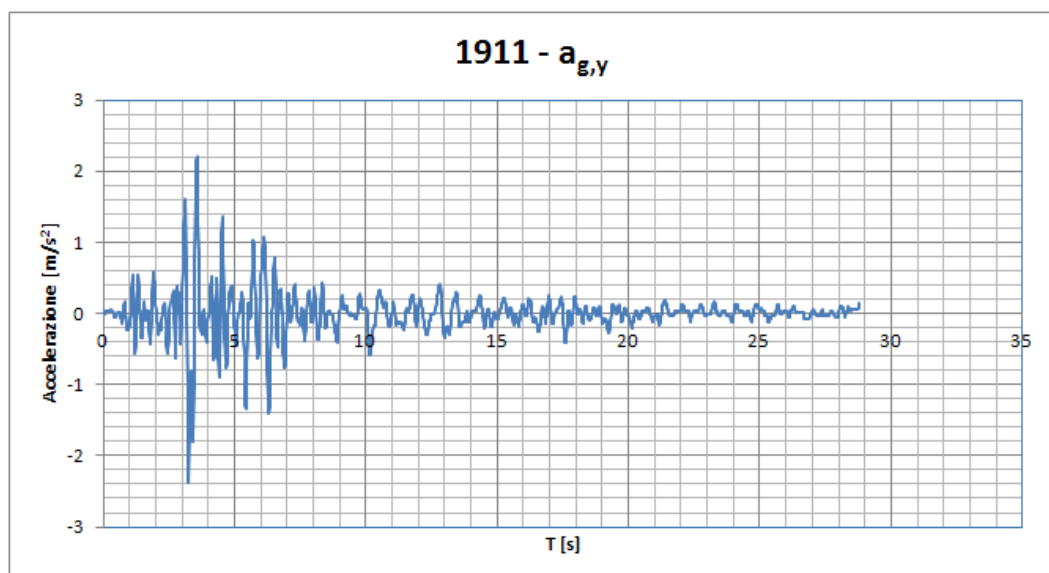
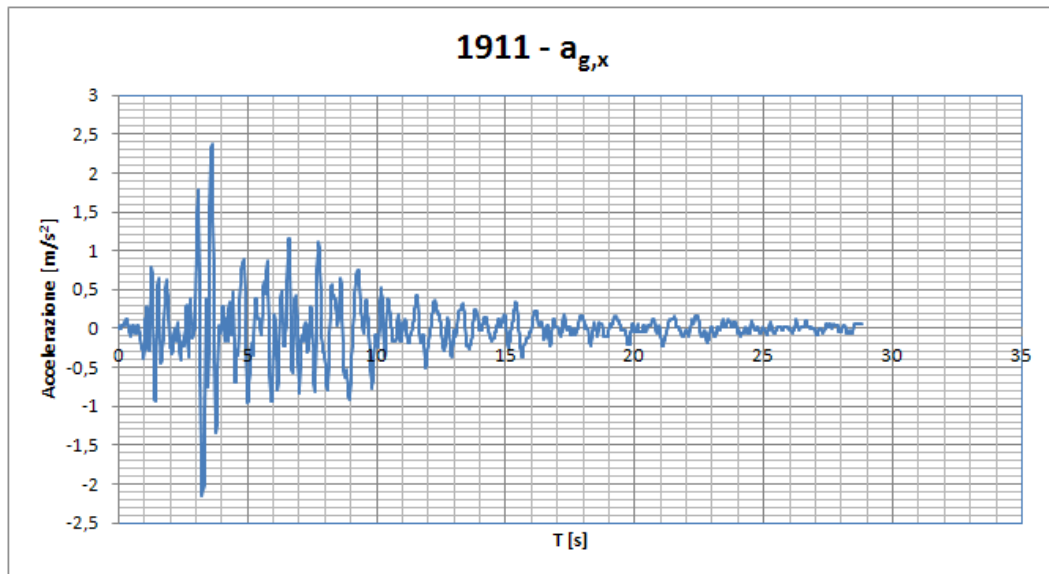
Relazione sismica



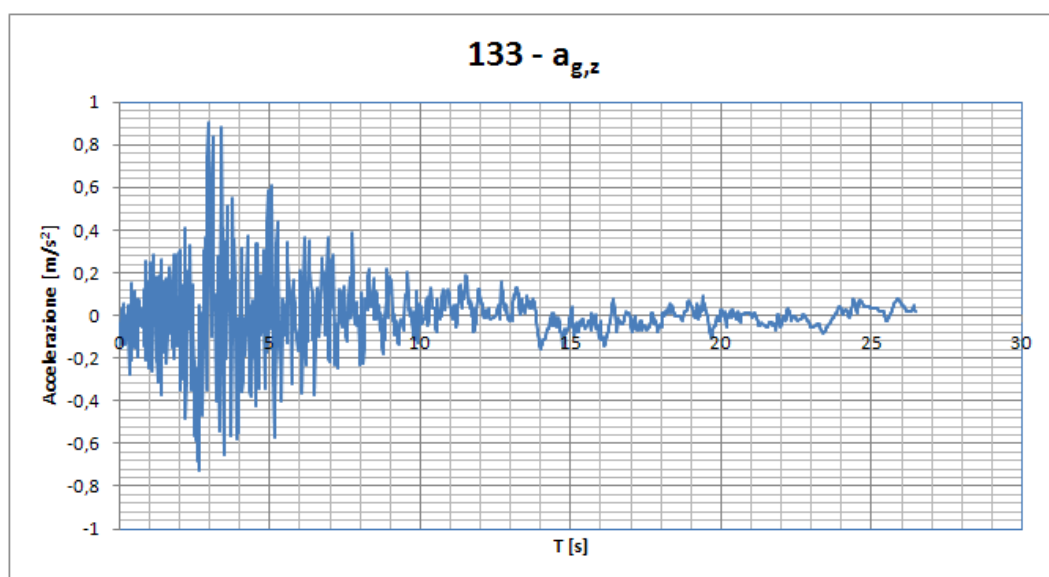
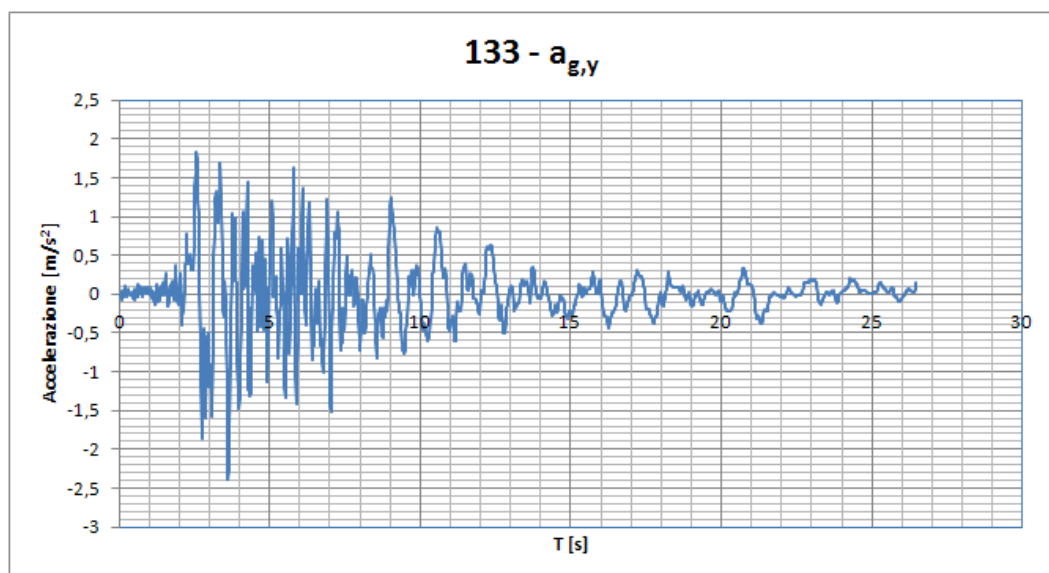
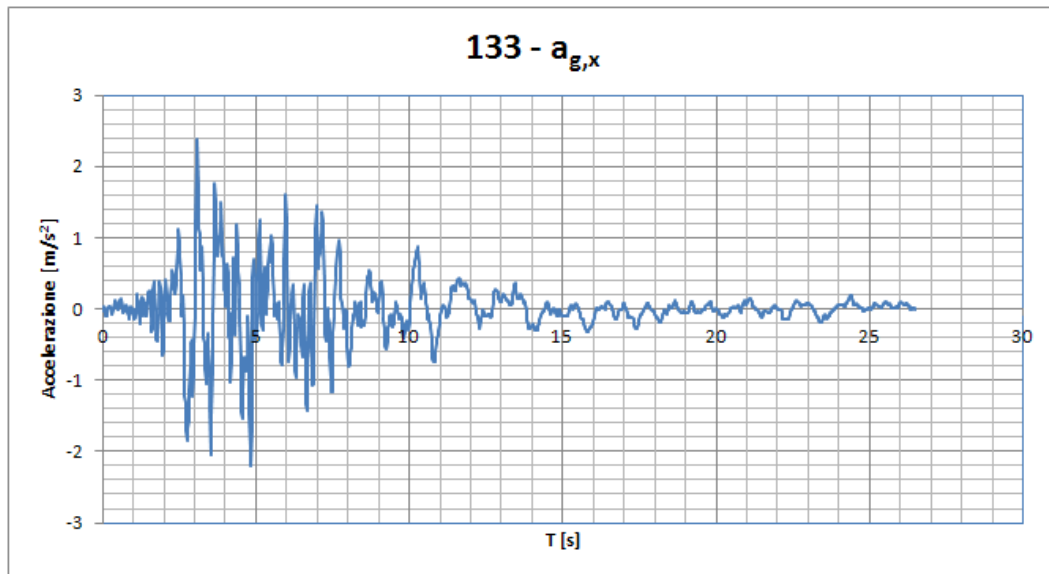
Relazione sismica



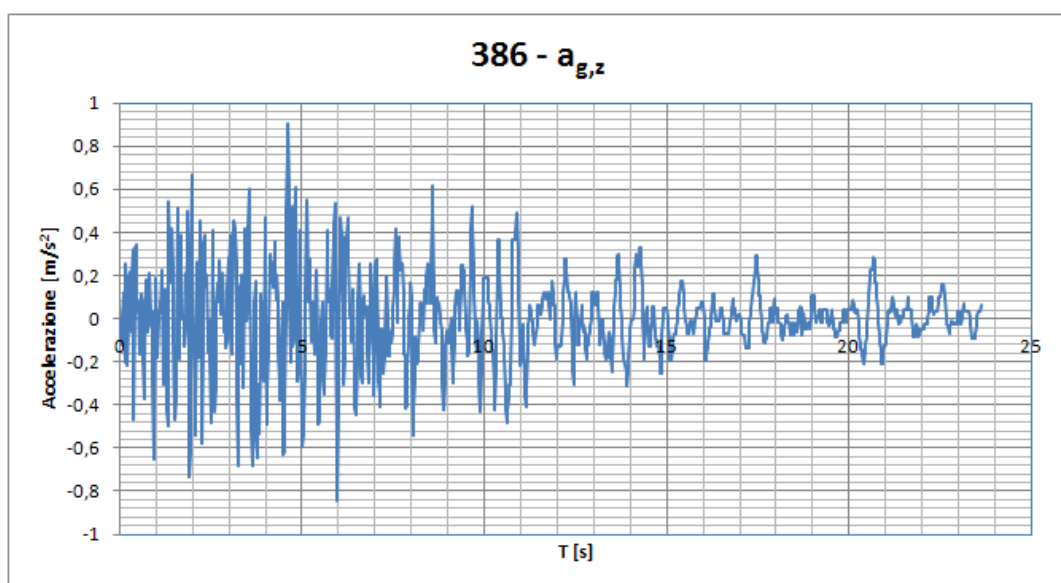
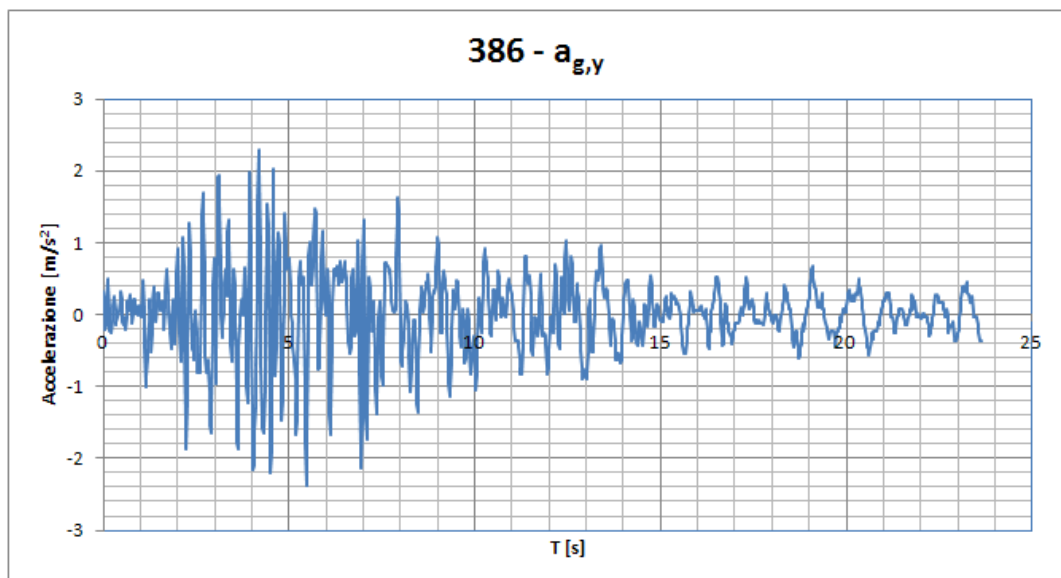
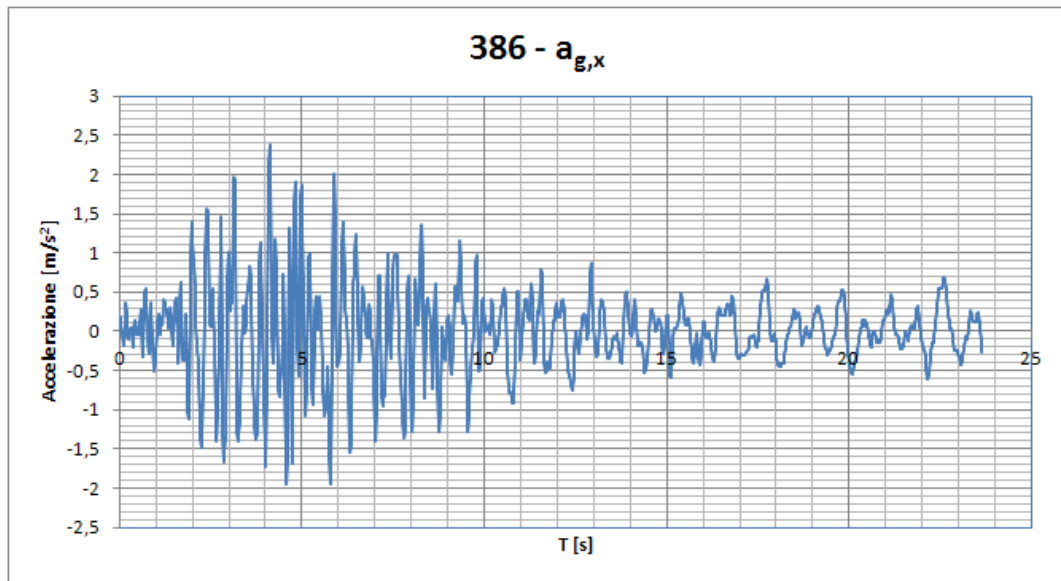
Relazione sismica



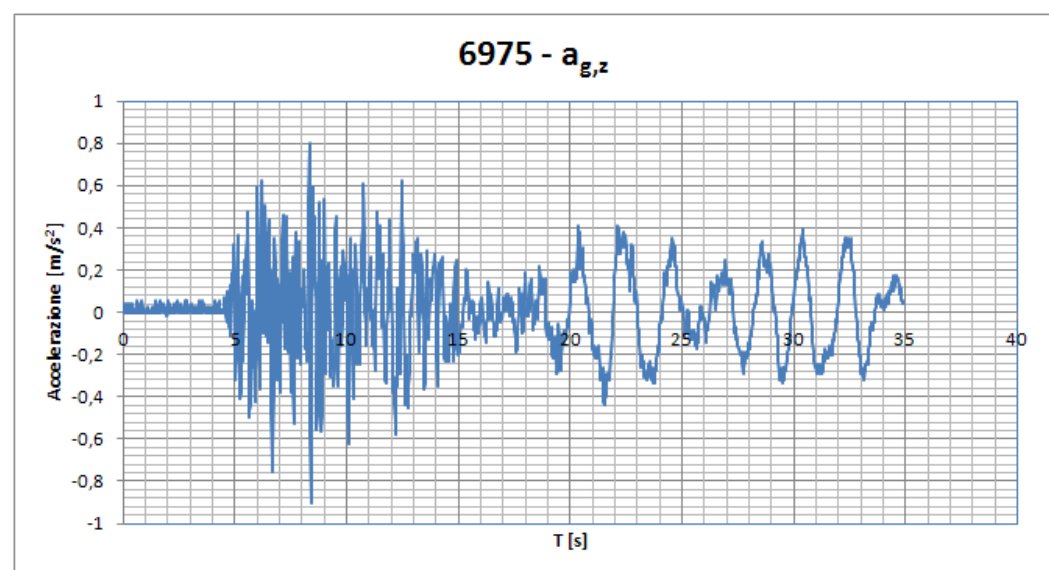
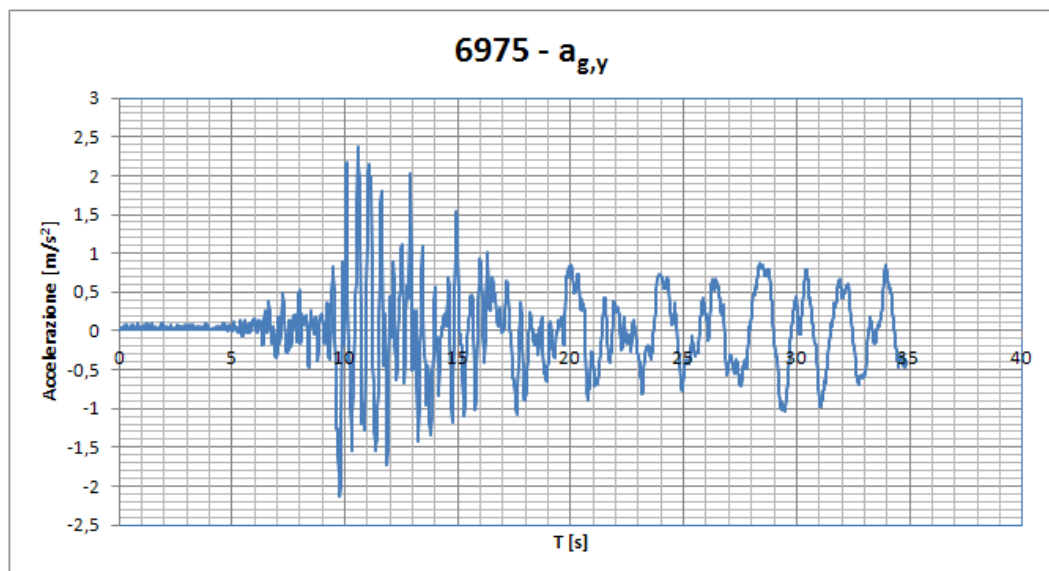
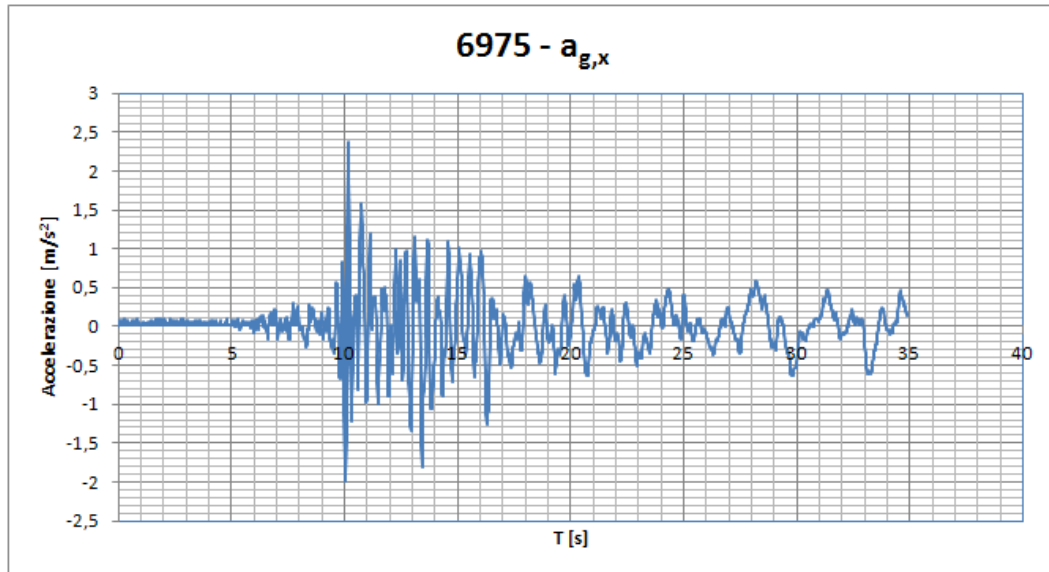
Relazione sismica



Relazione sismica

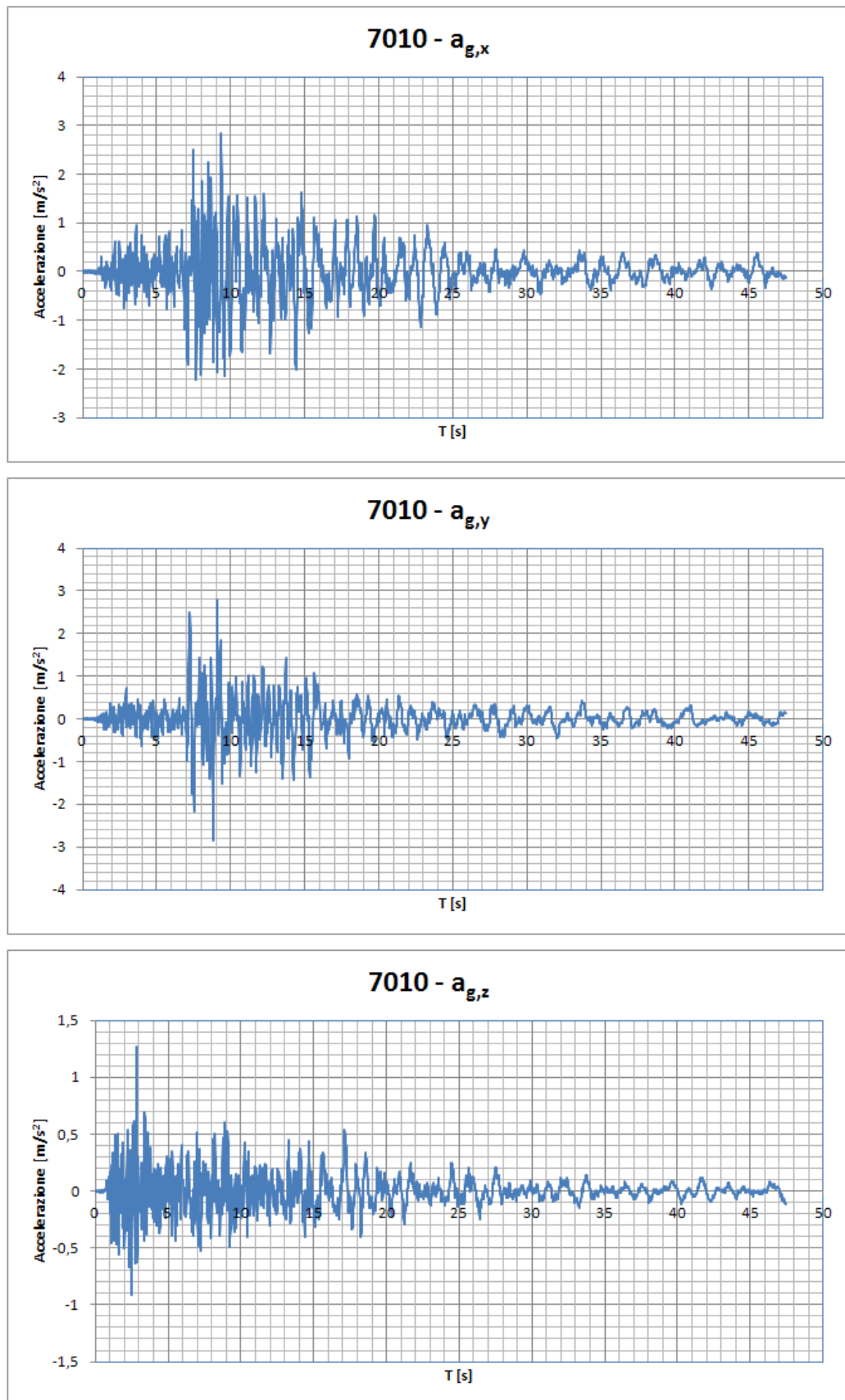


Relazione sismica

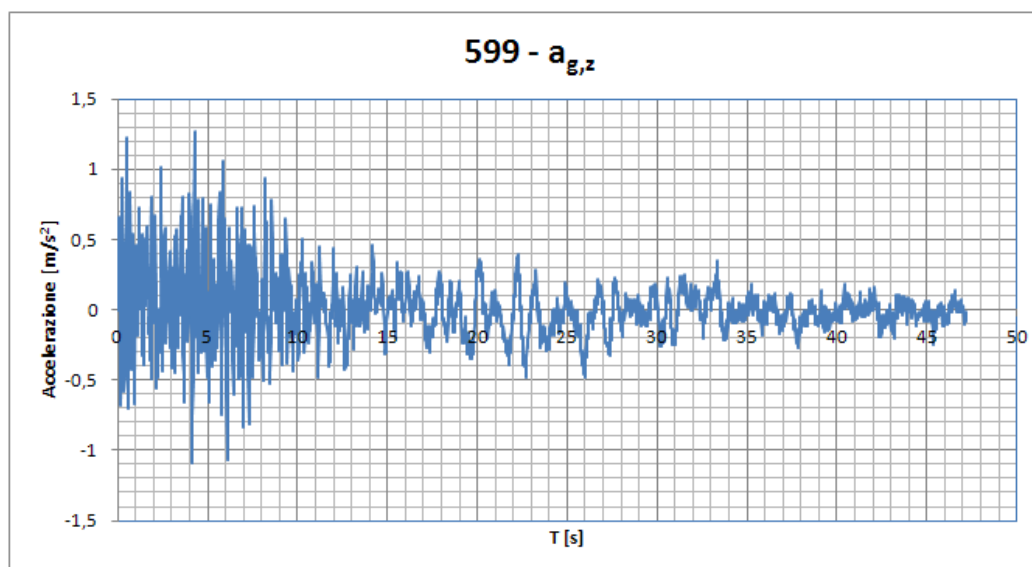
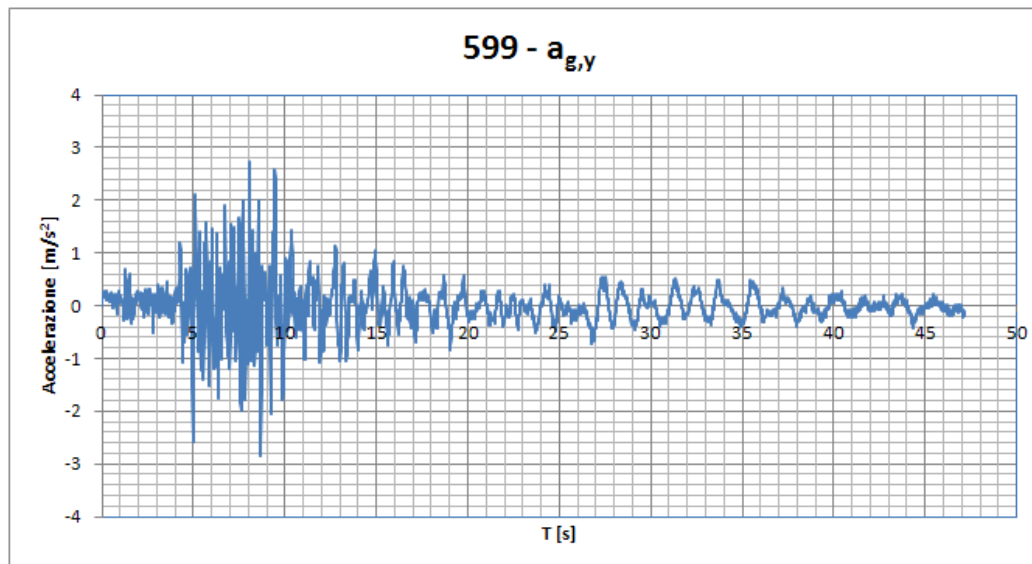
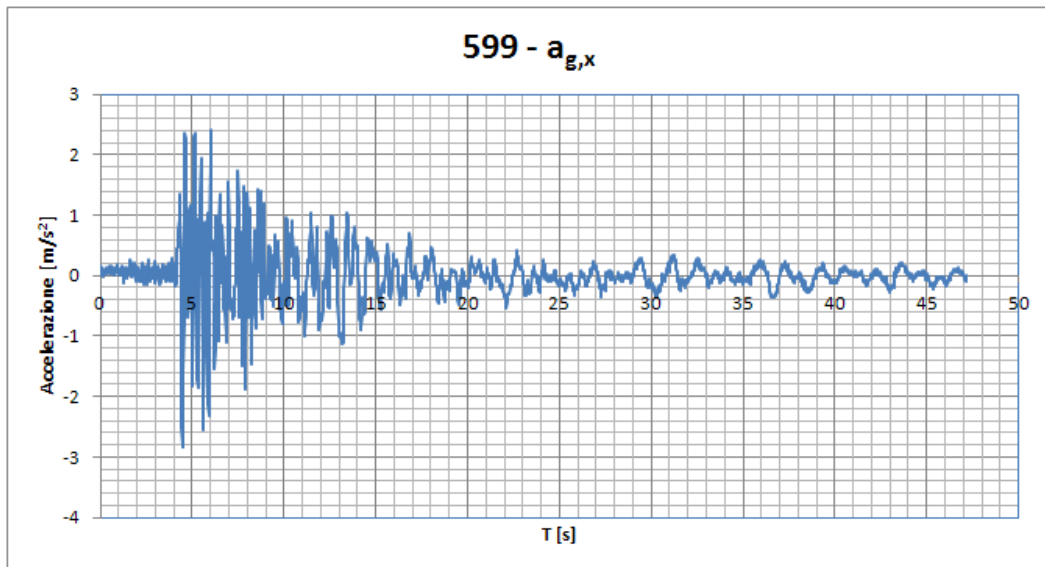


Relazione sismica

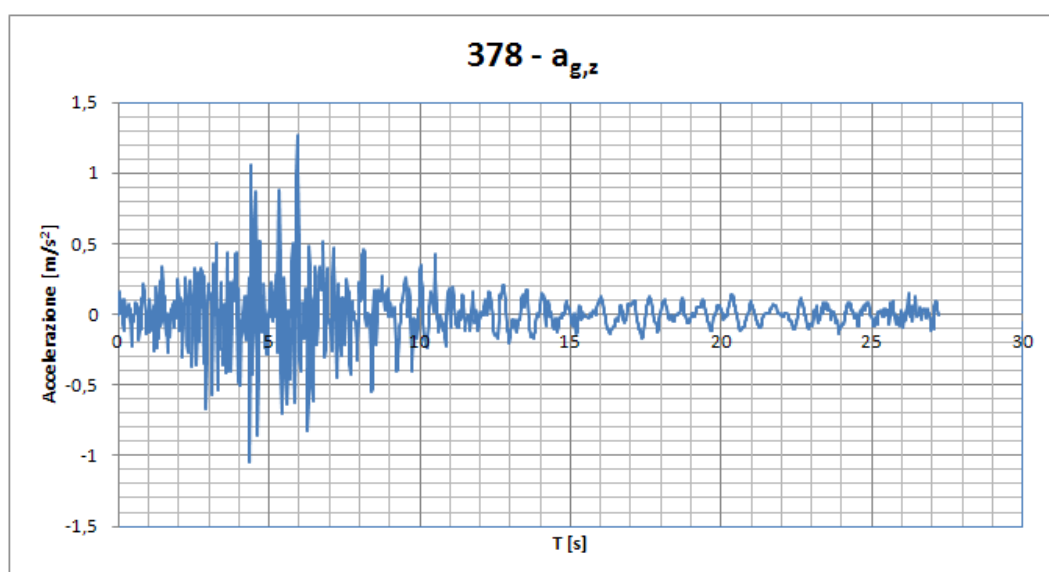
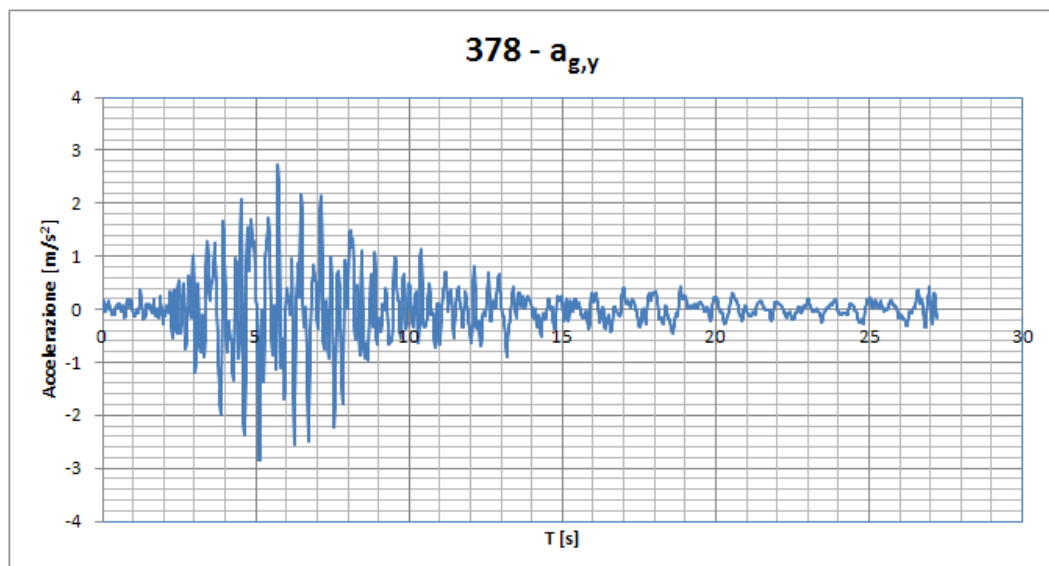
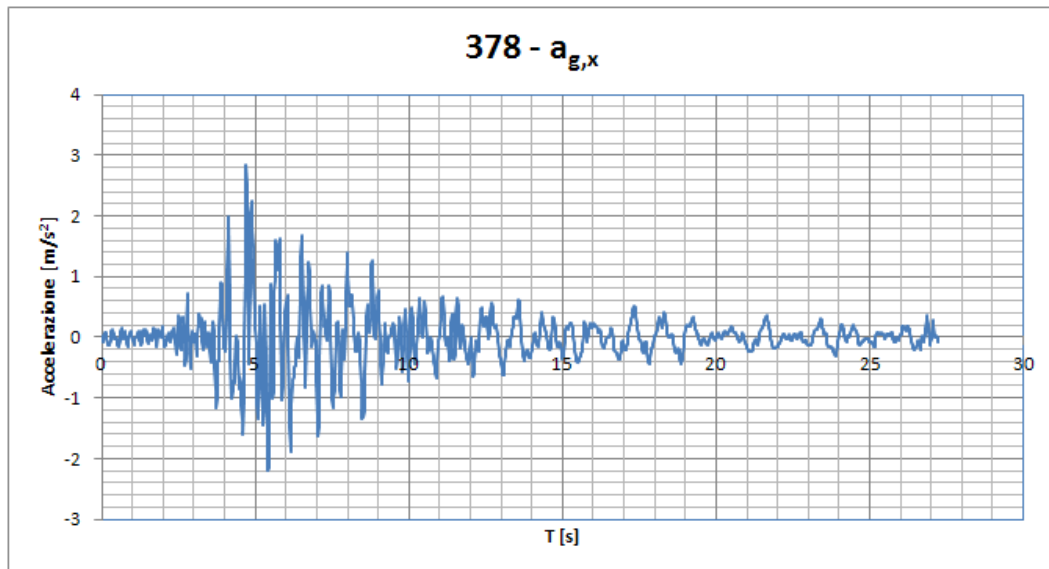
3.2 Accelerogrammi per analisi di SLC



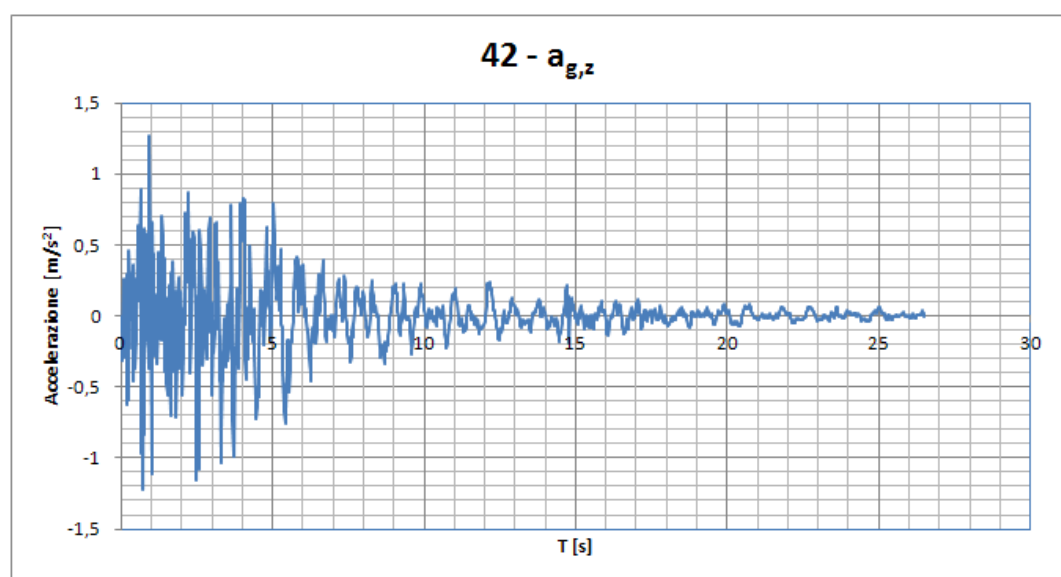
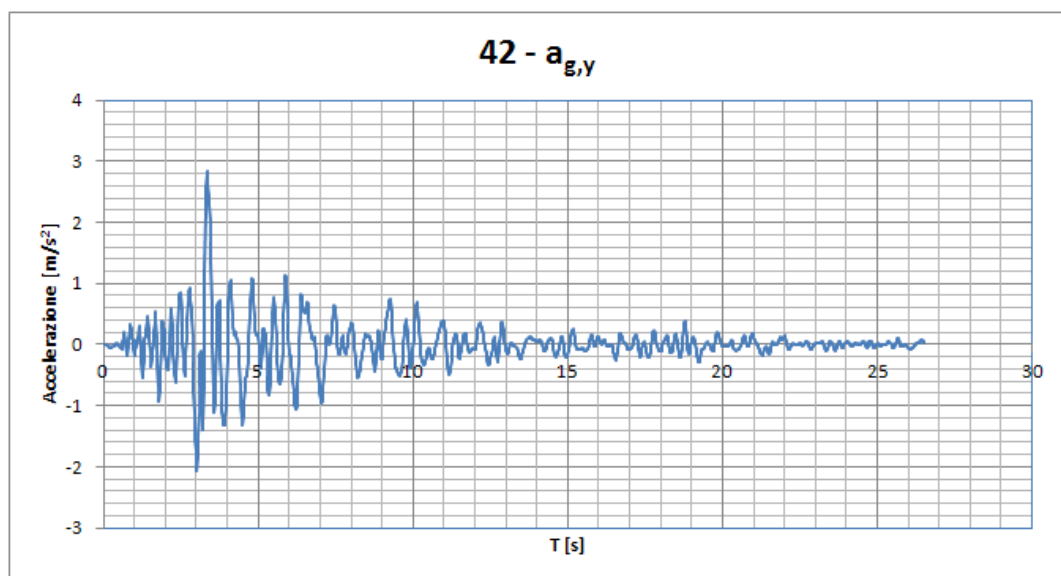
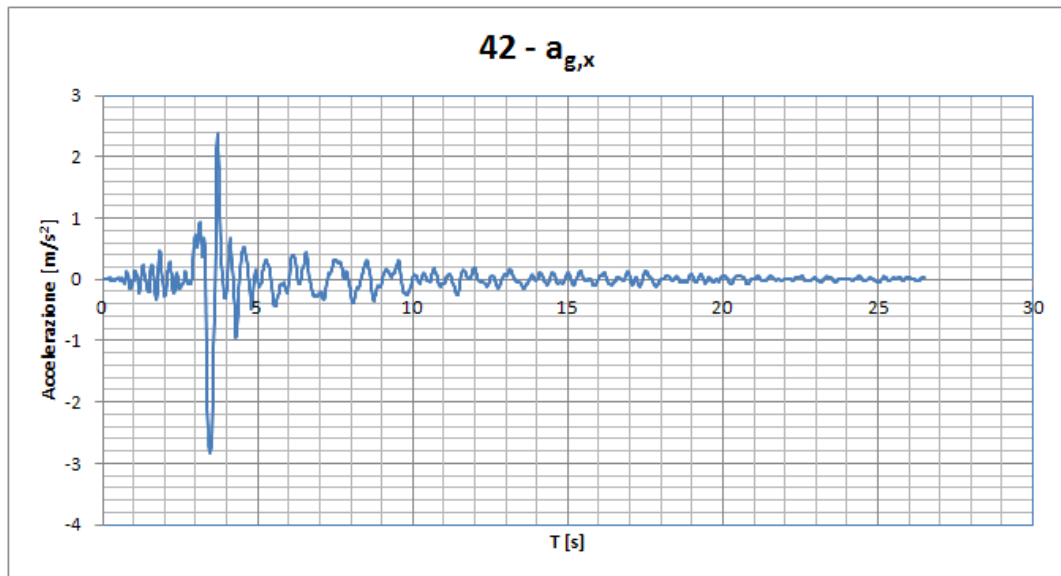
Relazione sismica



Relazione sismica



Relazione sismica



Relazione sismica

