

PROVINCIA:

Verona

COMUNE:

Torri del Benaco

Committente:

Comune di Torri del Benaco

Costermano sul Garda

08 05 2026

OGGETTO

**VARIANTE TEMATICA AL PIANO DEGLI INTERVENTI
CENTRO SERVIZI PER ANZIANI – SCHEDA NORMA
N.3 – LOCALITA' VOLPARA**



Attestazione studio di Microzonazione Sismica

(DGR 1381/2021 e circolare n. 71886 del 16.02.2022)

I professionisti:

Dott. Geol. Angela Francesca Pozzani

Dott. Ing. Elena Nucci



INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	8
4.1 ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE	10
5. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO	11
6. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	13
7. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA - ANALISI ELABORATI CARTOGRAFICI	
3° LIVELLO	14
8. NOTE CONCLUSIVE	22

ALLEGATO

Studio di Risposta Sismica Locale – Torri del Benaco (VR)

1. PREMESSA

Per la VARIANTE TEMATICA AL PIANO DEGLI INTERVENTI CENTRO SERVIZI PER ANZIANI – SCHEDA NORMA n.3, località Volpara, sita nel territorio comunale di Torri del Benaco (VR), è stata redatta la presente **Attestazione Sismica** in riferimento Deliberazione della Giunta Regionale n. 1381 del 12 ottobre 2021 “Linee guida regionali per gli Studi di Microzonazione Sismica per gli strumenti urbanistici comunali. Modifiche alla D.G.R. 1572/2013 e chiarimenti sulle modalità applicative” e come indicato dalla Circolare della Regione Veneto prot. 71886 del 16/02/2022 dove si indica che “singole varianti o piani di lottizzazione di comuni già dotati di Microzonazione Sismica (1°, 2° ed eventuale 3° livello) estesi a tutto il territorio comunale (v. D.G.R. 899/2019), dovranno comunque essere assoggettati, prima dell’adozione, al parere di compatibilità sismica del Genio Civile competente per il territorio. In tali situazioni le pratiche urbanistiche dovranno essere corredate da una attestazione, redatta da tecnico abilitato, che certifichi l’effettiva esistenza degli studi sismici come richiesto dalla D.G.R. 1381/2021. L’attestazione dovrà essere dotata di adeguati estratti delle cartografie degli studi di Microzonazione Sismica (1°, 2° ed eventuale 3° livello) con indicate le ubicazioni dei siti oggetto di variante”.

Nelle pagine che seguono si riportano gli estratti dalle cartografie dello studio di Microzonazione Sismica di 3° livello del Comune di Torri del Benaco (commissionato dall’Amministrazione, depositato e trasmesso al competente Genio Civile e alla Regione Veneto – Direzione Dipartimento del Suolo in attesa di approvazione) con indicata l’ubicazione del sito interessato dalla Variante Tematica.

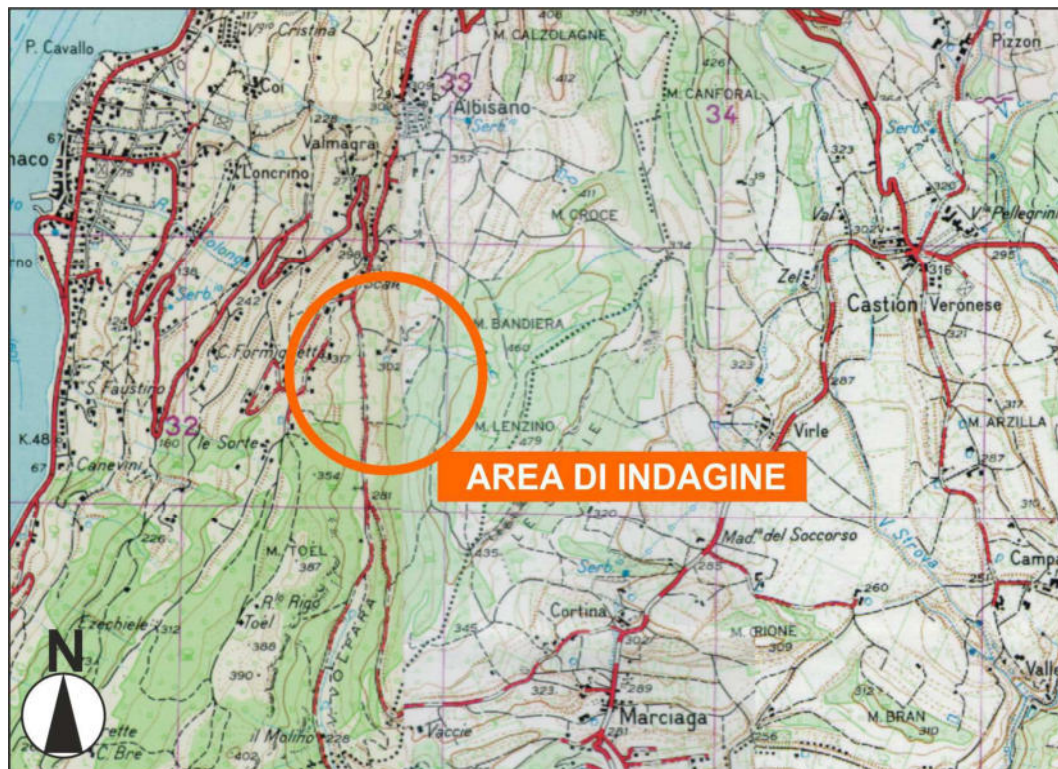
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente attestazione è stata inoltre redatta in ottemperanza alla seguente Normativa di riferimento.

- **D.G.R.V. n. 1572/2013** che ha approvato le Linee Guida Regionali per la redazione degli studi di microzonazione sismica nel territorio regionale;
- **DGR 899/2019** e relativo **Allegato A** che fornisce ulteriori chiarimenti e precisazioni in ordine all'applicazione dei livelli di approfondimento degli studi di microzonazione sismica in relazione alla tipologia di strumento urbanistico sul quale si deve operare;
- **D.G.R.V. n. 244/2021** con cui è stato aggiornato l'elenco delle zone sismiche del Veneto, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, articolo 83, comma 3; D. Lgs 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94 D.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021;
- **Delibera n. 244 del 9 marzo 2021** (BUR 38 del 16 marzo 2021) approvata dalla Giunta Regionale relativa al nuovo elenco dei comuni sismici del Veneto;
- **Delibera n. 378 del 30 marzo 2021** (BUR 44 del 31 marzo 2021) approvata dalla Giunta Regionale relativa alle nuove procedure autorizzative per le costruzioni in zona sismica e abitati da consolidare, vigenti dal 15 maggio 2021, per la quale il Comune di Torri del Benaco ha mantenuto la sua classificazione in zona sismica "zona 2".

3. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO

Il settore di intervento si colloca nel territorio comunale di Torri del Benaco, in direzione sud-est rispetto al centro dell'abitato, a sud della frazione di Albisano, in corrispondenza di un tratto di via Volpara che rappresenta la viabilità principale che conduce all'abitato di Garda.

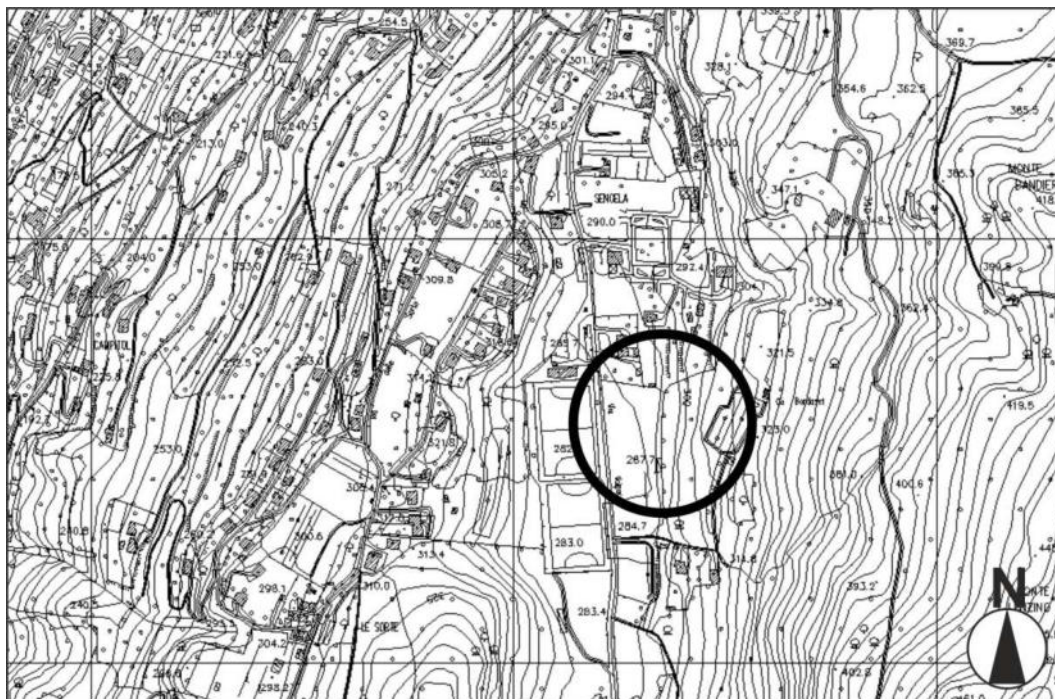


Corografia Area di indagine Scala 1:25.000

La morfologia che delinea in generale l'area di indagine, comprende una porzione del versante occidentale del Monte Baldo, caratterizzata da una superficie topografica immergente verso ovest, costituita da balze morfologiche ad altezza variabile, comprese tra i 2.0 ed i 4.0m e una porzione della sottostante piana fluvio-glaciale su cui sorge anche parte dell'abitato di Albisano.

Le quote altimetriche specifiche dell'area di studio si attestano su valori compresi tra 283.0m e 310.0m sul livello del mare

Per una precisa ubicazione dell'area di studio si fa riferimento all'Elemento n.101133 "Torri del Benaco", della Carta Tecnica Regionale del Veneto in scala 1:5.000.



Estratto Foglio n. 101133 "Torri del Benaco" CTR Veneto

Dal punto di vista ambientale l'area si inserisce al margine meridionale dell'abitato di Albisano in corrispondenza di un contesto naturale, occupato da un'area verde a pascolo (porzione di piana) e da un'area boschiva con vegetazione spontanea di specie arboree e arbustive a medio alto fusto (porzione di versante).



Ambito di intervento (Google Maps visione 3D)

Catastalmente l'area risulta inserita nel Foglio n.10, Mappali n.117, 252, 267, 269 del territorio comunale di Torri del Benaco.



AREA CATASTALE AMBITO DI ATTERRAGGIO
Foglio n.10, Mappali n.117, 252, 267, 269



Estratto di Mappa catastale

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di indagine, vista in un contesto geologico-geomorfologico generale, si colloca sulla sponda orientale del Lago di Garda, in prossimità delle ultime propaggini meridionali del versante occidentale del Monte Baldo, elemento morfologico caratterizzato da una notevole individualità geografica. Il Monte Baldo, è rappresentato da una dorsale parallela al Lago di Garda che si allunga per 40 km, tra il Lago ad ovest e la Vallagarina ad est, costituita da una piega anticlinale con vergenza verso est e che raggiunge la sua massima depressione proprio in corrispondenza della zona lacustre (sponda orientale del Lago.) In linea generale, la struttura Baldense presenta un andamento ampiamente coincidente con gli allineamenti tettonici del sistema delle Giudicarie ed orientamenti prevalenti secondo direzioni NNE-SSO.

L'origine di tale struttura è legata principalmente alle intense spinte compressive generatesi in seguito alla collisione tra la placca africana e la placca euroasiatica (cretaceo sup.), ma anche dai movimenti connessi all'intrusione del plutone dell'Adamello a nord-ovest e che determinò lo scollamento del basamento delle Prealpi bresciane verso est/sud-est.

In questo contesto geologico, il principale elemento morfologico che ha inciso sulla formazione dell'area Garda-Baldo è rappresentato dal Ghiacciaio del Garda che durante il Quaternario ha interessato tutta la zona benacense con fasi di espansione alternate a fasi interglaciali di ritiro e fenomeni erosivo-deposizionali estesi ed incisivi.

Dal punto di vista litologico, la successione stratigrafica che caratterizza l'area, è costituita dalle seguenti formazioni elencate e descritte qui di seguito in ordine cronologico decrescente dal basso verso l'alto.

ROSSO AMMONITICO (GIURASSICO MEDIO-SUPERIORE). Si tratta di calcari e calcari marnosi, che possono assumere una varietà di colori che vanno dal rosa-avorio, giallastro fino al rosso mattone, con interstratificazioni argillose e lenti di selce rossa. Hanno un aspetto nodulare messo in risalto da pellicole di ossidi ferrici che circondano i noduli, caratterizzati da una notevole frequenza di fossili (solitamente ammoniti, ma anche nautiloidi, rostri e fragmoconi di belemniti, bivalvi pelagici del genere bositra, articoli e piastre di crinoidi). La stratificazione è poco evidente per cui gli ammassi rocciosi hanno l'aspetto massiccio, con superfici di discontinuità circa ogni 50 cm. Lo spessore della formazione varia da qualche decina di metri (Rosso Ammonitico inferiore) a circa 10 e 20 metri (Rosso Ammonitico superiore).

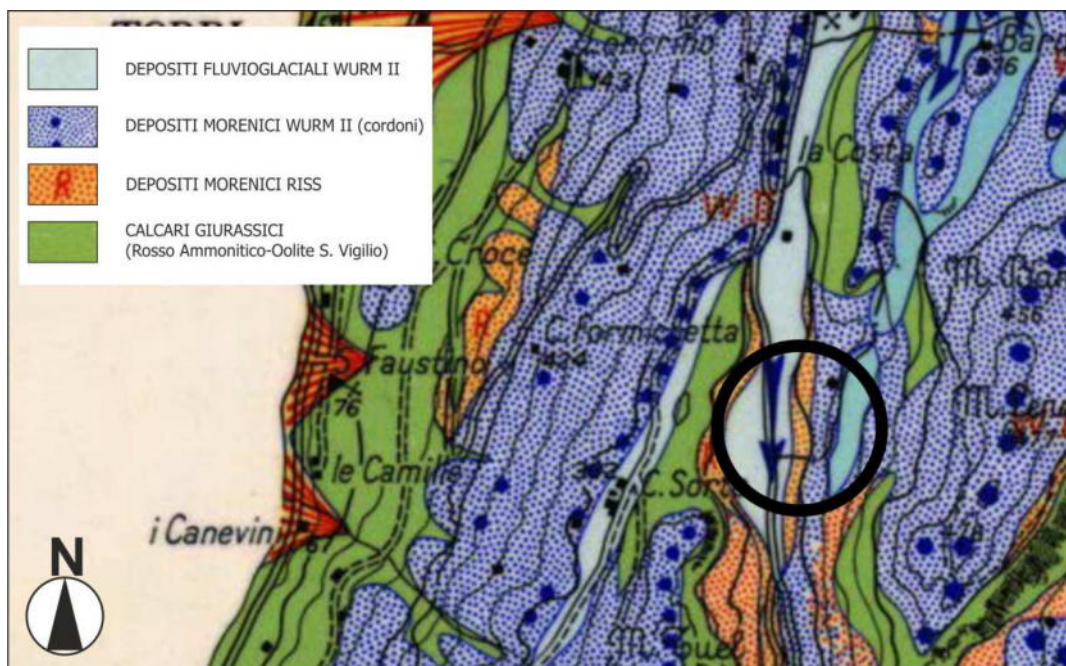
CALCARI OOLITICI DI SAN VIGILIO (GIURASSICO MEDIO-INFERIORE). Si tratta di Calcari colore da giallastro a rosato, con noduli di selce e giunti di stratificazione marnosi, contenenti faune a coralli. Si presentano talora con membri porosi, disaggregabili, dolomitizzati. Hanno stratificazione da decimetrica a metrica. Localmente presentano

fenomeni di dolomitizzazione e assumono aspetto cristallino. Lo spessore di questo membro è di alcune centinaia di metri. Presentano immersione principalmente verso W e verso NW e costituiscono il versante monoclinale della catena del Monte Baldo.

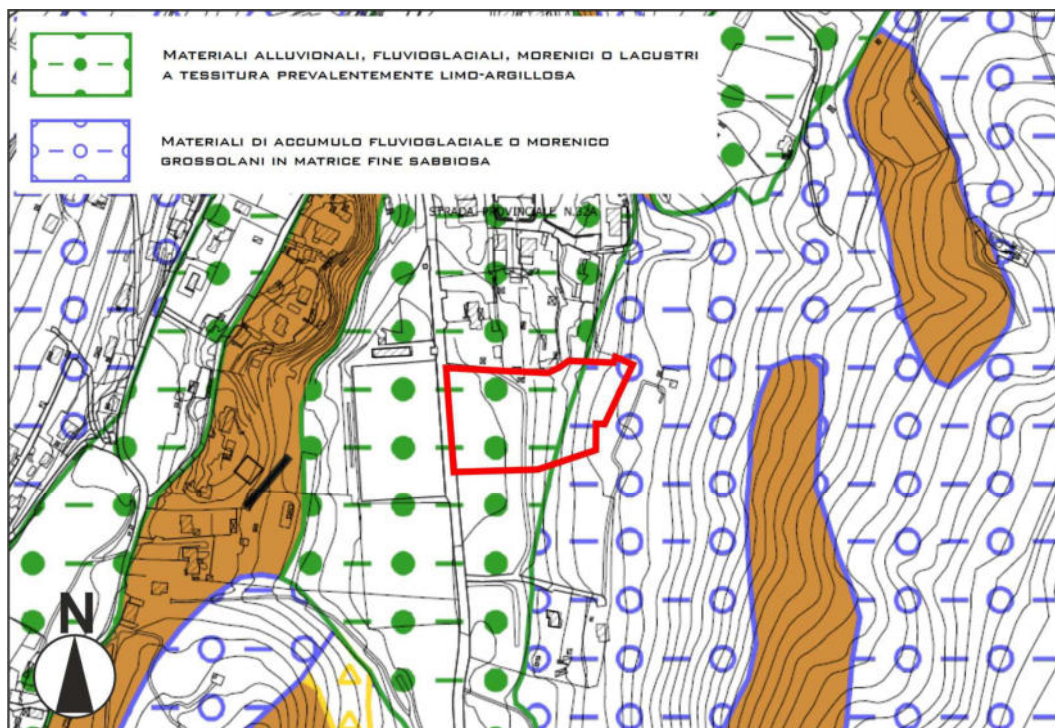
DEPOSITI MORENICI (CORDONI) E DEPOSITI MORENICI FLUVIOGLACIALI.

I Depositi Morenici (cordoni) sono costituiti da ghiaie di piccole e medie dimensioni con presenza di trovanti, immersi in una matrice costituita da sabbie, limi e argille. Costituiscono i rilievi morenici che, nella zona di indagine coprono i versanti costituiti dalle formazioni calcaree Mesozoiche.

Per quel che concerne i depositi fluvioglaciali costituiscono le aree intramoreniche e derivano dall'azione di riempimento ad opera degli scaricatori glaciali. Possono essere costituiti da ghiaie, sabbie e materiale fine (limo e argilla) anche in livelli stratificati.



Estratto Carta Geologica dell'Anfiteatro Morenico del Garda – Tratto orientale ed Anfiteatro Atesino di Rivoli V.se (S. Venzo)



Estratto Elaborato 01 Carta litologica PAT

Nello specifico il settore di intervento, comprende una porzione della piana di origine fluvioglaciale, su cui sorge l'abitato di Albisano e un tratto di versante del rilievo morenico posto ad est.

4.1 ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE

Il modello litostratigrafico specifico del settore di intervento è stato ricostruito sulla base dei dati cartografici e bibliografici in possesso. Si ritiene che la porzione di piana di origine fluvioglaciale sia costituita da depositi costituiti da ghiaie e sabbie, in matrice limosa con presenza di ciottoli, mentre la porzione di versante morenico da depositi eterogenei costituiti da ghiaia in matrice limoso sabbioso argillosa.

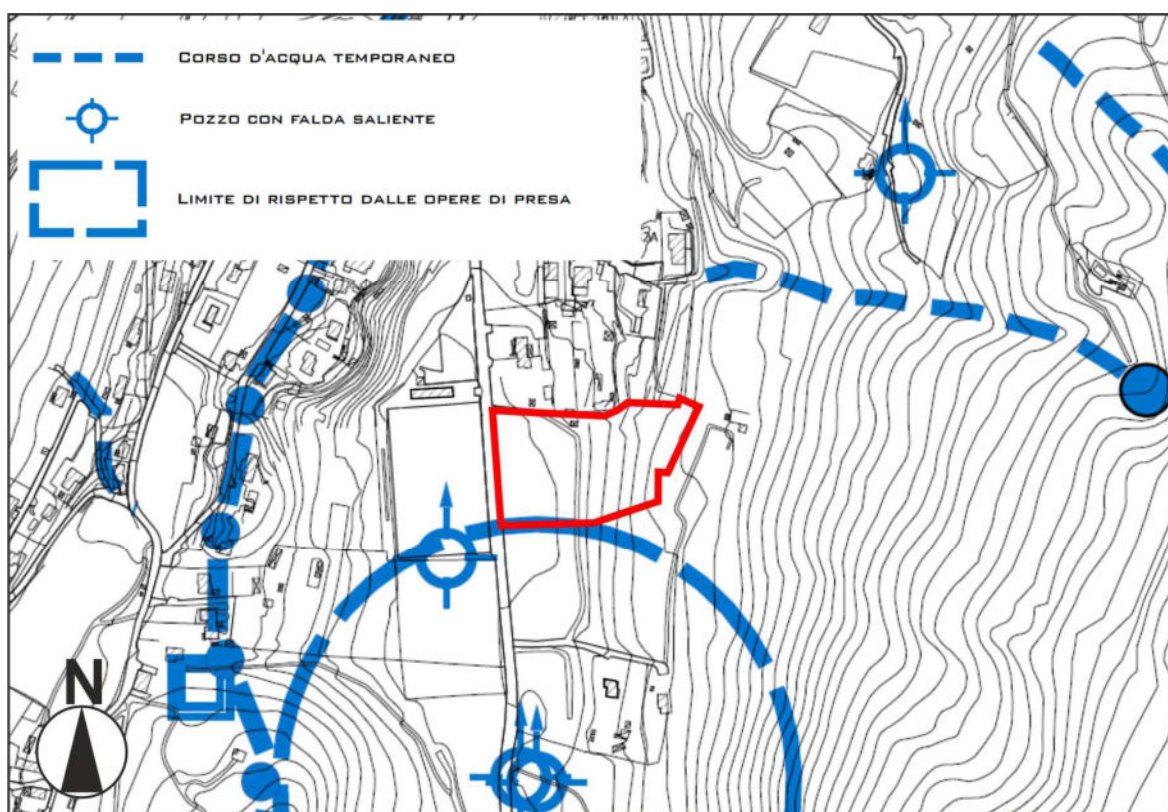
Al di sotto di questi depositi fluvioglaciali, il substrato roccioso costituito, come anzidetto, da litotipi calcarei giurassici, è rinvenibile presumibilmente ad una profondità di circa 15.0m dal piano campagna.

5. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

L'idrografia dell'area è basata su una rete costituita da rami torrentizi presenti all'interno delle numerose valli trasversali che, dalla linea di spartiacque del versante posto ad est, scendono ripide verso la sponda del Lago. Si tratta di incisioni più o meno profonde spesso collegate a fratture o antiche faglie orientate est-ovest o più semplicemente solchi creati dall'attività dell'acqua su vie preferenziali nel corso del tempo. La loro alimentazione risente della situazione meteorologica locale, sia per quel che concerne la pioggia sia per quel che riguarda le precipitazioni nevose.

Per quanto riguarda l'area di studio, nessun corpo idrico superficiale risulta direttamente interessato dalle opere in progetto.

L'ambito di studio si colloca al margine della fascia di rispetto con raggio R pari a 200.0m, relativa alla presenza di un'opera di presa.



Estratto Elaborato 02 Carta idrogeologica PAT

In generale la situazione idrogeologica dell'area è variabile in funzione della litologia presente nei vari settori, iniziando dalle zone di versante fortemente inclinate alle zone subpianeggianti o di accumulo presenti alle quote inferiori.

Nelle aree a notevole pendenza, dove affiorano le rocce calcaree a forte permeabilità, conseguente ad uno stato di elevata fessurazione, la circolazione idrica avviene lungo condotti carsici con una direzione di flusso prevalentemente verticale.

Nelle fasce di territorio, in cui sono affioranti i depositi di sciolti, in linea generale, la circolazione idrica sotterranea è caratterizzata da falde acquifere superficiali, in relazione alla presenza di strati impermeabili essenzialmente argillosi.

La permeabilità può aumentare in relazione alla presenza di detriti di versante e alluvioni terrazzate in cui la frazione ghiaioso-sabbiosa diviene prevalente, causando un rapido scorrimento delle acque verso le formazioni sottostanti.

Frequentemente inoltre possono essere individuati livelli di falda, presenti al contatto tra i depositi morenici e l'eventuale substrato roccioso talora particolarmente liscio o levigato a seguito dell'attività glaciale sulla roccia.

A seguito delle adozioni dei Piani Generali delle Alluvioni, per la valutazione di compatibilità idraulica viene richiesto di considerare lo stato di rischio previsto dai suddetti Piani. Il Comune di Torri del Benaco ricade all'interno del confine del Distretto del Fiume Po'. Si riporta l'estratto della mappa del Piano Generale Delle Alluvioni del Bacino del Po', da cui si evince che il Comune ricade interamente in area non mappata e pertanto si esclude in generale il rischio alluvione dall'elemento idrografico principale, ovvero il Lago di Garda.



Estratto Mappa di pericolosità di alluvioni in aggiornamento predisposta nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni – terzo Ciclo di pianificazione (2027-2033) di cui al Decreto SG 4/2026 per il Distretto idrografico del fiume Po.

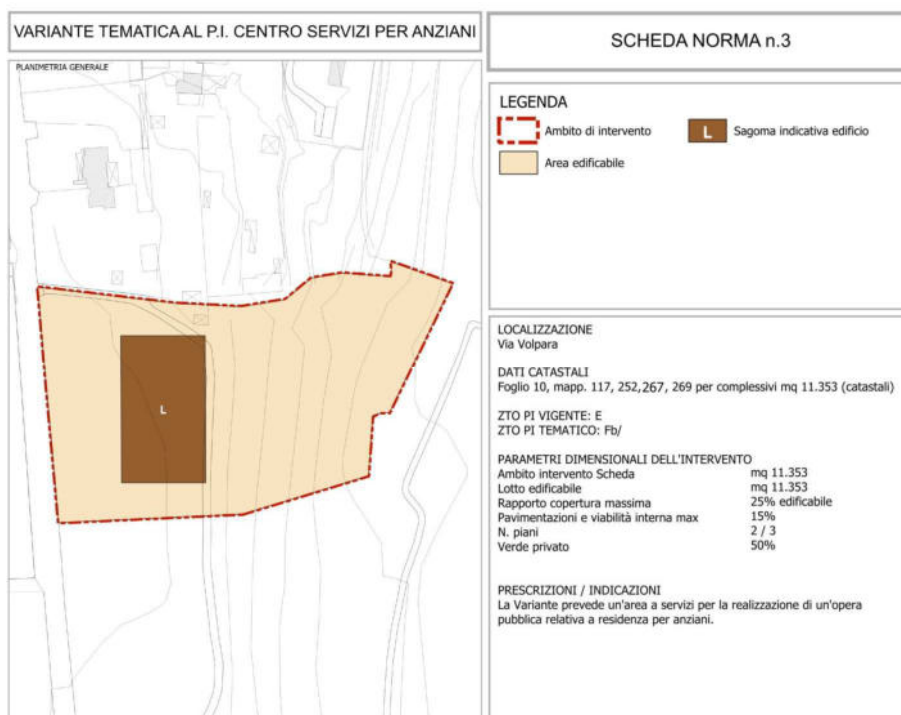
Per quanto riguarda la conducibilità idraulica dei terreni in sito, sulla base di quanto indicato della Relazione di Valutazione di Compatibilità Idraulica allegata al PAT del Comune di Torri del Benaco i depositi in sito mostrano una permeabilità primaria per porosità variabile da un grado medio ($K = 10^{-4} \div 10^{-6}$ m/s) e/o basso ($< 10^{-8}$ m/s) in relazione alla percentuale di terreni fini sia come scheletro che come matrice.

6. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

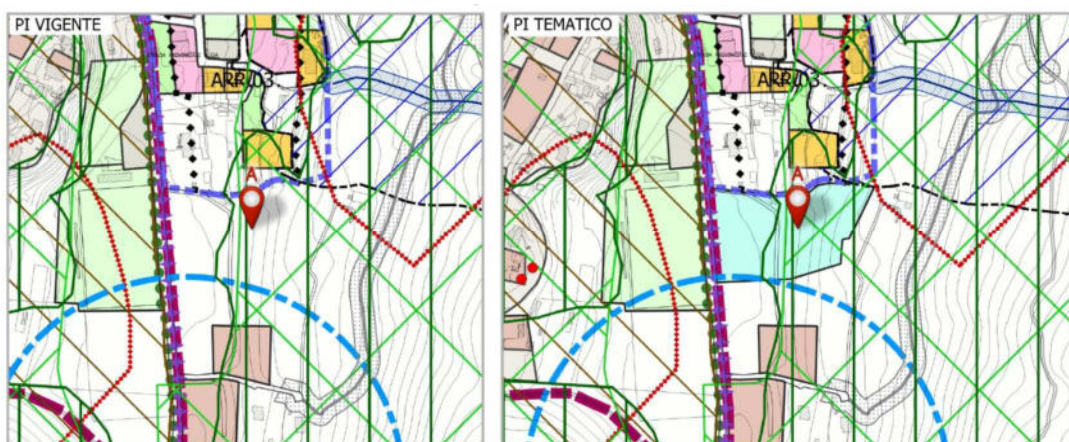
L'intervento in oggetto consiste in una Variante Tematica al Piano degli Interventi del Comune di Torri del Benaco, denominata "CENTRO SERVIZI PER ANZIANI".

Nello specifico, come indicato nella relativa Scheda Norma n.3 la suddetta Variante Tematica, prevede l'individuazione di un'area servizi per la realizzazione di un'opera pubblica relativa ad una residenza per anziani.

Il PI individua un'area attualmente classificata come ZTO E (agricola) per una superficie complessiva pari a mq 11.353. Con la presente Variante Tematica si propone la conversione della suddetta area in zona ZTO Fb (Aree di interesse comune) per la realizzazione di una residenza per anziani.



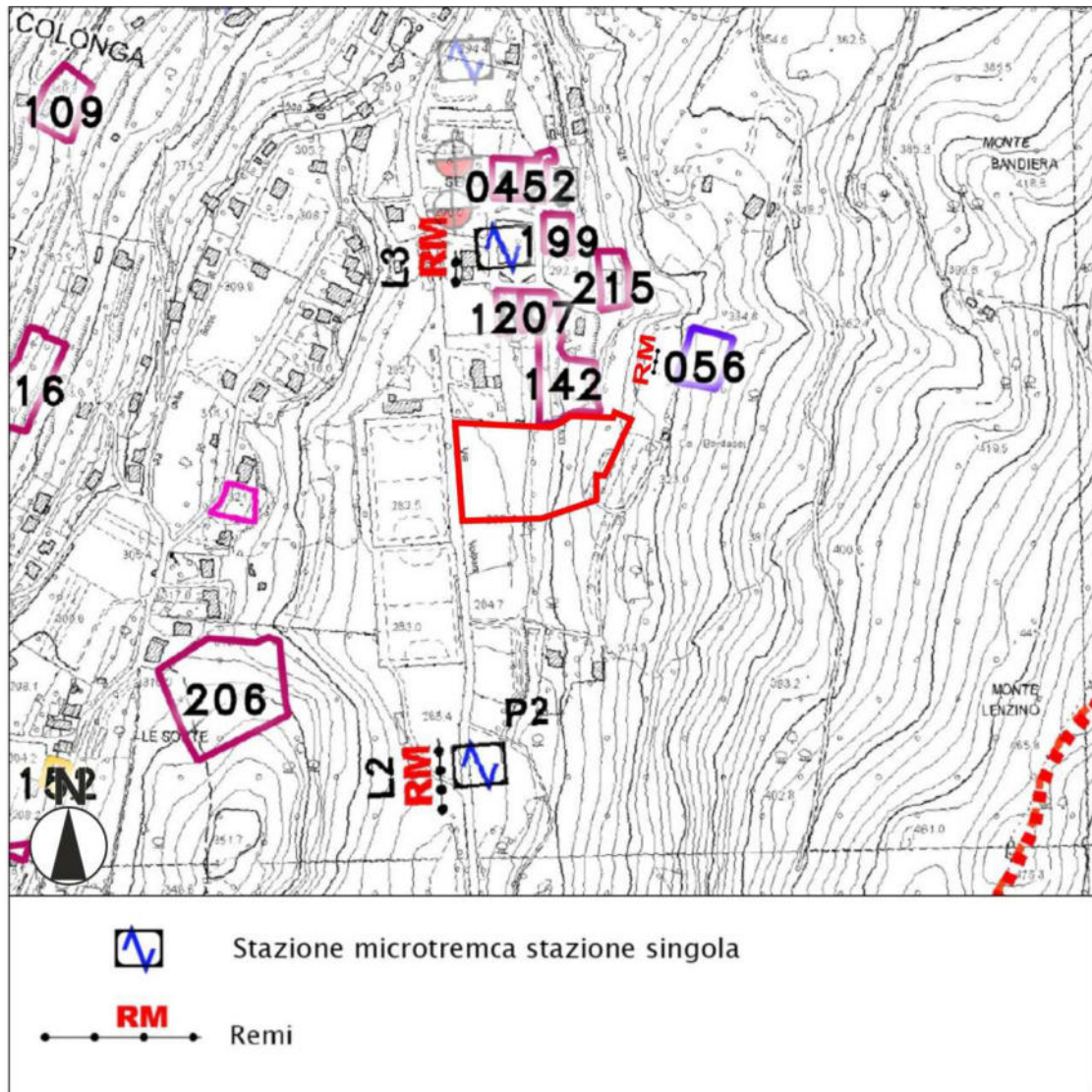
Scheda Norma n.3 – VARIANTE Tematica Piano degli Interventi "Centro Servizi per Anziani"



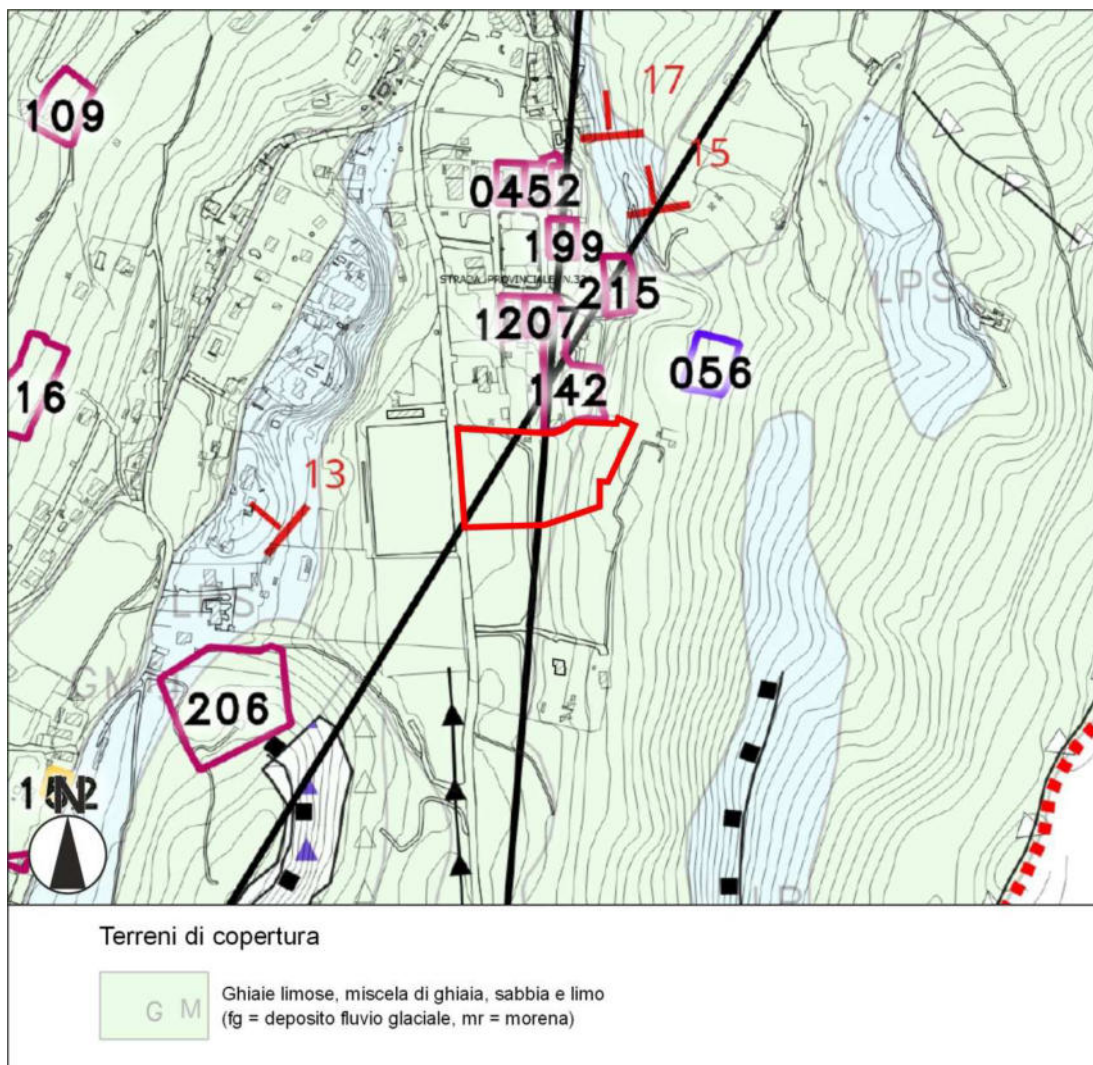
Estratto PI Vigente a sx e Variante PI a dx

7. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA - ANALISI ELABORATI CARTOGRAFICI 3° LIVELLO

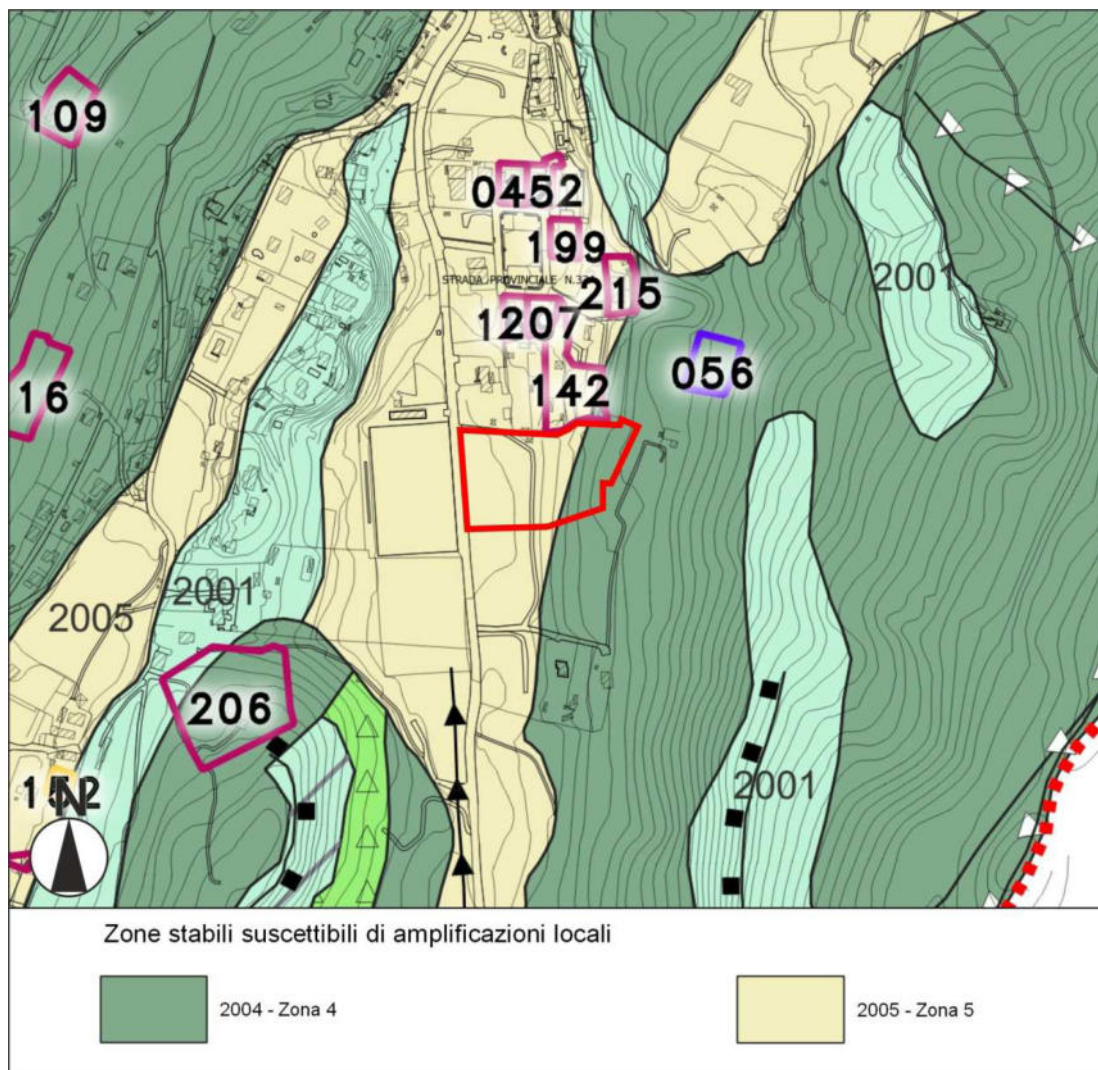
Di seguito si riportano gli estratti degli elaborati cartografici dello Studio di Microzonazione Sismica di 3° livello del Comune di Torri del Benaco, per l'ambito di atterraggio sopra descritto.



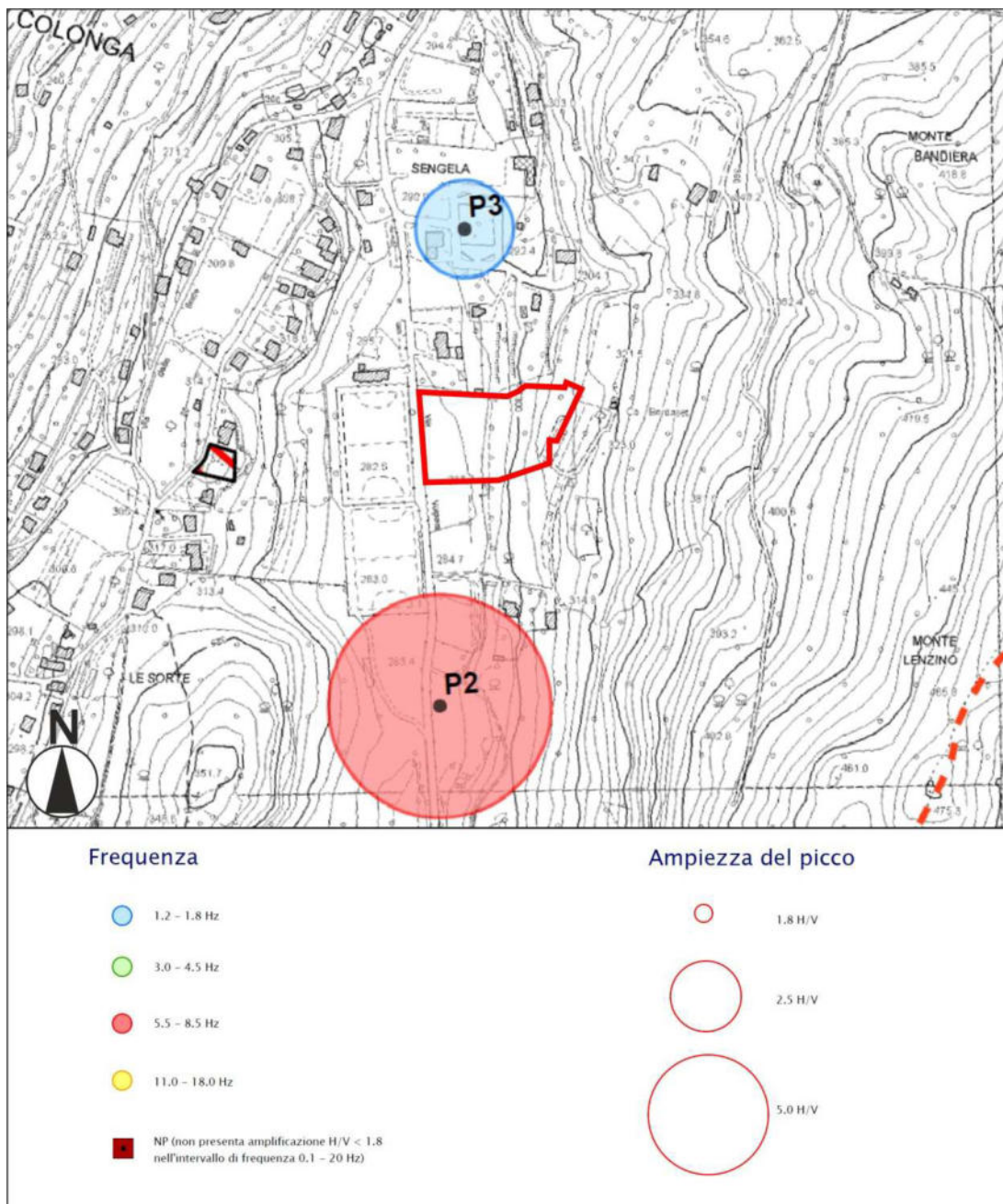
Estratto TAV 1 – PROPOSTA DI MODIFICA INTEGRAZIONE CARTA DELLE INDAGINI
MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO III_VAR 3.1 PI



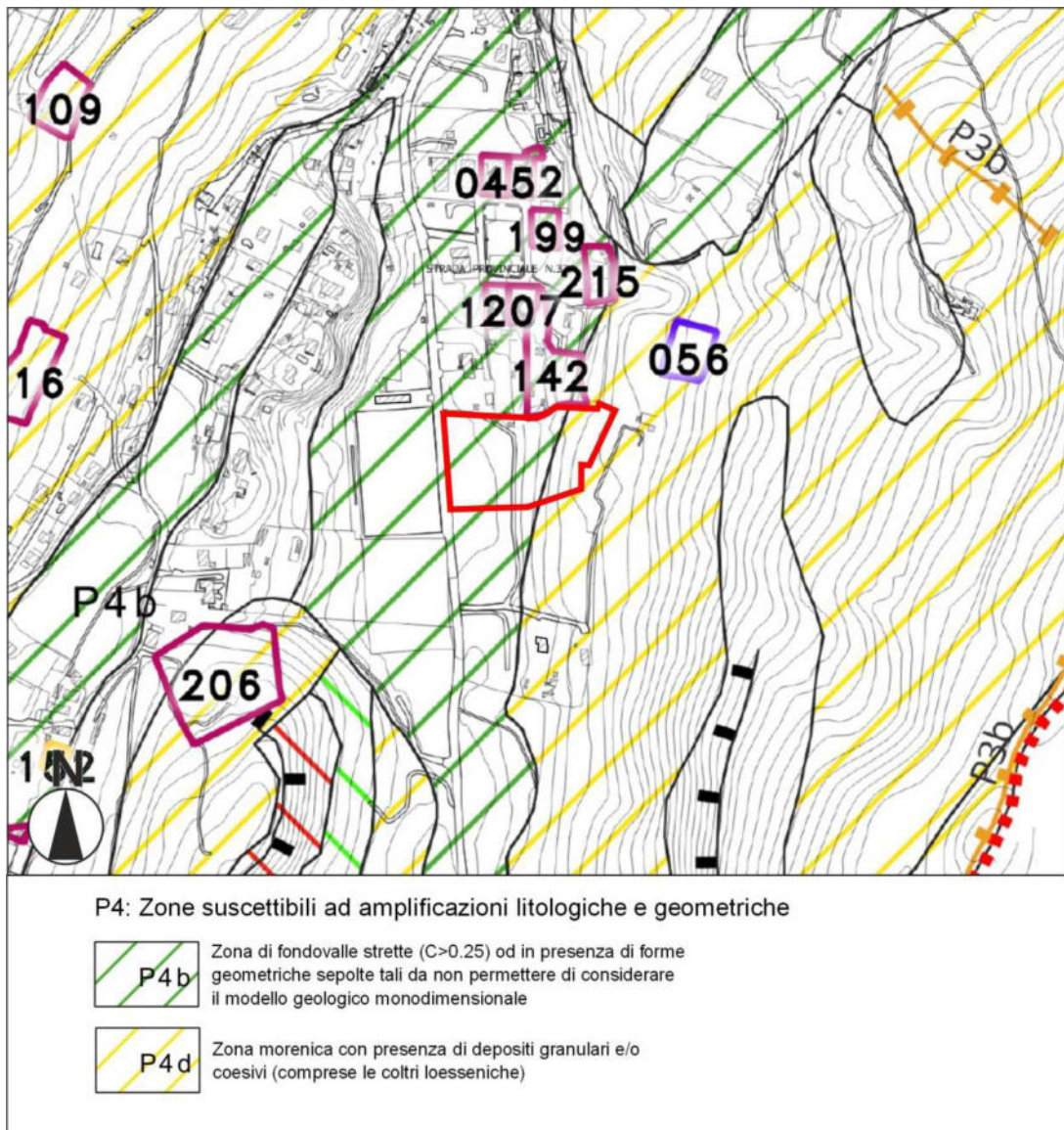
Estratto TAV2 – INTEGRAZIONE CARTA GEOLOGICO-TECNICA
MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO III_ VAR 3.1 PI



Estratto TAV3 – INTEGRAZIONE CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) - MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO III_ VAR 3.1 PI



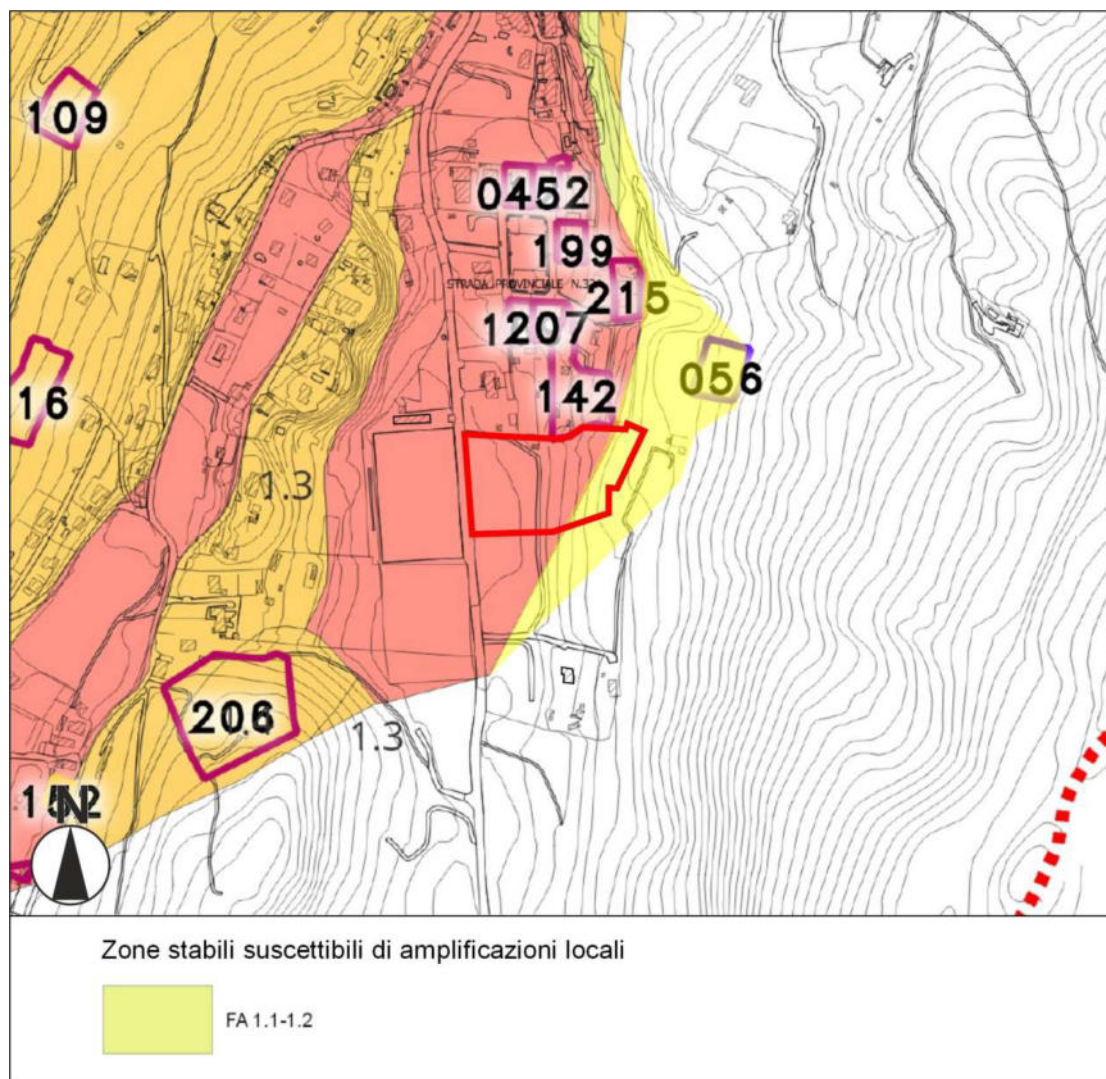
*Estratto TAV4 - CARTA DELLE FREQUENZE
MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO III_VAR 2 PI*



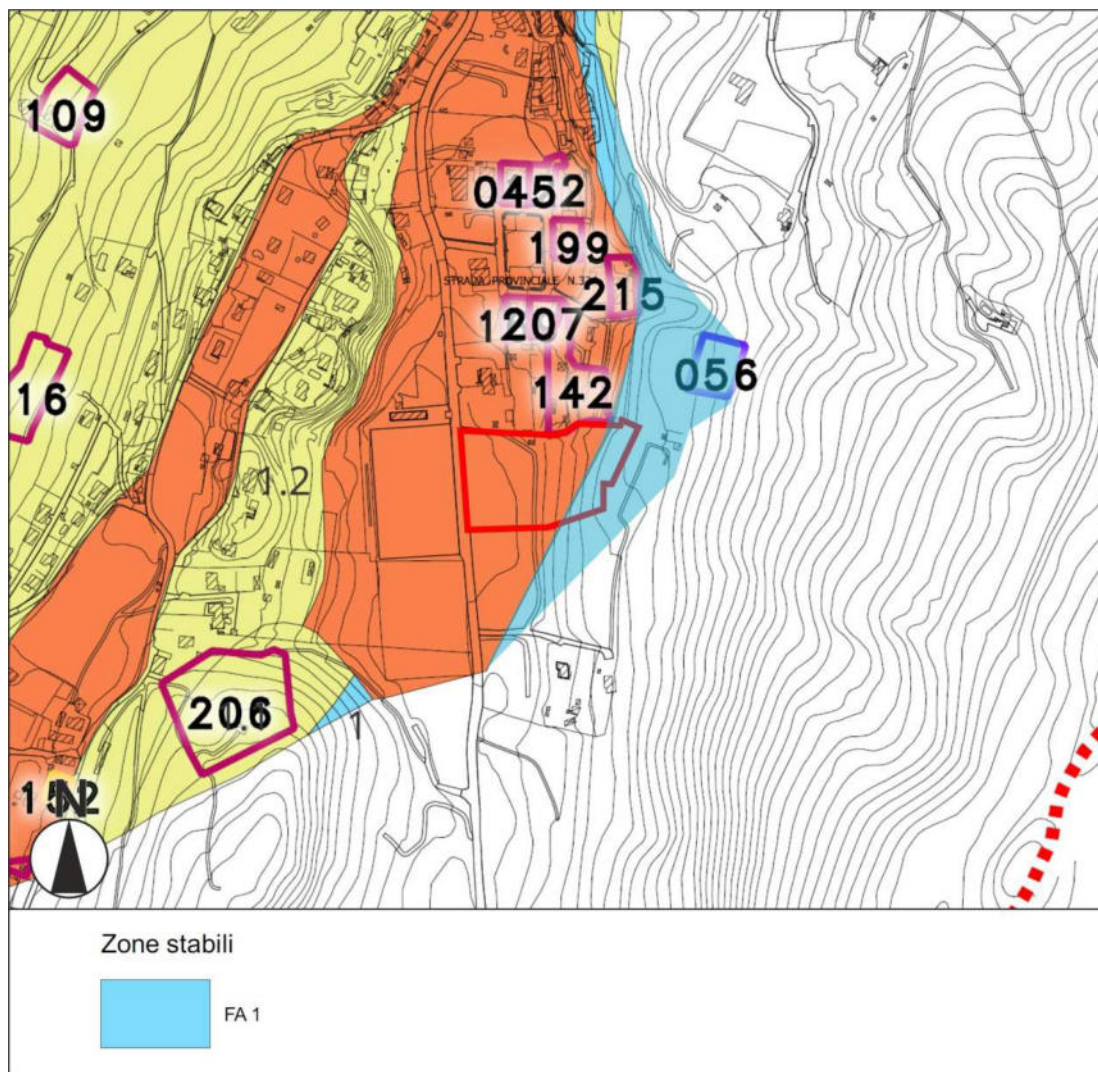
*Estratto TAV5 – INTEGRAZIONE CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE
MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO III_ VAR 3.1 PI*

Nell'ambito del Piano degli Interventi n.3 del Comune di Torri del Benaco, è stata realizzata una campagna indagini integrativa con relativo studio di risposta sismica locale, per alcuni settori inseriti all'interno del territorio comunale. Tale studio è riportato in dettaglio nell'allegato al presente Elaborato.

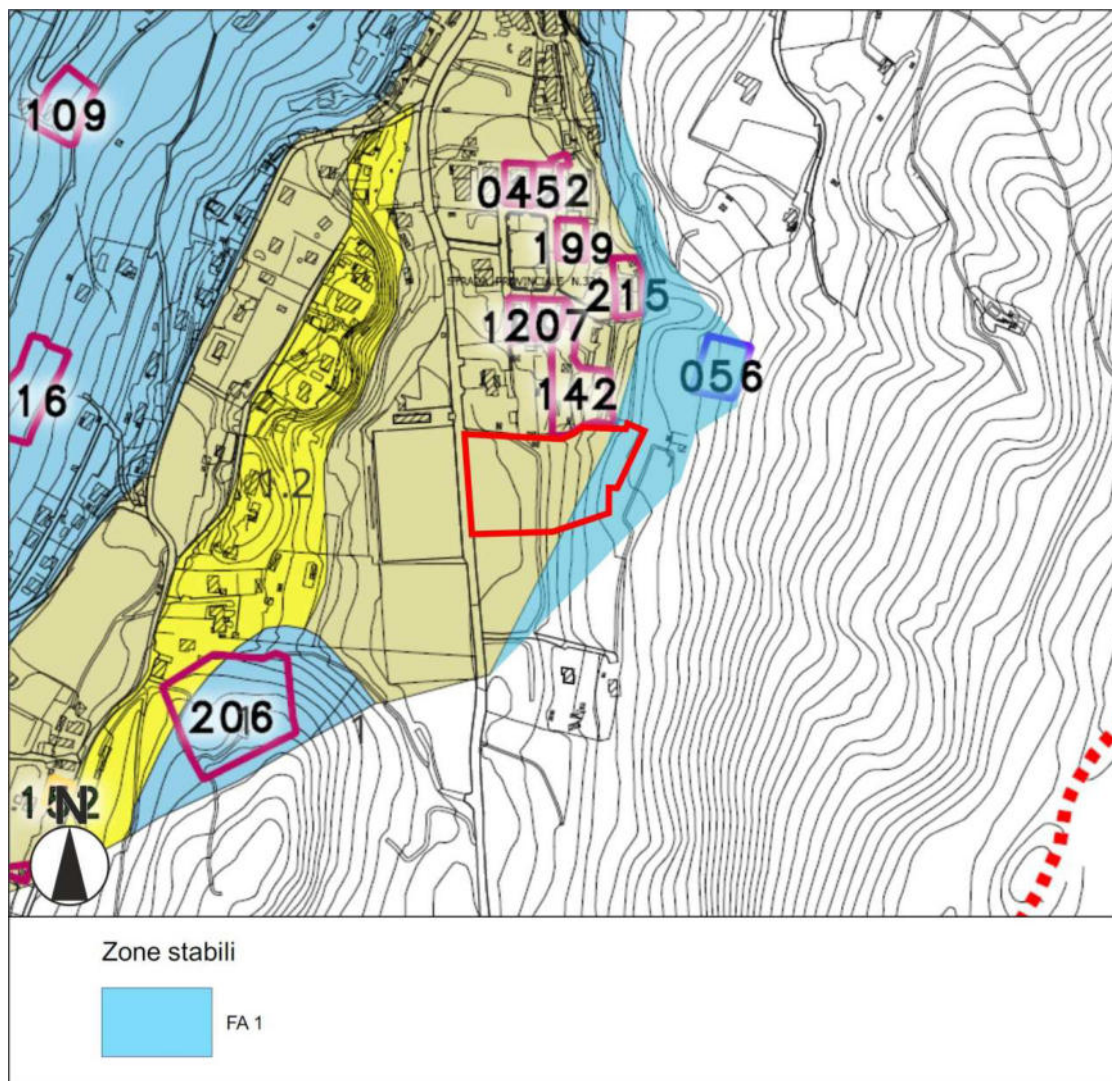
Una tra queste indagini risulta localizzata immediatamente a monte dell'ambito di studio in oggetto e pertanto ha permesso di realizzare una proposta di modifica delle Carte di Microzonazione Sismica per gli intervalli 01-05s, 04-08s e 07-011s.



Estratto TAV6 – PROPOSTA DI MODIFICA INTEGRAZIONE CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA – FA 01-0.5 s MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO III_ VAR 3.1 PI



Estratto TAV7 – PROPOSTA DI MODIFICA INTEGRAZIONE CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA – FA 04-0.8 s MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO III_ VAR 3.1 PI



Estratto TAV8 – PROPOSTA DI MODIFICA INTEGRAZIONE CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA – FA 07-11 s MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO III_VAR 3.1 PI

8. NOTE CONCLUSIVE

Sulla base di quanto sopra, si attesta che il sito interessato dalla Variante Tematica denominata "CENTRO SERVIZI PER ANZIANI"– Scheda Norma n.3, sita in località Volpara, si trova al di fuori di eventuali aree identificate come zone di attenzione dovute ad instabilità di versante e/o processi di possibile liquefazione e che nell'intorno dell'area non sono presenti lineamenti tettonici significativi, tali da interferire in modo diretto con l'area d'interesse progettuale in corrispondenza della quale non si rilevano peraltro criticità di carattere tettonico – strutturale.

Dott. Geol. Angela Francesca Pozzani



Dott. Ing. Elena Nucci

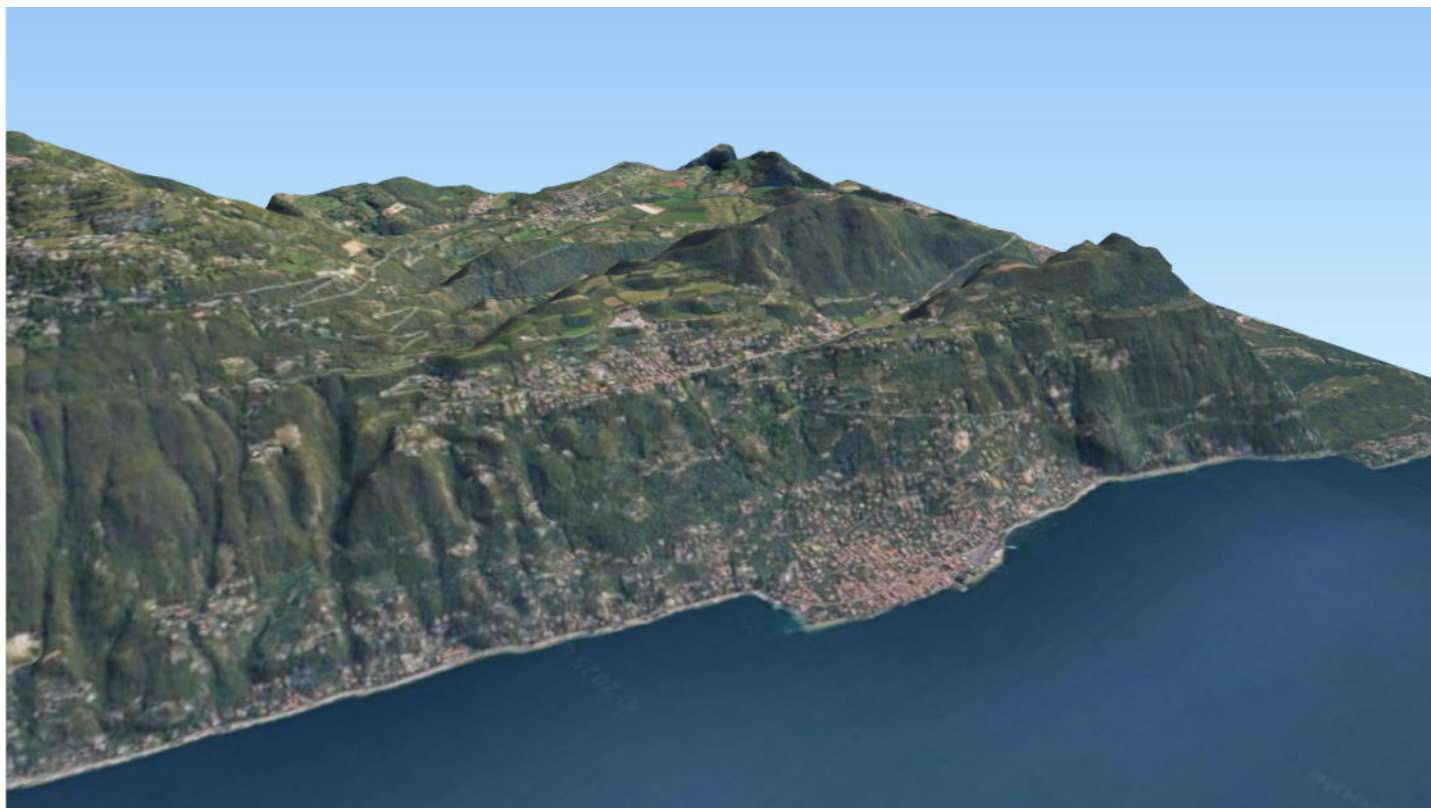




IND.A.G.O

Studio Tecnico Associato

Via L. Balzan, 1 - 45100 Rovigo (RO)
tel.: 0425 25185 - mail: info@indago-rovigo.it
www.indago-rovigo.it



Studio di Risposta Sismica Locale Torri del Benaco (VR)

Progetto	Costruzione di nuovo ecocentro
-----------------	--------------------------------

Codice commessa	GT002.01.2025
Data emissione	14/02/2025
Committente	Dott.ssa Geol. Angeola Pozzani
Autore	Dott. Geol. Enrico Farinatti Dott. Geol. Matteo Pettenello
Verificato da	Dott. Geol. Enrico Farinatti)

	 
--	--

INDICE

1. <i>PREMESSA</i>.....	2
2. <i>MODELLAZIONE SISMICA</i>	2
3. <i>INDAGINI GEOFISICHE</i>	4
4. <i>SEQUENZE LITOSTRATIGRAFICHE, PESO DELL'UNITÀ DI VOLUME E VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO</i>.....	4
5. <i>ANALISI DI DISAGGREGAZIONE</i>	5
6. <i>ESTRAZIONE INPUT SISMICI</i>	7
7. <i>RISULTATI</i>.....	8

ALLEGATI

ALL. 1 – PLANIMETRIA DELLE SEZIONI DI CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

ALL. 2 – CURVE DI DECADIMENTO DEI MATERIALI

ALL. 3 – ACCELEROGRAMMI DI INPUT

ALL. 4 - ACCELEROGRAMMI DI OUTPUT

ALL. 5 – SPETTRI MEDI DI RISPOSTA DI OUTPUT E LORO PARAMETRIZZAZIONE

ALL. 6 – SEZIONI E GRAFICI DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI

ALL. 7 – RAPPORTO TECNICO MASW

1. PREMESSA

La presente relazione descrive lo studio di Risposta Sismica Locale (RSL) del Comune di Torri del Benaco (VR) con l'obiettivo di definire, attraverso simulazioni numeriche della propagazione del moto sismico dal basamento roccioso di origine alla superficie, gli accelerogrammi attesi a piano campagna, i relativi spettri di risposta ed i parametri sismici rappresentativi. I risultati sono stati ottenuti attraverso la definizione di 4 sezioni significative, passanti per altrettante dimostrazioni di interesse, in corrispondenza delle quali è stata condotta la modellazione numerica. Queste si aggiungono alle modellazioni già effettuate, e vanno quindi a coprire le aree precedentemente non coperte. L'all. 1 riporta l'ubicazione delle sezioni.

2. MODELLAZIONE SISMICA

Lo studio di Risposta Sismica Locale è stato condotto utilizzando il codice di calcolo LSR2D (Stacec srl), che consente di eseguire simulazioni di propagazione bidimensionale del moto sismico in depositi di terreno stratificati ed in condizioni di campo libero.

Il comportamento non lineare e dissipativo del terreno (riduzione della rigidezza di taglio G e incremento dello smorzamento D , all'aumentare delle deformazioni di taglio γ indotte dal sisma) è tenuto in conto attraverso un approccio lineare equivalente, ovvero il codice esegue una serie di analisi lineari complete in tensioni totali aggiornando iterativamente la rigidezza e lo smorzamento del terreno al crescere delle deformazioni, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. È pertanto importante determinare sperimentalmente con la massima accuratezza possibile la rigidezza iniziale di ogni strato di terreno; le curve di decadimento del modulo $G(\gamma)$ e di incremento del damping $D(\gamma)$ sono state ottenute da dati bibliografici, opportunamente selezionati in base alle reali caratteristiche geotecniche dei terreni presenti, desunte da dati stratigrafici e dai risultati delle prove classificative reperite nel corso dello studio e da dati pregressi.

Il codice di calcolo LSR 2d, alla stregua di software ben noti dalla comunità scientifica (es. Shake, Strata, QUAD4 e QUAD4M), consente di effettuare una modellazione mono o bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti,

in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

$$\tau = G \gamma + \eta \dot{\gamma}$$

dove:

- G : Modulo di taglio;
- η : viscosità del mezzo.

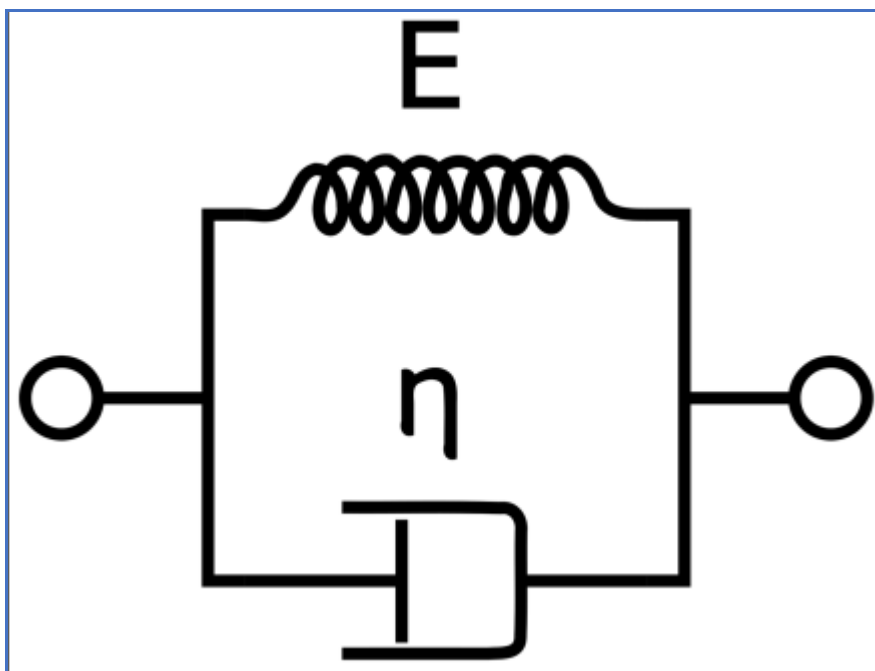


Fig. 1: Schematizzazione di modello reologico alla Kelvin - Voigt

In sostanza il modello reologico alla Kelvin-Voigt accoppia in parallelo un elemento elastico (la molla con

costante elastica E o G) e un elemento viscoso (il pistone con viscosità η).

I parametri di input necessari all'esecuzione di un'analisi di risposta sismica locale attraverso il codice LSR2D sono:

- il modello stratigrafico del terreno;
- per ogni strato il peso dell'unità di volume γ_n e la rigidezza a taglio iniziale G_0 (determinabile dalla velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , tramite la relazione $G_0 = \rho_n V_s^2$, dove $\rho_n = \gamma_n / g$ = densità del terreno, valida per i mezzi elastici lineari e isotropi);
- per ogni strato le curve di decadimento del modulo di taglio $G(\gamma)$ e di incremento del damping $D(\gamma)$, dove γ = deformazione a taglio ;
- gli accelerogrammi di input.

3. INDAGINI GEOFISICHE

Al fine di ottenere informazioni sulle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nell'area in studio e le caratteristiche sismiche degli stessi, dati indispensabili per un corretto studio della Risposta Sismica Locale di un sito, sono stati recuperati i dati di indagini geofisiche e geognostiche. Alcune di queste sono state recuperate dallo studio di MS di primo livello, altre sono state recuperate dallo studio di livello III, altre ancora sono state messe a disposizione dalla committenza. Inoltre, per quanto concerne le manifestazioni di interesse n. 056, 166 e 187, sono state condotte delle misure sismiche di tipo Masw e ReMi, delle quali si allega il rapporto tecnico.

Per un maggior dettaglio si rimanda agli elaborati specialistici e in particolare alle carte delle indagini che corredano gli studi di MS.

4. SEQUENZE LITOSTRATIGRAFICHE, PESO DELL'UNITÀ DI VOLUME E VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO

La sequenza litostratigrafica utilizzata per le simulazioni è stata ottenuta utilizzando sia i dati ricavati dalle indagini sismiche, che dalle indagini geotecniche (sondaggi, trincee).

Il sottosuolo dell'area, in generale, si può suddividere in due grandi categorie: aree su pendio ed aree di anticlinale (la quasi totalità del territorio comunale presenta pendenze accentuate verso ovest).

Tutte le sezioni presentano comunque detrito di copertura con potenze molto limitate, al di sotto del quale si incontra il substrato roccioso costituito da calcari. In alcuni contesti il bedrock propriamente detto è sovrastato da rocce molto alterate / fratturate, con velocità V_s pari a circa 600 m/s.

Come precedentemente detto, sono state utilizzate curve dinamiche G/Go e di Damping, prese da modelli disponibili in bibliografia. Per i terreni prevalentemente granulari, sono state utilizzate le curve del comportamento dinamico EPRI (1993), mentre per la roccia, sia alterata che sana, le curve di Schnabel (1989).

Le caratteristiche dinamiche dei terreni su cui si è basata l'analisi di RSL, sono riportate nell'Allegato 2.

Prima di procedere con l'analisi degli accelerogrammi di input, merita un breve cenno l'analisi di disaggregazione sismica, sulla quale si basa ogni considerazione successiva.

5. ANALISI DI DISAGGREGAZIONE

La disaggregazione della pericolosità sismica è una operazione che consente di determinare il contributo di varie sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica del sito in esame. Per questo tale analisi viene condotta in termini di magnitudo (M) e distanza (R).

L'analisi probabilistica della pericolosità sismica, può essere generalizzata dalla seguente equazione:

$$\lambda(IM > x) = \sum_{i=1}^{n_{sorg}} \lambda(M_i > m_{min}) \sum_{j=1}^{n_M} \sum_{k=1}^{n_p} P(IM > x | m_j, r_k) P(M_j = m_j) P(R_k = r_k)$$

Cioè, la probabilità di accadimento (o il tasso di accadimento) di un evento di una certa intensità, è il risultato di tutte le sorgenti prese in considerazione e delle relative probabilità che si verifichino eventi di determinata magnitudo a determinate distanze.

L'analisi di disaggregazione, in sostanza risponde alla domanda:

Qual è la probabilità che uno scuotimento causi un determinato effetto di intensità $IM > im$?

Si ottiene l'equazione che esplicita il procedimento di questa analisi:

$$P(rup_i | IM > im) = \frac{\lambda(IM > im, rup_i)}{\lambda(IM > im)}$$

Dove il numeratore è il tasso annuale di accadimento dello scuotimento $IM > im$, in un determinato sito, dato il terremoto rup_i ;

Il denominatore è il tasso di accadimento di un certo effetto $IM > im$ dato da tutti i terremoti che possono determinarlo;

Quindi P (il primo termine) è la probabilità che l'effetto $IM > im$ sia dato da rup_i .

In particolare, nello studio in oggetto, si è svolto il calcolo finalizzato allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) con terremoti di magnitudo compresi tra 4.0 e 7.0 e di una distanza compresa in un raggio di 30 km

dal sito in esame. La scelta operata deriva dal fatto che il sito ricade in corrispondenza della zona sismogenetica del Monte Baldo ($M_w \max = 6.7$) ed è attraversato dalla faglia di Sant'Ambrogio di Valpolicella, catalogate all'interno del Database of Italian Seismogenic Sources dell'INGV:

- ITCS063 Monte Baldo – Montereale con $M_w=6.7$;
- ITDS075 Sant'Ambrogio.

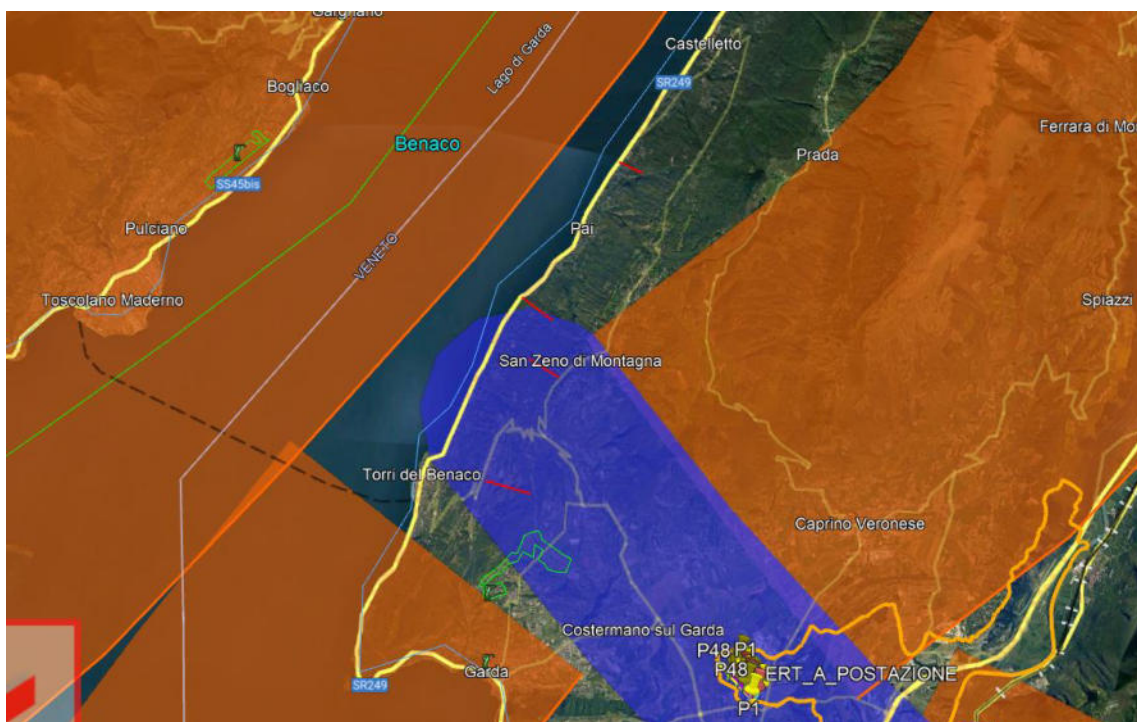


Figura 2 - Ubicazione sito in esame proiettato su DISS

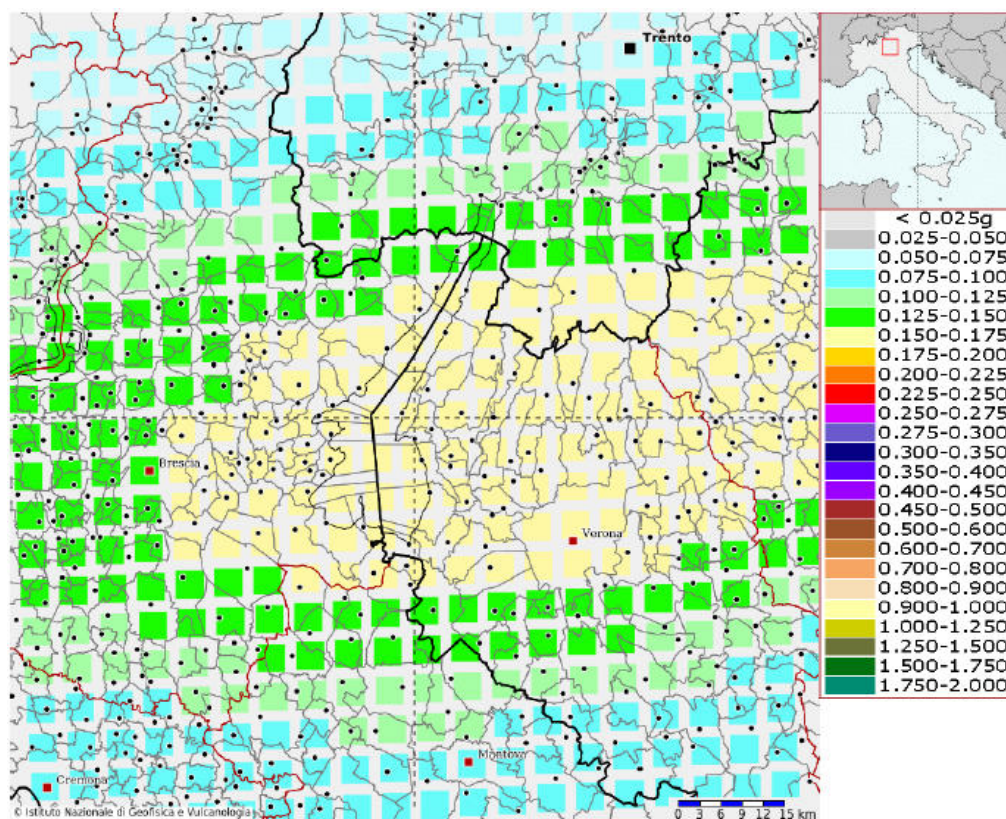


Figura 3 - Analisi di disaggregazione del sito in esame

6. ESTRAZIONE INPUT SISMICI

Sono stati utilizzati come moti di input (applicati su affioramento rigido e deconvolti al basamento sismico attraverso il codice LSR2D) 7 accelerogrammi naturali come specificato nella Circolare applicativa delle NTC2018 al capitolo C7.11.3.1.2.2, che vieta in studi di RSL, l'utilizzo di accelerogrammi artificiali.

Il codice utilizzato per questa operazione è il Rexelweb, tratto da Rexel beta (Iervolino, Galasso, Cosenza), che permette l'estrazione degli accelerogrammi previa definizione di una serie di parametri:

- Target spectrum utilizzato: NTC2018, suolo tipo A
- I parametri di disaggregazione
- I parametri derivanti dalla scelta progettuale
- Le tolleranze max e min rispetto allo spettro target.

Seguendo questa procedura è stato estratto un set di 7 accelerogrammi per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) con parametri molto restrittivi: fattore di scala max imposto pari a 2. In assoluto il set di accelerogrammi scelto per l'analisi è quello che, data la natura delle sorgenti sismogenetiche della zona in oggetto, meglio rappresenta un probabile terremoto di progetto.

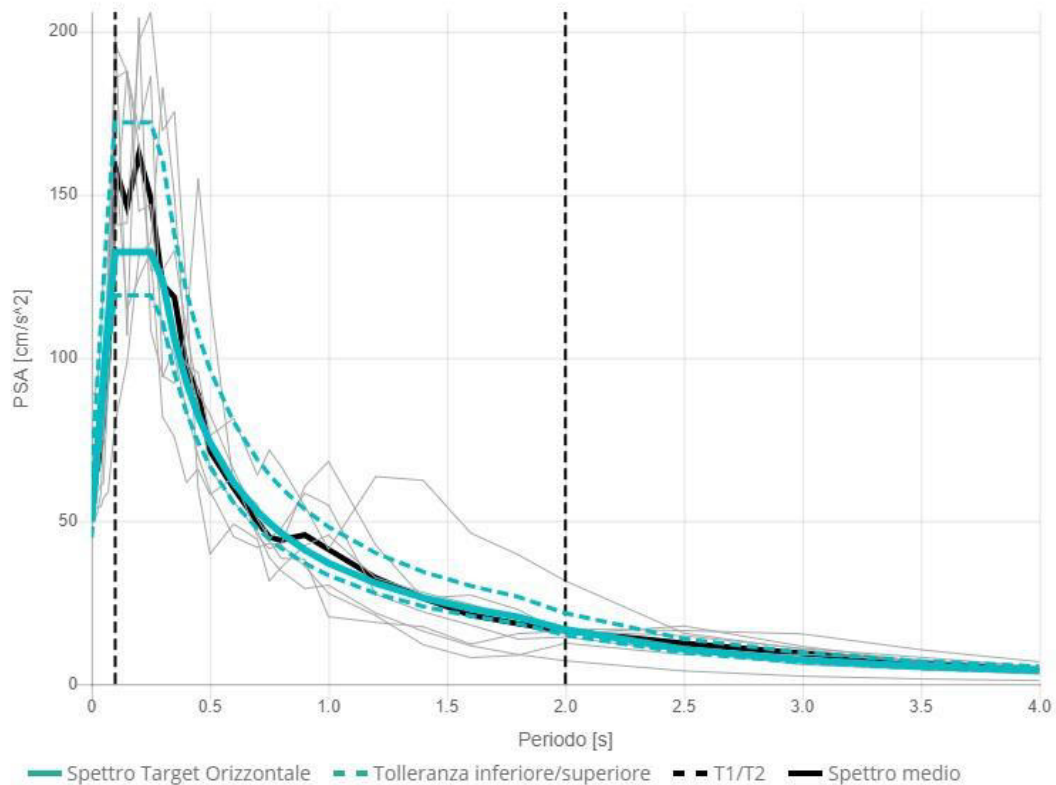


Figura 4 - Combinazione degli spettri dei sette accelerogrammi di input estratti (SLV).

7. RISULTATI

L'analisi RSL è stata condotta con il software LSR2D, alle condizioni anzidette. Il metodo utilizzato è quello Lineare Equivalente con un rapporto di deformazione efficace pari a 0.4, desunto dalla nota relazione:

$$Ratio = \frac{M - 1}{10}$$

dove M = magnitudo di riferimento (5.02) dedotta dai meccanismi sismogenetici dell'area di interesse e dall'analisi di disaggregazione.

Il Damping Factor è pari al 5% di quello critico, secondo la nota formula:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

$\eta = 1$ per un Damping pari al 5%.

I modelli litostratigrafici sono riportati nelle figure sottostanti

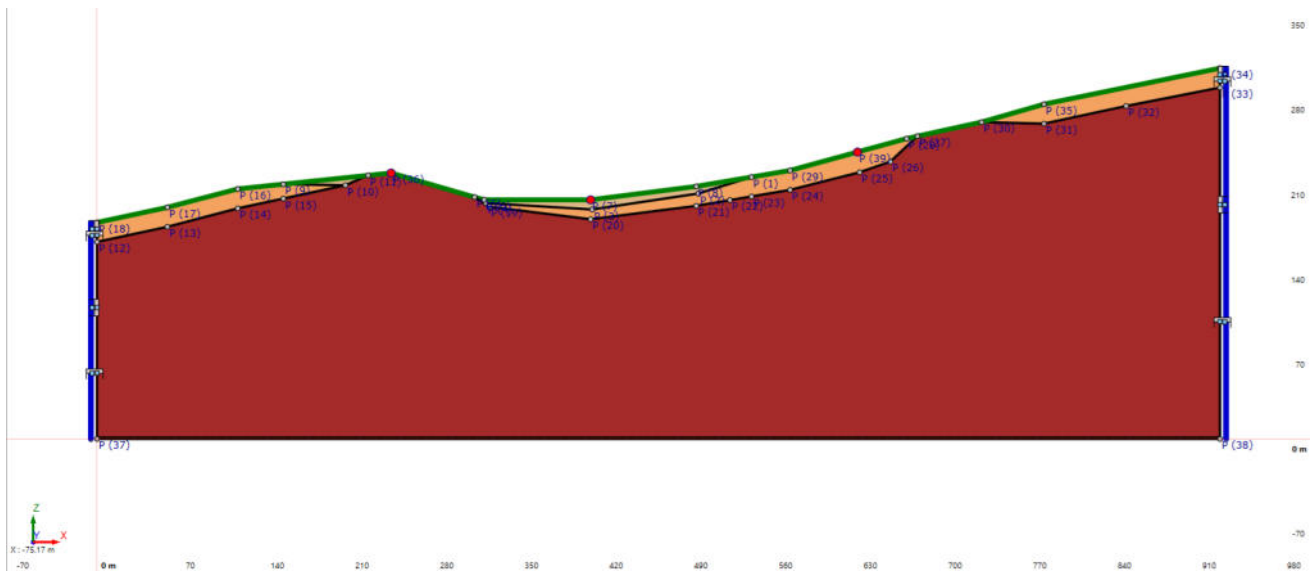


Figura 5 – Sezione corrispondente alla manifestazione di interesse 056

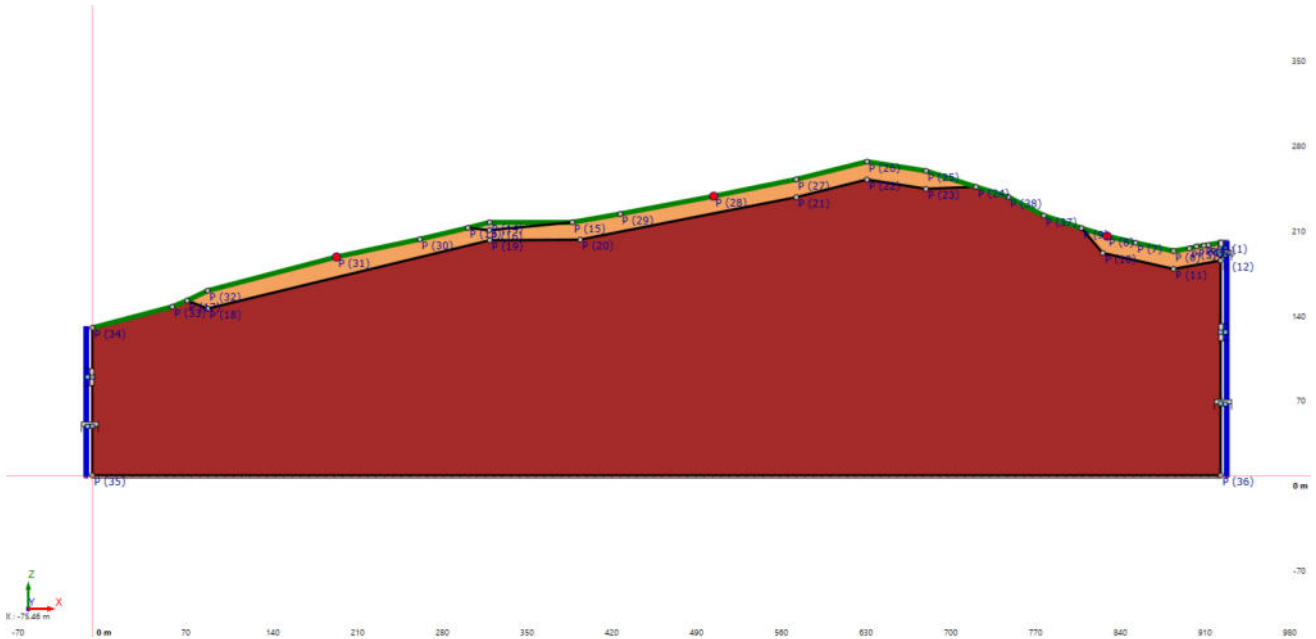


Figura 6 – Sezione corrispondente alla manifestazione di interesse 166

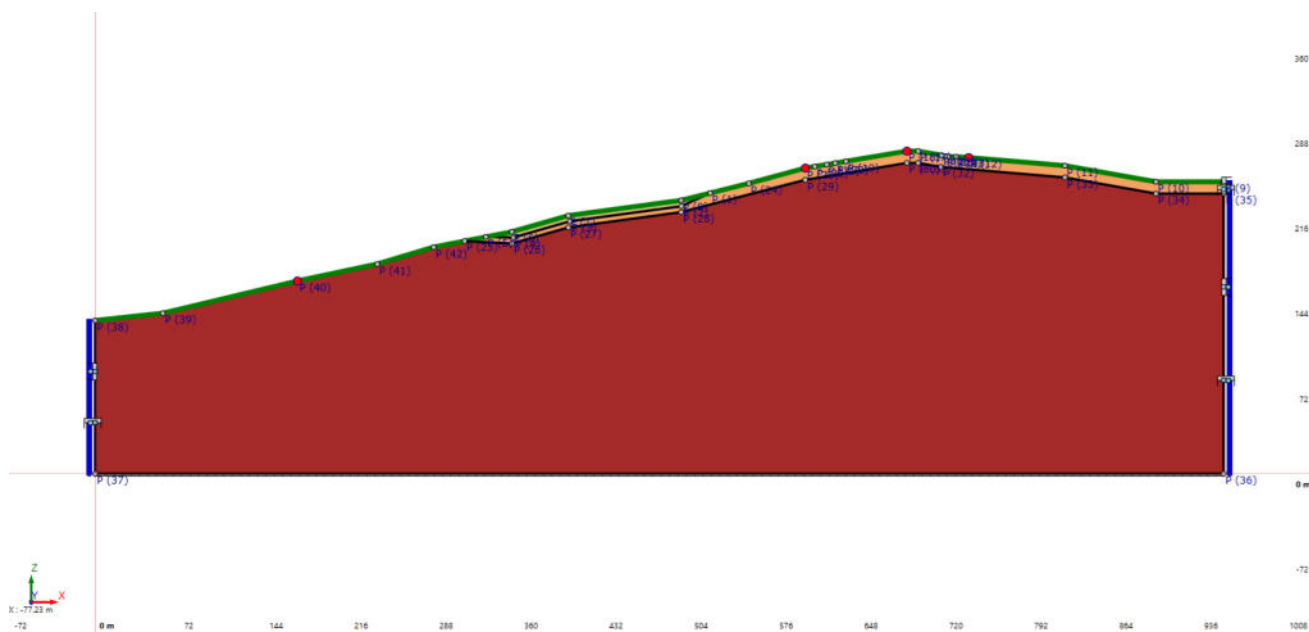


Figura 7 – Sezione corrispondente alla manifestazione di interesse 187

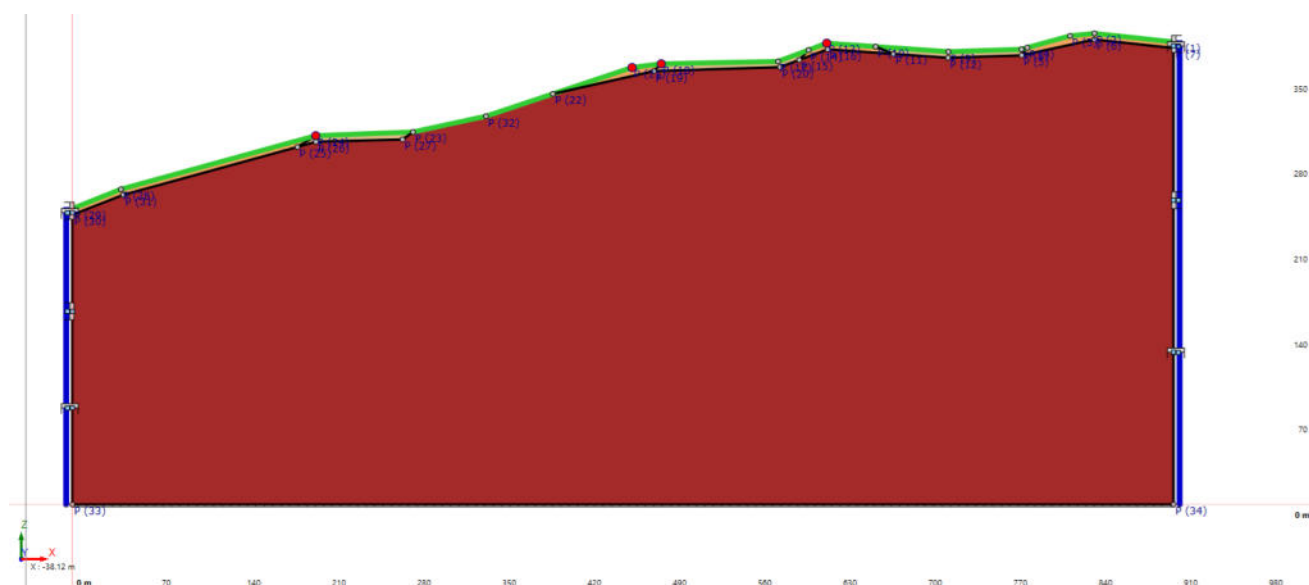


Figura 8 – Sezione corrispondente alla manifestazione di interesse in loc. Bardino

Di seguito si riporta la tabella di sintesi contenente le caratteristiche fisiche degli strati di tutte le sezioni:

Strato	Descrizione	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato	Fluvioglaciale c. sabbia	-	1800.00	350-450	0.3	EPRI (93), 20-50 ft
Strato	Fluvioglaciale c. argilla	-	1800.00	450-550	0.35	EPRI (93), 0-20 ft
Roccia	Roccia	-	2200.00	800.00	0.25	Average Rock

Tabella 1 - Caratteristiche fisiche degli strati

dove:

- S = spessore del singolo strato;
- ρ = densità di massa del singolo strato;
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- γ = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato;

I risultati che vengono riportati si riferiscono ai punti “di controllo” presi a riferimento per il calcolo della RSL posti sull’attuale piano campagna. I punti evidenziati in verde corrispondono alle posizioni delle manifestazioni di interesse.

Le verifiche sono state condotte considerando come classe d’uso la II.

I risultati delle analisi di risposta sismica locale sono rappresentati in termini di parametri caratteristici dei moti sismici calcolati in superficie, spettri di risposta di pseudo- accelerazione PSA dei moti sismici calcolati in superficie e fattori di amplificazione del moto sismico, definiti come:

$$FA = \frac{PSA \text{ output}}{PSA \text{ input}}$$

dove:

PSA output = spettro di risposta di pseudo-accelerazione del moto sismico, calcolato in superficie, nell’intorno del picco massimo di accelerazione e comunque per periodi definiti, così come definito in ICMS;

PSA input = spettro di risposta di pseudo-accelerazione del moto sismico di input, così come definito in ICMS. Di seguito si riportano le tabelle recanti gli FA ottenuti per diversi periodi di scuotimento.

Distanza da origine sezione				
SEZ. 056	Prog. (m)	FA(0.1- 0.5)	FA(0.4- 0.8)	FA(0.7- 1.1)
P36	243.1	1.11	1.03	1.02
P07	407.9	1.21	0.93	0.93
P39	628.5	1.13	0.90	0.74
SEZ. 166				
P31	201.7	1.25	1.00	0.90
P28	513.3	1.12	1.01	1.15
P08	838.2	0.83	0.70	0.89
SEZ. 187				
P40	171.4	0.89	0.87	0.87
P23	601.6	0.99	1.04	1.06
P18	687.6	1.15	1.04	1.07

P12	740.0	0.95	0.95	1.06
SEZ. Bar.				
P24	200.0	1.09	0.87	0.87
P21	460.0	1.07	1.05	0.92
P18	484.0	1.15	1.07	0.92
P13	620.0	1.09	0.96	0.88

Tabella 2 – Fattori di amplificazione per diversi periodi di scuotimento (i punti evidenziati in verde corrispondono alle posizioni delle manifestazioni di interesse)

$$S = \frac{PGA(output)}{PGA(input)}$$

dove:

PGA (output) = accelerazione orizzontale massima di output in superficie per $t=0$

PGA (input) = accelerazione orizzontale massima di input su suolo rigido per $t=0$

In all. 5 sono riportati gli spettri di risposta ottenuti nei punti di controllo per lo stato limite SLV, e la loro parametrizzazione

Nella stragrande maggioranza dei casi, l'amplificazione sismica risulta piuttosto bassa, e comunque non arriva mai a 2: questo fatto è dovuto alla presenza di una copertura molto ridotta in termini di potenza e in genere di discreta rigidità. In alcuni casi non vi è copertura.

Non sono peraltro rari i punti ove non si riscontra amplificazione, ma al contrario prevalgono effetti dissipativi: questo fatto si traduce in fattori di amplificazione inferiori alla unità.

Nell'all. 5 è possibile vedere la sovrapposizione tra spettri ottenuti da RSL, spettri parametrizzati e spettri semplificati.

Di seguito si riportano le relative tabelle per la parametrizzazione degli spettri di output ottenuti.

SEZIONE 056

Punto di controllo	$A_g [g]$	$F0$	S	$A_{max} [g]$	$T_b [sec]$	$T_c [sec]$	$T_d [sec]$
P (7)	0.162	3.760	0.947	0.153	0.064	0.193	2.248
P (36)	0.162	2.862	0.905	0.147	0.089	0.266	2.248
P (39)	0.162	3.506	0.896	0.145	0.068	0.203	2.248

SEZIONE 166

Punto di controllo	$A_g [g]$	$F0$	S	$A_{max} [g]$	$T_b [sec]$	$T_c [sec]$	$T_d [sec]$
P (8)	0.162	3.088	0.759	0.123	0.093	0.278	2.248
P (28)	0.162	3.627	0.938	0.152	0.075	0.224	2.248
P (31)	0.162	3.900	0.921	0.149	0.073	0.218	2.248

SEZIONE 187

<i>Punto di controllo</i>	A_g [g]	$F0$	S	A_{max} [g]	T_b [sec]	T_c [sec]	T_d [sec]
P (12)	0.162	2.476	0.847	0.137	0.111	0.334	2.248
P (18)	0.162	3.227	0.894	0.145	0.085	0.254	2.248
P (23)	0.162	3.023	0.834	0.135	0.092	0.275	2.248
P (40)	0.162	3.452	0.684	0.111	0.079	0.237	2.248

SEZIONE Bardino

<i>Punto di controllo</i>	A_g [g]	$F0$	S	A_{max} [g]	T_b [sec]	T_c [sec]	T_d [sec]
P (13)	0.162	3.095	0.873	0.141	0.087	0.260	2.248
P (18)	0.162	3.813	0.823	0.133	0.069	0.206	2.248
P (21)	0.162	3.604	0.772	0.125	0.077	0.232	2.248
P (24)	0.162	3.133	0.905	0.147	0.078	0.235	2.248

Tabb. 9 – Valori ottenuti per la parametrizzazione degli spettri in corrispondenza di ogni punto di controllo per ciascuna sezione relativamente allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). I punti evidenziati in verde corrispondono alle posizioni delle manifestazioni di interesse

dove:

- A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F0$: valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- A_{max} : punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output;
- T_b : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

L'all. 6 riporta invece le sezioni 2D relative alla variazione dei valori di accelerazione su superficie libera: quest'ultimo elaborato può risultare particolarmente utile nel caso si debbano dimensionare delle fondazioni profonde e dunque serva il valore di accelerazione alla profondità di imposta delle stesse.

Rovigo, Febbraio 2025

Dott. Geol. Enrico Farinatti



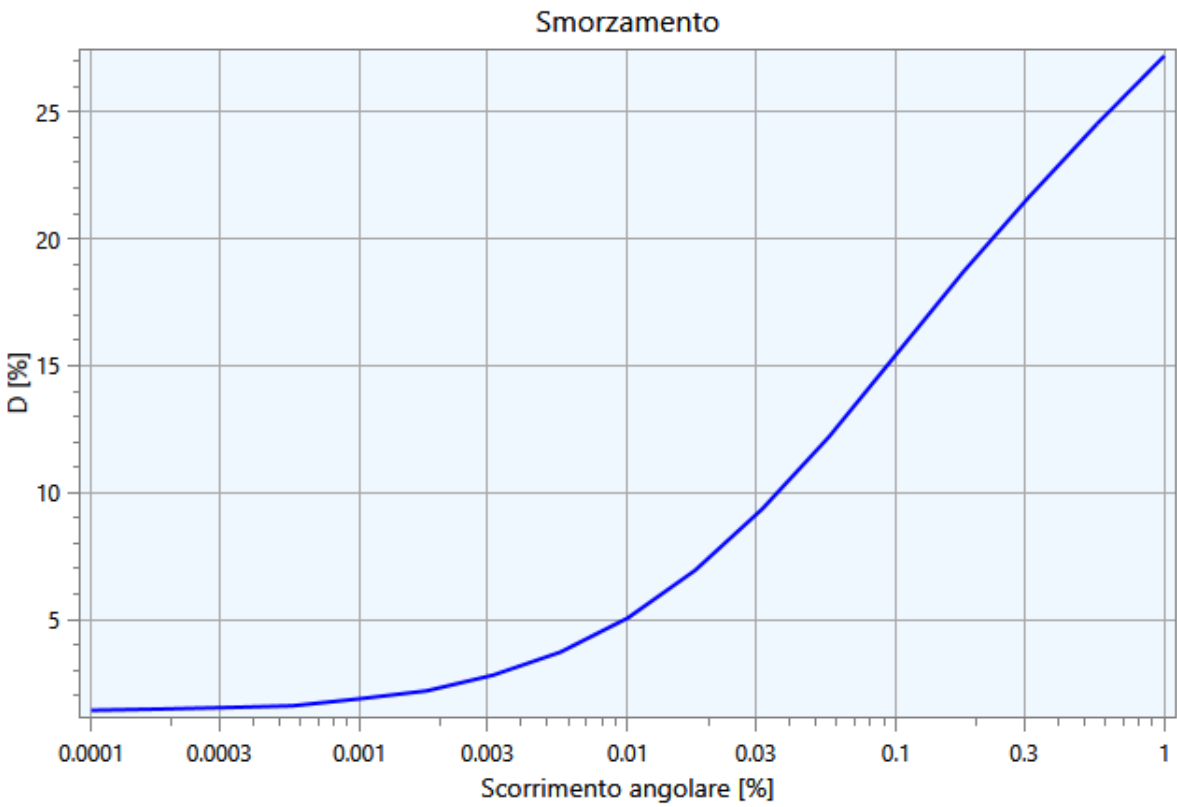
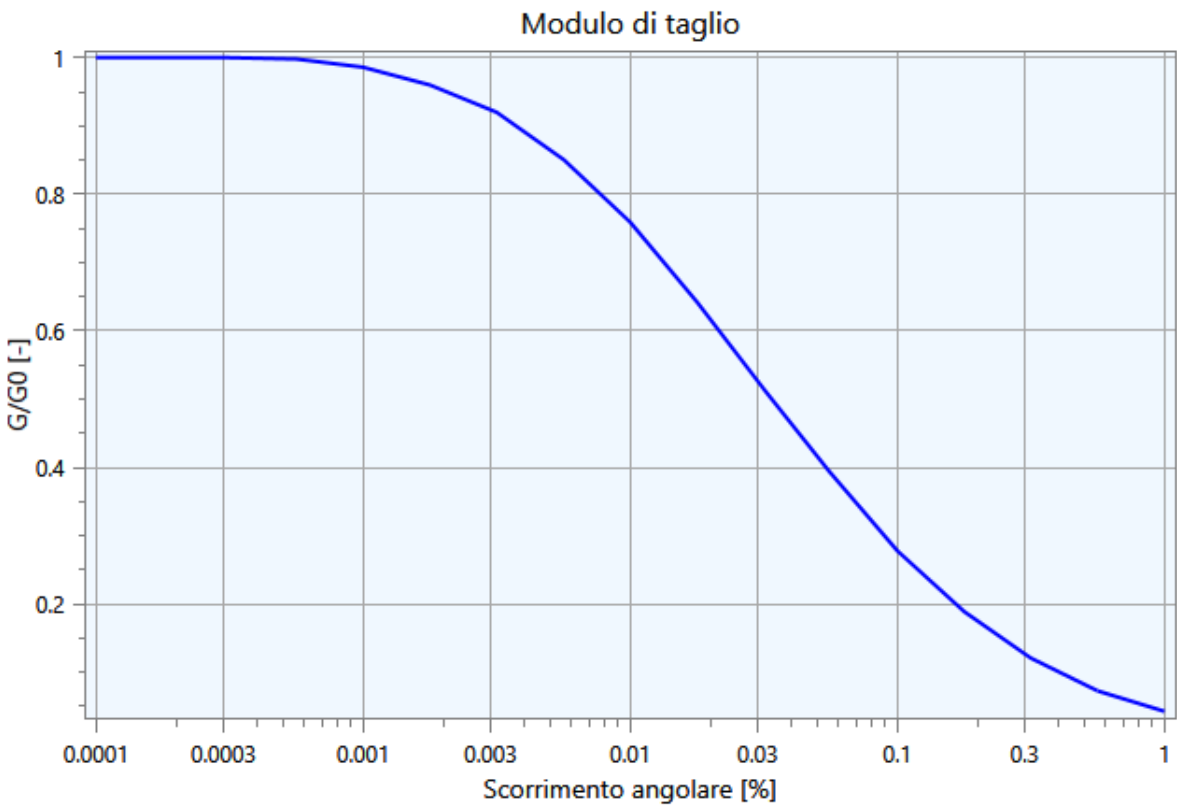
ALLEGATI

ALL. 1 - PLANIMETRIA DELLE SEZIONI DI CALCOLO DELLA RISSPOSTA SISMICA LOCALE

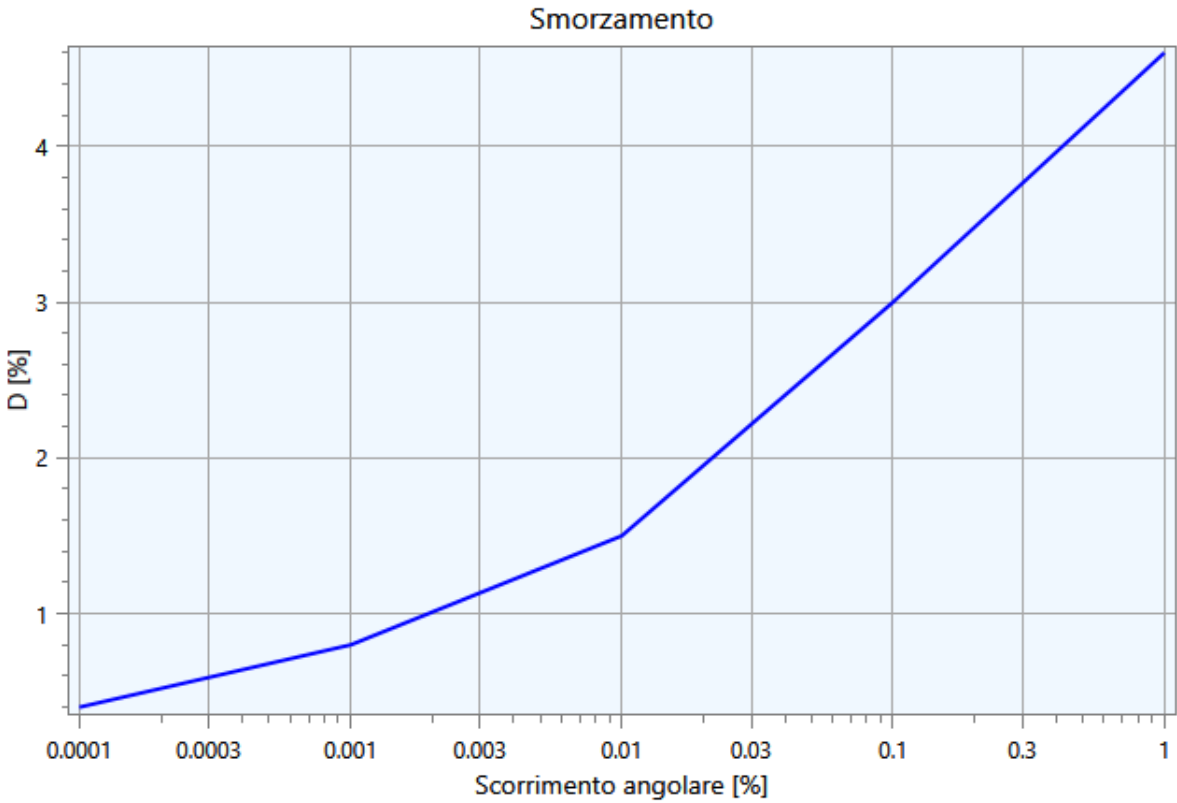
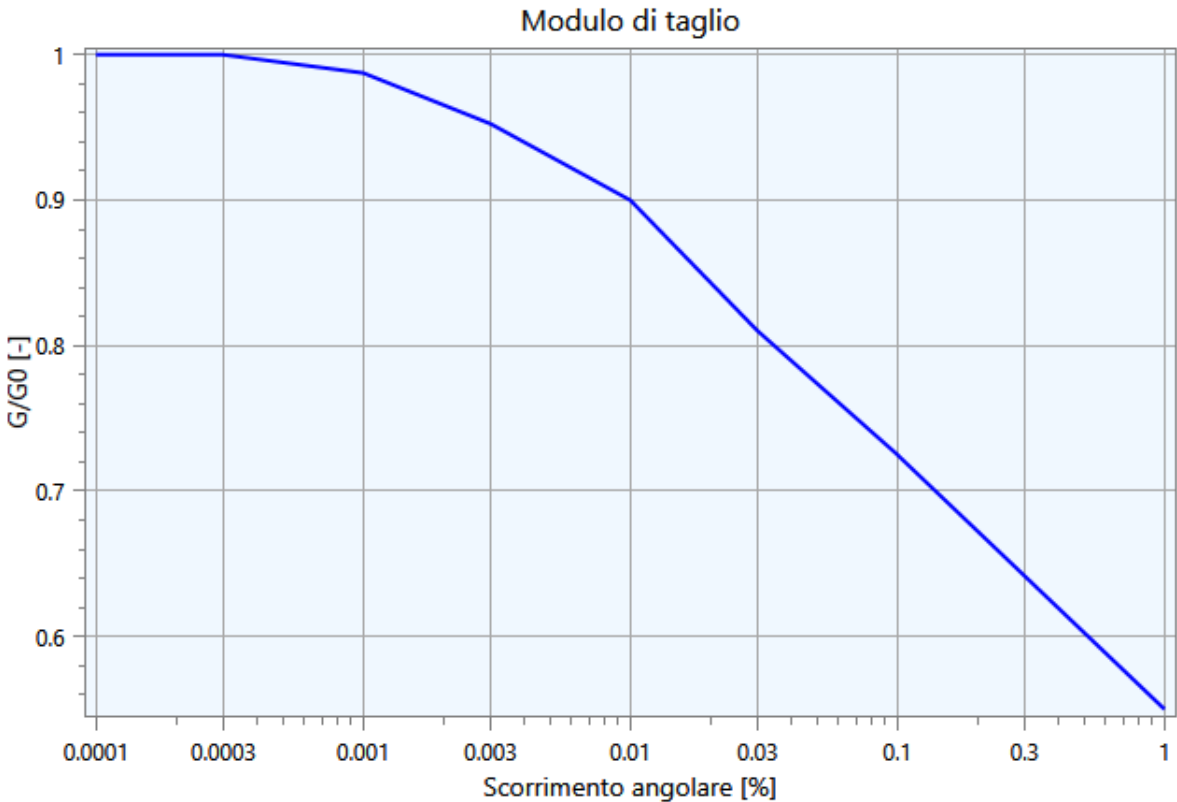


ALLEGATO 2 – Curve di decadimento dei materiali

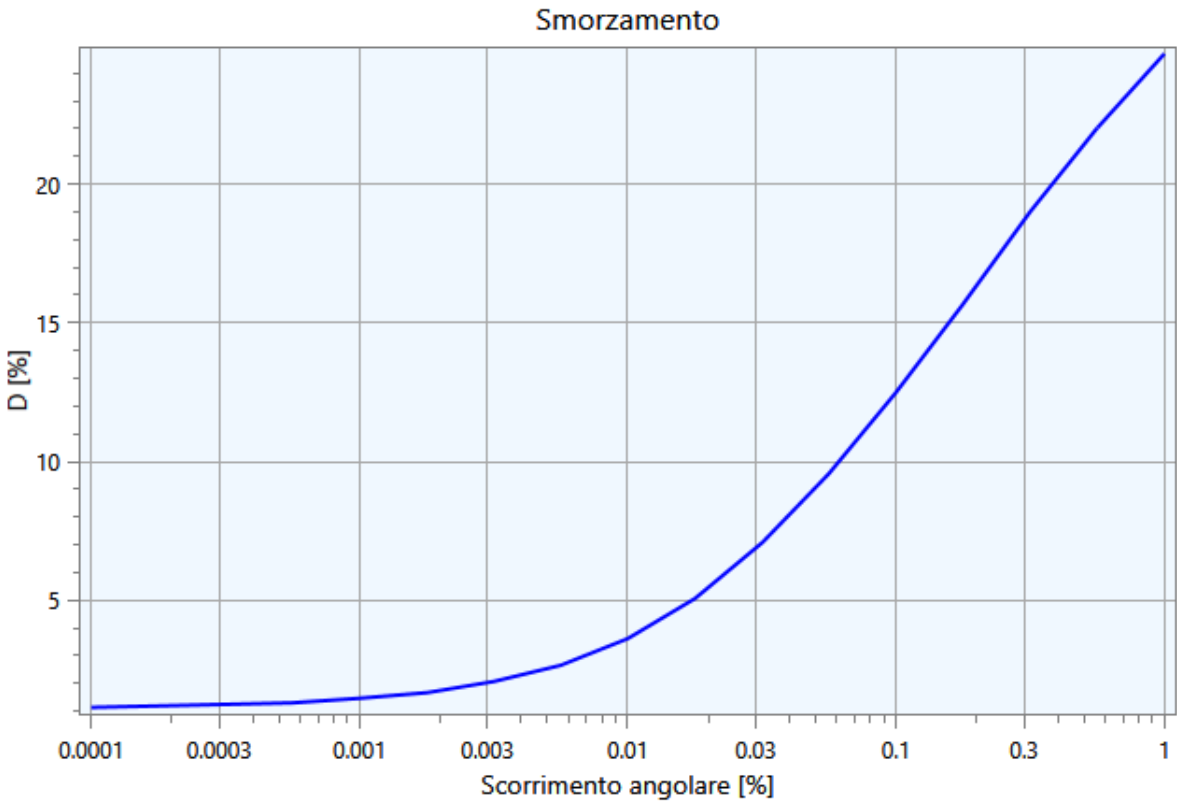
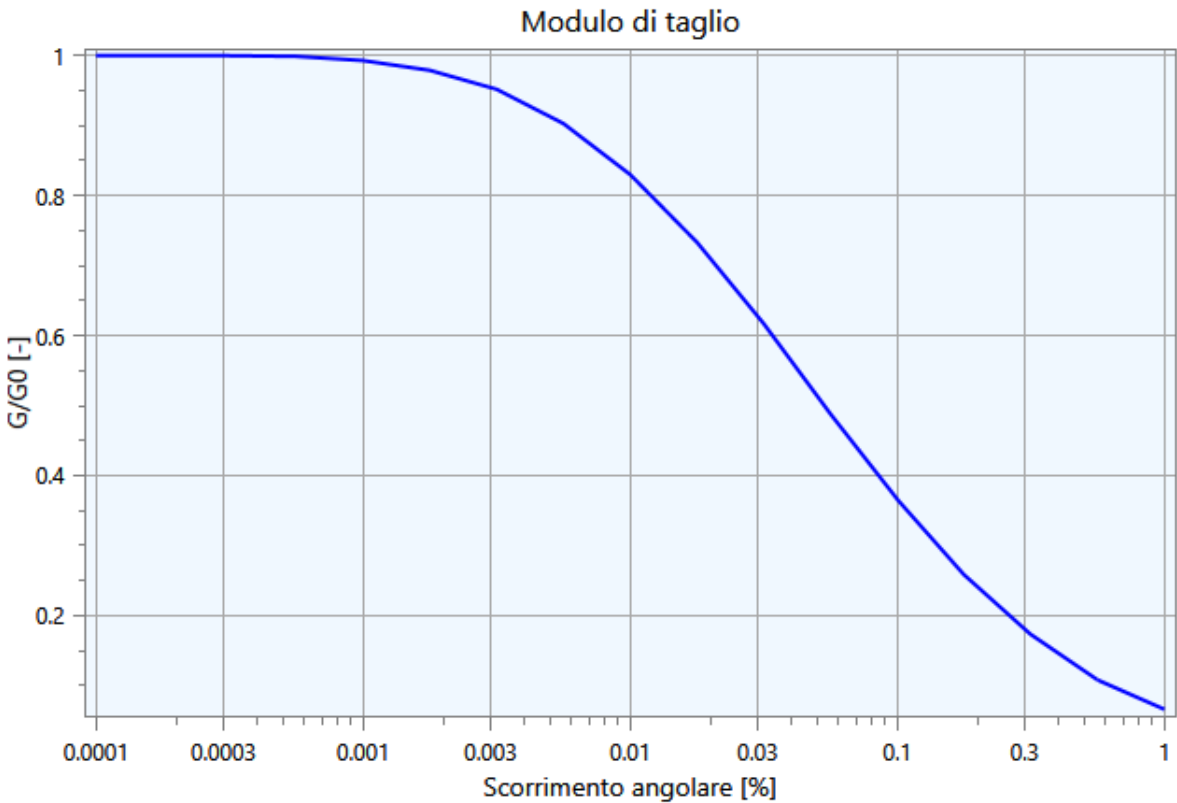
Curva n. 1: EPRI (93), 0-20 ft



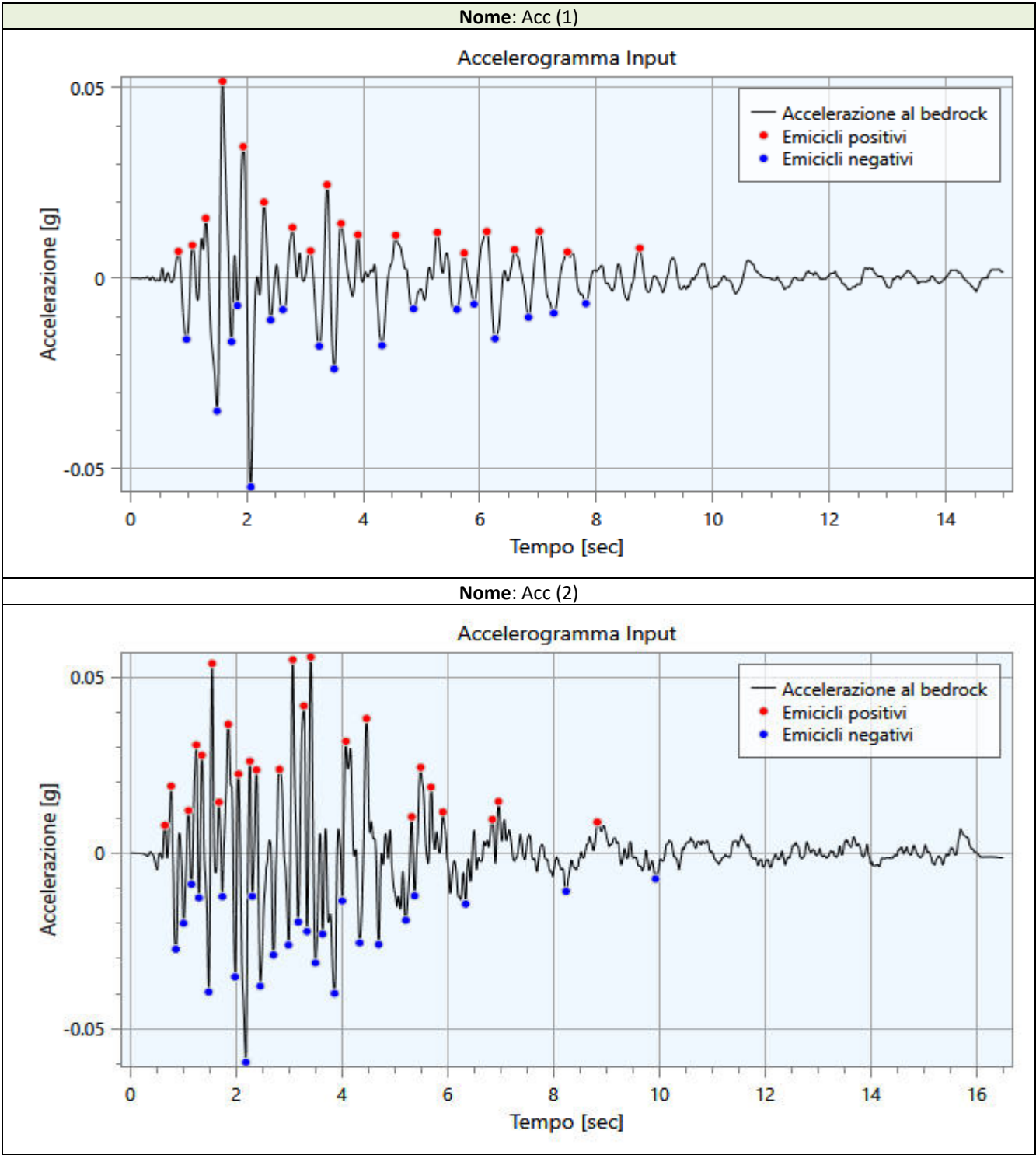
Curva n. 2: Average Rock



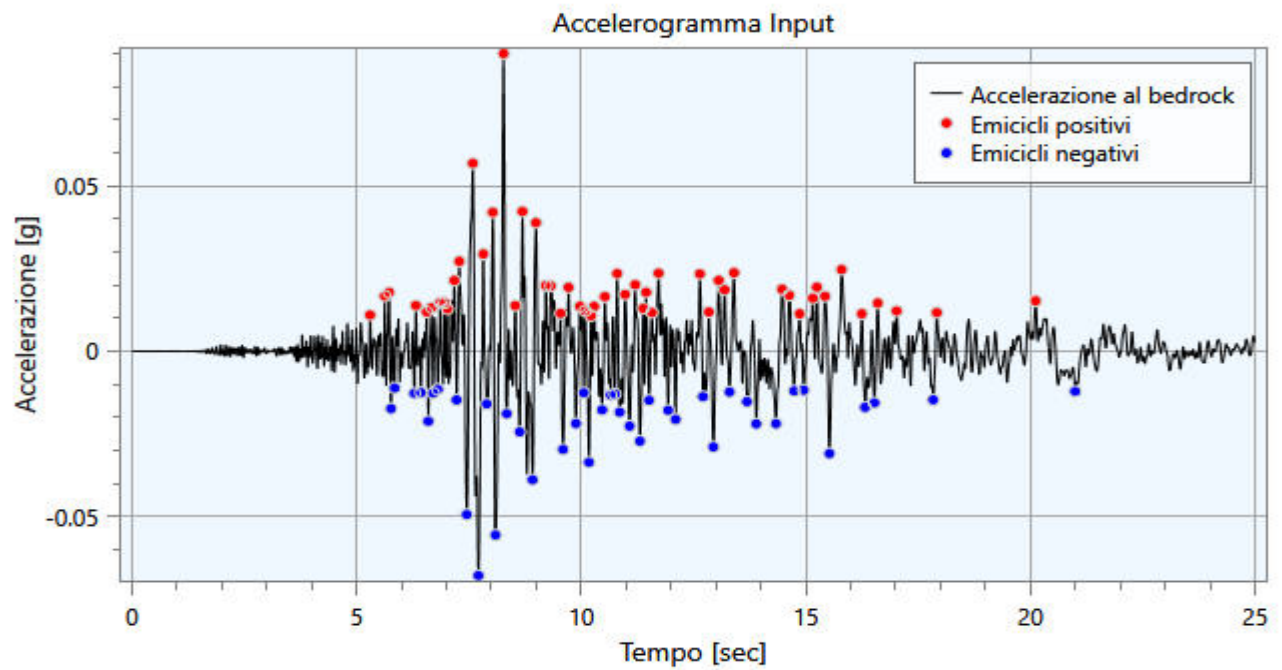
Curva n. 3: EPRI (93), 20-50 ft



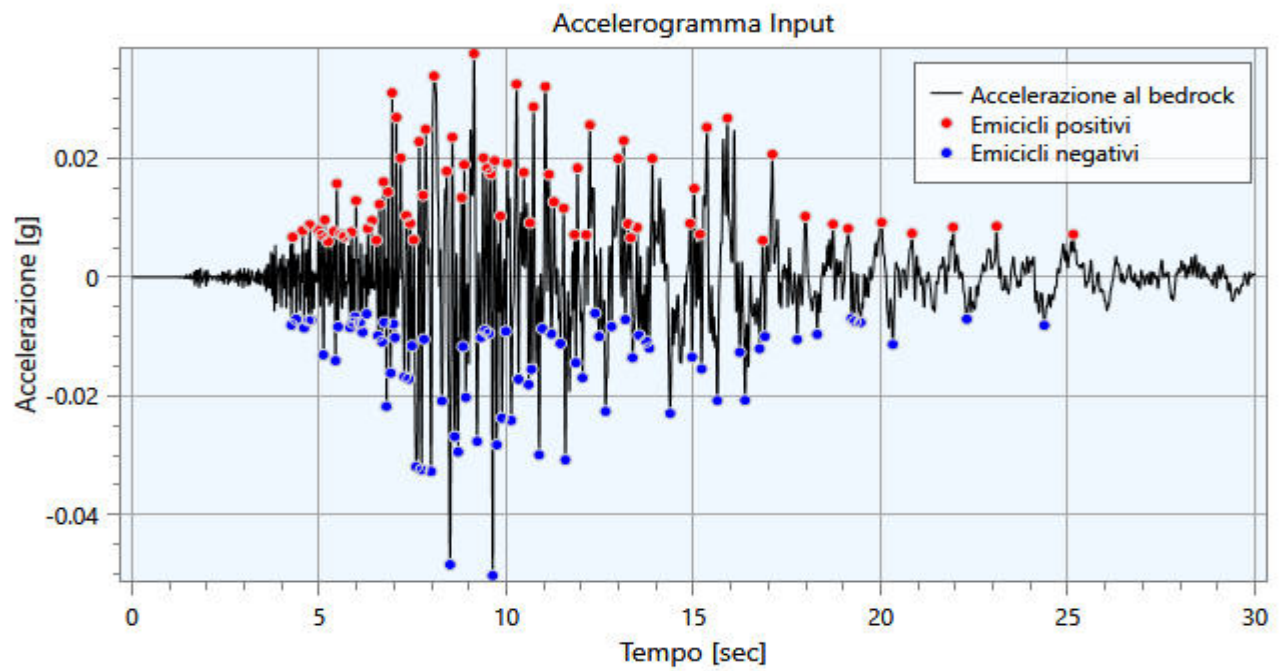
ALLEGATO 3 - Accelerogrammi e Spettri di Input



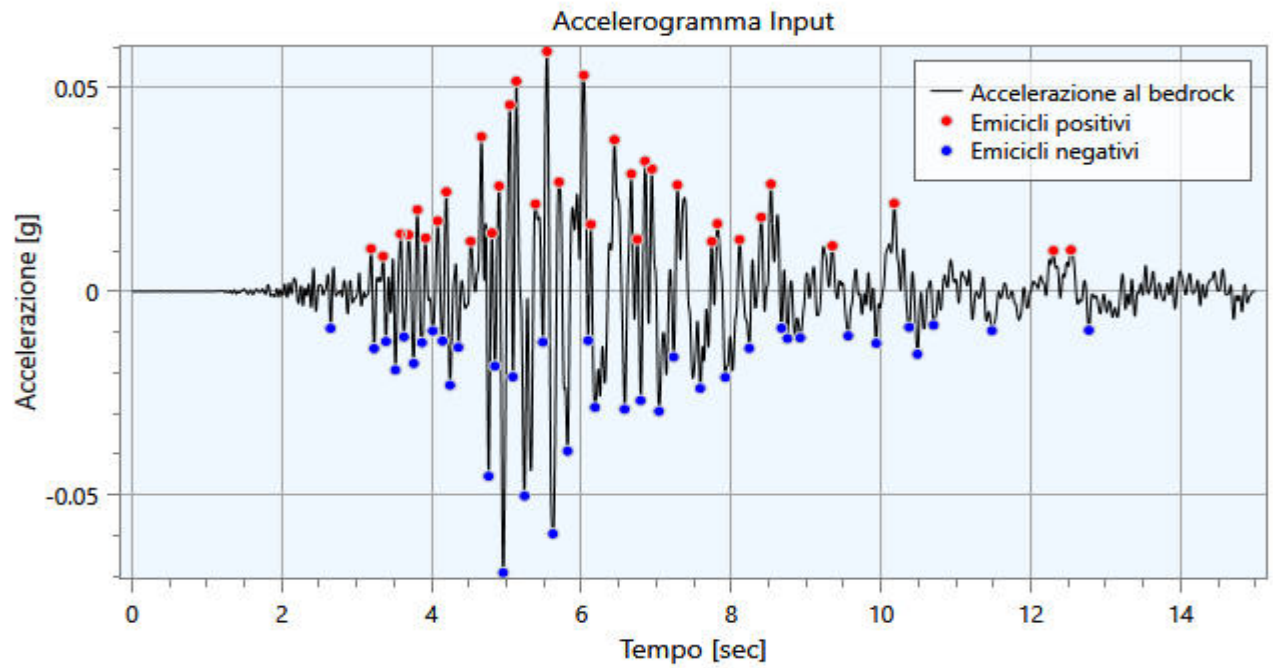
Nome: Acc (3)



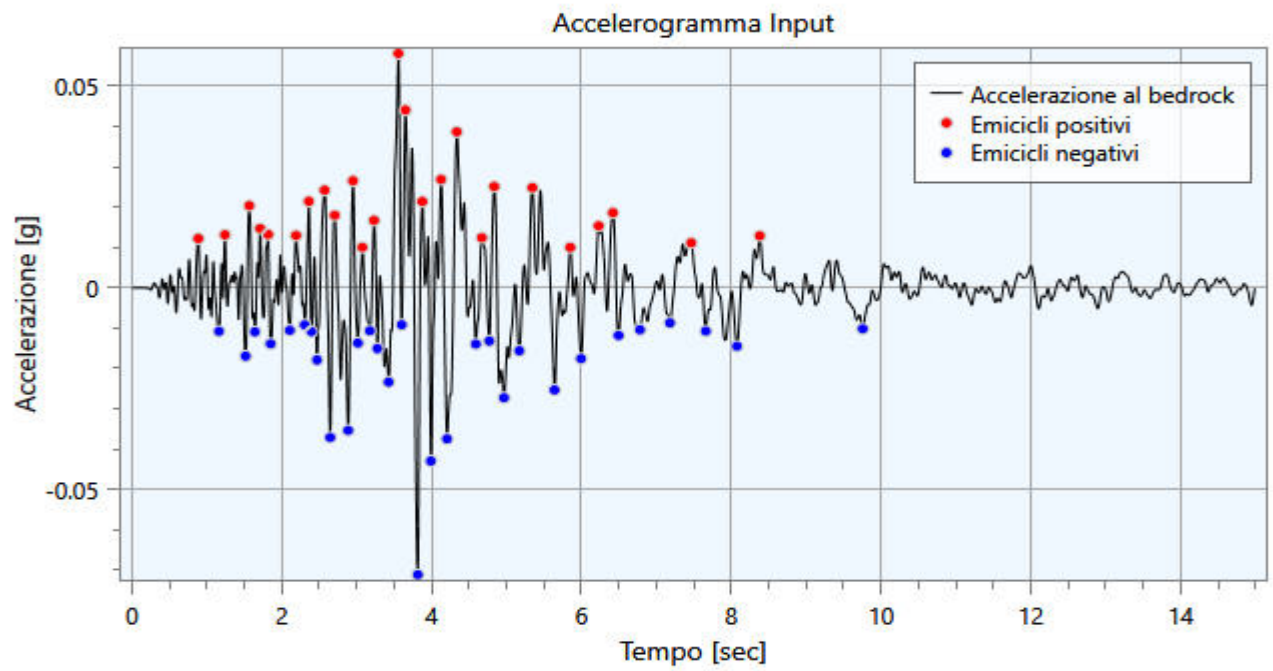
Nome: Acc (4)



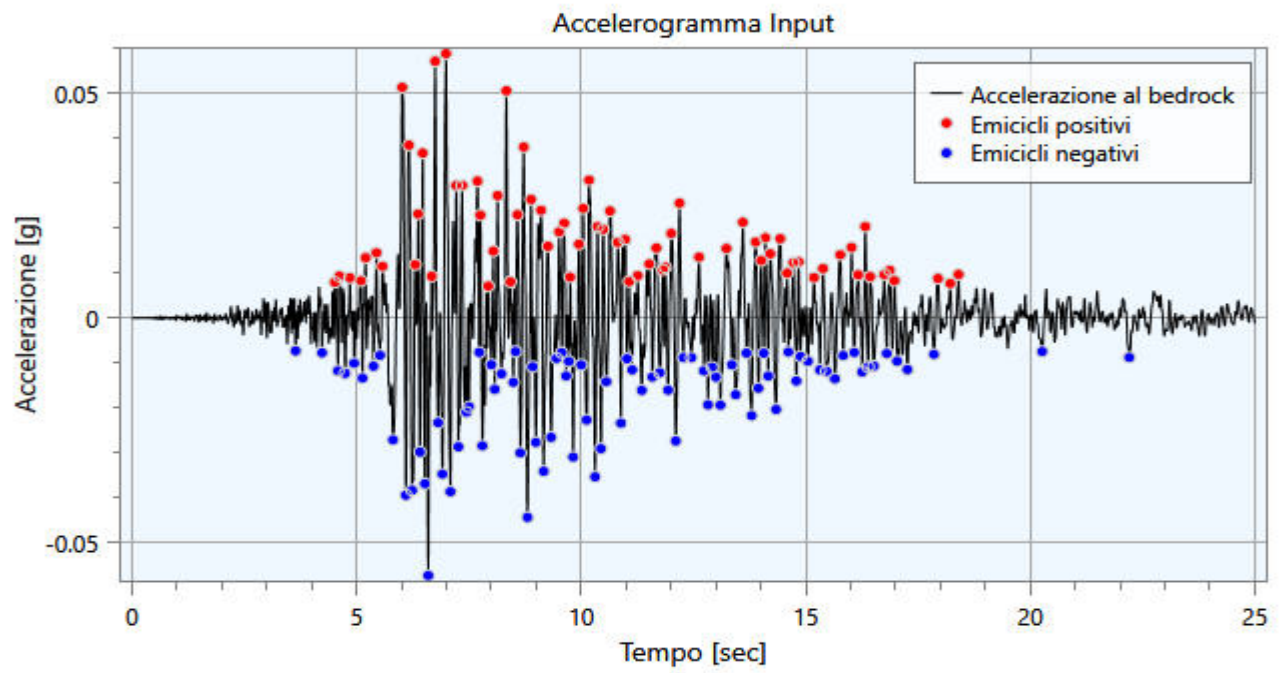
Nome: Acc (5)



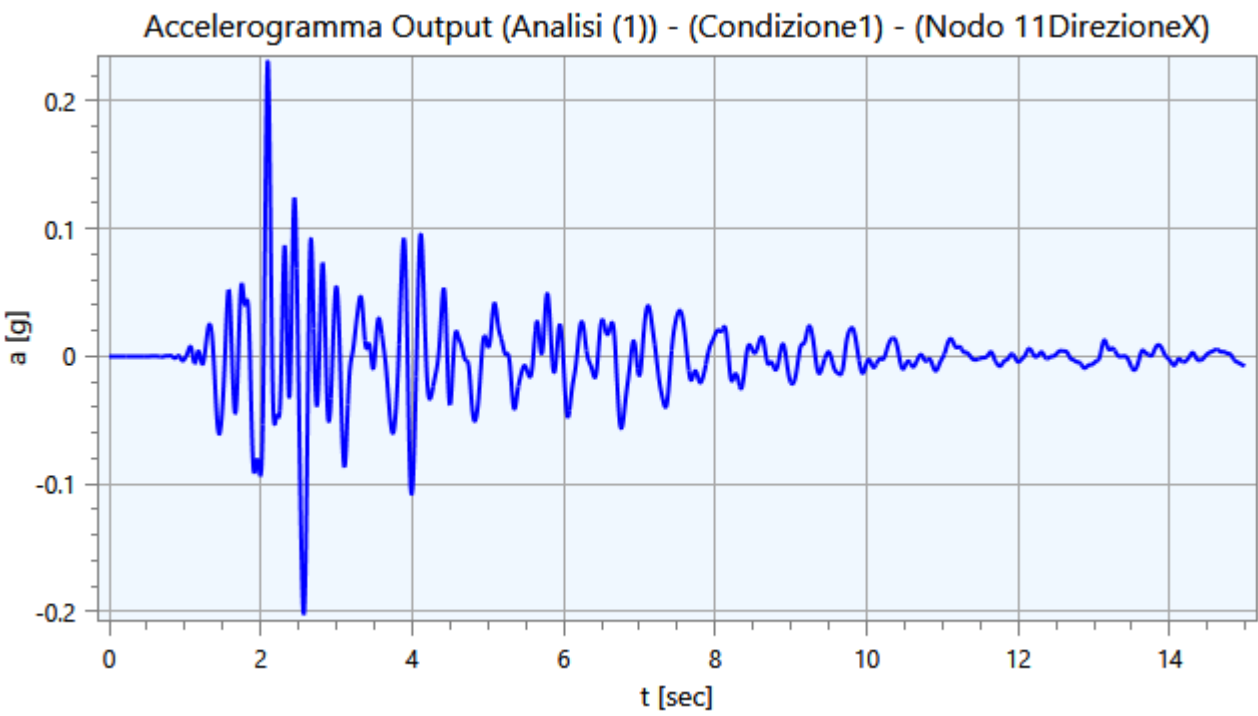
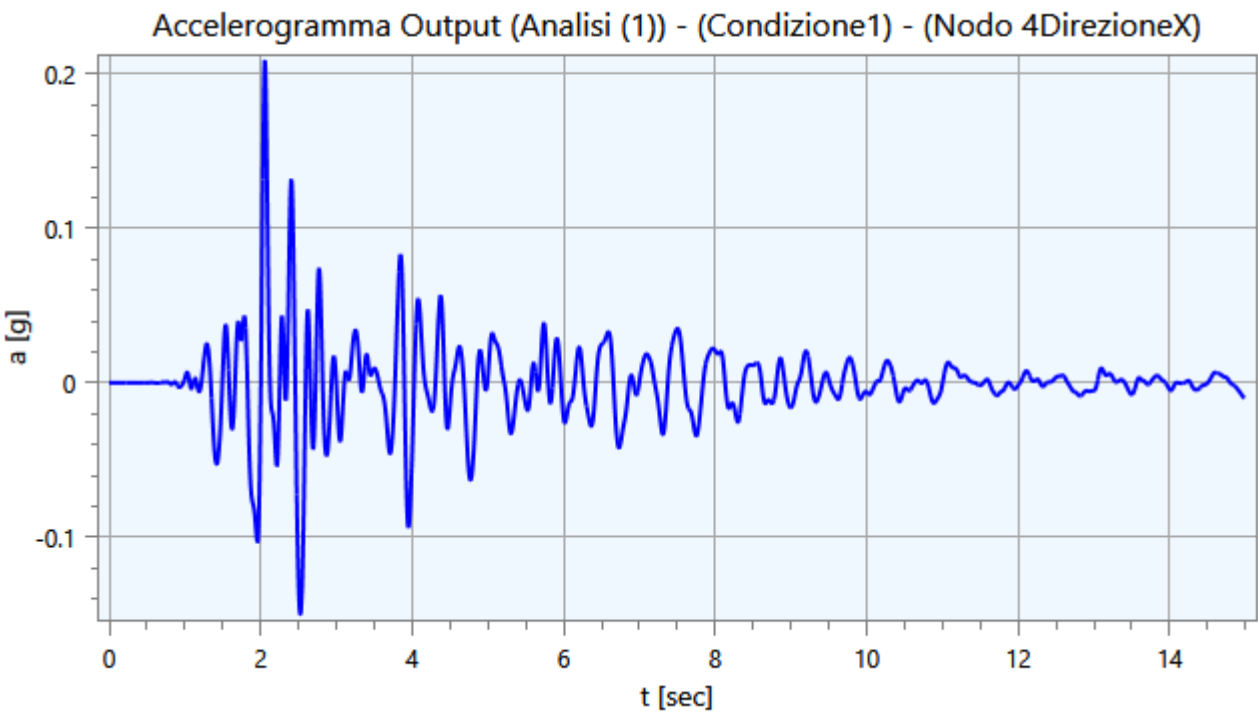
Nome: Acc (6)



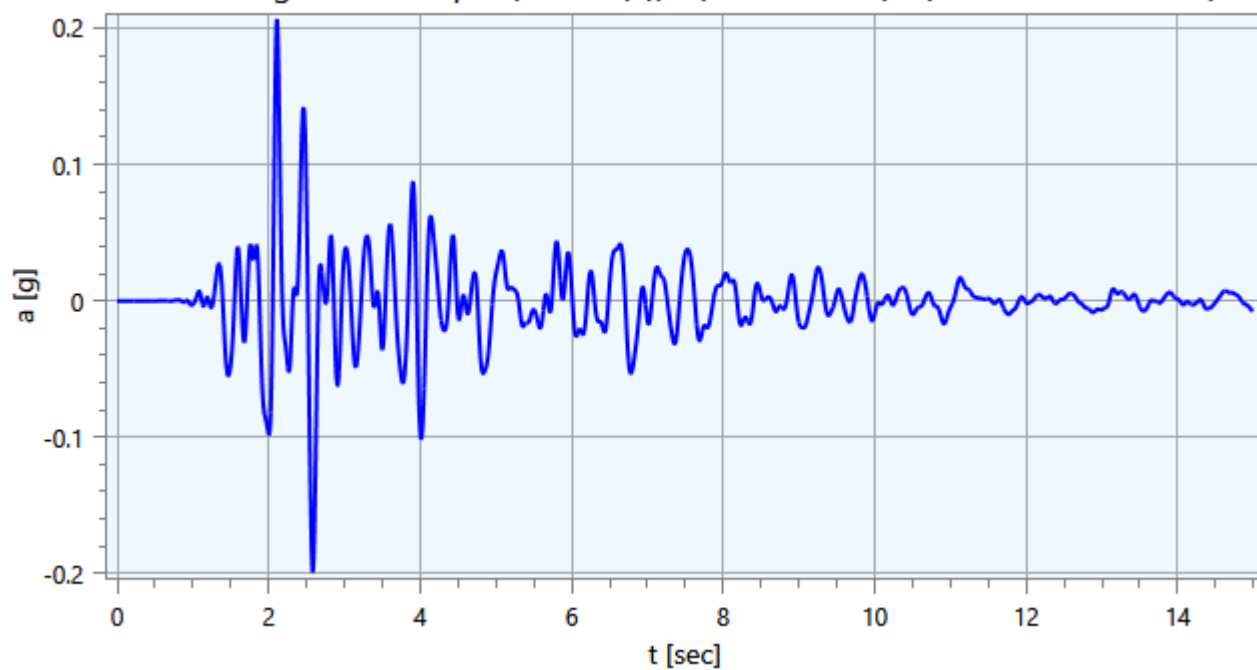
Nome: Acc (7)



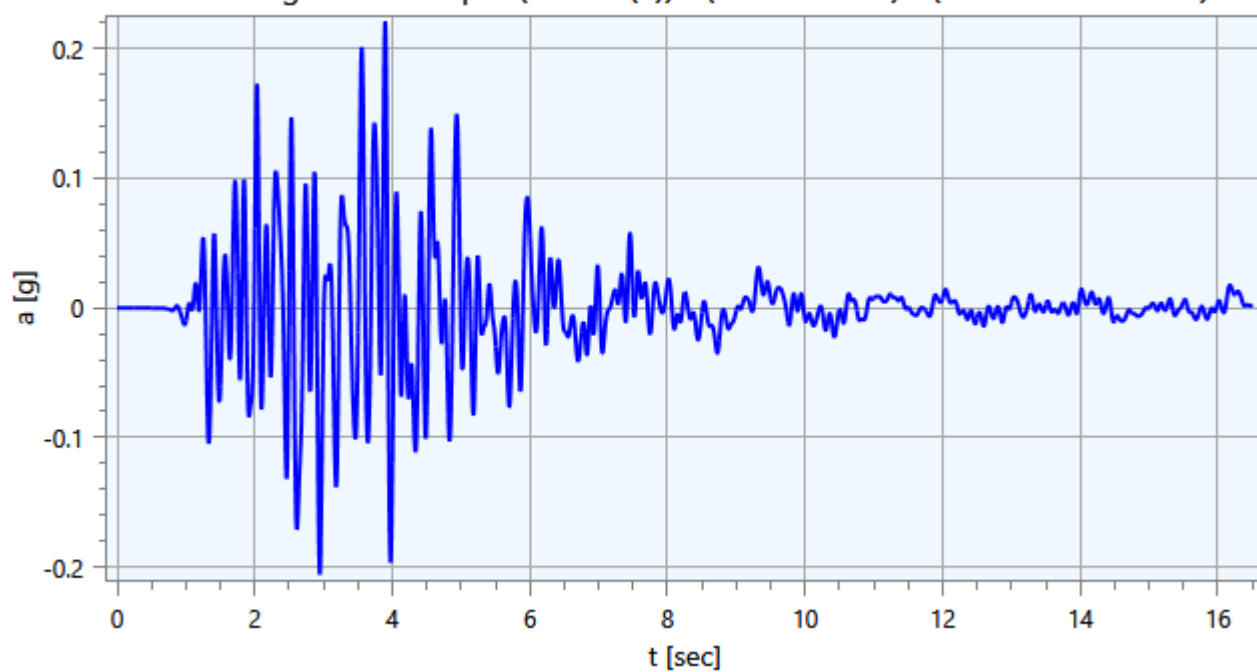
ALLEGATO 4 - Accelerogrammi di Output
Sezione 056



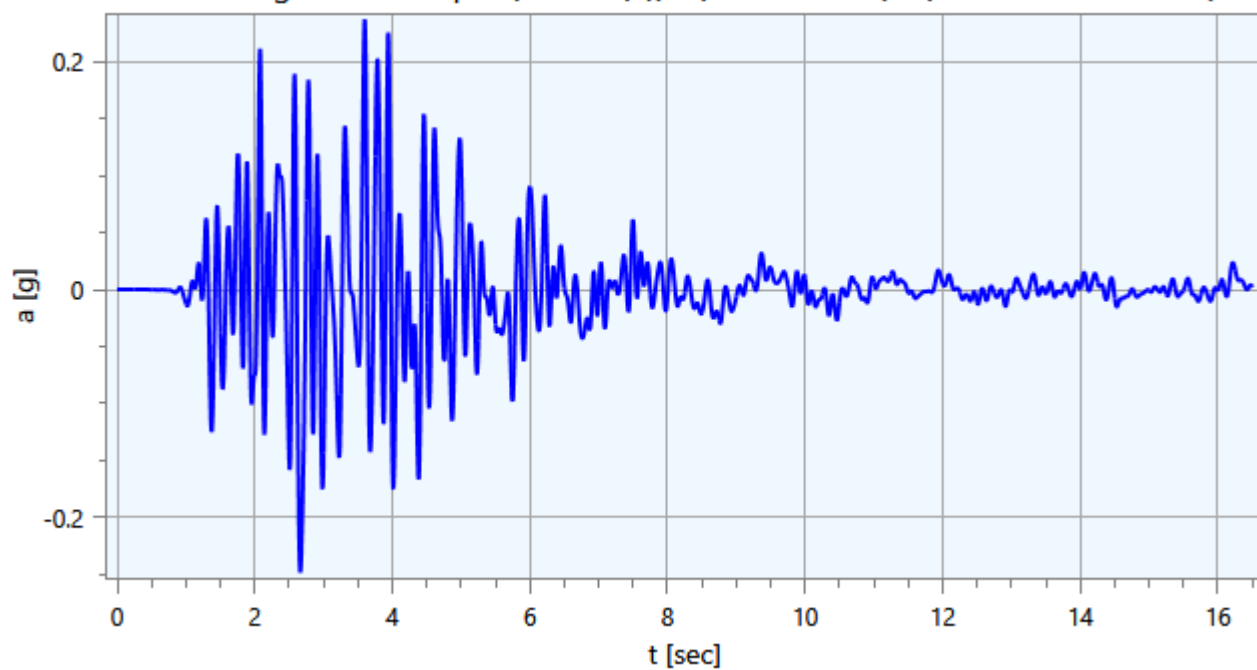
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 15DirezioneX)



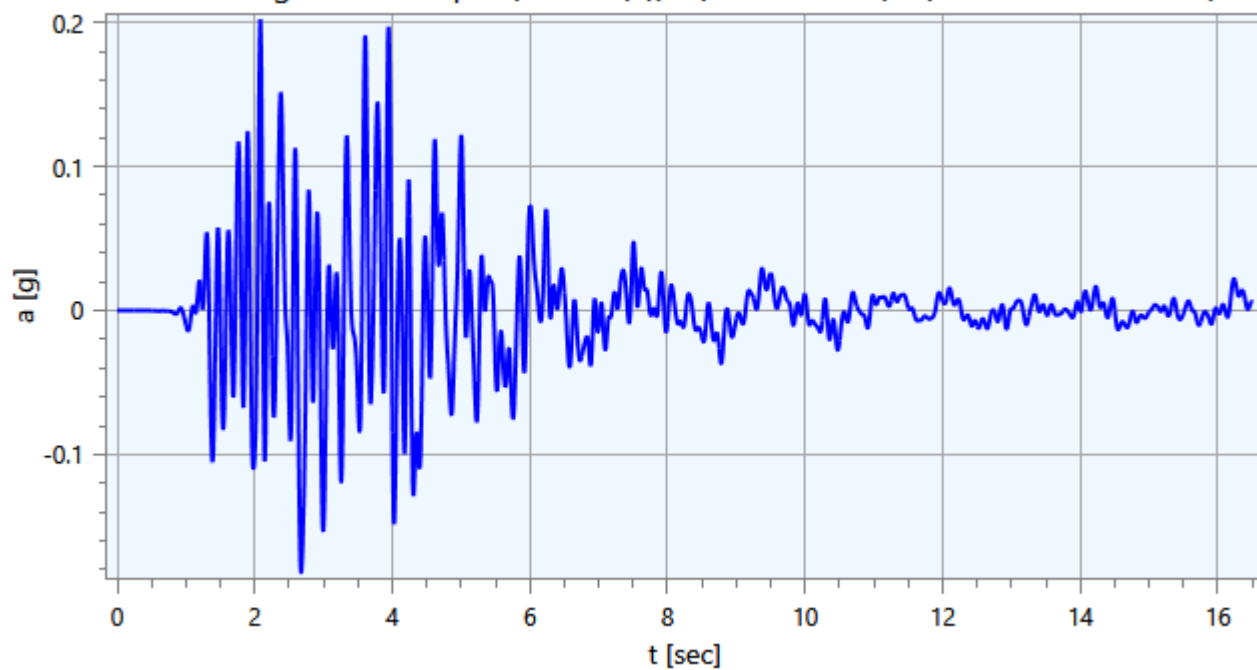
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 4DirezioneX)



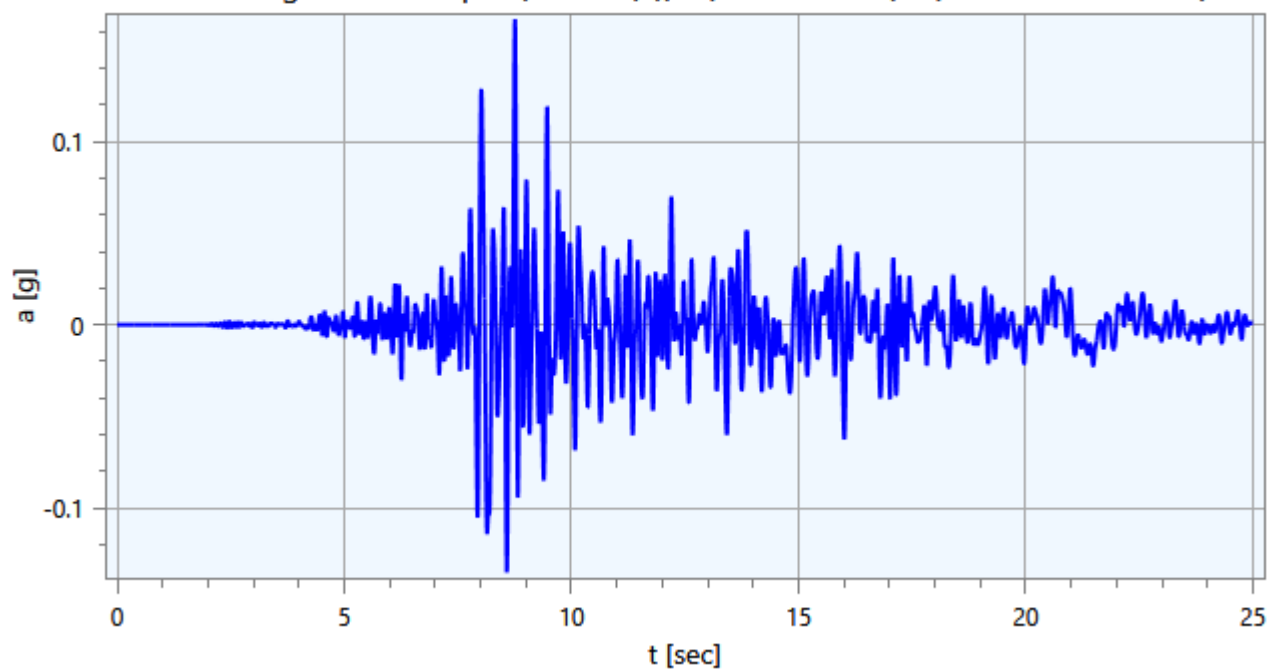
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 11DirezioneX)



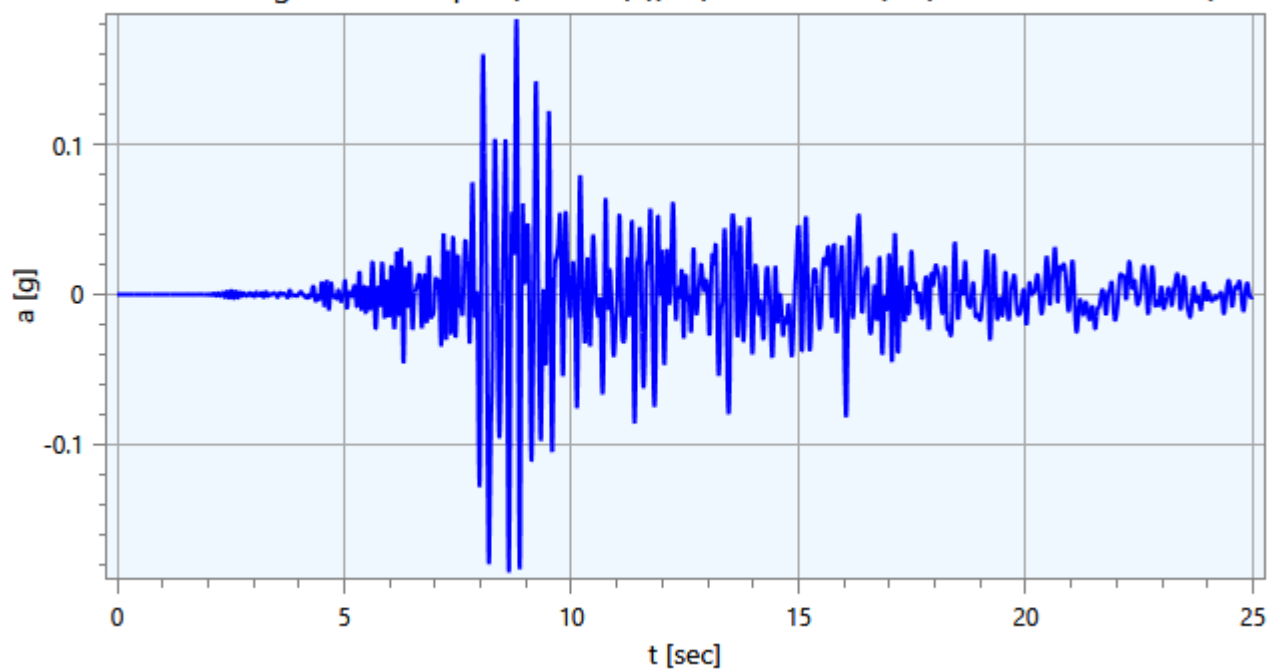
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 15DirezioneX)



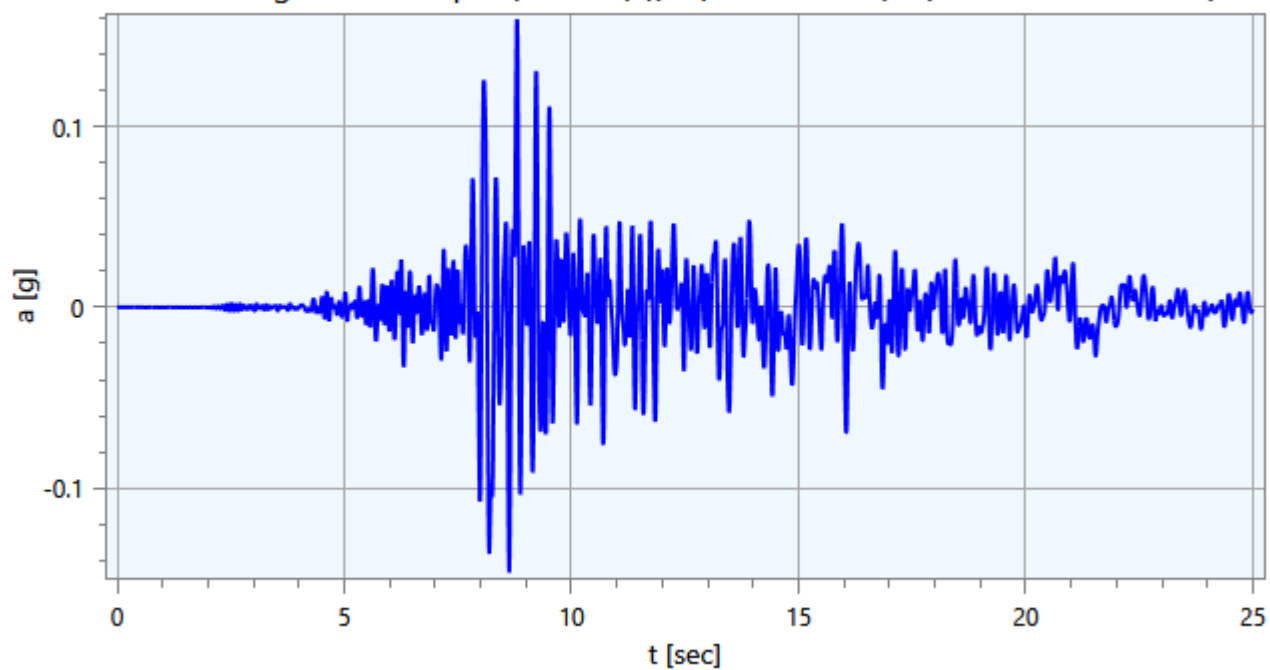
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 4DirezioneX)



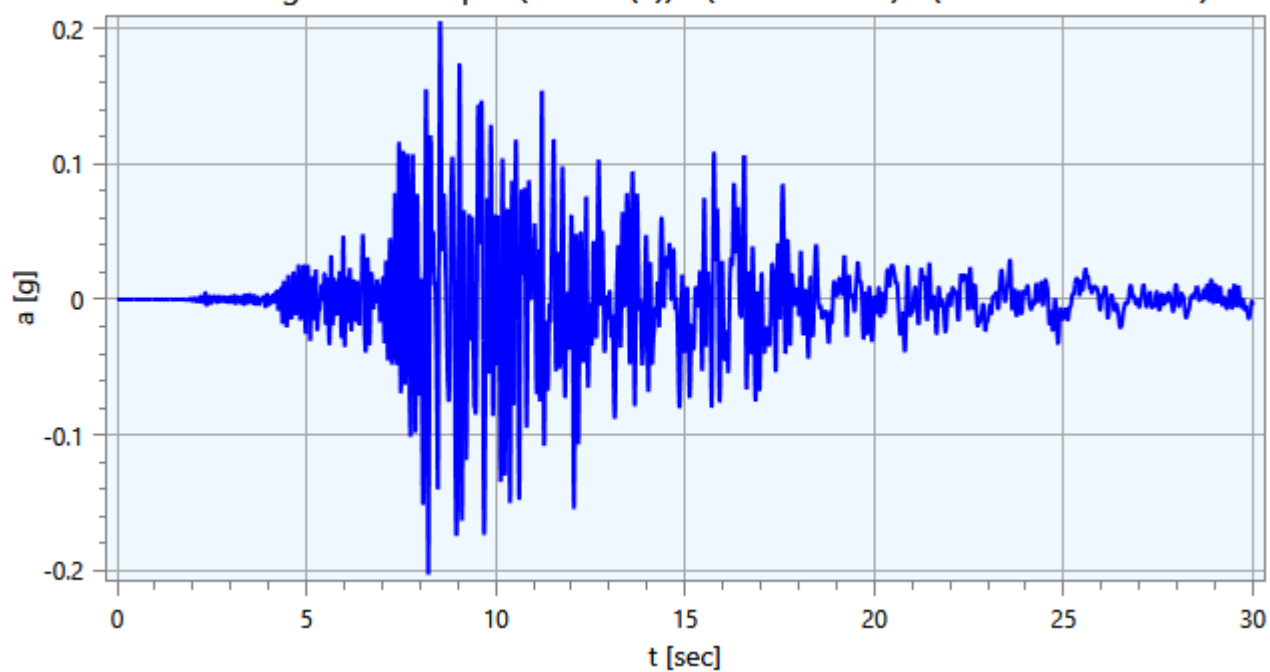
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 11DirezioneX)



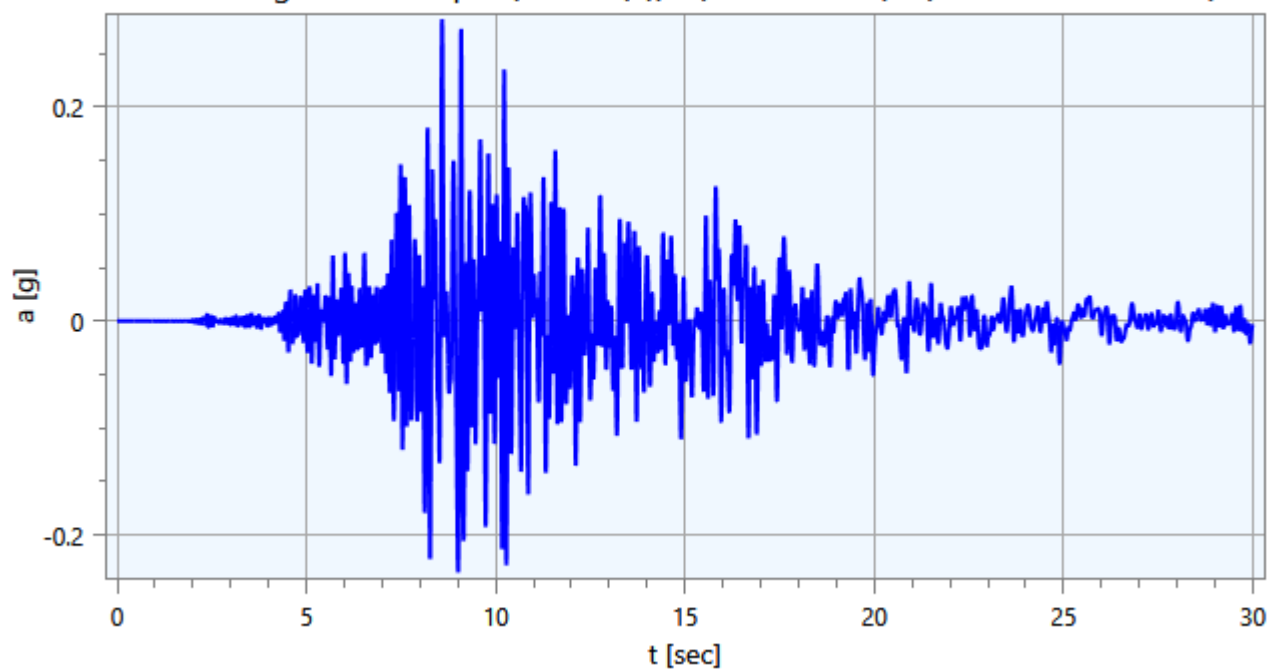
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 15DirezioneX)



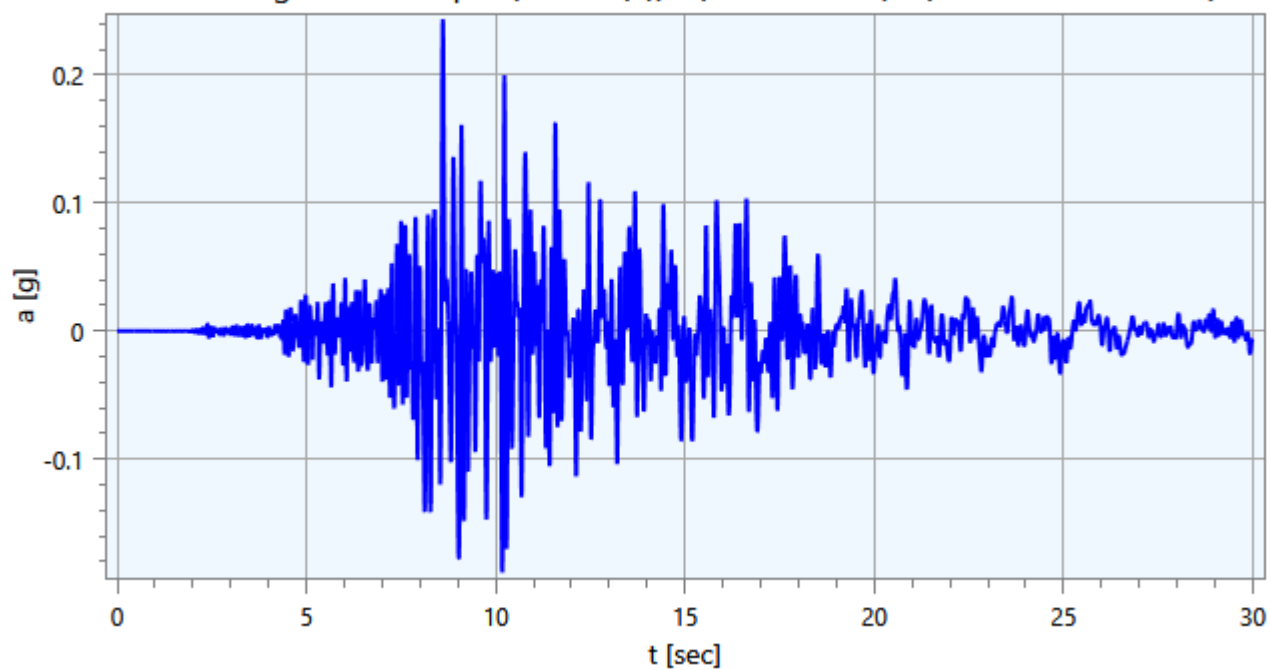
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 4DirezioneX)

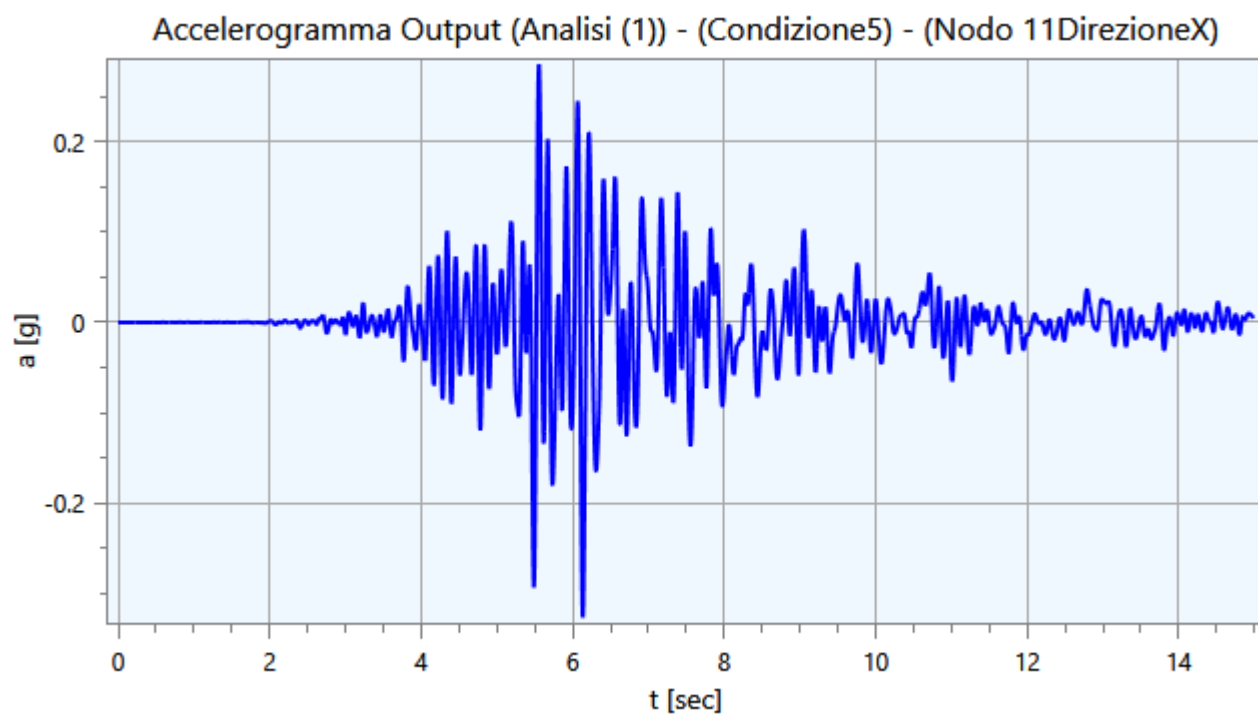
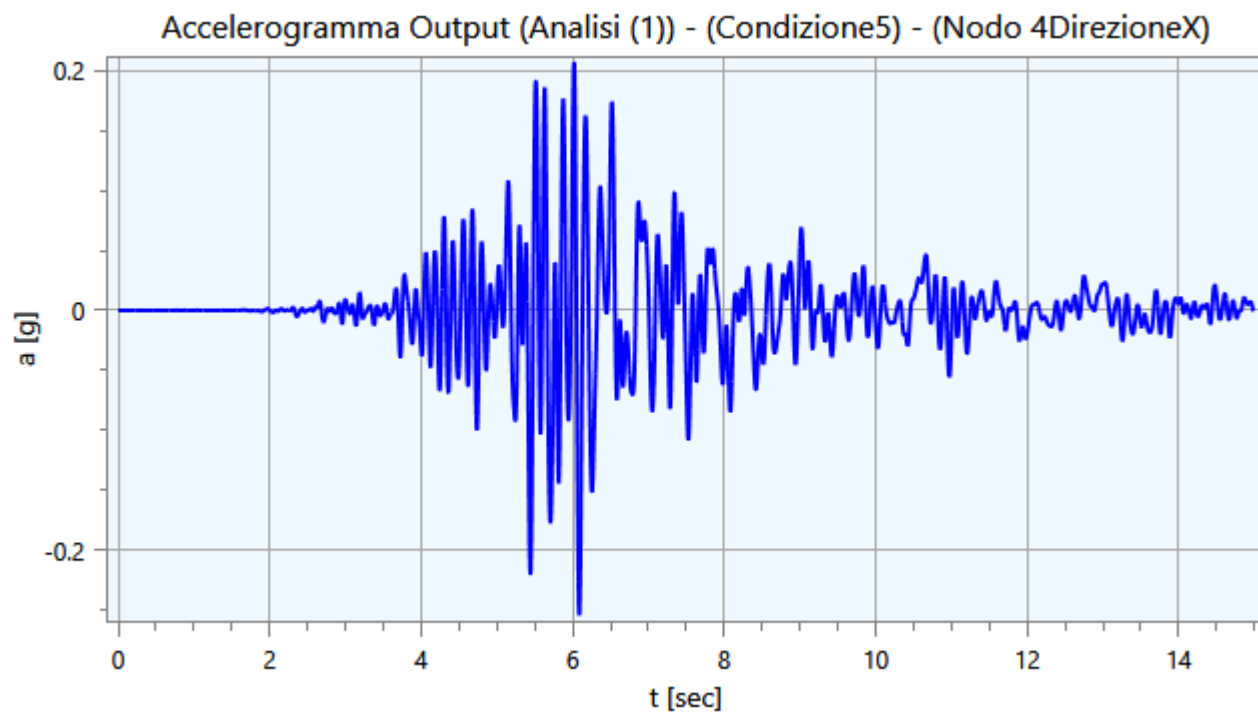


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 11DirezioneX)

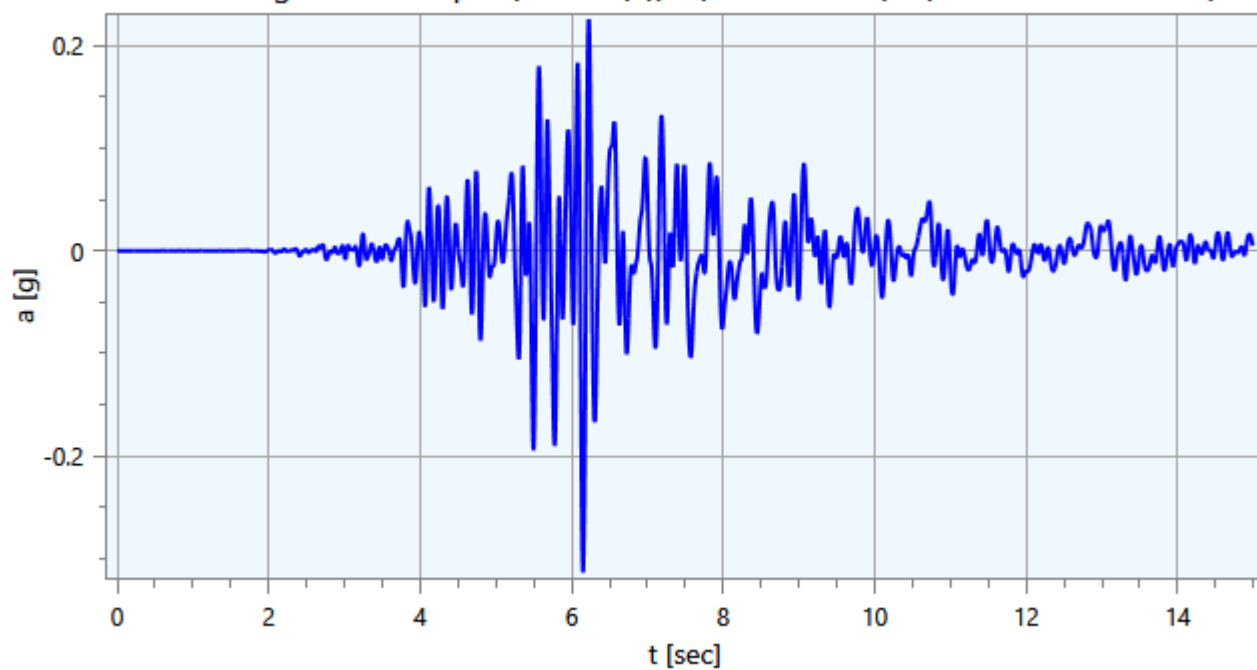


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 15DirezioneX)

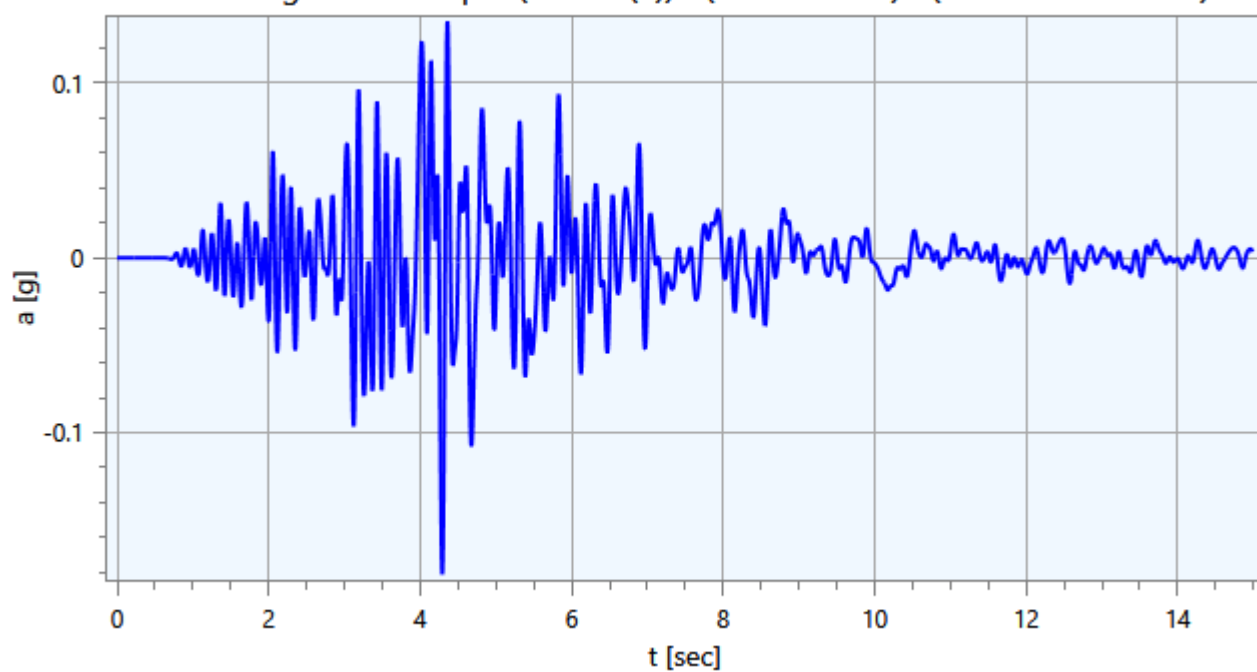




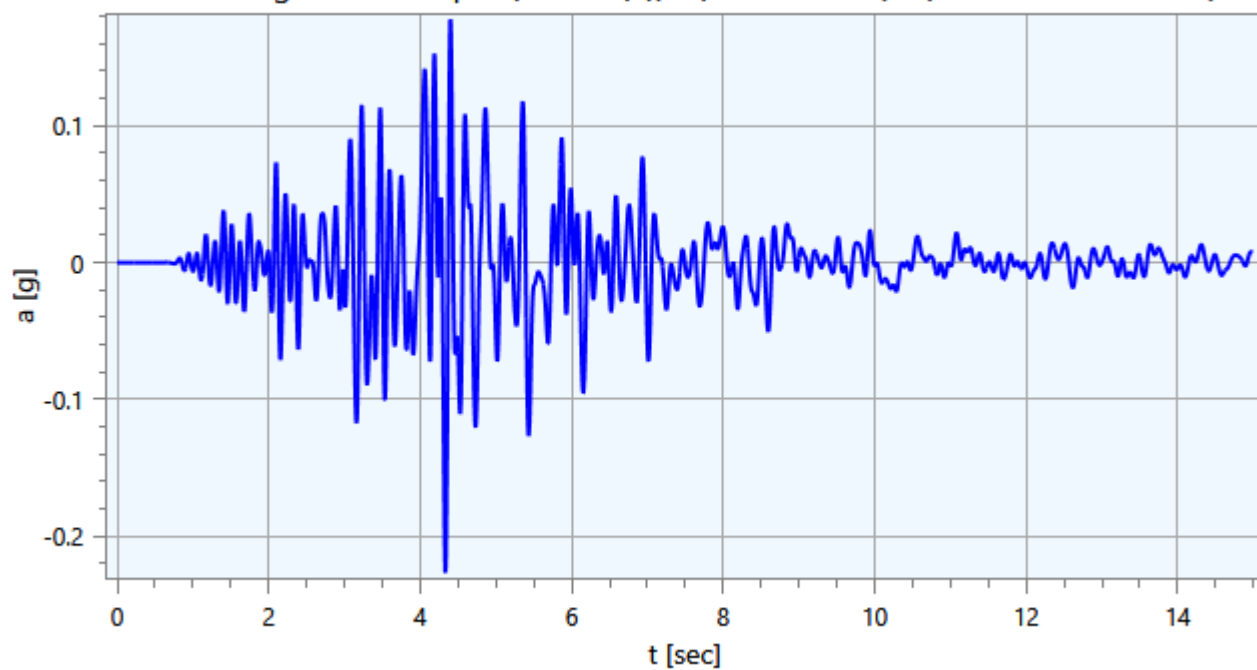
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 15DirezioneX)



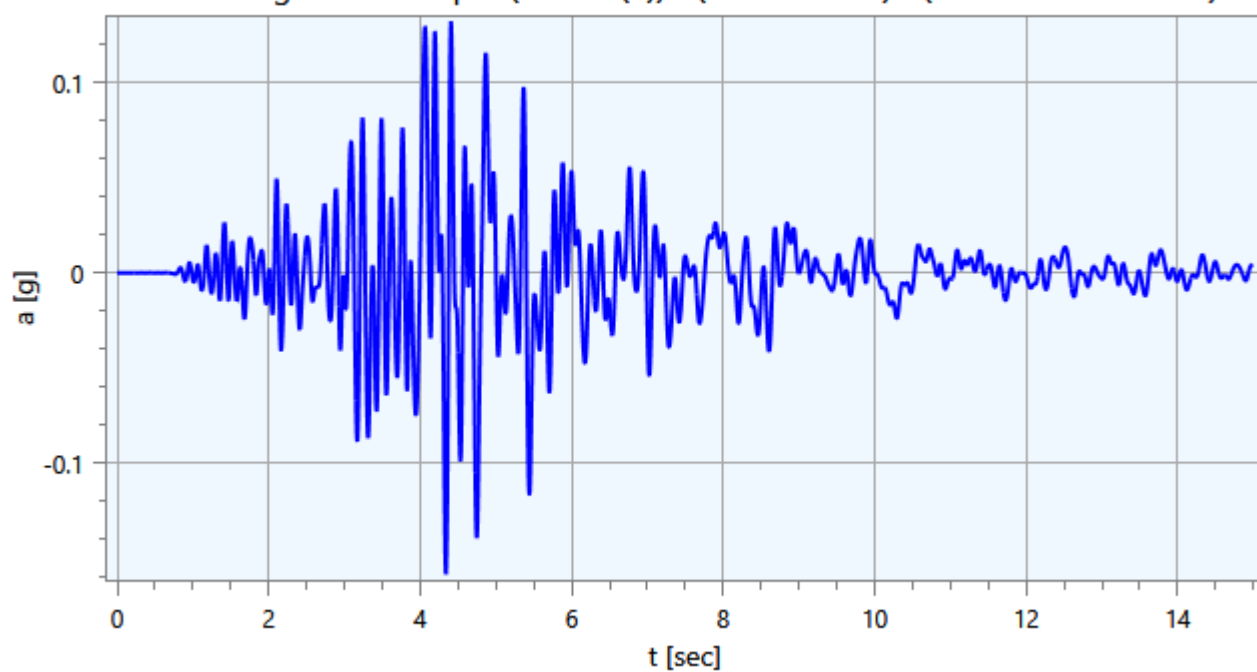
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 4DirezioneX)



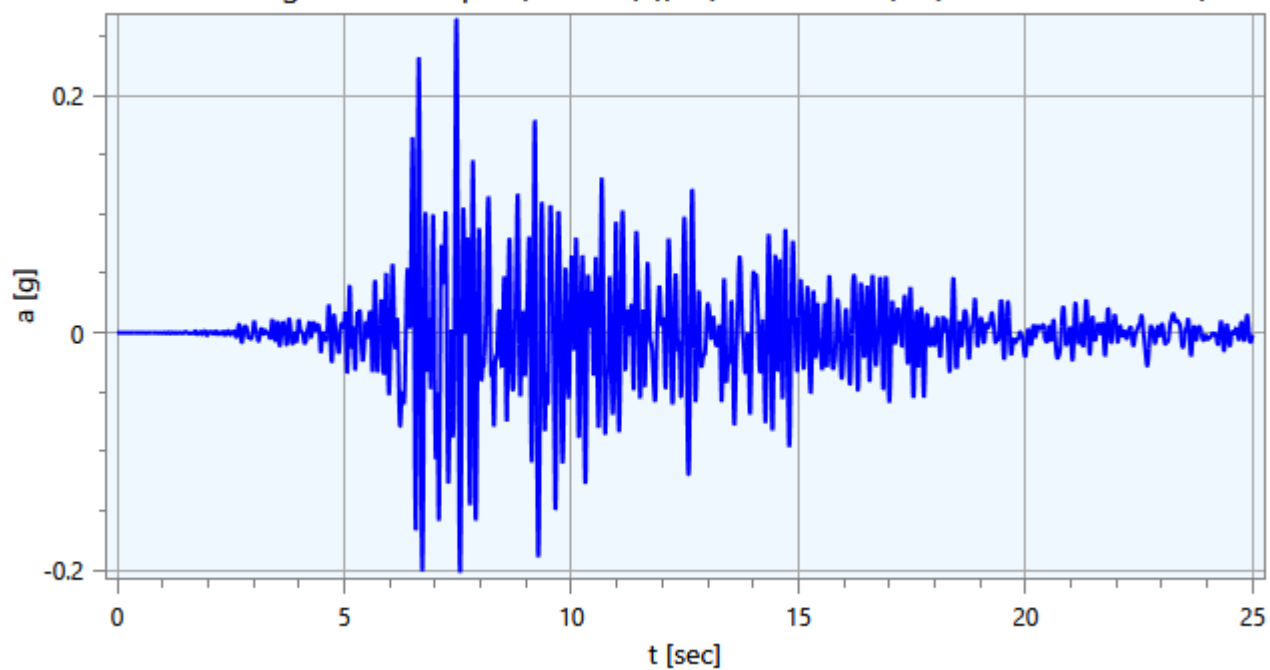
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 11DirezioneX)



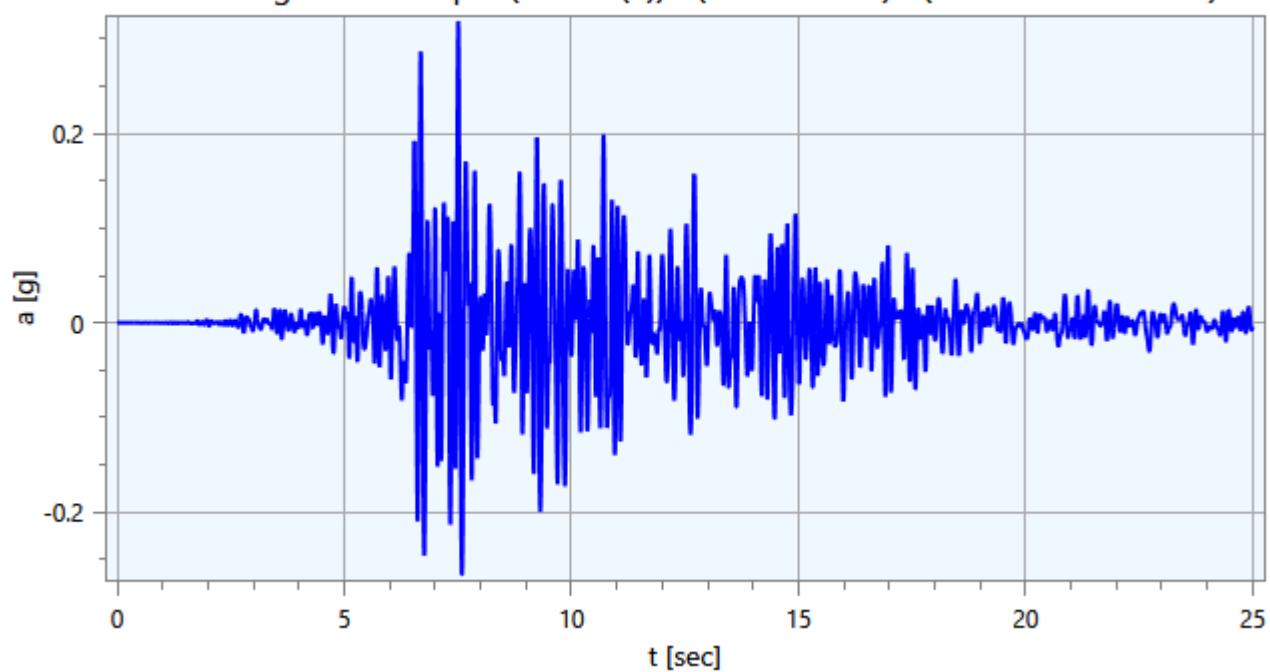
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 15DirezioneX)

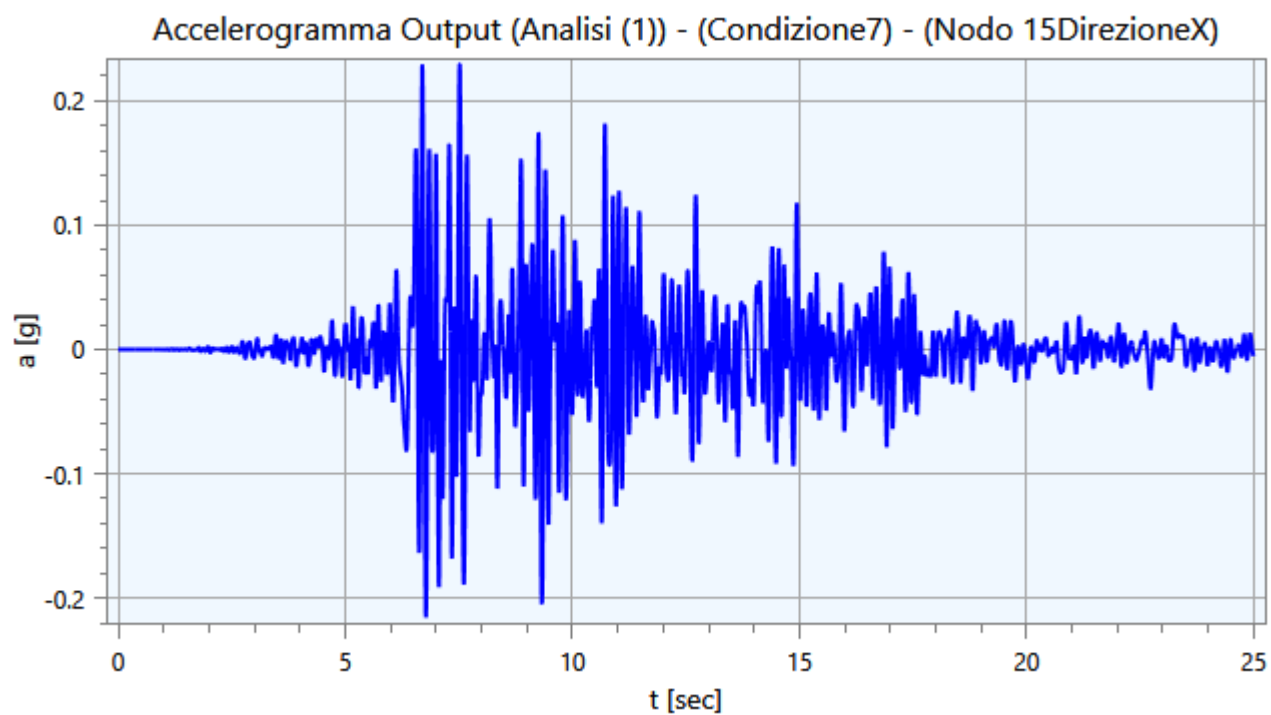


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 4DirezioneX)

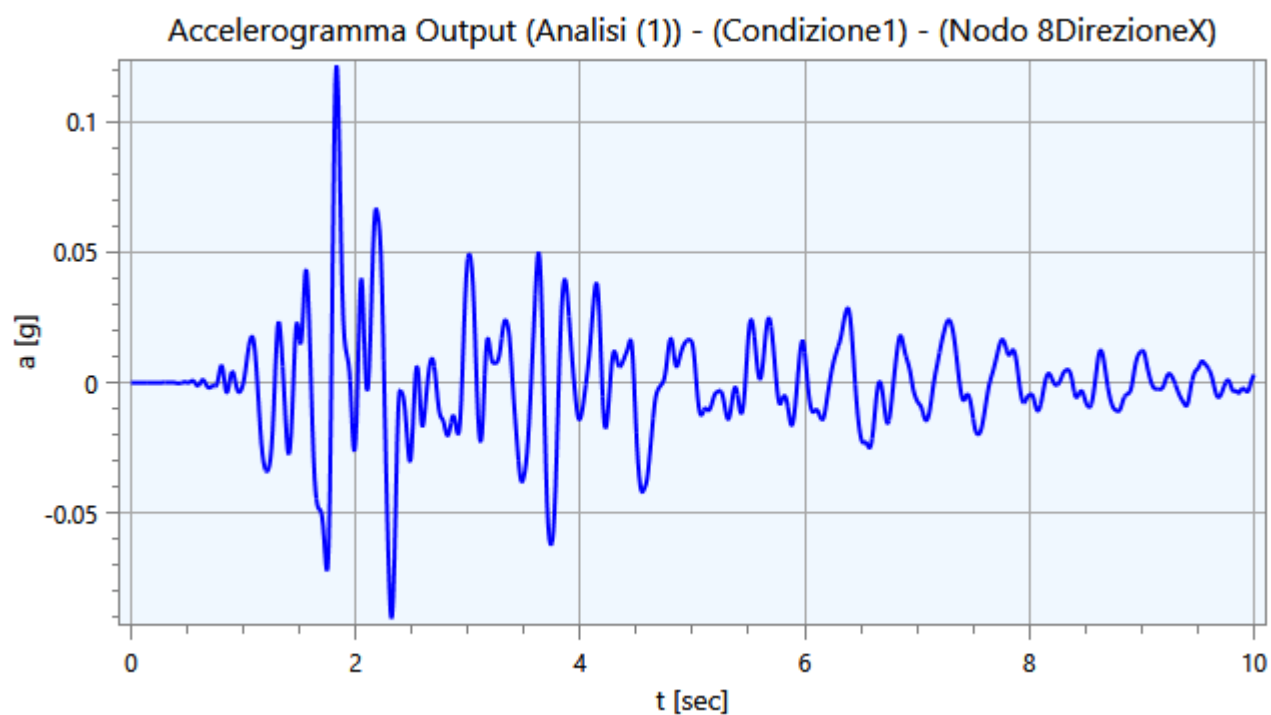


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 11DirezioneX)

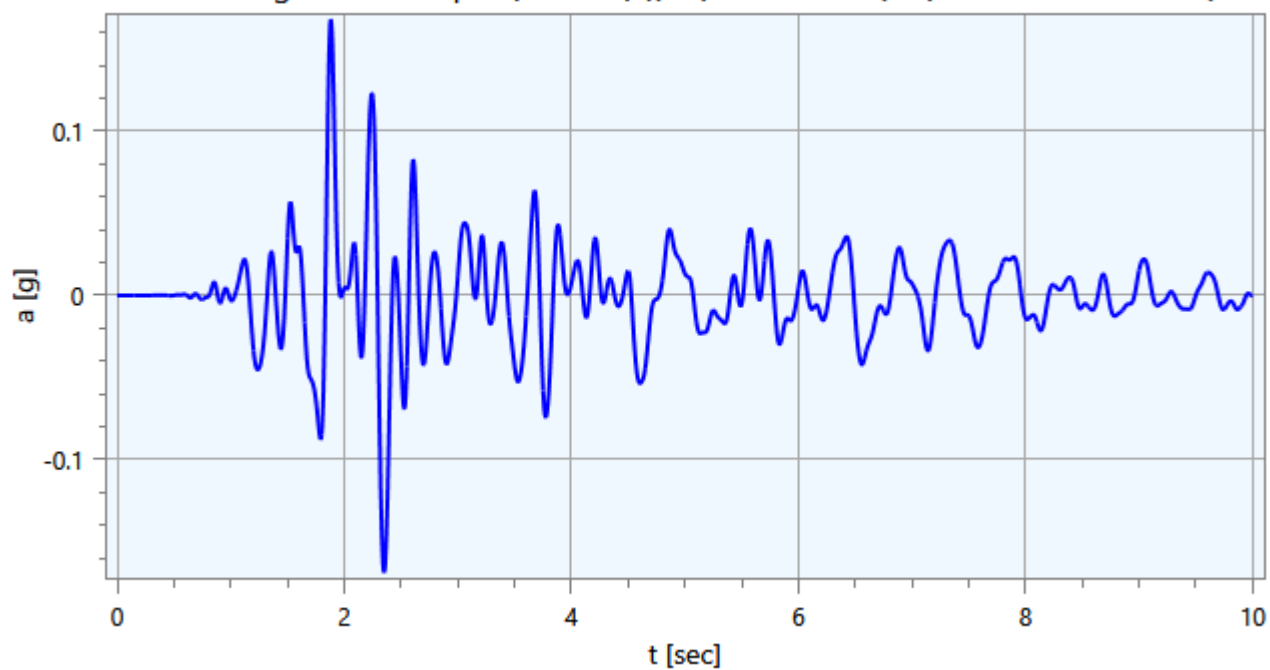




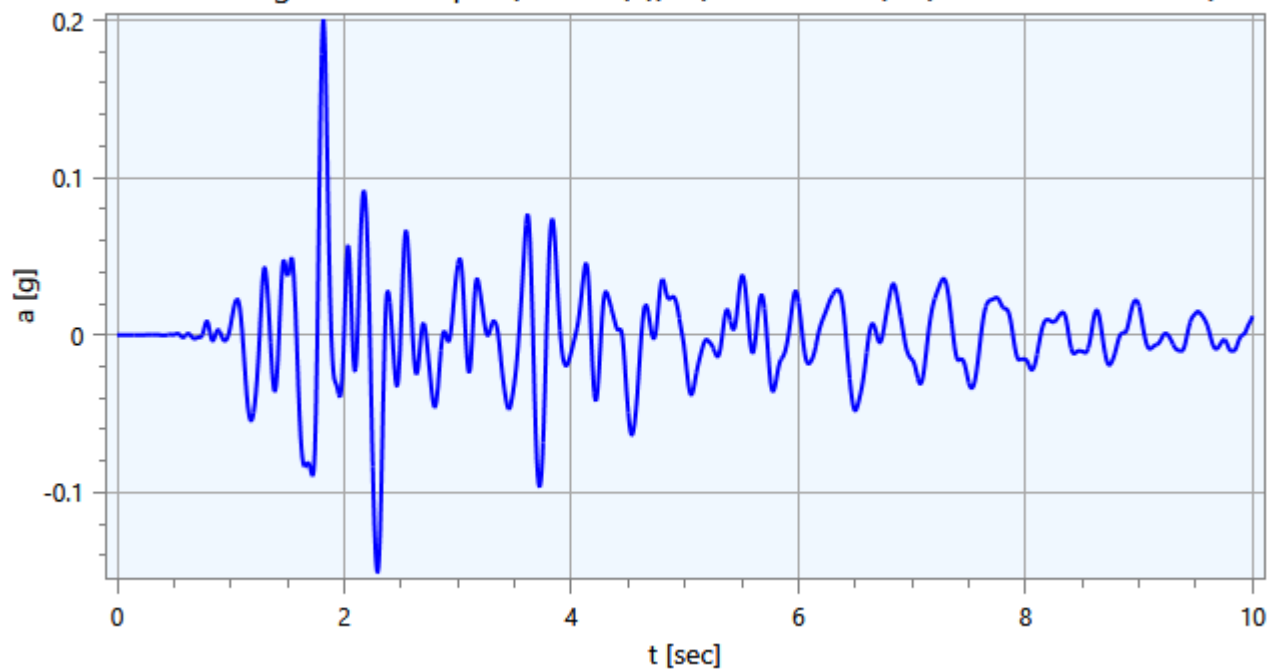
Sezione 166



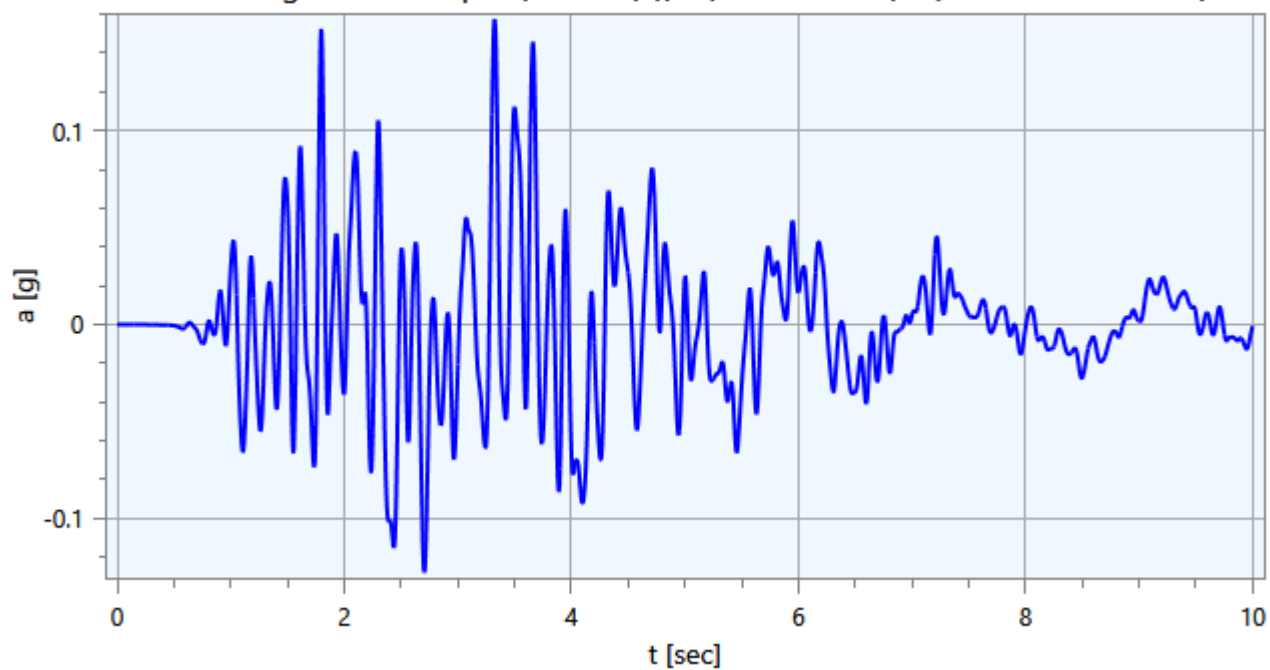
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 28DirezioneX)



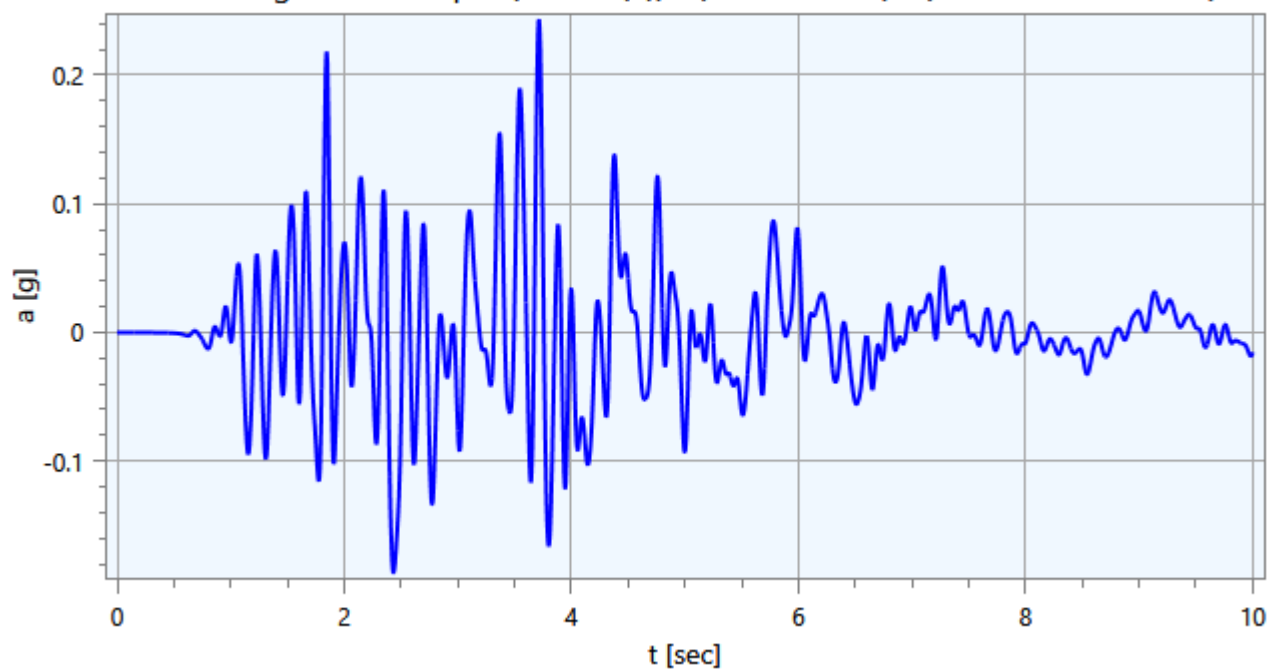
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 31DirezioneX)



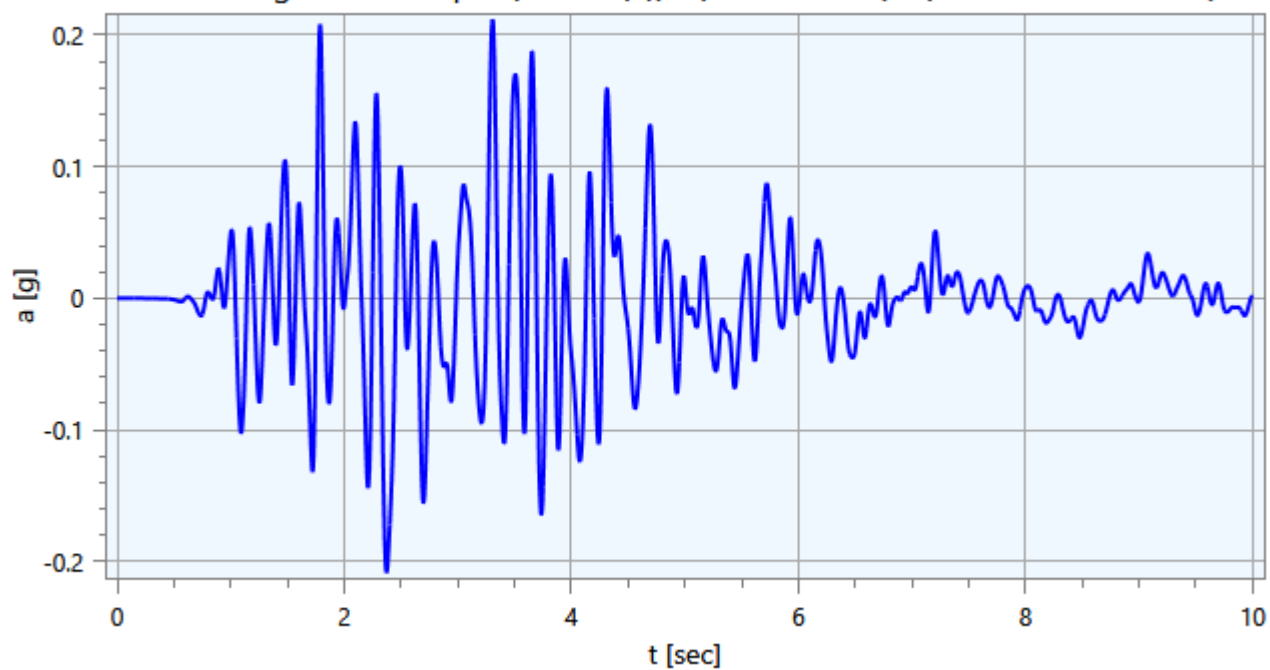
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 8DirezioneX)



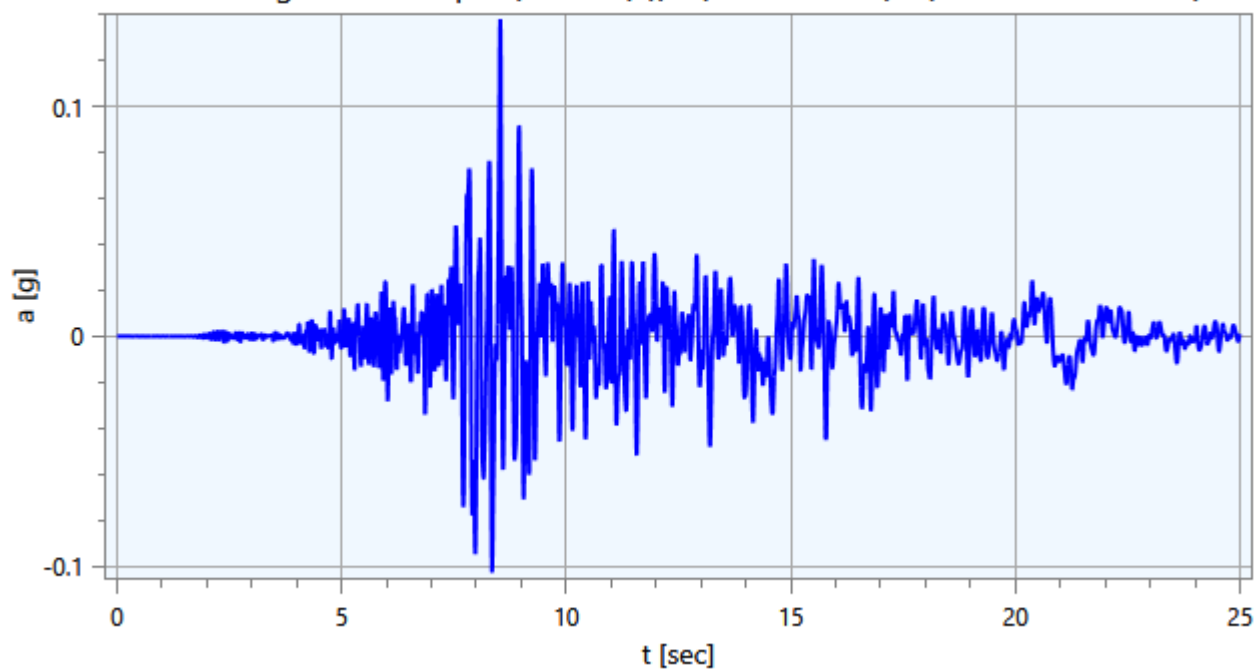
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 28DirezioneX)

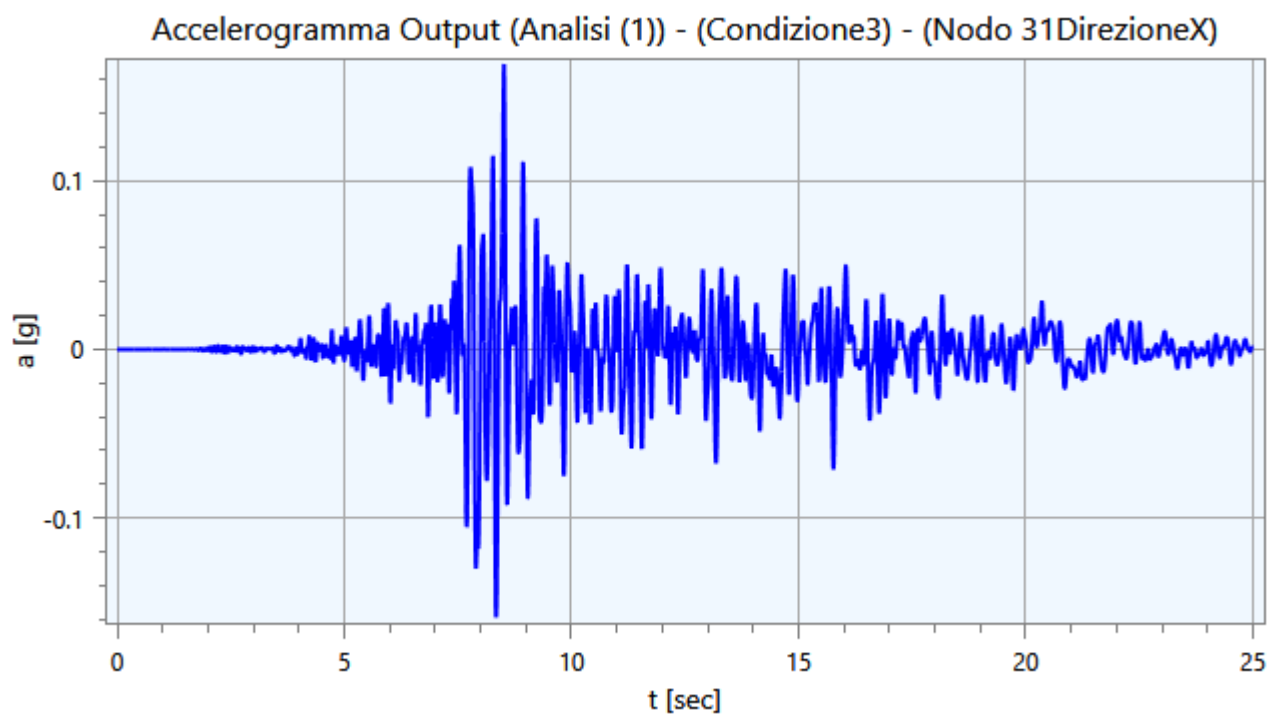
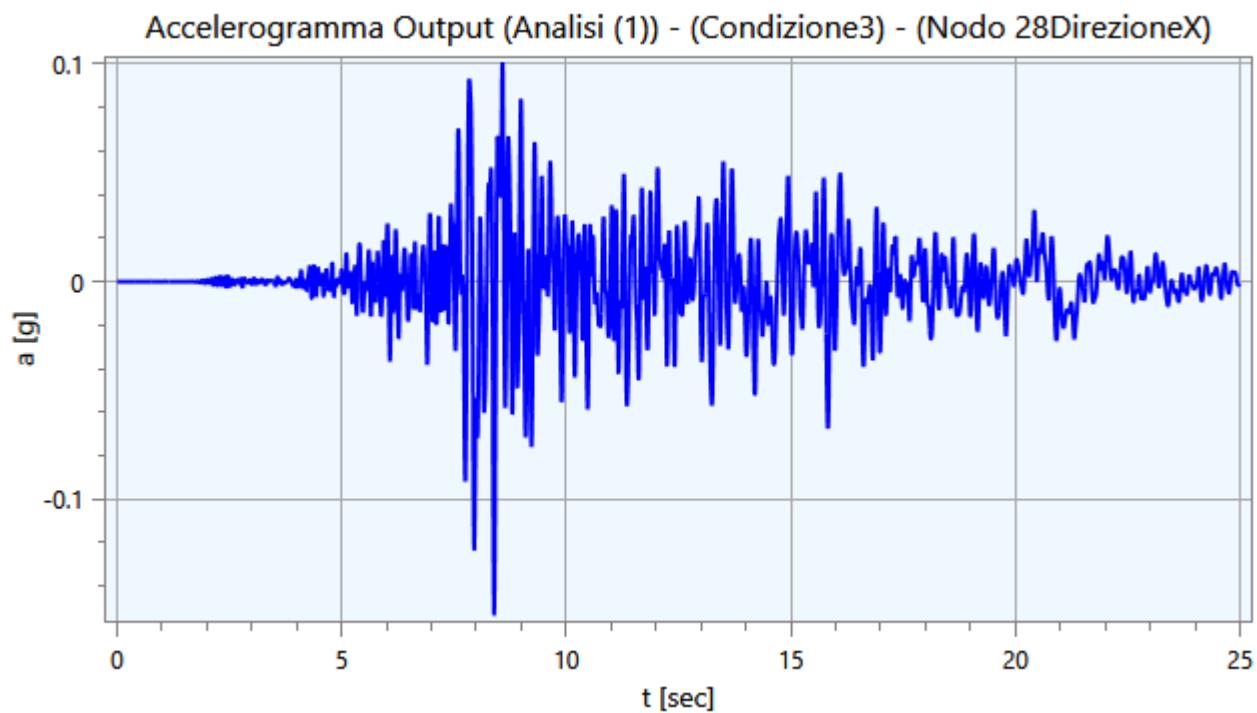


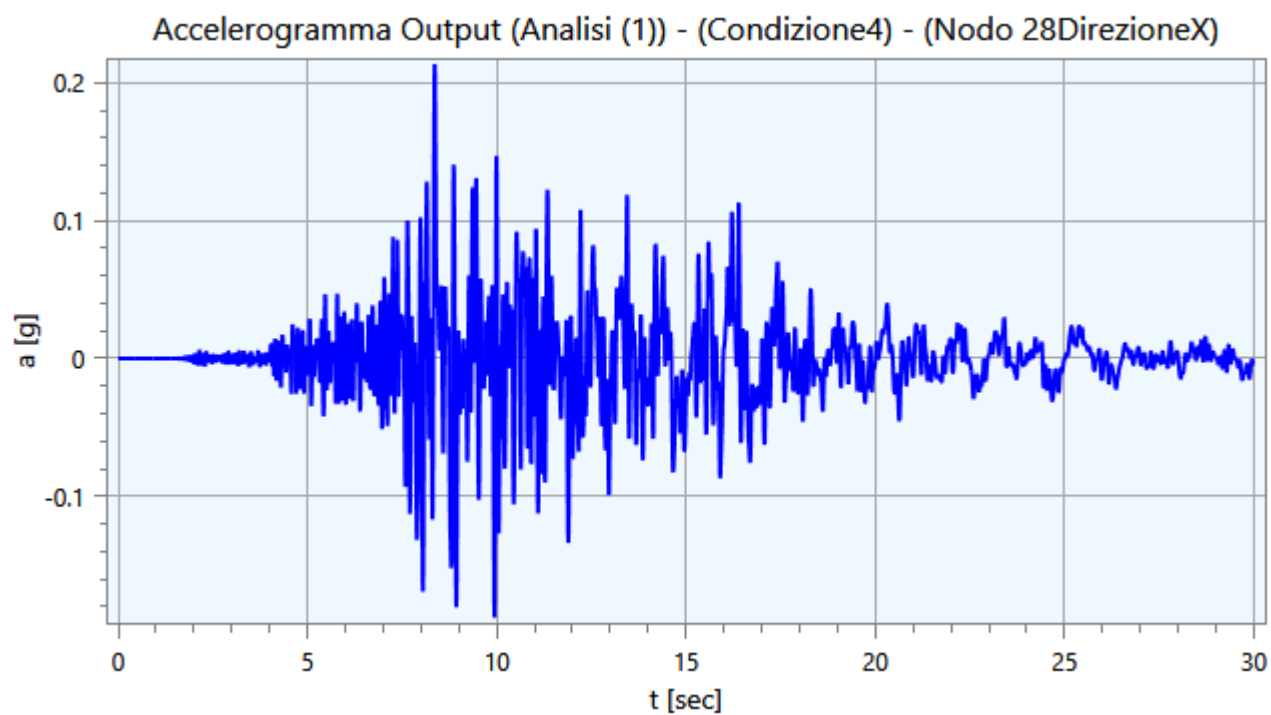
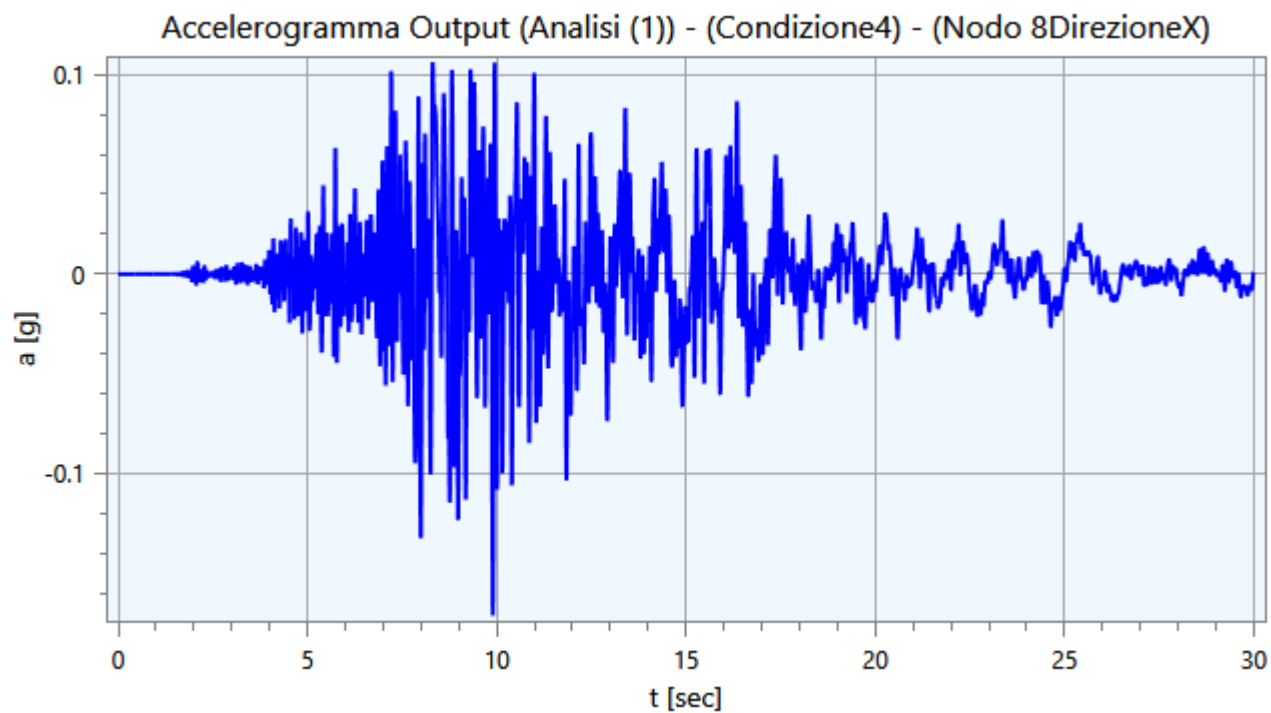
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 31DirezioneX)



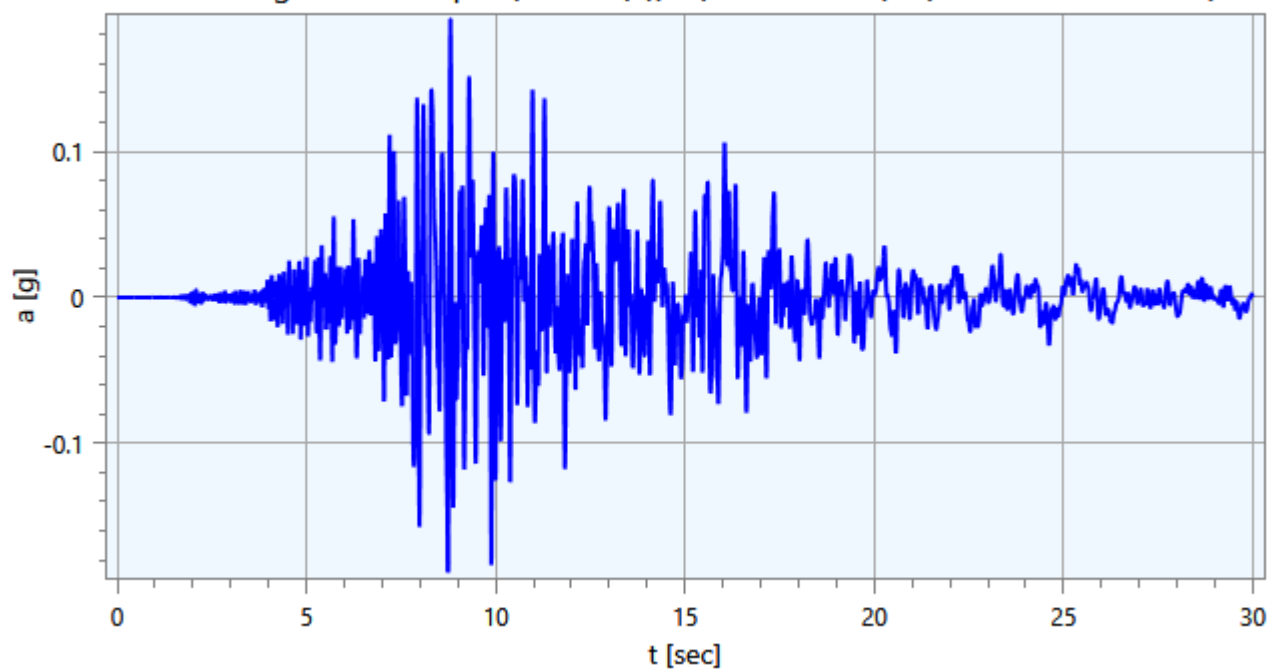
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 8DirezioneX)



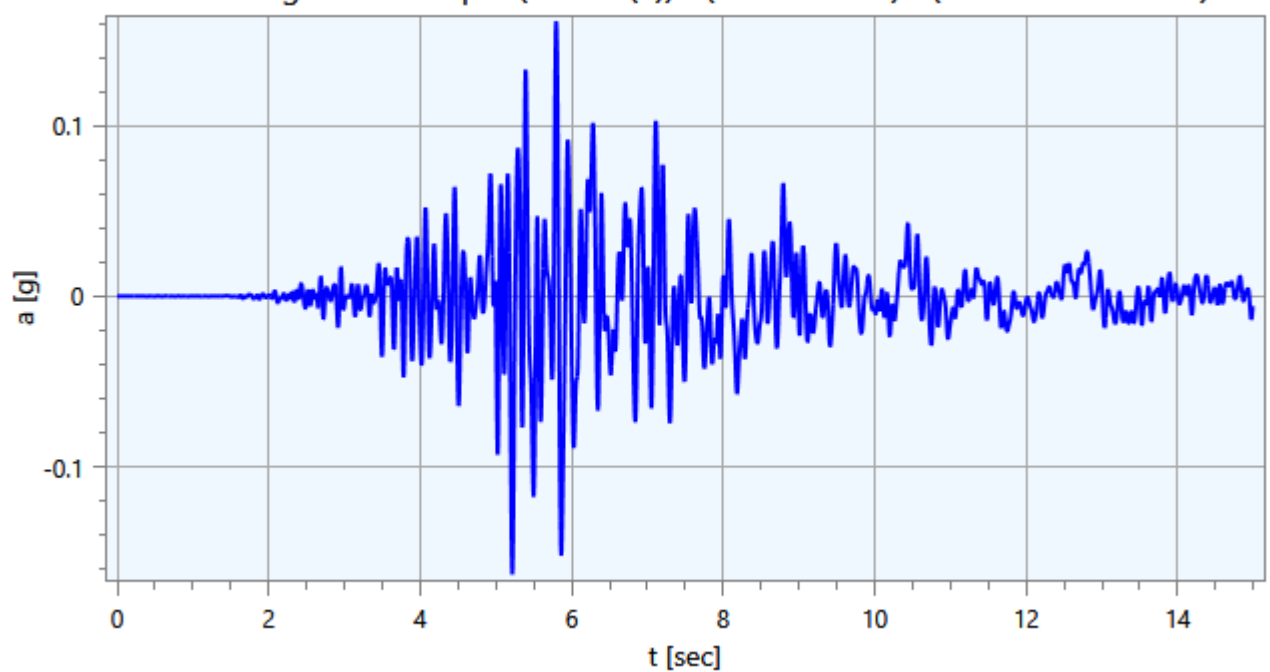




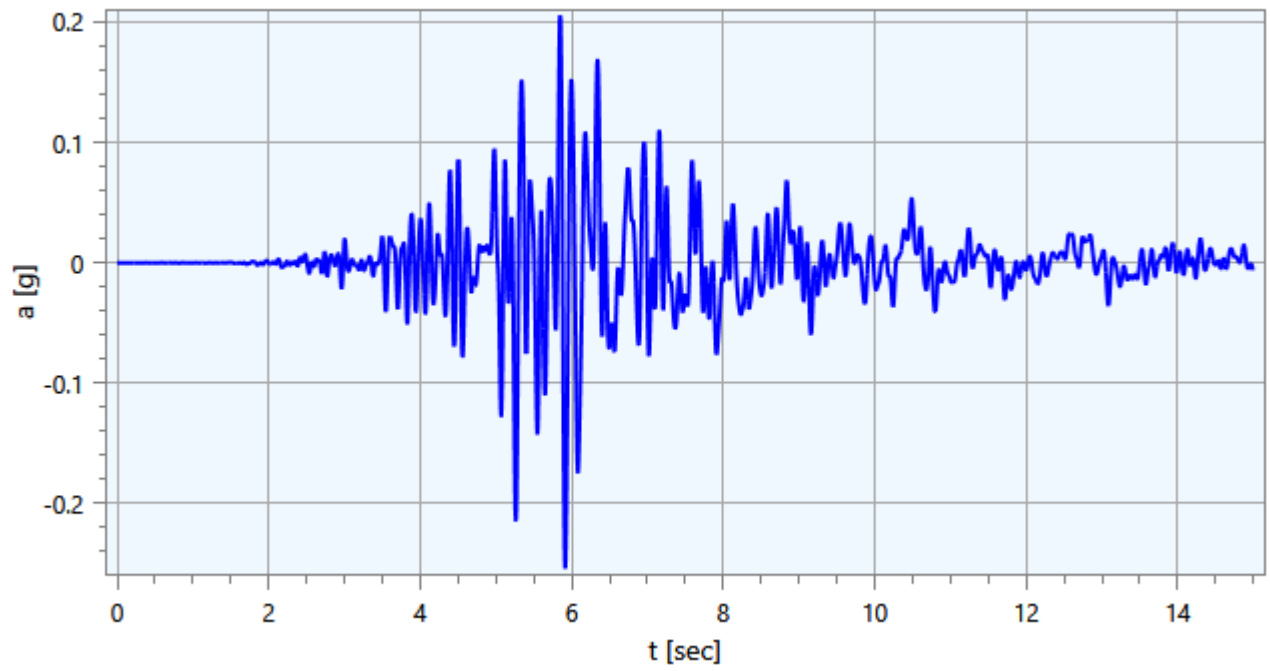
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 31DirezioneX)



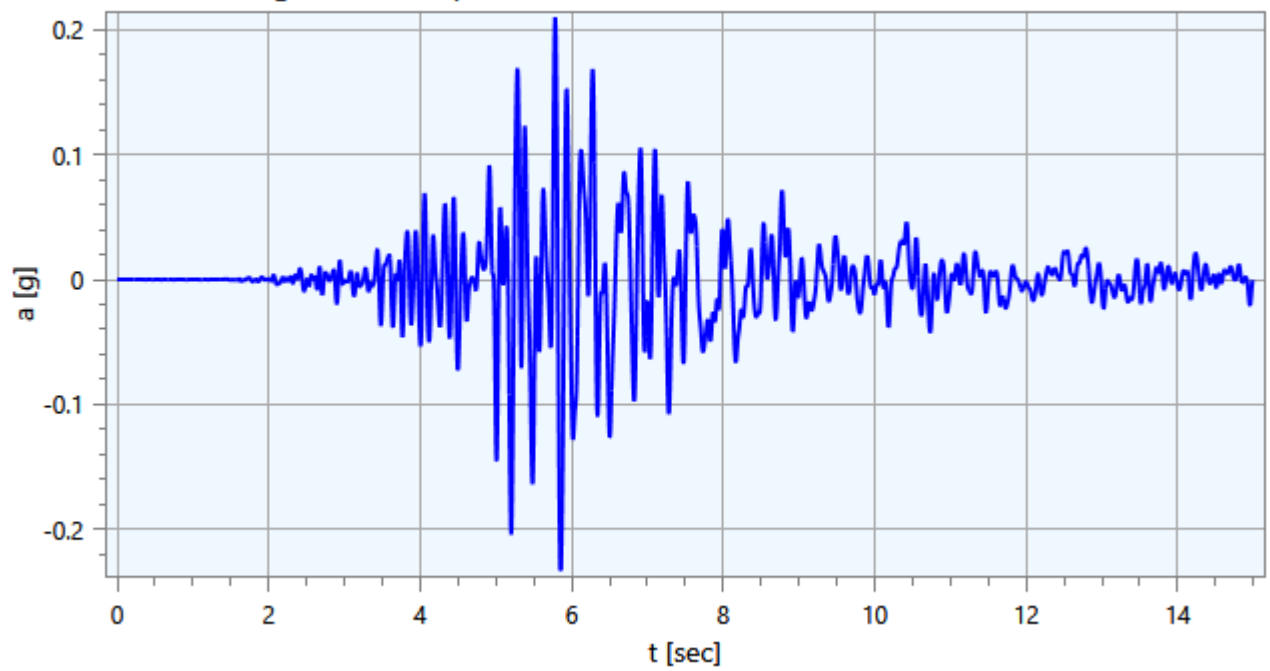
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 8DirezioneX)

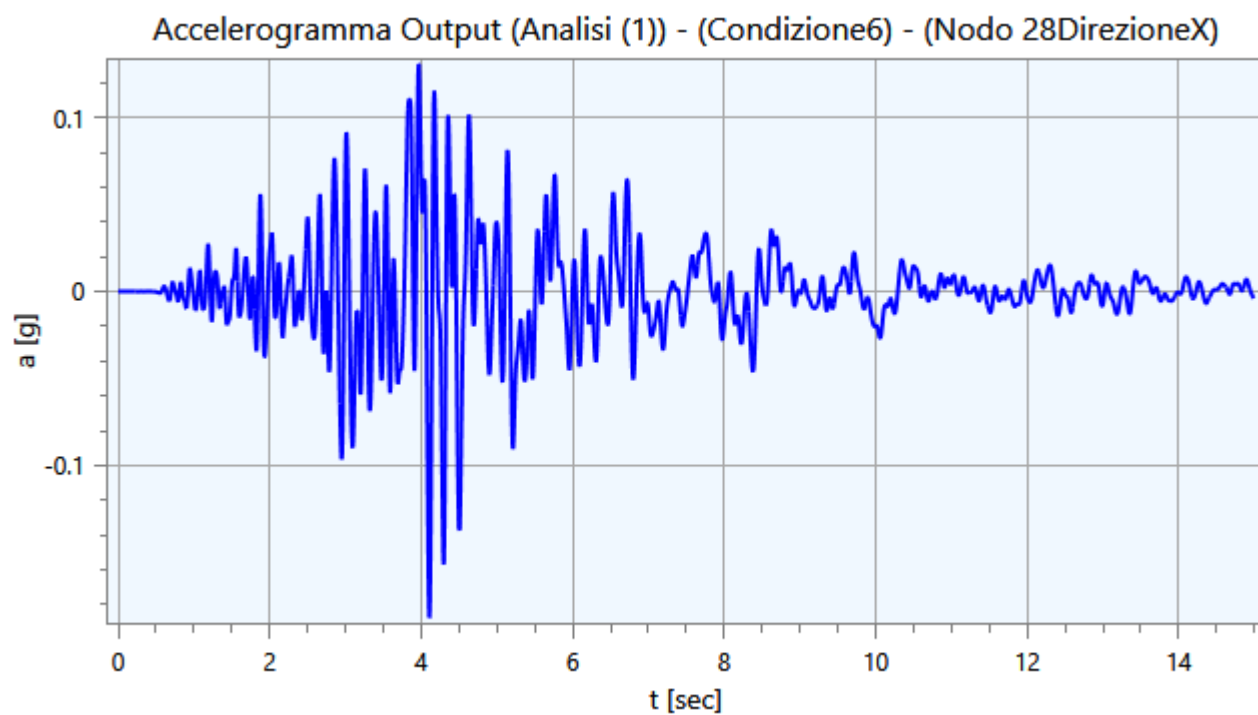
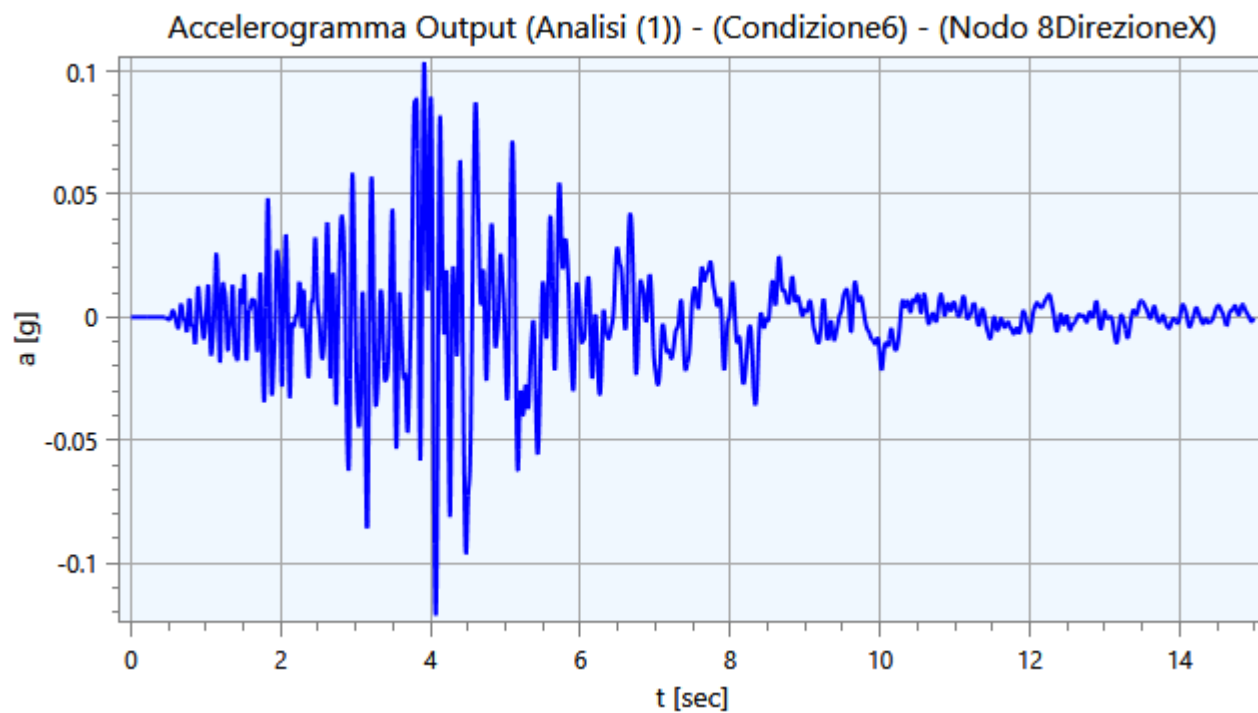


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 28DirezioneX)

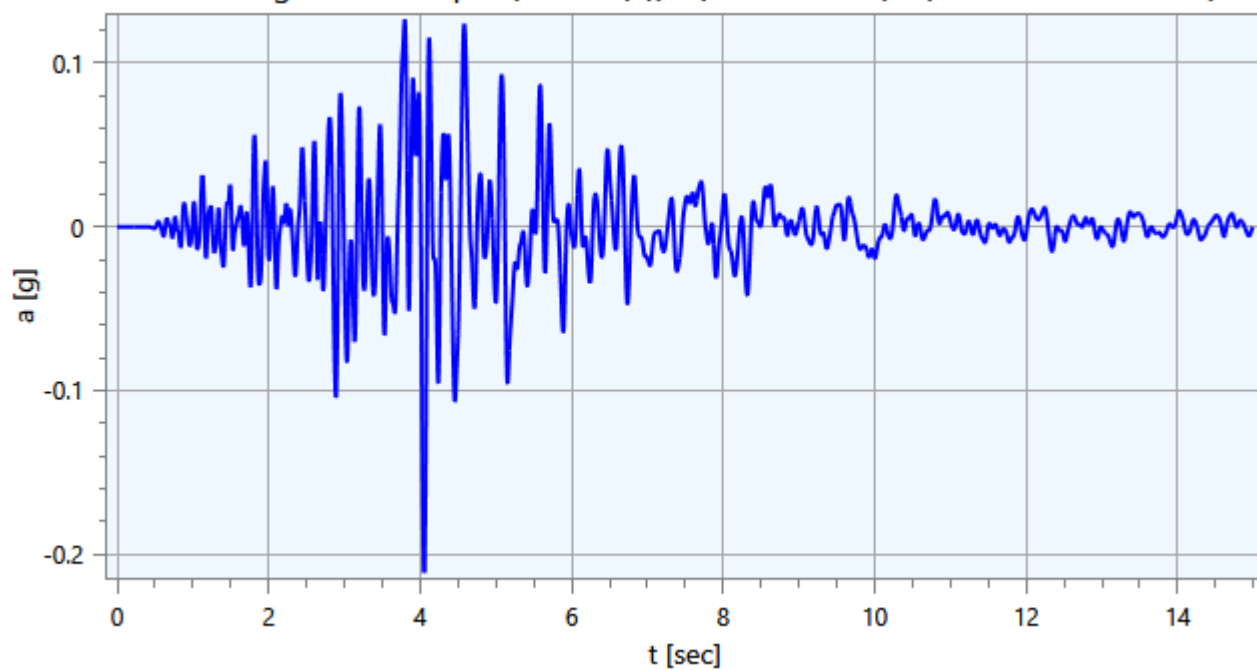


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 31DirezioneX)

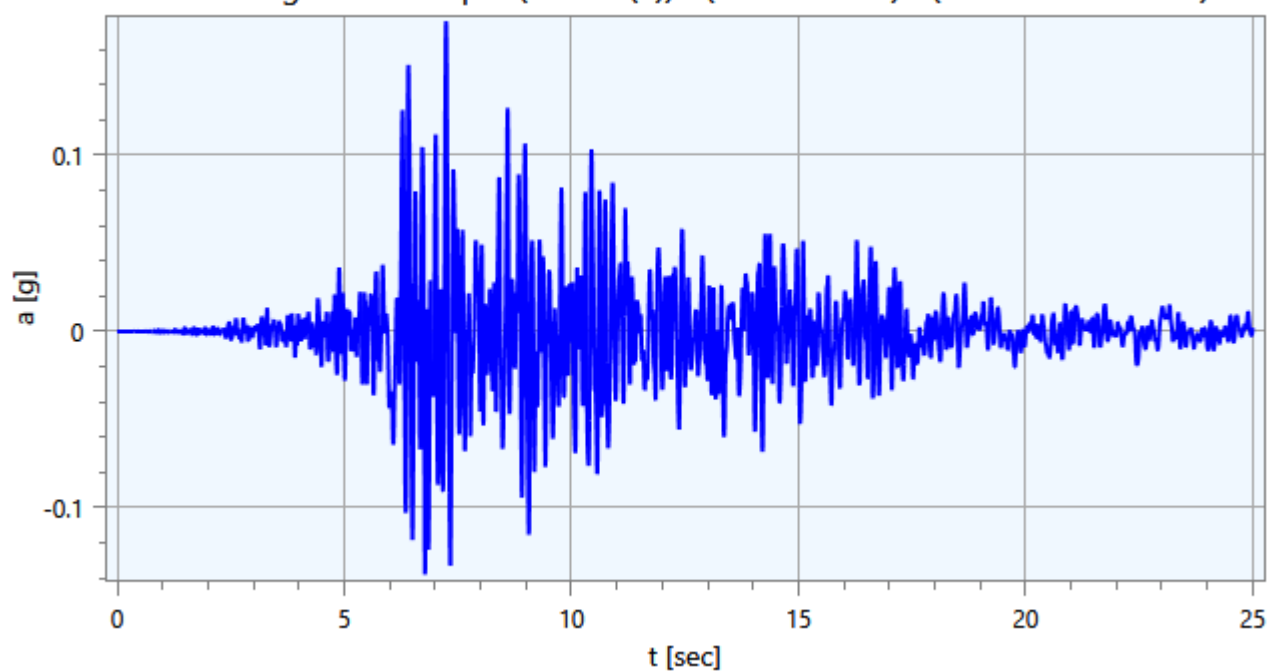




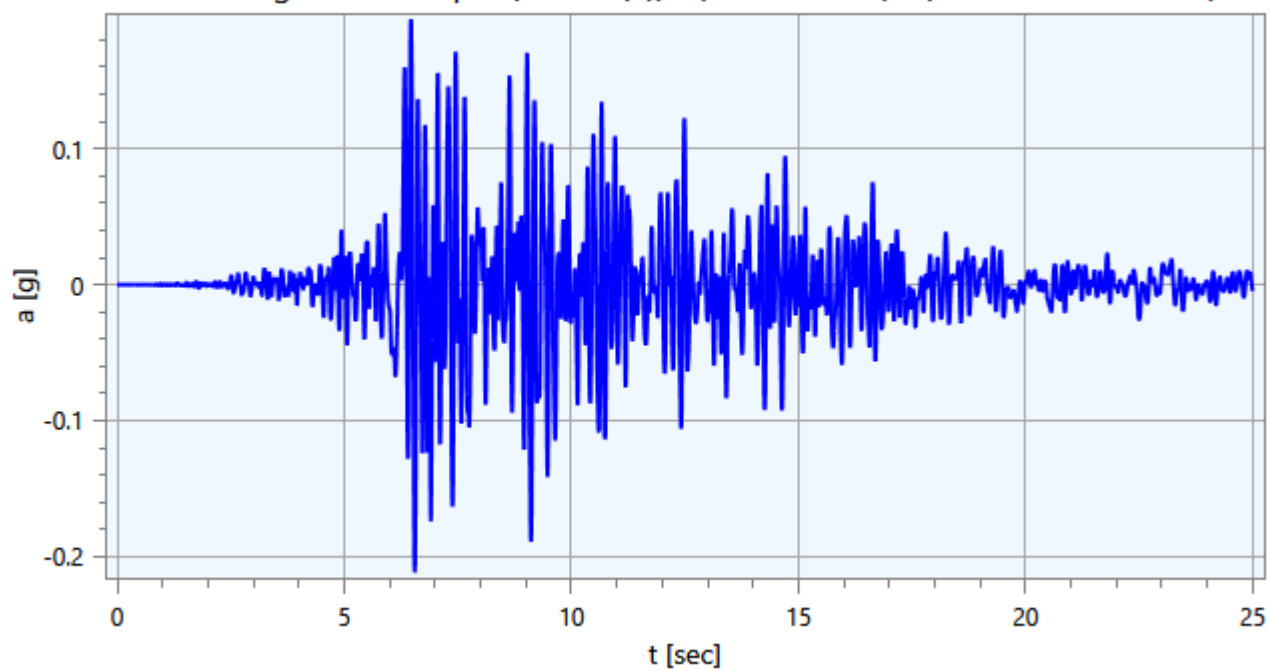
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 31DirezioneX)



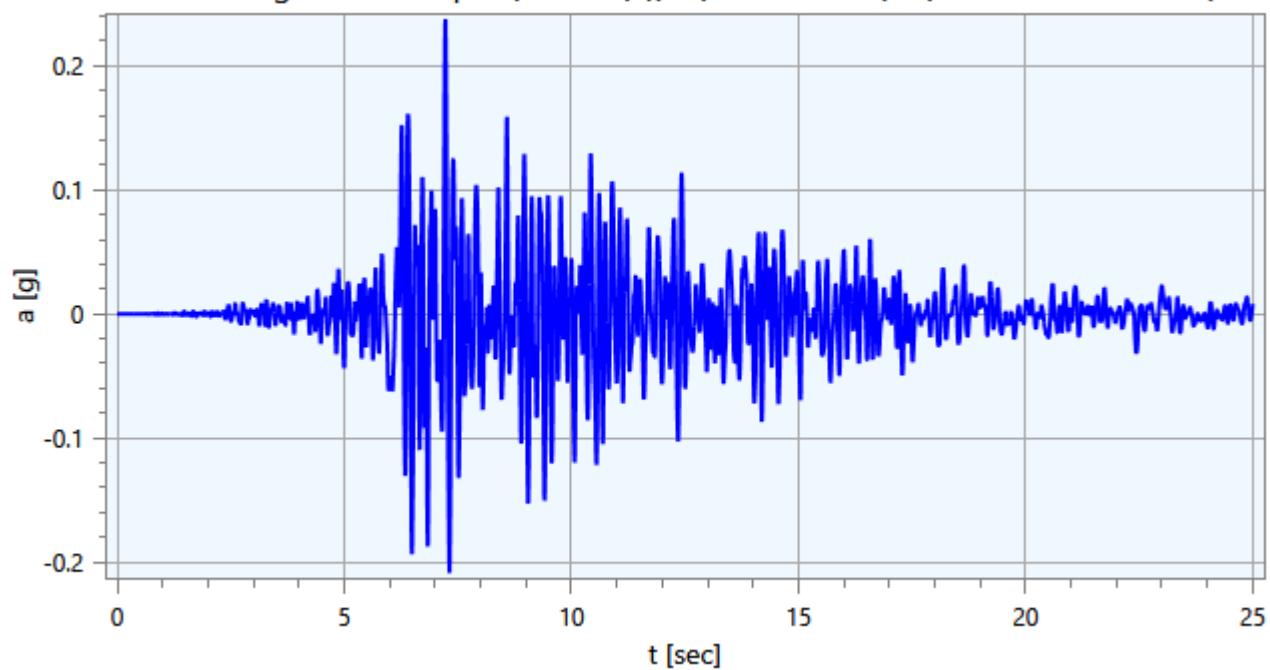
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 8DirezioneX)



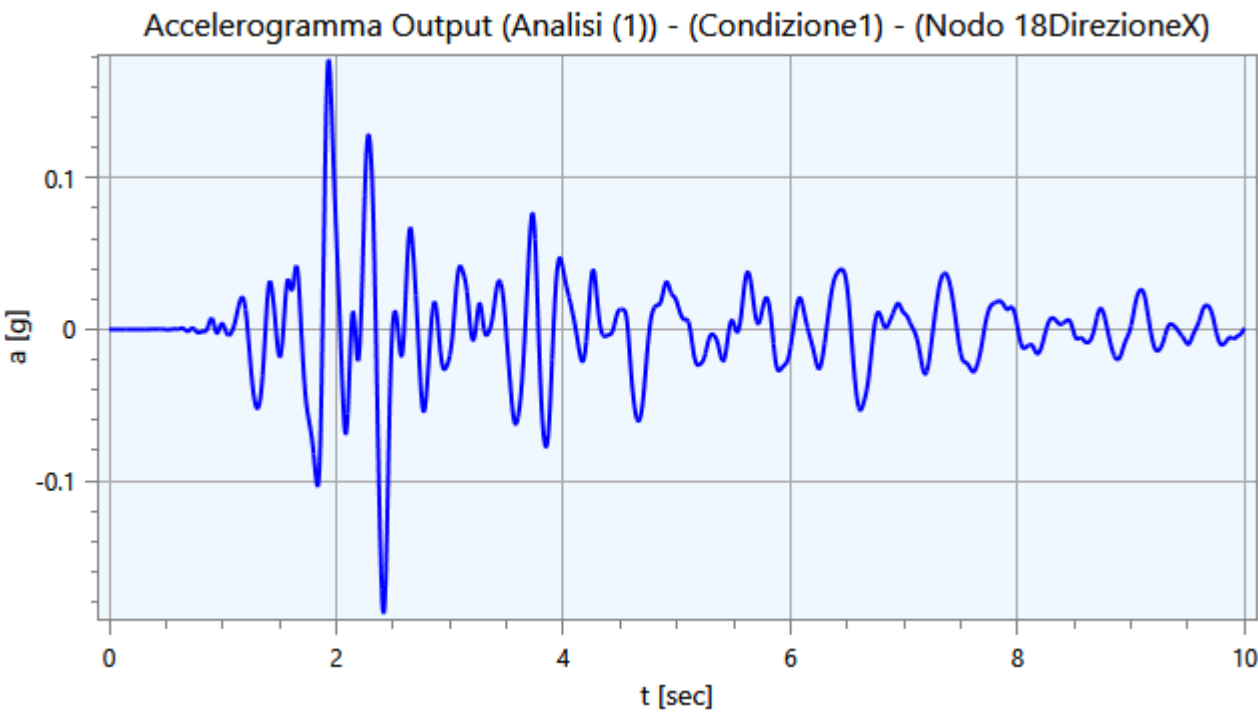
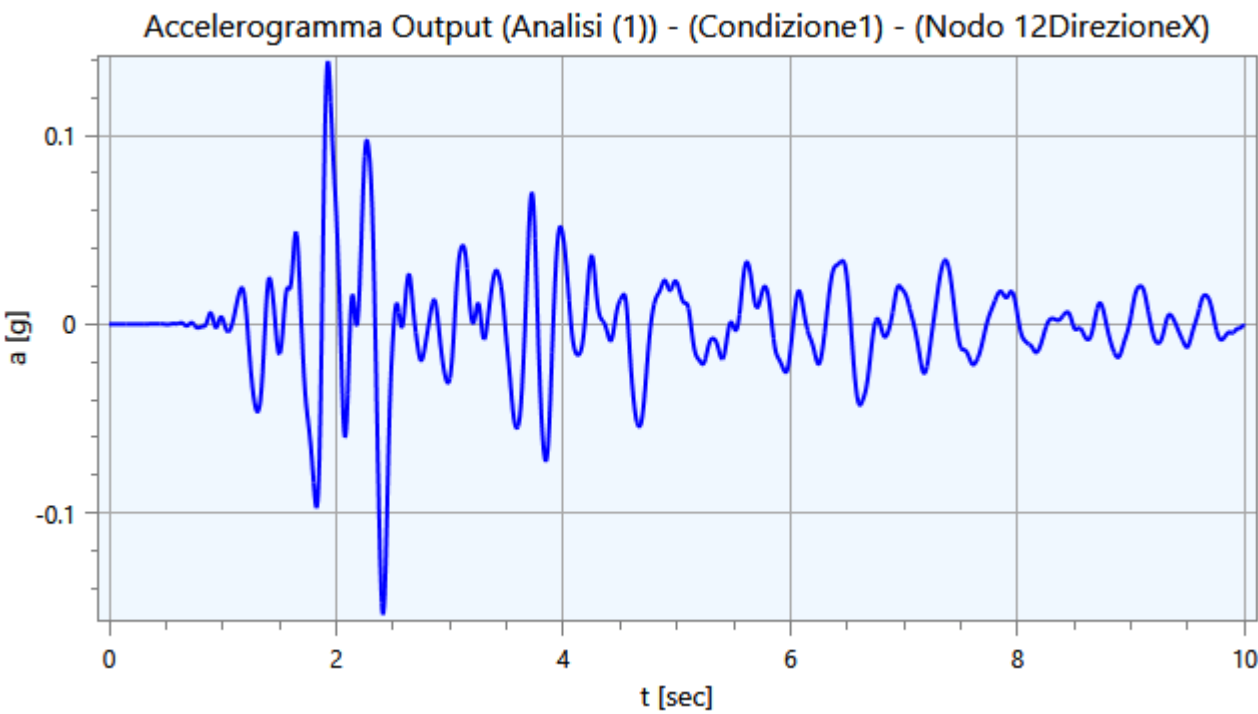
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 28DirezioneX)



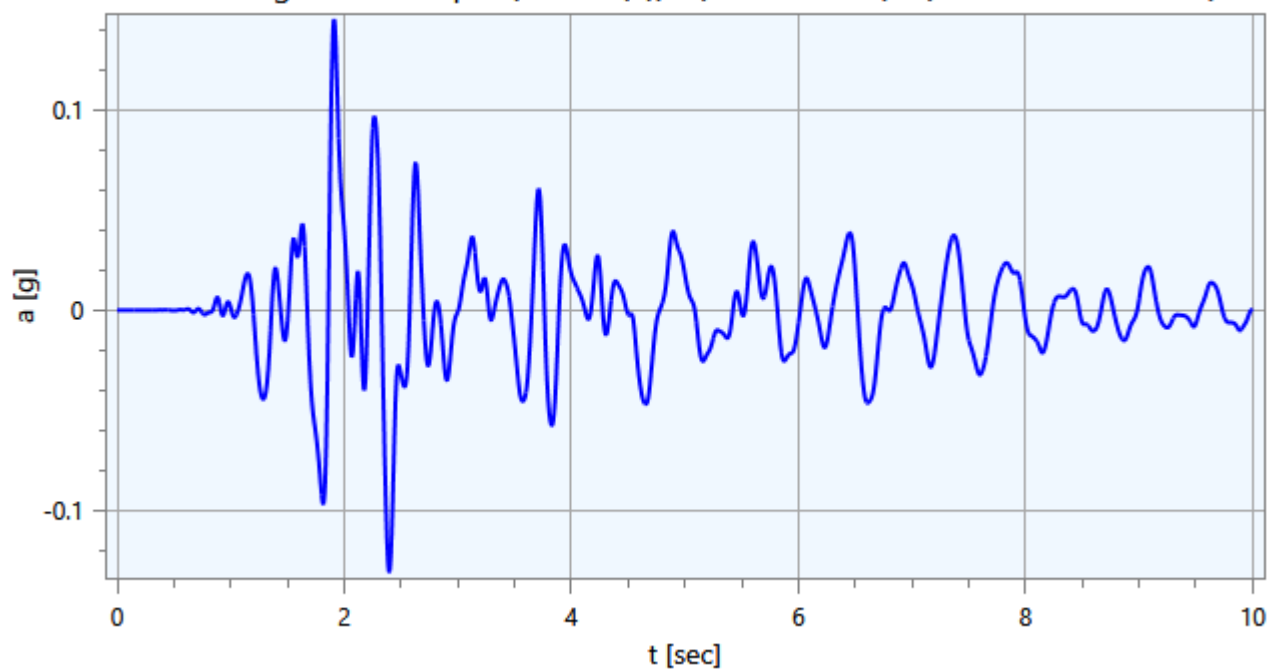
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 31DirezioneX)



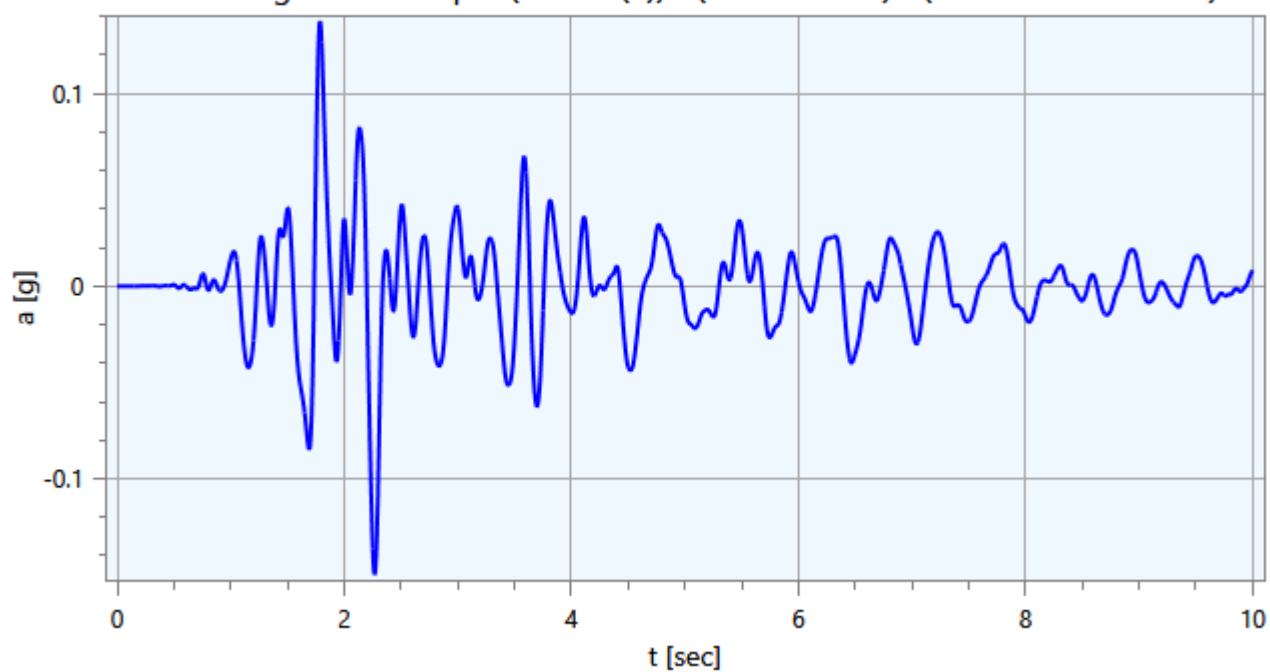
Sezione 187



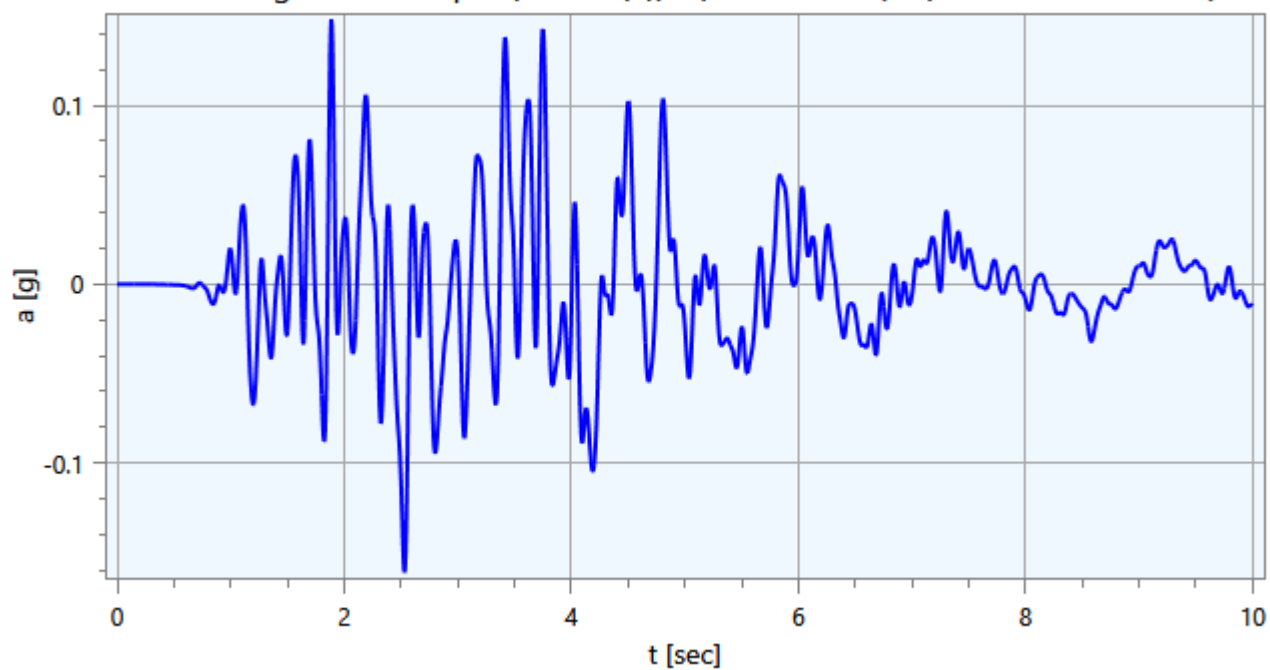
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 23DirezioneX)



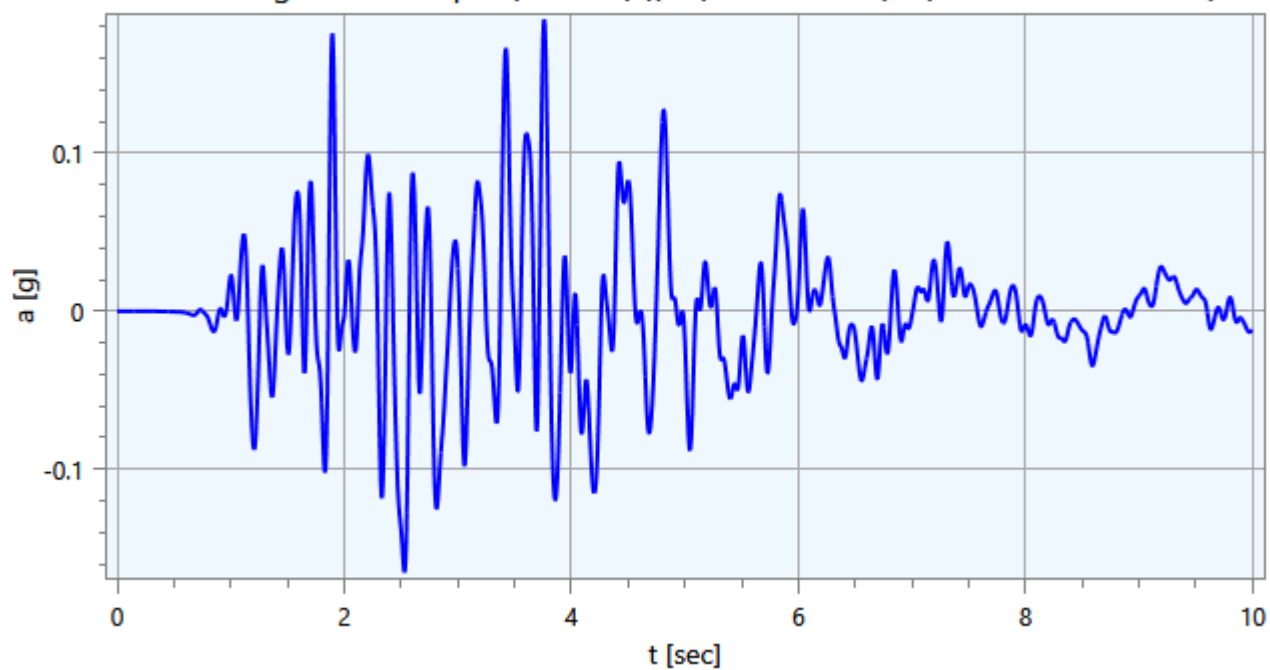
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 40DirezioneX)



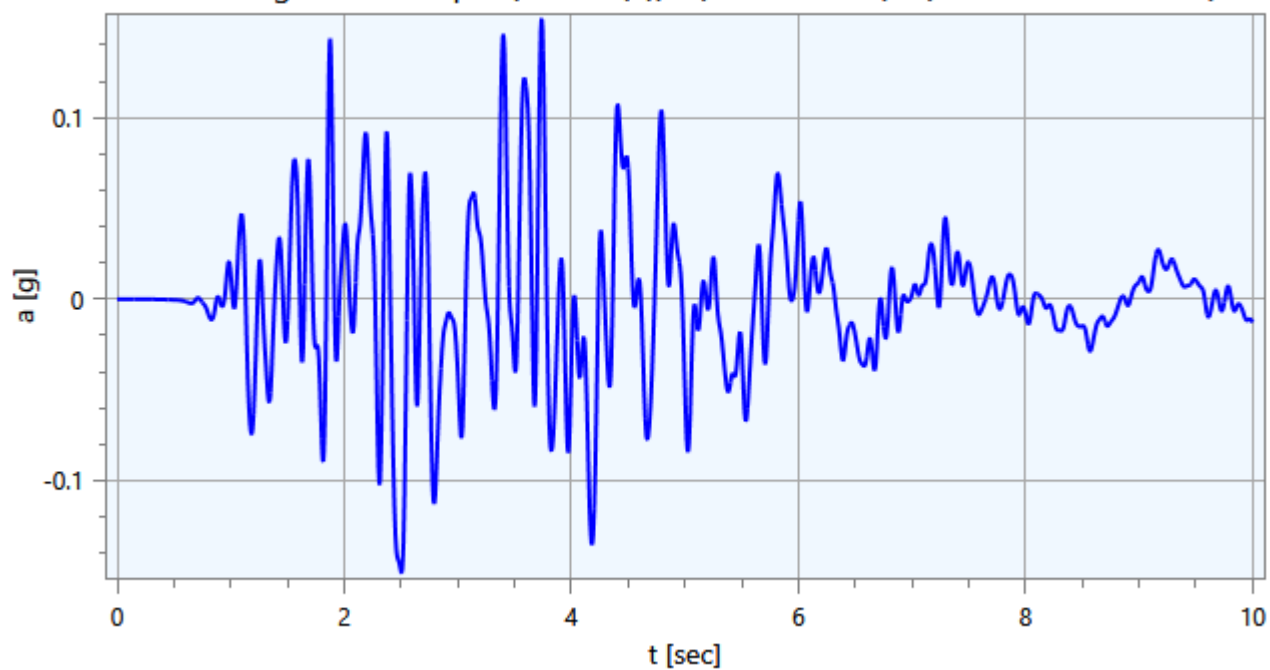
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 12DirezioneX)



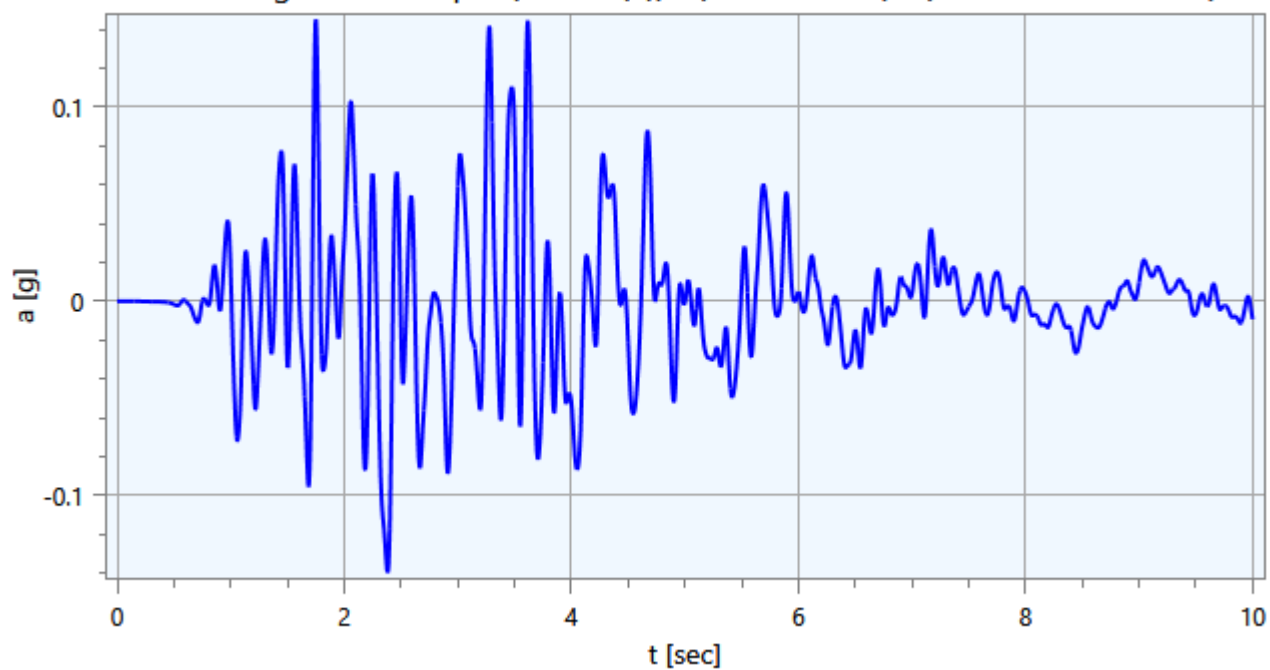
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 18DirezioneX)



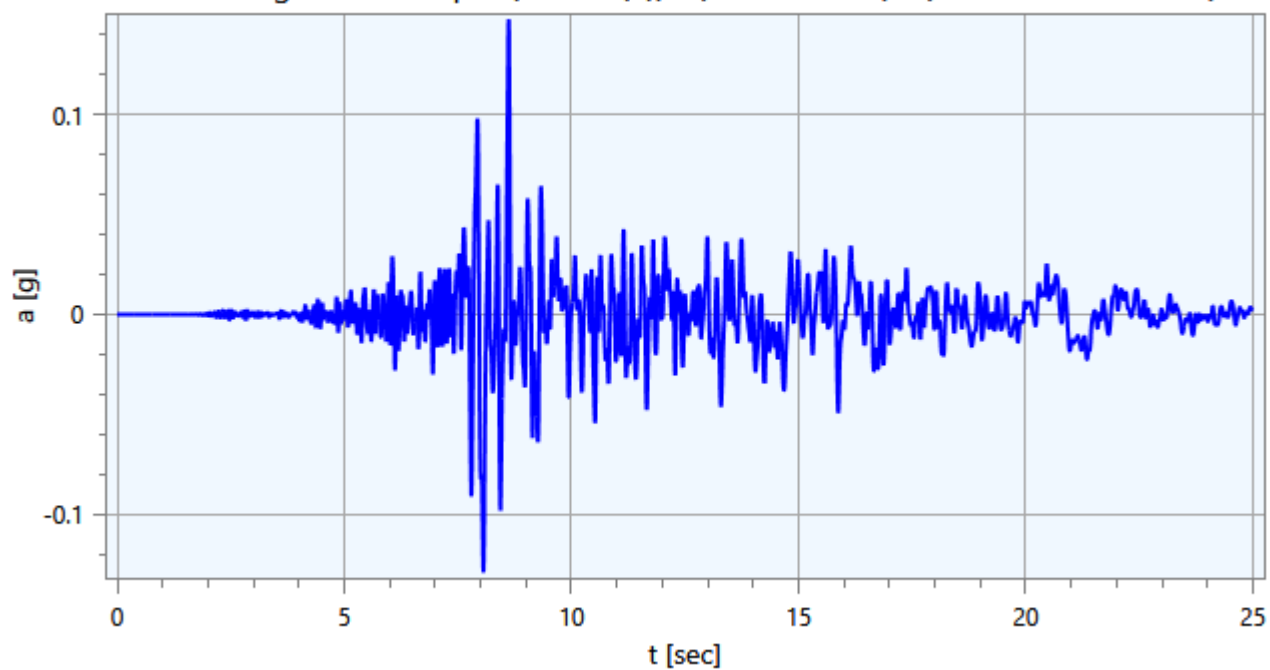
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 23DirezioneX)



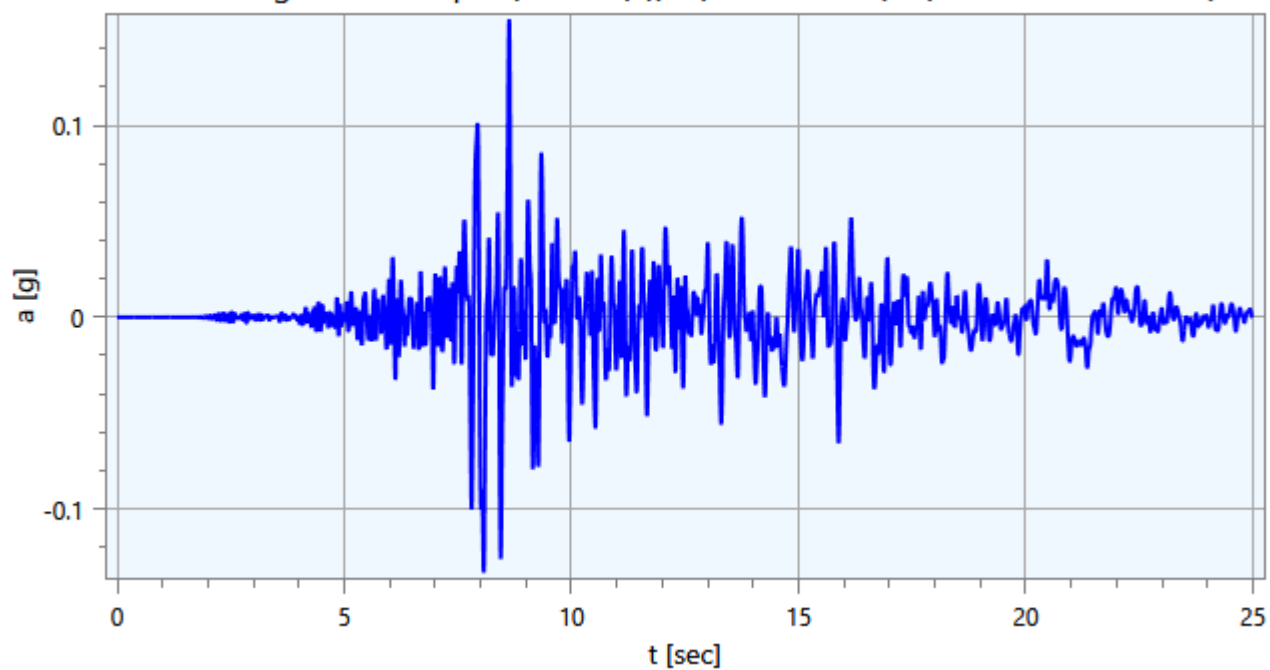
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 40DirezioneX)



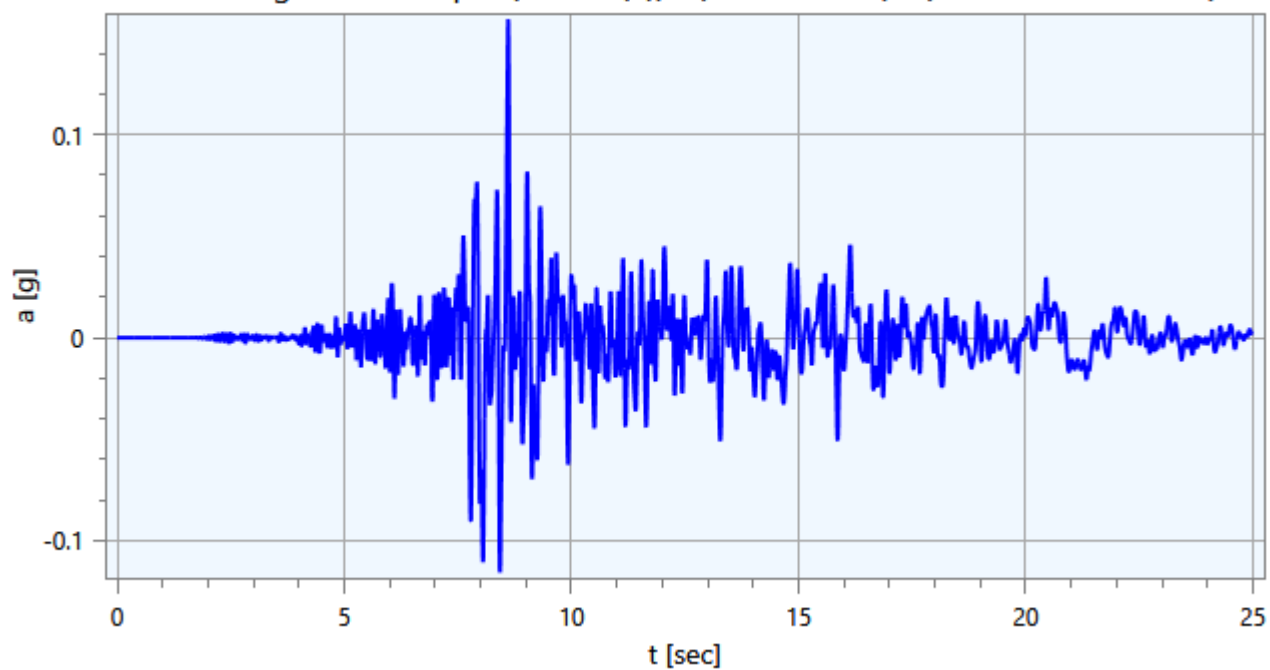
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 12DirezioneX)



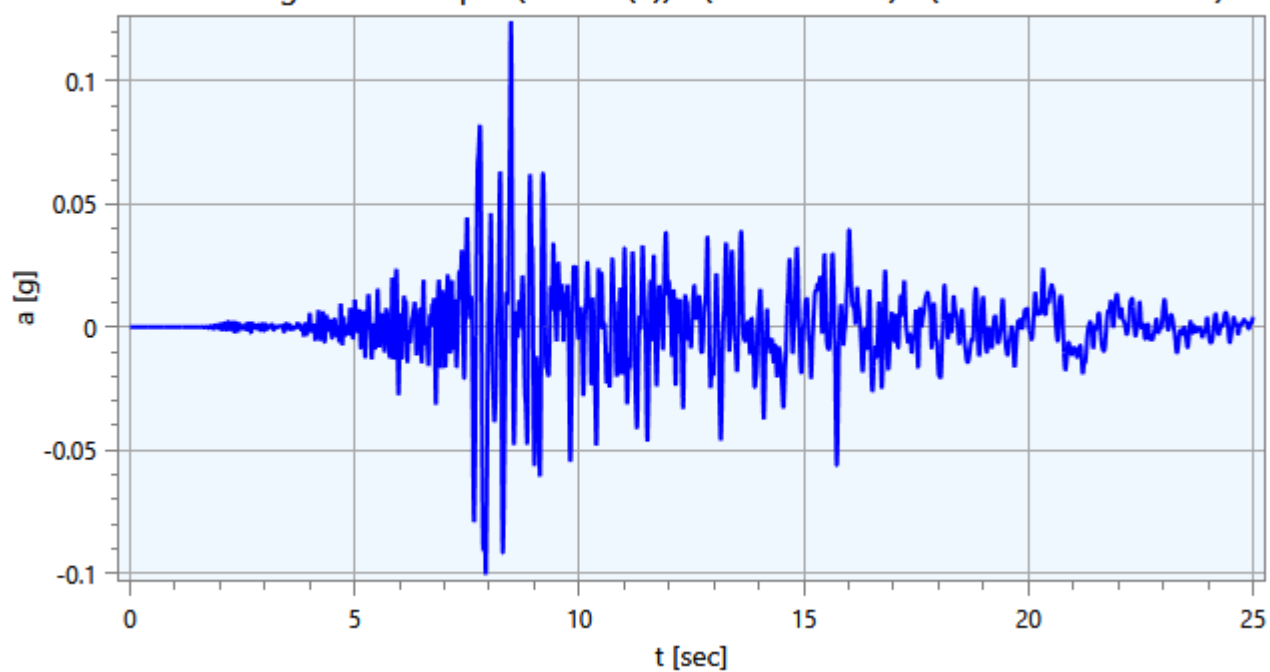
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 18DirezioneX)



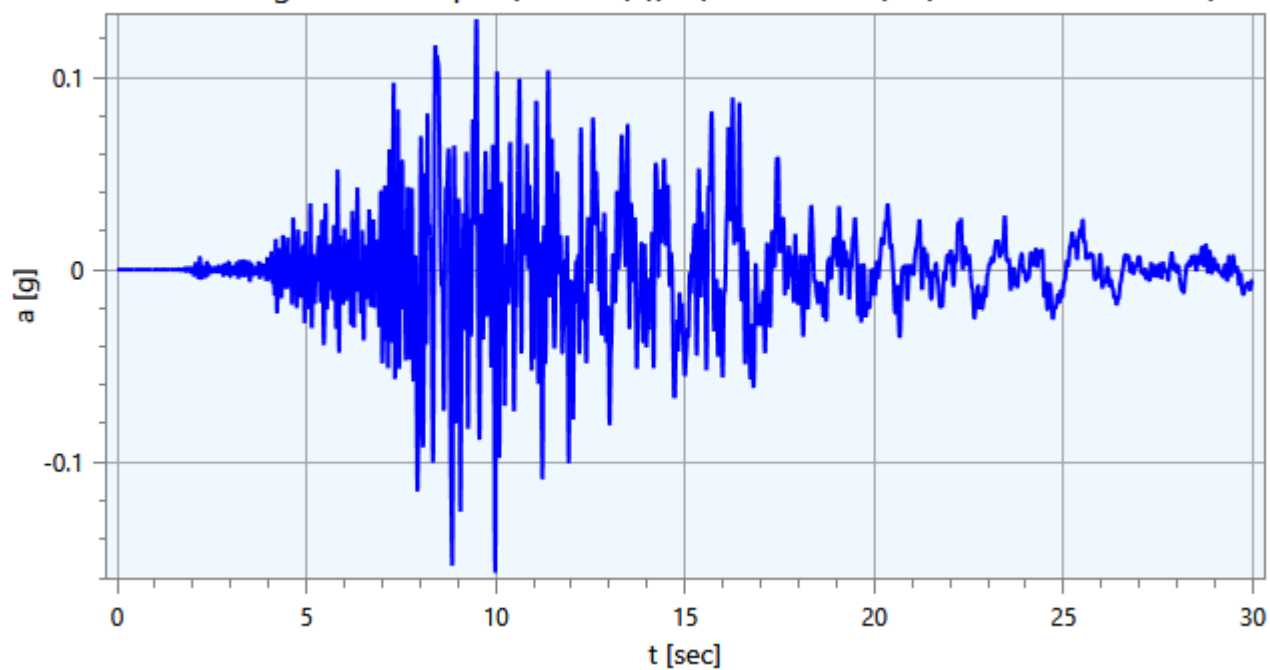
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 23DirezioneX)



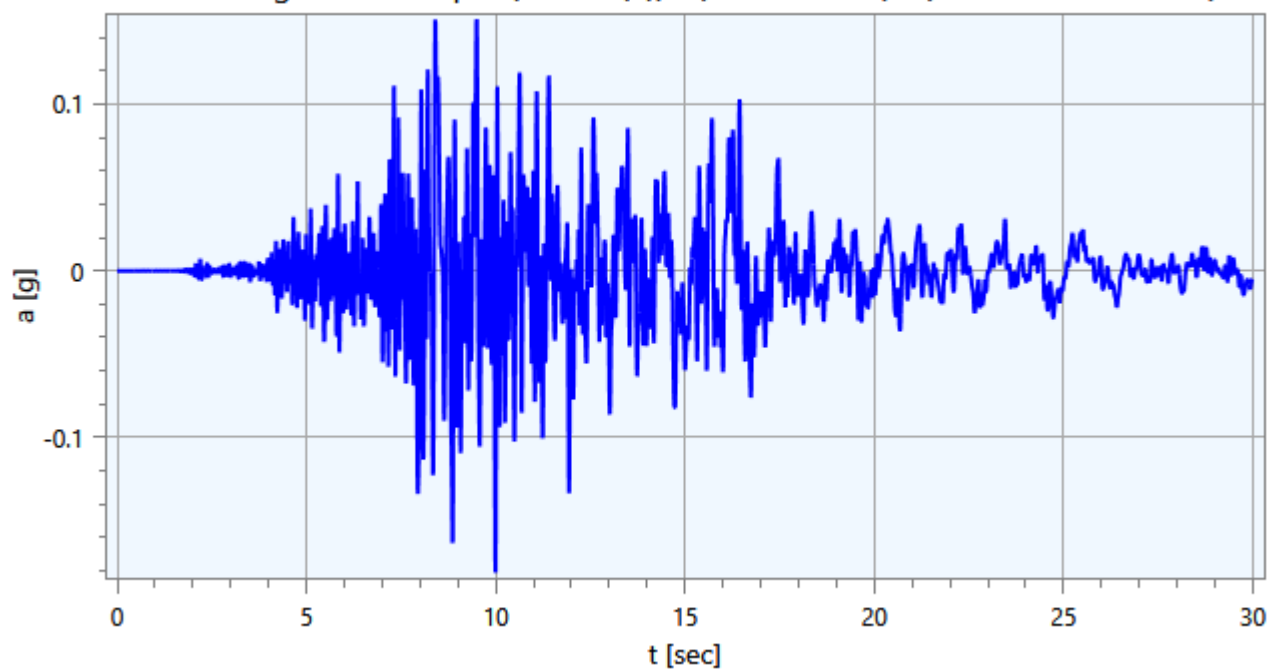
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 40DirezioneX)



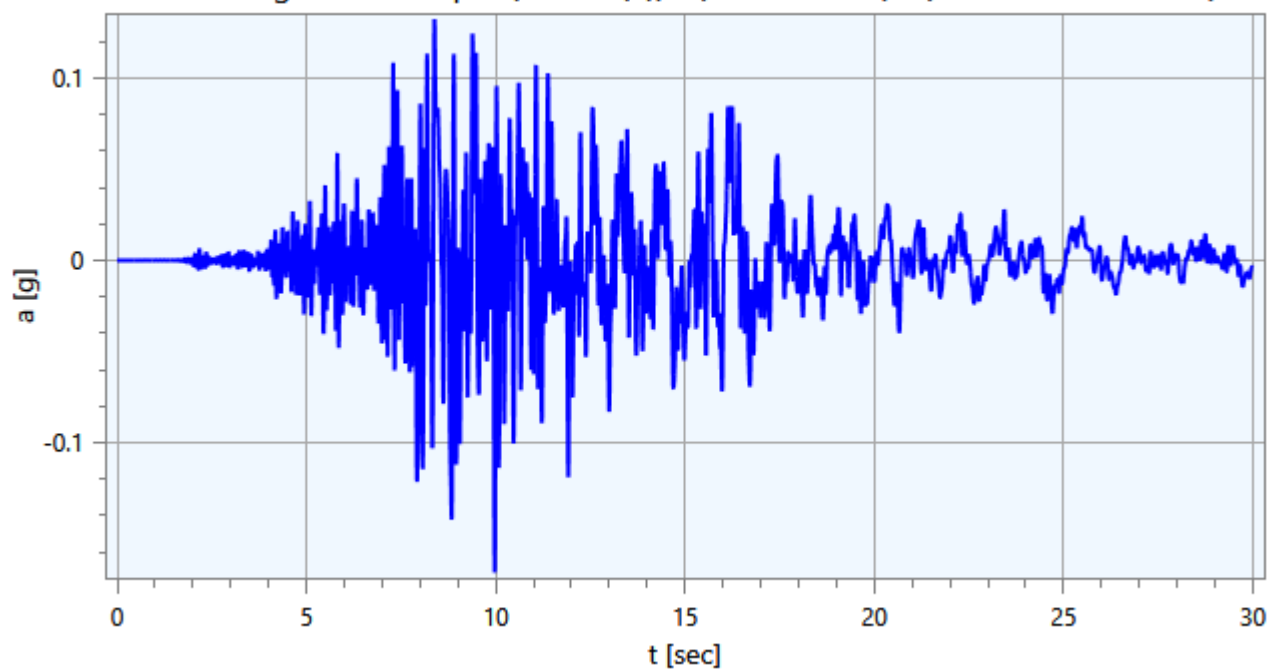
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 12DirezioneX)



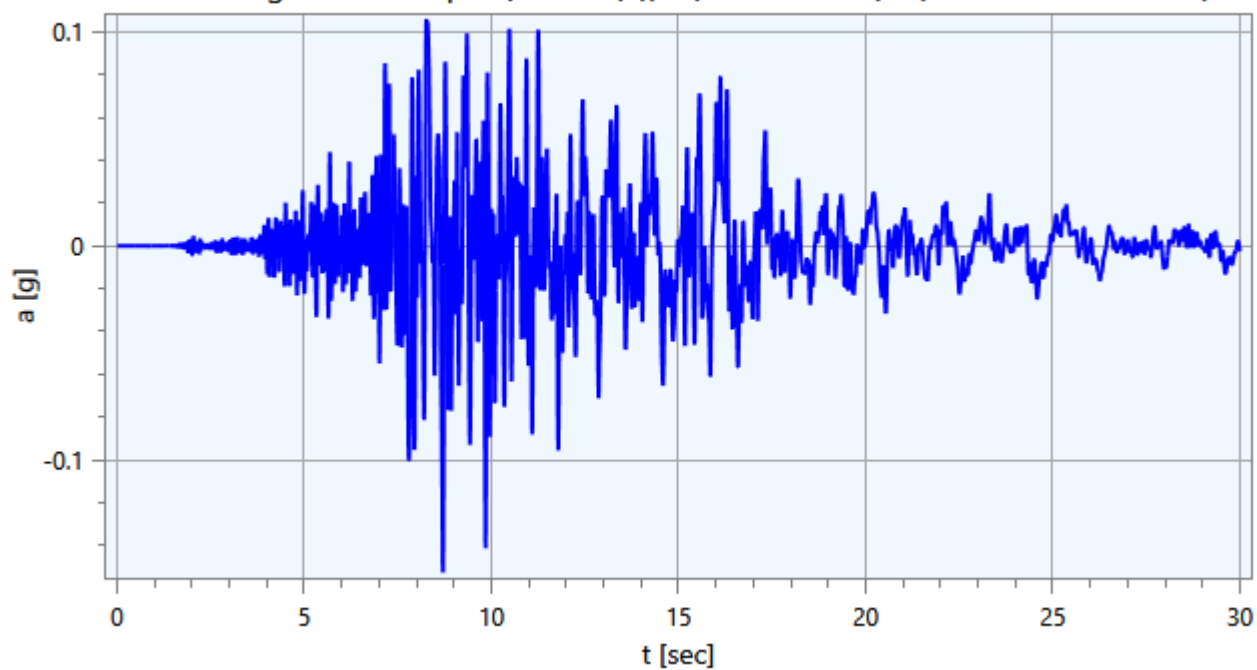
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 18DirezioneX)



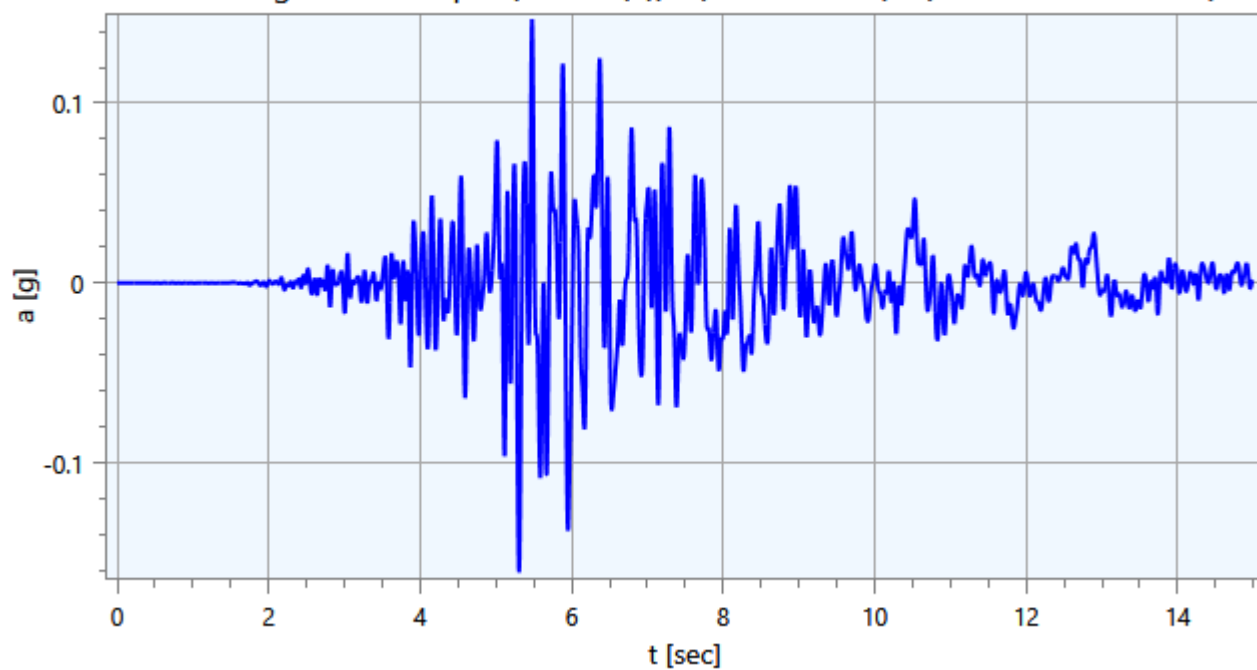
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 23DirezioneX)



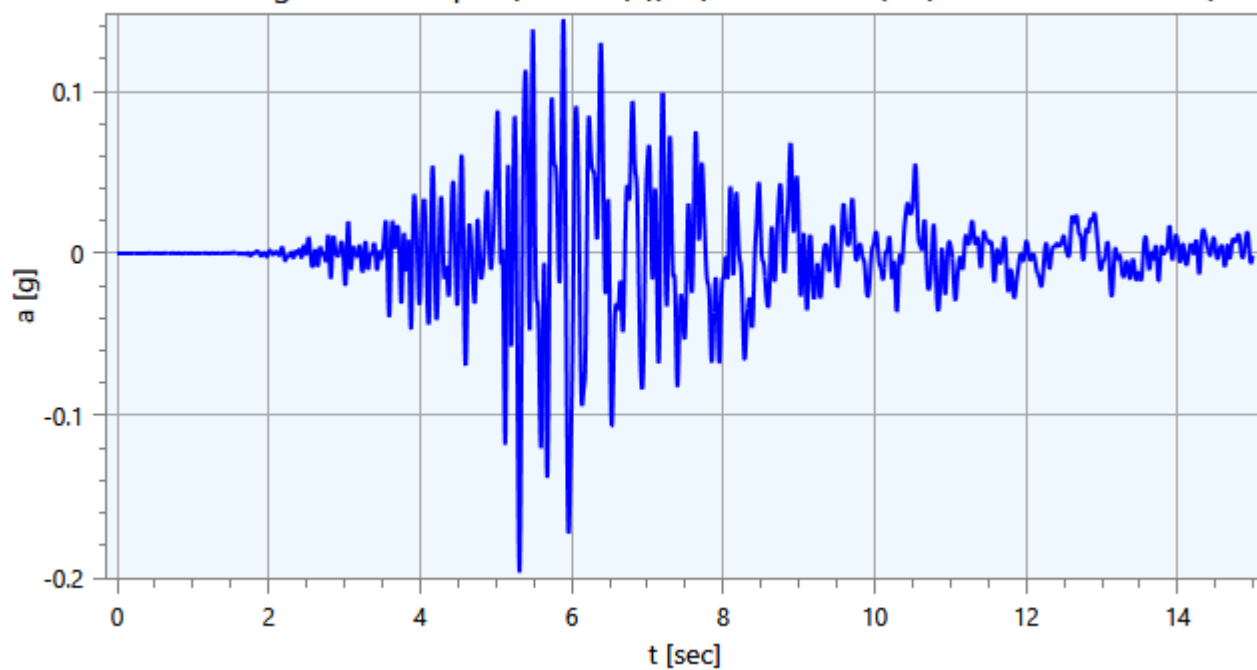
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 40DirezioneX)



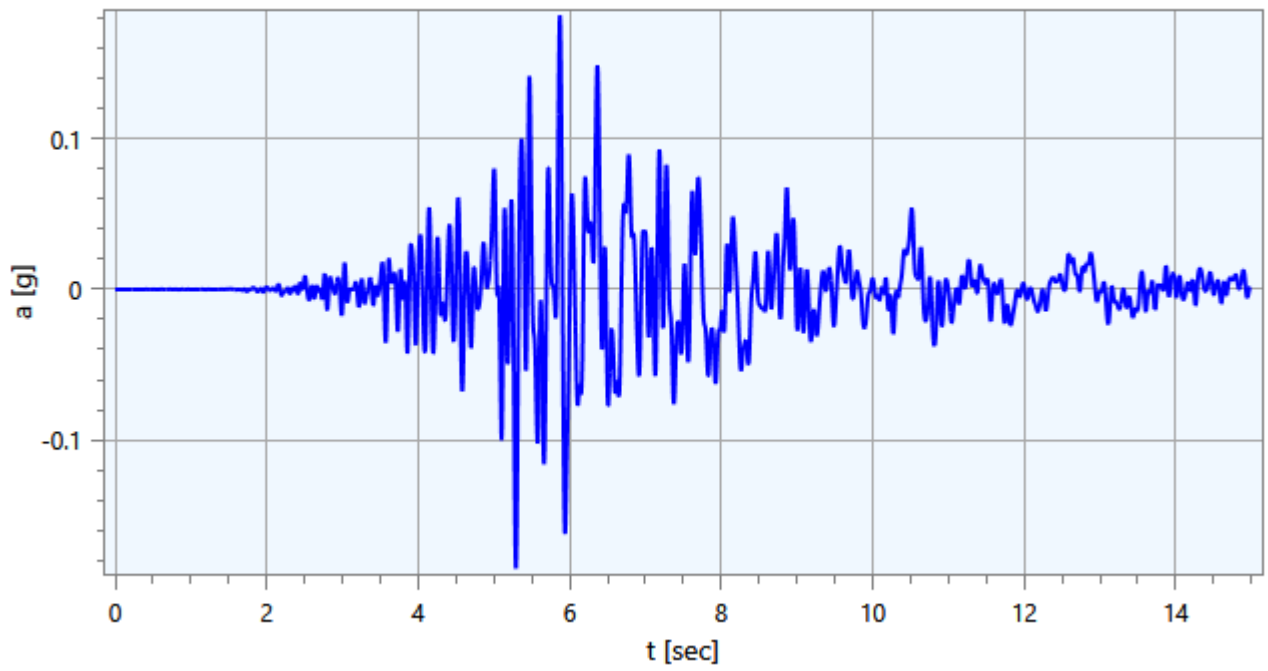
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 12DirezioneX)



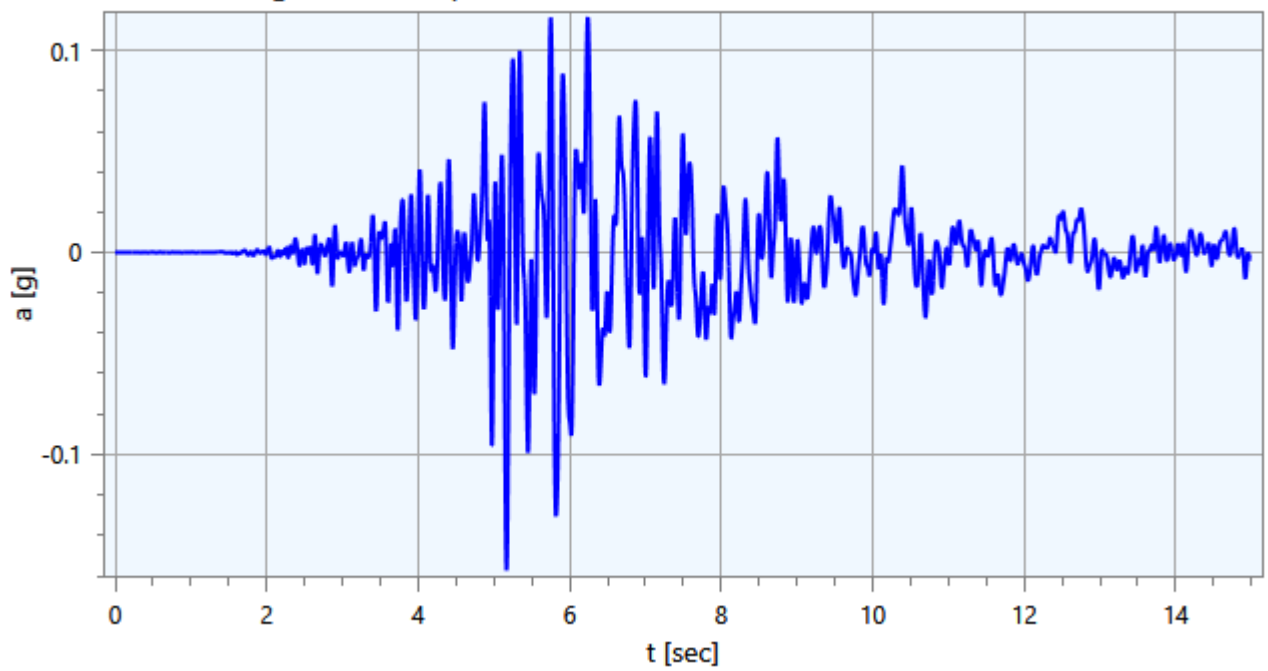
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 18DirezioneX)

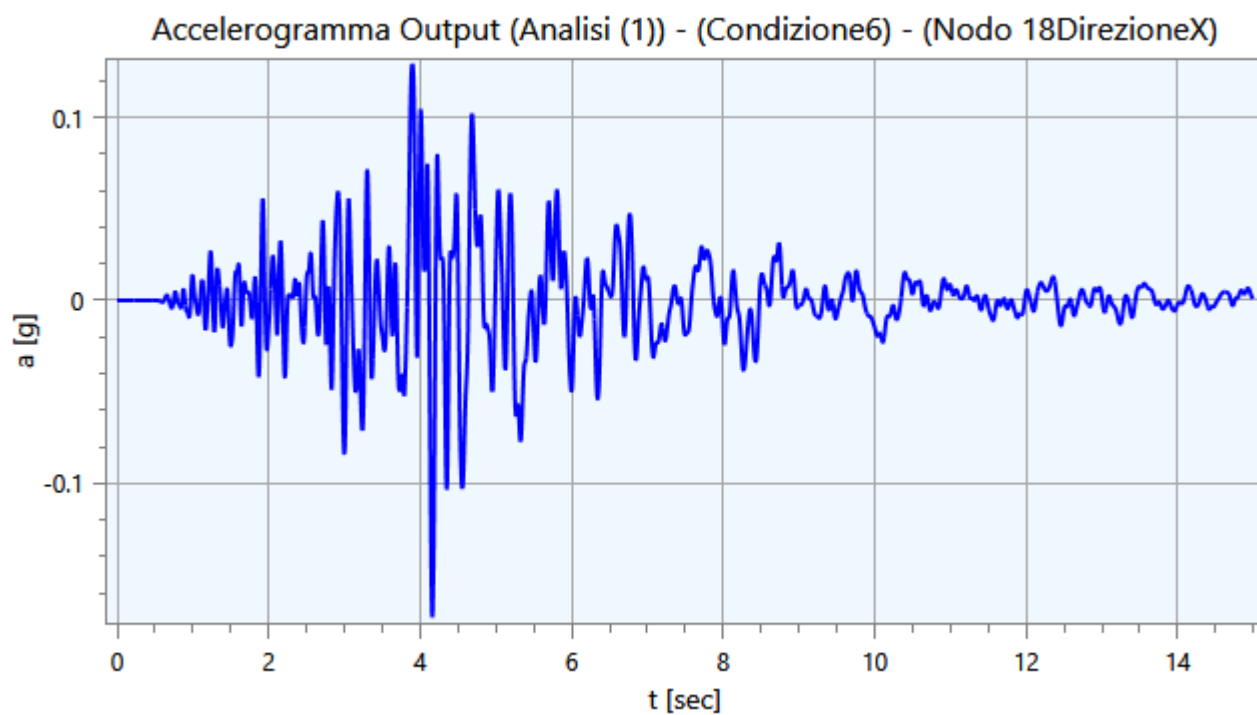
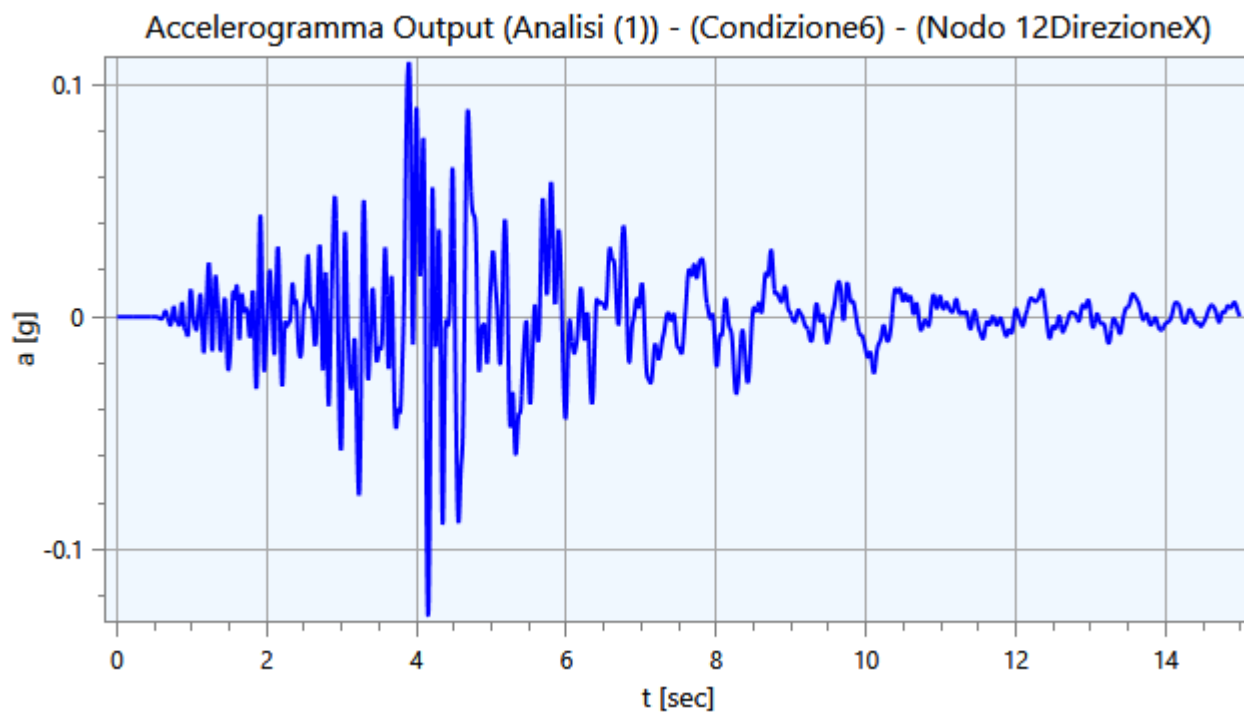


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 23DirezioneX)

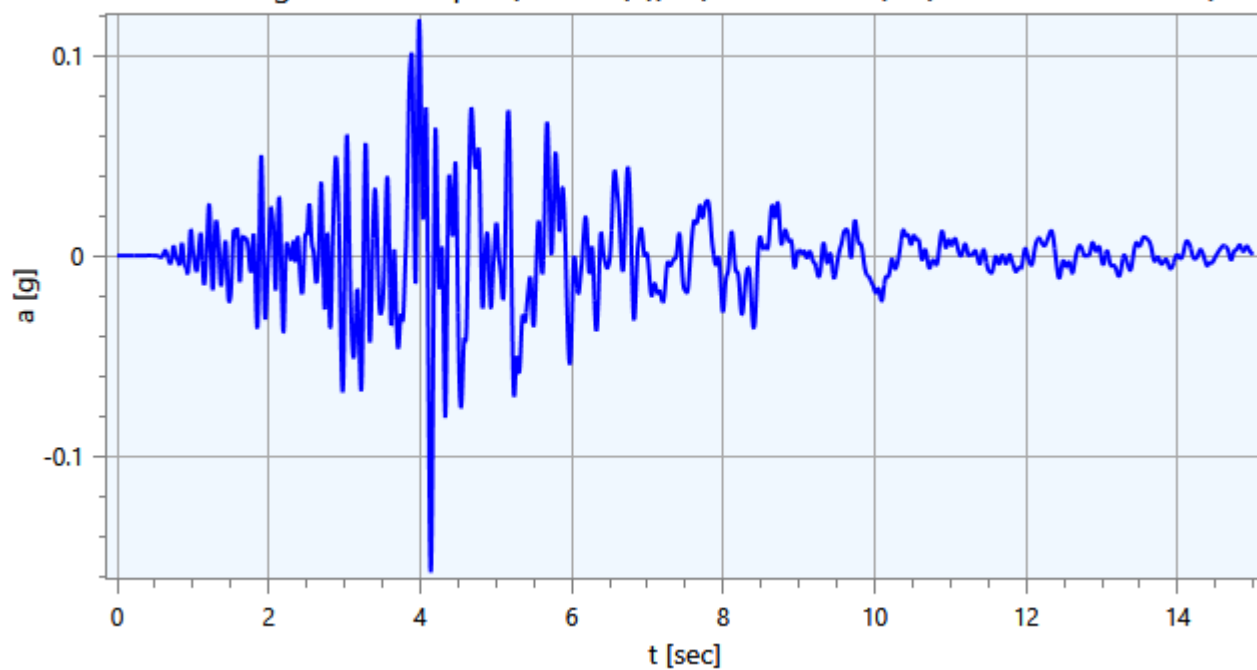


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 40DirezioneX)

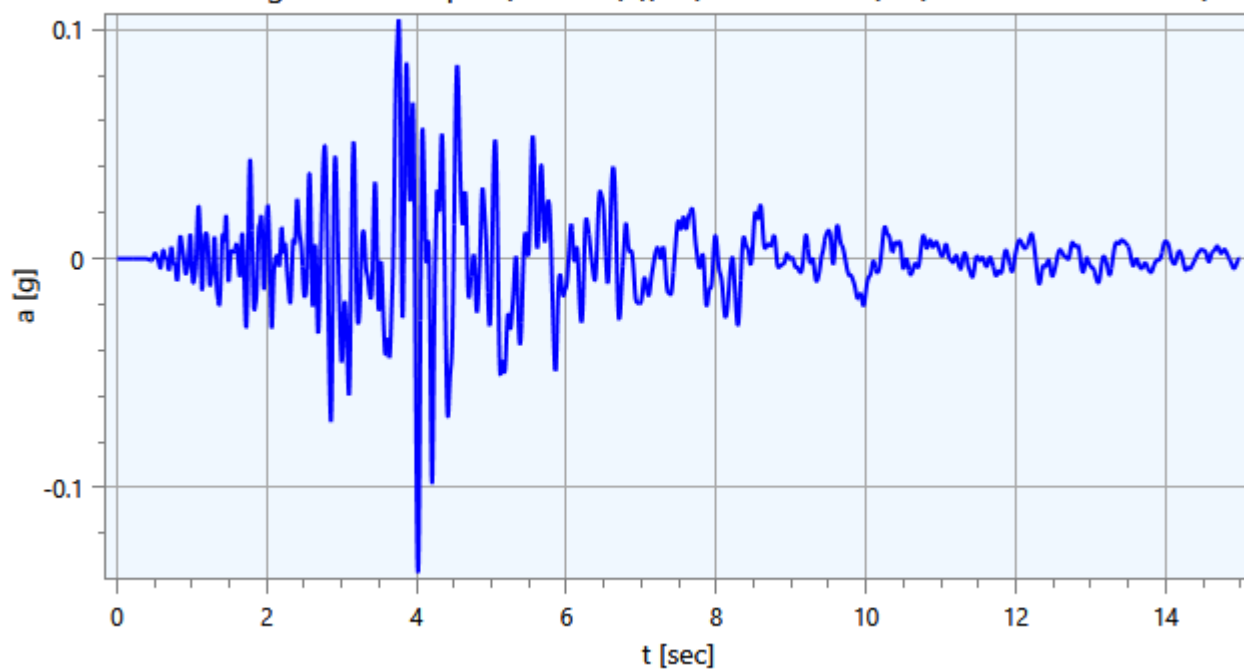




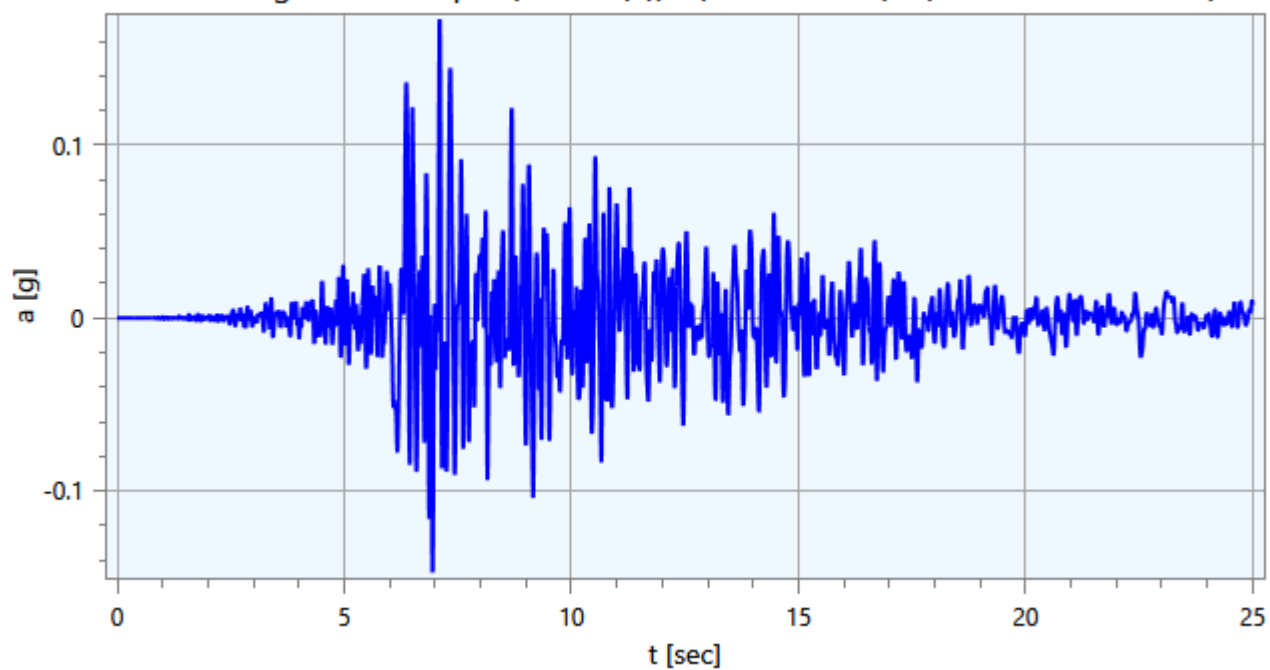
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 23DirezioneX)



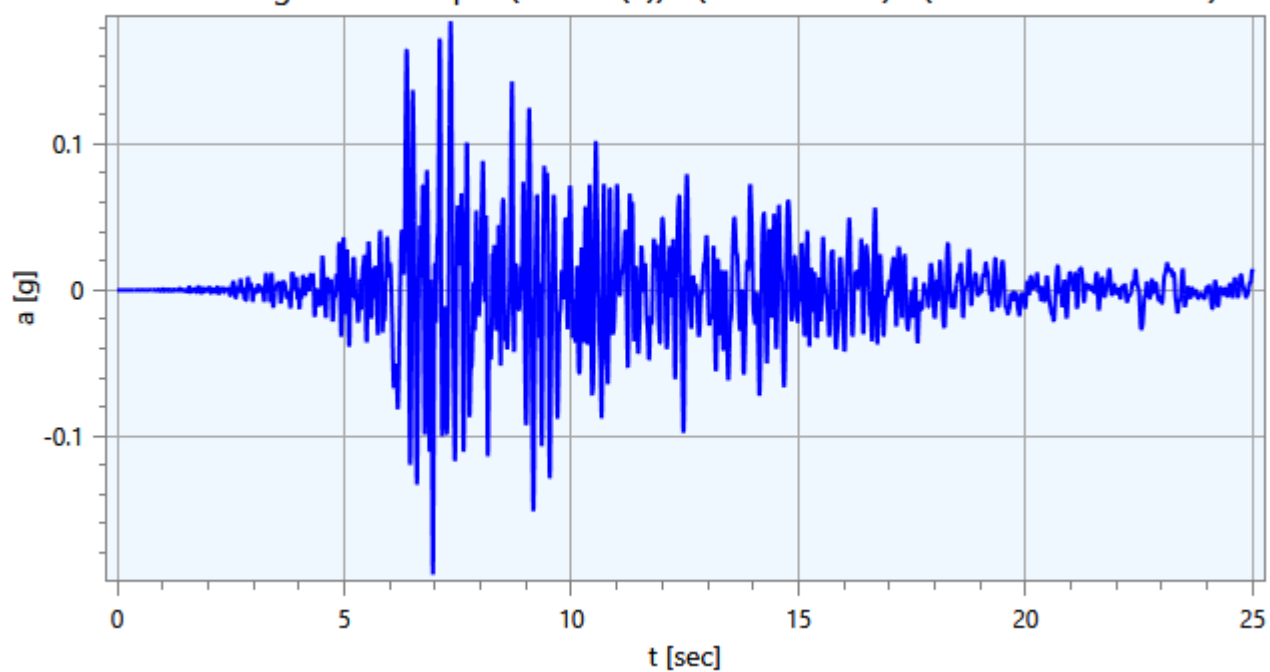
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 40DirezioneX)



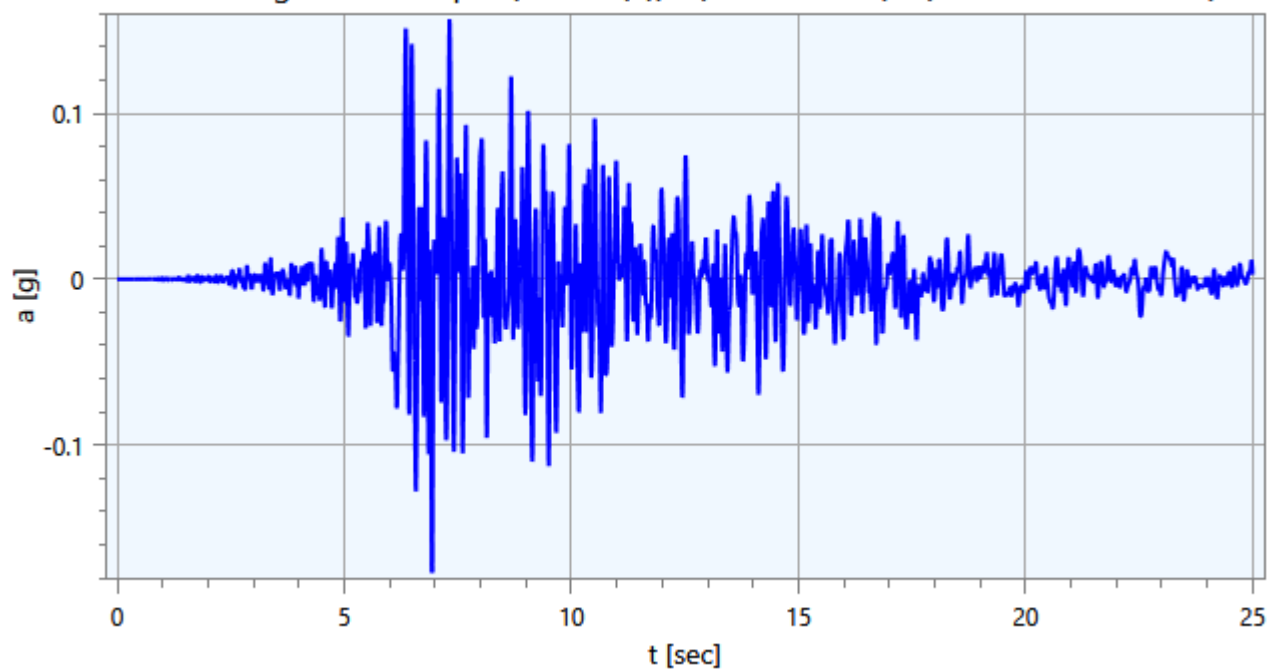
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 12DirezioneX)



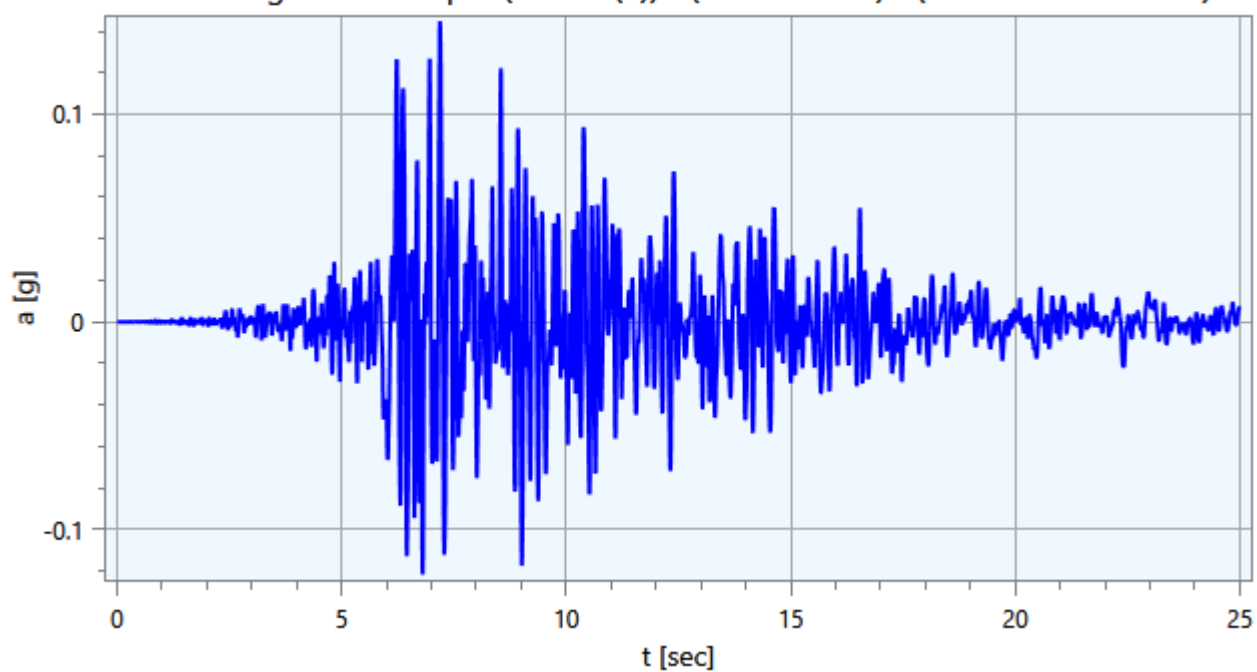
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 18DirezioneX)



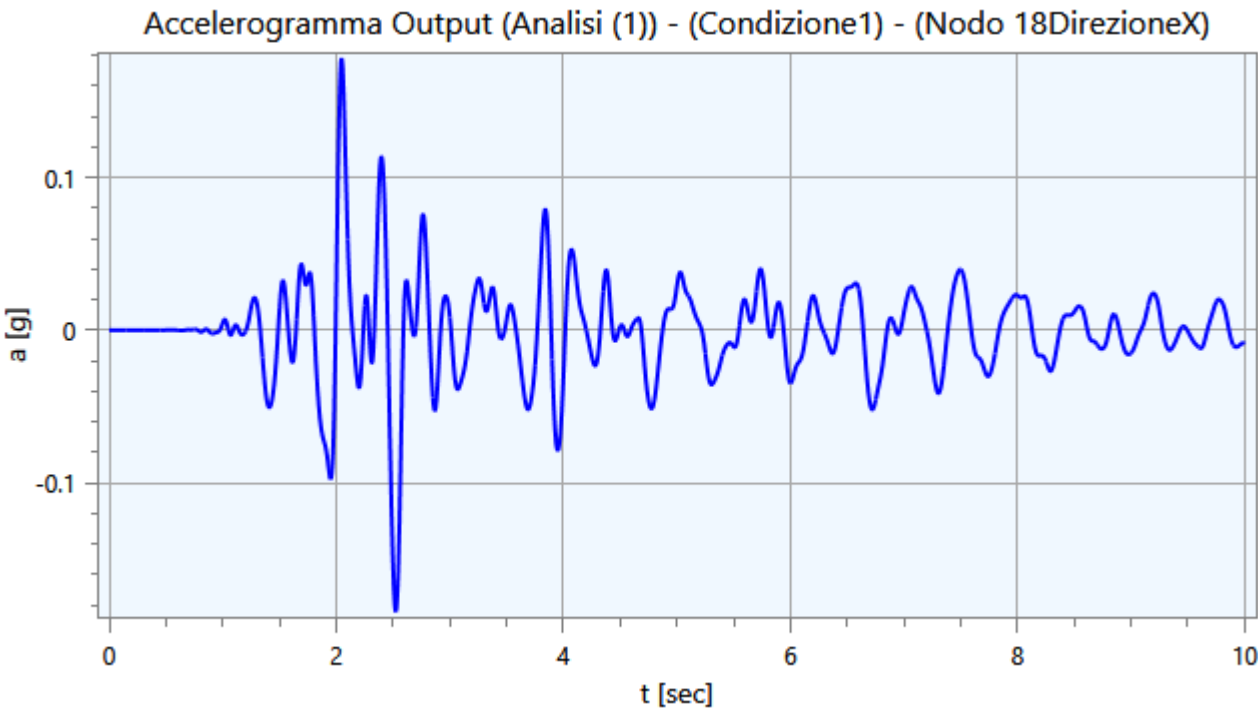
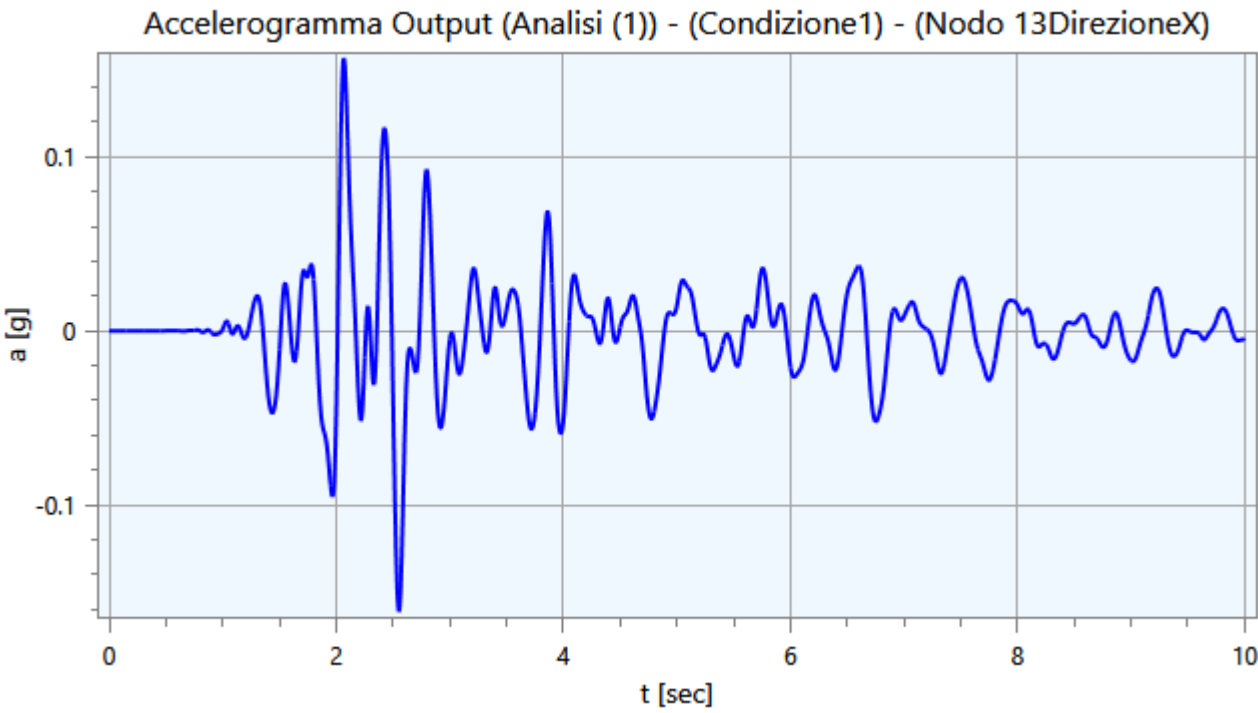
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 23DirezioneX)



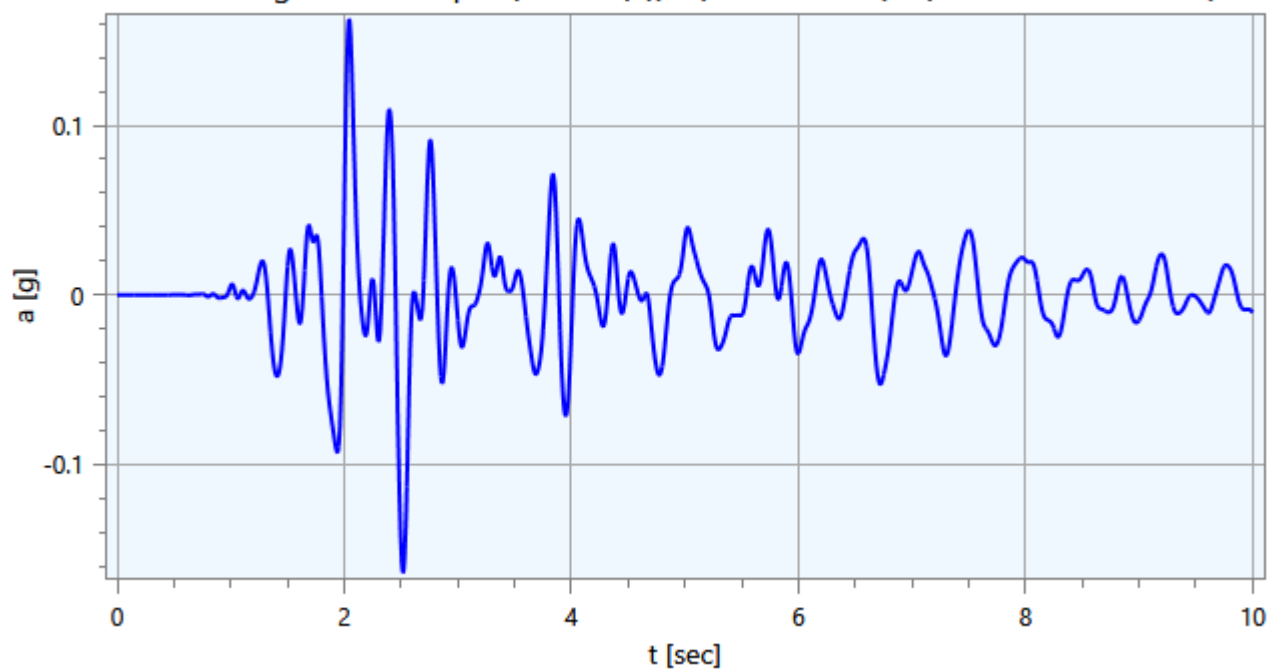
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 40DirezioneX)



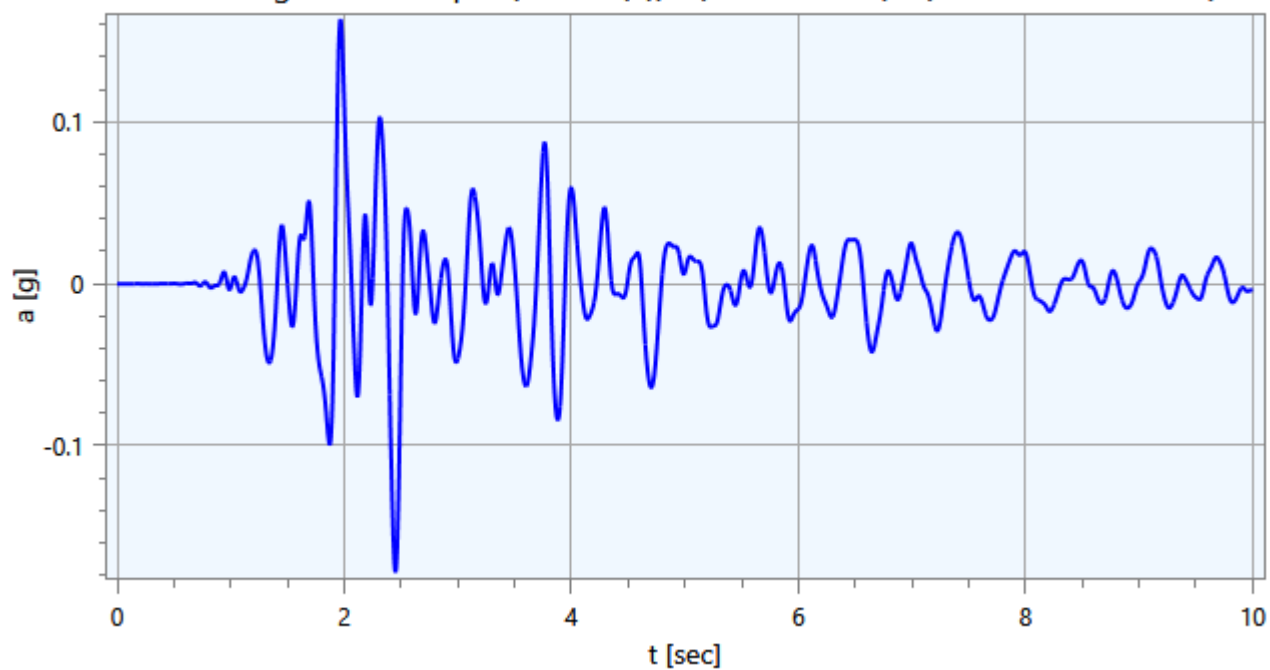
Sezione Bardino



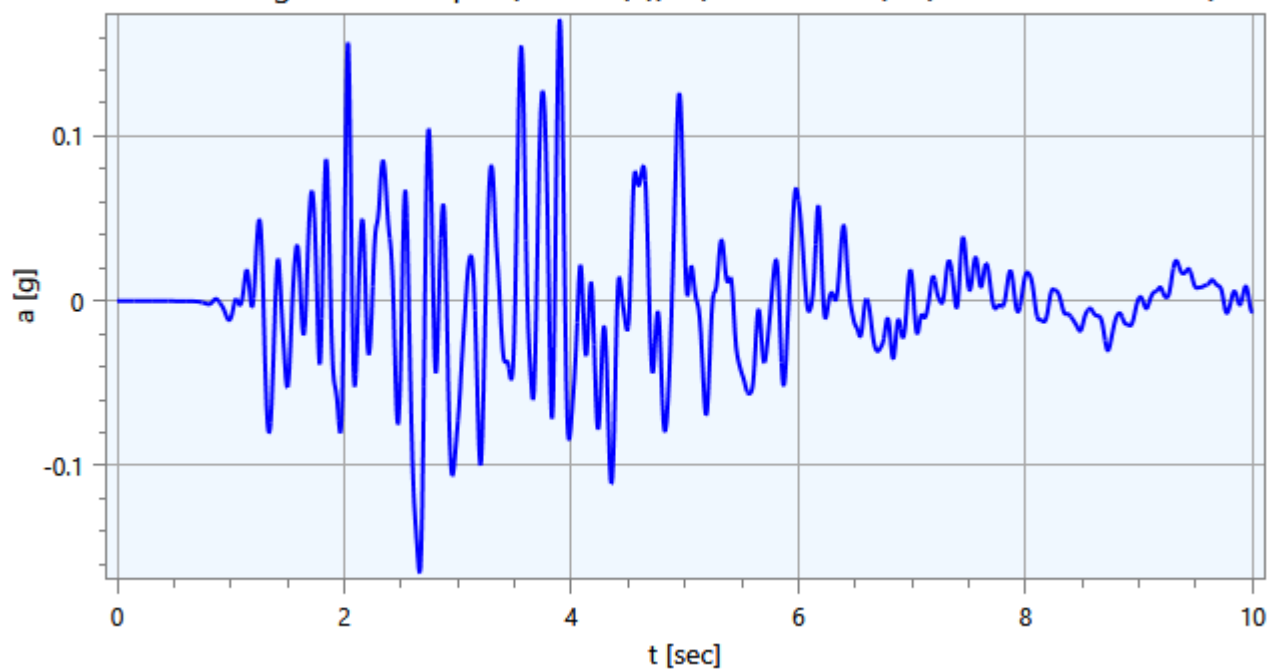
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 21DirezioneX)



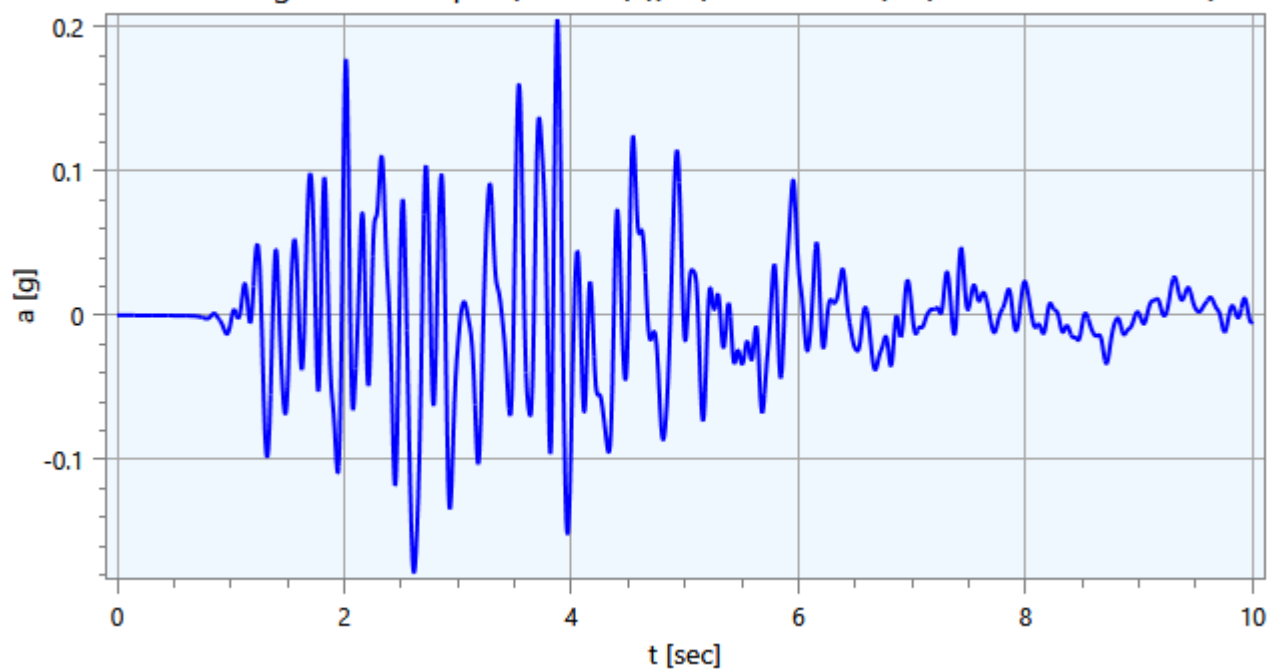
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 24DirezioneX)



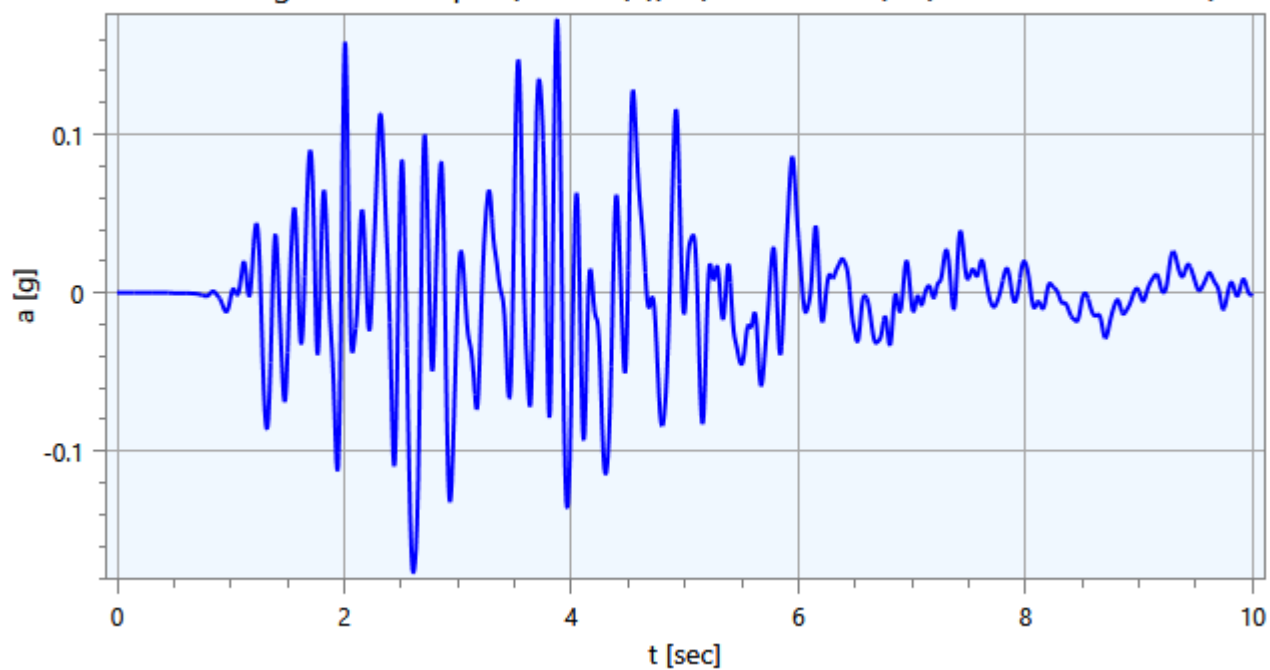
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 13DirezioneX)



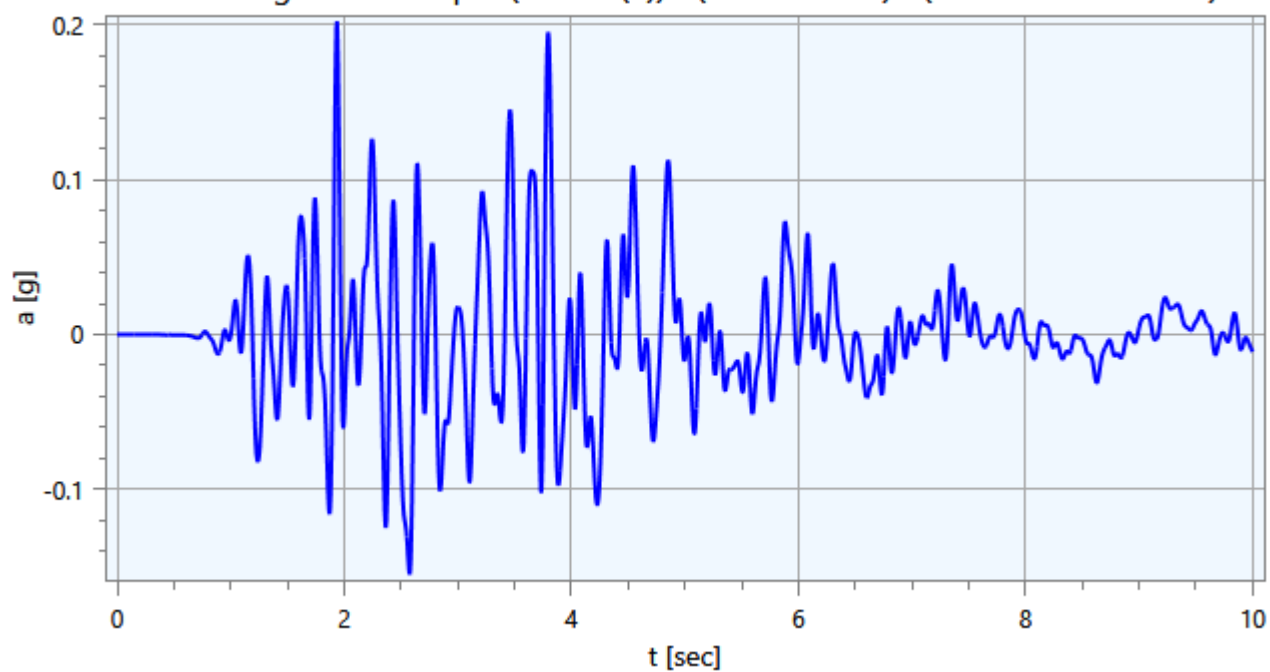
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 18DirezioneX)



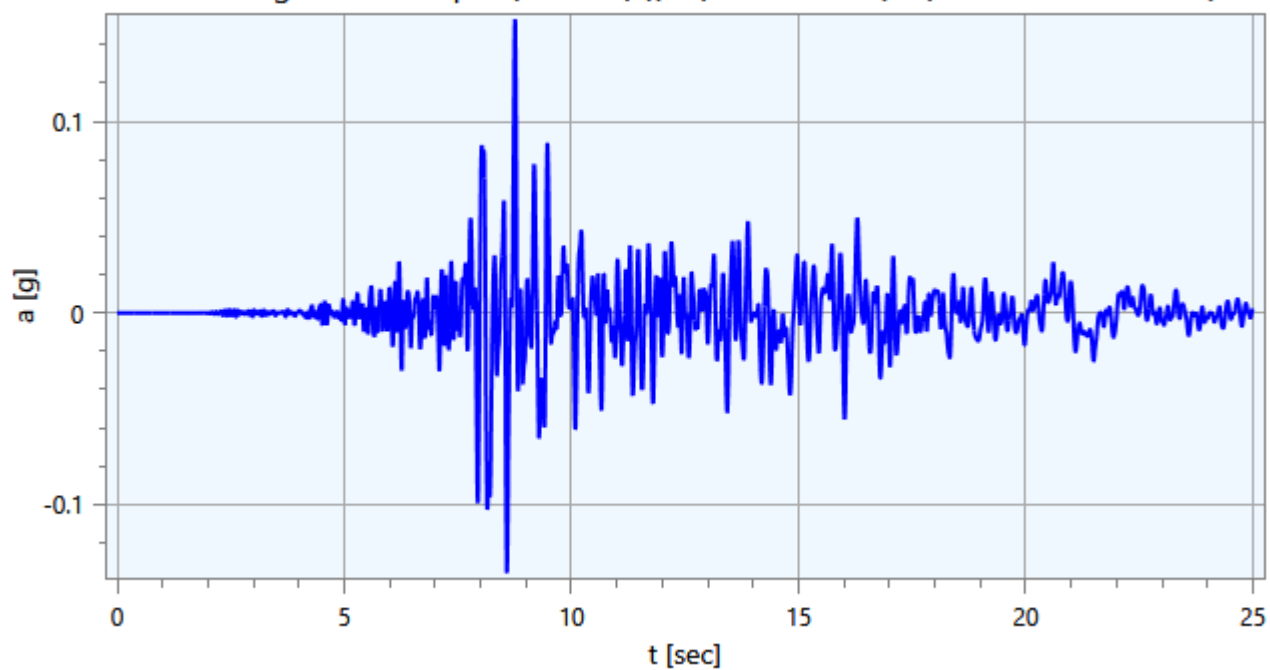
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 21DirezioneX)



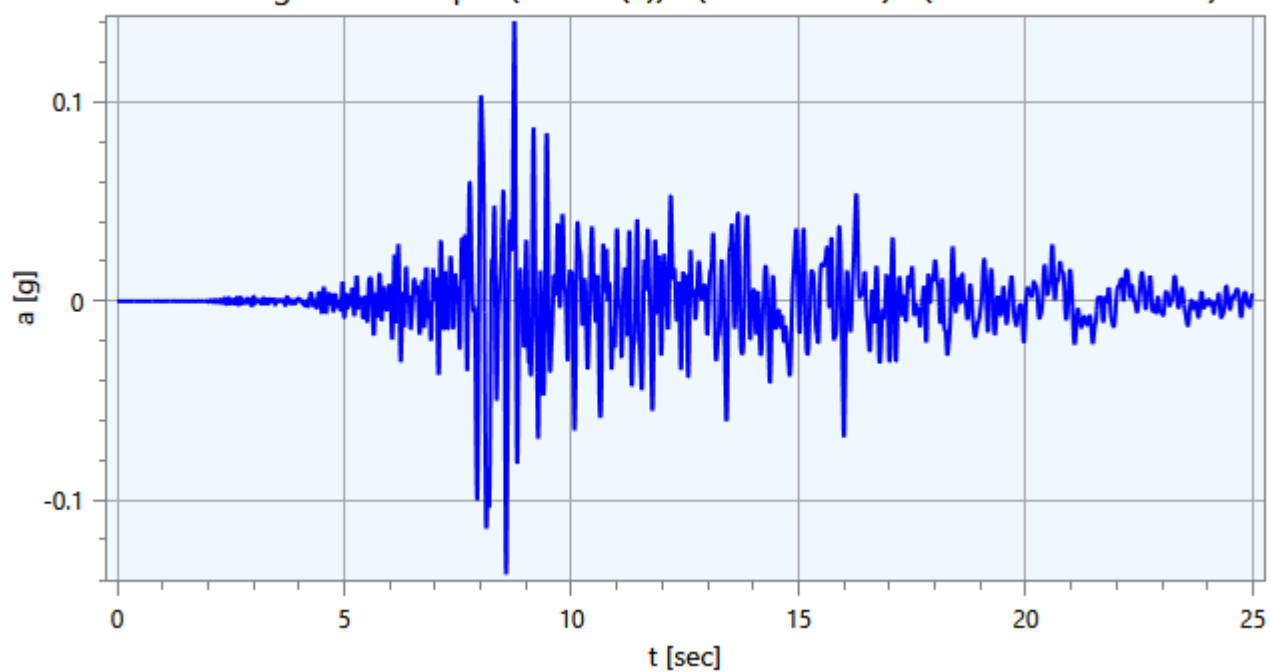
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 24DirezioneX)

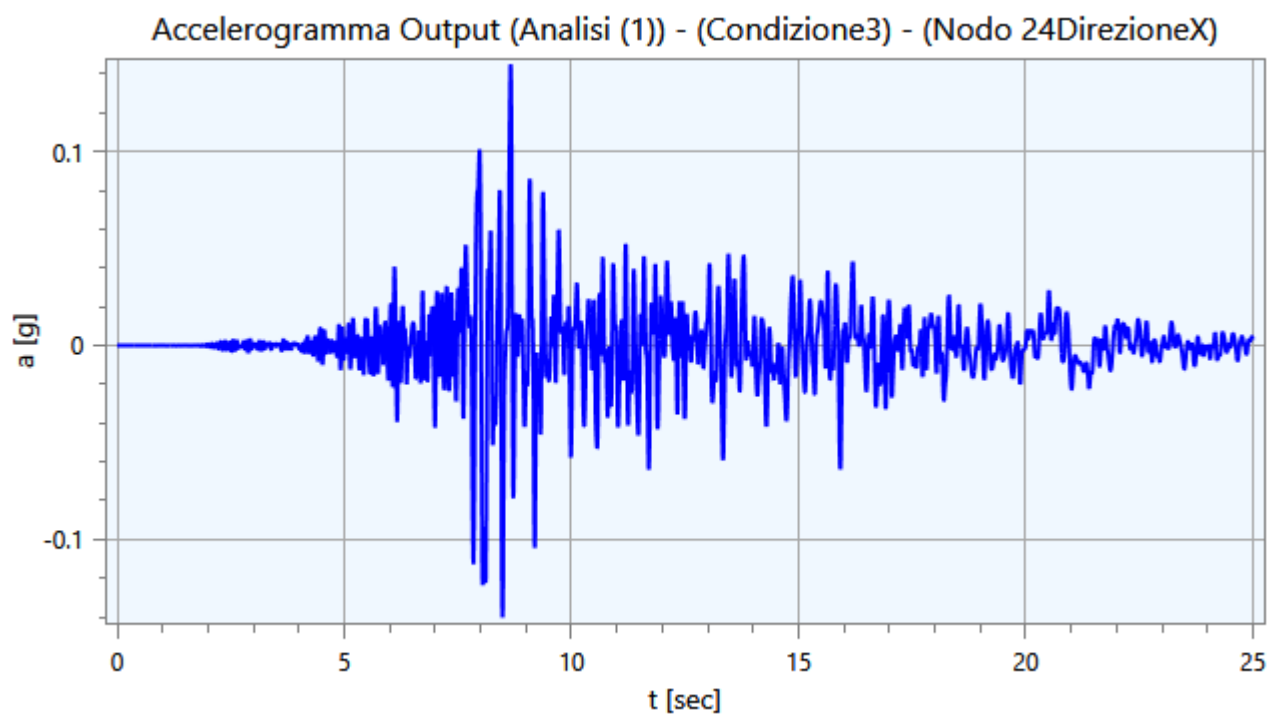
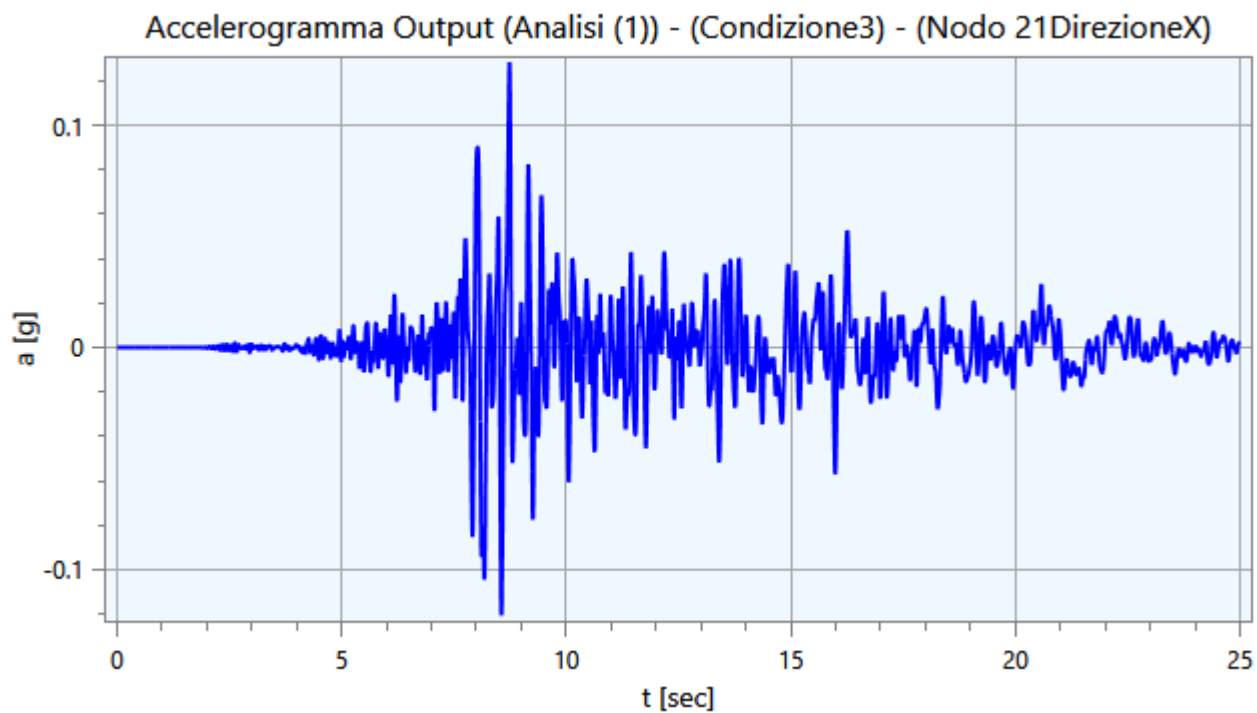


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 13DirezioneX)

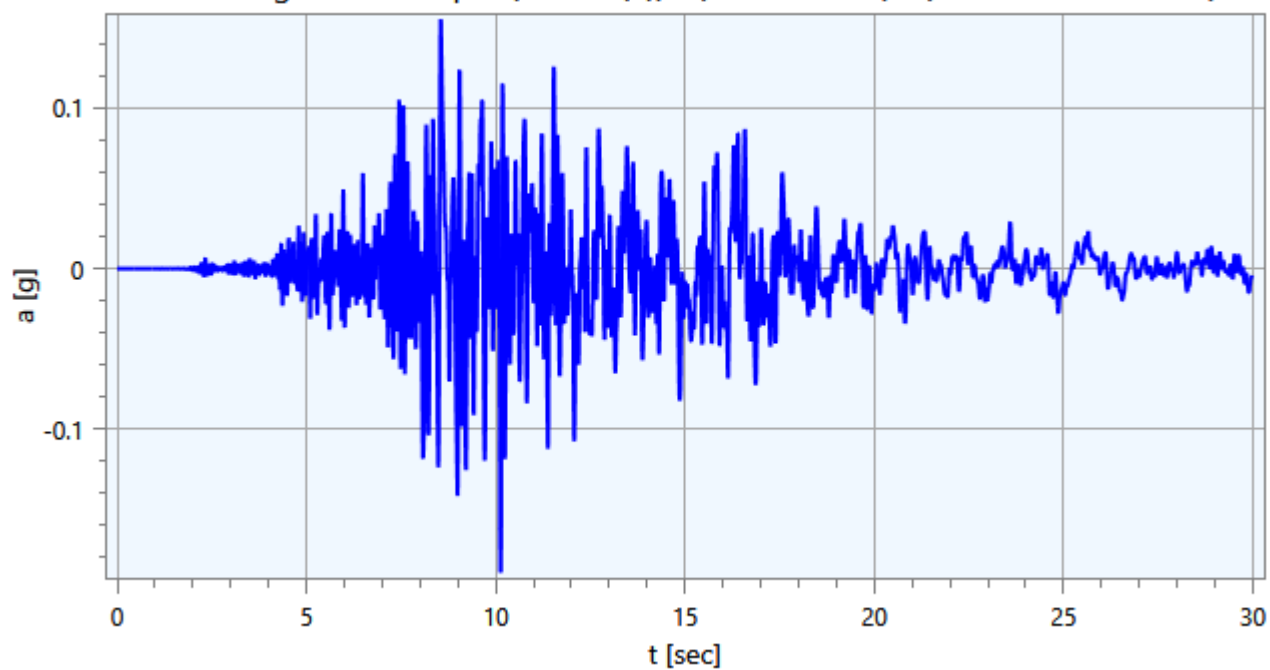


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 18DirezioneX)

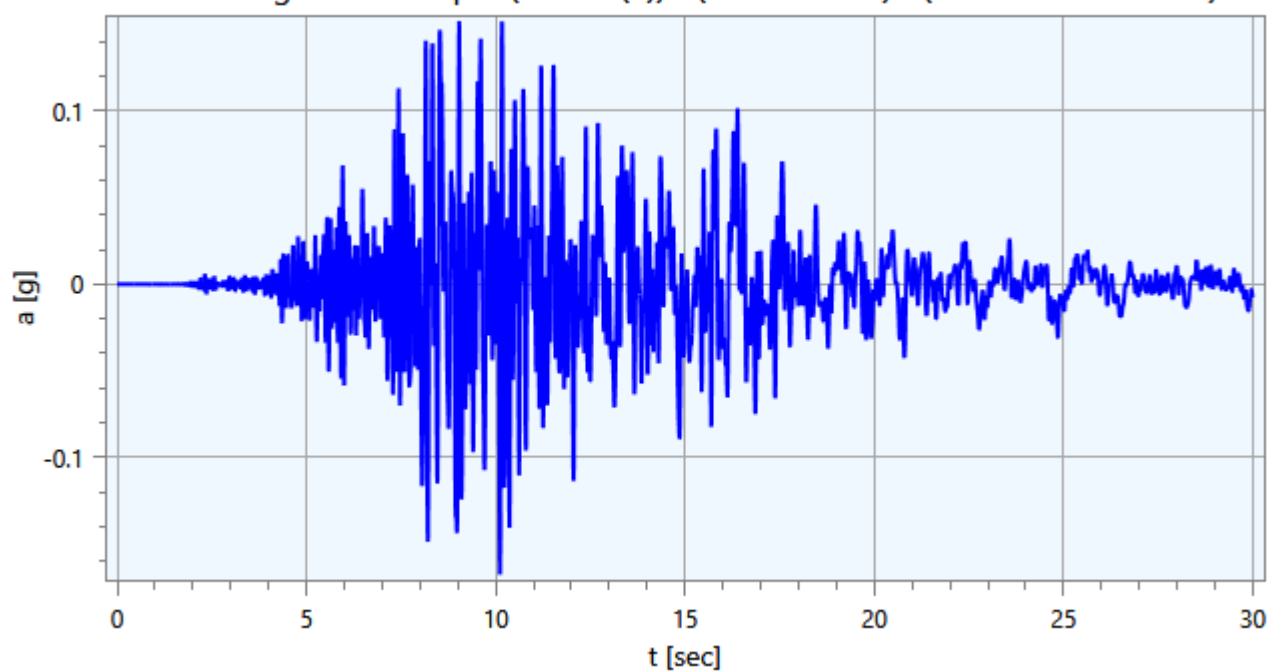




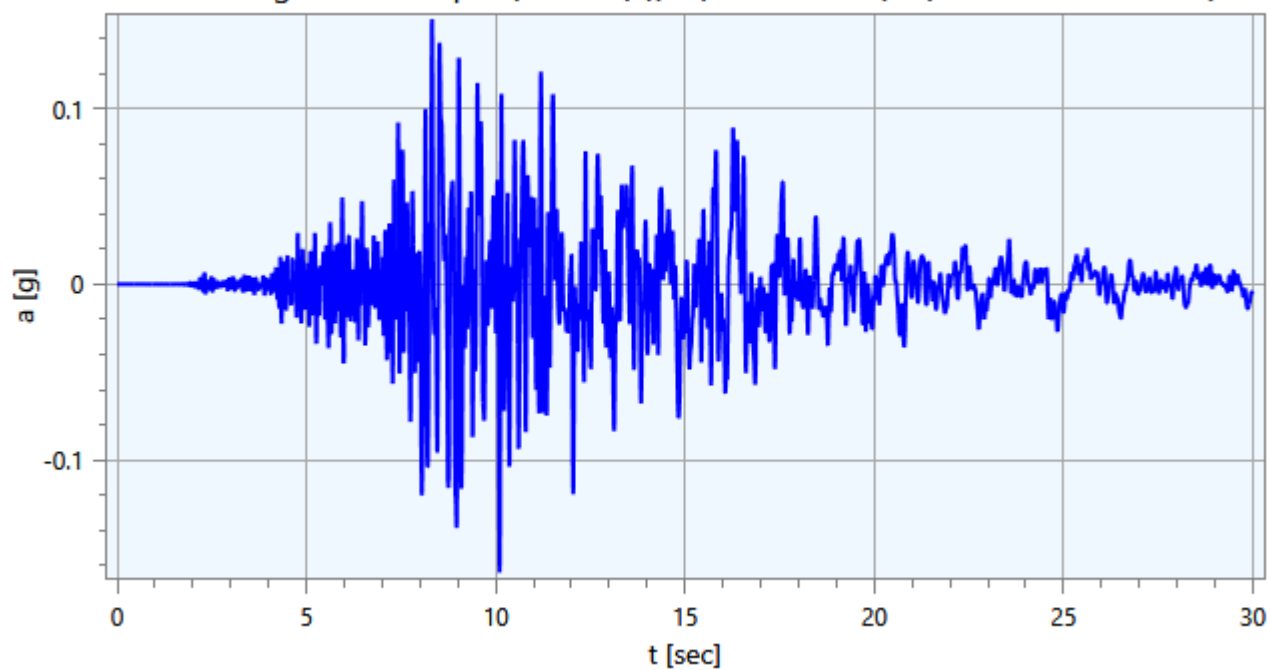
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 13DirezioneX)



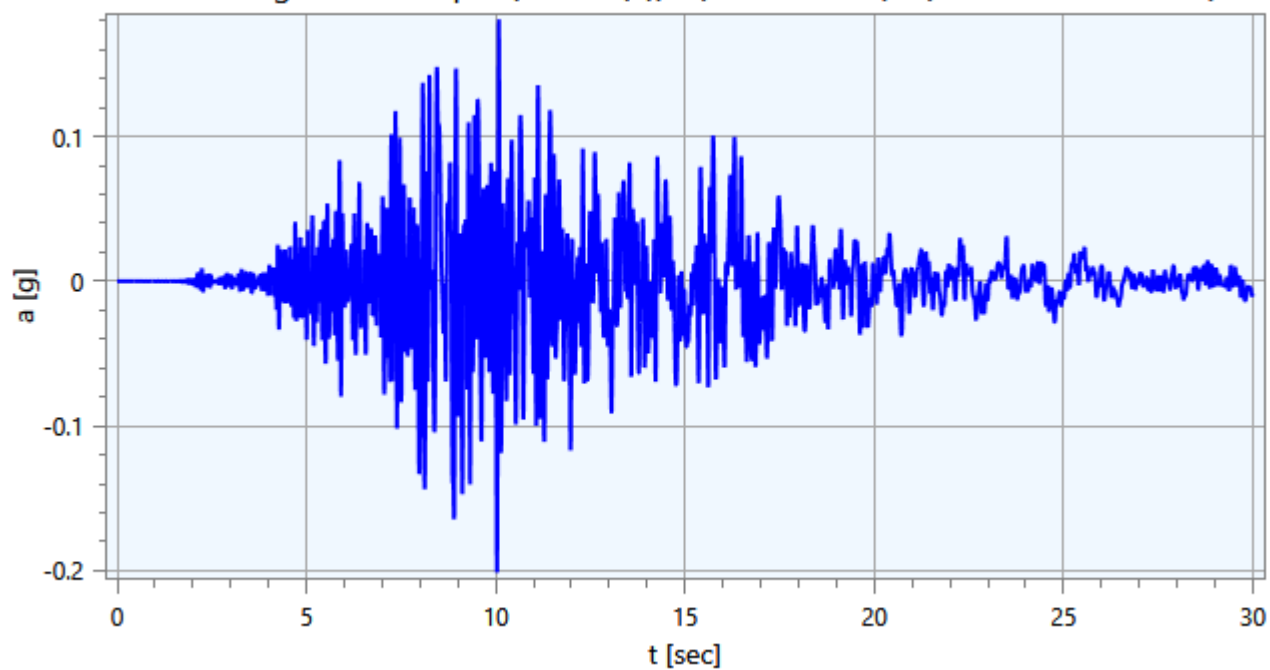
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 18DirezioneX)



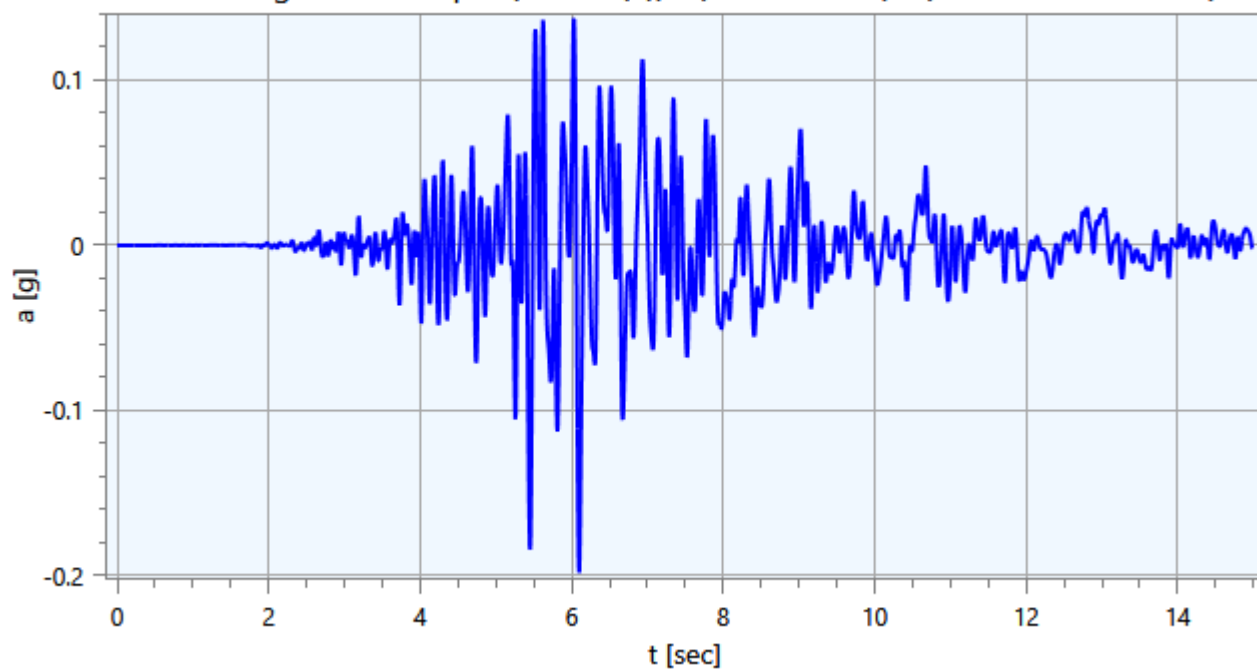
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 21DirezioneX)



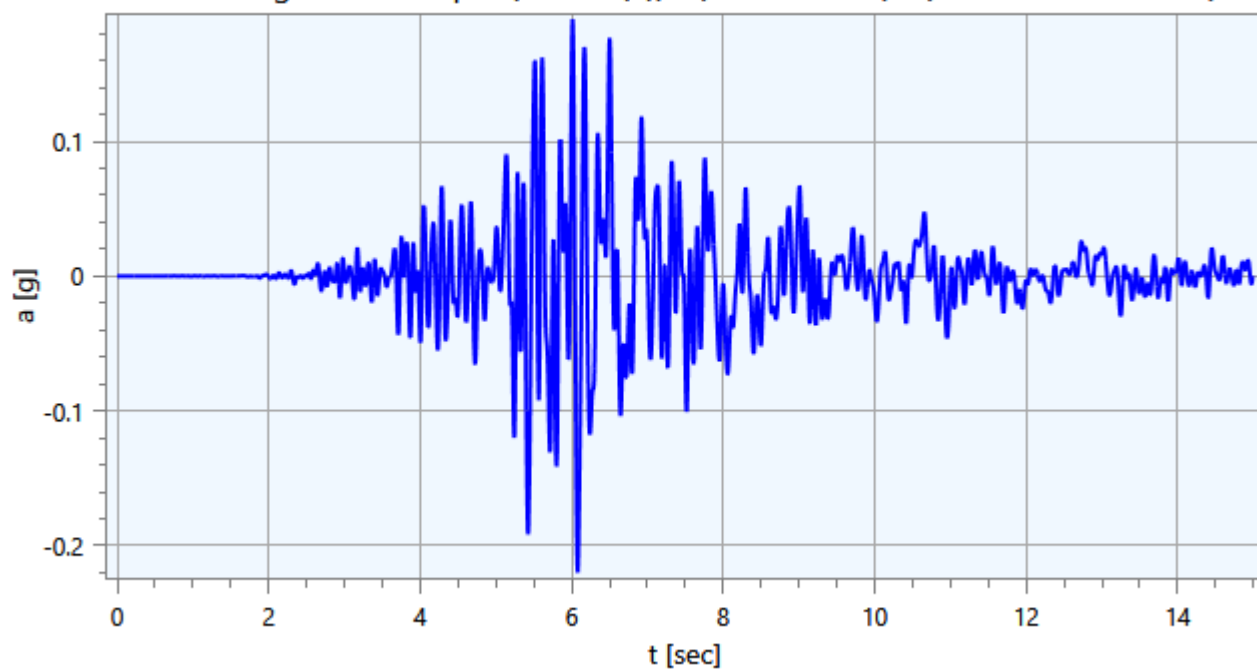
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione4) - (Nodo 24DirezioneX)



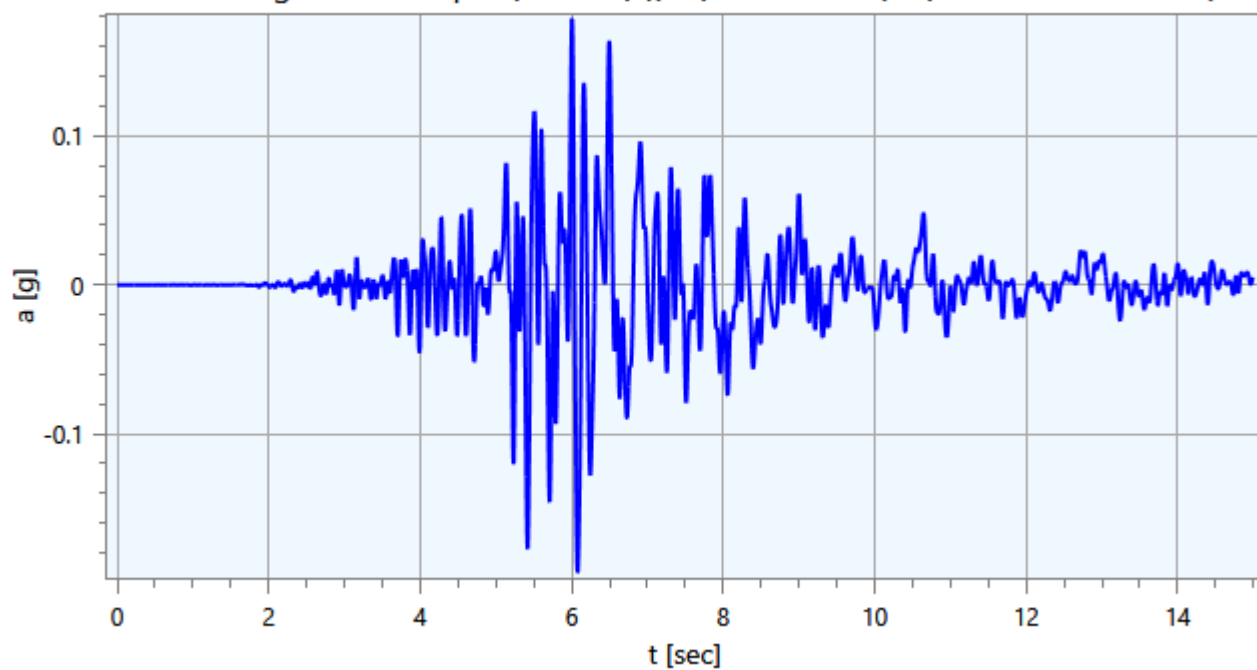
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 13DirezioneX)



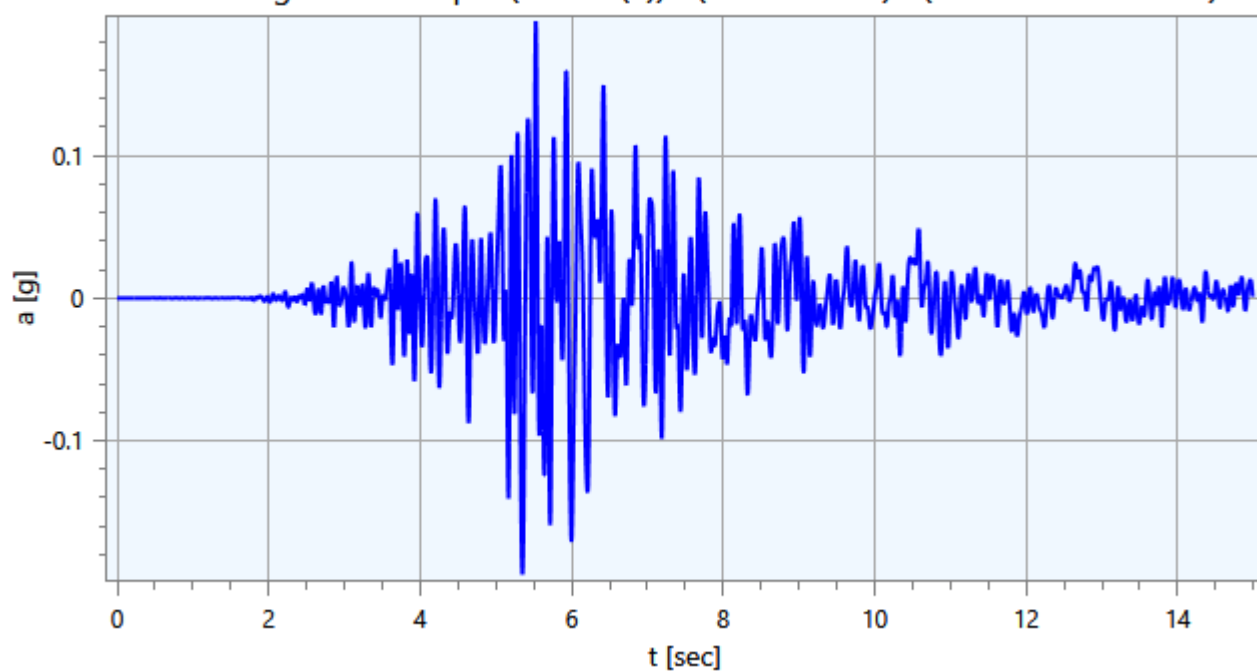
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 18DirezioneX)



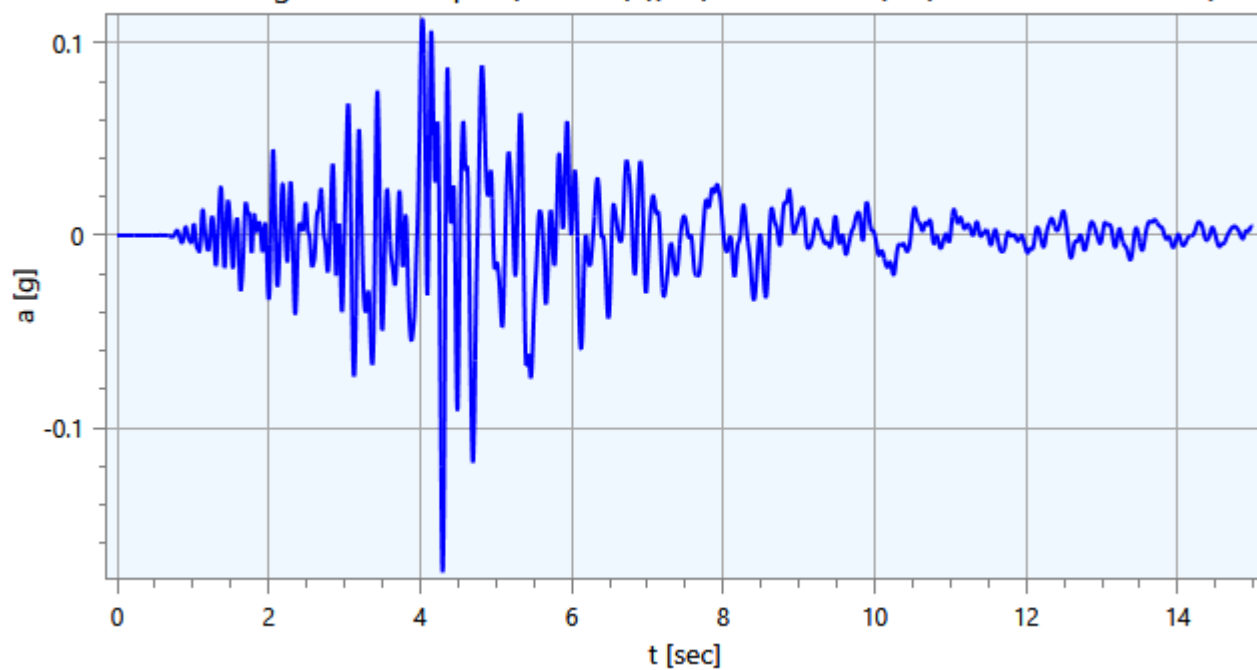
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 21DirezioneX)



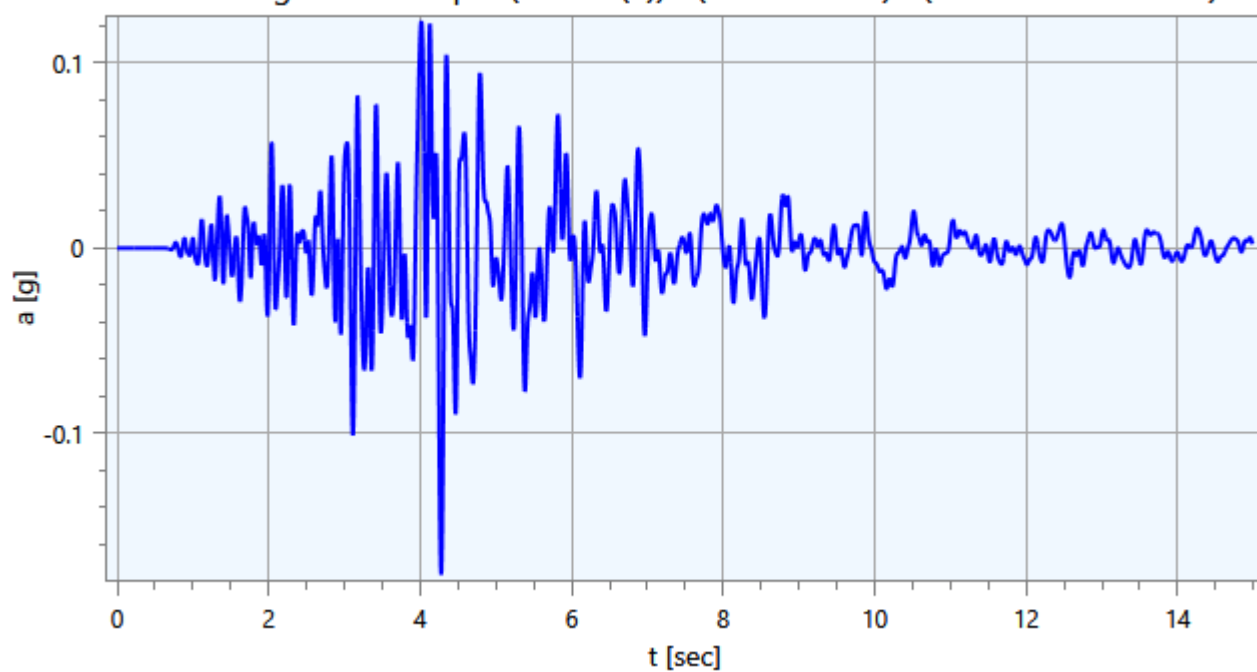
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione5) - (Nodo 24DirezioneX)



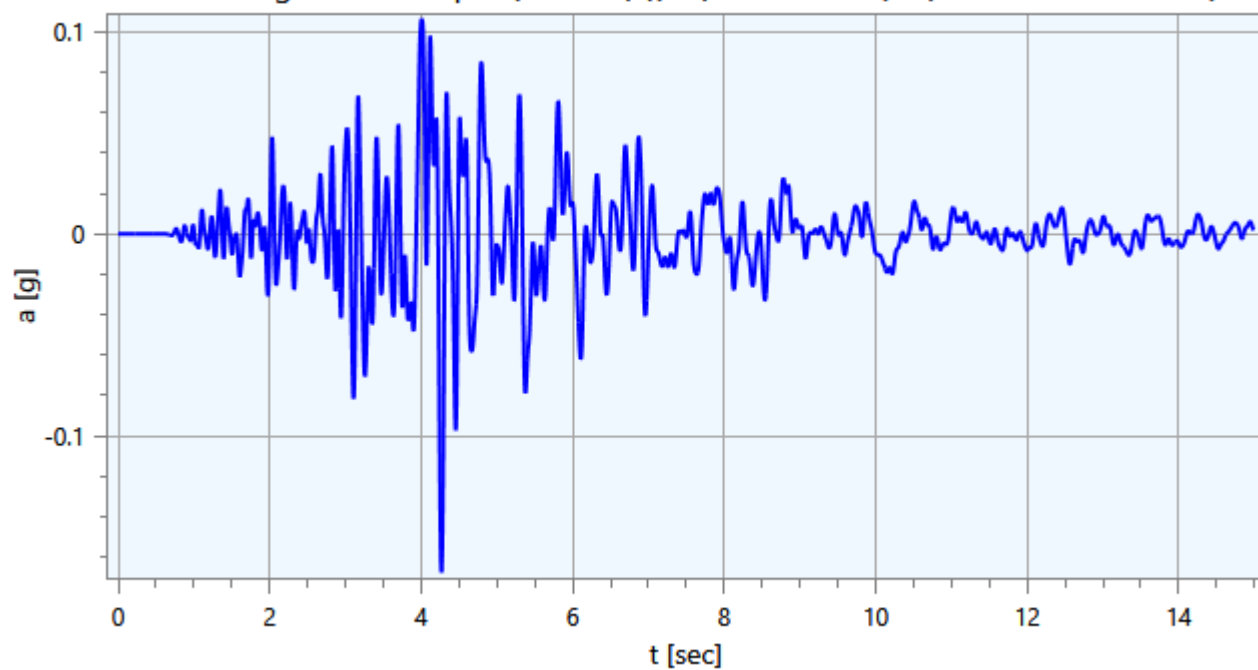
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 13DirezioneX)



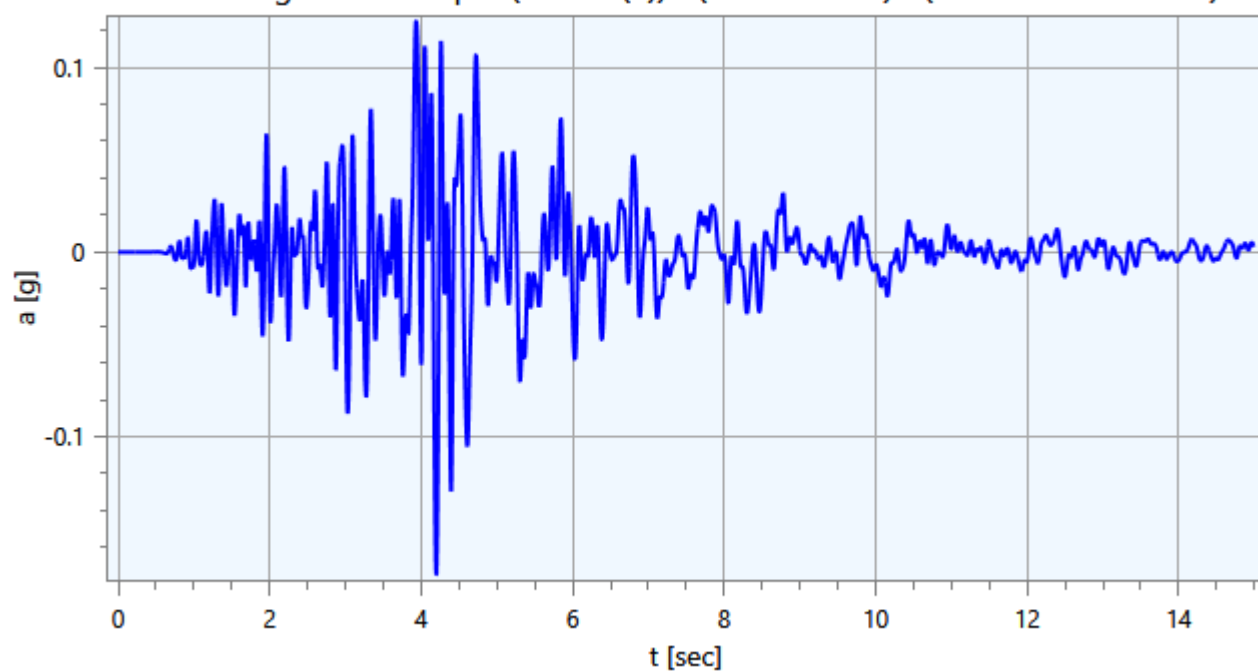
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 18DirezioneX)



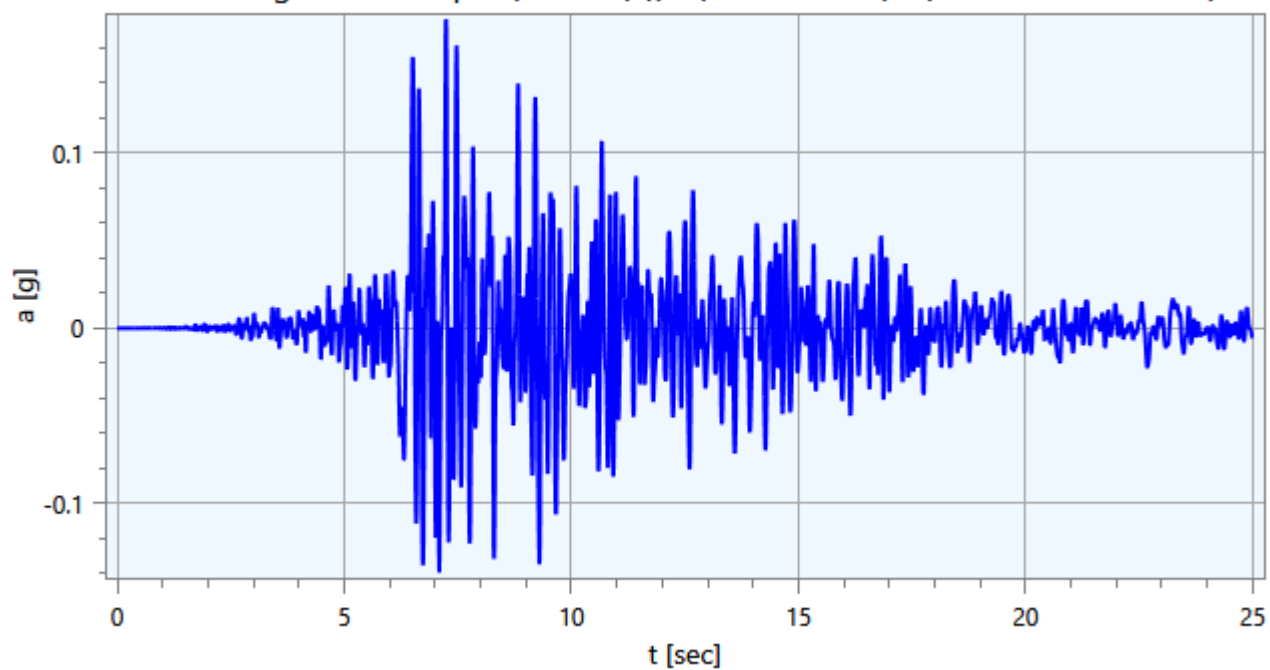
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 21DirezioneX)



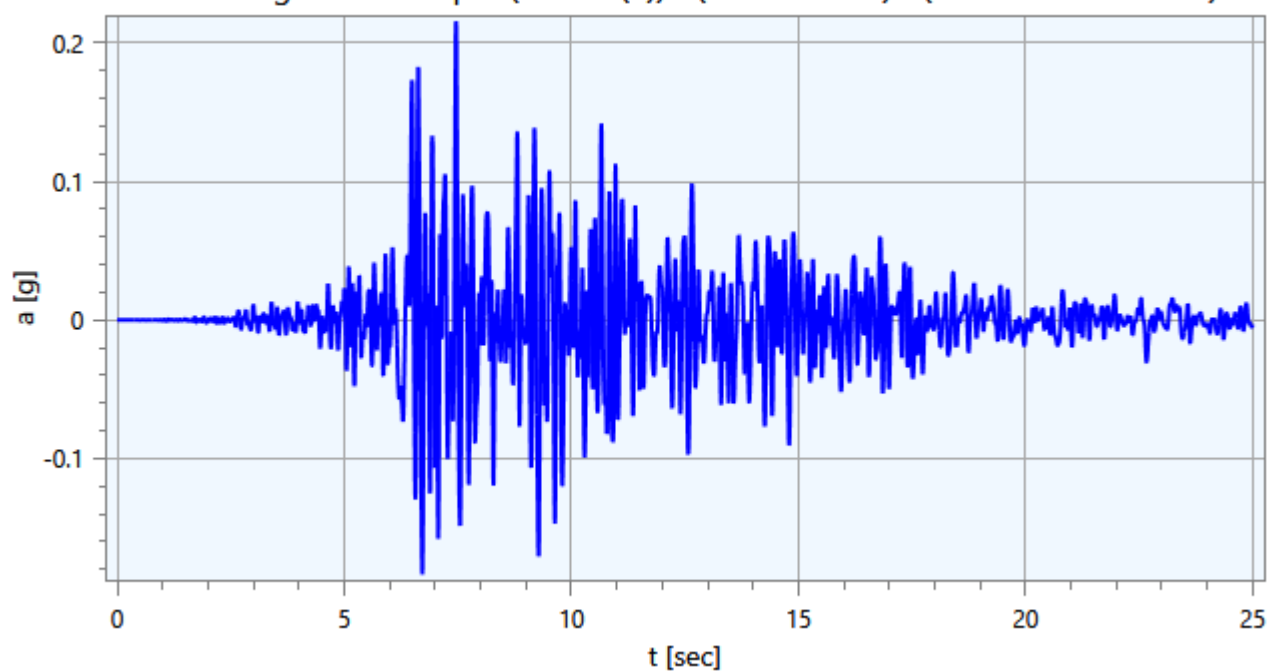
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 24DirezioneX)



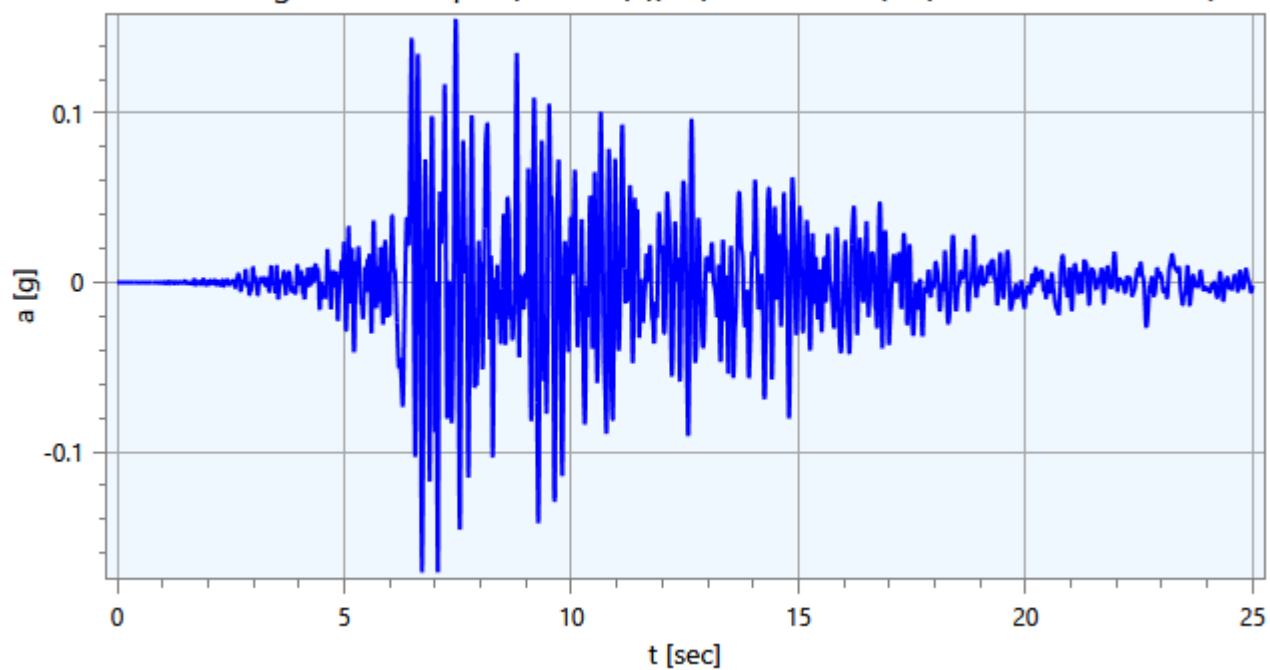
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 13DirezioneX)



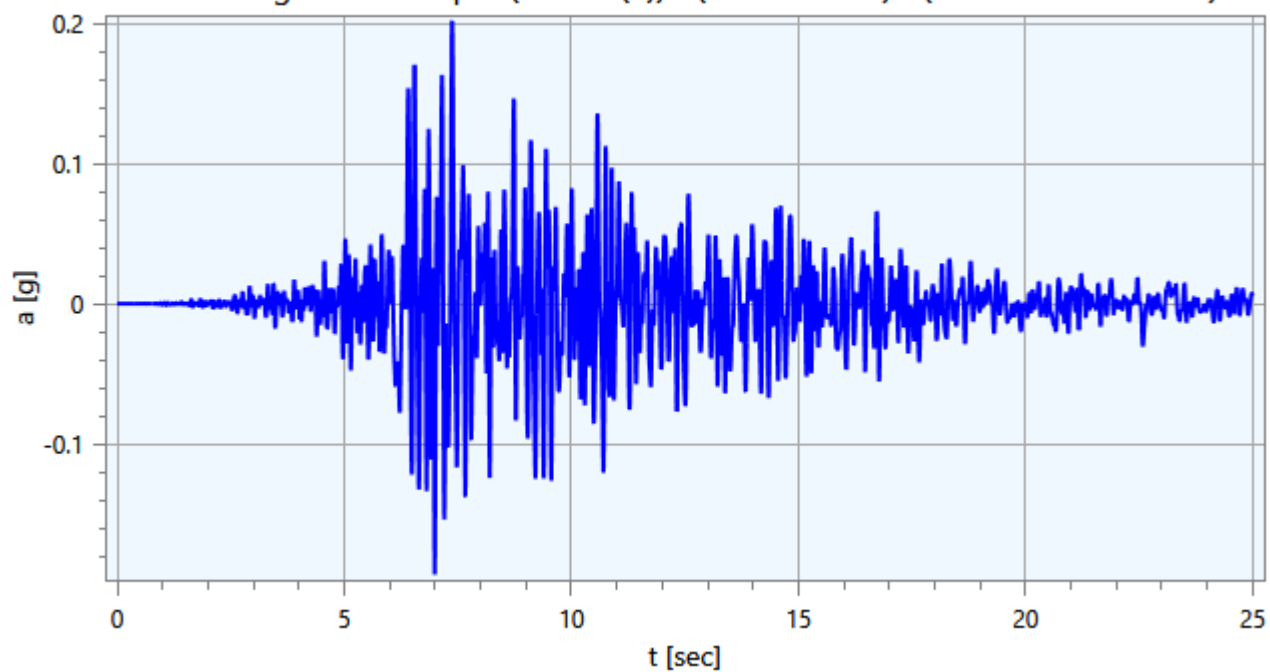
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 18DirezioneX)

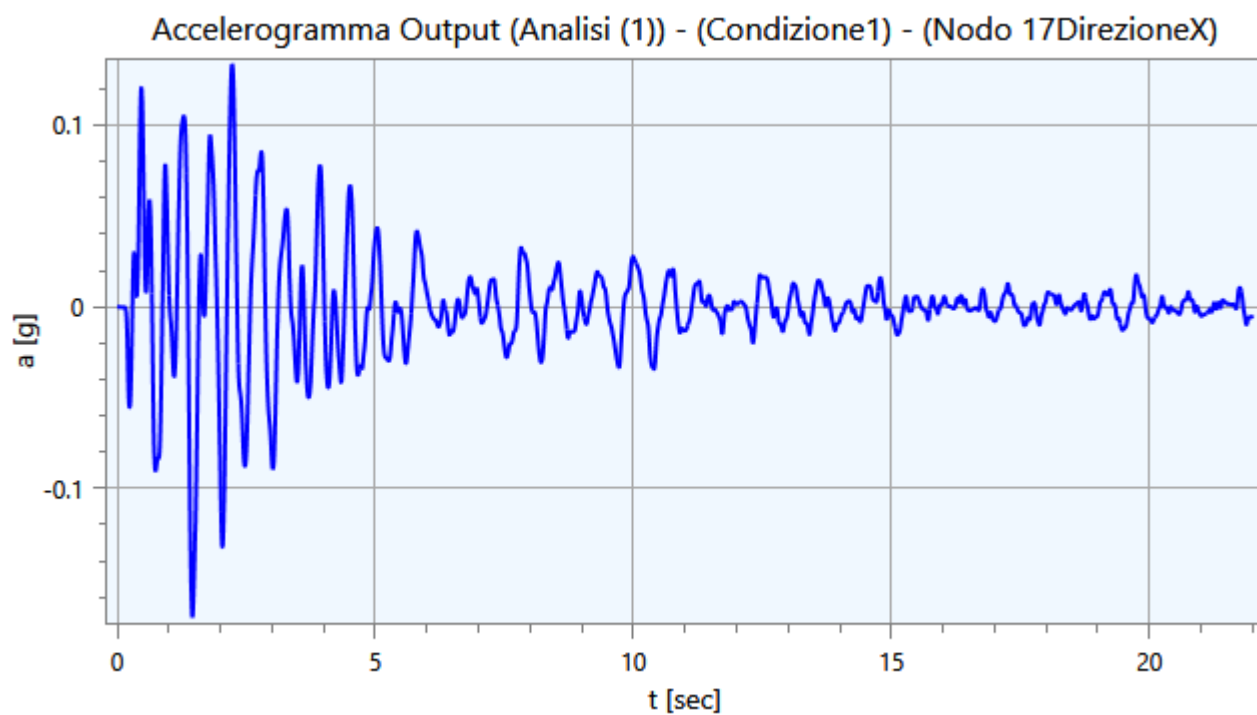
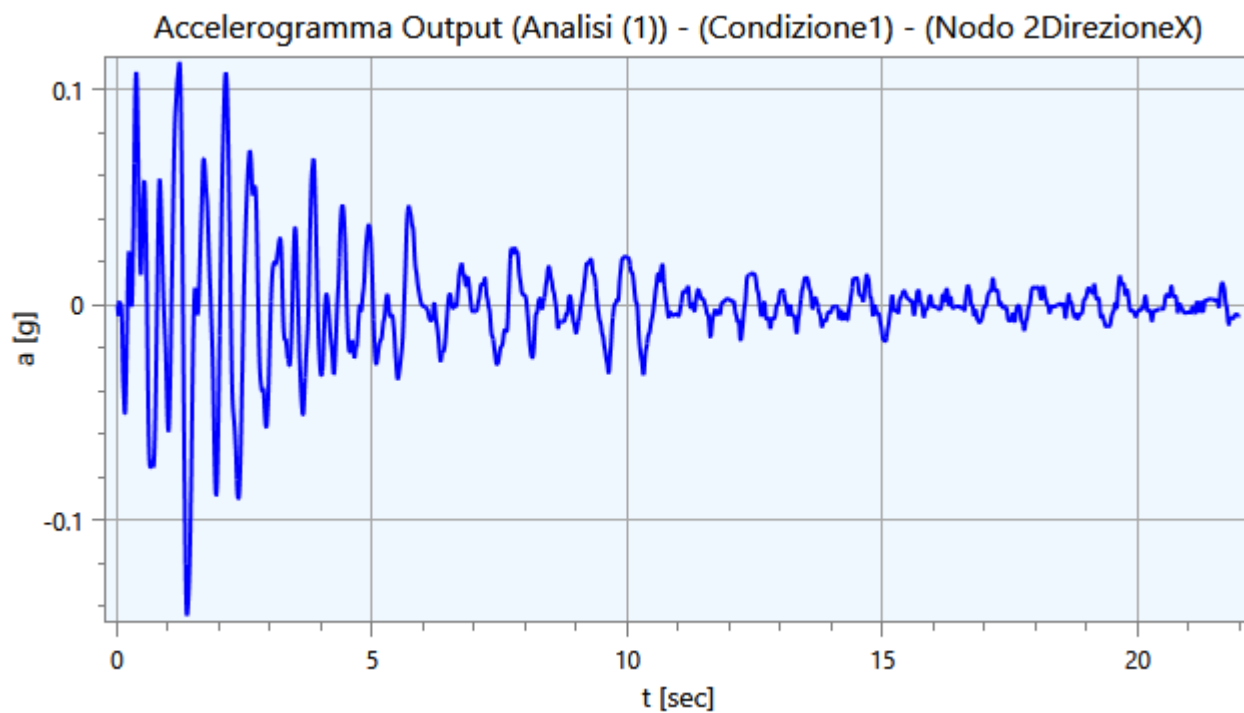


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 21DirezioneX)

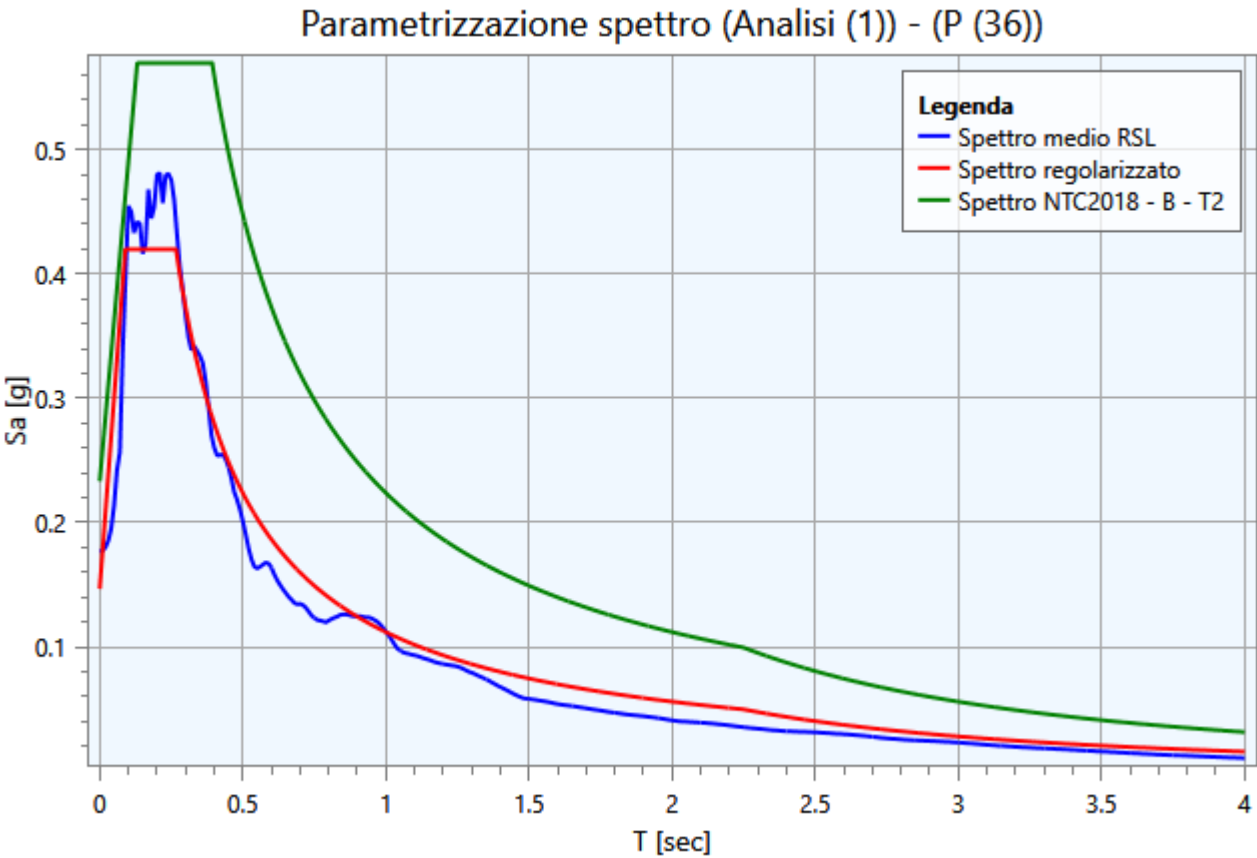
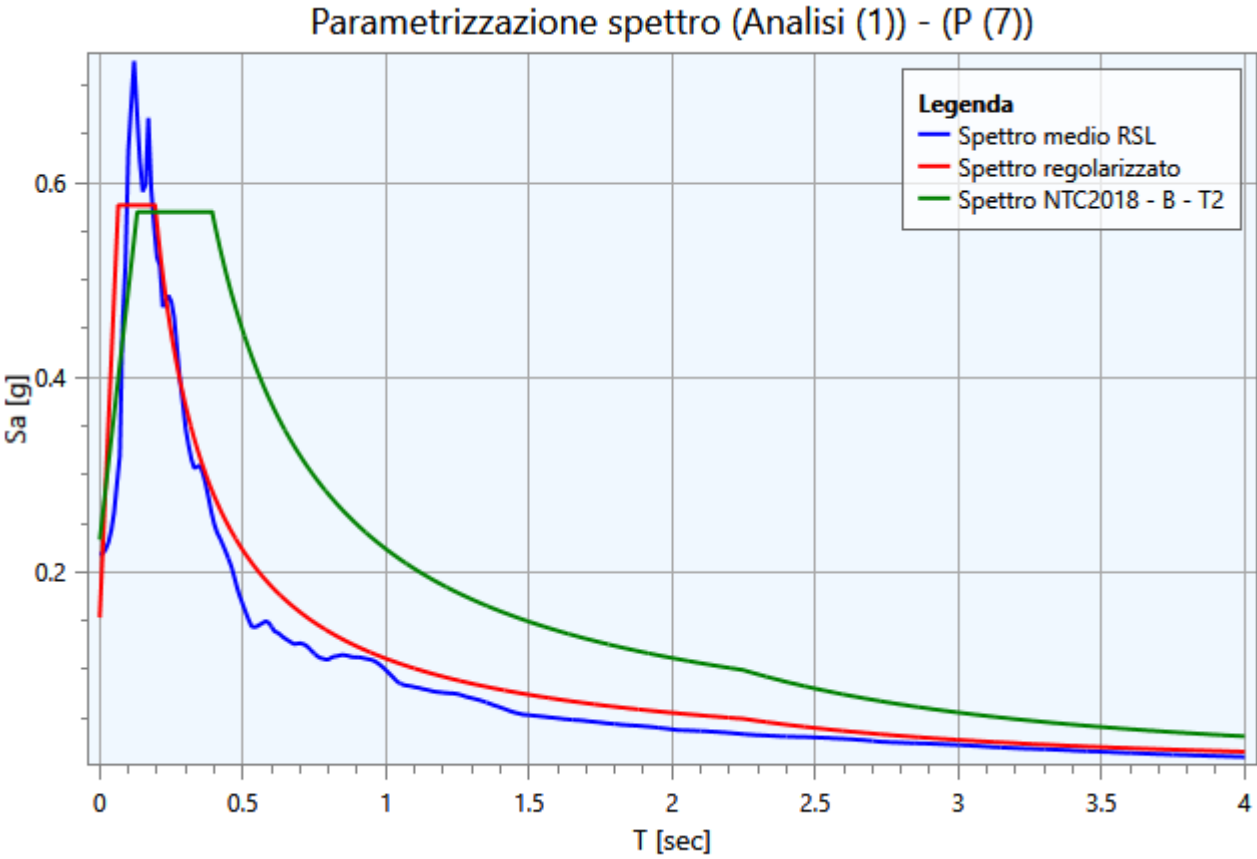


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 24DirezioneX)

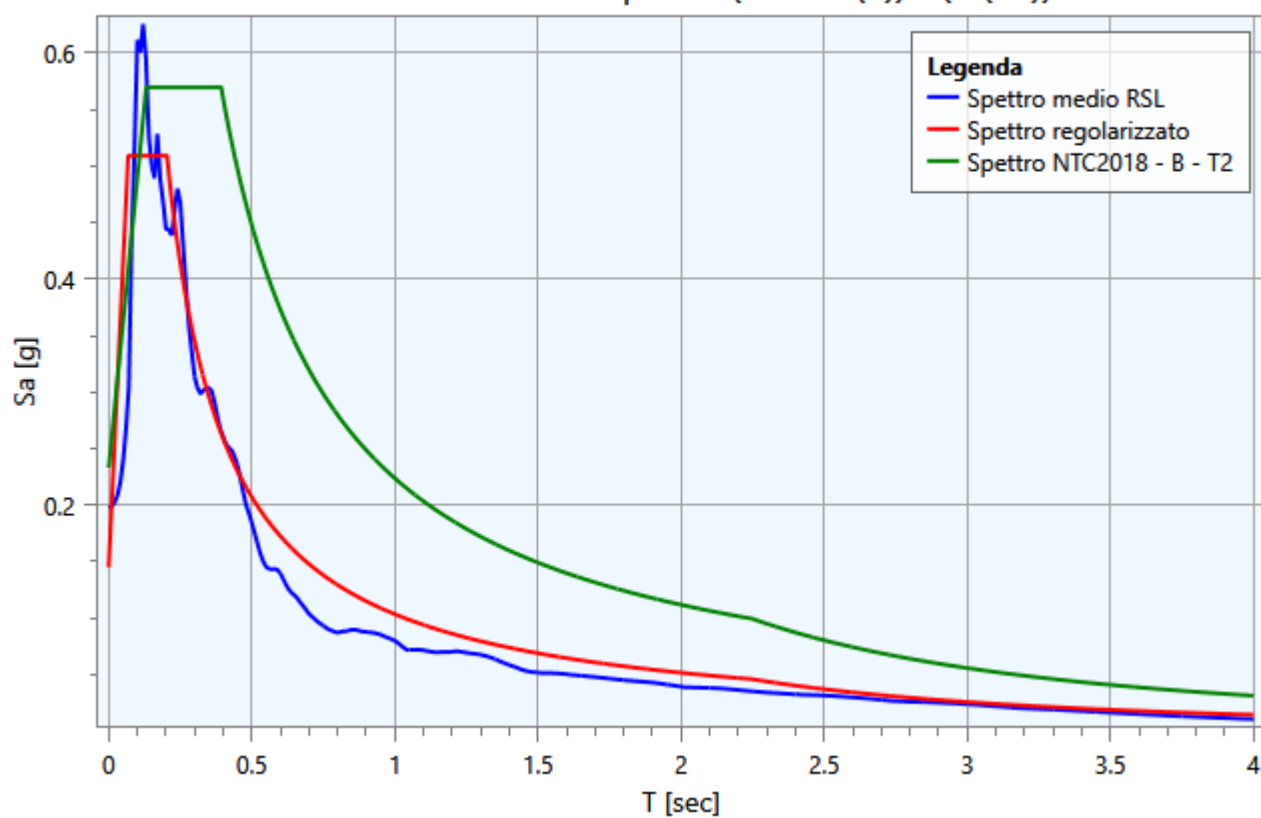




ALLEGATO 5 - Spettri medi di output
Sezione 056

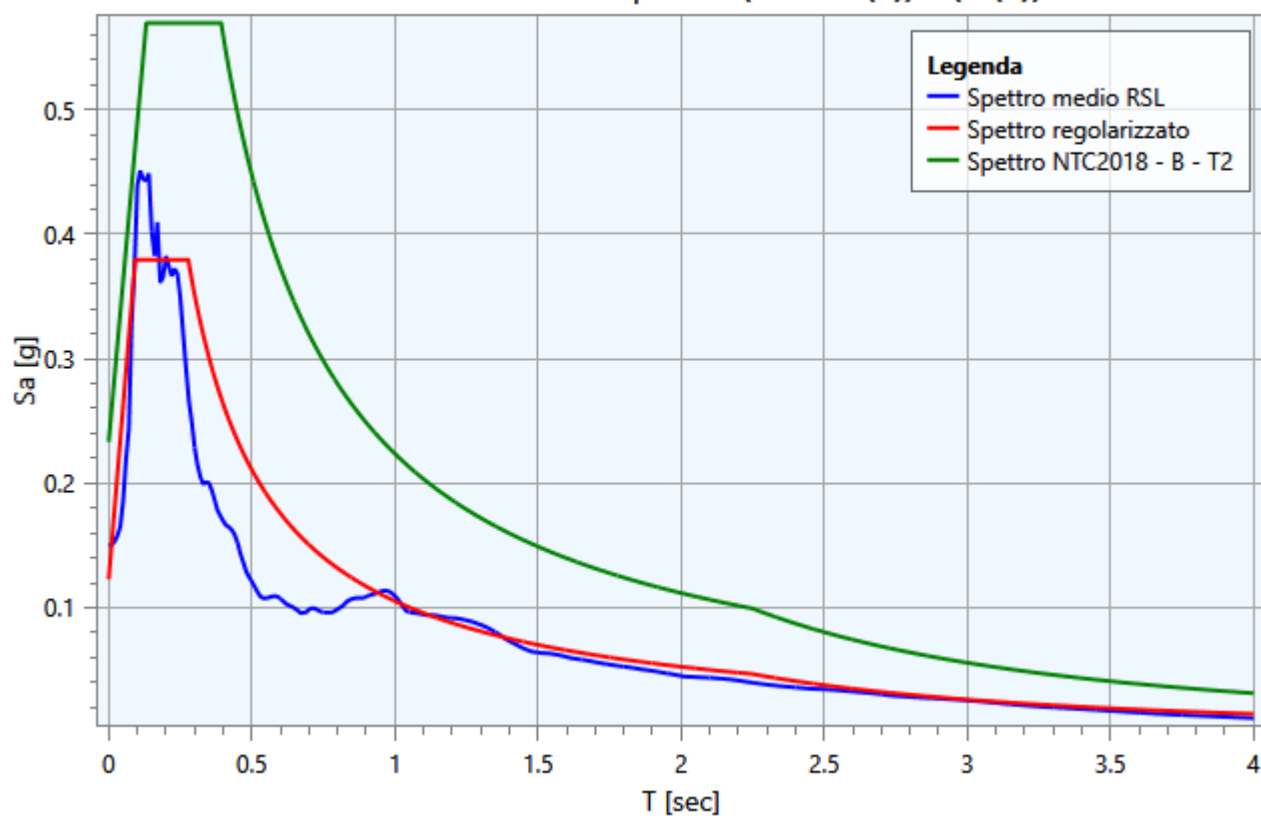


Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (39))

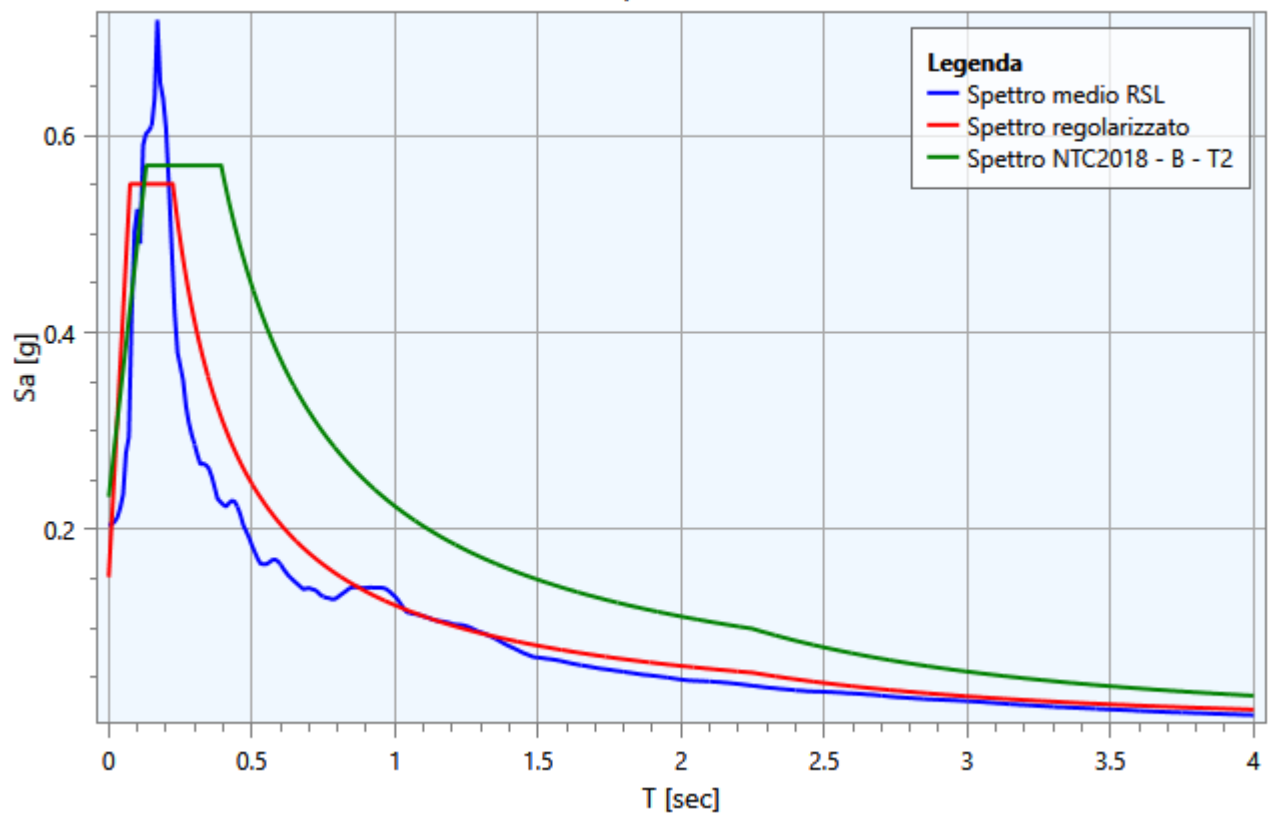


Sezione 166

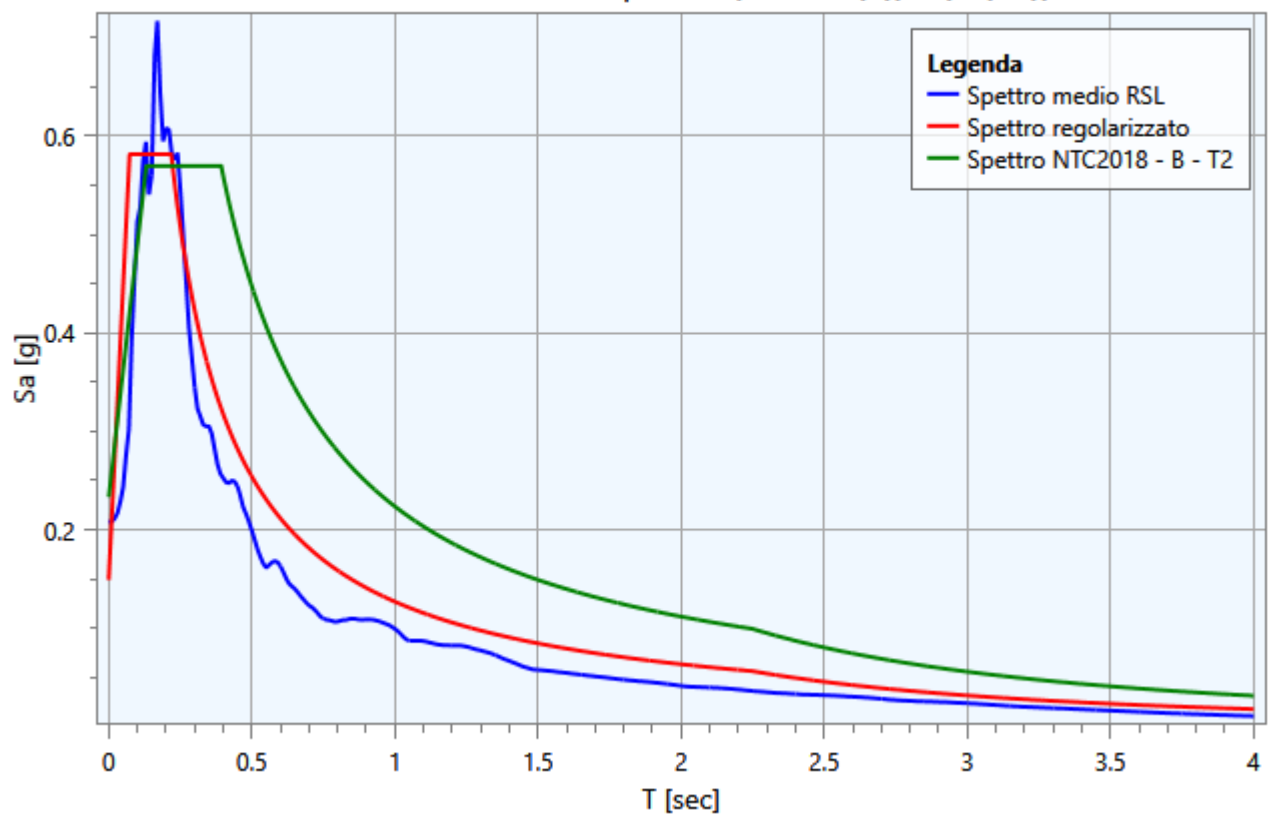
Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (8))

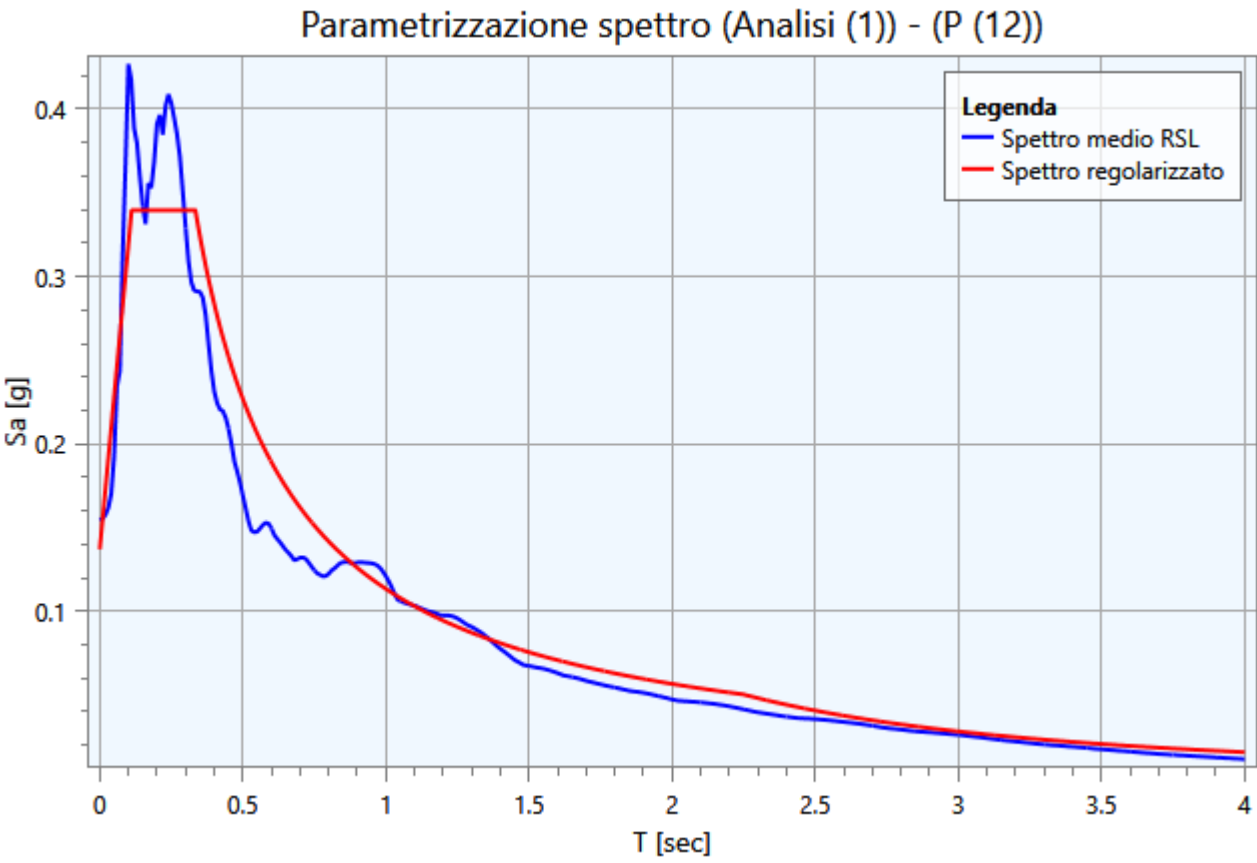


Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (28))

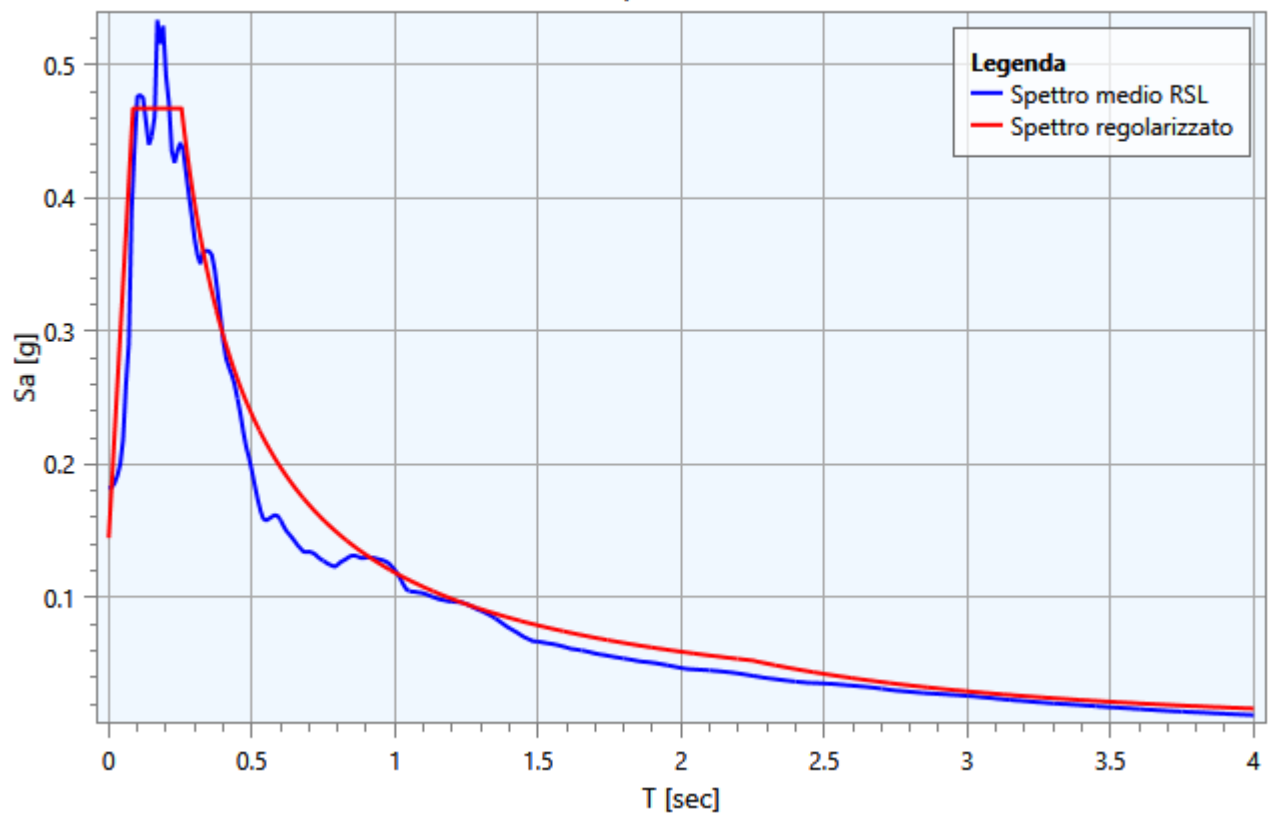


Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (31))

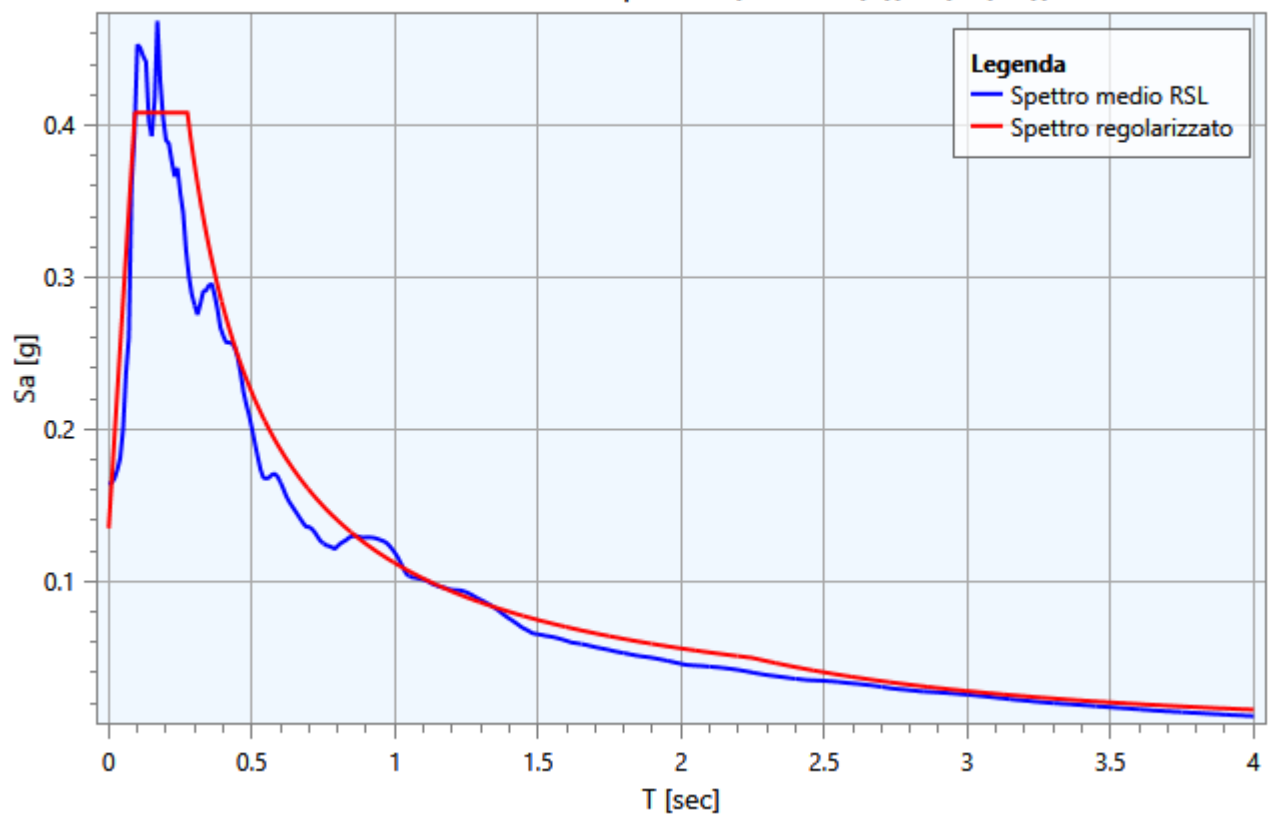


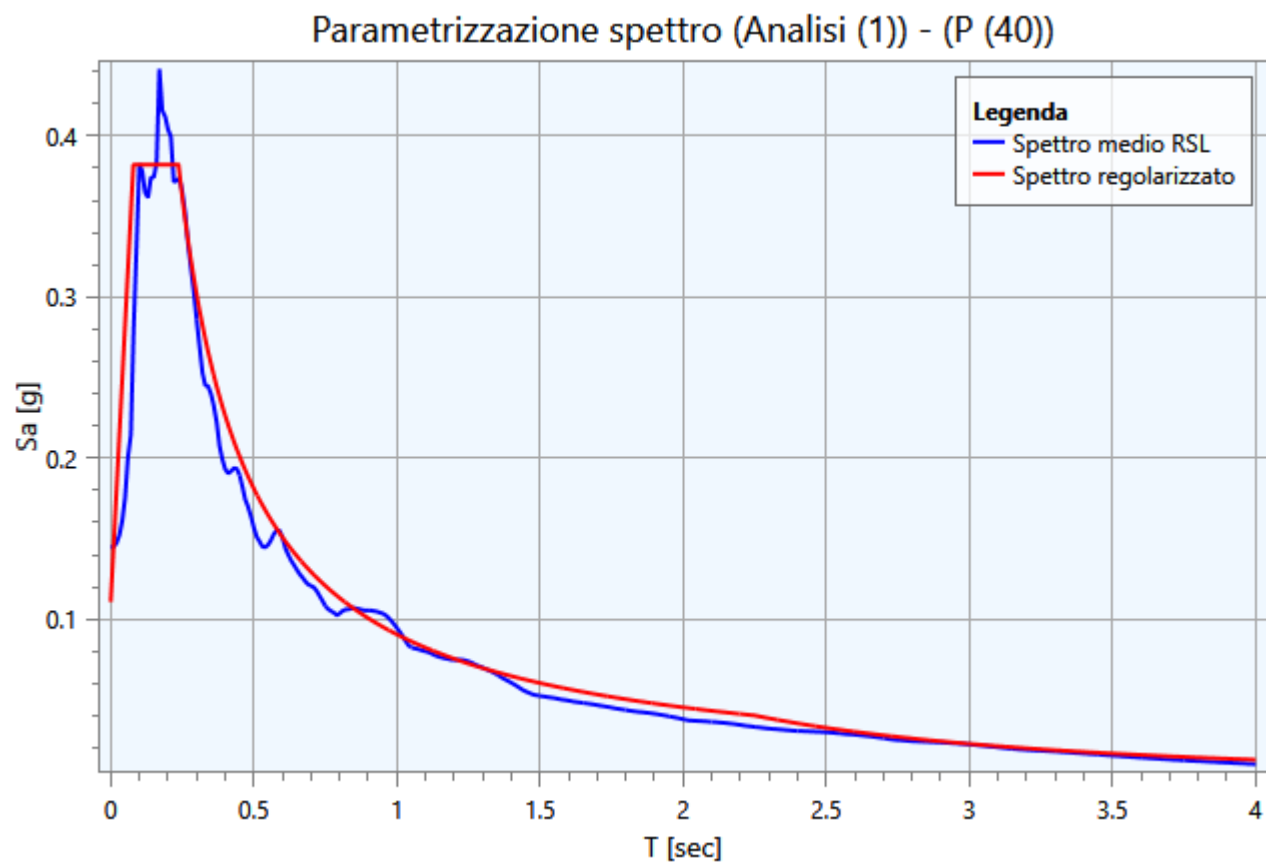


Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (18))



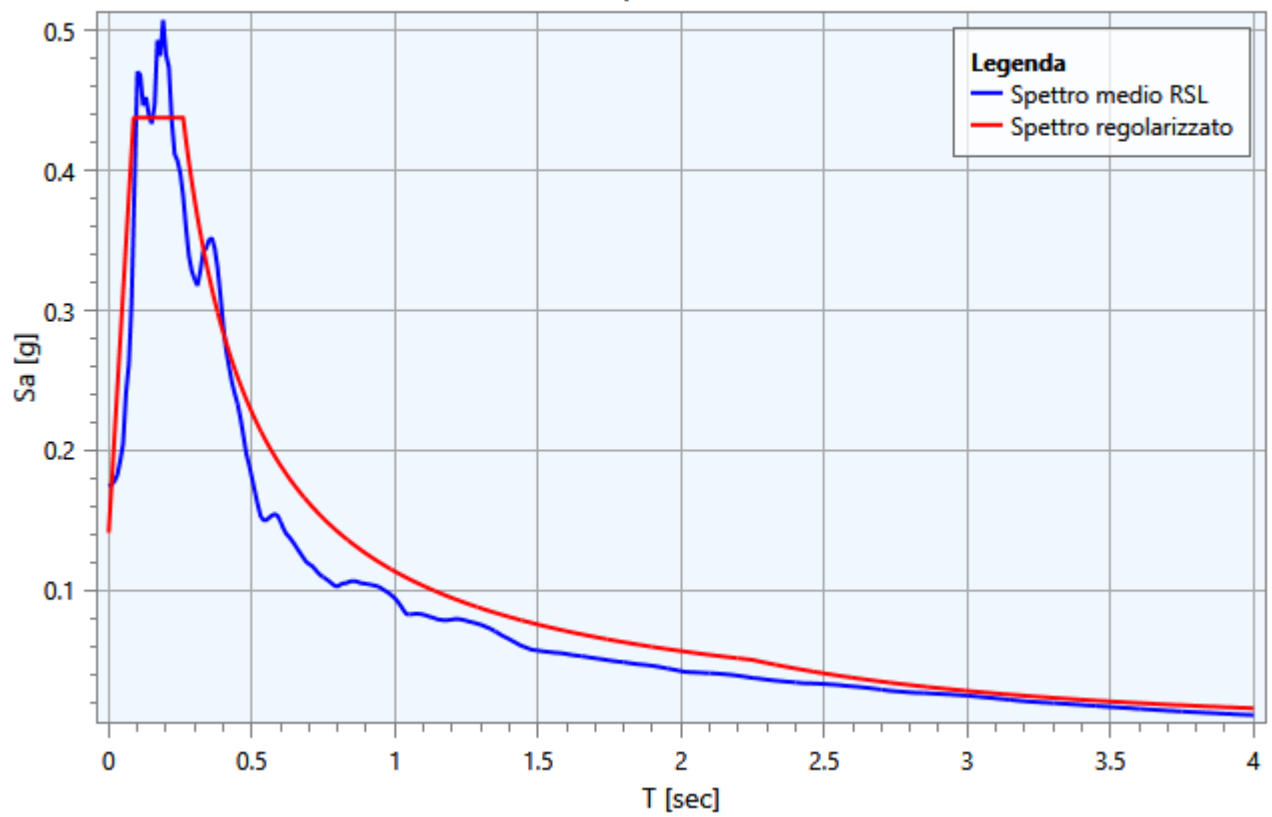
Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (23))



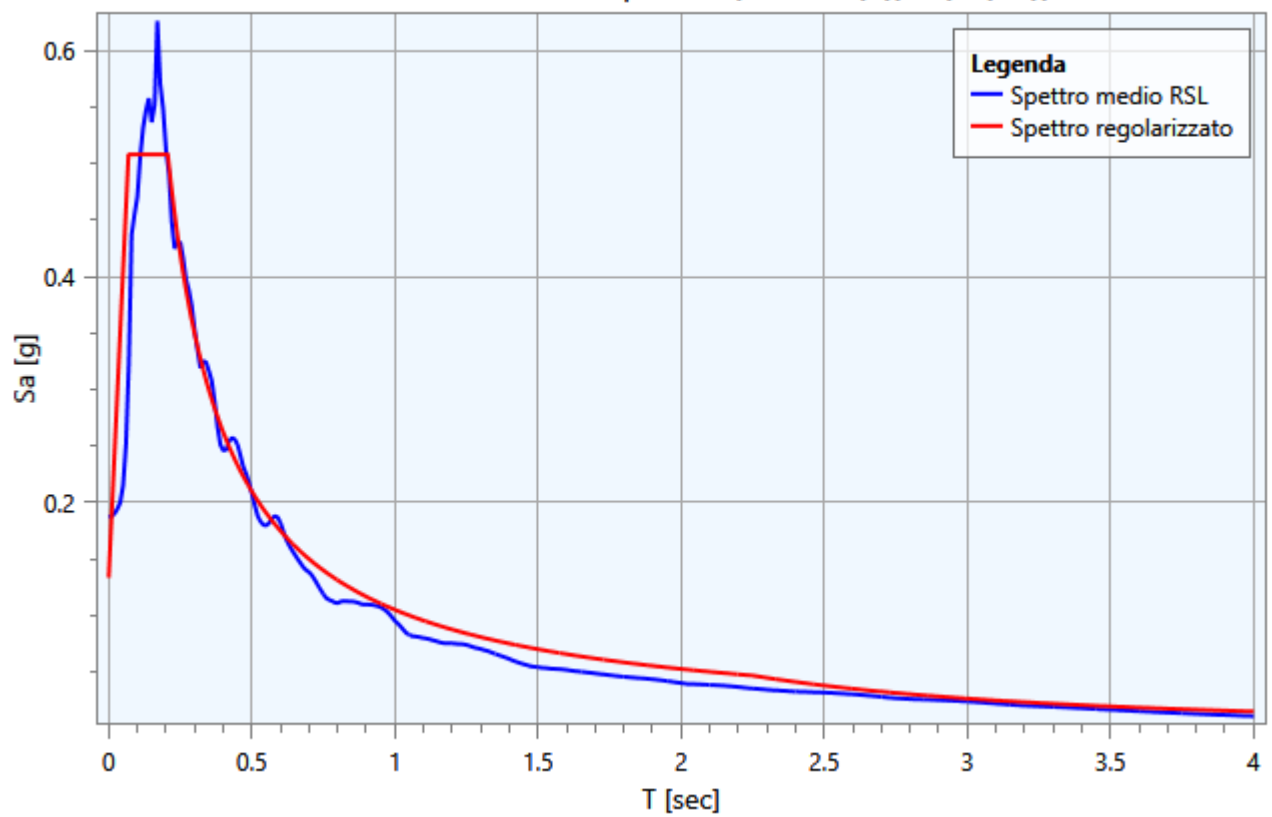


Sezione Bardino

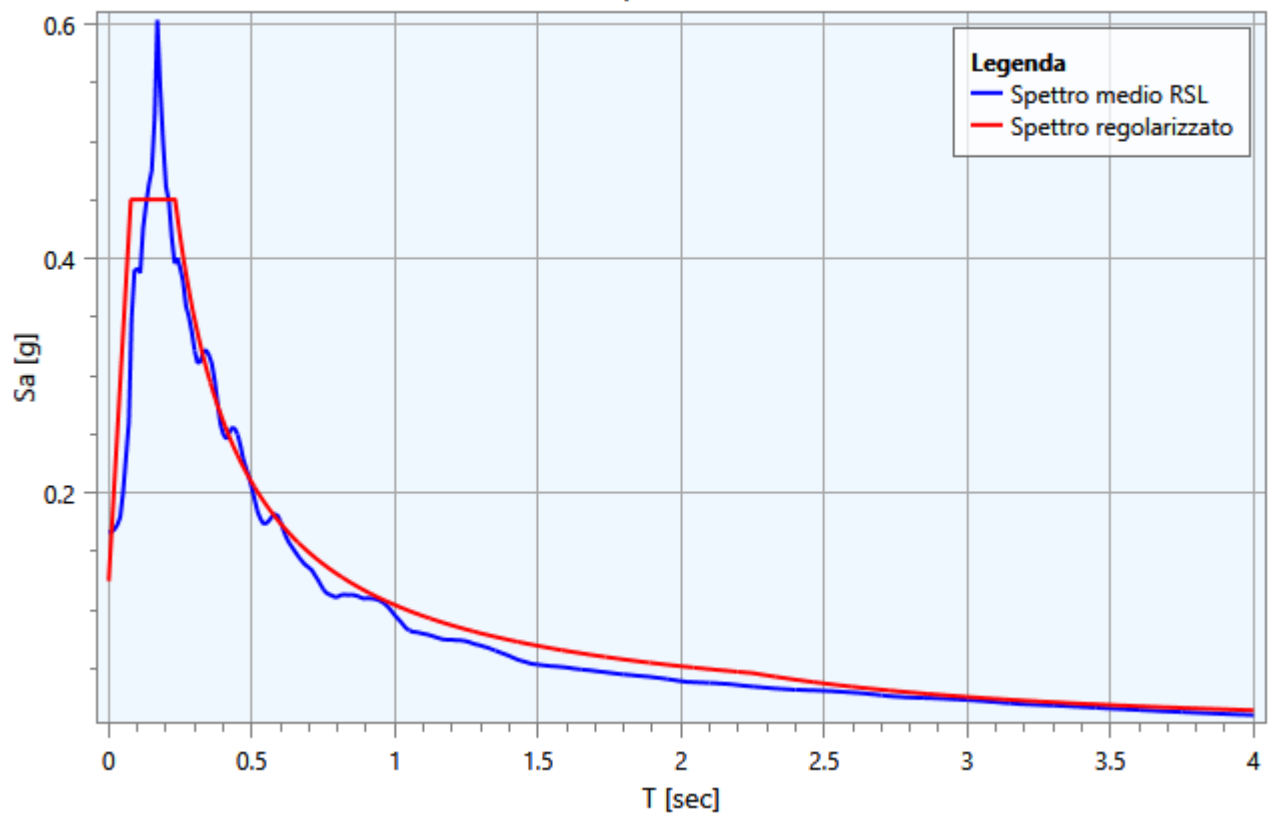
Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (13))



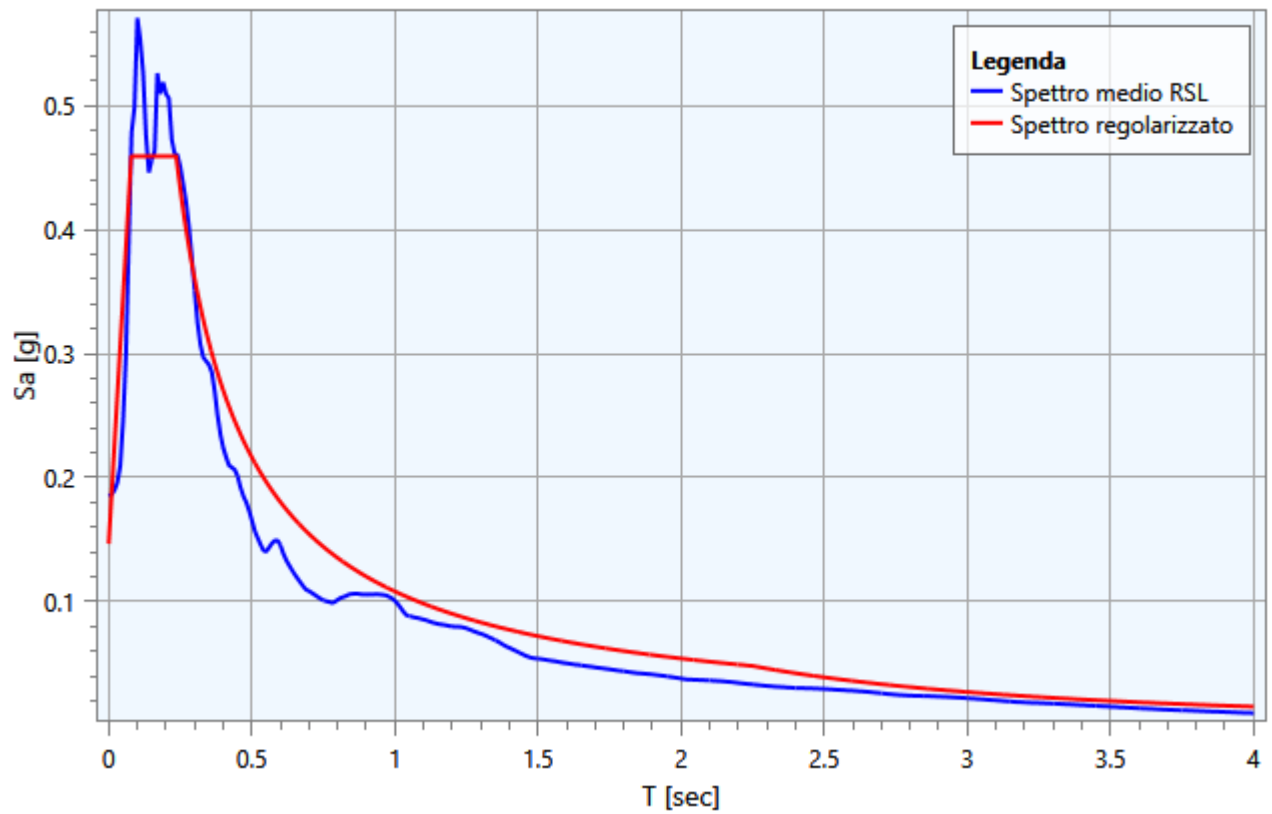
Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (18))



Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (21))



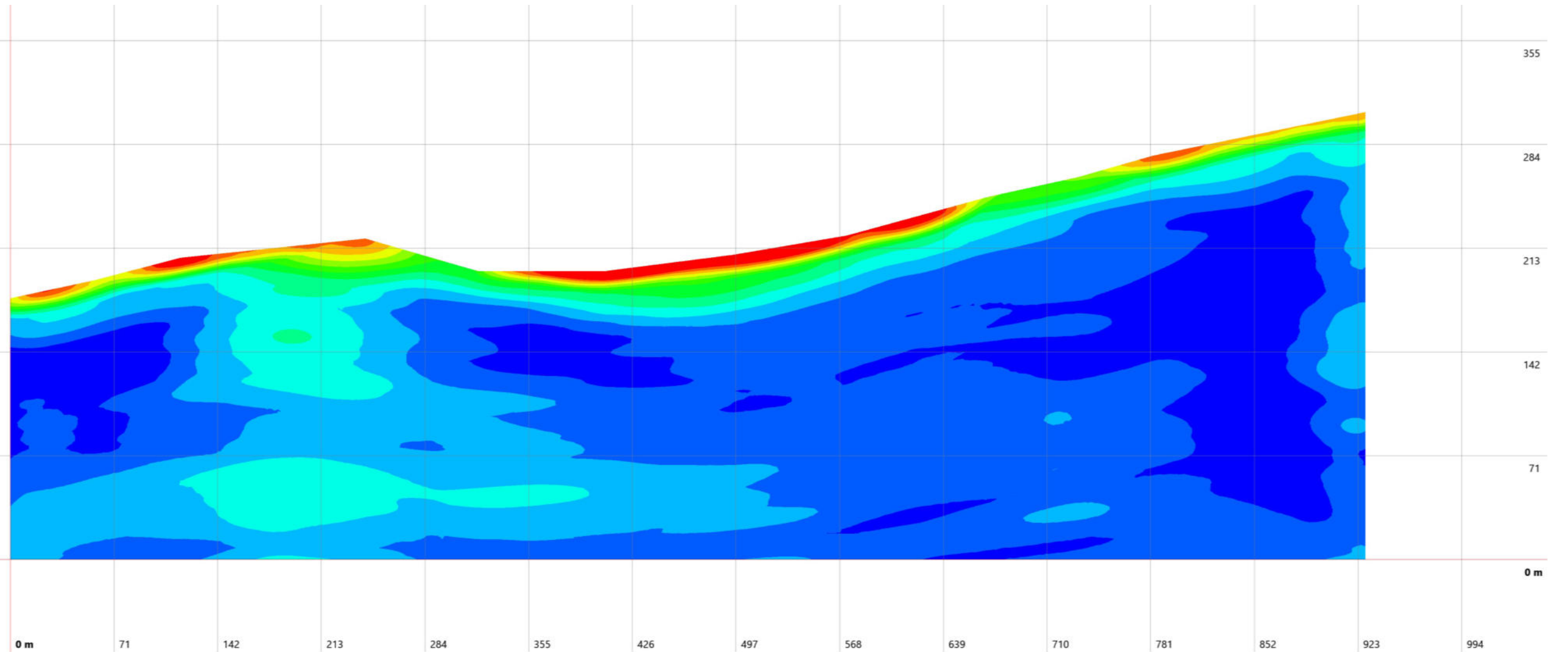
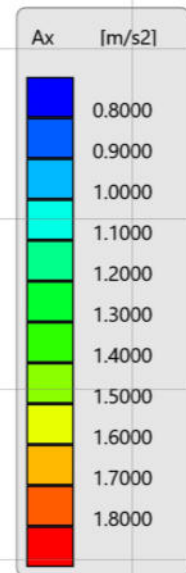
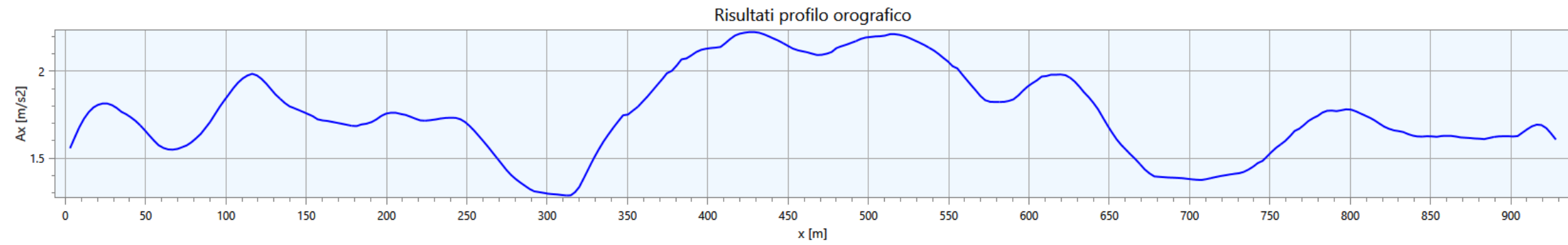
Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (24))



DISTRIBUZIONE ACCELERAZIONE ORIZZONTALE SEZIONE 056

W

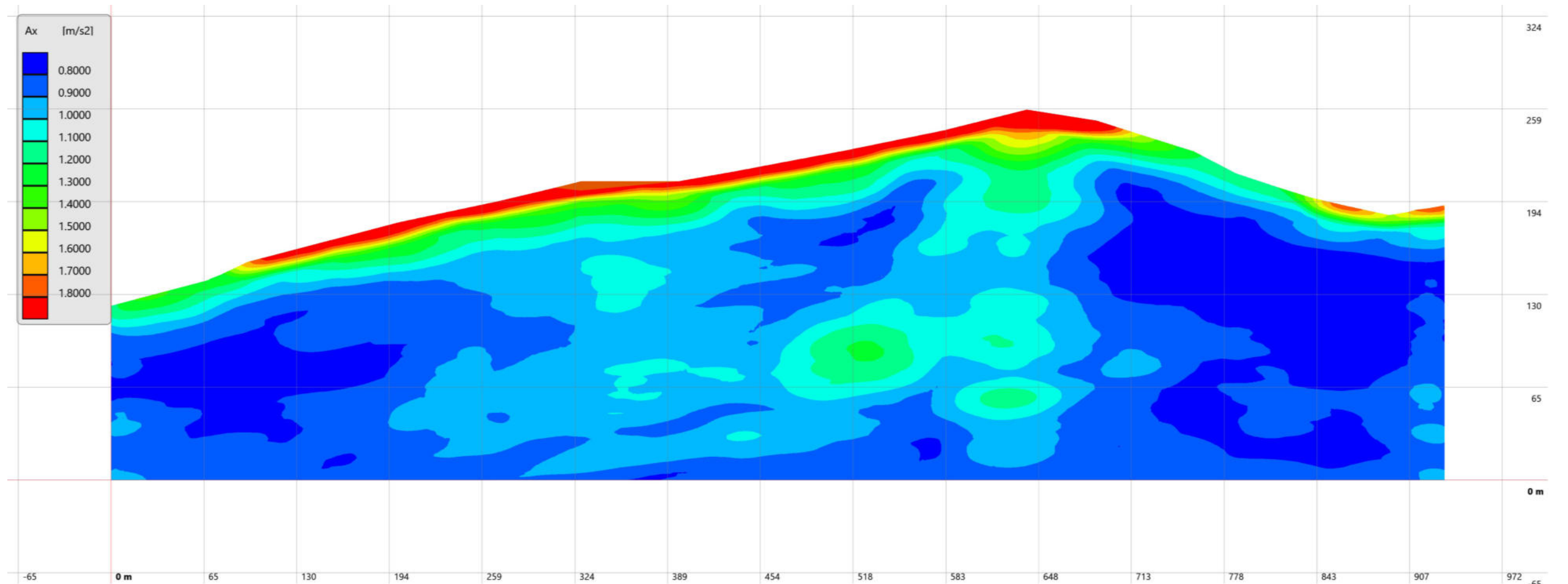
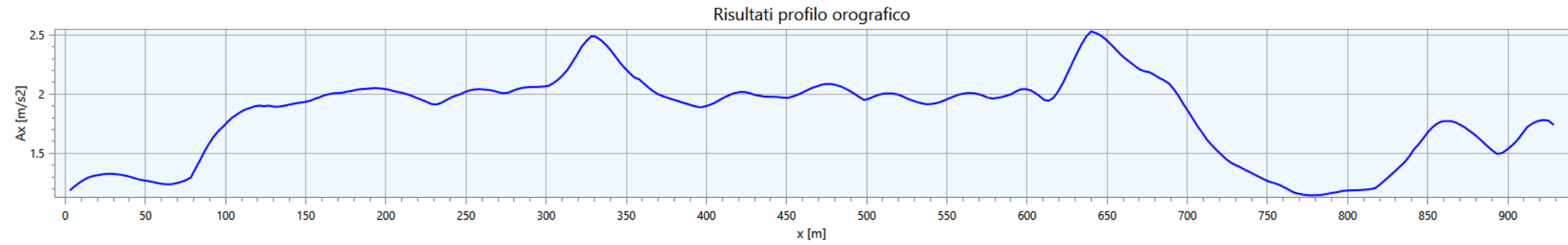
E



DISTRIBUZIONE ACCELERAZIONE ORIZZONTALE SEZIONE 166

W

E

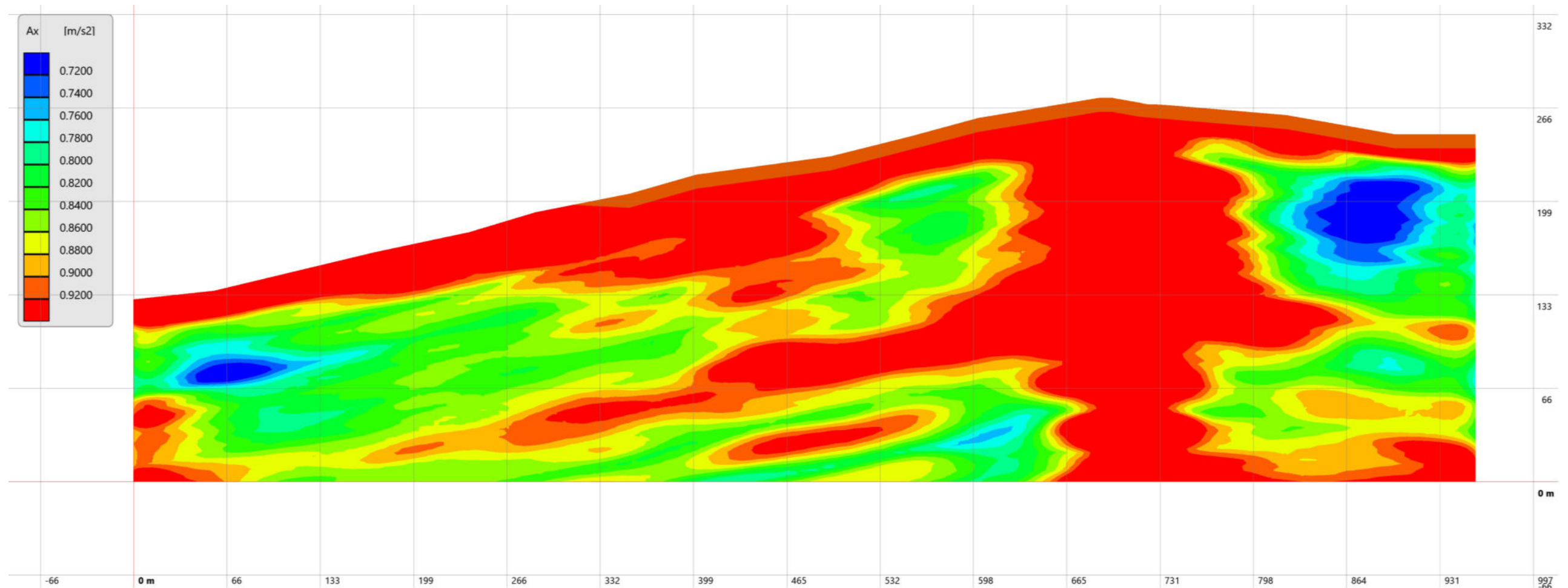
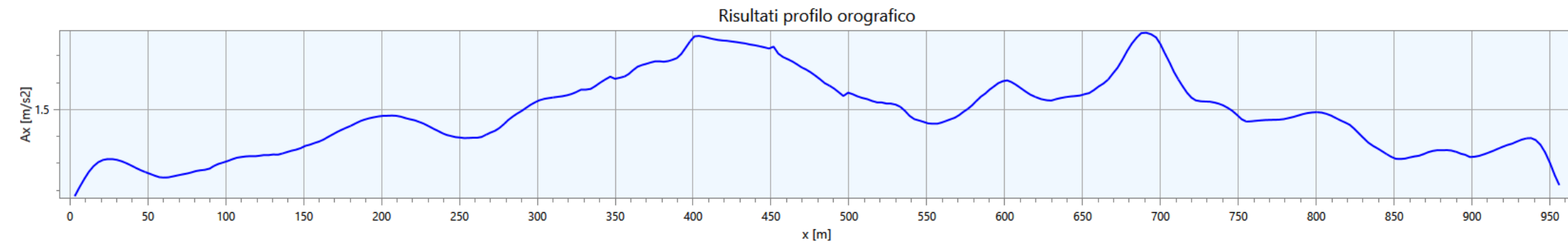


IND.A.G.O. s.n.c.
Indagini e Opere Ambientali e Geologiche
via Balzan, 1 - 45100 Rovigo - tel. 0425-25185
www.indago-rovigo.it

DISTRIBUZIONE ACCELERAZIONE ORIZZONTALE SEZIONE 187

W

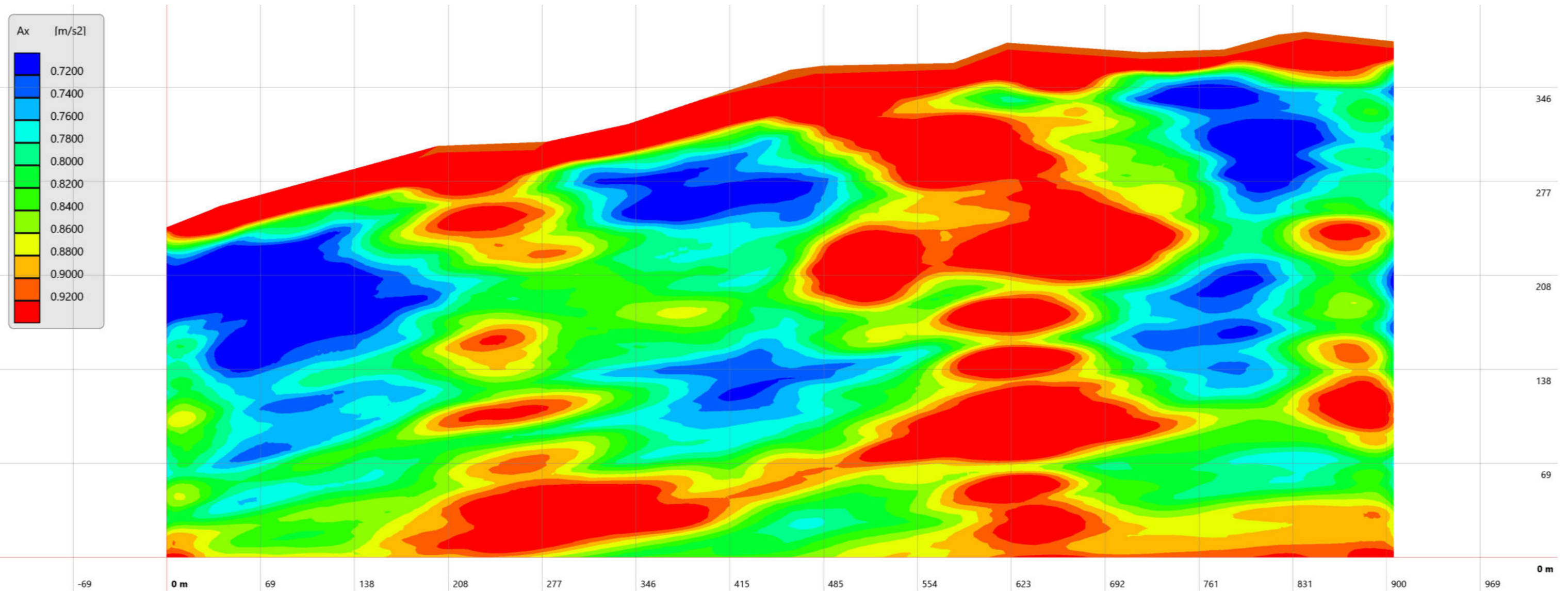
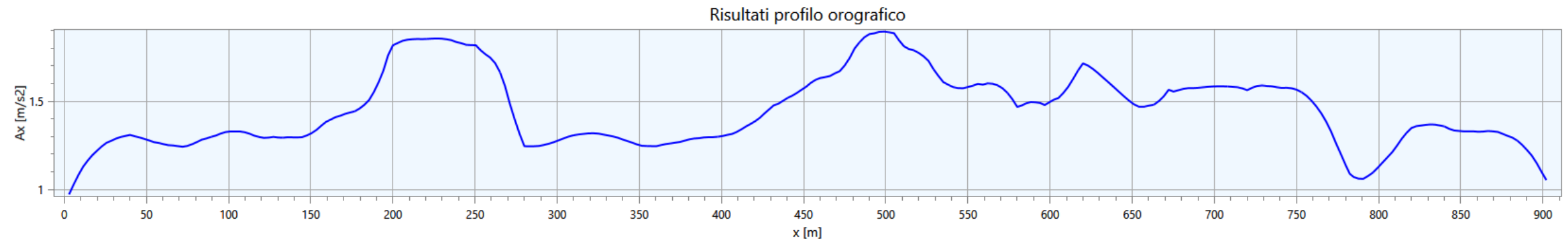
E



DISTRIBUZIONE ACCELERAZIONE ORIZZONTALE BARDINO

W

E



IND.A.G.O. s.n.c.
Indagini e Opere Ambientali e Geologiche
via Balzan, 1 - 45100 Rovigo - tel. 0425-25185
www.indago-rovigo.it

ALL. 7: RAPPORTO TECNICO MASW

Sommario

1. Premessa 2

2. Metodo Re.Mi e Masw 2

3. Modalità esecutive 3

4. Risultati prova ReMi-MASW 4

Allegati

Modello Vs/z

1. Premessa

Lo scrivente, su incarico della Dott.ssa Geologa Angela Pozzani, ha eseguito una campagna di misure geofisiche nel comune di Torri del Benaco (VR), mediante i metodi MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) e ReMi (Refraction Microtremor).

La figura che segue riporta l'ubicazione delle indagini.

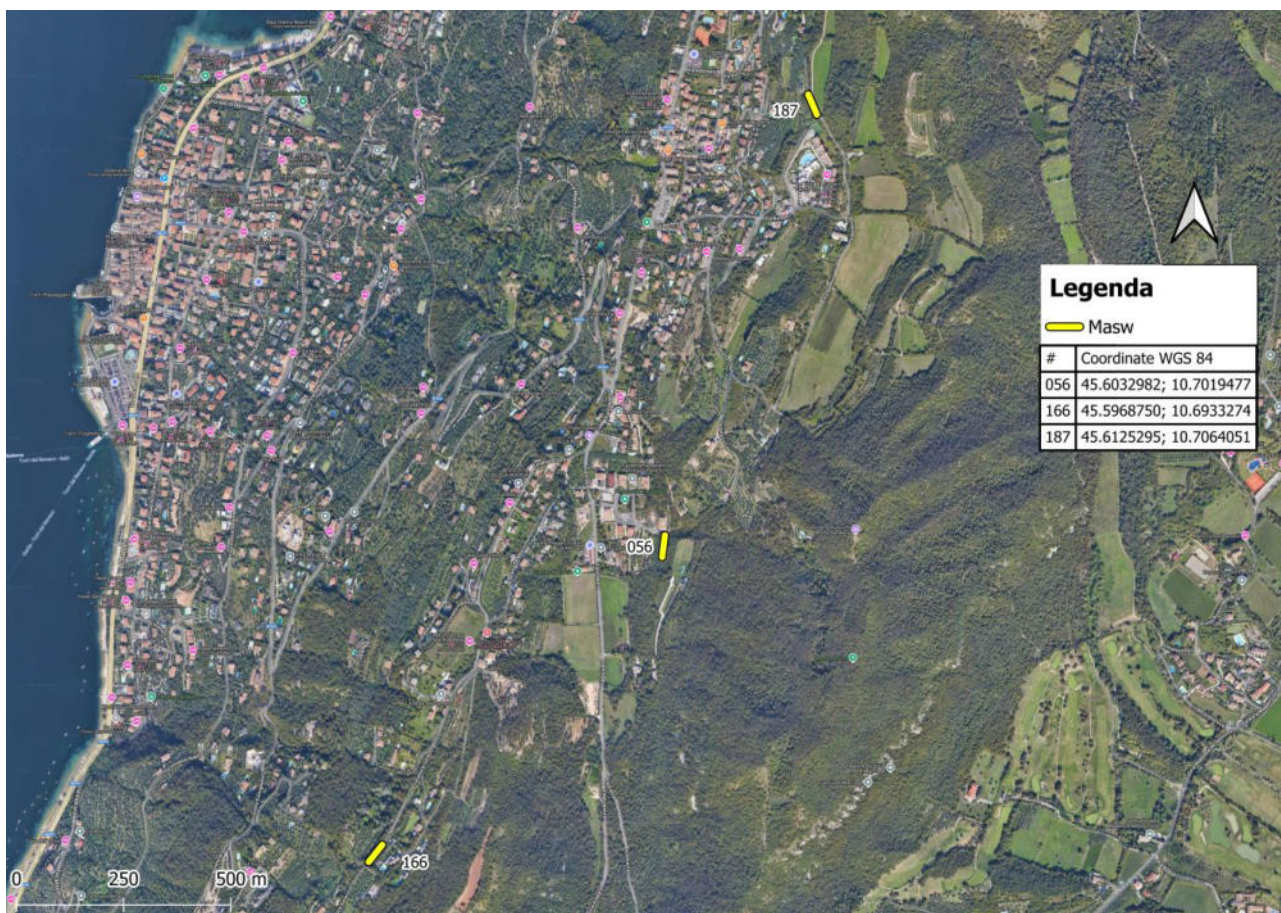


Fig. 1: Planimetria con ubicazione delle indagini.

2. Metodo Re.Mi e Masw

Il metodo utilizzato sfrutta le onde di superficie e il fenomeno della loro (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza). In acquisizioni terrestri solitamente le onde che si vanno a studiare sono quelle di Rayleigh; tali onde si propagano lungo la superficie topografica di uno strato, di profondità pari alla lunghezza d'onda. In mezzi stratificati le diverse lunghezze d'onda si propagano con velocità dipendenti dalle proprietà dei materiali. Ciò fa sì che la velocità di fase sia funzione della frequenza dell'onda stessa. Tale dipendenza prende il nome di dispersione geometrica e viene rappresentata tramite la curva di dispersione (velocità di fase vs. frequenza). La propagazione delle onde di

superficie è un fenomeno multimodale: una stessa frequenza può propagarsi contemporaneamente a diverse velocità, e ogni velocità viene chiamata modo.

Dalla curva di dispersione sperimentale è possibile caratterizzare il sottosuolo in termini di variazione della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_{sv}), e quindi del modulo di rigidità al taglio dinamico (G_0), in funzione della profondità.

L'utilizzo delle prove basate sulla propagazione delle onde superficiali ha molti campi di applicazione: stima della V_{seq} richiesta dalle NTC2018, valutazione dei parametri utili a studi approfonditi di pericolosità sismica, ricostruzione sismica del sottosuolo.

Il metodo assume che il terreno sia un mezzo elastico-lineare a strati omogenei. Nella maggior parte delle applicazioni, la tecnica è quindi utilizzata per stimare un profilo verticale 1D di V_s , ma vi sono molte applicazioni in siti con moderate variabilità laterali in cui il metodo consente di stimare distribuzioni di V_s pseudo-2D/3D.

La tecnica di indagine per onde superficiali maggiormente utilizzata è la prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che si basa sulla misura delle onde superficiali eseguita con uno stendimento lineare di sensori sismici. Si tratta di un'indagine attiva (ossia viene energizzato il terreno tramite una massa battente), ma esiste anche il corrispondente passivo che prende il nome di Re.Mi (Refraction Microtremor).

3. Modalità esecutive

Per l'acquisizione del segnale si utilizza la strumentazione classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza (preferibilmente da 4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure è stato utilizzato un sismografo a 48 canali mod. Terraloc Pro della ABEM Instruments, a 24 bits.



Fig. 2: Esecuzione prova MASW-REMI

Sono stati realizzati tre profili lineari con un interdistanza tra i geofoni di 2 m (24 geofoni). La battuta è stata effettuata a 5 m dall'ultimo geofono.

Le misure Re.Mi. sono state effettuate tramite 10 registrazioni da 30 secondi ciascuna, per le Masw invece 2 registrazioni da 2 secondi. I geofoni usati sono di tipo verticale da 4.5 Hz e grazie alla dinamica dello strumento (24 bits, range dinamico 120 dB), consentono la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati per ricostruire un modello Vs/profondità finalizzato alla composizione di un modello sismostratigrafico del terreno per lo studio di risposta sismica locale.

4. Risultati prova ReMi-MASW

Le indagini eseguite hanno permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino ad oltre 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative allo spettro di velocità e la curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

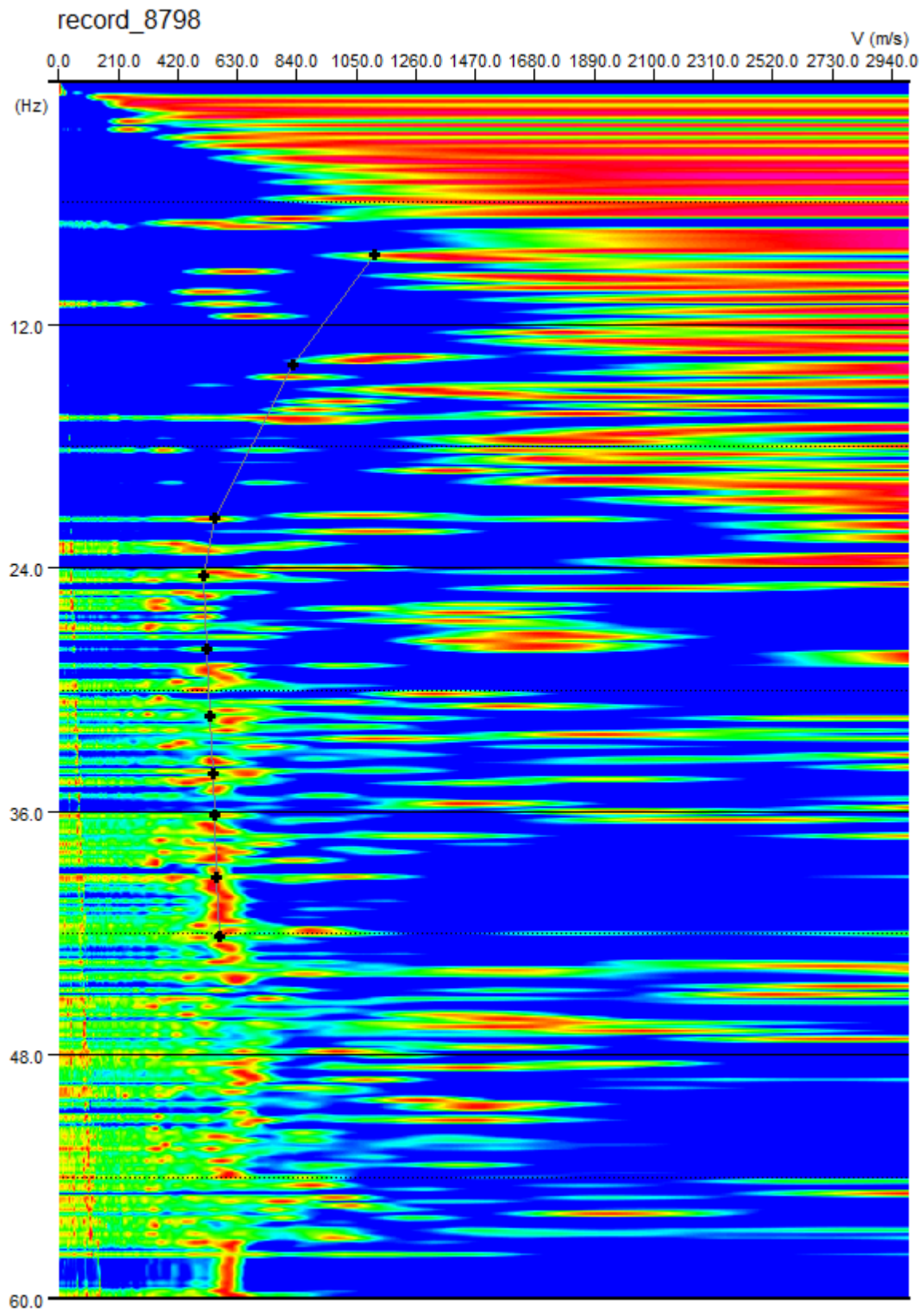
MASW 056

Fig. 3: Spettro di velocità.

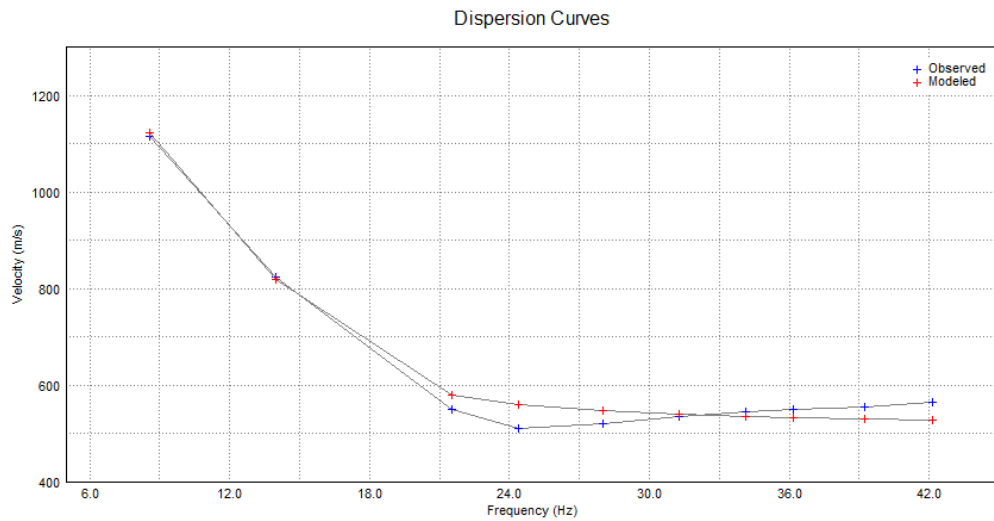


Fig.4: Curva di dispersione misurata (blu) e calcolata (rosso)

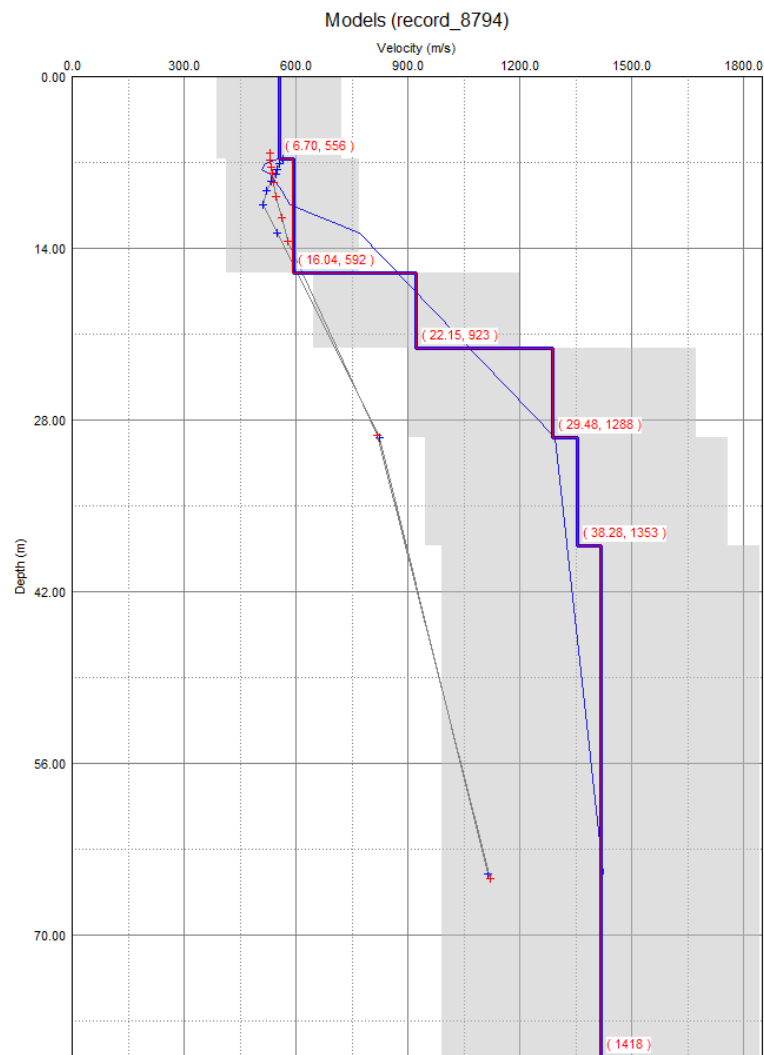


Fig. 5: Modello risultante dall'inversione dei dati.

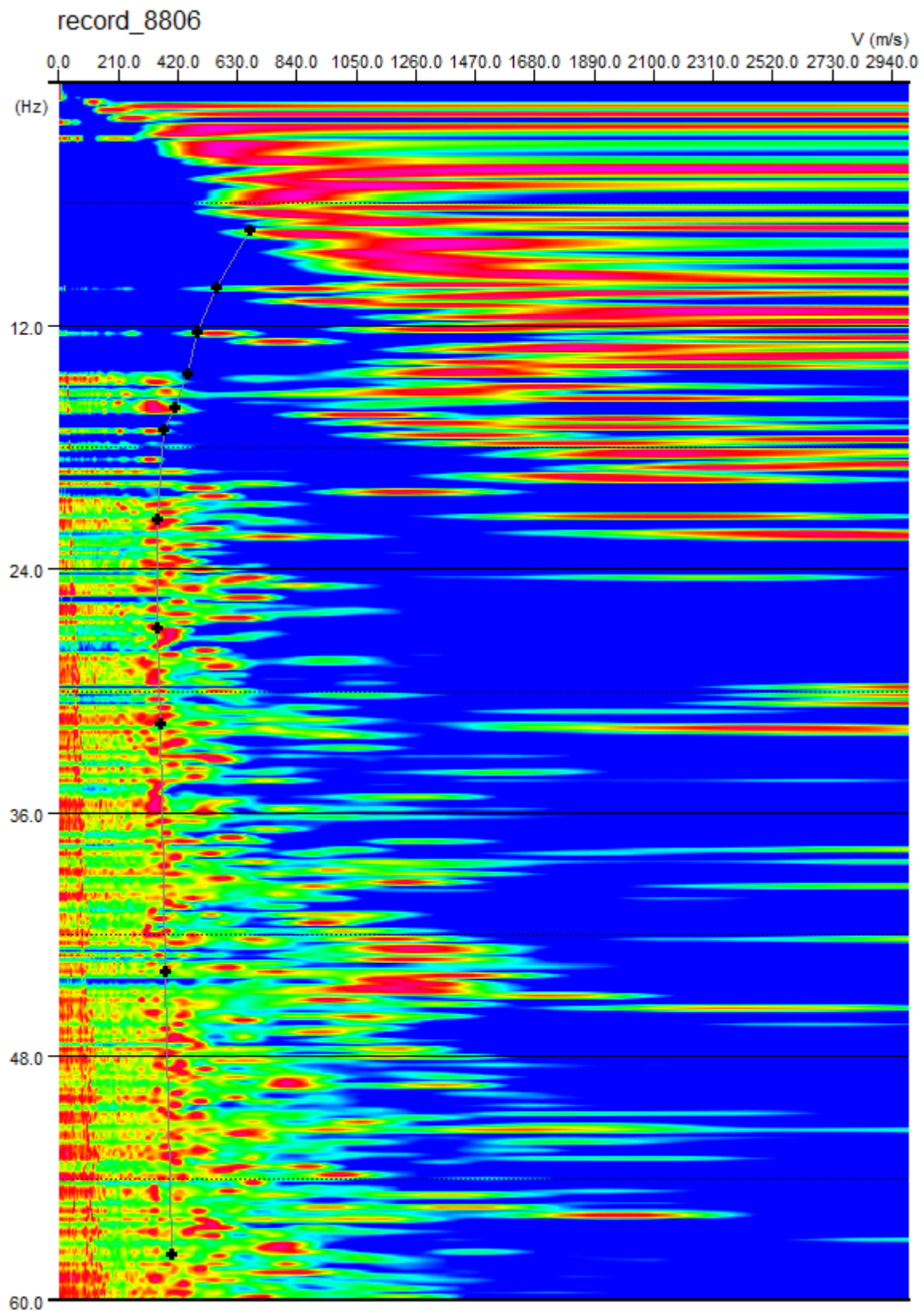
MASW 166

Fig. 6: Spettro di velocità.

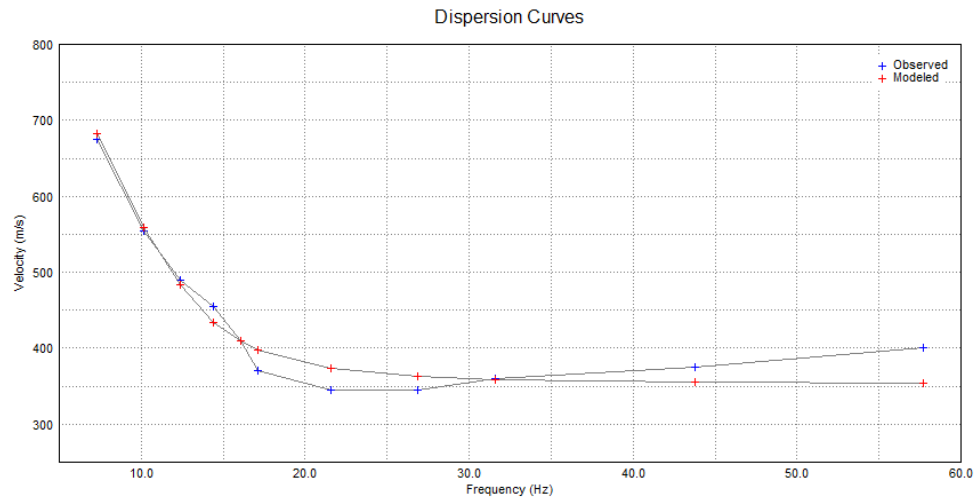


Fig.7: Curva di dispersione misurata (blu) e calcolata (rosso)

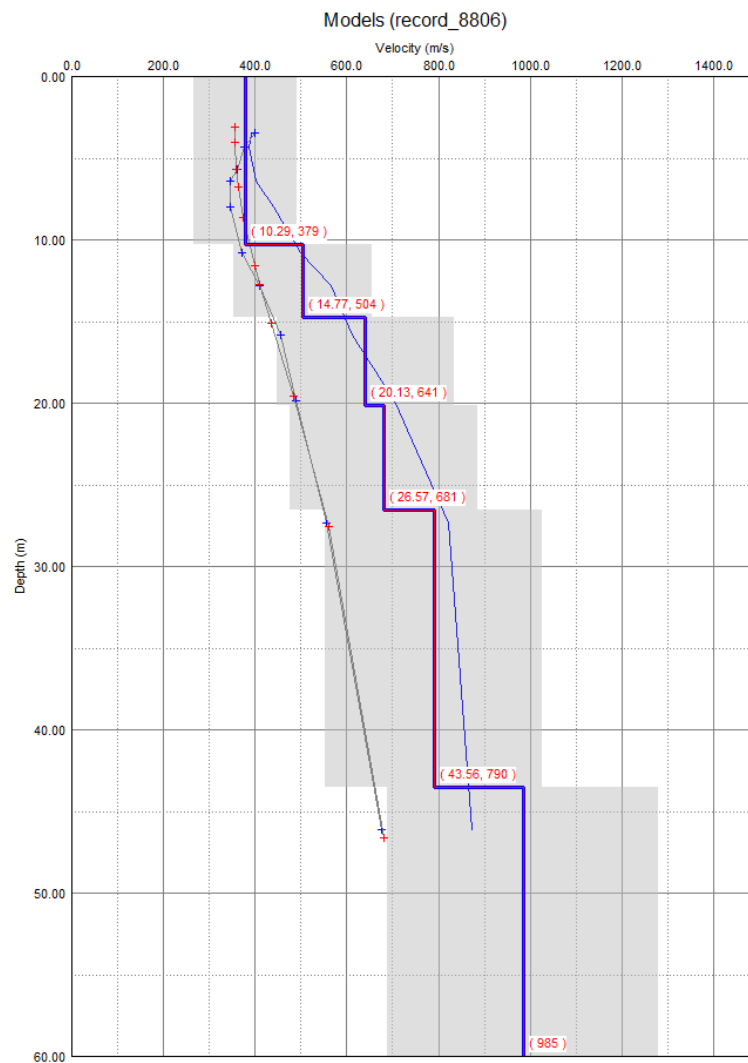


Fig. 8: Modello risultante dall'inversione dei dati.

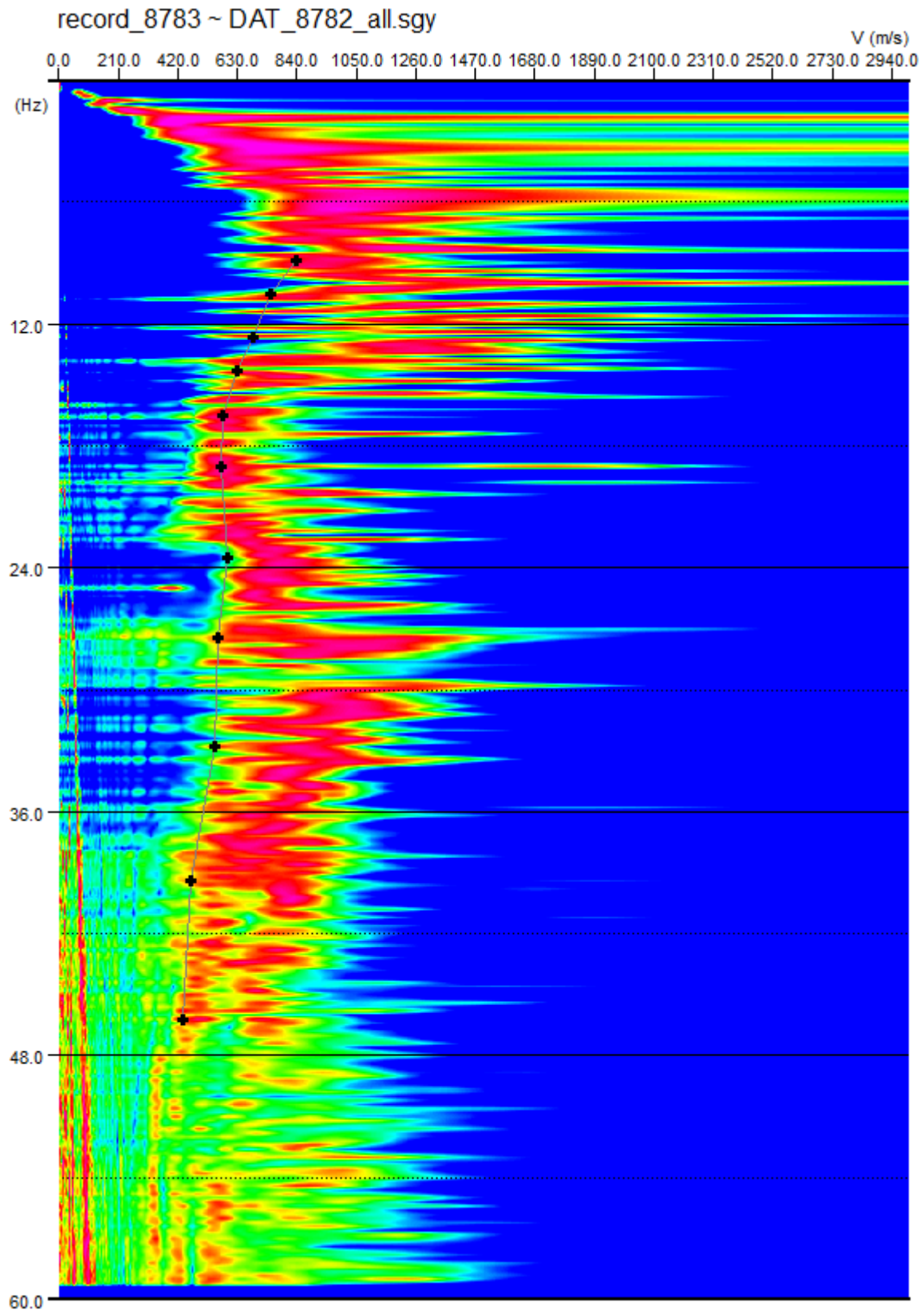
MASW 187

Fig. 9: Spettro di velocità.

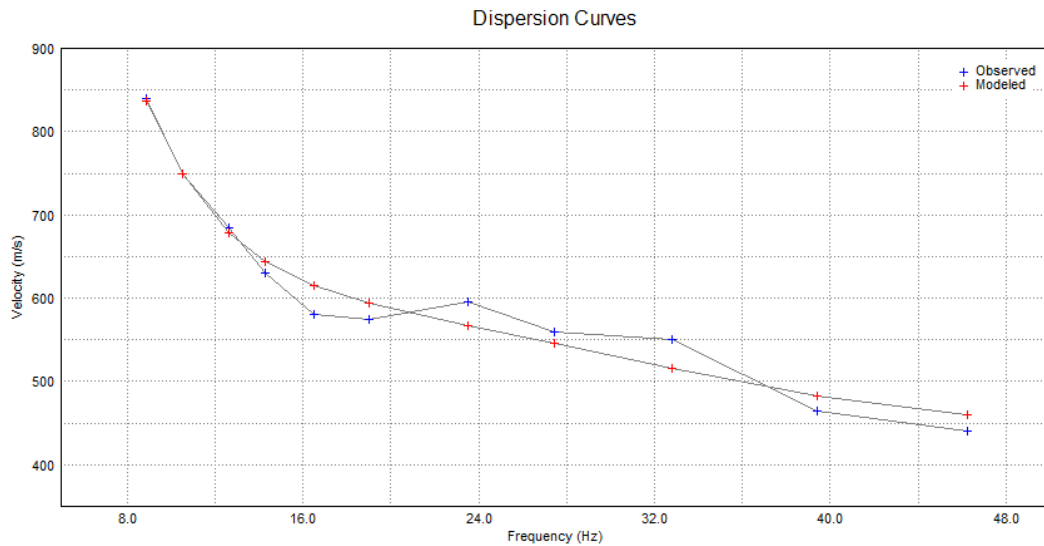


Fig.10: Curva di dispersione misurata (blu) e calcolata (rosso)

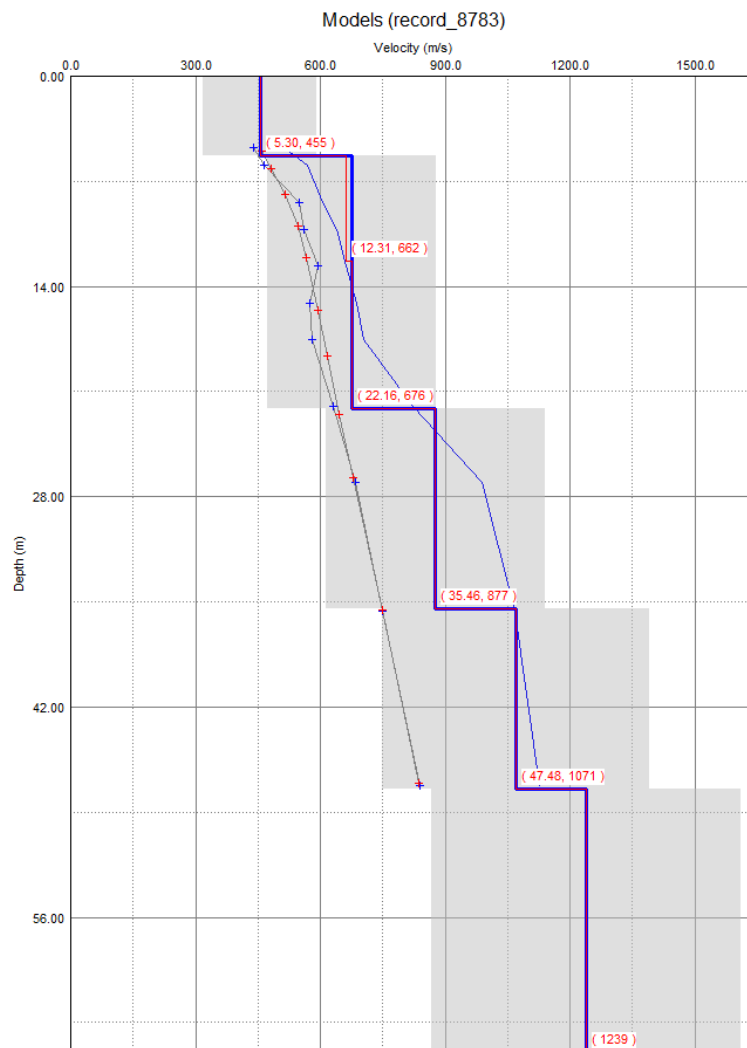


Fig. 11: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Si rimanda all'apposito allegato per i dettagli riguardanti il modello sismostratigrafico del terreno.

Rovigo, Febbraio 2025

Dott. Enrico Farinatti

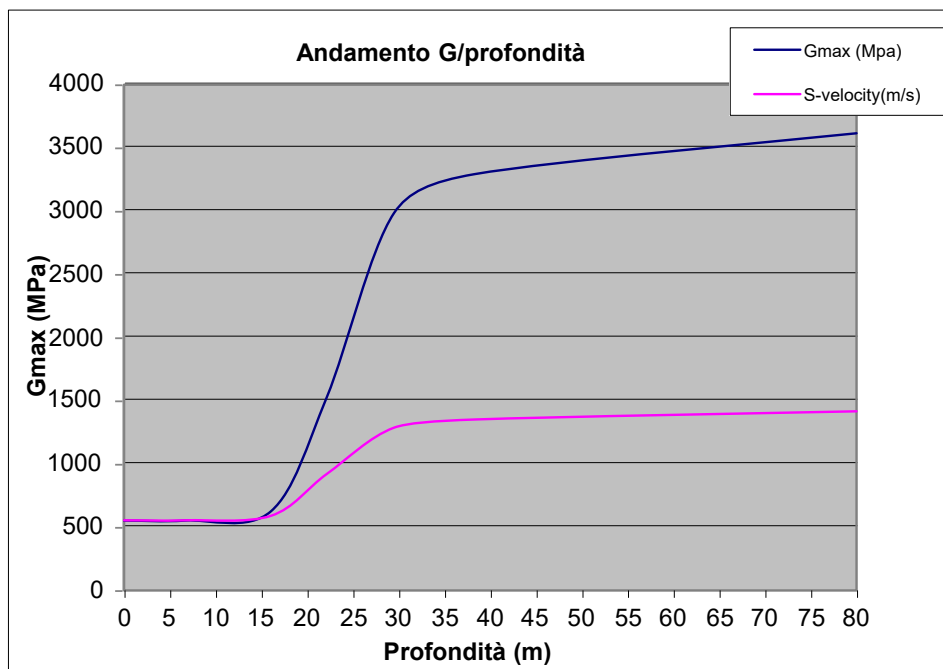
IND.A.G.O. s.n.c.
di Merola - Farinatti & Co.



ALLEGATI

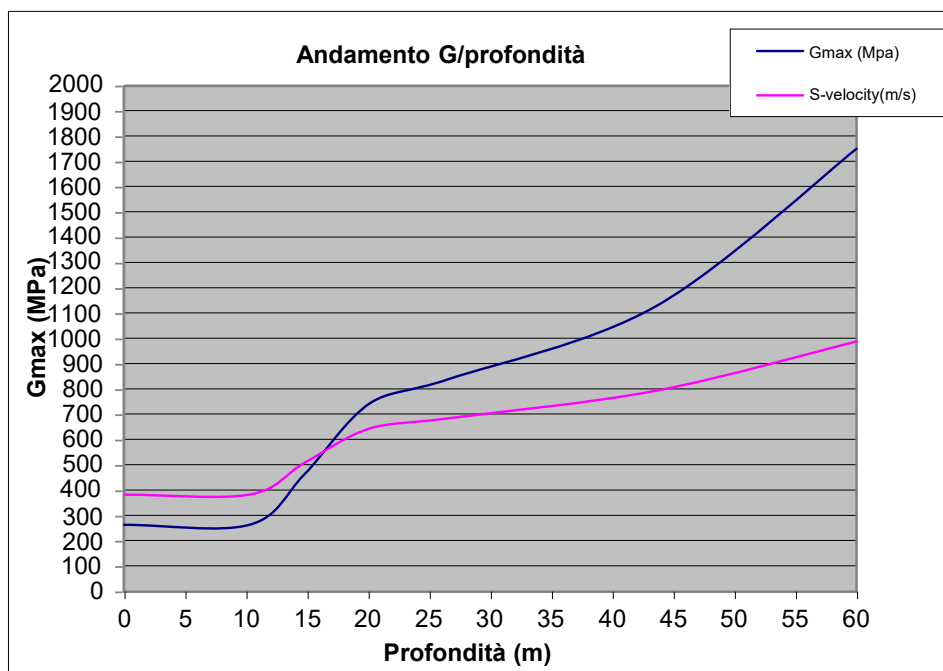
MASW 056

Depth(m)	S-velocity(m/s)	Gmax (Mpa)	ρ (t/mc)
0.0	556	556	1.80
6.7	556	556	1.80
16.0	592	630	1.80
22.2	923	1533	1.80
29.5	1288	2988	1.80
38.3	1353	3296	1.80
80.0	1418	3619	1.80



MASW 166

Depth(m)	S-velocity(m/s)	Gmax (Mpa)	ρ (t/mc)
0.0	379	259	1.80
10.3	379	259	1.80
14.8	504	458	1.80
20.1	641	739	1.80
26.6	681	834	1.80
43.6	790	1123	1.80
60.0	985	1746	1.80



MASW 187

Depth(m)	S-velocity(m/s)	Gmax (Mpa)	ρ (t/mc)
0.0	455	373	1.80
5.3	455	372	1.80
12.3	662	789	1.80
22.2	676	823	1.80
35.5	877	1383	1.80
47.5	1071	2064	1.80
65.0	1239	2764	1.80

