



PROVINCIA DI REGGIO EMILIA - Servizio Infrastrutture, Mobilità Sostenibile, Patrimonio ed Edilizia

IL DIRIGENTE: Dott.Ing. Valerio Bussei

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Francesca Guatteri

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE:



DOTT. GEOL. SIMONE BARANI

Via Carso, 55 - 42021 Bibbiano (RE) - Italy
C.Fisc: BRNSMN82D01F463L - P.Iva: 02419360355
Tel: +39 0522 882377
Cel: +39 348 8219198
E-Mail: simonebarani@geosism.it
PEC: simonebarani@epap.sicurezza postale.it
Codice Univoco Aziendale: M5UXCR1
Web: WWW.GEOSISM-GEOLOGIA.COM

ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

PARTE D'OPERA	DISCIPLINA	DOC. E PROG.	FASE	REV.
PD				

Cartella	File name	Prot.	Scala	Formato
	PDGERT01_20_5010	5010		A4

5					
4					
3					
2					
1					
0		26/11/2020	D.Barani		
REV.	DESCRIZIONE	Data	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO.....	4
1.1 Fonte dei dati	5
1.2 Riferimenti normativi e pianificatori	5
1.3 Caratteristiche dell'opera in progetto	8
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE.....	9
2.1 Evoluzione del Bacino Padano.....	11
2.2 Stratigrafia dei depositi Quaternari	14
2.3 Inquadramento geografico e geo-litologico dell'area in esame.....	15
3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO ED IDROLOGICO.....	16
3.1 Geomorfologia della bassa pianura	16
3.2 Il bacino idrogeologico della pianura Emiliano - Romagnola.....	18
3.3 Geomorfologia, idrogeologia ed idrologia dell'area in esame.....	21
4. RELAZIONE SISMICA: DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO, DEL VALORE DI V_s equivalente, dell'intervallo di frequenza di risonanza, degli effetti locali, del fattore di sicurezza a liquefazione f_s e microzonazione sismica	23
4.1 Brevi cenni sulla riclassificazione sismica	23
4.2 Classi d'uso	25
4.3 Stati Limite.....	26
4.4 Zona sismica.....	29
4.5 Categorie di sottosuolo.....	29
4.6 Indagini geofisiche eseguite nell'area oggetto di studio	31
4.7 Modalità di classificazione della Categoria di Sottosuolo del terreno oggetto di studio e del suo $V_{s,eq}$ mediante metodologia MASW: descrizione del metodo utilizzato	31
4.8 Stima della Frequenza di Risonanza (f_r) del terreno oggetto di studio mediante registrazione del microtremore sismico (HVSr) con TROMINO: descrizione del metodo utilizzato	34
4.9 MASW – HVSr	38
4.10 Valutazione dell'Azione Sismica	41
4.11 Microzonazione Sismica e determinazione degli Effetti Locali secondo la Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale 2 maggio 2007, Deliberazione Giunta Regionale 21 dicembre 2015 n. 2193, il DM 17 gennaio 2018, art. 3.2, la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 e Delibera della Giunta Regionale del 29/04/2019, n. 630 «Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica».	43
4.11.1 Effetti locali.....	43
4.11.2 Livelli di approfondimento	46
4.11.3 Valutazione del Fattore di Amplificazione di Intensità Spettrale (F_{Asi}) e del Fattore di Amplificazione in Termini del Rapporto di Accelerazione Massima Orizzontale (F_{APGA}).....	47

5. CONCLUSIONI.....	52
BIBLIOGRAFIA	56
ALLEGATI.....	59
TAV 1: UBICAZIONE AREA – STRALCIO C.T.R. ELEMENTI 200122, 200161 – Scala 1: 20.000	59
TAV 2: UBICAZIONI INDAGINI – STRALCIO C.T.R. ELEMENTO 200122 - 200161 – Scala 1:20.000	60
TAV 3: STRALCIO TAVOLA PSC DI REGGIO EMILIA – CARTA GEOLITOLOGICA – Scala 1:20.000	61
TAV 4: STRALCIO TAVOLA PSC DI REGGIO EMILIA – IDROGEOLOGIA, PIEZOMETRIA – Scala 1:20.000	62
TAV 5: STRALCIO TAVOLA PTCP DI REGGIO EMILIA – ELEMENTI FISICO-GEOMORFOLOGICI – Scala 1:25.000	63
TAV A: MASW - HVSR: V_{seq} , f_r	64
TAV B: PARAMETRI SISMICI E SPETTRI DI RISPOSTA DEL SITO DI RIFERIMENTO	65
TAV C: MICROZONAZIONE SISMICA (CON III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO)	66

Studio geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico

Oggetto: Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica per la realizzazione della Tangenziale di Fogliano-Due Maesta' (RE).

1. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO

Su incarico della Provincia di Reggio Emilia, è stata eseguita una campagna di indagini finalizzata alla caratterizzazione geologico, geomorfologica, idrogeologica-idrologica superficiale e sismica di un terreno per la realizzazione della Tangenziale di Fogliano-Due Maestà, nel comune di Reggio Emilia (RE) (in ottemperanza alle vigenti disposizioni di legge, come dettato dal DM 17 gennaio 2018, dalla Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 *in materia geotecnica*, dalla Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna 2 maggio 2007, n. 112, dalla L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 *che definiscono gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica* e dalla Delibera di Giunta Regionale 21 dicembre 2015, n. 2193) e Delibera della Giunta Regionale del 29/04/2019, n. 630 «Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica».

Il presente studio si propone i seguenti obiettivi:

- ricostruire la stratigrafia delle alluvioni (*indagine geo-litologica*);
- ricostruire la morfologia locale (*indagine morfologica*);
- ricostruire la profondità e l'andamento della falda (*indagine idrogeologica*);
- studiare la risposta del terreno all'azione sismica, mediante la valutazione della velocità equivalente ($V_{s,eq}$) di propagazione delle onde di taglio nei primi metri di profondità, la relativa frequenza di risonanza (f_r) e l'azione sismica a seguito dell'avvento di un possibile sisma (*indagine sismica*)

A tal scopo è stata eseguita una campagna di indagini in situ preceduta dalla raccolta dei dati bibliografici esistenti riguardanti un adeguato intorno della zona in studio.

1.1 Fonte dei dati

I dati contenuti nel presente studio provengono dalla bibliografia esistente in materia geologico-geotecnica (cfr. Bibliografia), dalla pratica professionale, nonché da tutte le indagini eseguite in situ (cfr. Tavola 2 tra gli Allegati).

La campagna di indagini eseguita si avvale di:

- **n°9 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU)**, inseriti nella “Relazione sulle indagini eseguite”;
- **n° 2 carotaggi continui**, l’ubicazione è riportata in Tavola 2 ed i risultati stratigrafici inseriti nella; “Relazione sulle indagini eseguite”;
- **n° 7 prove di carico su piastra**, i cui risultati vengono riportati nella “Relazione sulle indagini eseguite”;
- **n° 1 downhole**, eseguito all’interno del foro di uno dei due carotaggi (S2) i cui risultati vengono riportati nella “Relazione sulle indagini eseguite”;
- **n°4 stendimento sismico (MASW)** di cui si parlerà nei paragrafi successivi, la cui ubicazione è riportata in Tavola 2 e nella “Relazione sulle indagini eseguite” ed i risultati inseriti in Tavola A tra gli Allegati;
- **n°4 registrazione del microtremore sismico con TROMINO (HVSr)** di cui si parlerà nei paragrafi successivi, la cui ubicazione è riportata in Tavola 2 e nella “Relazione sulle indagini eseguite” ed i risultati inseriti in Tavola A tra gli Allegati;
- **altre indagini consistenti in:** trincee per studio archeologico, campioni per studi di stabilizzazione a calce e campioni per analisi ambientali;
- **osservazioni geologico-geomorfologiche, idrogeologiche, idrologiche** dell’area in oggetto e delle zone immediatamente circostanti (cfr. Capitolo 3.3 & Capitolo 3.5).

1.2 Riferimenti normativi e pianificatori

Si ritiene utile riportare una breve rassegna legislativa nazionale e regionale concernente le indicazioni per gli studi di carattere geologico-geotecnico su vaste aree, per la pianificazione comunale.

- **Decreto Ministeriale 1 marzo 1988 «Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione»:** indica il ruolo delle indagini geologiche nell’elaborazione dei piani urbanistici;

- **Legge Regionale 24 marzo 2000, n. 20 «Disciplina generale sulla tutela ed uso del territorio»:** la pianificazione comunale deve puntualizzare la localizzazione e dimostrare la compatibilità fra gli interventi e la vocazione del territorio, tramite indagini geologiche generali di prima approssimazione;
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica»:**
- **Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 «Norme tecniche per le costruzioni (testo base)»:** introduce la classificazione dei terreni sulla base delle onde di taglio (art. 3.2) e fornisce nuove indicazioni per la progettazione geotecnica (art. 6);
- **Delibera di Giunta Regionale 24 ottobre 2005, n. 1677 «Prime indicazioni applicative in merito al Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 recante norme tecniche per le costruzioni»:** fornisce prime indicazioni applicative della Regione Emilia-Romagna in merito al DM 14 settembre 2005;
- **Delibera di Giunta Regionale 13 febbraio 2006, n. 167 «Aggiornamento dell'elenco della perimetrazione delle aree della Regione Emilia-Romagna designate come Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e come Zone di Protezione Speciale (ZPS) ai sensi delle direttive 92/43/CEE e 79/409/CEE»:** fornisce un elenco specifico con la relativa perimetrazione delle aree definite SIC e ZPS vincolate;
- **Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 «Norme in materia ambientale»:** in particolare l'art. 185 tratta nello specifico le "terre e rocce risultanti dalle operazioni di scavo";
- **Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale 2 maggio 2007, n. 112 «Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio in merito ad indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica»:**
- **Legge Regionale 30 ottobre 2008, n. 19 «Norme per la riduzione del rischio sismico»:**
- **Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 «Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni»:** normativa che introduce l'utilizzo dei coefficienti di sicurezza parziali, rispettivamente definiti per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze;
- **Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 «Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008»:** fornisce indicazioni sull'utilizzo del DM 14 gennaio 2008;
- **Delibera di Giunta Regionale 21 dicembre 2015, n. 2193 «Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112».**

- **Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 «Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni»:** normativa che modifica alcuni principi di progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità anche in caso di incendio e durabilità.
- **Delibera di Giunta Regionale 23 luglio 2018, n. 1164 «Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia Romagna»:** nuova classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna.
- **Delibera della Giunta Regionale del 29/04/2019, n. 630 «Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica».**

Per quanto riguarda la pianificazione territoriale alla **scala sovraregionale**, ai fini del presente studio e per l'area in esame, i documenti pianificatori di interesse sono:

- **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI):** (ai sensi della Legge 18 maggio 1989, n. 183, art.17, comma 6-ter) adottato con deliberazione del Comitato istituzionale 26 aprile 2001, n. 18 e approvato con D.P.C.M. 24 maggio 2001. Esso ha scopo di assicurare, attraverso la programmazione di opere strutturali, vincoli e direttive, la difesa del suolo rispetto al dissesto di natura idraulica e la tutela degli aspetti ambientali ad esso connessi. Le fasce fluviali, individuate dal PAI con apposito segno grafico, sono classificate come segue:
 - 1 - **Fascia di deflusso della piena (fascia A)**, è definita come la porzione di alveo che è sede prevalente delle acque costituenti la piena di riferimento oppure l'insieme delle forme fluviali riattivabili in seguito ad un evento di piena;
 - 2 - **Fascia di esondazione (fascia B)**, è esterna alla precedente ed è individuata dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento;
 - 3 - **Area di inondazione per piena catastrofica (fascia C)**, è la porzione di territorio esterna alla precedente che può essere interessata da inondazione al verificarsi di episodi di piena più gravosi di quella di riferimento.

In riferimento allo studio di cui in oggetto ed alla Variante Specifica del PTCP adottato dal Consiglio Provinciale con delibera n. 2 del 15/02/2018 con particolare riguardo alla Tav. P7bis "*Reticolo secondario di pianura. Carta di delimitazione delle fasce fluviali e delle aree di fondovalle potenzialmente allagabili (PAI-PTCP)*" ed all'art.68bis delle NTC che hanno recepito la D.G.R. n. 1300/2016; premesso che secondo la Tav. P7 del PTCP l'area in oggetto è esterna alla fascia di esondazione "C" del Torrente Crostolo che scorre ad ovest, ad una distanza di circa 3,5 km e del Torrente Rodano che scorre ad est parallelamente alla tangenziale per un tratto di circa 1,2 Km ad una distanza media di circa 120 m, si ribadisce quanto segue: secondo la Tavola P7bis della Variante Specifica di PTCP l'area si trova all'interno del Reticolo Secondario di Pianura (RSP) con uno scenario di alluvione poco frequente (P2) e tempi di ritorno tra 100 e 200 anni,

quindi, in riferimento alla D.G.R. 1300/2016 cap. 5.2 a2 recepita dalla variante di PTCP, questa situazione dovrà essere tenuta in considerazione in fase di progettazione del rilevato stradale.

Per quanto riguarda la pianificazione territoriale alla **scala Provinciale**, ai fini del presente studio e per l'area in esame, i documenti pianificatori di interesse sono:

- **Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della provincia di Reggio Emilia e successiva variante specifica 2016:** approvati il primo con Delibera del Consiglio Provinciale n. 124 del 17/06/2010, la seconda con Delibera del Consiglio Provinciale n. 25 del 21/09/2018.

Per quanto riguarda la pianificazione territoriale alla **scala Comunale**, ai fini del presente studio e per l'area in esame, i documenti pianificatori di interesse sono:

- **Piano Strutturale Comunale (PSC) del comune di Reggio Emilia:** approvato dal Consiglio Comunale con Delibera n.16673 del 20/09/2011.

1.3 Caratteristiche dell'opera in progetto

Il progetto prevede la realizzazione della variante alla SP467R in località Fogliano-Due Maestà in Comune di Reggio Emilia per una lunghezza complessiva di circa 3 Km. Tale variante si collegherà, in località Due Maestà, con la Tangenziale sud-est del Comune di Reggio Emilia e con la SS467 in località Fogliano (RE).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

L'assetto fisico e paesaggistico dell'area in esame ha seguito le sorti del bacino padano, nel corso della sua storia evolutiva. Dal Cretaceo (≈ 100 Ma) fino ai giorni nostri la regione padana è stata soggetta ad alterne fasi di compressione e stasi tettoniche, instaurate dalle interazioni tra la microplacca dell'Arco Appenninico settentrionale e la microplacca Adriatica.

L'Appennino settentrionale è una catena costituita da una serie di unità tettoniche impilate come falde alloctone, con una generale direttrice dello spostamento verso nord-est (ELTER P., 1973).

Il modello evolutivo più accreditato, che spiega tale evoluzione geodinamica, è quello di un prisma di accrezione sviluppatosi a seguito della convergenza della placca africana verso quella europea (PRINCIPI B. & TREVES G., 1984).

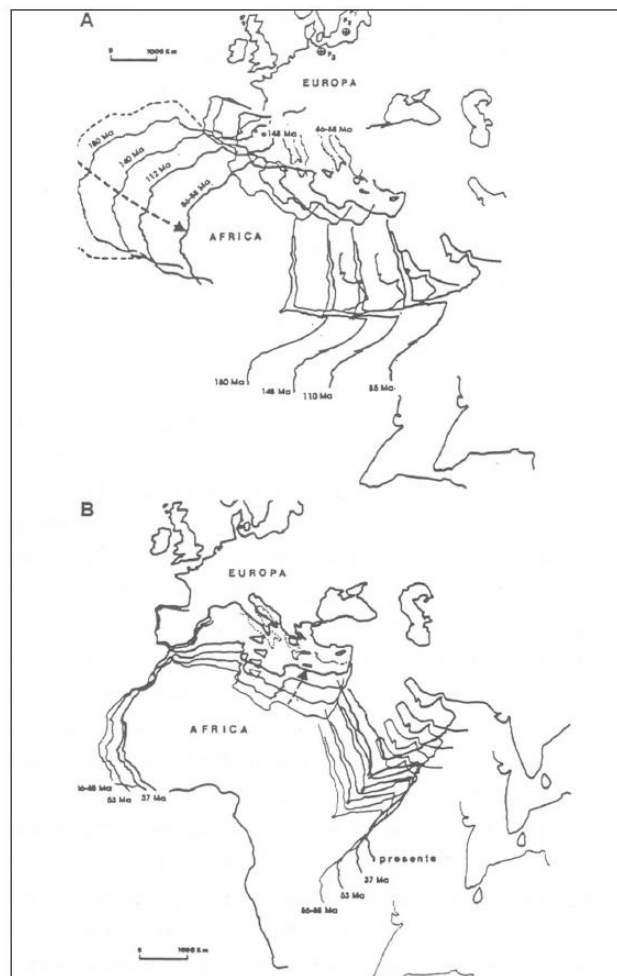


Figura 1 – Traiettorie della Placca Africana rispetto alla Placca Europea, assunta come riferimento fisso. A) Giurassico inferiore - Cretaceo superiore. B) Cretaceo superiore – attuale (GASPERI G.F., 1995).

All'interno dell'Appennino settentrionale vengono tradizionalmente distinti due insiemi di unità, in base al senso di movimento delle falde verso l'avampaese adriatico: le unità esterne e quelle interne. Le *unità esterne*, tettonizzate nel Neogene, sono costituite da un basamento continentale paleoafricano e da una copertura meso-cenozoica (*Dominio tosco-umbro-marchigiano*). Le *unità interne*, tettonizzate a partire dal Cretaceo superiore, sono costituite da sedimenti depositatisi sulla crosta oceanica della neotetide (*Dominio ligure*) e sul margine distale della zolla africana (*Dominio subligure*). A partire dal Miocene (≈ 14 Ma), le unità interne, si sono sovrapposte a quelle esterne andando a costituire quella che è l'odierna catena appenninica.

A partire dal Cretaceo superiore (≈ 80 Ma), un regime di tipo compressivo, da imputarsi alla formazione dell'Oceano Atlantico, ha instaurato un processo di subduzione di tipo B, con la formazione di un prisma di accrezione (cfr. Figura 1). In questa fase, che è durata fino all'Eocene, le unità interne sono andate ad occupare la parte sommitale della catena emergente, mentre sui margini della placca in subduzione si sono depositate le unità flyschoidi Liguri: *stadio oceanico* (cfr. Figura 2) (BOCCALETTI M. *et alii*, 1980).

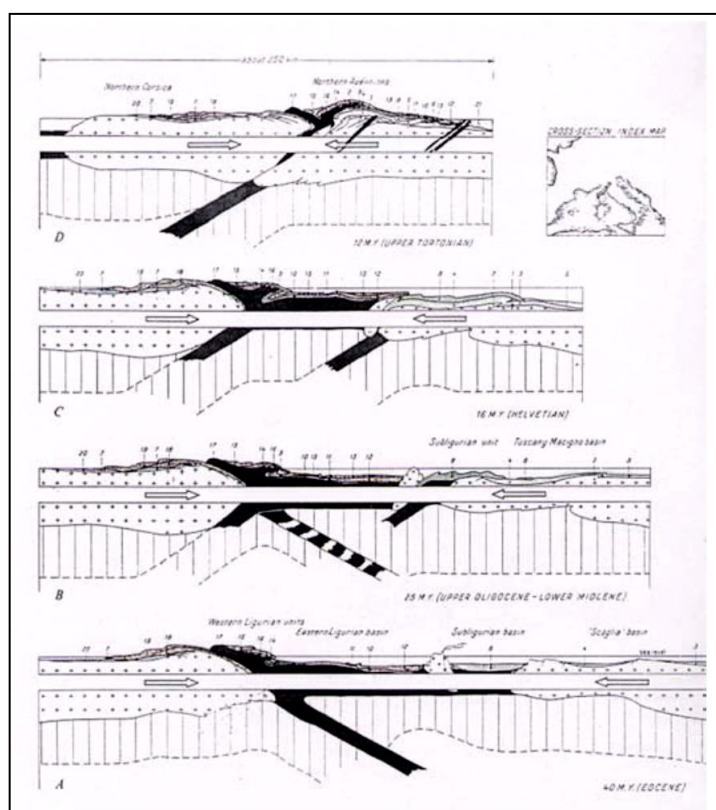


Figura 2 – Modello di stadio oceanico a due fasi, con cambiamento del piano di subduzione (BOCCALETTI M. *et alii*, 1980).

La collisione tra i margini continentali inizia tra l'Eocene inferiore e l'Eocene medio (≈ 45 Ma) (cfr. Figura 1); poco dopo all'interno di bacini della scarpata interna e in bacini satellite incominciano a deporsi le successioni Epiliguri: *stadio ensialico* (BOCCALETTI M. *et alii*, 1980). Durante le prime fasi di questo stadio la geometria e la vergenza della catena è incerta, probabilmente verso ovest.

Nell'Eocene medio, posteriormente alla collisione continentale tra le placche Sardo-Corsa ed Adriatica, si venne a delineare, a nord e ad est degli accavallamenti e duplicazioni crostali relativi alla

formazione della neo-catena Appenninica, il bacino perisuturale padano-adriatico (BALLY A.W. & SNELSON S., 1980).

La messa in posto delle prime unità tettoniche con vergenza adriatica si ha tra l'Oligocene e il Miocene (≈ 25 Ma), la deformazione compressiva migra verso est attraverso zone di taglio ensialico, parallelamente alle quali si formano le avanfosse (Principi B. & Treves G., 1984).

A partire dal Miocene superiore (≈ 7 Ma), si imposta una tettonica di tipo estensionale che determina assottigliamento crostale con formazione di bacini di *piggy-back*¹ (ORI G.G. & FRIEND P.F., 1984; RICCI LUCCHI F. & ORI G.C., 1985). Contemporaneamente, sul versante esterno della catena continuano i movimenti compressivi con la migrazione verso nord e nord-est del fronte di accavallamento.

La coesistenza e simultaneità fra compressione adriatica e distensione tirrenica fanno ritenere che i due fenomeni possano essere geneticamente legati; potrebbero cioè rappresentare la risposta di superficie alla subduzione attiva della Placca Adriatica al di sotto della catena appenninica.

All'inizio del Pliocene ($\approx 5,3$ Ma) la parte di bacino, oggi nota come Pianura Padana, costituiva l'estrema propaggine nord-occidentale del Mare Adriatico e creava un grande golfo invaso dalle acque marine, limitato a nord dalle Alpi, a sud-ovest dagli Appennini e a nord-est dalle Dinaridi (catena montuosa dell'ex Jugoslavia). Tale bacino, sotto l'azione delle spinte orogenetiche, era gradualmente ridotto dalla traslazione verso nord/nord-est delle falde di ricoprimento tettonico dell'Appennino settentrionale. Successivamente il mare si ritirò gradualmente dai suoi margini alpini ed appenninici cedendo da ovest verso est, fino a lasciare scoperto con alterne vicende trasgressive e regressive anche l'Adriatico settentrionale, per poi raggiungere, nella prima metà dell'Olocene ($\approx 0,01$ Ma), le posizioni attuali.

La crescente estensione di terre emerse, soggette ad erosione, consentì ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare di sedimenti il bacino padano, conferendone l'attuale assetto e morfologia.

Dal punto di vista geologico, la Pianura Padana è un bacino sedimentario Terziario che comprende un'area di circa 46.000 Km², posto sulla terminazione settentrionale del blocco Adriatico - Pugliese, compreso tra il fronte degli opposti accavallamenti, le falde sud-vergenti delle Alpi meridionali (separate da quelle a vergenza europea dalla Linea Insubrica²) e le strutture appenniniche nord-vergenti, e soggetto quindi al duplice fenomeno di compressione delle opposte catene.

2.1 Evoluzione del Bacino Padano

¹ BACINI *PIGGY-BACK*: bacini sedimentari, in genere di forma allungata parallelamente all'asse della catena, formati su un'unità soggetta a traslazione tettonica e trasportati quindi passivamente "in groppa" all'unità in questione mentre la loro successione sedimentaria continua a depositarsi. Possono rappresentare originari depositi del margine interno dell'avanfossa, in seguito traslati assieme al loro substrato per propagazione dei thrust frontali dell'orogene, oppure formano successioni depositatesi, fin dall'inizio, su un'unità alloctona dell'orogene stesso. In questo secondo caso sono stati definiti anche come "bacini satelliti".

² LINEA INSUBRICA: antica cicatrice ercinica che sutura la Placca Europea e quella Africana.

Nel sottosuolo dell'Emilia Romagna, il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non sono avvenuti in maniera continua e progressiva, ma sono il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive. Tale subsidenza è quantificabile in circa 1 mm/anno, anche se sicuramente tale valore non è stato costante nel corso degli anni.

Le strutture tettoniche della zona frontale si sono formate in concomitanza con un'intensa deposizione che risulta fortemente controllata dagli elementi strutturali principali. L'andamento delle strutture maggiori è delineato all'interno di grandi cunei sedimentari che si sono depositati e originati sotto il diretto controllo del modellamento tettonico. Tali depositi costituiscono pertanto le "controimpronte" delle strutture tettoniche, definendone geometria e caratteri esterni talora in modo perfetto (CASTELLARIN A. *et alii*, 1985).

Nelle fasi di attività tettonica si hanno i seguenti effetti:

- sollevamenti regionali che coinvolgono principalmente le zone di margine del bacino;
- modificazione delle geometrie del bacino e delle condizioni di sedimentazione;
- segmentazione della zona di margine bacinale per mezzo di faglie e superfici di scorrimento;
- formazione di superfici di erosione, con estensione regionale, sui margini del bacino e sulle strutture sepolte;
- migrazione della Zona di Transizione Scarpatà sottomarina - Piana Bacinale (TSB)³ e conseguentemente quella del depocentro bacinale (cfr. Figura 3).

³ TSB: definita in sismica come il punto in cui i riflettori cliniformi della scarpata sottomarina si raccordano alla base con i riflettori piano-paralleli della piana bacinale. Generalmente corrisponde con il margine del bacino.

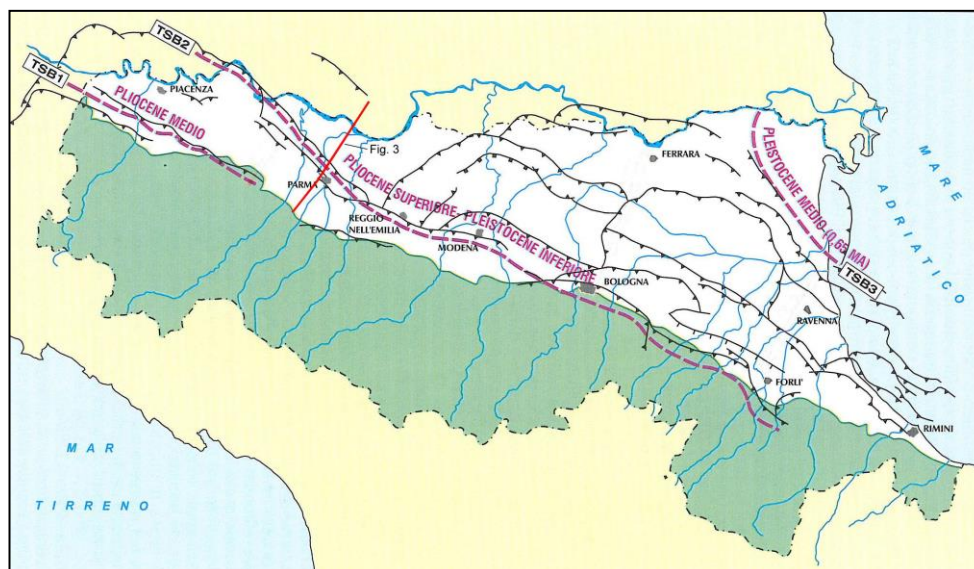


Figura 3 – Fasi di migrazione della Transizione Scarpata Sottomarina - Piana Bacinale dal Pliocene medio al Pleistocene medio (RER - ENI - AGIP, 1998).

Nell'intervallo di tempo tra un evento tettonico di sollevamento regionale e quello successivo si assistono, invece, ad importanti fenomeni di subsidenza con notevole sviluppo della sedimentazione (sotto forma di *cunei sedimentari sintettonici*), soprattutto per progradazione dei prismi di accrezione, in corrispondenza dei margini di bacino. Durante questi eventi, in cui si registra un notevole aumento della sedimentazione, si formano delle unità che sono definite da Mitchum *et alii* (1977)⁴ "Sequenze Deposizionali". Tra due diverse Sequenze Deposizionali si rinviene sempre una superficie, definita *superficie di non deposizione* o superficie erosiva (generalmente identificabile nel tetto di uno strato ghiaioso) che corrisponde ad un periodo di cambiamento climatico in cui si registra un generale abbassamento del livello marino, con relativa regressione della linea di costa. Lo step successivo coincide con un innalzamento del livello del mare, con trasgressione della linea di costa e con l'inizio della sedimentazione di una nuova Sequenza Deposizionale.

L'accumulo di sedimenti terrigeni all'interno del Bacino Perisuturale Padano, come detto, ne causa il progressivo riempimento. Questo fenomeno avviene lungo due principali fronti di progradazione, il primo assiale ed il secondo trasversale rispetto al F. Po. I sedimenti trasportati dal F. Po si ritrovano interdigitati con i sedimenti trasportati dai fiumi e torrenti appenninici che oggi sono suoi diretti affluenti. Studiando composizione, geomorfologia, granulometria e petrografia delle alluvioni è possibile riconoscere all'interno delle Sequenze Deposizionali, definite da Mitchum *et alii* (1977) diversi Ambienti Deposizionali.

Un fiume che tracima dal suo alveo, non si limita, infatti, ad accumulare materiale nella pianura circostante, ma la modella e la plasma determinando complesse forme geomorfologiche, ognuna delle quali è costituita da una precisa granulometria e forma dei sedimenti che generalmente sono tipici di quella particolare struttura.

⁴ SEQUENZE DEPOSIZIONALI: unità stratigrafiche costituite da una successione relativamente continua di strati geneticamente legati e delimitati alla base e alla sommità da discontinuità o dalle corrispondenti superfici di continuità.

Studiando questi elementi, si è giunti alla definizione di diversi Ambienti Deposizionali, che si possono distinguere chiaramente nel territorio padano in virtù della loro composizione, geomorfologia, granulometria e petrografia.

Da monte verso valle, i fiumi e torrenti appenninici trasportano sedimenti di granulometria via via decrescente, che vanno a deporsi in ambienti deposizionali morfologicamente e litologicamente differenti.

2.2 Stratigrafia dei depositi Quaternari

I depositi presenti nell'area in esame sono contraddistinti dalla potente successione terrigena del Quaternario.

Le unità stratigrafiche definite e utilizzate nel presente studio rientrano nella classe delle *Sequenze Deposizionali* descritte da Mitchum *et alii* (1977) (cfr. Figura 4).

Dal punto di vista gerarchico si distinguono due Sequenze Principali (Supersintemi, secondo la terminologia delle UBSU⁵) denominate come segue (dal più recente al più antico):

- **Supersintema (o Allogruppo) Emiliano - Romagnolo**, costituita da depositi di ambiente continentale; può essere ulteriormente suddiviso in 2 sintemi principali (dal più recente al più antico):
 - Alloformazione (o Sintema) Emiliano - Romagnolo superiore (AES) - (Pleistocene medio? - Olocene);
 - Alloformazione (o Sintema) Emiliano - Romagnolo inferiore (AEI) - (Pleistocene medio).
- **Supersintema (o Allogruppo) del Quaternario Marino**, costituito da depositi di ambiente marino; può essere ulteriormente suddiviso in 3 cicli progradazionali (dal più recente al più antico):
 - Allomembro (o Sintema del Quaternario Marino 3) (Qm3) - (Pleistocene medio);
 - Alloformazione di Costamezzana (o Sintema del Quaternario Marino 2) (Qm2) - (Pleistocene inferiore - medio);
 - Alloformazione del Torrente Stirone (o Sintema del Quaternario Marino 1) (Qm1) - (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore).

⁵ UBSU - Unità a Limiti Inconformi (Unconformity-bounded Stratigraphic Units): corpo roccioso delimitato alla base e alla sommità da superfici di discontinuità specificatamente designate, significative e dimostrabili, aventi preferibilmente estensione regionale o interregionale. I criteri diagnostici utilizzati per stabilire e riconoscere queste unità stratigrafiche sono le due discontinuità che le delimitano. Le unità a limiti inconformi possono includere poche o molte altre unità stratigrafiche (litostratigrafiche, biostratigrafiche, magnetostratigrafiche, cronostratigrafiche, ecc...) sia in successione verticale che laterale.

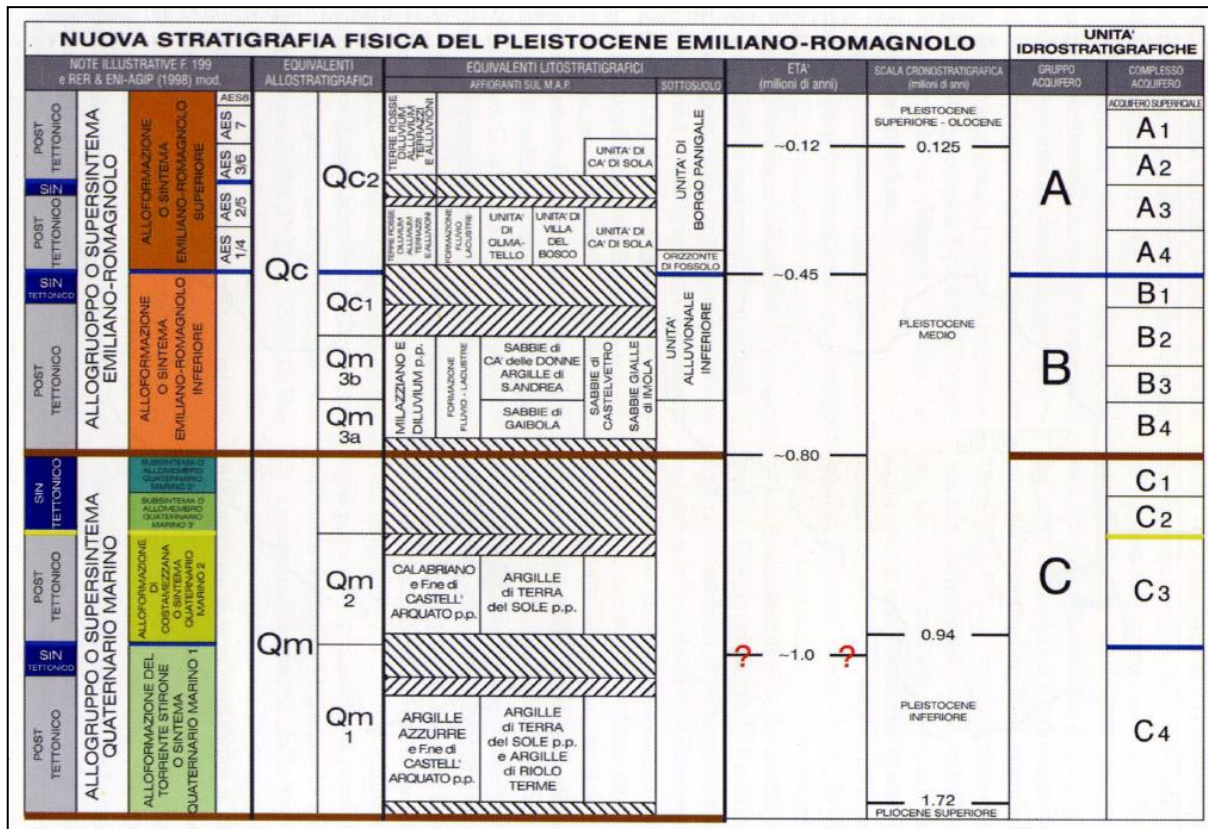


Figura 4 – Schema geologico-stratigrafico e idrostratigrafico del Bacino Pleistocenico della Pianura Emiliano - Romagnola (AGIP - RER - ENI, 1998).

2.3 Inquadramento geografico e geo-litologico dell'area in esame

La fascia di terreno indagata è compresa tra una quota di circa 59 m s.l.m. nella zona Due Maestà ed una quota di circa 74 m s.l.m. nella zona di Fogliano (quota dedotta dal rilievo topografico di campagna). Il lotto è rappresentato nella cartografia delle Regione Emilia - Romagna, in scala 1: 5.000 (CTR) Elementi n° 200122 - 200161. Le coordinate geografiche sono le seguenti:

Zona allacciamento con la tangenziale sud-est di Reggio Emilia in località Due Maestà:

- Latitudine: 44,66504° - Longitudine: 10,6500°

Zona allacciamento con la SS467 in località Fogliano (RE):

- Latitudine: 44,6390° - Longitudine: 10,6556°

Per ciò che riguarda la geologia, si fa riferimento alla Carta Geolitologica del PSC di Reggio Emilia (cfr. Tavola 3 tra gli Allegati), l'opera rientra integralmente nelle **“alluvioni a dominante argillosa della bassa pianura”**.

3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO ED IDROLOGICO

3.1 Geomorfologia della bassa pianura

Risulta difficile a chi percorra la pianura lungo la Via Emilia o l'Autostrada del Sole riconoscere le piatte conoidi dei corsi d'acqua che escono dal rilievo appenninico, le quali si saldano dolcemente le une alle altre in maniera caratteristica a formare la "bassa pianura alluvionale". È pure poco evidente che gli alvei di questi corsi d'acqua sono quasi tutti pensili ancor prima di giungere alla Via Emilia; lo stesso F. Po è già sopraelevato sulla pianura all'altezza della città di Piacenza. Questo aspetto è stato determinato da eventi naturali ed è secondo ogni evidenza imputabile ad un eccesso di sedimentazione in un'area soggetta a subsidenza.

La forma delle conoidi, sulle quali emergono le aste fluviali, è caratterizzata da differenze di quota estremamente esigue ma determinanti per l'evoluzione del territorio. Le conoidi dei fiumi e torrenti appenninici, hanno una superficie a forma di "becco d'anatra"; la sua leggera convessità, maggiormente marcata in corrispondenza dell'alveo fluviale, sottolinea la sopraelevazione dell'alveo rispetto alla pianura circostante.

Queste conoidi sono costituite da sedimenti di età relativamente recenti; infatti, lo spessore più superficiale dei depositi alluvionali che costituiscono la pianura è attribuibile all'Olocene.

Nell'evoluzione della pianura in epoca storica e in particolare nell'evoluzione della rete idrografica è difficile distinguere quanto incida l'intervento umano e quanto il naturale processo geologico. L'opera dell'uomo sulla rete idrografica naturale può essere stata localmente determinante e non sempre l'intervento è databile; le opere di canalizzazione sono poi estremamente diffuse su tutto il territorio e da particellari divengono via via più importanti fino ai grandi canali colatori che convogliano le acque di drenaggio e di scolo nella rete naturale.

Sono dunque due i fattori che condizionano l'evoluzione delle pianure oloceniche: il fattore naturale (evoluzione tettonica e sedimentaria, con le variazioni di drenaggio ad esse conseguenti) ed il fattore antropico (il lavoro delle comunità umane per rendere il drenaggio compatibile con le esigenze dell'agricoltura e dell'insediamento).

In Val Padana, dove le pratiche agricole sono in atto senza sostanziali interruzioni da circa 6.000 anni, il fattore antropico acquista un rilievo particolare ed agisce in rapporto di mutuo condizionamento con il fattore naturale a determinare l'aspetto della pianura.

Il tessuto idrografico, in specie quello minore, direttamente determinato dalla parcellazione agraria, è la risultante delle varie vicende che nel tempo e nello spazio hanno portato alla formazione della pianura:

l'analisi di detto reticolo permette di discernere tali vicende e, con l'ausilio di dati storici ed archeologici, di datarle.

In letteratura è possibile ritrovare una classificazione della rete di drenaggio superficiale descritta da Cremaschi, (1978) secondo la quale si possono distinguere tre tipi di drenaggi prevalenti:

- **drenaggio libero:** si tratta di corsi d'acqua ad andamento non incanalato né rettificato, sono frequenti andamenti sinuosi che tagliano il regolare mosaico della parcellazione agraria;
- **drenaggio di antica sistemazione agraria:** è caratterizzato da maglie con segmenti principali orientati nord/nord-est - sud/sud-ovest e segmenti minori ortogonali, esso ricalca, a grandi linee, l'orientamento della centuriazione romana; si trova principalmente nelle aree stabili (cioè non esondabili), sui dossi wurmiani e sui terreni dell'Olocene antico;
- **drenaggio di recente sistemazione agraria:** è caratterizzato da una densa rete di canali a maglie strette, aventi in genere la stessa orientazione del drenaggio di antica sistemazione agraria, ma con miglior conservazione; in vicinanza dei corsi d'acqua segue talora l'orientazione di questi; tale drenaggio è caratteristico delle aree bonificate dal XV al XIX secolo (CREMASCHI M., 1980).

Tuttavia, se l'antropizzazione anche in passato è stata intensa, sono sempre i fattori geologico-climatici quelli che hanno condizionato e condizioneranno in maniera sostanziale il tracciato del reticolo idrografico e che ne determineranno l'evoluzione futura.

Nell'area in oggetto, l'evoluzione prevalente dei corsi d'acqua consiste in fenomeni di sedimentazione che vengono accompagnati da una costante subsidenza del bacino quantificabile in circa 1 millimetro all'anno.

La costante subsidenza e il continuo apporto sedimentario fluviale hanno collaborato alla sovrapposizione dei depositi, di natura terrigena, che oggi costituiscono il substrato della Pianura Padana. Questo processo era governato, un tempo, dalle costanti e regolari tracimazioni dei corsi d'acqua che, grazie al loro apporto di sedimenti, hanno permesso di colmare la pianura. Le acque uscendo dagli alvei depositavano i materiali prevalentemente sabbiosi nelle immediate vicinanze, contribuendo così alla costruzione degli argini naturali, e più fini (limi ed argille) nelle aree distali (piane interfluviali) dove l'energia del flusso, e quindi la capacità di trasporto, diminuiva progressivamente.

Questo meccanismo naturale è stato interrotto dall'uomo, che, per poter creare un ambiente stabile per i propri insediamenti e per le attività agricole, ha costretto i fiumi padani entro argini artificiali.

Il processo di esondazione da parte dei corsi d'acqua appenninici può essere visto come conseguenza della tettonica recente ed in atto che ha guidato e guida tuttora i processi di sedimentazione dei corsi d'acqua e condiziona l'aspetto morfologico della pianura; si tratta di movimenti essenzialmente areali, verticali, complessi, differenziati fra strutture sinclinali ed anticlinali sepolte che testimoniano il sollevamento continuo delle strutture appenniniche (PAPANI G. & SGAVETTI M., 1975).

3.2 Il bacino idrogeologico della pianura Emiliano - Romagnola

Il "materasso alluvionale" depositatosi sui sedimenti marini che costituisce la Pianura Emiliano - Romagnola, risulta essere formato dalla saldatura delle conoidi dei corsi d'acqua appenninici che hanno sovente cambiato percorso con spostamento dell'alveo anche di molti chilometri, fino a far interferire le alluvioni di un corso d'acqua con quelle di un altro in una stessa zona (PETRUCCI F. *et alii*, 1975) (Figura 5). È quindi ormai noto che, per le profondità studiate, la media pianura parmense è stata costruita dall'attività dei fiumi appenninici, rappresentata da processi di migrazione laterale, eventi di avulsione e ripetuti episodi di alluvionamento delle piane adiacenti. Gli antenati degli attuali fiumi del parmense risultano quindi i veri protagonisti della storia geologica locale, una storia in cui i singoli corsi d'acqua hanno avuto importanza diversa tra loro (VALLONI R. & BAILO M., 2003).

I depositi fluviali a conoide presentano il vertice in corrispondenza degli sbocchi delle valli torrentizie e si allargano a ventaglio verso la pianura con una sedimentazione eterogenea, a forma lenticolare, variabile dalle ghiaie alle argille.

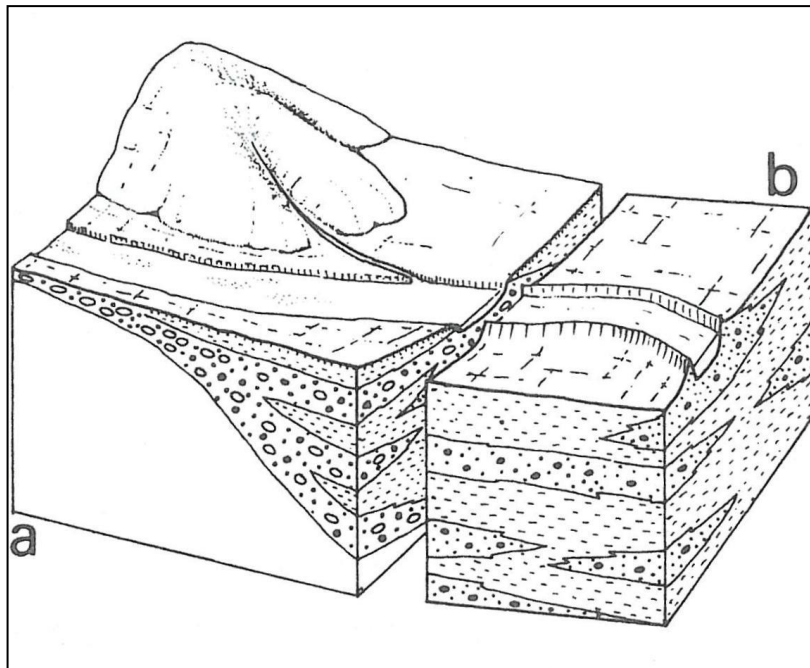


Figura 5 - Sistema idrogeologico plurifalda tipico dell'alta (a) e della medio-bassa (b) pianura alluvionale della provincia di Parma.

L'architettura degli ambienti sedimentari sviluppati nel Pleistocene superiore - Olocene è quindi illustrata dalle relazioni spaziali fra corpi di:

- ghiaie e sabbie deposte in ambiente di canale fluviale;
- sabbie e limi deposti in ambiente di canale, argine e dosso fluviale;
- limi e argille deposti in ambiente di piana alluvionale;

- argille e vegetali depositi in ambiente alluvionale con acque subaffioranti o stagnanti.

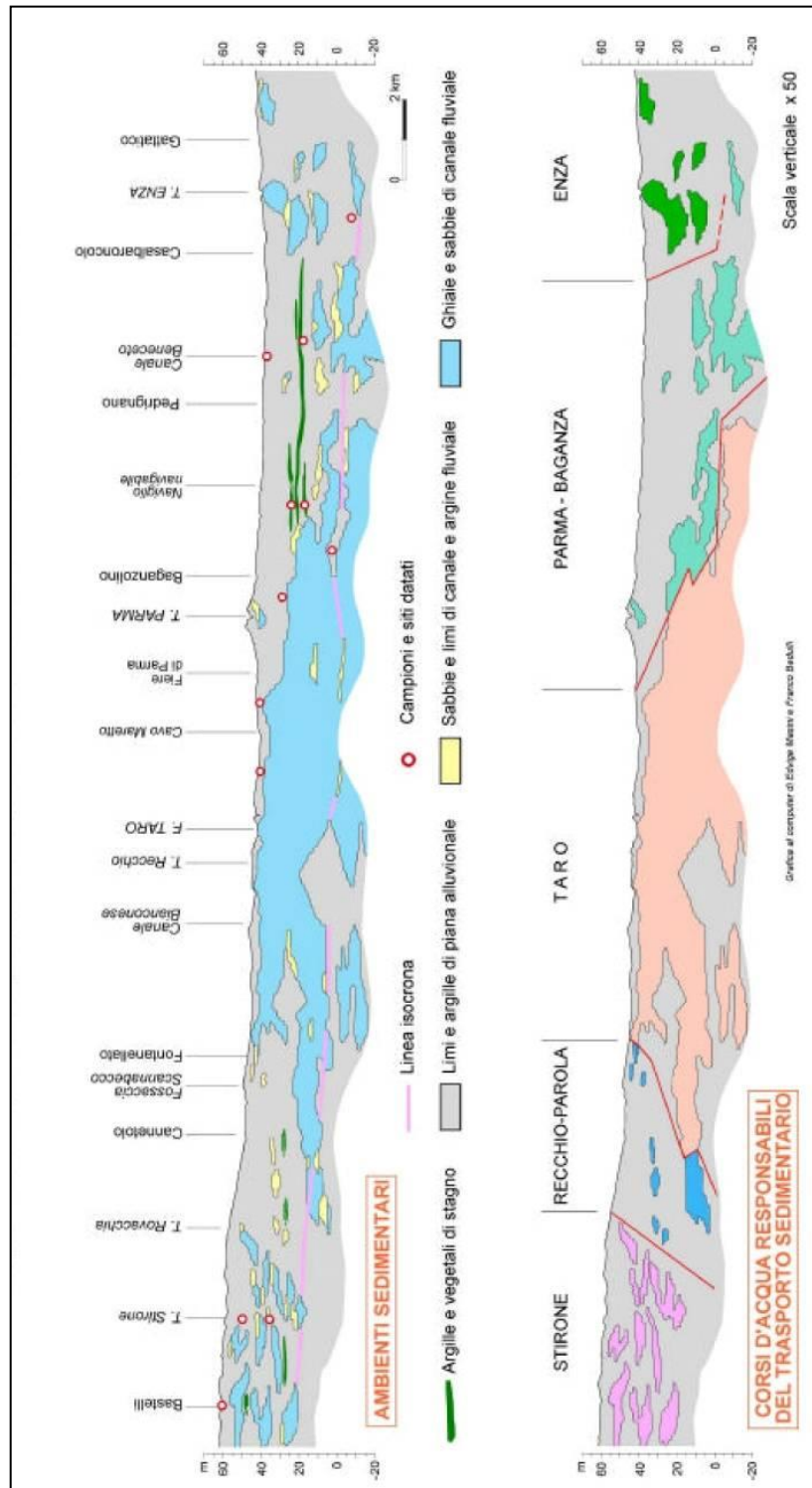


Figura 6 – Sezione sedimentologica sul tracciato alta velocità della media pianura parmense: ambienti sedimentari e corsi d'acqua responsabili del trasporto sedimentario (VALLONI R. & BAILO M., 2003).

Nel sottosuolo della pianura e sul Margine Appenninico Padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati Gruppo Acquifero A, B e C a partire dal piano campagna (RER - ENI - AGIP, 1998).

Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo, il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente, il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.

L'architettura interna e le caratteristiche petrofisiche delle *Unità Idrostratigrafiche* descritte sono il risultato della storia tettonica e deposizionale del bacino sedimentario. I meccanismi naturali che controllano questo processo sono due:

1. alternanze di fasi di sollevamento tettonico con fasi di subsidenza regionale;
2. oscillazioni climatico-eustatiche ad alta frequenza.

Nel Bacino Idrogeologico della Pianura Emiliano - Romagnola il limite tra acqua dolce e salmastra definisce la base degli acquiferi utili per uso idropotabile e agricolo-industriale. La profondità di tale limite è nota in corrispondenza di alcuni pozzi per acqua particolarmente profondi e dei pozzi pubblicati dall'AGIP sui volumi "Acque dolci sotterranee" (1972 - 1994); in questi ultimi il limite tra acqua dolce e salmastra è stato posto convenzionalmente in corrispondenza del valore di 10 ohm*m dei log di resistività, equivalente ad una conducibilità di 1000 mS/cm.

Per *Unità Idrostratigrafica* si intende la formazione, o la parte di una formazione oppure un gruppo di formazioni con caratteristiche idrologiche omogenee o distribuite in modo da permettere una suddivisione interna in acquiferi e barriere di permeabilità associate (DOMENICO P.A. & SCHWARTZ F.W., 1990). Secondo tale definizione, l'*Unità Idrostratigrafica* può essere considerata come sinonimo di *Formazione Idrogeologica* o *Unità Idrogeologica*.

Attualmente le conoscenze idrogeologiche del Bacino della Pianura Emiliano - Romagnola sono raccolte nella pubblicazione "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia - Romagna" (1998) a cura di Di Dio a cui si fa riferimento per la parte teorica introduttiva.

In tali studi si definisce *Unità Idrostratigrafico - Sequenziale (UIS)* una particolare sottoclasse di Unità Idrostratigrafiche (MAXEY G.B., 1964) i cui componenti presentano le seguenti caratteristiche:

- sono costituiti da una o più Sequenze Deposizionali;
- sono comprensivi di un livello geologico basale, scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquicludo), arealmente continuo (la continuità areale va intesa in senso geologico e non letterale).

Dalla prima caratteristica consegue che un'UIS è un corpo geologico complesso, formato da gruppi di strati con geometrie e caratteri petrofisici variabili ma legati geneticamente, cioè depositi in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione; questo comporta che le superfici di strato possano toccare ma non intersecare i limiti di un'UIS. Dal momento che, se si escludono le aree di ricarica diretta, negli acquiferi regionali i flussi idrici avvengono con componente parallela alle superfici di strato molto maggiore di quella ortogonale, si può concludere che tali flussi sono necessariamente confinati all'interno della medesima UIS.

Dalla seconda caratteristica consegue che ogni UIS può essere considerata idraulicamente isolata da quelle adiacenti, sicché il livello piezometrico misurato in un acquifero appartenente ad una determinata UIS è di norma indipendente dai livelli piezometrici misurati, sulla stessa verticale, in acquiferi contenuti in altre UIS.

Come brevemente descritto in precedenza, ogni Unità Idrostratigrafica è costituita da un corpo e un tetto composto da sedimenti non coesivi, essenzialmente ghiaioso-sabbiosi prodotti nella fase deposizionale di alta energia, e da una base prevalentemente fine che costituisce una barriera di permeabilità regionale prodotta nella fase deposizionale di bassa energia (disattivazione) dei sistemi sedimentari, che generalmente prende campo, per motivi climatici, nell'intervallo tra la fine della risalita eustatica e l'inizio della caduta successiva; essa corrisponde all'intervallo tra il tardo "Trasgressive Systems Tract" e il tardo "Highstand Systems Tract" (POSAMENTIER H.W. & VAIL P.R., 1988).

In sintesi l'individuazione di Unità Idrostratigrafiche, in particolare di Unità Idrostratigrafiche - Sequenziali, comporta il notevole vantaggio pratico di poter studiare l'idrodinamica sotterranea locale (aree di decine di km²) considerando ciascuna unità idraulicamente isolata dalle altre.

Come accennato all'inizio del capitolo, il quadro stratigrafico della Pianura Emiliano - Romagnola è composto da tre Unità Idrostratigrafiche - Sequenziali, informalmente denominate Gruppo Acquifero A, B e C a loro volta suddivise in tredici UIS, gerarchicamente inferiori, denominate *Complessi Acquiferi* (cfr. Figura 6). La differenza gerarchica si basa essenzialmente sullo spessore, sulla continuità ed estensione areale del livello acquifero o impermeabile di ciascuna unità.

3.3 Geomorfologia, idrogeologia ed idrologia dell'area in esame

Dall'esame della tavola Carta Geomorfologica del PTCT della Provincia di Reggio Emilia, la fascia di area interessata dalla tangenziale rientra integralmente in una formazione di limi ed argille prevalenti e lungo tutto il tracciato non esistono elementi morfologici di rilievo. (cfr. Tavola 5 tra gli Allegati).

Riguardo l'idrografia superficiale che, secondo la pubblicazione di Cremaschi (1980) rientra nel *drenaggio di recente sistemazione agraria* e nel *drenaggio di antica sistemazione agraria*, si ritrovano una serie di canali, rii e fossati che hanno il compito di drenare le acque meteoriche all'interno dell'apparato idrografico principale che è rappresentato dal T. Crostolo sito a circa 3,5 km ad ovest dell'area che scorre in direzione sud-nord e dal T. Rodano che scorre parallelamente a circa 120 m ad est dell'area in studio per un tratto di circa 1,2 Km anch'esso in direzione sud-nord. Sono presenti, oltre ad una serie di fossi, fossati irrigui e di scolo che scorrono in varie direzioni, due corsi d'acqua: il Canale di Secchia ed il Rio Lavacchiello entrambi sono attraversati dal nuovo tratto stradale (Cfr. Tavola 5 tra gli Allegati). Tali rii, canali e fossati mantengono tuttora i caratteri naturali propri delle zone fluviali della media pianura Emiliano-Romagnola: meandreggiano nei tratti pianeggianti e sono maggiormente rettilinei nei tratti con maggiore pendenza andando così ad incidere le alluvioni ed i terrazzi formando piccole valli a V. In queste zone di particolare pregio naturalistico e paesaggistico è presente una lussureggiante cenosi arborea ed arbustiva che permette alla fauna terrestre ed acquatica di prosperare.

Nel sito in esame, come si evidenzia in Tavola 4, le isopieze attestano la falda alla quota di circa 60 m s.l.m., nella zona Due Maestà quindi con una soggiacenza media di circa $-2,50 \div -3,00$ m rispetto al piano campagna e di circa 80 m s.l.m. nella zona di Fogliano con una soggiacenza di circa $-6,00$ m dal piano campagna. La direzione del flusso principale della falda è nord, nord-est.

Dai risultati delle prove delle prove penetrometriche eseguite nell'area in studio, dai due carotaggi e dall'osservazione delle stratigrafie dei pozzi limitrofi sono state rilevate falde comprese tra $-3,00 \div -5,00$ m circa da p.c. e $-8,00$ m circa da p.c. (falde sospese). Il livello statico risulta essere il seguente (cfr. Sezione Stratigrafica Allegata):

- CPTU 1 = $-2,80$ m da p.c.
- CPTU 2 = $-2,50$ m da p.c.
- CPTU 3 = $-5,40$ m da p.c.
- CPTU 4 = $-1,00$ m da p.c.
- CPTU 5 = $-1,20$ m da p.c.
- CPTU 6 = $-1,20$ m da p.c.
- CPTU 7 = $-1,20$ m da p.c.
- CPTU 8 = $-2,20$ m da p.c.
- CPTU 9 = $-4,60$ m da p.c.

Un'eccezione si è presentata nel carotaggio S1 dove la falda profonda in pressione è uscita a piano campagna zampillando.

Dall'esame della sezione stratigrafica e idrogeologica, allegata al presente studio, lungo tutto il tracciato stradale e nei primi $12 \div 15$ m di profondità sono presenti in maggioranza terreni di natura argillosa ed argilloso-limosa (scarsa permeabilità) con lenti sabbiose e limoso sabbiose con presenza di acqua (falde sospese). Tali falde sospese sono legate principalmente alle situazioni meteoriche e tendono ad esaurirsi o a ridurre la loro capacità idrica nei periodi molto siccitosi.

4. RELAZIONE SISMICA: DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO, DEL VALORE DI V_s EQUIVALENTE, DELL'INTERVALLO DI FREQUENZA DI RISONANZA, DEGLI EFFETTI LOCALI, DEL FATTORE DI SICUREZZA A LIQUEFAZIONE F_s E MICROZONAZIONE SISMICA

4.1 Brevi cenni sulla riclassificazione sismica

Il territorio dell'Emilia - Romagna è interessato da una sismicità che può essere definita di intensità medio-bassa rispetto alla sismicità nazionale come è raffigurato nella carta delle zone sismiche Italiane (Cfr. Figura 7).

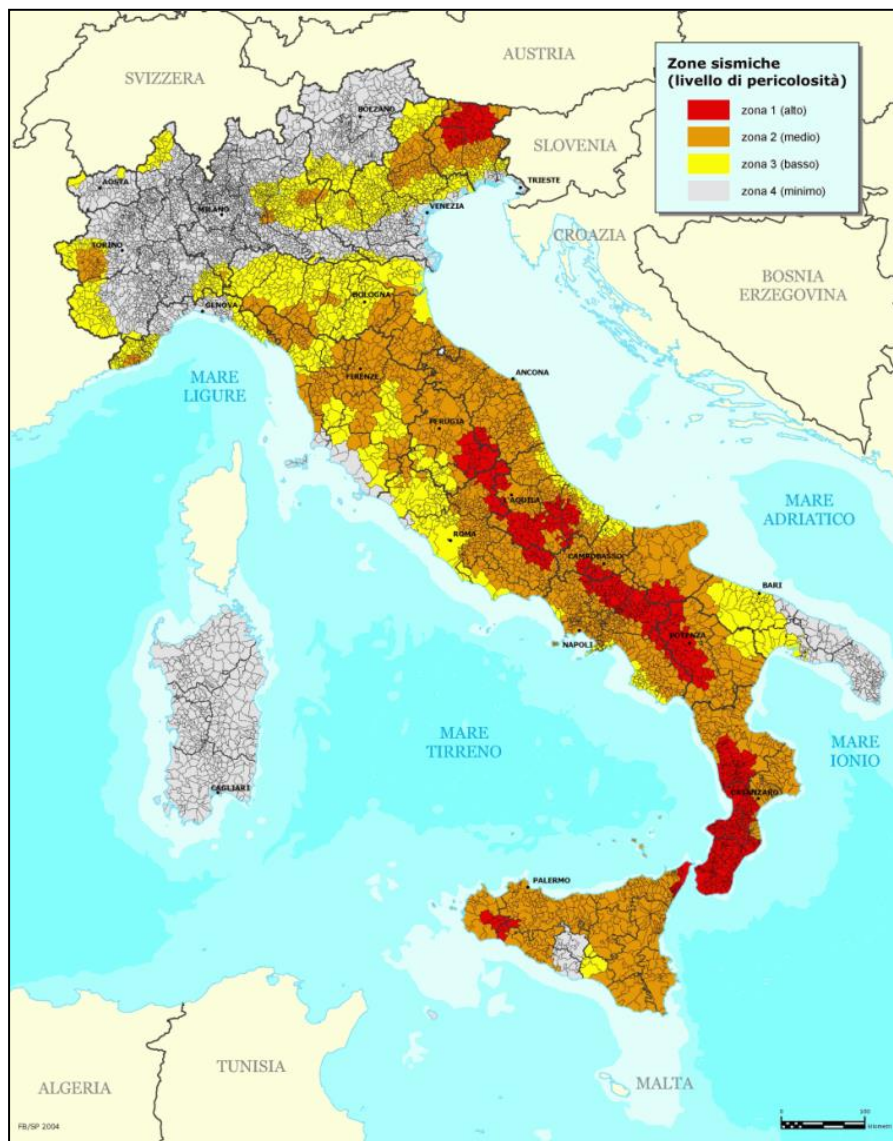


Figura 7 – Carta delle zone sismiche Italiane.

La recente riclassificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, pubblicata nel Supplemento Ordinario n. 72 della Gazzetta Ufficiale 08 maggio 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"), ha modificato il quadro dell'Emilia-Romagna: da 89 comuni classificati di II categoria dalla precedente classificazione (gli altri 252 non erano classificati sismici) si è passati a 105 comuni in zona 2 ($0,15 < a_g/g < 0,25$), 214 in zona 3 ($0,05 < a_g/g < 0,15$) e i restanti 22 comuni in zona 4 ($a_g/g < 0,05$). Con il DGR n. 1164 del 23 luglio 2018, poi, si è arrivati all'ultima versione con 107 comuni in zona 2 e 224 comuni in zona 3.

- a_g = accelerazione di picco orizzontale al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni;
- g = accelerazione di gravità.

Gli effetti di un terremoto in superficie possono variare a seconda delle caratteristiche litologiche, idrogeologiche e morfologiche. Accumuli detritici, alluvionali, terreni di riporto, creste e cucuzzoli possono amplificare il segnale sismico; terreni granulari con falda superficiale possono essere soggetti a liquefazione o addensamento con conseguenti cedimenti; frane e detriti di versante possono essere rimobilizzati.

La definizione della pericolosità locale e la microzonazione sismica sono gli strumenti più idonei per la conoscenza e la prevenzione degli effetti dovuti a fattori locali; rappresentano quindi strumenti di base propedeutici e necessari per la prevenzione e la riduzione del rischio sismico.

Le norme tecniche delle costruzioni, modificate con il Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, definiscono le verifiche da effettuare al fine di ridurre il rischio sismico.

La Delibera di Giunta Regionale 24 ottobre 2005, n. 1677 contiene le "prime indicazioni applicative" in merito al Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 mentre la Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna 2 maggio 2007, n. 112 definisce gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica che diventano effettivi con la Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617.

4.2 Classi d'uso

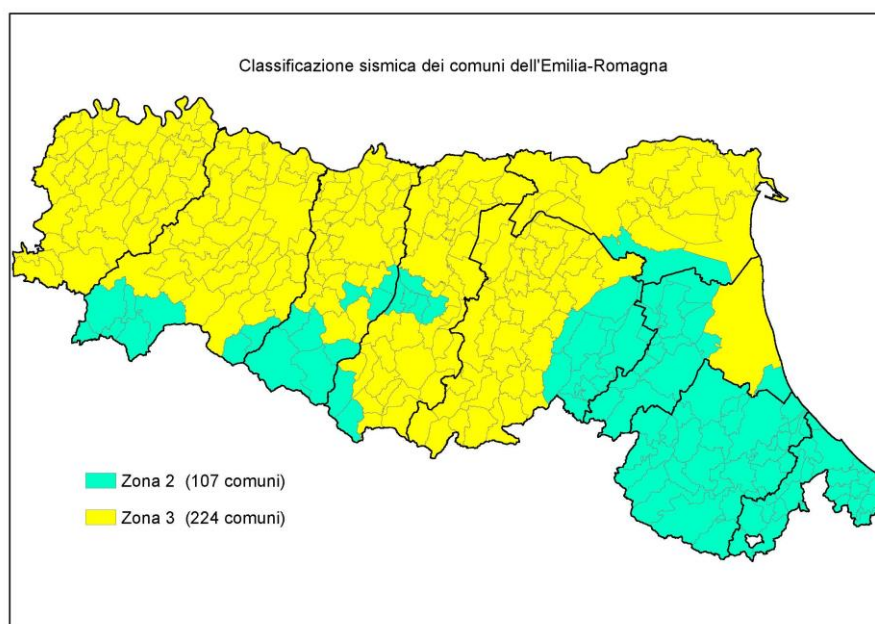


Figura 8 – Nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia Romagna (DGR 23 luglio 2018 n. 1164).

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese. L'azione può essere descritta mediante accelerogrammi o mediante spettri di risposta.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in quattro *classi d'uso* (corrispondenti alle Classi di Importanza di EC8) e a ciascuna di esse è attribuito un *coefficiente d'uso* (C_u) nel modo seguente (Paragrafo 2.4.3, Tabella 2.4.II - NTC2018):

- **Classe I:** costruzioni con presenza solo occasionale di persone – Coefficiente d'uso = 0,7;
- **Classe II:** costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. Ambienti ad uso residenziale – Coefficiente d'uso = 1,0;
- **Classe III:** costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso – Coefficiente d'uso = 1,5;
- **Classe IV:** costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al Decreto Ministeriale 5 novembre 2001, n.

6792, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica – Coefficiente d'uso = 2,0.

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di C_u anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

Sulla base dei tabulati sopra riportati, e delle informazioni ottenute dal progettista, all'edificio oggetto di studio è stata attribuita la seguente *classe d'uso* con il relativo *coefficiente d'uso* (C_u):

Classe d'uso	Coefficiente d'uso (C_u)
III	1,5

Tabella 1 – Classe d'uso e relativo coefficiente d'uso (C_u) per l'edificio oggetto di studio.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un *periodo di riferimento* (V_R) che si ricava per ciascun tipo di costruzione utilizzando la seguente espressione:

$$V_R = V_N C_U \quad (3)$$

dove:

- V_N = vita nominale (100 anni)
- C_U = coefficiente d'uso

Per l'opera oggetto di studio è stato calcolato il seguente *periodo di riferimento* (V_R) (considerando che per valori di $V_R < 35$ anni, si pone comunque $V_R = 35$ anni):

Periodo di riferimento (V_R)
100 anni

Tabella 2 – Periodo di riferimento (V_R) per l'opera oggetto di studio.

4.3 Stati Limite

Ai fini dell'applicazione delle norme sismiche, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche. La **pericolosità sismica** è definita in termini di:

- **accelerazione orizzontale massima (a_g) in condizioni di campo libero su sito di riferimento** (categoria A) **con superficie topografica orizzontale** (categoria T1);
- **ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente ($Se(T)$)**, con riferimento a prefissate *probabilità di eccedenza (P_{VR})* nel *periodo di riferimento (V_R)*.

dove:

- **periodo di riferimento (V_R)**: lasso di tempo all'interno del quale in un detto sito si verificherà un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato;
- **probabilità di eccedenza (P_{VR})**: probabilità che si verifichi l'evento precedentemente descritto.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (o T secondo le NTC 2018).

I valori di a_g , F_0 e T_C^* dell'area oggetto di studio con le relative coordinate (latitudine e longitudine), sono riportati in Tavola C tra gli Allegati.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia ultimo che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Gli stati limite dinamici sono:

- **Stati Limite di Esercizio (SLE)**: dinamici:
 - **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
 - **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile, pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- **Stati Limite Ultimi (SLU)**: dinamici:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali, la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali, la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Le probabilità di superamento dei sopracitati stati limite, sono riportate nella seguente tabella:

Stati limite		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R (P_{VR})
Stato Limite di Esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
Stato Limite Ultimo (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 3 – Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R (P_{VR}) degli Stati Limite (da: Tabella 3.2.I NTC 2018).

Per ciascuno stato limite e relativa *probabilità di eccedenza* (P_{VR}) nel *periodo di riferimento* (V_R) il *periodo di ritorno* (T_R) del sisma è dato da:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U V_N / \ln(1 - P_{VR}) \quad (4)$$

In sintesi:

Stati limite		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R (P_{VR})
Stato Limite di Esercizio (SLE)	SLO	$30anni \leq T_R = 0,60V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
Stato Limite Ultimo (SLU)	SLV	$T_R = 9,50V_R$
	SLC	$T_R = 19,50V_R \leq 2475anni$

Tabella 4 – Valori del *periodo di ritorno* (T_R) espressi in funzione del *periodo di riferimento* (V_R).

4.4 Zona sismica

Si ritiene opportuno riportare una tabella riassuntiva che esplica i valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare come valore generale di riferimento in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale; si ricorda tuttavia che i valori di a_g , F_0 e T_{c^*} dell'area oggetto di studio sono riportati in Tavola C tra gli Allegati.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo (a_g)
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Tabella 5 – Valore dell'accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo (a_g) in funzione della zona sismica.

Sulla base dei valori riportati in Tabella 5, l'area oggetto di studio rientra nella seguente zona sismica con relativa accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo (a_g):

Zona sismica	Accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo (a_g)
3	0,15 g

Tabella 6 – Accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo (a_g) per l'area oggetto di studio.

4.5 Categorie di sottosuolo

Per definire l'azione sismica di progetto, si valuta l'effetto della *risposta sismica locale (RSL)* mediante specifiche analisi, dove:

- **Risposta Sismica Locale (RSL)**: è l'azione sismica quale emerge in superficie a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite trasmettendosi dal substrato rigido.

Per poter definire la categoria di suolo è necessario disporre di apposite indagini mirate all'individuazione della velocità delle onde S nei primi metri di terreno al di sotto del piano di posa delle fondazioni (V_s , eq).

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

- A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi**, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;
- B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti**, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s;
- D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti**, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;
- E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D**, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per velocità equivalente di propagazione si intende la media pesata delle velocità delle onde S degli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (5)$$

dove:

- h_i = spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N = numero di strati
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

4.6 Indagini geofisiche eseguite nell'area oggetto di studio

Ai fini del presente studio sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- **n°4 stendimento sismico attivo (MASW)** (Multichannel Analysis of Surface Waves) (Park et alii, 1999) al fine di valutare la risposta del terreno all'azione sismica, mediante la valutazione della velocità media delle onde di taglio nei primi metri sotto il piano di posa delle fondazioni (V_s , eq) (cfr. Capitolo 4.7);
- **n°4 analisi del microtremore sismico con TROMINO (HVSr)** al fine di valutare l'intervallo all'interno del quale risuona il terreno fornendo un intervallo di frequenza di risonanza (f_r) (cfr. Capitolo 4.8).

Tali tecniche permettono di ricostruire un profilo stratigrafico completo; il tipo di stratigrafia si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

4.7 Modalità di classificazione della Categoria di Sottosuolo del terreno oggetto di studio e del suo V_s ,eq mediante metodologia MASW: descrizione del metodo utilizzato

Il metodo geofisico utilizzato in questa sede per la caratterizzazione della categoria di sottosuolo in base al valore delle V_s è la sismica a rifrazione attiva elaborata mediante metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves): essa permette di modellizzare il sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (Park et alii, 1999).

Il metodo consente di stimare la velocità delle onde di taglio (V_s) dei terreni a partire dalla velocità delle onde di superficie (Rayleigh nel caso del presente studio). La velocità delle onde di taglio è legata alla rigidità μ dei terreni tramite la formula:

$$\mu = \rho V_s^2 \quad (6)$$

dove:

- ρ = densità;

Poiché la densità dei suoli varia relativamente poco con la profondità (almeno nelle prime decine di metri), dalla formula si evince che i valori di V_s sono i primi indicatori della rigidità di un terreno.

Le onde Rayleigh sono onde di superficie e sono generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (S_v) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. In presenza di un semispazio omogeneo la loro velocità non presenta dipendenza dalla frequenza (no dispersione). Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$.

L'ampiezza dello spostamento decresce con legge esponenziale. Per questo diviene rapidamente trascurabile con la profondità. La propagazione di queste onde non è influenzata dalle caratteristiche del mezzo al di sotto di una profondità pari a λ . Esse possono essere viste come la sovrapposizione di due componenti separate: una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità.

Il vantaggio di utilizzare il metodo MASW sta nel fatto che non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità in profondità; ha una buona risoluzione e poi perché la propagazione delle onde Rayleigh è funzione soprattutto delle V_s (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito). Esso è particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onda dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo ed isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (quindi frequenza) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di circa $\lambda/2$. Tale velocità delle onde di Rayleigh (V_r) è pari a circa il 90% delle onde di taglio V_s .

L'indagine sismica è finalizzata alla determinazione delle velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) nei terreni attraversati mediante la valutazione della $V_{s,eq}$ come richiesto dall'OPCM 20 marzo 2003, n. 3274, dal DM 14 settembre 2005, dal DM 14 gennaio 2008, dalla Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 e dal DM 17 gennaio 2018 (NTC 2018).

Si ricorda che la nuova normativa definisce l'azione sismica di progetto, sulla base della zona sismica assegnata al comune di appartenenza e la categoria sismica del suolo dell'area di intervento, ricavata dalle indagini sismiche dirette.

All'interno del territorio nazionale fino ad oggi sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (cfr. OPCM 20 marzo 2003, n. 3274, Allegato 1). La classificazione del suolo (come precedentemente indicato) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione.

Lo strumento impiegato è un sismografo MAE modello A6000SE (strumento certificato) a 24 canali con energizzatore che può essere: a esplosione, tipo minibang o massa battente (martello) che è quella impiegata nel caso in studio (cfr. Figura 9).



Figura 9 – Esecuzione di una prova MASW mediante sismografo MAE modello A6000SE a 24 canali.

In corrispondenza del sito indagato è stato effettuato uno stendimento di 46 m energizzando mediante massa battente a 5 metri dall'origine dello stress (offset), utilizzando 24 geofoni a componente verticale con distanza pari a 2 m (si tratta di geofoni da 4,5 Hz, particolarmente sensibili alle basse frequenze) ed 1 geofono starter (trigger) da 14 Hz posto a fianco dell'energizzazione.

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (mediante battuta con mazza in modo da simulare un sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate

La registrazione è avvenuta impostando i seguenti parametri strumentali e geometria di acquisizione:

Parametri strumentali e geometria di acquisizione MASW	Valori
Lunghezza stendimento	46 m
Offset energizzazione	5 m
N° geofoni	24
Distanza intergeofonica	2 m
Sensibilità geofoni	4,5 Hz
Sensibilità geofono starter (trigger)	14 Hz
Durata	2096 ms
Campionamento	4096 campioni

Tabella 7 – Parametri strumentali e geometria di acquisizione della prova sismica con elaborazione MASW.

4.8 Stima della Frequenza di Risonanza (fr) del terreno oggetto di studio mediante registrazione del microtremore sismico (HVSr) con TROMINO: descrizione del metodo utilizzato

Lo strumento geofisico utilizzato in questa sede per la registrazione del microtremore ambientale ai fini della individuazione degli intervalli di frequenza di risonanza (fr) del terreno, tramite opportuna modellazione vincolata, è il TROMINO Micromed (strumento certificato) (Cfr. Figura 10); esso permette di ricostruire una stratigrafia sismica.



Figura 10 – Esecuzione di una registrazione del microtremore ambientale mediante TROMINO.

L'attuale normativa antisismica italiana ricalca l'EC8, il quale a sua volta ha recepito in toto la normativa californiana basata sui dati ricavati da Earthquake Spectra (1994).

Questa duplice traduzione ha purtroppo portato a travisare lo spirito originale, che era quello di fornire una base quantitativa a basso costo, seppure molto approssimata, per la classificazione dei suoli in termini di effetti di sito. In realtà il parametro chiave rappresentato dalla velocità media delle onde S, presenta una modesta correlazione con gli effetti di sito.

È stato quindi proposto un metodo basato sulle misure a stazione singola del tremore sismico. Queste ultime, attraverso i rapporti spettrali, portano infatti alla misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, parametro la cui correlazione con gli effetti di sito è ben più significativa di quella del $V_{s,eq}$

Le misure di microtremore opportunamente invertite, permettono anche di stimare in maniera rapida il valore del $V_{s,eq}$ in particolare mediante l'elaborazione congiunta di MASW e TROMINO.

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica. La prova, comunemente nota con il termine H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali (H), e verticale (V)) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). In un sistema costituito da uno strato tenero (es: coperture) sovrastante un semispazio rigido (es: bedrock) (Cfr. Figura 11), un'onda tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $\lambda = n \cdot 4 H$. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla legge:

$$fr = n \frac{Vs}{4H} \quad n = 1,3,5... \quad (7)$$

dove:

- n = ordine del modo di vibrare;
- Vs = velocità delle onde di taglio dello strato che risuona;
- H = spessore dello strato.

Nel caso, più comune, in cui il sistema studiato sia a più strati, occorre determinare il valore di Vs tramite una media pesata delle velocità delle onde di taglio che caratterizzano gli strati presenti al di sotto della fondazione dell'edificio per tutto la profondità investigata; più precisamente:

$$\overline{Vs} = \sum_{i=1}^n \frac{Vs_i \cdot Hi}{H} \quad (8)$$

dove:

- Hi = spessore dello strato i-esimo;
- Vs = velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo;
- H = spessore totale del deposito investigato.

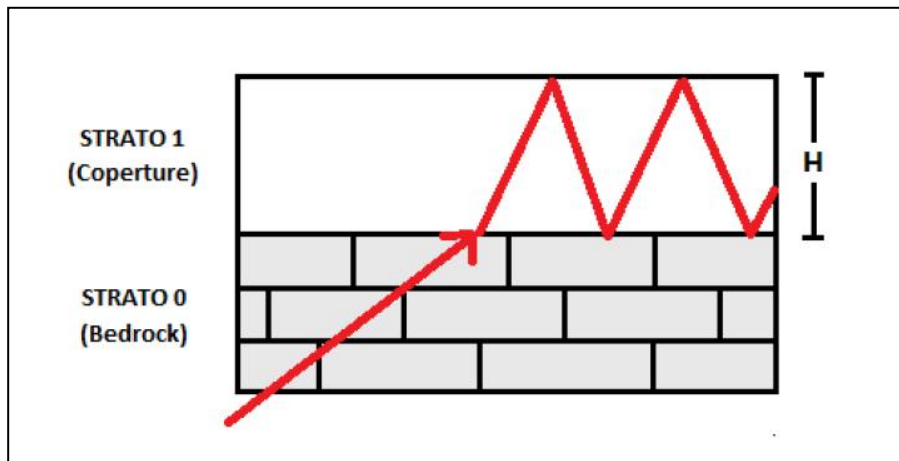


Figura 11 – Intrappolamento per trasmissione e successive riflessioni di un'onda sismica in uno strato di coperture di spessore H sovrastanti un bedrock rigido (Castellaro S. & Mulargia F., 2009).

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti. L'equazione 7 permette di comprendere come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di microtremore che fornisce la frequenza di risonanza (f_r), nota la V_s delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa.

Le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto vengono analizzate secondo procedure spettrali di vario tipo (FFT, wavelet, ecc.) fino alla produzione delle curve H/V, dove H è la media di due componenti spettrali orizzontali ortogonali.

Nel 2005 il progetto SESAME stabilì una serie di criteri per la valutazione della significatività statistica dei picchi H/V. La prima parte di questi criteri, individuata la frequenza del picco di risonanza, verifica se la registrazione è stata effettuata per un periodo statisticamente significativo e se l'analisi è stata base della statistica. La seconda parte di questi analizza la geometria del picco e dice semplicemente se il picco ha una forma ben definita. Questa parte dei test SESAME va interpretata con cognizione di causa perché solo un contatto netto tra litotipi diversi dal punto di vista meccanico genera picchi netti. Al contrario, le transizioni graduali (es: roccia fratturata su roccia sana, passaggi da limo-argilloso a sabbia-limoso, alternanze di lave con vario grado di alterazione ecc.) generano più spesso amplificazioni in una banda larga di frequenze. In questo caso eventuali non superamenti dei criteri SESAME non significano che non ci siano risonanze importanti ma solo che non ci sono picchi singoli ben definiti.

Prima di qualsiasi interpretazione delle curve H/V sono indispensabili tre accorgimenti:

- la curva H/V deve essere statisticamente significativa, ossia essere caratterizzata da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato. Esistono diversi metodi per "pulire" una curva H/V. SESAME (2005) propone la rimozione nella serie temporale di quelle finestre caratterizzate da una deviazione del segnale (STA, media a breve termine) maggiore della media a lungo termine (LTA).

Tuttavia le procedure che propongono la rimozione dei disturbi sulla base della serie temporale non appaiono le più indicate quando l'obiettivo è pulire una curva che è funzione della frequenza. La pulizia deve infatti essere rivolta alla ricerca di un rapporto H/V stabile e quindi alla rimozione delle sole finestre in cui questo rapporto risulti alterato, a parità di frequenza, tra i canali H e i canali V. Questo tipicamente avviene in presenza di segnali di natura impulsiva, che presentano cioè spettri bianchi;

- le curve H/V non vanno mai osservate da sole ma sempre congiuntamente agli spettri delle singole componenti da cui derivano. Questo permette di discernere agevolmente i picchi di natura stratigrafica da quelli di natura antropica. In condizioni normali le componenti spettrali NS, EW e Z (verticale) hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma “a occhio” o “a ogiva” (la componente verticale di colore magenta scende al di sotto delle altre due componenti). Questa forma è indicativa di risonanze stratigrafiche. È evidente però che in una misura di tremore entrano anche vibrazioni monofrequenziali (artefatti) indotte da macchinari o simili. Queste si traducono in picchi stretti (delta) ben definiti su tutte e tre le componenti spettrali e quando l'ampiezza sulle tre componenti non è simile, danno luogo a picchi o gole artefattuali nelle curve H/V;
- valutare con attenzione l'inversione di velocità. Per inversioni di velocità si intende la presenza di uno strato meno rigido sottostante uno strato più rigido. Questa caratteristica non è il normale trend in natura (dove ci si aspetta un aumento di rigidità scendendo verso il basso, per l'incremento dello stato tensionale geostatico) ma è una condizione relativamente frequente in presenza di alternanze litologiche quali ghiaie sopra argille, in presenza di cavità (la cavità è l'esempio estremo di inversione di velocità) e anche in presenza di suoli artificiali rigidi (pavimentazioni, lastricati ecc.) sovrastanti suoli naturali teneri. Una inversione di velocità interessa pesantemente le componenti spettrali orizzontali del microtremore mentre lascia la componente verticale quasi inalterata. Ne consegue che in presenza di una inversione di velocità il rapporto H/V si colloca su ampiezze inferiori a 1 per larghi intervalli di frequenze. Questo può impedire l'individuazione di risonanze esistenti. In questi contesti i picchi di risonanza vanno individuati osservando gli spettri delle singole componenti del moto e non rispetteranno i requisiti SESAME (2005) (Castellaro S. & Mulargia F., 2009).

Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella degli edifici, si produce un'amplificazione molto grande delle onde sismiche e vengono indotte sollecitazioni con forte potere distruttivo (*fenomeno della doppia risonanza*). Pertanto per prevedere e prevenire questa coincidenza di risonanza è sufficiente misurare la frequenza propria di risonanza del sito, quella di ciascun edificio e confrontarle.

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa perché può dar luogo alla massima amplificazione.

La registrazione è avvenuta impostando i seguenti parametri strumentali:

Parametri strumentali Tromino	Valori
Frequenza di campionamento	128 Hz
Durata	14 min
Orientamento strumento	nord-sud

Tabella 8 – Parametri strumentali dell'acquisizione dei microtremiti con Tromino.

4.9 MASW – HVSR

Dall'elaborazione eseguita dalla Ditta Prove Penetrometriche S.r.l. dei dati acquisiti dalla sismica a rifrazione con metodologia MASW sono stati ottenuti i seguenti valori di $V_{s,eq}$ (cfr. Tavola A tra gli Allegati):

Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri ($V_{s,eq}$) (m/sec)
278 ± 41 MASW N. 1
264 ± 39 MASW N. 2
271 ± 40 MASW N. 3
256 ± 38 MASW N. 4

Tabella 9 – Velocità media delle onde di taglio nei primi metri sotto il piano di posa delle fondazioni ($V_{s,eq}$), per l'area oggetto di studio.

L'errore medio che si ha nella valutazione della V_{s30} con la metodologia MASW ed anche HVSR è dell'ordine del 15% (Mulargia F. & Castellaro S., 2009).

Il valore di velocità ottenuto e l'osservazione del dato stratigrafico, hanno permesso di classificare il sottosuolo nella **categoria C**, ovvero costituito da **Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti**, con profondità del substrato superiori a 30 m caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s.

Dagli spettri H/V elaborati dalla Ditta Prove Penetrometriche S.r.l., sono stati calcolati gli intervalli di frequenza di risonanza che vengono di seguito riportati.

Intervalli di frequenza di risonanza del terreno
(fr)
(Hz)
HVSR N. 1
Da 0,41 a 0,64
Da 2,7 a 4,2
HVSR N. 2
Da 0,45 a 0,7
Da 2,25 a 4,9
Da 7,83 a 12,18
HVSR N. 3
Da 0,44 a 0,69
HVSR N. 4
Da 0,57 a 0,90

Tabella 10 – Frequenze di risonanza del terreno (fr), per l'area oggetto di studio.

HVSR N. 1 (Cfr. Tavola A Tra gli Allegati):

Nella misura H/V in oggetto è stato analizzato il 60% del tracciato mediante un lisciamento del 10% di tipo "Triangular window"; la rimanente parte è stata eliminata perché soggetta a rumore strumentale ed ambientale (Cfr. Tavola A tra gli Allegati). Tale analisi ha rilevato il picco fondamentale H/V a frequenze molto basse a 0,13 Hz \pm 0,03 Hz (nell'intervallo tra 0,0 e 64,0 Hz).

La determinazione delle misure dell'intervallo di frequenza di risonanza è stata effettuata per i "picchi" con ampiezza superiore o uguale a 2 in quanto solitamente le amplificazioni pericolose a livello strutturale sono prodotte da "picchi" con ampiezza maggiore o uguale a 2.

La determinazione delle misure dell'intervallo di frequenza di risonanza da 0,41 a 0,64 Hz è stata effettuata utilizzando una cautela del 10% a sinistra del picco a 0,46 Hz e 40% a destra dello stesso. L'intervallo di fr da 2,7 a 4,2 Hz è stato calcolato utilizzando una cautela del 10% a sinistra del picco fondamentale posto a 3 Hz ed una cautela del 40% a destra dello stesso (Cfr. Tavola A tra gli Allegati).

HVSR N. 2 (Cfr. Tavola A Tra gli Allegati):

Nella misura H/V in oggetto è stato analizzato il 73% del tracciato mediante un lisciamento del 10% di tipo "Triangular window"; la rimanente parte è stata eliminata perché soggetta a rumore strumentale ed ambientale (Cfr. Tavola A tra gli Allegati). Tale analisi ha rilevato il picco fondamentale H/V a frequenze molto basse a 0,16 Hz \pm 0,31 Hz (nell'intervallo tra 0,0 e 64,0 Hz).

La determinazione delle misure dell'intervallo di frequenza di risonanza è stata effettuata per i "picchi" con ampiezza superiore o uguale a 2 in quanto solitamente le amplificazioni pericolose a livello strutturale sono prodotte da "picchi" con ampiezza maggiore o uguale a 2.

La determinazione delle misure dell'intervallo di frequenza di risonanza da 0,45 a 0,7 Hz è stata effettuata utilizzando una cautela del 10% a sinistra del picco a 0,5 Hz e 40% a destra dello stesso. L'intervallo di fr da 2,25 a 4,9 Hz è stato calcolato utilizzando una cautela del 10% a sinistra del picco fondamentale posto da 2,5 Hz a 3,5 Hz ed una cautela del 40% a destra dello stesso. L'intervallo di fr da 7,83 a 12,18 Hz è stato calcolato utilizzando una cautela del 10% a sinistra del picco fondamentale posto a 8,7 Hz ed una cautela del 40% a destra dello stesso. Il picco presente a 59 Hz riguarda uno strato molto superficiale probabilmente di origine antropica, quindi non viene preso in considerazione (Cfr. Tavola A tra gli Allegati).

HVSR N. 3 (Cfr. Tavola A Tra gli Allegati):

Nella misura H/V in oggetto è stato analizzato il 58% del tracciato mediante un lisciamento del 10% di tipo "Triangular window"; la rimanente parte è stata eliminata perché soggetta a rumore strumentale ed ambientale (Cfr. Tavola A tra gli Allegati). Tale analisi ha rilevato il picco fondamentale H/V a frequenze molto basse a 0,18 Hz \pm 0,02 Hz (nell'intervallo tra 0,0 e 64,0 Hz).

La determinazione delle misure dell'intervallo di frequenza di risonanza è stata effettuata per i "picchi" con ampiezza superiore o uguale a 2 in quanto solitamente le amplificazioni pericolose a livello strutturale sono prodotte da "picchi" con ampiezza maggiore o uguale a 2.

La determinazione delle misure dell'intervallo di frequenza di risonanza da 0,44 a 0,69 Hz è stata effettuata utilizzando una cautela del 10% a sinistra del picco a 0,54 Hz e 40% a destra dello stesso (Cfr. Tavola A tra gli Allegati).

HVSR N. 4 (Cfr. Tavola A Tra gli Allegati):

Nella misura H/V in oggetto è stato analizzato il 48% del tracciato mediante un lisciamento del 10% di tipo "Triangular window"; la rimanente parte è stata eliminata perché soggetta a rumore strumentale ed ambientale (Cfr. Tavola A tra gli Allegati). Tale analisi ha rilevato il picco fondamentale H/V a frequenze molto basse a 0,18 Hz \pm 0,13 Hz (nell'intervallo tra 0,0 e 64,0 Hz).

La determinazione delle misure dell'intervallo di frequenza di risonanza è stata effettuata per i "picchi" con ampiezza superiore o uguale a 2 in quanto solitamente le amplificazioni pericolose a livello strutturale sono prodotte da "picchi" con ampiezza maggiore o uguale a 2.

La determinazione delle misure dell'intervallo di frequenza di risonanza da 0,57 a 0,90 Hz è stata effettuata utilizzando una cautela del 10% a sinistra del picco a 0,64 Hz e 40% a destra dello stesso. Il picco presente a 63 Hz riguarda uno strato molto superficiale probabilmente di origine antropica, quindi non viene preso in considerazione (Cfr. Tavola A tra gli Allegati).

Sulla base dei risultati riportati in Tabella 9 e di quanto esposto nei precedenti paragrafi, è importante precisare che l'opera che sorgerà nell'area oggetto di studio non deve possedere una frequenza di risonanza compresa all'interno degli intervalli di vibrazione del terreno.

4.10 Valutazione dell'Azione Sismica

La **curva dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali** ($S_e(T)$), riportata in Tavola C tra gli Allegati, viene suddivisa per intervalli ognuno dei quali risponde alle seguenti funzioni:

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad 0 \leq T < T_B \quad (9)$$

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \quad T_B \leq T < T_C \quad (10)$$

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T < T_D \quad (11)$$

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \quad T_D \leq T \quad (12)$$

dove:

- S_e = accelerazione spettrale orizzontale;
- T = periodo di vibrazione;
- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_B = periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, mediante la relazione:

$$T_B = T_C / 3 \quad (13)$$

- T_C = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante, mediante la relazione:

$$T_C = C_c T_C^* \quad (14)$$

dove:

- T_C^* = tratto spettrale a periodo costante per un periodo di ritorno determinato;
- C_c = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

- T_D = periodo dell'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \frac{a_g}{g} + 1,6 \quad (15)$$

- η = fattore che altera lo spettro elastico, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \zeta)^3} \geq 0,55 \quad (16)$$

- S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, mediante la relazione:

$$S = S_S S_T \quad (17)$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica.

La **curva dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali ($S_{Ve}(T)$)**, riportata in Tavola C tra gli Allegati, viene suddivisa per intervalli ognuno dei quali risponde alle seguenti funzioni:

$$S_{Ve}(T) = a_g S \eta F_o \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_V} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad 0 \leq T < T_B \quad (18)$$

$$S_{Ve}(T) = a_g S \eta F_V \quad T_B \leq T < T_C \quad (19)$$

$$S_{Ve}(T) = a_g S \eta F_V \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T < T_D \quad (20)$$

$$S_{Ve}(T) = a_g S \eta F_V \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \quad T_D \leq T \quad (21)$$

dove:

- S_{Ve} = accelerazione spettrale verticale;
- F_V = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno (a_g) su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_V = 1,35 F_0 \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (22)$$

I valori di a_g , F_0 , S e η sono definiti dalle equazioni 18, 19, 20 e 21; i valori di S_s , T_B , T_C , e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella seguente tabella:

Categoria sottosuolo	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05s	0,15s	1,0s

Tabella 11 – Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale (da: Tabella 3.2.VI NTC 2018).

4.11 Microzonazione Sismica e determinazione degli Effetti Locali secondo la Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale 2 maggio 2007, Deliberazione Giunta Regionale 21 dicembre 2015 n. 2193, il DM 17 gennaio 2018, art. 3.2, la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 e Delibera della Giunta Regionale del 29/04/2019, n. 630 «Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica».

4.11.1 Effetti locali

La pericolosità sismica di un'area dipende dalle caratteristiche sismiche e da aspetti locali.

Le caratteristiche sismiche di un'area sono definite dalle sorgenti sismogenetiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti. Questi aspetti sono comunemente indicati come *pericolosità sismica di base* e sono quelli considerati per la classificazione sismica. Da queste caratteristiche deriva il moto di input atteso, per il calcolo del quale non vengono considerate le caratteristiche locali e il territorio è trattato come se fosse uniforme ed omogeneo, cioè pianeggiante e costituito da suolo rigido, in cui la velocità di propagazione delle onde S è maggiore di 800 m/s.

Il moto sismico può essere però modificato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali. Alcuni depositi e forme del paesaggio possono amplificare il moto sismico in superficie e favorire fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione. Queste modificazioni, dovute alle caratteristiche locali, sono comunemente definite *effetti locali*.

La zonazione del territorio sulla base della risposta sismica del terreno è perciò uno dei più efficaci strumenti di definizione e rappresentazione della pericolosità sismica, oltre che strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico, poiché fornisce un contributo essenziale per l'individuazione delle aree a maggiore pericolosità sismica, agevola la scelta delle aree a minor rischio e la definizione degli interventi ammissibili.

Tali carte sono particolarmente efficaci sia per la scelta delle aree di nuova previsione edificatoria, sia per la definizione delle indagini di approfondimento e degli interventi ammissibili, anche nelle aree già urbanizzate, soprattutto se utilizzate fin dalle fasi preliminari dei processi di pianificazione territoriale e urbanistica.

Esiste ormai un generale accordo su quali depositi e forme del paesaggio possono, durante o a seguito di un terremoto, determinare amplificazioni del moto sismico in superficie o concorrere a modificare in maniera permanente l'assetto del territorio causando cedimenti, franamenti e rotture del terreno.

Le conoscenze territoriali oggi disponibili in Emilia-Romagna, soprattutto grazie alle carte geologiche, alle banche dati geognostiche, alle carte topografiche e ai modelli digitali del terreno, permettono la rapida individuazione degli elementi geologici e morfologici che possono favorire gli effetti locali (Provincia di Reggio Emilia, Approvato il 17 giugno 2010, delib. n. 124)

Per quanto riguarda l'**amplificazione stratigrafica (S_s)**, per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E, i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati in funzione dei valori di F₀ e di T_c* relativi al sottosuolo di categoria A (che quindi assumerà valori di S_s e C_c pari ad 1), mediante le seguenti espressioni:

Categoria sottosuolo	S _s	C _c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10(T_{c^*})^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,10(T_{c^*})^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,10(T_{c^*})^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,10(T_{c^*})^{-0,40}$

Tabella 12 – Espressioni del coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s) e del coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (C_c) (da: Tabella 3.2.IV NTC 2018).

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'*accelerazione massima (amax)* attesa in superficie, secondo l'espressione:

$$a_{\max} = S_s a_g \quad (23)$$

Per quanto riguarda l'**amplificazione topografica (S_T)**, nel caso in cui siano presenti condizioni topografiche complesse, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 13 – *Categorie topografiche* (da: Tabella 3.2.III NTC 2018).

Sulla base dei valori riportati, l'area oggetto di studio è stata utilizzata la seguente *categoria topografica*:

Categoria topografica
T1

Tabella 14 – *Categoria topografica* per l'area oggetto di studio.

In assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale dovute ad amplificazione topografica si utilizzano dei valori di S_T che variano in funzione delle categorie topografiche definite in Tabella 13 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 15 – Valori massimi del *coefficiente di amplificazione topografica (S_T)* (da: Tabella 3.2.V NTC 2018).

Alla base del pendio S_T assume valore 0.

La valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica S_T , secondo l'espressione:

$$a_{\max} = S_S S_T a_g \quad (24)$$

Quanto sopra come descritto dalla normativa nazionale; la Regione Emilia-Romagna, ove previsto, ha formulato uno schema specifico dei fattori di amplificazione topografica di cui al punto A2.2 del Delibera di Giunta Regionale 2 maggio 2007, n. 112. Recentemente la nuova Delibera di

Giunta Regionale 21 dicembre 2015, n. 2193 (approvata l'8 gennaio 2016) nell'Allegato A2.1 ha introdotto un nuovo intervallo, come specificato di seguito.

Nel presente lavoro è stata eseguita la microzonazione sismica di dettaglio dell'area mediante la valutazione dei seguenti **coefficienti di amplificazione stratigrafici** (Cfr. Tavola G tra gli Allegati):

- Valore del fattore di amplificazione di intensità spettrale (FA_{SI}) calcolato negli intervalli:

SI1: $0,1s \leq T_0 \leq 0,5s$;

SI2: $0,5s \leq T_0 \leq 1,0s$;

SI3: $0,5s \leq T_0 \leq 1,5s$;
- Valore del fattore di amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (FA_{PGA});

4.11.2 Livelli di approfondimento

Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica devono essere condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale. Tali studi devono indicare il livello di approfondimento, le indagini effettuate e i risultati ottenuti devono fornire una cartografia dello stato dell'area indagata.

Sono identificate due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento:

- **prima fase (I° livello di approfondimento)**: definisce gli scenari di pericolosità sismica locale e identifica le parti di territorio suscettibili a tali effetti (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc) in base ad osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico svolte a scala territoriale, associate a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta soprattutto mediante l'elaborazione dei dati messi a disposizione del P.T.C.P., del P.S.C. e della banca dati in possesso dello scrivente a seguito della oltre trentennale attività lavorativa.
- **seconda fase**: ha come obiettivo la microzonazione sismica dell'area indagata; vengono individuati due diversi livelli di approfondimento:
 - **II° livello di approfondimento (analisi semplificata)**: nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti incluse le zone di fondovalle appenniniche con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale e sui versanti stabili con acclività $\leq 15^\circ$. L'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione dei dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in sito (ad esempio lo scrivente utilizza indagini sismiche a rifrazione con elaborazione di tipo MASW e registrazioni del microtremore ambientale con strumento TROMINO Zero che vengono elaborate in modo congiunto (cfr.

Capitolo 8.9)) e su prove geotecniche di tipo standard (ad esempio lo scrivente utilizza prove penetrometriche CPT o DPSH (cfr. Capitolo 4.1)).

- III° livello di approfondimento (analisi approfondita): nelle aree soggette a liquefazione⁶ (cfr. Capitolo 8.12) e a densificazione, nelle aree instabili e potenzialmente instabili nelle eccezionali ipotesi nelle quali la pianificazione preveda una possibile attività edificatoria, nelle aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti, nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico. Tale analisi prevede un significativo numero di indagini geofisiche e geotecniche sia in campagna che in laboratorio.

Secondo la Tavola 9b della Variante Specifica 2016 del PTCP di Reggio Emilia, tutta la fascia interessata dal tratto stradale rientra nell'approfondimento di **II livello**.

Si precisa però che per completezza metodologica e per una maggiore e più dettagliata precisione è nostra abitudine eseguire sempre una microzonazione sismica dell'area oggetto di studio con approfondimento di III livello, (Del. RER N° 2193 del 21 dicembre 2015 All. A3). Nel paragrafo successivo 4.11.3 viene eseguita questa valutazione.

4.11.3 Valutazione del Fattore di Amplificazione di Intensità Spettrale (FA_{SI}) e del Fattore di Amplificazione in Termini del Rapporto di Accelerazione Massima Orizzontale (FA_{PGA})

La normativa prevede innanzi tutto il calcolo dei *coefficienti di amplificazione sismica* (SI , SI_0 , PGA e PGA_0) che a loro volta permettono di calcolare i *fattori di amplificazione sismica* (FA_{SI} e FA_{PGA}) rispetto ad un suolo di riferimento. Tali fattori sono espressi sia in termini di rapporto di Intensità di Housner ($FA_{SI}=SI/SI_0$) sia di rapporto di accelerazione massima orizzontale ($FA_{PGA}=PGA/PGA_0$) per prefissati intervalli di periodi dove precisamente si ha:

- SI = Intensità di Housner al suolo calcolata nell'area indagata;
- SI_0 = Intensità di Housner al suolo di riferimento definita per ogni comune;
- PGA = accelerazione massima orizzontale al suolo calcolata nell'area indagata;
- PGA_0 = accelerazione massima orizzontale al suolo di riferimento definita per ogni comune.

Per il calcolo dell'**Intensità di Housner** sia del comune di riferimento (SI_0) che dell'area indagata (SI), è necessario conoscere lo *spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali* (PSV) per un periodo di ritorno di 475 anni con uno smorzamento convenzionale $\zeta=5\%$ sia per il comune di riferimento che per l'area indagata.

⁶ LIQUEFAZIONE – La liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, rappresenta una possibile minaccia che può manifestarsi durante i terremoti, interessando, in genere, depositi di natura sabbiosa o sabbioso-limoso, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

Una volta ottenuti gli spettri di risposta in velocità, si passa al calcolo integrale dell'Intensità di Housner negli intervalli SI1: $0,1s \leq T_0 \leq 0,5s$, SI2: $0,5s \leq T_0 \leq 1,0s$ ed SI3: $0,5s \leq T_0 \leq 1,5s$ come descritto dall'integrale sottostante

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0 \quad (25)$$

I fattori di amplificazione sono così determinati:

- 1) Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TA_i e dello spettro medio di output TA_o ;
- 2) Si ricavano i valori medi degli spettri di input ($SA_{m,i}$) e di output ($SA_{m,o}$) nell'intorno di TA_i e di TA_o come:

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0,5TA}^{1,5TA} SA(T) dT \quad (26)$$

dove SA è lo spettro medio (SA_i di input, SA_o di output).

- 3) Si determinano i periodi proprio TV_i e TV_o per il quale sono massimi gli spettri di Pseudo velocità:

$$SV(T) = SA(T) \frac{T}{2\pi} \quad (27)$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SV_i di input, SV_o di output)

- 4) Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TV_i e di TV_o

$$SV_m = \frac{1}{0,4TV} \int_{0,8TV}^{1,2TV} SV(T) dT \quad (28)$$

dove SV_i è lo spettro medio di pseudovelocità di input e SV_o è lo spettro medio di pseudovelocità di output.

- 5) Il valore di Fa è pari a

$$Fa = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}} \quad (29)$$

- 6) Il valore di Fv è pari a

$$F_v = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}} \quad (30)$$

Con il metodo di III livello è possibile valutare puntualmente l'effettiva amplificazione stratigrafica sfruttando la soluzione dell'equazione differenziale che governa il problema della propagazione di onde di taglio in un solido alla **Kelvin-Voigt**, il comportamento dei terreni secondo curve di decadimento per G e lo smorzamento; tratte dalla letteratura scientifica e/o normative, o ancora, curve di decadimento personalizzate.

La procedura di calcolo utilizzata per la risposta sismica locale è di tipo lineare equivalente su un *modello di n strati* piani e paralleli di estensione orizzontale infinita su un semispazio corrispondente al bedrock. L'input sismico, rappresentato da uno o più accelerogrammi, viene applicato al bedrock e viene valutato il moto di propagazione delle onde in direzione perpendicolare alla superficie utilizzando l'equazione di equilibrio dinamico in funzione dello spostamento.

I valori finali forniti dall'analisi di III livello sono gli accelerogrammi e i relativi spettri di risposta, lo spettro medio e quello medio normalizzato, da confrontare con lo spettro di normativa. **Gli spettri normalizzati sono stati calcolati in SLV, SLD, SLO** (Cfr. Tavola C tra gli Allegati).

Con i software EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses) della University of Southern California - Department of Civil Engineering **ed RSLIII** (Risposta Sismica Locale di III Livello) della Geostru, Italia, utilizzati nel presente lavoro, è possibile operare contemporaneamente su più accelerogrammi forniti come input che sono in grado di utilizzare come unità di misura per l'accelerazione sia i **m/s²** che **g**. Sono stati inseriti 7 accelerogrammi ricavati dal software **REXEL 3.5**, opportunamente scalati all'accelerazione di progetto (a_g). Le tracce da importare sono quelle riferite al bedrock sismico la cui scelta, nelle analisi di III livello, è legata alla verifica delle condizioni definite dalle NTC 2018.

Per quanto riguarda la stratigrafia da inserire, i programmi dispongono di un archivio di materiali con definite leggi di variazione del rapporto G/G_{max} e del coefficiente di smorzamento in funzione della deformazione al taglio, quali: Vucetic & Dorby (1991) – Seed et al. (1986) – Idriss (1990) – EPRI (1993) – Regione Lombardia – Darendeli & Stokoe (2001) – Argille 1 (Ardin & Drenvich) – Argille 2 (Ardin & Drenvich) – Sabbie limose (Yokota et al. 1982) – Rollins et al. (1998) – Regione Lazio – Sabbia (Seed-Idriss) (cfr. Tavola C tra gli Allegati).

Sono restituiti sia in formato numerico che in formato grafico i seguenti risultati: accelerogrammi amplificati, *stress-strain*, trasformata di *Fourier*, spettri di risposta elastico in accelerazione, spettro medio e spettro normalizzato. **È possibile mettere a confronto gli spettri di risposta elastici ottenuti mediante l'elaborazione (spettro medio e spettro normalizzato) con gli spettri definiti dalle NTC 2018.** Inoltre vengono determinati i **fattori di amplificazione Fa e Fv come segue: Fa (PGA/PGA₀), Fa (ICMS 2008), Fv (ICMS 2008), Fa (ICMS 2011), Fv (ICMS 2011) e i fattori di amplificazione su intensità spettrale (Intensità di Housner).** Lo **spettro normalizzato** può essere determinato secondo le linee guida della Protezione Civile oppure servendosi dei valori a_g , F_0 e T_c^* per lo stato limite in esame.

I risultati ricavati sono specifici dell'area indagata.

I fattori di amplificazione calcolati con il metodo sopradescritto, sono i seguenti:

RSLIII - MASW N. 1 (Tabella a)

Fa PGA/PGA ₀	Fa ICMS 2008	Fv ICMS 2008	Fa ICMS 2011	Fv ICMS 2011	Fa intensità di Housner		
					SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s	SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s	SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s
1,75	1,65	1,78	1,87	1,97	1,97	1,54	1,40

RSLIII - MASW N. 2 (Tabella b)

Fa PGA/PGA ₀	Fa ICMS 2008	Fv ICMS 2008	Fa ICMS 2011	Fv ICMS 2011	Fa intensità di Housner		
					SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s	SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s	SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s
2,42	2,28	1,78	2,19	2,19	2,19	1,43	1,34

RSLIII - MASW N. 3 (Tabella c)

Fa PGA/PGA ₀	Fa ICMS 2008	Fv ICMS 2008	Fa ICMS 2011	Fv ICMS 2011	Fa intensità di Housner		
					SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s	SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s	SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s
2,17	2,55	2,18	2,41	2,49	2,49	1,58	1,45

RSLIII - MASW N. 4 (Tabella d)

Fa PGA/PGA ₀	Fa ICMS 2008	Fv ICMS 2008	Fa ICMS 2011	Fv ICMS 2011	Fa intensità di Housner		
					SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s	SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s	SI1 0,1s ≤ T ₀ ≤ 0,5s
2,17	2,09	1,90	2,15	2,2	2,20	1,58	1,44

Tabelle 16 a-b-c-d – Valore medio del fattore di amplificazione di intensità spettrale (FA_{SI}) calcolato negli intervalli SI1: 0,1s ≤ T₀ ≤ 0,5s, SI2: 0,5s ≤ T₀ ≤ 1,0s e SI3: 0,5s ≤ T₀ ≤ 1,5s, del fattore (Fa) e del fattore (fv) ottenuti come media degli accelerogrammi considerati secondo ICMS 2008 e ICMS 2011.

Nella parte finale dell'Allegato di Tavola C, vengono messi a confronto gli spettri di risposta elastici ottenuti mediante l'elaborazione (spettro medio e spettro normalizzato) con gli spettri di sito definiti dalle NTC 2018.

5. CONCLUSIONI

Su incarico della Provincia di Reggio Emilia, è stata eseguita una campagna di indagini finalizzata alla caratterizzazione geologico, geomorfologica, idrogeologica-idrologica superficiale e sismica di un terreno per la realizzazione della Tangenziale di Fogliano-Due Maestà, nel comune di Reggio Emilia (RE) (in ottemperanza alle vigenti disposizioni di legge, come dettato dal DM 17 gennaio 2018, dalla Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 *in materia geotecnica*, dalla Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna 2 maggio 2007, n. 112, dalla L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 *che definiscono gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica* e dalla Delibera di Giunta Regionale 21 dicembre 2015, n. 2193) e Delibera della Giunta Regionale del 29/04/2019, n. 630 «Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica».

In riferimento allo studio di cui in oggetto ed alla Variante Specifica del PTCP adottato dal Consiglio Provinciale con delibera n. 2 del 15/02/2018 con particolare riguardo alla Tav. P7bis "*Reticolo secondario di pianura. Carta di delimitazione delle fasce fluviali e delle aree di fondovalle potenzialmente allagabili (PAI-PTCP)*" ed all'art.68bis delle NTC che hanno recepito la D.G.R. n. 1300/2016; premesso che secondo la Tav. P7 del PTCP l'area in oggetto è esterna alla fascia di esondazione "C" del Torrente Crostolo che scorre ad ovest, ad una distanza di circa 3,5 km e del Torrente Rodano che scorre ad est parallelamente alla tangenziale per un tratto di circa 1,2 Km ad una distanza media di circa 120 m, si ribadisce quanto segue: secondo la Tavola P7bis della Variante Specifica di PTCP l'area si trova all'interno del Reticolo Secondario di Pianura (RSP) con uno scenario di alluvione poco frequente (P2) e tempi di ritorno tra 100 e 200 anni, quindi, in riferimento alla D.G.R. 1300/2016 cap. 5.2 a2 recepita dalla variante di PTCP, questa situazione dovrà essere tenuta in considerazione in fase di progettazione del rilevato stradale.

Per ciò che riguarda la geologia, si fa riferimento alla Carta Geolitologica del PSC di Reggio Emilia (cfr. Tavola 3 tra gli Allegati), l'opera rientra integralmente nelle "**alluvioni a dominante argillosa della bassa pianura**".

Dall'esame della tavola Carta Geomorfologica del PTCT della Provincia di Reggio Emilia, la fascia di area interessata dalla tangenziale rientra integralmente in una formazione di limi ed argille prevalenti e lungo tutto il tracciato non esistono elementi morfologici di rilievo. (cfr. Tavola 5 tra gli Allegati).

Riguardo l'idrografia superficiale che, secondo la pubblicazione di Cremaschi (1980) rientra nel *drenaggio di recente sistemazione agraria* e nel *drenaggio di antica sistemazione agraria*, si ritrovano una serie di canali, rii e fossati che hanno il compito di drenare le acque meteoriche all'interno dell'apparato idrografico principale che è rappresentato dal T. Crostolo sito a circa 3,5 km ad ovest dell'area che scorre in direzione sud-nord e dal T. Rodano che scorre parallelamente a circa 120 m ad est dell'area in studio per un tratto di circa 1,2 Km anch'esso in direzione sud-nord. Sono presenti, oltre ad una serie di fossi, fossati irrigui

e di scolo che scorrono in varie direzioni, due corsi d'acqua minori: il Canale di Secchia ed il Rio Lavacchiello entrambi sono attraversati dal nuovo tratto stradale (Cfr. Tavola 5 tra gli Allegati). Tali rii, canali e fossati mantengono tuttora i caratteri naturali propri delle zone fluviali della media pianura Emiliano-Romagnola: meandreggiano nei tratti pianeggianti e sono maggiormente rettilinei nei tratti con maggiore pendenza andando così ad incidere le alluvioni ed i terrazzi formando piccole valli a V. In queste zone di particolare pregio naturalistico e paesaggistico è presente una lussureggiante cenosi arborea ed arbustiva che permette alla fauna terrestre ed acquatica di prosperare.

Nel sito in esame, come si evidenzia in Tavola 4, le isopieze attestano la falda alla quota di circa 60 m s.l.m., nella zona Due Maestà quindi con una soggiacenza media di circa -2,50÷-3,00 m rispetto al piano campagna e di circa 80 m s.l.m. nella zona di Fogliano con una soggiacenza di circa - 6,00 m dal piano campagna. La direzione del flusso principale della falda è nord, nord-est.

Dai risultati delle prove delle prove penetrometriche eseguite nell'area in studio , dai due carotaggi e dall'osservazione delle stratigrafie dei pozzi limitrofi sono state rilevate falde comprese tra -3,00 ÷ -5,00 m circa da p.c. e -8,00 m circa da p.c. (falde sospese). Il livello statico risulta essere il seguente (cfr. Sezione Stratigrafica Allegata):

- CPTU 1 = -2,80 m da p.c.
- CPTU 2 = -2,50 m da p.c.
- CPTU 3 = -5,40 m da p.c.
- CPTU 4 = -1,00 m da p.c.
- CPTU 5 = -1,20 m da p.c.
- CPTU 6 = -1,20 m da p.c.
- CPTU 7 = -1,20 m da p.c.
- CPTU 8 = -2,20 m da p.c.
- CPTU 9 = -4,60 m da p.c.

Un'eccezione si è presentata nel carotaggio S1 dove la falda profonda in pressione è uscita a piano campagna zampillando.

Dall'esame della sezione stratigrafica e idrogeologica, allegata al presente studio, lungo tutto il tracciato stradale e nei primi 12÷15 m di profondità sono presenti in maggioranza terreni di natura argillosa ed argilloso-limosa (scarsa permeabilità) con lenti sabbiose e limoso sabbiose con presenza di acqua (falde sospese). Tali falde sospese sono legate principalmente alle situazioni meteoriche e tendono ad esaurirsi o a ridurre la loro capacità idrica nei periodi molto siccitosi.

In sintesi le caratteristiche sismiche dei terreni indagati sono le seguenti:

Caratteristiche sismiche dei terreni indagati	Valori calcolati
Classe d'uso (cfr. Capitolo 4.2)	Classe III
Coefficiente d'uso (C_u) (cfr. Capitolo 4.2)	1,5
Periodo di riferimento (V_R) (cfr. Capitolo 4.2)	100 anni
Zona sismica (a_g) (cfr. Capitolo .4)	Zona 3: 0,15g
Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri al di sotto del piano di posa delle fondazioni ($V_{s_eq} = V_{s30}$) (cfr. Capitolo 4.9)	278 ± 41 m/s MASW N. 1 264 ± 39 m/s MASW N. 2 271 ± 40 m/s MASW N. 3 256 ± 38 m/s MASW N. 4
Categoria di suolo di fondazione (dal punto di vista sismico) (cfr. Capitolo 4.9)	Categoria C
Intervallo di frequenza di risonanza del terreno (fr) (cfr. Capitolo 4.9 – Tabella 10)	cfr. Capitolo 4.9 – Tabella 10
Fattori di amplificazione (cfr. Capitolo 4.11.2)	cfr. Tabelle 16 a-b-c-d
Categoria topografica (cfr. Capitolo 4.11.1)	T1

Tabella 17 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni indagati.

Con i software **EERA** (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses) della University of Southern California - Department of Civil Engineerin **ed RSLIII** (Risposta Sismica Locale di III Livello) della Geostru, Italia, utilizzati nel presente lavoro, è possibile operare contemporaneamente su più accelerogrammi forniti come input che sono in grado di utilizzare come unità di misura per l'accelerazione sia i m/s^2 che **g**. Sono stati inseriti 7 accelerogrammi ricavati dal software **REXEL 3.5**, opportunamente scalati all'accelerazione di progetto (a_g). Le tracce da importare sono quelle riferite al bedrock sismico la cui scelta, nelle analisi di III livello, è legata alla verifica delle condizioni definite dalle NTC 2018.

Lo scrivente rimane a disposizione per ulteriori chiarimenti o sopralluoghi.



Novembre 2020

Il tecnico



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S. Barani'.

Dott. Geol. Simone Barani

BIBLIOGRAFIA

- AGIP - RER - ENI. (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia - Romagna*. A cura di Di Dio, S.EL.CA., Firenze, pp. 120.
- Aiello E. (2010). *Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008)*. Università degli Studi di Siena - Centro di GeoTecnologie (CTG).
- Bally A.W. & Snelson S. (1980). *Realm of subsidence*. A.d. Miall, Facts and Principles of World Petroleum Occurrence. Mem. Can. Pet. Geol., Vol. 6, pp. 9-94.
- Begemann H.K.S. (1953). *Improved method of determining resistance to adhesion by sounding through a loose sleeve placed behind the cone*. Proceedings of the 3rd international conference on soil mechanics and foundation engineering, Zurich, 1, 213-17.
- Begemann H.K.S. (1969). *The dutch static penetration test with adhesion jacket cone*. LGM Mededelingen, 12(4), pp. 69-100.
- Begemann H.K.S. (1965). *The frictional jacket cone as an aid in determining the soil profile*. Proceedings, 6th Int. Conf. Soil Mech. Fdn. Engr S., Montreal.
- Boccaletti M. et alii. (1980). *Evoluzione dell'Appennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., Vol. 21, pp. 359-373.
- Casadio M. & Elmi C. (1995). *Il manuale del geologo*. Pitagora Editrice Bologna.
- Castellarin A. et alii. (1985). *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giornale di Geologia, ser. 3a, Vol. 4711-2, pp. 47-75, Bologna.
- Castellaro S. & Mulargia F. (2009). *The effect of velocity inversion on H/V*. Pure Appl. Geophys., 166, 567-592.
- Castellaro S. & Mulargia F. (2010). *Tromb measuring seismic noise*. Bull. Seism. Soc. Am., 100 (submitted).
- Castellaro S. & Mulargia F. (2009). *Vs30 estimates using constrained H/V measurements*. Bull. Seism. Soc. Am., 99, 761-773.
- Cestari F. (2005). *Prove geotecniche in sito*. Edizione Geo-Graph - Segrate.
- Cestelli Guidi C. (1975). *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*. Editore Hoepli, Milano.
- CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche & AGAC. (1992). *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Alta pianura reggiana tra T.Crostolo e F.Secchia*. S.EL.CA. Editore, Firenze.
- CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche. (1989). *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Conoide del T.Enza*. S.EL.CA. Editore, Firenze.

- CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche. (1989). *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Conoidi dei fiumi Secchia e Panaro*. S.EL.CA. Editore, Firenze.
- CNR. (1993). *Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale - Pianura emiliana delle province di Parma, Reggio Emilia e Modena*. Unità idrogeologiche dei Fiumi Taro, Enza, Crostolo, Secchia, Panaro e Po, S.EL.CA editore, Firenze.
- Crevaschi M. (1980). *L'evoluzione della pianura emiliana durante l'età del bronzo, l'età romana e l'alto medioevo: geomorfologia ed insediamenti*. Da: "Padusa". Bollettino del Centro Polesano di Studi Storici, Archeologici ed Etnografici, Rovigo.
- Domenico P.A. & Schwartz F.W. (1990). *Physical and chemical hydrogeology*. John Wiley & Sons, Inc. New York Chichester Weinheim Brisbane Toronto Singapore.
- Elter P. (1973). *I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Apuane - In: Atti Conv. Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino*. Acc. Naz. Lincei, Quad. n° 183, pp. 97-118.
- Gasparini P. & Mantovani M.S.M. (1981). *Fisica della terra solida*. Liguori Editore.
- Gasperi G.F. (1995). *Geologia regionale*. Pitagora editore, Bologna.
- ISSMFE. (1989). *Appendix A: International reference test procedure for cone penetration test (CPT)*. Report of the ISSMFE technical committee on penetration testing of soils - TC16, with Reference to test procedures, Swedish geotechnical institute, Linkoping, Information, 7,6-16.
- M.U.R.S.T. (2001). *Carta geomorfologica della pianura padana*. A cura di Castiglioni G.B. & Pellegrini G.B., S.EL.CA. editore Firenze.
- Marsan P. & Romeo R. (1992). *La relazione geologica e geotecnica*. Edizione Carocci, Manuale del progettista, pp. 216.
- Maxey G.B. (1964). *Hydrostratigraphic units*. Journal of Hydrology, 2 pp. 124-129.
- Mulargia F. & Castellaro S. (2009). *Experimental uncertainty on the Vs(z) profile and seismic soil classification.*, *Seismological Research Letters*, 80, 985-989.
- Ori G.G. & Friend P.F. (1984). *Sedimentary basins formed and carried piggyback on active thrust sheets*. Geology, Vol. 12, pp. 475-478.
- Papani G. & Sgavetti M. (1975). *Alcuni problemi di neotettonica dell'Appennino Emiliano Occidentale*. Da: L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, Vol. 11, n°2, pp. 315-334.
- Park et alii. (1999). *Geophys*, 64, 800-808.
- Peli G. (1995). *Geotecnica pratica delle fondazioni dirette*. Nuove ricerche, Ancona.
- Petrucci F. et alii. (1975). *Pozzi idrici nella pianura delle province di PARma e Piacenza (destra T.Nure)*. Università degli Studi di Parma, Istituto di Geologia.
- Posamentier H.W. & Vail P.R. (1988). *Eustatic controls on clastic deposition, II: Sequence and systems tract models*. In: Wilgus C.K., Kendali C.G., Posamentier H.W., Van Wagoner J.C. "Sealevel change-an integrated approach". S.E.P.M. Spec. Publ. 42, pp. 125-155.

- Principi B. & Treves G. (1984). *Il sistema corso-appenninico come prisma d'accrescimento. Riflessioni sul problema generale del limite Alpi-Appennini*. Mem. Soc. Geol. It., n° 28, pp. 549-576.
- Provincia di Modena. (Approvato il 18 marzo 2009, delib. n. 46). *P.T.C.P.: Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*.
- Provincia di Parma. (Approvato il 22 dicembre 2008, delib. n. 118). *P.T.C.P.: Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*.
- Provincia di Piacenza. (Adottato il 16 febbraio 2009, delib. n. 17). *P.T.C.P.: Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*.
- Provincia di Reggio Emilia. (2002). *P.I.A.E.: Piano Infra-regionale delle Attività Estrattive*. Provincia di Reggio Emilia, Servizio Pianificazione Territoriale e Difesa del Suolo.
- Provincia di Reggio Emilia. (Approvato il 17 giugno 2010, delib. n. 124). *P.T.C.P.: Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*.
- RER & CNR. (2002). *Carta Geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo*. S.EL.CA. Editore - Firenze.
- RER. (2007). *Carta dell'uso del suolo dell'Emilia-Romagna*. Servizio Sistemi informativi geografici, Regione Emilia-Romagna.
- RER. (1999). *Carta geologica di pianura dell'Emilia - Romagna*. Servizio Sistemi Informativi Geografici, Ufficio Geologico, Regione Emilia-Romagna.
- Ricci Lucchi F. & Ori G.C. (1985). *Field excursion D: synorogenic deposits of a migrating basin in the NW adriatic-foreland: examples from Emilia - Romagna region, northern Appennines*. Int. Symp. On Foreland Basins, Exc. Guidebook, Fribourg, Switzerland, 2-4 september 1985, pp 137-176.
- Schmertmann J.H. (1978). *Guidelines for cone penetration test, performance and design*. US federal highway administration, Washington, DC, Report, FHWA-TS78-209, 145.
- Tanzini M. (2002). *L'indagine geotecnica - Caratterizzazione geotecnica delle terre e delle rocce attraverso prove in sito e di laboratorio*. Collana di Geotecnica e Ingegneria Geotecnica, Dario Flaccovio Editore, pp. 203-253.
- Valloni R. & Baio M. (2003). *Assetto geologico del tardo quaternario nel tratto parmense del tracciato alta velocità*. Università degli Studi di Parma & Aquater.

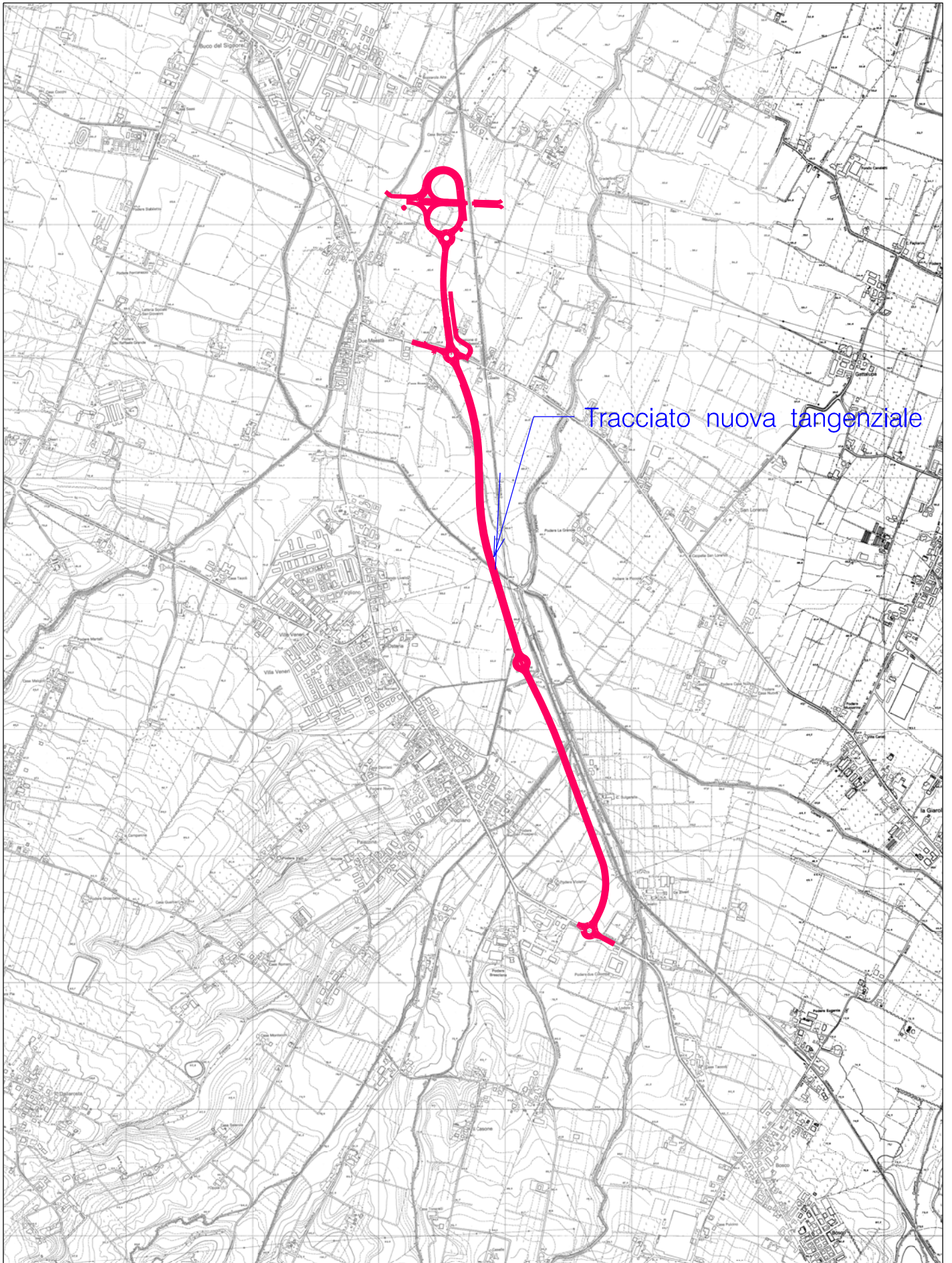
ALLEGATI

TAV 1: UBICAZIONE AREA – STRALCIO C.T.R. ELEMENTI 200122, 200161 – Scala 1: 20.000

TAV 1: Ubicazione area in studio



Scala 1:20.000

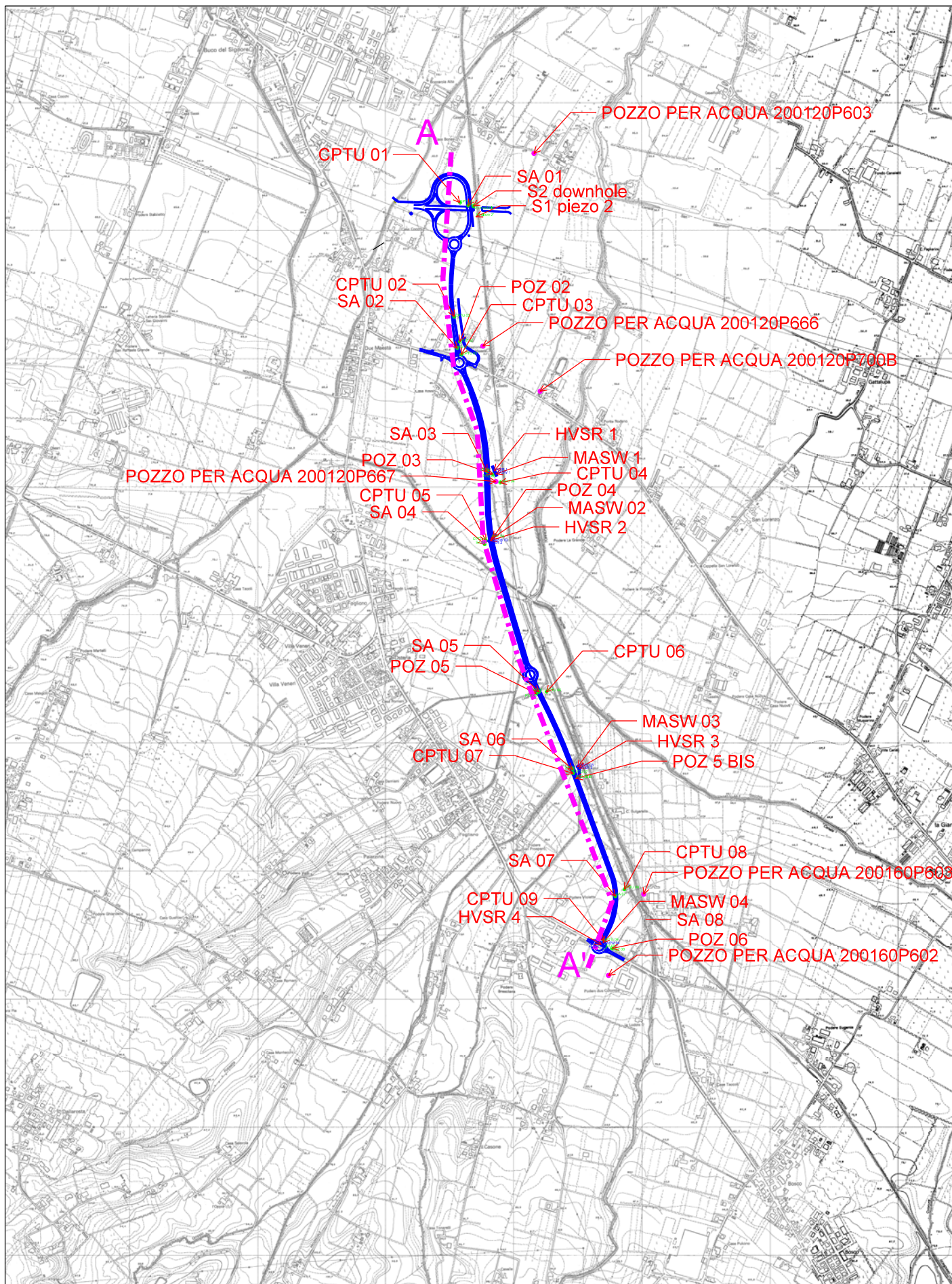


TAV 2: UBICAZIONI INDAGINI – STRALCIO C.T.R. ELEMENTO 200122 - 200161 – Scala
1:20.000

TAV 2: Ubicazione area in studio con relative indagini

A A' Traccia sezione

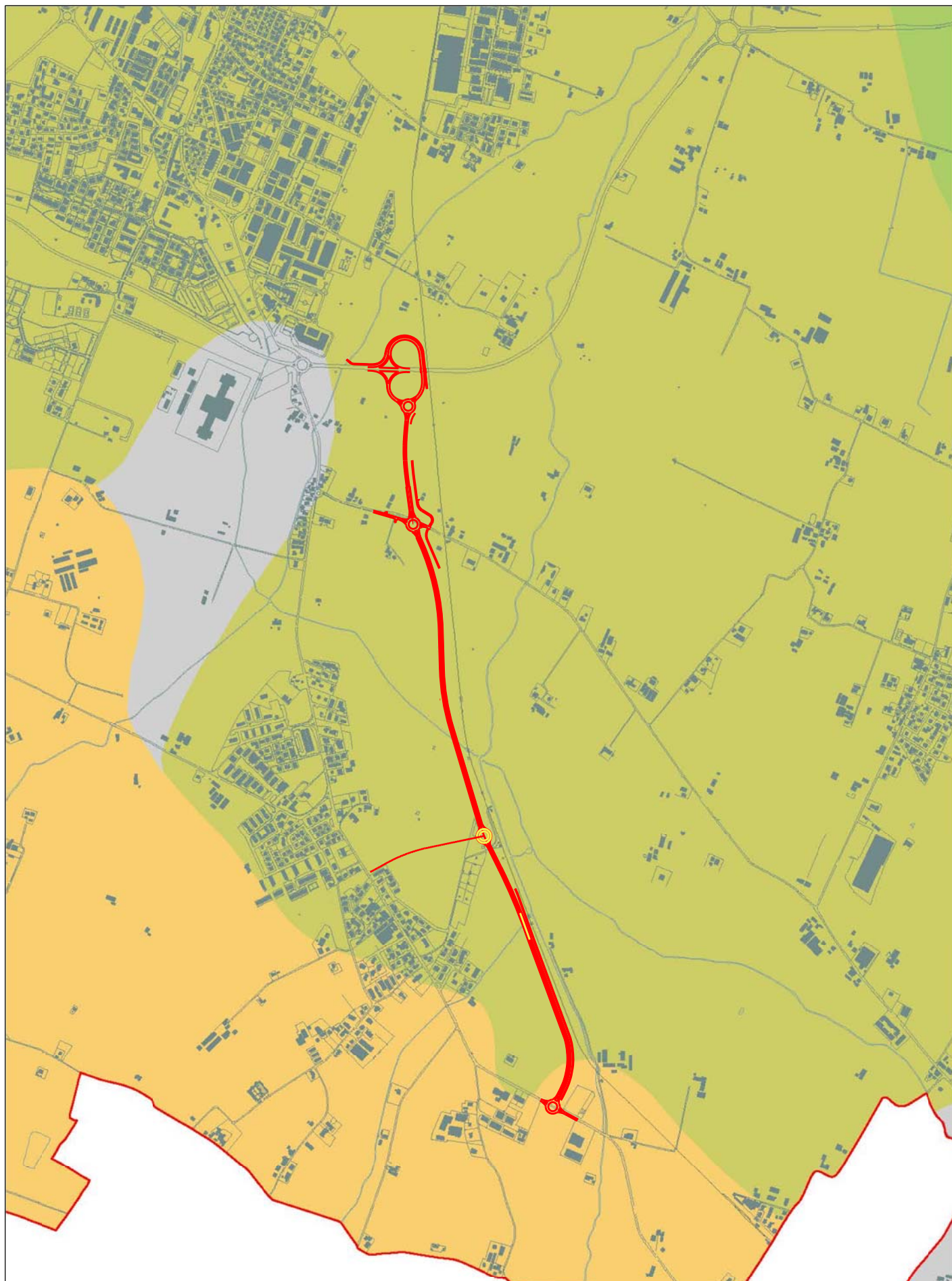
Scala 1:20.000



**TAV 3: STRALCIO TAVOLA PSC DI REGGIO EMILIA – CARTA GEOLITOLOGICA – Scala
1:20.000**



Scala 1:20.000



Geolitologia - 0,0-10,0 m.

Alluvioni a dominante argillosa della Bassa Pianura (Olocene)

Alluvioni a dominante limo-argillosa con intercalazioni sabbiose irregolari (Olocene)

Ghiaie e sabbie dei terrazzi recenti

Sistemi dei terrazzi argilloso-limosi (Pluviale Wurm)

Sistemi dei terrazzi antichi a dominante ghiaiosa (Riss-Wurm)

Sistemi dei terrazzi alti: ghiaie, sabbie e limi a paleosuolo argilloso-loessico (Riss)

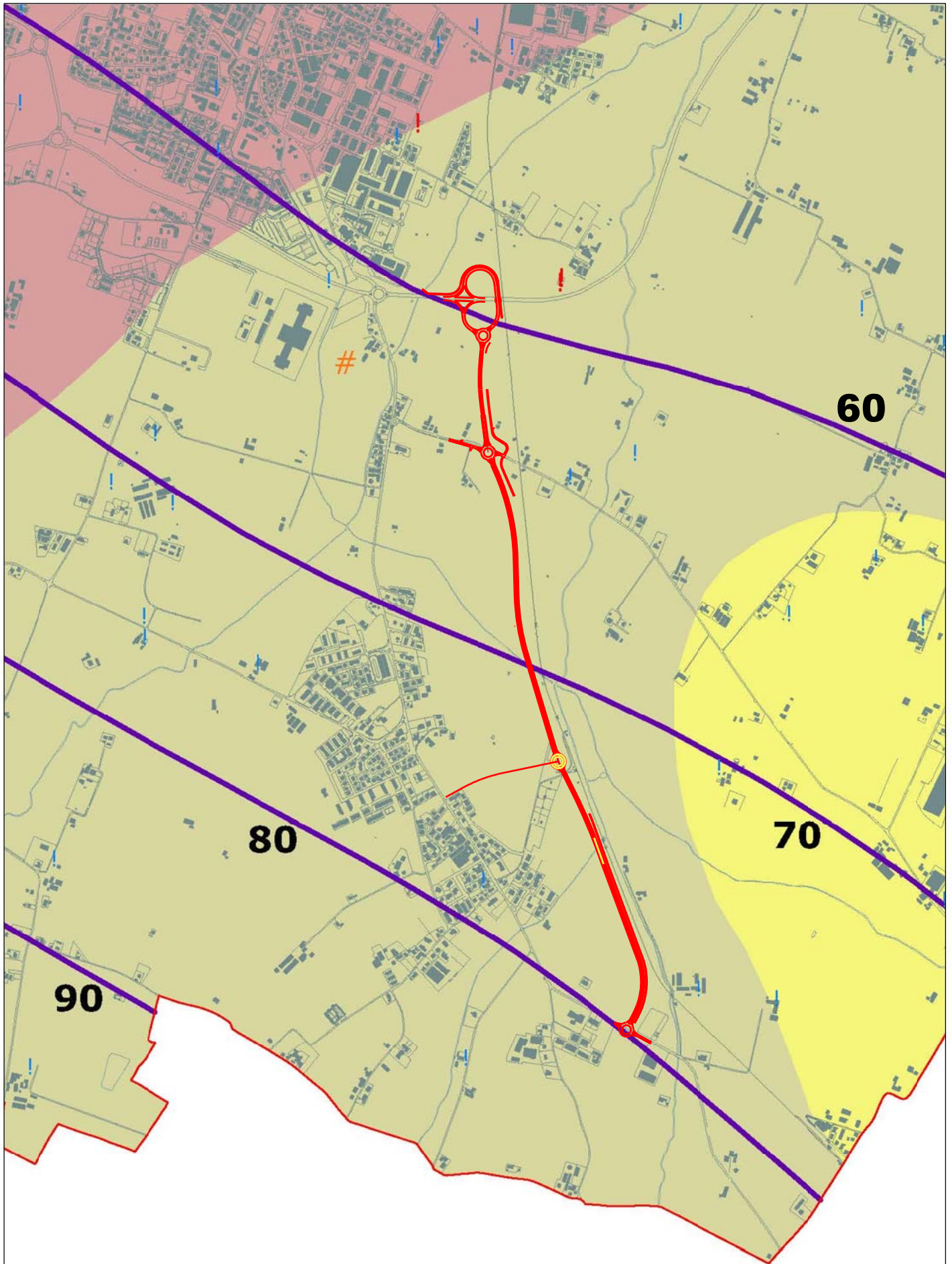
territorio comunale

TAV 4: STRALCIO TAVOLA PSC DI REGGIO EMILIA – IDROGEOLOGIA, PIEZOMETRIA –
Scala 1:20.000

TAV 4: Stralcio Tavola PSC di Reggio Emilia approvato con delibera numero 16673 del 20/09/2011 – Tavola 5 – Carta della Idrogeologia, quota piezometrica della falda



Scala 1:20.000



Idrogeologia

Isofreatiche riferite in metri sul livello del mare

Pozzi



Captazioni ENiA per uso acquedottistico



Captazioni di riferimento rete di controllo e misure ARPA



Captazioni ad uso domestico ed extradomestico

Unità Idrogeologica

Competenza del F. Enza

Competenza del T. Modolena

Competenza del T. Crostolo

Competenza del T. Tresinaro

Piana alluvionale appenninica

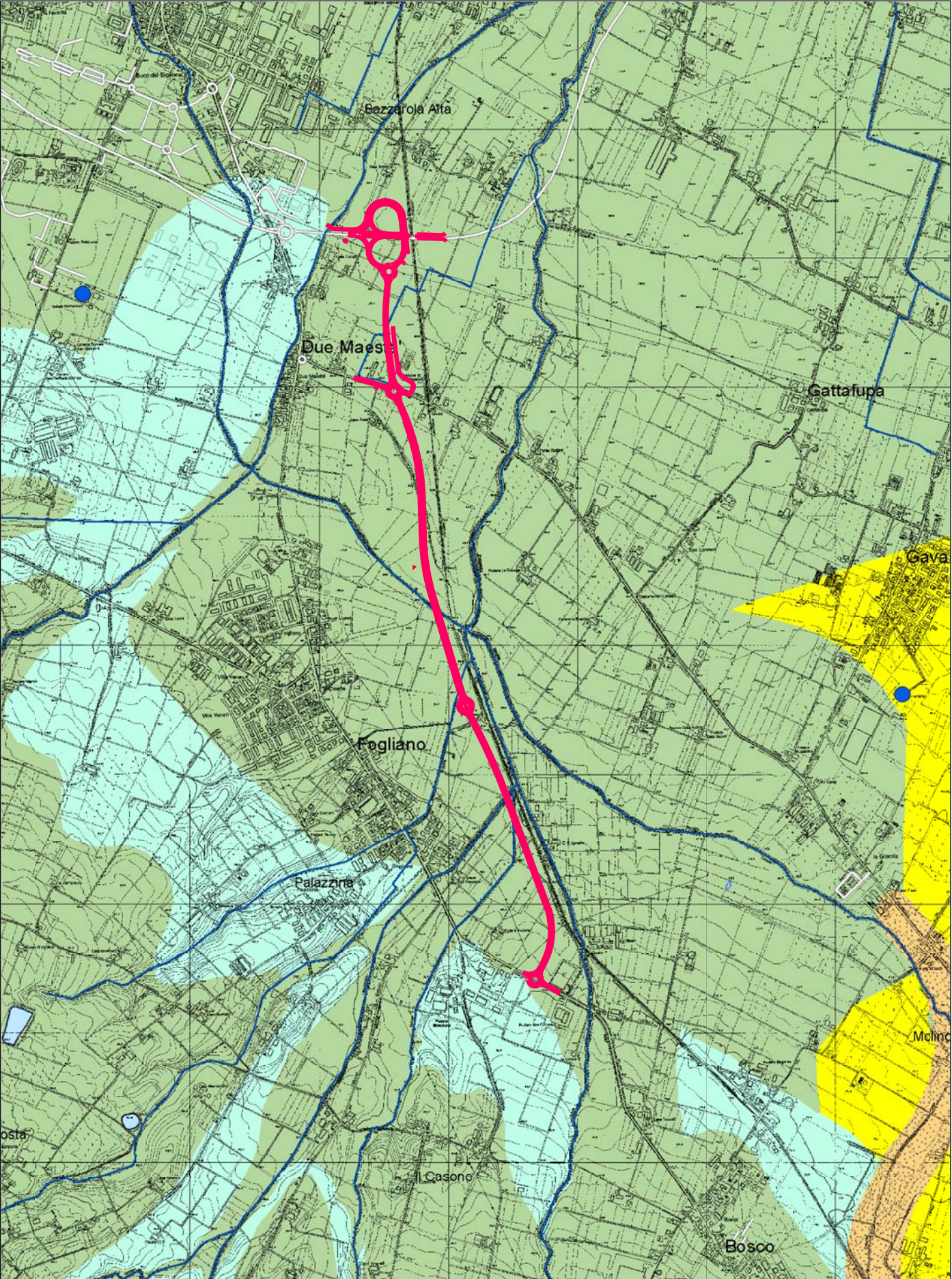
territorio comunale

**TAV 5: STRALCIO TAVOLA PTCP DI REGGIO EMILIA – ELEMENTI FISICO-
GEOMORFOLOGICI – Scala 1:25.000**




TAV 5: Stralcio Tavola P.T.C.P. Provincia di Reggio Emilia approvato con D.C.P. numero 124 del 17/06/2010 – Tavola QC6 200SE – Carta degli elementi fisico-geomorfologici








Scala 1:25.000



IDROGRAFIA

-  Fontanili attivi
-  Fontanili stagionali
-  Fontanili inattivi
-  Sorgenti
-  Cascate
-  Laghi artificiali
-  Laghi glaciali
-  Reticolo idrografico







FORME E DEPOSITI GLACIALI

-  Rocce montonate
-  Gradini di valle sospesa
-  Orli di circo glaciale
-  Cordoni morenici
-  Depositi morenici Rissiani

ELEMENTI OROGRAFICI

-  Cime di crinale
-  Cime isolate
-  Passi
-  Dorsale appenninica
-  Altri crinali principali
-  Altri crinali secondari

FORME ANTROPICHE

-  Discariche
-  Cave abbandonate
-  Cave attive o in sistemazione
-  Piste da sci
-  Dighe
-  Traverse

FORME E DEPOSITI GRAVITAZIONALI E/O DOVUTI A SCORRIMENTO DI ACQUE

-  Valli di pianura
-  Dossi fluviali
-  Depositi di salsina
-  Calanchi
-  Forre
-  Frane attive
-  Frane quiescenti
-  Depositi di versante
-  Depositi morenici
-  Conoidi
-  Depositi alluvionali terrazzati
-  Depositi alluvionali in evoluzione

LITOLOGIA

-  Limi e argille prevalenti
-  Ghiaie prevalenti
-  Sabbie prevalenti
-  Affioramenti di interesse s.l.
-  Affioramenti di interesse sedimentologico
-  Affioramenti di interesse stratigrafico
-  Affioramenti di interesse tettonico
-  Elementi del patrimonio geologico
-  Arenarie calcaree
-  Arenarie silicee e litiche
-  Areniti, arenarie pelitiche
-  Argille ed argille e calcari
-  Calcari e calcari marnosi
-  Gessi, anidriti e calcari cavernosi e arenarie quarzitiche
-  Marne e marne siltose
-  Ofioliti e breccie ofiolitiche
-  Sabbie e ghiaie cementate

TAV A: MASW - HVSR: $V_{s_{eq}}$, fr

ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA MASW

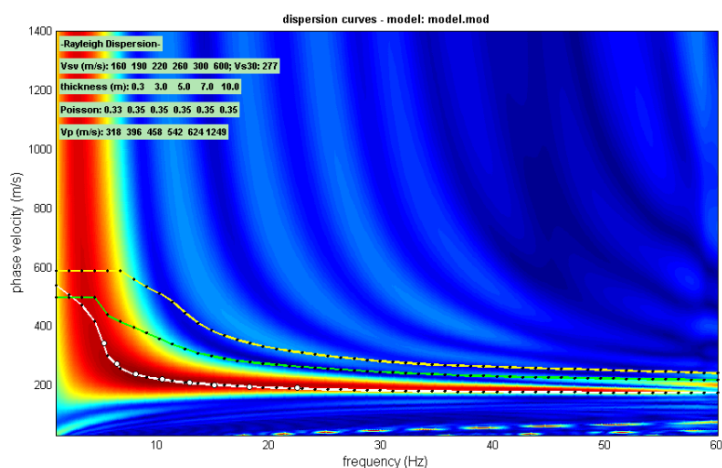
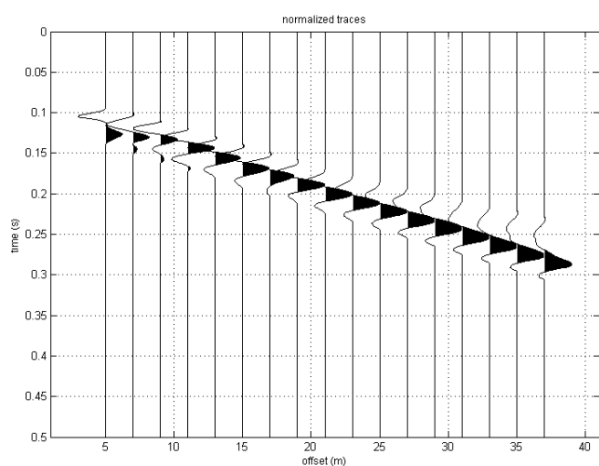
MASW 1

Località: Fogliano (RE)

Data: 30/10/2020

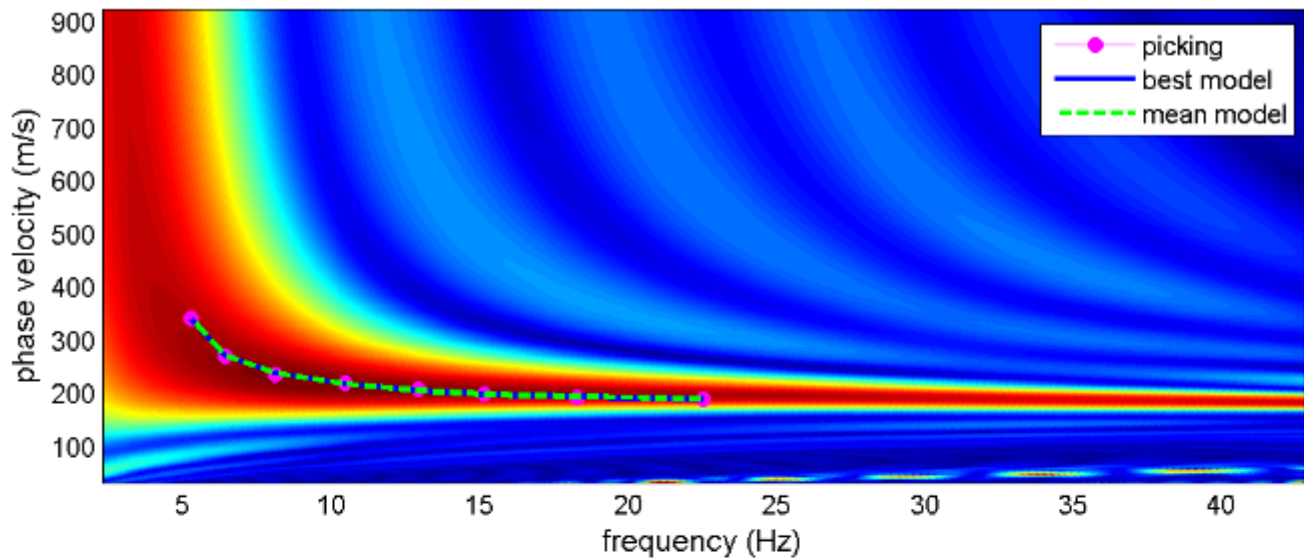


UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO

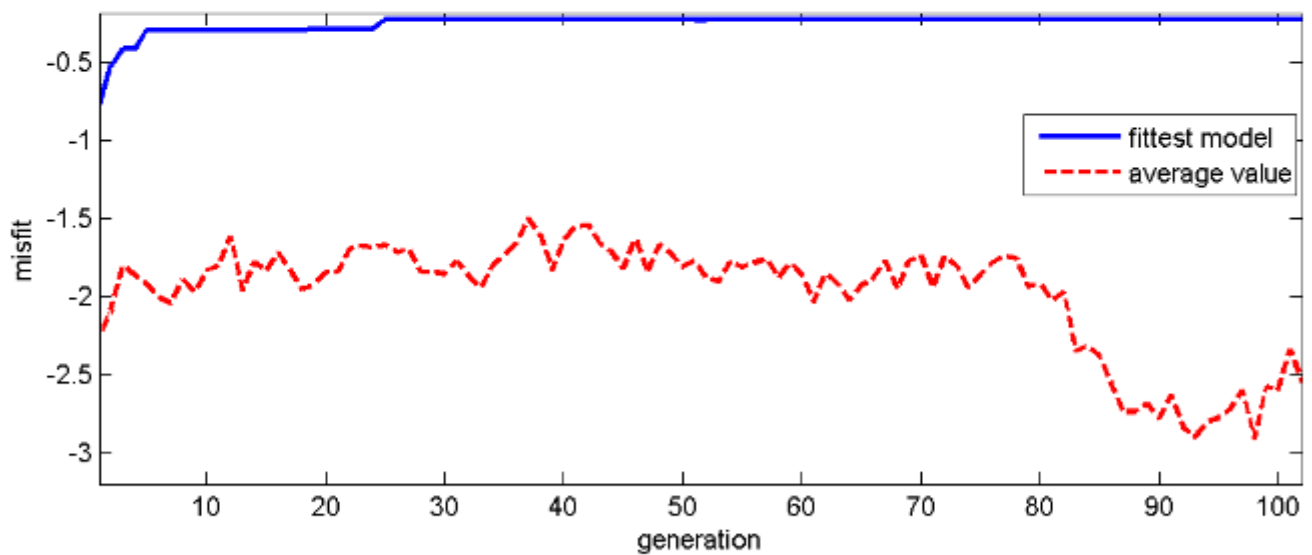


SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITÀ DI FASE REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE

velocity spectrum & dispersion curve

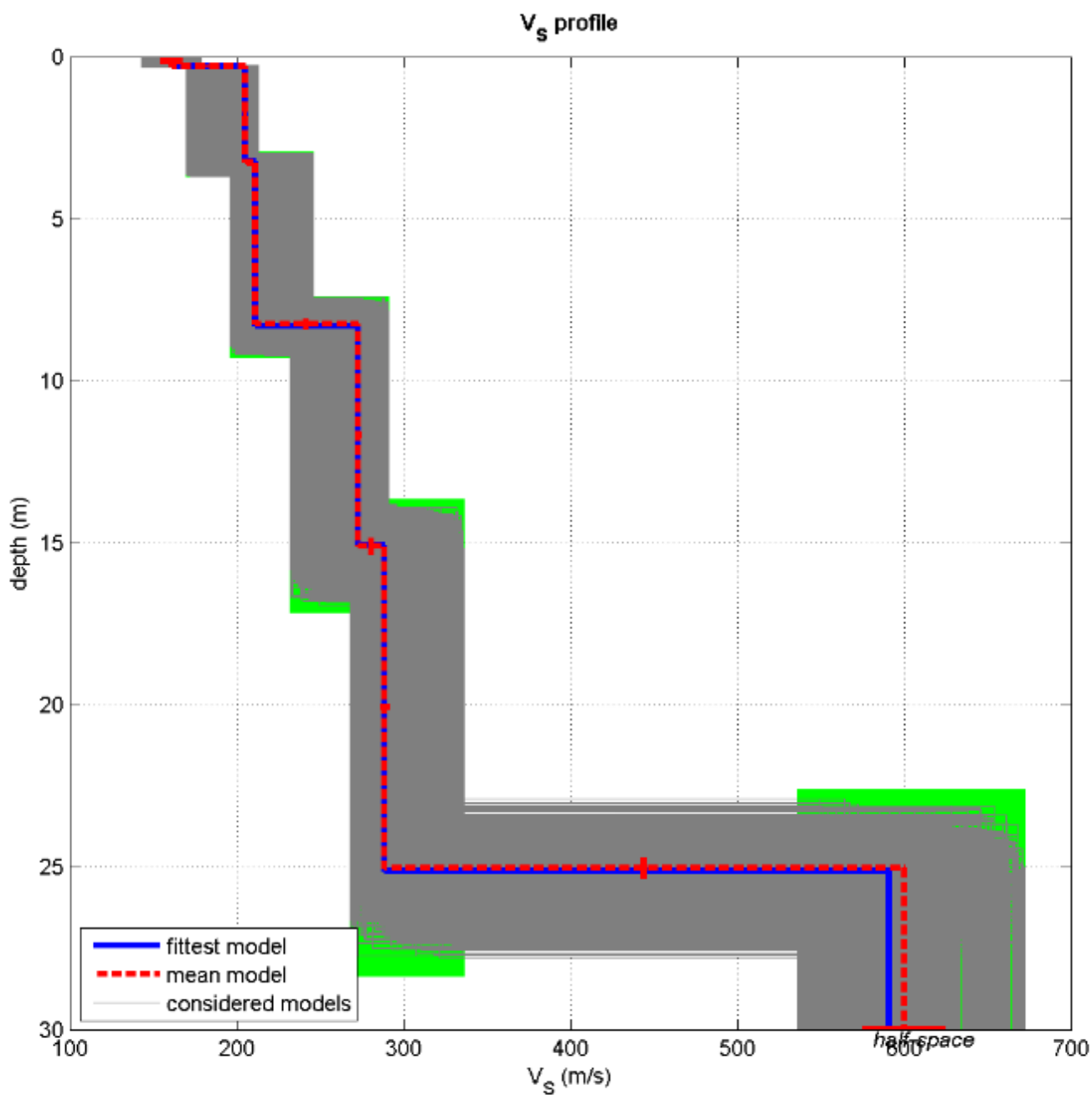


misfit evolution



www.winmasw.com

MODELLO V_{s30} DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



BEST MODEL
 $V_{s30} = 278$ m/s

ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA MASW

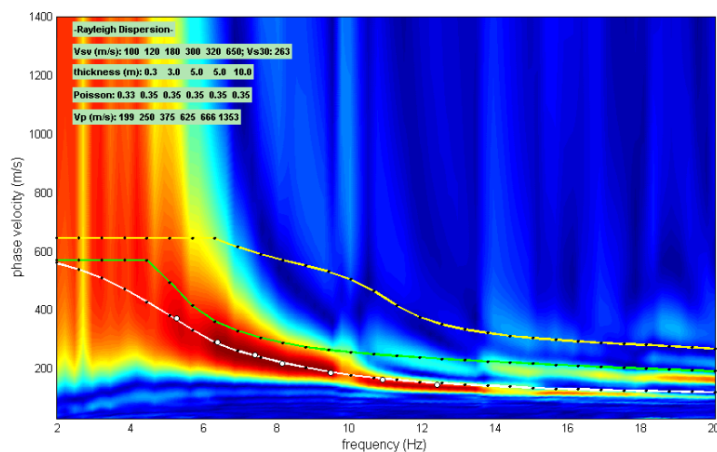
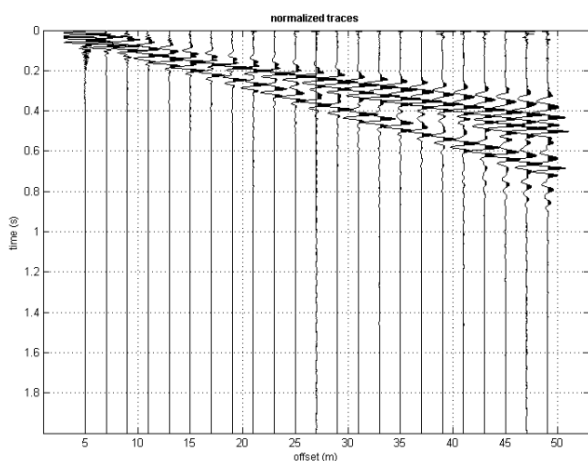
MASW 2

Località: Fogliano (RE)

Data: 30/10/2020

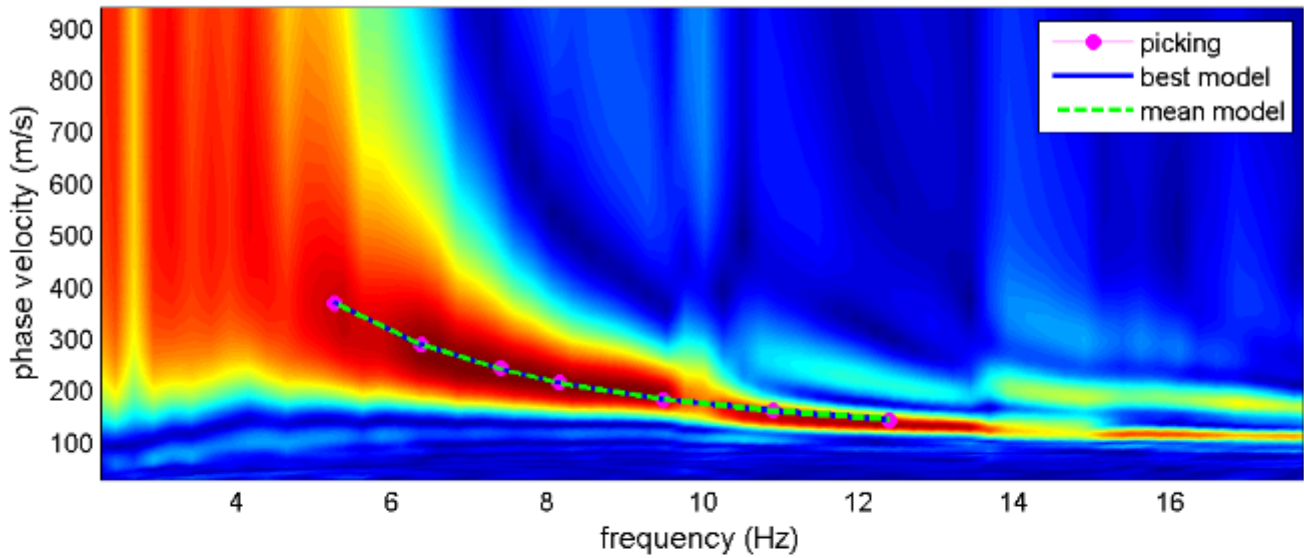


UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO

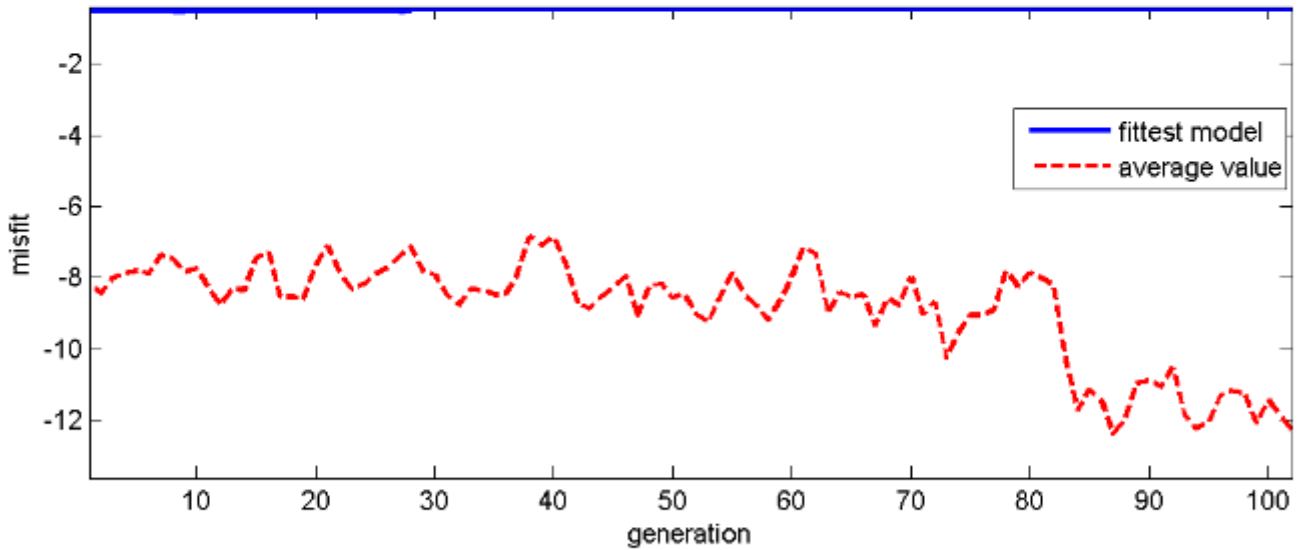


SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITÀ DI FASE REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE

velocity spectrum & dispersion curve

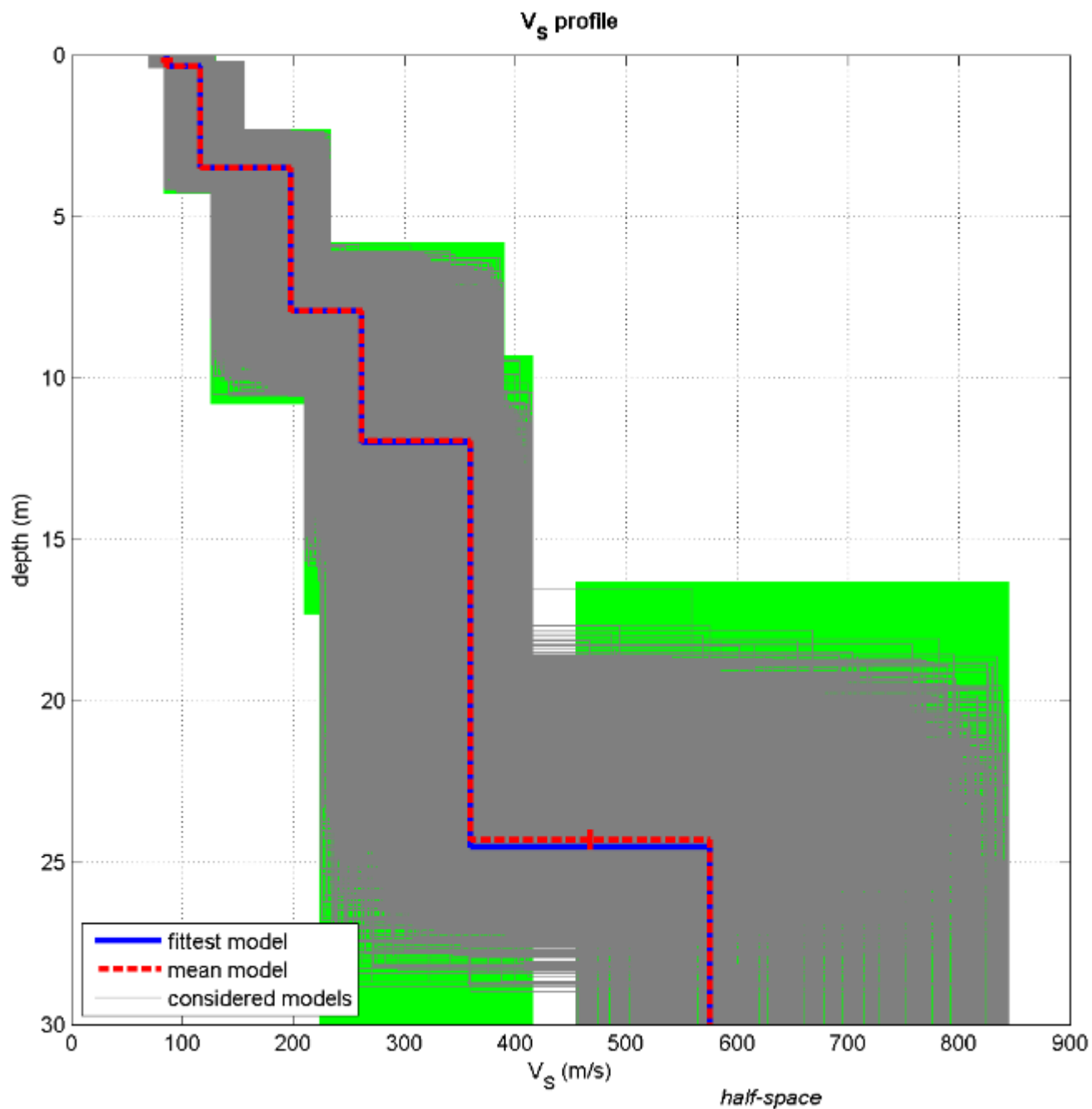


misfit evolution



www.winmasw.com

MODELLO V_{s30} DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



BEST MODEL
 $V_{s30} = 265$ m/s

ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA MASW

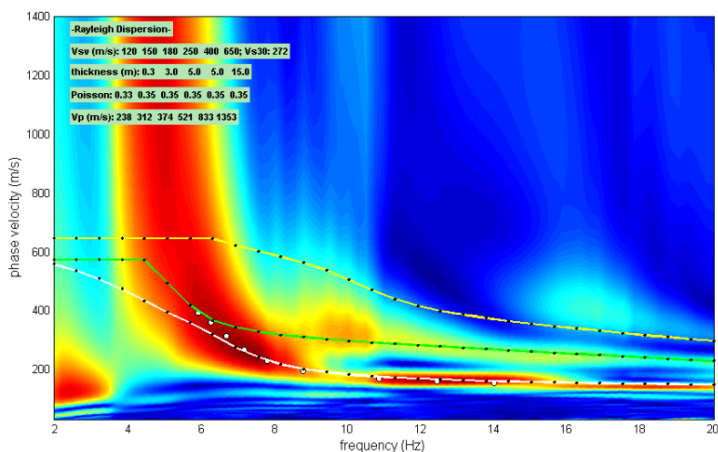
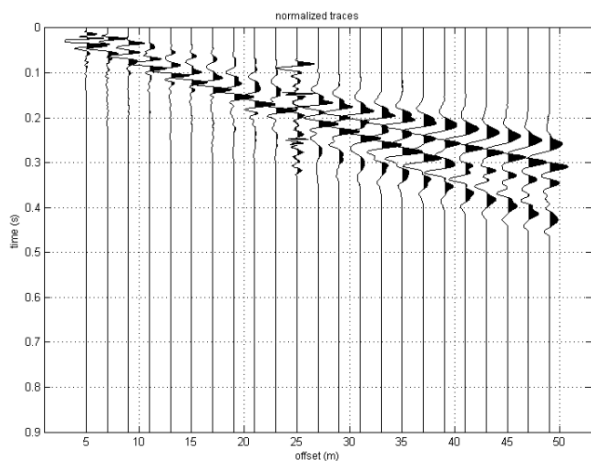
MASW 3

Località: Fogliano (RE)

Data: 30/10/2020

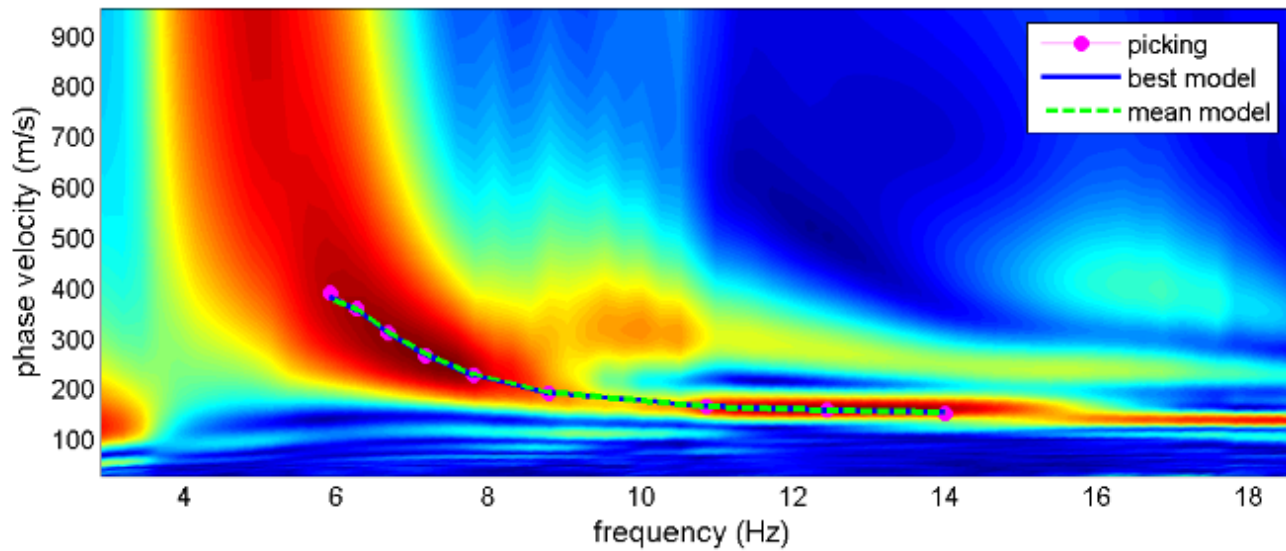


UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO

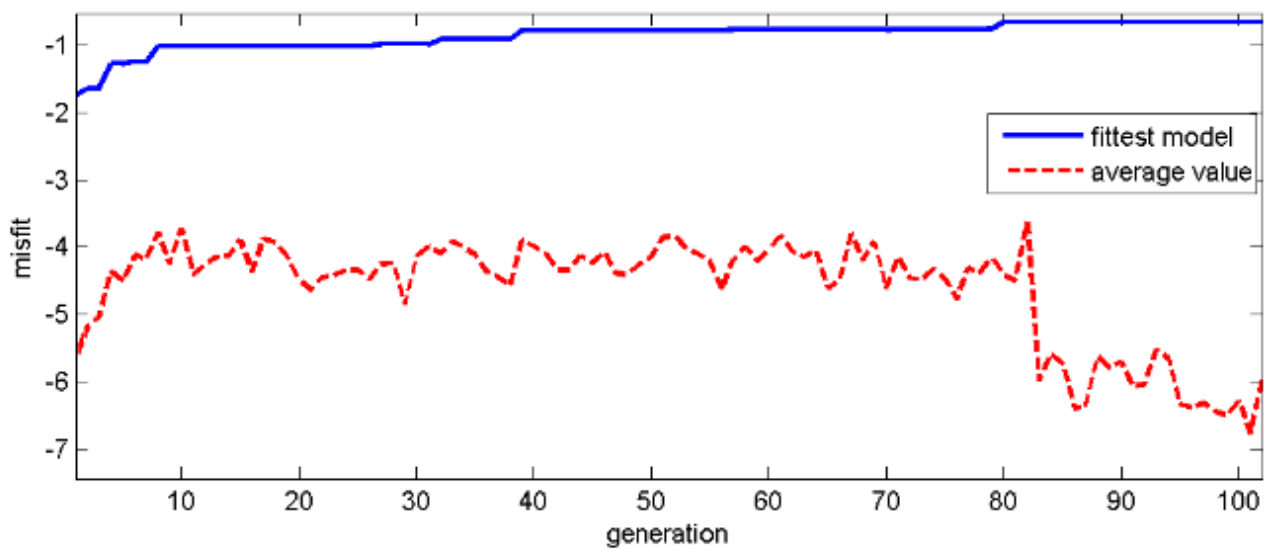


SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITÀ DI FASE REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE

velocity spectrum & dispersion curve

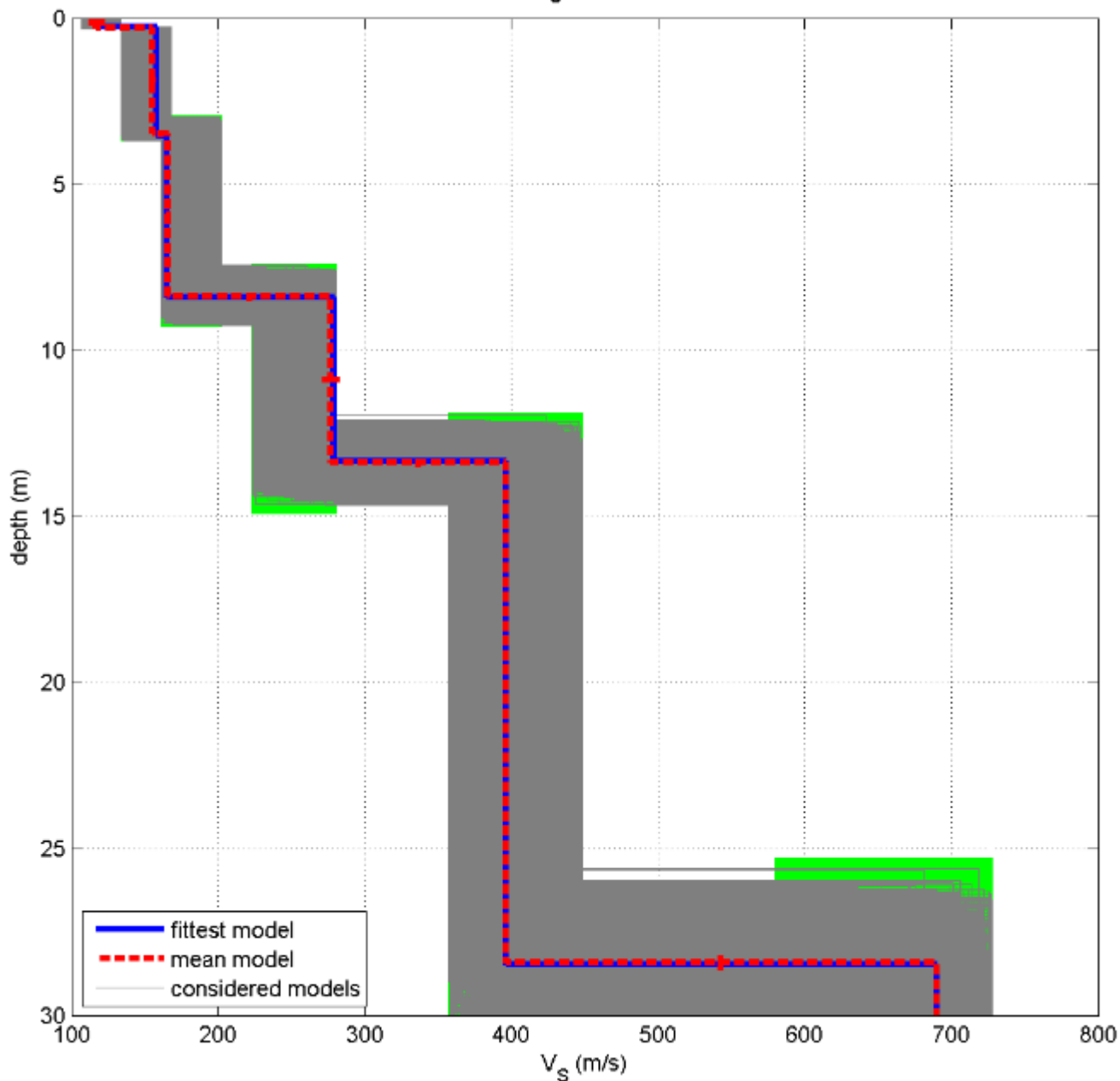


misfit evolution



MODELLO V_{s30} DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA

V_s profile



BEST MODEL
 $V_{s30} = 271$ m/s

ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA MASW

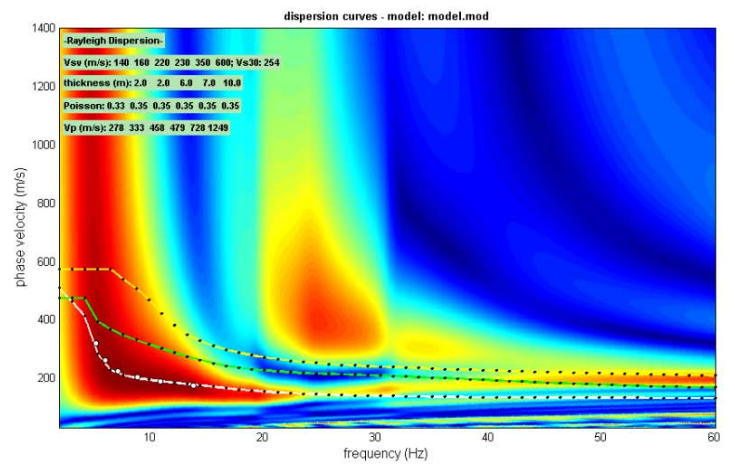
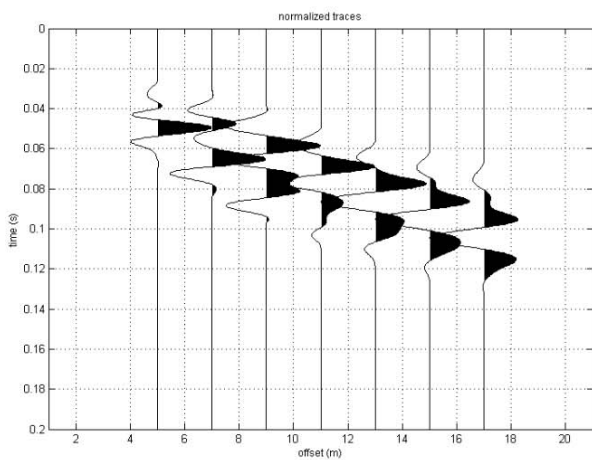
MASW 4

Località: Fogliano (RE)

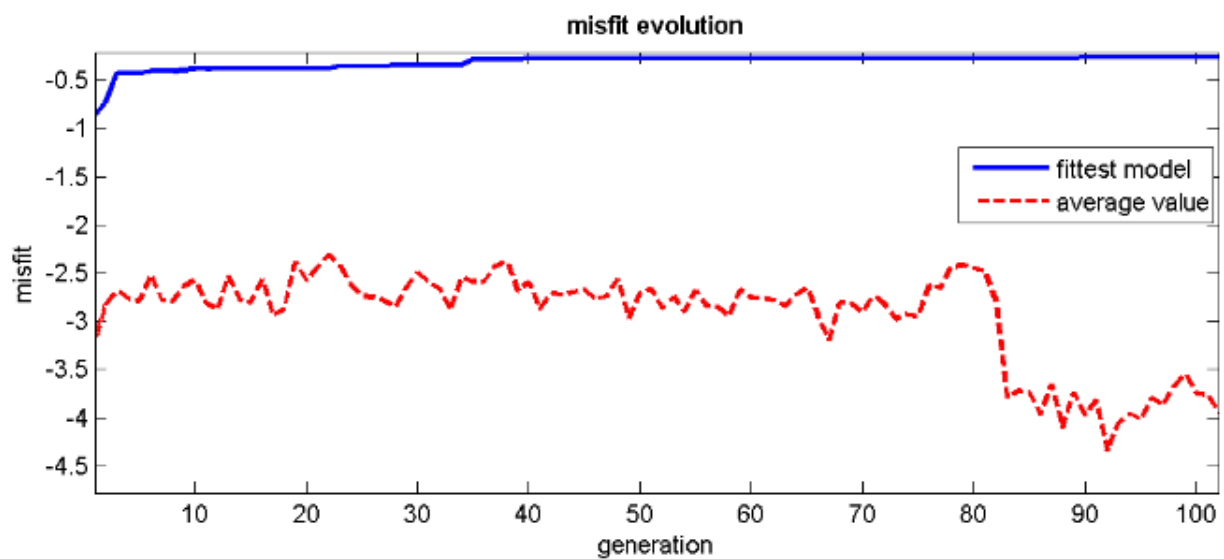
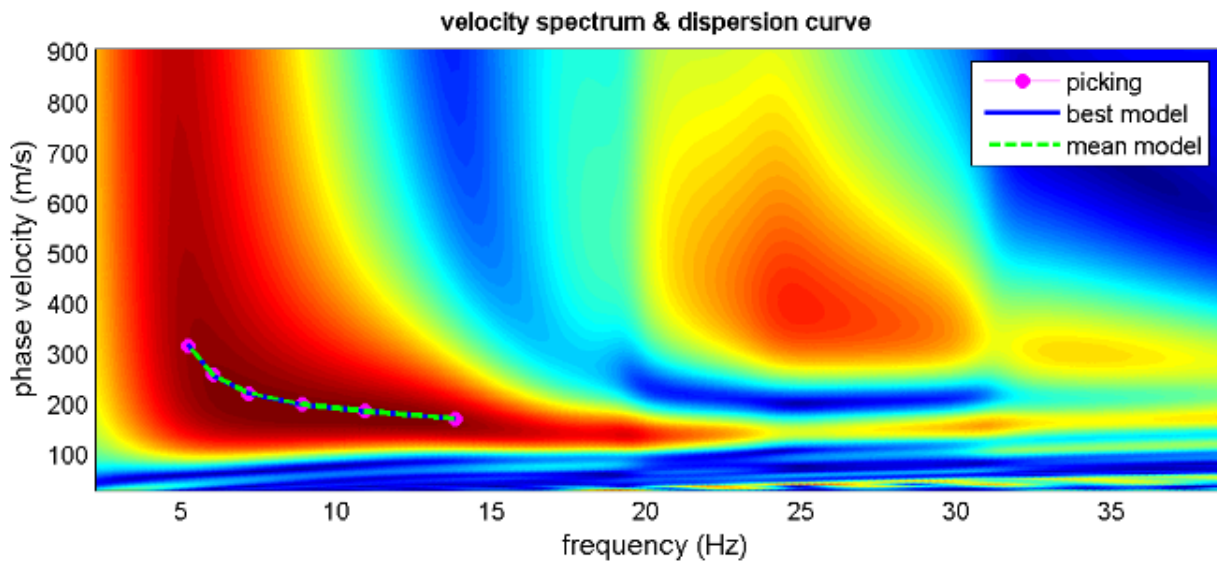
Data: 30/10/2020



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO



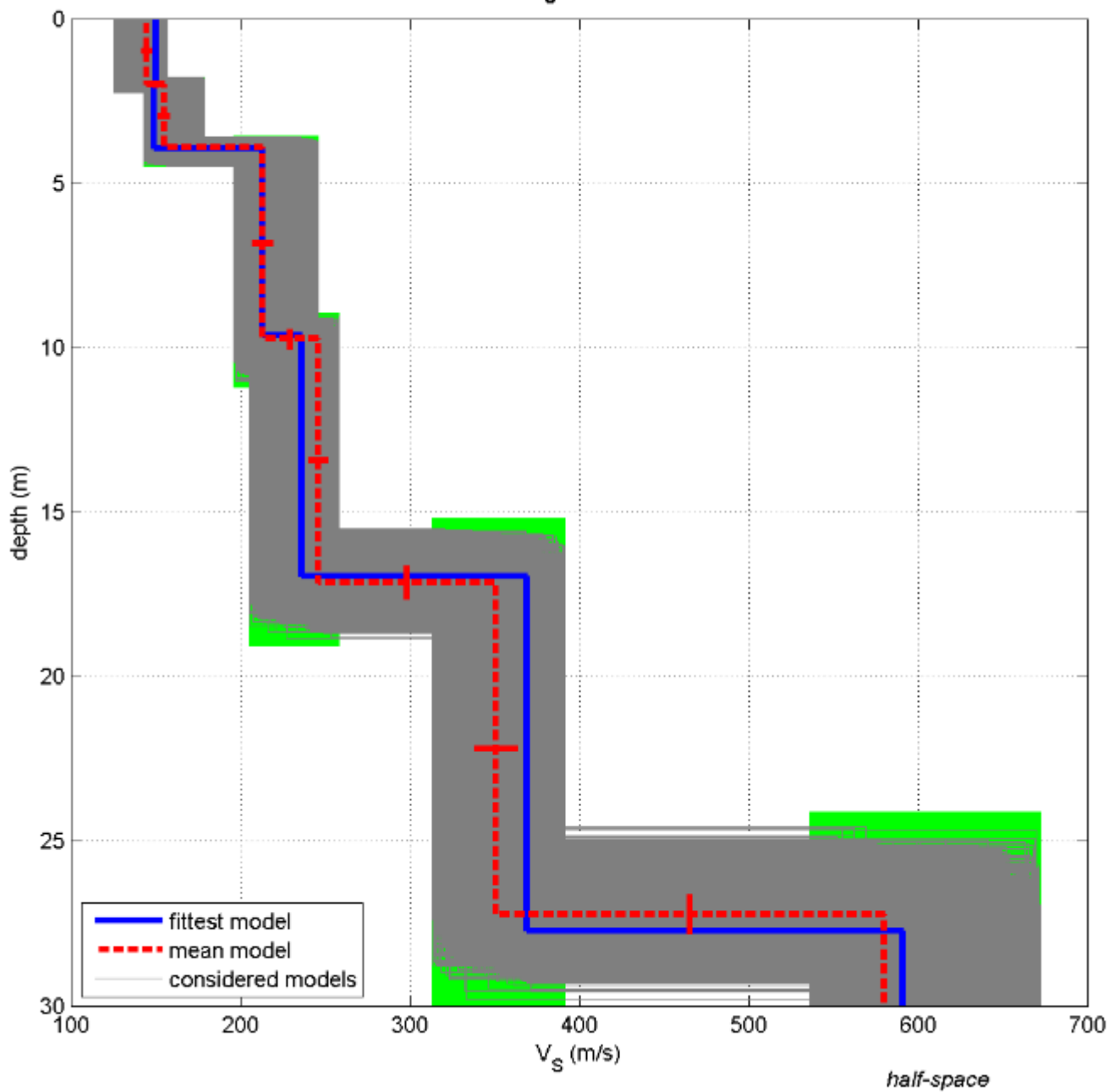
SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITÀ DI FASE REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE



www.winmasw.com

MODELLO V_s30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA

V_s profile



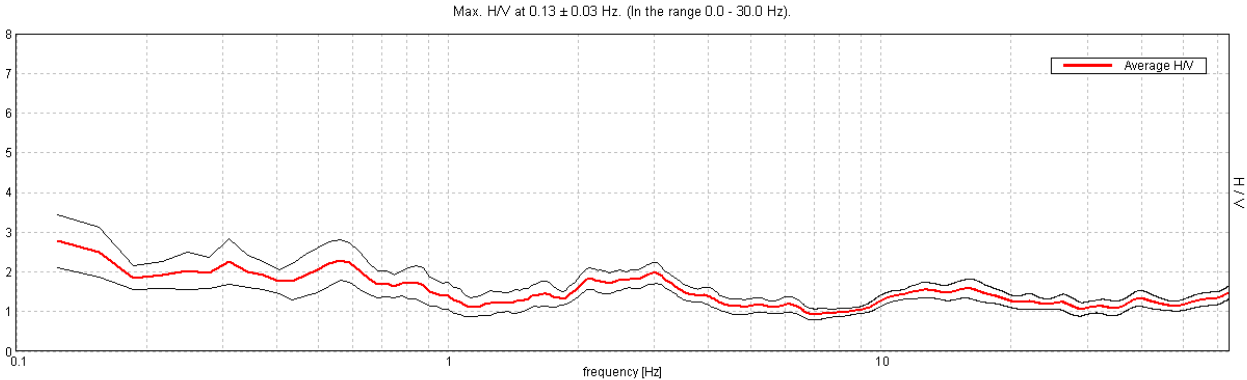
BEST MODEL
 $V_s30 = 256$ m/s

HV1

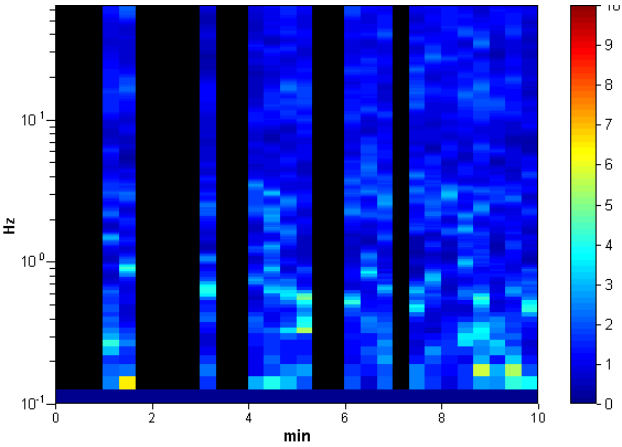
Instrument: TE3-0303/01-17
Data format: 32 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 19/11/20 12:57:37 End recording: 19/11/20 13:07:37
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data: 44° 39.342'N, 10° 39.058'E

Trace length: 0h10'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

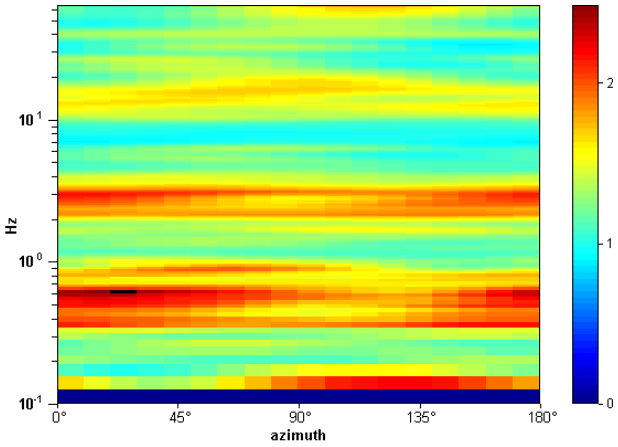
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



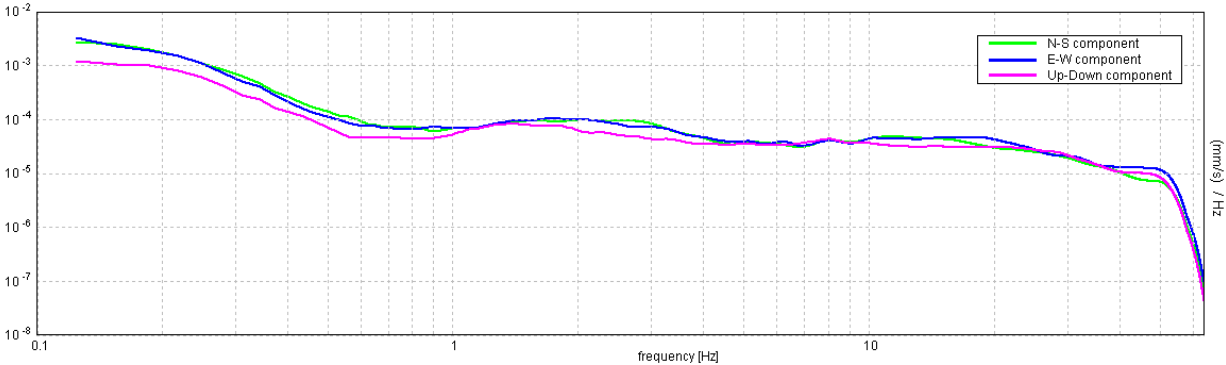
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.13 ± 0.03 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.13 > 0.50		NO
$n_c(f_0) > 200$	45.0 > 200		NO
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 7 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.77 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.2357 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.02946 < 0.03125	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6569 < 3.0	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

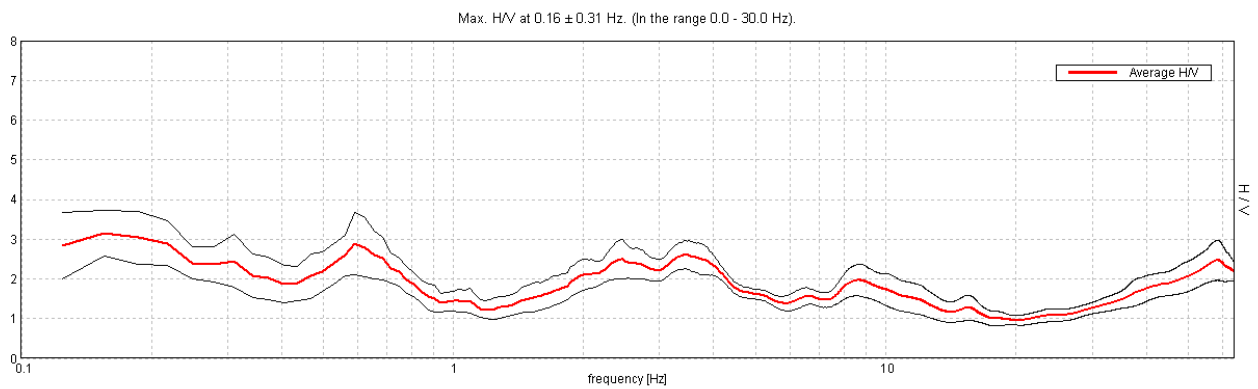
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

HV2

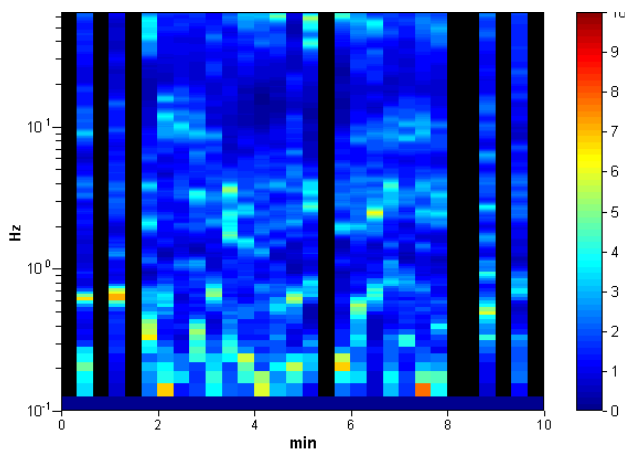
Instrument: TE3-0303/01-17
Data format: 32 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 19/11/20 13:10:25 End recording: 19/11/20 13:20:25
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data: 44° 39.131'N, 10° 39.091'E

Trace length: 0h10'00". Analyzed 73% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

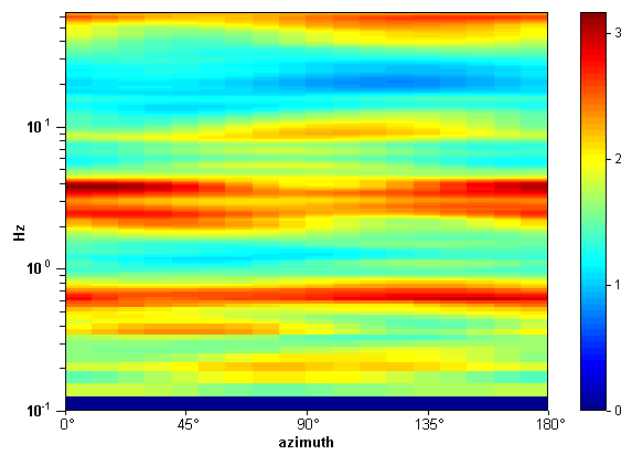
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



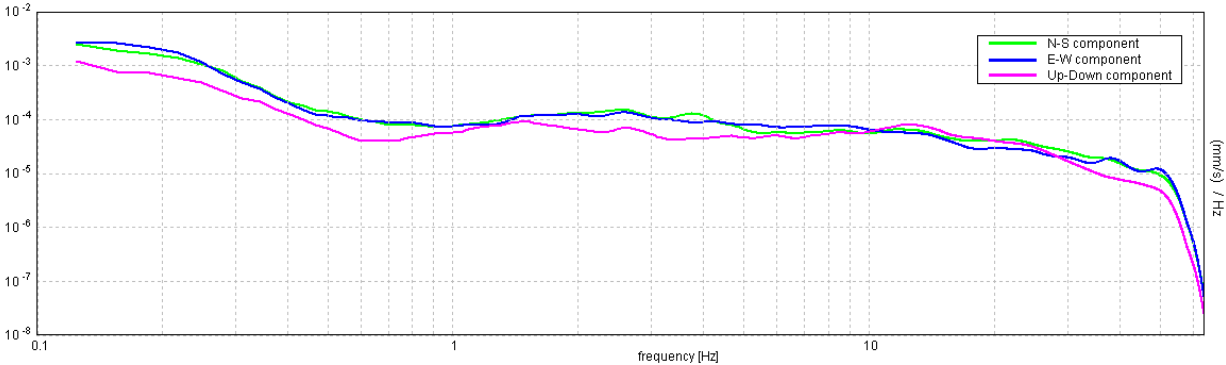
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.16 ± 0.31 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.16 > 0.50		NO
$n_c(f_0) > 200$	68.8 > 200		NO
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 8 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.15 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.98219 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.30972 < 0.03906		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.5662 < 3.0	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

HV3

Strumento: EXT- SARA SR04HS

Inizio registrazione: 10/11/20 15:01:10 Fine registrazione: 10/11/20 15:02:10

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS: 44° 38.719'N, 10° 39.283'E

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 48% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 300 Hz

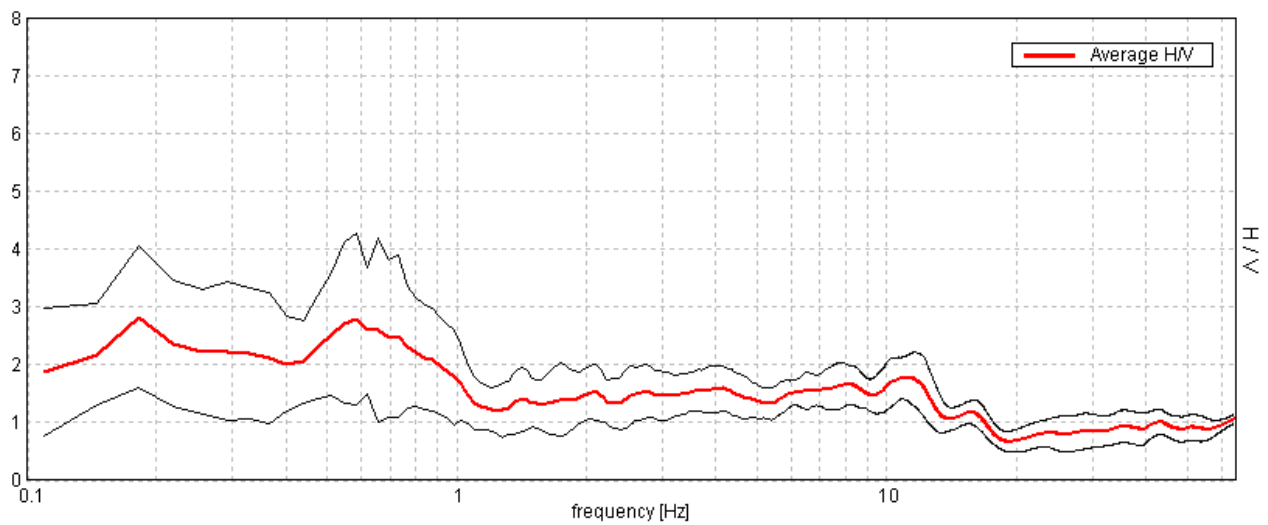
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

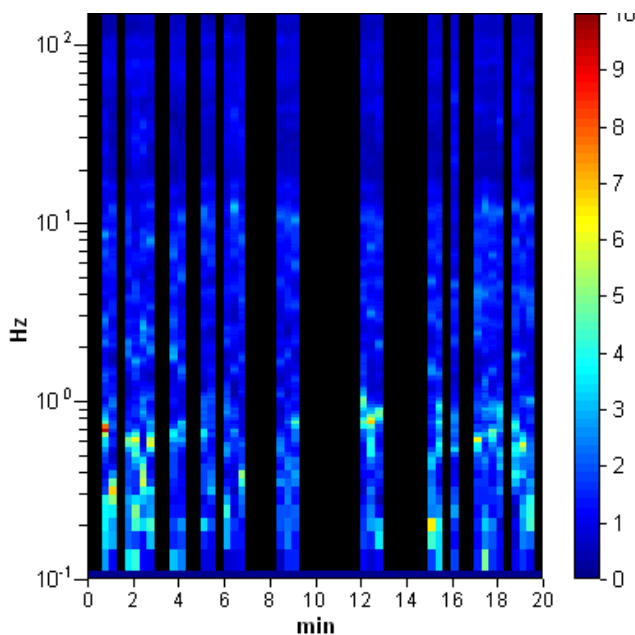
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

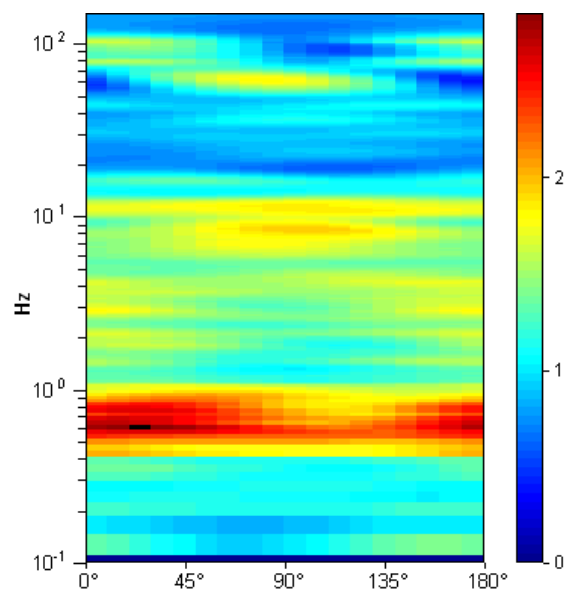
Max. H/V at 0.18 ± 0.13 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



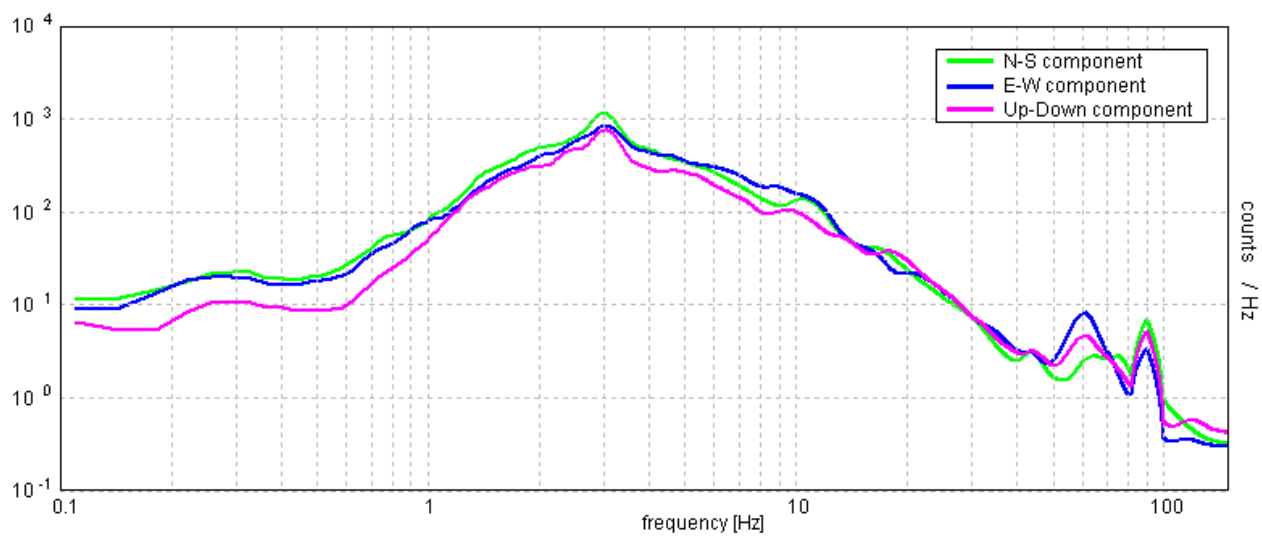
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.18 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 60.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.18 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$106.2 > 200$		NO
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 8	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.073 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.82 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.34115 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06247 < 0.04578$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5883 < 3.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

HV4

Strumento: EXT- SARA SR04HS

Inizio registrazione: 10/11/20 14:00:30 Fine registrazione: 10/11/20 14:20:30

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS: 44° 38.389'N; 10° 39.389'E

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 58% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 300 Hz

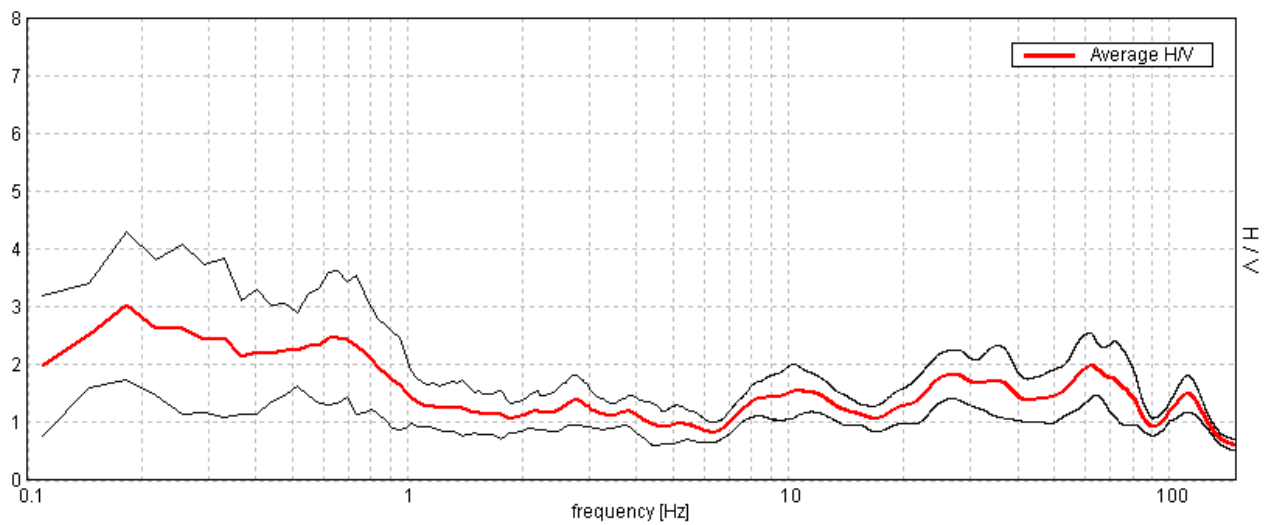
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

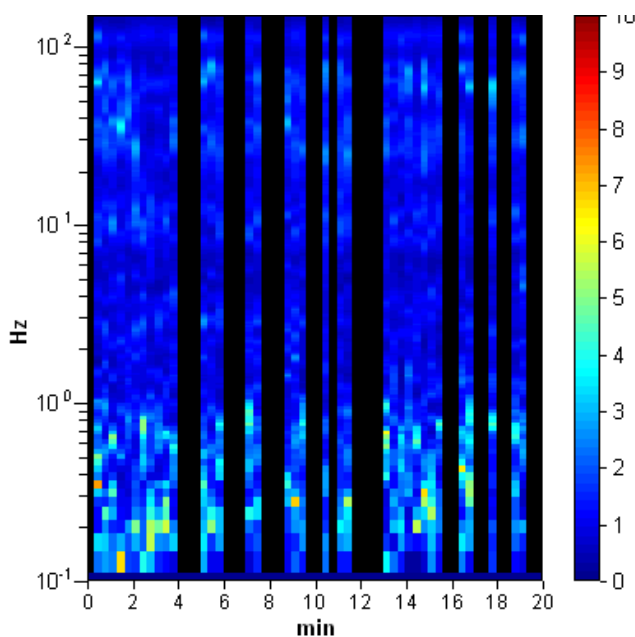
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

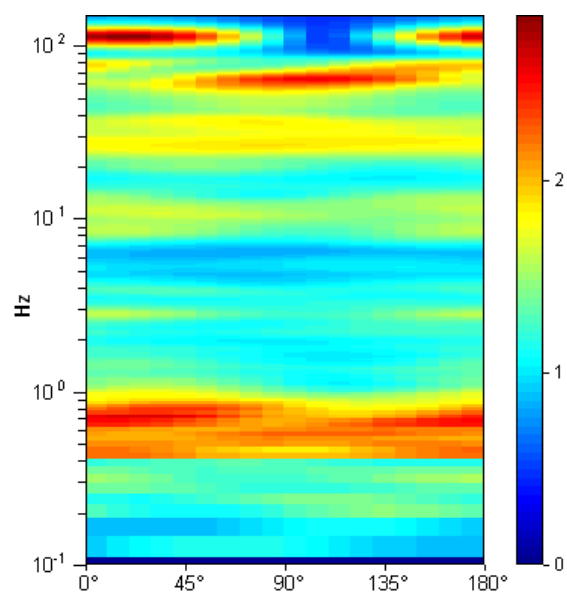
Max. H/V at 0.18 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 65.0 Hz).



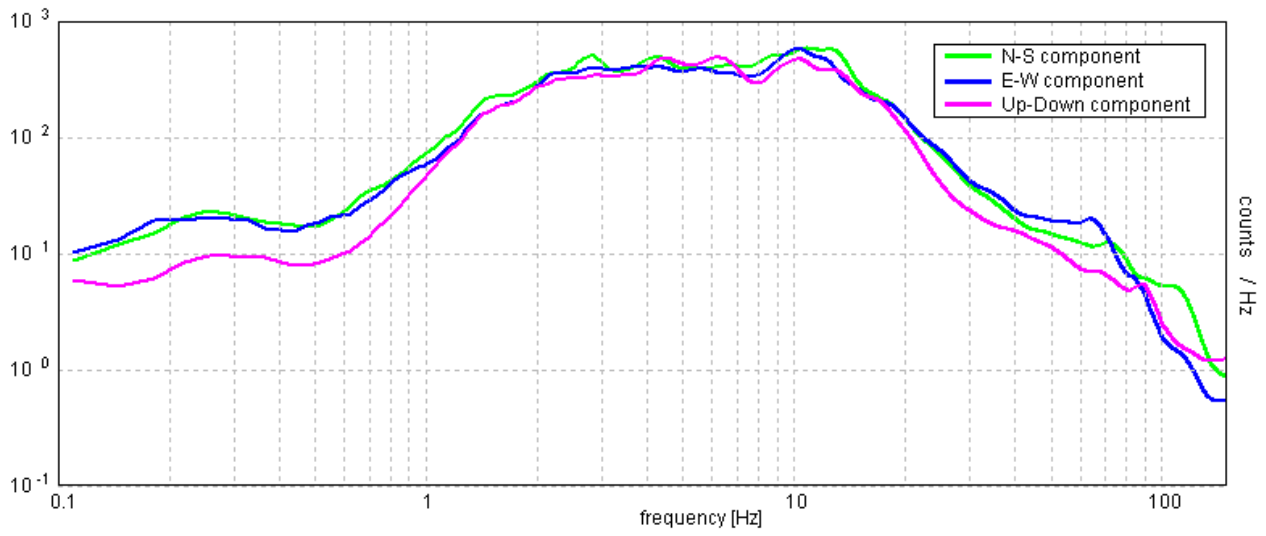
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.18 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 65.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.18 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$128.2 > 200$		NO
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 8	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.073 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$3.02 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04747 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00869 < 0.04578$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6215 < 3.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAV B: PARAMETRI SISMICI E SPETTRI DI RISPOSTA DEL SITO DI RIFERIMENTO

--

GEOSISM – Dott. Geol. Simone Barani C.FISC: P.IVA:	Via: Carso, 55 42021 42021 Bibbiano (RE) – Italy - RE Tel: 0522/882377 - 348/8219198 Fax: 0522/1537713 Email: simonebarani@geosism.it Web: www.geosism.com
---	--

	Data: novembre 2020
	Il committente
	IL Tecnico
	Il Progettista
Pericolosità sismica di base	

1 PREMESSA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare il *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la *pericolosità sismica di base* per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

2 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel **DM 17 gennaio 2018**-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.1. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.1 – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso specifico $V_N = 100$ anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_U = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_U = 1.5$;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $C_U = 2.0$;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso III** a cui è associato il coefficiente d'uso $C_U = 1.5$.

Ricavati i valori di V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale:

$$V_R = 100 * 1.5 = 150 \text{ anni.}$$

3 STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui

GEOSISM – Dott. Geol. Simone Barani - Carso, 55, 42021, 42021 Bibbiano (RE) – Italy,
(RE) - Tel. 0522/882377, Tel.348/8219198, Fax:0522/1537713,
e-mail:simonebarani@geosism.it, web: www.geosism.com

si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

Tabella 3.1- Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è $V_R = 150$ anni, il tempo di ritorno T_R sarà:

Tabella 3.2- Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$T_R = 90$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$T_R = 151$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$T_R = 1424$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$T_R = 2475$

4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 e T_C^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Tabella 4.1- *Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.*

ID	LON	LAT	$T_R = 30$			$T_R = 50$			$T_R = 72$			$T_R = 101$		
			a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_o, T_C^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_1, 2$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1, 2}$.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_o, T_C^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

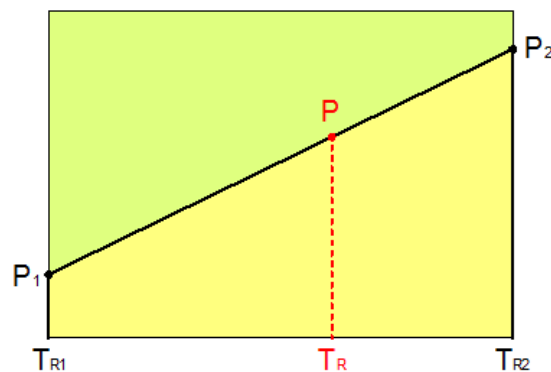


Figura 4.1 - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 4.2

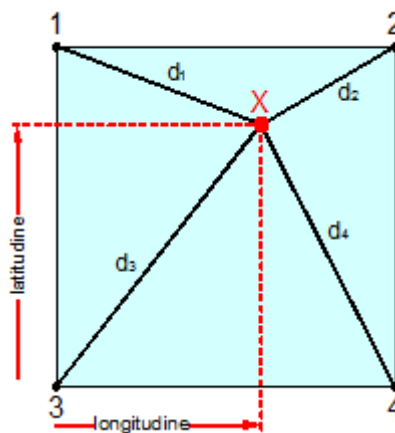


Figura 4.2 - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $\text{lat}\alpha$, $\text{lon}\alpha$, $\text{lat}\beta$ e $\text{lon}\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

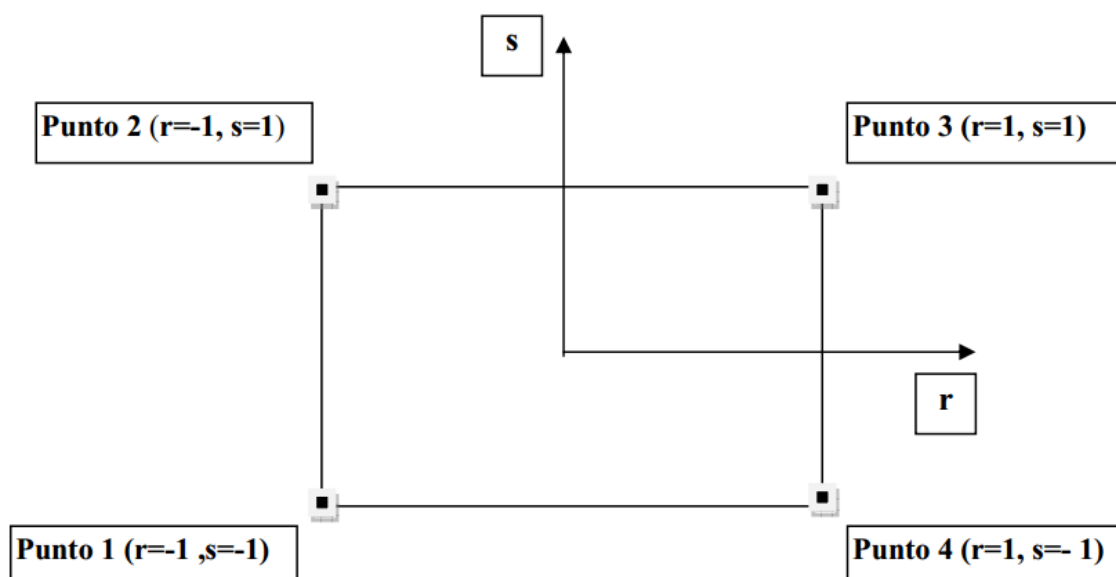


Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s , si determinano i parametri a_g, F_0, T_C^* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

5 Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

5.1 Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

5.2 Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 5.1.

Tabella 5.1- Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_S \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto a_g/g . S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: $S_T = 1.0$; **T2:** $S_T = 1.20$; **T3:** $S_T = 1.20$; **T4:** $S_T = 1.40$.

5.3 Fronti scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali; specificamente mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi avanzati di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto atteso nel volume

di terreno potenzialmente instabile e della capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come

$$F_h = k_h \cdot W \text{ ed } F_v = k_v \cdot W$$

con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale definiti nel § 7.11.3.5.2 e adottando i seguenti valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito:

$$\beta_s = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

$$\beta_s = 0.47 \text{ nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD).}$$

Nelle verifiche di sicurezza si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione [6.2.1]) impiegando lo stesso approccio di cui al § 6.8.2 per le opere di materiali sciolti e fronti di scavo, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

Si deve inoltre tener conto della presenza di manufatti interagenti con l'opera.

5.4 Muri di sostegno

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.5)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.6)$$

Con:

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati di seguito.

$$\beta_m = 0.38 \text{ nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)}$$

$$\beta_m = 0.47 \text{ nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).}$$

I valori del coefficiente β_m possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di in Figura 5.2.

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.7)$$

S è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica S_s e di amplificazione topografica S_T .

a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

5.5 Paratie

In mancanza di studi specifici, a_h (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} \quad (5.8)$$

dove:

g è l'accelerazione di gravità;

k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 5.1:

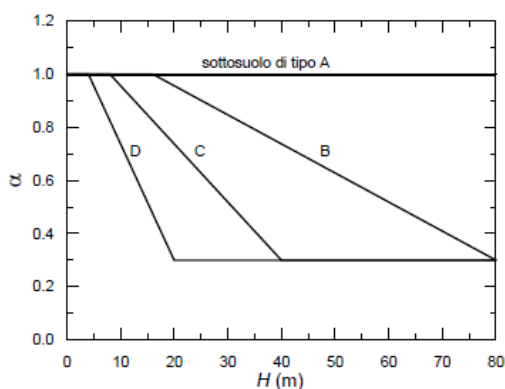


Figura 5.1 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α .

Per il sottosuolo di categoria E si utilizzano le curve dei sottosuoli C o D in dipendenza dei valori assunti dalla velocità equivalente V_s . Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi $\alpha = 1$.

Il valore del coefficiente β può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 5.2, in funzione del massimo spostamento u_s che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per $u_s = 0$ si ha $\beta = 1$; $u_s \leq 0.005 \cdot H$

Se $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$ deve assumersi $k_h = 0.2 \cdot a_{max} / g$

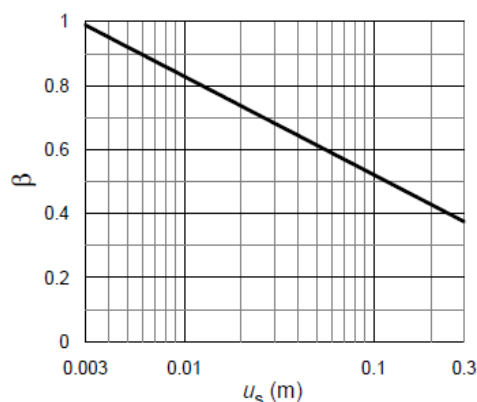


Figura 5.2 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

L'accelerazione di picco a_{\max} è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.9)$$

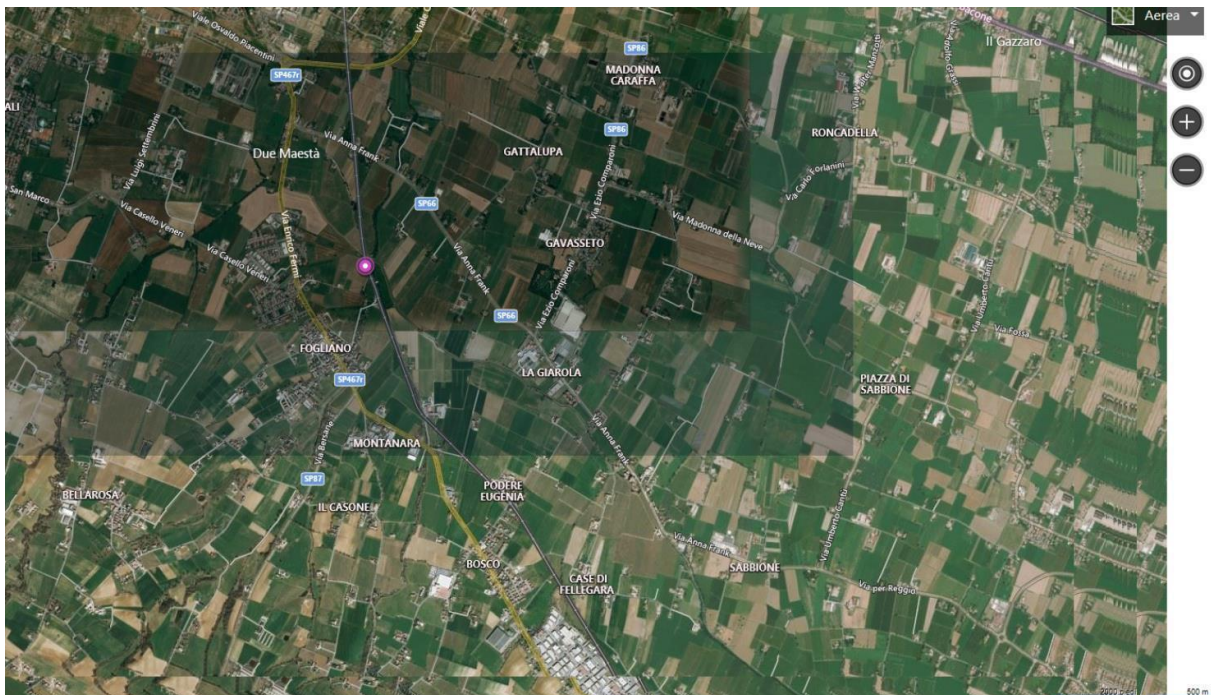
dove:

S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Data: 19/11/2020



Vita nominale (V_n):	100 [anni]
Classe d'uso:	III
Coefficiente d'uso (C_u):	1.5
Periodo di riferimento (V_r):	150 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLO:	90 [anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLD:	151 [anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLV:	1424 [anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLC:	2475 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	44.6508102 [°]
Longitudine (WGS84):	10.6520805 [°]
Latitudine (ED50):	44.6517525 [°]

GEOSISM – Dott. Geol. Simone Barani - Carso, 55, 42021, 42021 Bibbiano (RE) – Italy,
(RE) - Tel. 0522/882377, Tel.348/8219198, Fax:0522/1537713,
e-mail:simonebarani@geosism.it, web: www.geosism.com

Longitudine (ED50): 10.6530914 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16054	44.650030	10.610100	3406.20
2	16055	44.651710	10.680260	2149.12
3	15833	44.701680	10.677940	5889.10
4	15832	44.700000	10.607670	6456.06

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.050	2.471	0.249
	50	0.062	2.493	0.263
	72	0.073	2.468	0.269
SLO	90	0.080	2.463	0.272
	101	0.085	2.460	0.274
	140	0.097	2.453	0.276
SLD	151	0.101	2.446	0.276
	201	0.114	2.421	0.278
	475	0.160	2.375	0.286
	975	0.204	2.370	0.296
SLV	1424	0.227	2.392	0.304
SLC	2475	0.268	2.426	0.315

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.050	2.471	0.250
	50	0.062	2.495	0.264
	72	0.073	2.466	0.270
SLO	90	0.080	2.462	0.273
	101	0.084	2.459	0.274
	140	0.097	2.444	0.277
SLD	151	0.100	2.436	0.277
	201	0.115	2.407	0.279
	475	0.161	2.348	0.290
	975	0.203	2.376	0.310
SLV	1424	0.227	2.412	0.316
SLC	2475	0.267	2.467	0.324

GEOSISM – Dott. Geol. Simone Barani - Carso, 55, 42021, 42021 Bibbiano (RE) – Italy,
(RE) - Tel. 0522/882377, Tel.348/8219198, Fax:0522/1537713,
e-mail:simonebarani@geosism.it, web: www.geosism.com

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.047	2.473	0.249
	50	0.059	2.503	0.265
	72	0.069	2.476	0.271
SLO	90	0.076	2.478	0.274
	101	0.080	2.479	0.275
	140	0.092	2.454	0.281
SLD	151	0.096	2.447	0.281
	201	0.109	2.423	0.282
	475	0.157	2.407	0.286
	975	0.204	2.400	0.304
SLV	1424	0.233	2.400	0.308
SLC	2475	0.283	2.399	0.314

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.048	2.472	0.248
	50	0.059	2.504	0.264
	72	0.070	2.477	0.270
SLO	90	0.077	2.479	0.273
	101	0.080	2.480	0.274
	140	0.093	2.456	0.279
SLD	151	0.096	2.451	0.279
	201	0.109	2.436	0.280
	475	0.155	2.361	0.289
	975	0.197	2.384	0.309
SLV	1424	0.222	2.425	0.313
SLC	2475	0.263	2.486	0.318

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	90	0.079	2.467	0.273
SLD	151	0.099	2.443	0.278
SLV	1424	0.227	2.407	0.311
SLC	2475	0.269	2.448	0.319

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000

Categoria sottosuolo: C

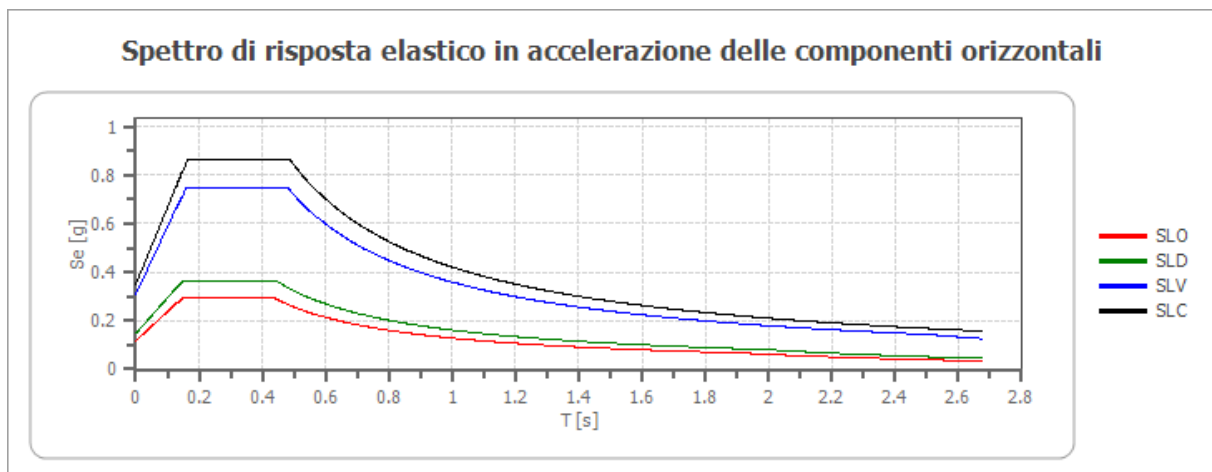
Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.024	0.030	0.087	0.099
kv	0.012	0.015	0.044	0.049
amax [m/s ²]	1.161	1.457	3.053	3.454
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



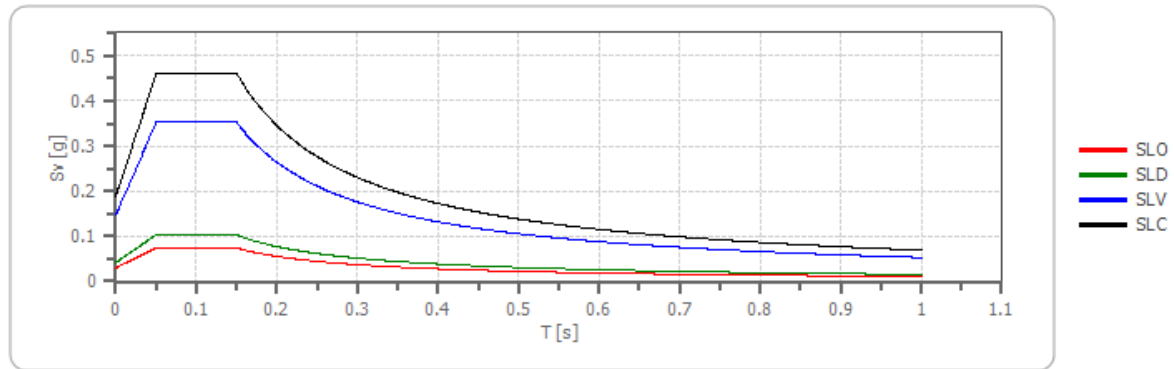
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1.5	0.07 9	2.46 7	0.27 3	1.50 0	1.61 0	1.00 0	1.50 0	1.00 0	0.14 6	0.43 9	1.91 6	0.11 8	0.29 2
SLD	1.5	0.09 9	2.44 3	0.27 8	1.50 0	1.60 0	1.00 0	1.50 0	1.00 0	0.14 8	0.44 5	1.99 6	0.14 9	0.36 3
SLV	1.5	0.22 7	2.40 7	0.31 1	1.37 0	1.54 0	1.00 0	1.37 0	1.00 0	0.16 0	0.47 9	2.50 9	0.31 1	0.74 9
SLC	1.5	0.26 9	2.44 8	0.31 9	1.31 0	1.53 0	1.00 0	1.31 0	1.00 0	0.16 3	0.48 8	2.67 5	0.35 2	0.86 2

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



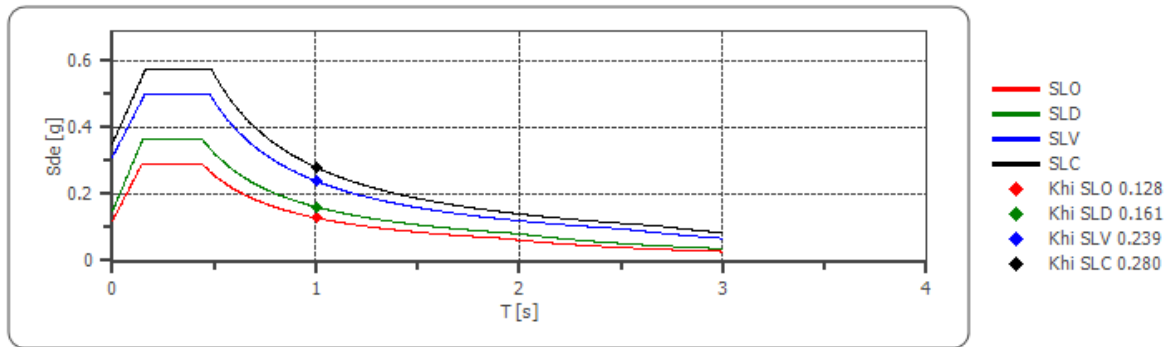
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1.5	0.07 9	2.46 7	0.27 3	1	1.61 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	0.05 0	0.15 0	1.00 0	0.03 0	0.07 4
SLD	1.5	0.09 9	2.44 3	0.27 8	1	1.60 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	0.05 0	0.15 0	1.00 0	0.04 2	0.10 3
SLV	1.5	0.22 7	2.40 7	0.31 1	1	1.54 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	0.05 0	0.15 0	1.00 0	0.14 6	0.35 2
SLC	1.5	0.26 9	2.44 8	0.31 9	1	1.53 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	0.05 0	0.15 0	1.00 0	0.18 8	0.46 1

Spettro di progetto

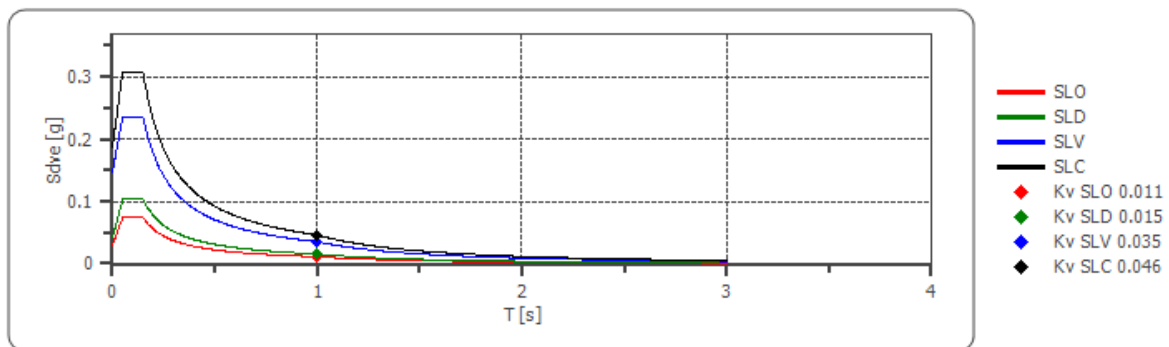
Fattore di struttura spettro orizzontale q : 1.50
 Fattore di struttura spettro verticale q : 1.50
 Periodo fondamentale T : 1.00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_{hi} = S_{de}(T)$ Orizzontale [g]	0.128	0.161	0.239	0.280
$k_{v} = S_{dve}(T)$ Verticale [g]	0.011	0.015	0.035	0.046

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1.5	0.079	2.467	0.273	1.500	1.610	1.000	1.500	1.000	0.146	0.439	1.916	0.118	0.292
SLO verticale	1.5	0.079	2.467	0.273	1.500	1.610	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.030	0.074
SLD orizzontale	1.5	0.099	2.443	0.278	1.500	1.600	1.000	1.500	1.000	0.148	0.445	1.996	0.149	0.363
SLD verticale	1.5	0.099	2.443	0.278	1.500	1.600	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.042	0.103
SLV orizzontale	1.5	0.227	2.407	0.311	1.370	1.540	1.000	1.370	1.500	0.160	0.479	2.509	0.311	0.500
SLV verticale	1.5	0.227	2.407	0.311	1.370	1.540	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.146	0.235

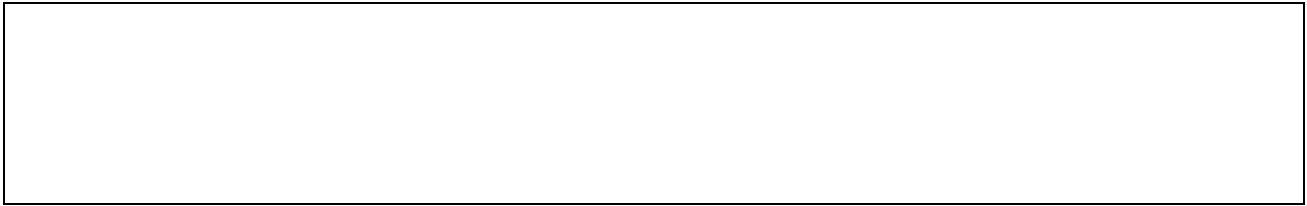
GEOSISM – Dott. Geol. Simone Barani - Carso, 55, 42021, 42021 Bibbiano (RE) – Italy,
 (RE) - Tel. 0522/882377, Tel.348/8219198, Fax:0522/1537713,
 e-mail:simonebarani@geosism.it, web: www.geosism.com

SLC orizz ontal e	1.5	0.26 9	2.44 8	0.31 9	1.31 0	1.53 0	1.00 0	1.31 0	1.50 0	0.16 3	0.48 8	2.67 5	0.35 2	0.57 5
SLC verti cale	1.5	0.26 9	2.44 8	0.31 9	1.31 0	1.53 0	1.00 0	1.00 0	1.50 0	0.05 0	0.15 0	1.00 0	0.18 8	0.30 7

Indice

Pericolosità sismica di base.....	12
Parametri di pericolosità sismica.....	12
Pericolosità sismica di sito.....	15
Coefficienti sismici.....	15
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.....	15
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali.....	16
Spettro di progetto.....	16
Indice.....	21

TAV C: MICROZONAZIONE SISMICA (CON III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO)



GEOSISM – Dott. Geol. Simone Barani C.FISC: P.IVA:	Via: Carso, 55 42021 42021 Bibbiano (RE) – Italy - RE Tel: 0522/882377 - 348/8219198 Fax: 0522/1537713 Email: simonebarani@geosism.it Web: www.geosism.com
---	---

	Data: novembre 2020
	Il committente
	IL Tecnico
	Il Progettista
Pericolosità sismica di base	

INTRODUZIONE

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l' N -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z)^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

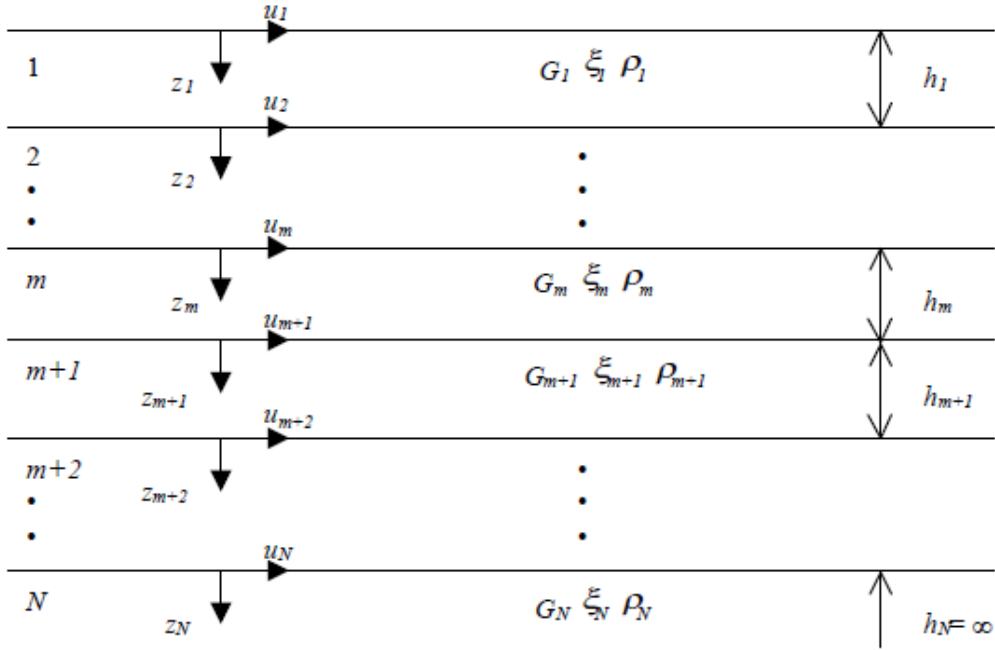


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* [Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$v(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad a(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t)$$

(22)

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{v_m}{v_n} = \frac{a_m}{a_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

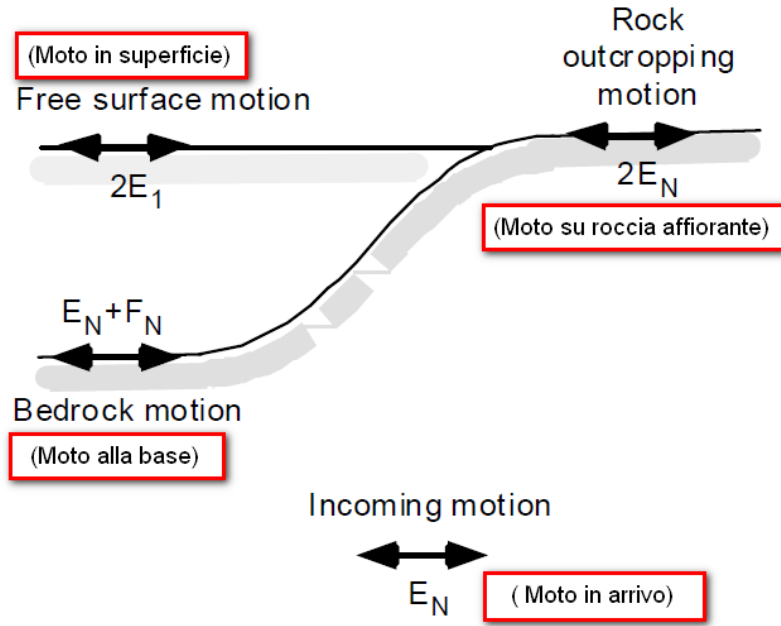


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{MN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)^{0.492}}{\gamma} \right) \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

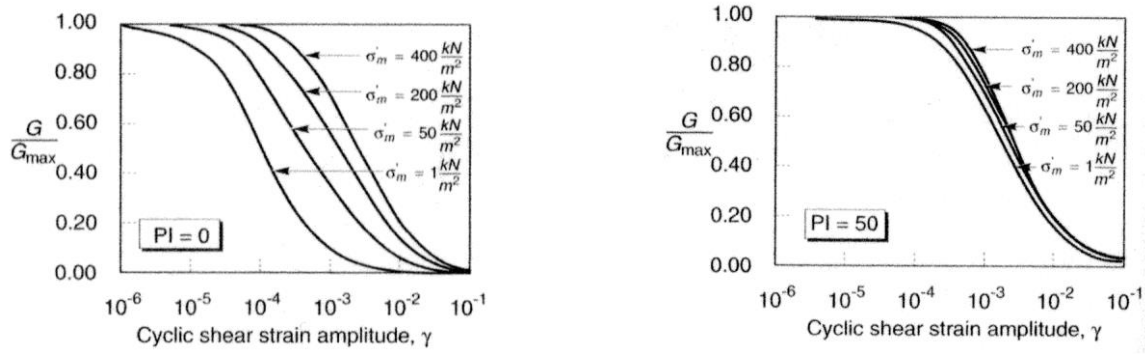


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

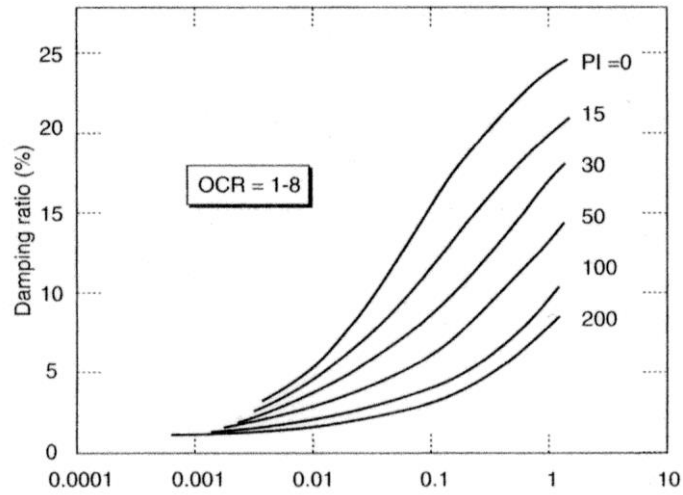
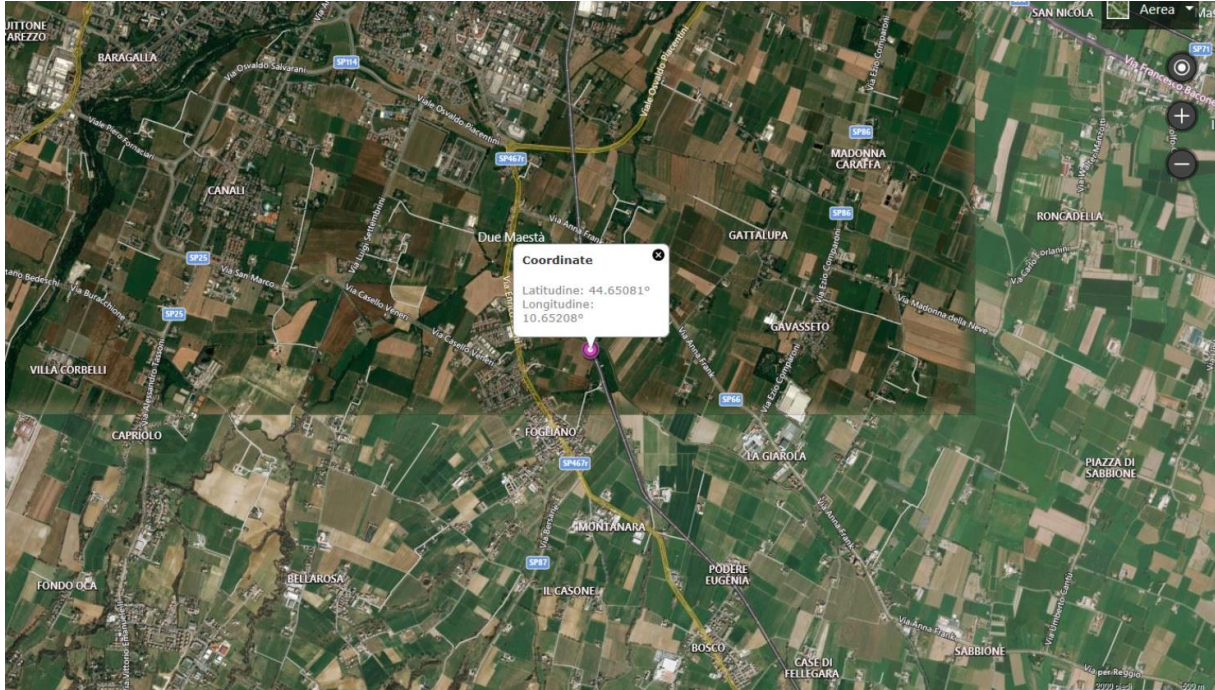


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Dati generali RSLII_SLV_MASW N. 1

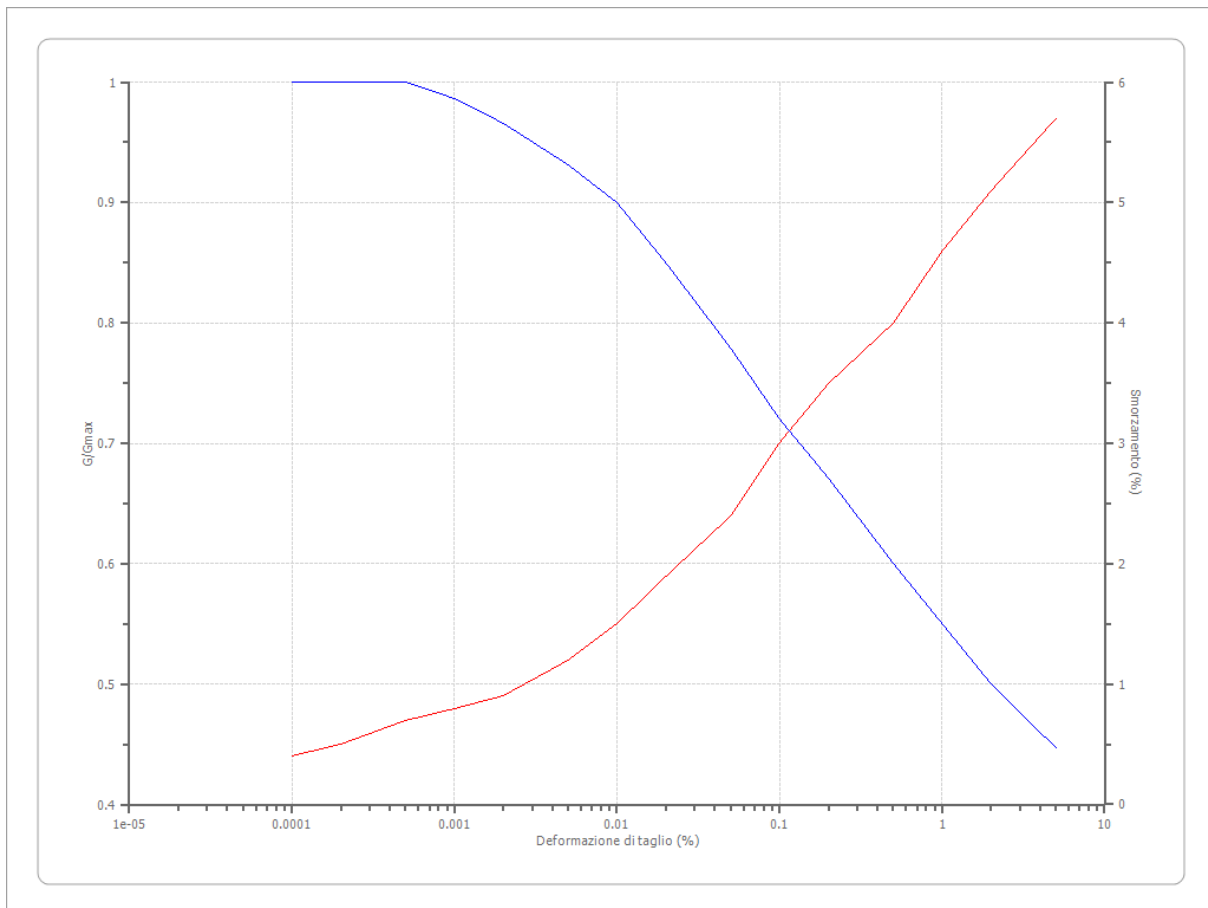
Data della prova d.C./11/2020
 Latitudine 44.65081[°]
 Longitudine 10.65208[°]



Terreni

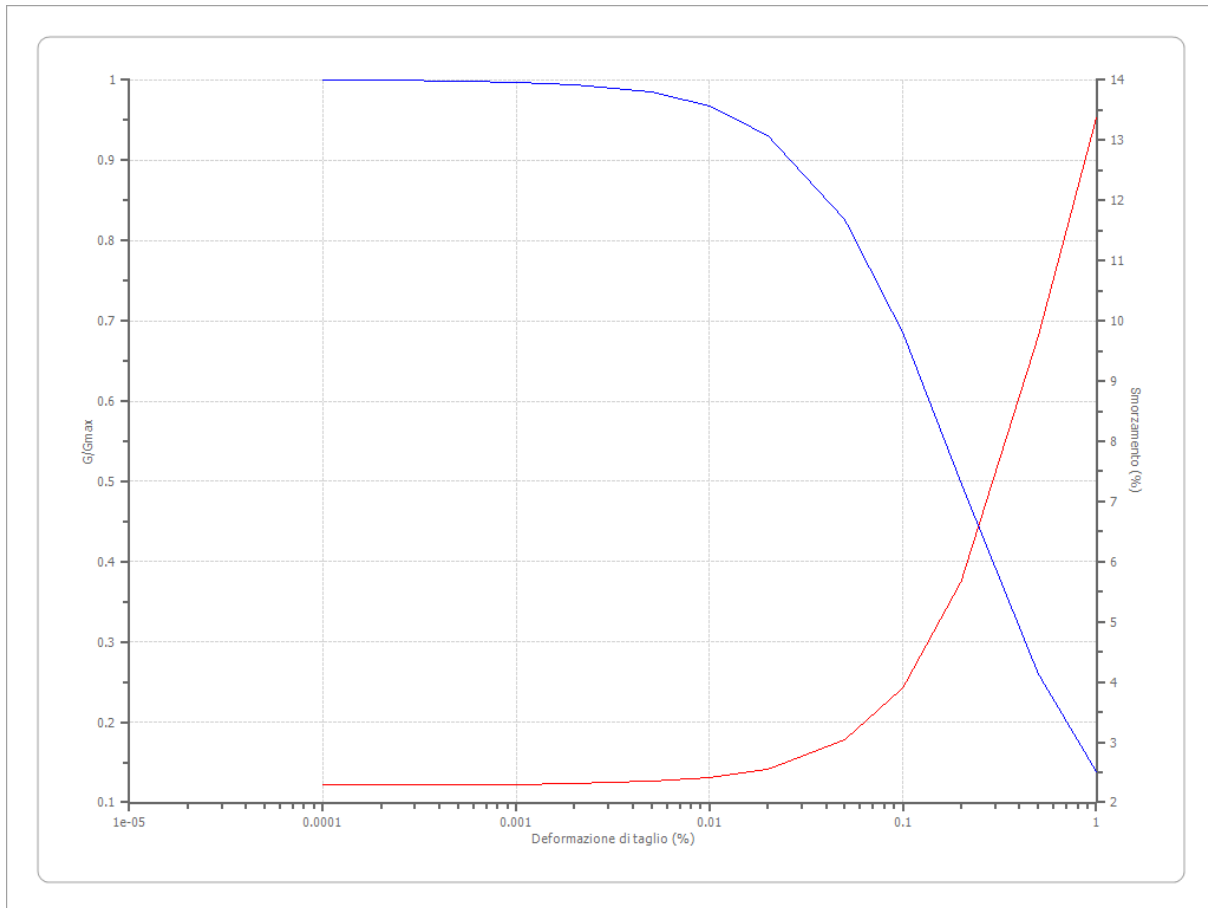
Idriss (1990) Rock

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



Argille 1 (Hardin e Drnevich)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.999814	0.0001	2.292169
0.0002	0.999592	0.0002	2.292953
0.0005	0.99885	0.0005	2.295579
0.001	0.997486	0.001	2.300422
0.002	0.99451	0.002	2.311031
0.005	0.984677	0.005	2.346566
0.010	0.967042	0.010	2.412195
0.020	0.930543	0.020	2.556218
0.050	0.826171	0.050	3.038566
0.100	0.684554	0.100	3.91201
0.200	0.497708	0.200	5.663003
0.500	0.260092	0.500	9.744892
1.000	0.138305	1.000	13.36791

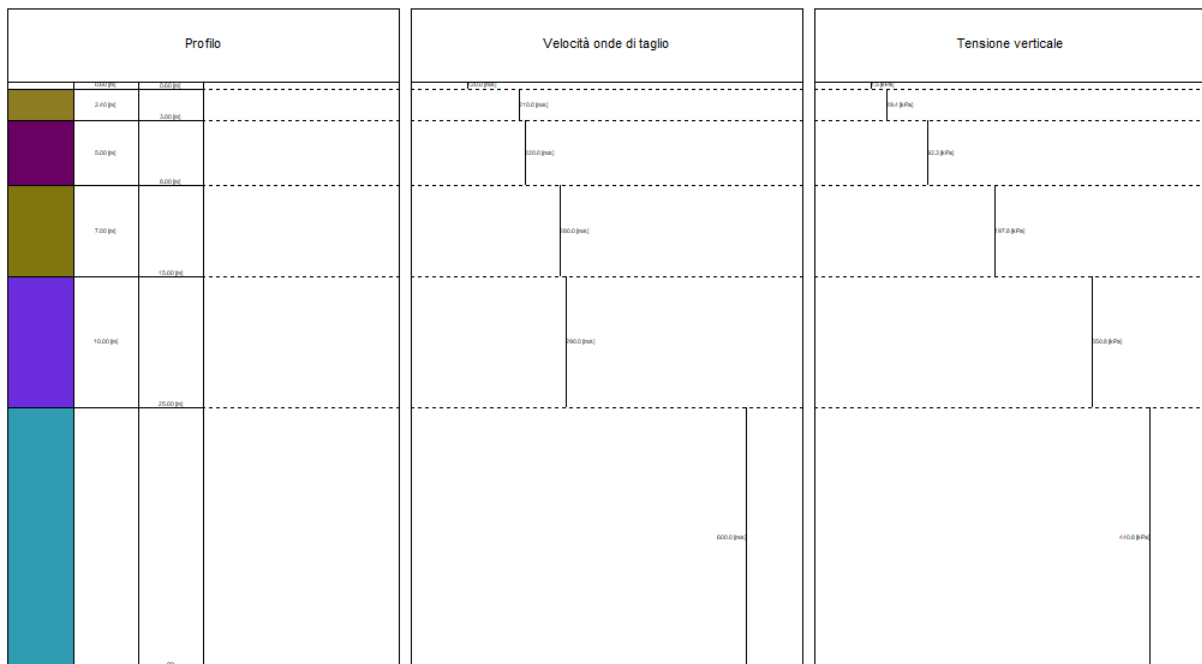


Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	0.6	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	22.02	--	15.0	120.0	4.5
2		0.6	2.4	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	76.42	--	17.0	210.0	29.4
3		3.0	5.0	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	83.87	--	17.0	220.0	92.3
4		8.0	7.0	Argille	0	143.85	--	18.0	280.0	197.8

				1 (Hardin e Drnevic h)						
5		15.0	10.0	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	154.31	--	18.0	290.0	350.8
6		oo	--	Idriss (1990) Rock	0	807.34	--	22.0	600.0	440.8

Strato rilevamento accelerogramma: 6 Affiorante



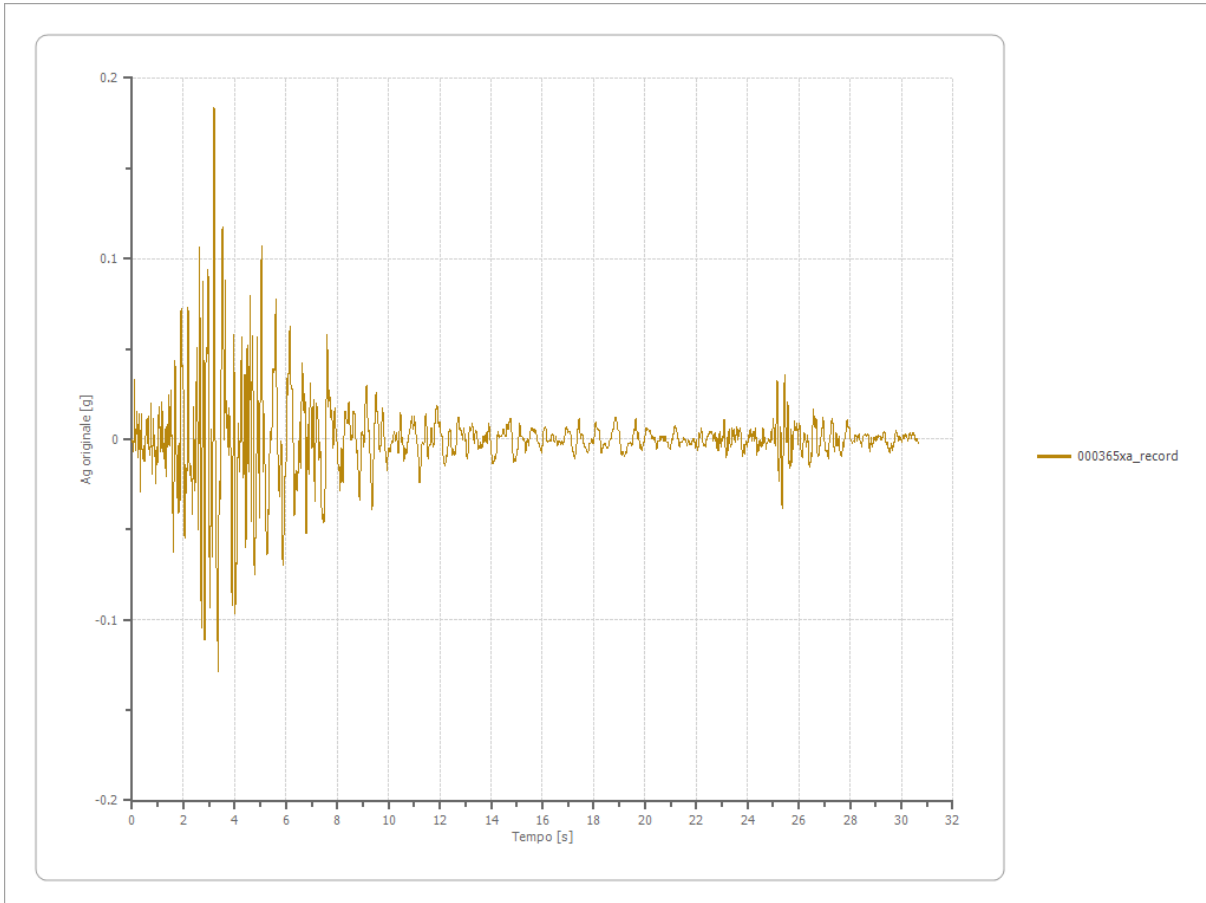
Elaborazione

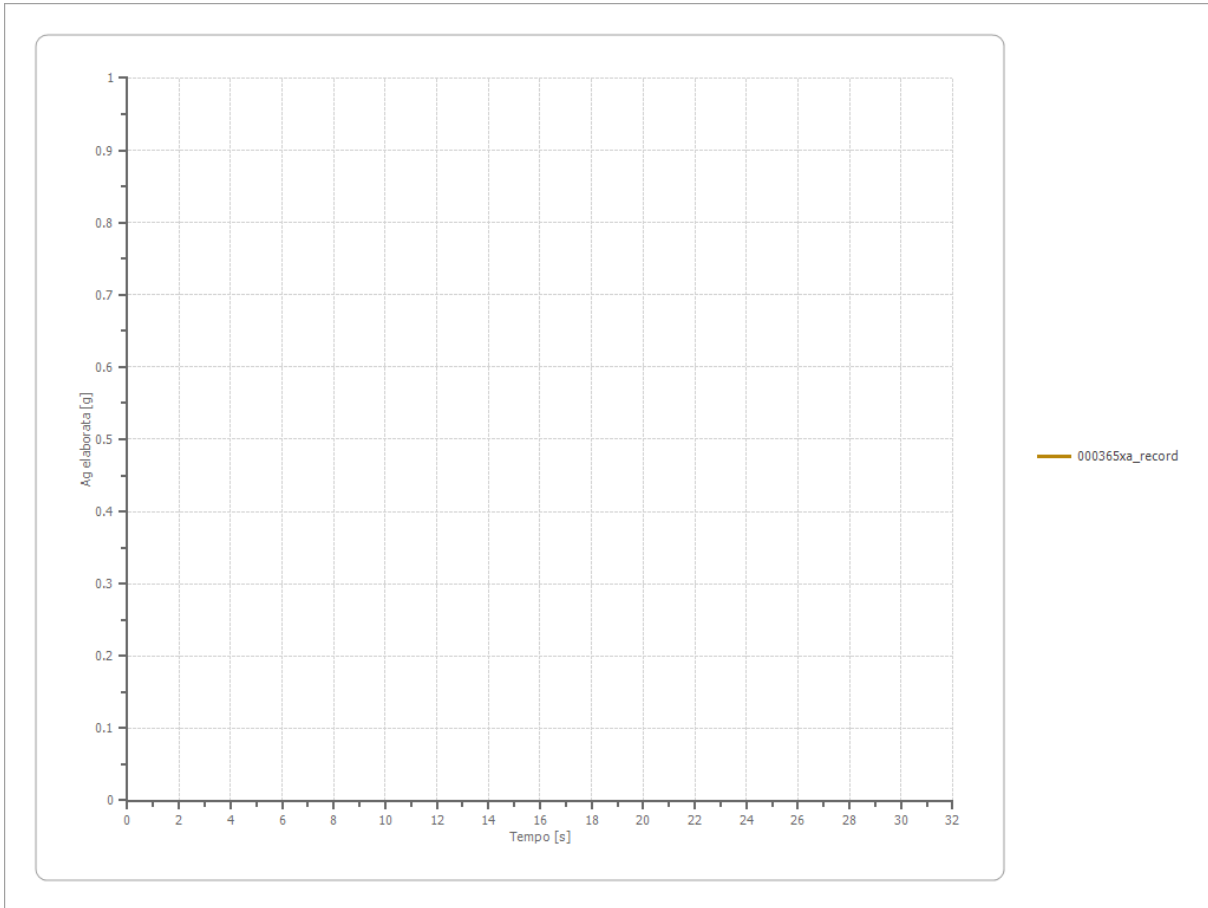
Numero di iterazioni 20
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza --

File 000365xa_record:

Accelerogramma importato

Nome del file	000365xa_record
Durata della traccia	30.670 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	3.200 [s]

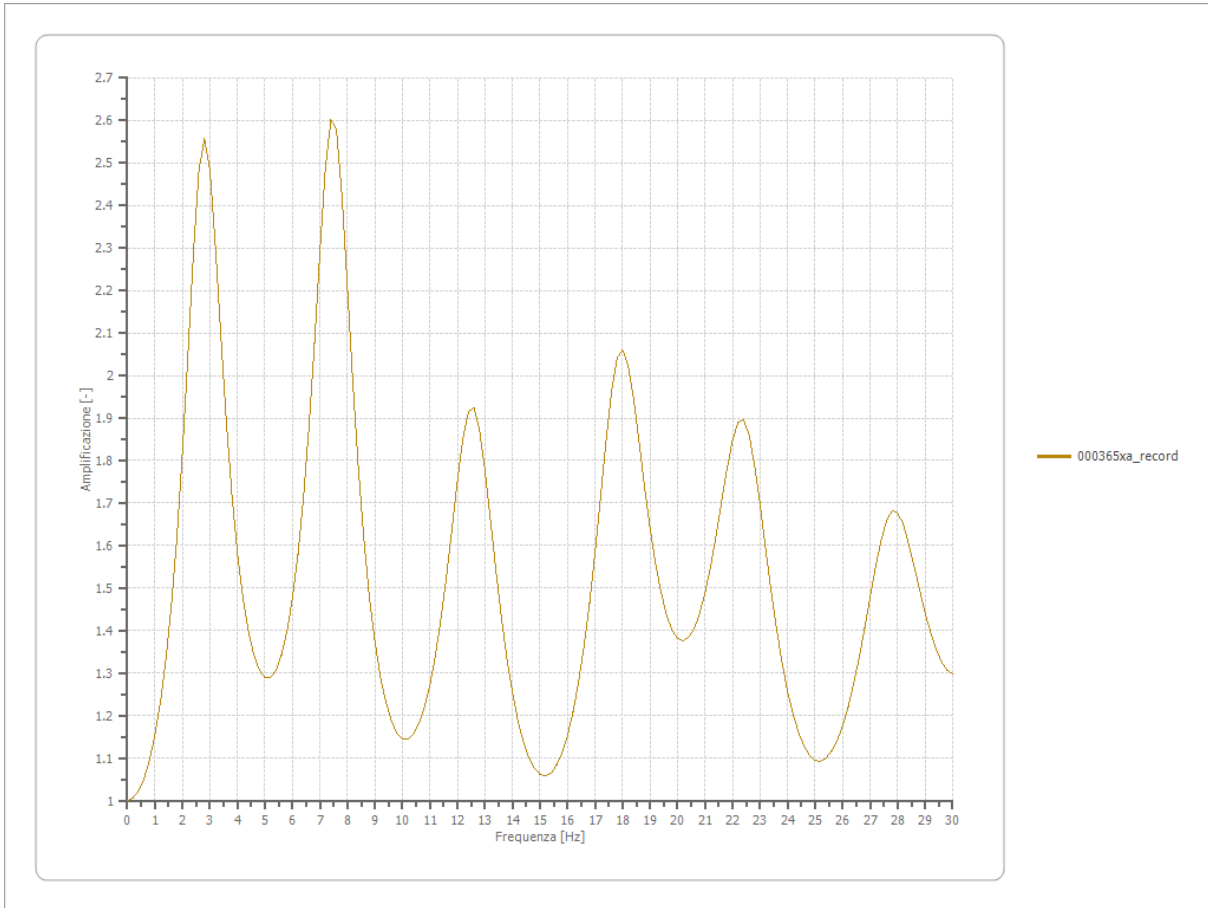




Amplificazione

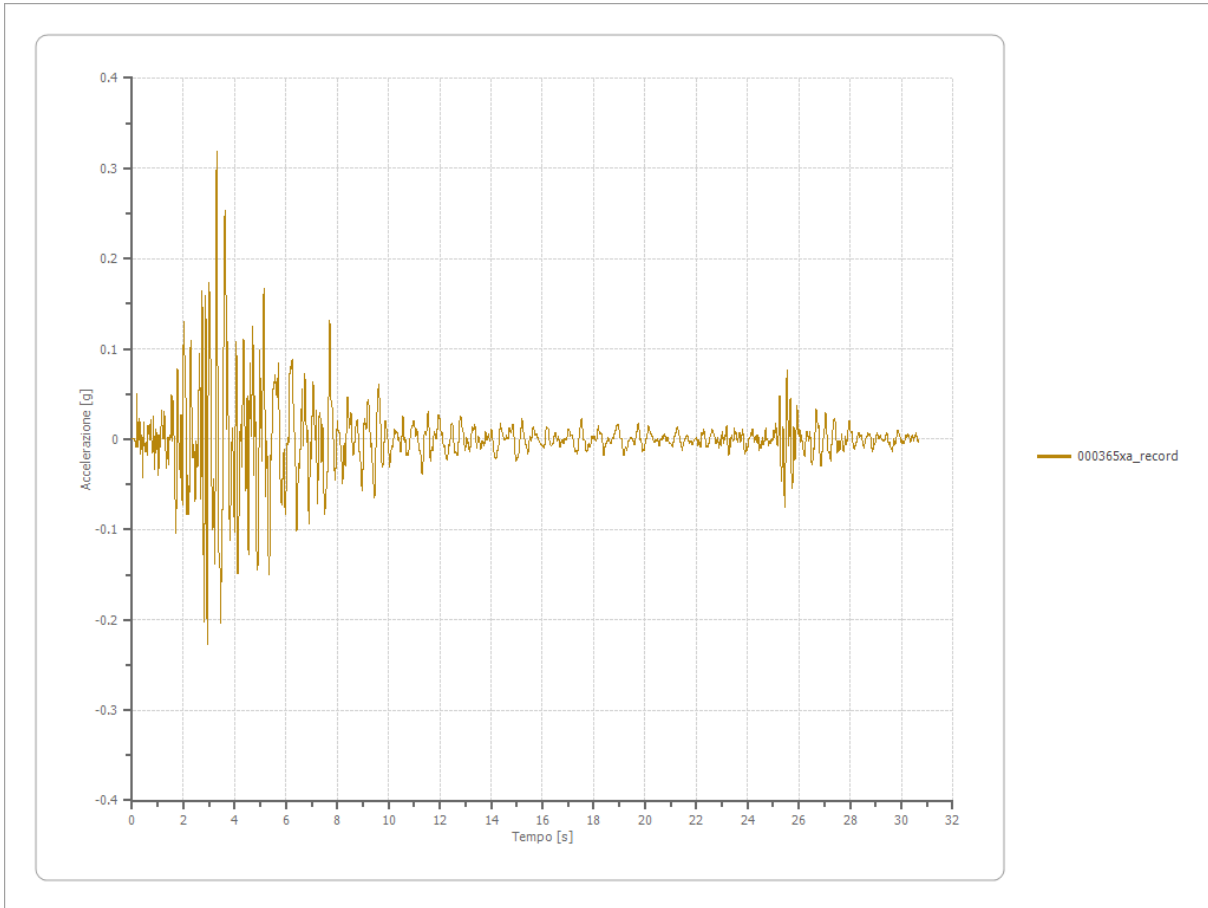
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

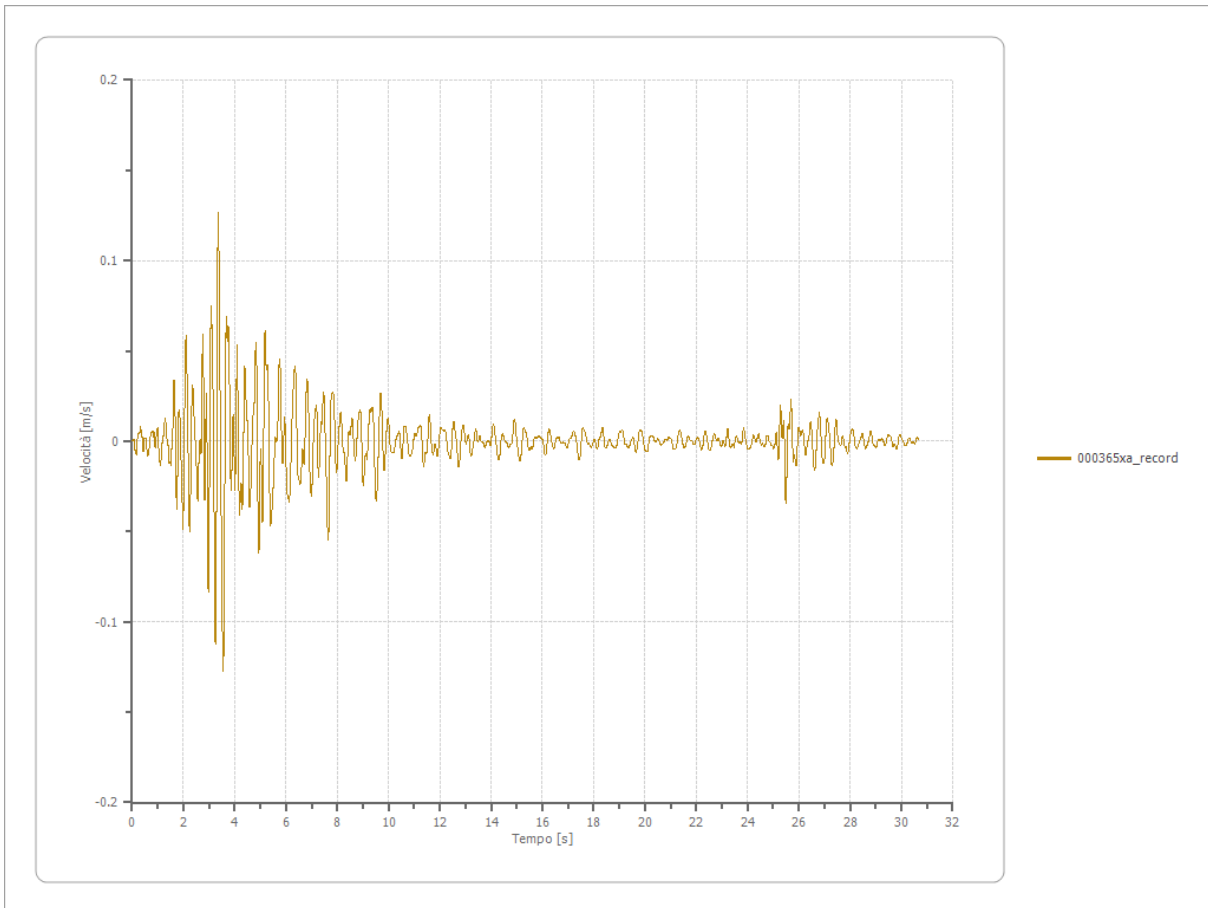
Strato	1 Affiorante
Pga	0.319 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	1.755
Accelerazione massima	0.319 [g]
Periodo accelerazione massima	3.300 [s]



Velocità

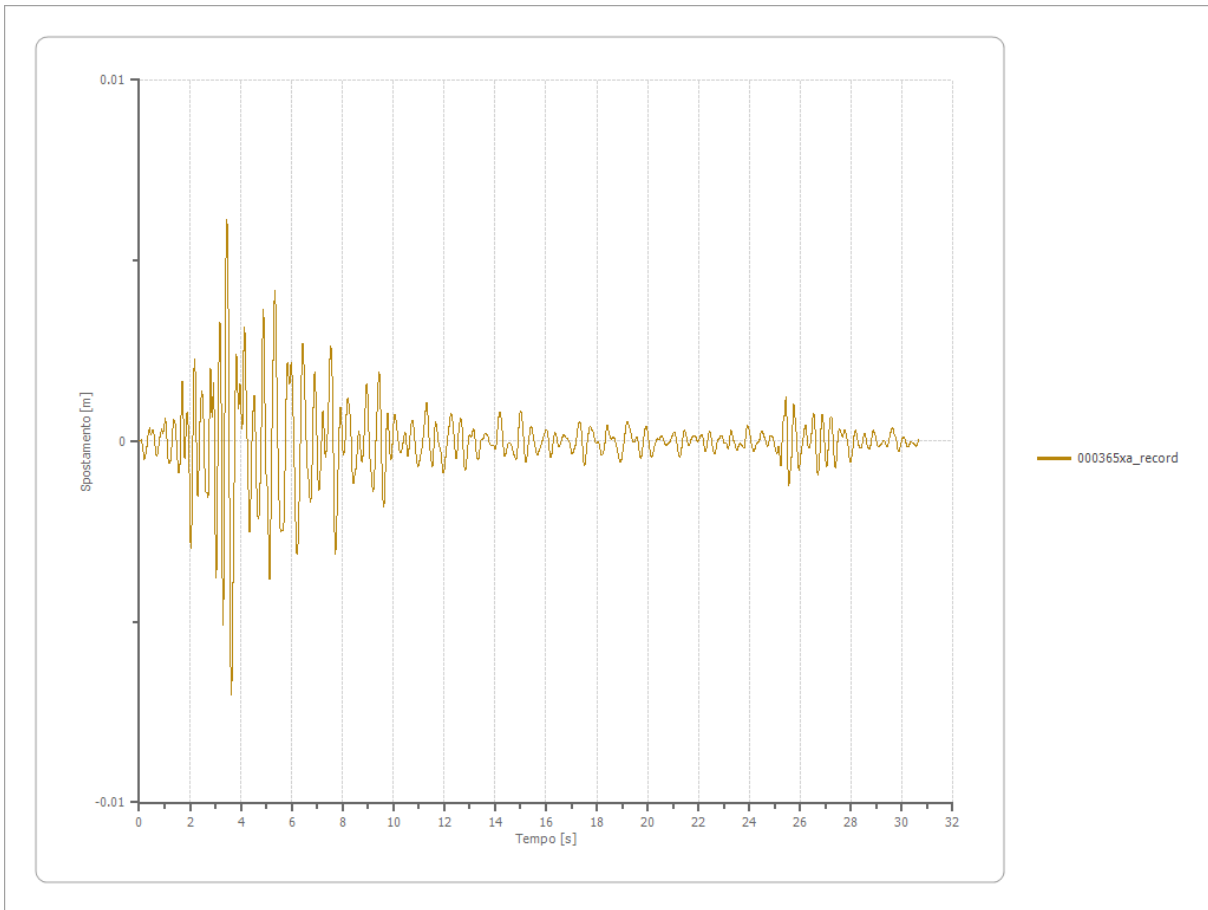
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.127 [m/s]
3.550 [s]



Spostamento

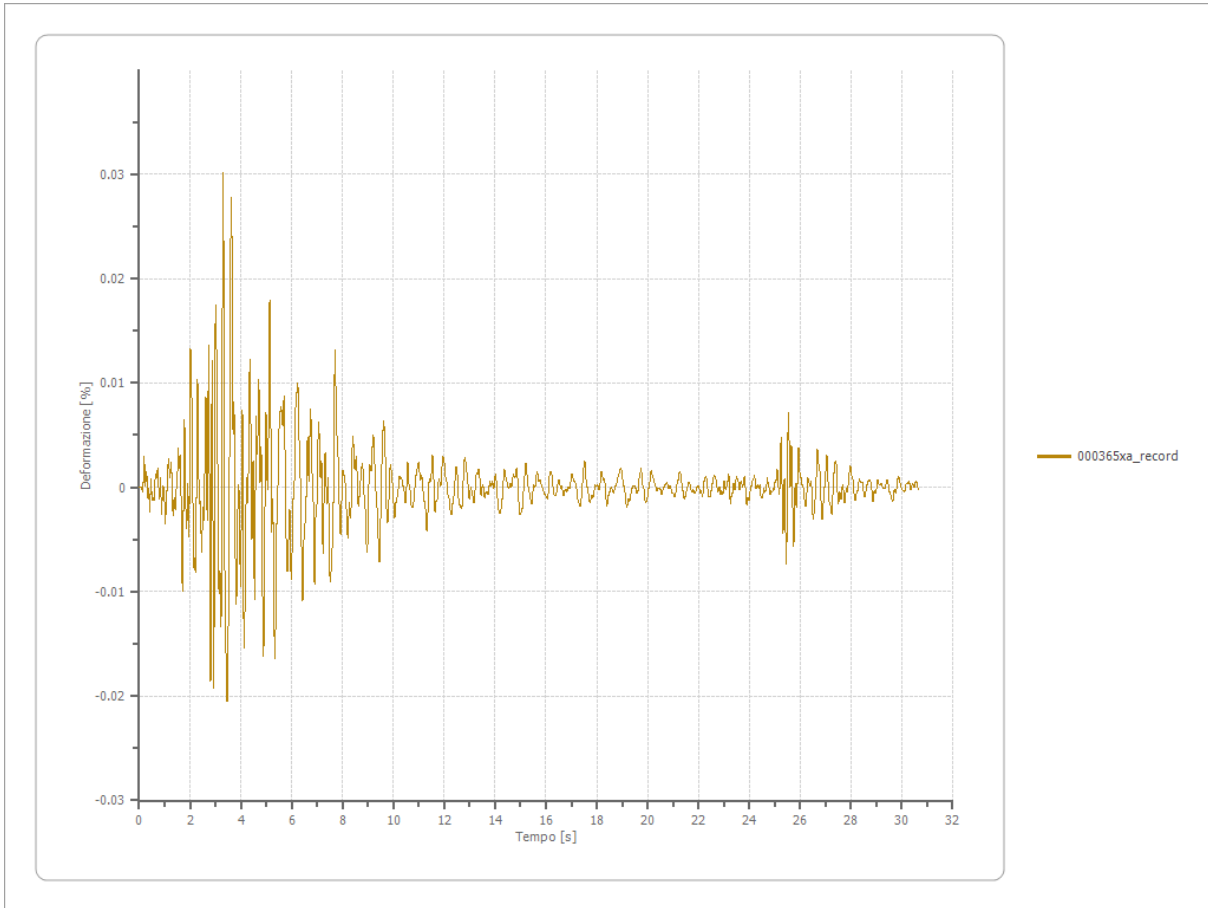
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.007 [m]
Periodo spostamento massimo	3.620 [s]



Deformazione

Numero di strati

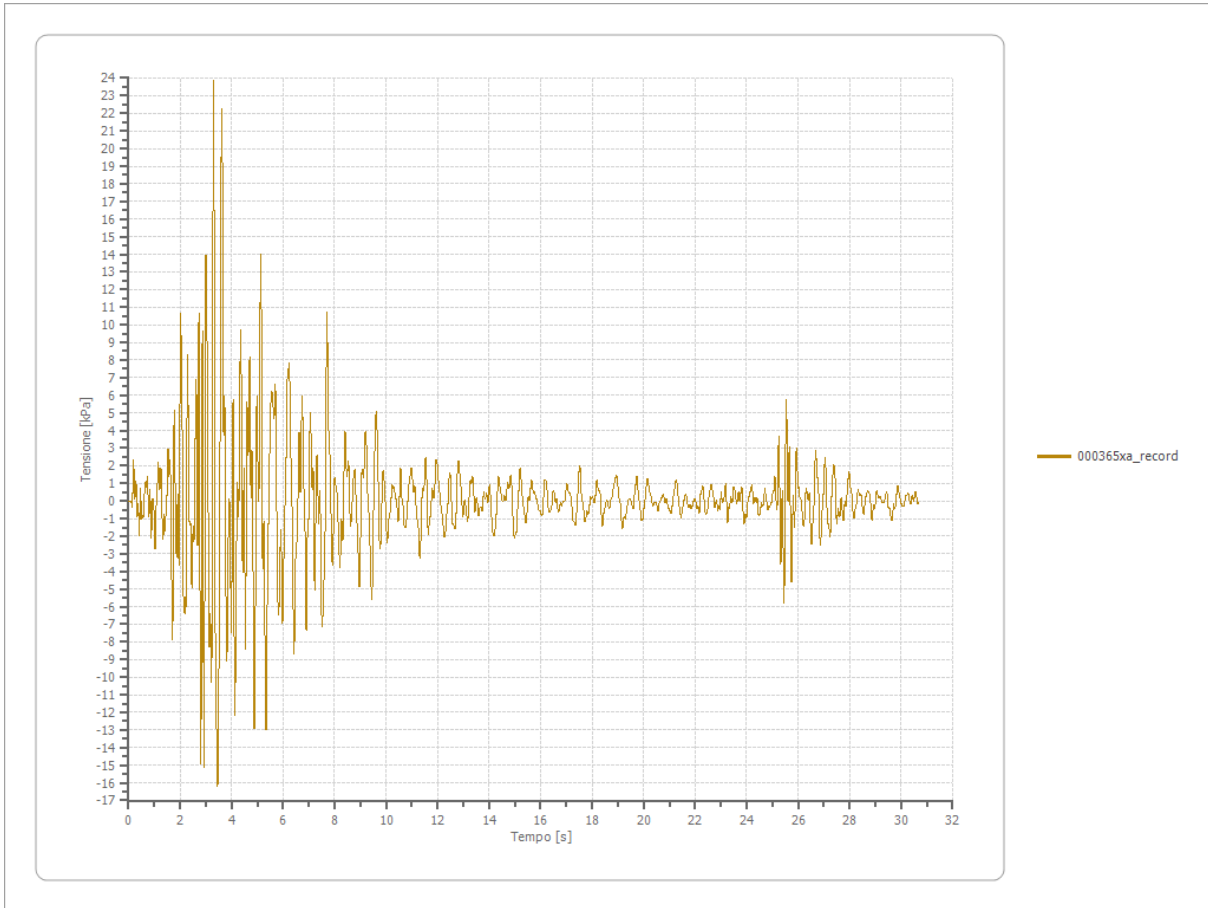
3



Tensione

Numero di strati

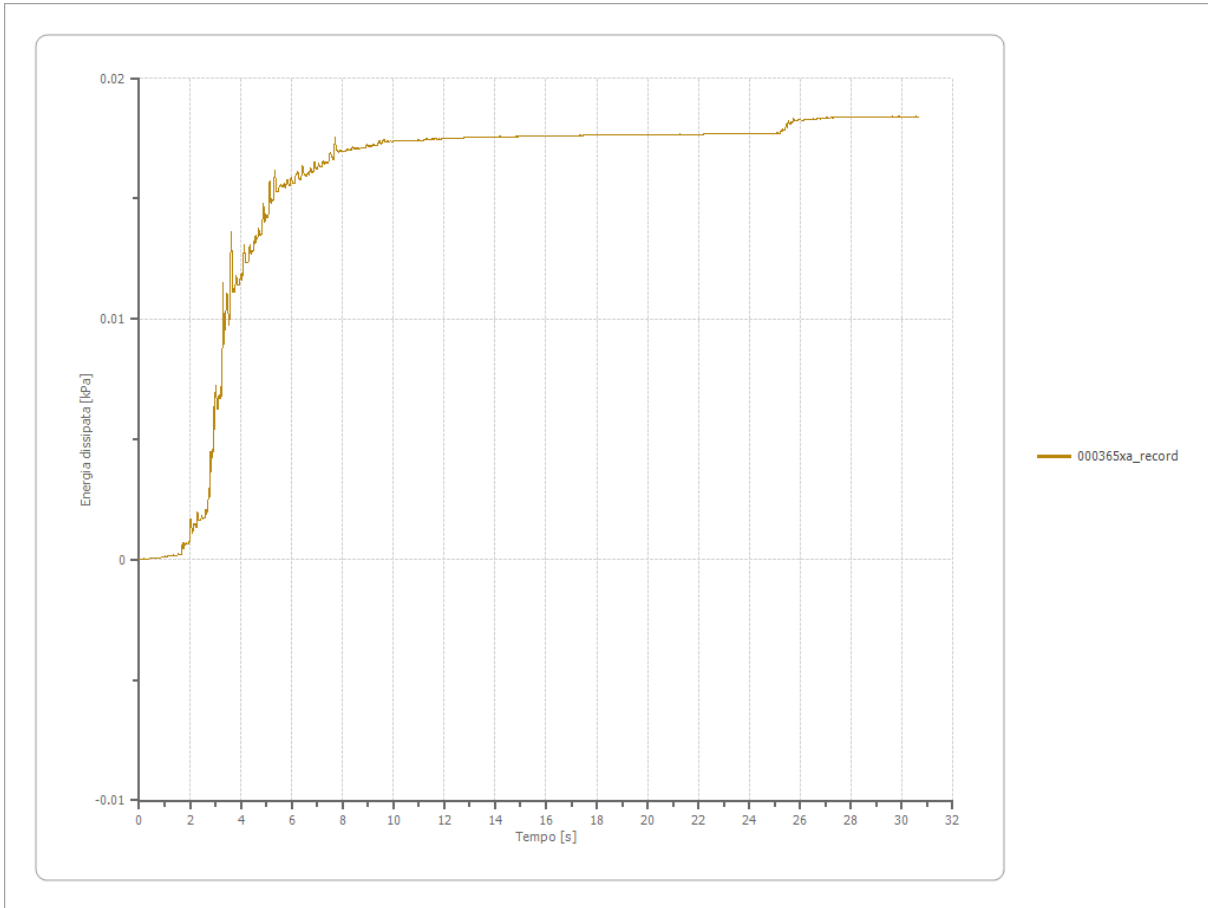
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



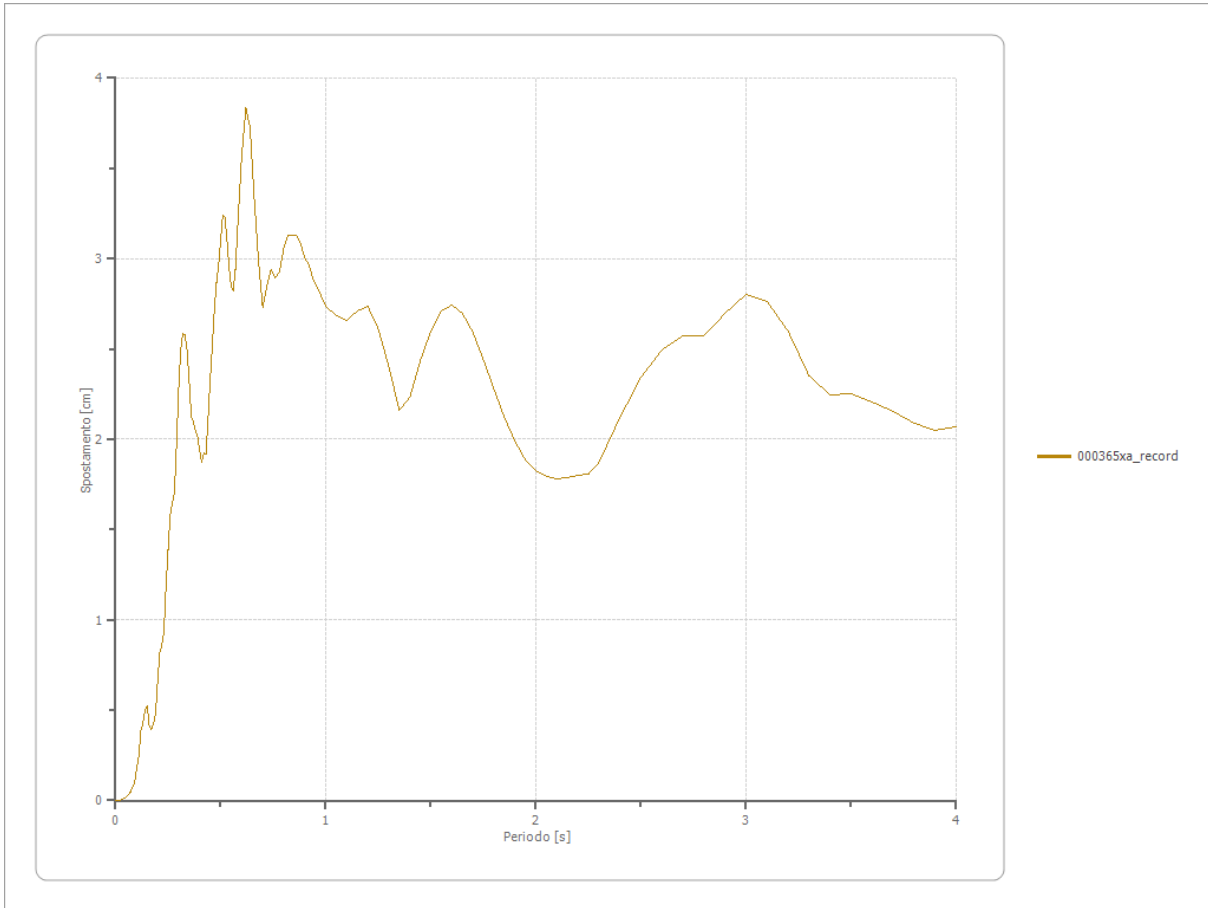
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

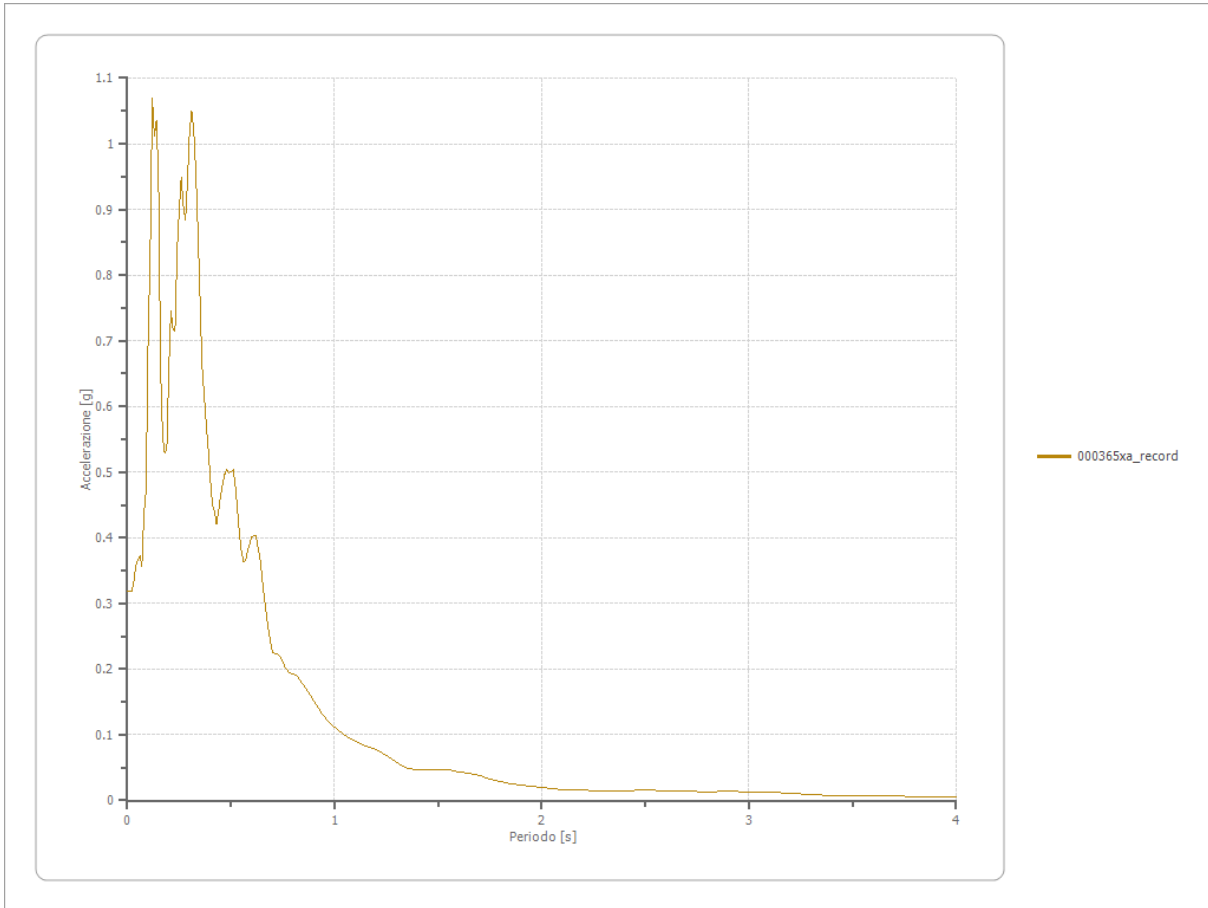
Spostamento

Spostamento massimo	3.836 [cm]
Periodo massimo spostamento	0.620 [s]



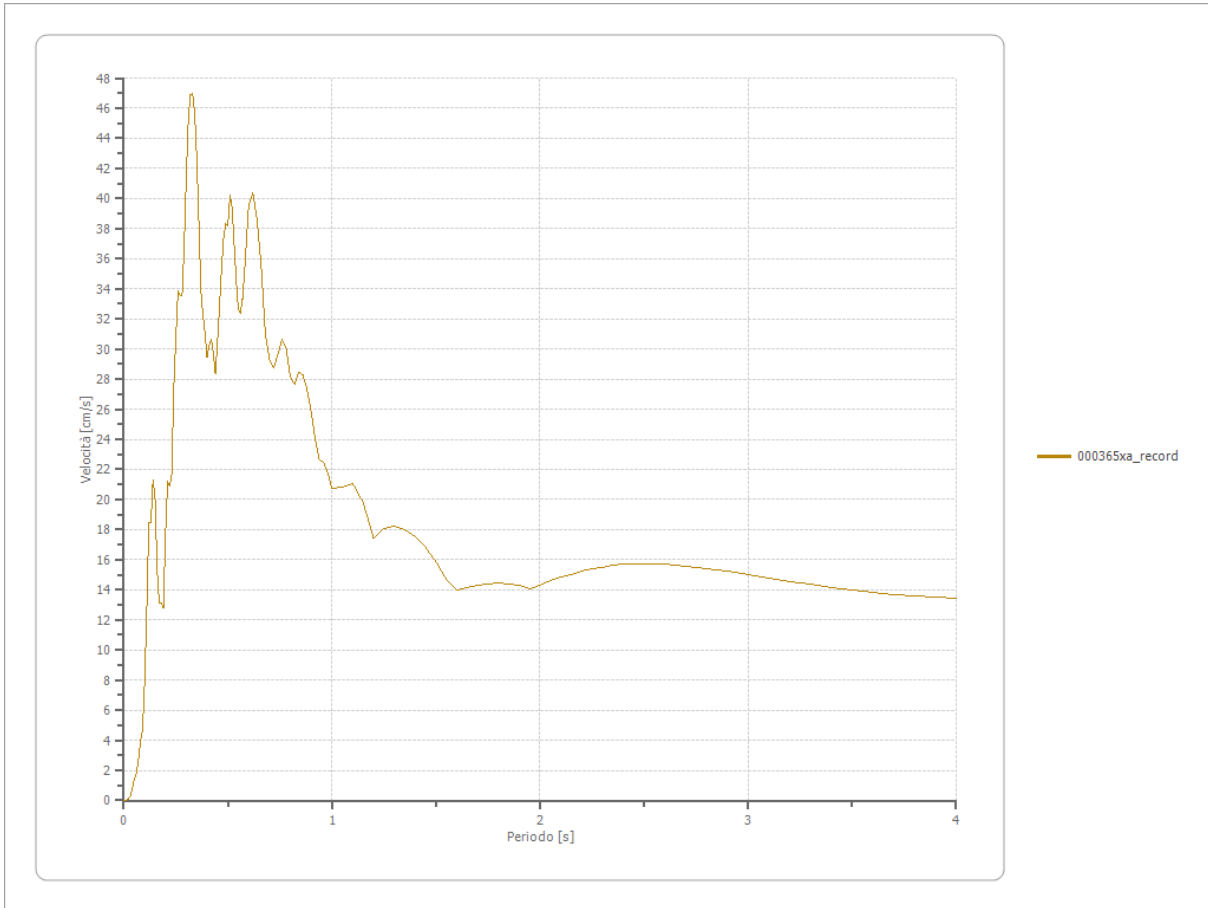
Accelerazione

Accelerazione massima	1.070 [g]
Periodo accelerazione massima	0.120 [s]



Velocità

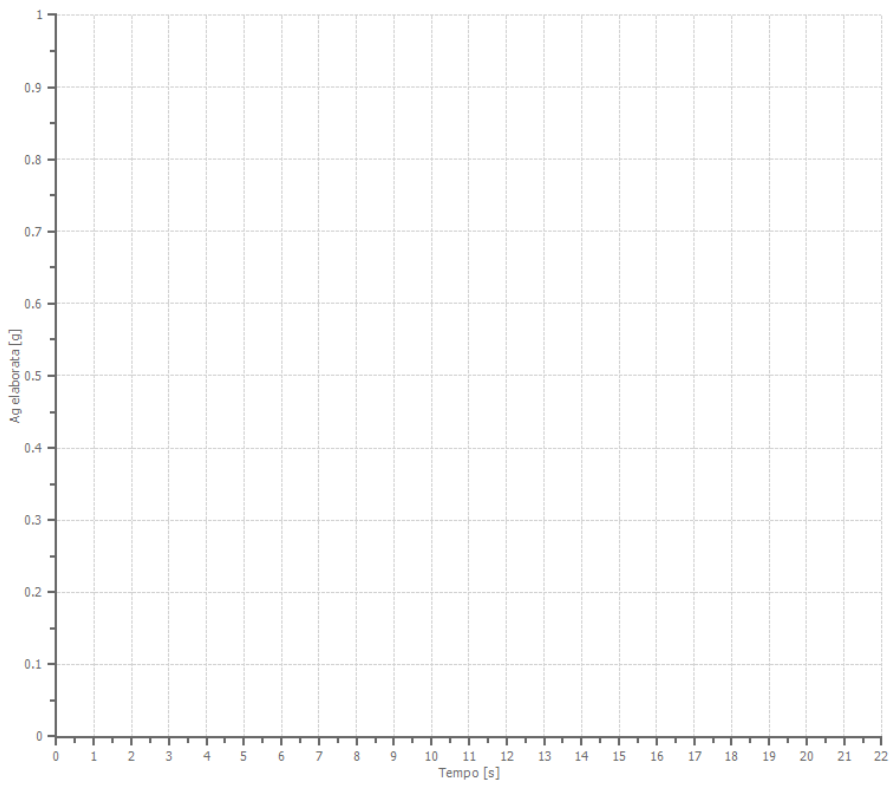
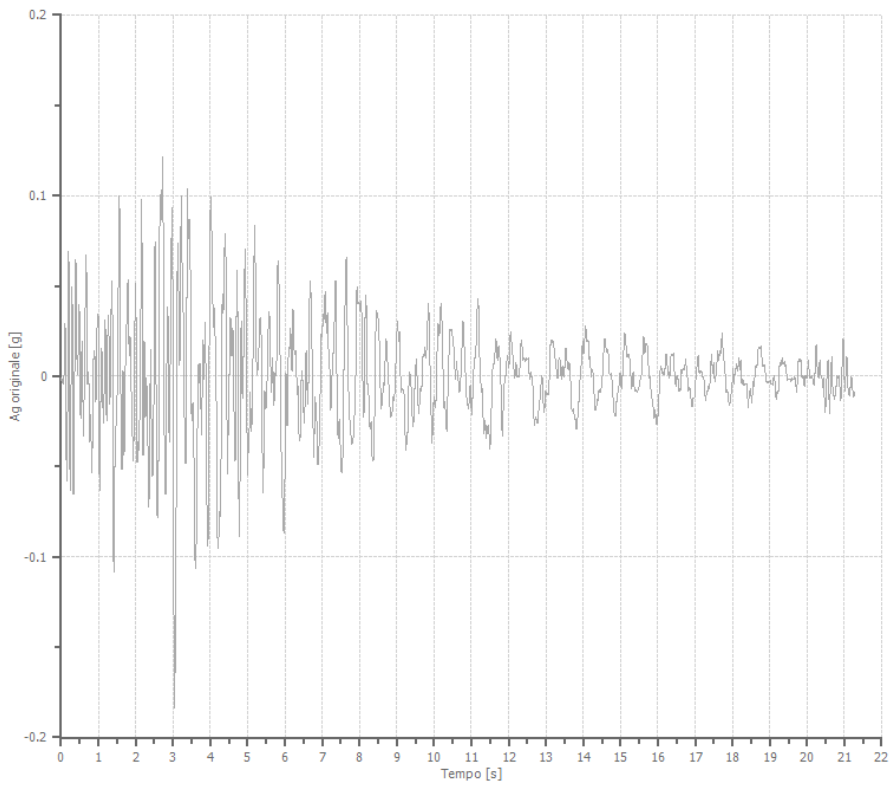
Velocità massima	1.070 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.330 [s]



File 000382xa_record:

Accelerogramma importato

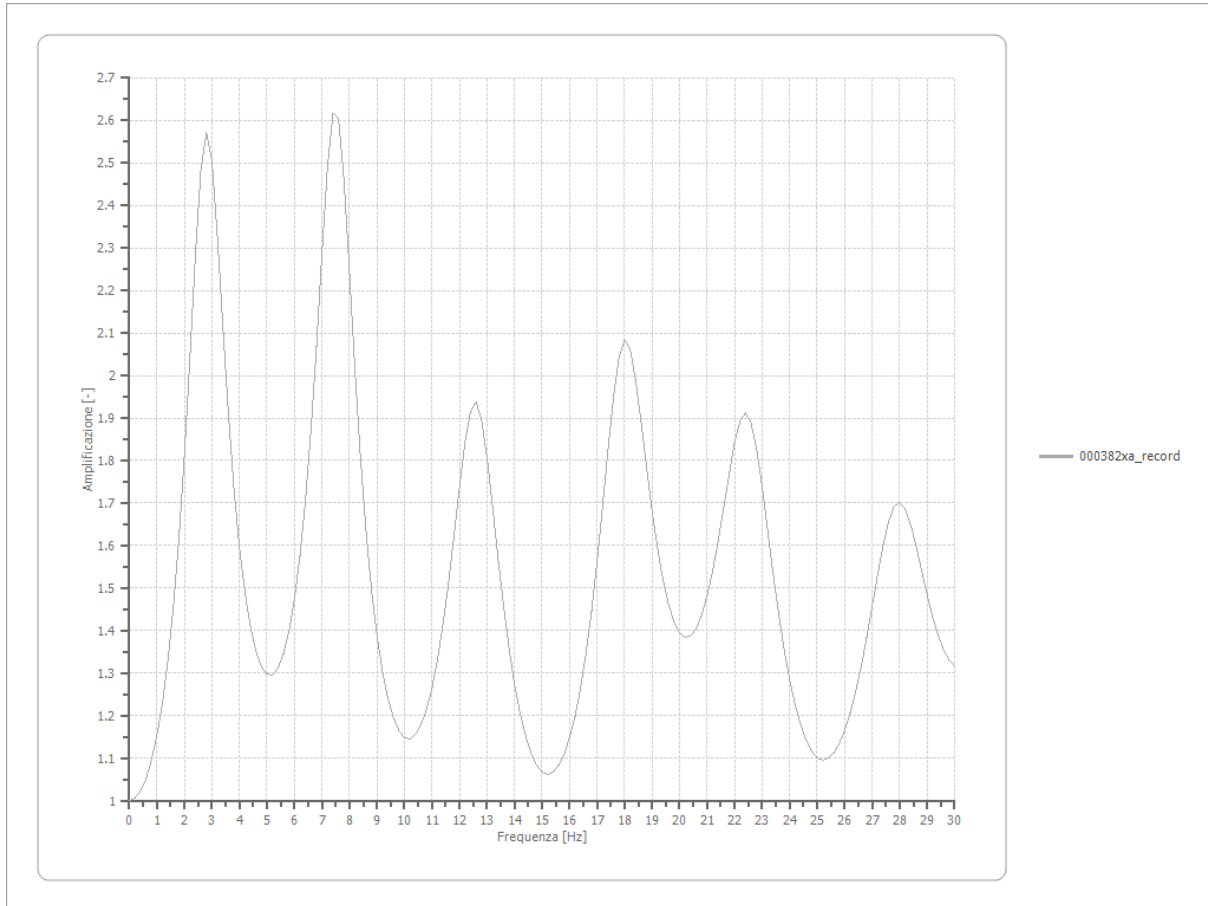
Nome del file	000382xa_record
Durata della traccia	21.270 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	3.040 [s]



Amplificazione

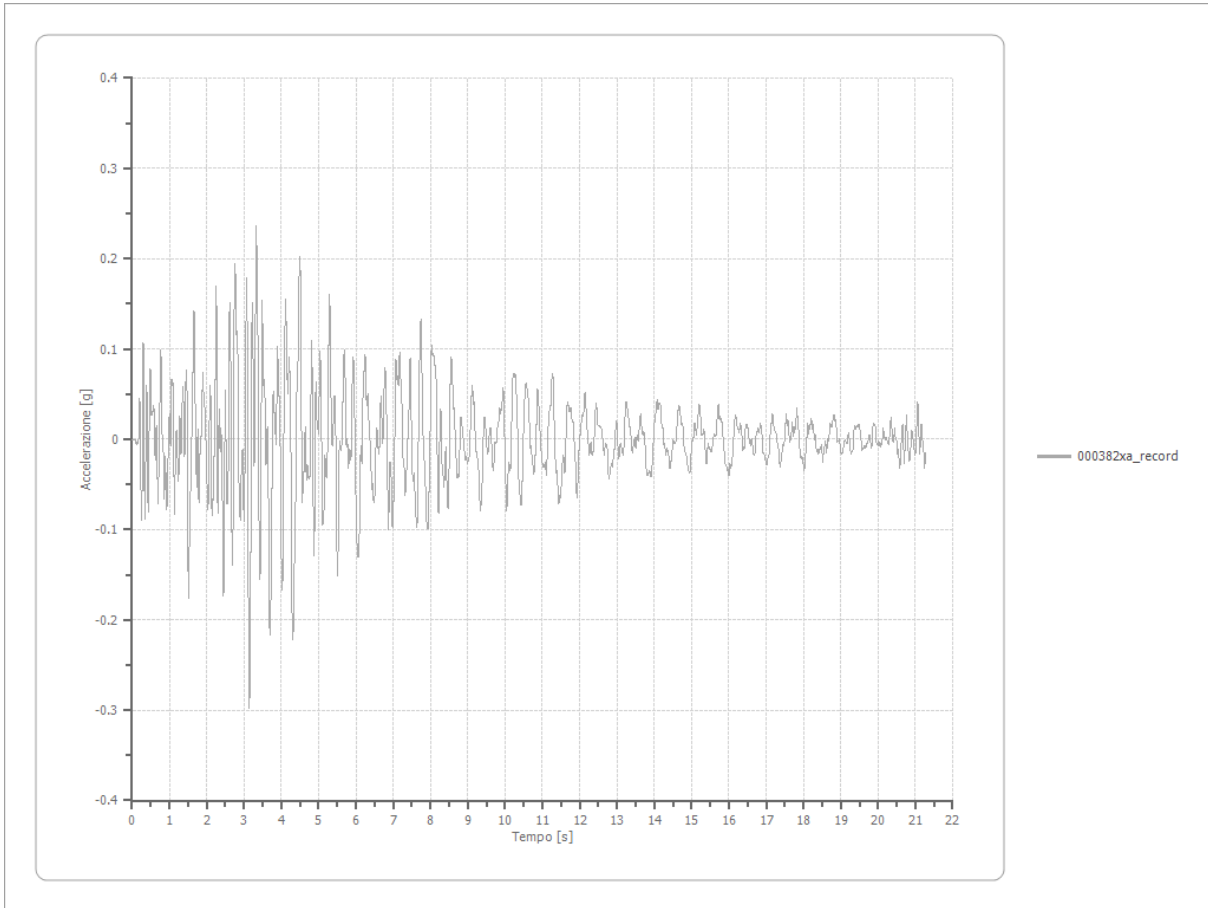
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

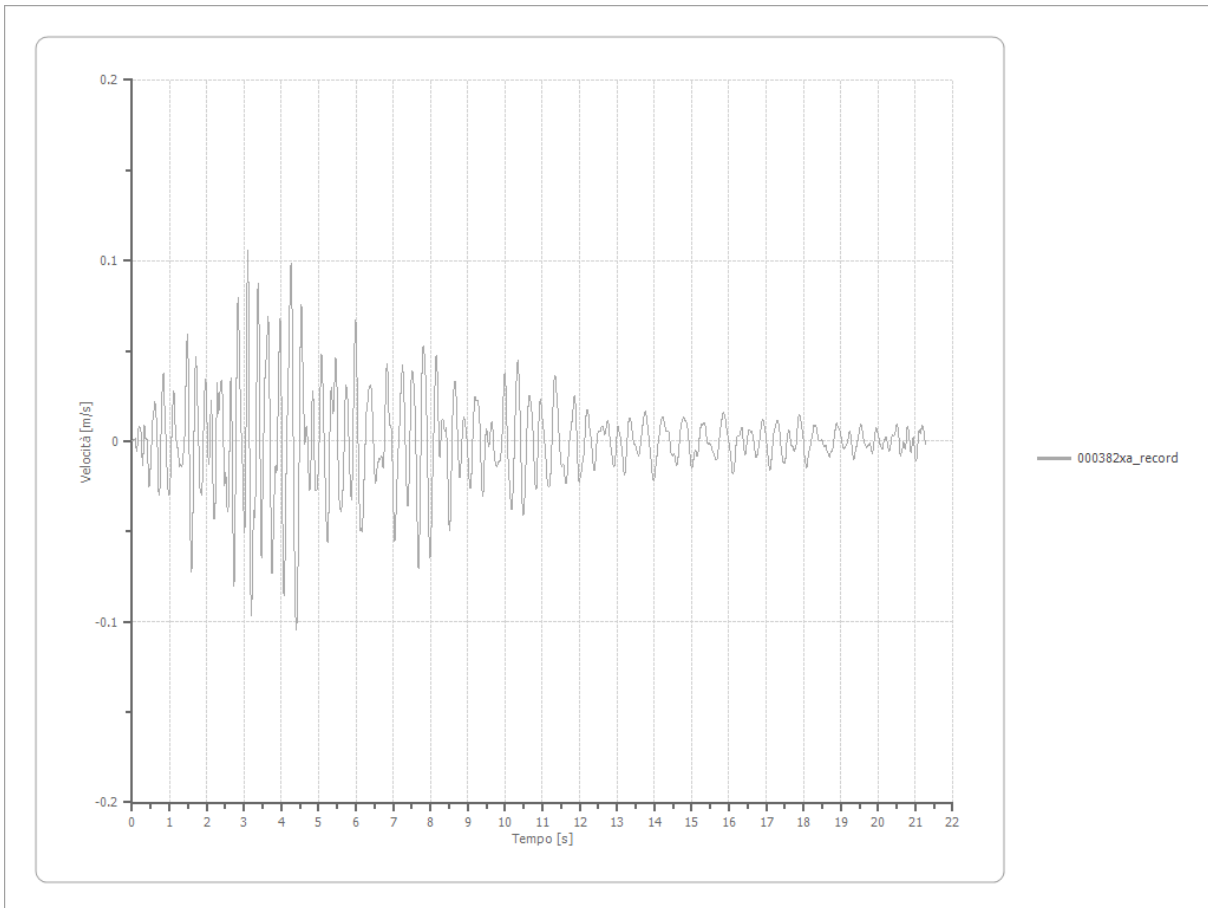
Strato	1 Affiorante
Pga	0.298 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	1.639
Accelerazione massima	0.298 [g]
Periodo accelerazione massima	3.140 [s]



Velocità

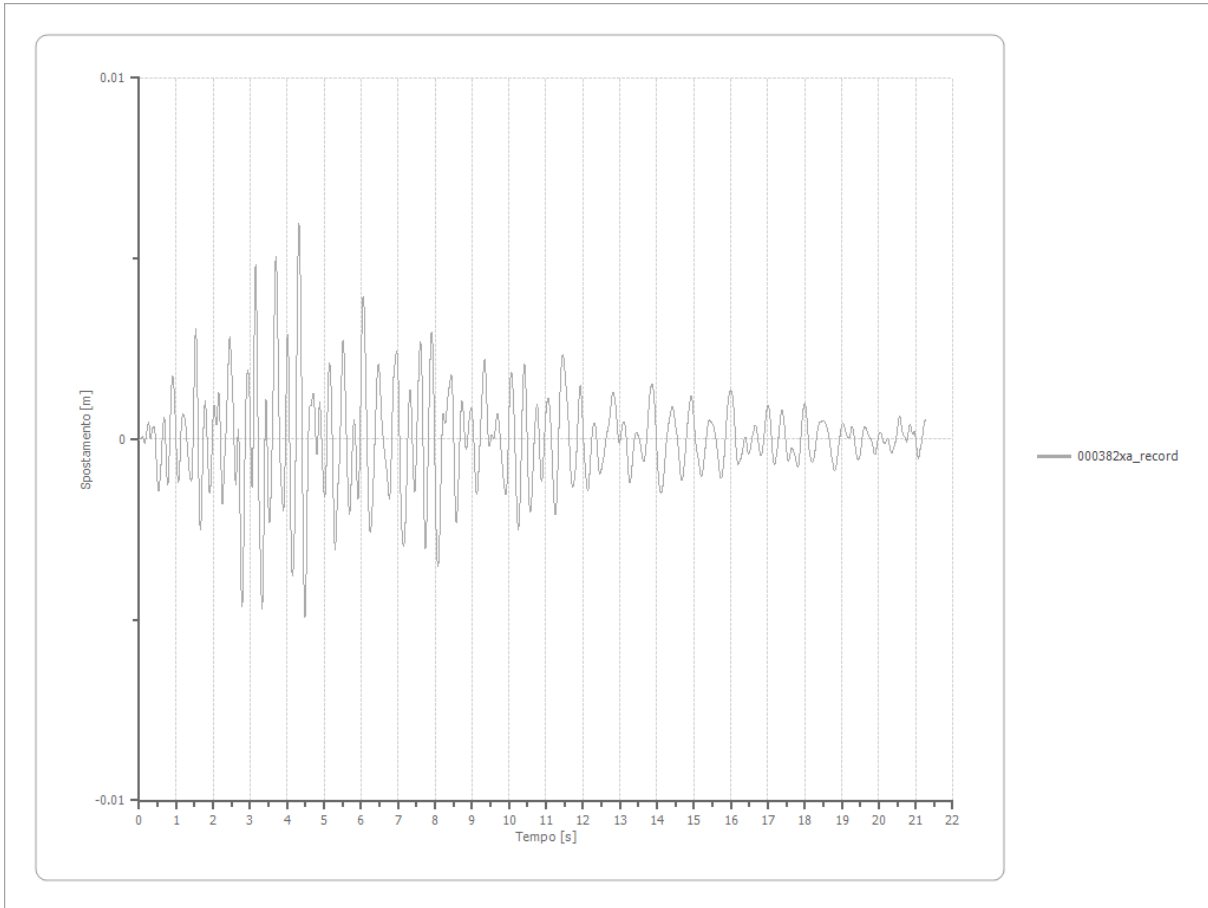
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.106 [m/s]
3.100 [s]



Spostamento

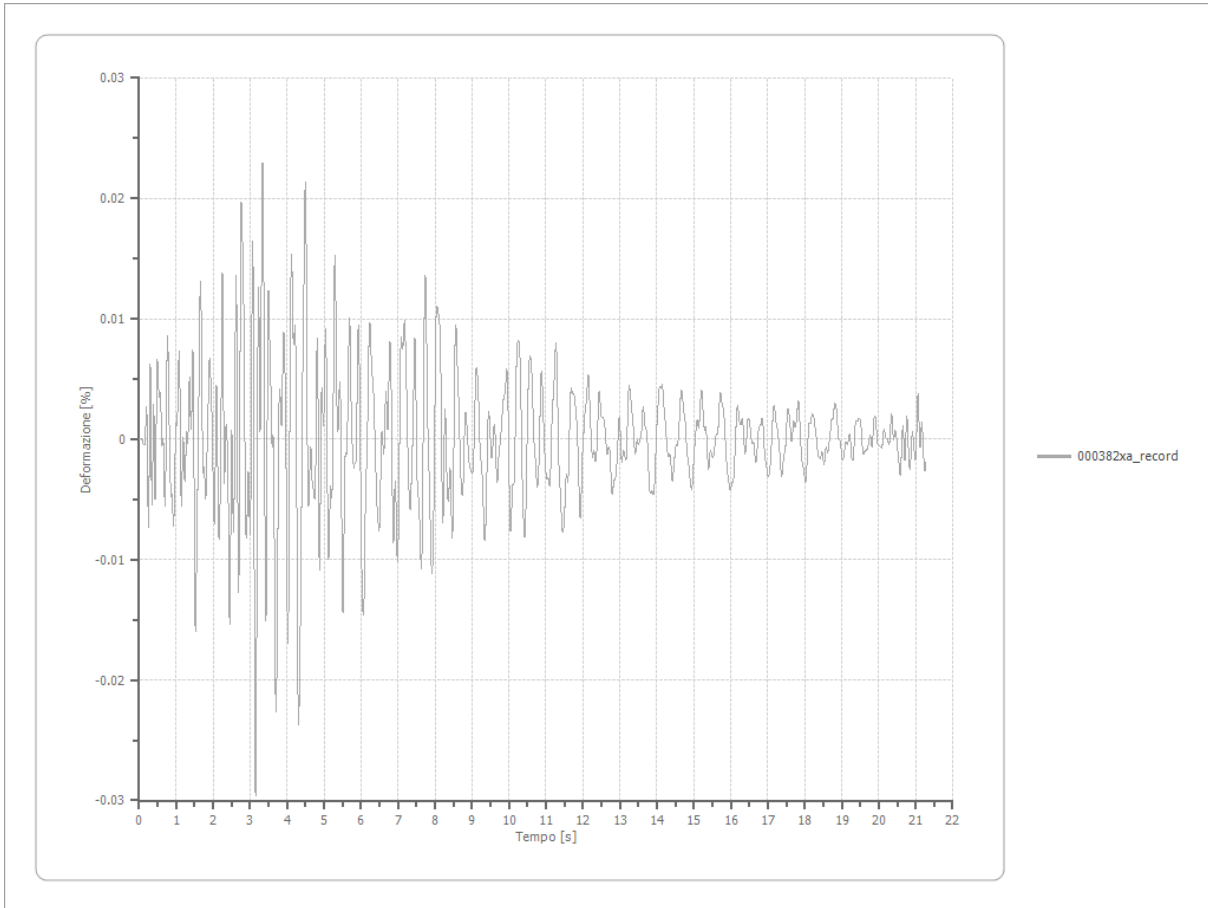
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.006 [m]
Periodo spostamento massimo	4.320 [s]



Deformazione

Numero di strati

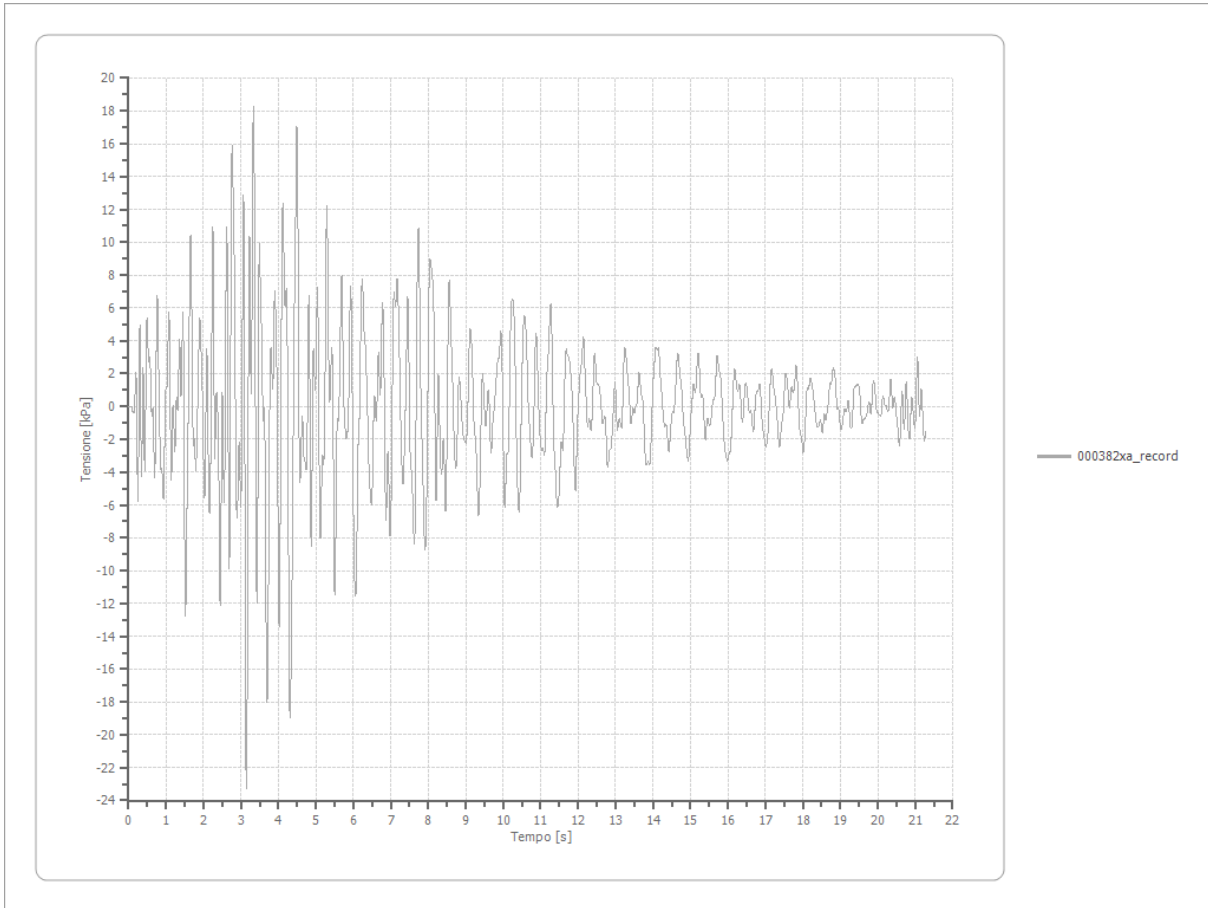
3



Tensione

Numero di strati

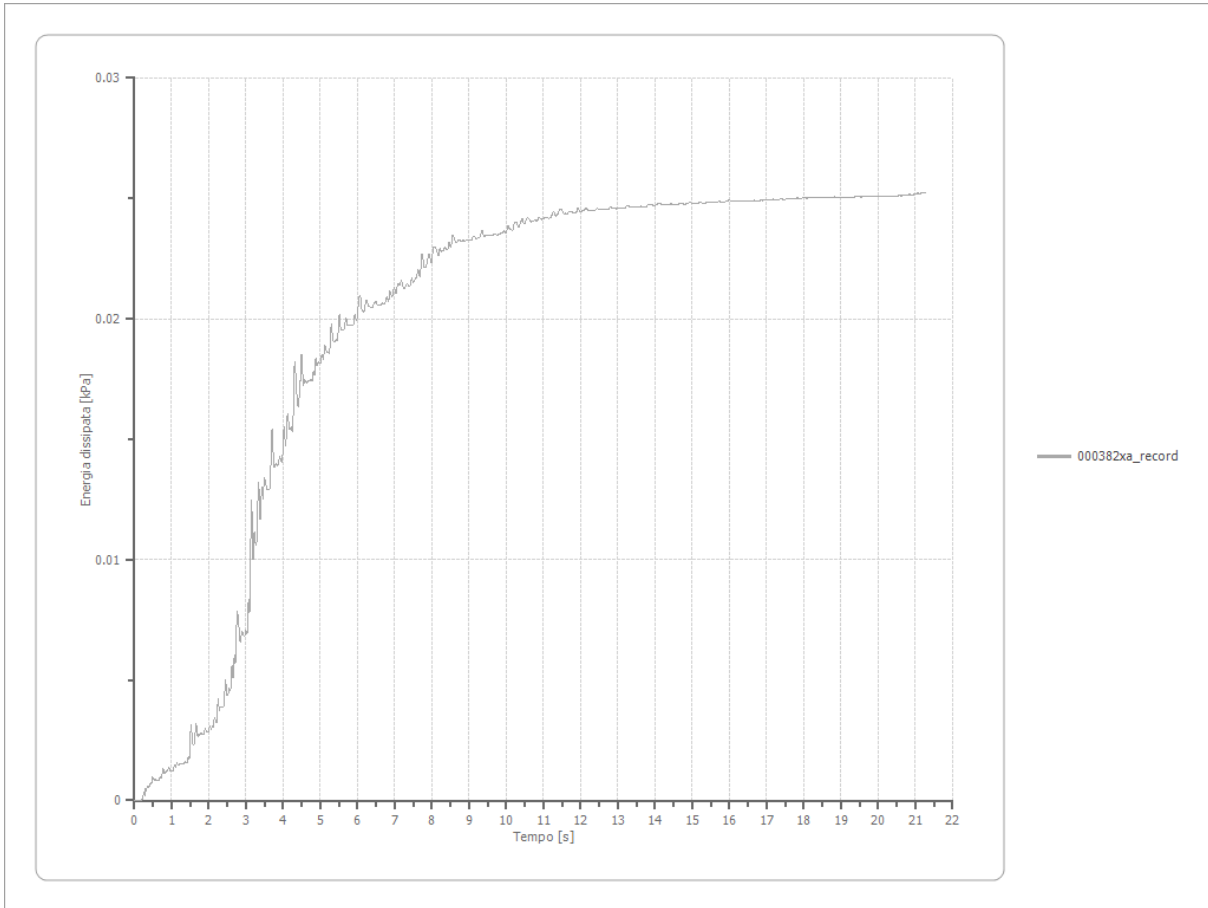
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



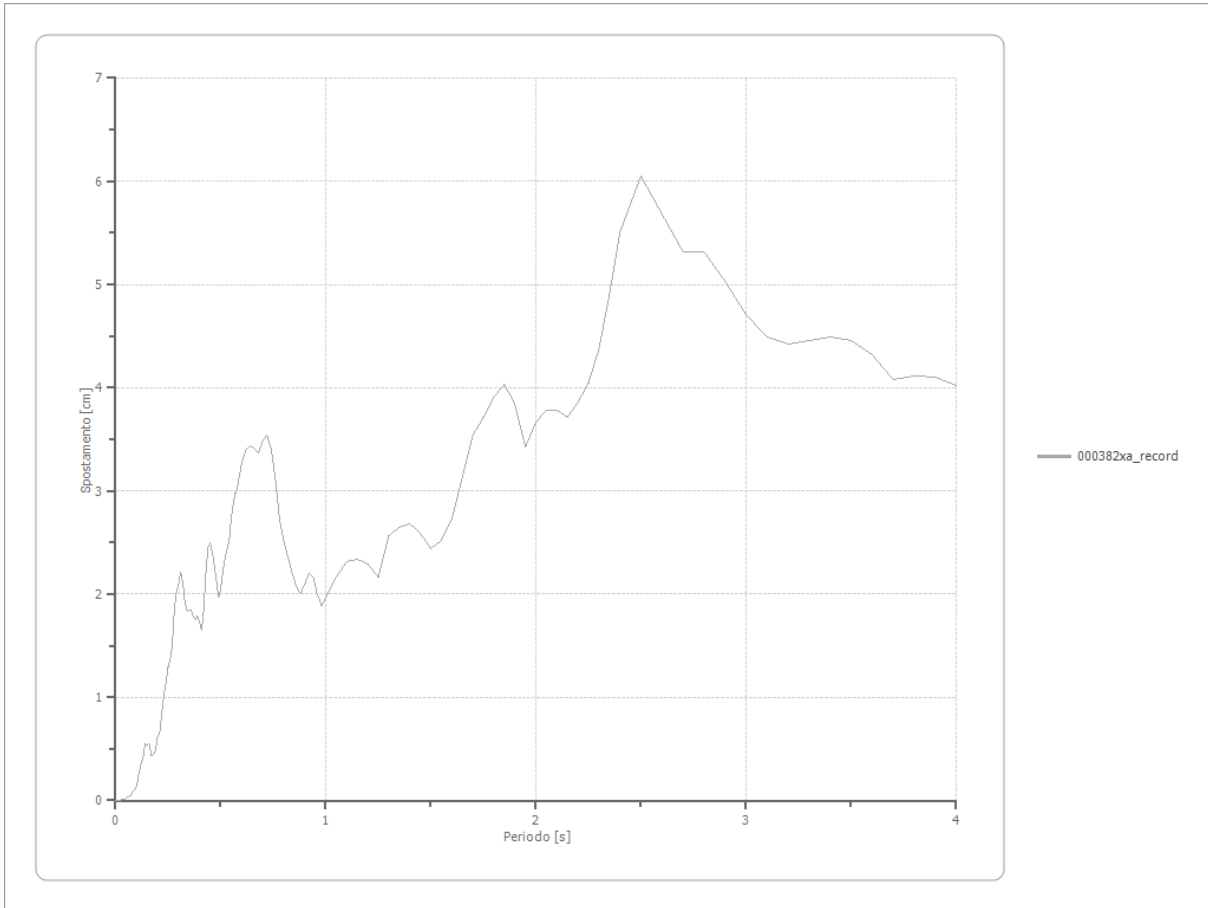
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

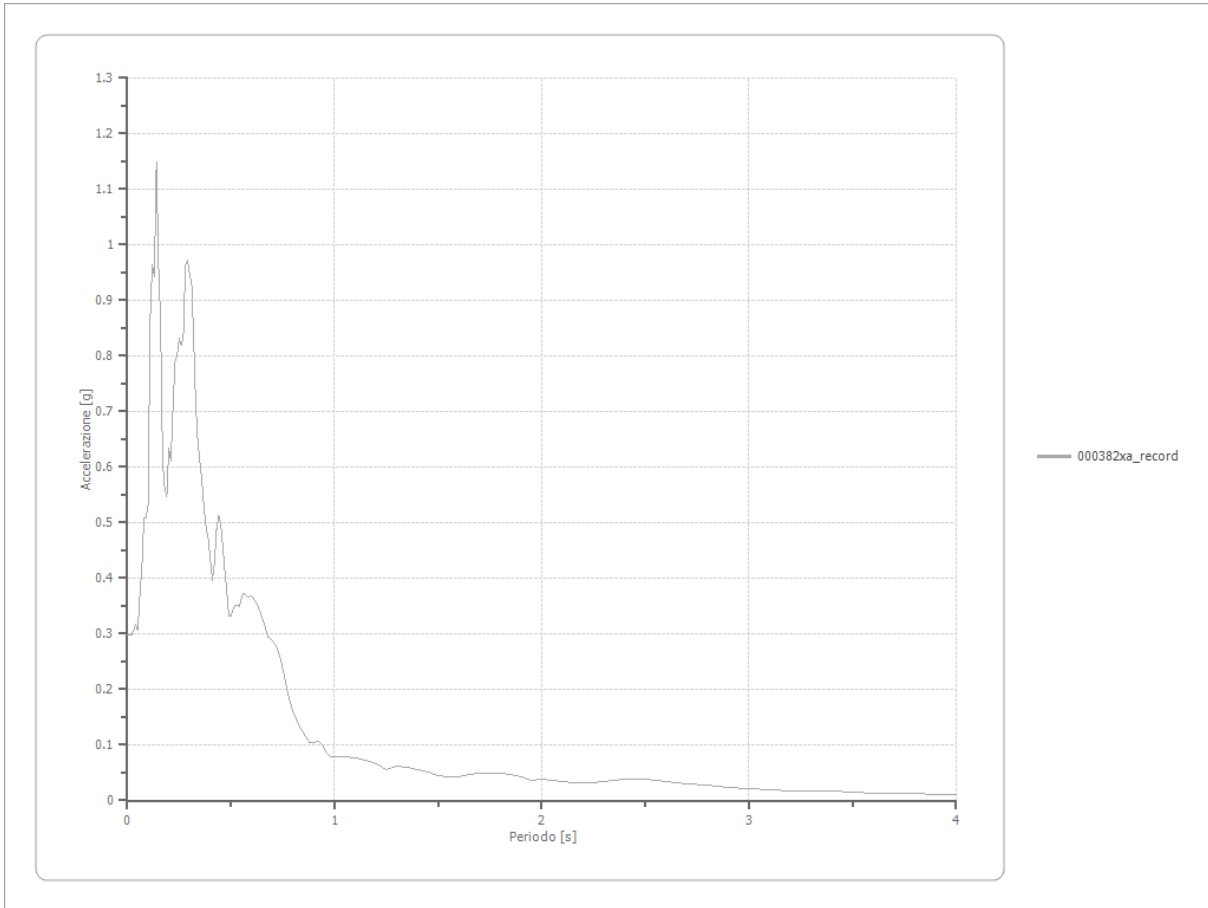
Spostamento

Spostamento massimo	6.049 [cm]
Periodo massimo spostamento	2.500 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.149 [g]
Periodo accelerazione massima	0.140 [s]



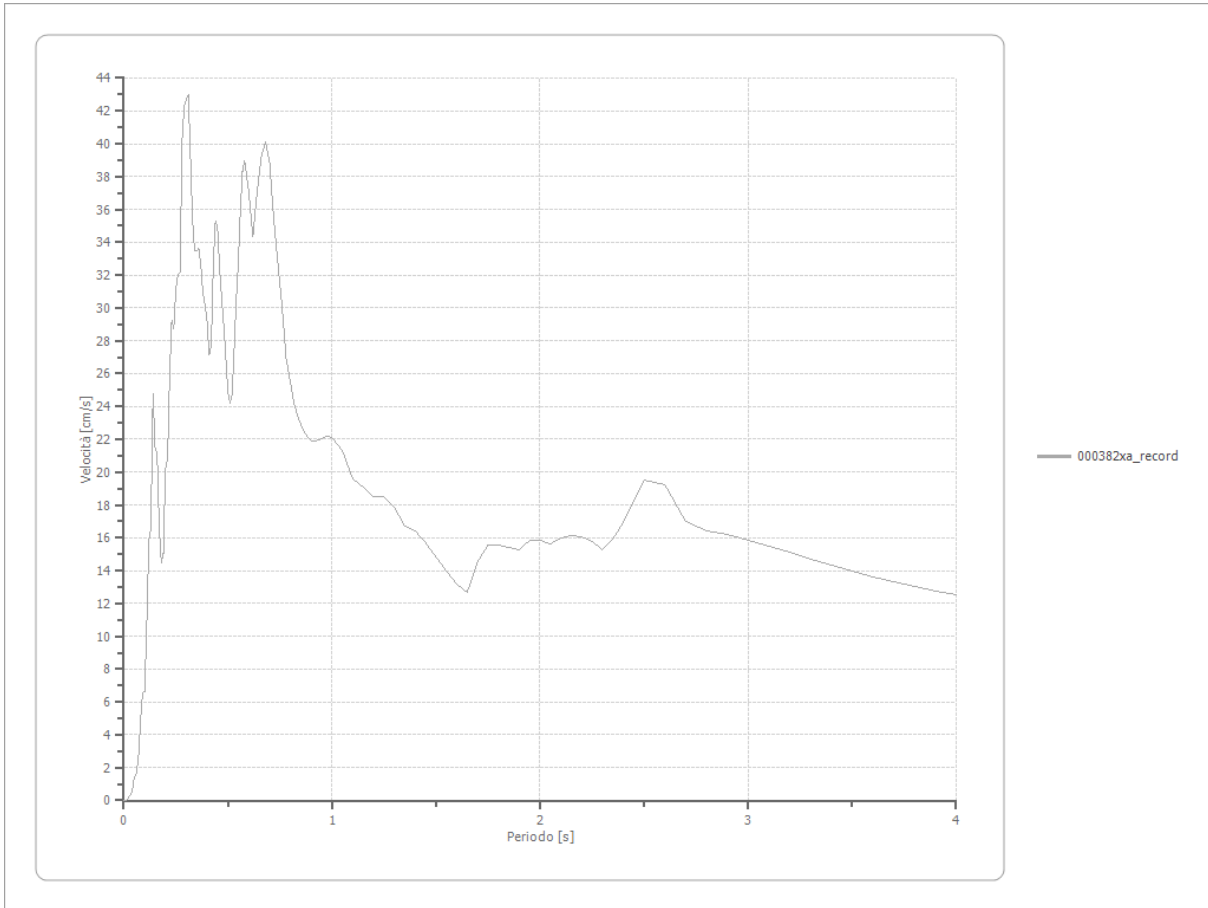
Velocità

Velocità massima

1.149 [cm/s]

Periodo massima velocità

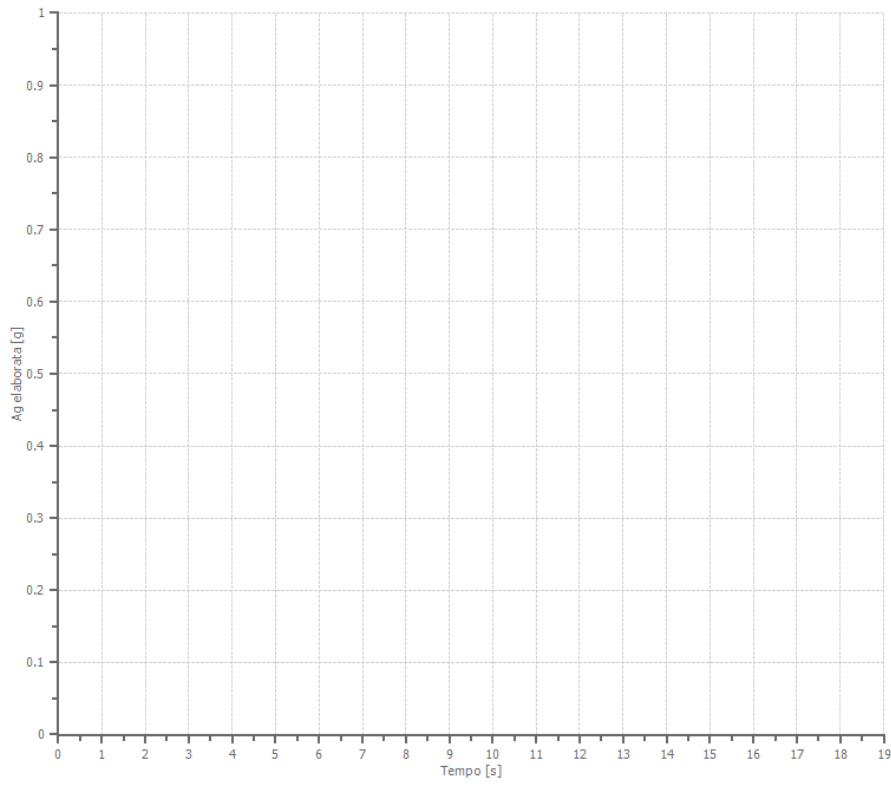
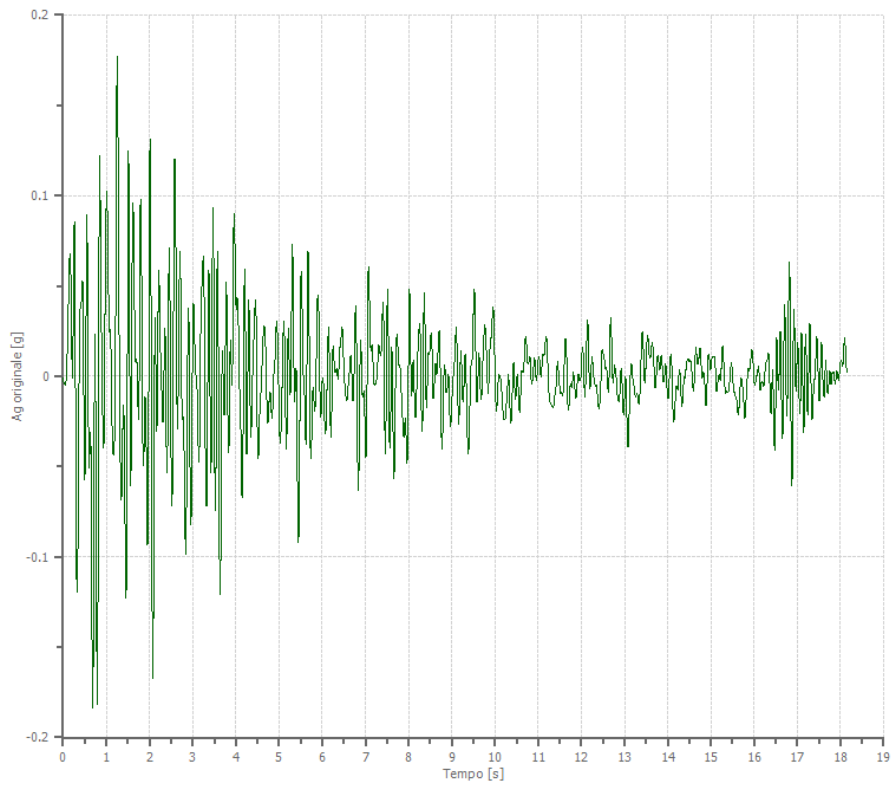
0.310 [s]



File 000383xa_record:

Accelerogramma importato

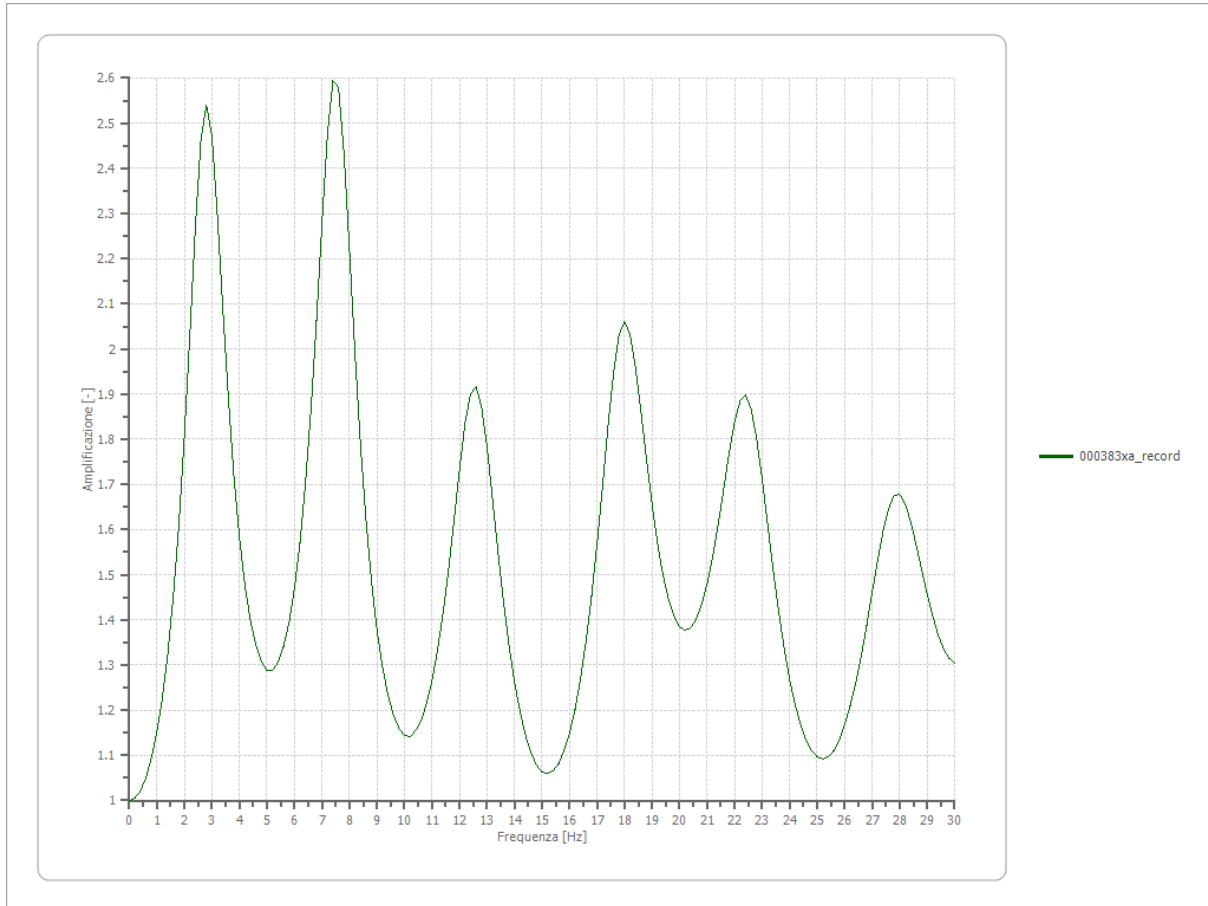
Nome del file	000383xa_record
Durata della traccia	18.160 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	0.680 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.308 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

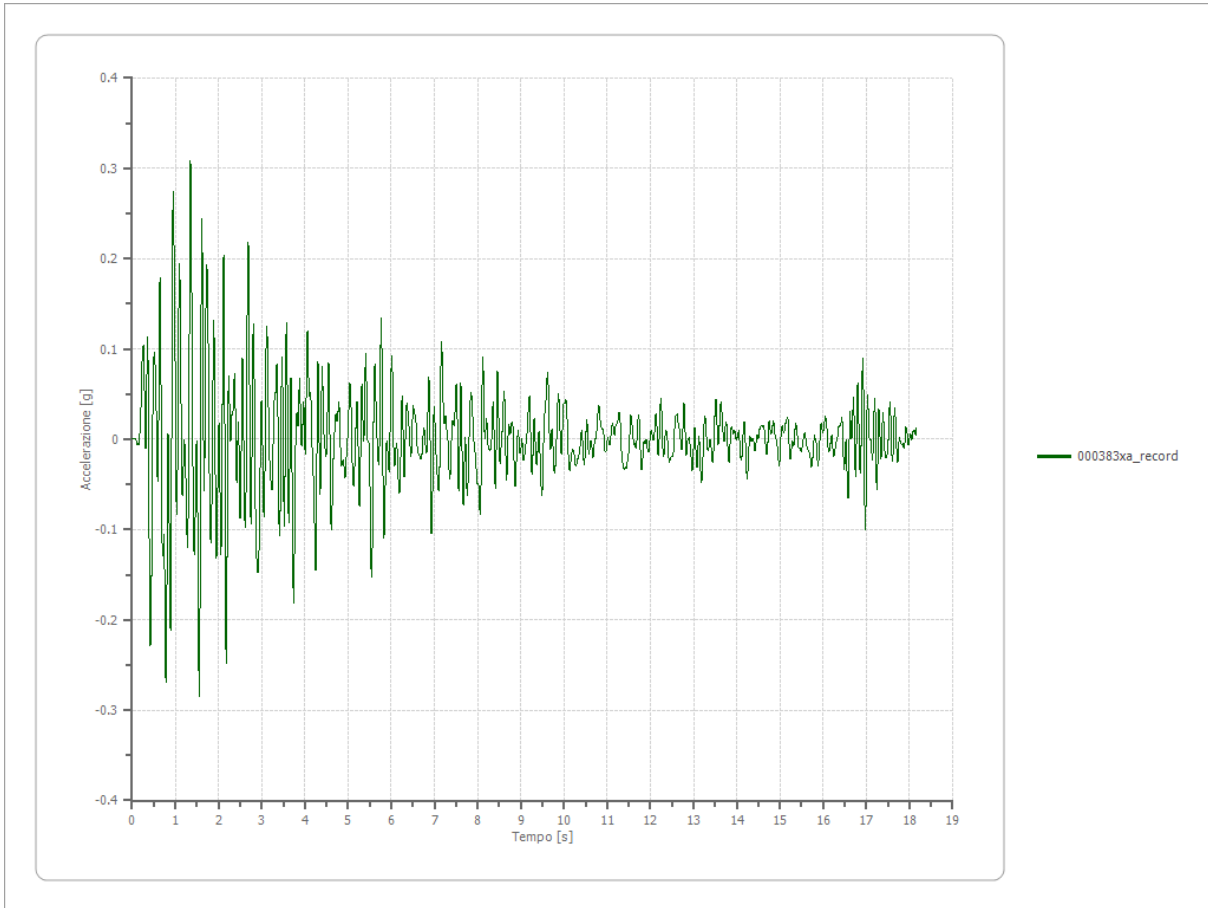
1.693

Accelerazione massima

0.308 [g]

Periodo accelerazione massima

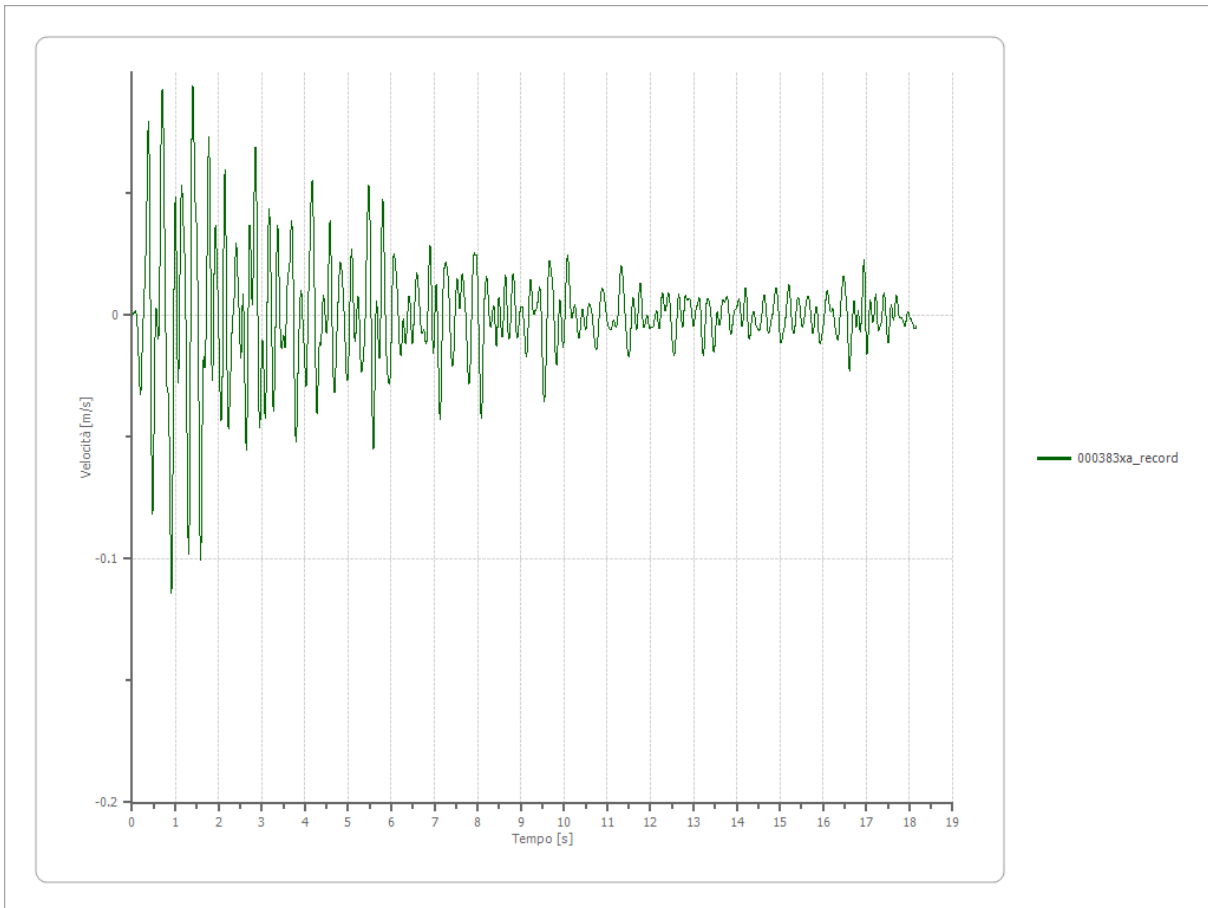
1.350 [s]



Velocità

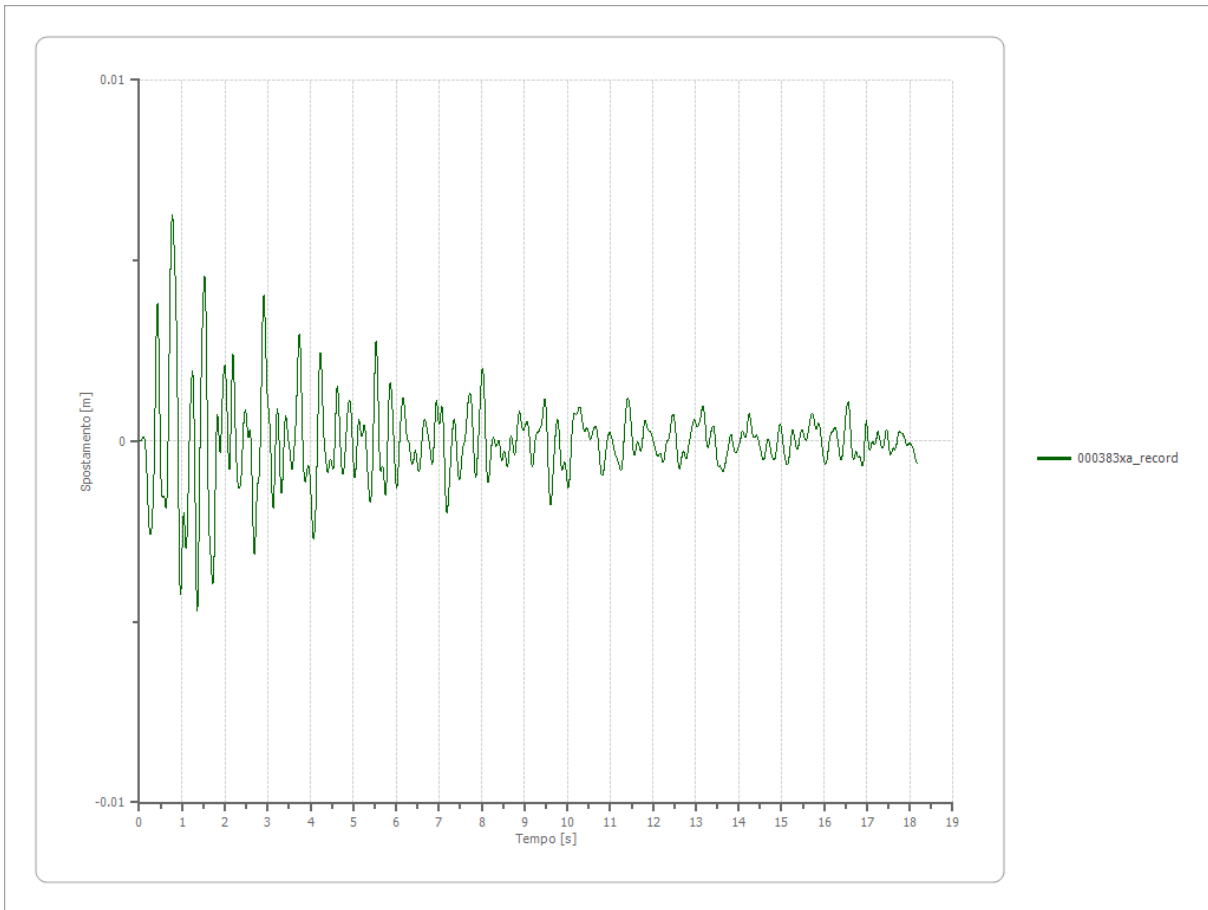
Strato
 Velocità massima
 Periodo velocità massima

1 Affiorante
 0.114 [m/s]
 0.910 [s]



Spostamento

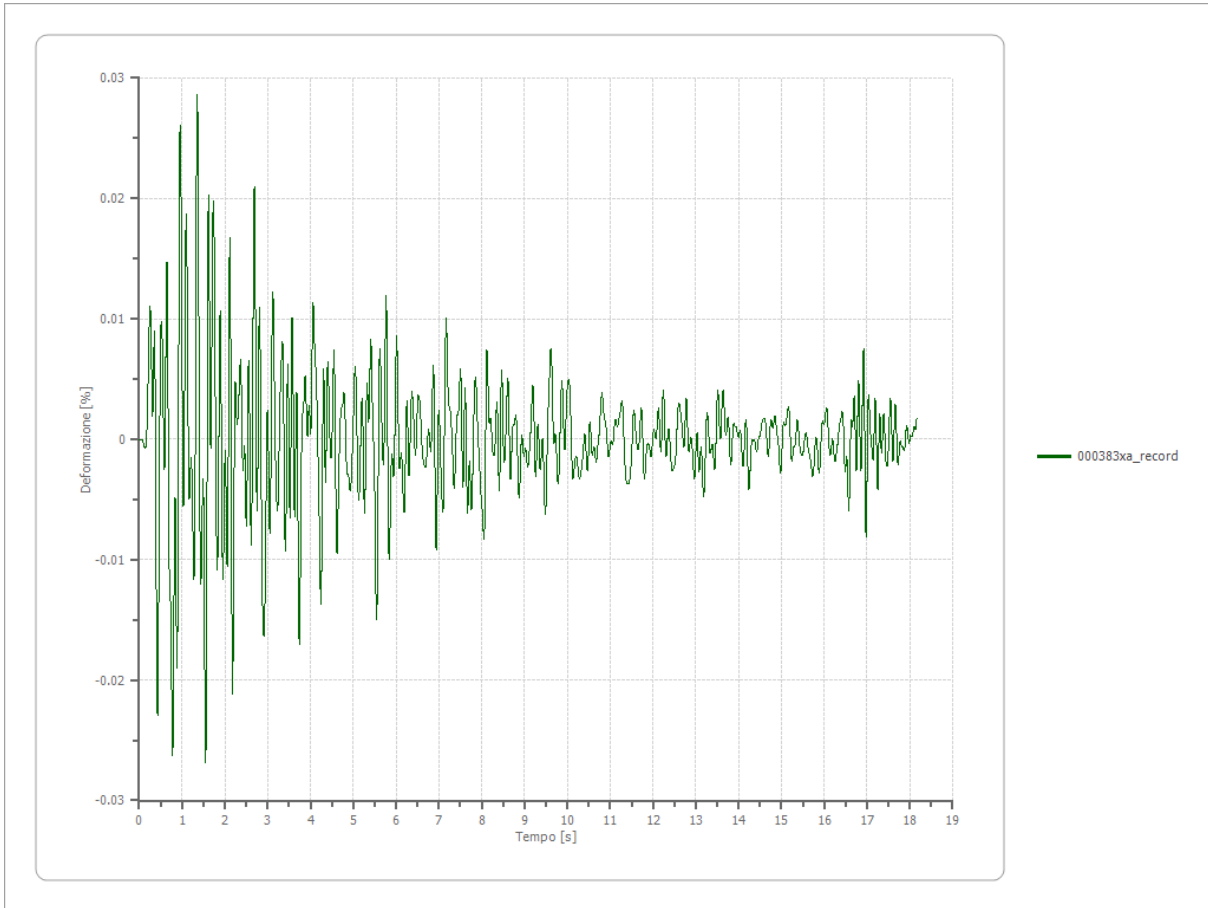
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.006 [m]
Periodo spostamento massimo	0.770 [s]



Deformazione

Numero di strati

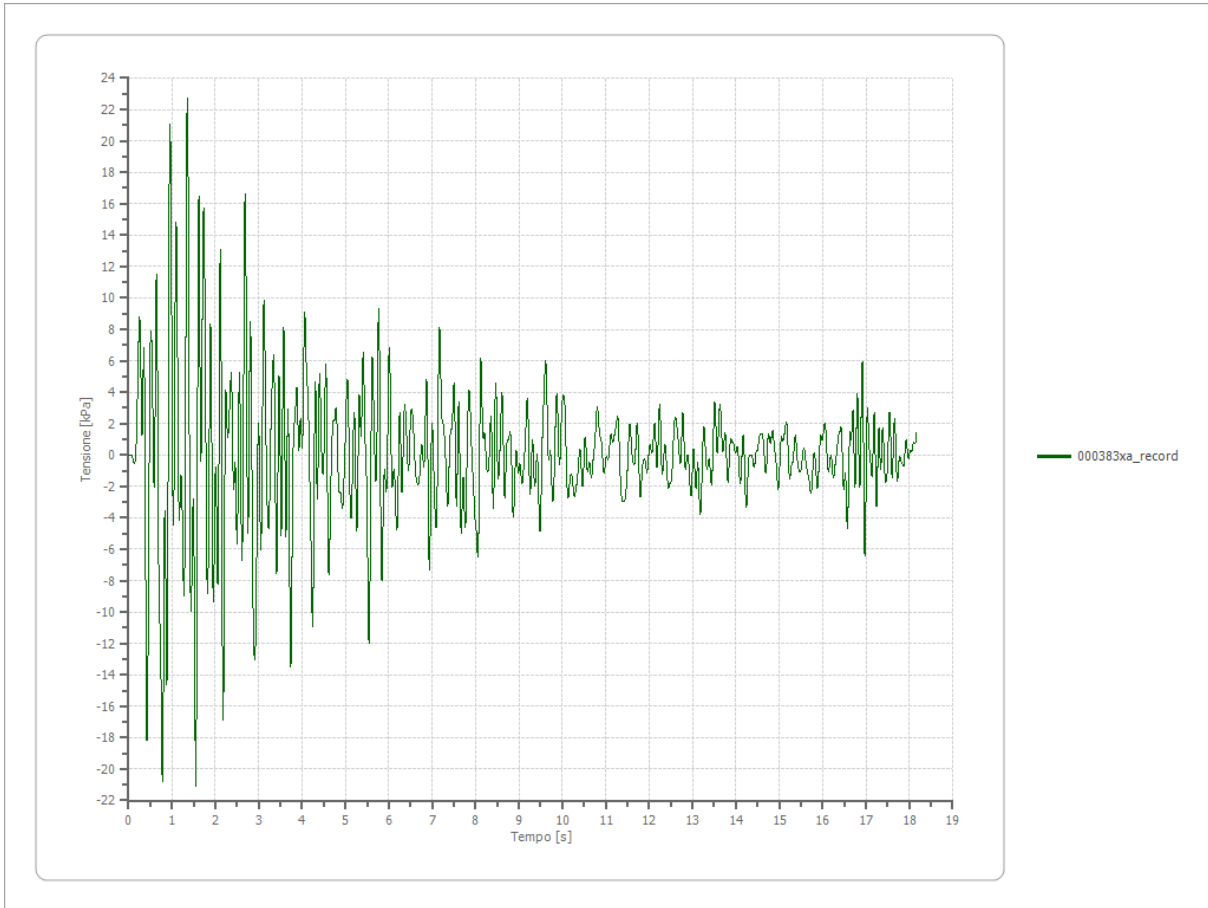
3



Tensione

Numero di strati

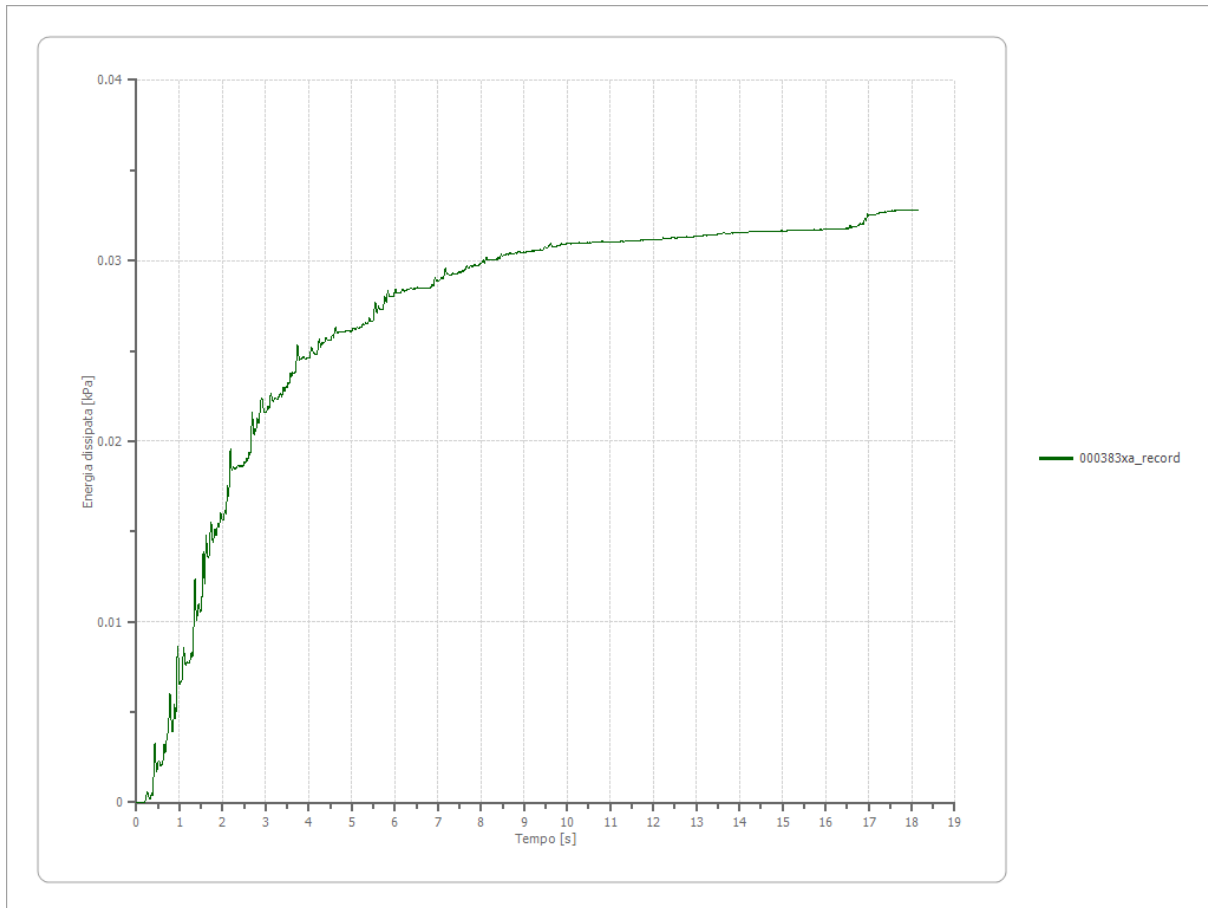
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



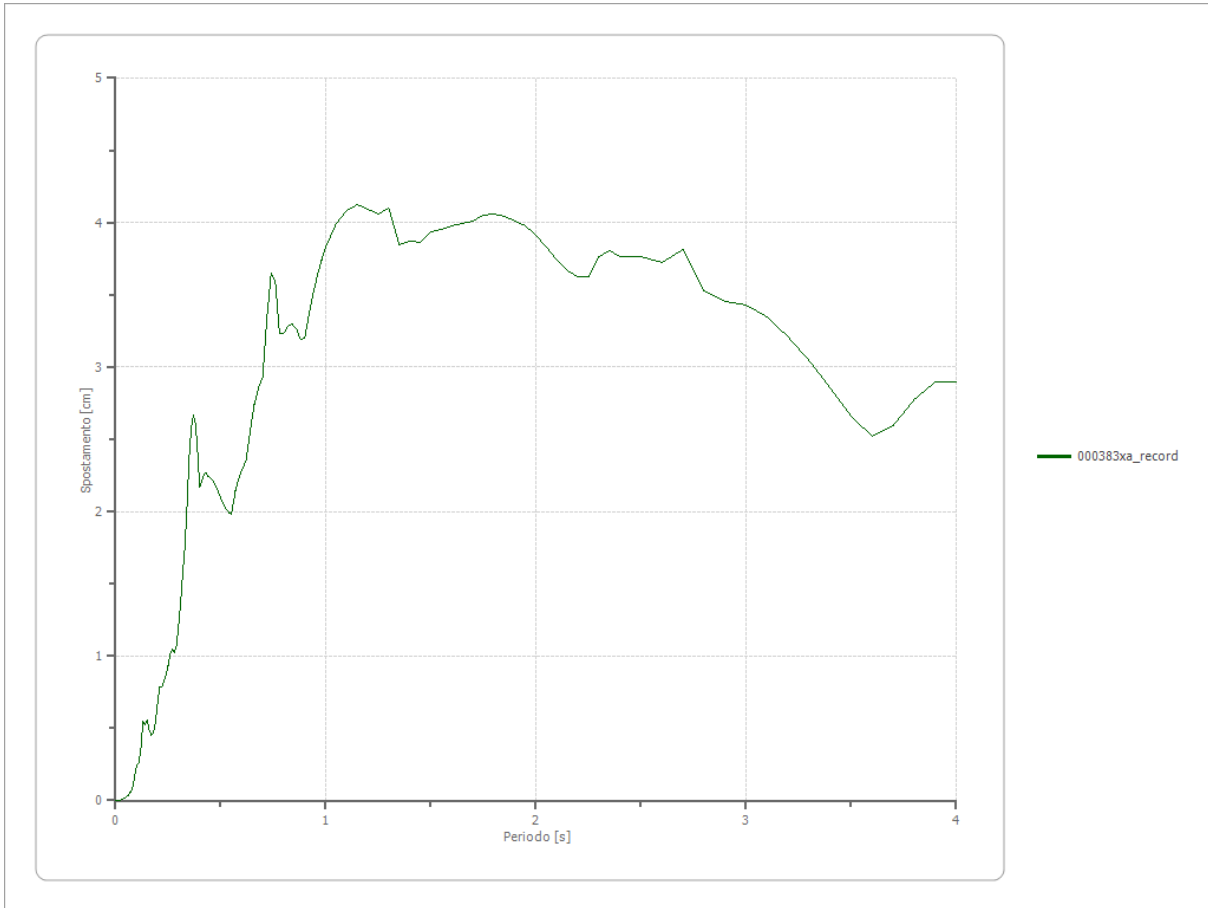
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

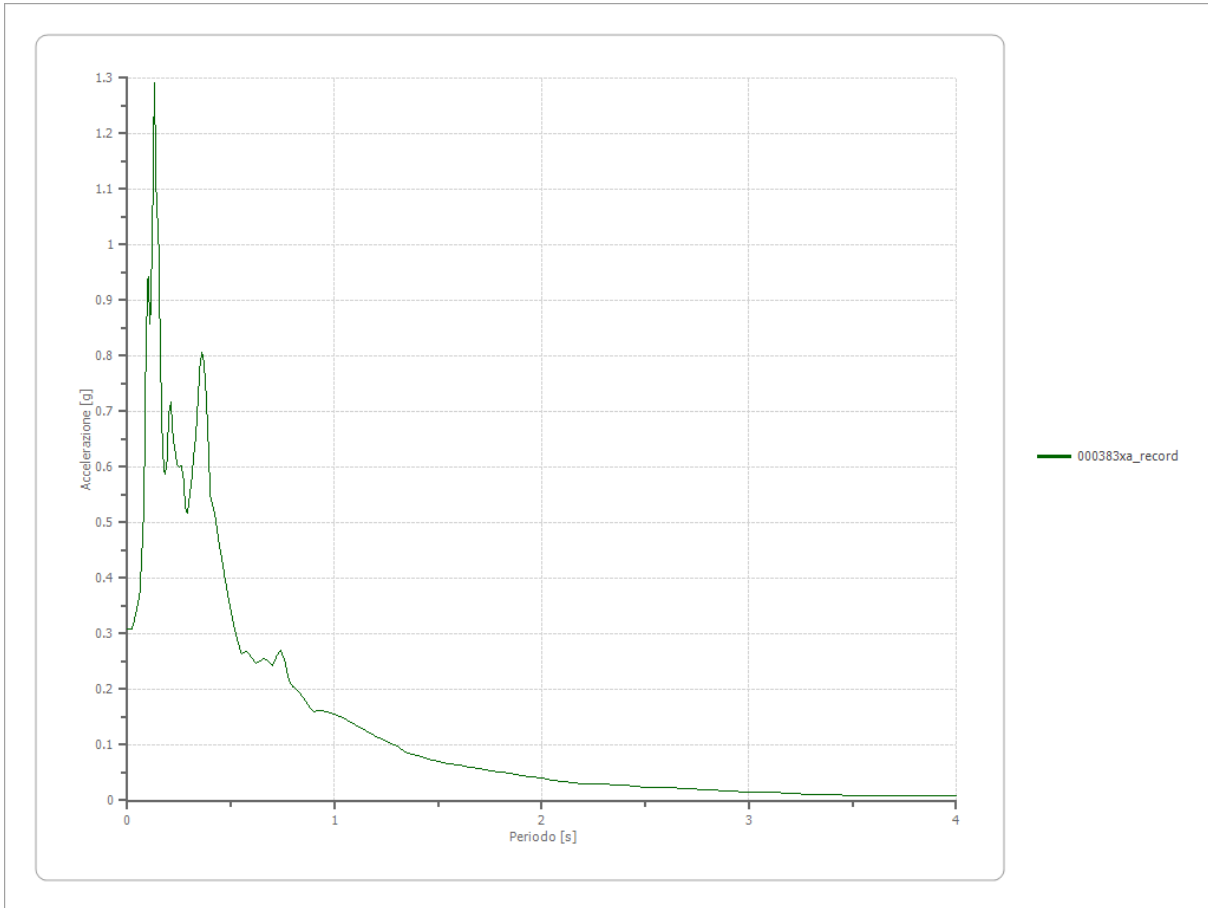
Spostamento

Spostamento massimo	4.126 [cm]
Periodo massimo spostamento	1.150 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.291 [g]
Periodo accelerazione massima	0.130 [s]



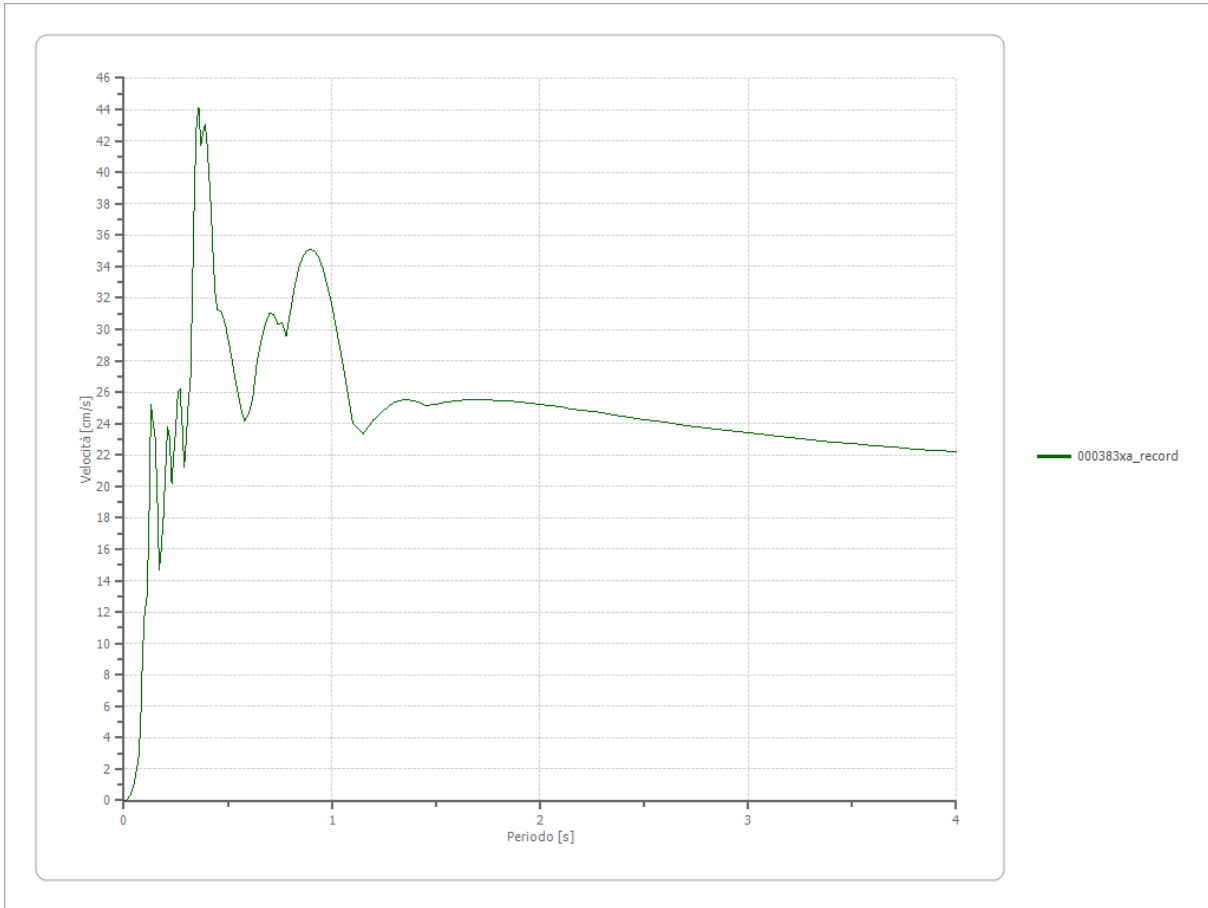
Velocità

Velocità massima

1.291 [cm/s]

Periodo massima velocità

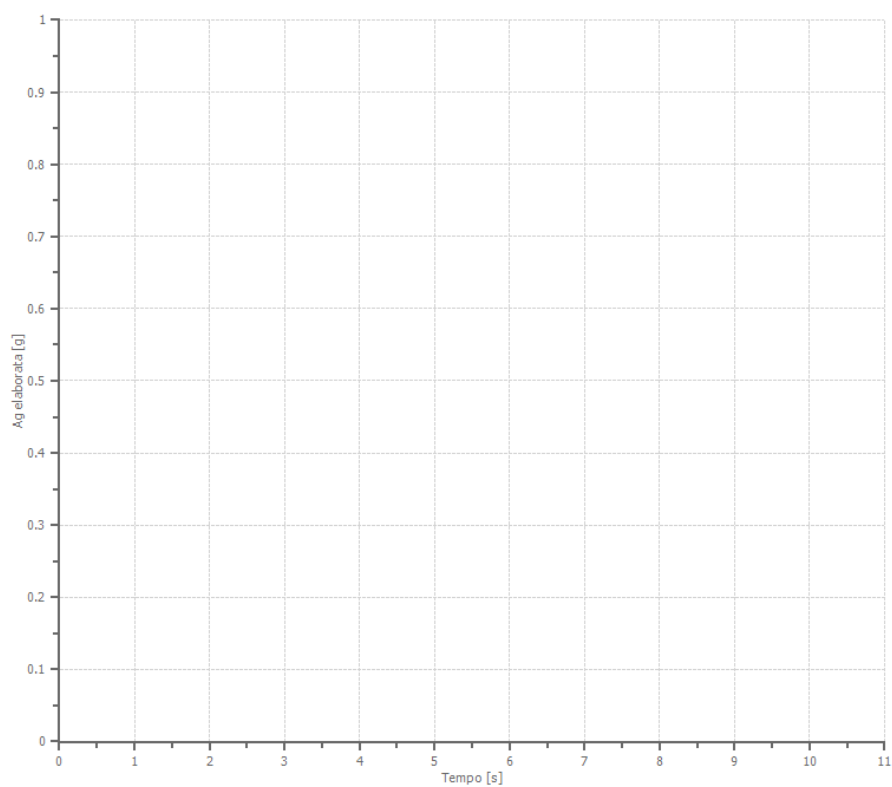
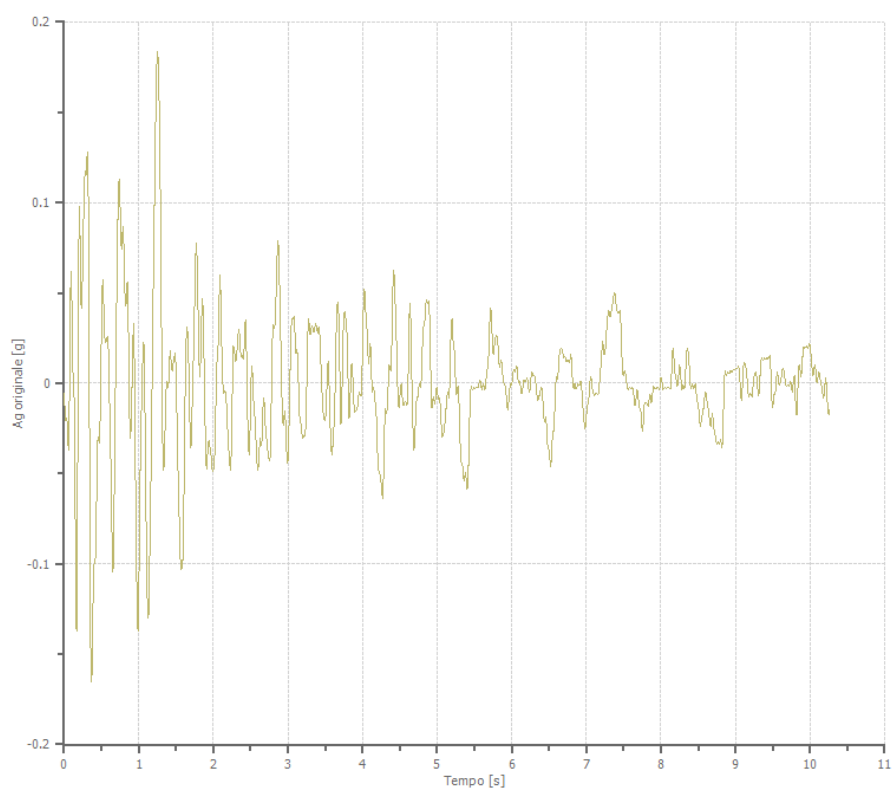
0.360 [s]



File 000811ya_record:

Accelerogramma importato

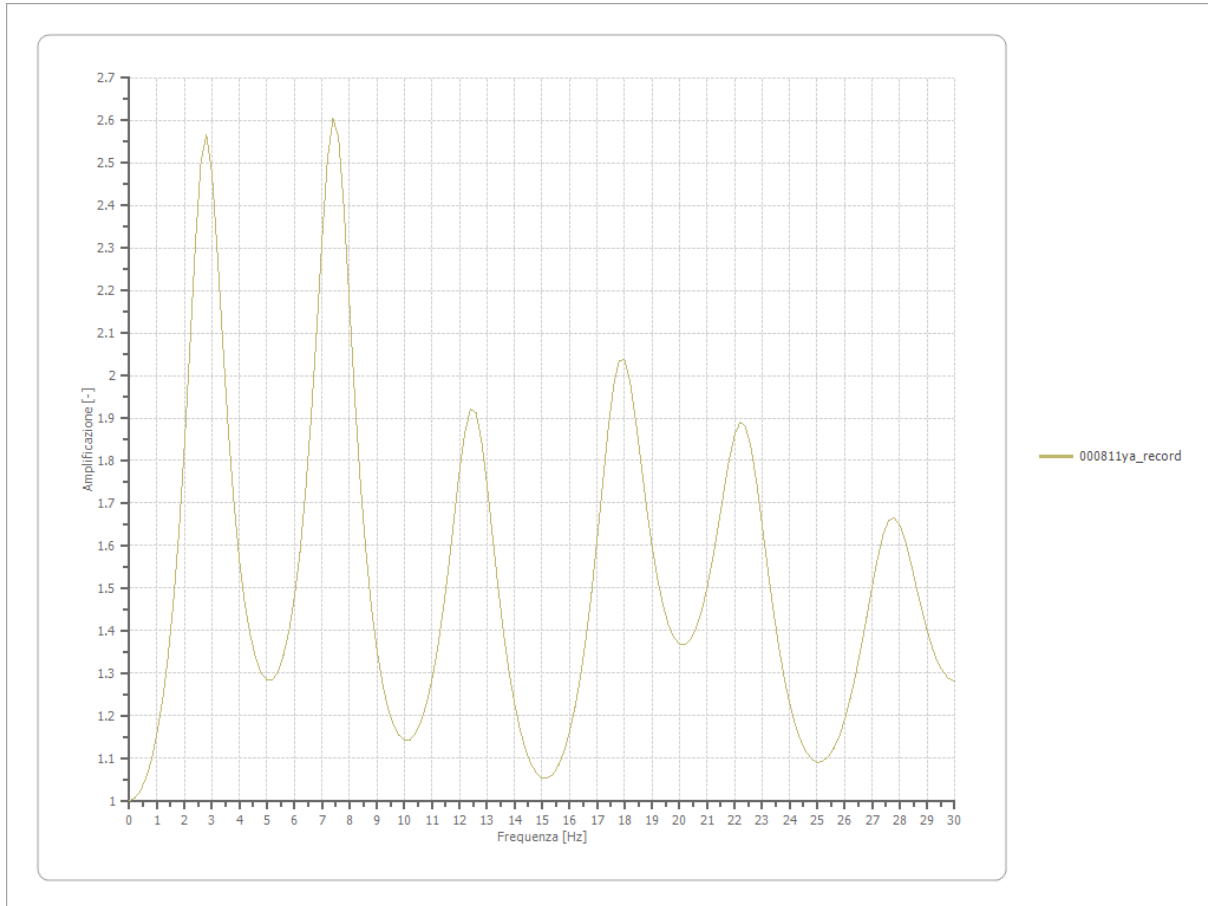
Nome del file	000811ya_record
Durata della traccia	10.260 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	1.250 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.297 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

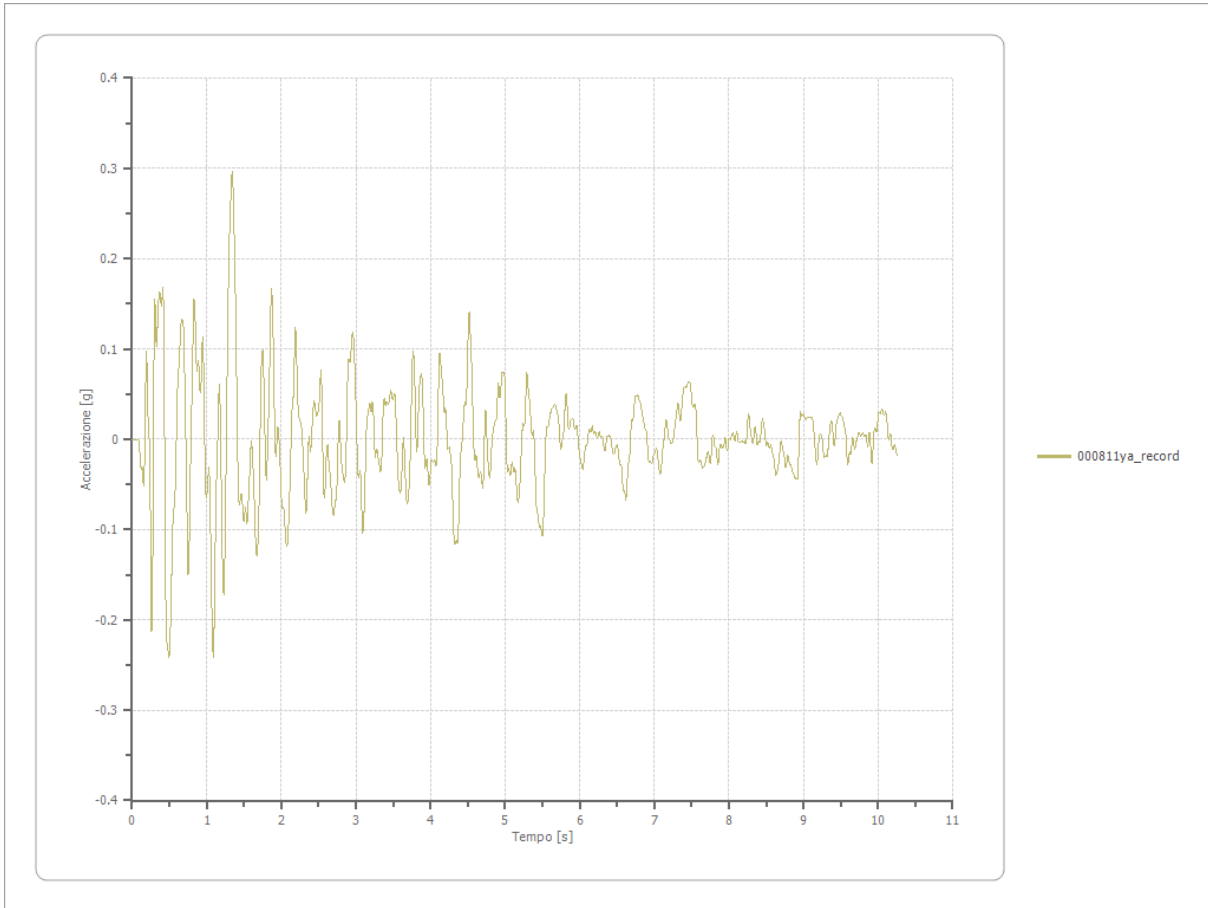
1.632

Accelerazione massima

0.297 [g]

Periodo accelerazione massima

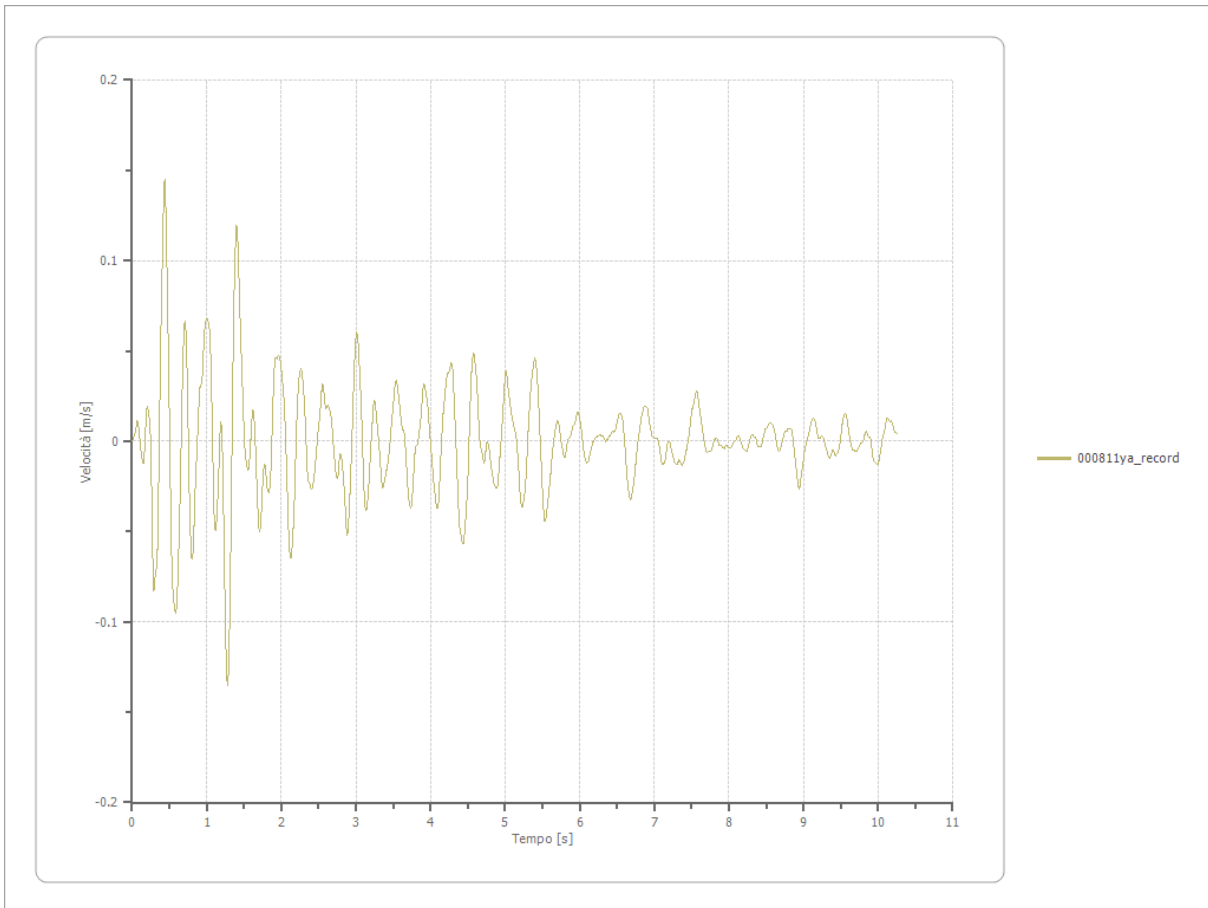
1.340 [s]



Velocità

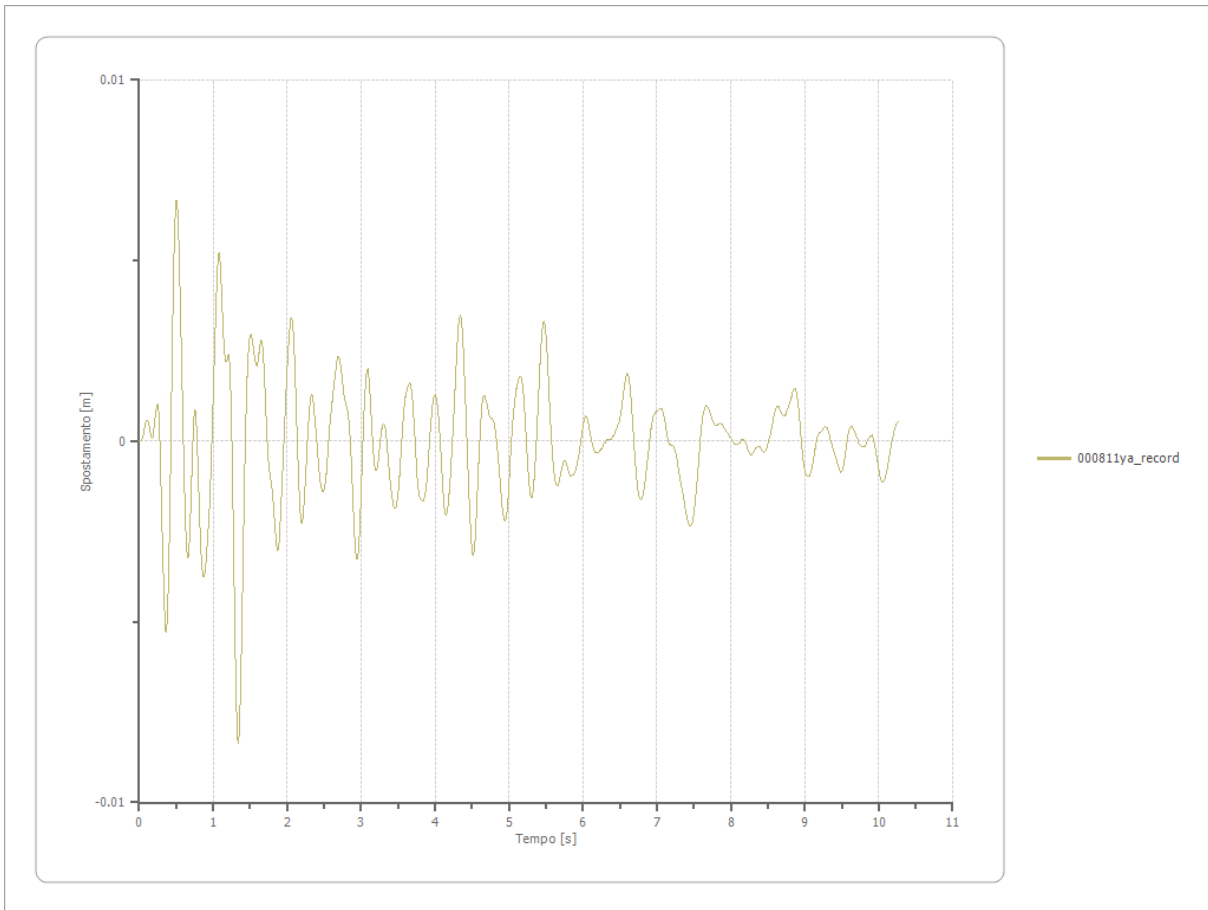
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.145 [m/s]
0.440 [s]



Spostamento

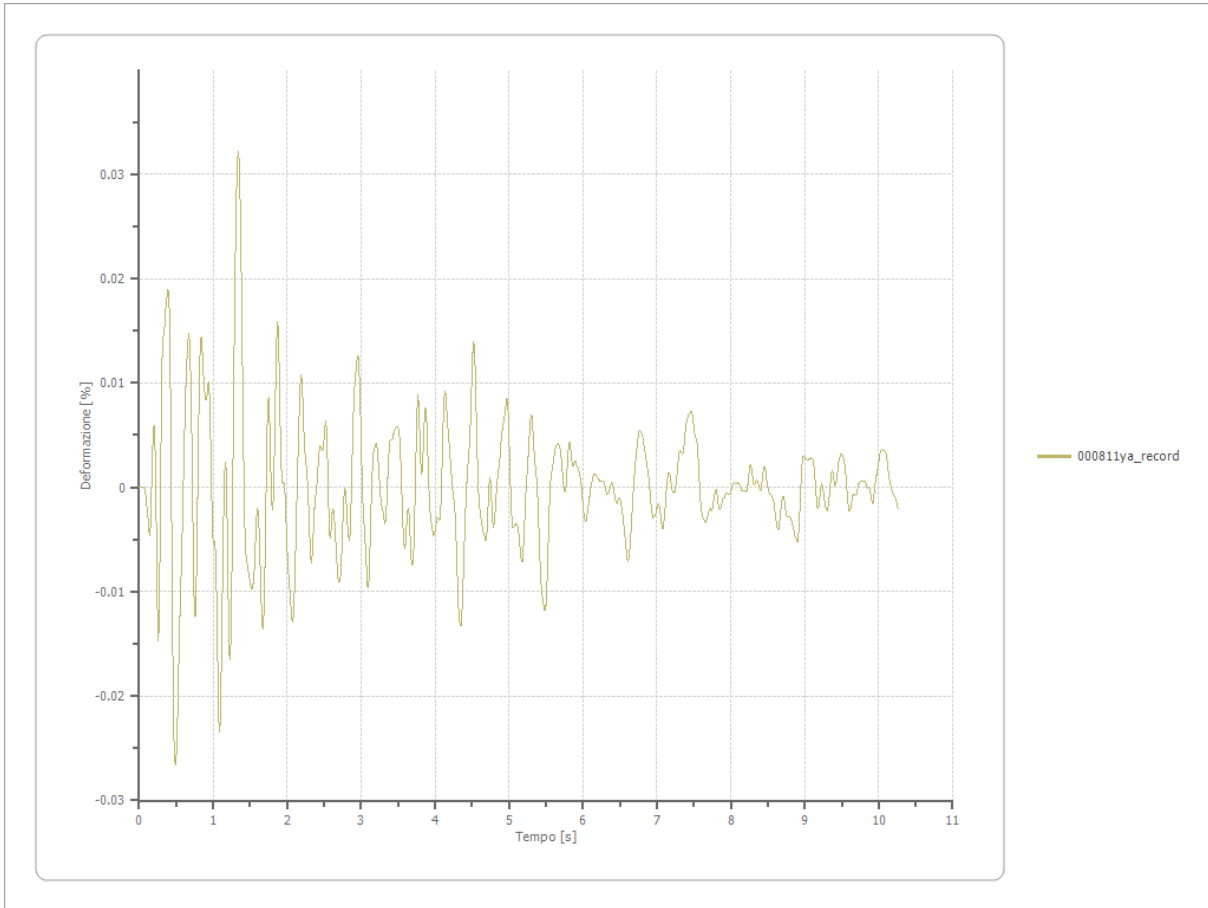
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.008 [m]
Periodo spostamento massimo	1.340 [s]



Deformazione

Numero di strati

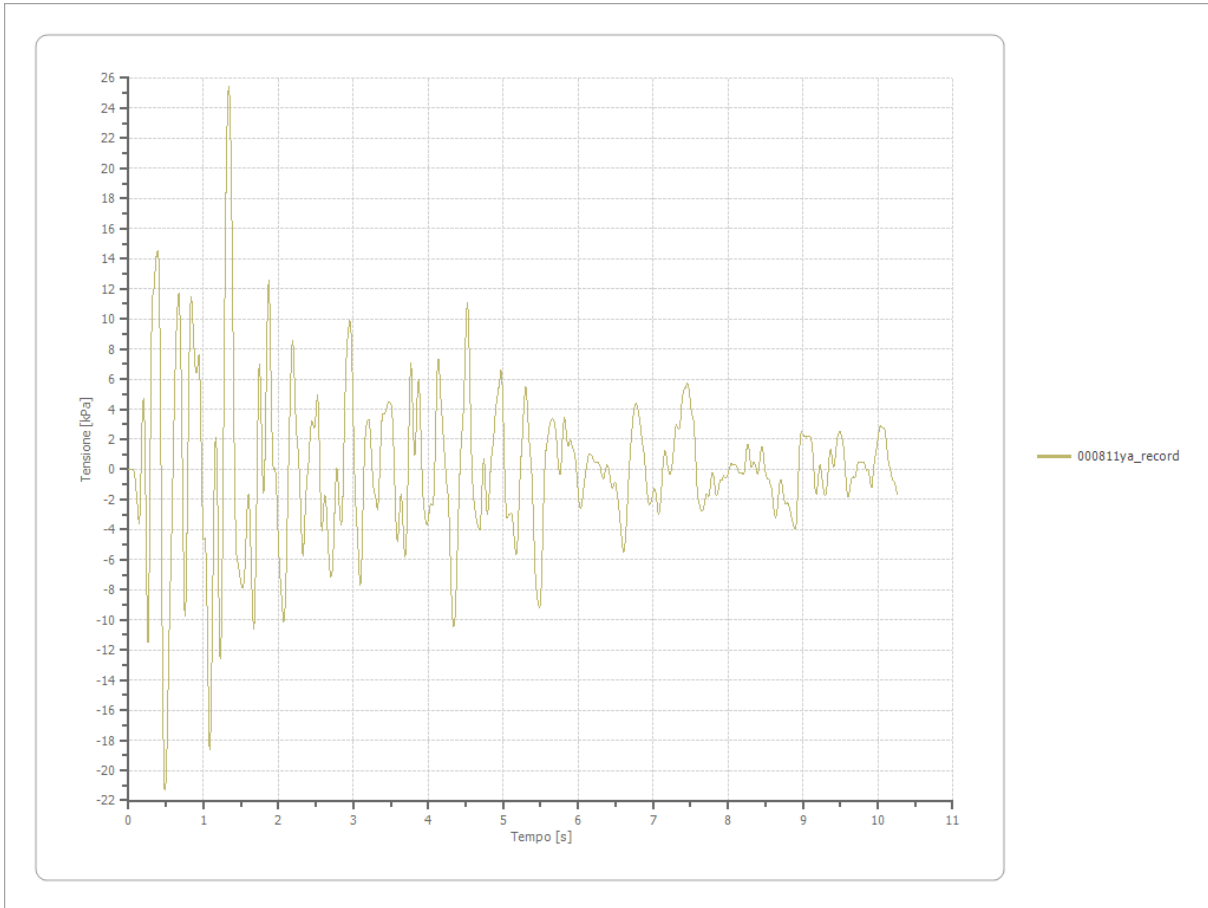
3



Tensione

Numero di strati

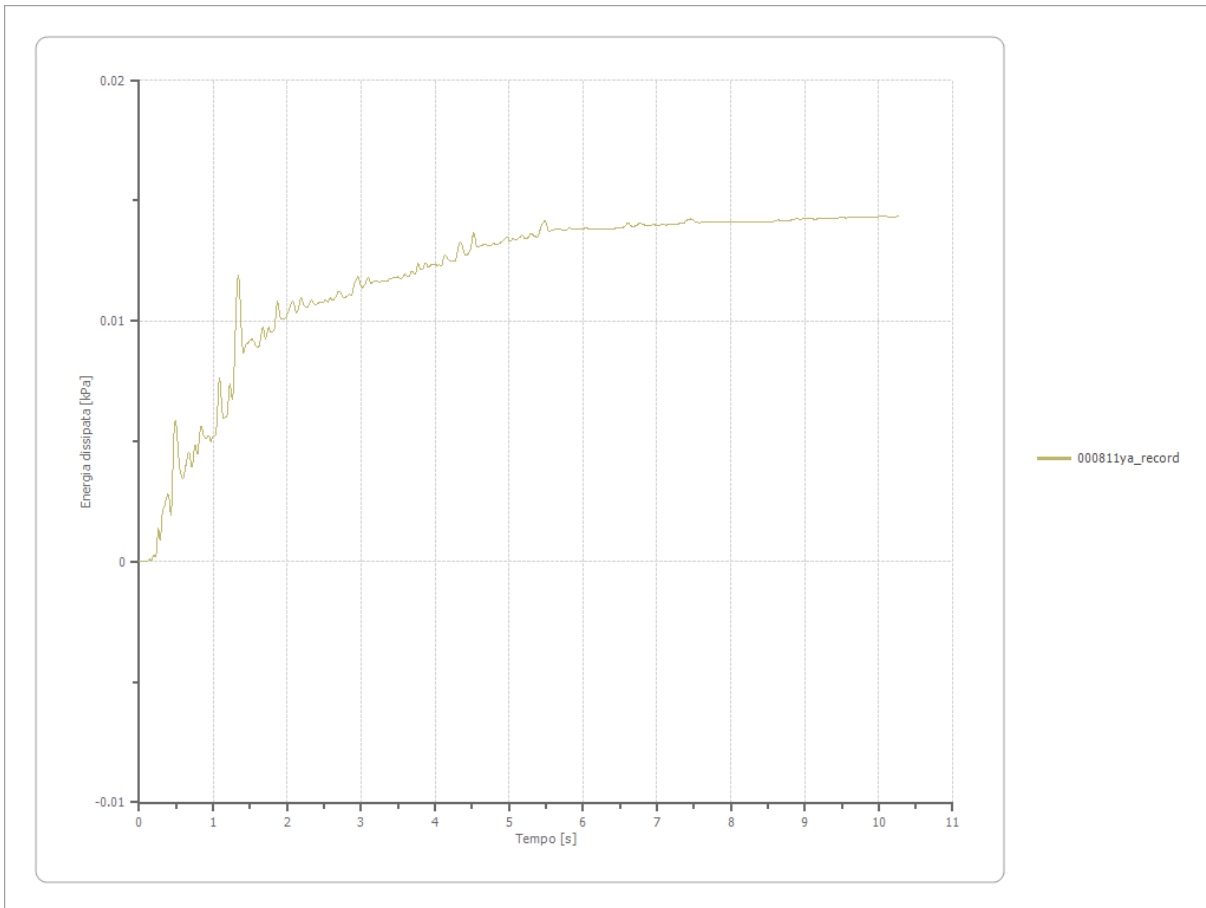
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



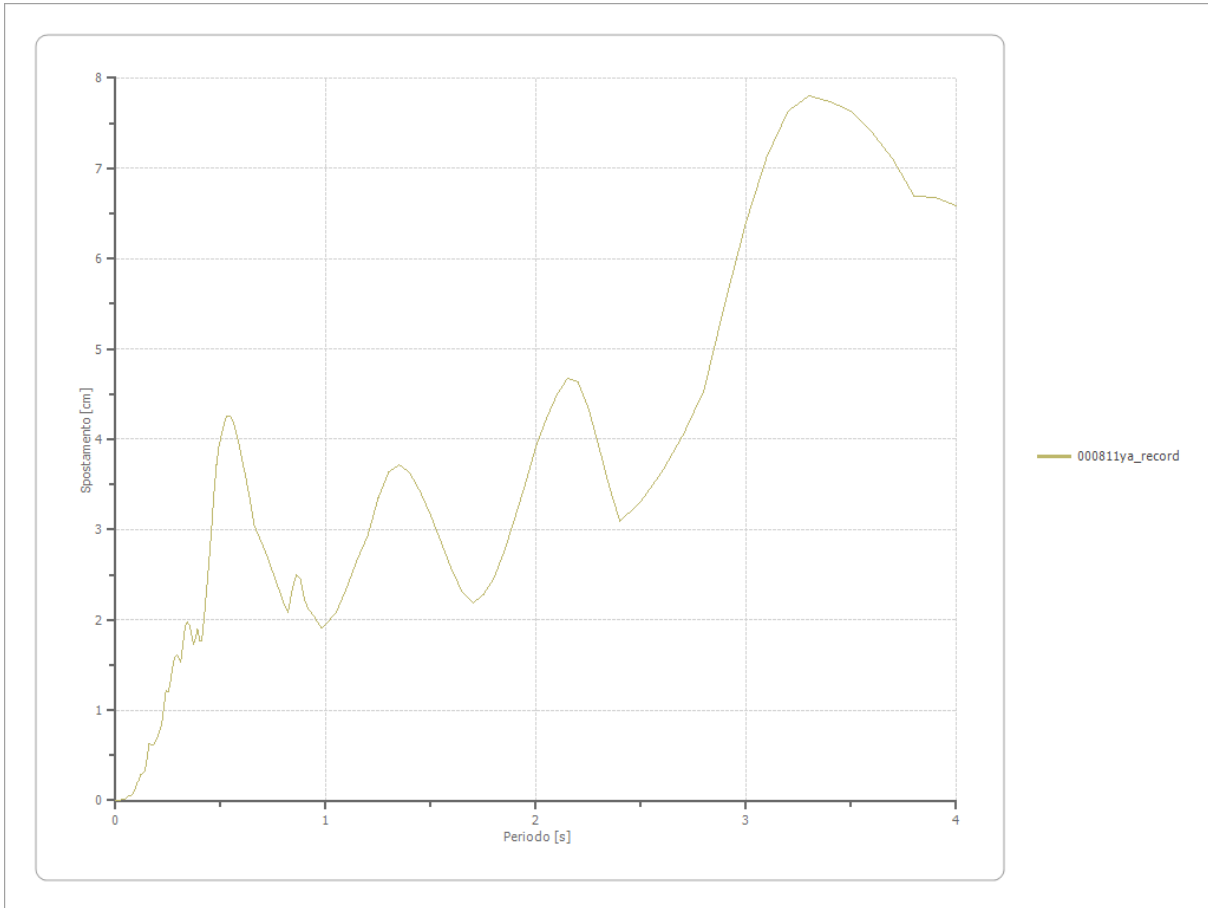
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

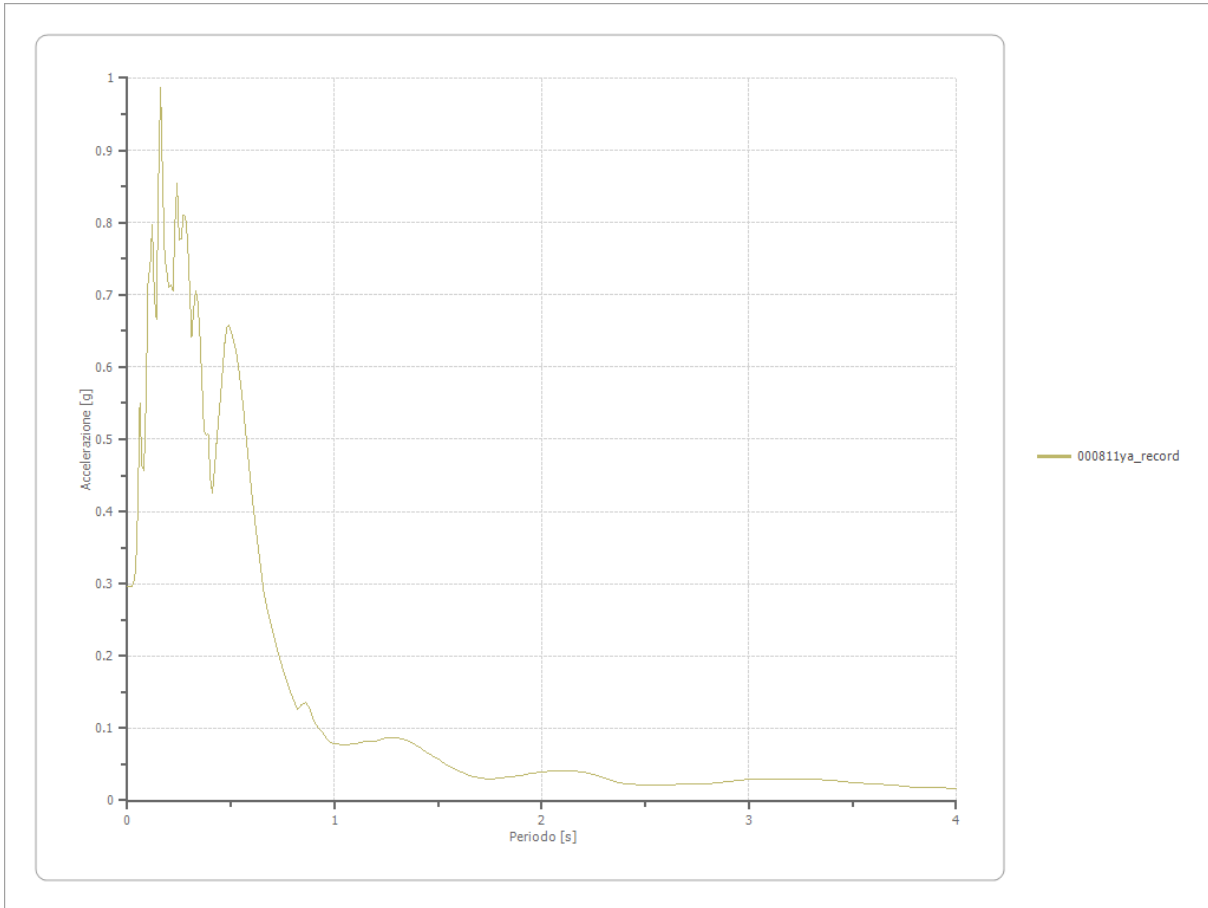
Spostamento

Spostamento massimo	7.802 [cm]
Periodo massimo spostamento	3.300 [s]



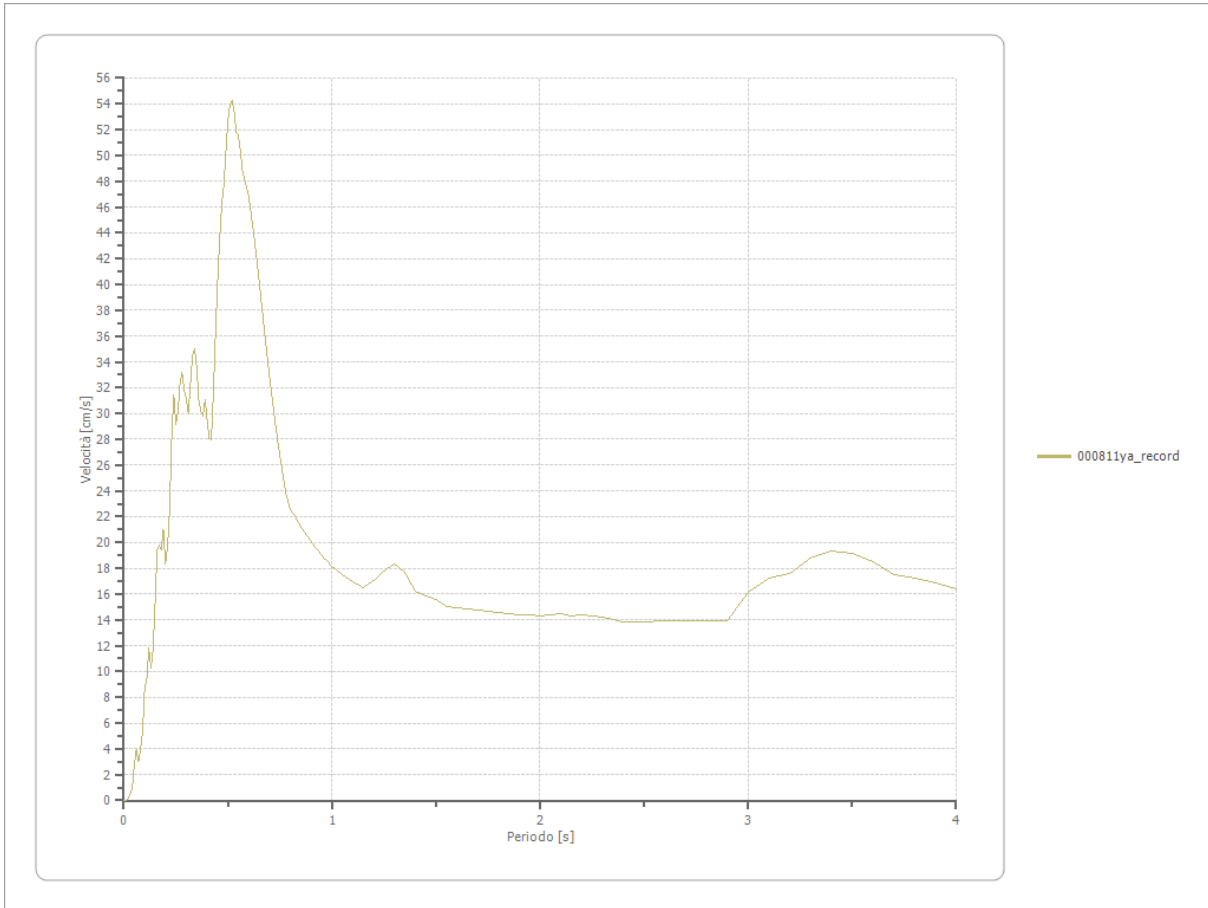
Accelerazione

Accelerazione massima	0.987 [g]
Periodo accelerazione massima	0.160 [s]



Velocità

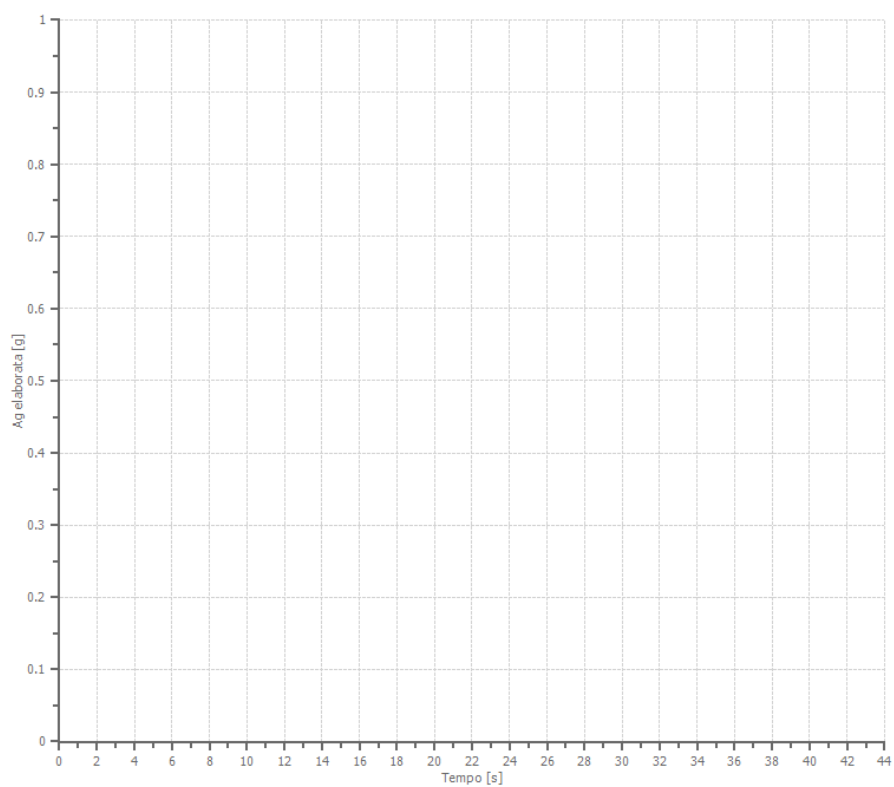
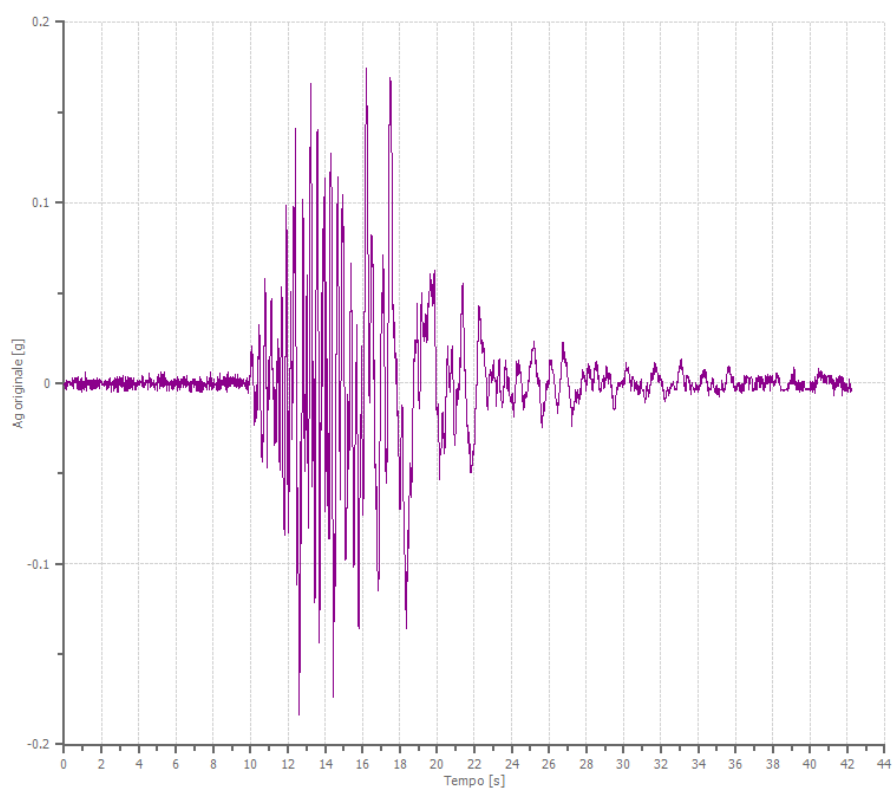
Velocità massima	0.987 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.520 [s]



File 005085xa_record:

Accelerogramma importato

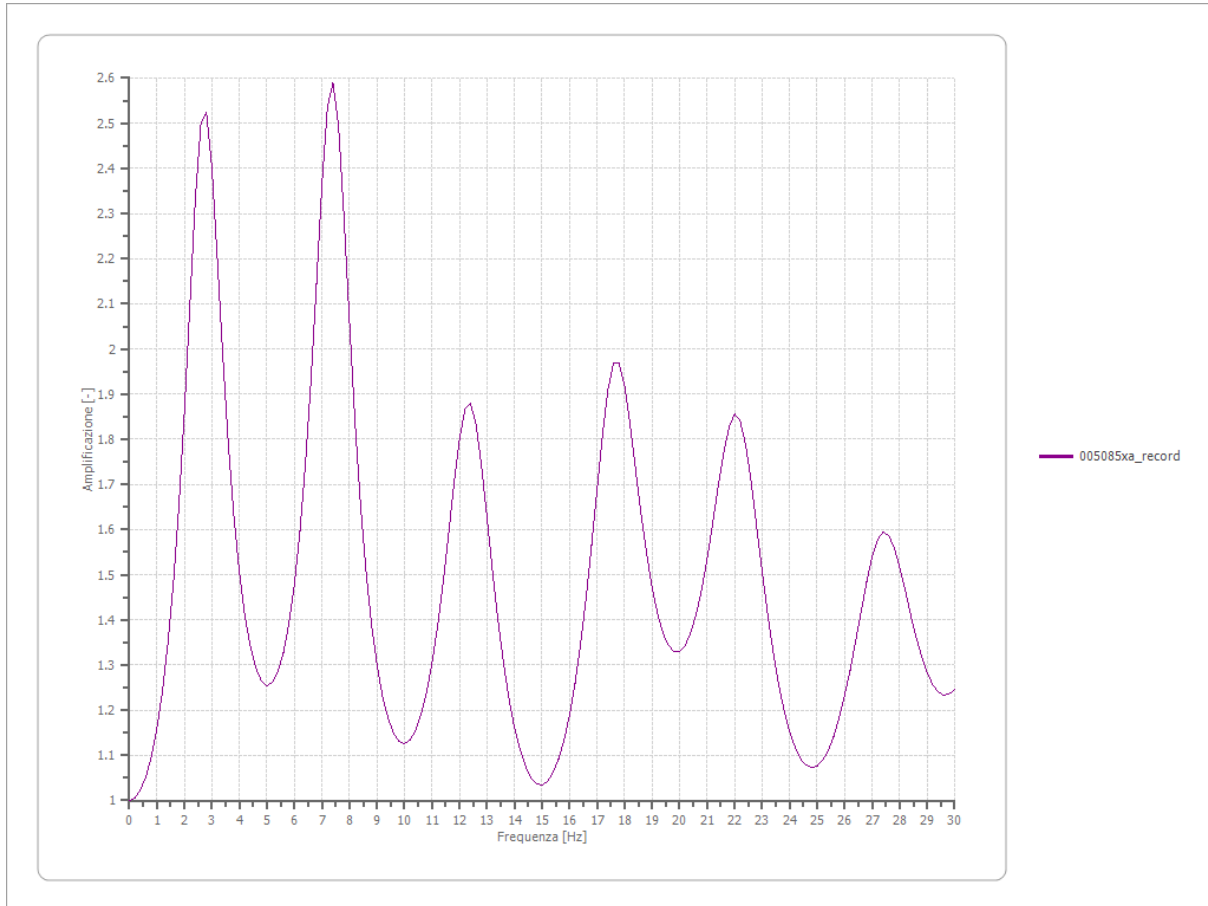
Nome del file	005085xa_record
Durata della traccia	42.220 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	12.620 [s]



Amplificazione

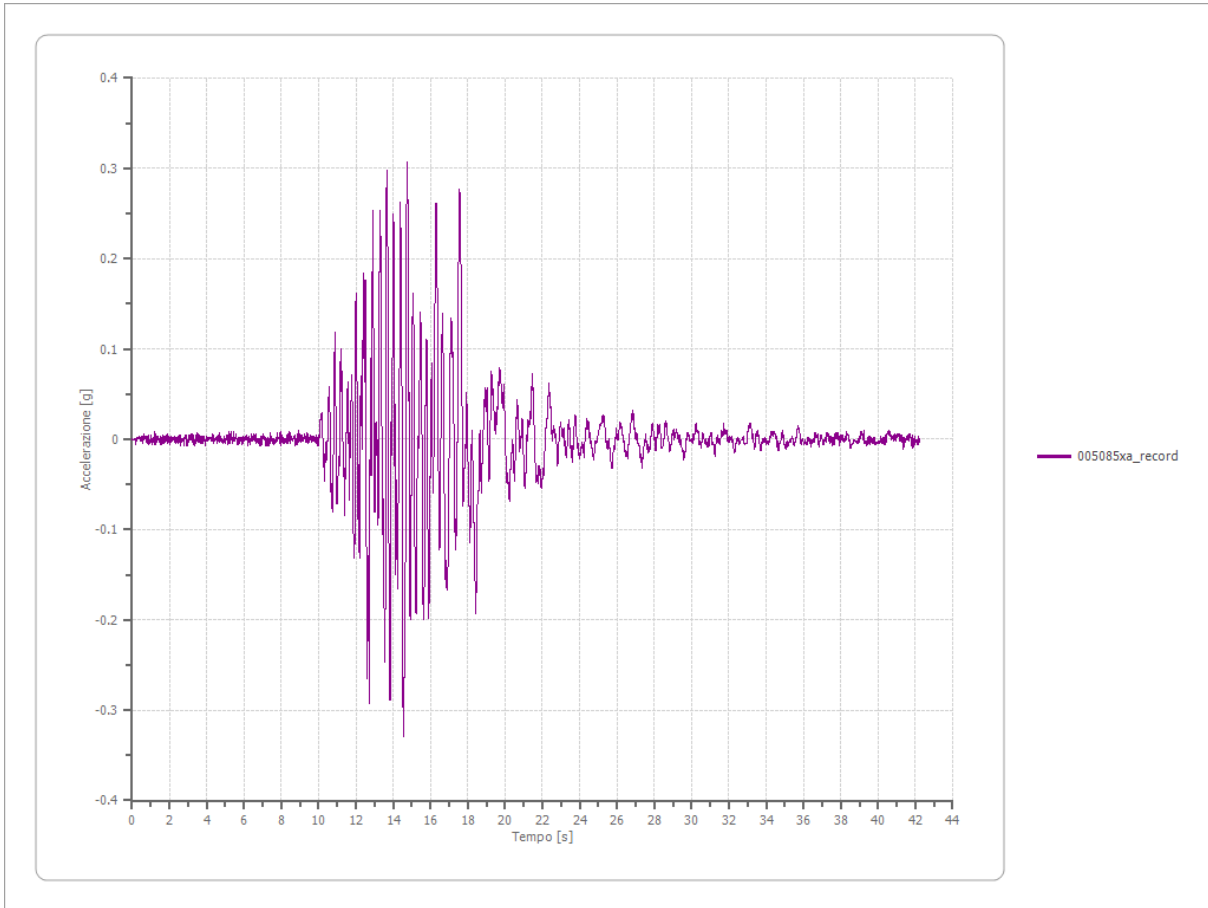
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

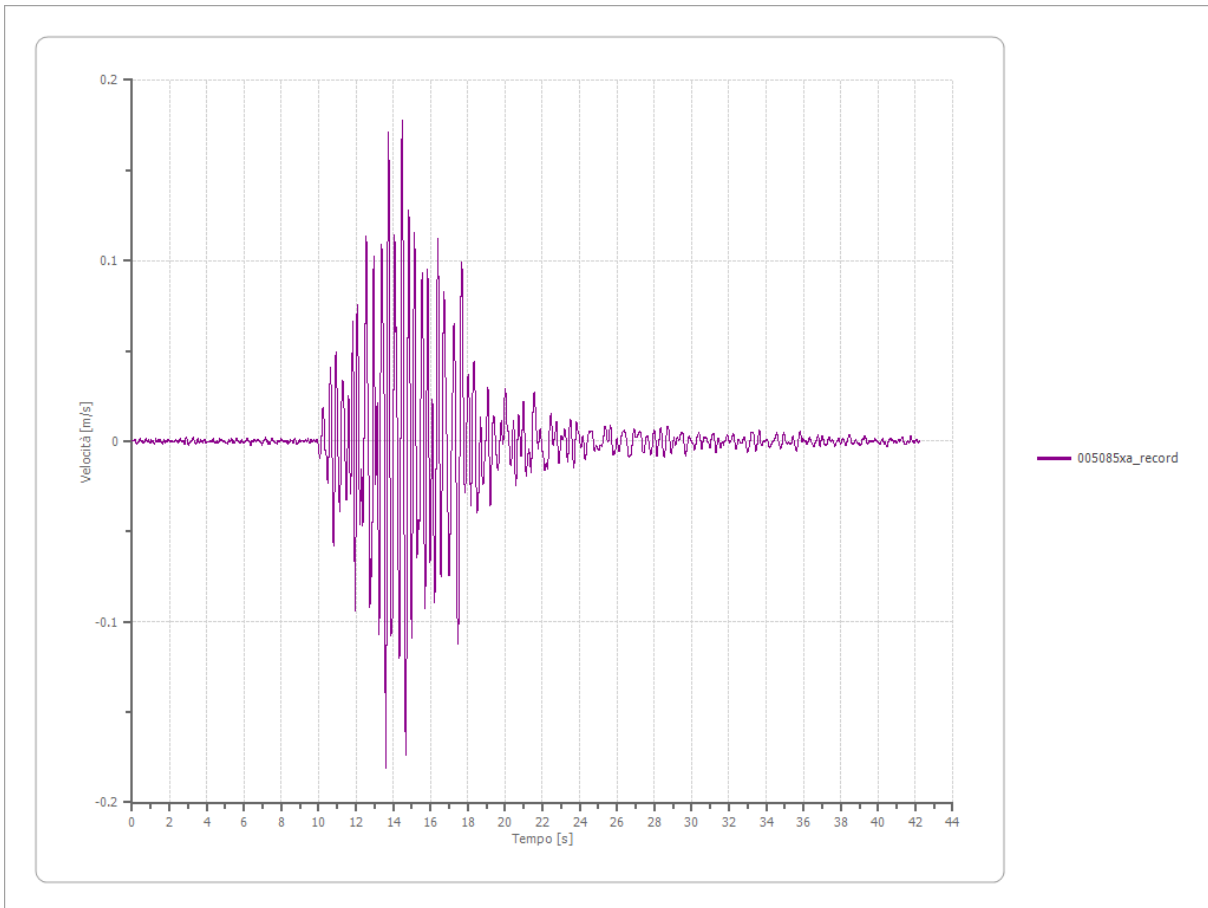
Strato	1 Affiorante
Pga	0.329 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	1.808
Accelerazione massima	0.329 [g]
Periodo accelerazione massima	14.540 [s]



Velocità

Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.181 [m/s]
13.600 [s]



Spostamento

Strato

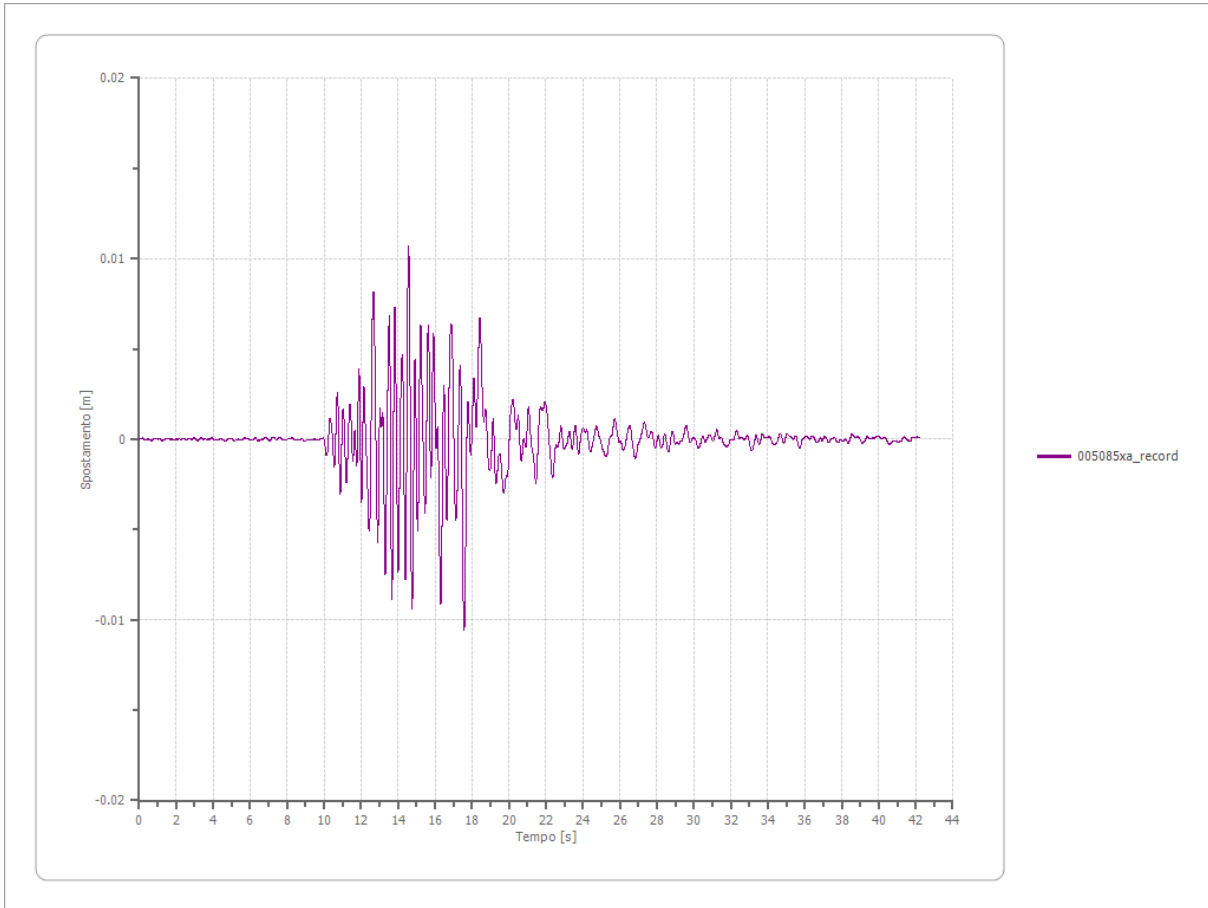
Spostamento massimo

Periodo spostamento massimo

1 Affiorante

0.011 [m]

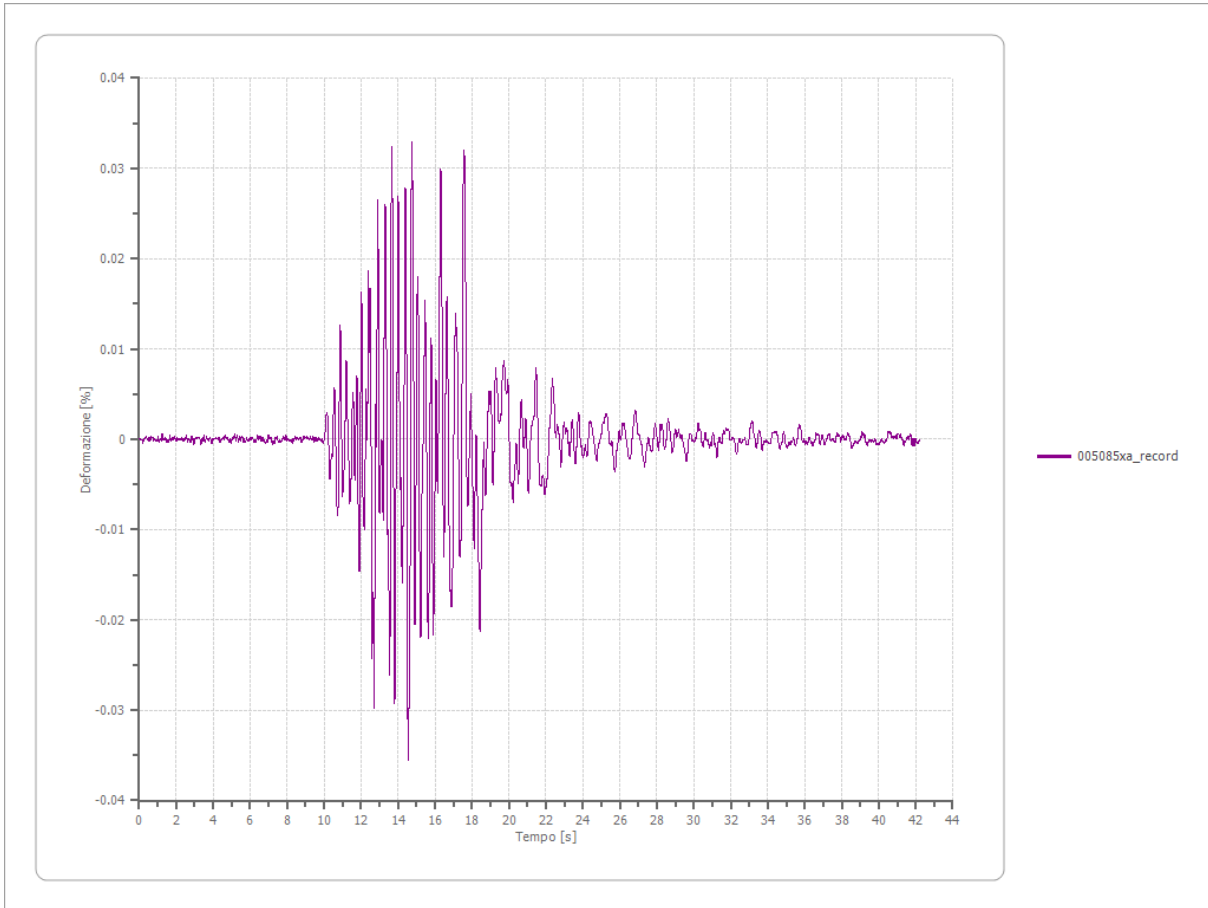
14.570 [s]



Deformazione

Numero di strati

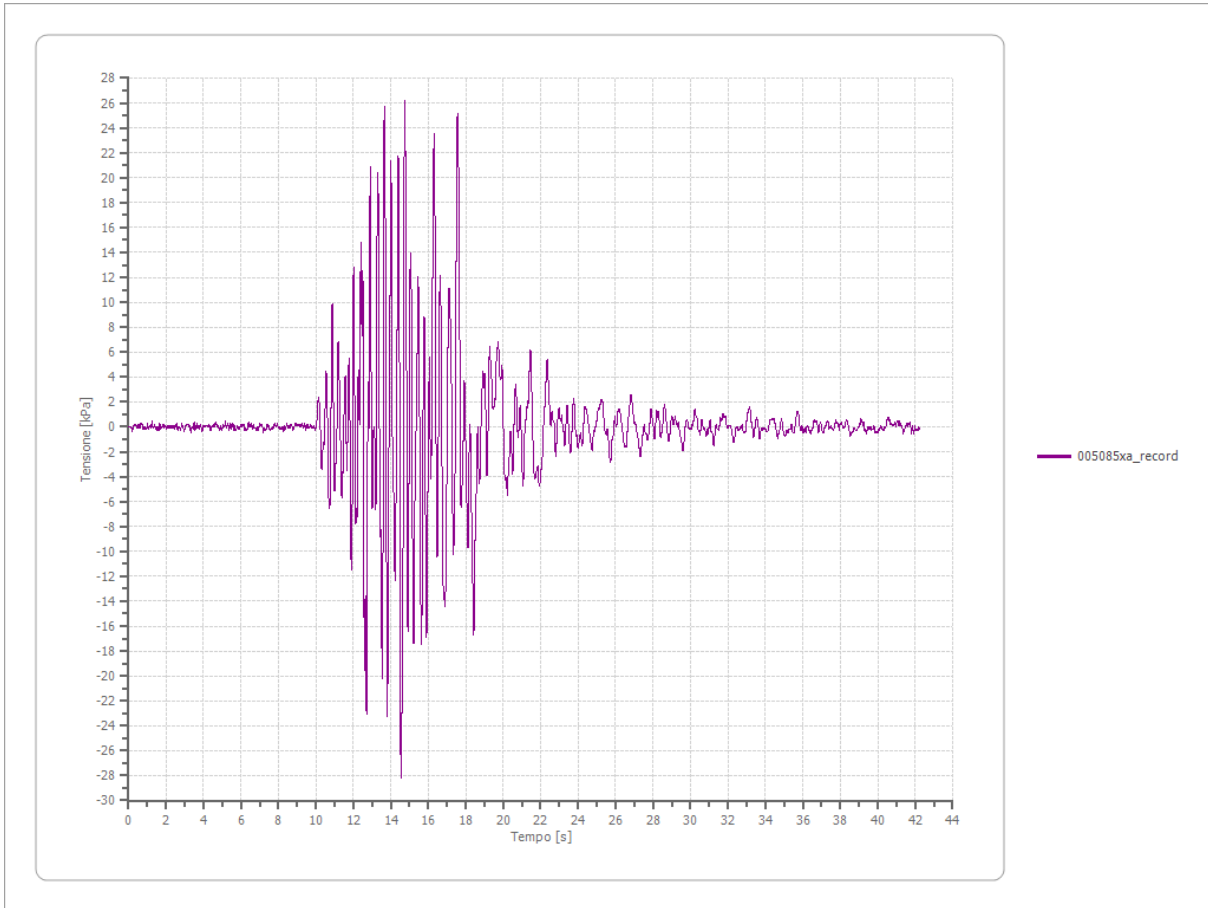
3



Tensione

Numero di strati

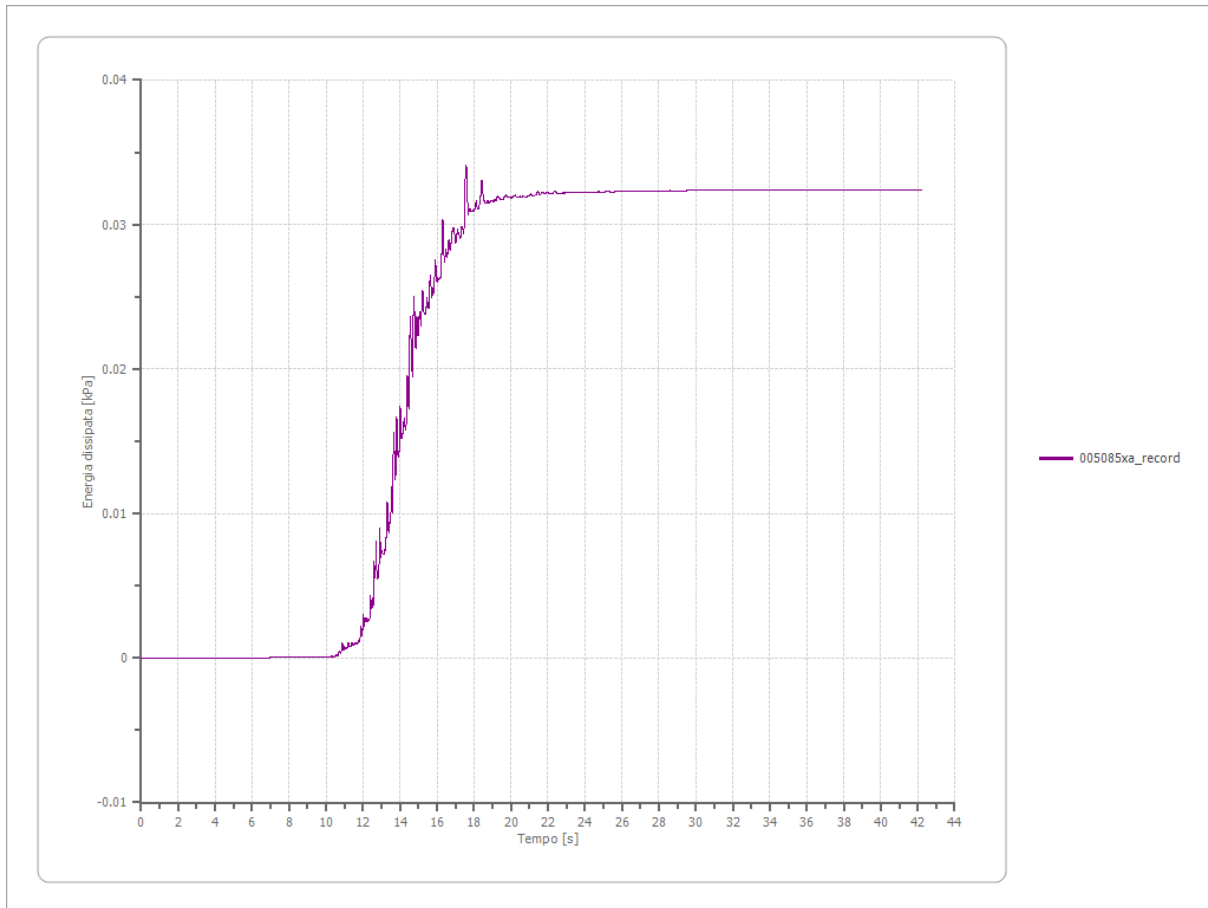
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



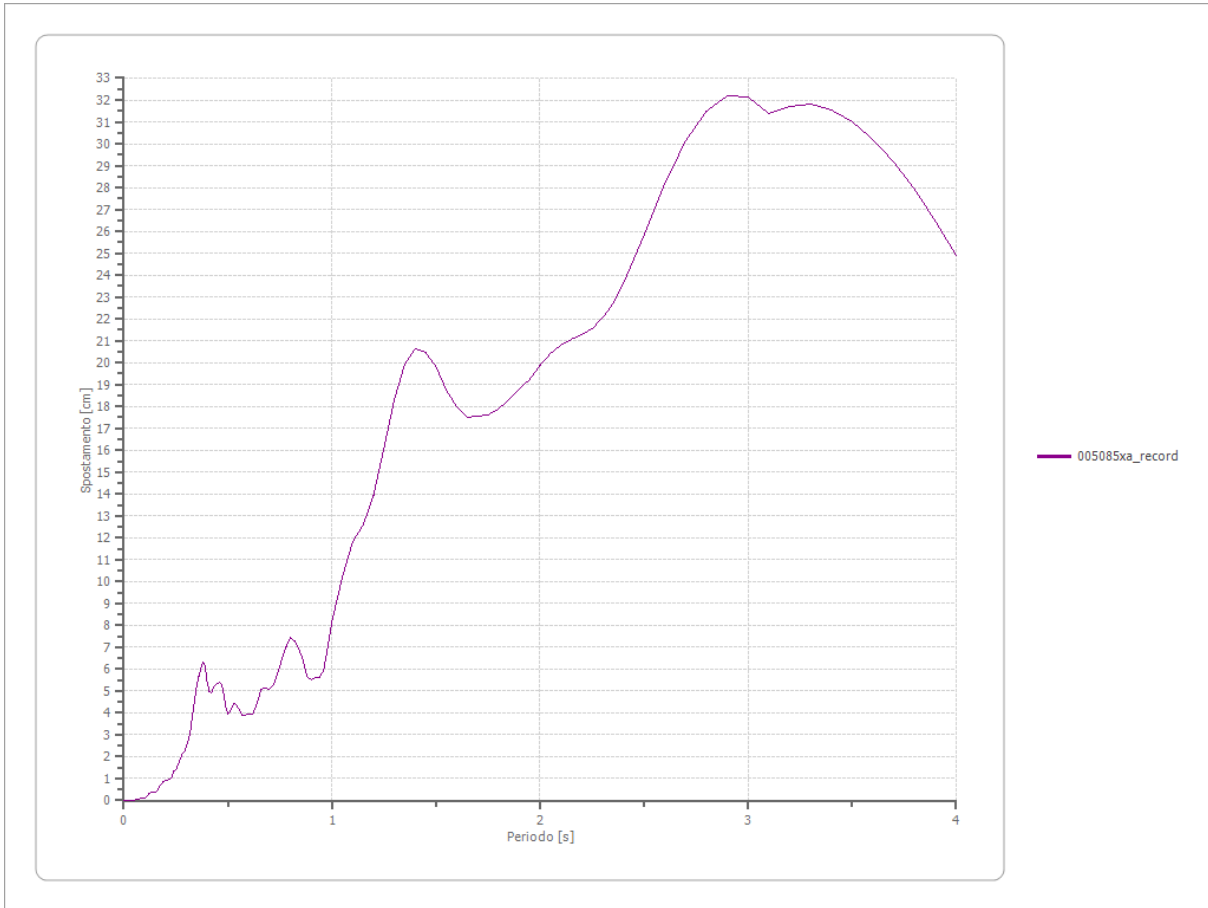
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

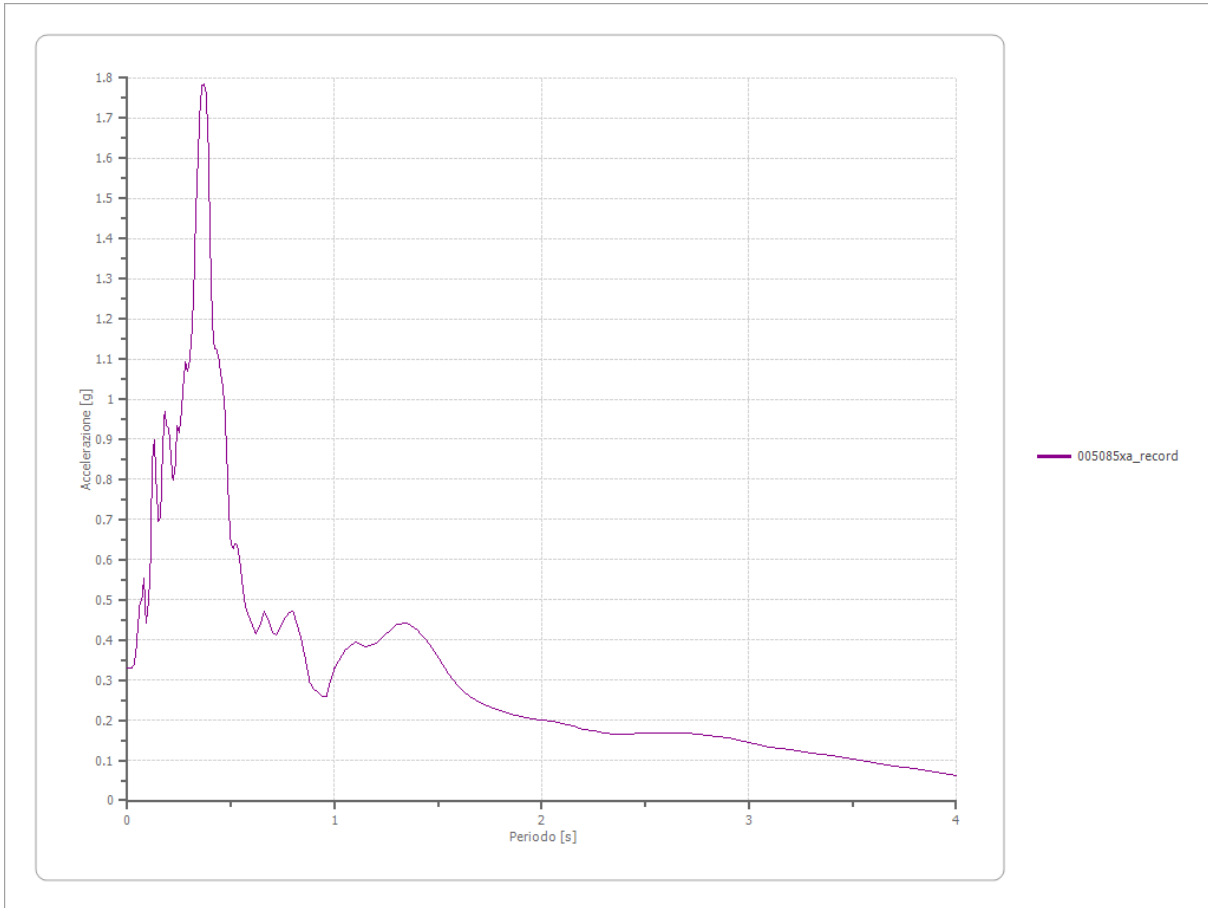
Spostamento

Spostamento massimo	32.167 [cm]
Periodo massimo spostamento	2.900 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.786 [g]
Periodo accelerazione massima	0.370 [s]



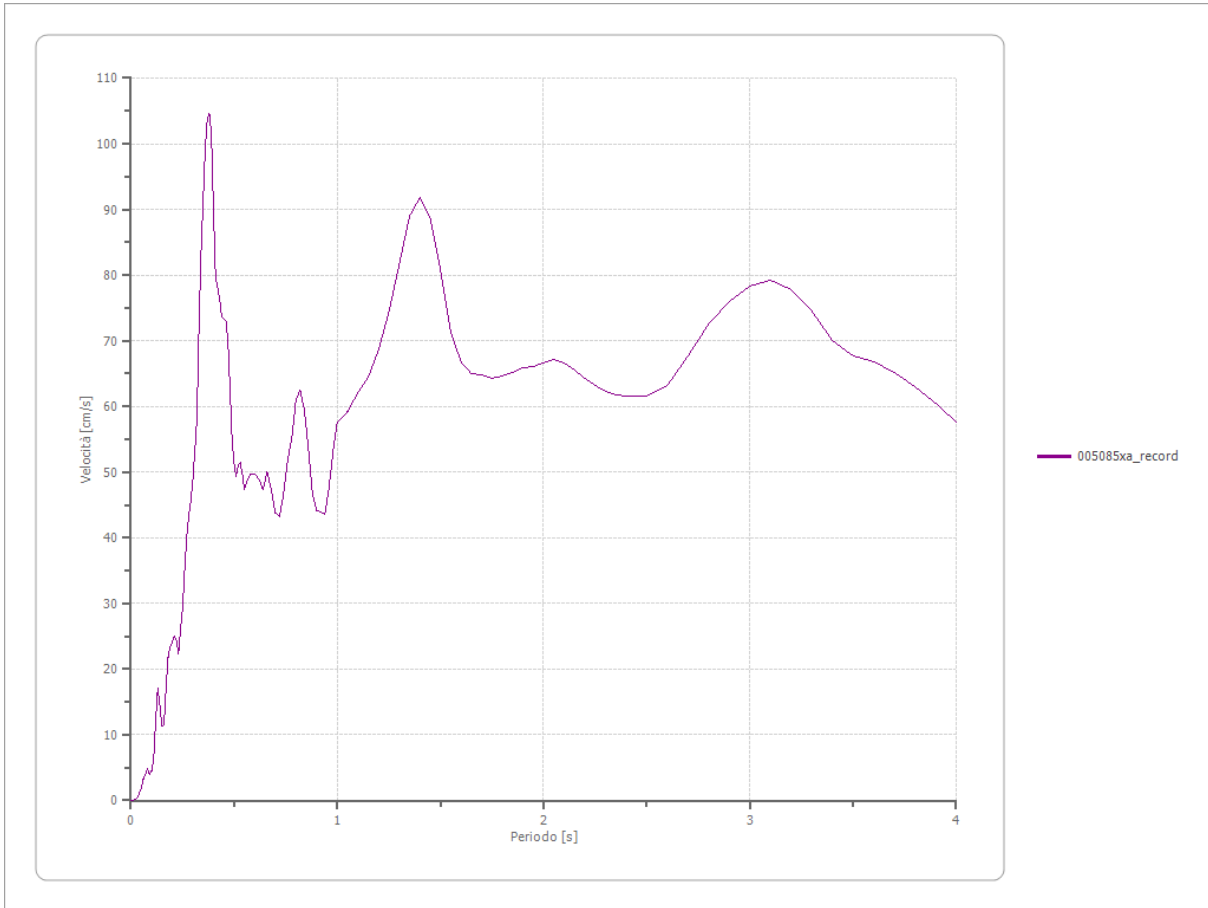
Velocità

Velocità massima

1.786 [cm/s]

Periodo massima velocità

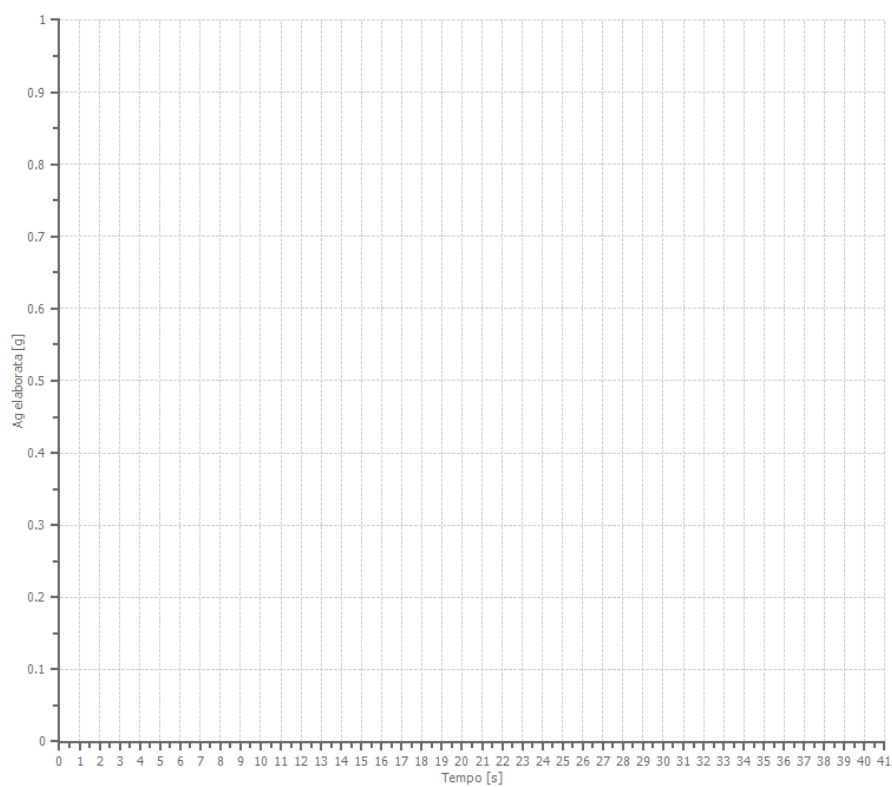
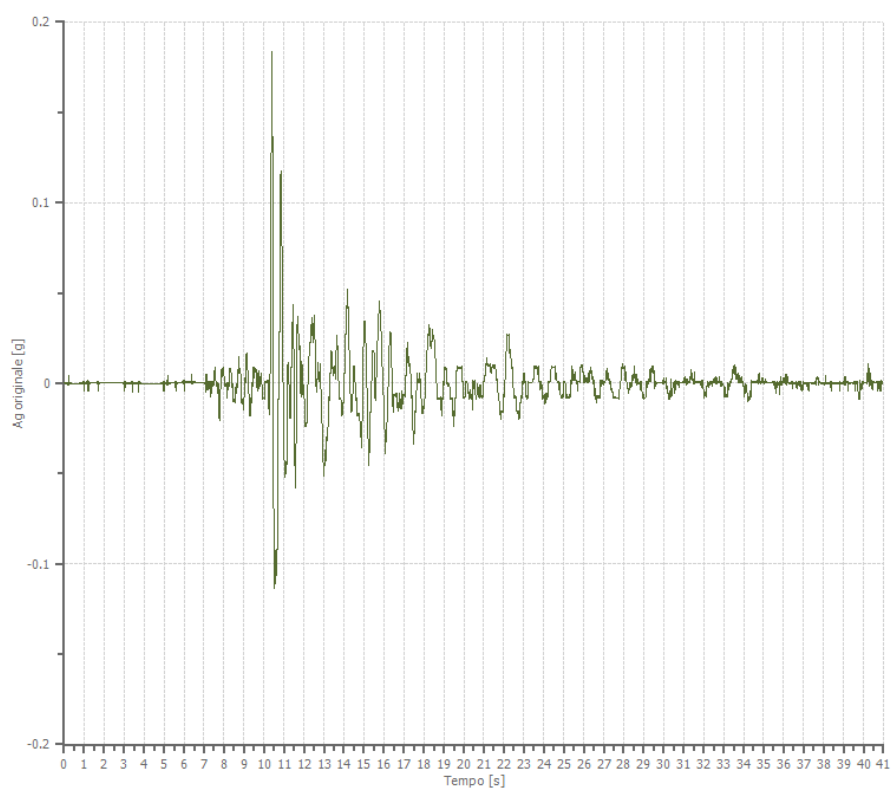
0.380 [s]



File 005259xa_record:

Accelerogramma importato

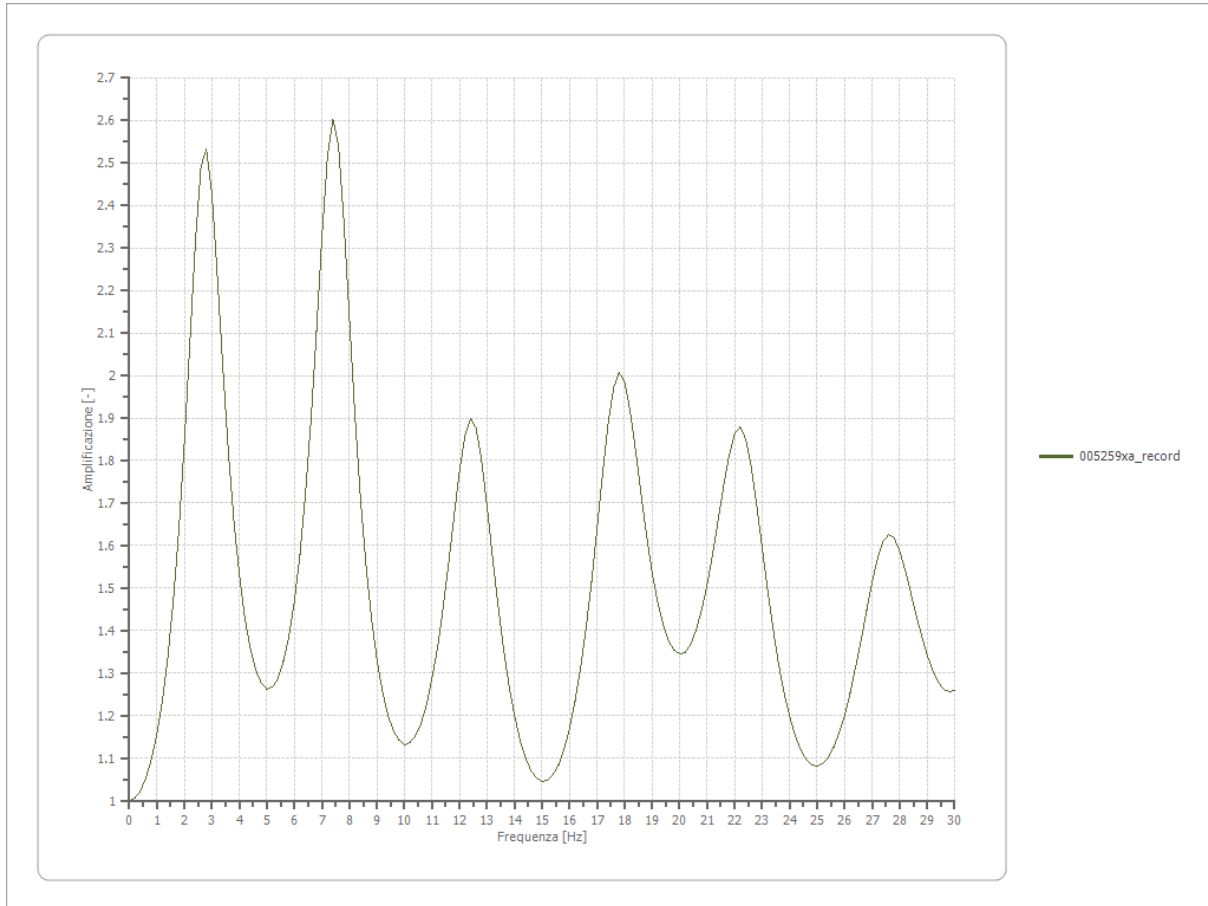
Nome del file	005259xa_record
Durata della traccia	40.940 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	10.400 [s]



Amplificazione

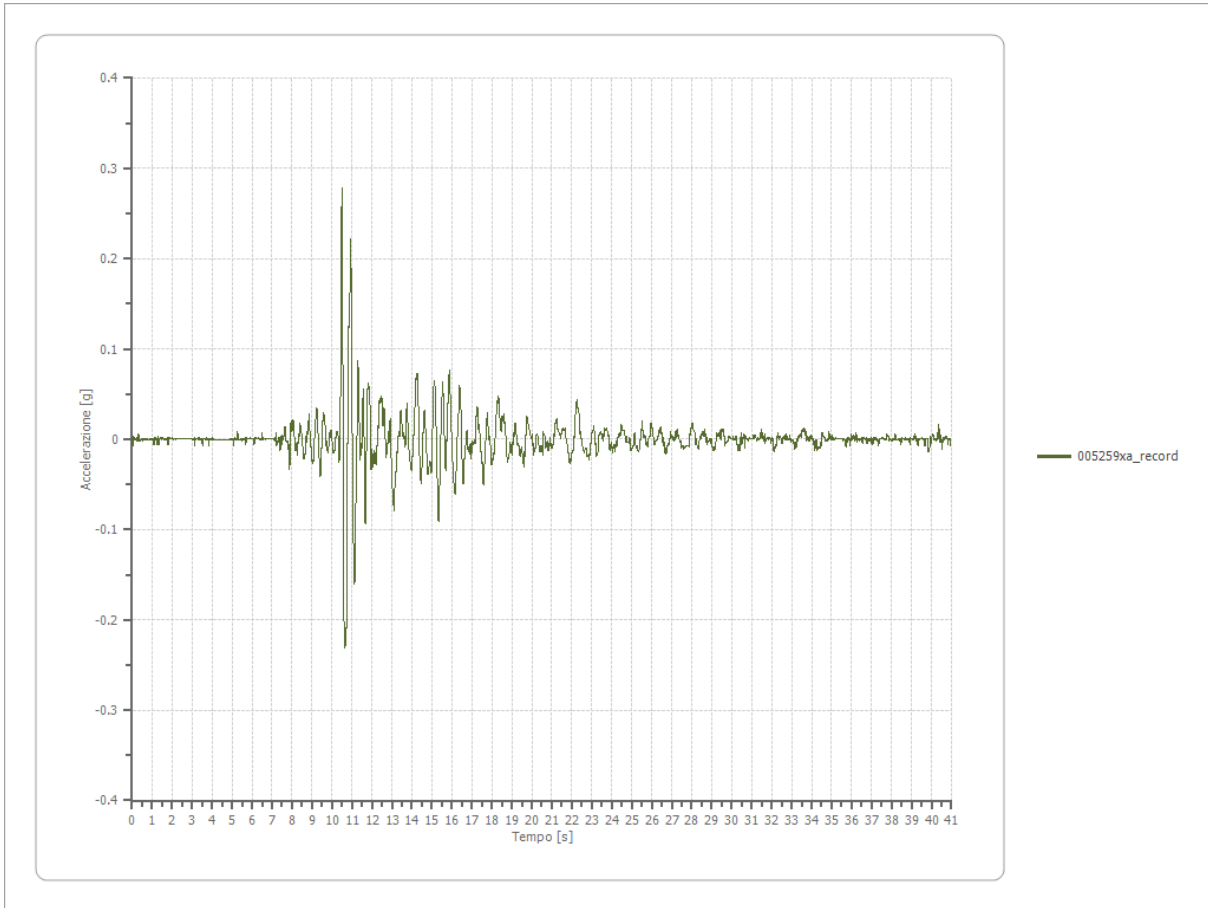
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

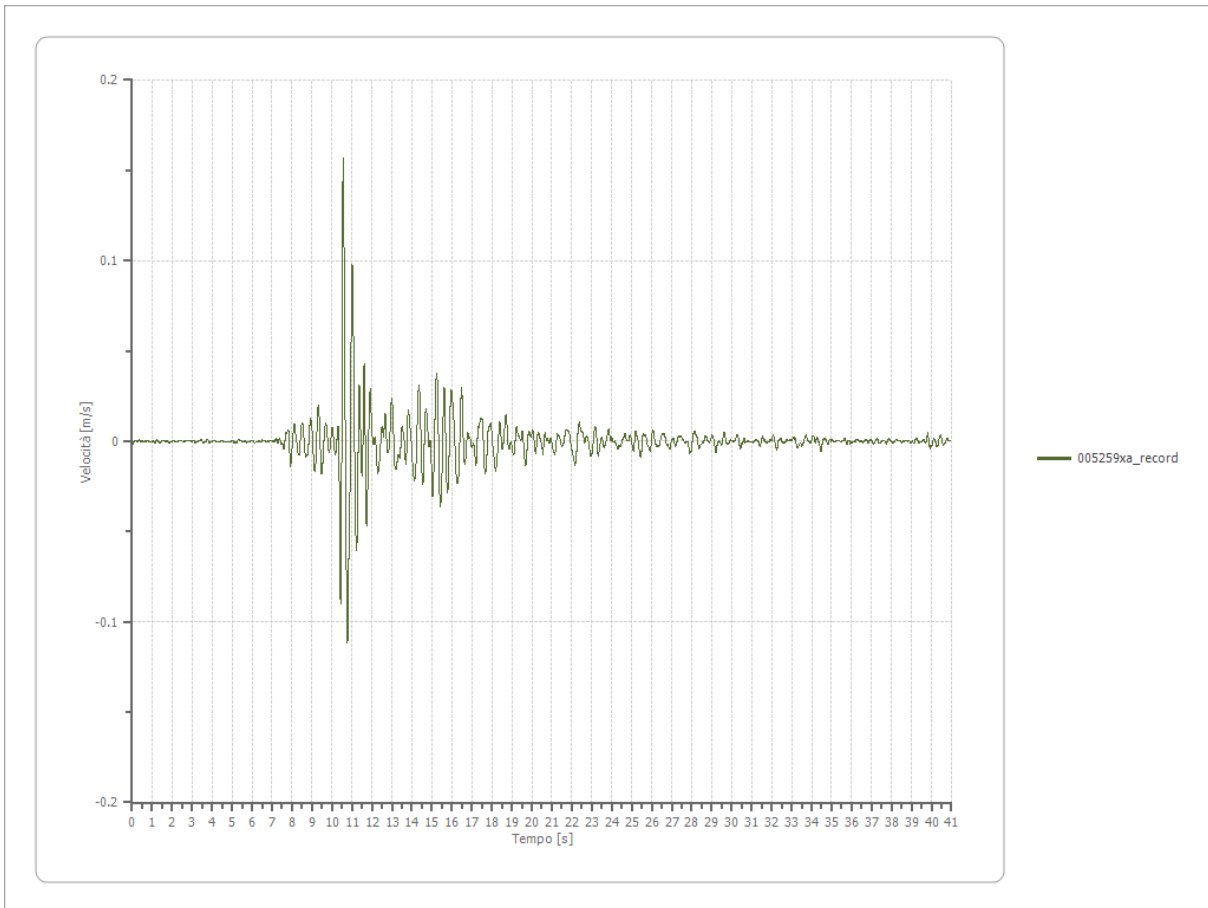
Strato	1 Affiorante
Pga	0.278 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	1.528
Accelerazione massima	0.278 [g]
Periodo accelerazione massima	10.500 [s]



Velocità

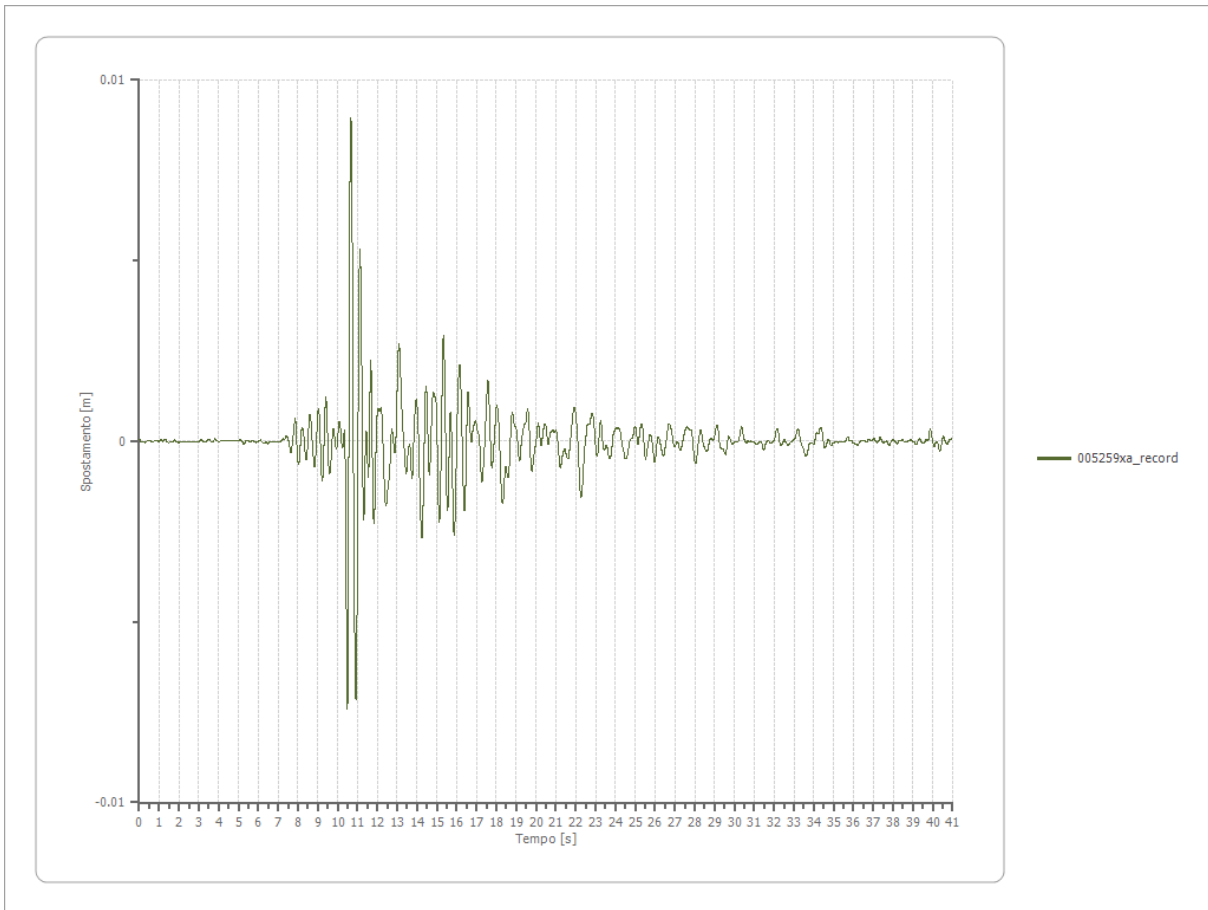
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.157 [m/s]
10.560 [s]



Spostamento

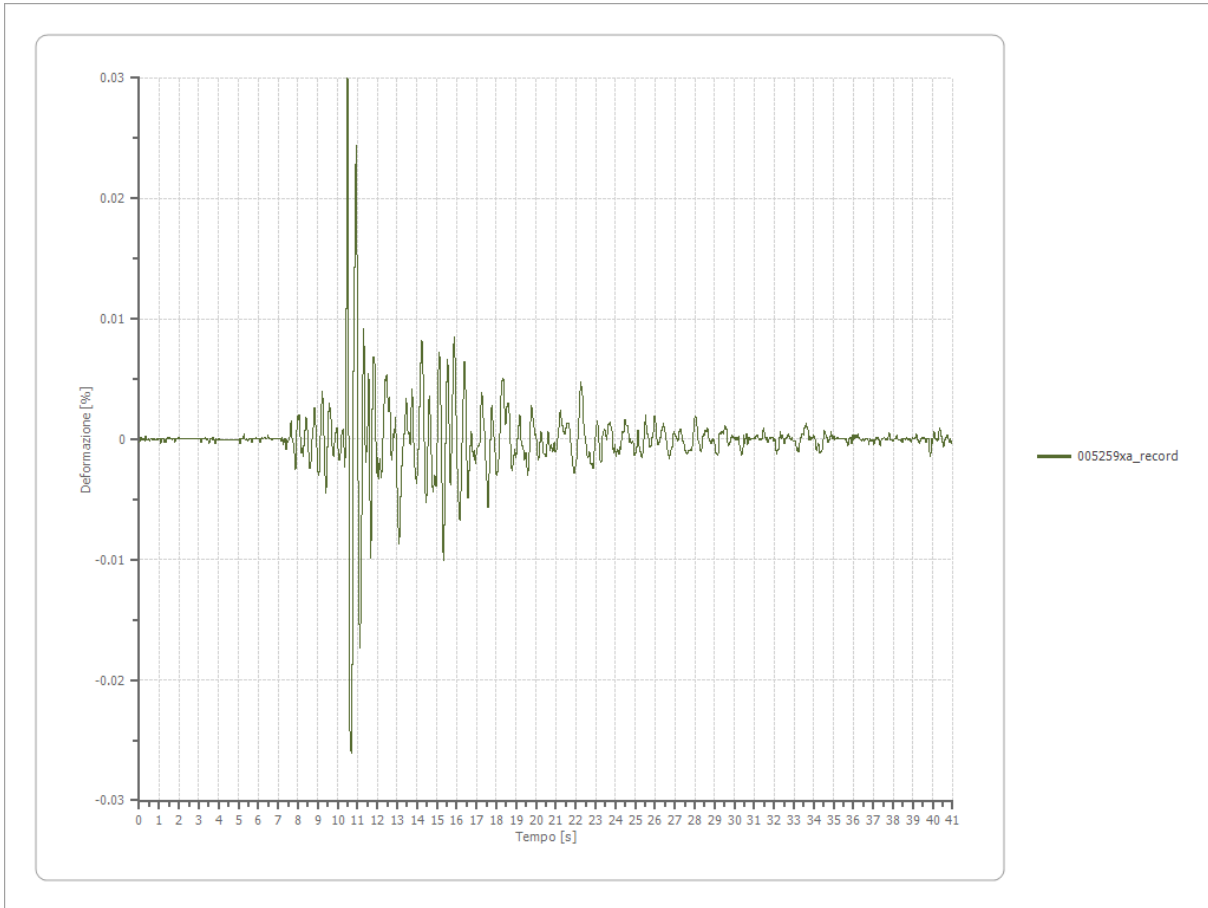
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.009 [m]
Periodo spostamento massimo	10.670 [s]



Deformazione

Numero di strati

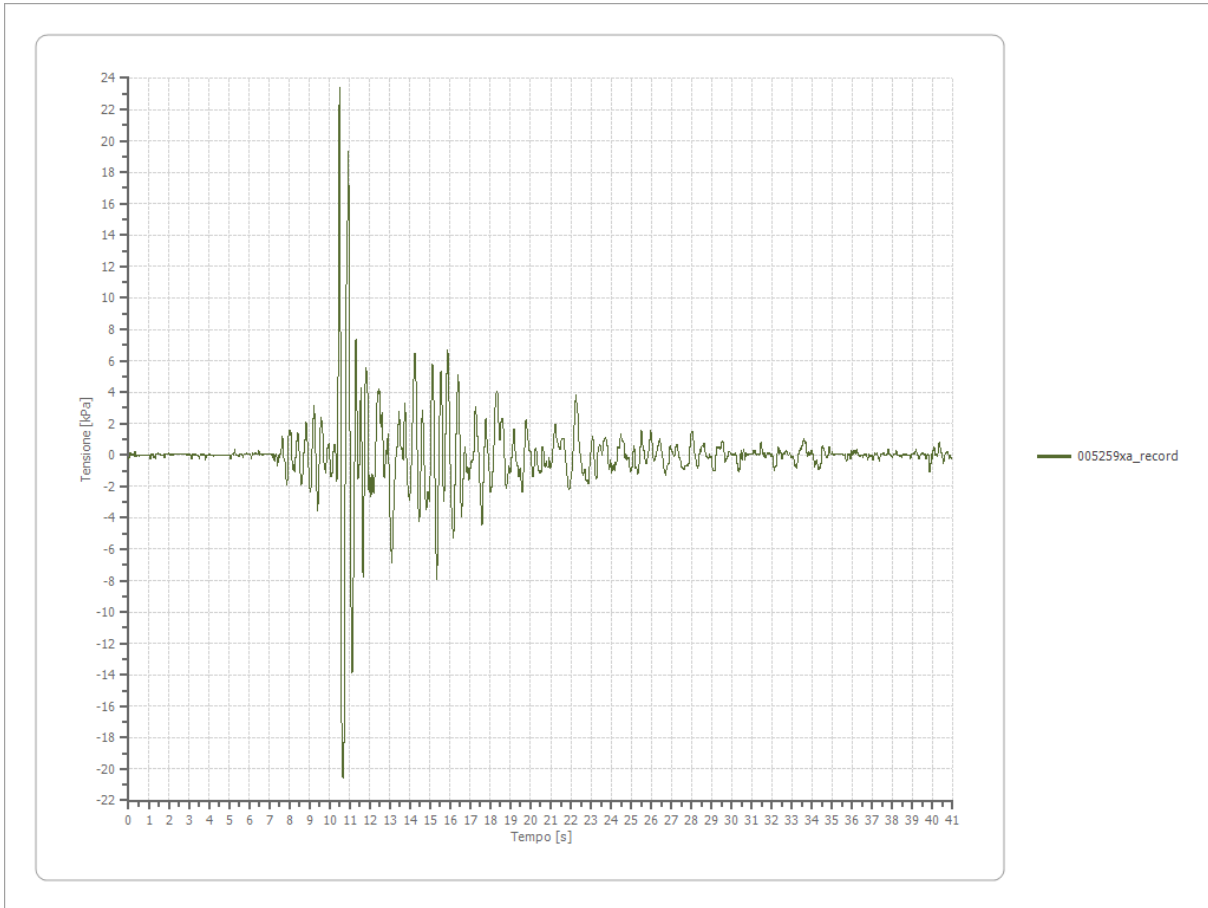
3



Tensione

Numero di strati

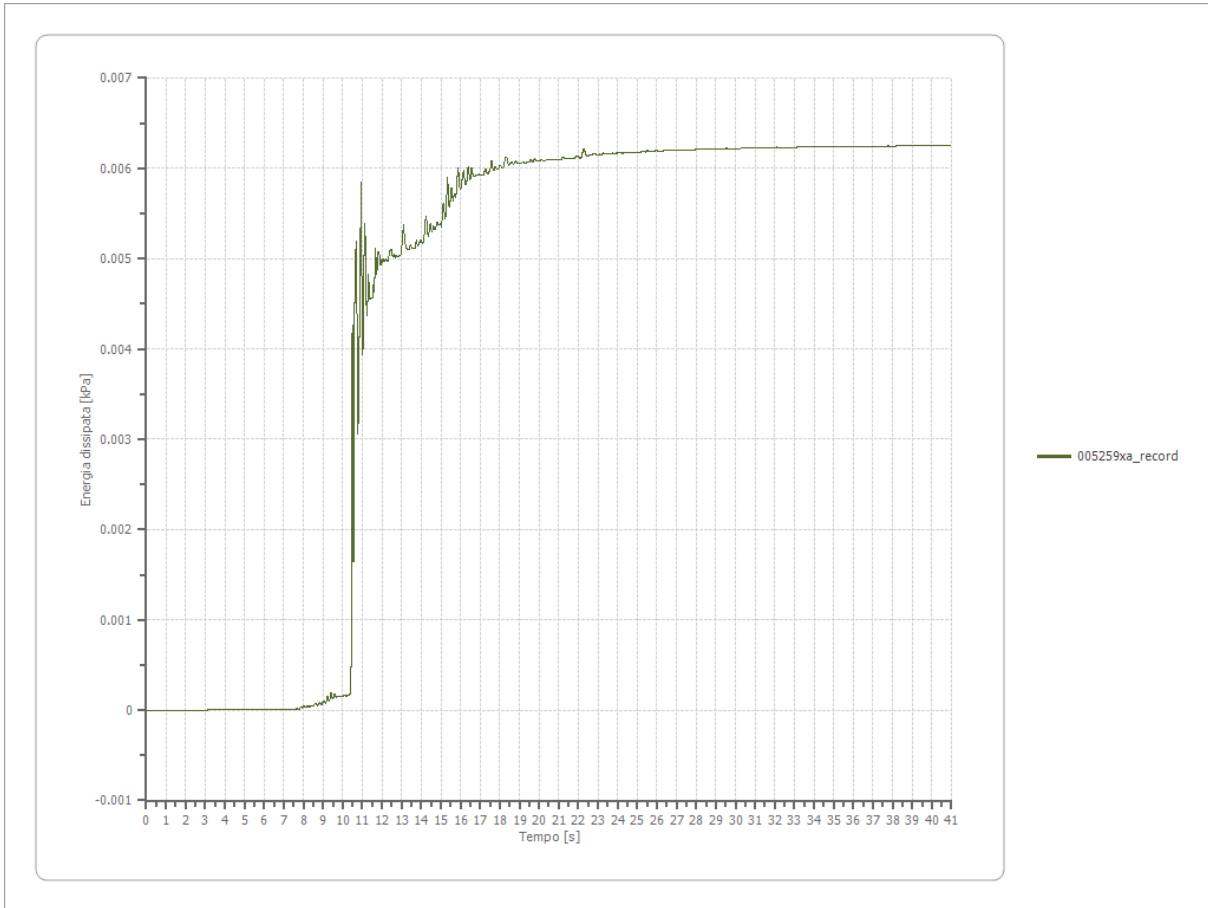
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



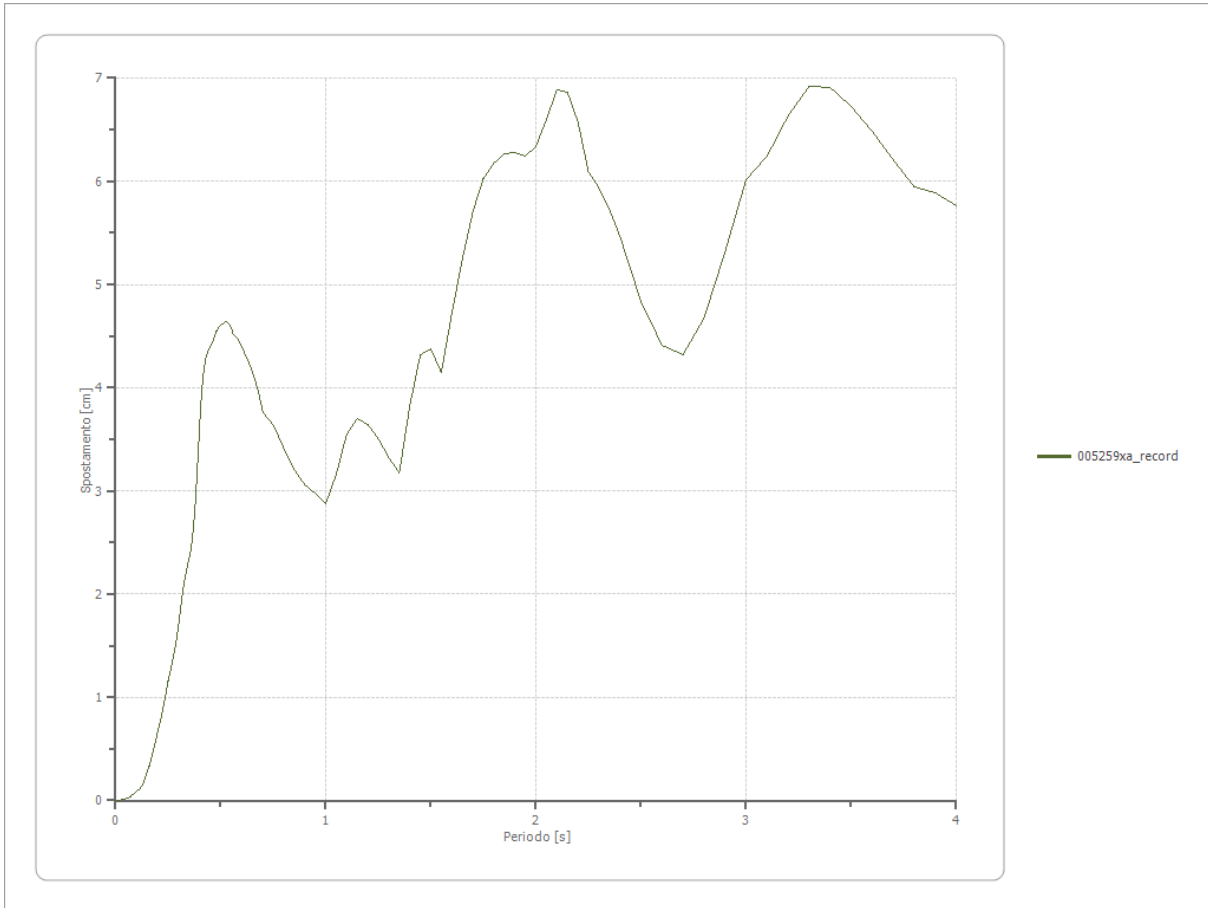
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

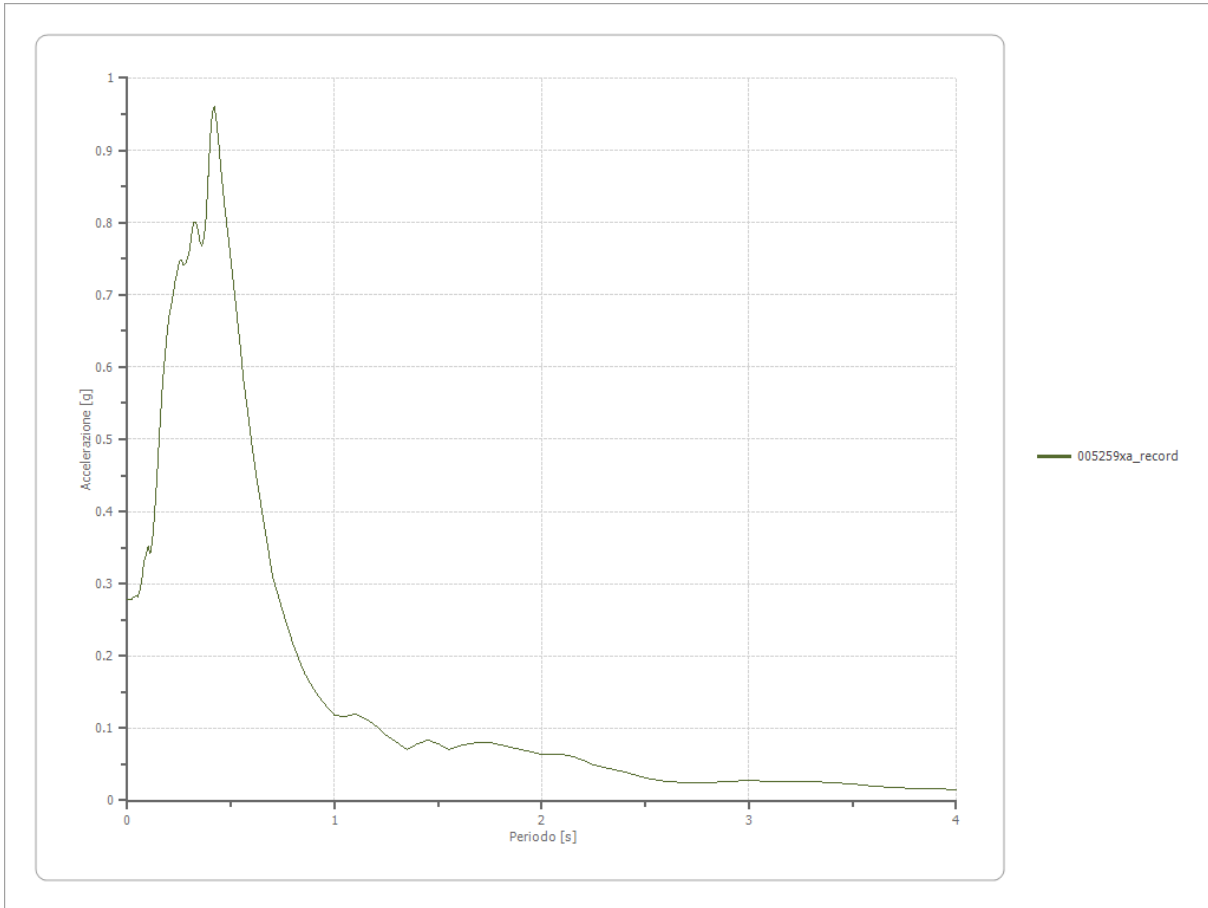
Spostamento

Spostamento massimo	6.924 [cm]
Periodo massimo spostamento	3.300 [s]



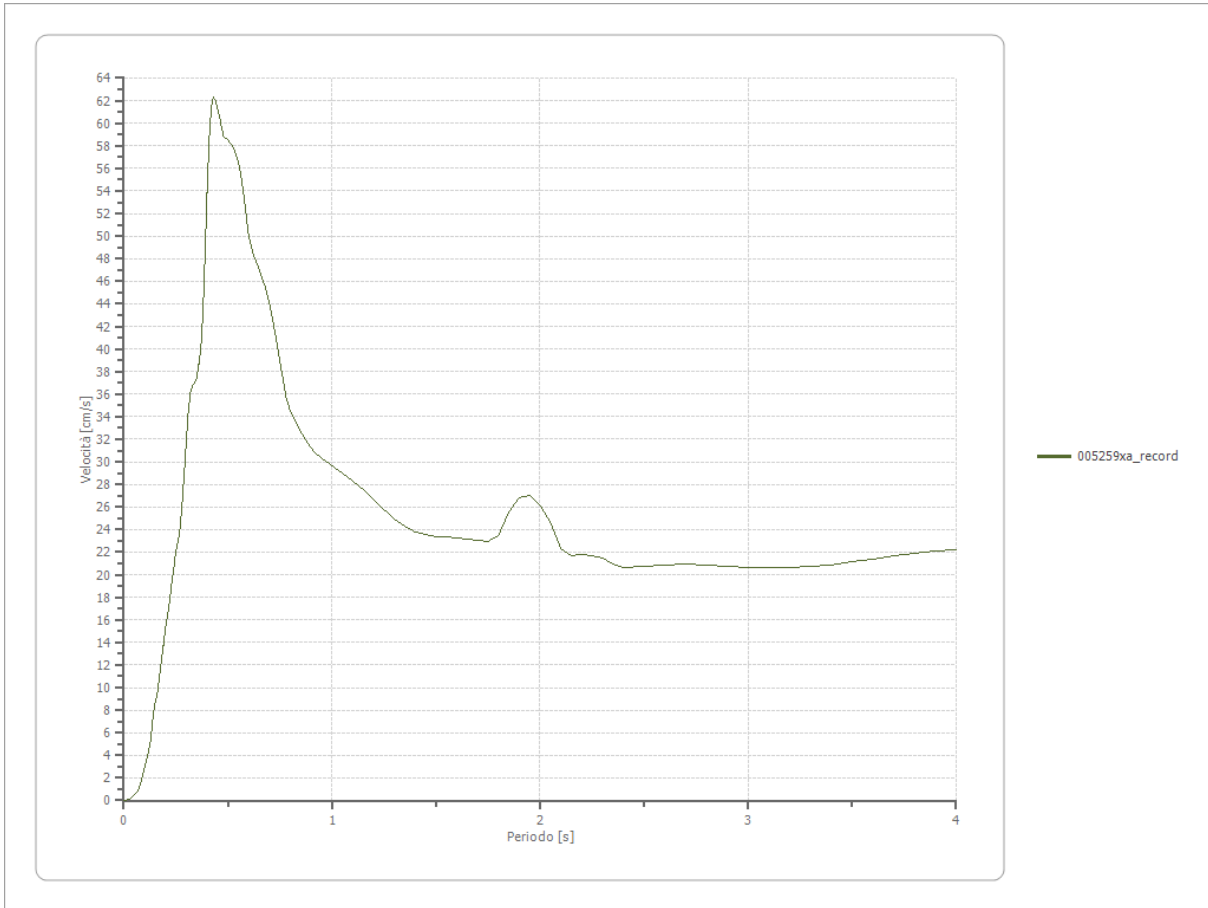
Accelerazione

Accelerazione massima	0.960 [g]
Periodo accelerazione massima	0.420 [s]



Velocità

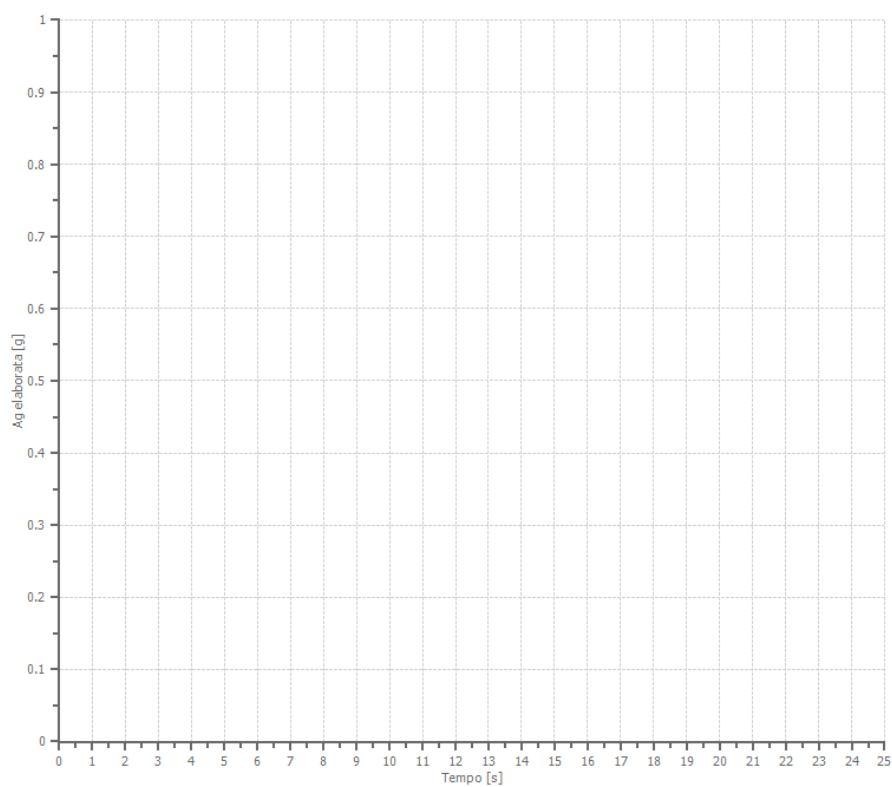
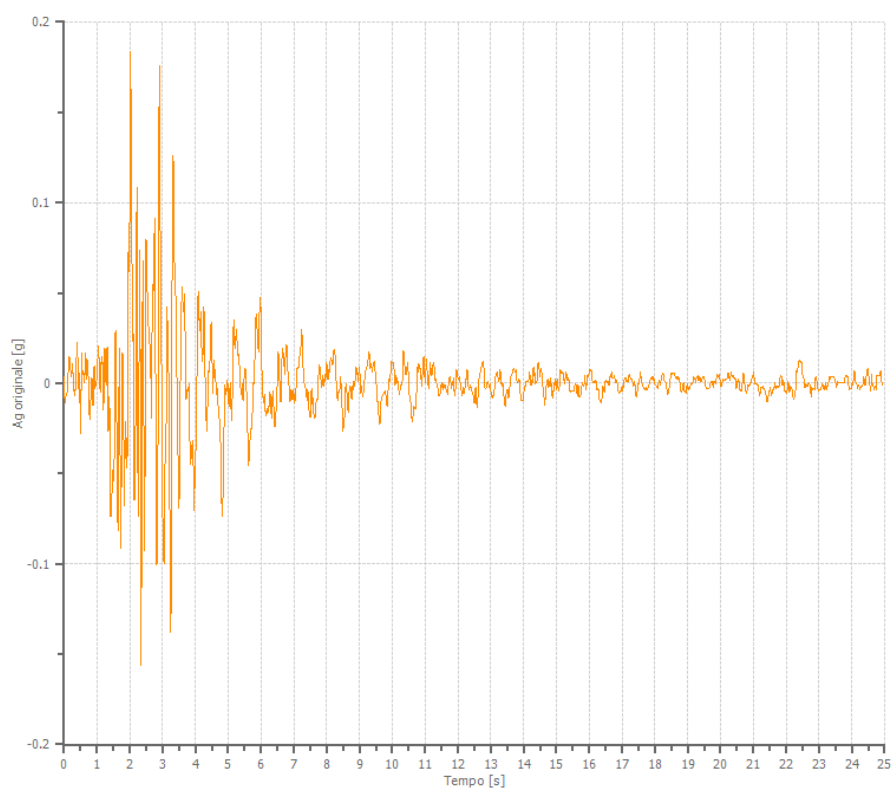
Velocità massima	0.960 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.430 [s]



File 005655xa_record:

Accelerogramma importato

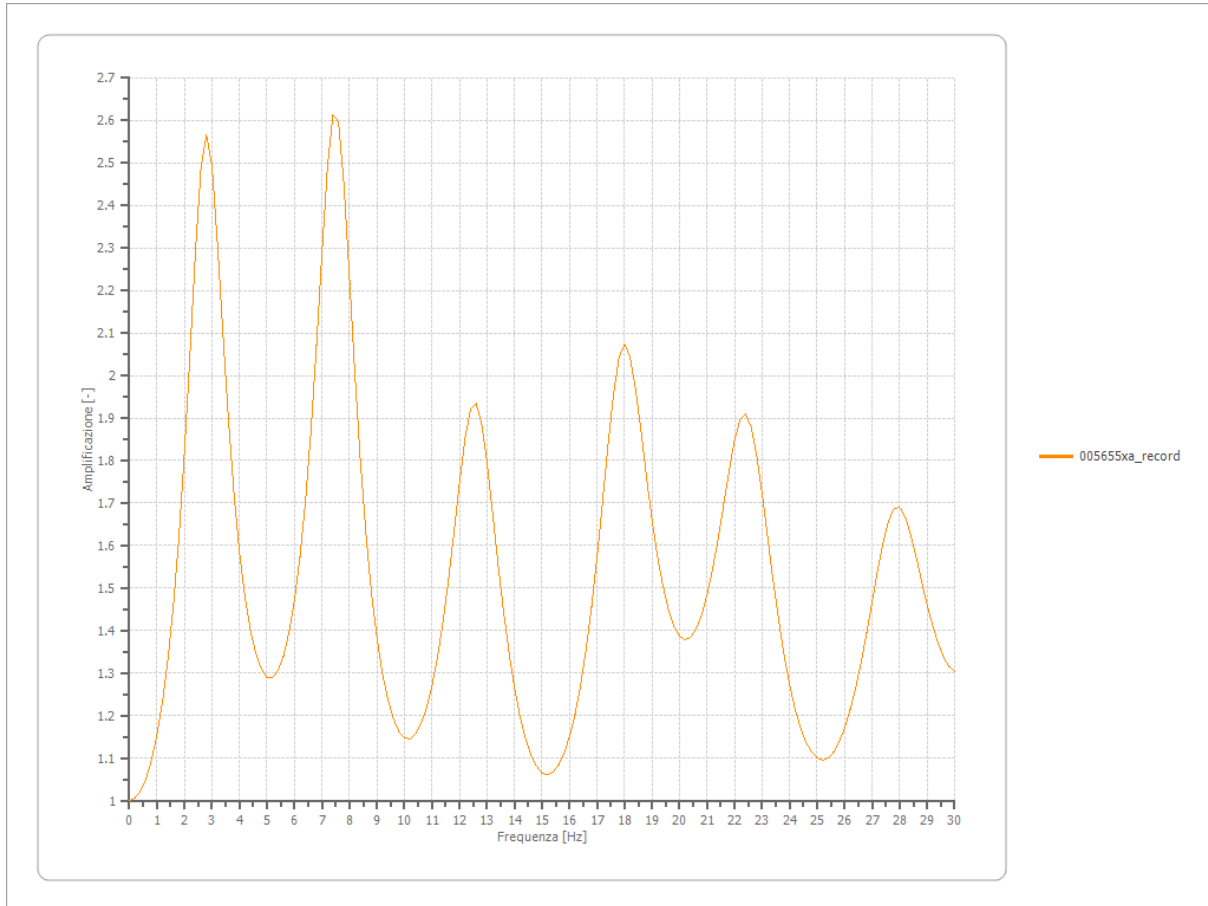
Nome del file	005655xa_record
Durata della traccia	24.920 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	2.020 [s]



Amplificazione

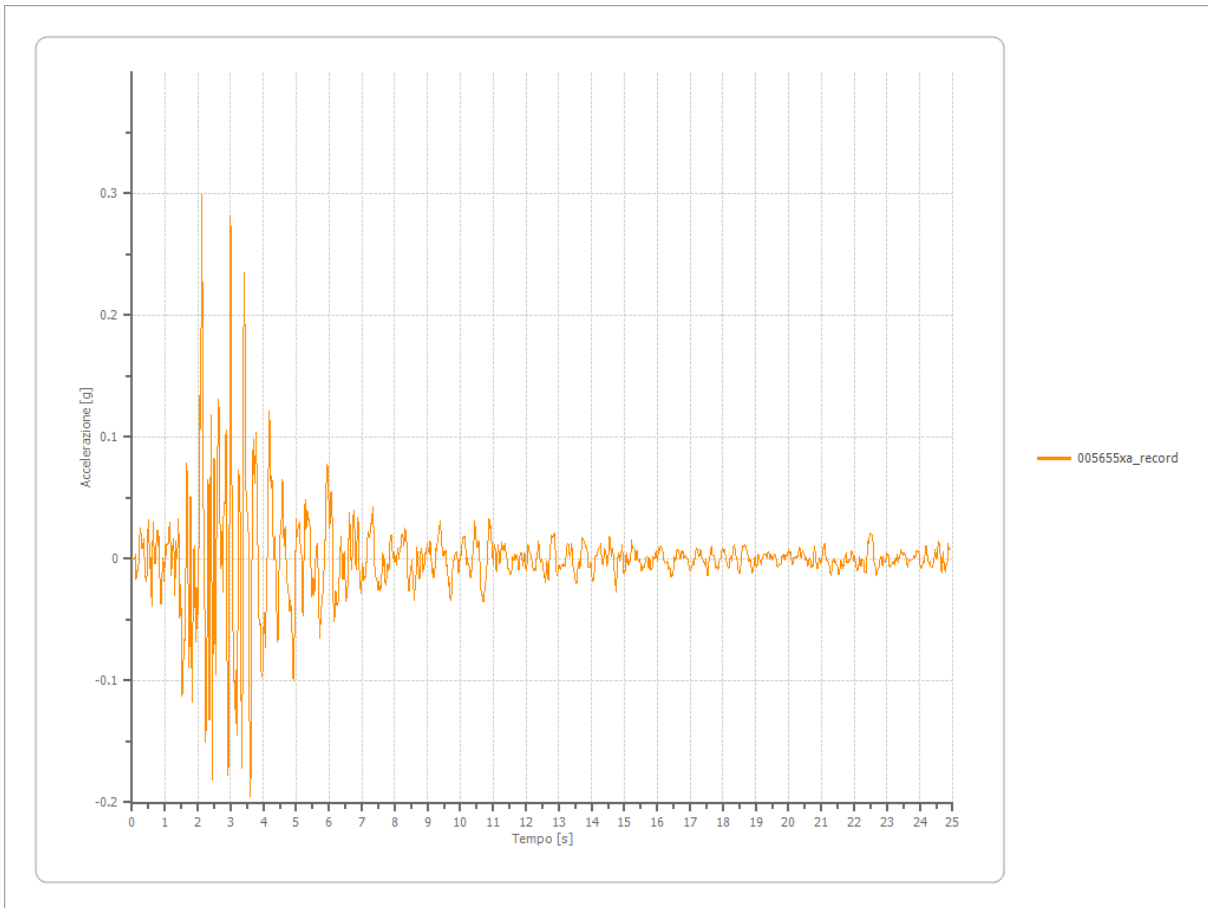
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

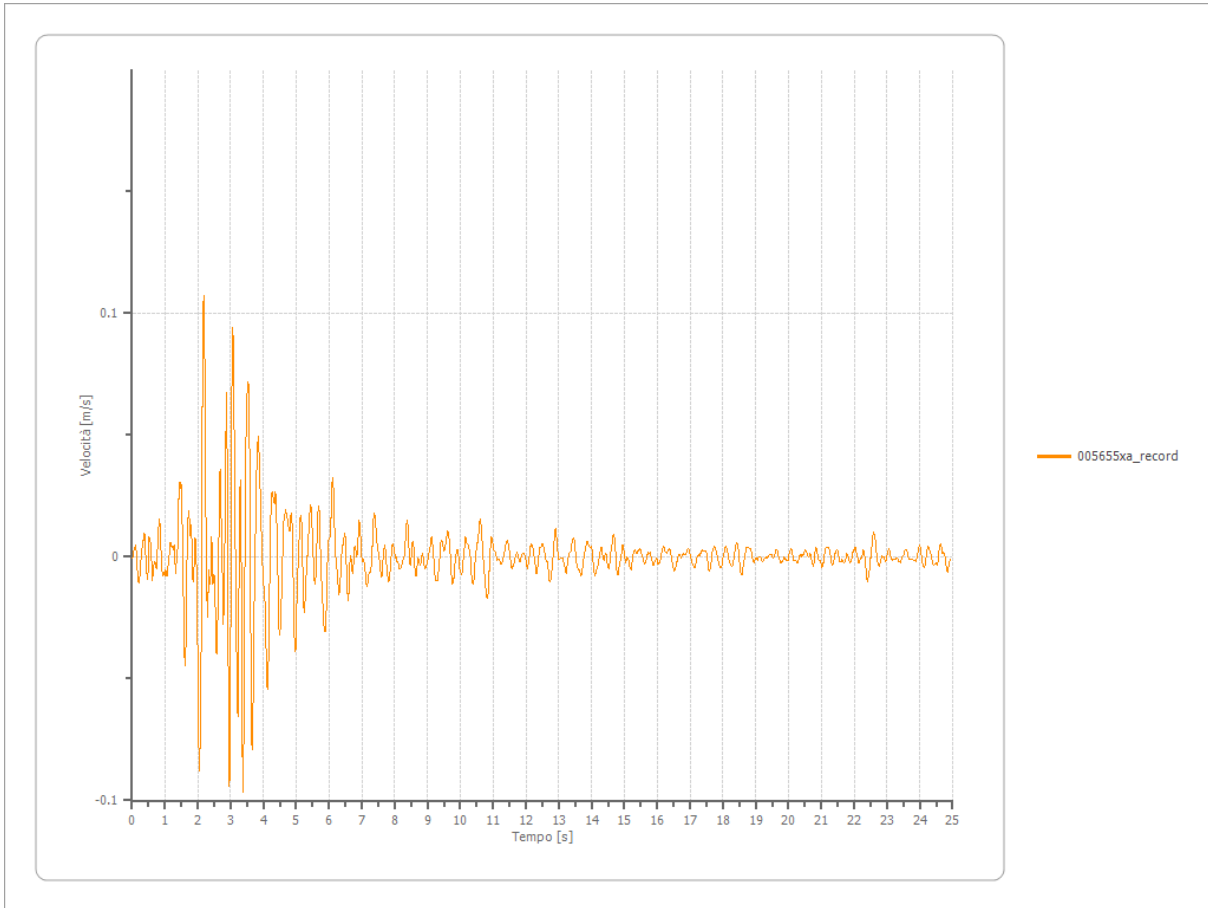
Strato	1 Affiorante
Pga	0.299 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	1.646
Accelerazione massima	0.299 [g]
Periodo accelerazione massima	2.120 [s]



Velocità

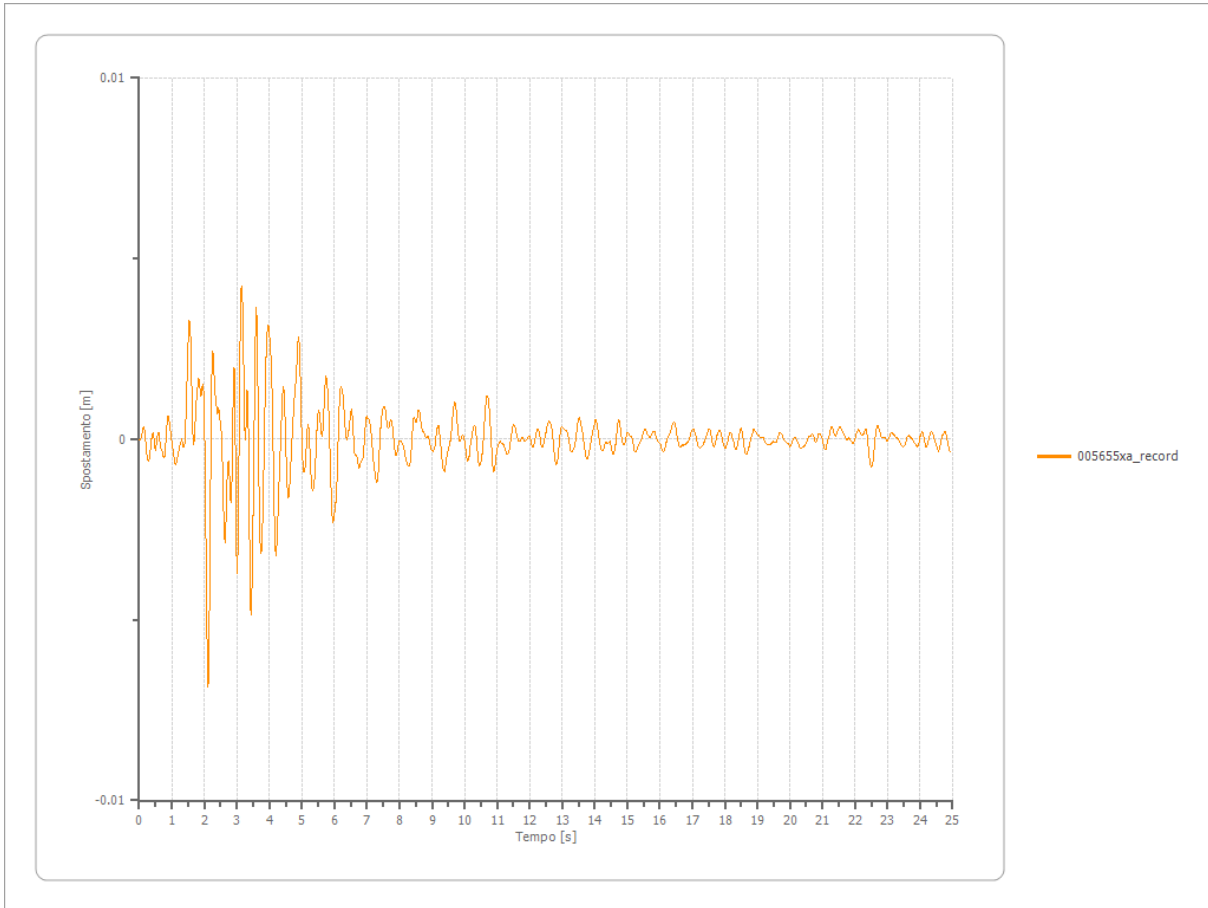
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.107 [m/s]
2.180 [s]



Spostamento

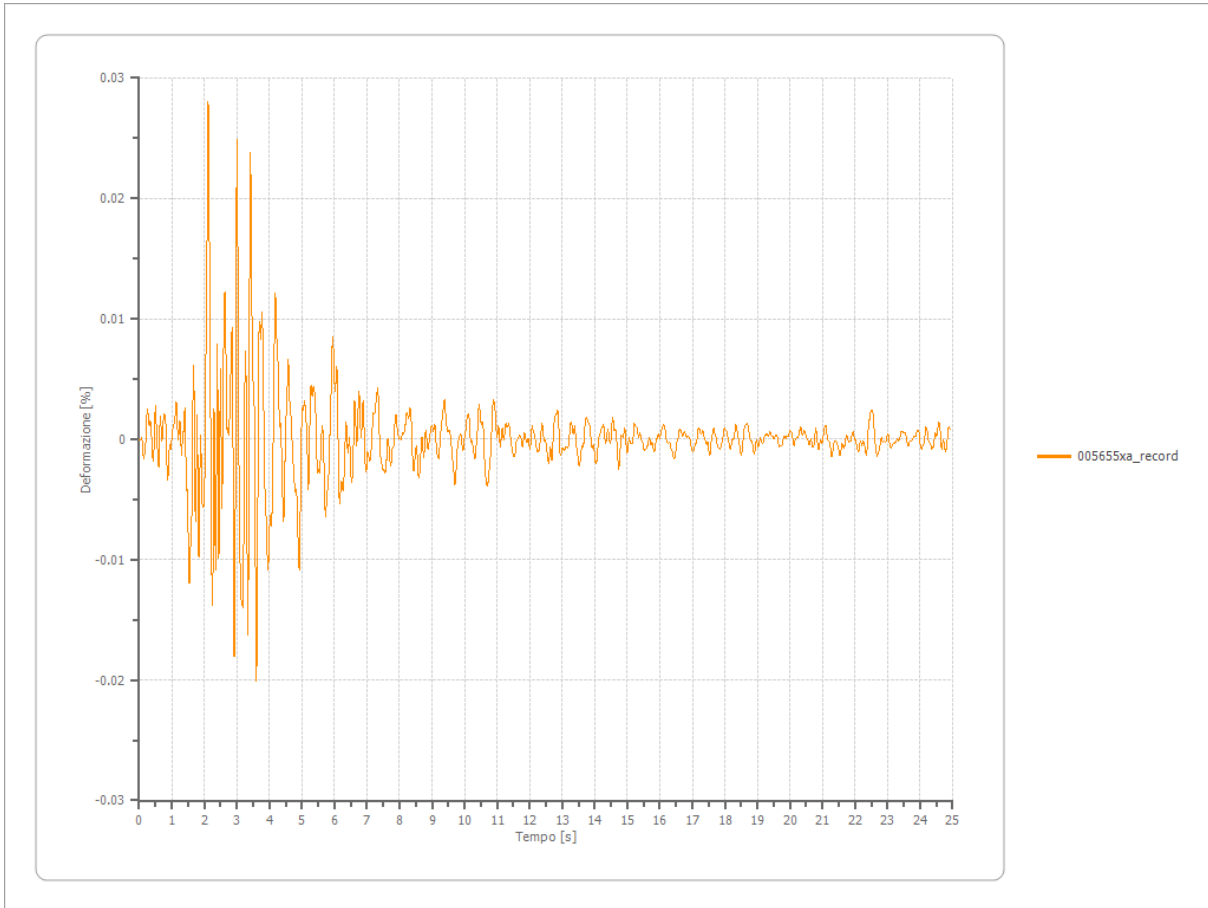
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.007 [m]
Periodo spostamento massimo	2.120 [s]



Deformazione

Numero di strati

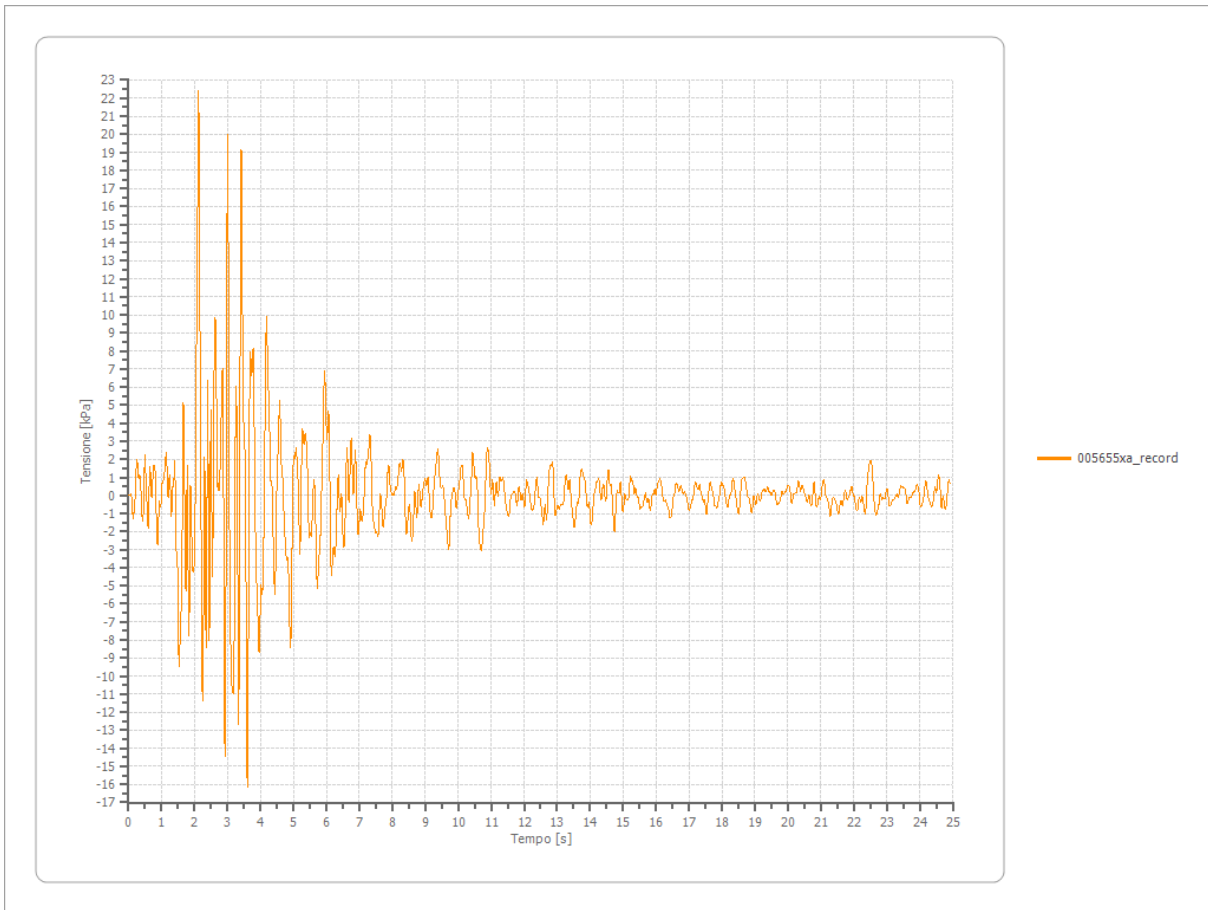
3



Tensione

Numero di strati

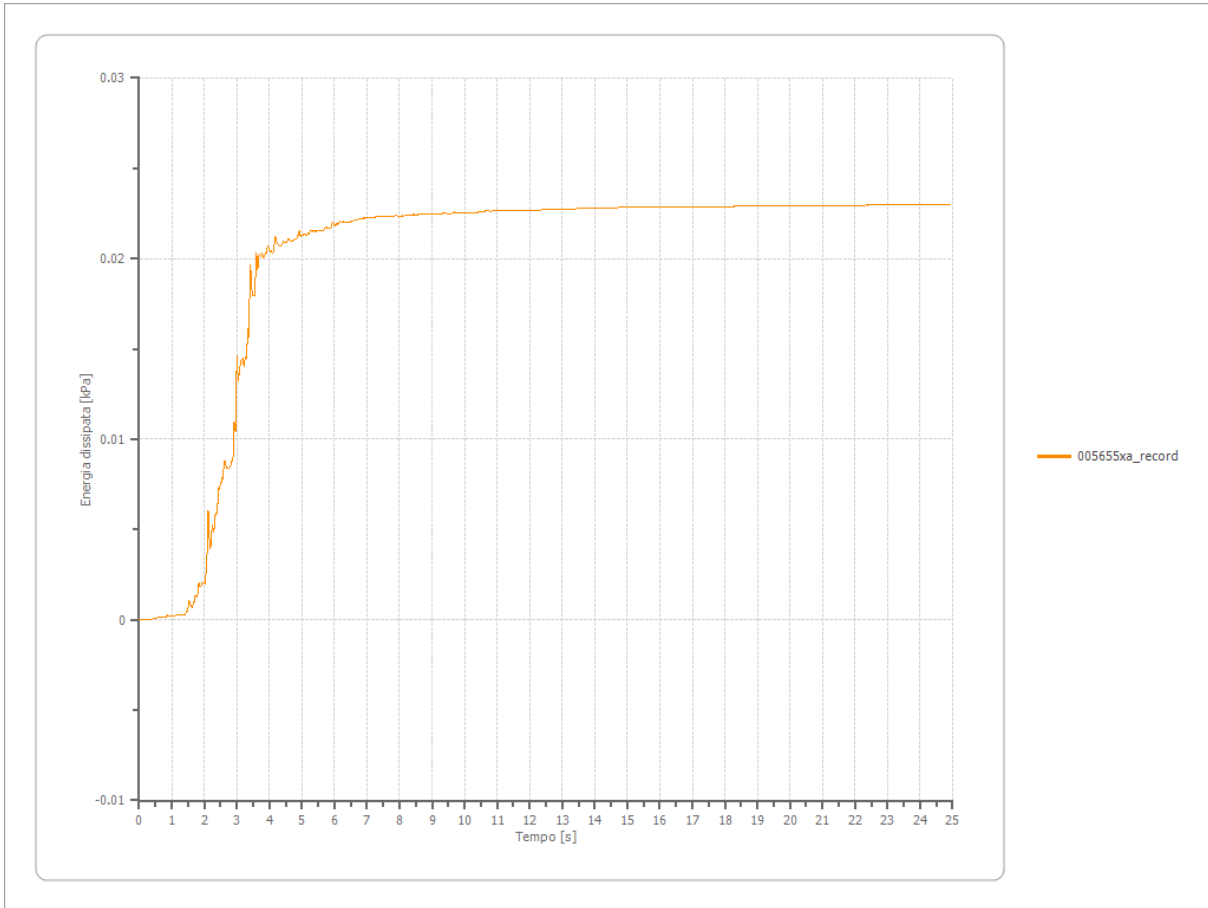
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



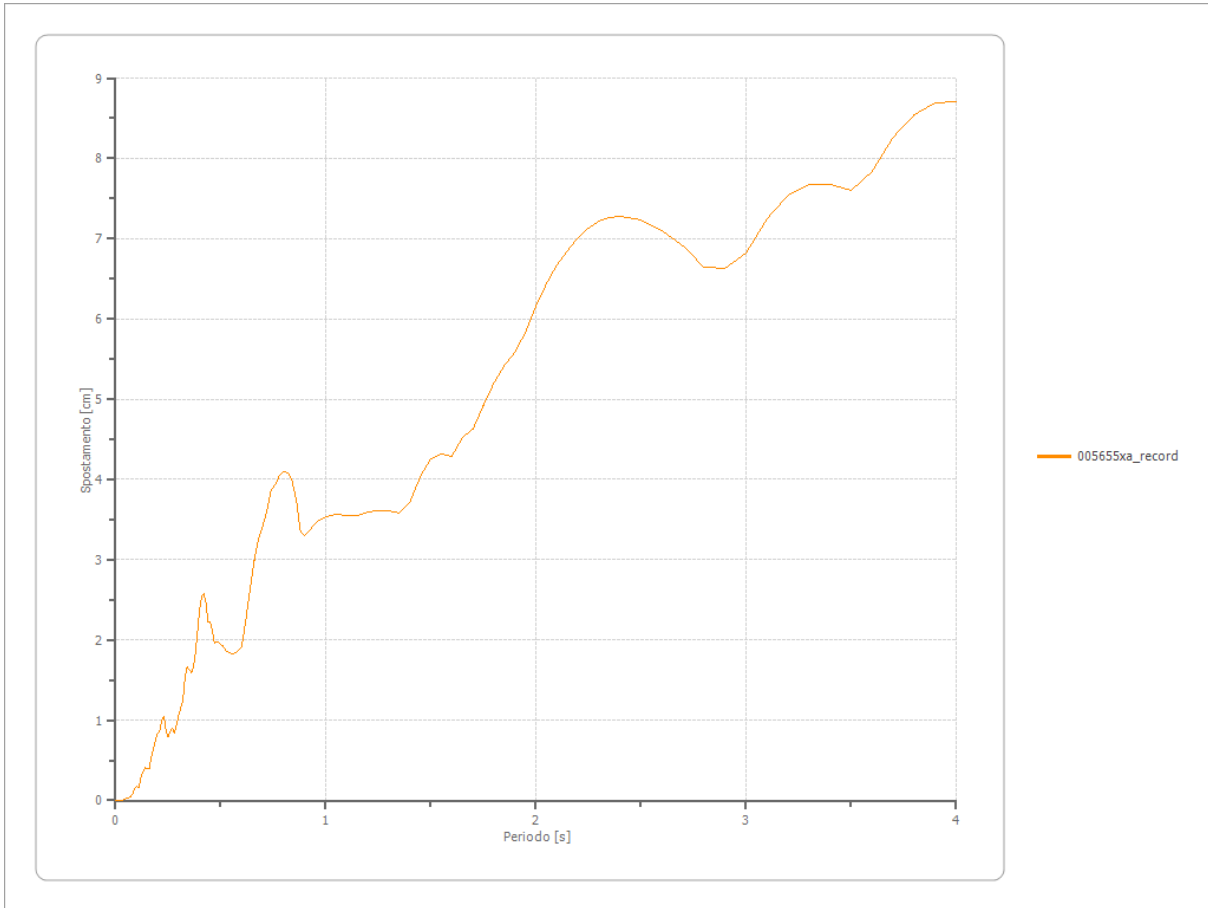
Trasformata di Fourier

Strato 1 Affiorante
 Numero di campioni del filtro a media mobile 1

Spettri

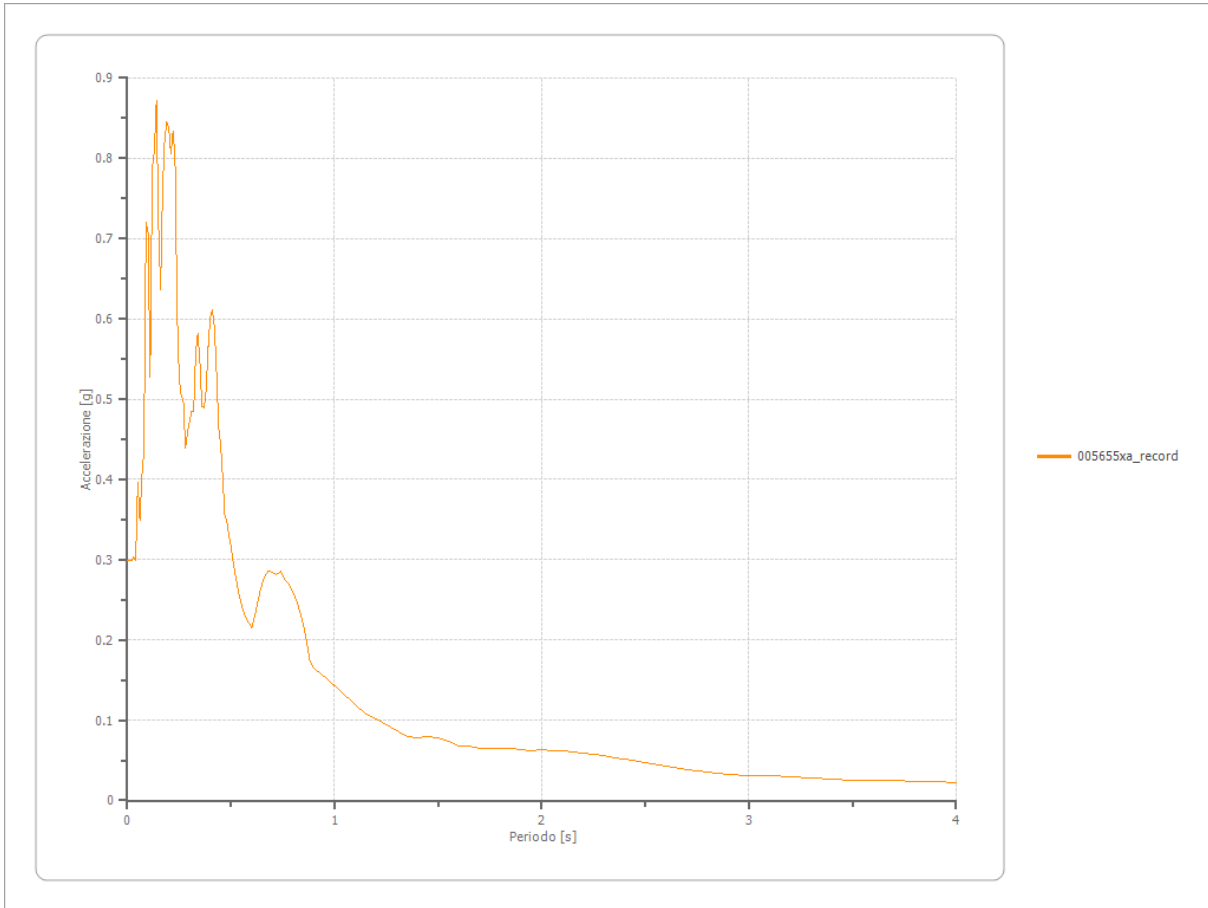
Spostamento

Spostamento massimo 8.707 [cm]
 Periodo massimo spostamento 4.000 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	0.873 [g]
Periodo accelerazione massima	0.140 [s]



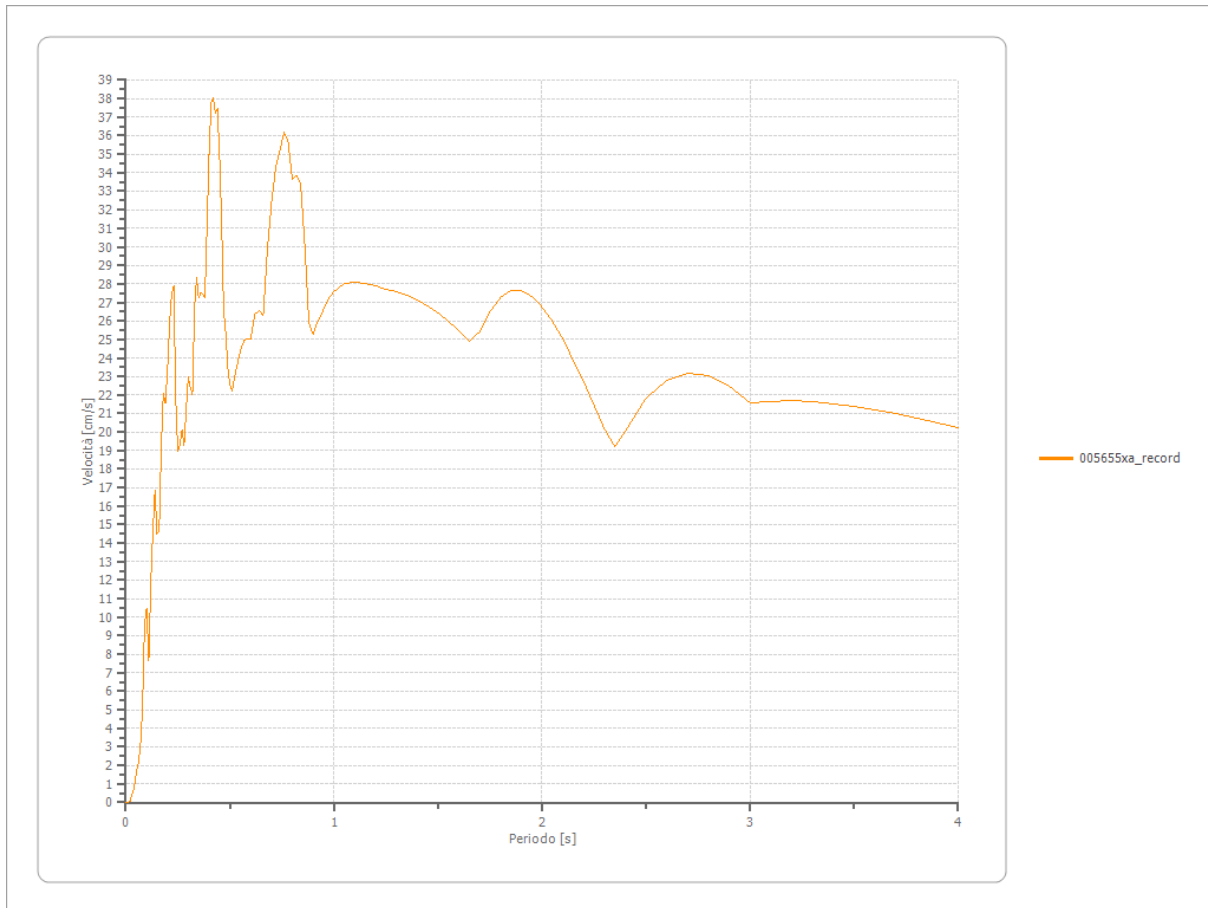
Velocità

Velocità massima

0.873 [cm/s]

Periodo massima velocità

0.420 [s]



Fattori di amplificazione ICMS 2008

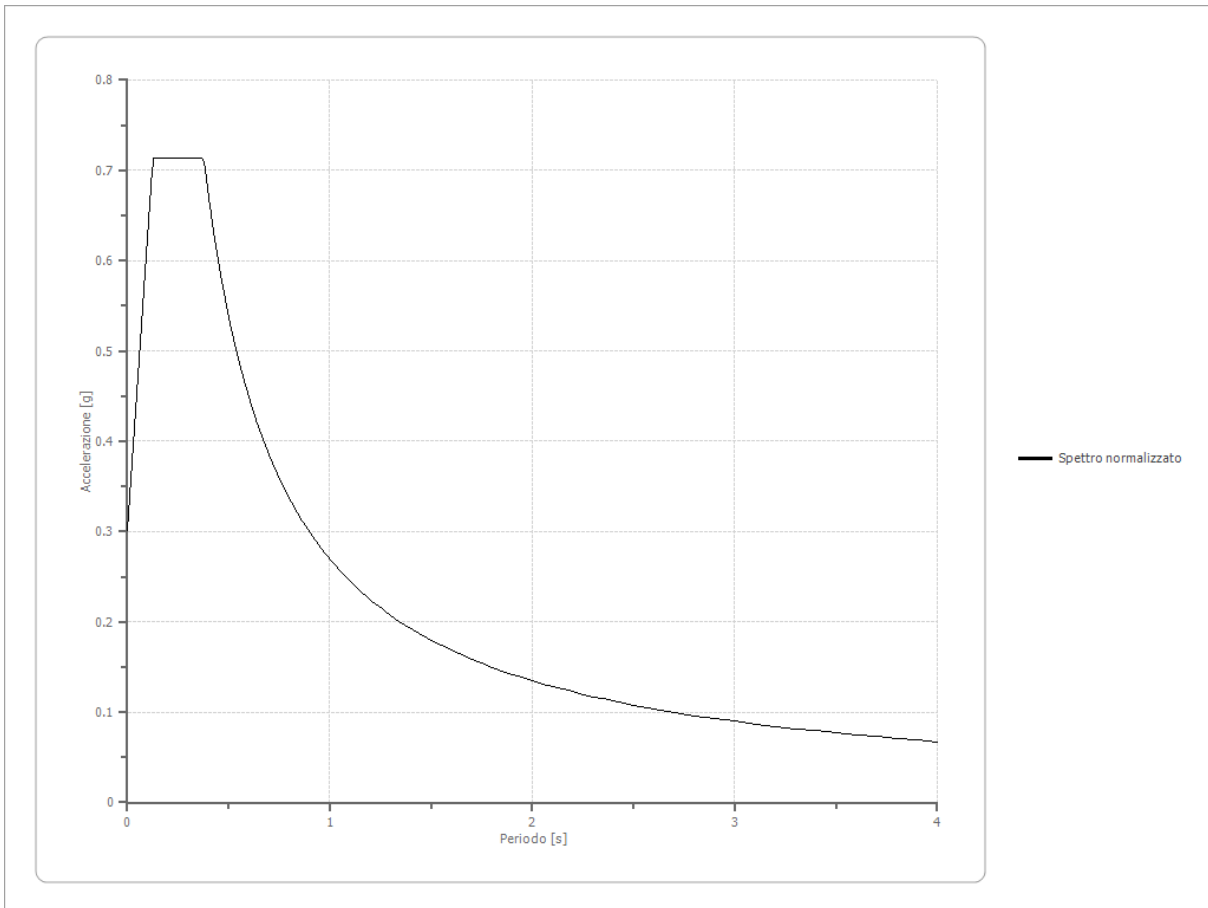
Tai	0.220 [s]
Tvi	1.350 [s]
Tao	0.340 [s]
Tvo	0.370 [s]
Sami	4.237 [m/s ²]
Svmi	0.236 [m/s]
Samo	7.001 [m/s ²]
Svmo	0.421 [m/s]
Fa	1.652 [-]
Fv	1.784 [-]
TB	0.126 [s]
TC	0.377 [s]
TD	2.328 [s]
SA(0)	0.301 [g]
SA(TB)	0.714 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.064	0.127	0.200	1.971
0.500	1.000	0.112	0.173	0.500	1.543
0.500	1.500	0.229	0.320	0.333	1.400

Spettro normalizzato di risposta elastico

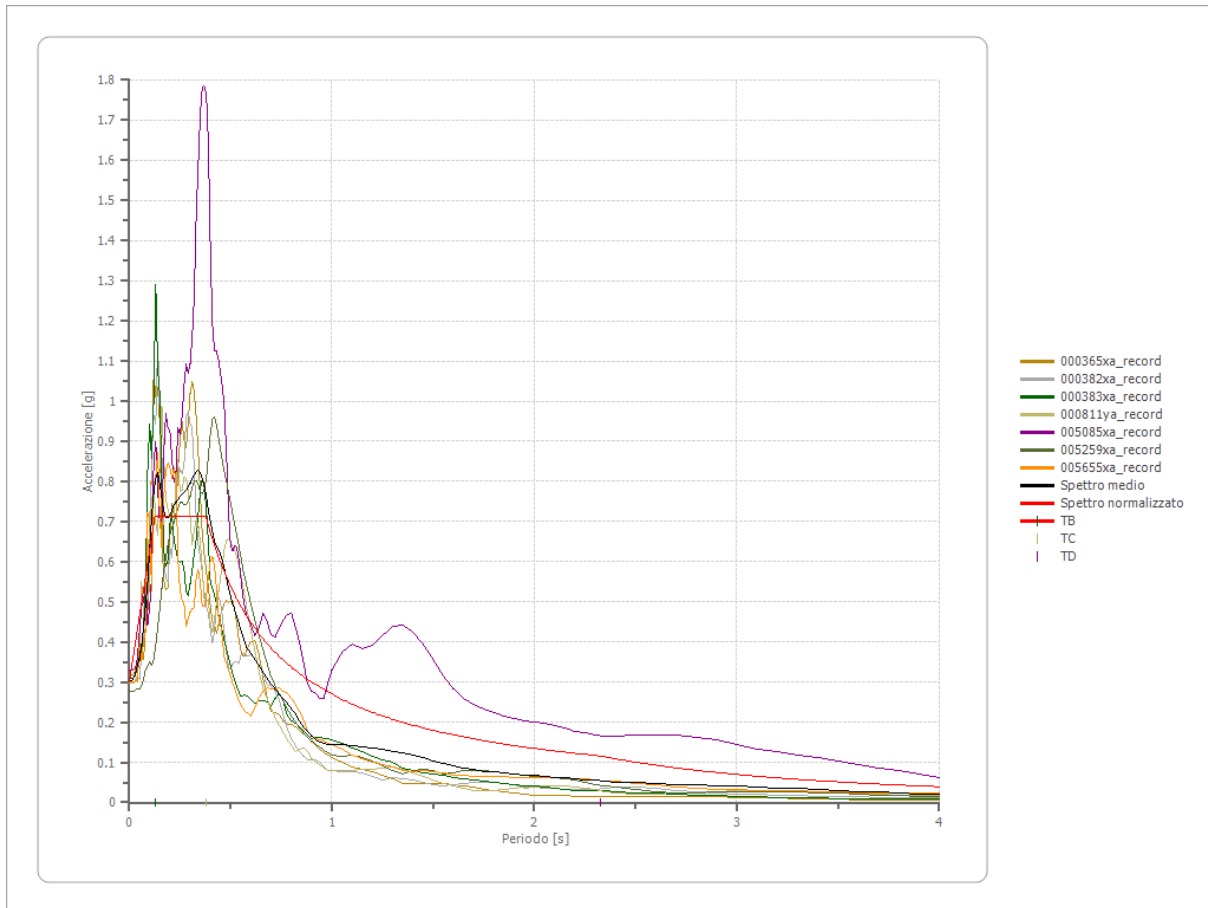
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3007	0.26	0.7137	0.52	0.5181	0.98	0.2749	2.25	0.1197
0.01	0.3335	0.27	0.7137	0.53	0.5083	1.00	0.2694	2.30	0.1171
0.02	0.3664	0.28	0.7137	0.54	0.4989	1.05	0.2566	2.35	0.1146
0.03	0.3992	0.29	0.7137	0.55	0.4898	1.10	0.2449	2.40	0.1122
0.04	0.4320	0.30	0.7137	0.56	0.4811	1.15	0.2343	2.50	0.1078
0.05	0.4648	0.31	0.7137	0.57	0.4726	1.20	0.2245	2.60	0.1036
0.06	0.4976	0.32	0.7137	0.58	0.4645	1.25	0.2155	2.70	0.0998
0.07	0.5305	0.33	0.7137	0.60	0.4490	1.30	0.2072	2.80	0.0962
0.08	0.5633	0.34	0.7137	0.62	0.4345	1.35	0.1996	2.90	0.0929
0.09	0.5961	0.35	0.7137	0.64	0.4209	1.40	0.1924	3.00	0.0898
0.10	0.6289	0.36	0.7137	0.66	0.4082	1.45	0.1858	3.10	0.0869
0.11	0.6618	0.37	0.7137	0.68	0.3962	1.50	0.1796	3.20	0.0842
0.12	0.6946	0.38	0.7089	0.70	0.3848	1.55	0.1738	3.30	0.0816
0.13	0.7137	0.39	0.6908	0.72	0.3742	1.60	0.1684	3.40	0.0792
0.14	0.7137	0.40	0.6735	0.74	0.3640	1.65	0.1633	3.50	0.0770
0.15	0.7137	0.41	0.6571	0.76	0.3545	1.70	0.1585	3.60	0.0748
0.16	0.7137	0.42	0.6414	0.78	0.3454	1.75	0.1539	3.70	0.0728
0.17	0.7137	0.43	0.6265	0.80	0.3367	1.80	0.1497	3.80	0.0709
0.18	0.7137	0.44	0.6123	0.82	0.3285	1.85	0.1456	3.90	0.0691
0.19	0.7137	0.45	0.5987	0.84	0.3207	1.90	0.1418	4.00	0.0673
0.20	0.7137	0.46	0.5856	0.86	0.3132	1.95	0.1382		
0.21	0.7137	0.47	0.5732	0.88	0.3061	2.00	0.1347		
0.22	0.7137	0.48	0.5612	0.90	0.2993	2.05	0.1314		
0.23	0.7137	0.49	0.5498	0.92	0.2928	2.10	0.1283		
0.24	0.7137	0.50	0.5388	0.94	0.2866	2.15	0.1253		
0.25	0.7137	0.51	0.5282	0.96	0.2806	2.20	0.1225		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.301	2.373	--	0.126	0.377	2.328	0.301	0.714	1.652

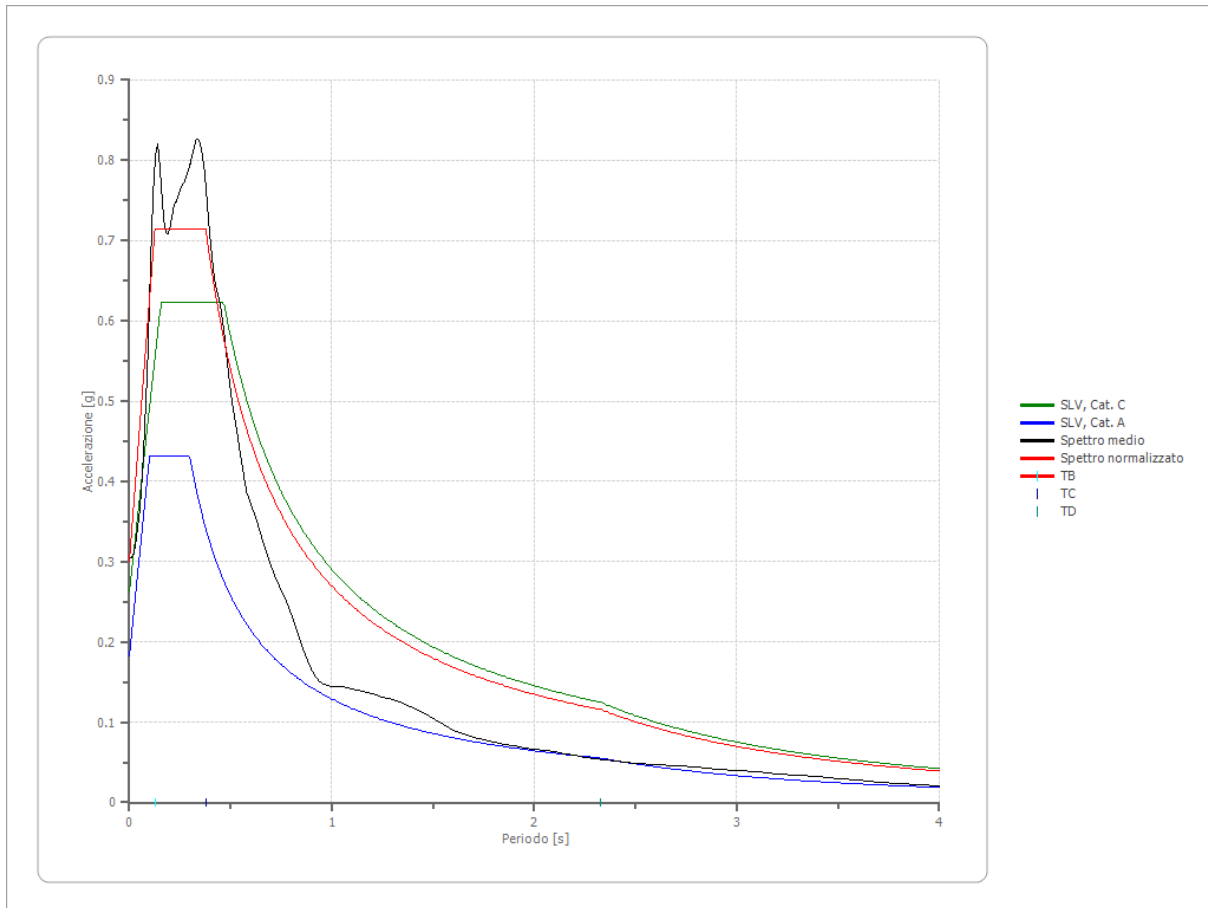
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

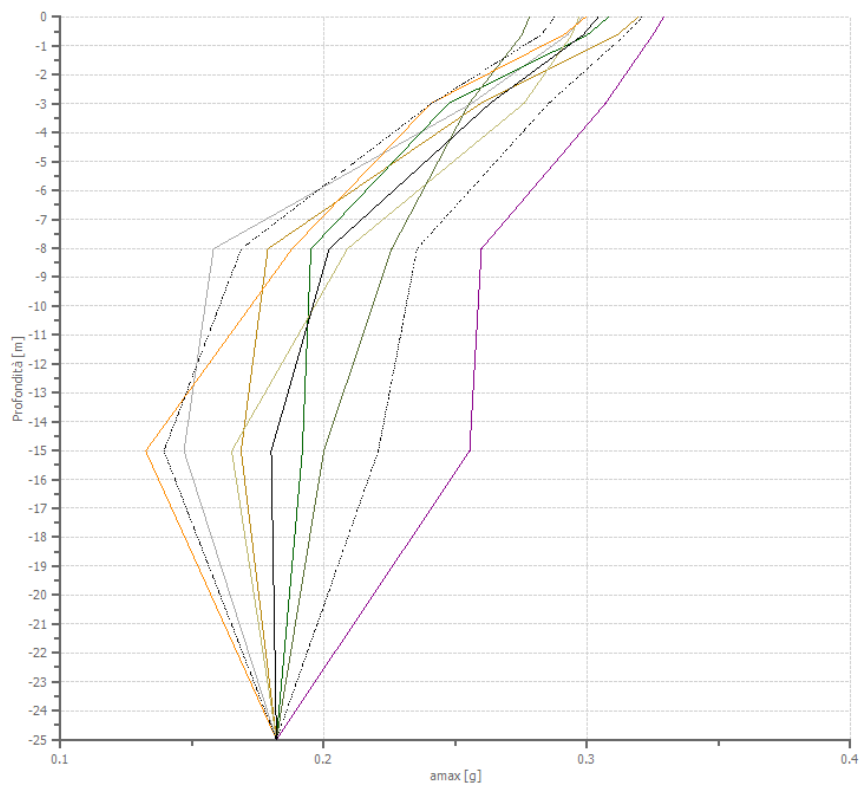
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia dia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	0.6 [m]	3.0 [m]	8.0 [m]	15.0 [m]	25.0 [m]
000365xa_re cord [g]	0.319	0.311	0.260	0.179	0.169	0.182
000382xa_re cord [g]	0.298	0.293	0.256	0.158	0.147	0.182
000383xa_re cord [g]	0.308	0.300	0.247	0.195	0.192	0.182
000811ya_re cord [g]	0.297	0.294	0.276	0.209	0.165	0.182
005085xa_re cord [g]	0.329	0.325	0.307	0.260	0.255	0.182
005259xa_re cord [g]	0.278	0.275	0.255	0.226	0.200	0.182
005655xa_re cord [g]	0.299	0.291	0.241	0.188	0.132	0.182
media [g]	0.304	0.299	0.263	0.202	0.180	0.182
Dev. St. [g]	0.017	0.016	0.022	0.033	0.041	0.000



- 000365xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 005085xa_record
- 005259xa_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- amax media - dev.st

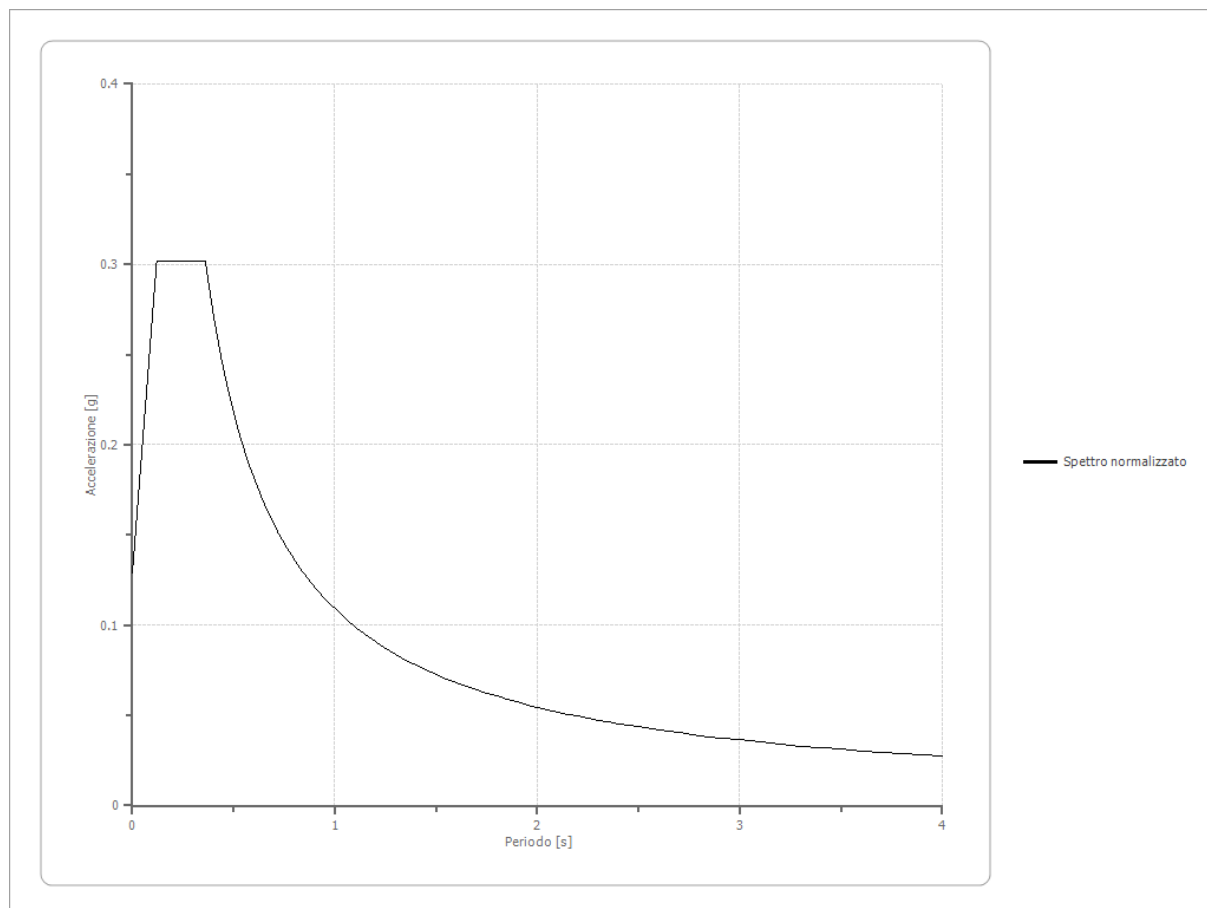
Indice

Dati generali	.7
Terreni	.7
Idriss (1990) Rock	.7
Argille 1 (Hardin e Drnevich)	.8
Stratigrafia	.9
Elaborazione	.10
File 000365xa_record	.11
Accelerogramma importato	.11
Amplificazione	.12
Accelerazione	.13
Velocità	.14
Spostamento	.15
Deformazione	.16
Tensione	.17
Energia dissipata	.18
Trasformata di Fourier	.19
Spettri	.19
Spostamento	.19
Accelerazione	.20
Velocità	.21
File 000382xa_record	.22
Accelerogramma importato	.22
Amplificazione	.24
Accelerazione	.24
Velocità	.25
Spostamento	.26
Deformazione	.27
Tensione	.28
Energia dissipata	.29
Trasformata di Fourier	.30
Spettri	.30
Spostamento	.30
Accelerazione	.31
Velocità	.32
File 000383xa_record	.33
Accelerogramma importato	.33
Amplificazione	.35
Accelerazione	.35
Velocità	.36
Spostamento	.37
Deformazione	.38
Tensione	.39
Energia dissipata	.40
Trasformata di Fourier	.41
Spettri	.41
Spostamento	.41
Accelerazione	.42
Velocità	.43
File 000811ya_record	.44

Accelerogramma importato	.44
Amplificazione	.46
Accelerazione	.46
Velocità	.47
Spostamento	.48
Deformazione	.49
Tensione	.50
Energia dissipata	.51
Trasformata di Fourier	.52
Spettri	.52
Spostamento	.52
Accelerazione	.53
Velocità	.54
File 005085xa_record	.55
Accelerogramma importato	.55
Amplificazione	.57
Accelerazione	.57
Velocità	.58
Spostamento	.59
Deformazione	.60
Tensione	.61
Energia dissipata	.62
Trasformata di Fourier	.63
Spettri	.63
Spostamento	.63
Accelerazione	.64
Velocità	.65
File 005259xa_record	.66
Accelerogramma importato	.66
Amplificazione	.68
Accelerazione	.68
Velocità	.69
Spostamento	.70
Deformazione	.71
Tensione	.72
Energia dissipata	.73
Trasformata di Fourier	.74
Spettri	.74
Spostamento	.74
Accelerazione	.75
Velocità	.76
File 005655xa_record	.77
Accelerogramma importato	.77
Amplificazione	.79
Accelerazione	.79
Velocità	.80
Spostamento	.81
Deformazione	.82
Tensione	.83
Energia dissipata	.84
Trasformata di Fourier	.85

Spettri	.85
Spostamento	.85
Accelerazione	.86
Velocità	.87
Fattori di amplificazione ICMS 2008	.88
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.88
Spettro normalizzato di risposta elastico	.89
Confronto tra gli spettri	.90
Confronto spettro normativa	.91
Profilo a max	.92
Indice	.94

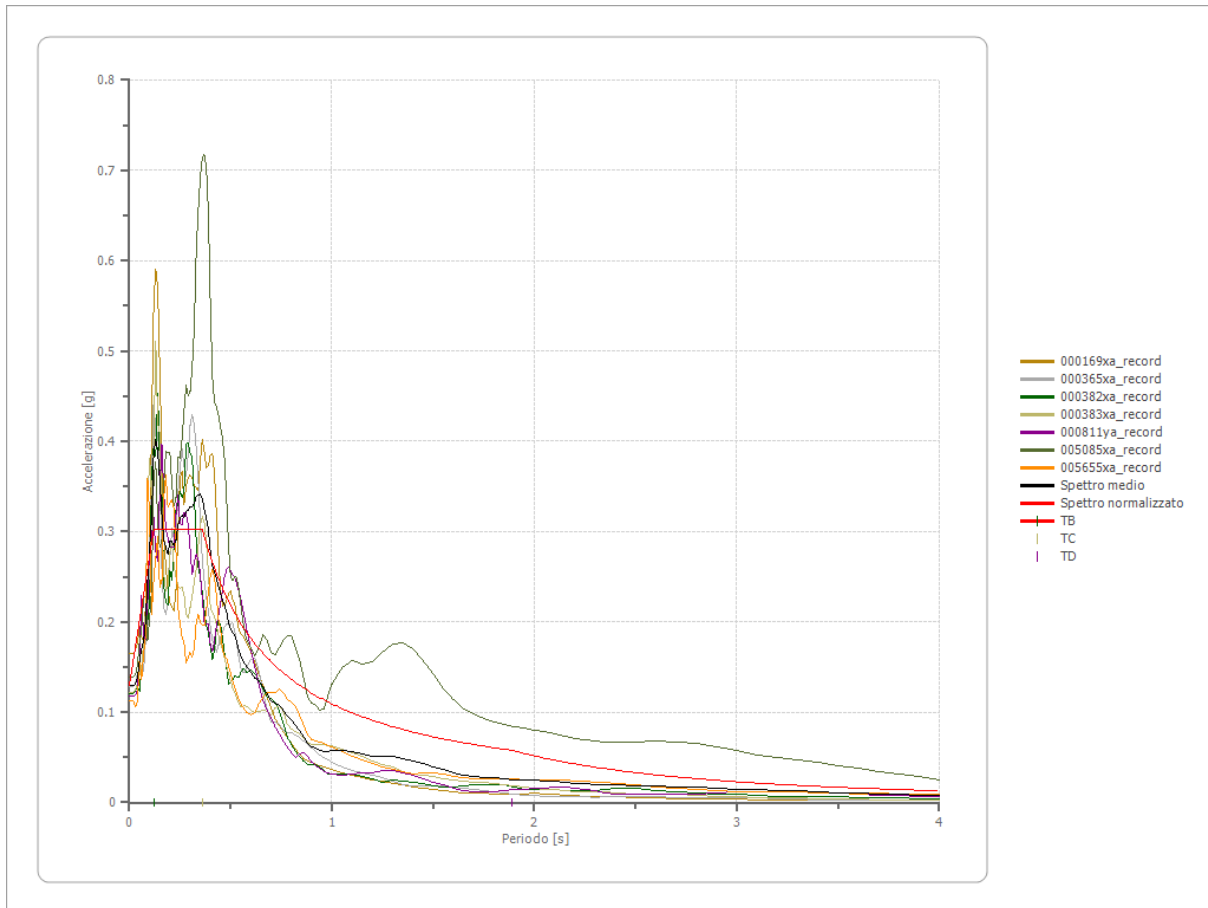
Spettro normalizzato di risposta elastico RSLIII SLD MASW N. 1



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.129	2.342	--	0.120	0.361	1.892	0.129	0.302	1.767

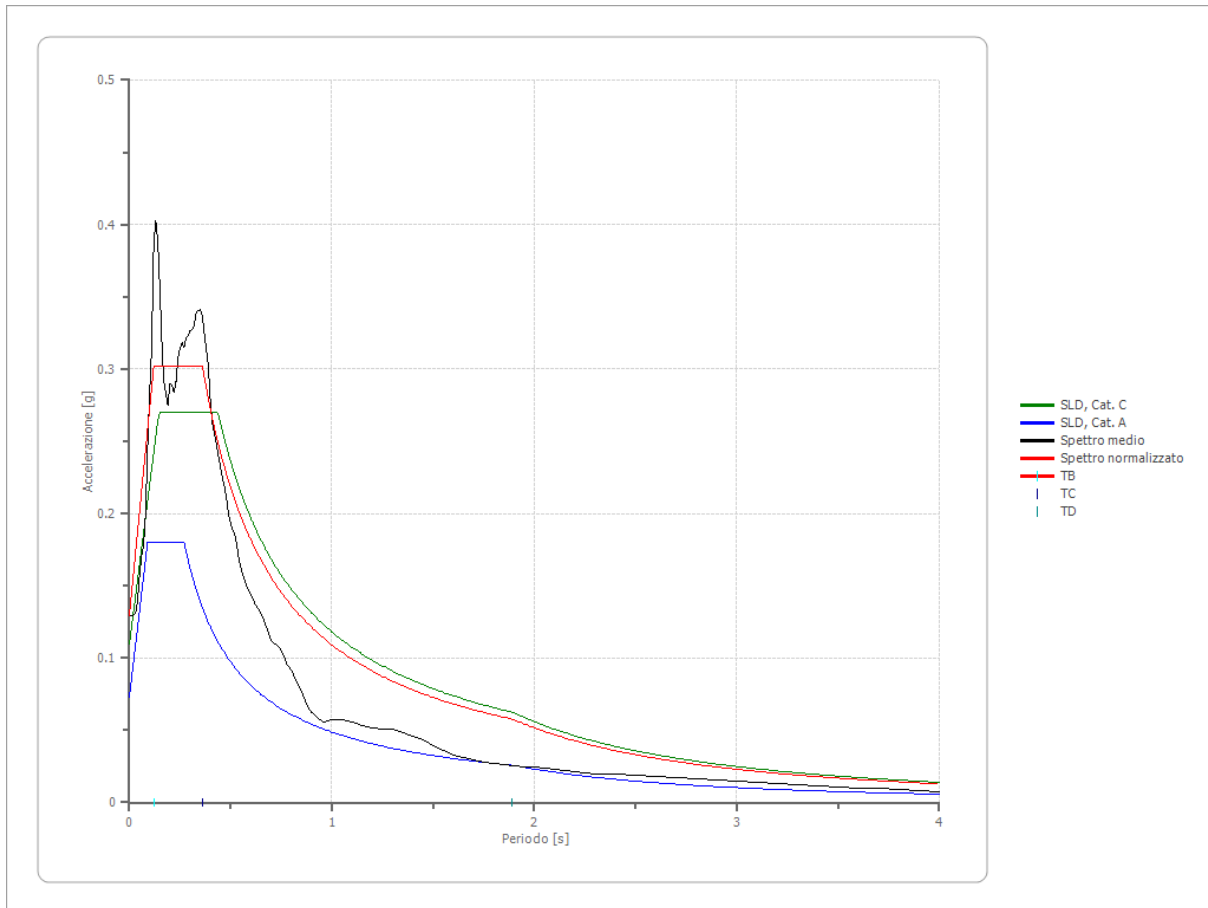
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

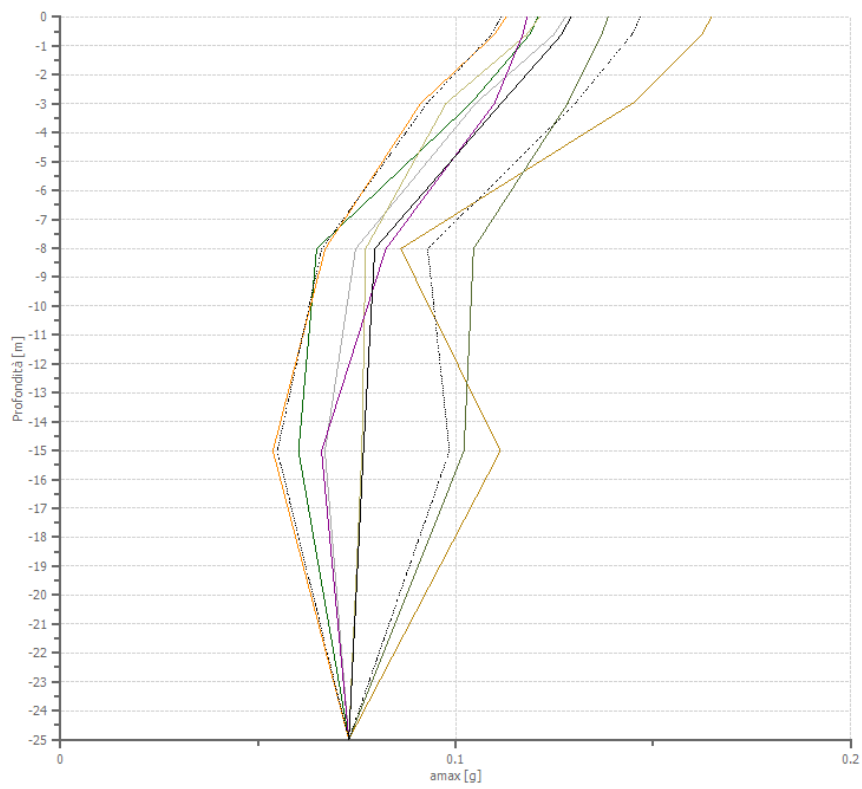
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	0.6 [m]	3.0 [m]	8.0 [m]	15.0 [m]	25.0 [m]
000169xa_re cord [g]	0.165	0.162	0.145	0.086	0.111	0.073
000365xa_re cord [g]	0.128	0.125	0.105	0.075	0.067	0.073
000382xa_re cord [g]	0.121	0.119	0.104	0.065	0.060	0.073
000383xa_re cord [g]	0.121	0.118	0.098	0.077	0.076	0.073
000811ya_re cord [g]	0.118	0.117	0.110	0.082	0.066	0.073
005085xa_re cord [g]	0.139	0.137	0.128	0.105	0.102	0.073
005655xa_re cord [g]	0.113	0.110	0.091	0.067	0.054	0.073
media [g]	0.129	0.127	0.112	0.080	0.077	0.073
Dev. St. [g]	0.018	0.018	0.019	0.013	0.022	0.000

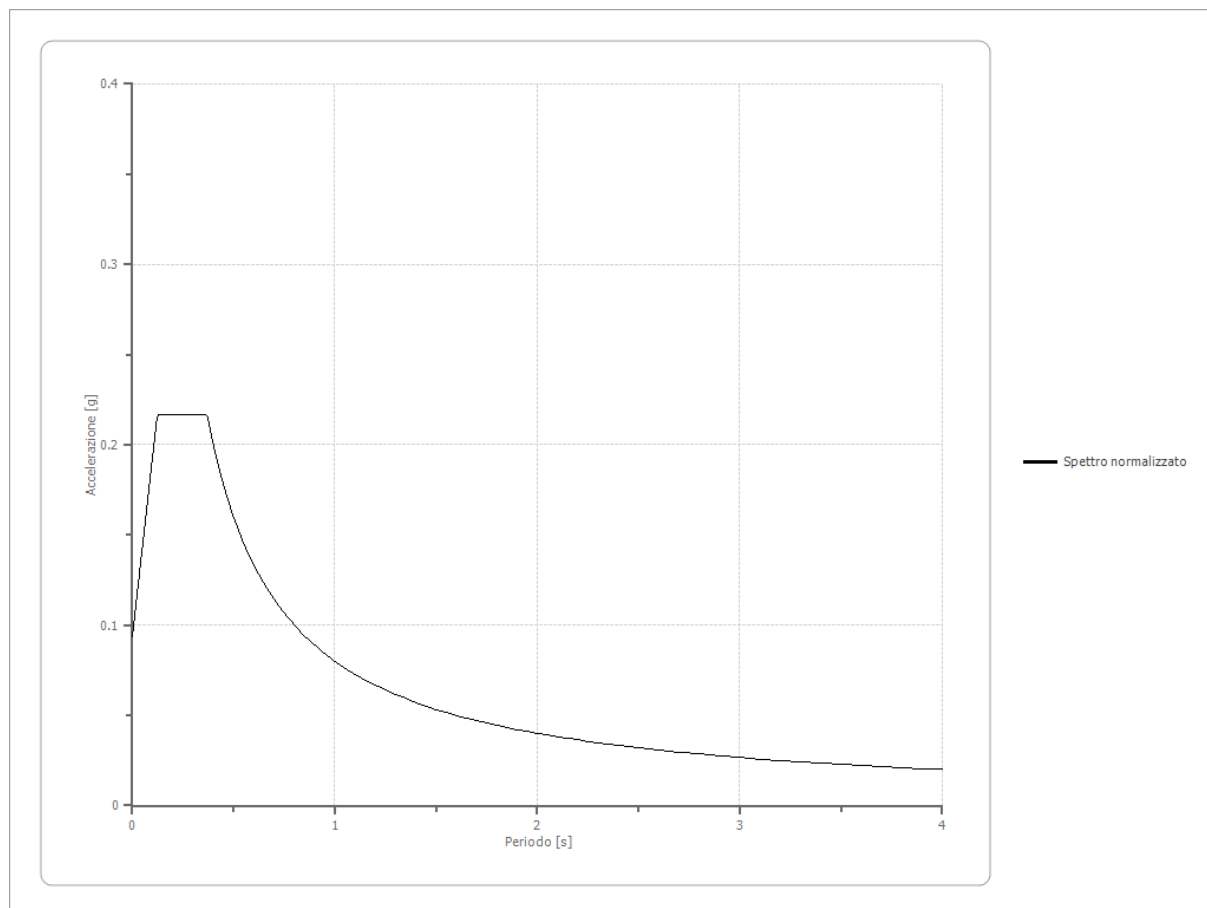


- 000169xa_record
- 000365xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 005085xa_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- amax media - dev.st

Indice

Spettro normalizzato di risposta elastico	.7
Confronto tra gli spettri	.7
Confronto spettro normativa	.8
Profilo a max	.9
Indice	.11

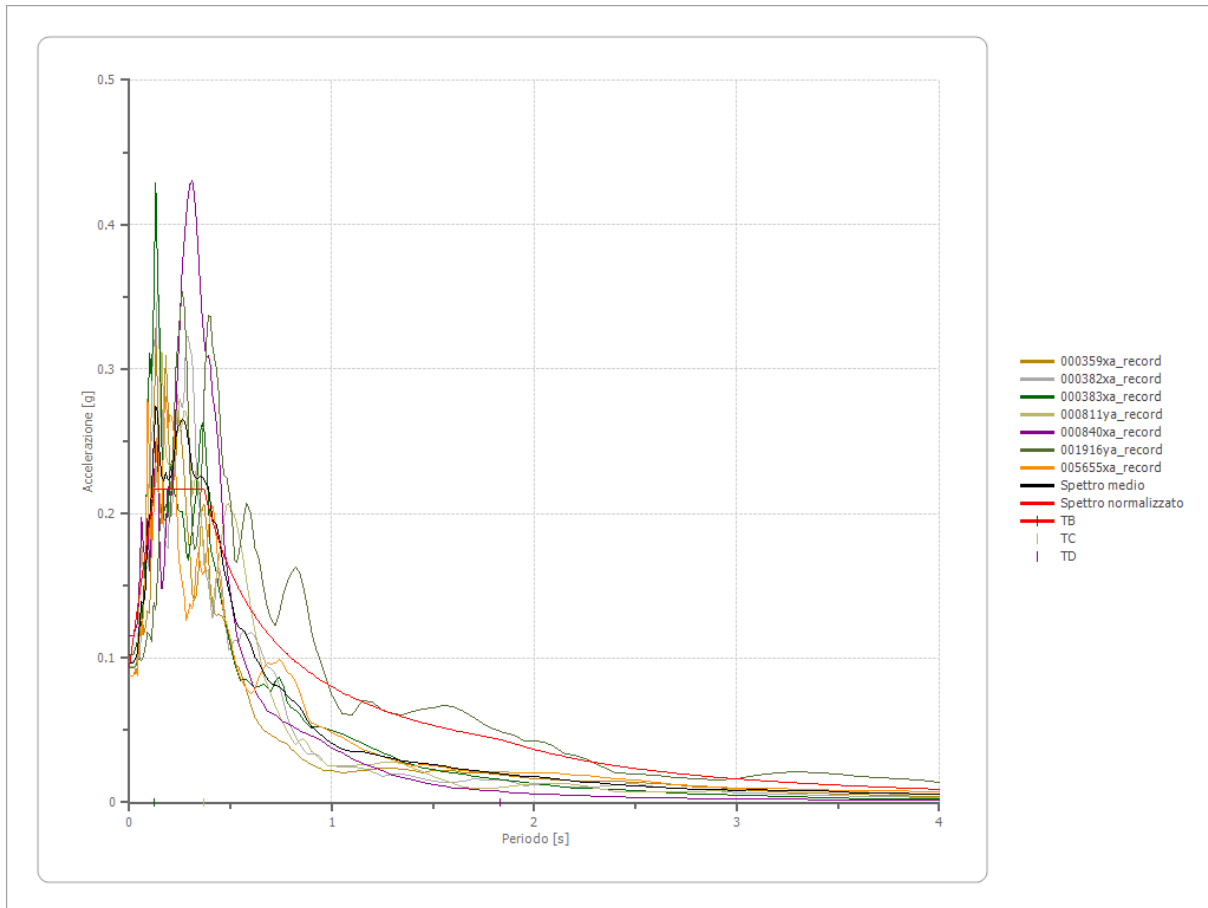
Spettro normalizzato di risposta elastico RSLIII SLO MASW N. 1



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.094	2.309	--	0.123	0.369	1.832	0.094	0.217	1.619

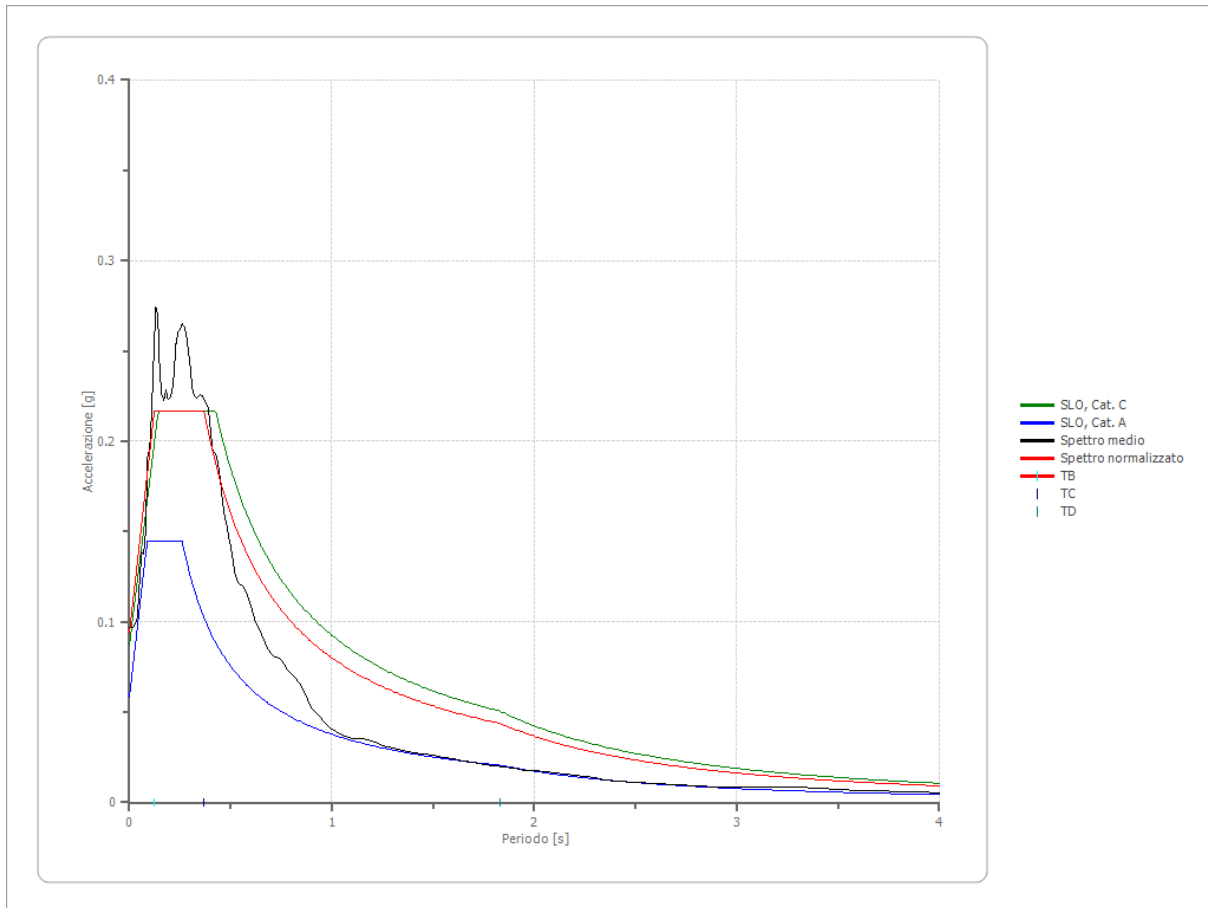
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

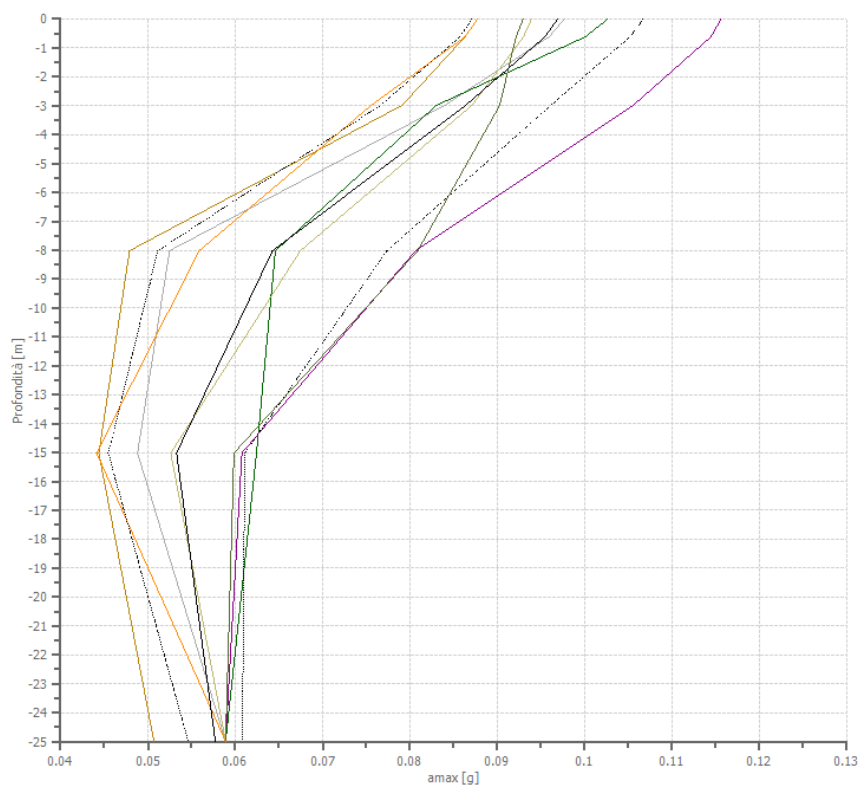
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	0.6 [m]	3.0 [m]	8.0 [m]	15.0 [m]	25.0 [m]
000359xa_re cord [g]	0.088	0.086	0.079	0.048	0.044	0.051
000382xa_re cord [g]	0.098	0.096	0.084	0.052	0.049	0.059
000383xa_re cord [g]	0.103	0.100	0.083	0.065	0.062	0.059
000811ya_re cord [g]	0.094	0.093	0.087	0.067	0.053	0.059
000840xa_re cord [g]	0.116	0.114	0.106	0.081	0.061	0.059
001916ya_re cord [g]	0.093	0.092	0.090	0.081	0.060	0.059
005655xa_re cord [g]	0.088	0.086	0.076	0.056	0.044	0.059
media [g]	0.097	0.095	0.086	0.064	0.053	0.058
Dev. St. [g]	0.010	0.010	0.010	0.013	0.008	0.003



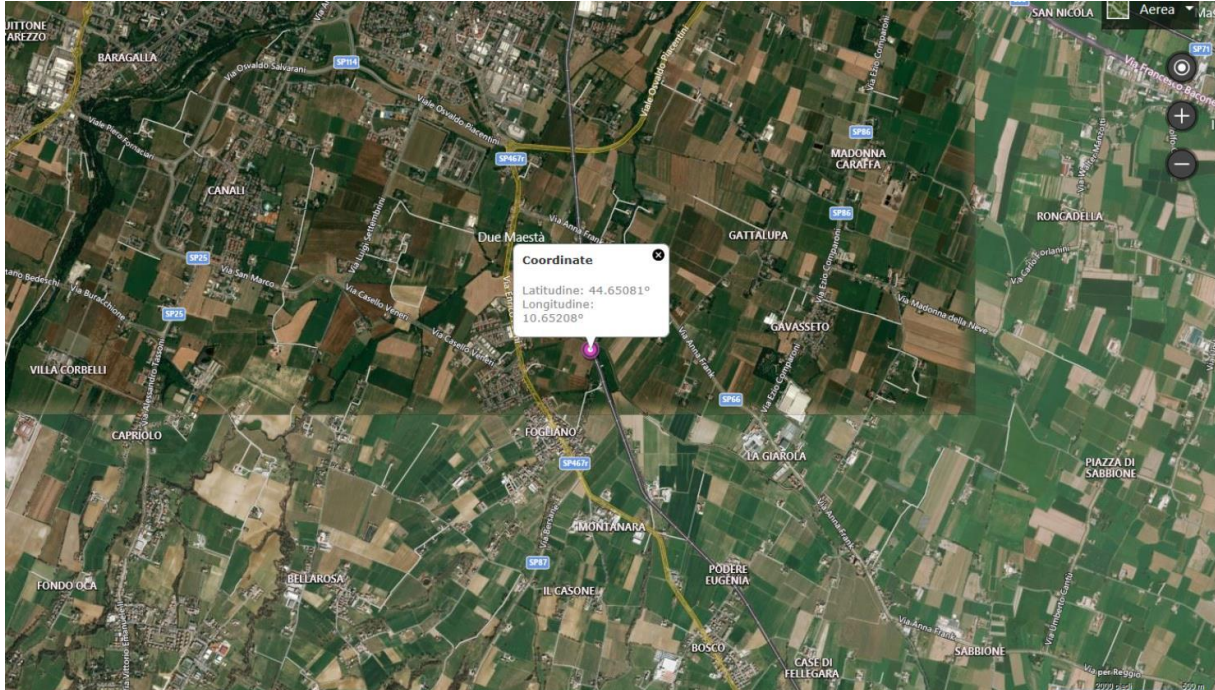
- 000359xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 000840xa_record
- 001916ya_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- .-.- amax media - dev.st

Indice

Spettro normalizzato di risposta elastico	.7
Confronto tra gli spettri	.7
Confronto spettro normativa	.8
Profilo a max	.9
Indice	.11

Dati generali RSLIII SLV MASW N. 2

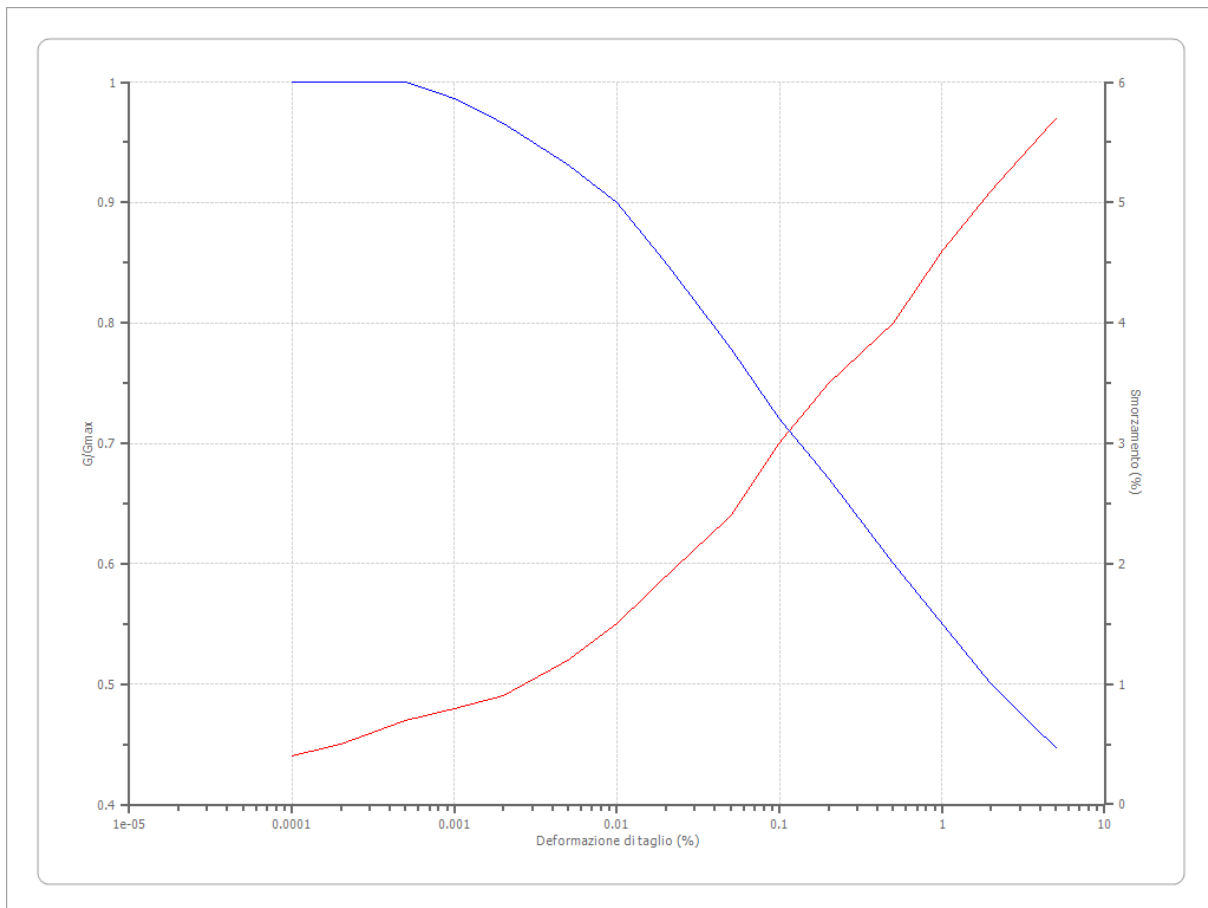
Data della prova d.C./11/2020
 Latitudine 44.65081[°]
 Longitudine 10.65208[°]



Terreni

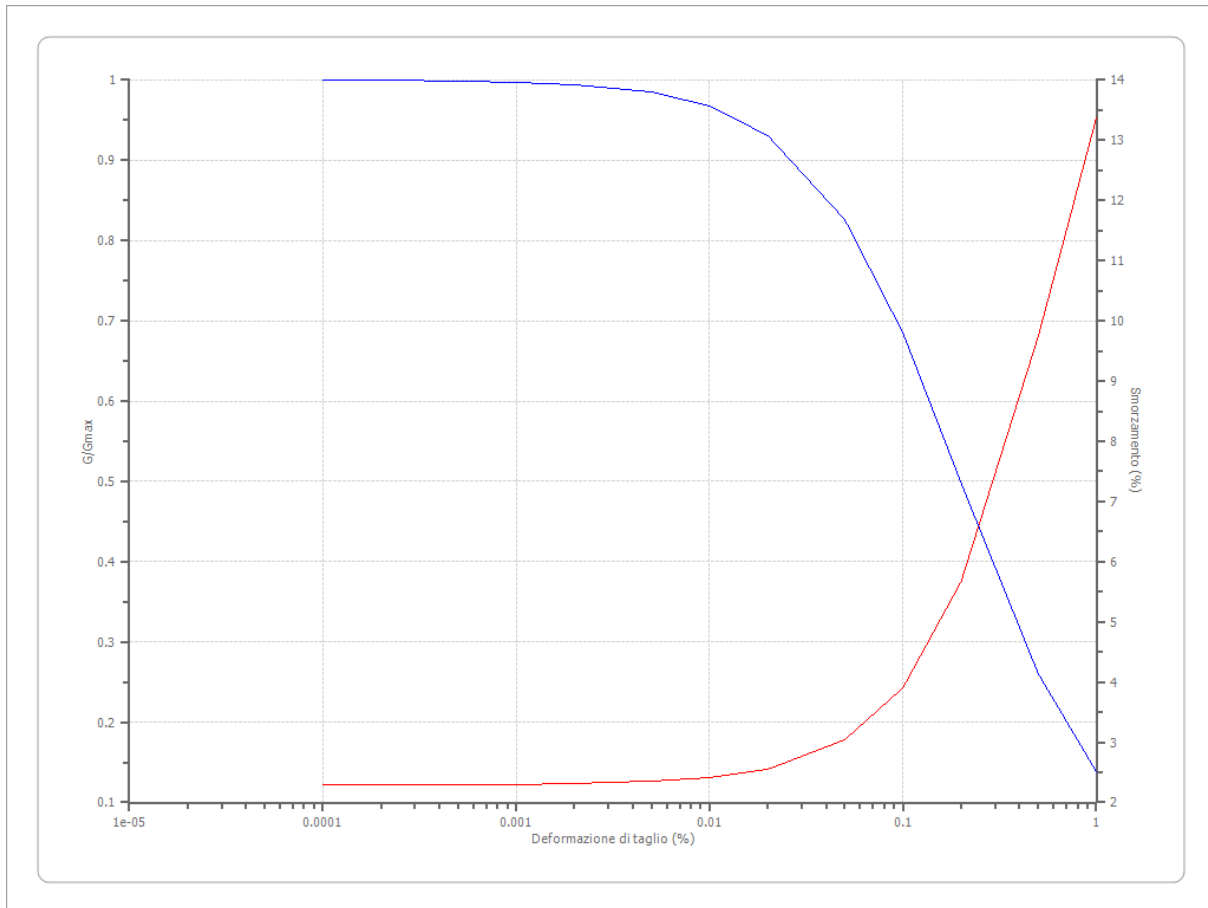
Idriss (1990) Rock

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



Argille 1 (Hardin e Drnevich)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.999814	0.0001	2.292169
0.0002	0.999592	0.0002	2.292953
0.0005	0.99885	0.0005	2.295579
0.001	0.997486	0.001	2.300422
0.002	0.99451	0.002	2.311031
0.005	0.984677	0.005	2.346566
0.010	0.967042	0.010	2.412195
0.020	0.930543	0.020	2.556218
0.050	0.826171	0.050	3.038566
0.100	0.684554	0.100	3.91201
0.200	0.497708	0.200	5.663003
0.500	0.260092	0.500	9.744892
1.000	0.138305	1.000	13.36791



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	0.5	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	9.79	--	15.0	80.0	3.8
2		0.5	2.5	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	23.49	--	16.0	120.0	27.5
3		3.0	4.0	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	69.32	--	17.0	200.0	81.5
4		7.0	6.0	Argille	0	114.68	--	18.0	250.0	169.5

				1 (Hardin e Drnevic h)						
5		13.0	11.0	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	265.15	--	19.0	370.0	328.0
6		oo	--	Idriss (1990) Rock	0	695.50	--	21.0	570.0	432.5

Strato rilevamento accelerogramma: 6 Affiorante

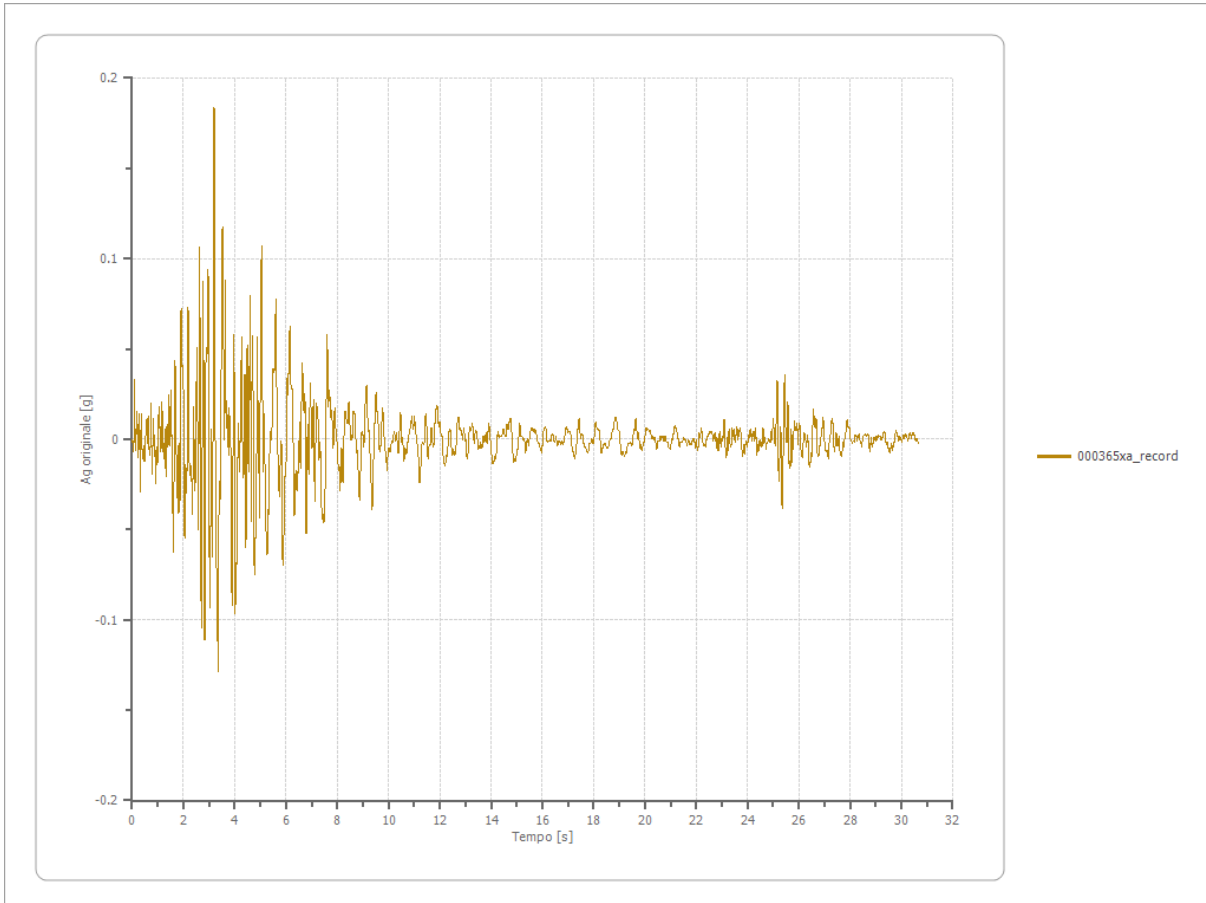
Elaborazione

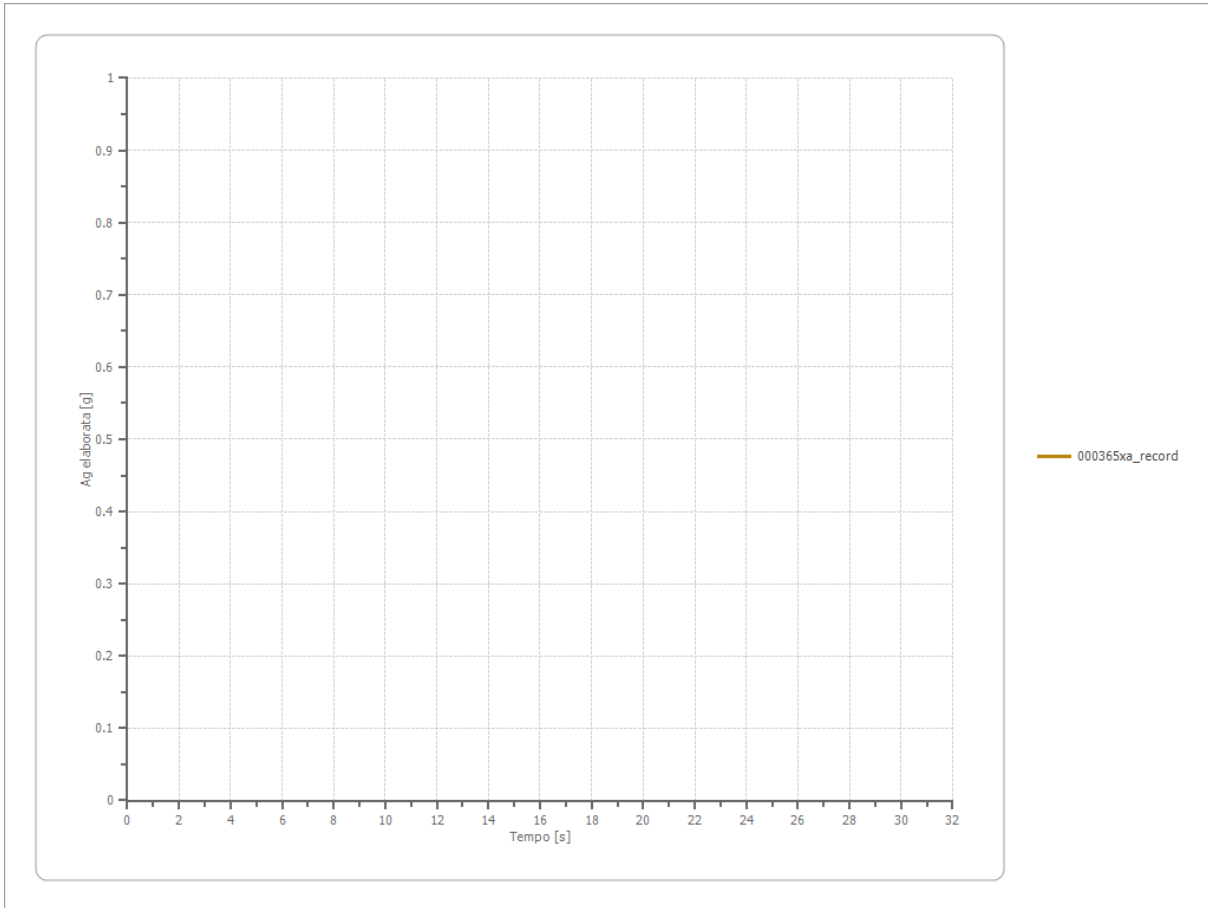
Numero di iterazioni 20
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza --

File 000365xa_record:

Accelerogramma importato

Nome del file	000365xa_record
Durata della traccia	30.670 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	3.200 [s]

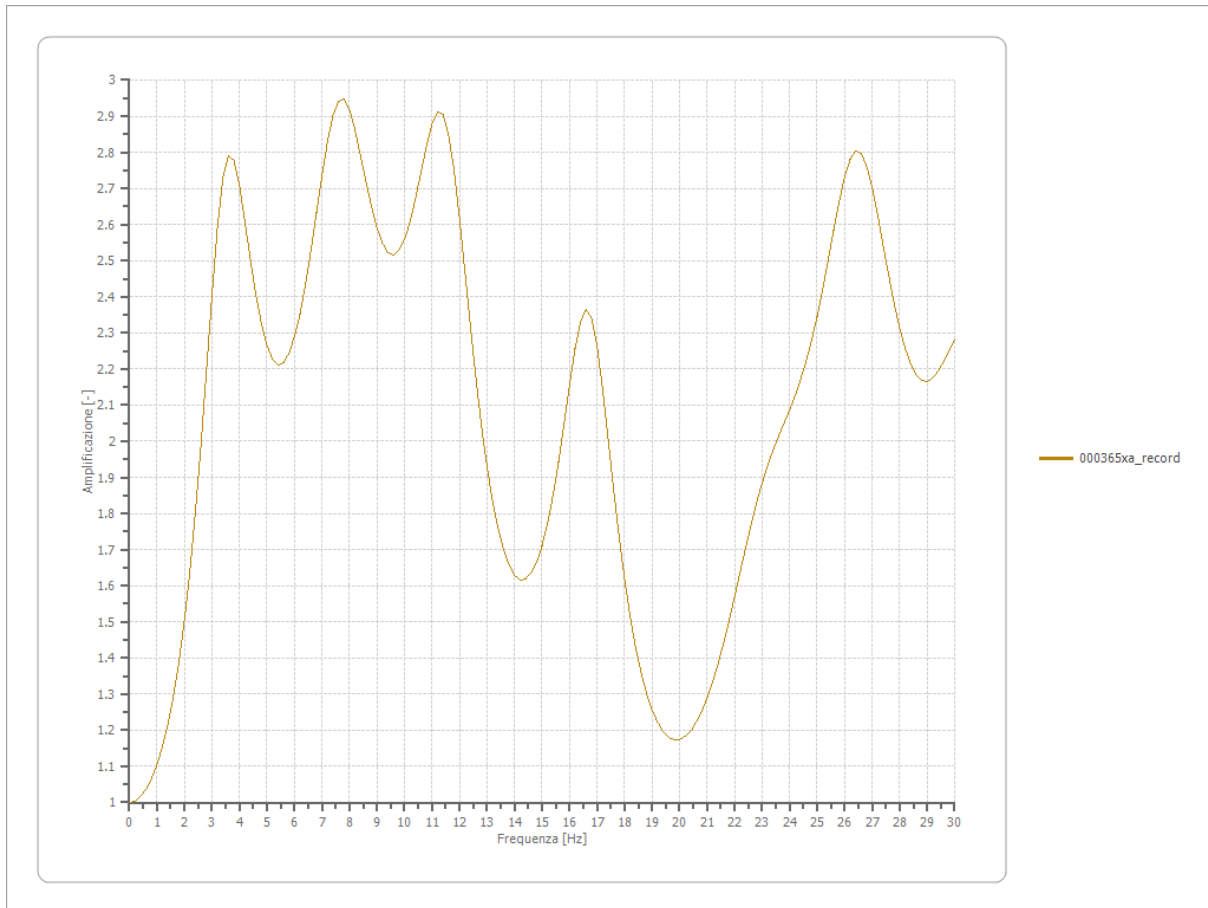




Amplificazione

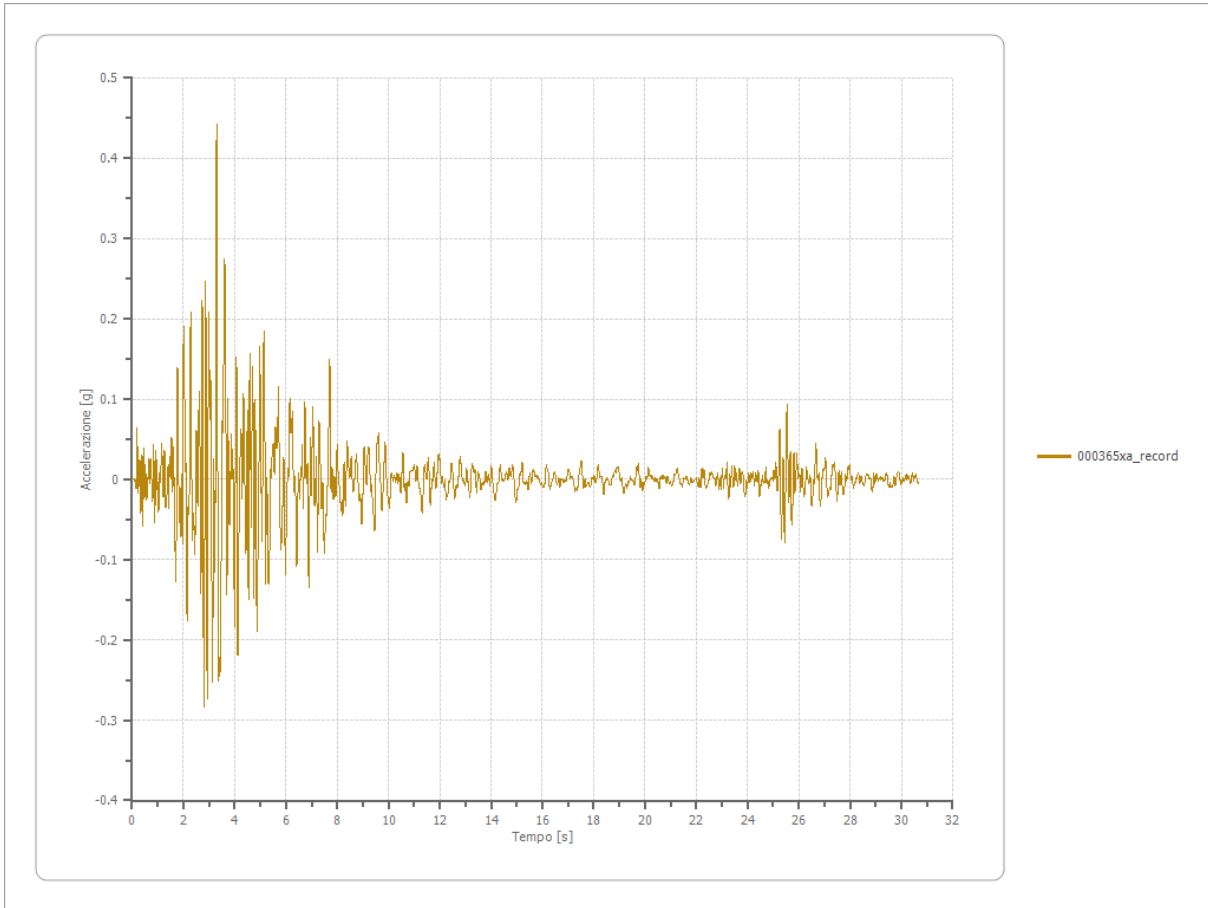
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

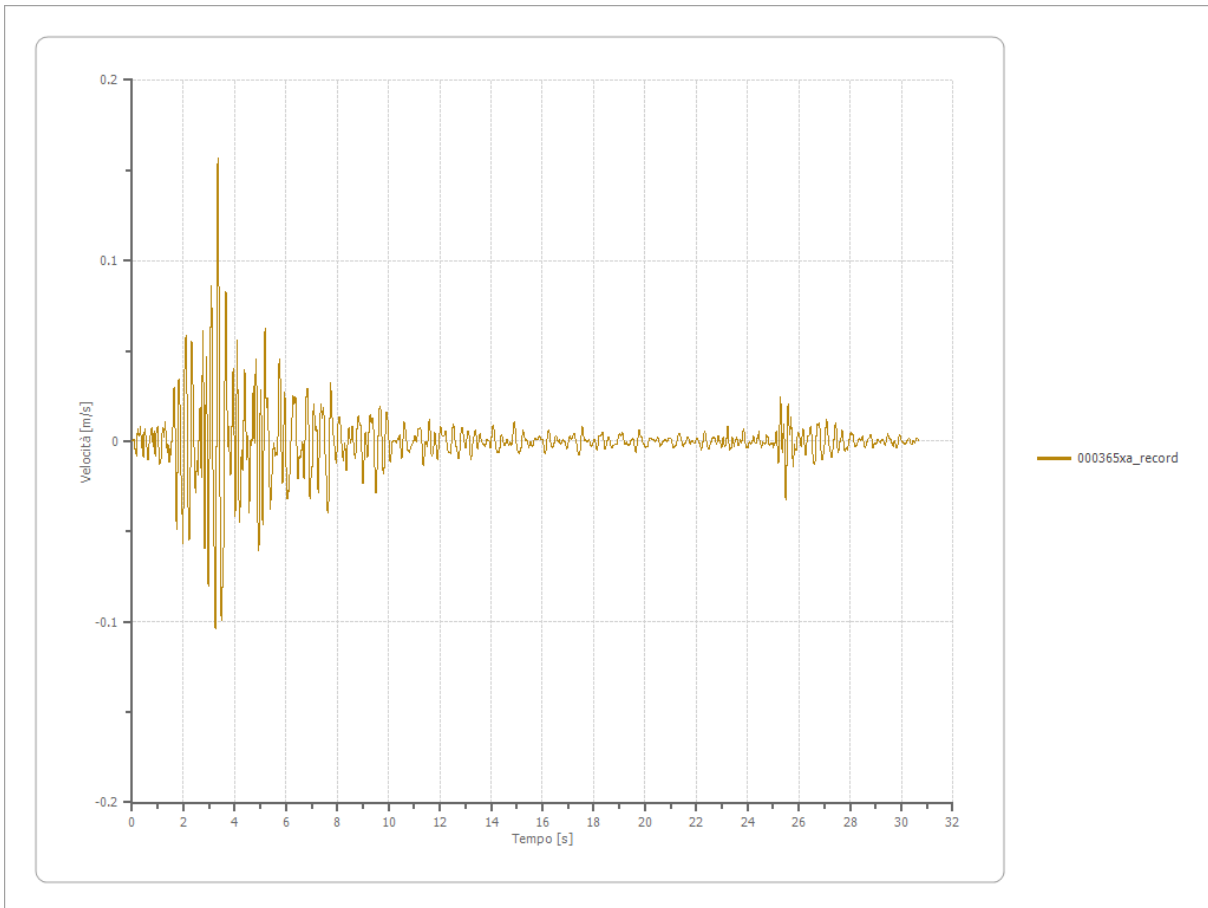
Strato	1 Affiorante
Pga	0.442 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	2.429
Accelerazione massima	0.442 [g]
Periodo accelerazione massima	3.300 [s]



Velocità

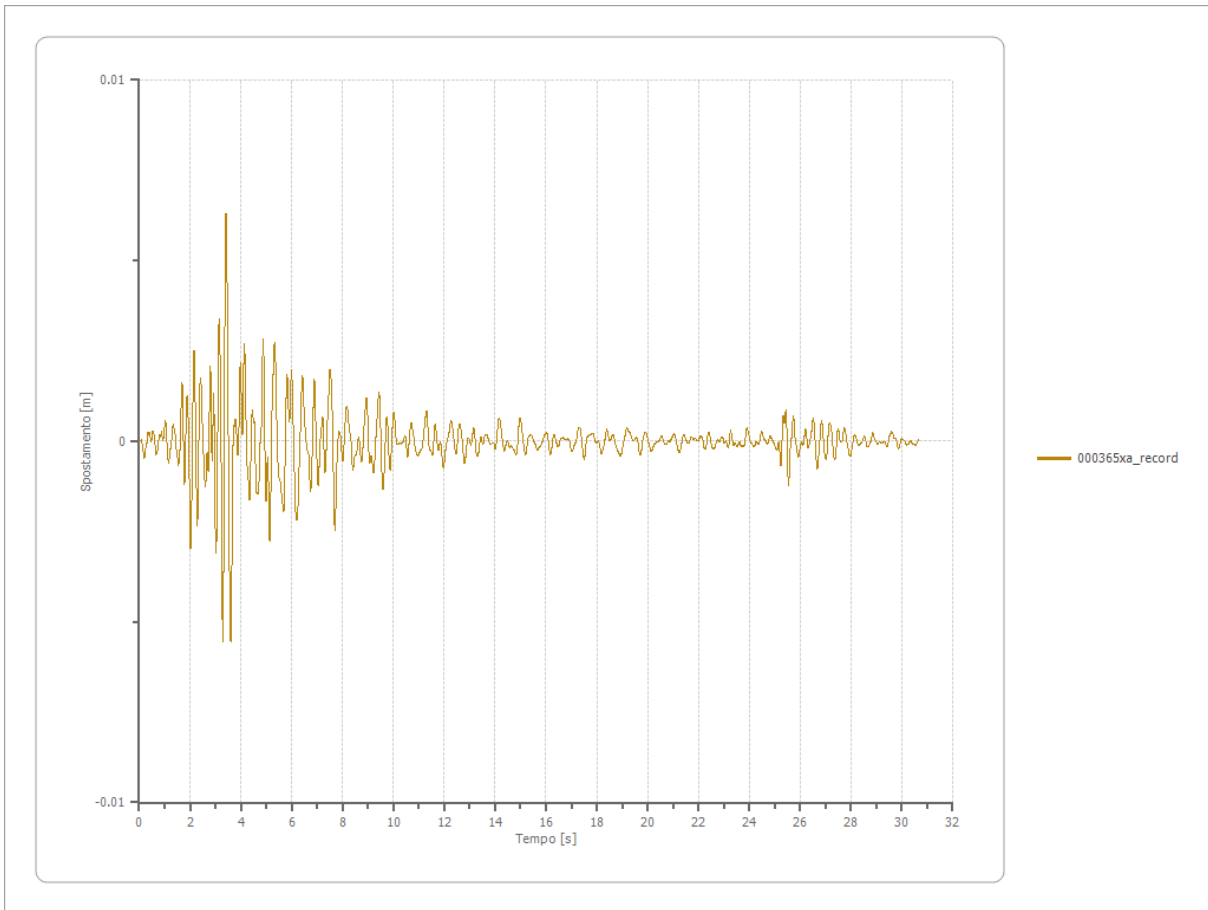
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.157 [m/s]
3.340 [s]



Spostamento

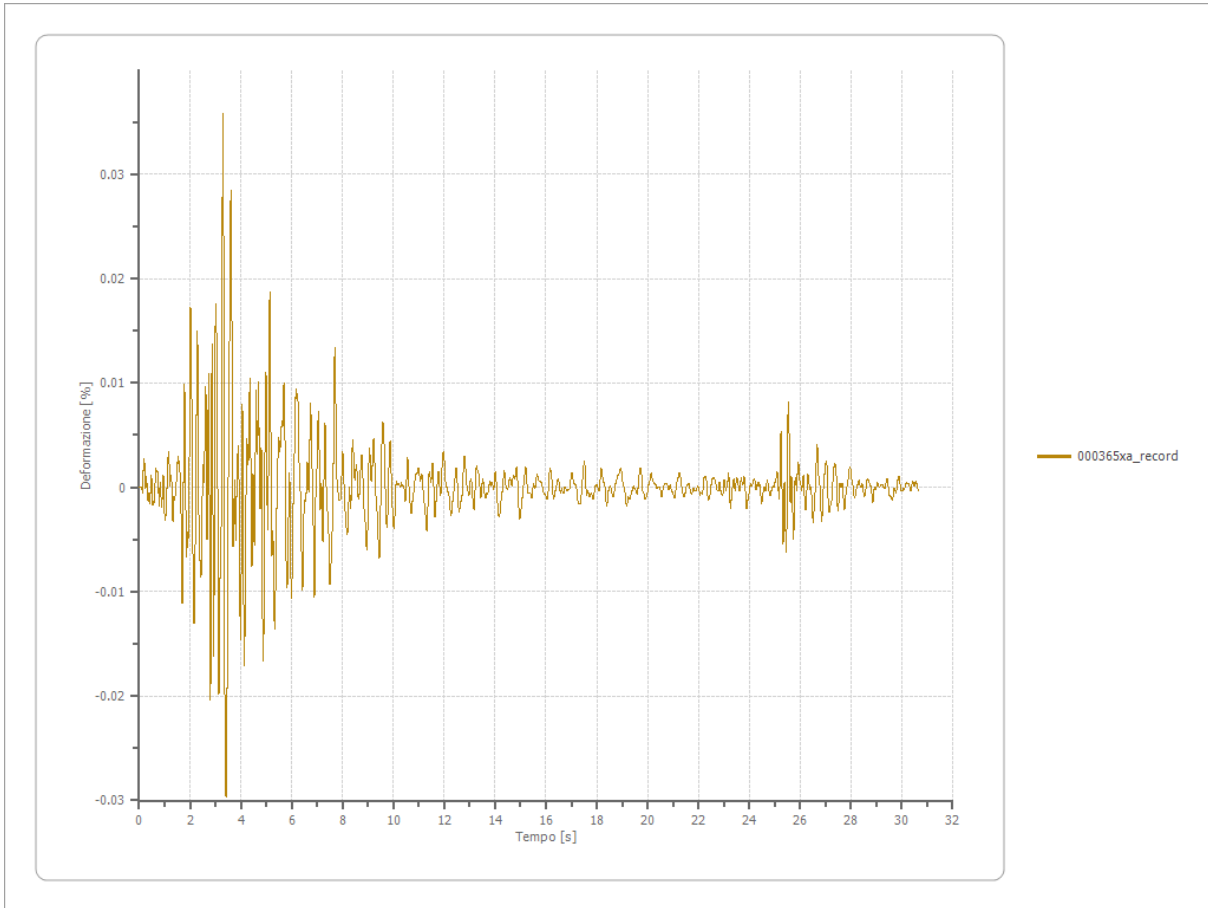
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.006 [m]
Periodo spostamento massimo	3.420 [s]



Deformazione

Numero di strati

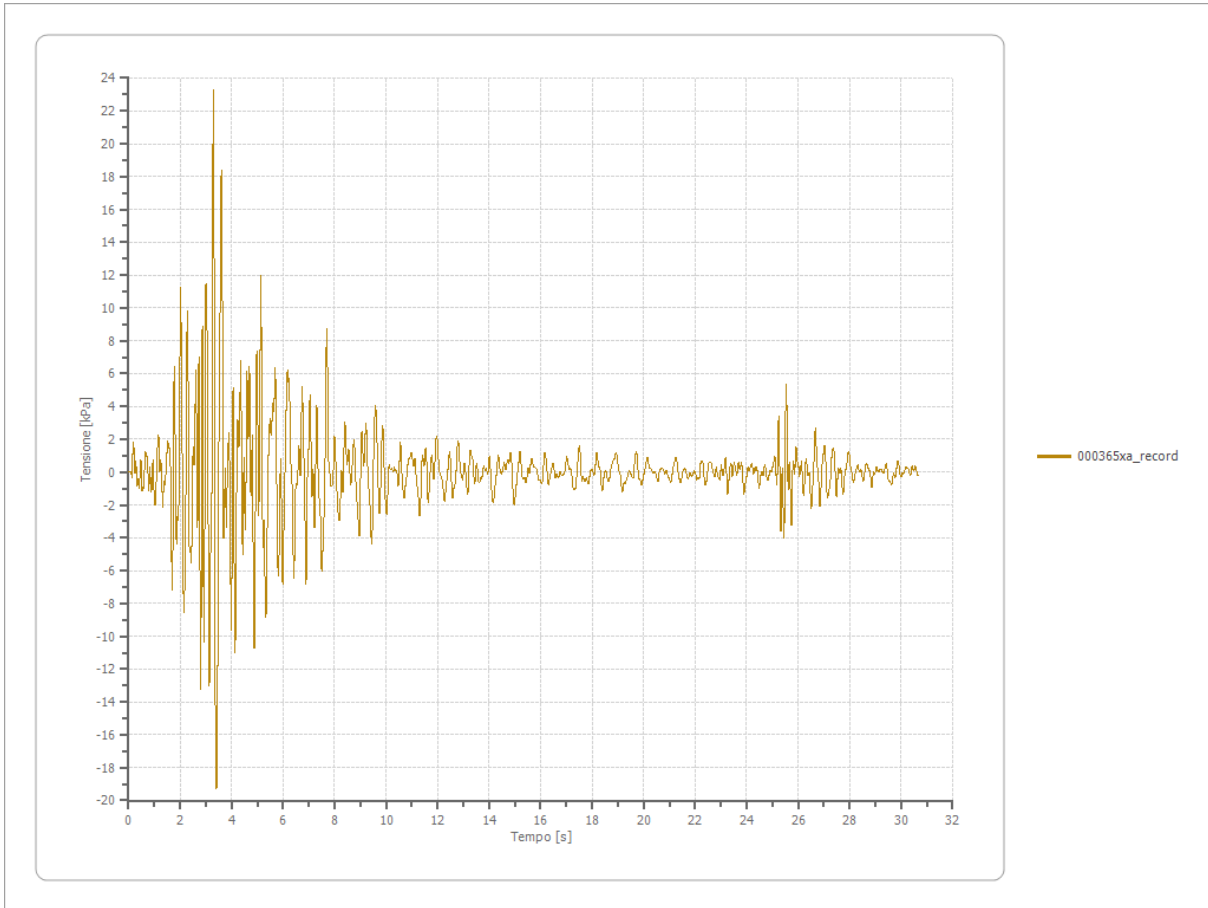
3



Tensione

Numero di strati

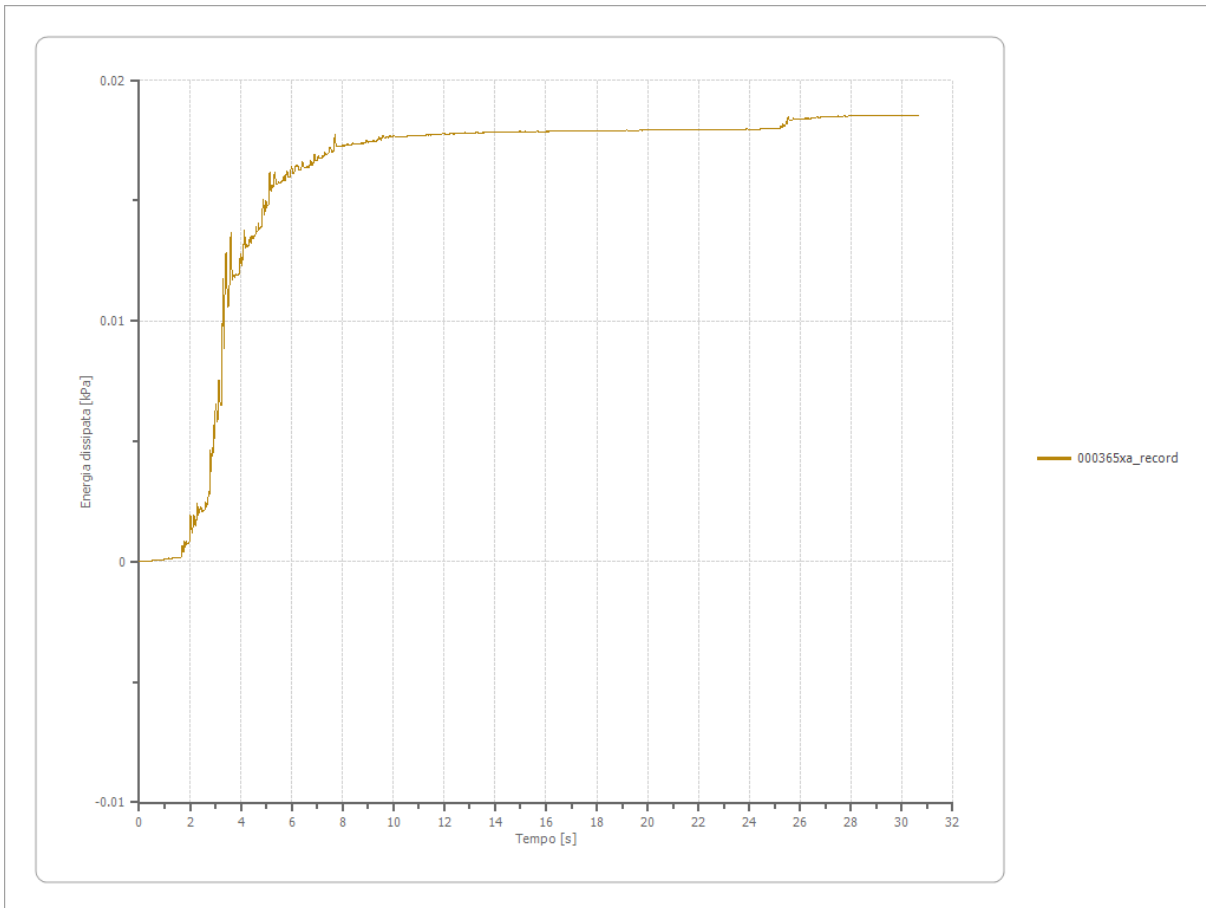
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



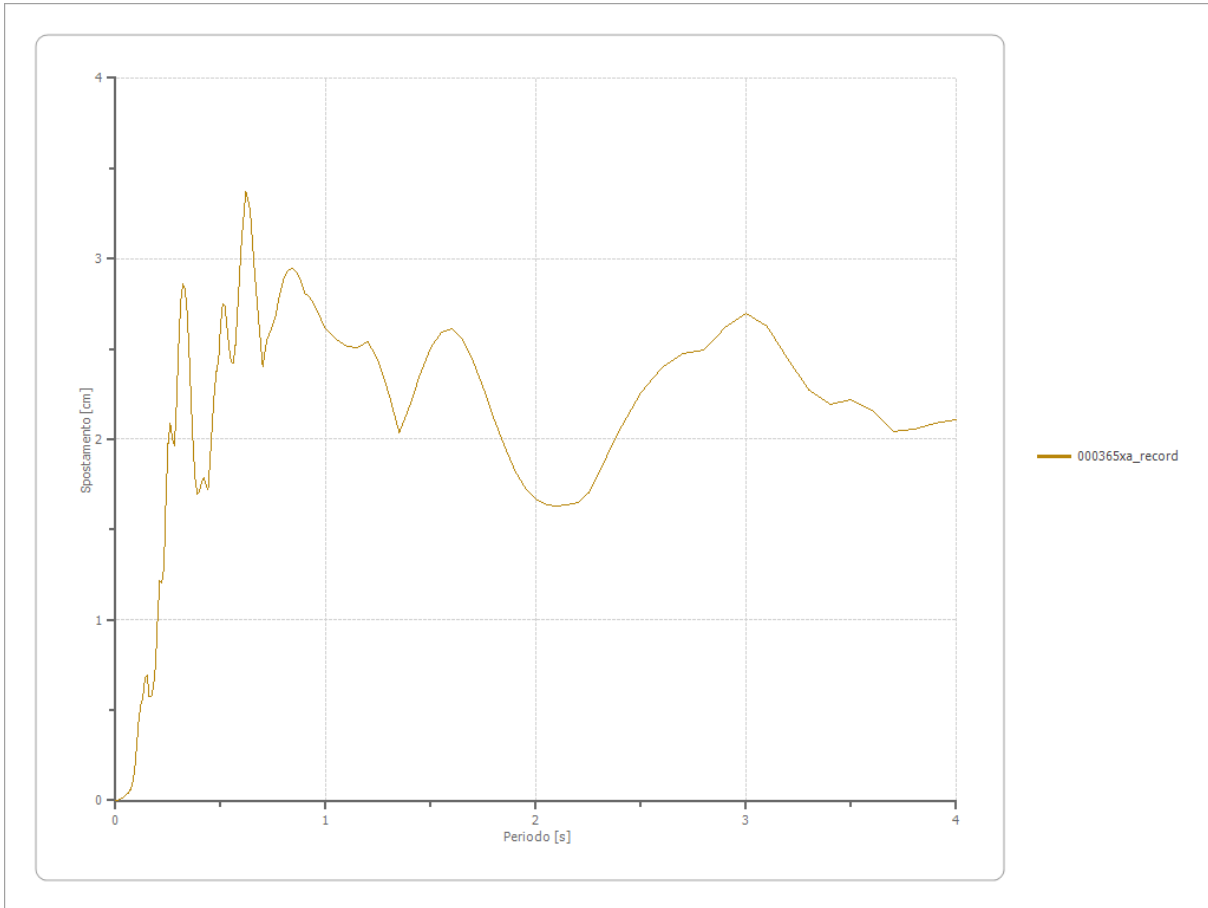
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

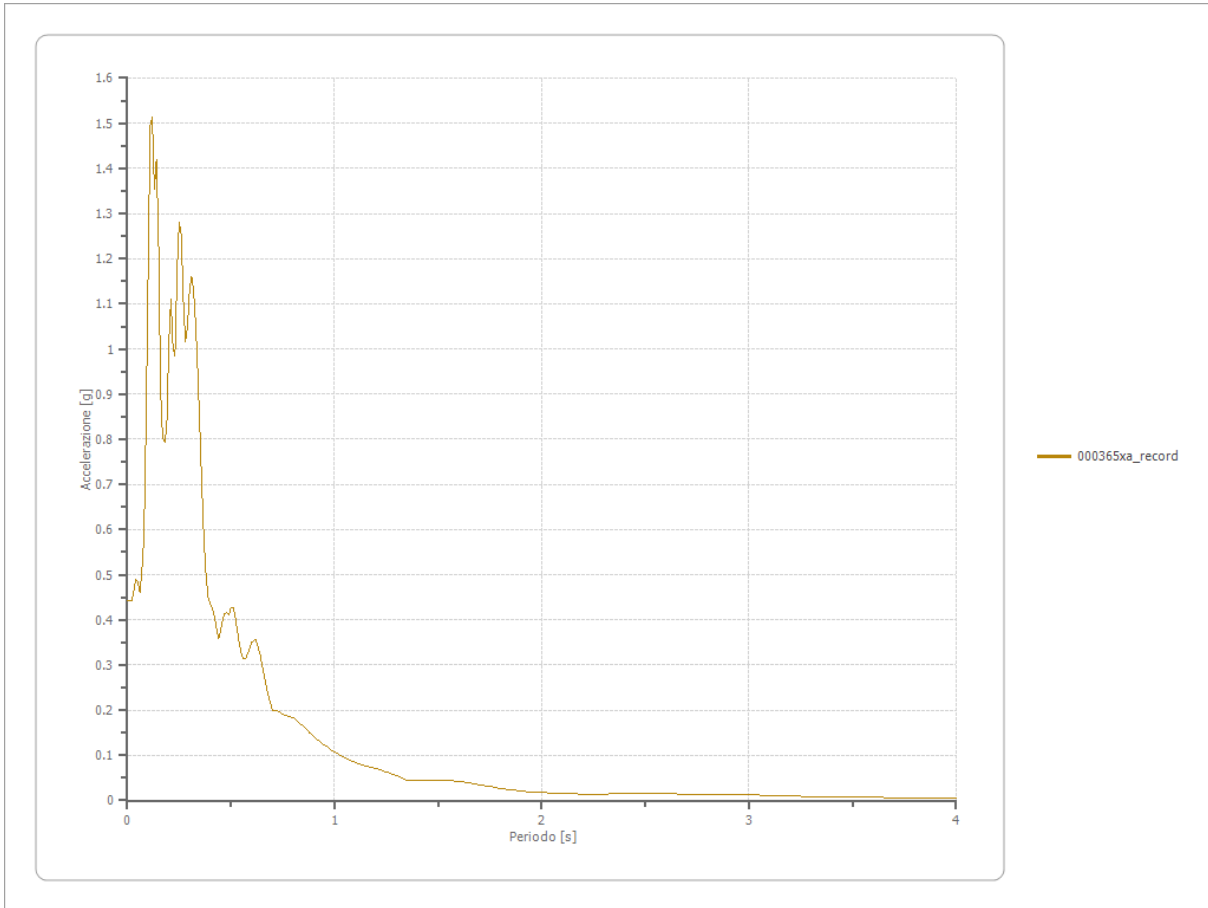
Spostamento

Spostamento massimo	3.374 [cm]
Periodo massimo spostamento	0.620 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.514 [g]
Periodo accelerazione massima	0.120 [s]



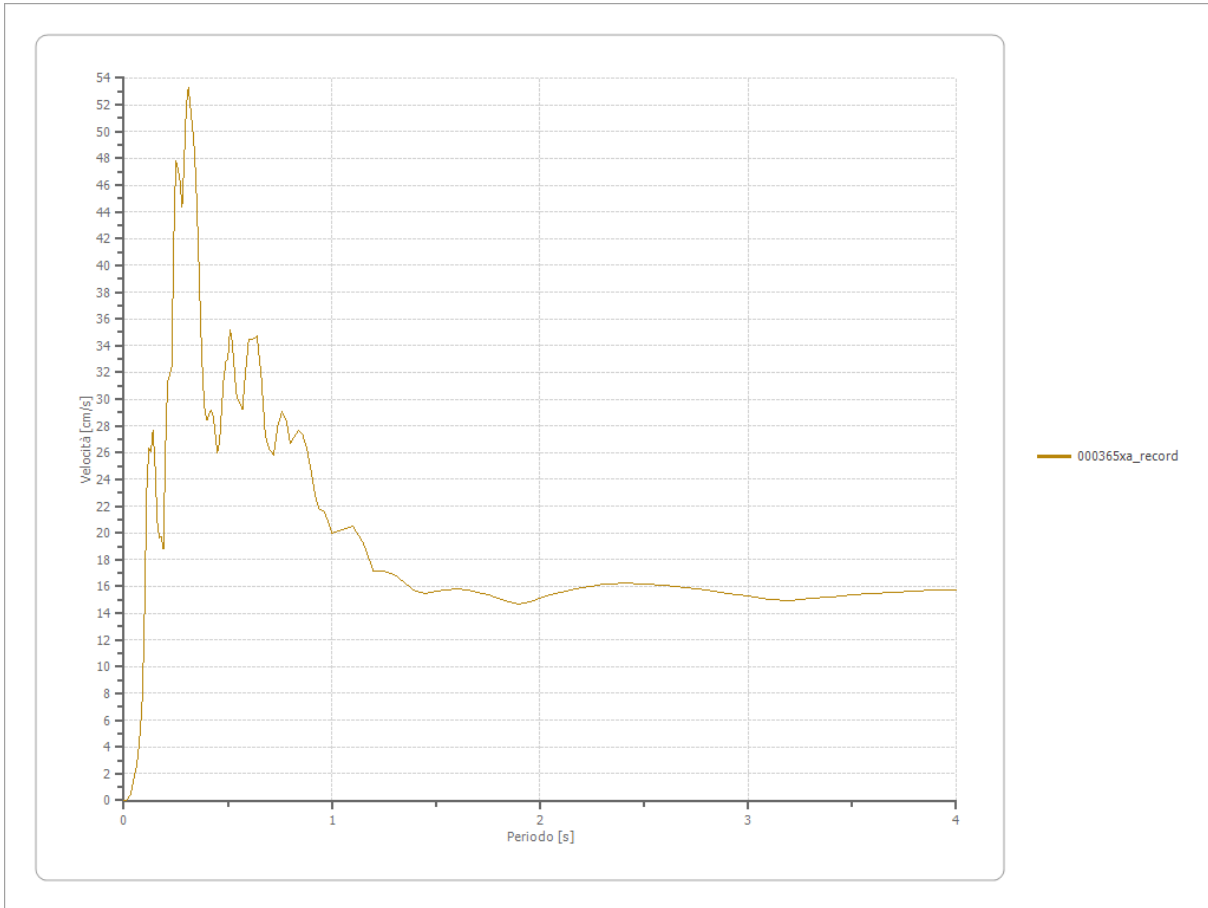
Velocità

Velocità massima

1.514 [cm/s]

Periodo massima velocità

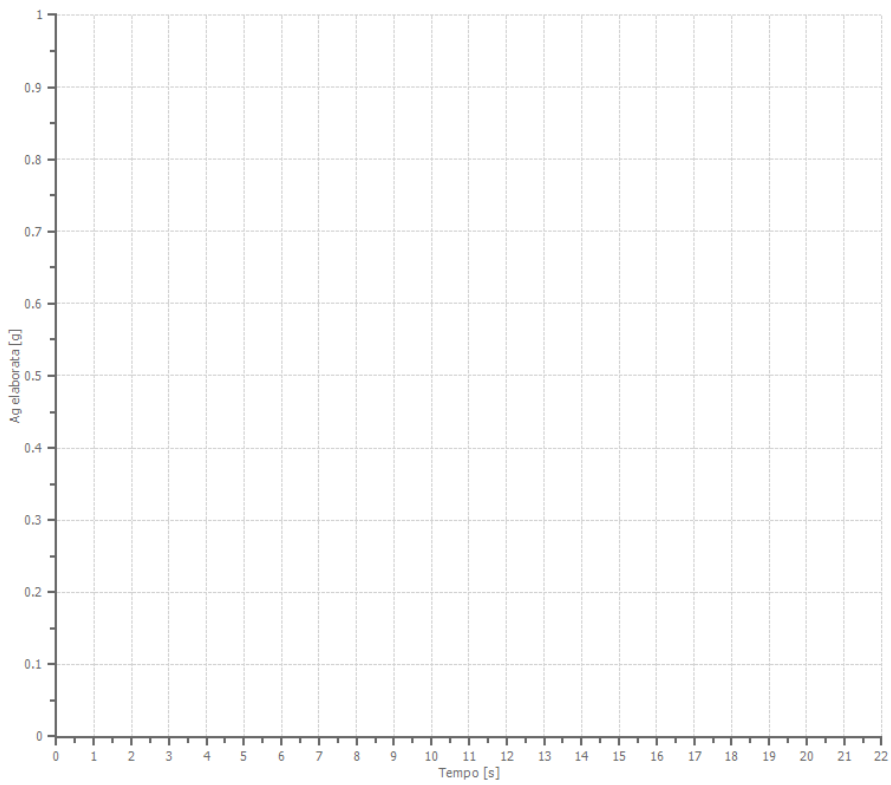
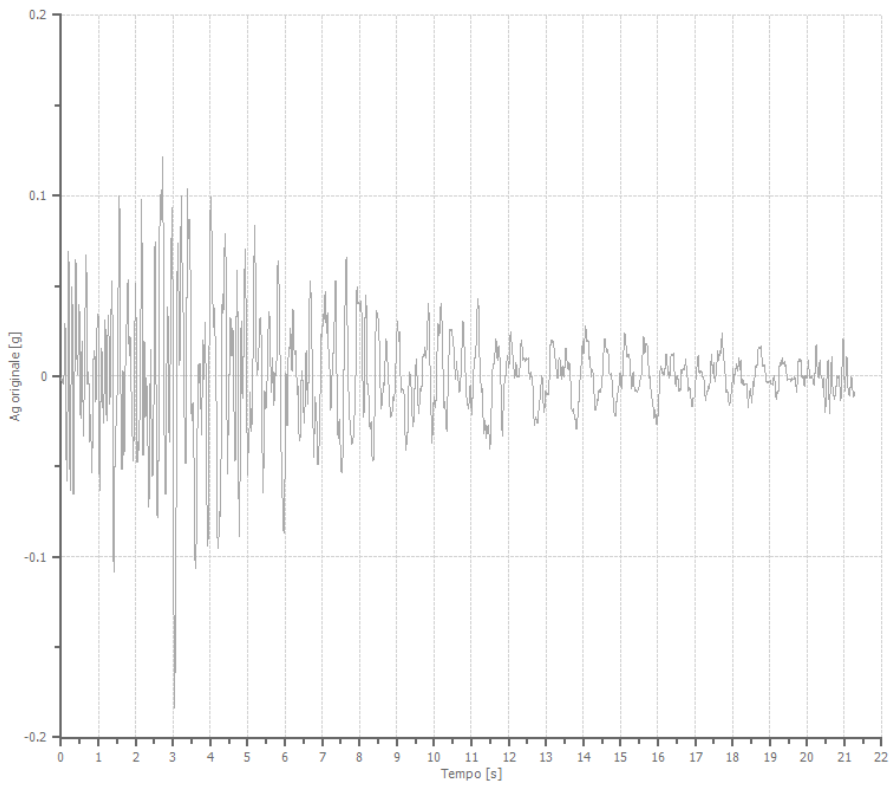
0.310 [s]



File 000382xa_record:

Accelerogramma importato

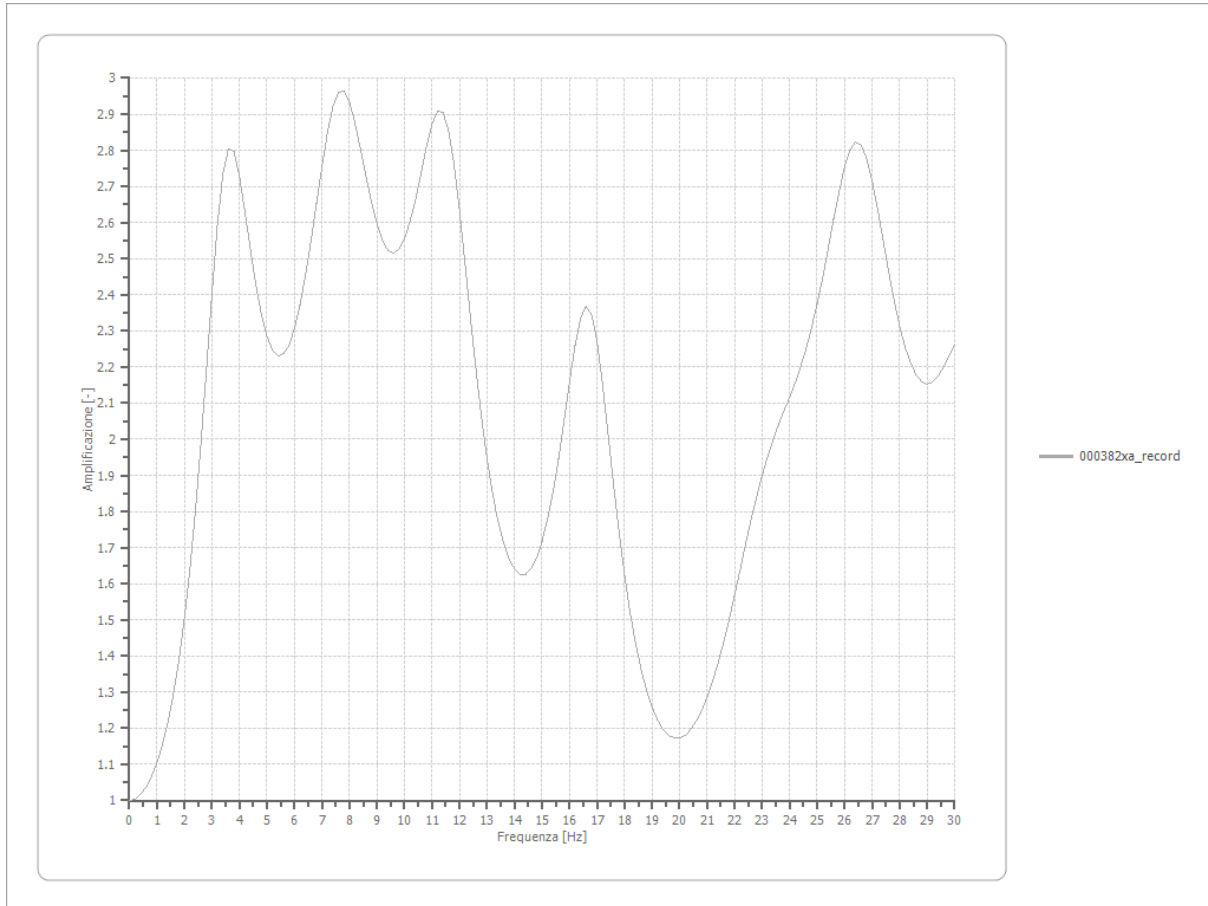
Nome del file	000382xa_record
Durata della traccia	21.270 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	3.040 [s]



Amplificazione

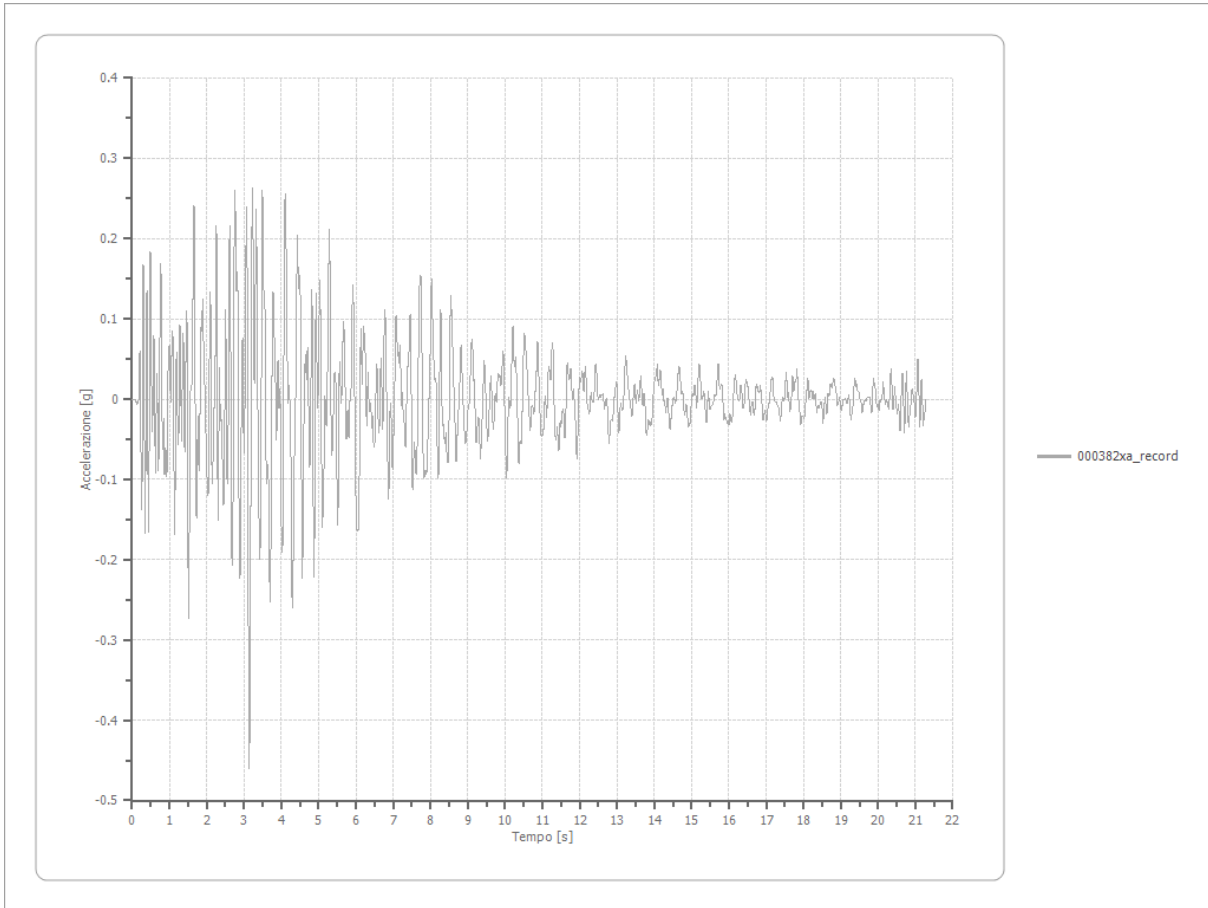
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



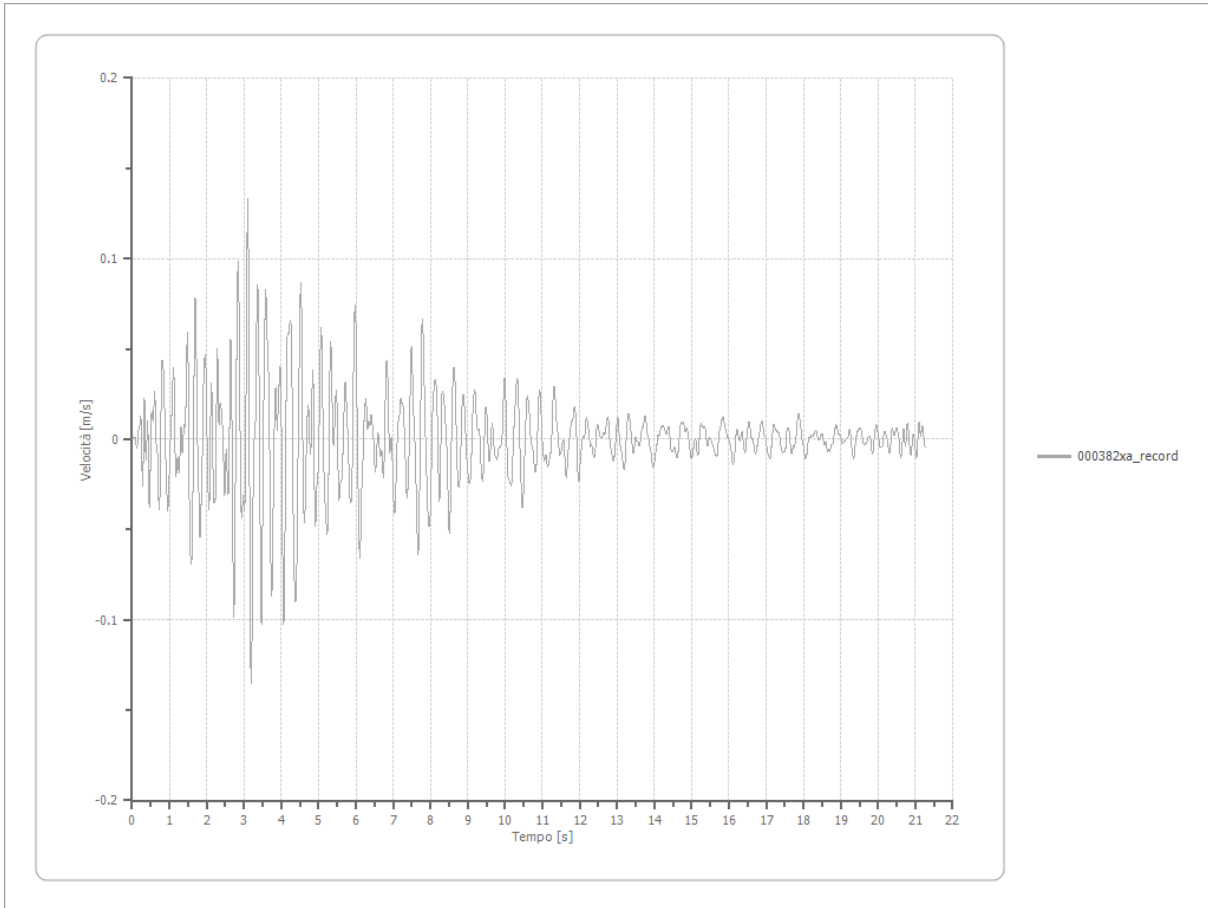
Accelerazione

Strato	1 Affiorante
Pga	0.460 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	2.526
Accelerazione massima	0.460 [g]
Periodo accelerazione massima	3.140 [s]



Velocità

Strato	1 Affiorante
Velocità massima	0.135 [m/s]
Periodo velocità massima	3.190 [s]



Spostamento

Strato

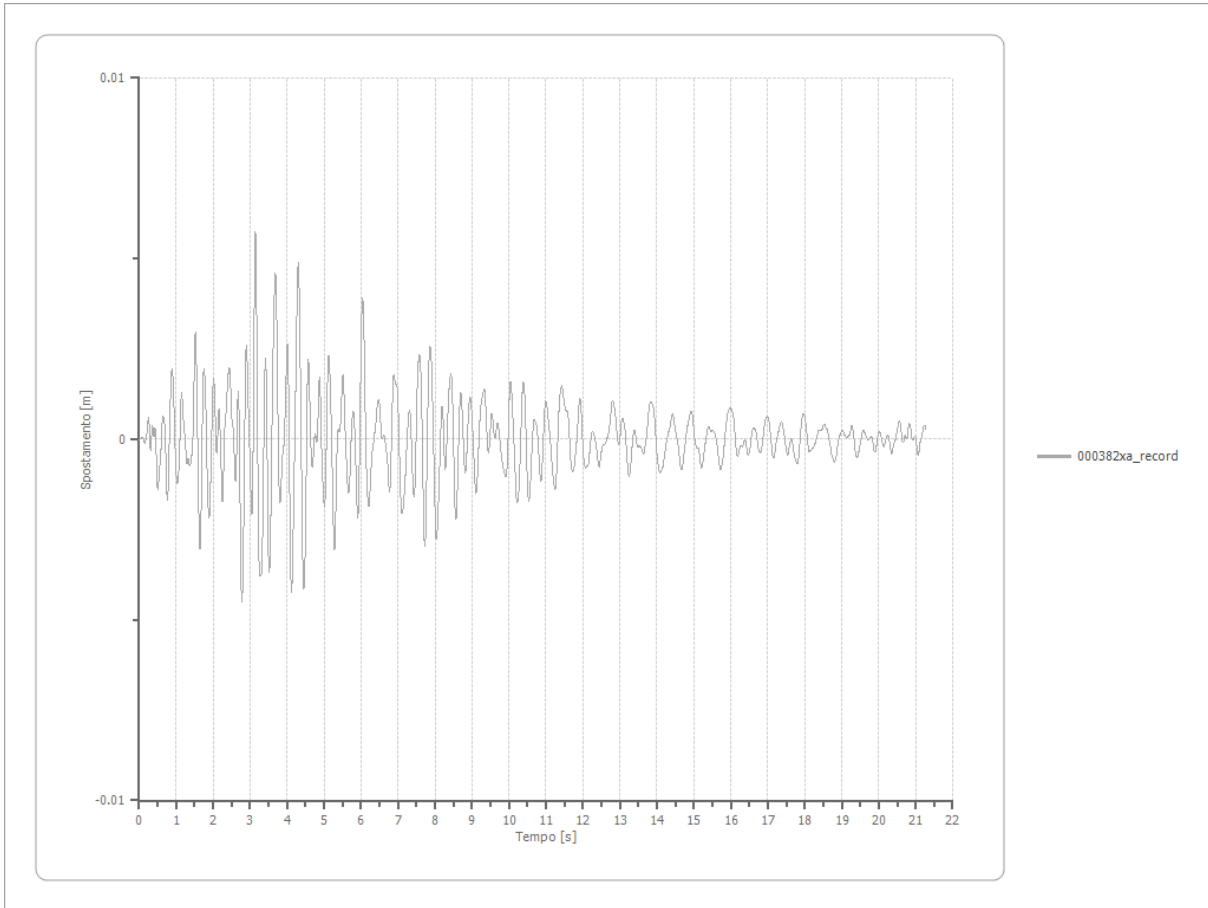
1 Affiorante

Spostamento massimo

0.006 [m]

Periodo spostamento massimo

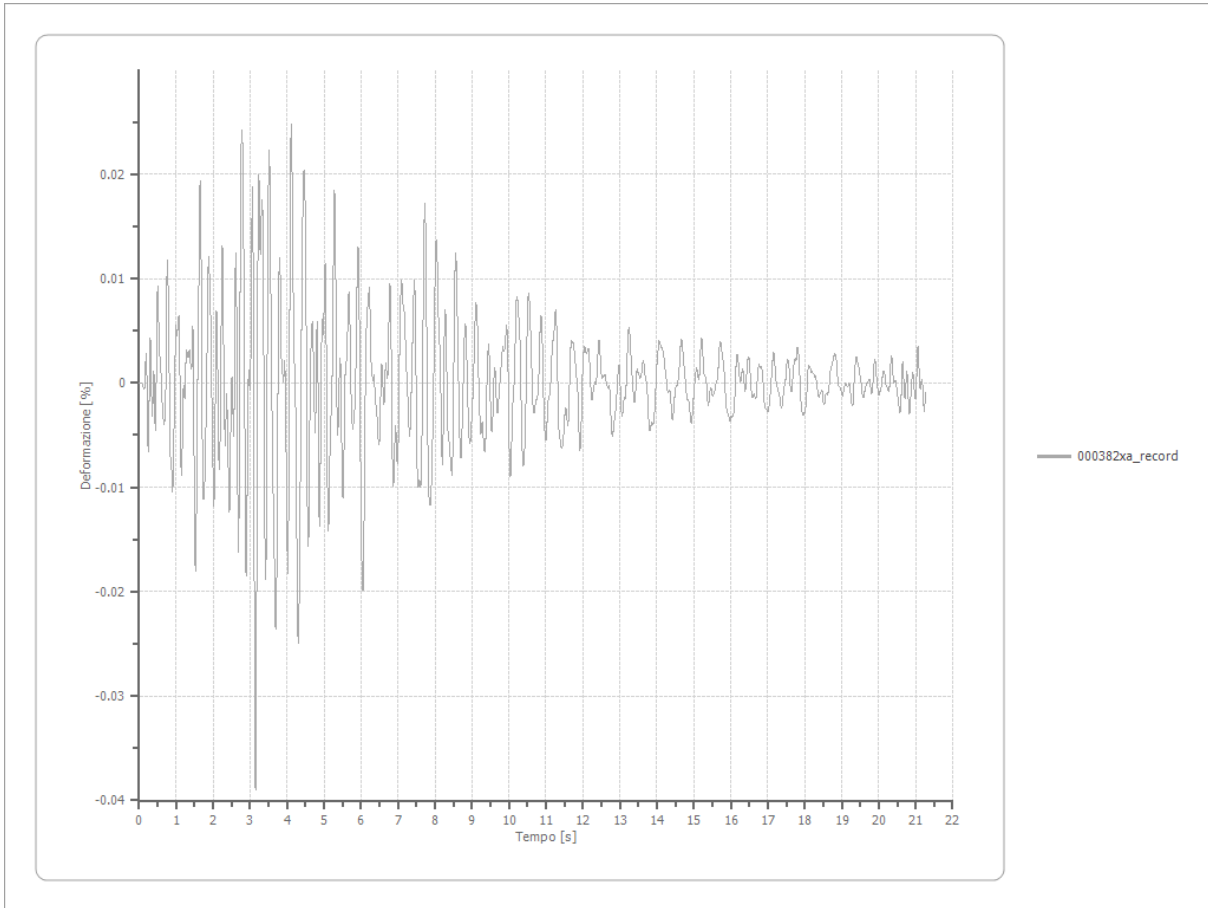
3.140 [s]



Deformazione

Numero di strati

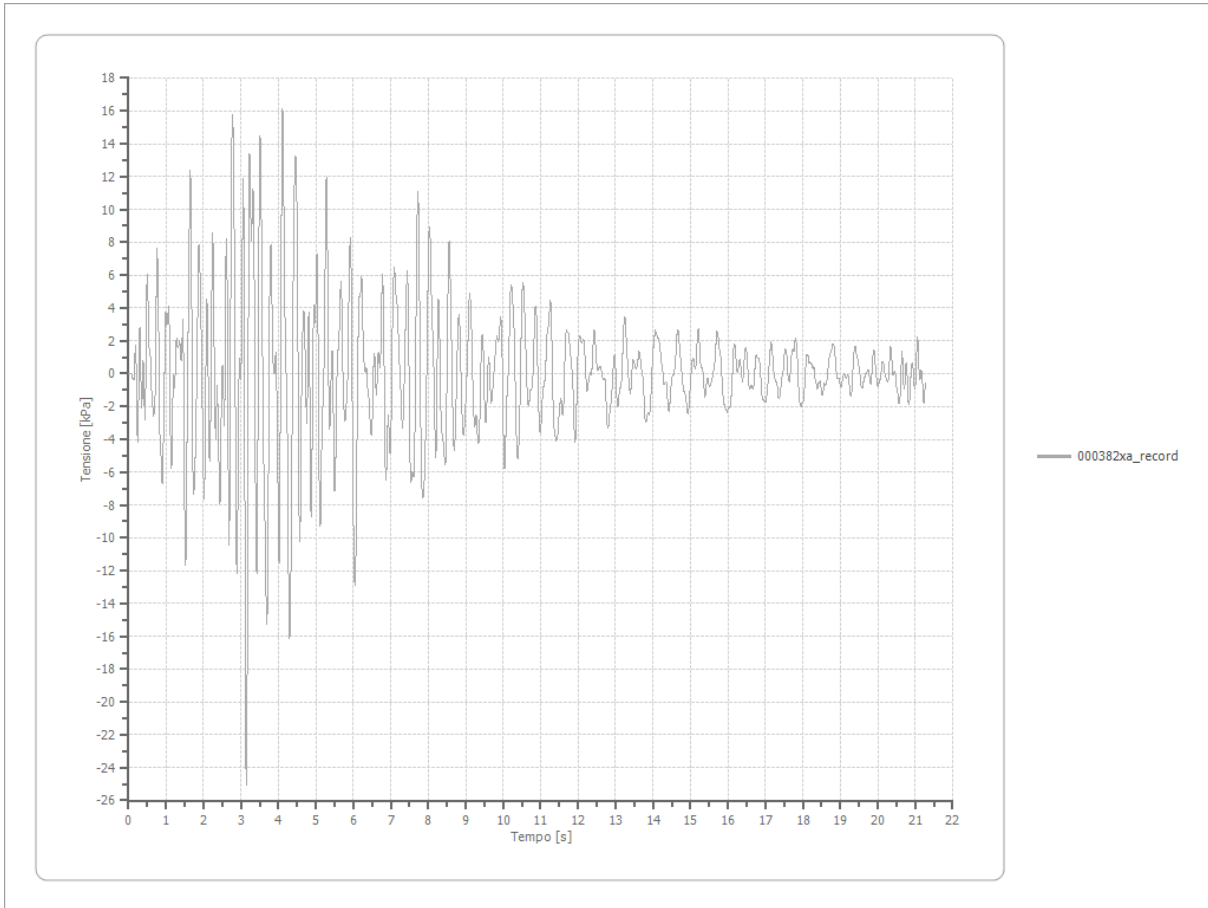
3



Tensione

Numero di strati

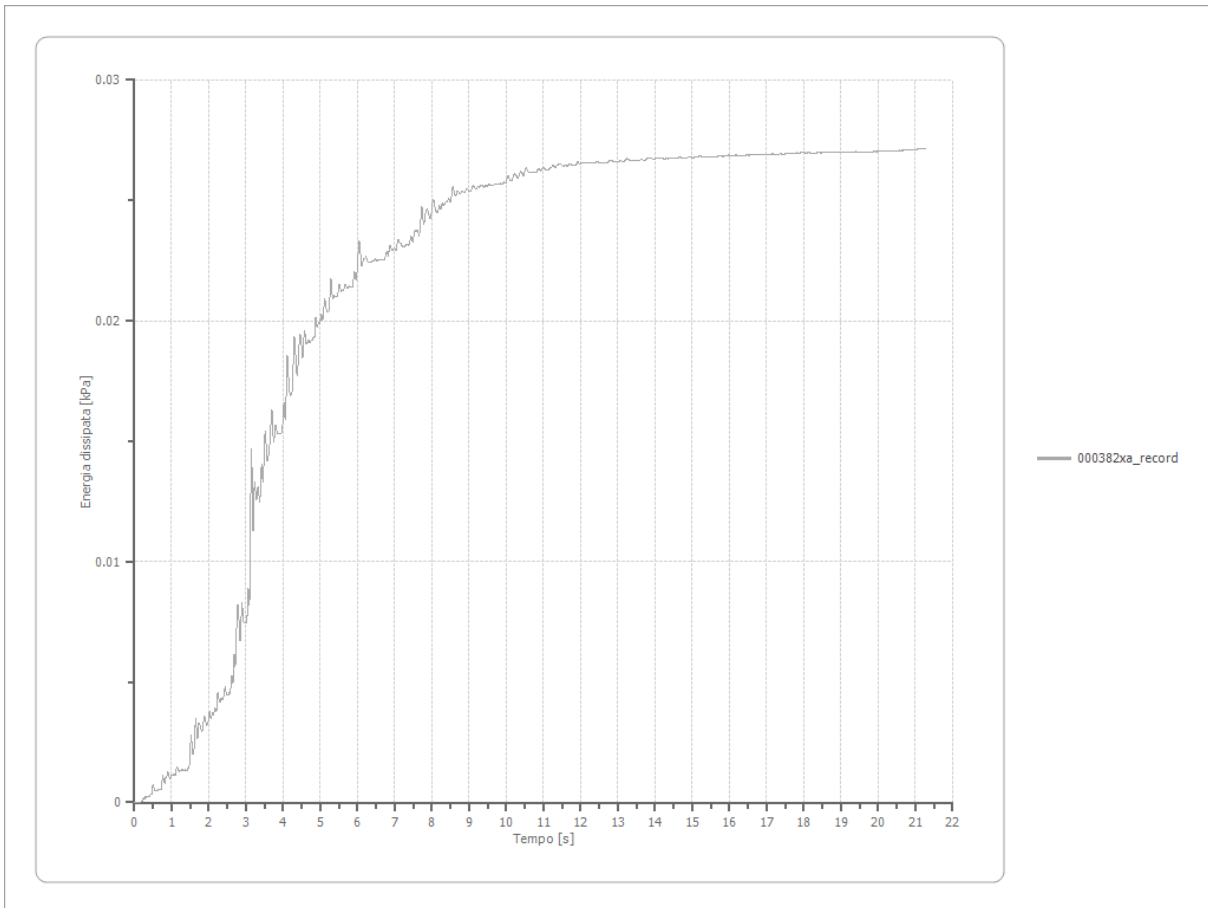
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



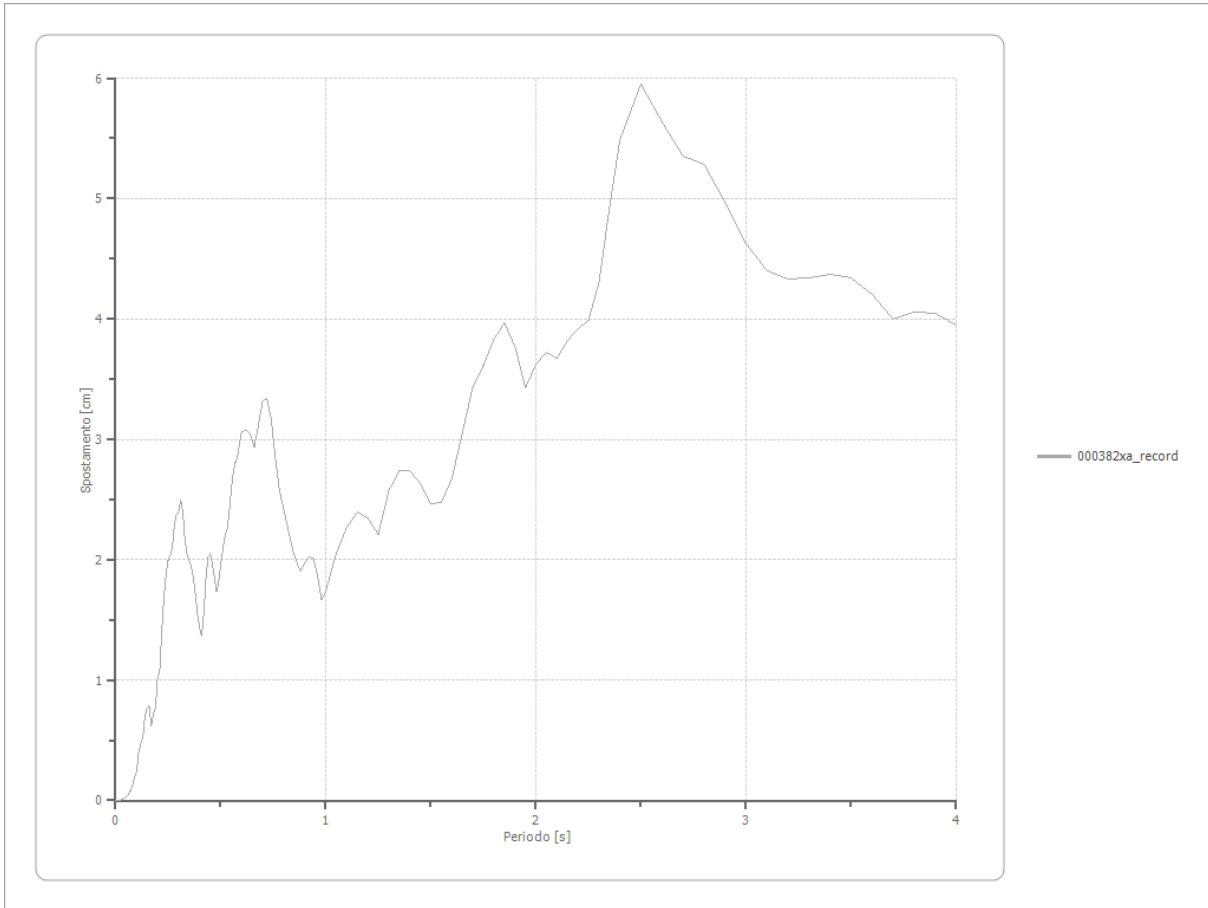
Trasformata di Fourier

Strato 1 Affiorante
 Numero di campioni del filtro a media mobile 1

Spettri

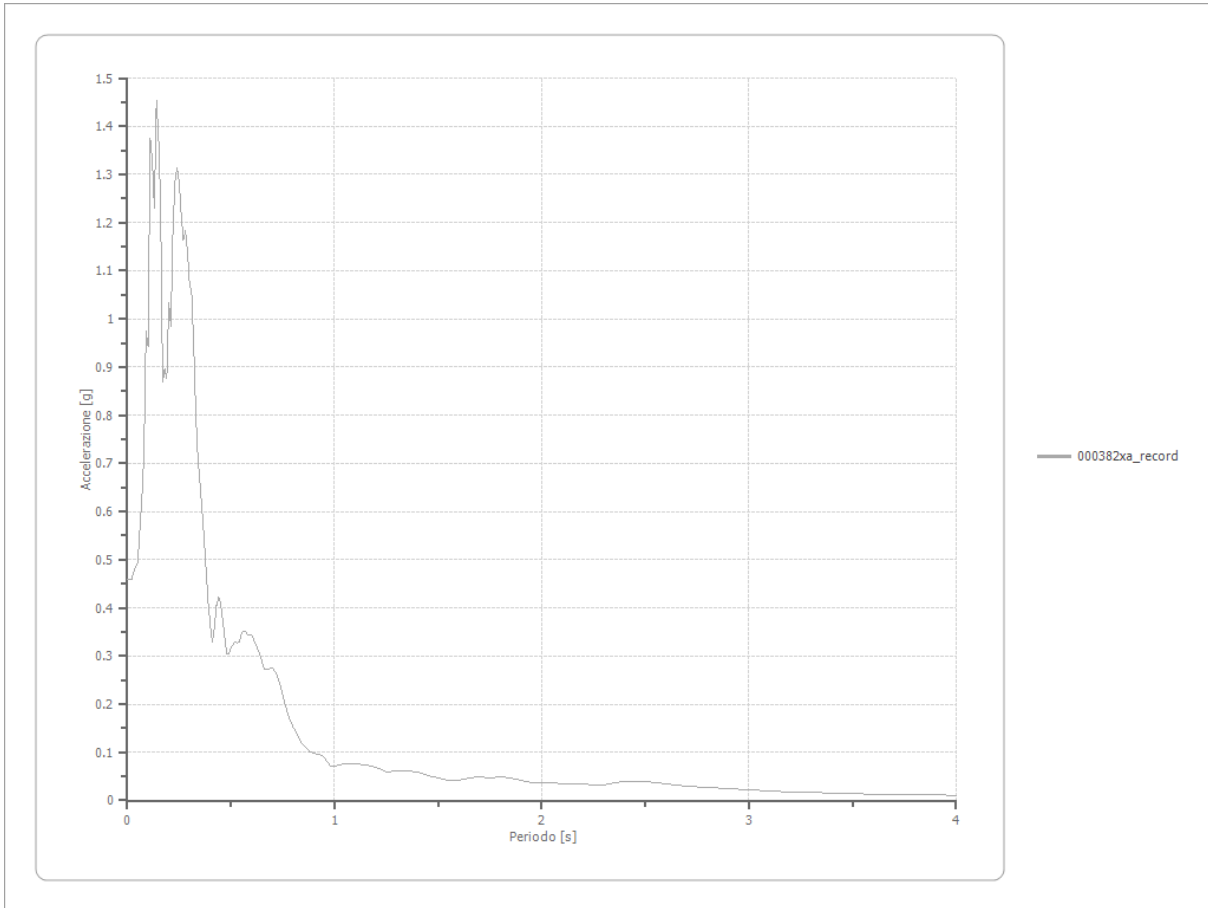
Spostamento

Spostamento massimo 5.946 [cm]
 Periodo massimo spostamento 2.500 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.454 [g]
Periodo accelerazione massima	0.140 [s]



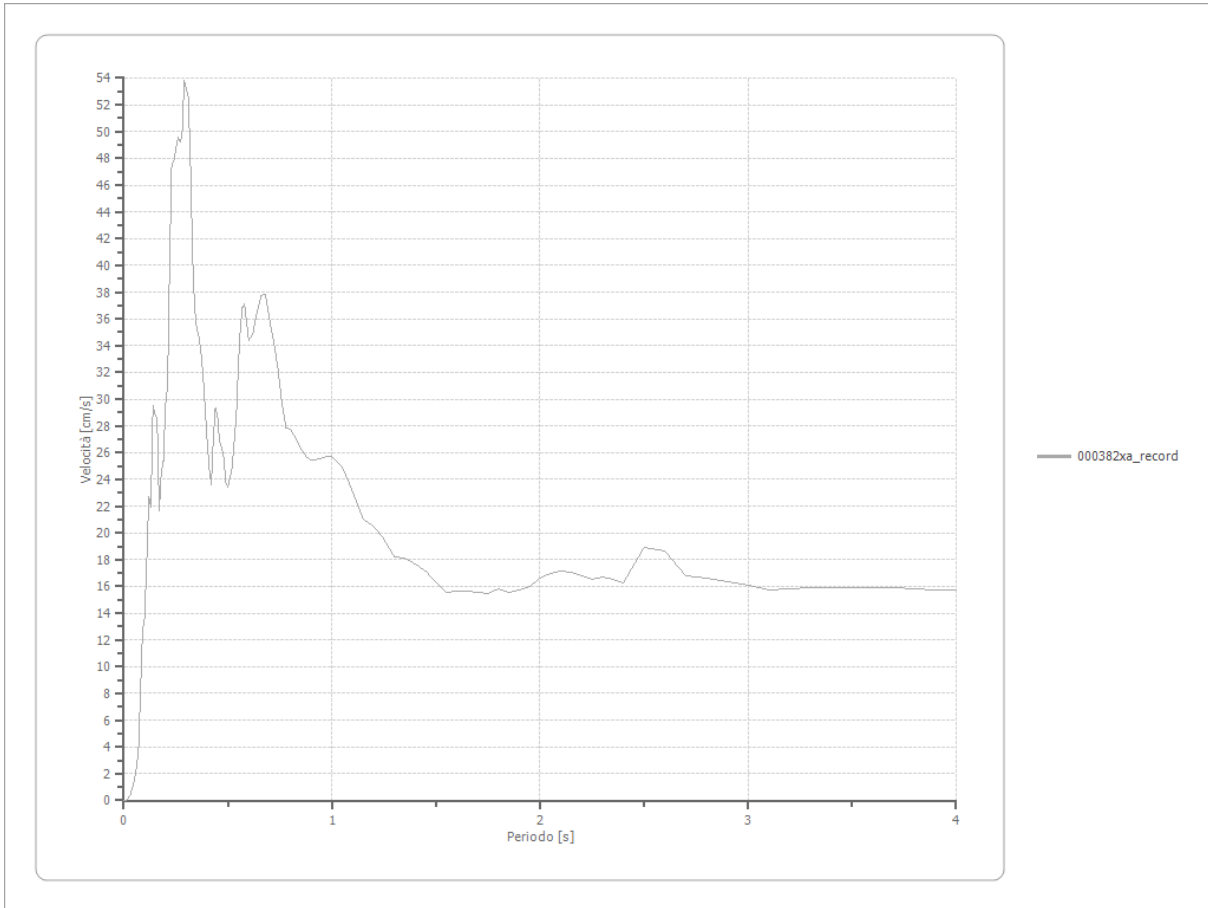
Velocità

Velocità massima

1.454 [cm/s]

Periodo massima velocità

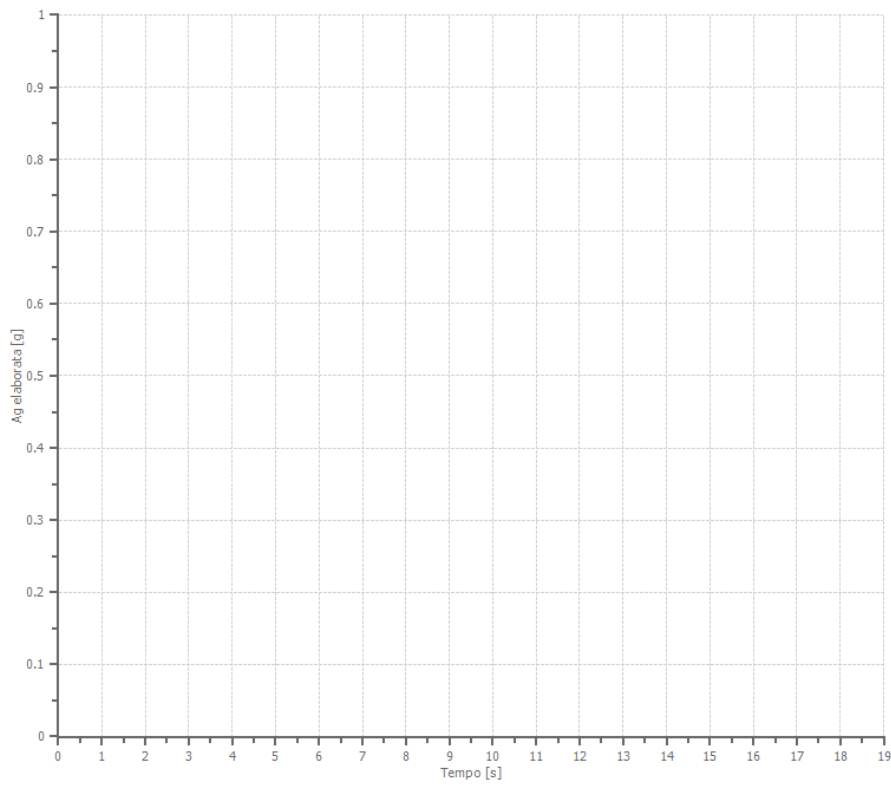
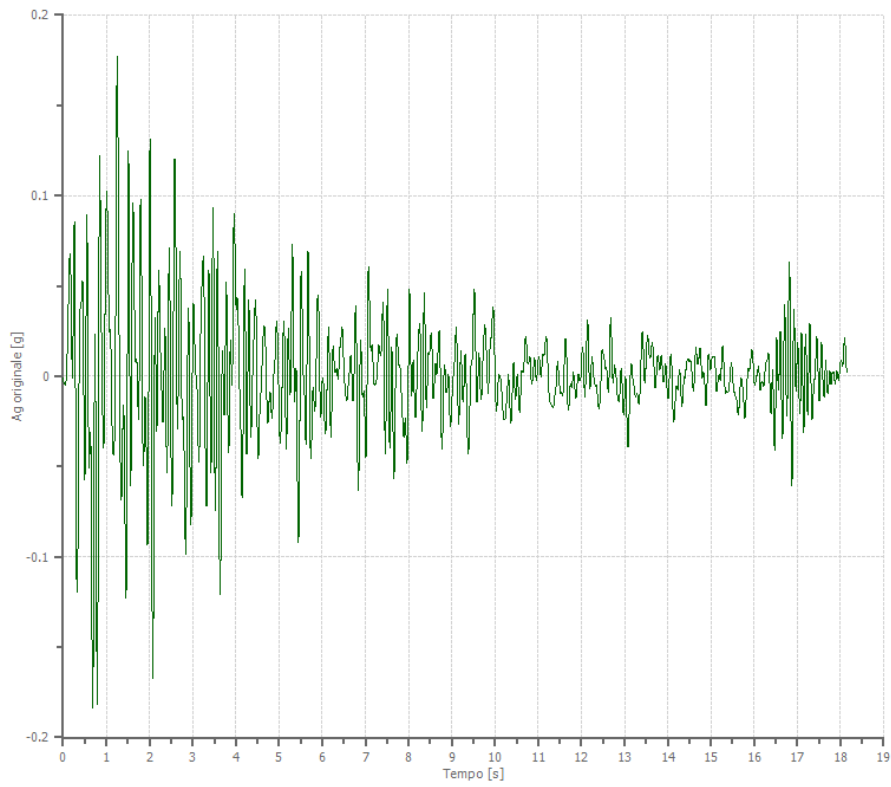
0.290 [s]



File 000383xa_record:

Accelerogramma importato

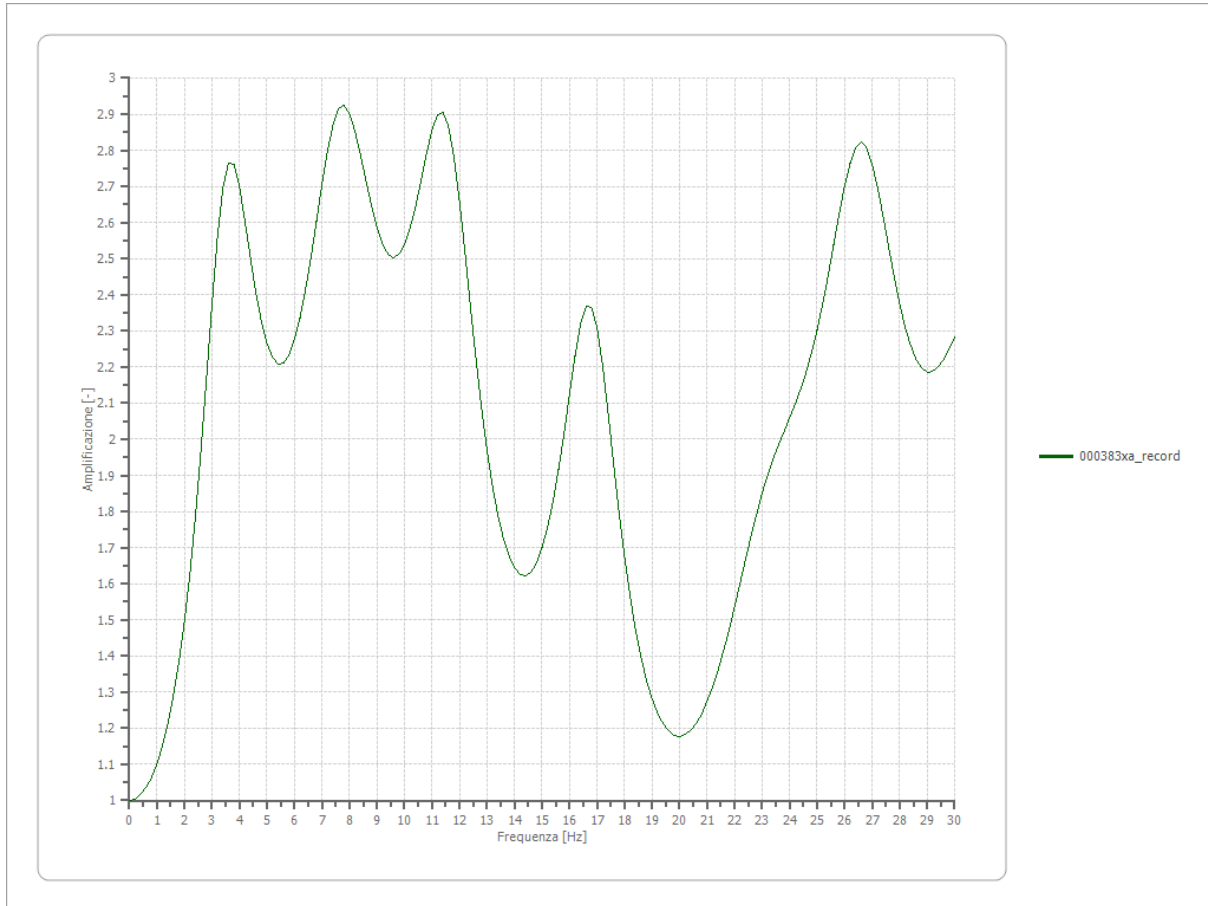
Nome del file	000383xa_record
Durata della traccia	18.160 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	0.680 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.414 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

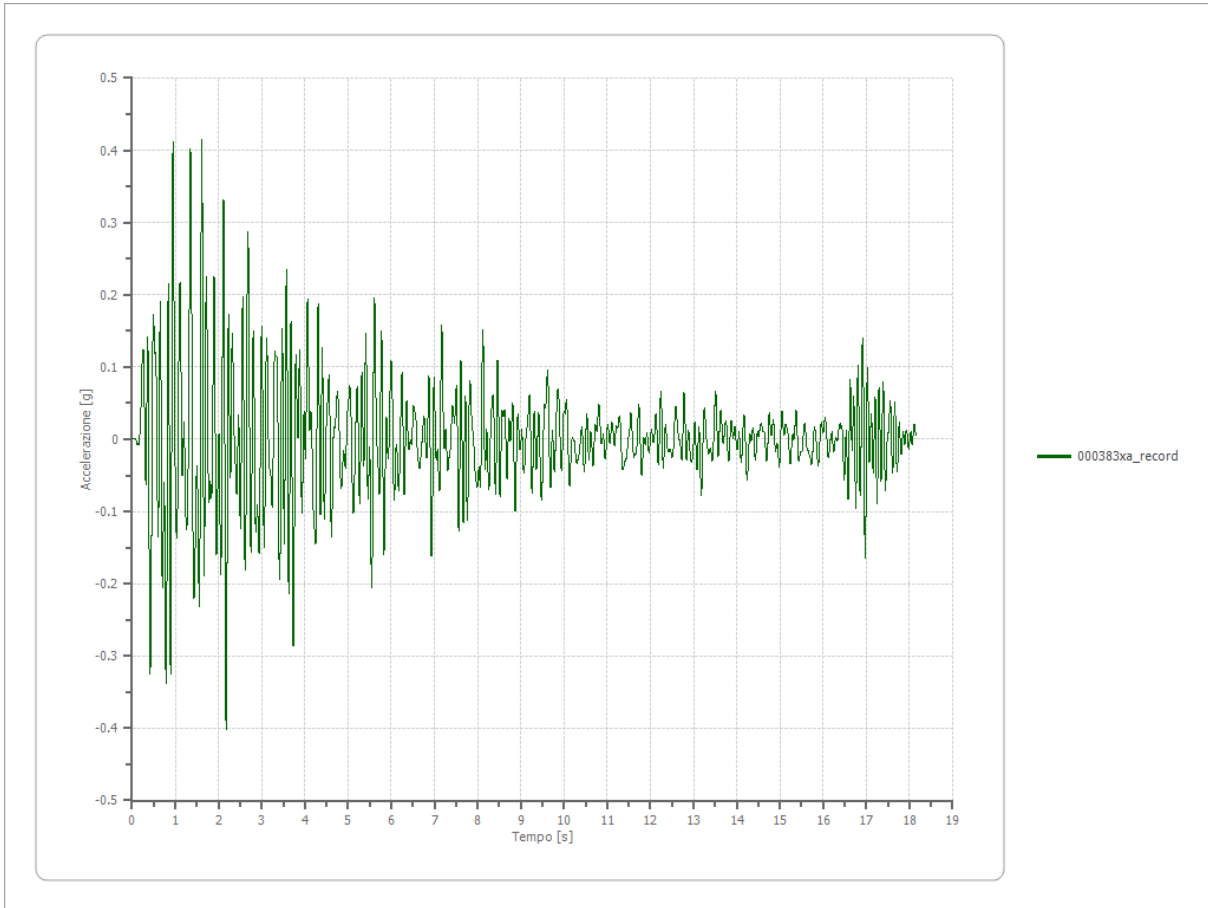
2.276

Accelerazione massima

0.414 [g]

Periodo accelerazione massima

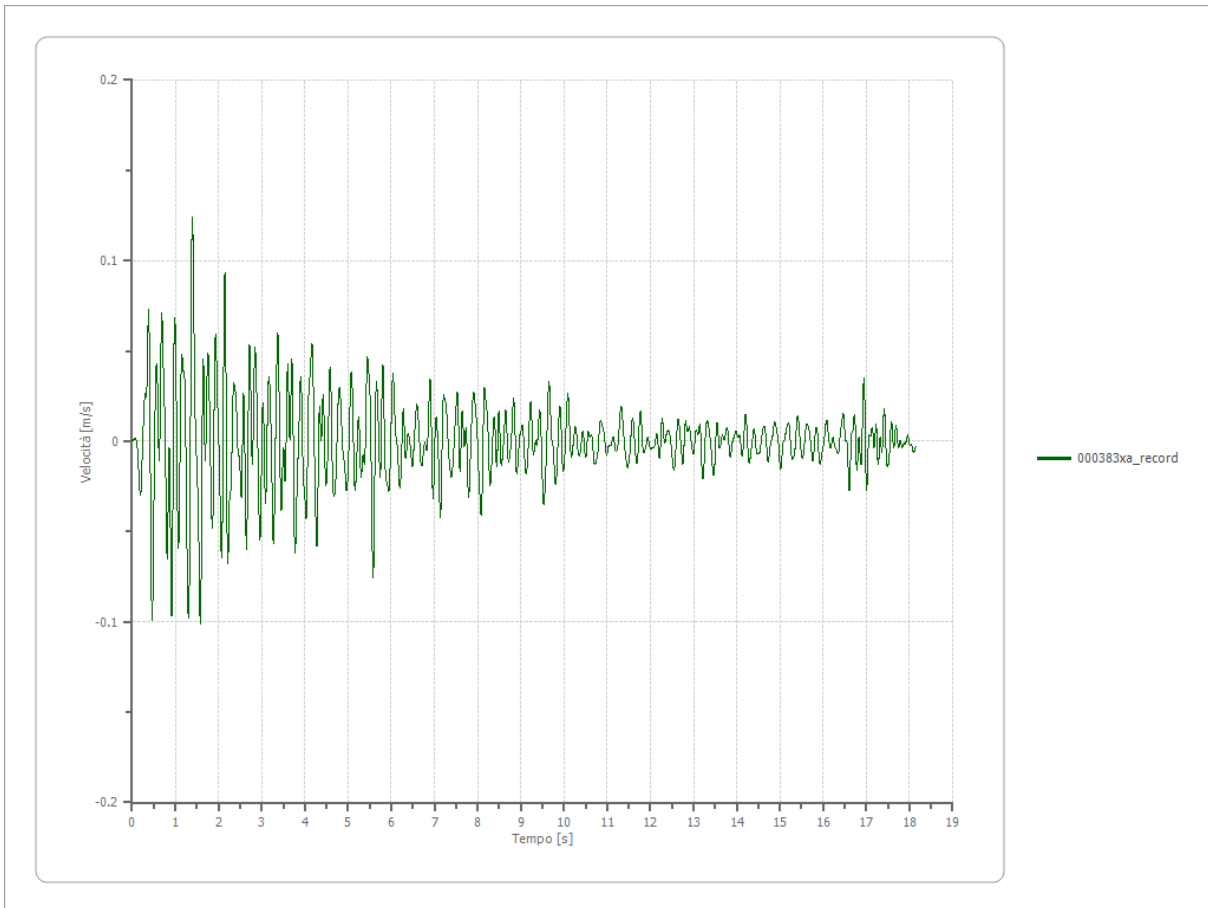
1.610 [s]



Velocità

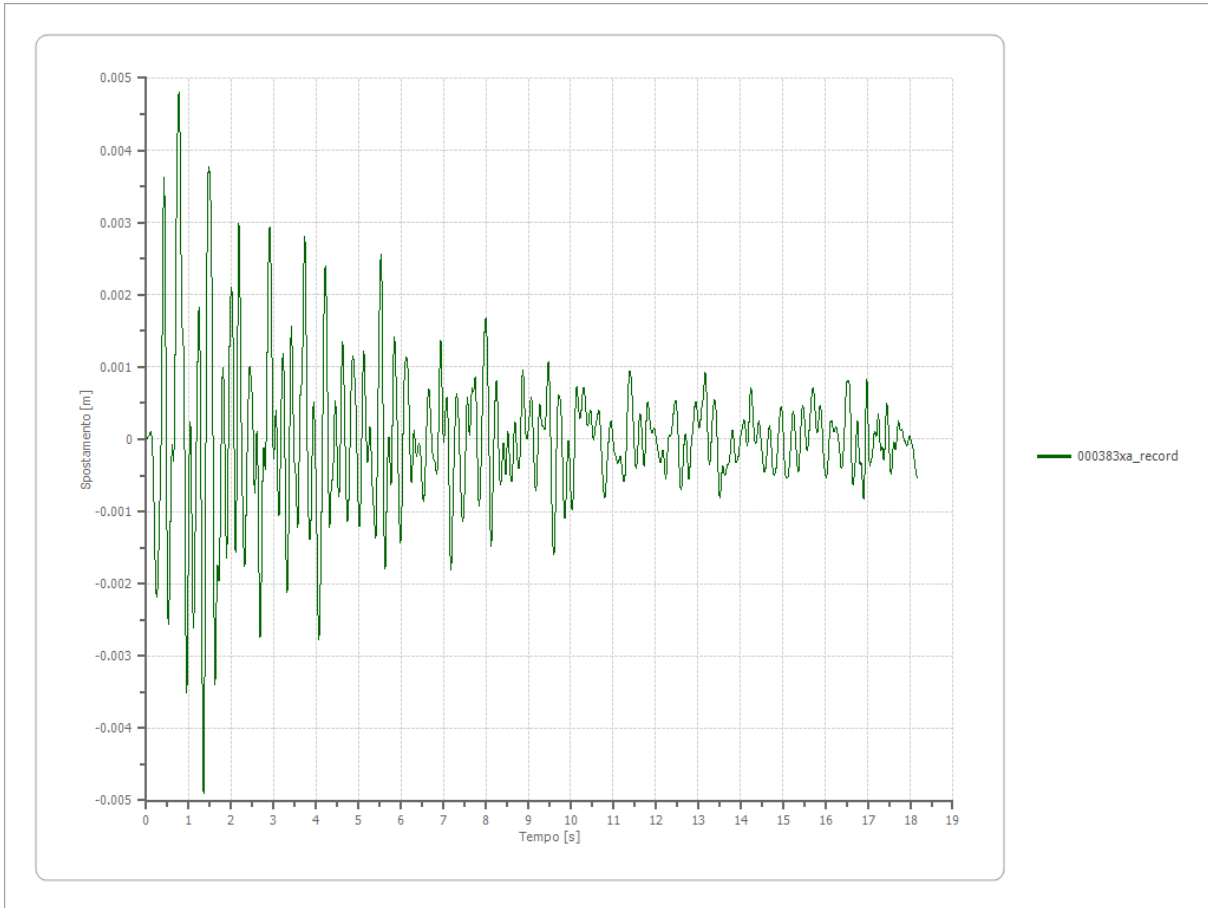
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.124 [m/s]
1.390 [s]



Spostamento

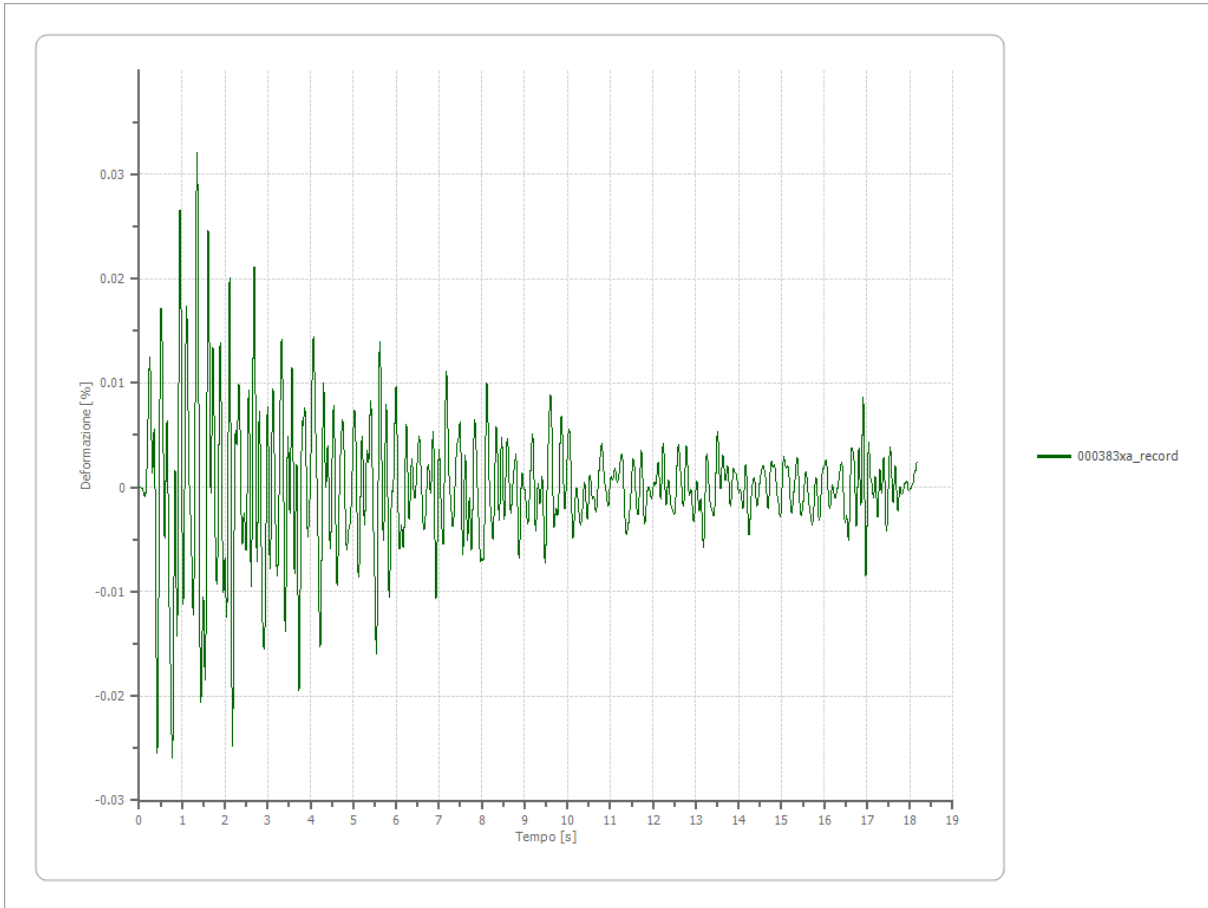
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.005 [m]
Periodo spostamento massimo	1.350 [s]



Deformazione

Numero di strati

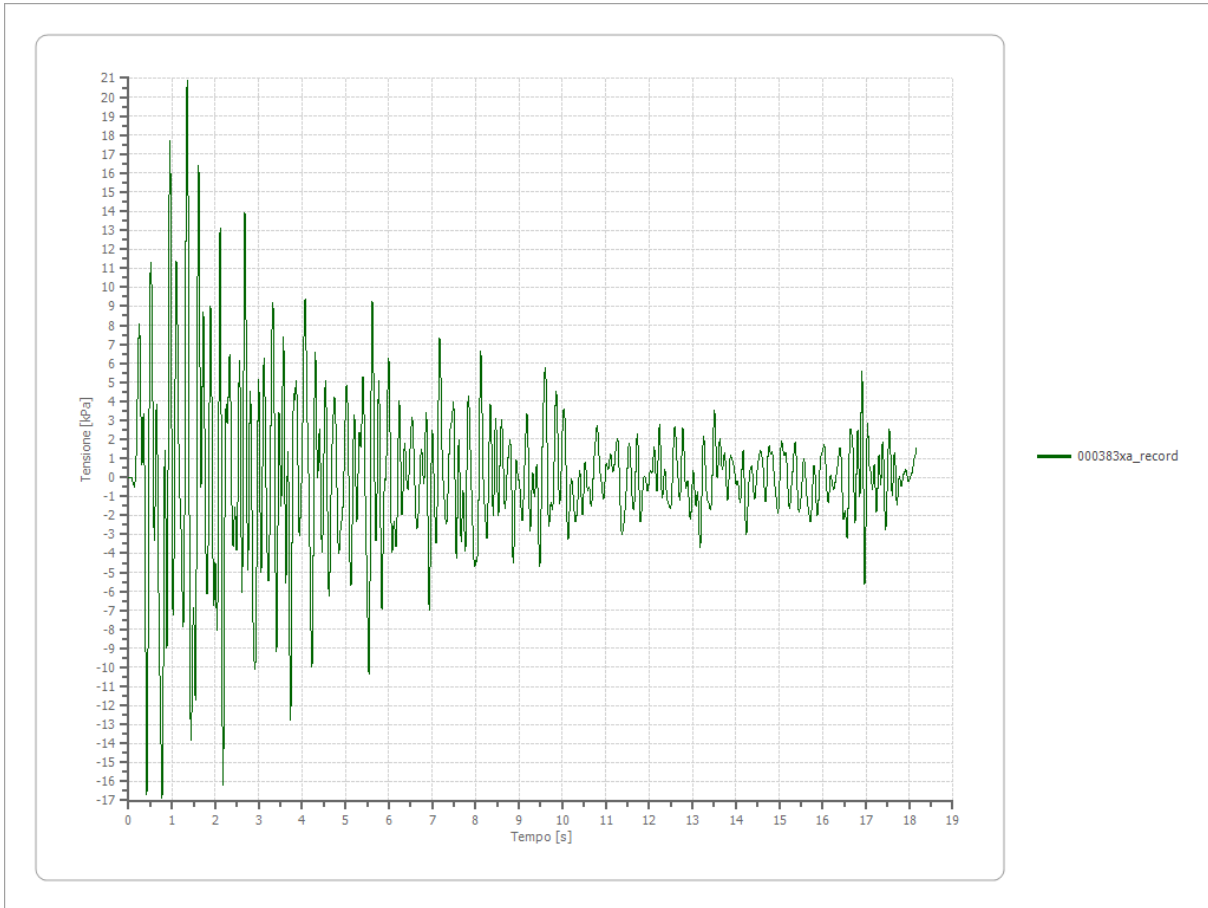
3



Tensione

Numero di strati

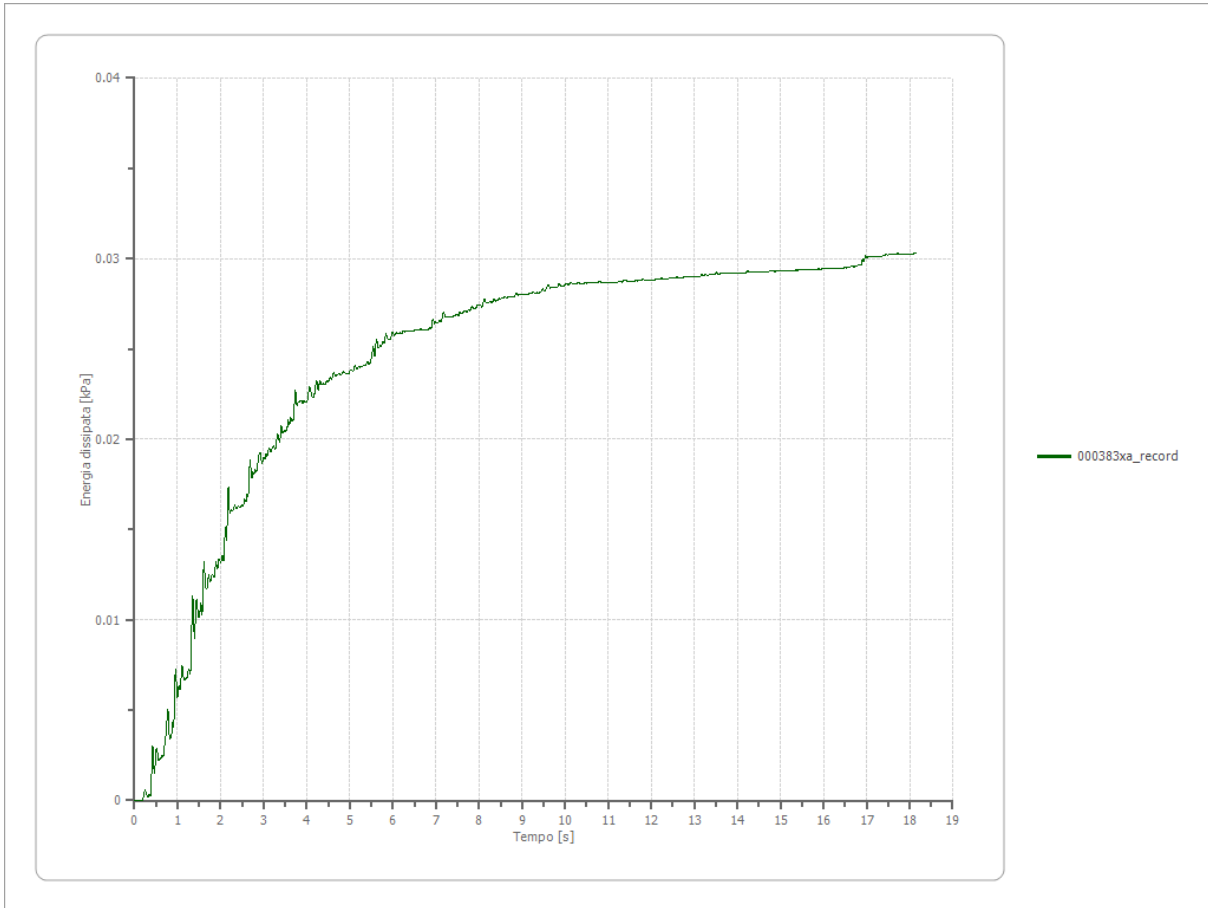
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



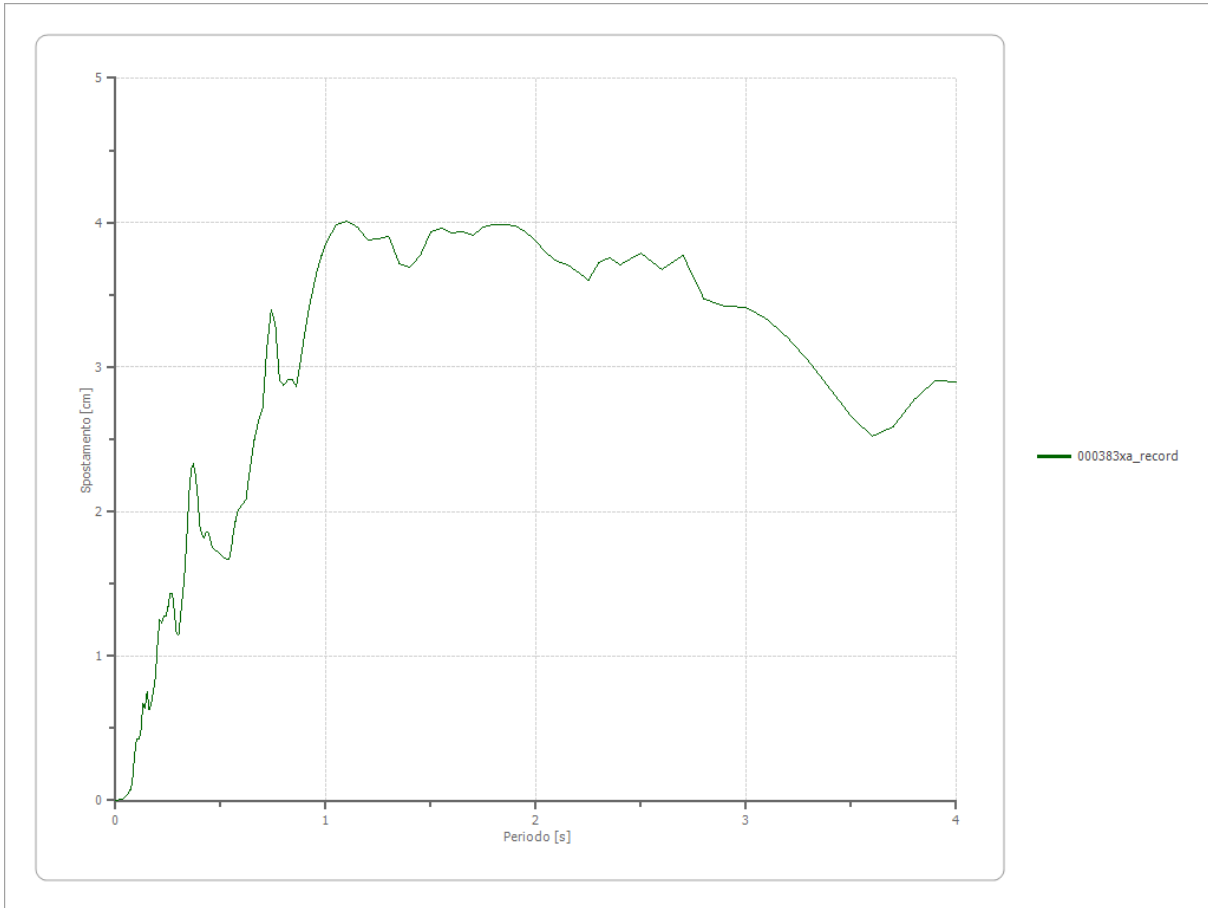
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

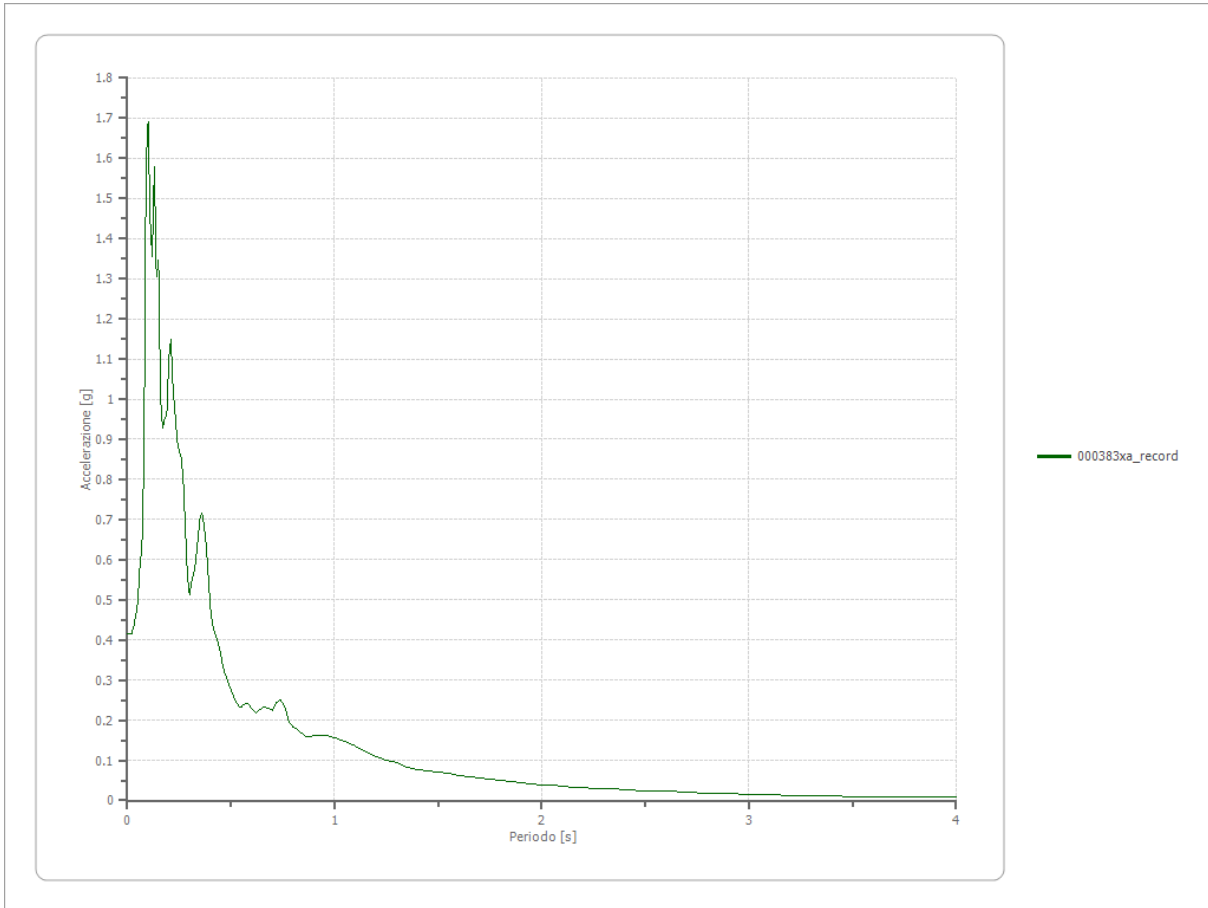
Spostamento

Spostamento massimo	4.011 [cm]
Periodo massimo spostamento	1.100 [s]



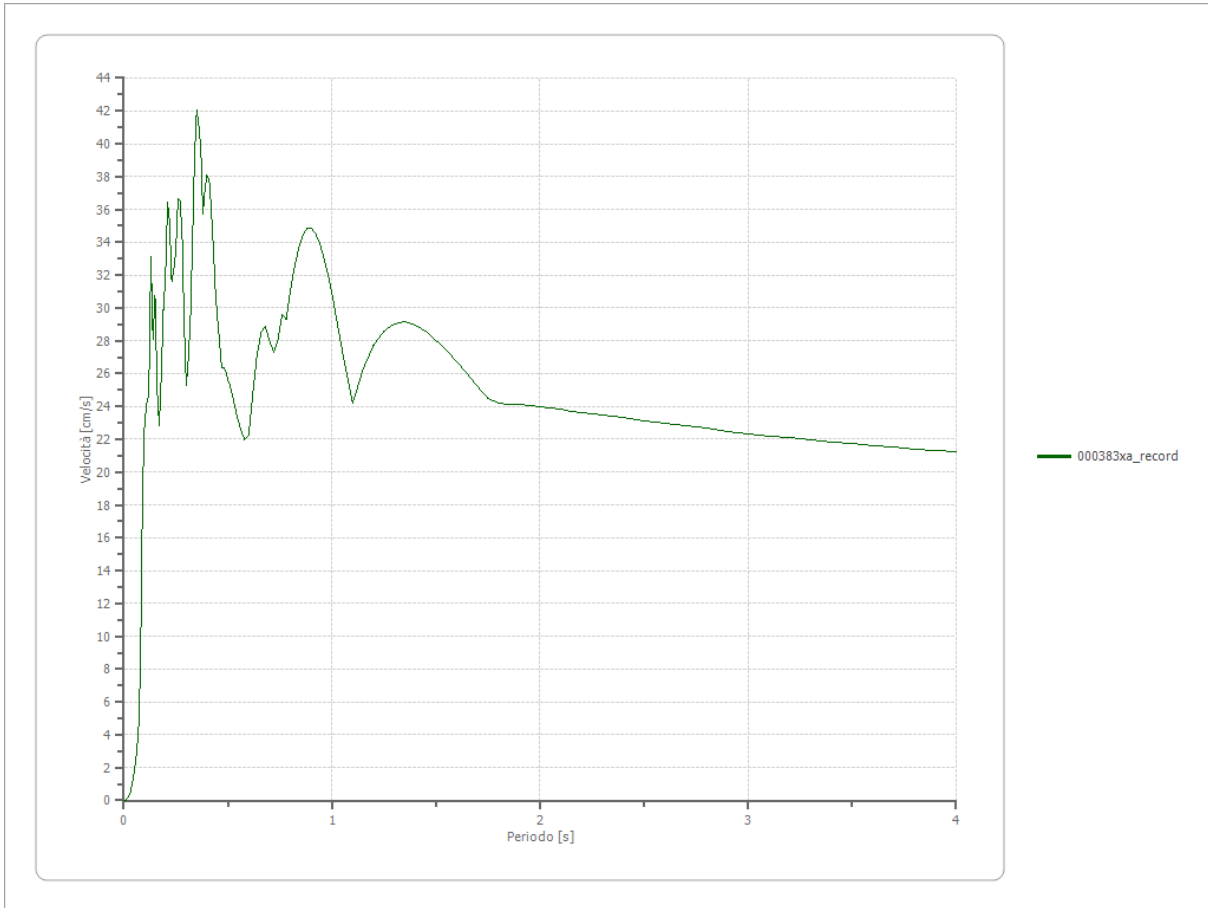
Accelerazione

Accelerazione massima	1.692 [g]
Periodo accelerazione massima	0.100 [s]



Velocità

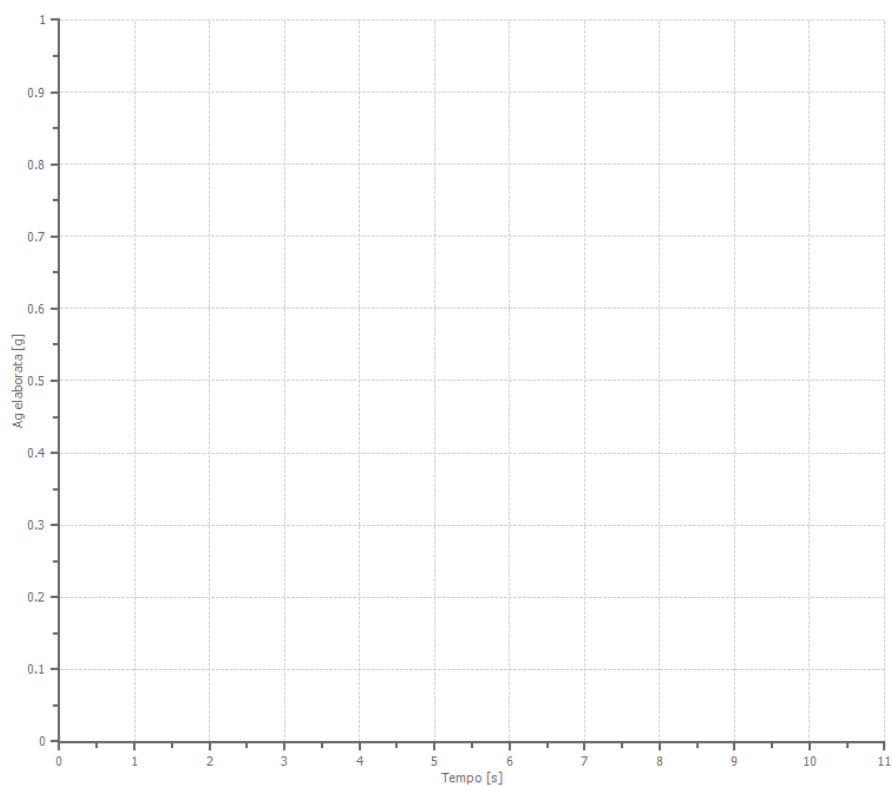
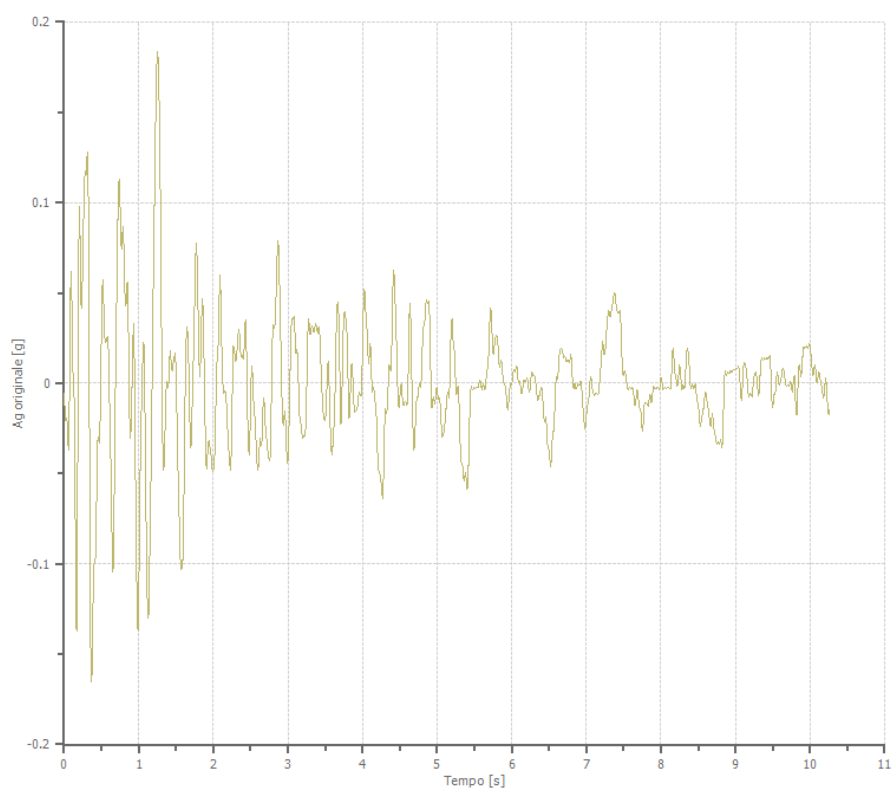
Velocità massima	1.692 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.350 [s]



File 000811ya_record:

Accelerogramma importato

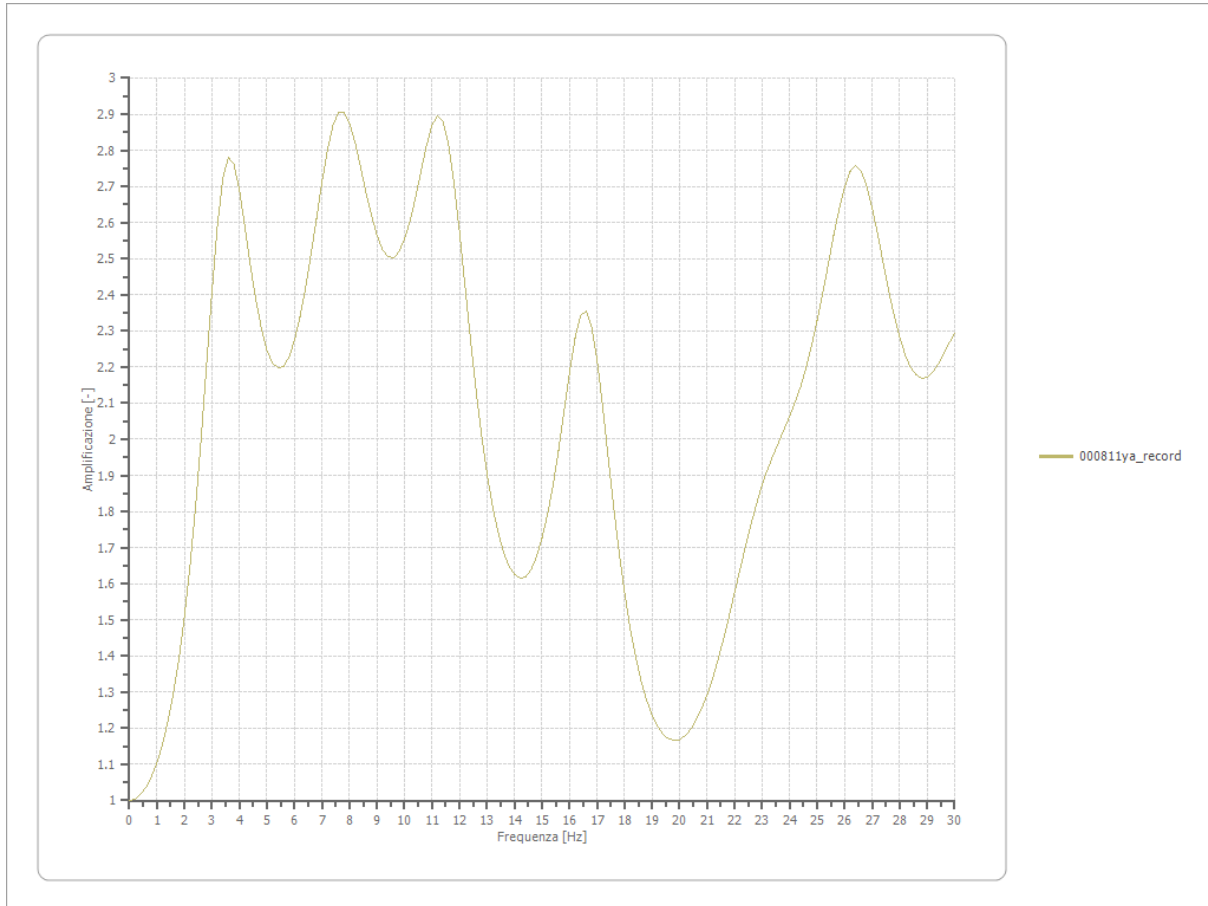
Nome del file	000811ya_record
Durata della traccia	10.260 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	1.250 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.469 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

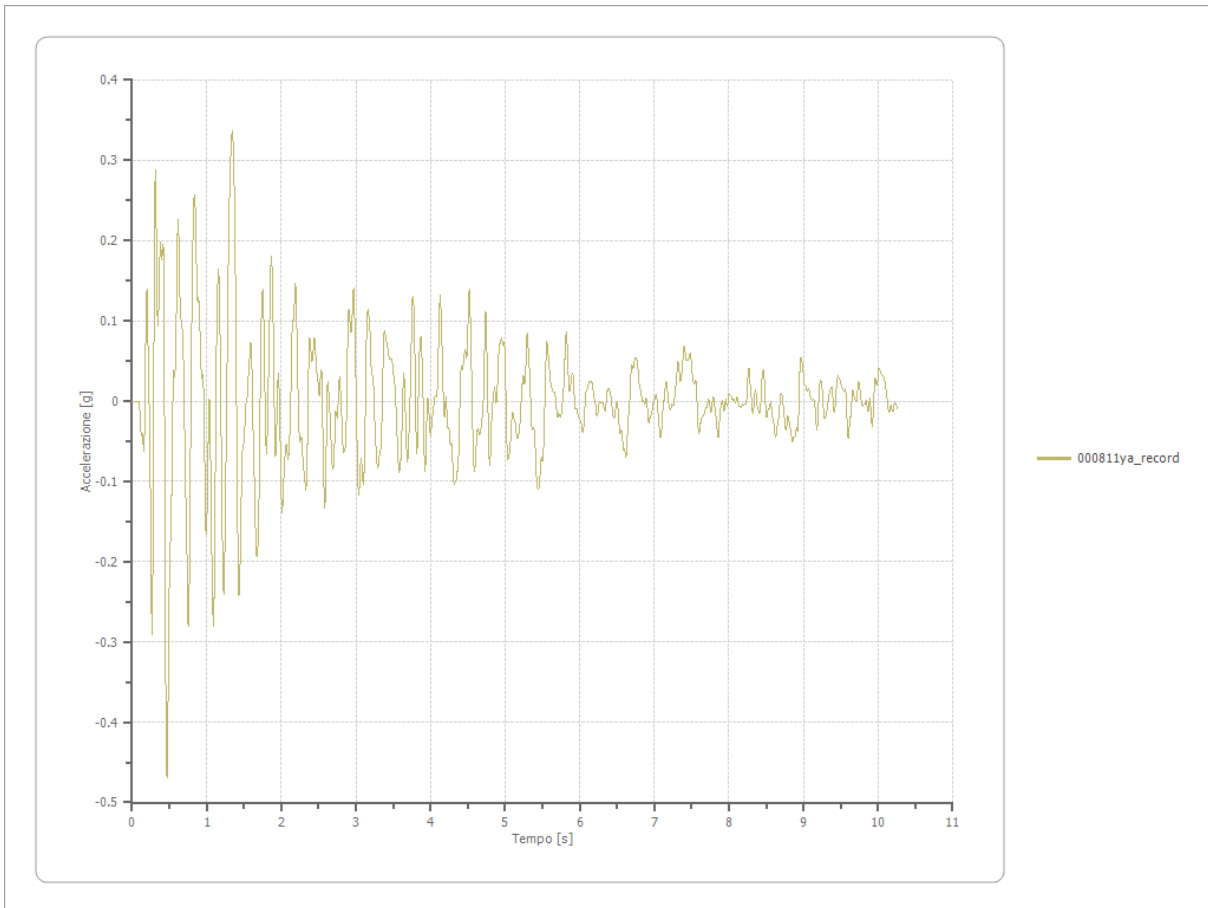
2.576

Accelerazione massima

0.469 [g]

Periodo accelerazione massima

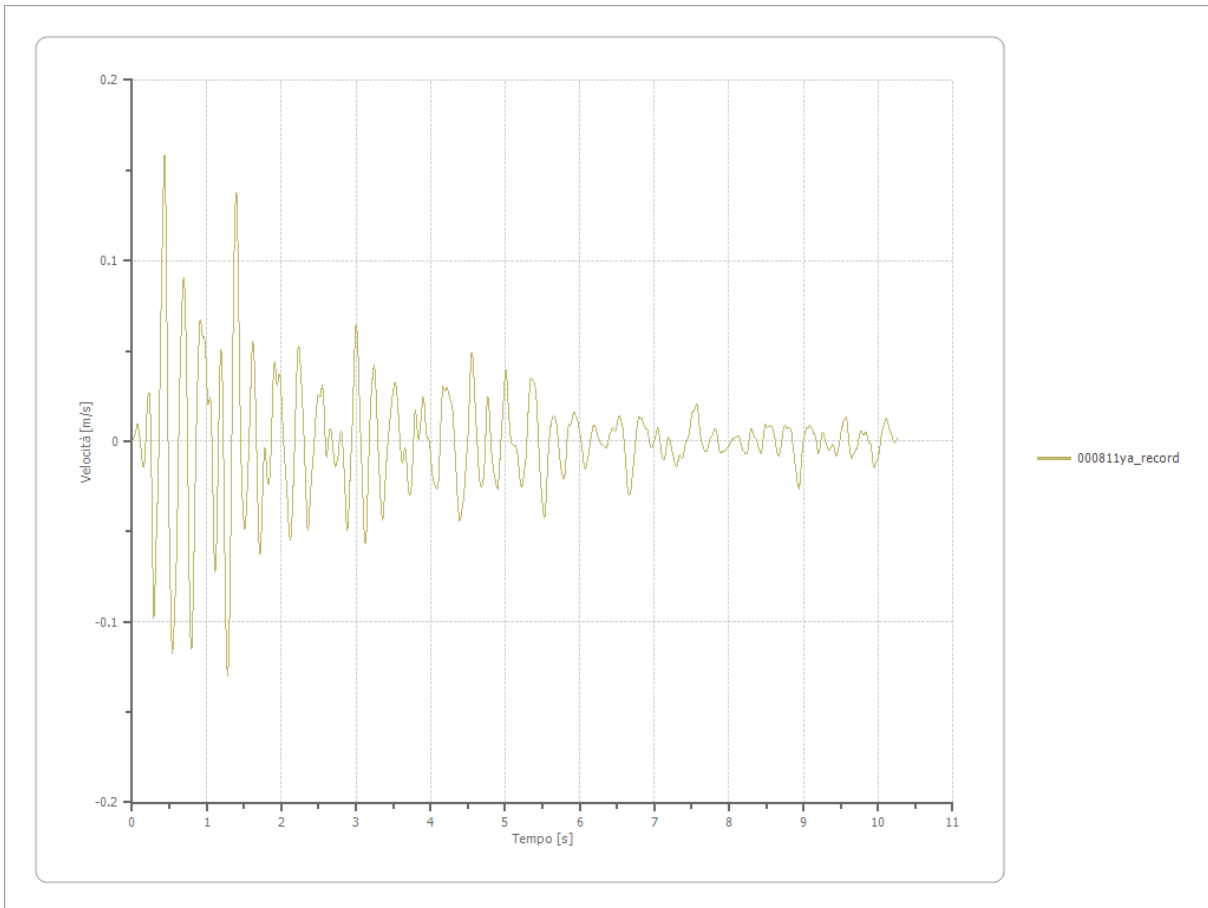
0.470 [s]



Velocità

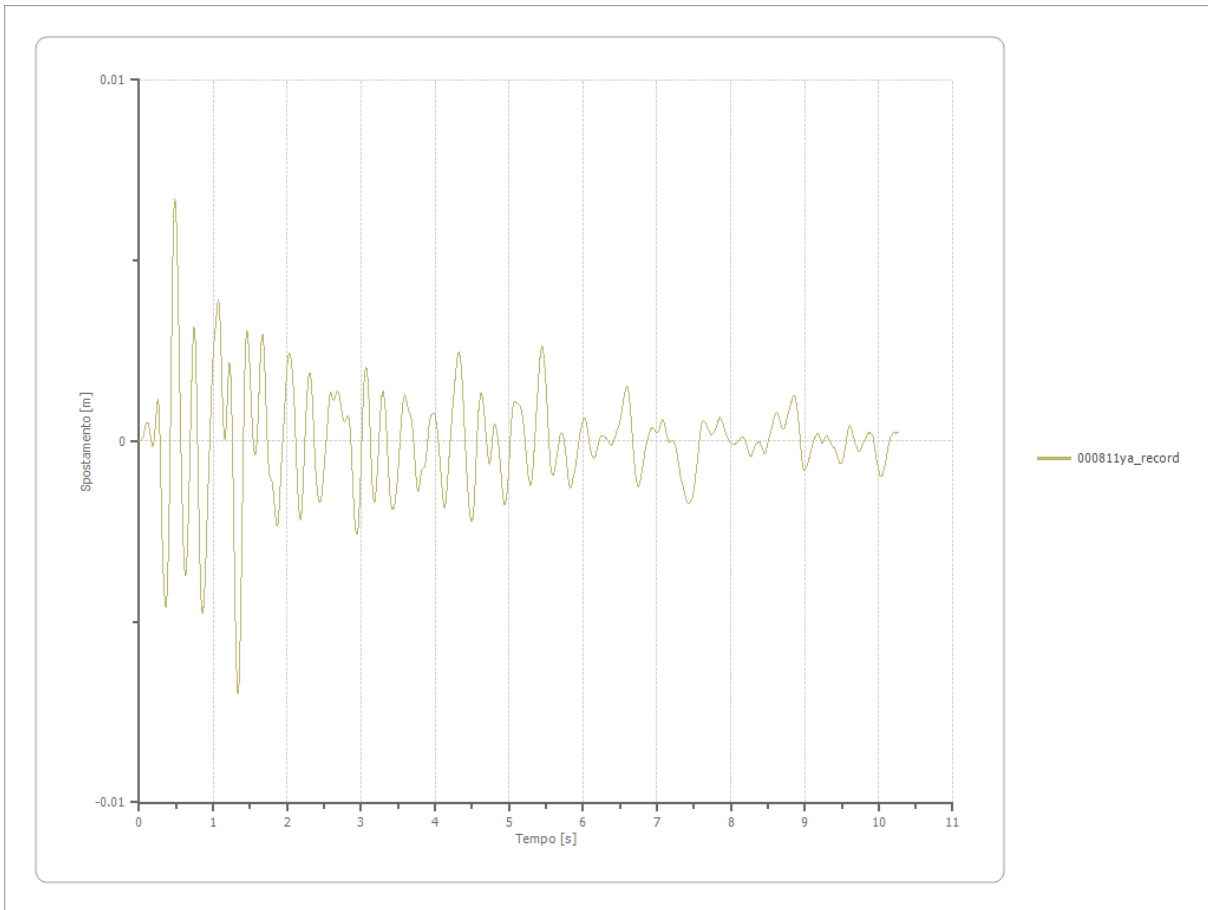
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.158 [m/s]
0.430 [s]



Spostamento

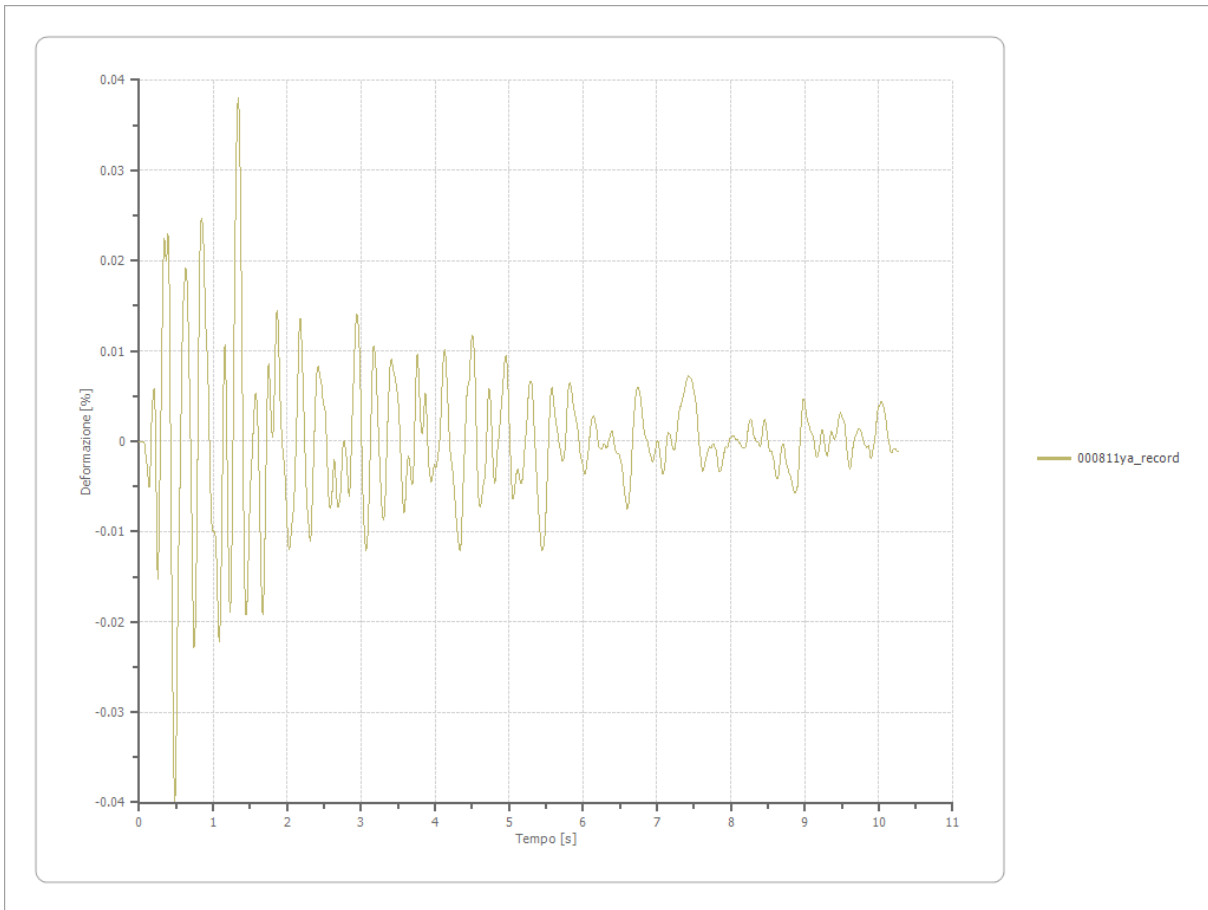
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.007 [m]
Periodo spostamento massimo	1.340 [s]



Deformazione

Numero di strati

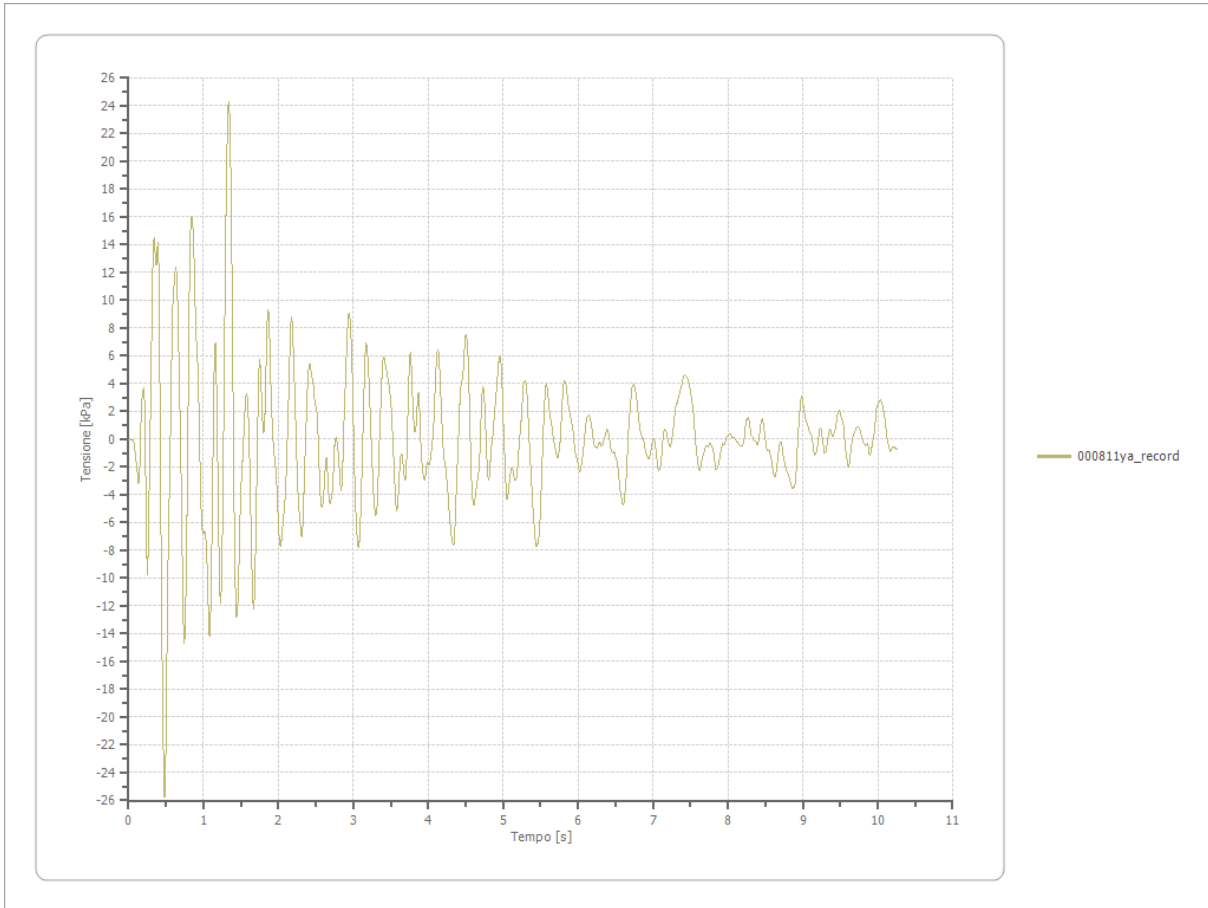
3



Tensione

Numero di strati

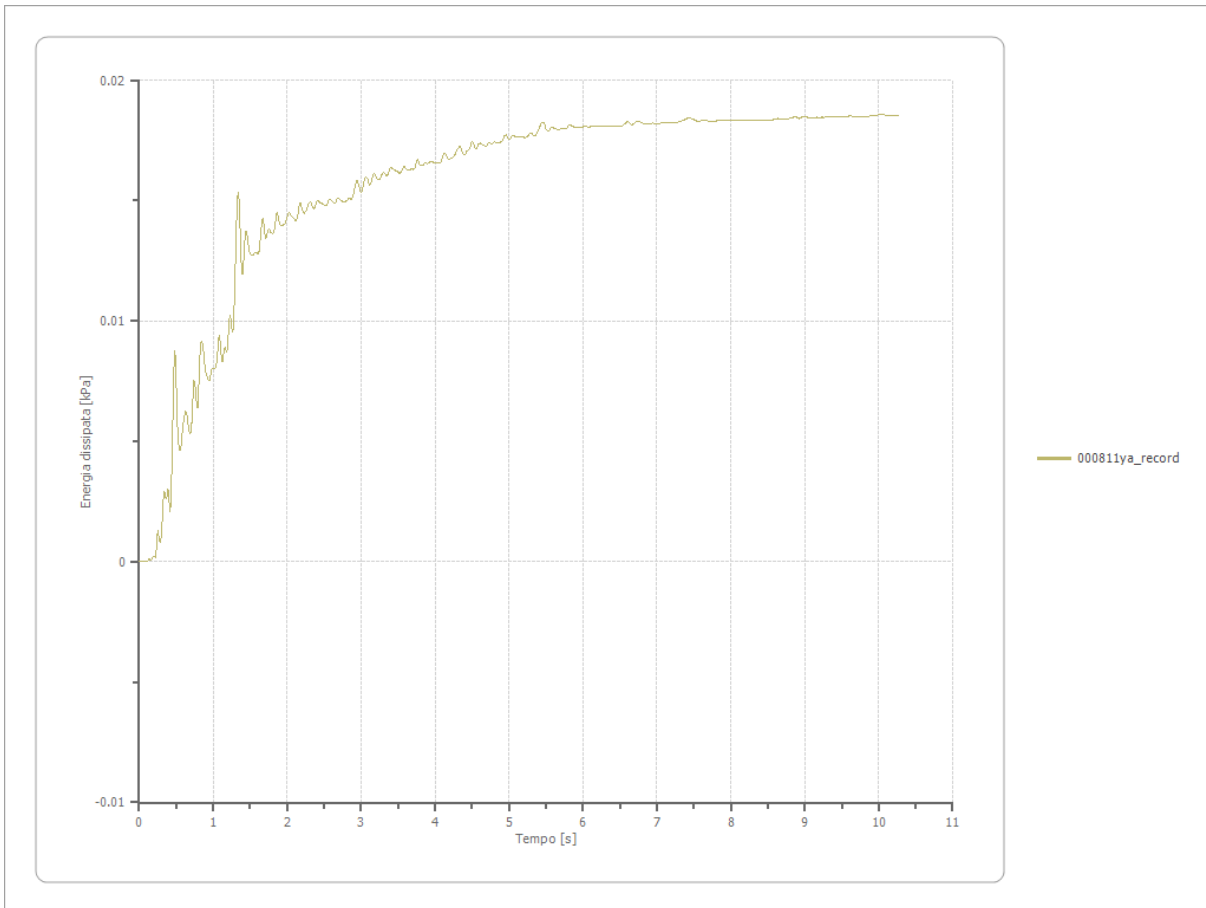
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



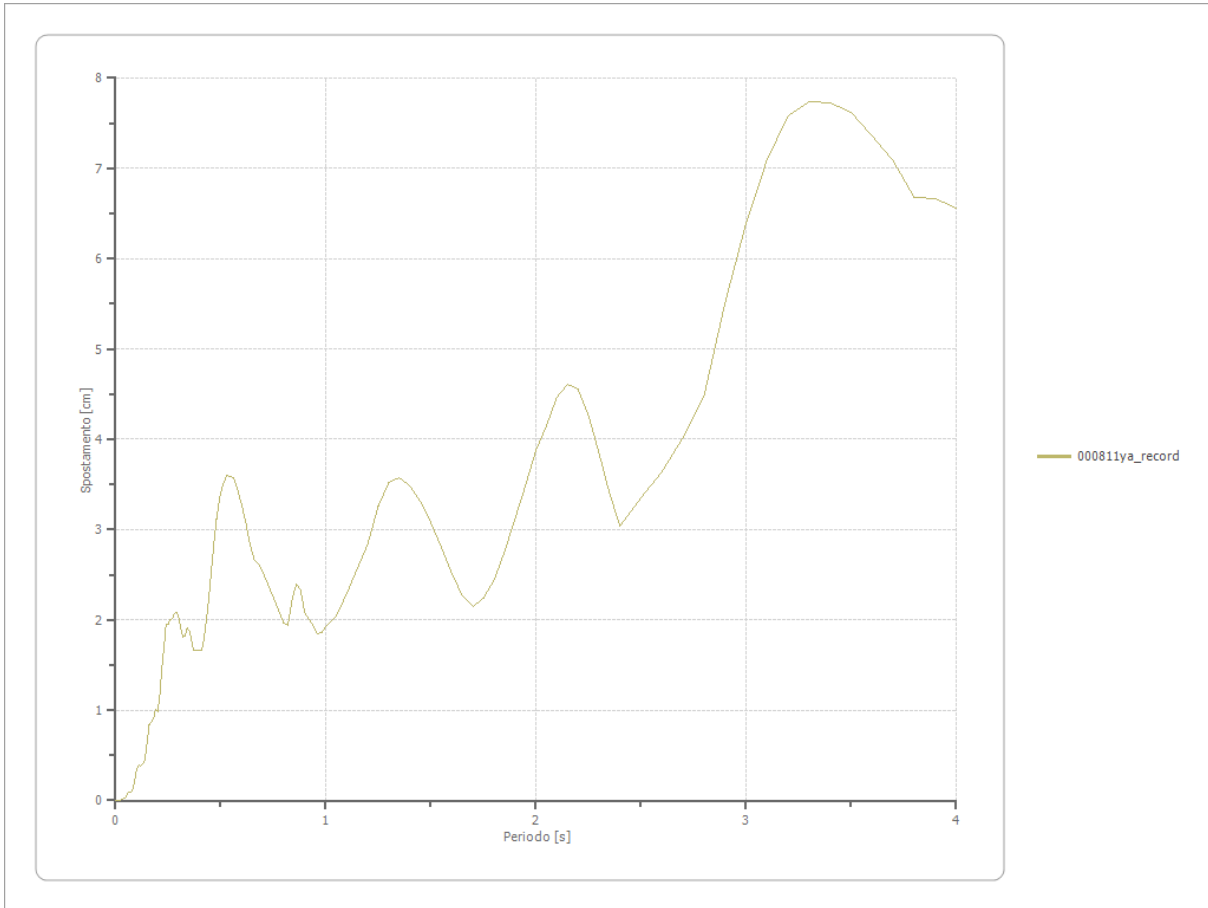
Trasformata di Fourier

Strato 1 Affiorante
 Numero di campioni del filtro a media mobile 1

Spettri

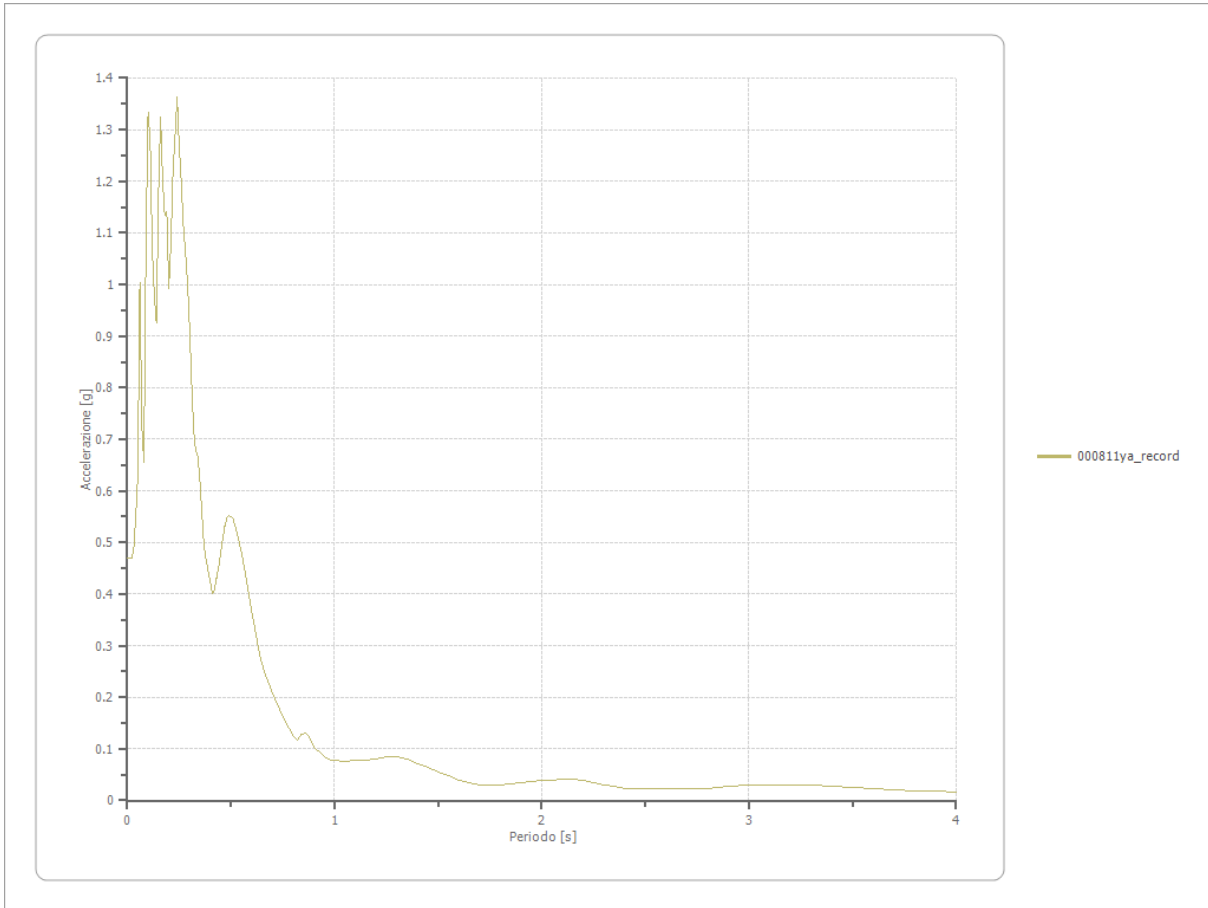
Spostamento

Spostamento massimo 7.741 [cm]
 Periodo massimo spostamento 3.300 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.364 [g]
Periodo accelerazione massima	0.240 [s]



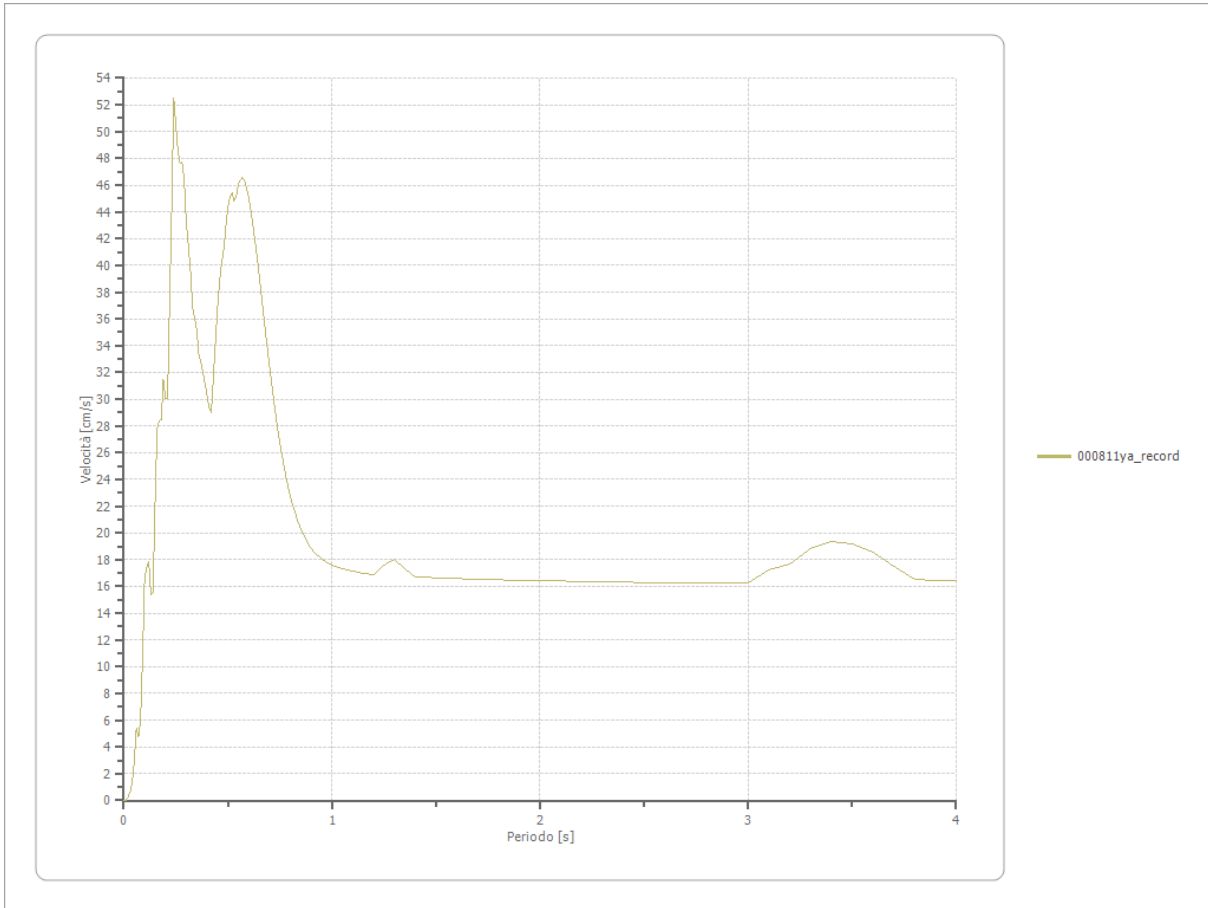
Velocità

Velocità massima

1.364 [cm/s]

Periodo massima velocità

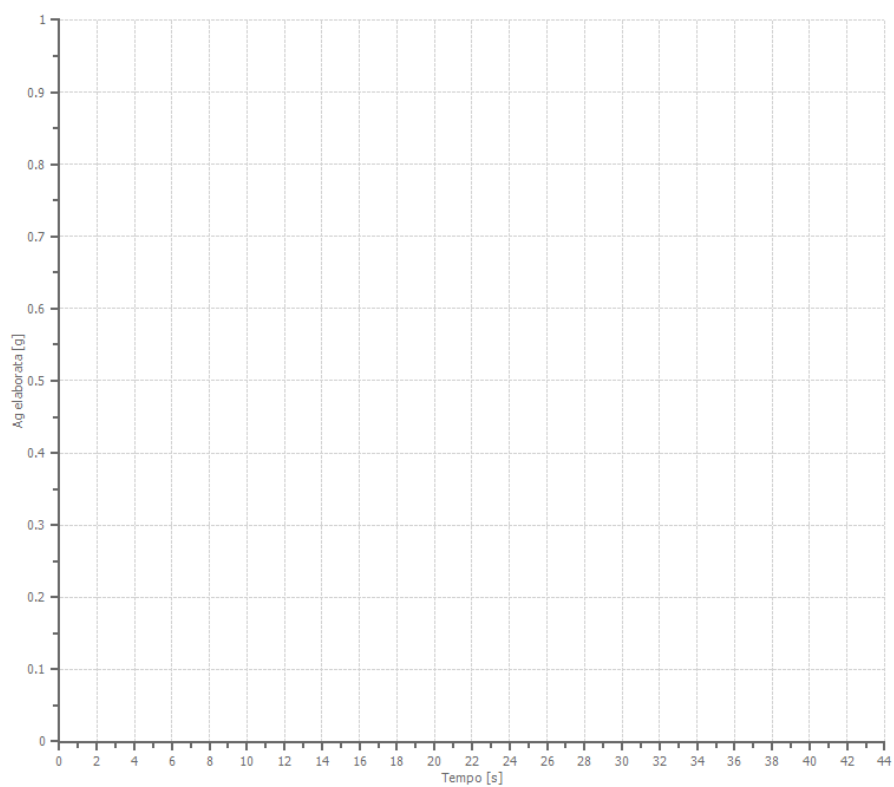
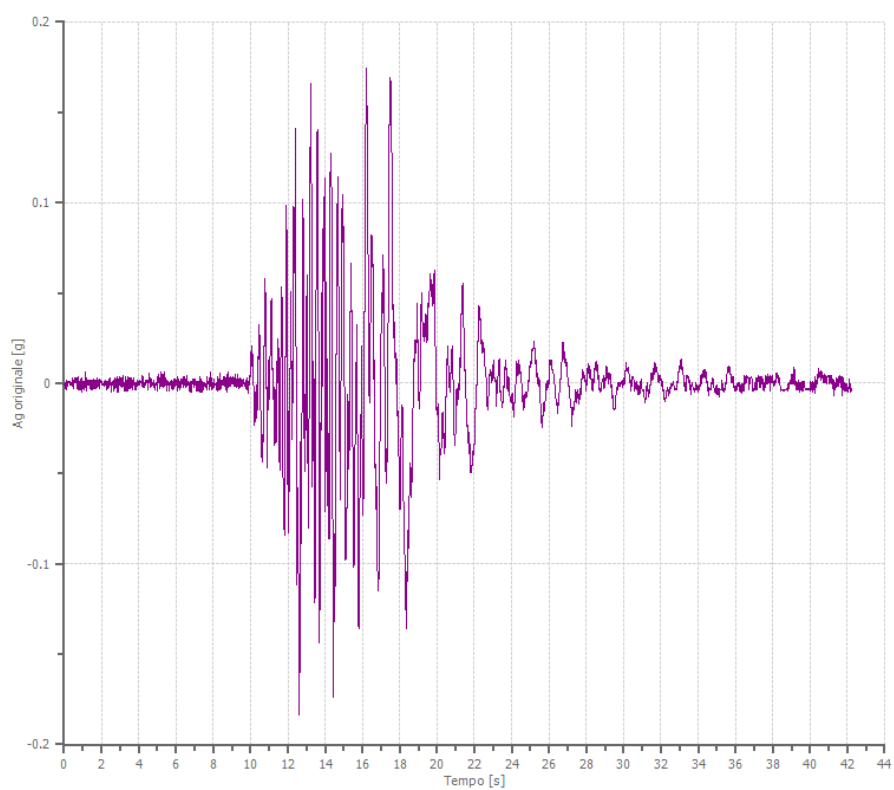
0.240 [s]



File 005085xa_record:

Accelerogramma importato

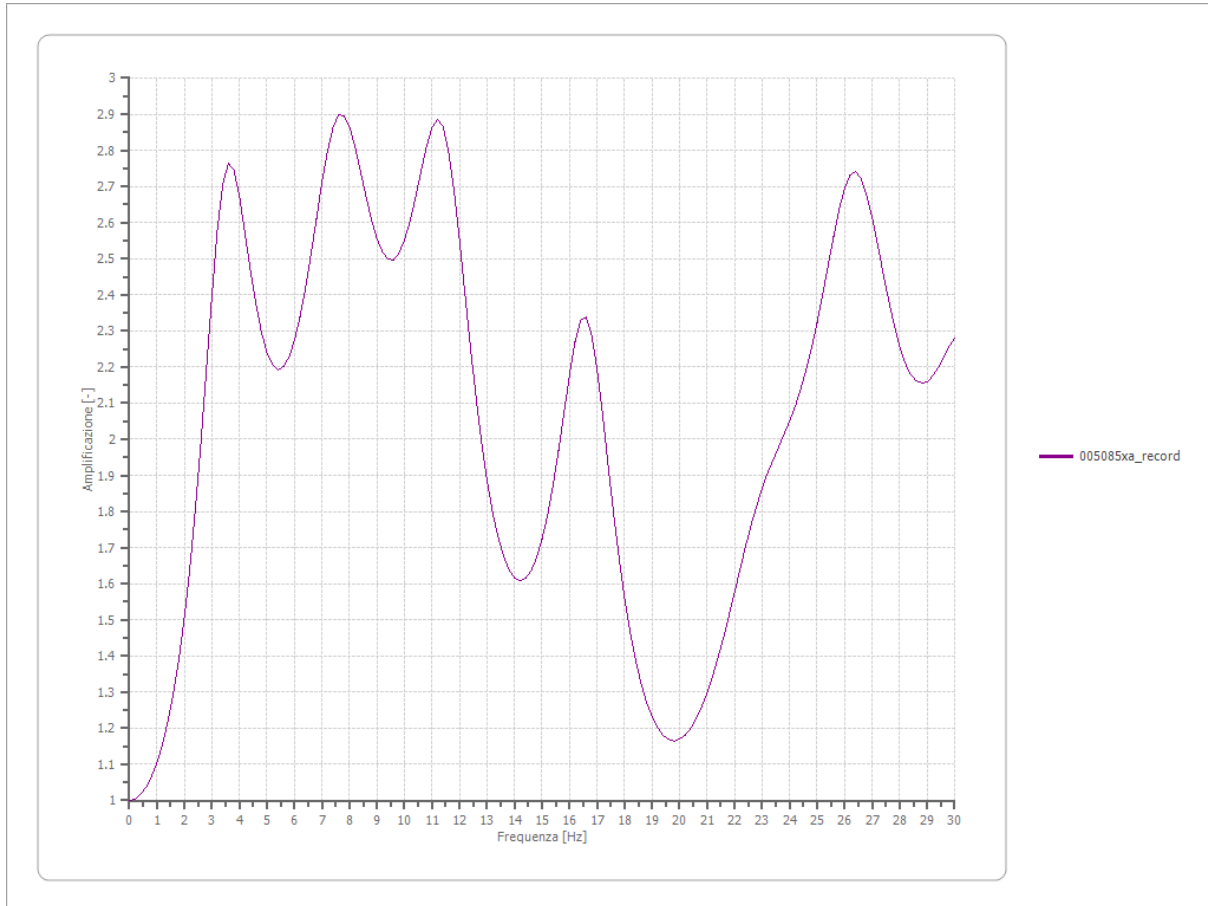
Nome del file	005085xa_record
Durata della traccia	42.220 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	12.620 [s]



Amplificazione

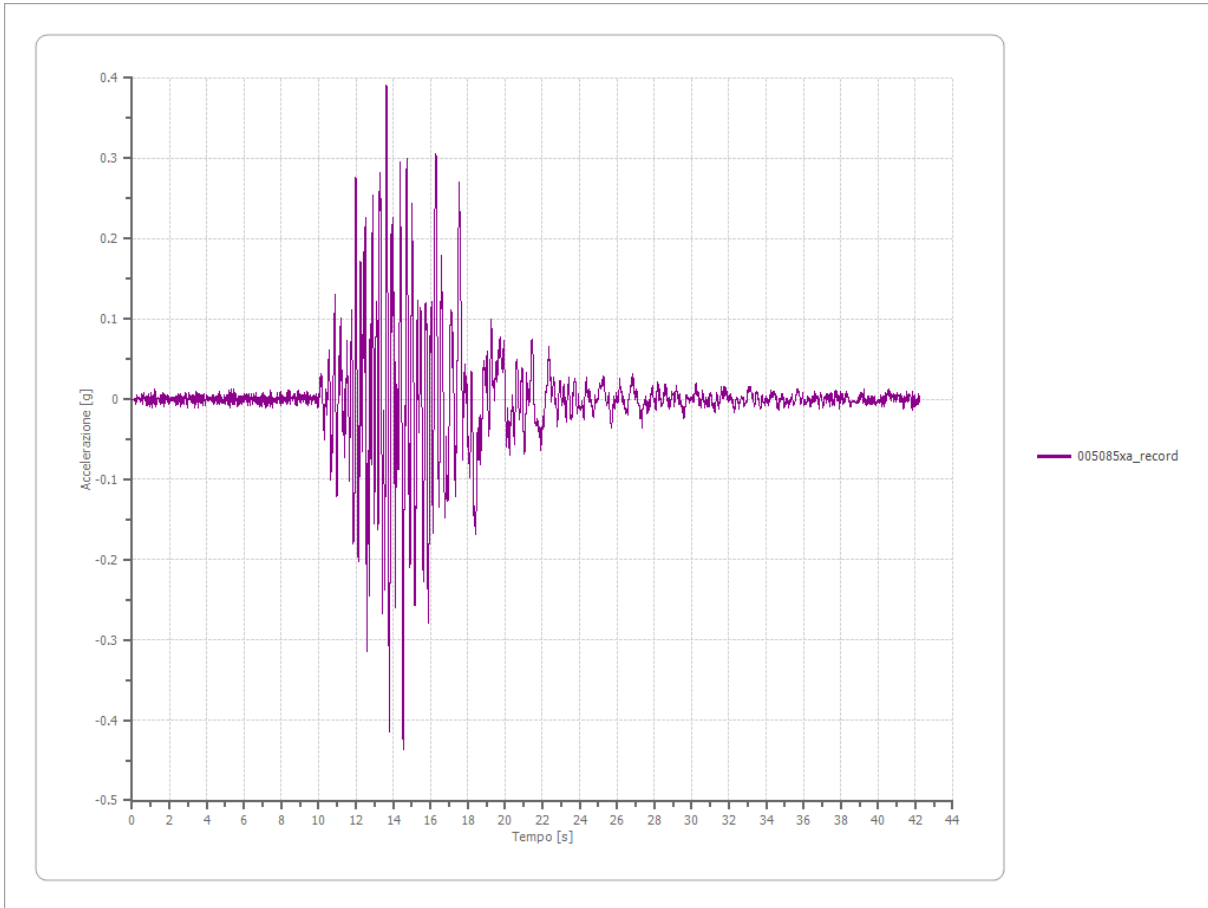
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

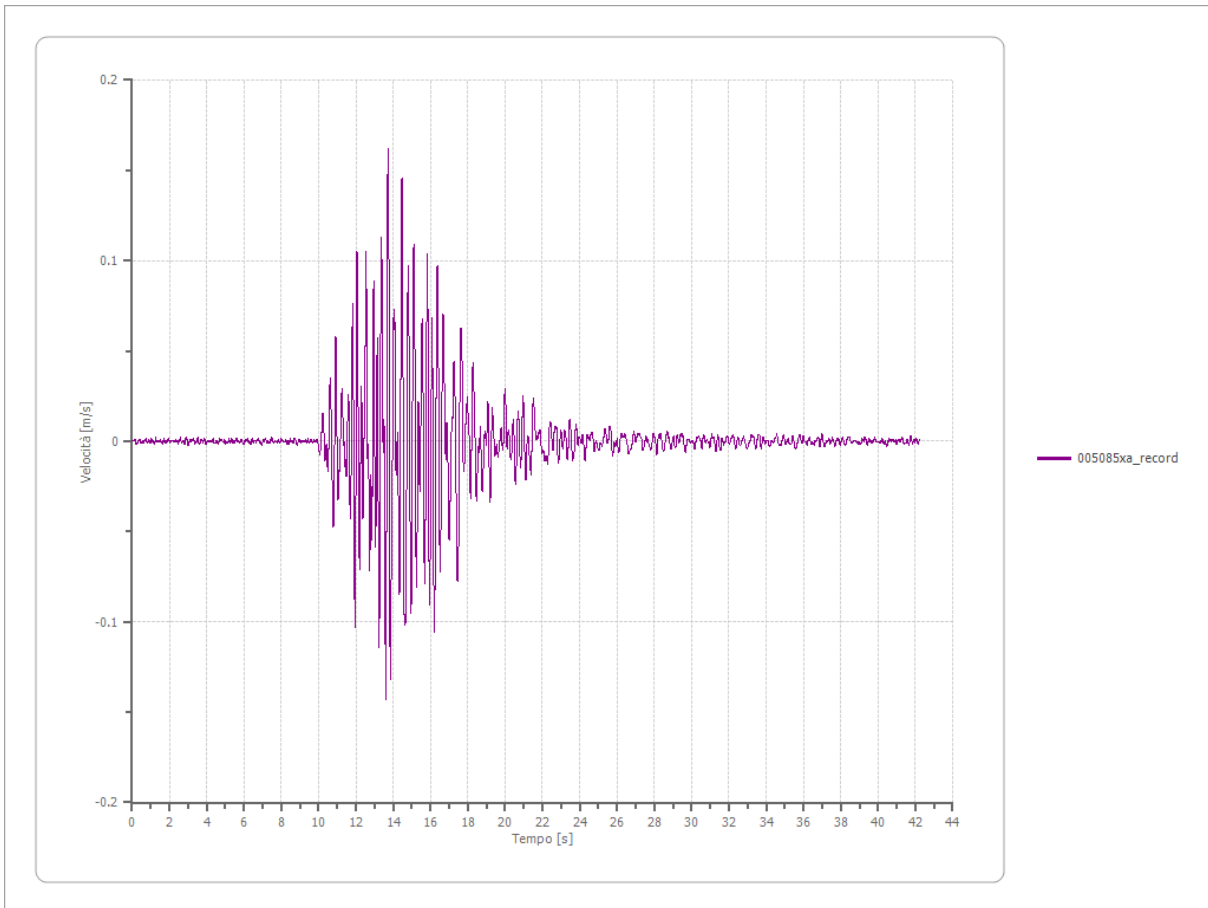
Strato	1 Affiorante
Pga	0.436 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	2.396
Accelerazione massima	0.436 [g]
Periodo accelerazione massima	14.530 [s]



Velocità

Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.162 [m/s]
13.720 [s]



Spostamento

Strato

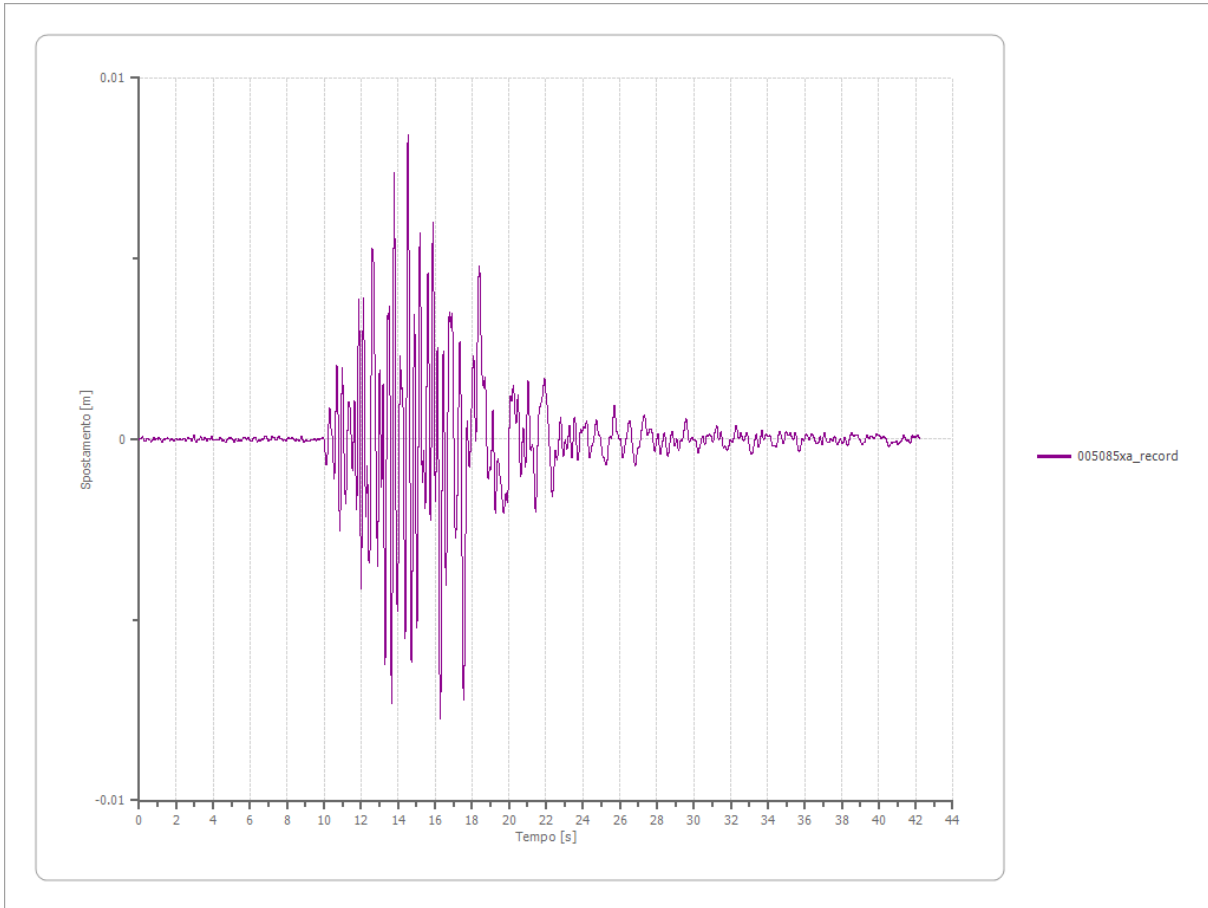
1 Affiorante

Spostamento massimo

0.008 [m]

Periodo spostamento massimo

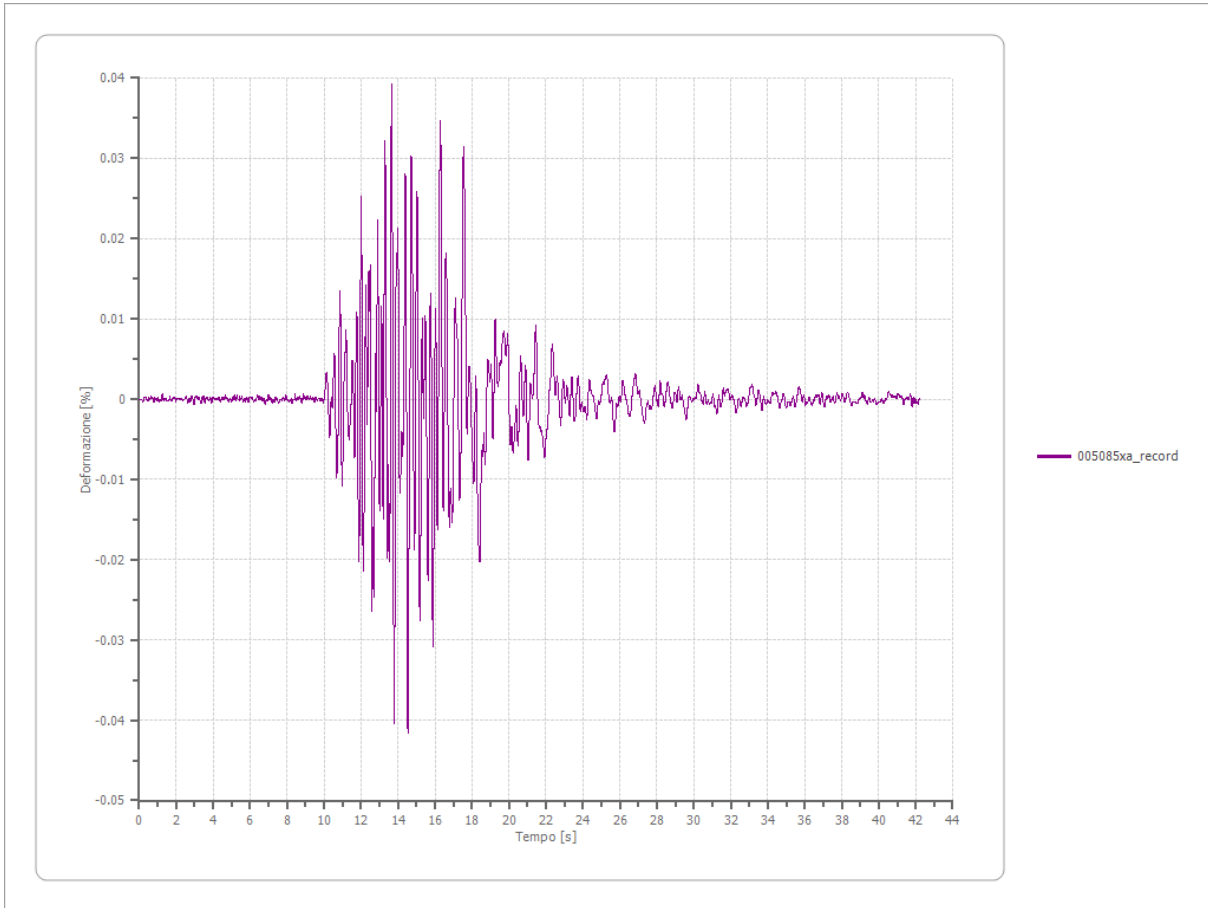
14.540 [s]



Deformazione

Numero di strati

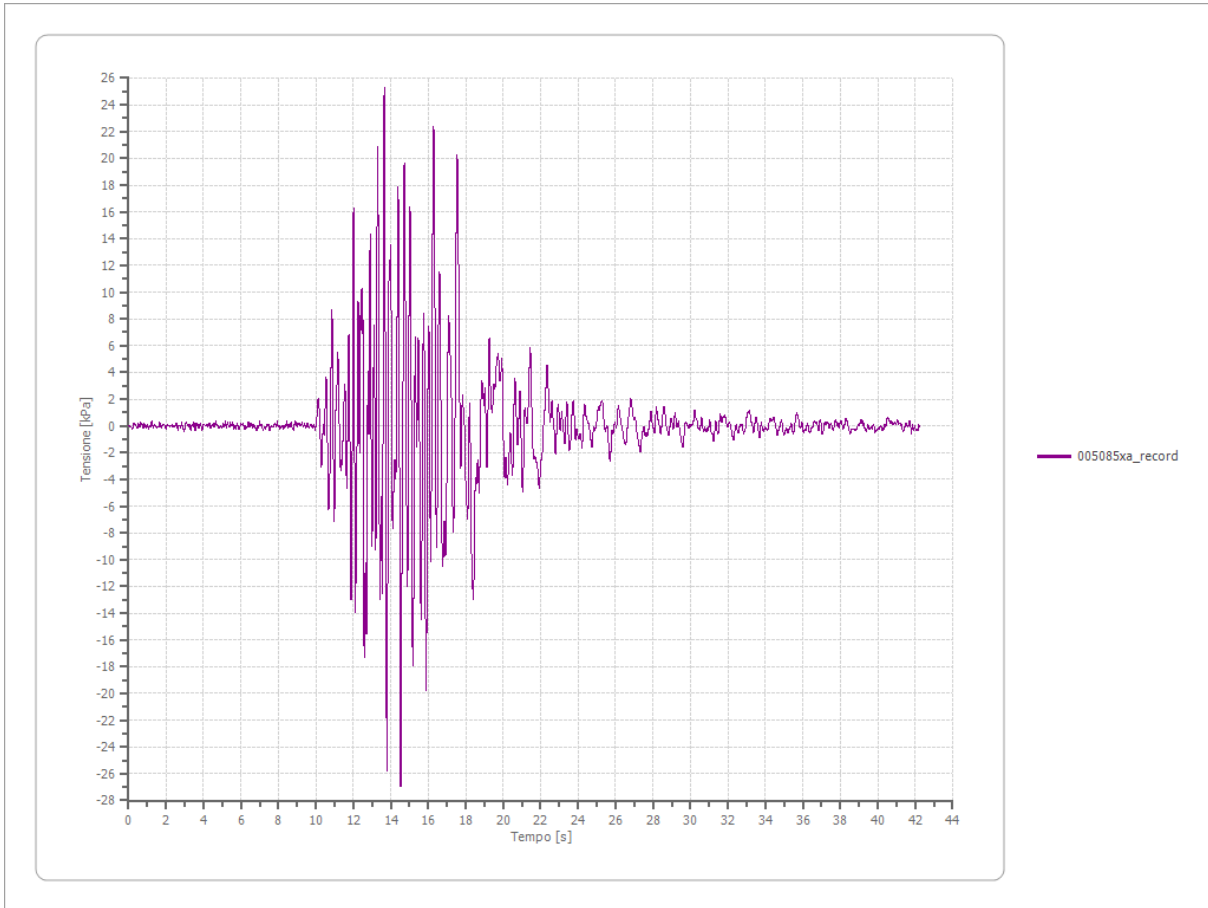
3



Tensione

Numero di strati

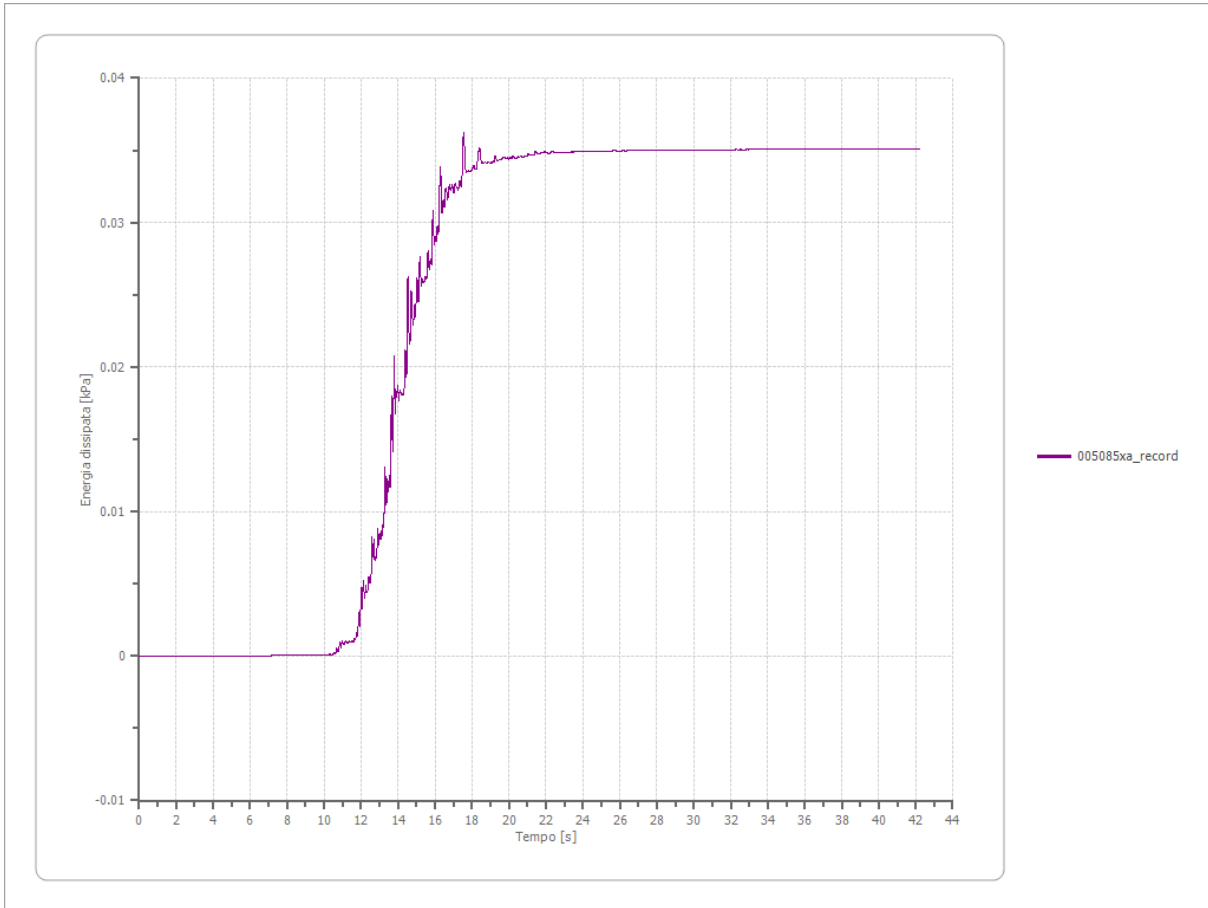
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



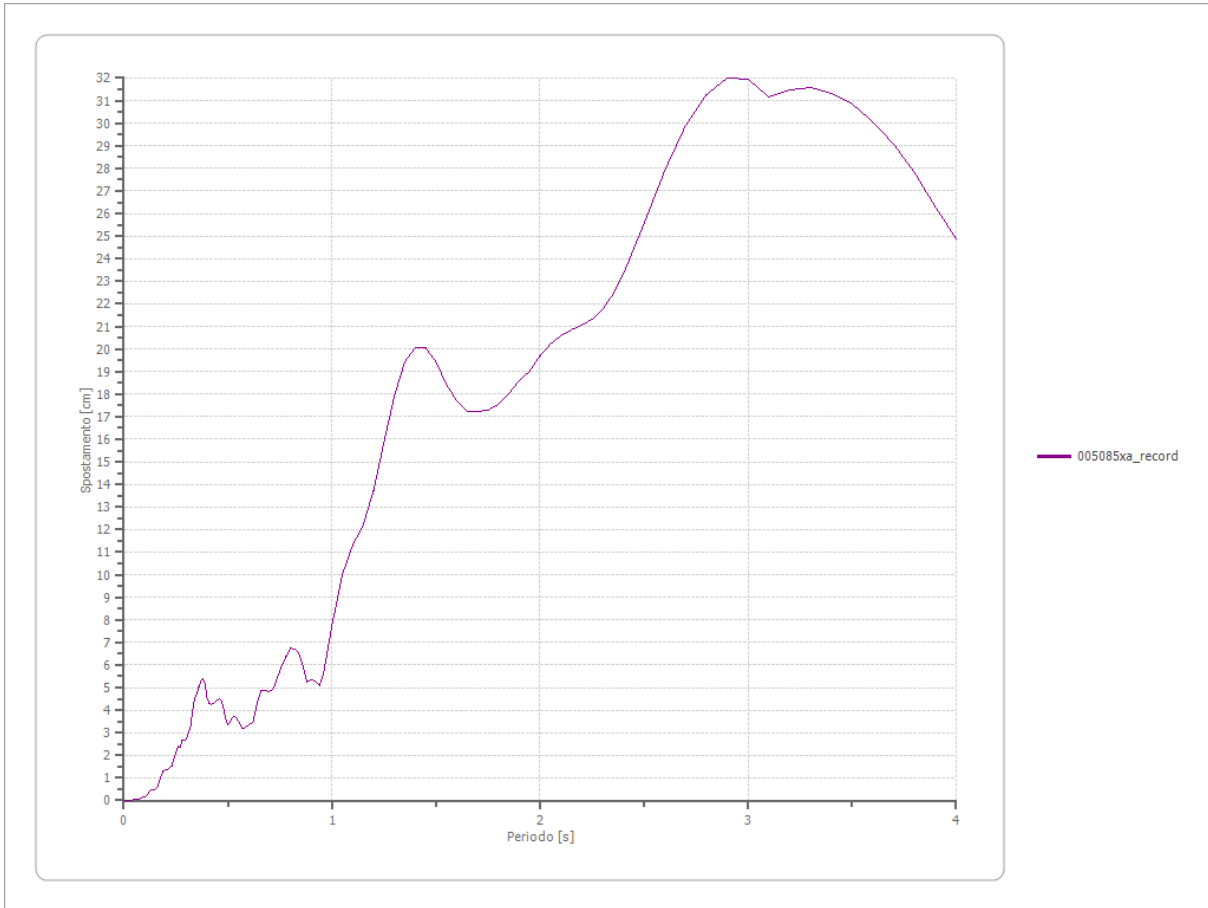
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

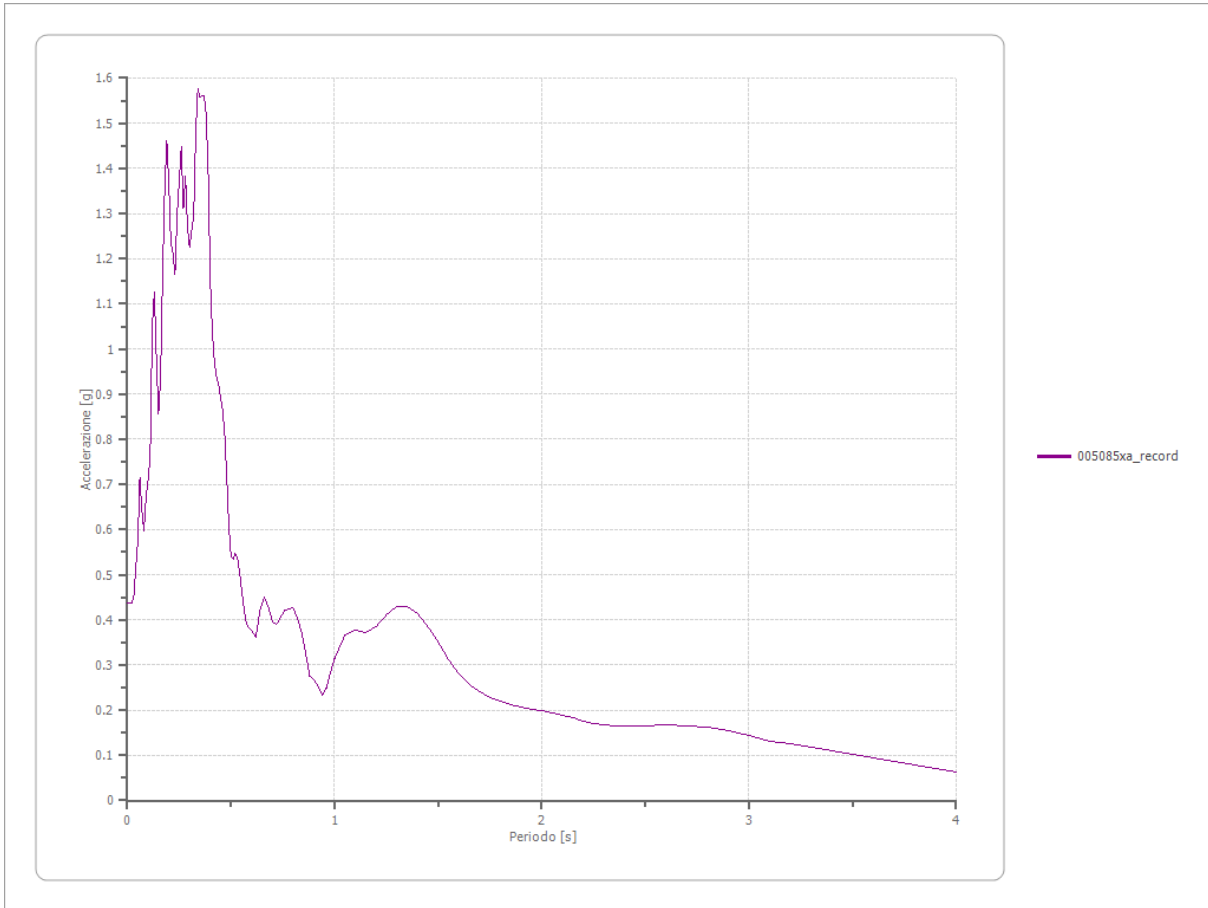
Spostamento

Spostamento massimo	31.982 [cm]
Periodo massimo spostamento	2.900 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.575 [g]
Periodo accelerazione massima	0.340 [s]



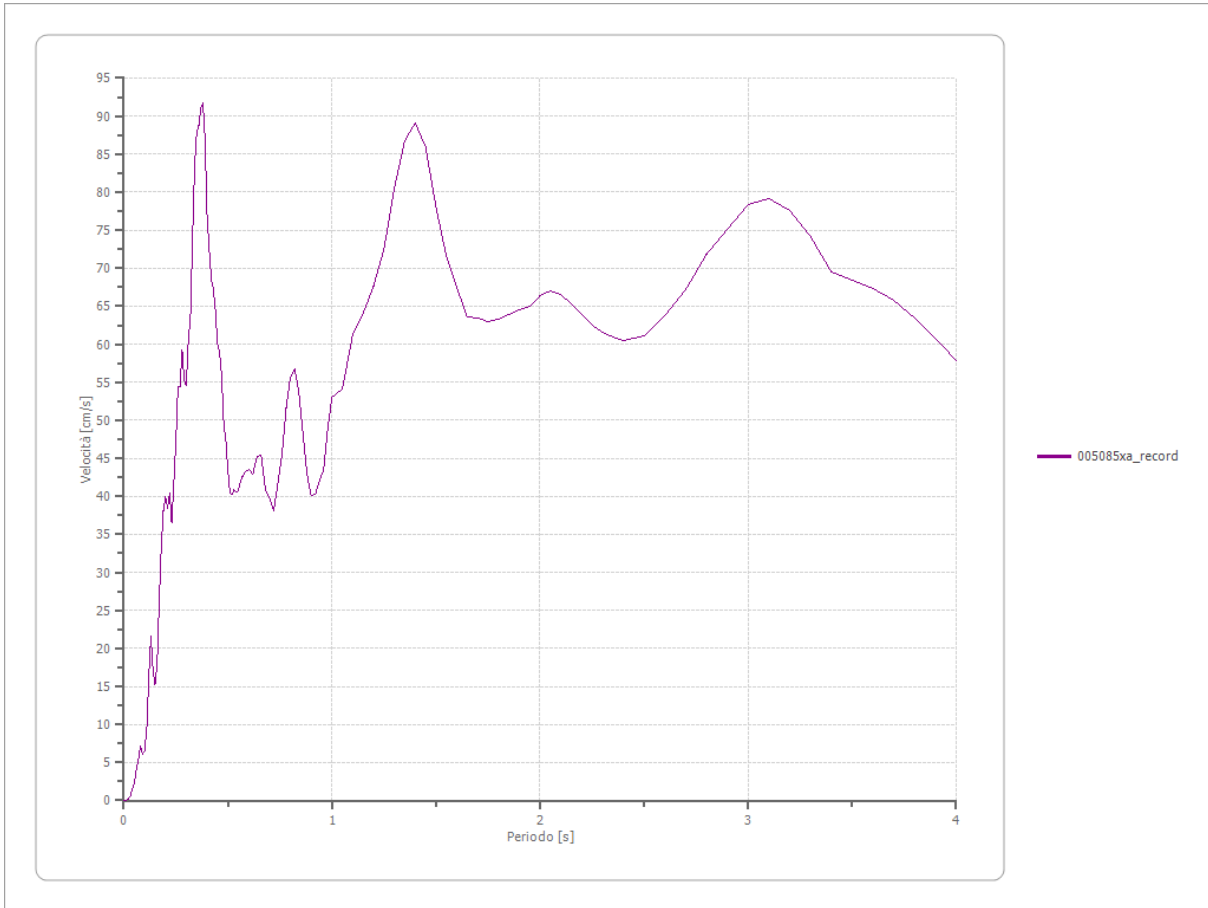
Velocità

Velocità massima

1.575 [cm/s]

Periodo massima velocità

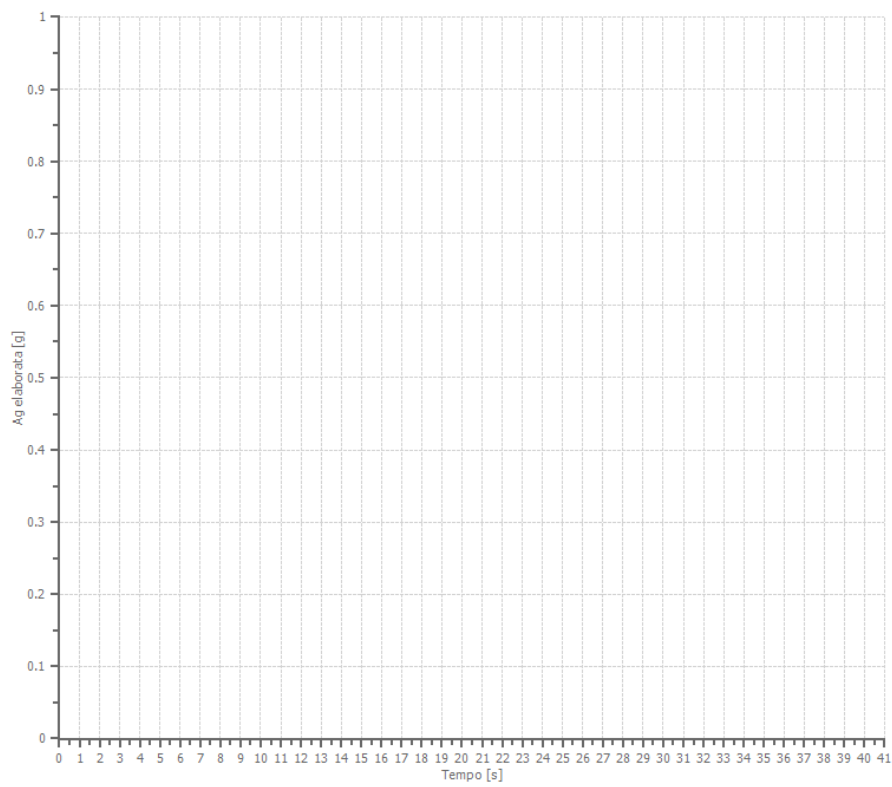
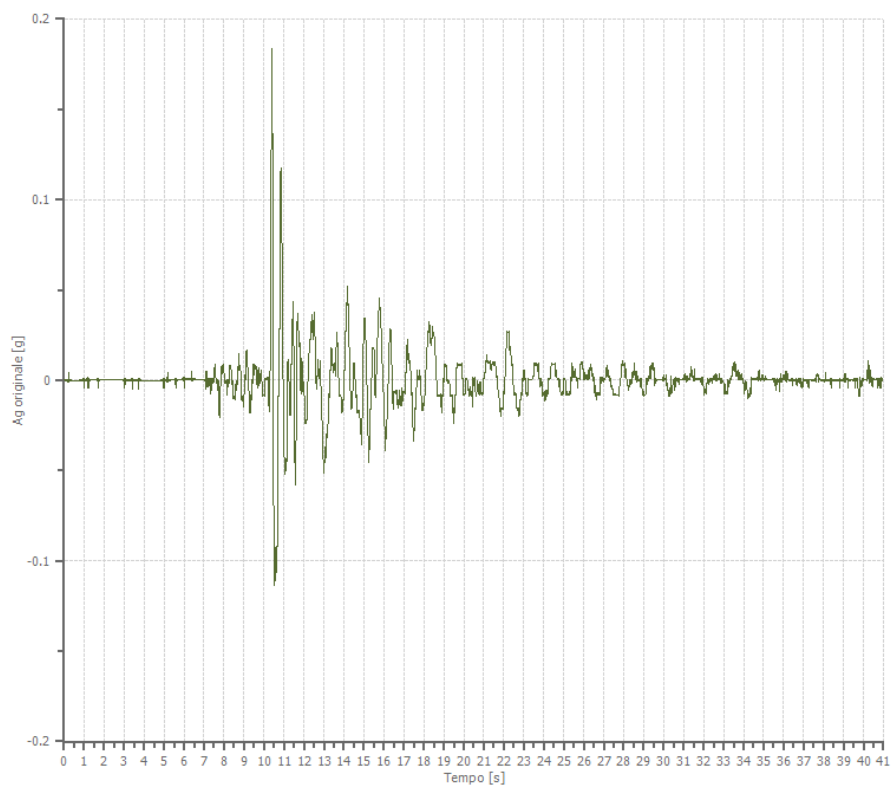
0.380 [s]



File 005259xa_record:

Accelerogramma importato

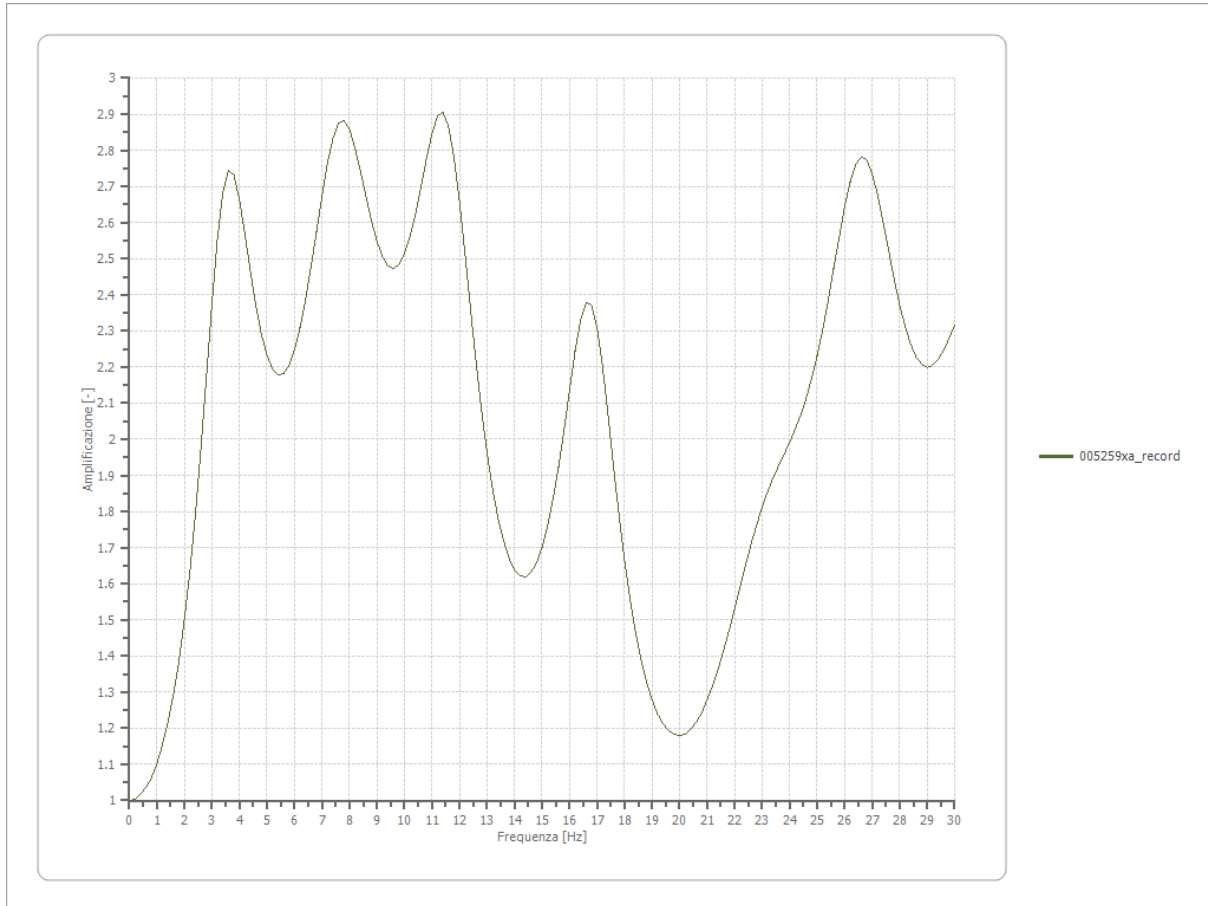
Nome del file	005259xa_record
Durata della traccia	40.940 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	10.400 [s]



Amplificazione

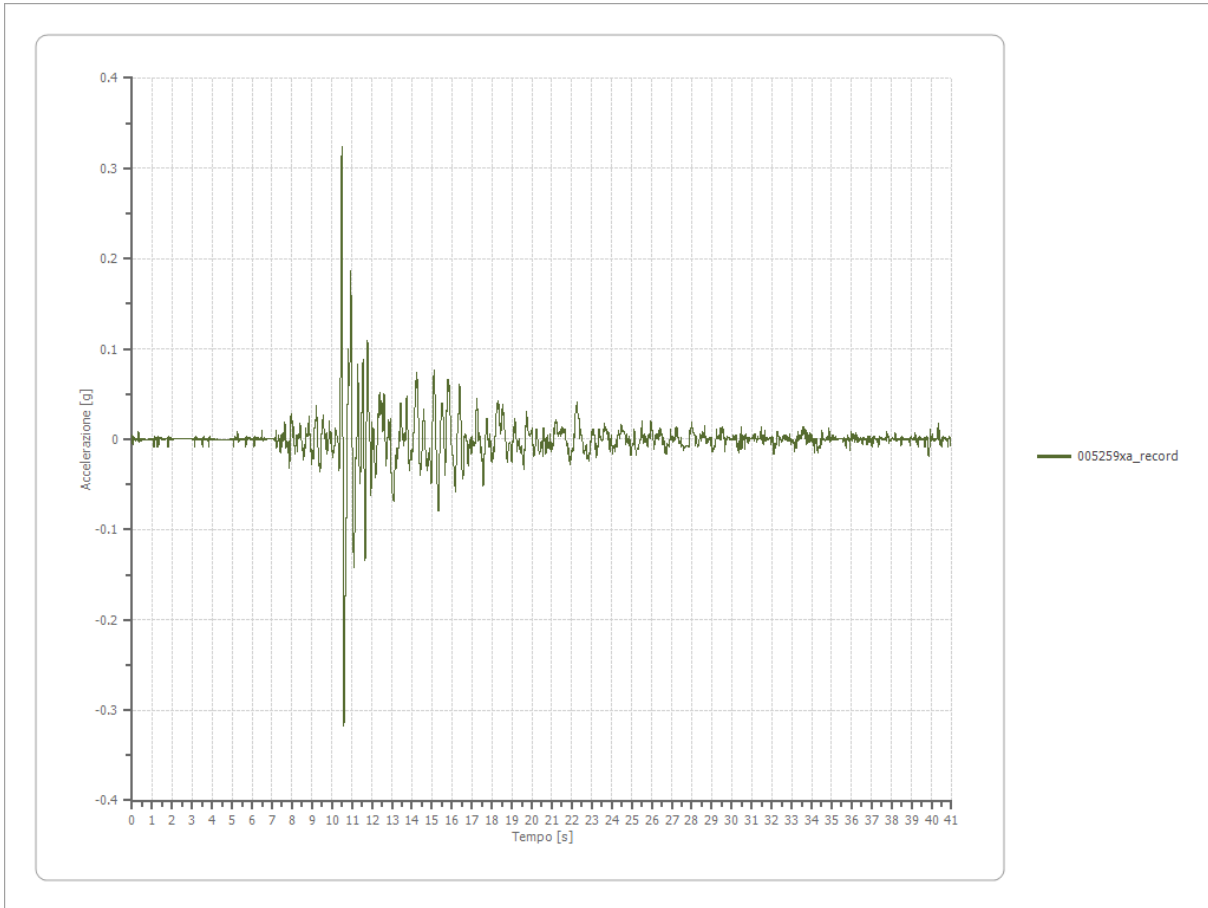
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



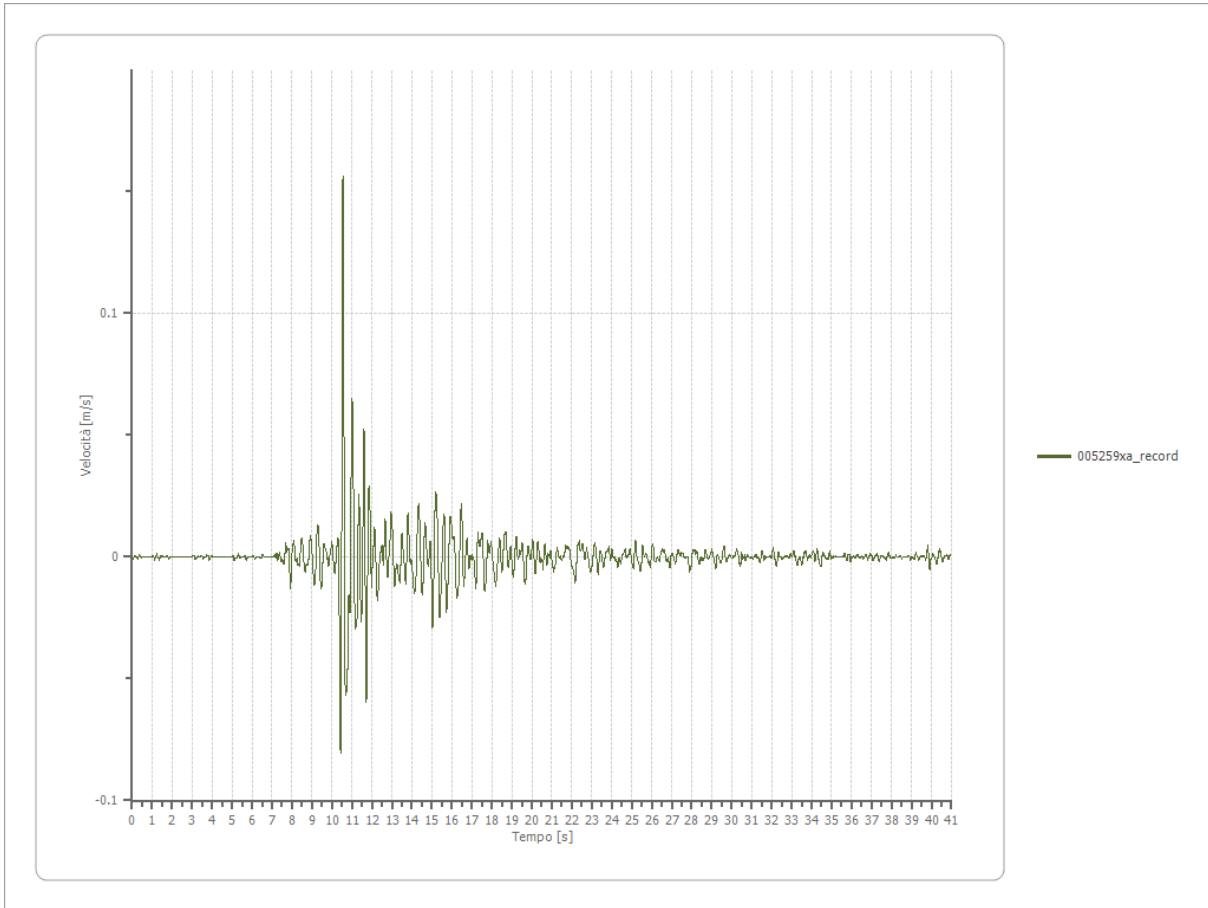
Accelerazione

Strato	1 Affiorante
Pga	0.324 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	1.780
Accelerazione massima	0.324 [g]
Periodo accelerazione massima	10.500 [s]



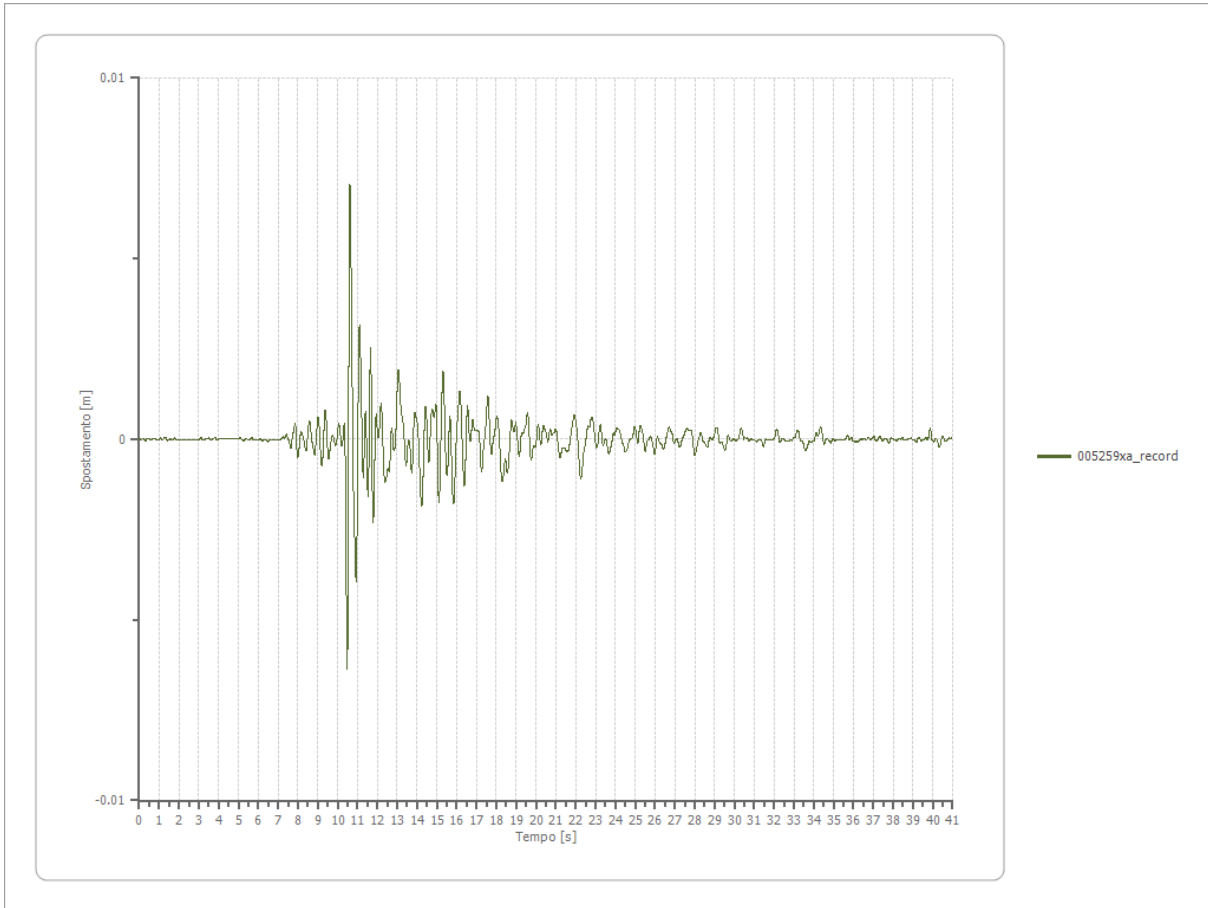
Velocità

Strato	1 Affiorante
Velocità massima	0.156 [m/s]
Periodo velocità massima	10.550 [s]



Spostamento

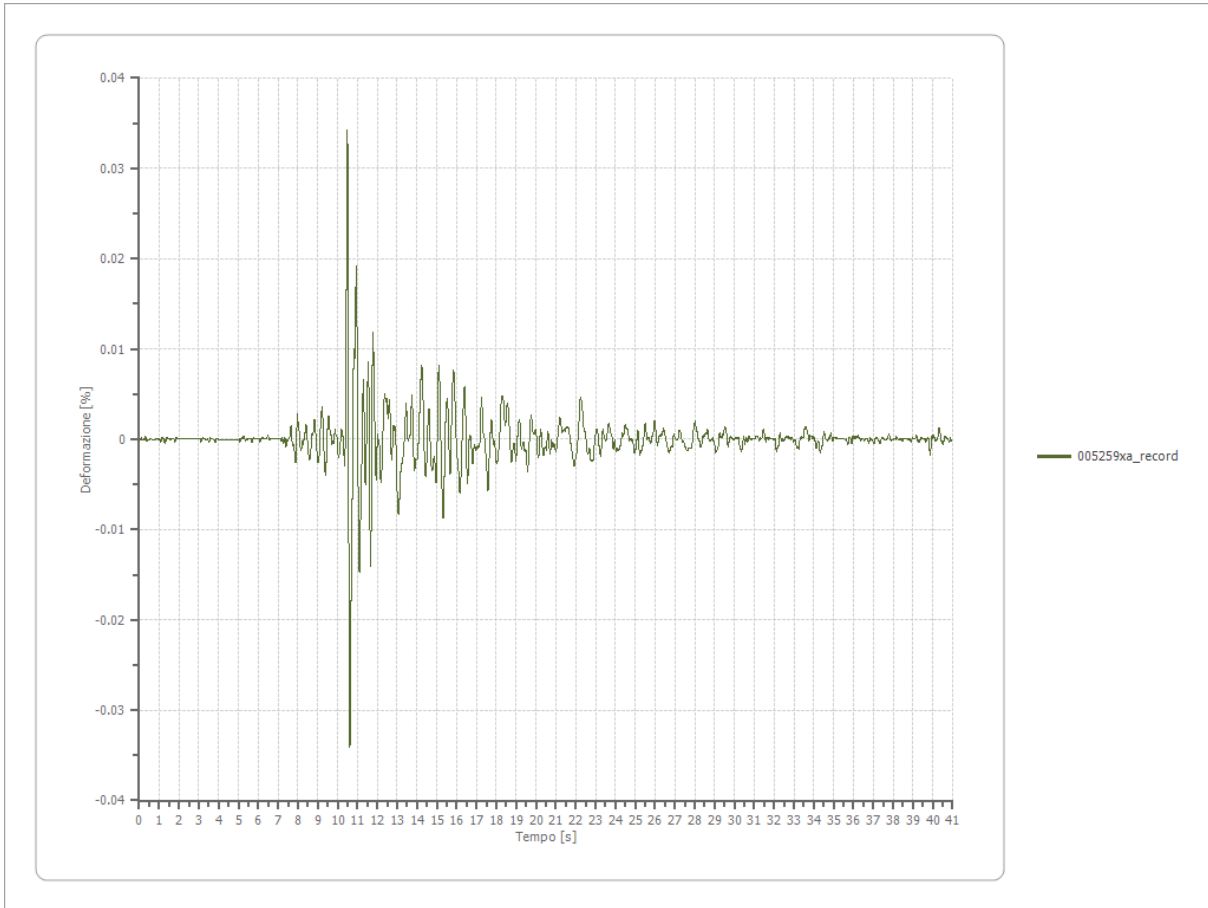
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.007 [m]
Periodo spostamento massimo	10.620 [s]



Deformazione

Numero di strati

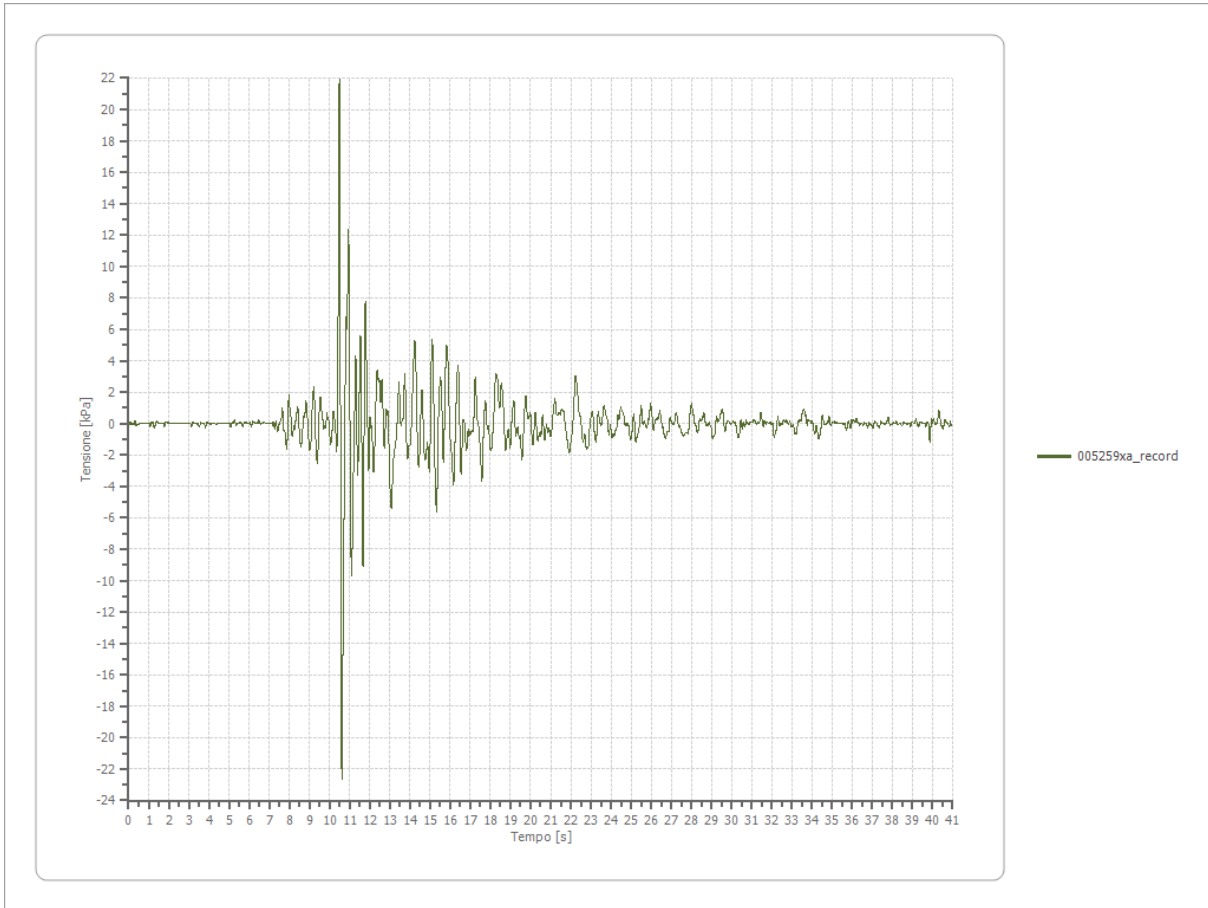
3



Tensione

Numero di strati

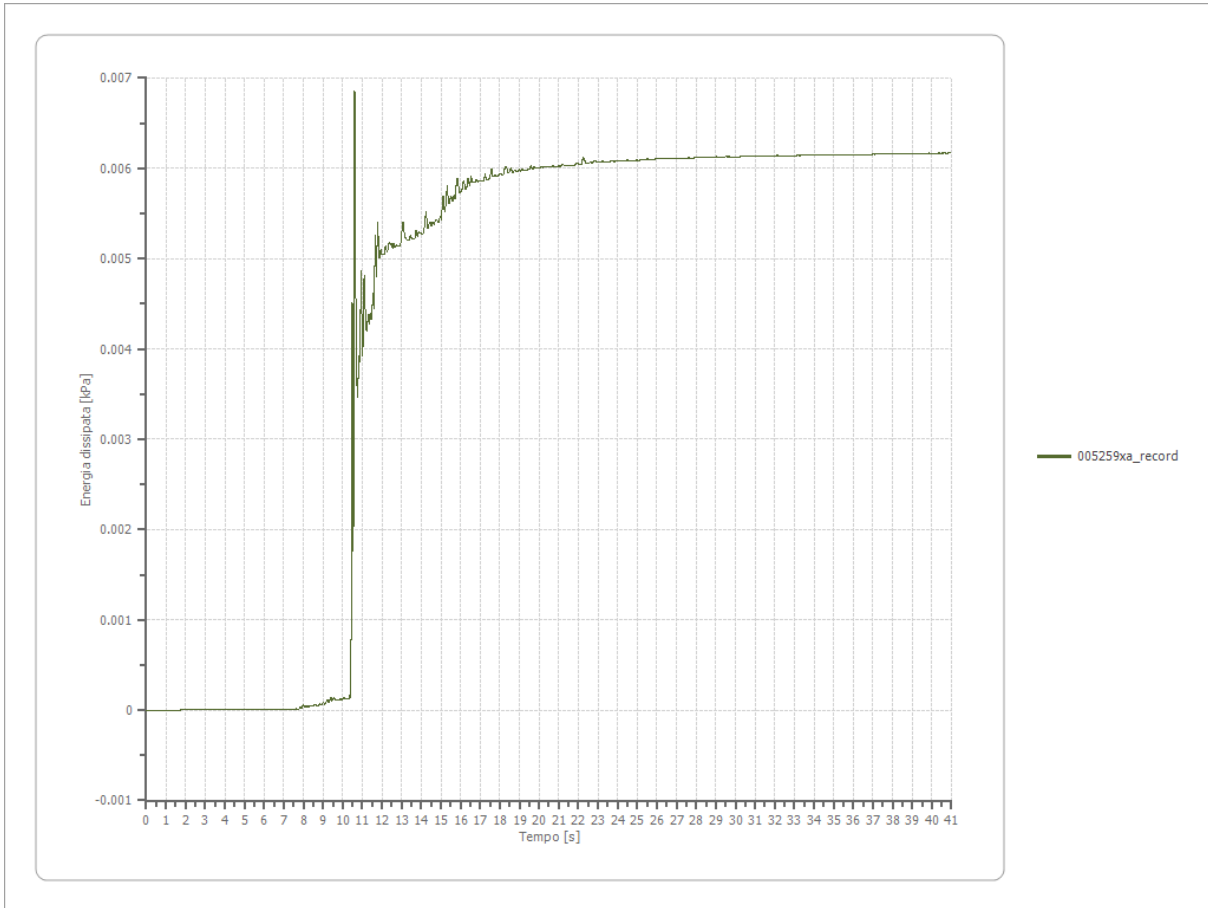
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



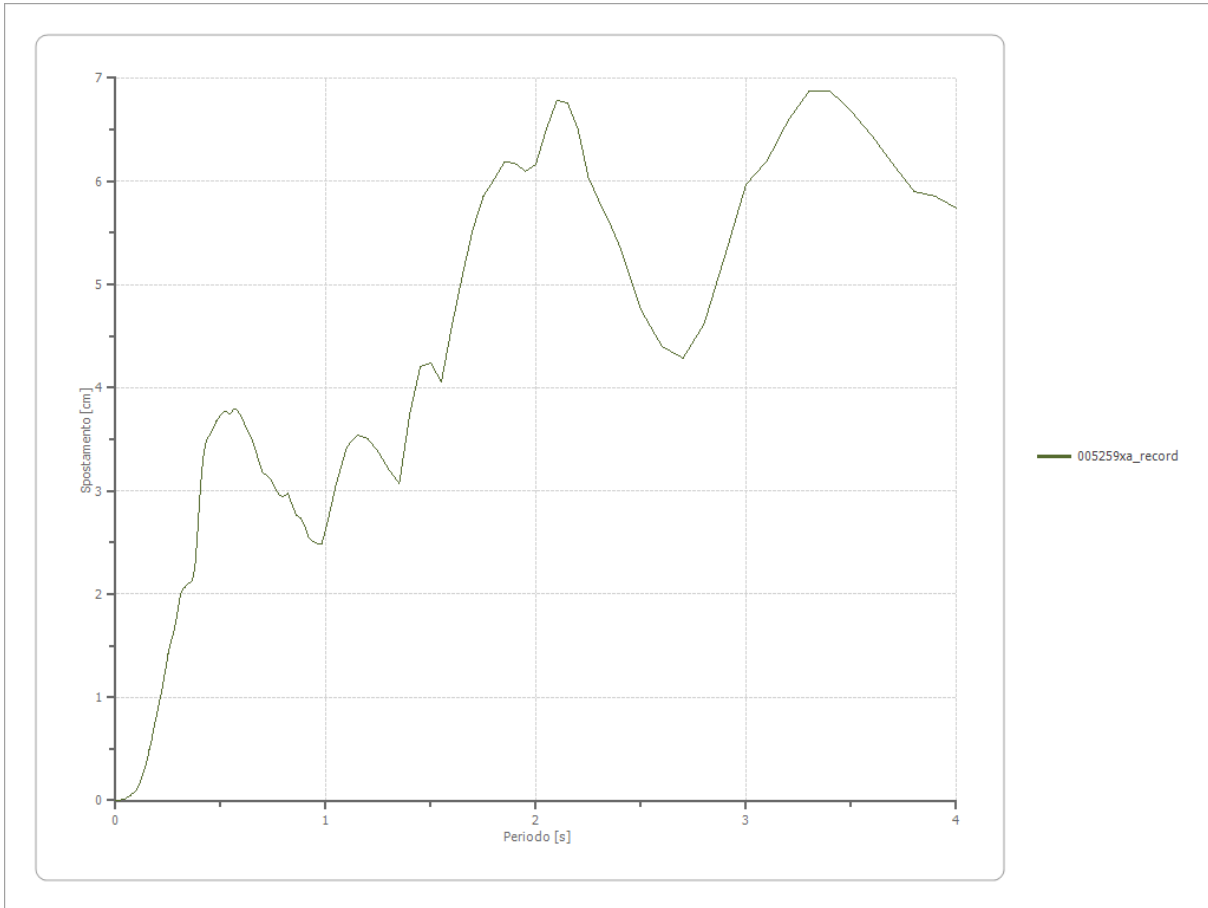
Trasformata di Fourier

Strato 1 Affiorante
 Numero di campioni del filtro a media mobile 1

Spettri

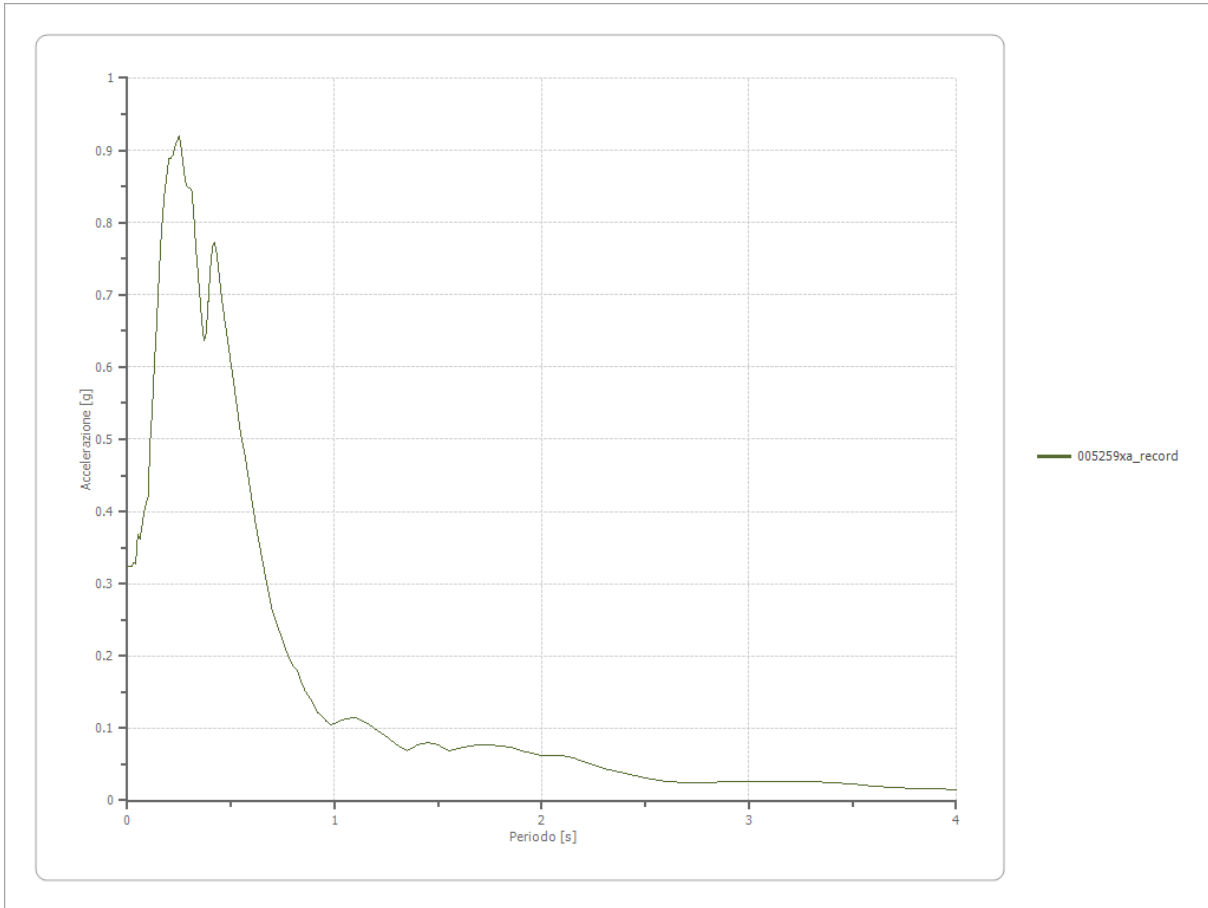
Spostamento

Spostamento massimo 6.879 [cm]
 Periodo massimo spostamento 3.300 [s]



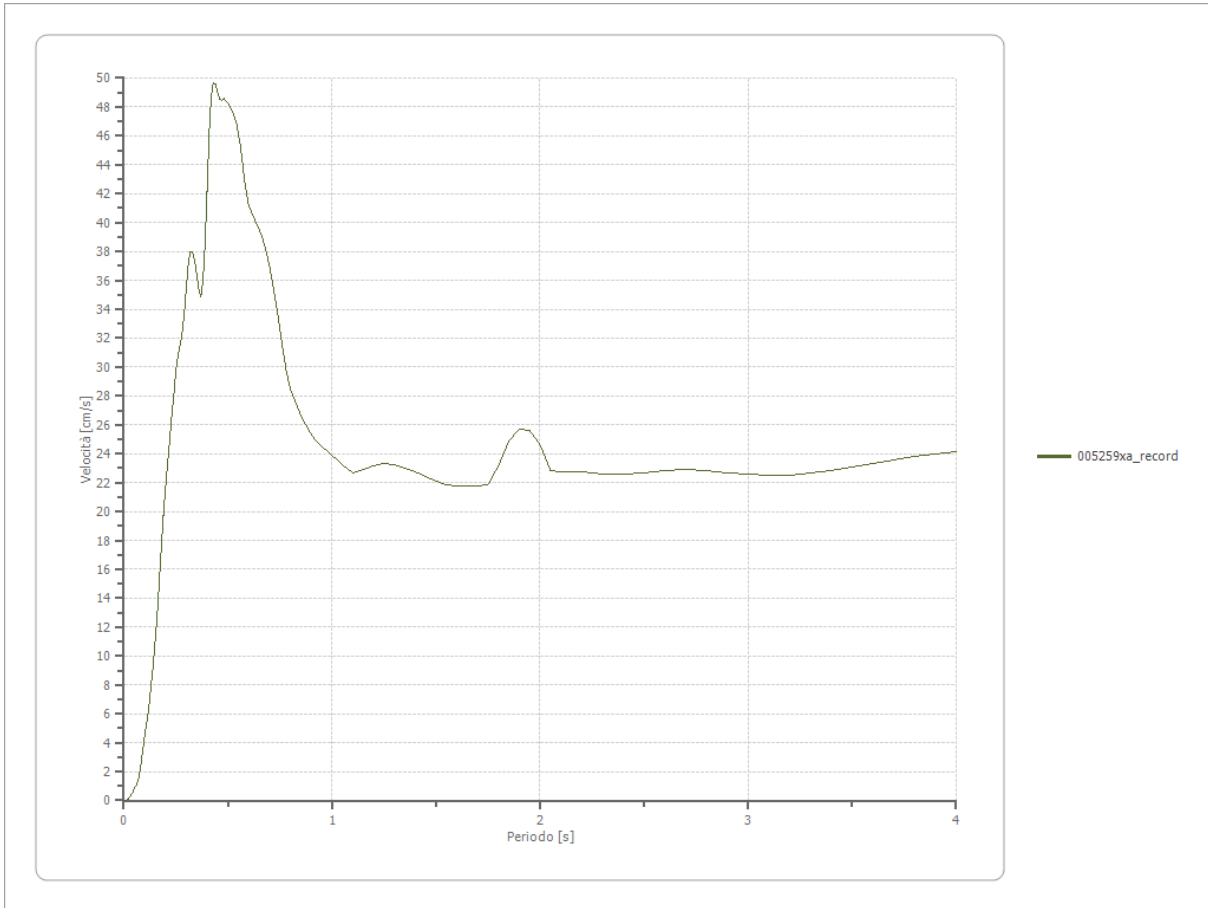
Accelerazione

Accelerazione massima	0.920 [g]
Periodo accelerazione massima	0.250 [s]



Velocità

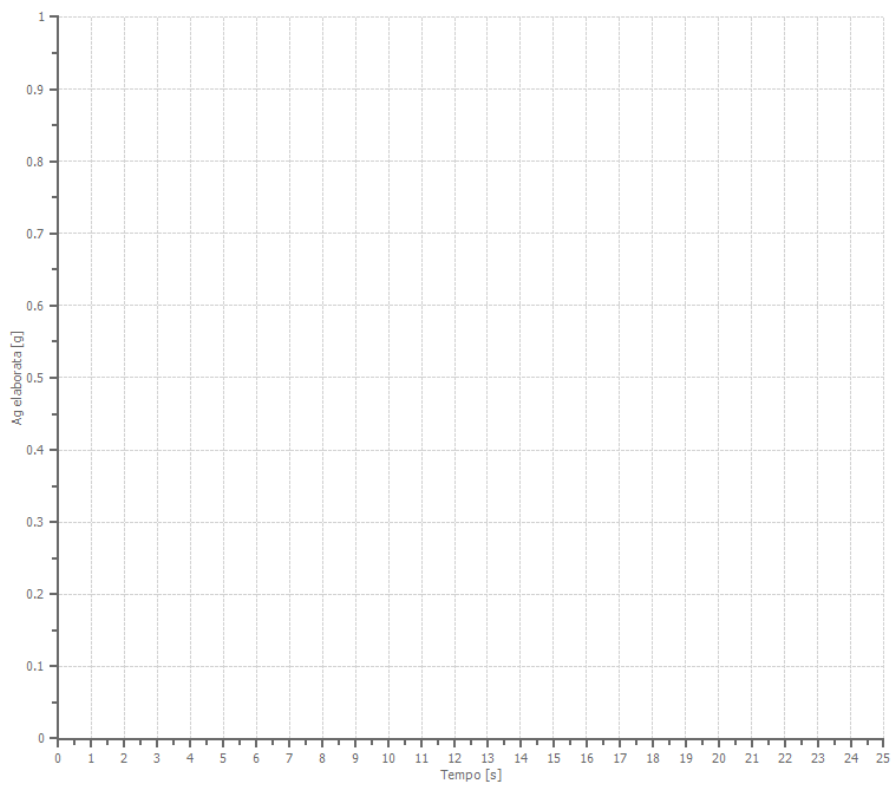
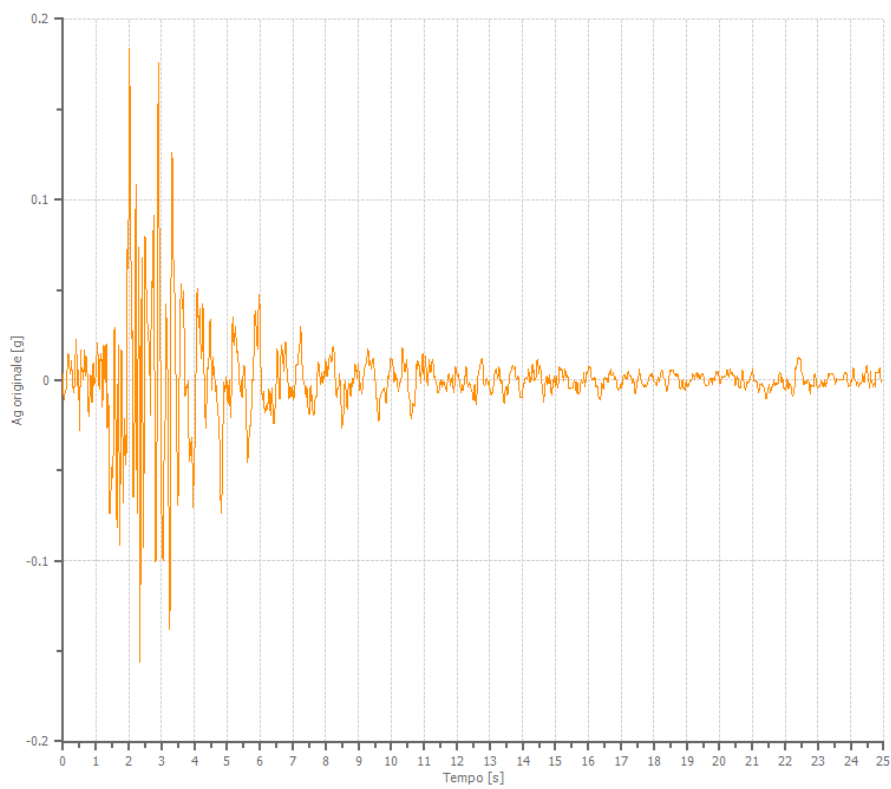
Velocità massima	0.920 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.430 [s]



File 005655xa_record:

Accelerogramma importato

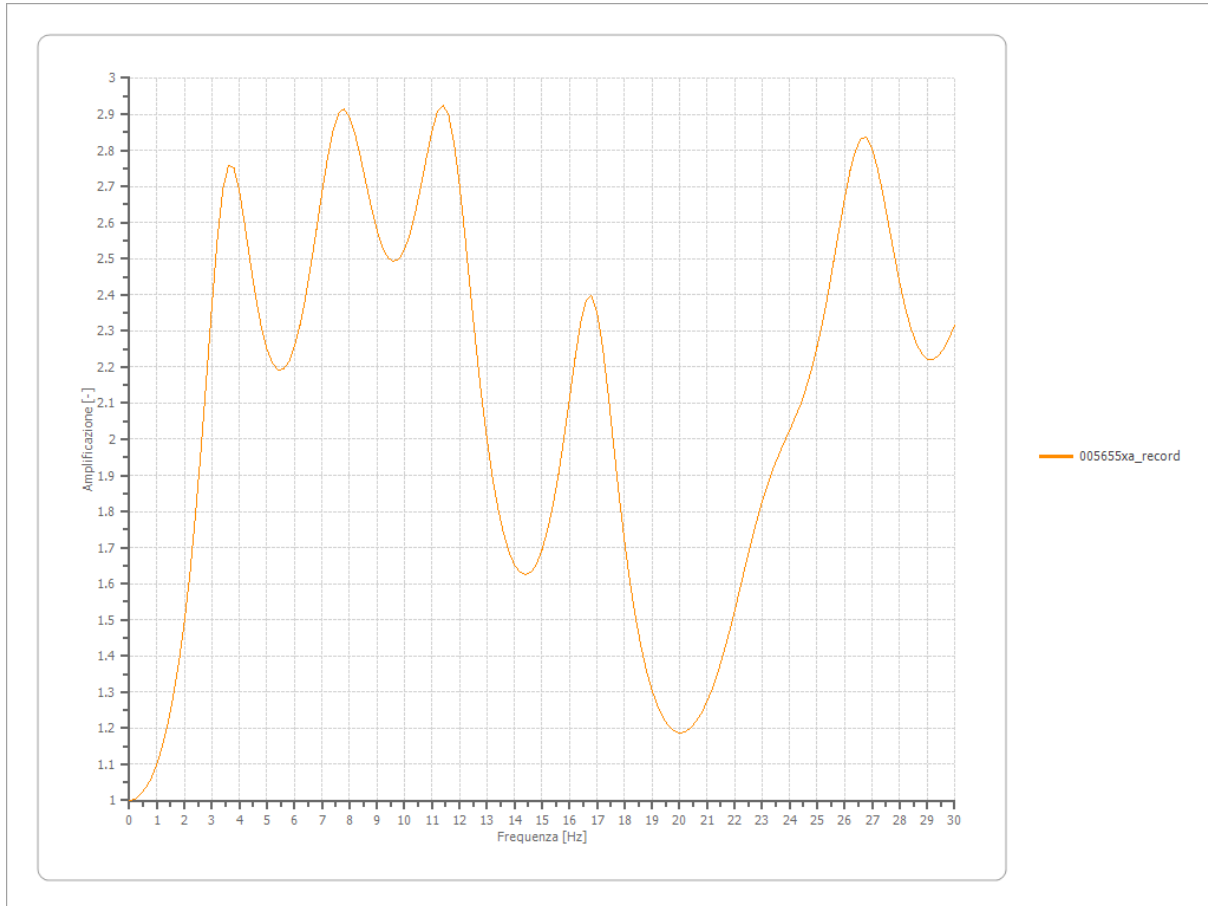
Nome del file	005655xa_record
Durata della traccia	24.920 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	2.020 [s]



Amplificazione

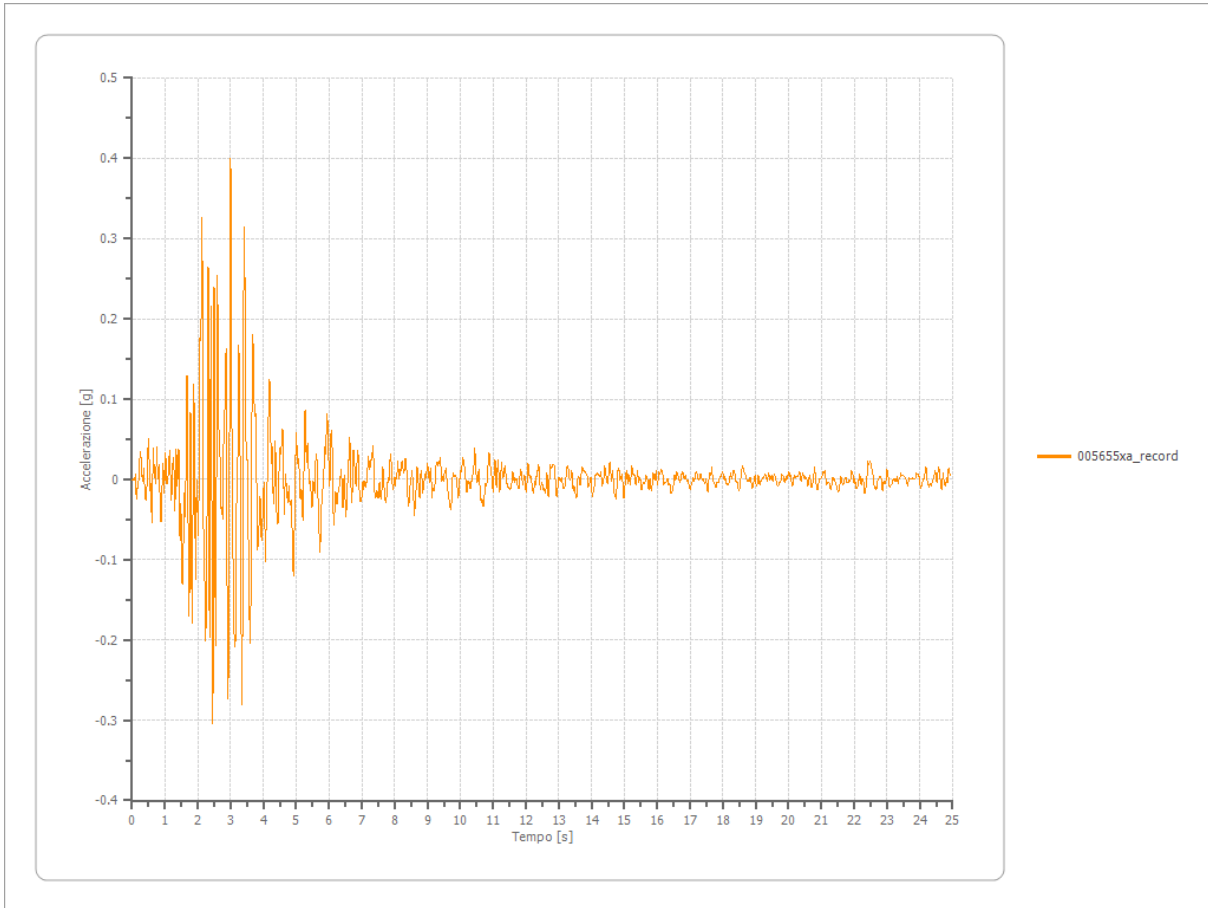
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

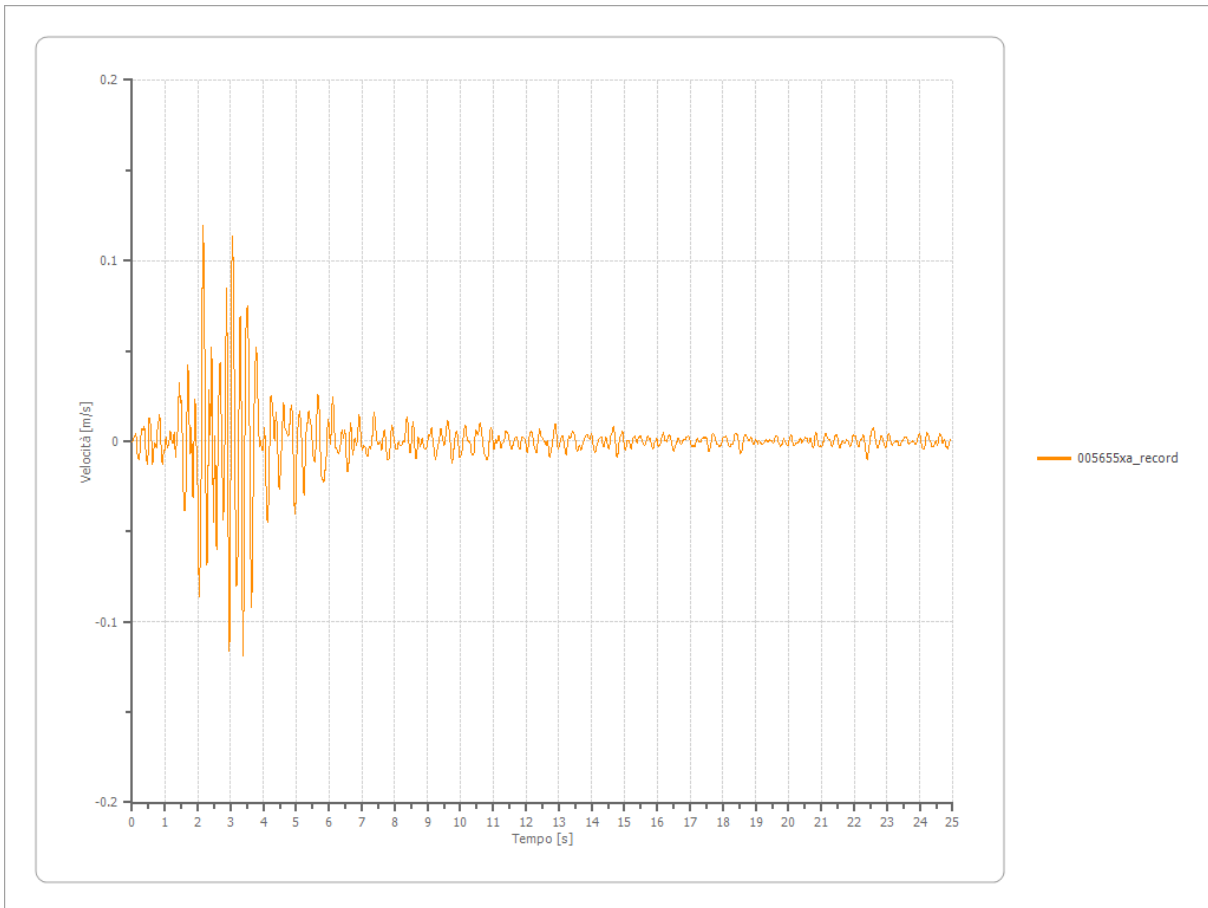
Strato	1 Affiorante
Pga	0.400 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	2.200
Accelerazione massima	0.400 [g]
Periodo accelerazione massima	3.000 [s]



Velocità

Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.119 [m/s]
2.160 [s]



Spostamento

Strato

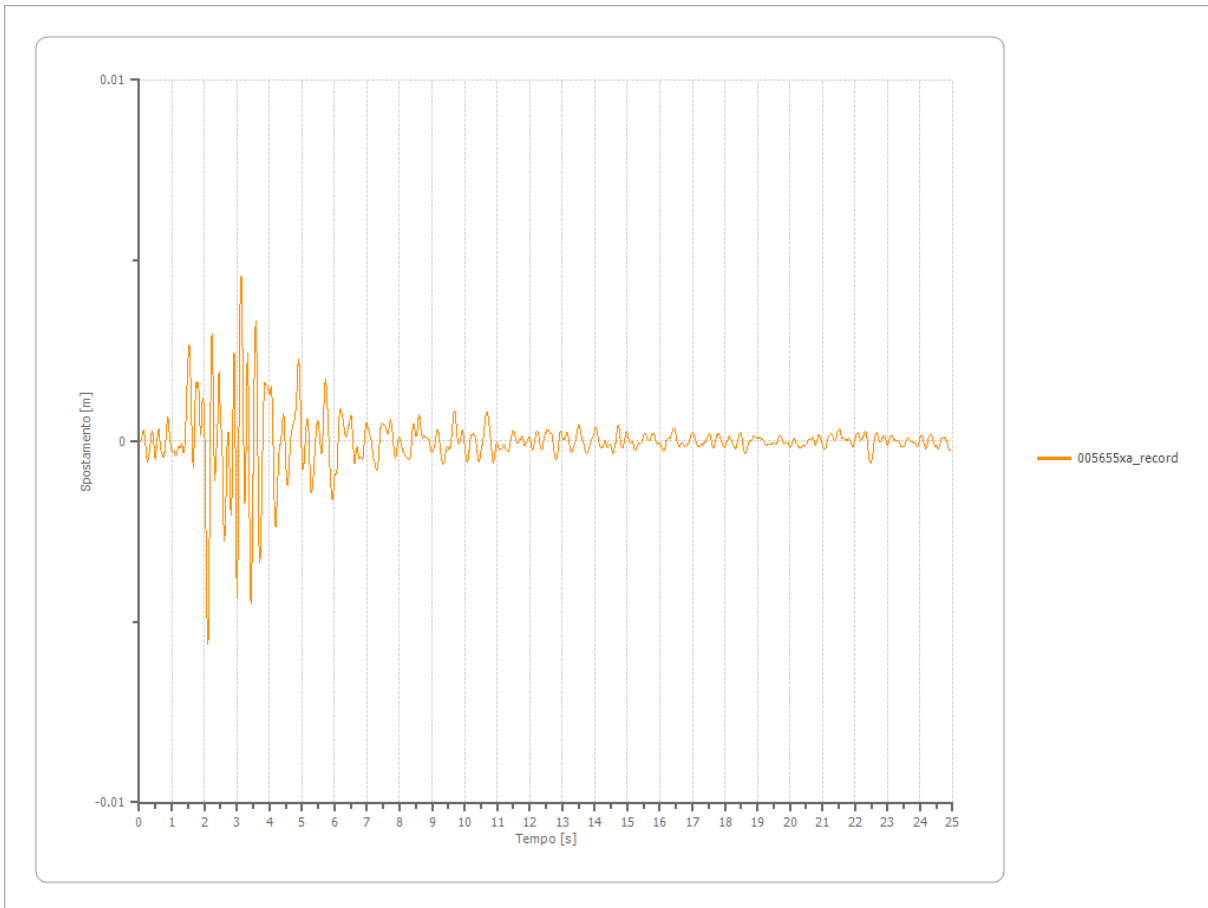
1 Affiorante

Spostamento massimo

0.006 [m]

Periodo spostamento massimo

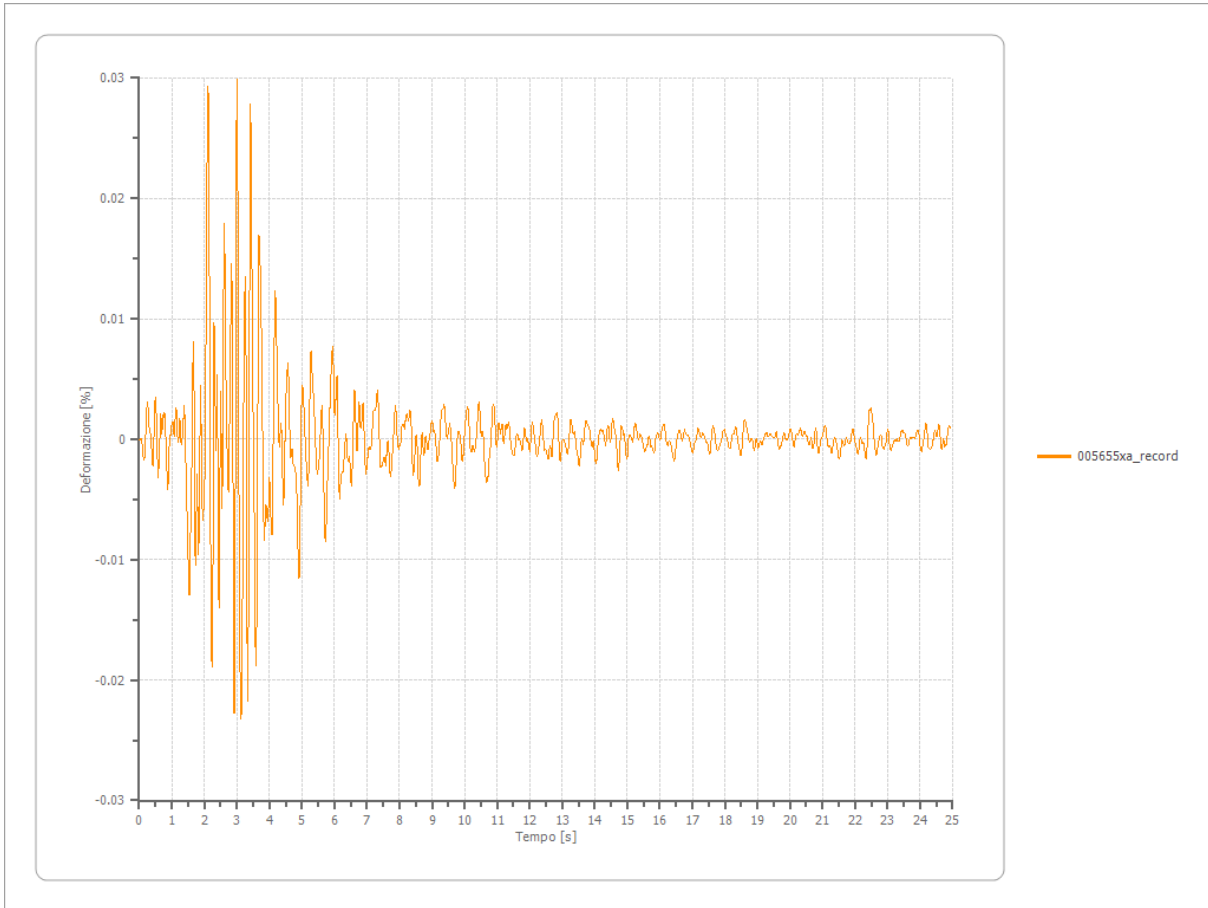
2.120 [s]



Deformazione

Numero di strati

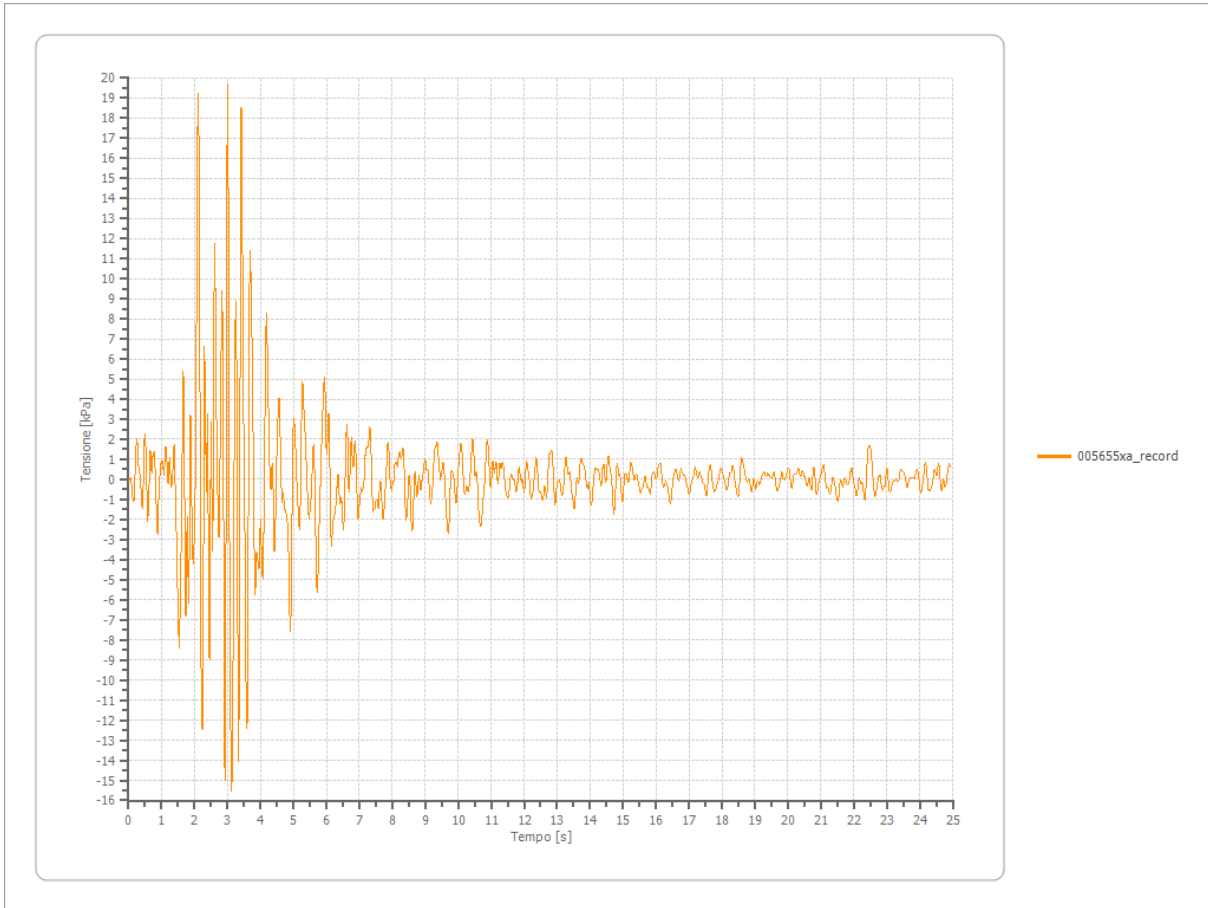
3



Tensione

Numero di strati

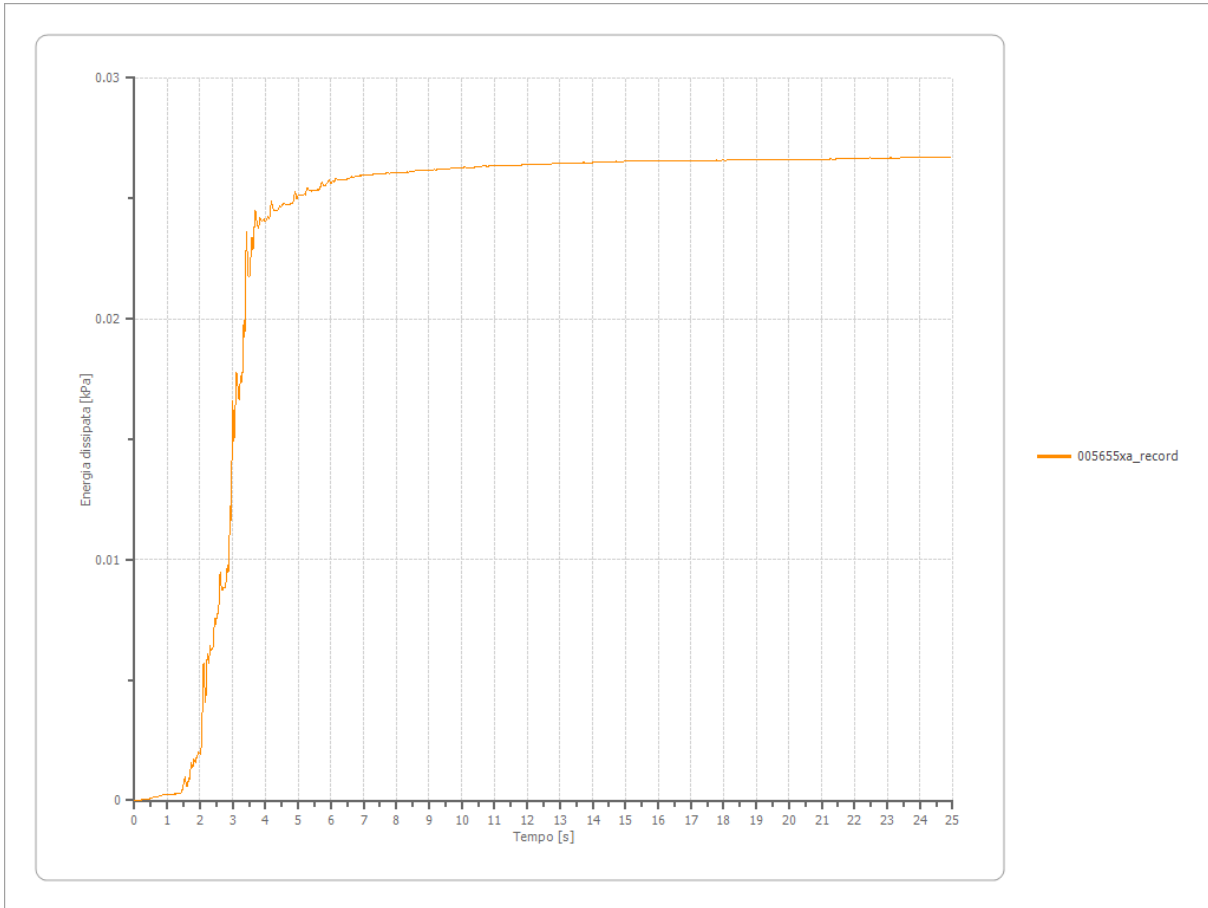
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



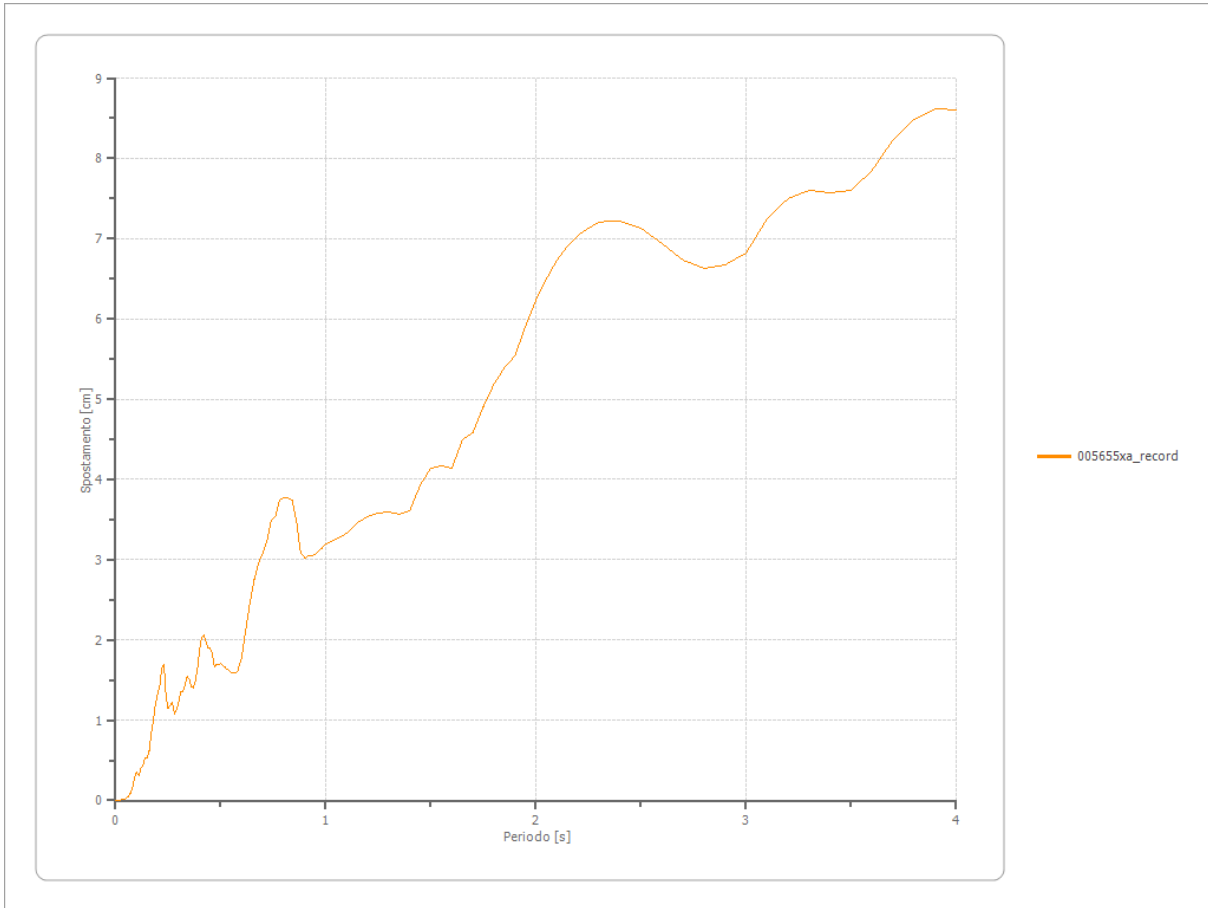
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

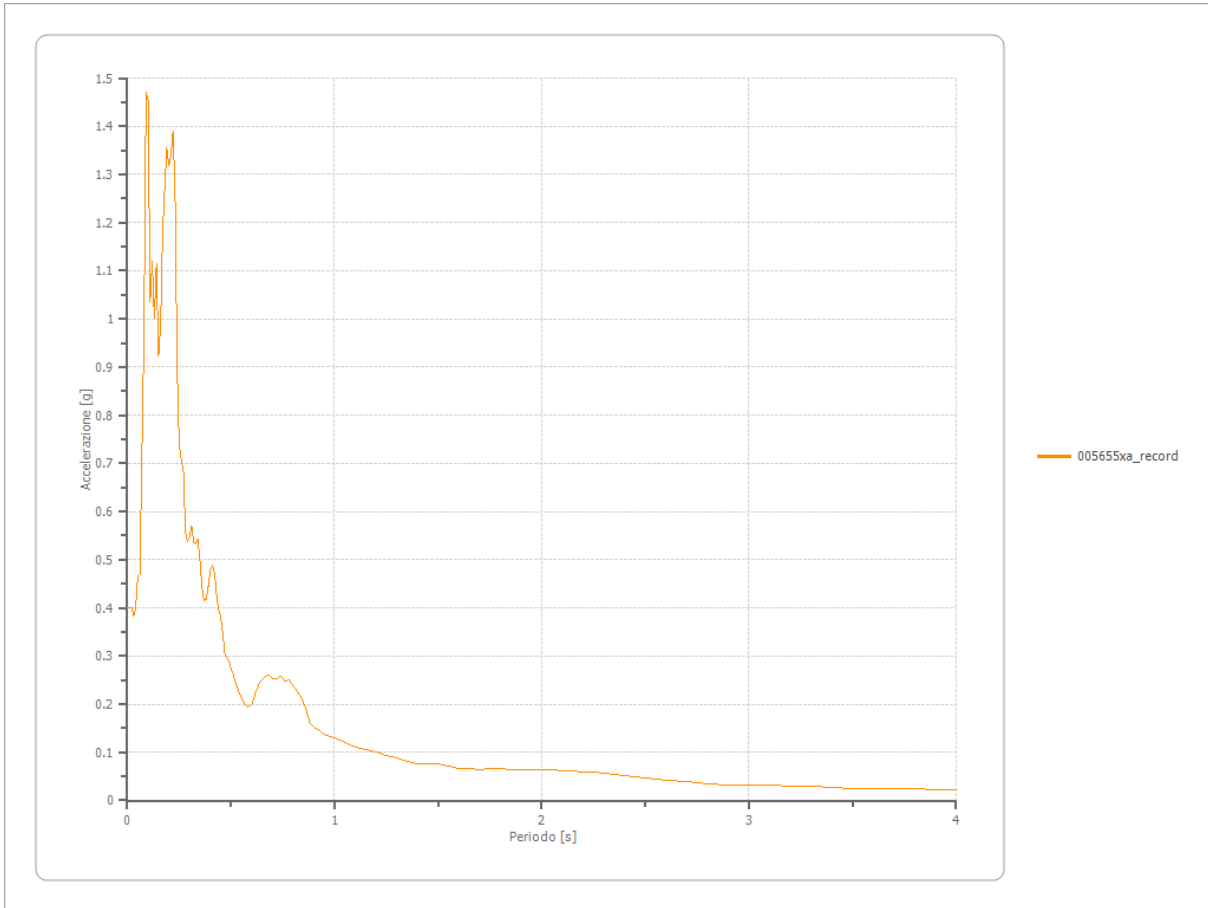
Spostamento

Spostamento massimo	8.610 [cm]
Periodo massimo spostamento	3.900 [s]



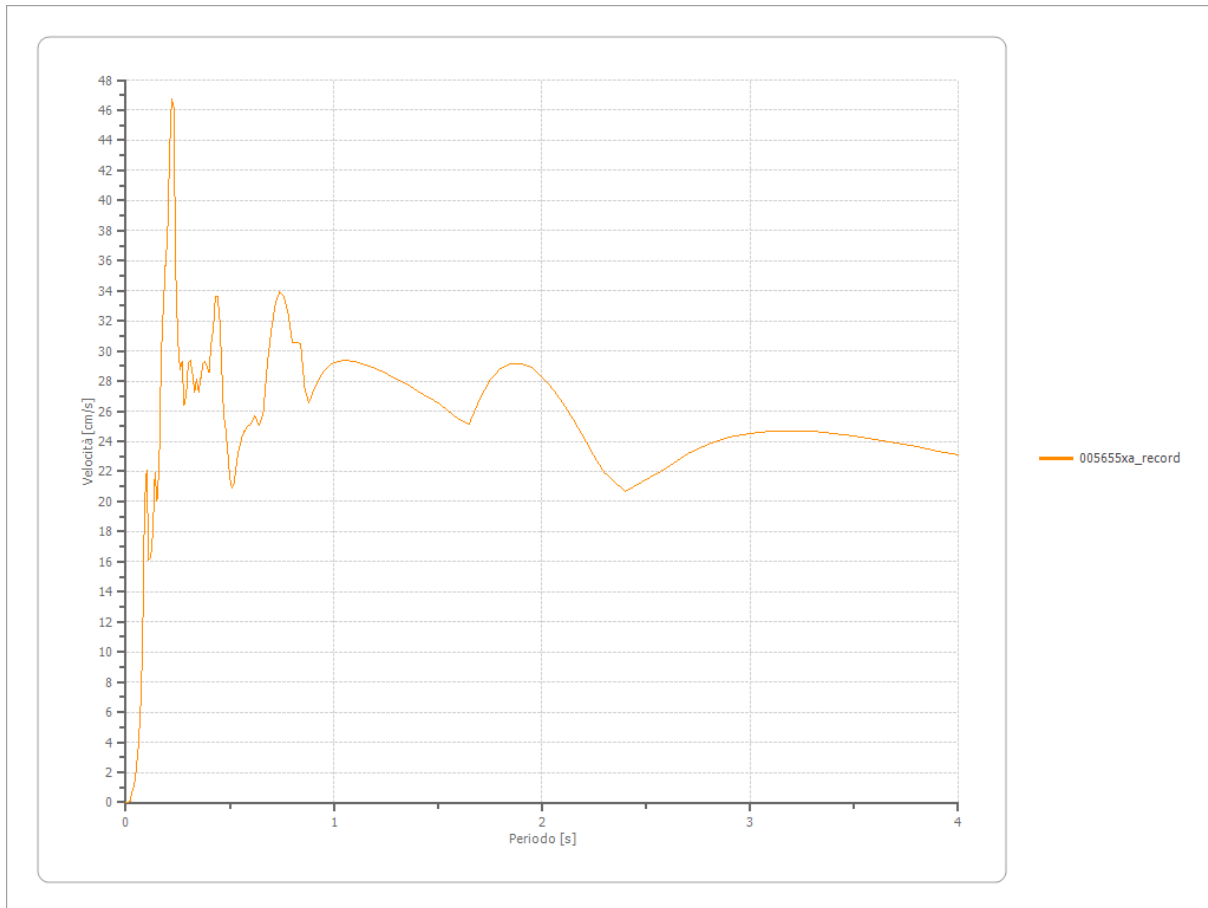
Accelerazione

Accelerazione massima	1.471 [g]
Periodo accelerazione massima	0.090 [s]



Velocità

Velocità massima	1.471 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.220 [s]



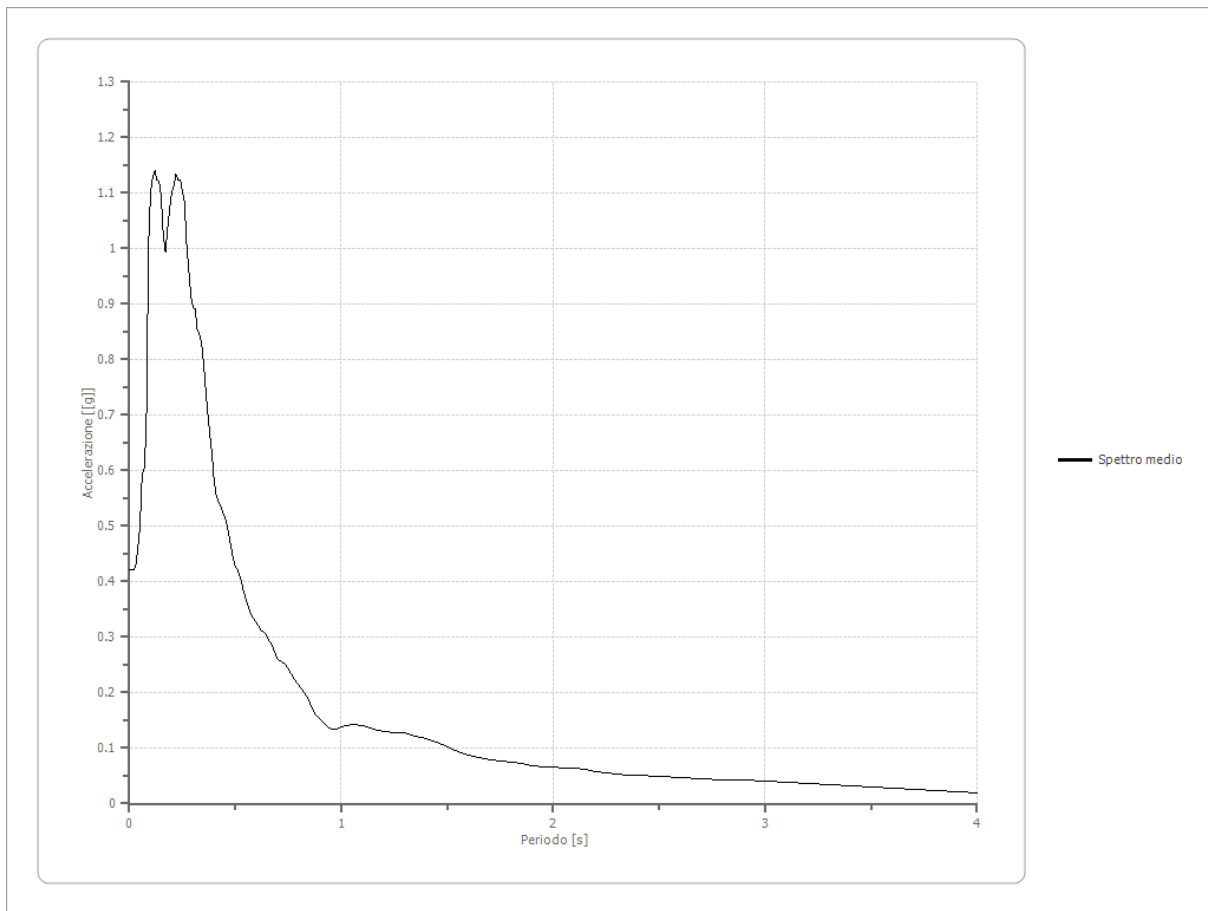
Fattori di amplificazione ICMS 2008

Tai	0.220 [s]
Tvi	1.400 [s]
Tao	0.120 [s]
Tvo	0.340 [s]
Sami	4.242 [m/s ²]
Svmi	0.236 [m/s]
Samo	9.673 [m/s ²]
Svmo	0.421 [m/s]
Fa	2.280 [-]
Fv	1.786 [-]
TB	0.091 [s]
TC	0.274 [s]
TD	2.328 [s]
SA(0)	0.415 [g]
SA(TB)	0.986 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.064	0.141	0.200	2.192
0.500	1.000	0.112	0.160	0.500	1.430
0.500	1.500	0.230	0.308	0.333	1.341

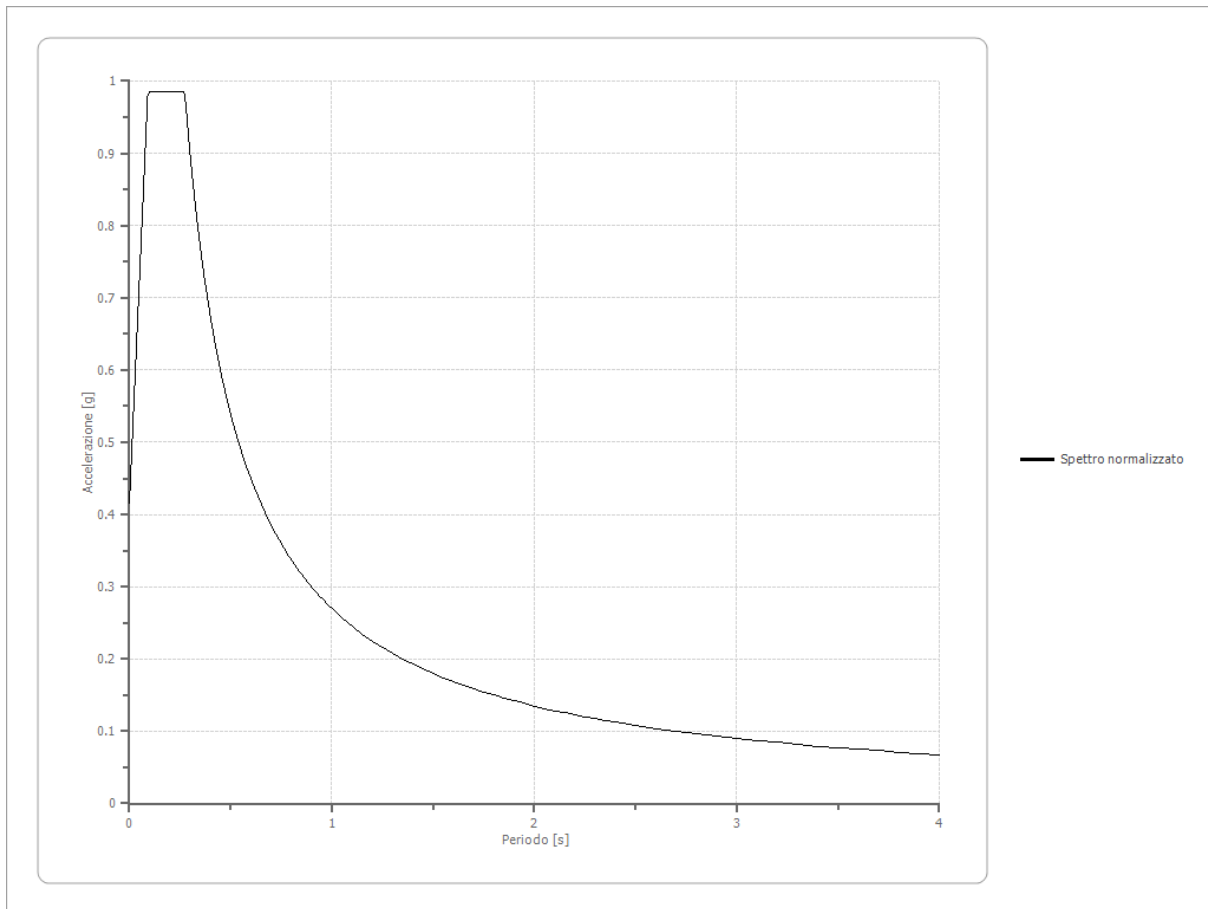
Spettro medio di risposta elastico



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.4150	0.26	0.9860	0.52	0.5187	0.98	0.2752	2.25	0.1199
0.01	0.4776	0.27	0.9860	0.53	0.5089	1.00	0.2697	2.30	0.1173
0.02	0.5402	0.28	0.9634	0.54	0.4995	1.05	0.2569	2.35	0.1148
0.03	0.6029	0.29	0.9301	0.55	0.4904	1.10	0.2452	2.40	0.1124
0.04	0.6655	0.30	0.8991	0.56	0.4817	1.15	0.2346	2.50	0.1079
0.05	0.7281	0.31	0.8701	0.57	0.4732	1.20	0.2248	2.60	0.1037
0.06	0.7907	0.32	0.8429	0.58	0.4651	1.25	0.2158	2.70	0.0999
0.07	0.8534	0.33	0.8174	0.60	0.4496	1.30	0.2075	2.80	0.0963
0.08	0.9160	0.34	0.7934	0.62	0.4351	1.35	0.1998	2.90	0.0930
0.09	0.9786	0.35	0.7707	0.64	0.4215	1.40	0.1927	3.00	0.0899
0.10	0.9860	0.36	0.7493	0.66	0.4087	1.45	0.1860	3.10	0.0870
0.11	0.9860	0.37	0.7290	0.68	0.3967	1.50	0.1798	3.20	0.0843
0.12	0.9860	0.38	0.7098	0.70	0.3853	1.55	0.1740	3.30	0.0817
0.13	0.9860	0.39	0.6916	0.72	0.3746	1.60	0.1686	3.40	0.0793
0.14	0.9860	0.40	0.6744	0.74	0.3645	1.65	0.1635	3.50	0.0771
0.15	0.9860	0.41	0.6579	0.76	0.3549	1.70	0.1587	3.60	0.0749
0.16	0.9860	0.42	0.6422	0.78	0.3458	1.75	0.1541	3.70	0.0729

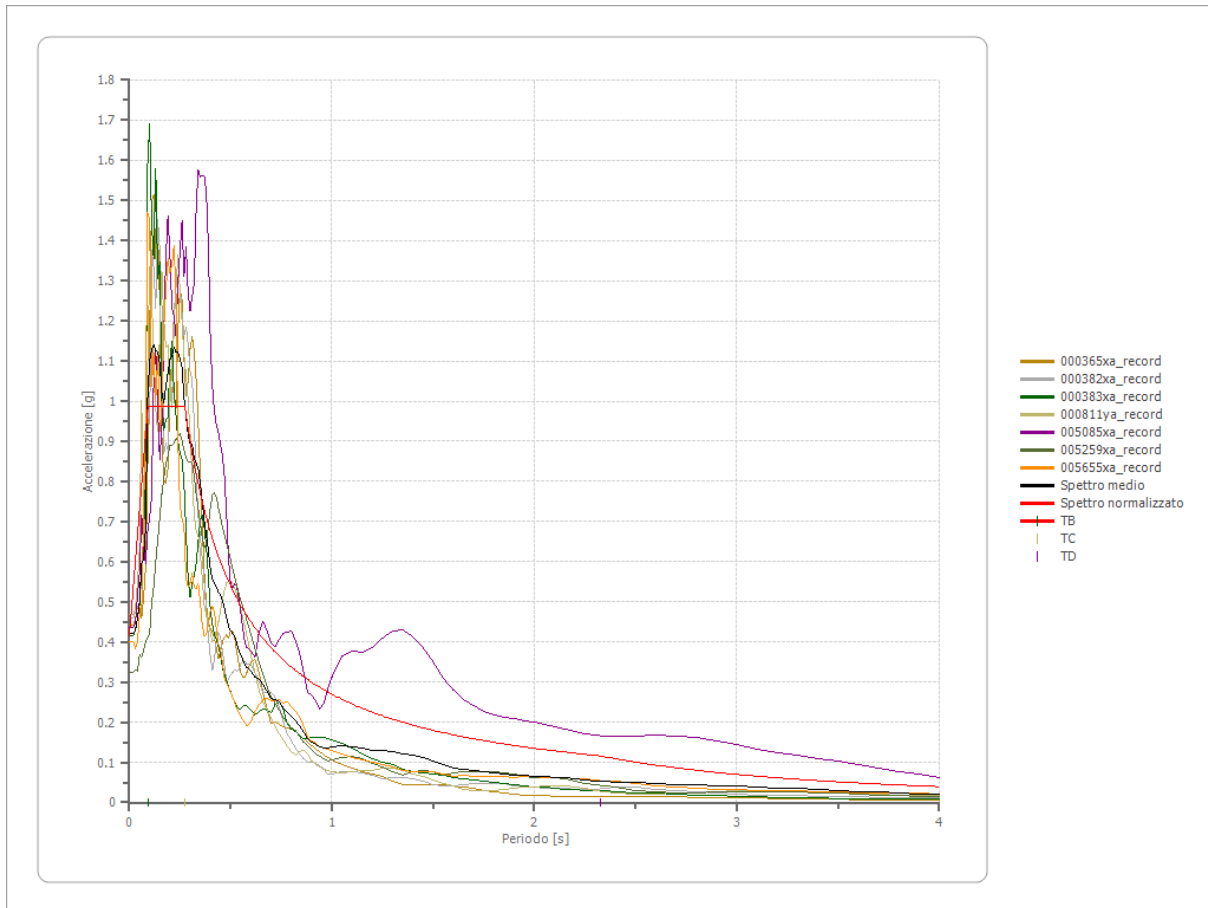
0.17	0.9860	0.43	0.6273	0.80	0.3372	1.80	0.1499	3.80	0.0710
0.18	0.9860	0.44	0.6130	0.82	0.3290	1.85	0.1458	3.90	0.0692
0.19	0.9860	0.45	0.5994	0.84	0.3211	1.90	0.1420	4.00	0.0674
0.20	0.9860	0.46	0.5864	0.86	0.3137	1.95	0.1383		
0.21	0.9860	0.47	0.5739	0.88	0.3065	2.00	0.1349		
0.22	0.9860	0.48	0.5620	0.90	0.2997	2.05	0.1316		
0.23	0.9860	0.49	0.5505	0.92	0.2932	2.10	0.1284		
0.24	0.9860	0.50	0.5395	0.94	0.2870	2.15	0.1255		
0.25	0.9860	0.51	0.5289	0.96	0.2810	2.20	0.1226		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.415	2.376	--	0.091	0.274	2.328	0.415	0.986	2.280

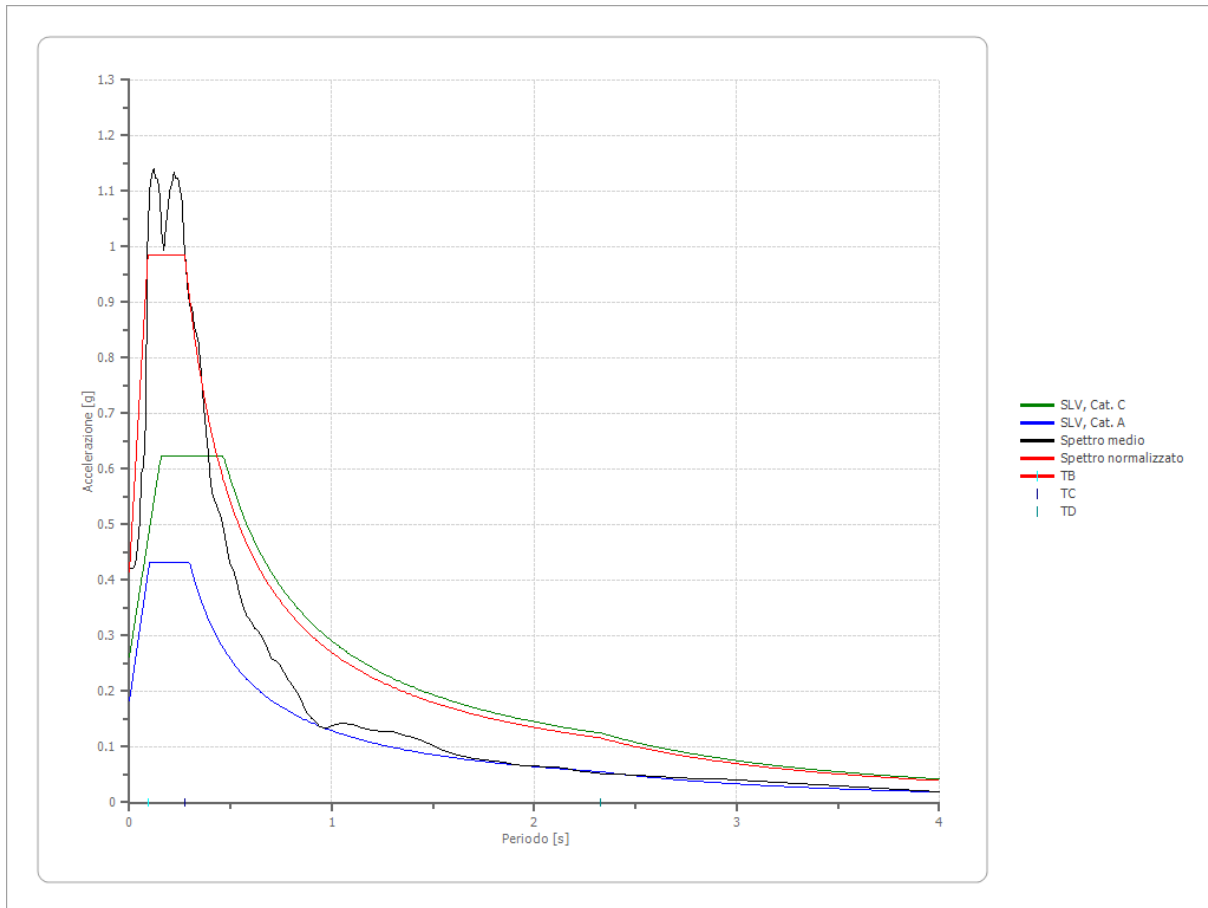
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

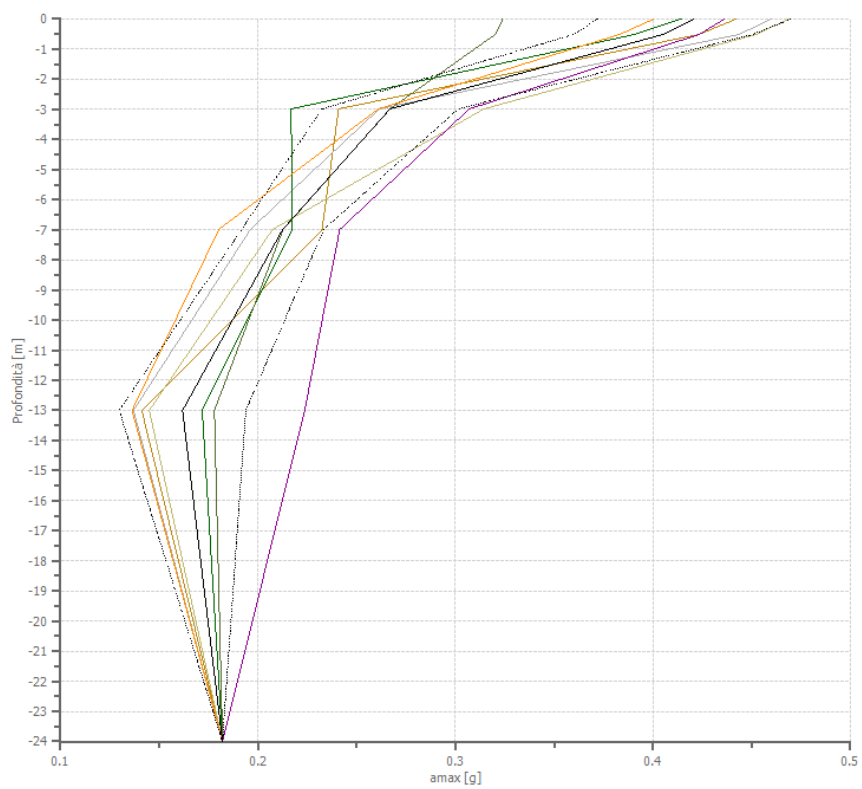
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	0.5 [m]	3.0 [m]	7.0 [m]	13.0 [m]	24.0 [m]
000365xa_re cord [g]	0.442	0.423	0.241	0.232	0.141	0.182
000382xa_re cord [g]	0.460	0.444	0.261	0.196	0.137	0.182
000383xa_re cord [g]	0.414	0.391	0.217	0.217	0.172	0.182
000811ya_re cord [g]	0.469	0.452	0.314	0.207	0.145	0.182
005085xa_re cord [g]	0.436	0.423	0.307	0.241	0.224	0.182
005259xa_re cord [g]	0.324	0.320	0.267	0.213	0.178	0.182
005655xa_re cord [g]	0.400	0.383	0.261	0.180	0.136	0.182
media [g]	0.421	0.405	0.267	0.212	0.162	0.182
Dev. St. [g]	0.049	0.045	0.034	0.021	0.032	0.000



- 000365xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 005085xa_record
- 005259xa_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- . - . amax media - dev.st

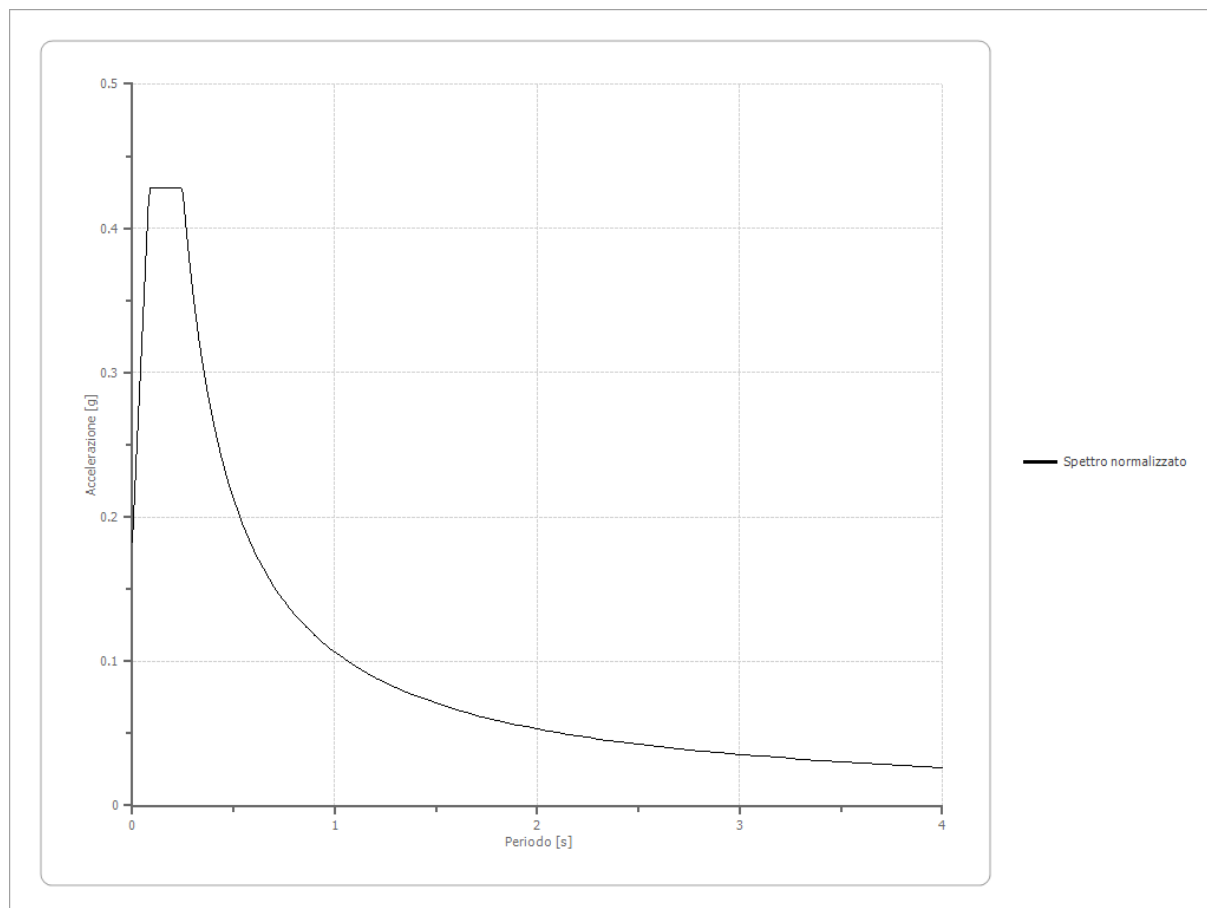
Indice

Dati generali	.7
Terreni	.7
Idriss (1990) Rock	.7
Argille 1 (Hardin e Drnevich)	.8
Stratigrafia	.9
Elaborazione	.10
File 000365xa_record	.11
Accelerogramma importato	.11
Amplificazione	.12
Accelerazione	.13
Velocità	.14
Spostamento	.15
Deformazione	.16
Tensione	.17
Energia dissipata	.18
Trasformata di Fourier	.19
Spettri	.19
Spostamento	.19
Accelerazione	.20
Velocità	.21
File 000382xa_record	.22
Accelerogramma importato	.22
Amplificazione	.24
Accelerazione	.24
Velocità	.25
Spostamento	.26
Deformazione	.27
Tensione	.28
Energia dissipata	.29
Trasformata di Fourier	.30
Spettri	.30
Spostamento	.30
Accelerazione	.31
Velocità	.32
File 000383xa_record	.33
Accelerogramma importato	.33
Amplificazione	.35
Accelerazione	.35
Velocità	.36
Spostamento	.37
Deformazione	.38
Tensione	.39
Energia dissipata	.40
Trasformata di Fourier	.41
Spettri	.41
Spostamento	.41
Accelerazione	.42
Velocità	.43
File 000811ya_record	.44

Accelerogramma importato	.44
Amplificazione	.46
Accelerazione	.46
Velocità	.47
Spostamento	.48
Deformazione	.49
Tensione	.50
Energia dissipata	.51
Trasformata di Fourier	.52
Spettri	.52
Spostamento	.52
Accelerazione	.53
Velocità	.54
File 005085xa_record	.55
Accelerogramma importato	.55
Amplificazione	.57
Accelerazione	.57
Velocità	.58
Spostamento	.59
Deformazione	.60
Tensione	.61
Energia dissipata	.62
Trasformata di Fourier	.63
Spettri	.63
Spostamento	.63
Accelerazione	.64
Velocità	.65
File 005259xa_record	.66
Accelerogramma importato	.66
Amplificazione	.68
Accelerazione	.68
Velocità	.69
Spostamento	.70
Deformazione	.71
Tensione	.72
Energia dissipata	.73
Trasformata di Fourier	.74
Spettri	.74
Spostamento	.74
Accelerazione	.75
Velocità	.76
File 005655xa_record	.77
Accelerogramma importato	.77
Amplificazione	.79
Accelerazione	.79
Velocità	.80
Spostamento	.81
Deformazione	.82
Tensione	.83
Energia dissipata	.84
Trasformata di Fourier	.85

Spettri	.85
Spostamento	.85
Accelerazione	.86
Velocità	.87
Fattori di amplificazione ICMS 2008	.88
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.88
Spettro medio di risposta elastico	.89
Spettro normalizzato di risposta elastico	.89
Confronto tra gli spettri	.90
Confronto spettro normativa	.91
Profilo a max	.92
Indice	.94

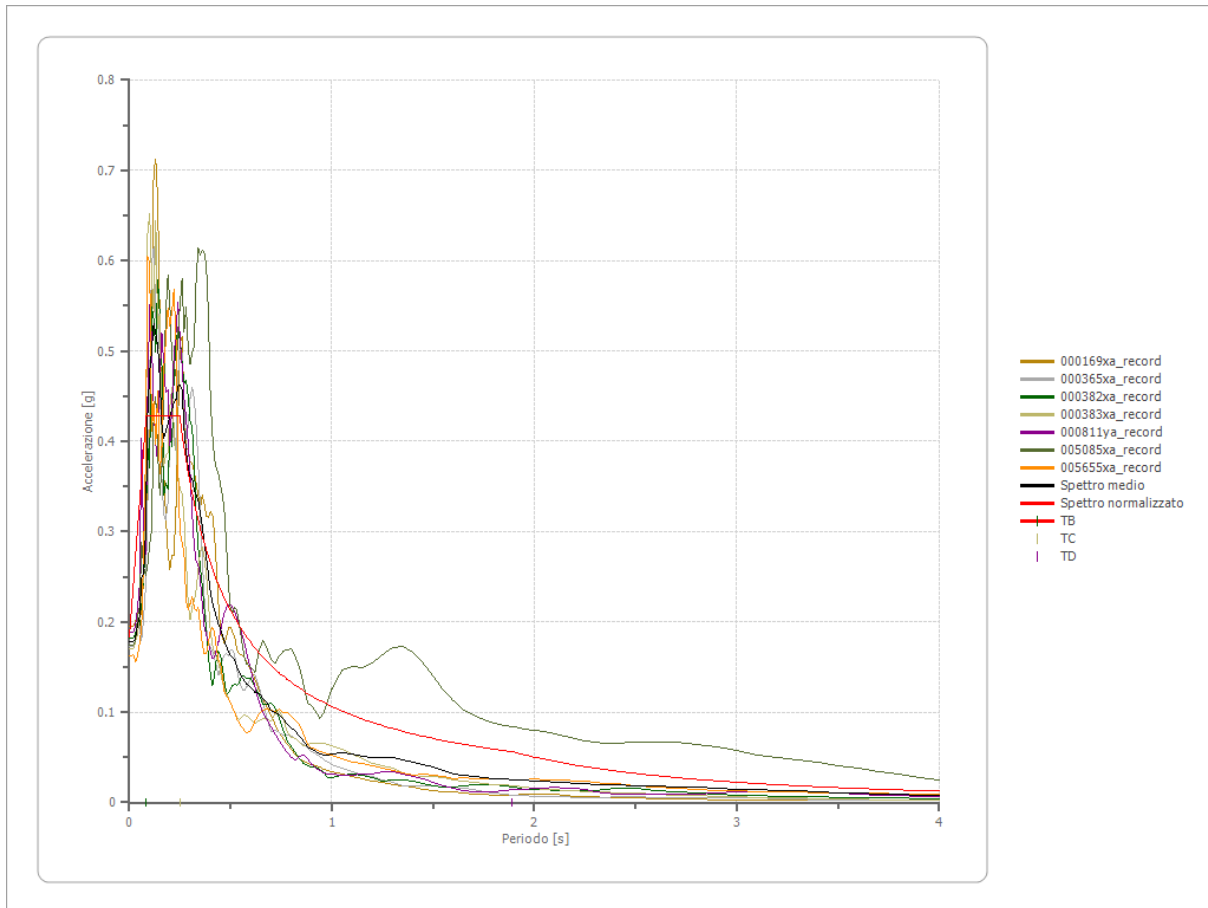
Spettro normalizzato di risposta elastico RSLIII SLD MASW N. 2



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.183	2.342	--	0.083	0.248	1.892	0.183	0.428	2.503

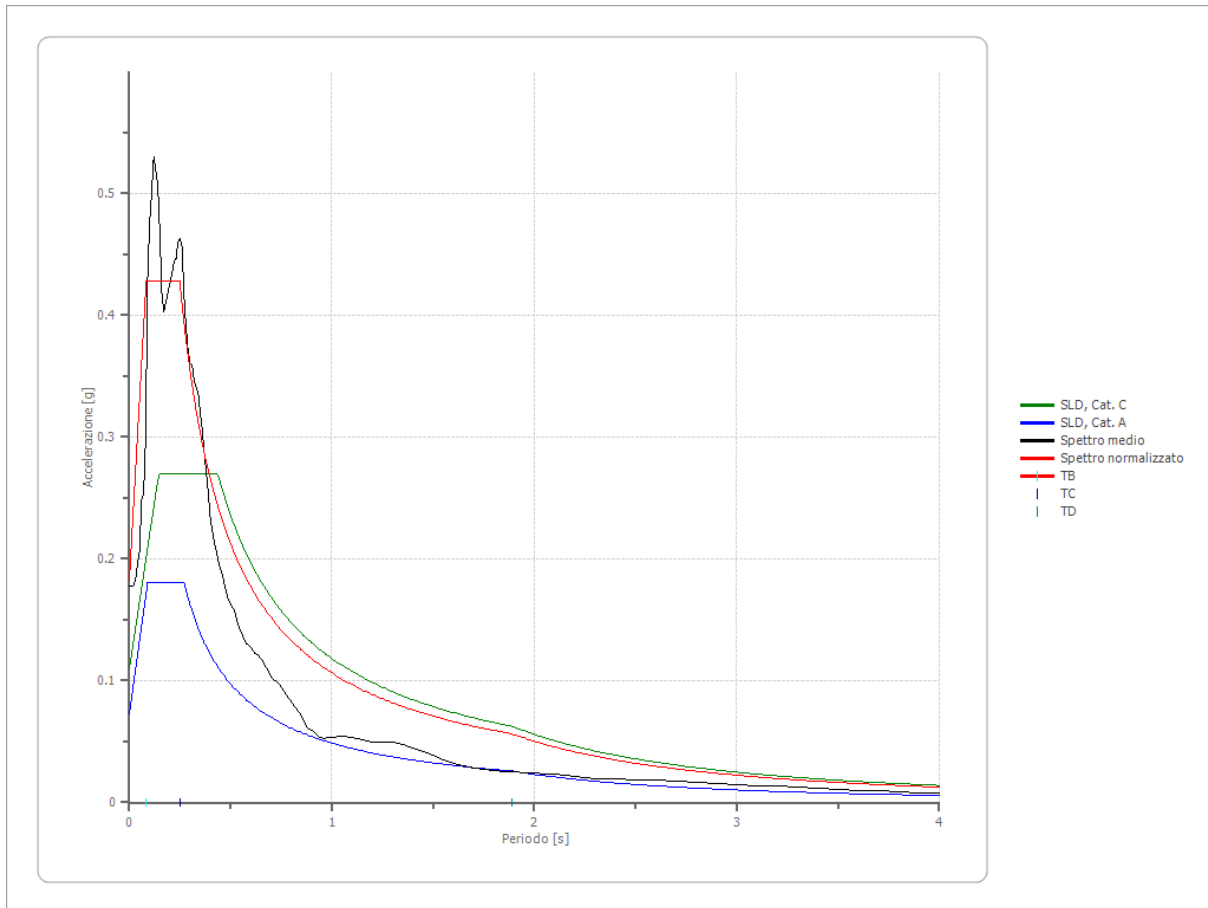
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

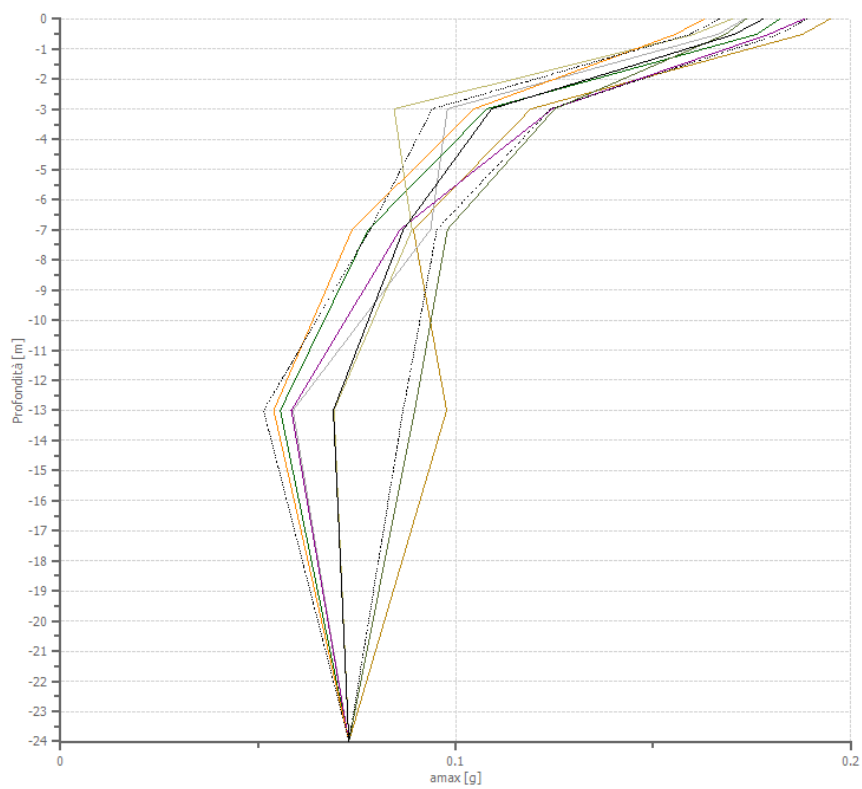
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	0.5 [m]	3.0 [m]	7.0 [m]	13.0 [m]	24.0 [m]
000169xa_re cord [g]	0.195	0.188	0.119	0.089	0.098	0.073
000365xa_re cord [g]	0.173	0.166	0.098	0.094	0.059	0.073
000382xa_re cord [g]	0.182	0.176	0.108	0.078	0.056	0.073
000383xa_re cord [g]	0.170	0.160	0.084	0.089	0.069	0.073
000811ya_re cord [g]	0.188	0.179	0.125	0.086	0.058	0.073
005085xa_re cord [g]	0.174	0.168	0.125	0.098	0.090	0.073
005655xa_re cord [g]	0.163	0.156	0.105	0.074	0.054	0.073
media [g]	0.178	0.171	0.109	0.087	0.069	0.073
Dev. St. [g]	0.011	0.011	0.015	0.008	0.018	0.000

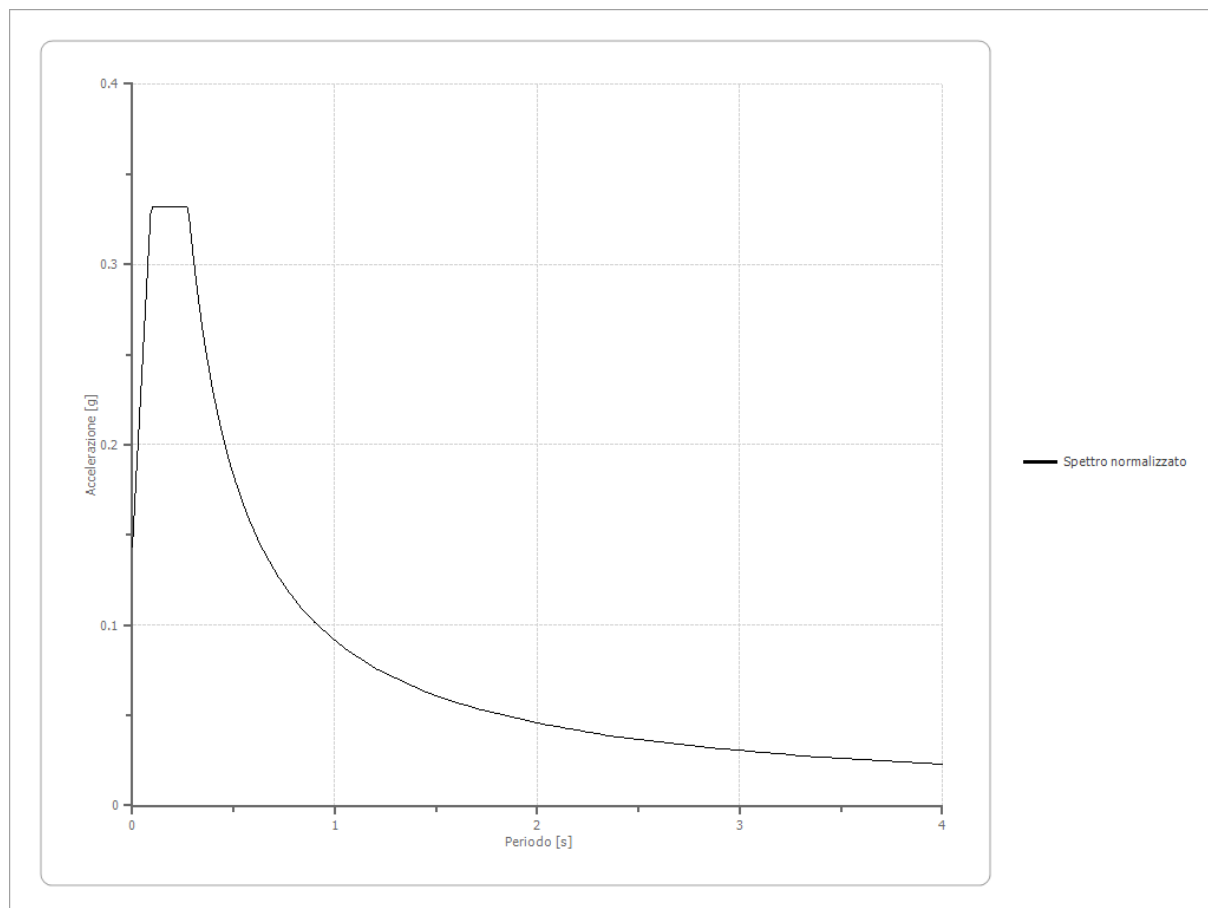


- 000169xa_record
- 000365xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 005085xa_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- amax media - dev. st.

Indice

Spettro normalizzato di risposta elastico	.7
Confronto tra gli spettri	.7
Confronto spettro normativa	.8
Profilo a max	.9
Indice	.11

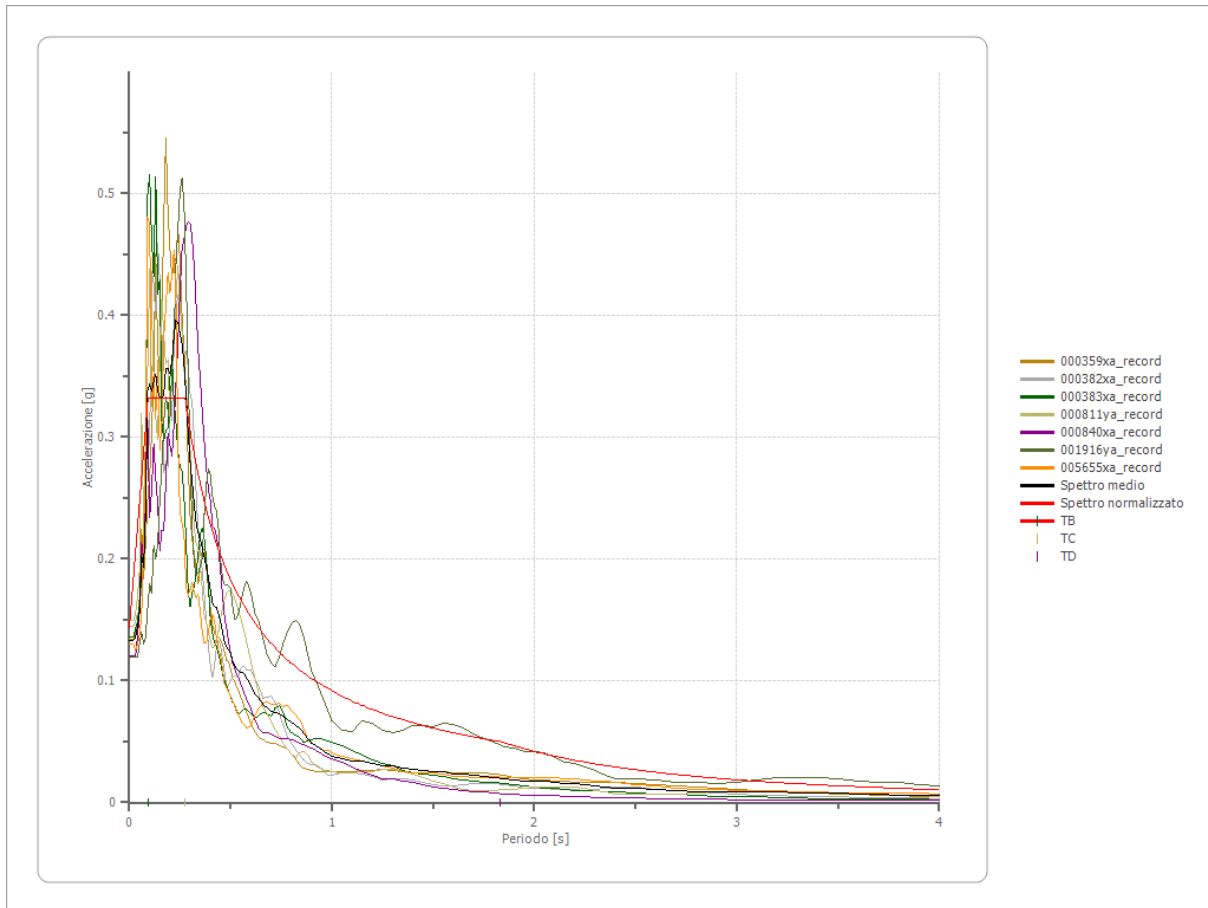
Spettro normalizzato di risposta elastico RSLIII SLO MASW N. 2



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.143	2.314	--	0.092	0.276	1.832	0.143	0.332	2.473

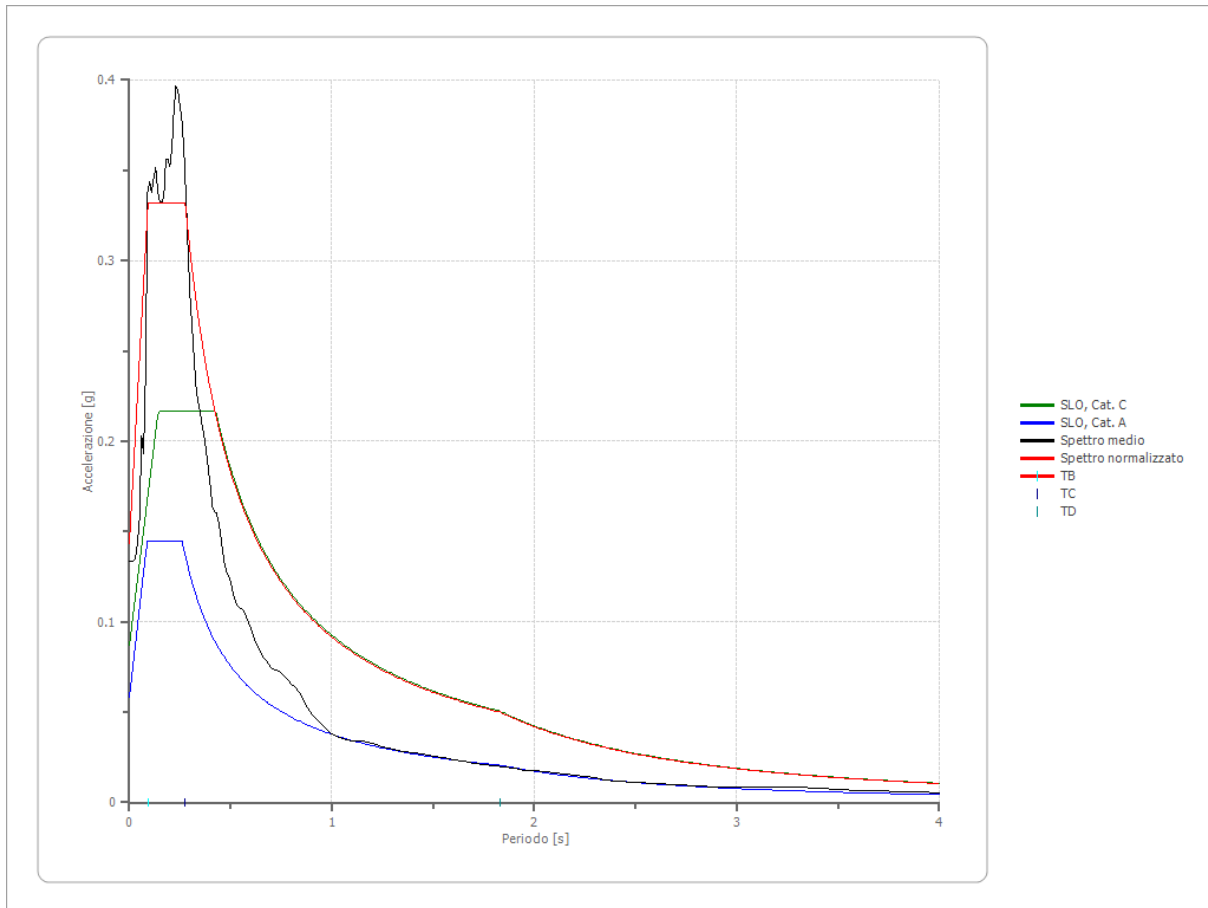
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

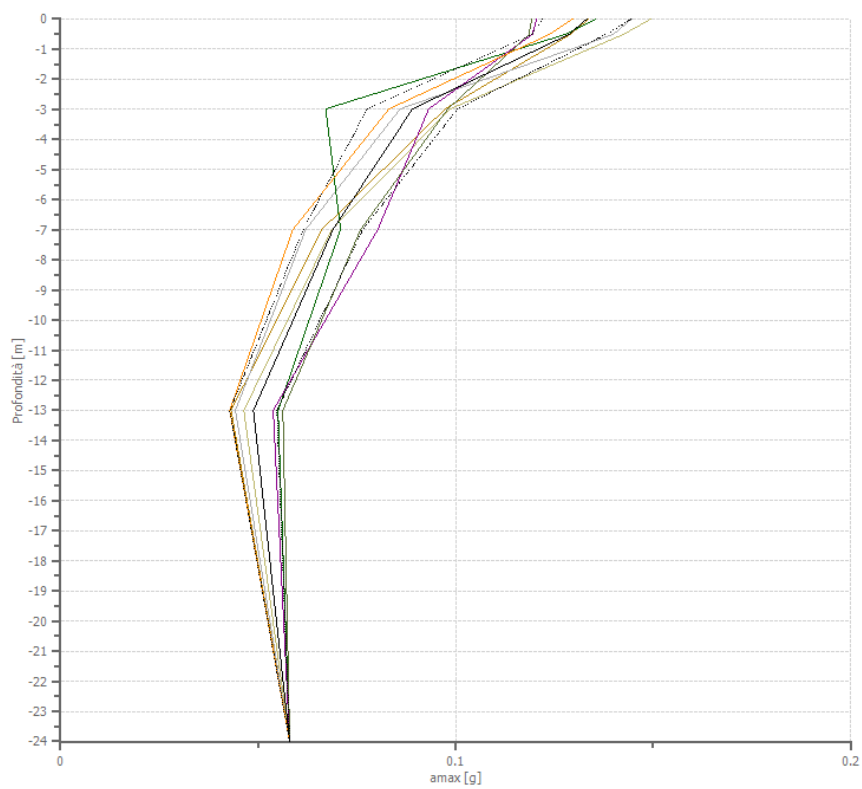
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	0.5 [m]	3.0 [m]	7.0 [m]	13.0 [m]	24.0 [m]
000359xa_re cord [g]	0.134	0.129	0.097	0.066	0.043	0.058
000382xa_re cord [g]	0.145	0.140	0.086	0.062	0.044	0.058
000383xa_re cord [g]	0.135	0.128	0.067	0.071	0.055	0.058
000811ya_re cord [g]	0.149	0.142	0.099	0.069	0.046	0.058
000840xa_re cord [g]	0.121	0.119	0.093	0.080	0.054	0.058
001916ya_re cord [g]	0.119	0.119	0.098	0.076	0.056	0.058
005655xa_re cord [g]	0.130	0.124	0.083	0.059	0.043	0.058
media [g]	0.133	0.129	0.089	0.069	0.049	0.058
Dev. St. [g]	0.011	0.009	0.011	0.008	0.006	0.000

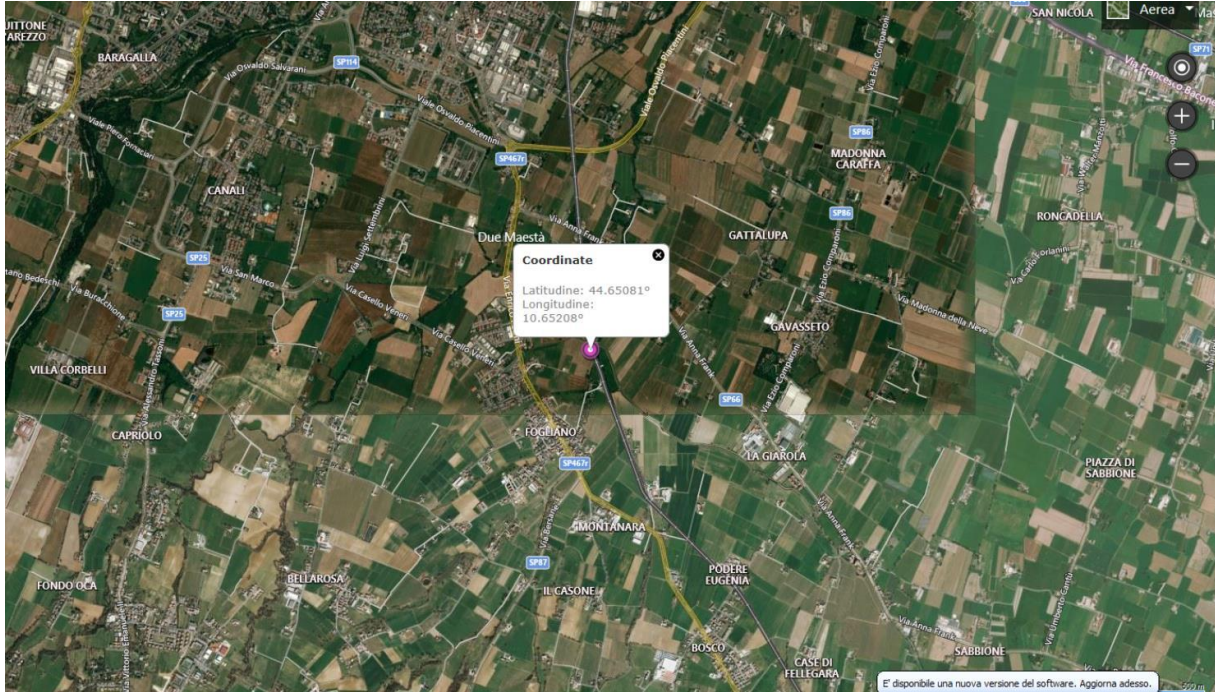


Indice

Spettro normalizzato di risposta elastico	.7
Confronto tra gli spettri	.7
Confronto spettro normativa	.8
Profilo a max	.9
Indice	.11

Dati generali RSLIII SLV MASW N. 3

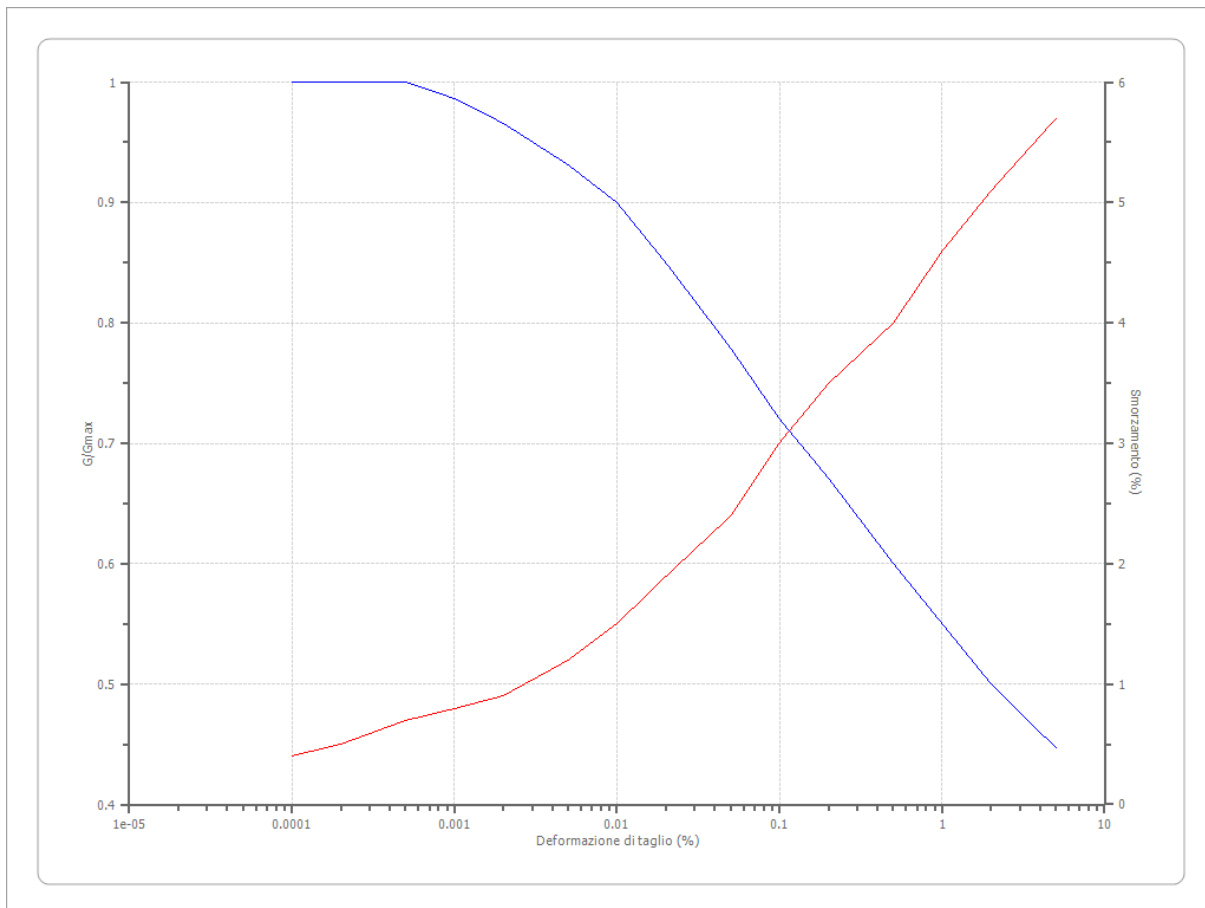
Data della prova d.C./11/2020
 Latitudine 44.65081[°]
 Longitudine 10.65208[°]



Terreni

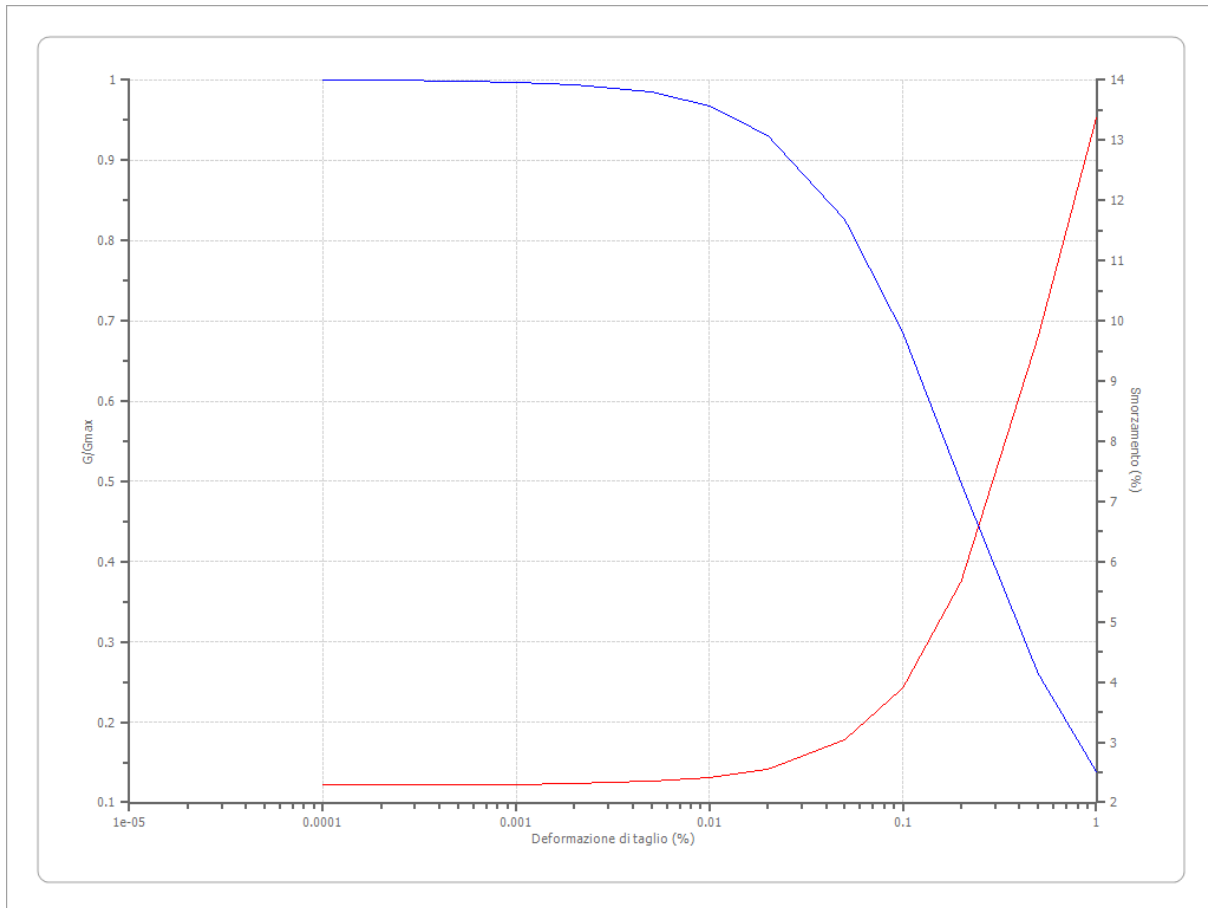
Idriss (1990) Rock

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



Argille 1 (Hardin e Drnevich)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.999814	0.0001	2.292169
0.0002	0.999592	0.0002	2.292953
0.0005	0.99885	0.0005	2.295579
0.001	0.997486	0.001	2.300422
0.002	0.99451	0.002	2.311031
0.005	0.984677	0.005	2.346566
0.010	0.967042	0.010	2.412195
0.020	0.930543	0.020	2.556218
0.050	0.826171	0.050	3.038566
0.100	0.684554	0.100	3.91201
0.200	0.497708	0.200	5.663003
0.500	0.260092	0.500	9.744892
1.000	0.138305	1.000	13.36791



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	0.4	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	23.49	--	16.0	120.0	3.2
2		0.4	2.6	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	41.75	--	16.0	160.0	27.2
3		3.0	5.0	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	47.14	--	16.0	170.0	88.0
4		8.0	6.0	Argille	0	143.85	--	18.0	280.0	182.0

				1 (Hardin e Drnevic h)						
5		14.0	13.0	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	294.59	--	19.0	390.0	359.5
6		oo	--	Idriss (1990) Rock	0	1036.98	--	22.0	680.0	483.0

Strato rilevamento accelerogramma: 6 Affiorante

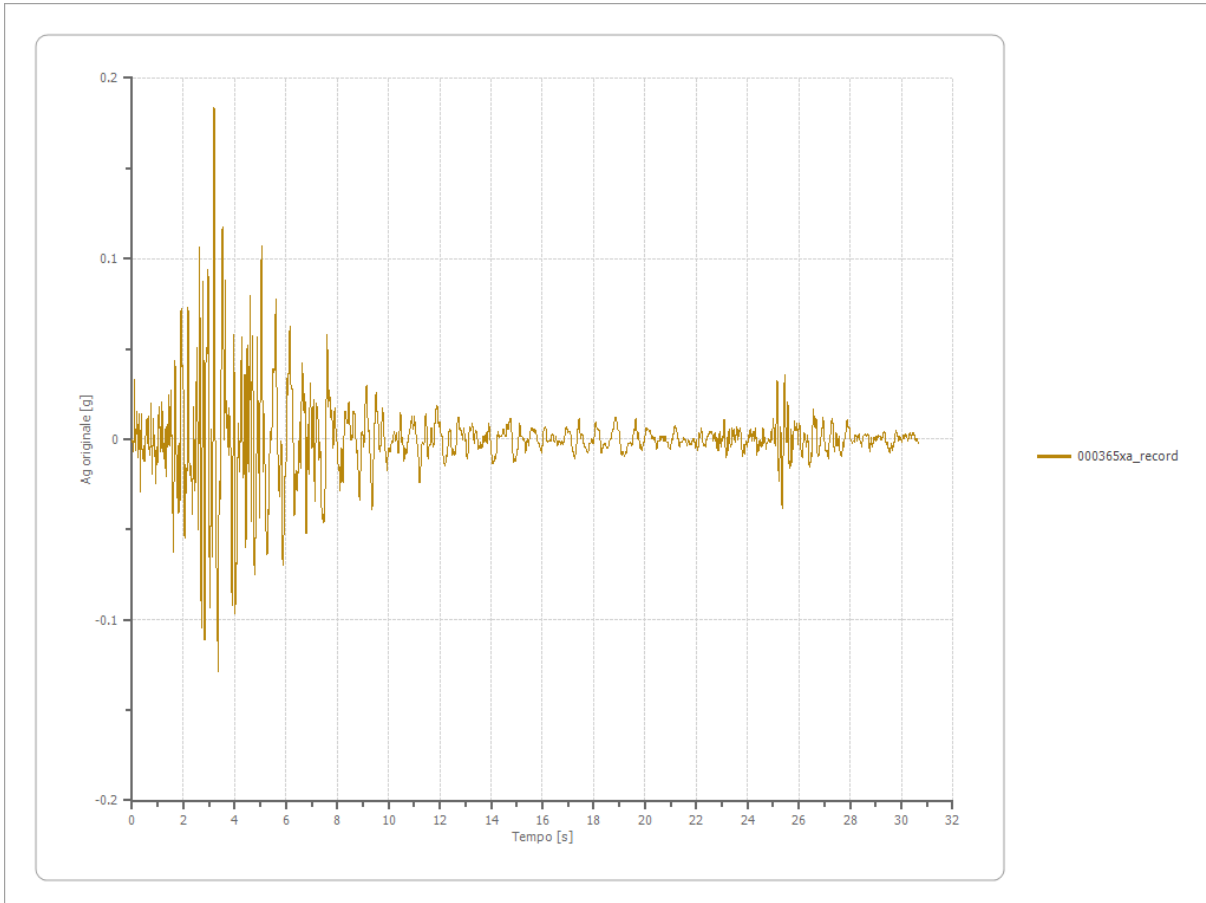
Elaborazione

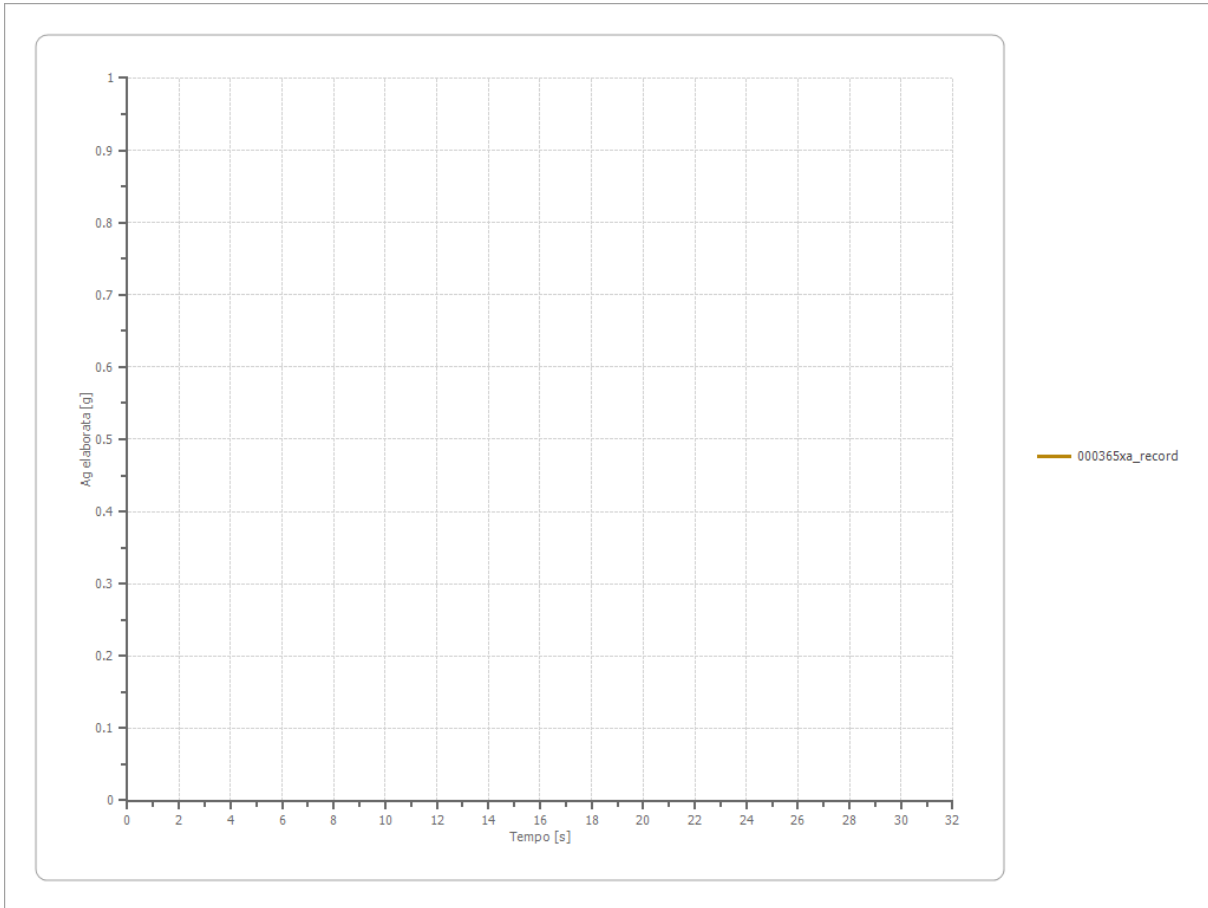
Numero di iterazioni 20
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 8.13 E-06

File 000365xa_record:

Accelerogramma importato

Nome del file	000365xa_record
Durata della traccia	30.670 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	3.200 [s]

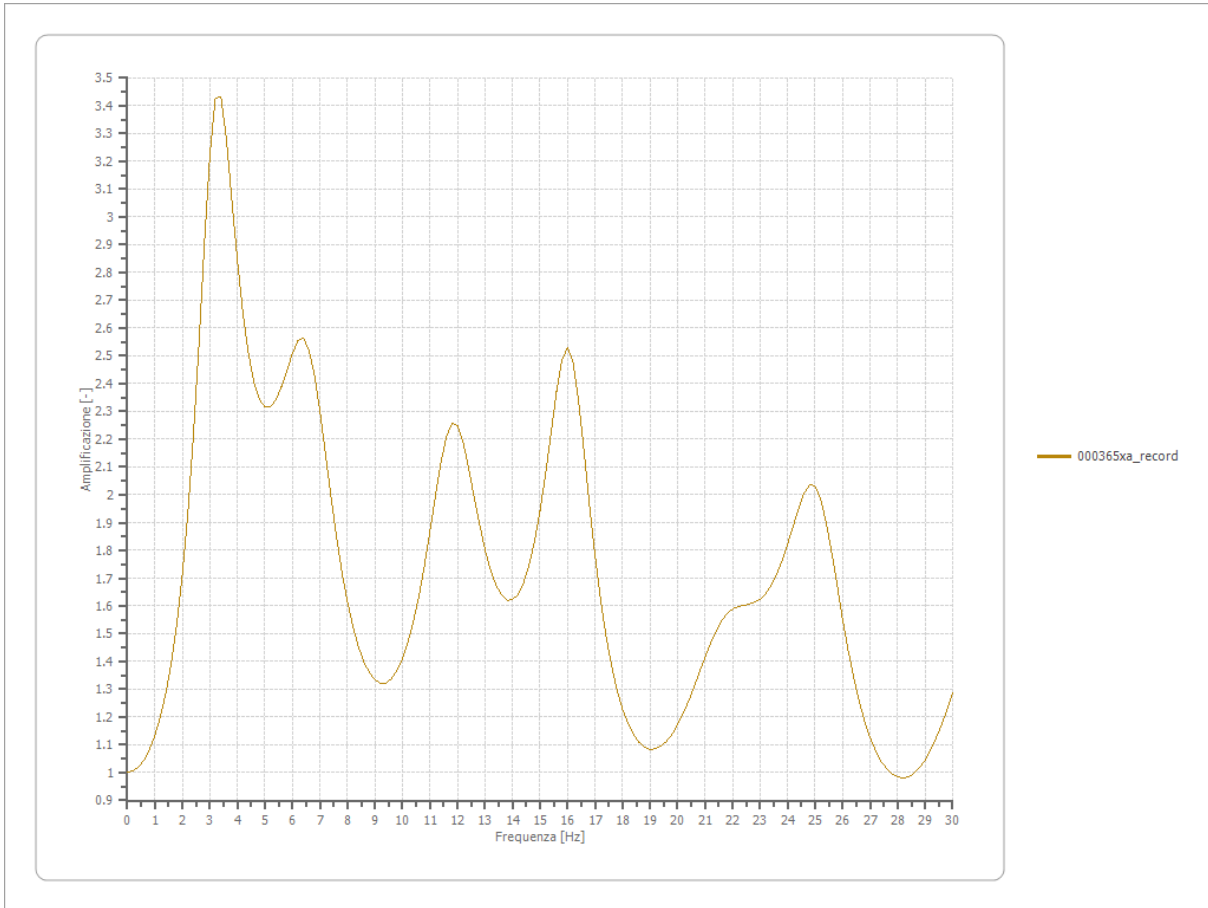




Amplificazione

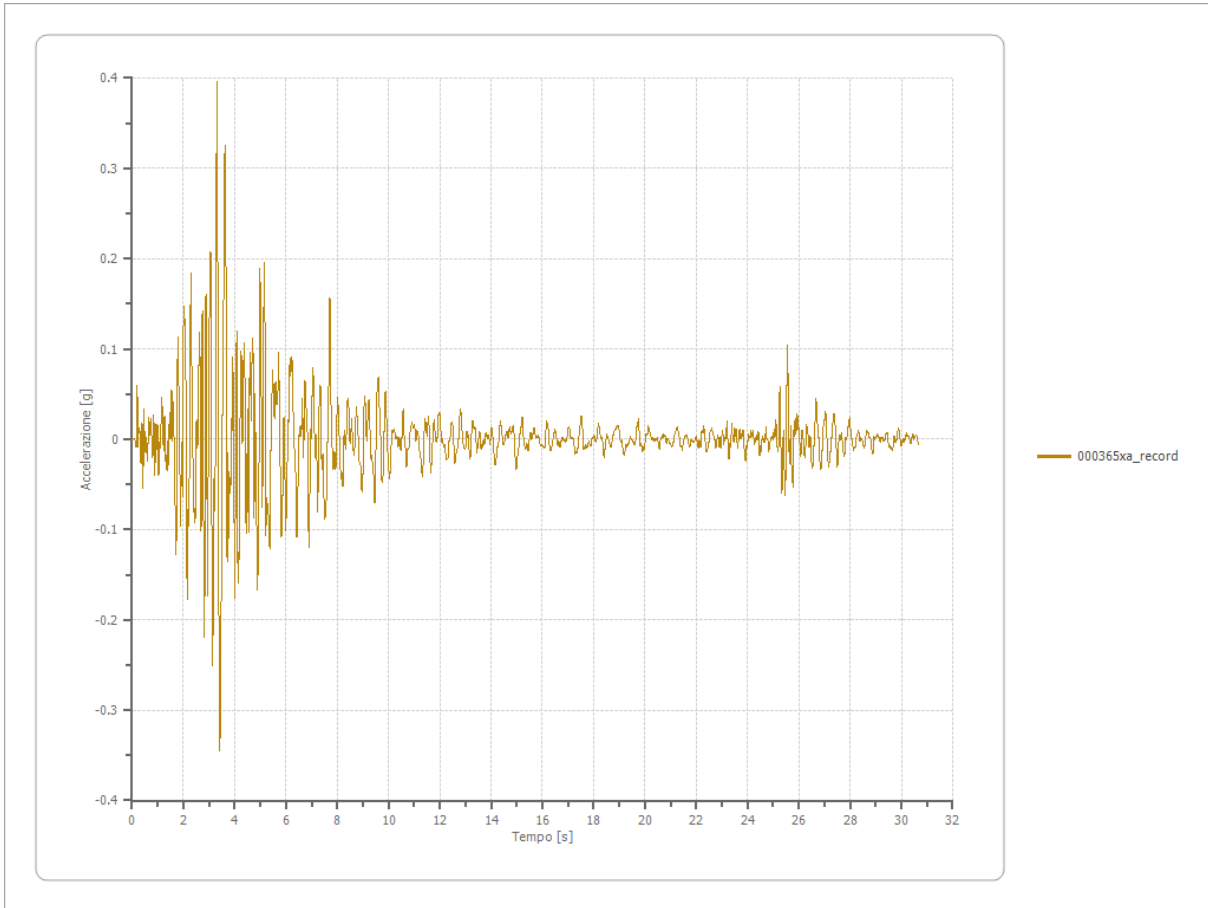
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

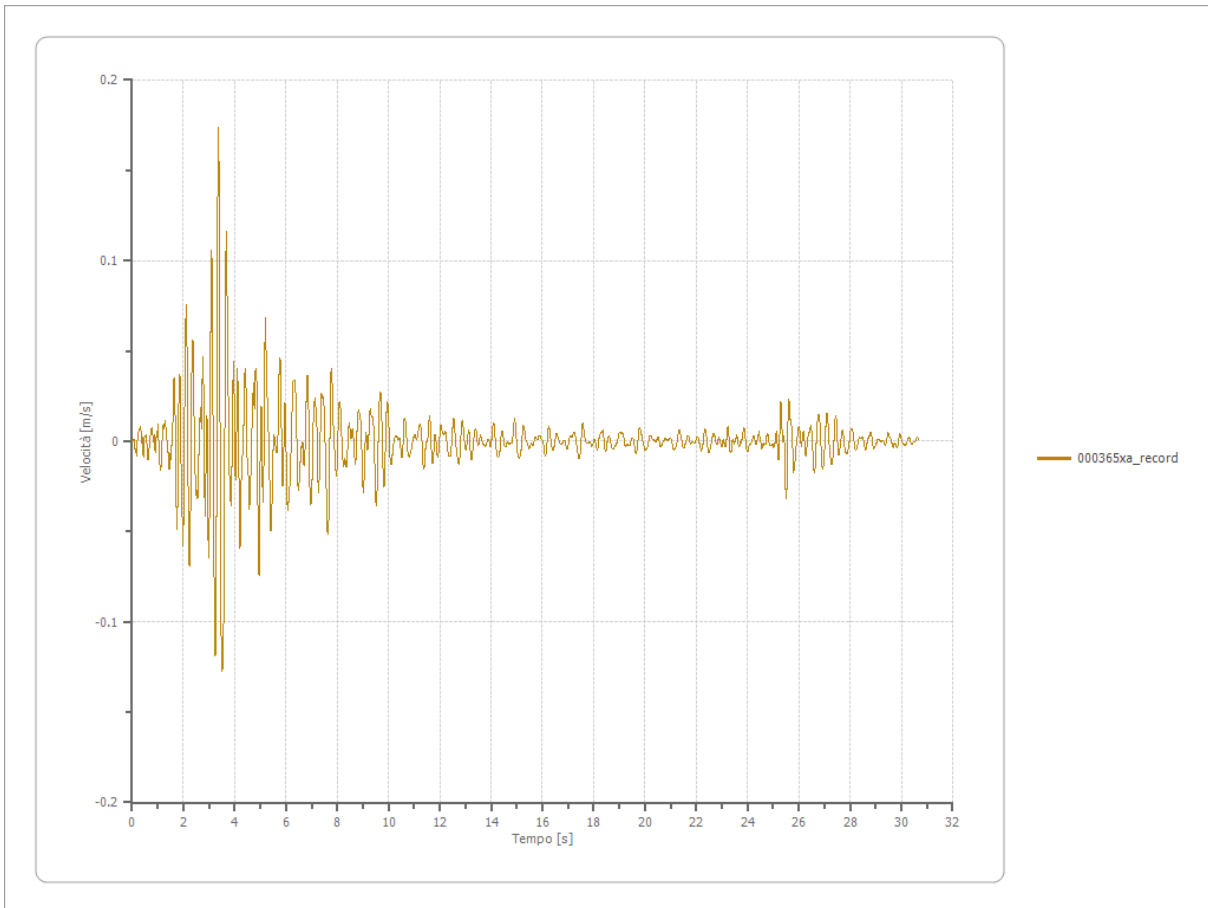
Strato	1 Affiorante
Pga	0.396 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	2.173
Accelerazione massima	0.396 [g]
Periodo accelerazione massima	3.310 [s]



Velocità

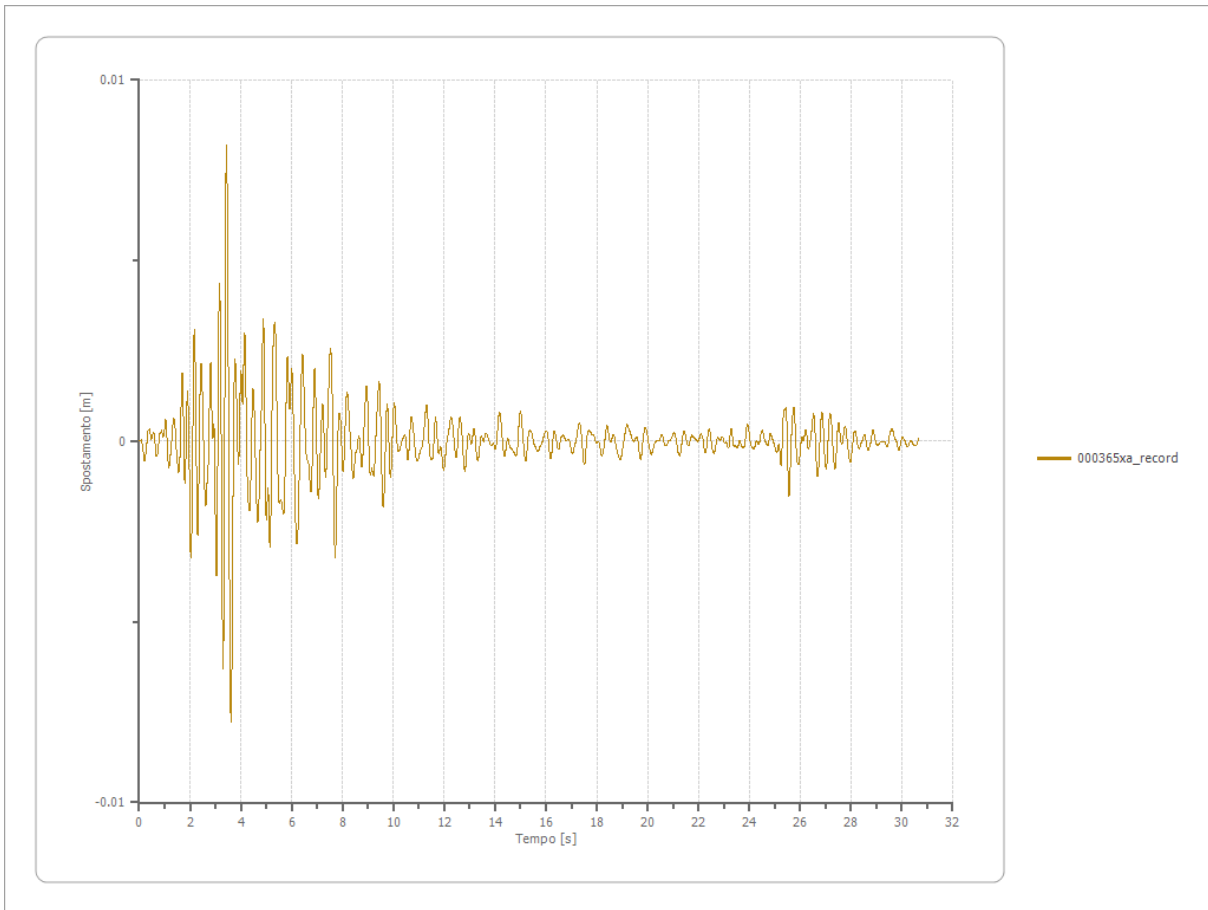
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.174 [m/s]
3.360 [s]



Spostamento

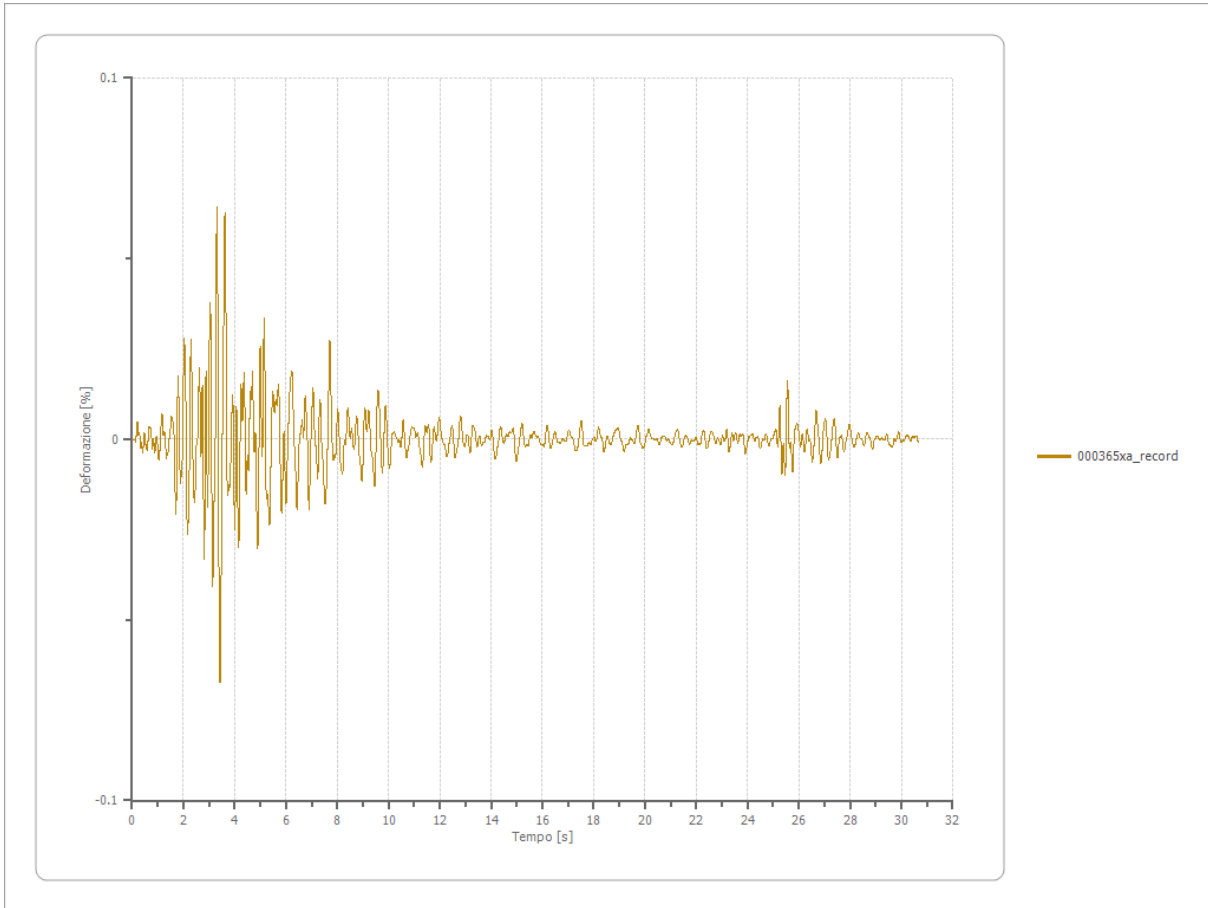
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.008 [m]
Periodo spostamento massimo	3.430 [s]



Deformazione

Numero di strati

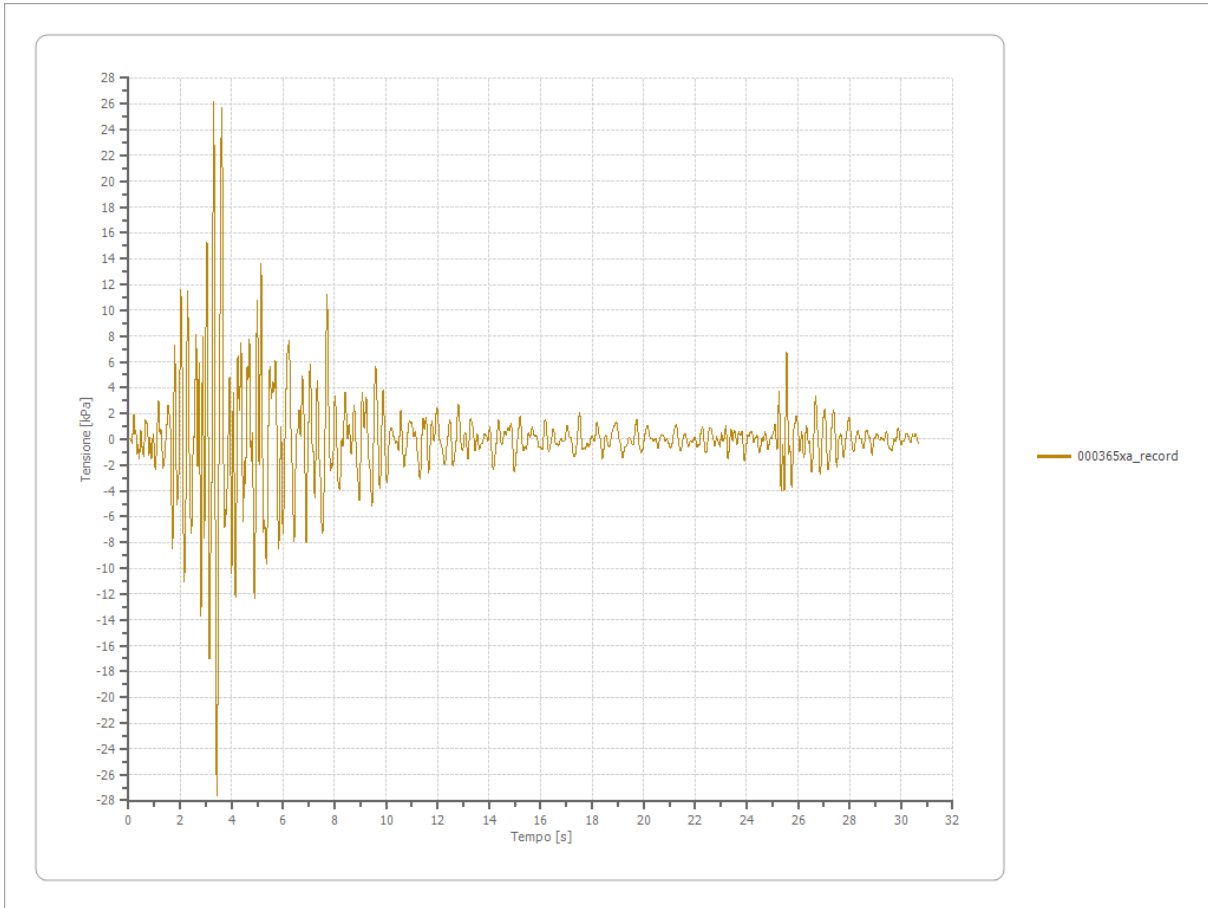
3



Tensione

Numero di strati

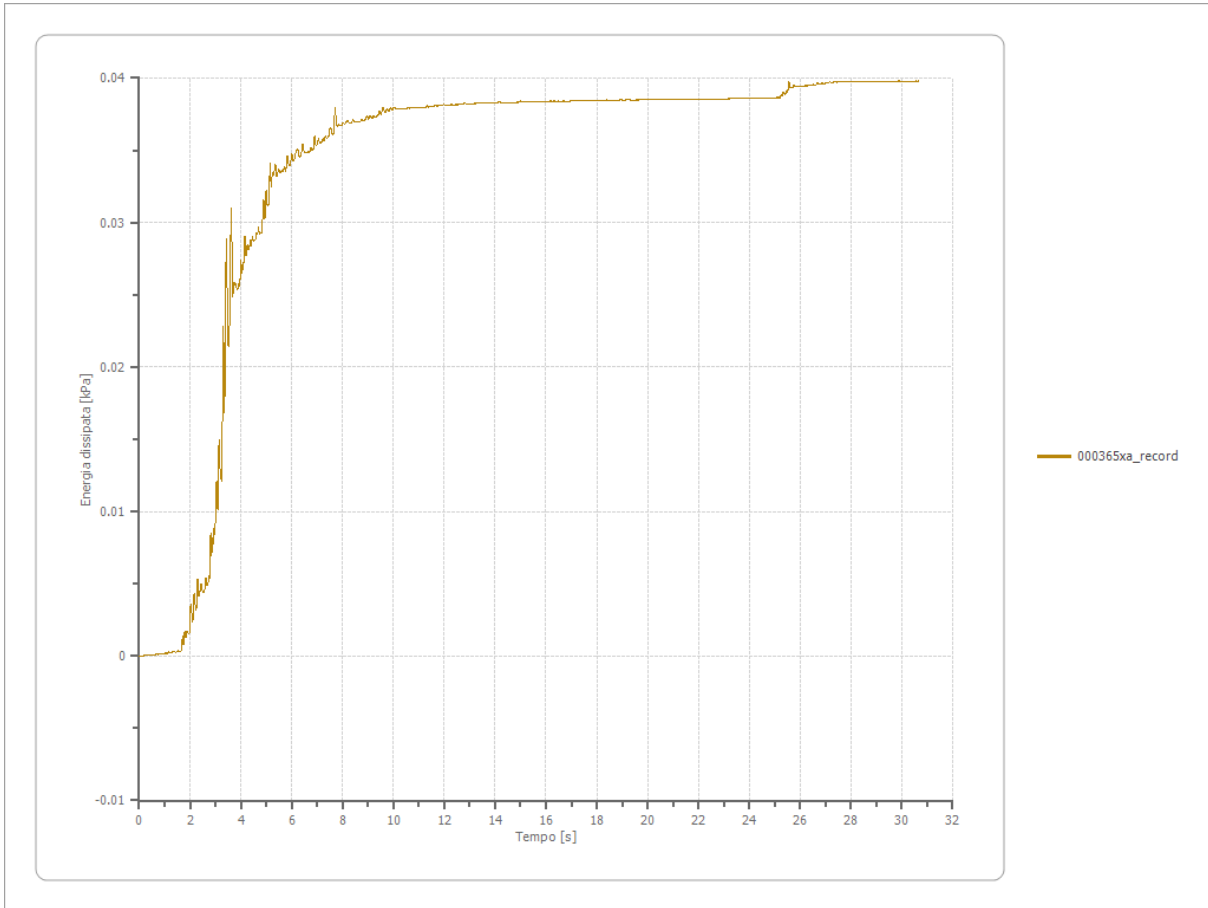
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



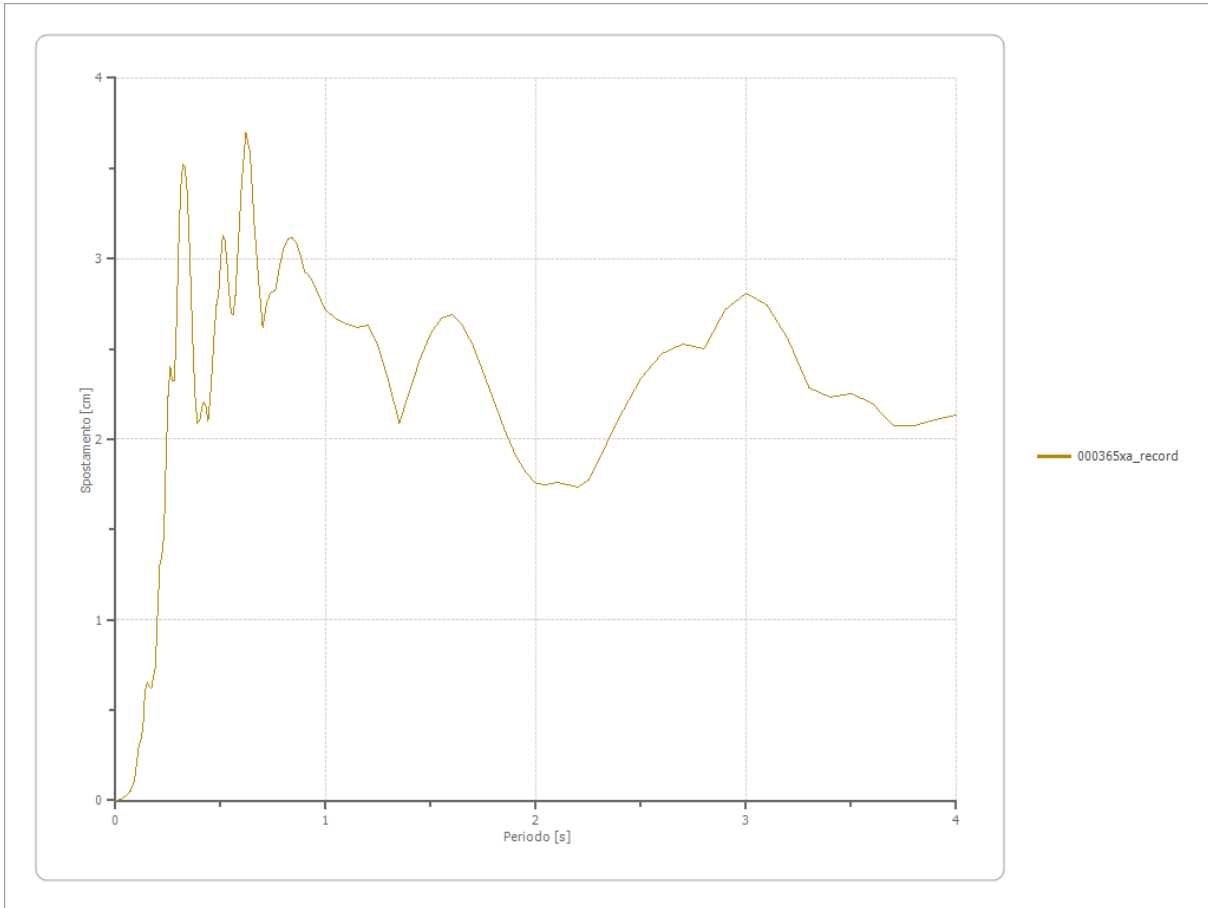
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

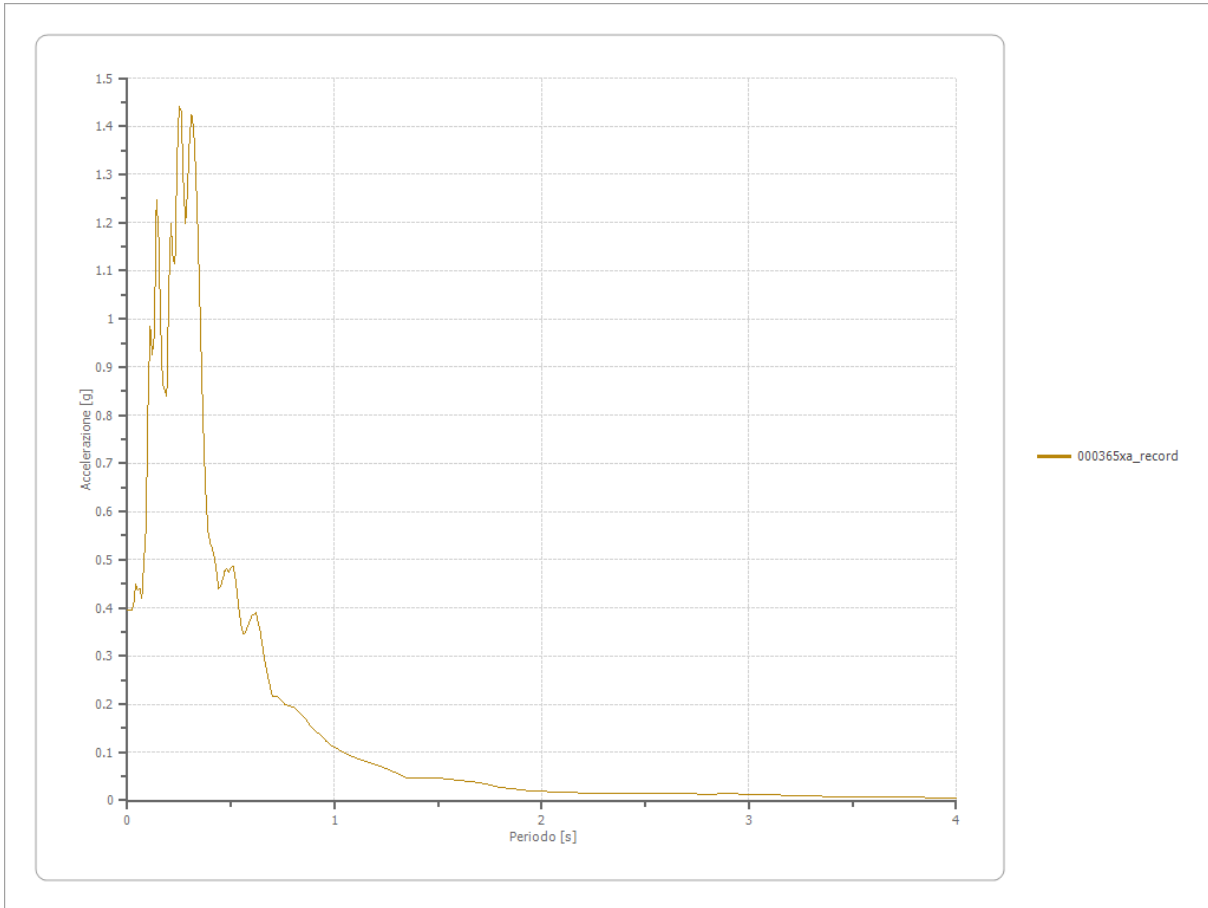
Spostamento

Spostamento massimo	3.699 [cm]
Periodo massimo spostamento	0.620 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.442 [g]
Periodo accelerazione massima	0.250 [s]



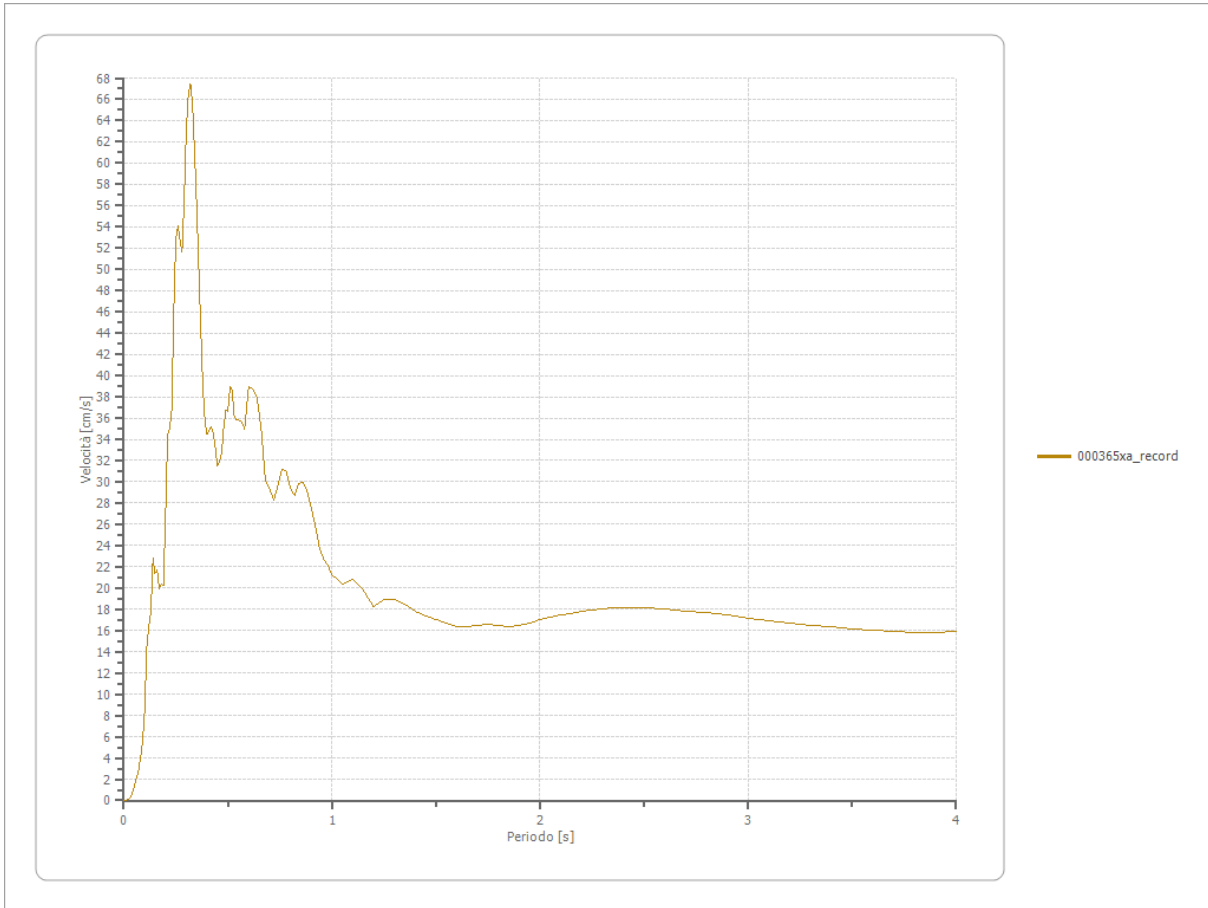
Velocità

Velocità massima

1.442 [cm/s]

Periodo massima velocità

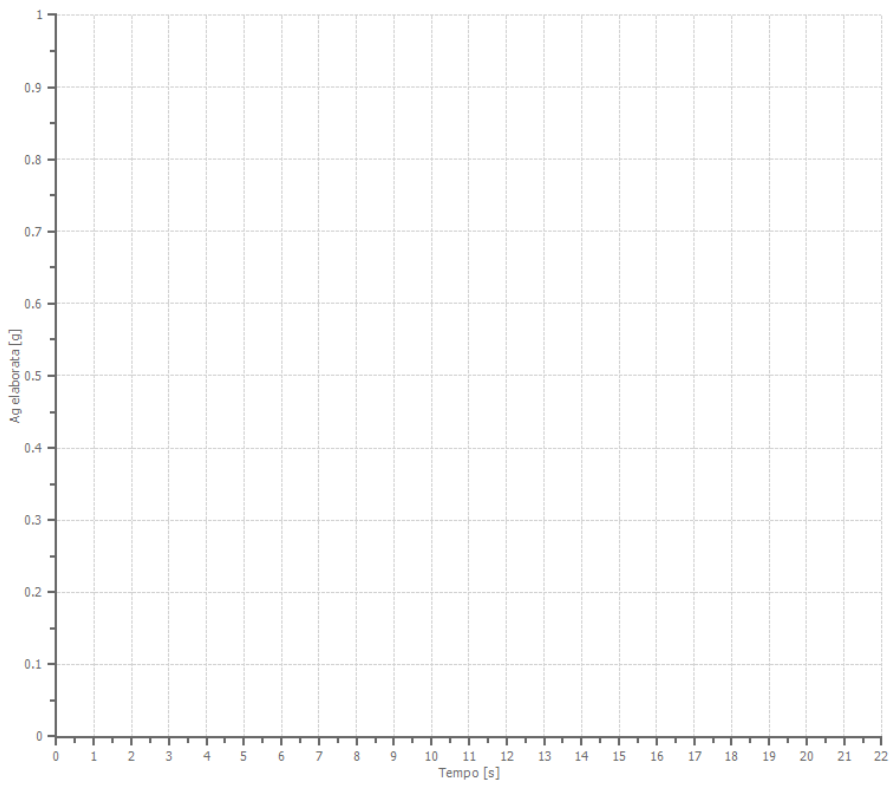
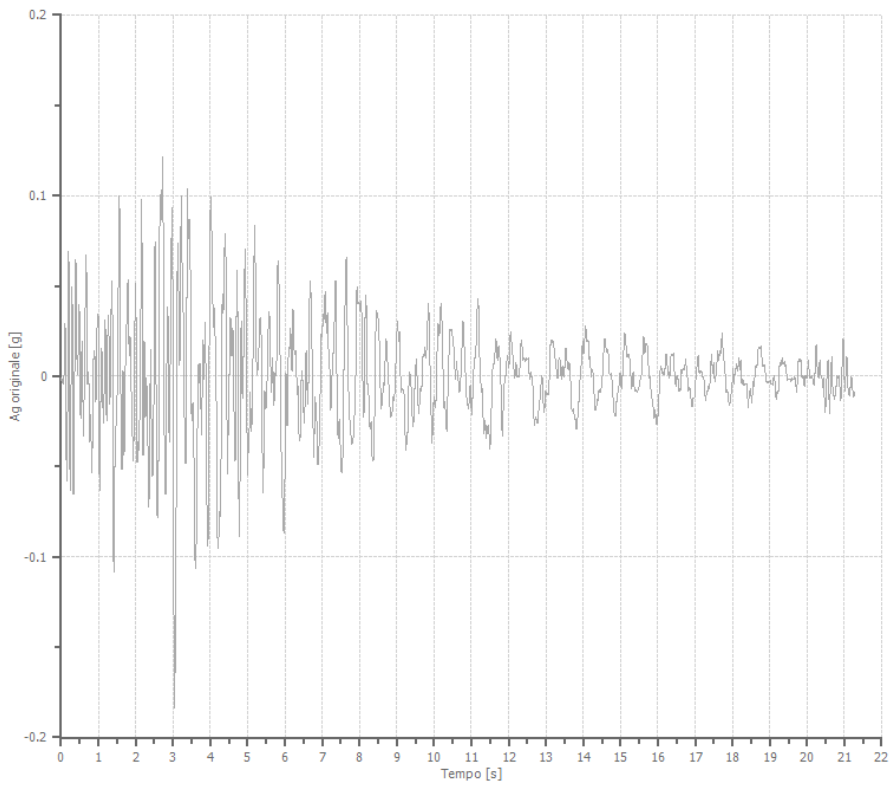
0.320 [s]



File 000382xa_record:

Accelerogramma importato

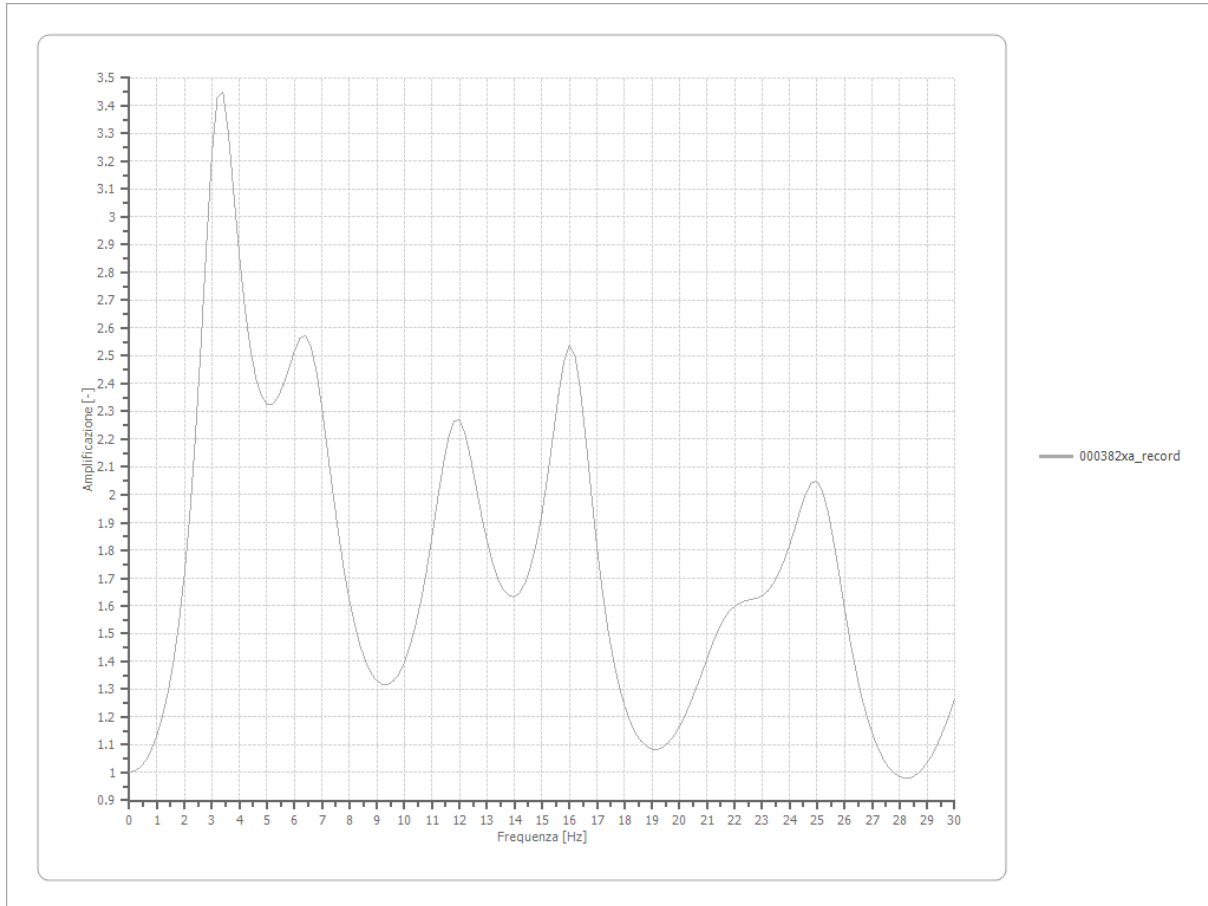
Nome del file	000382xa_record
Durata della traccia	21.270 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	3.040 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.373 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

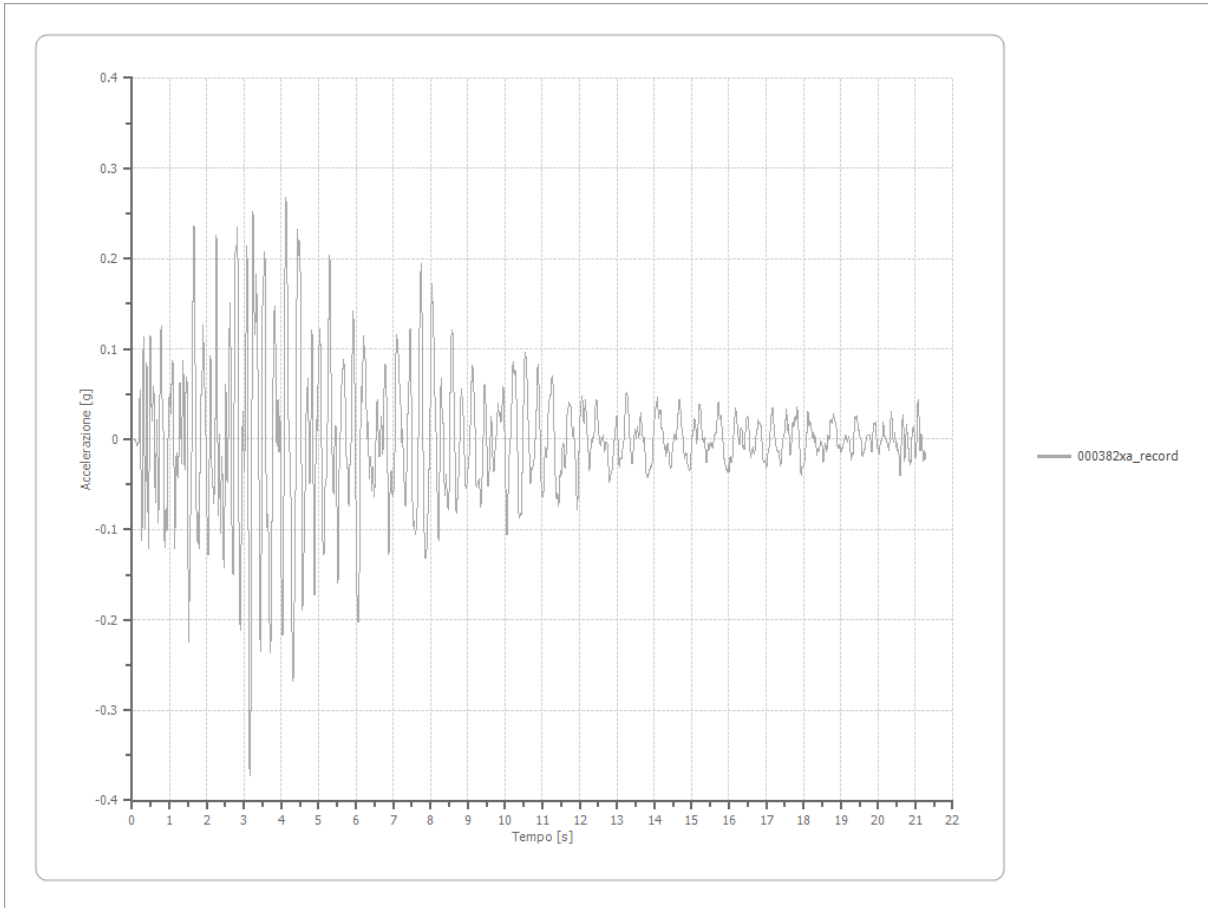
2.048

Accelerazione massima

0.373 [g]

Periodo accelerazione massima

3.150 [s]



Velocità

Strato

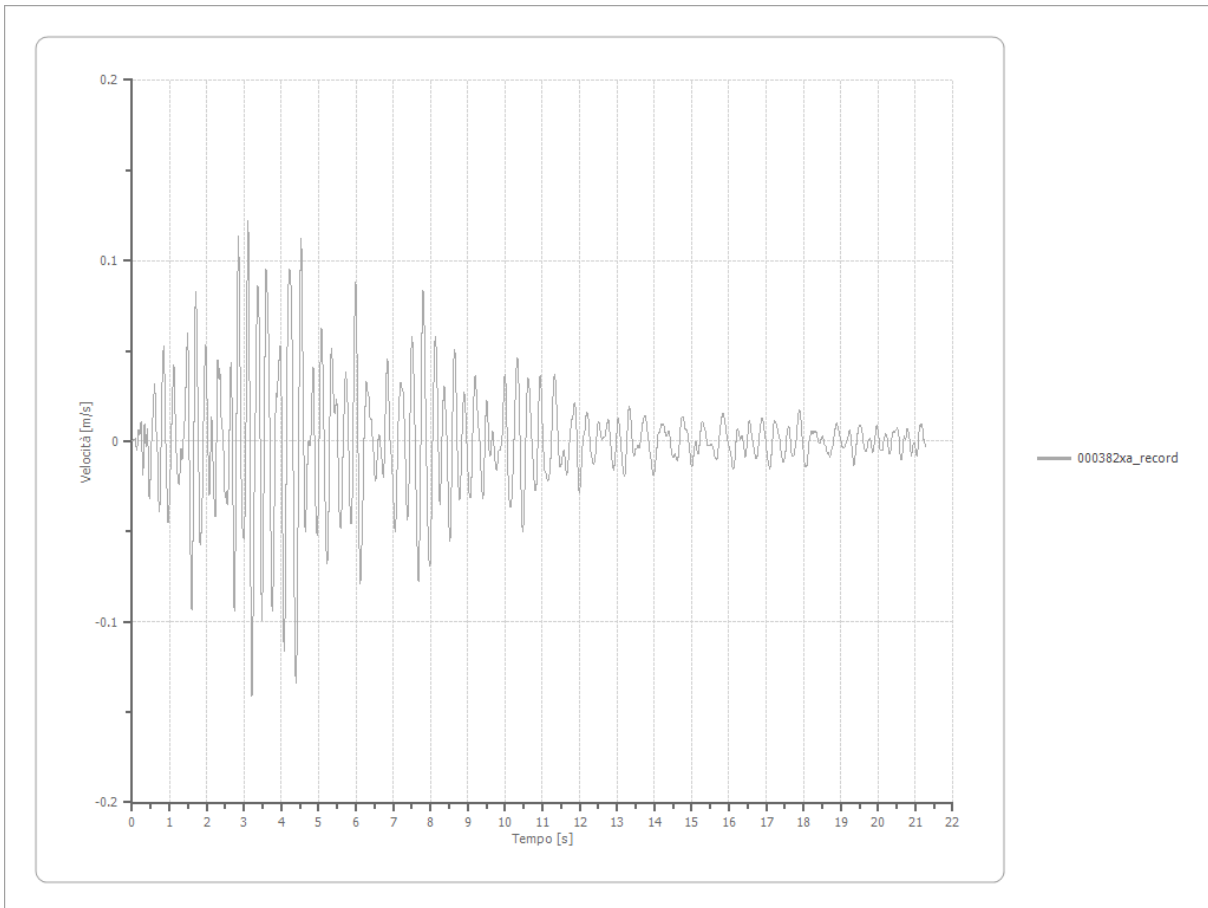
Velocità massima

Periodo velocità massima

1 Affiorante

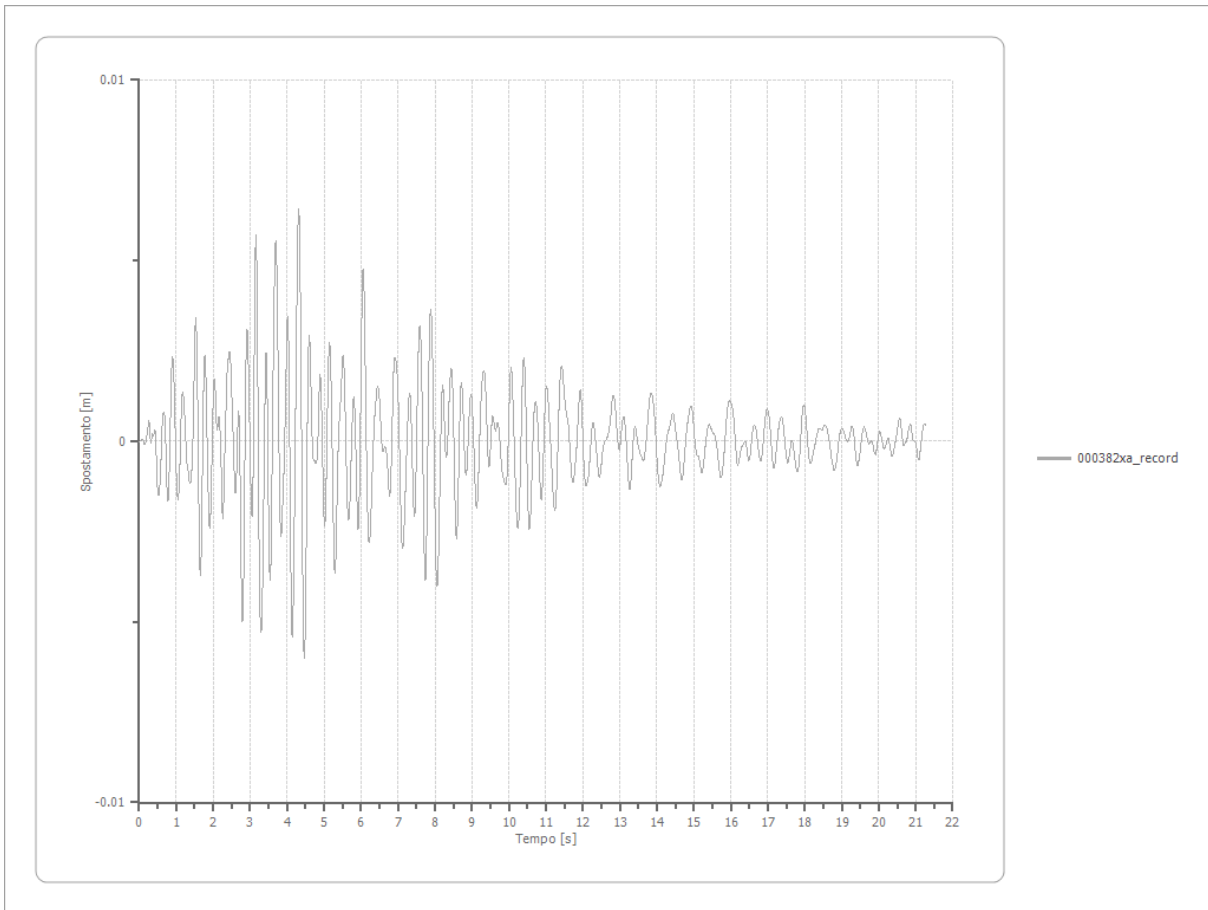
0.141 [m/s]

3.210 [s]



Spostamento

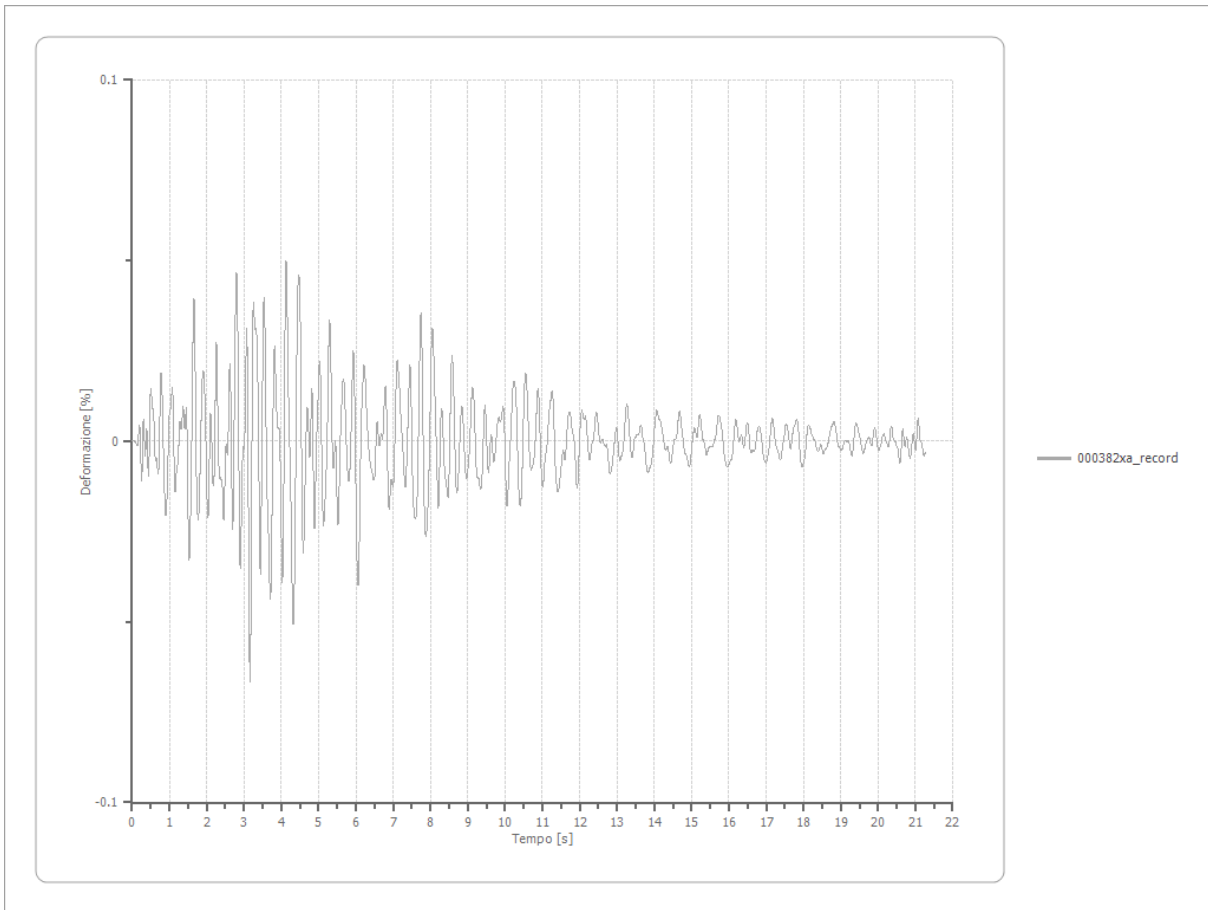
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.006 [m]
Periodo spostamento massimo	4.310 [s]



Deformazione

Numero di strati

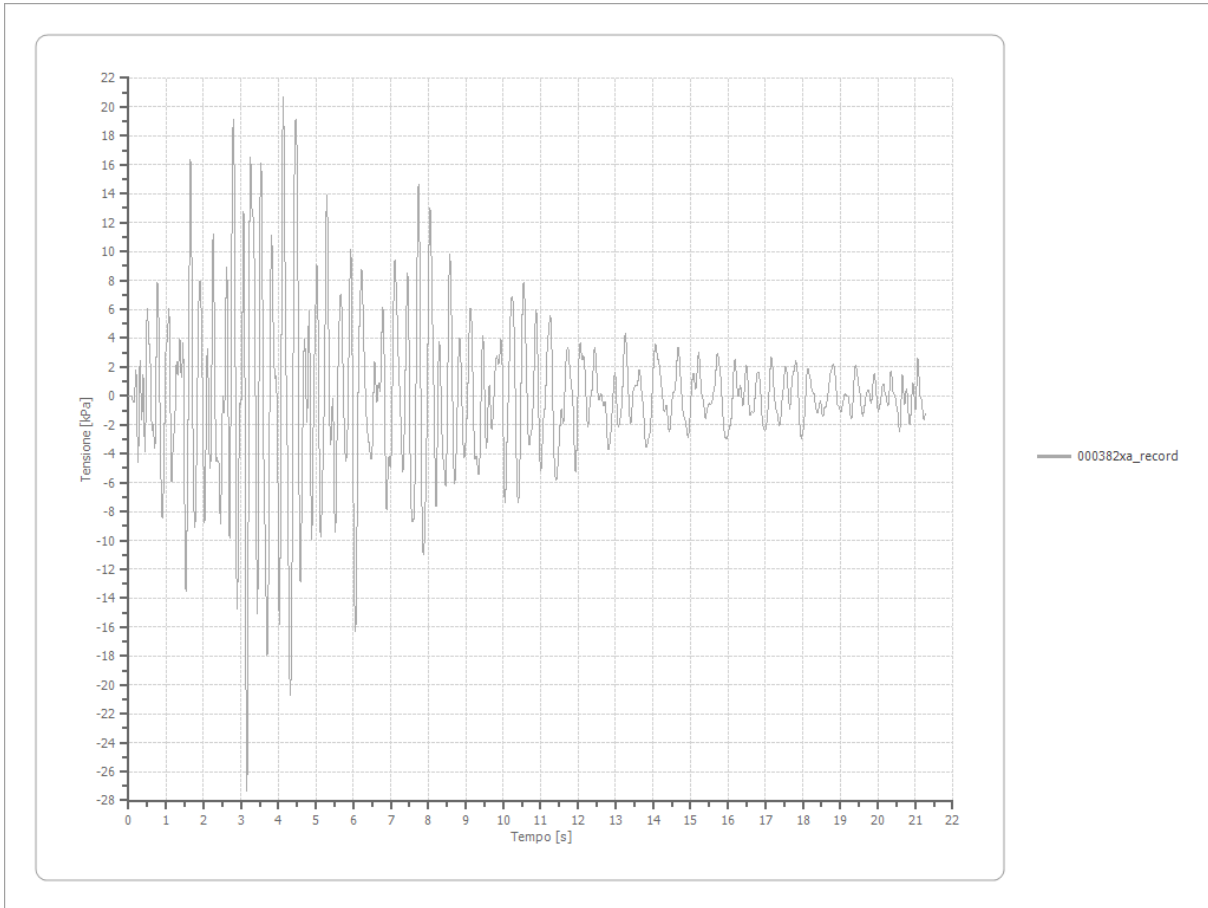
3



Tensione

Numero di strati

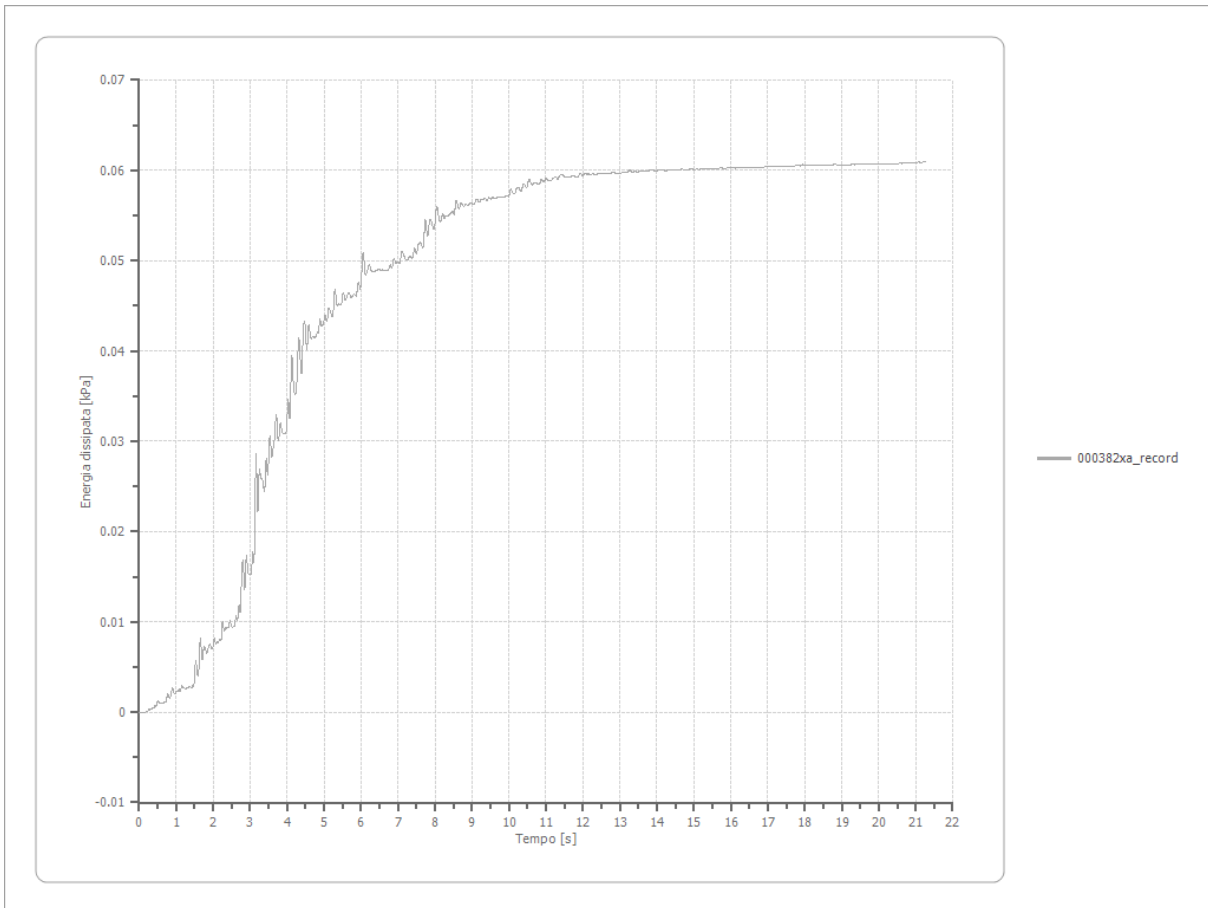
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



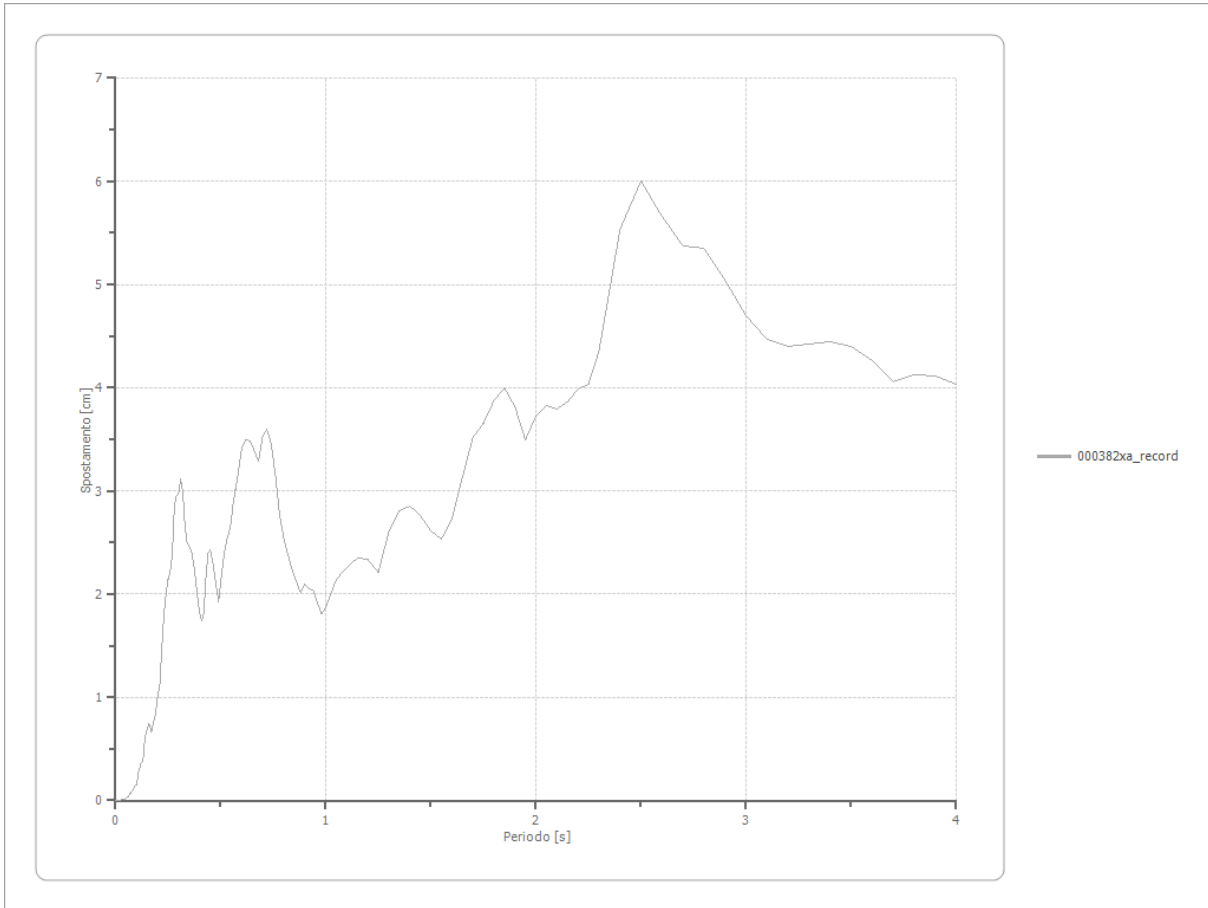
Trasformata di Fourier

Strato 1 Affiorante
 Numero di campioni del filtro a media mobile 1

Spettri

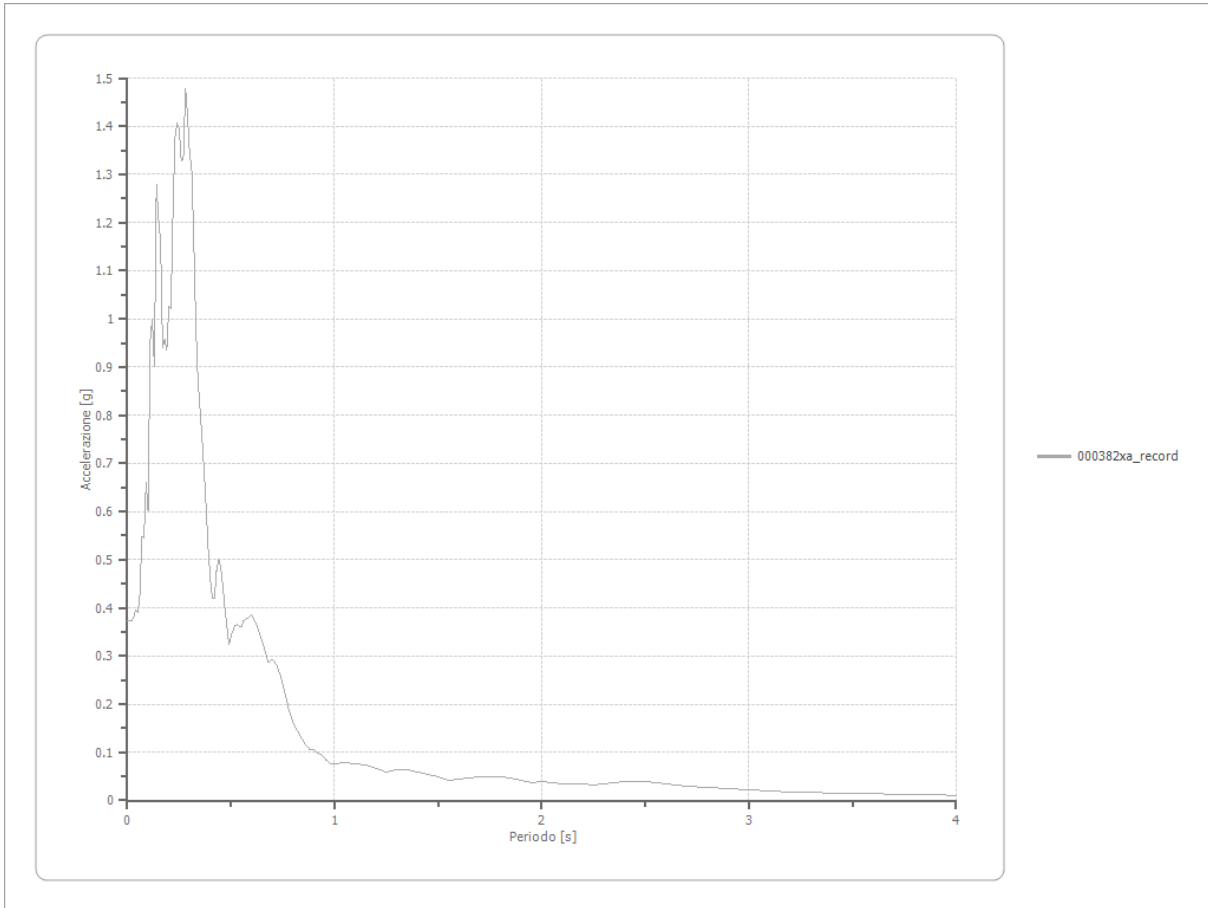
Spostamento

Spostamento massimo 6.008 [cm]
 Periodo massimo spostamento 2.500 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.477 [g]
Periodo accelerazione massima	0.280 [s]



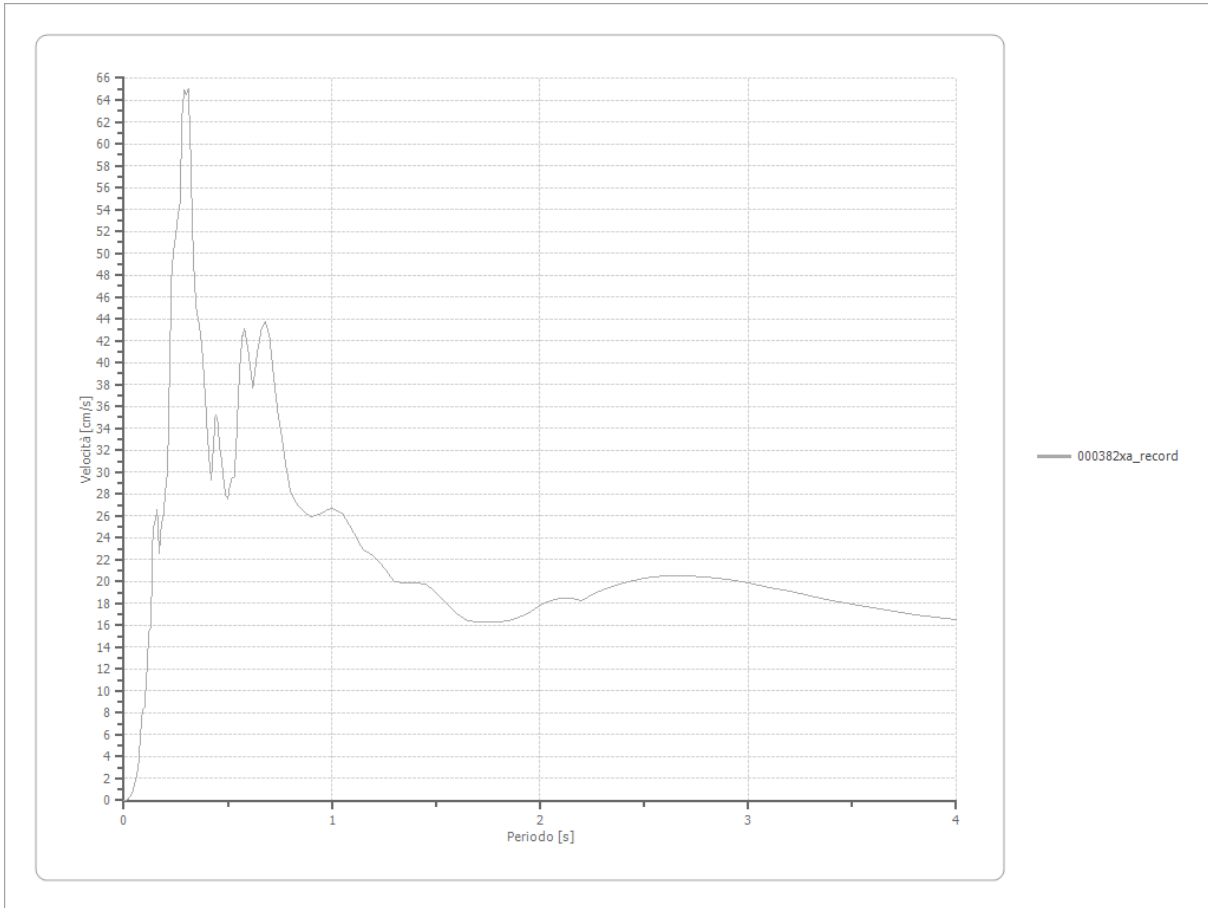
Velocità

Velocità massima

1.477 [cm/s]

Periodo massima velocità

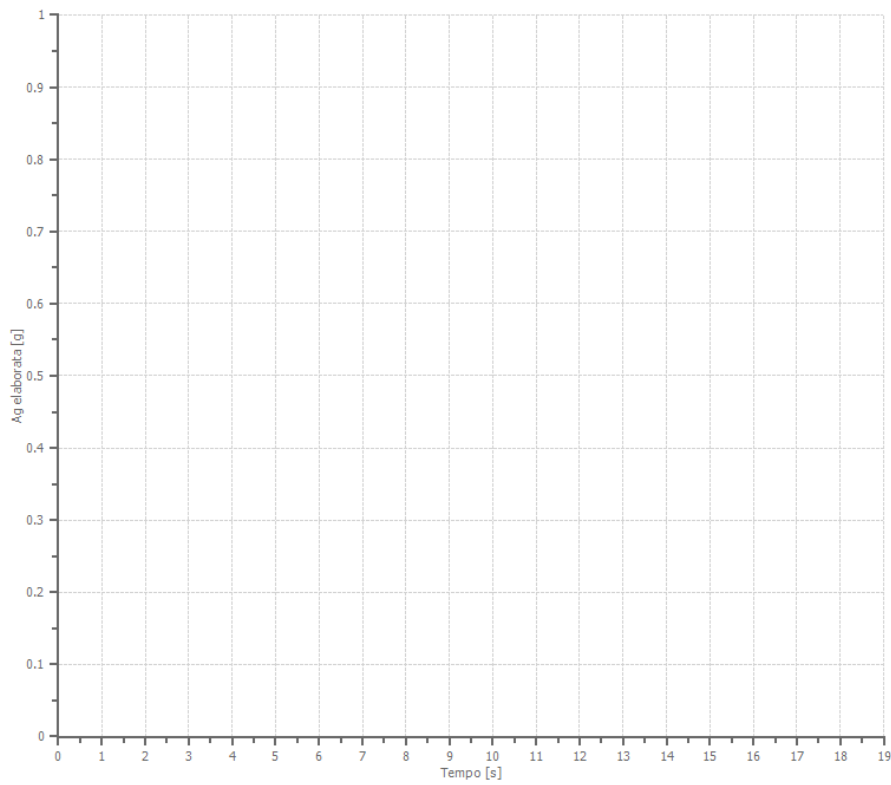
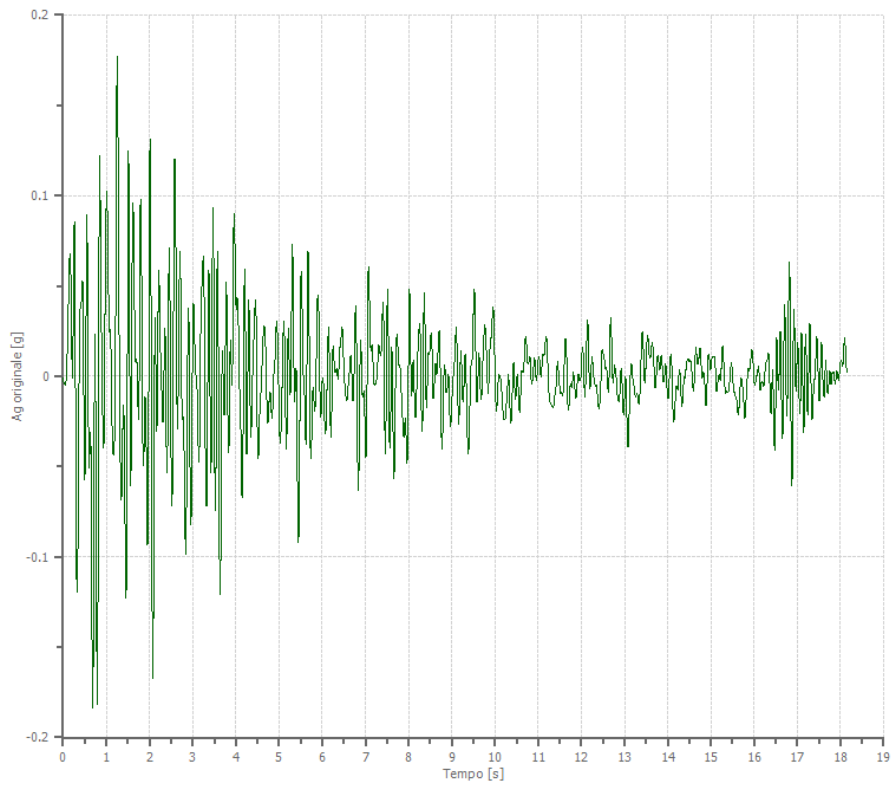
0.310 [s]



File 000383xa_record:

Accelerogramma importato

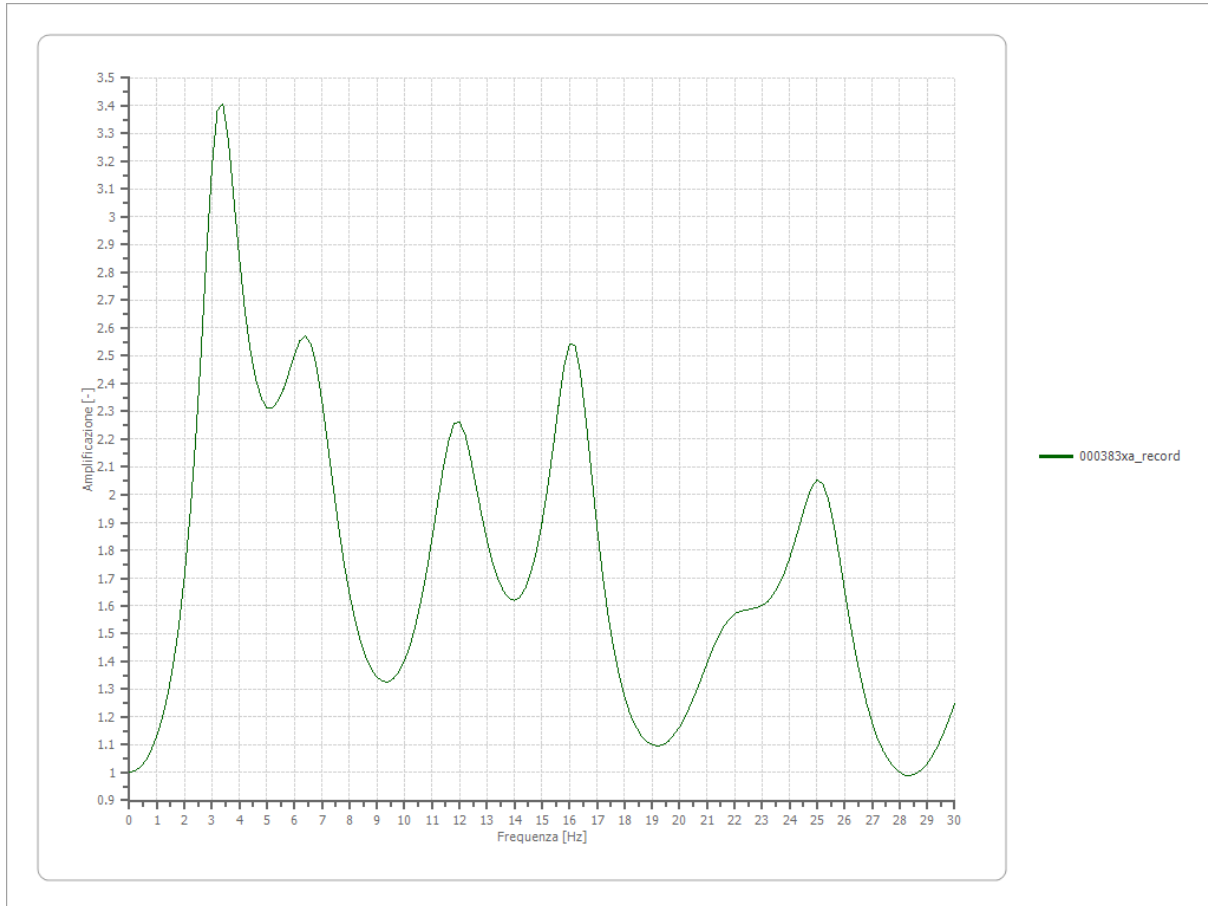
Nome del file	000383xa_record
Durata della traccia	18.160 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	0.680 [s]



Amplificazione

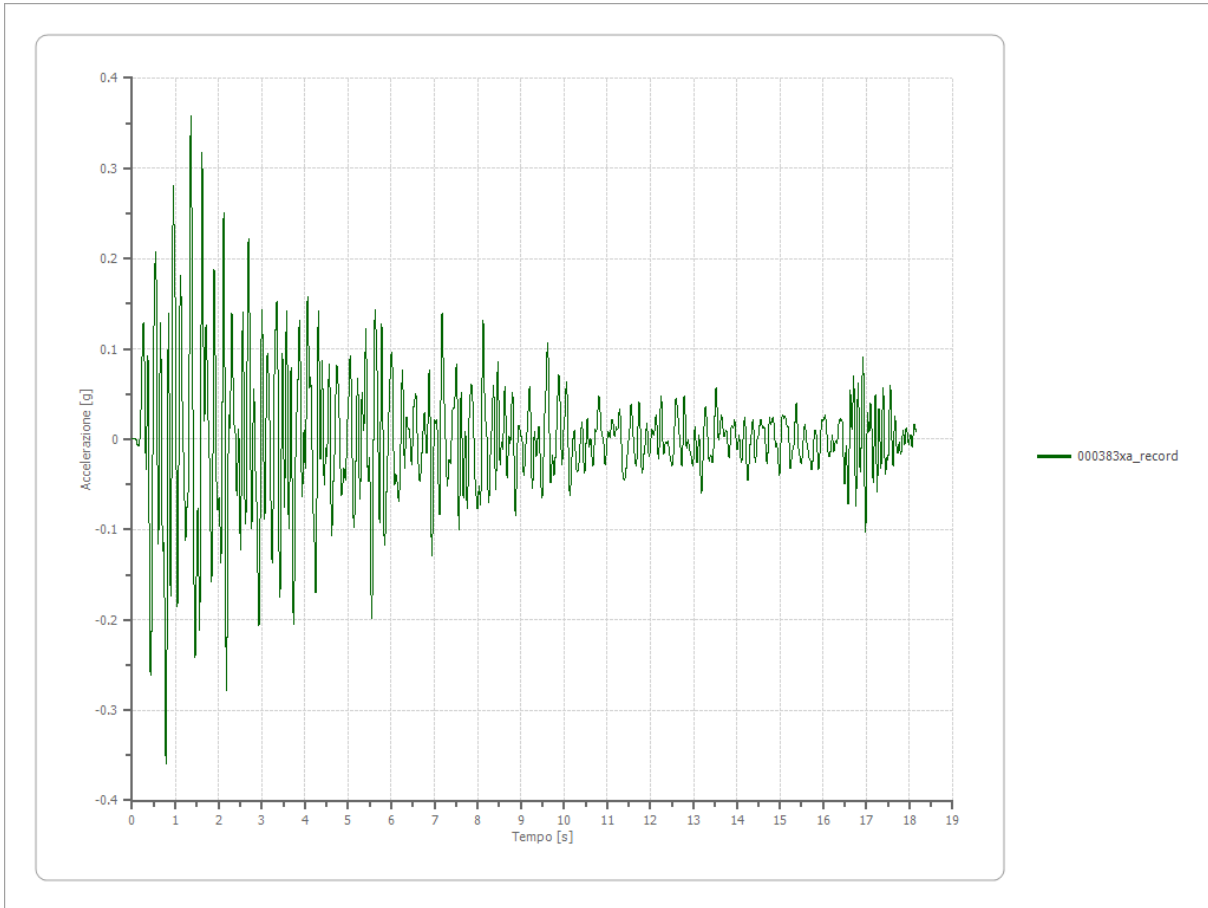
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

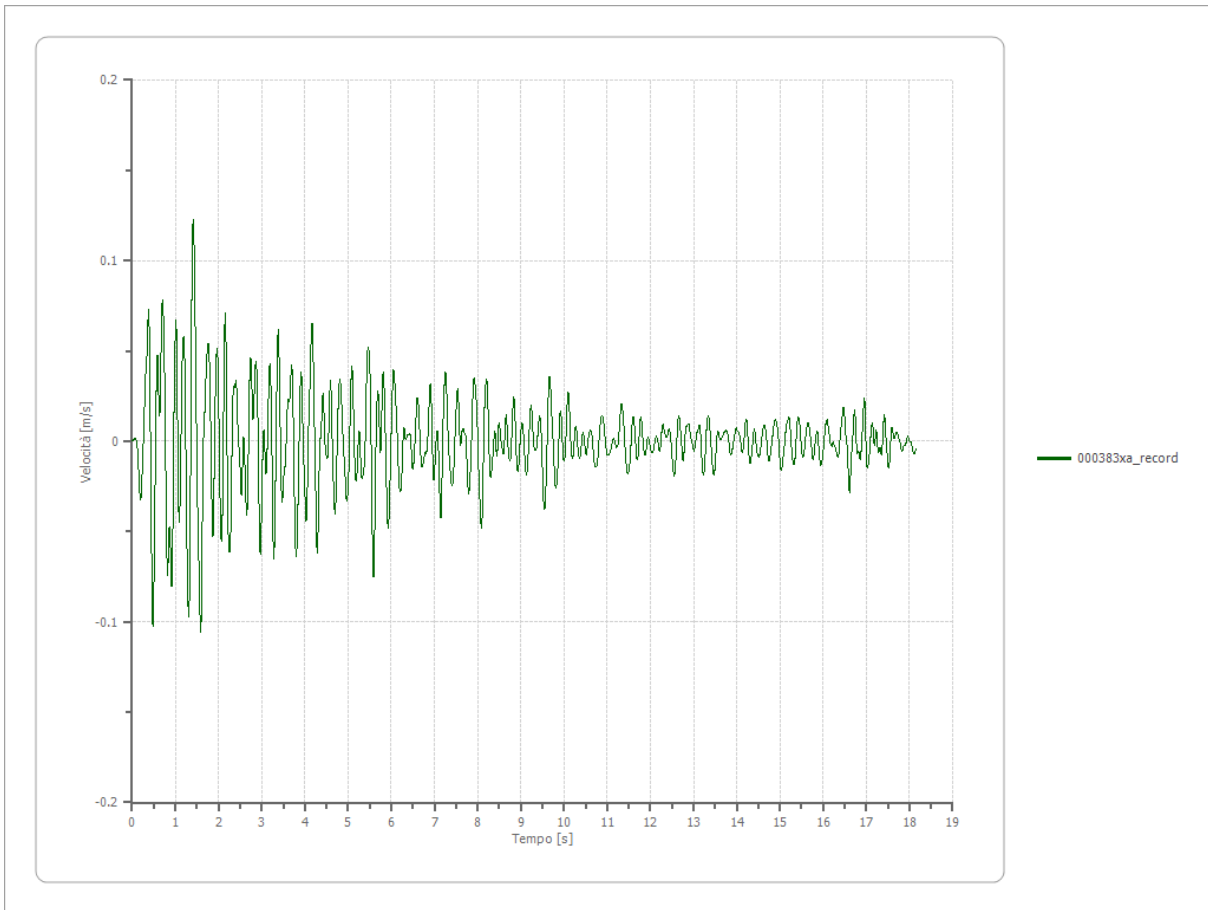
Strato	1 Affiorante
Pga	0.359 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	1.973
Accelerazione massima	0.359 [g]
Periodo accelerazione massima	0.780 [s]



Velocità

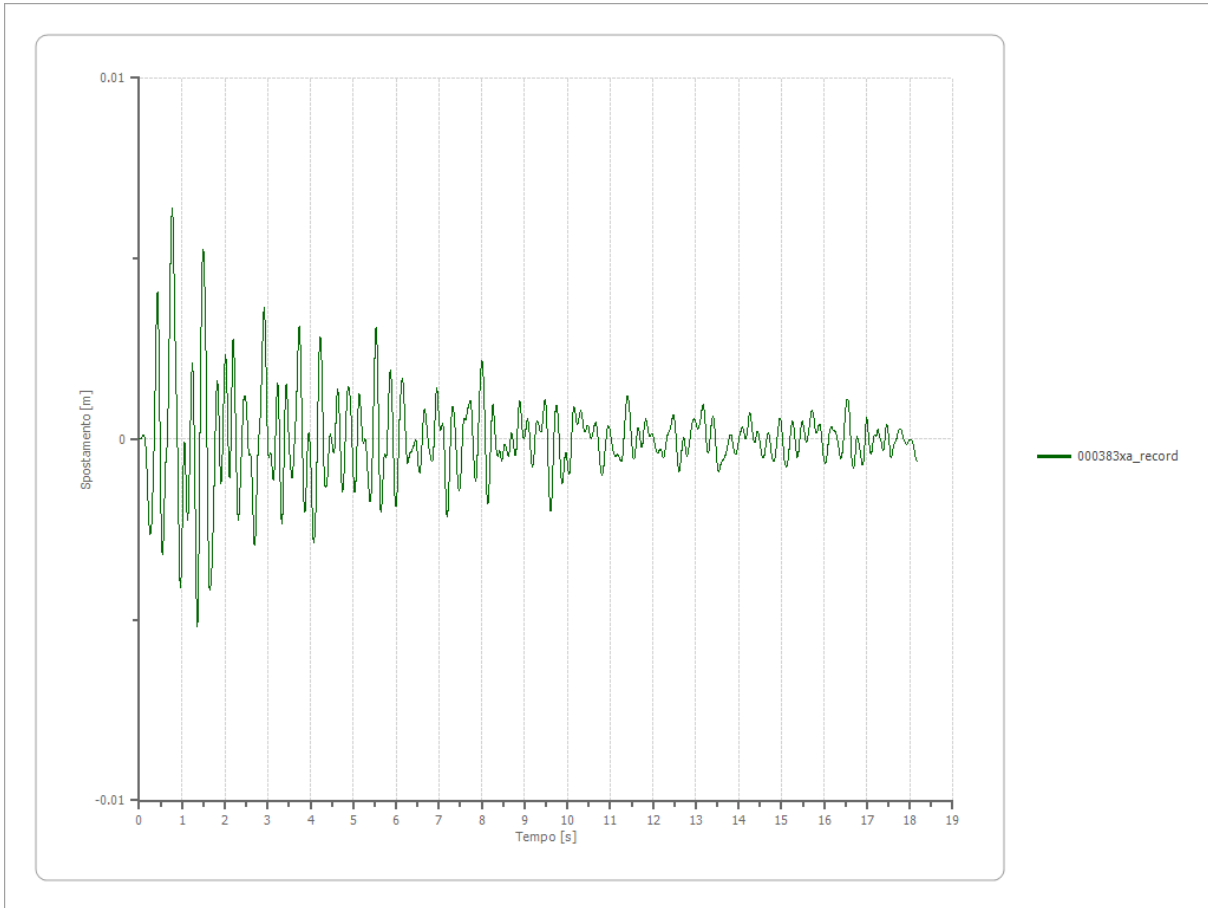
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.122 [m/s]
1.410 [s]



Spostamento

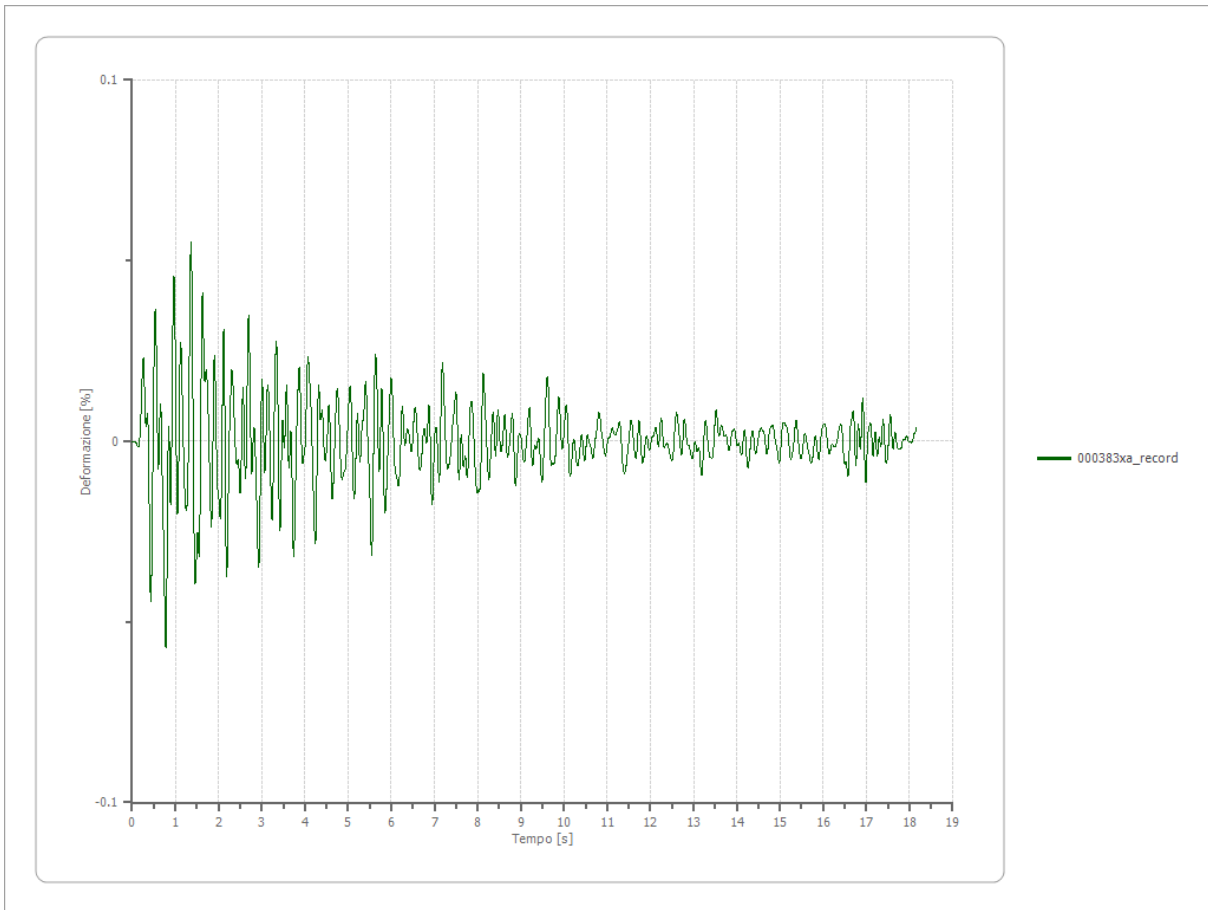
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.006 [m]
Periodo spostamento massimo	0.770 [s]



Deformazione

Numero di strati

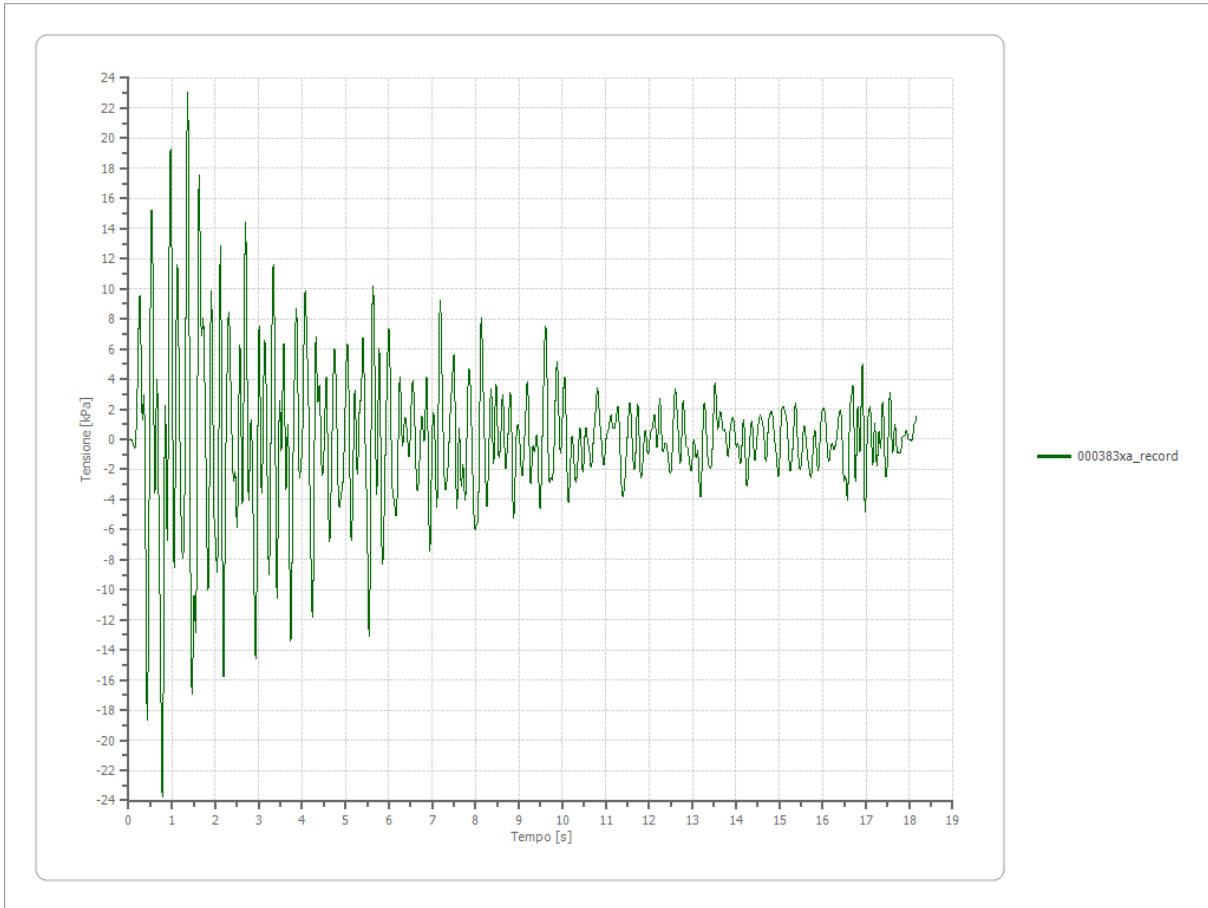
3



Tensione

Numero di strati

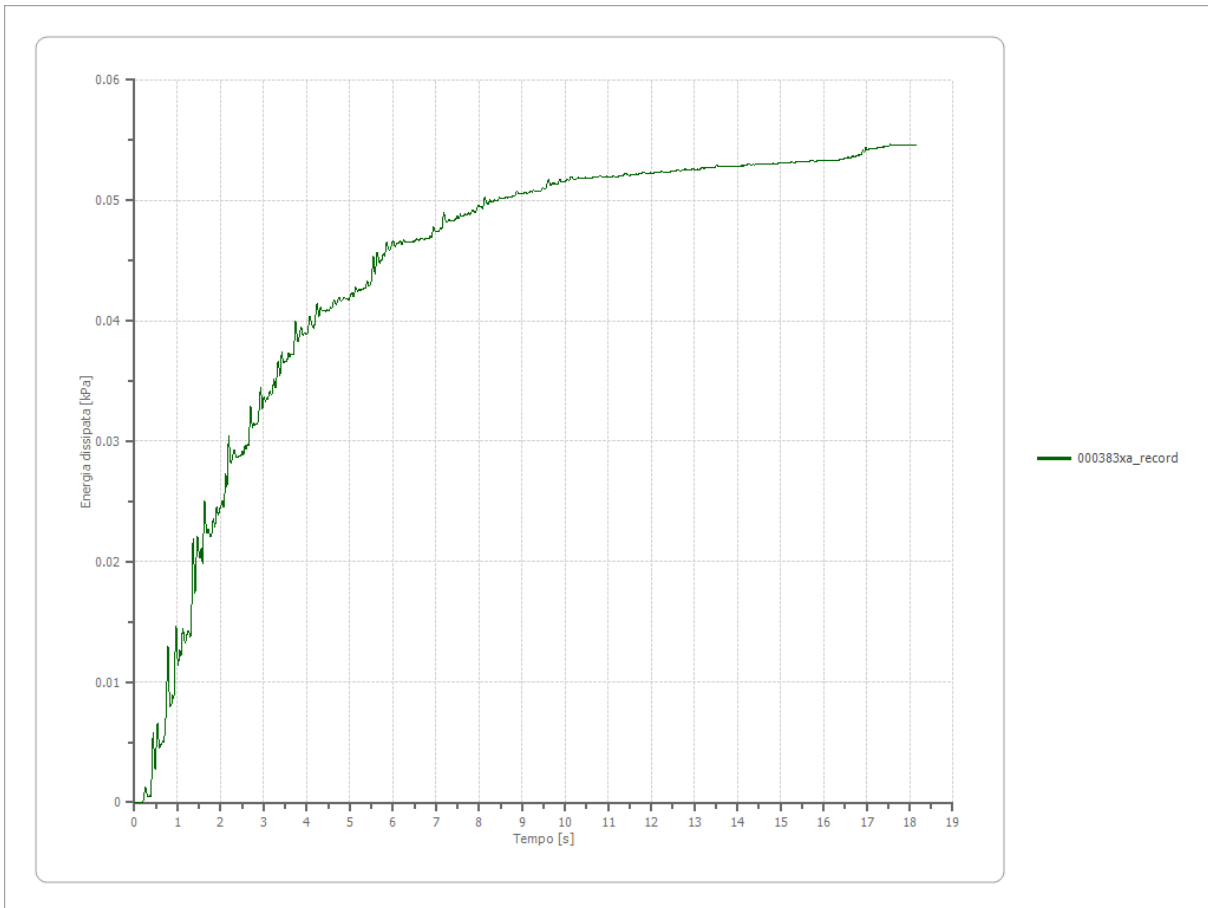
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



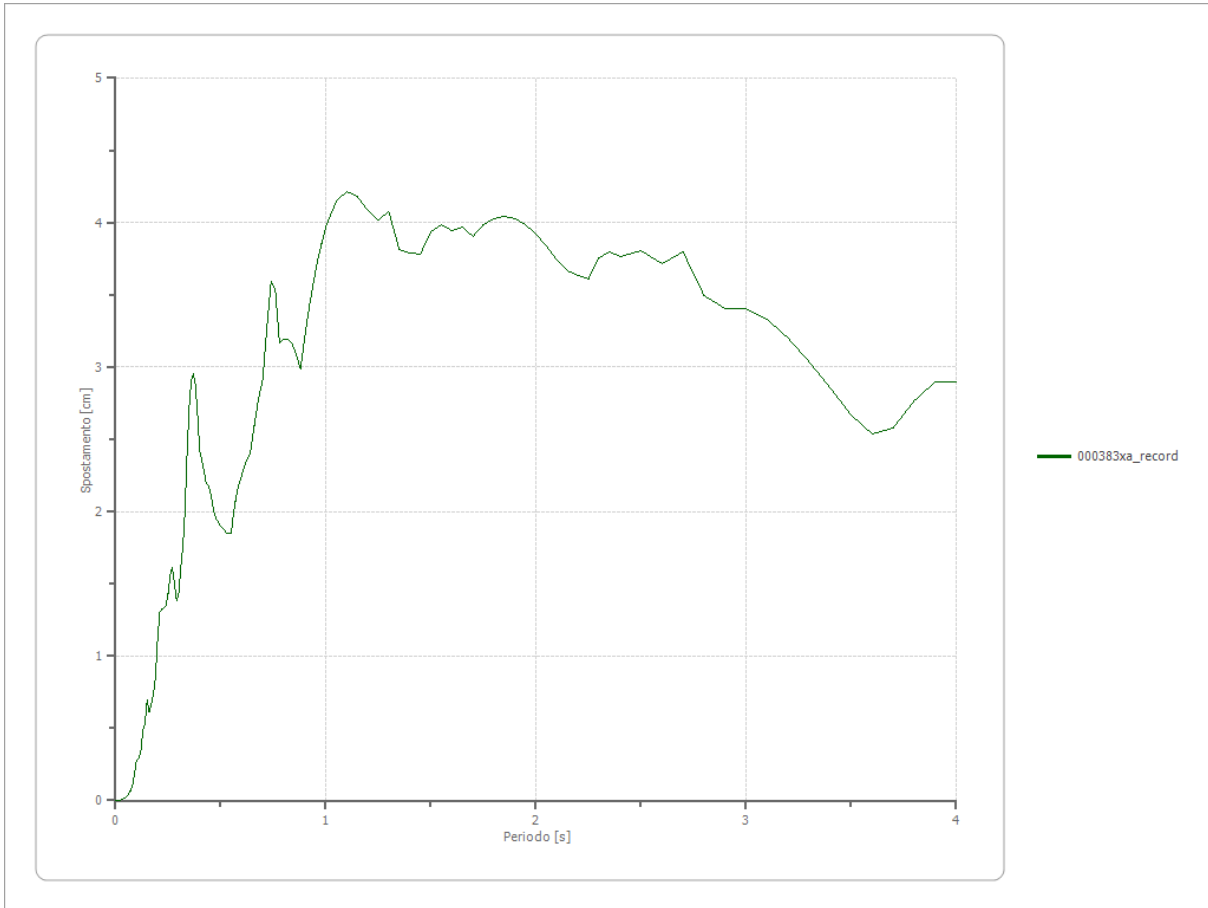
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

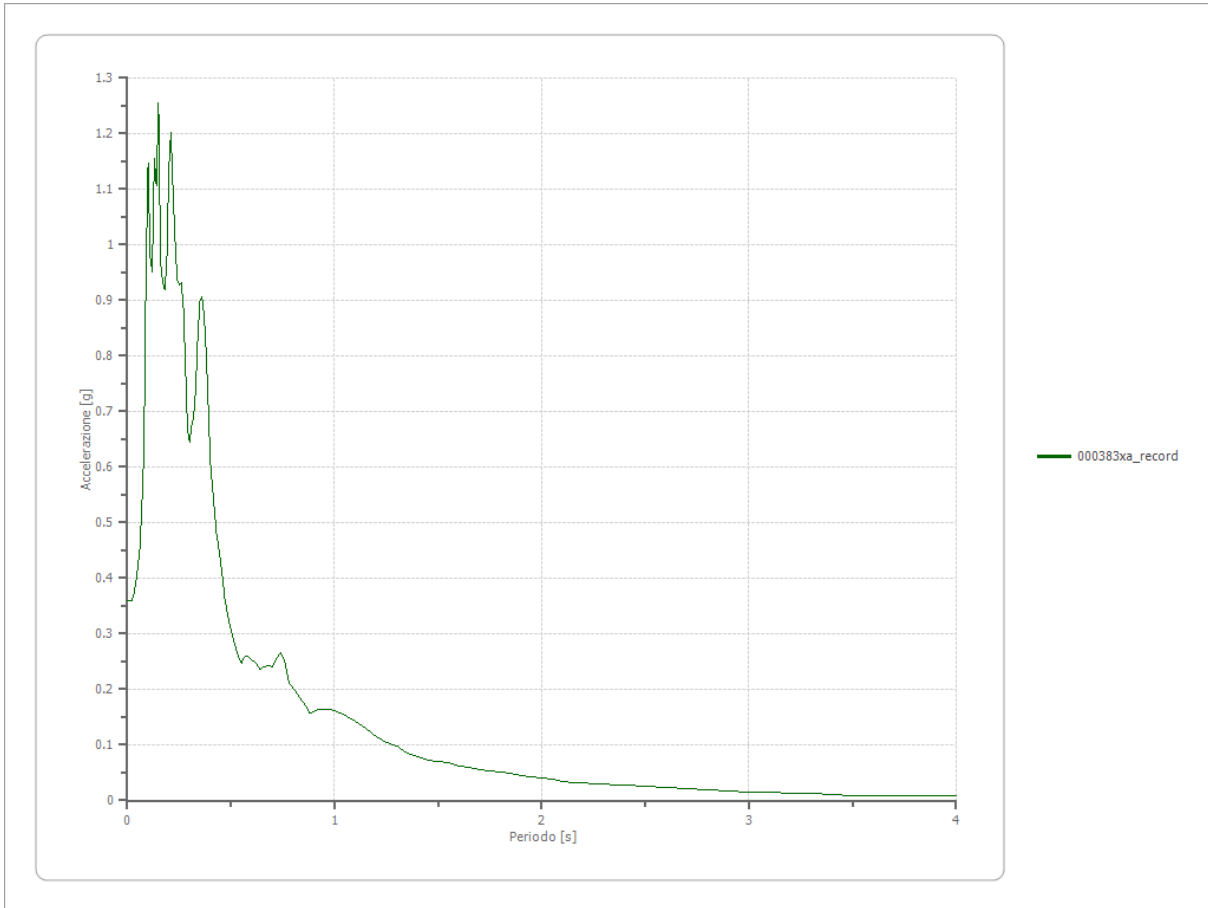
Spostamento

Spostamento massimo	4.213 [cm]
Periodo massimo spostamento	1.100 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.255 [g]
Periodo accelerazione massima	0.150 [s]



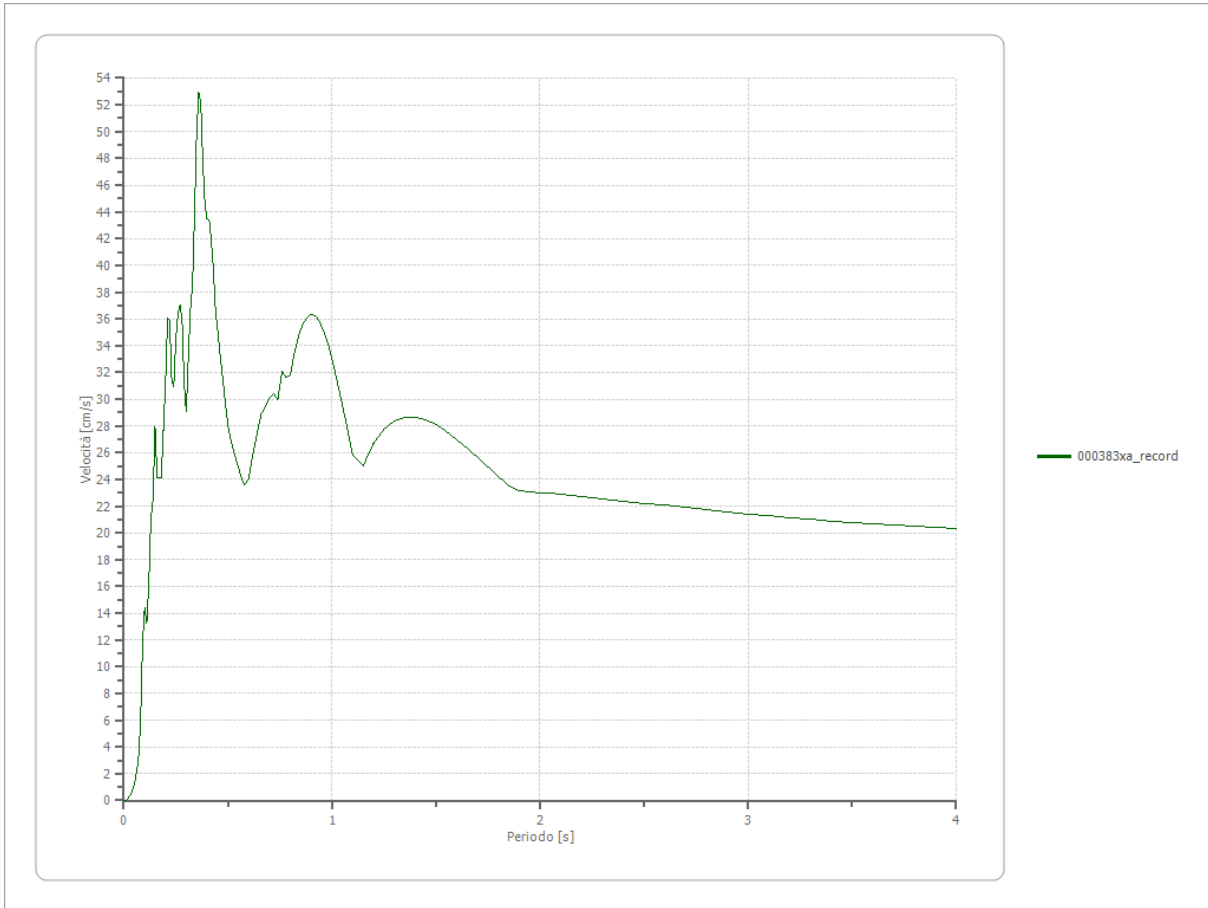
Velocità

Velocità massima

1.255 [cm/s]

Periodo massima velocità

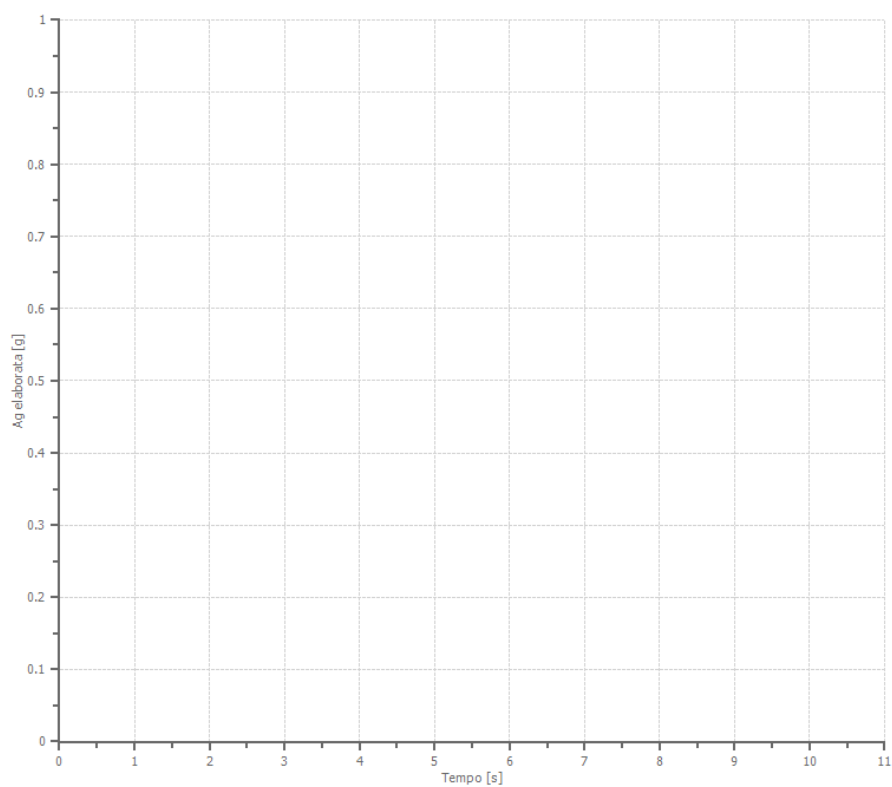
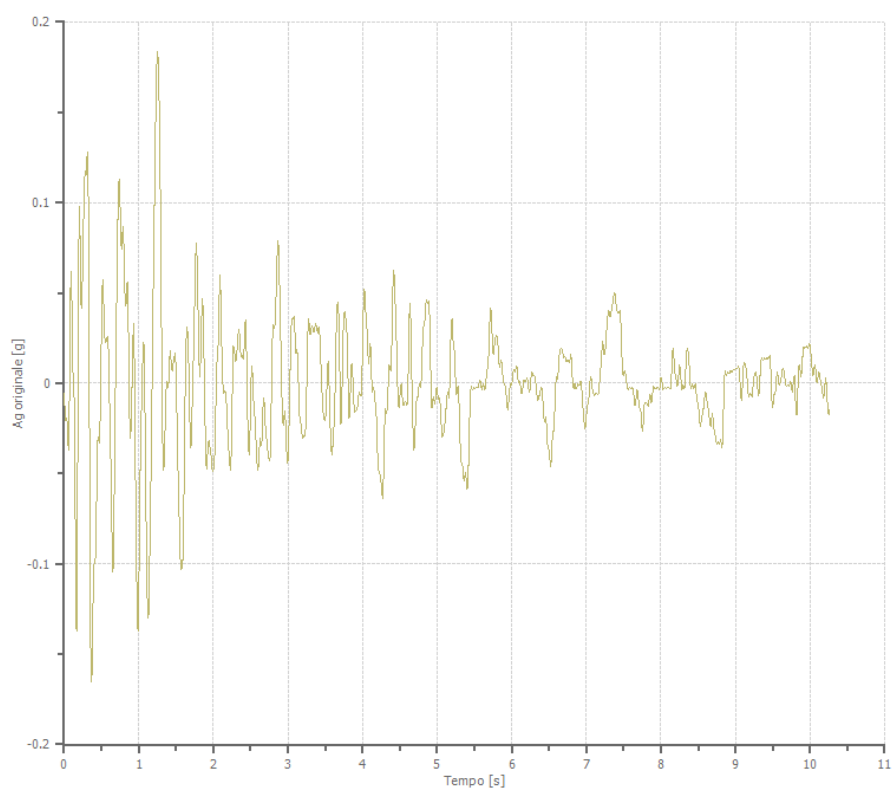
0.360 [s]



File 000811ya_record:

Accelerogramma importato

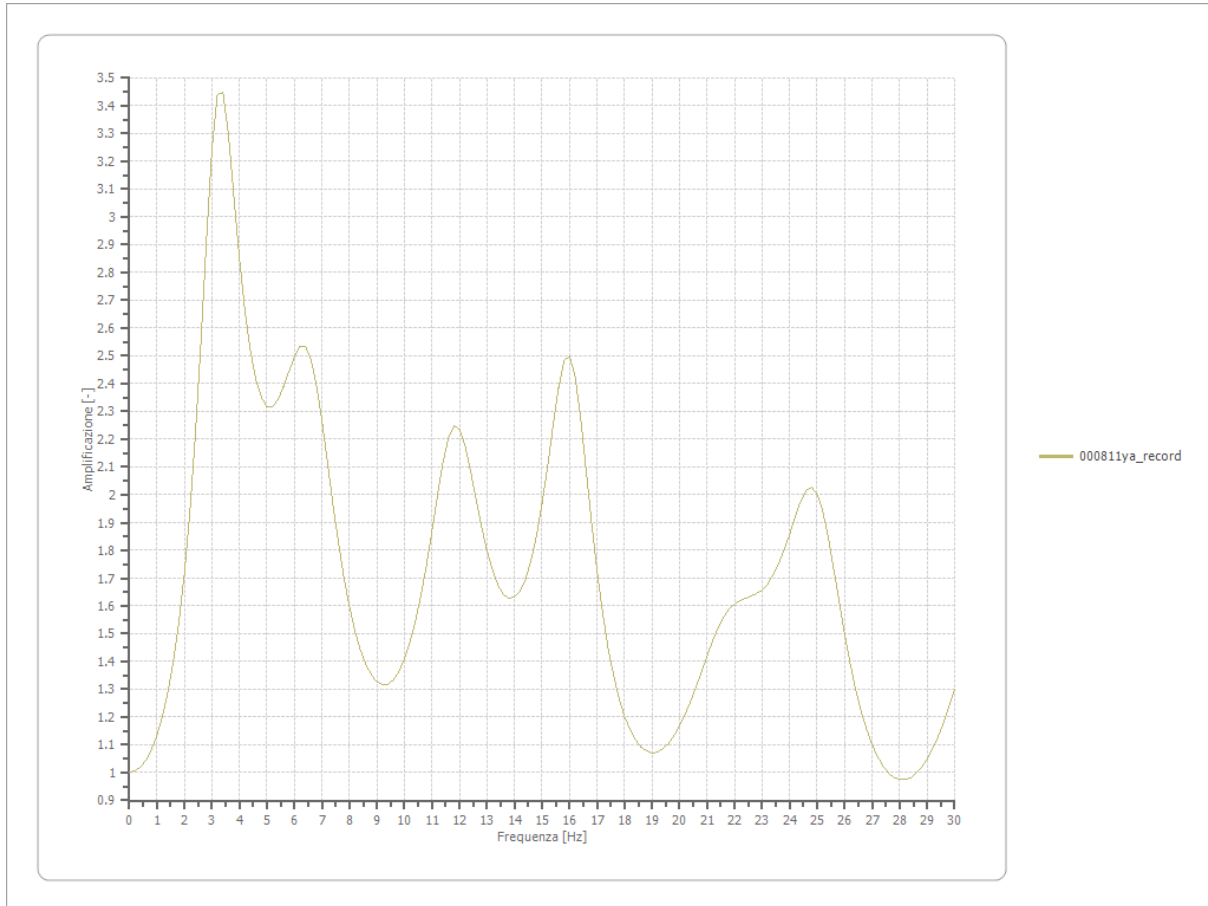
Nome del file	000811ya_record
Durata della traccia	10.260 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	1.250 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.421 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

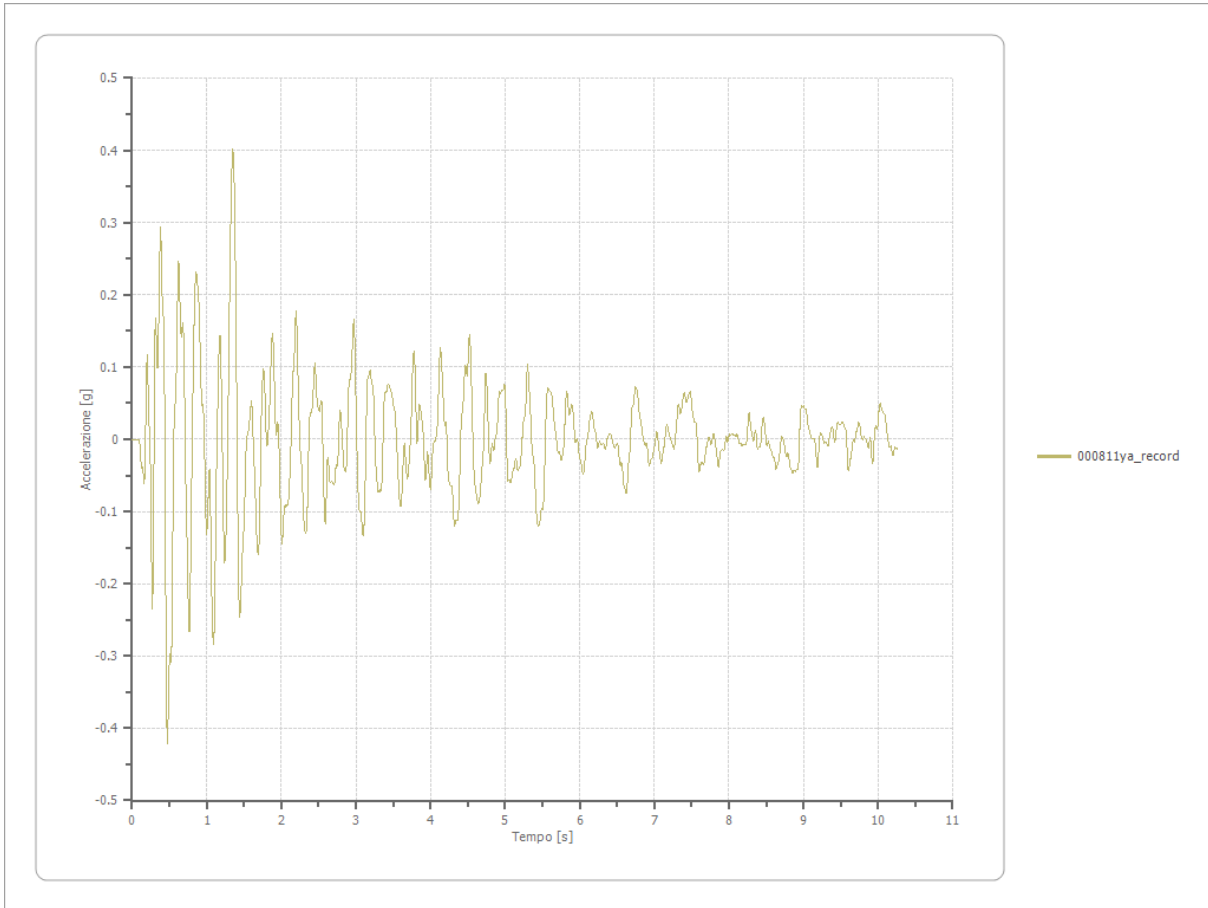
2.312

Accelerazione massima

0.421 [g]

Periodo accelerazione massima

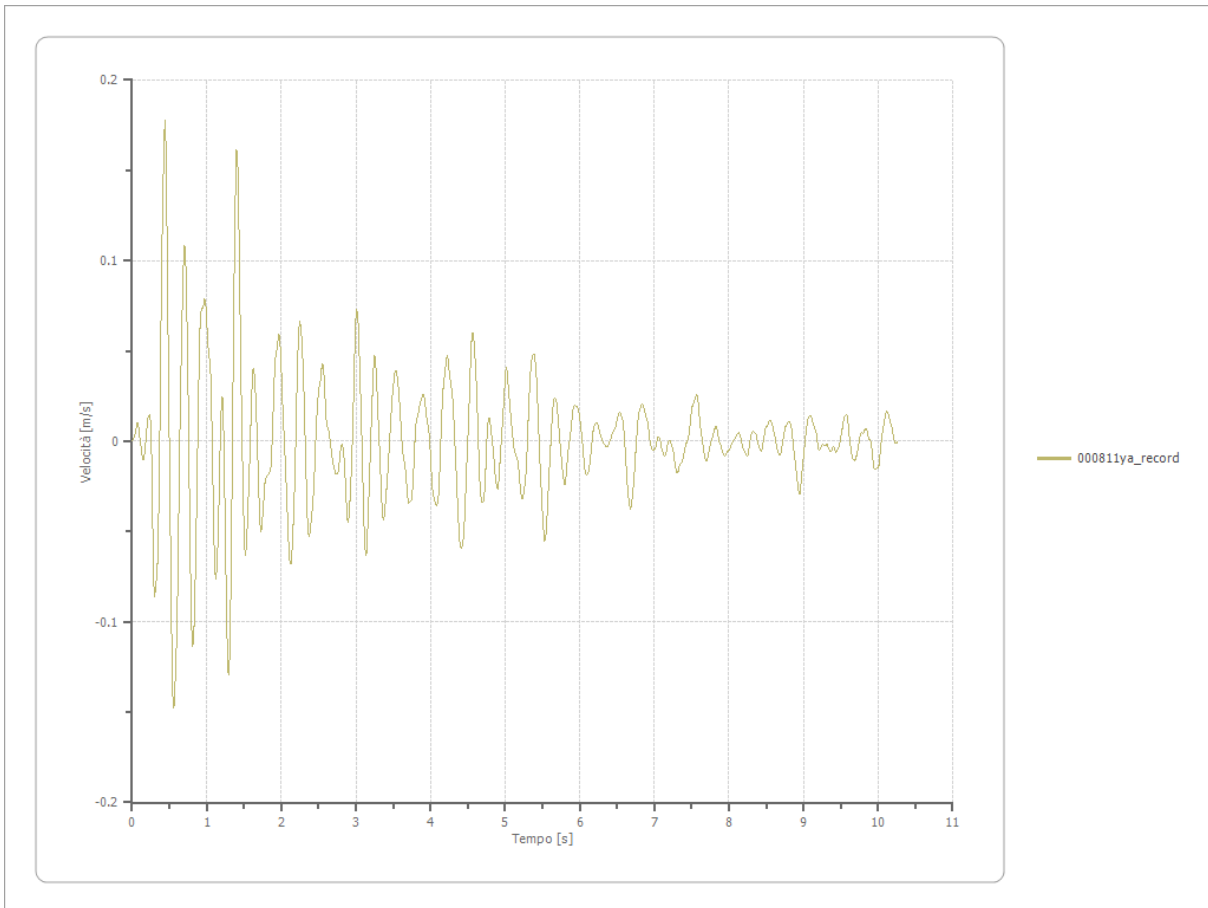
0.470 [s]



Velocità

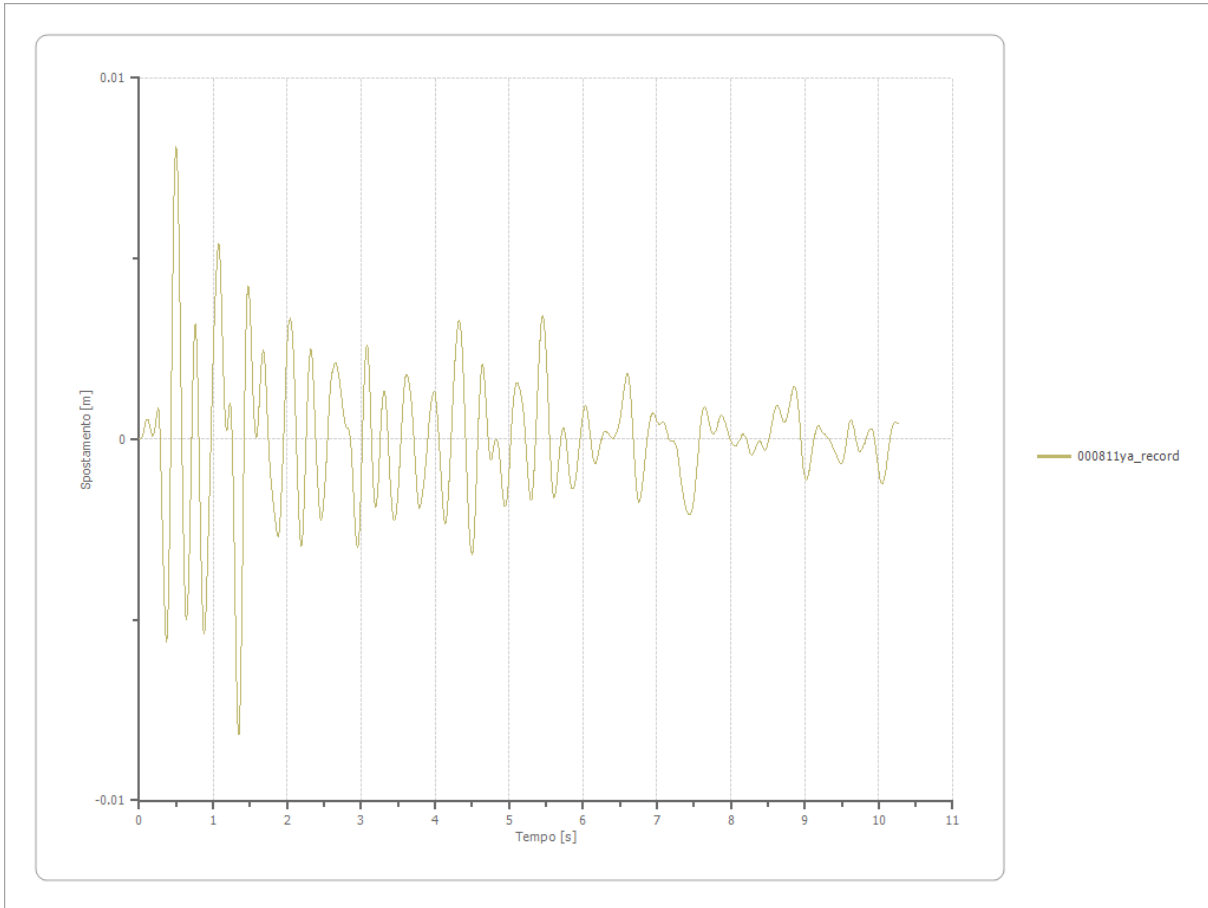
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.178 [m/s]
0.440 [s]



Spostamento

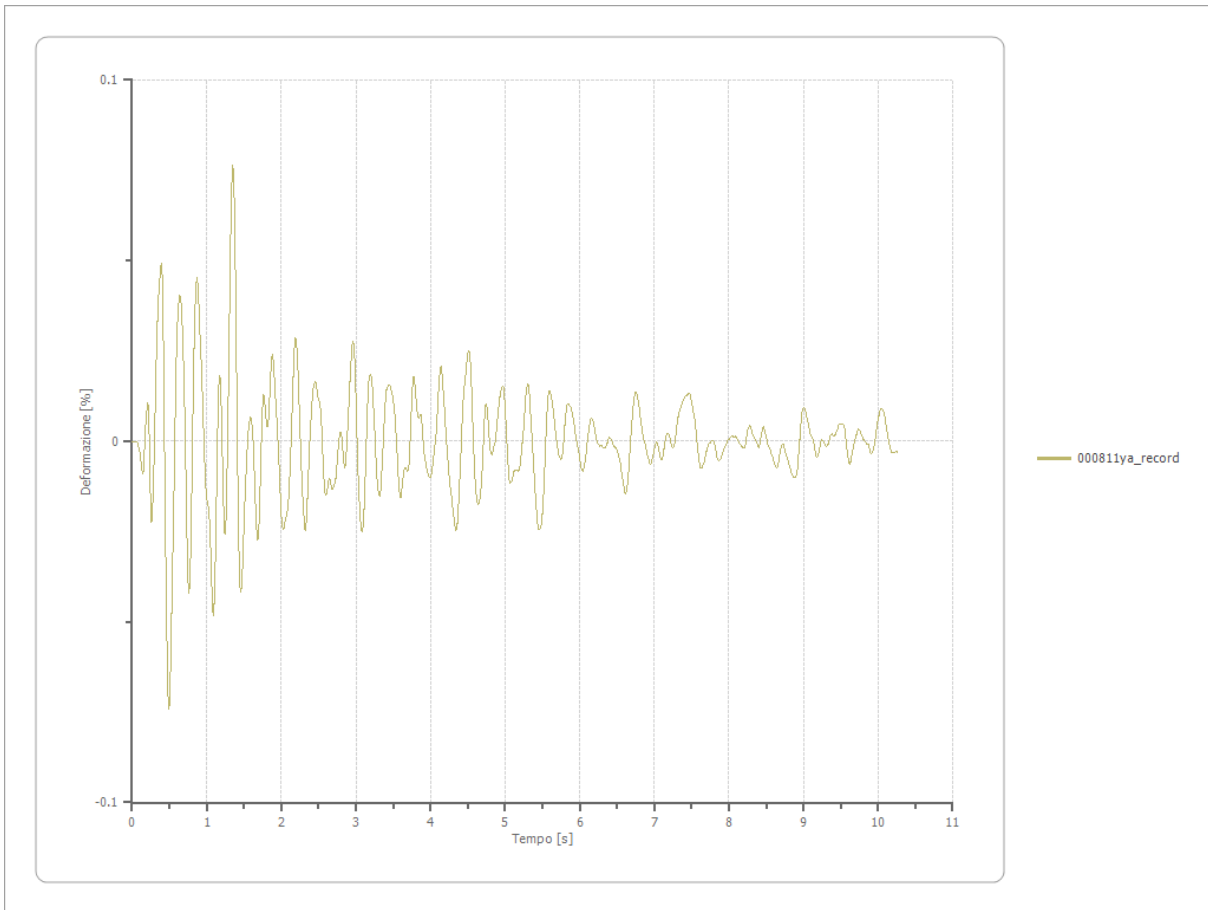
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.008 [m]
Periodo spostamento massimo	1.350 [s]



Deformazione

Numero di strati

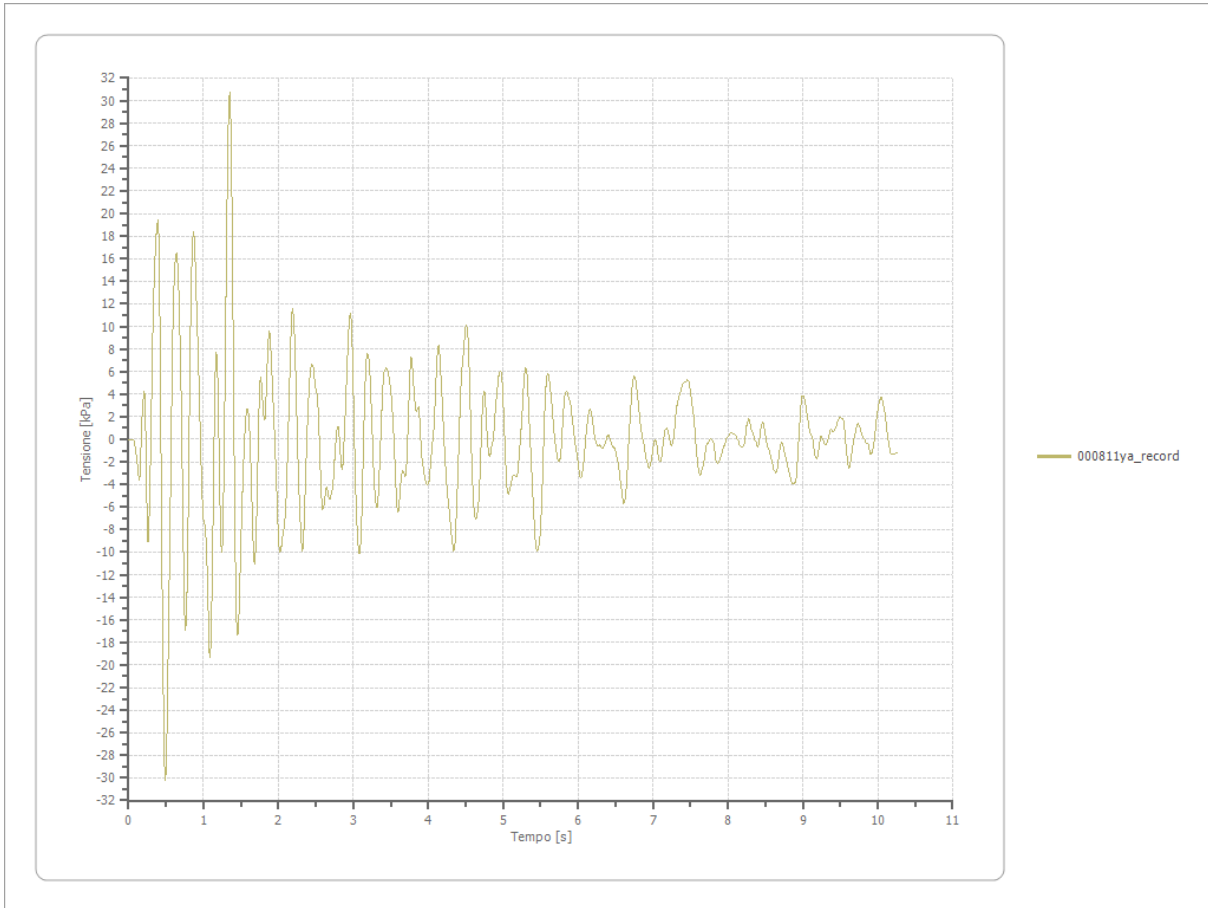
3



Tensione

Numero di strati

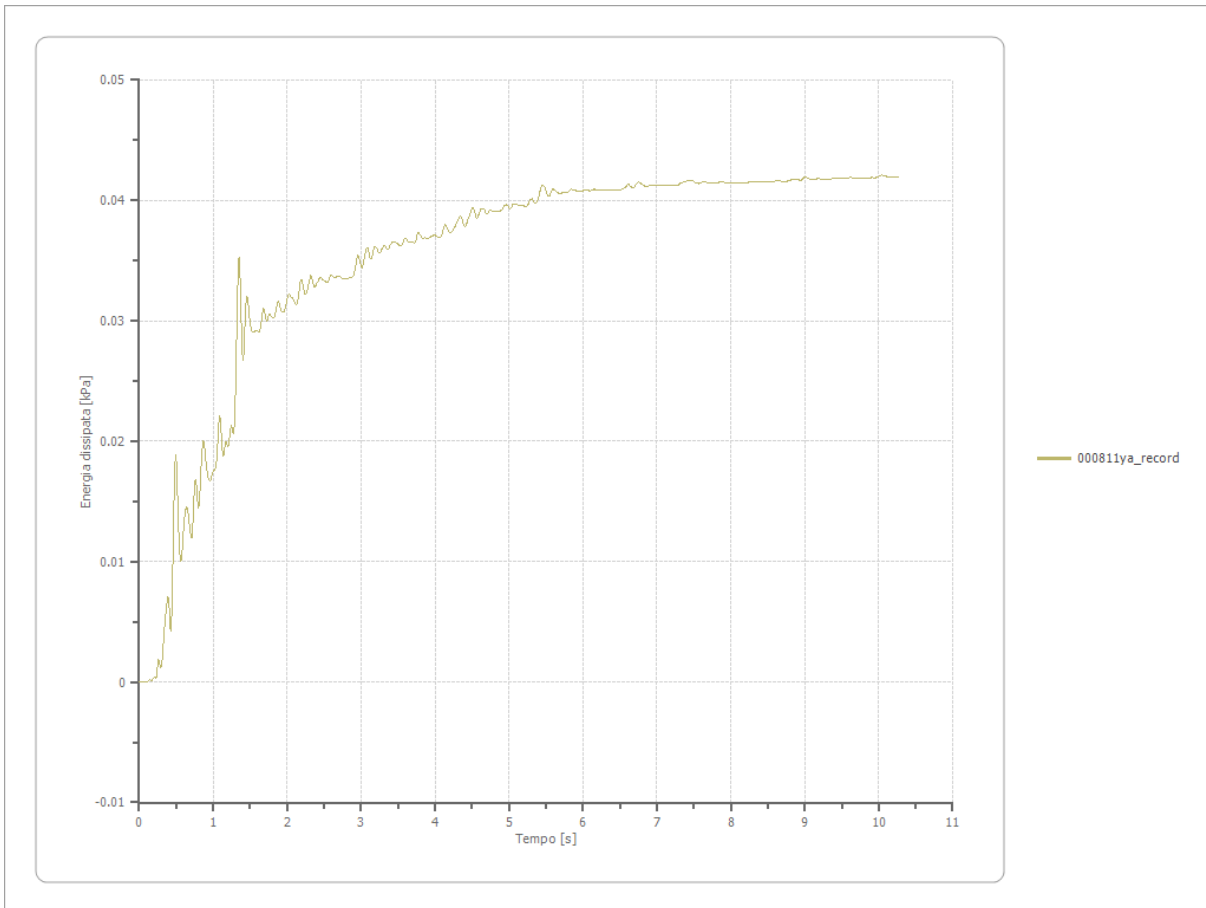
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



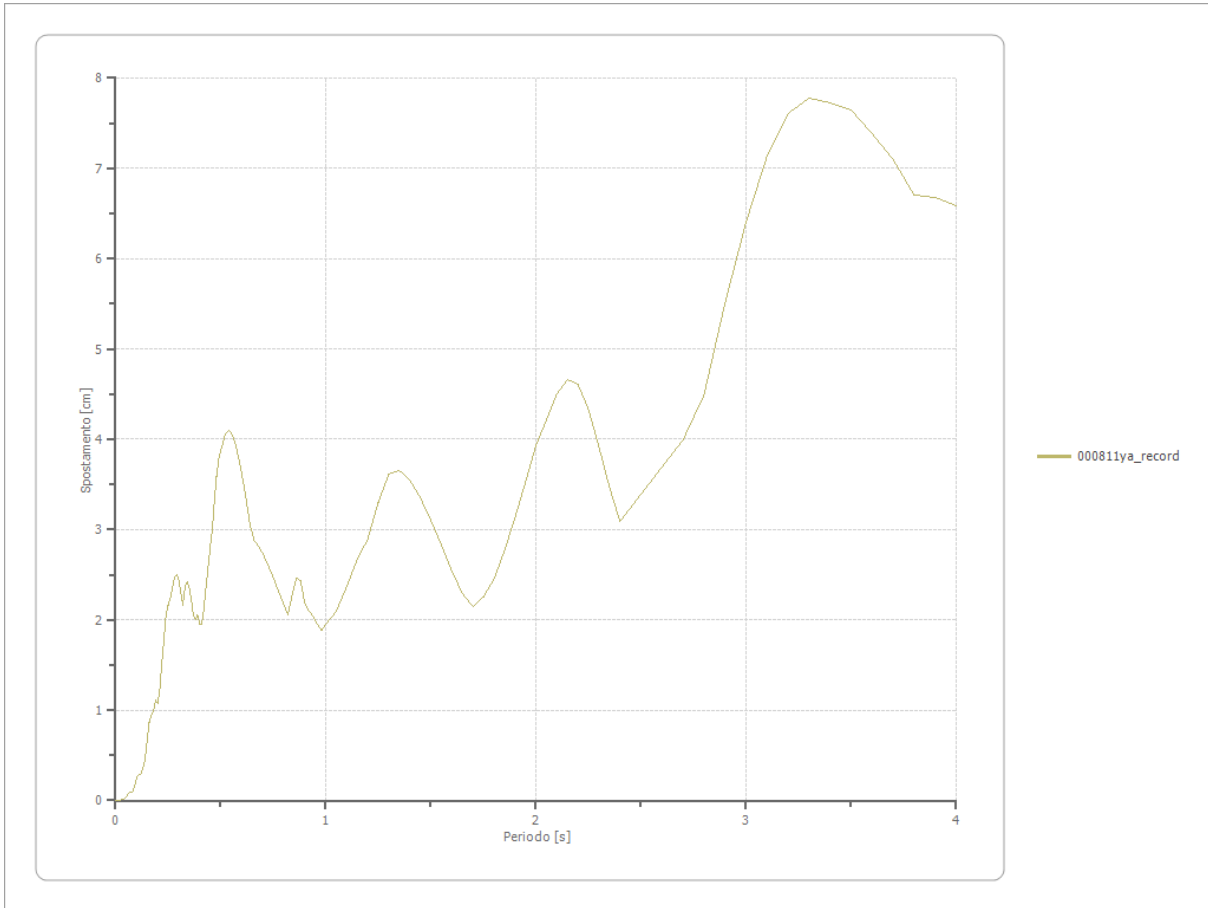
Trasformata di Fourier

Strato 1 Affiorante
 Numero di campioni del filtro a media mobile 1

Spettri

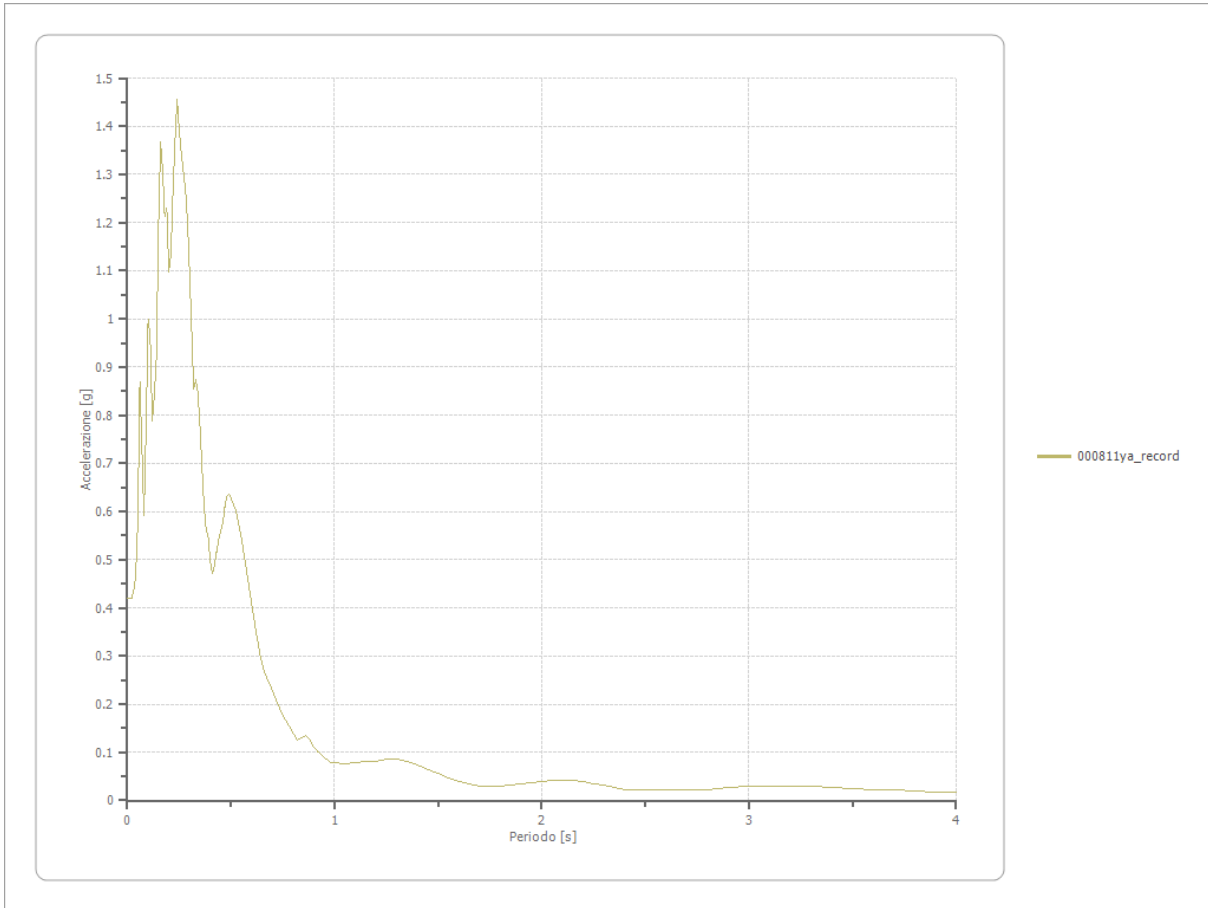
Spostamento

Spostamento massimo 7.777 [cm]
 Periodo massimo spostamento 3.300 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.455 [g]
Periodo accelerazione massima	0.240 [s]



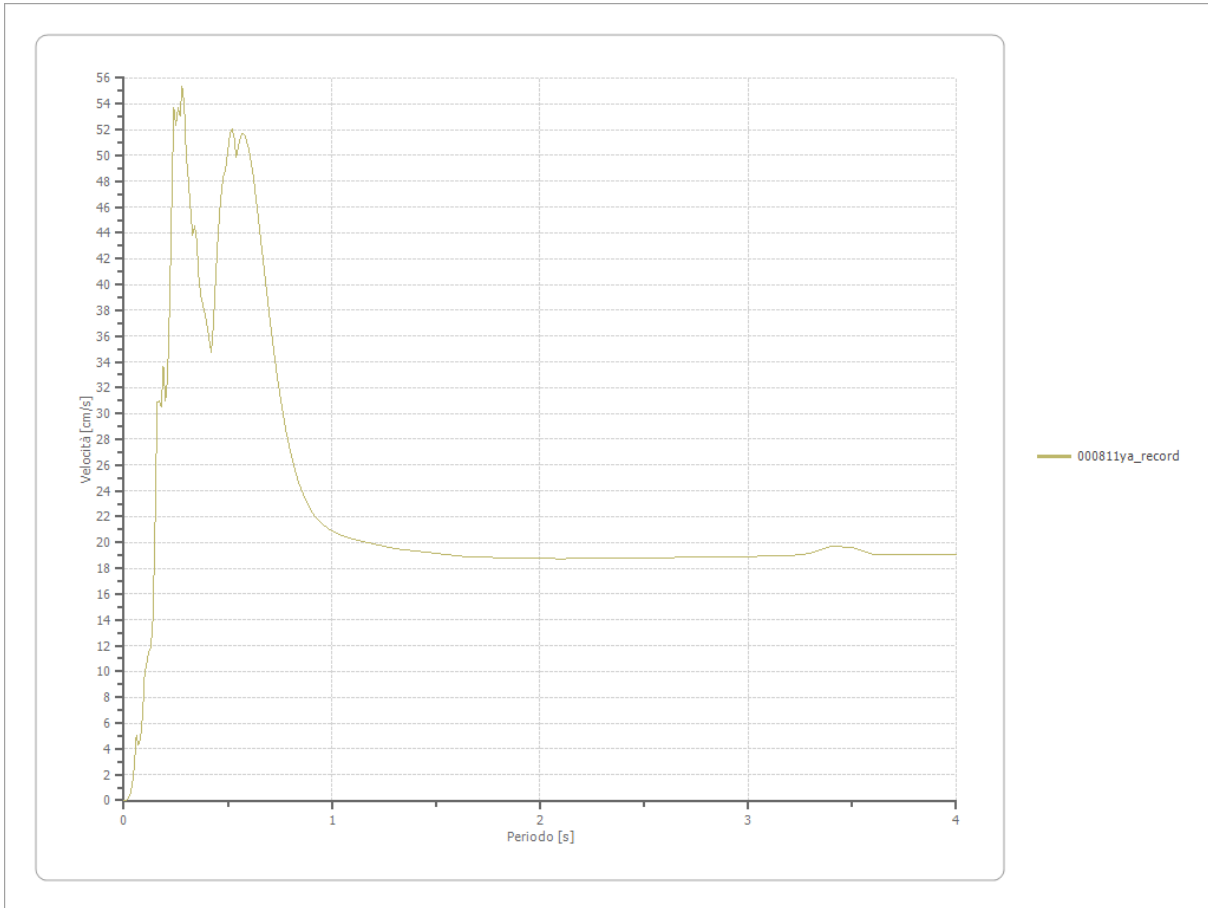
Velocità

Velocità massima

1.455 [cm/s]

Periodo massima velocità

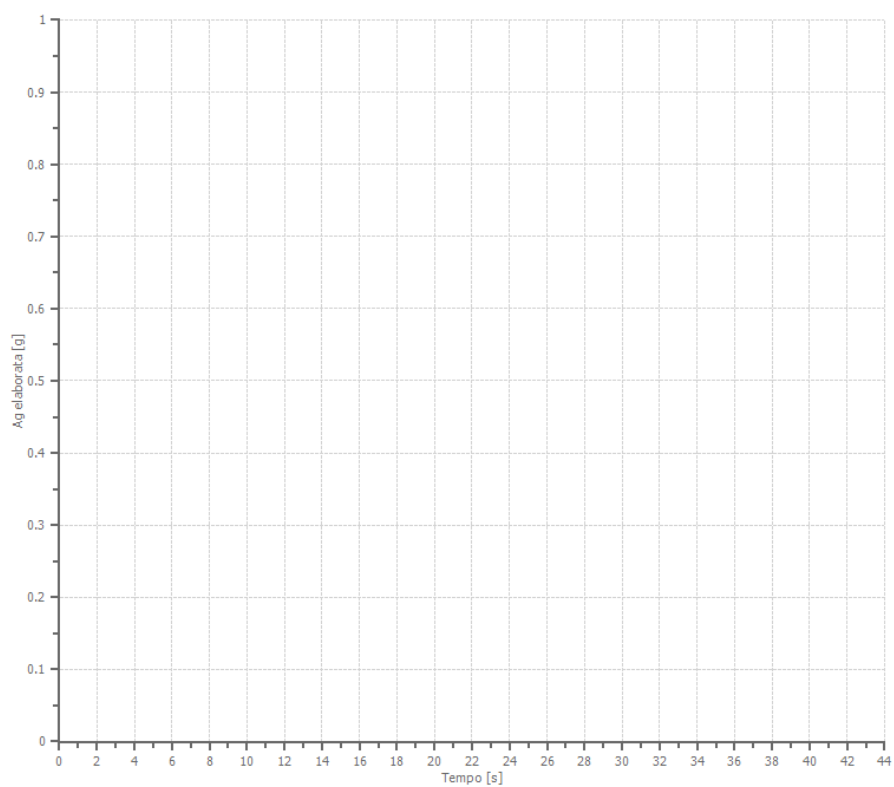
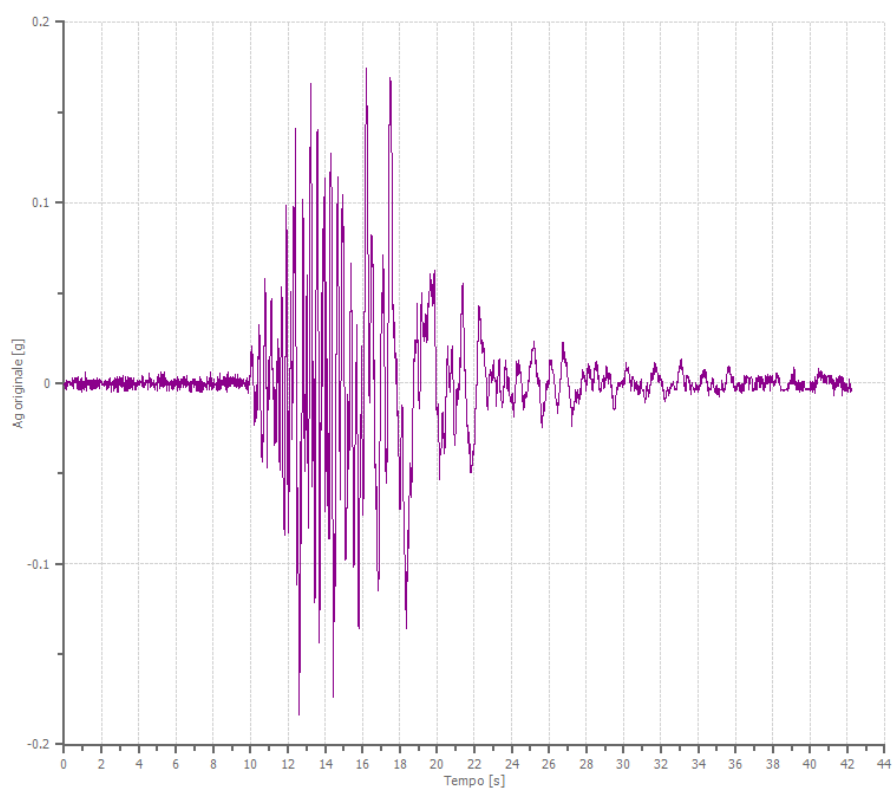
0.280 [s]



File 005085xa_record:

Accelerogramma importato

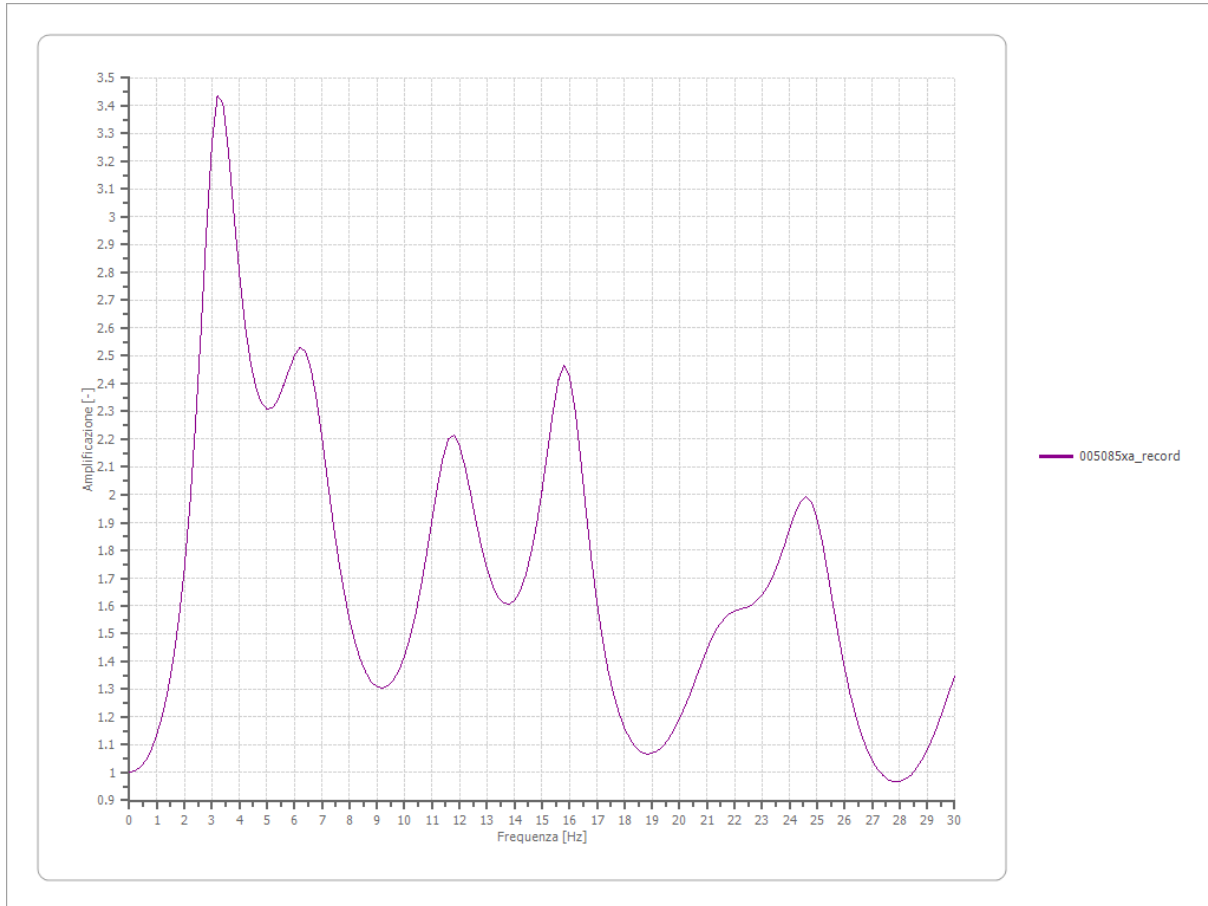
Nome del file	005085xa_record
Durata della traccia	42.220 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	12.620 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.463 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

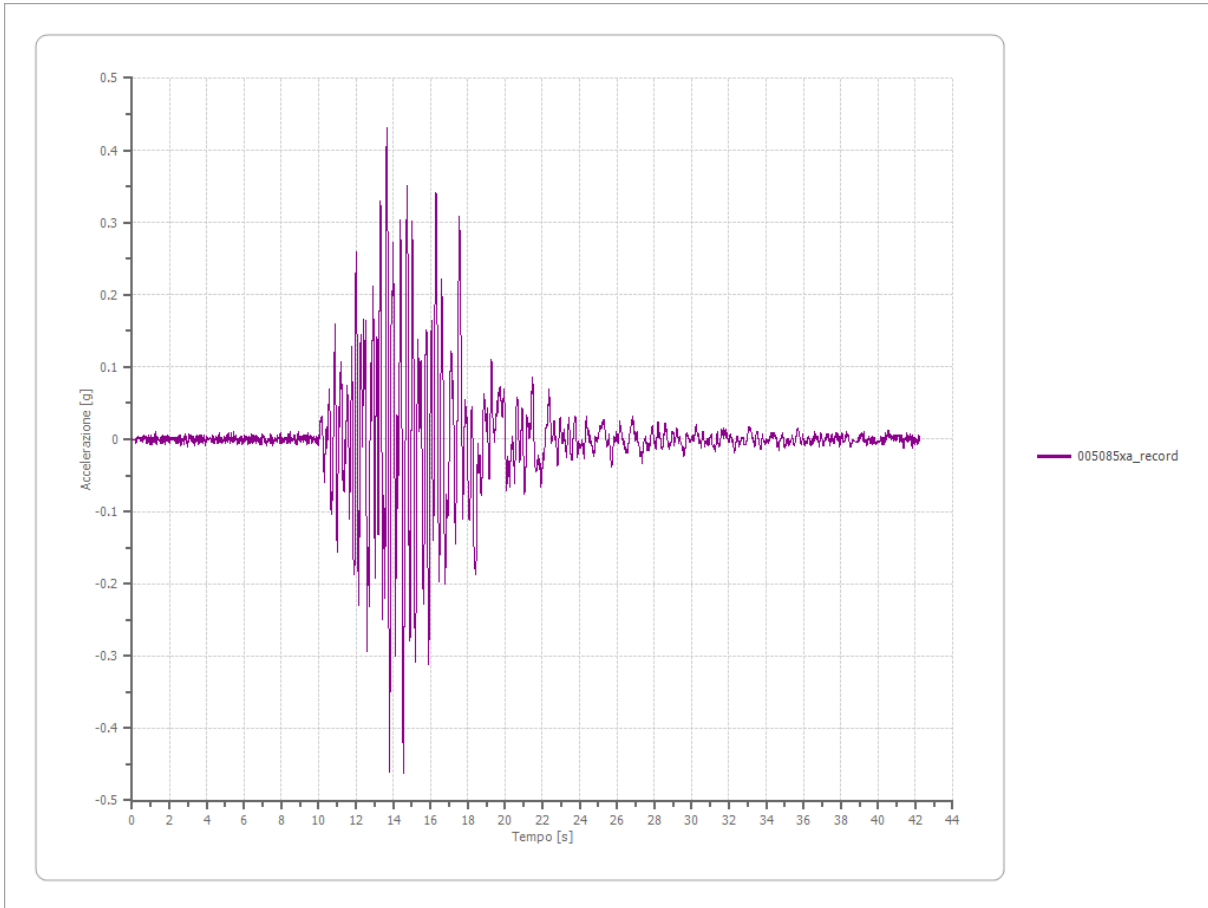
2.541

Accelerazione massima

0.463 [g]

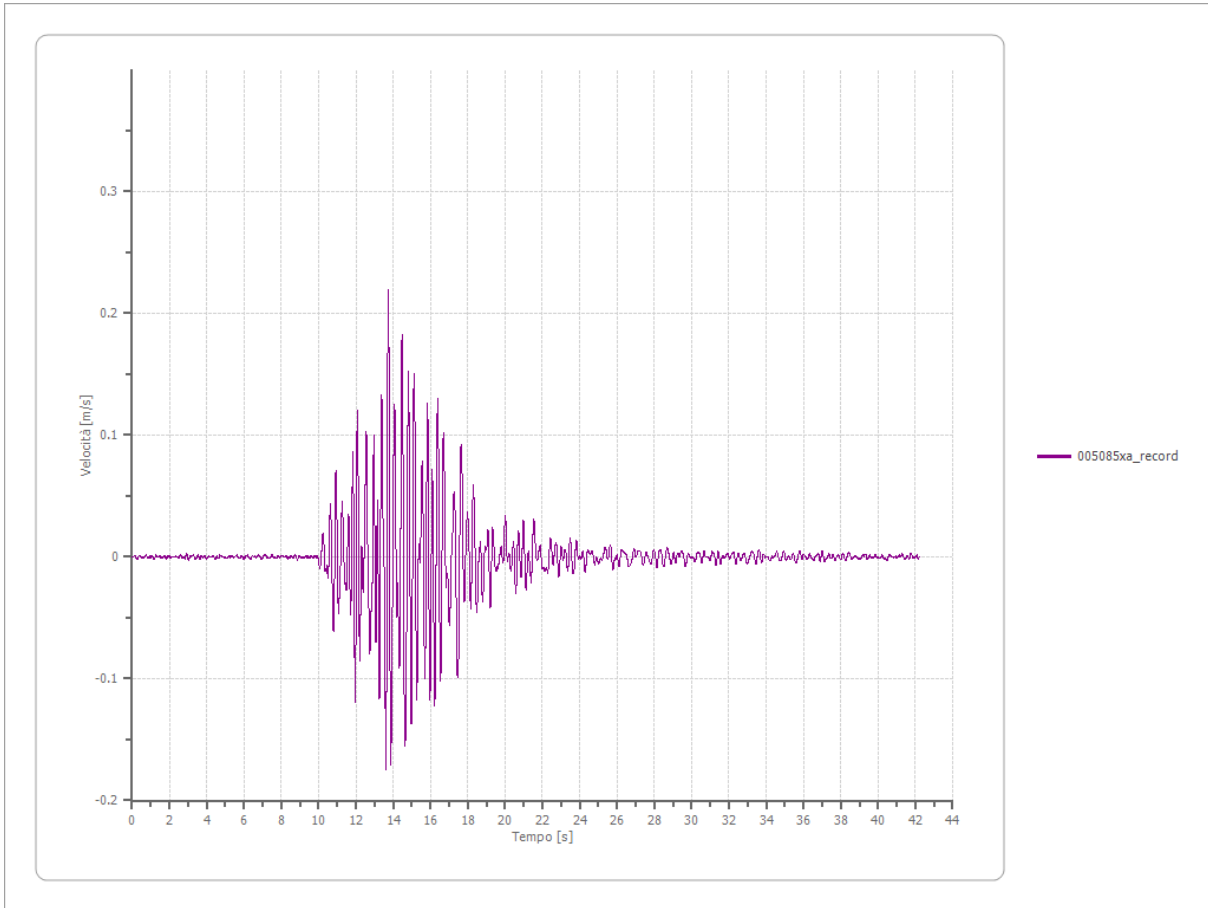
Periodo accelerazione massima

14.540 [s]



Velocità

Strato	1 Affiorante
Velocità massima	0.220 [m/s]
Periodo velocità massima	13.730 [s]



Spostamento

Strato

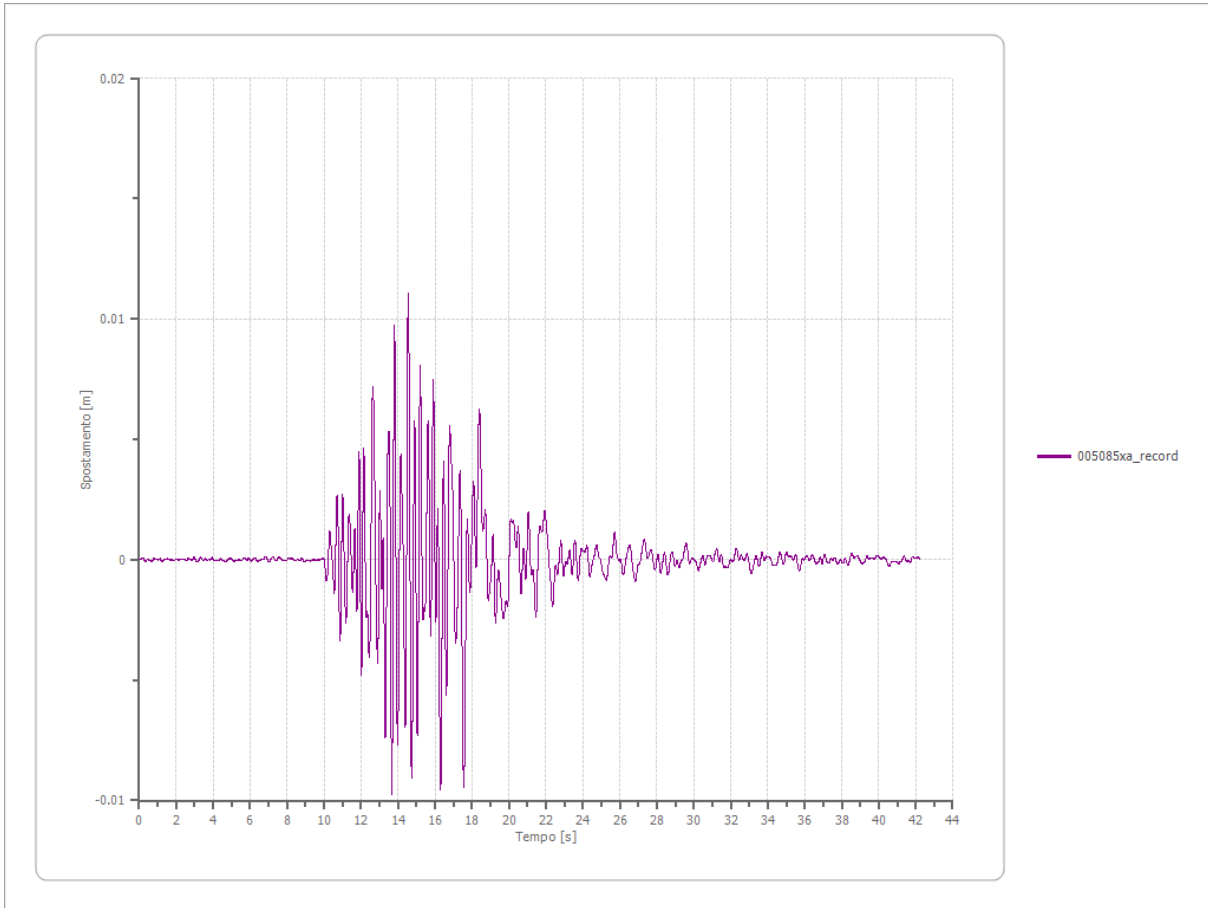
1 Affiorante

Spostamento massimo

0.011 [m]

Periodo spostamento massimo

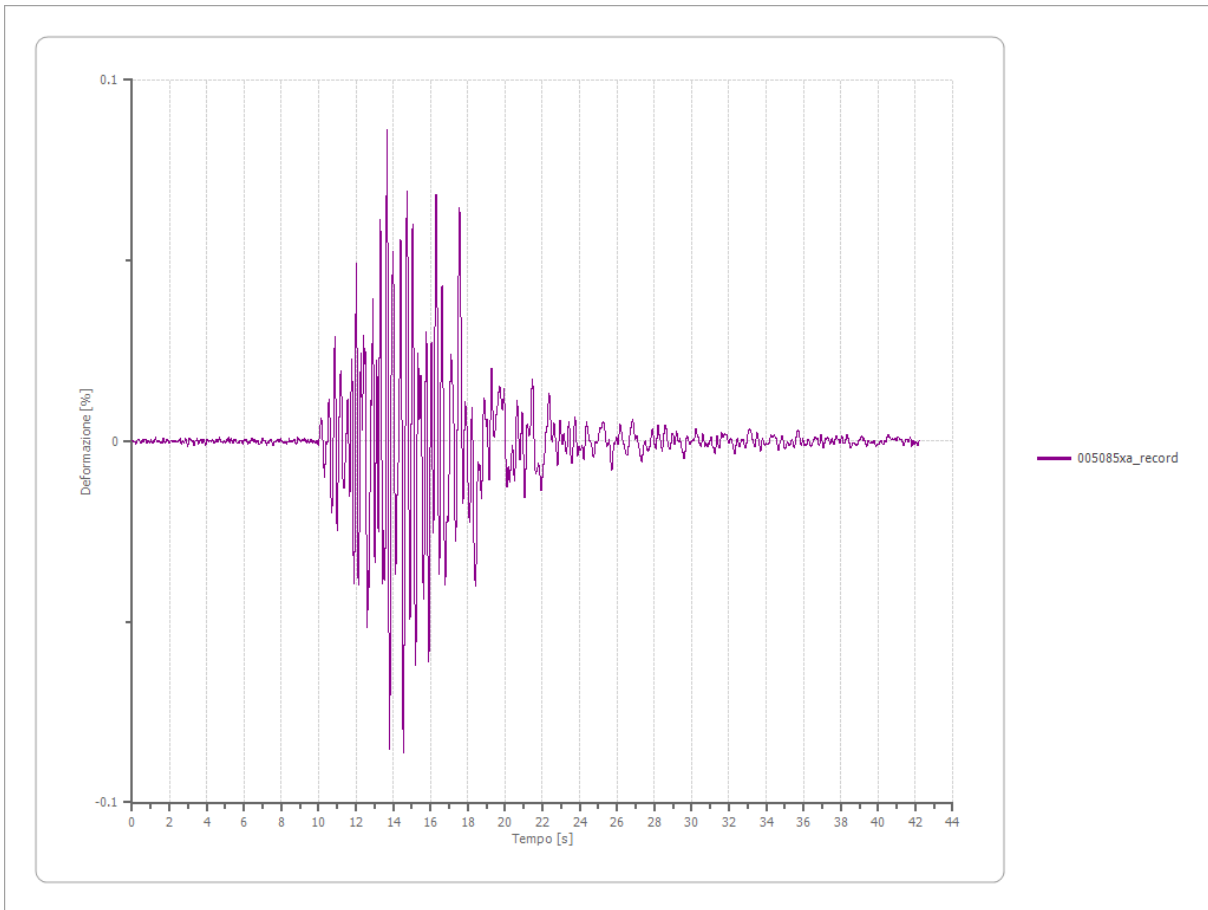
14.550 [s]



Deformazione

Numero di strati

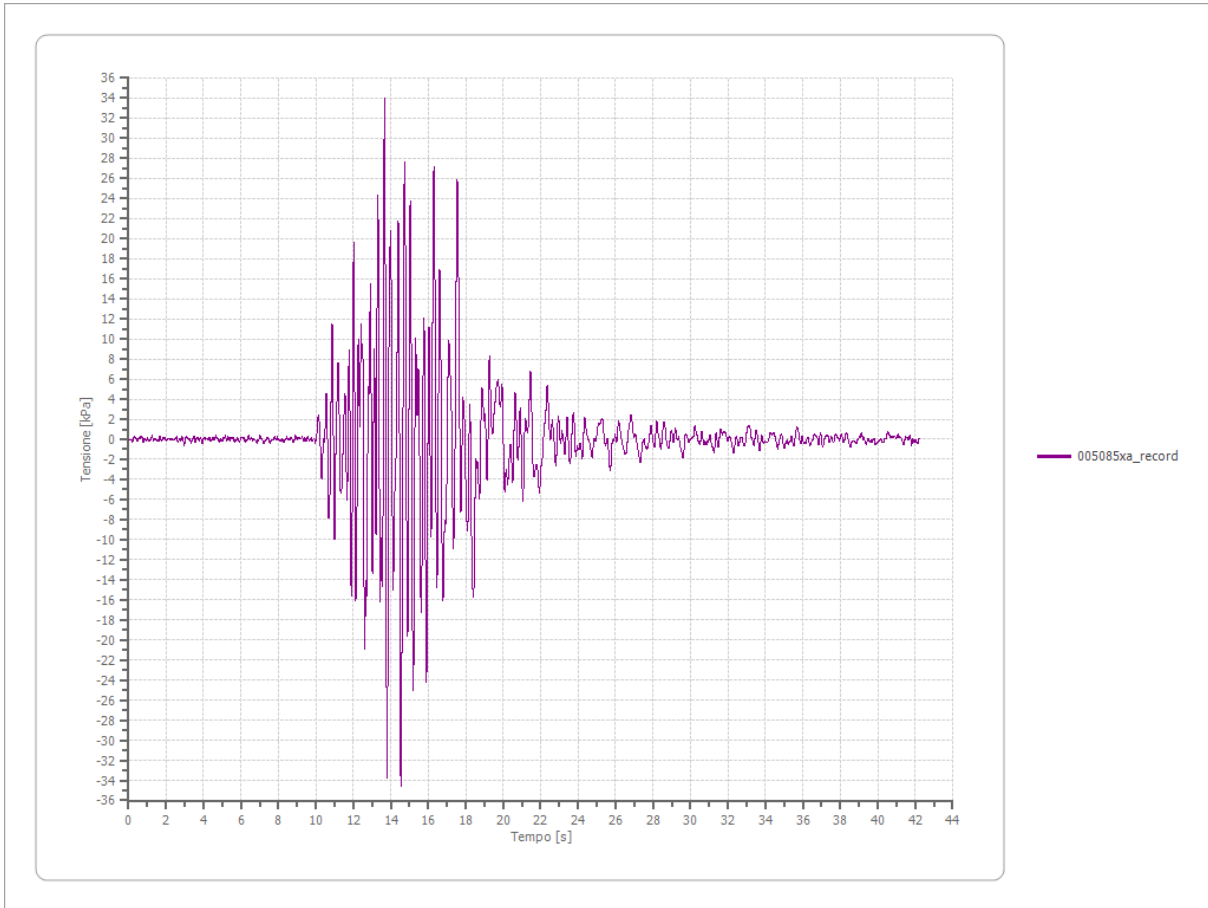
3



Tensione

Numero di strati

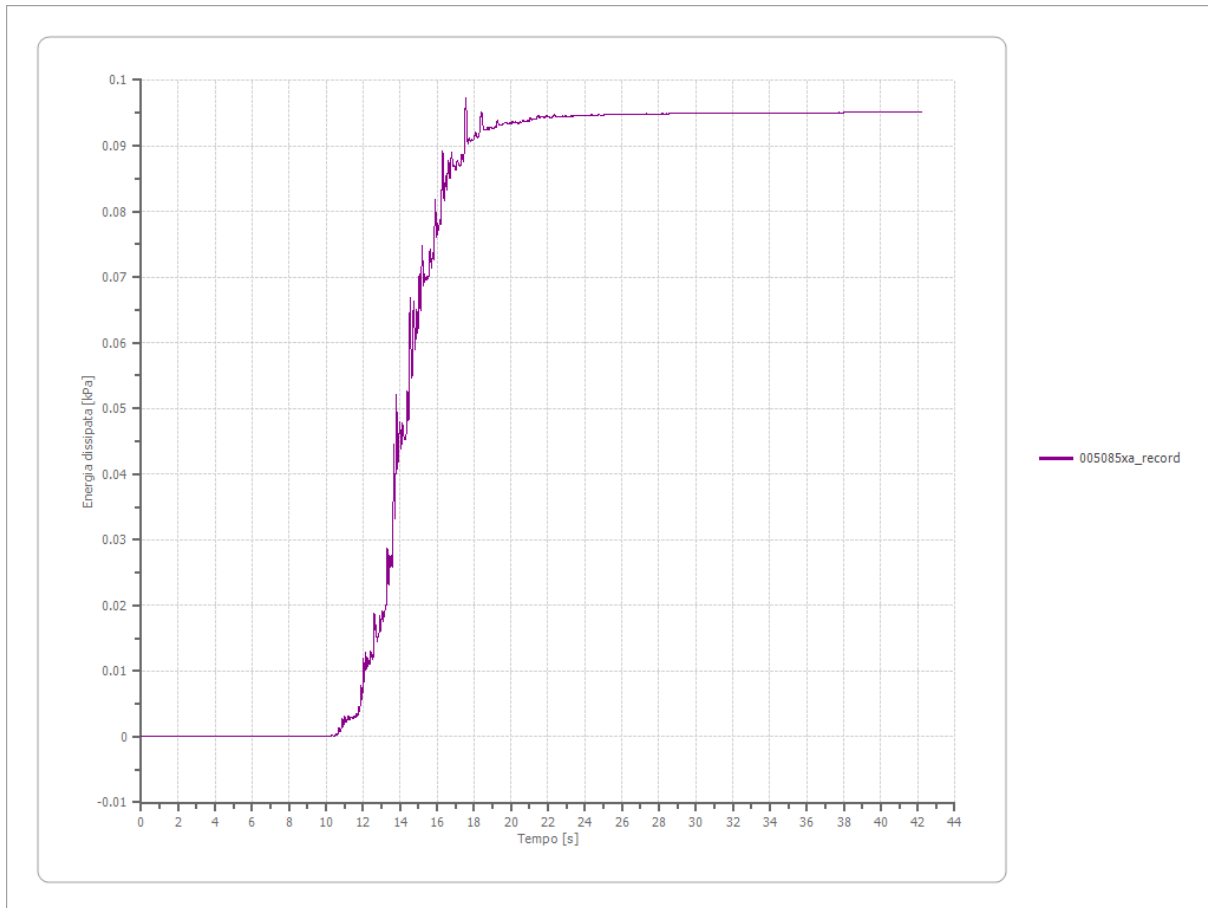
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



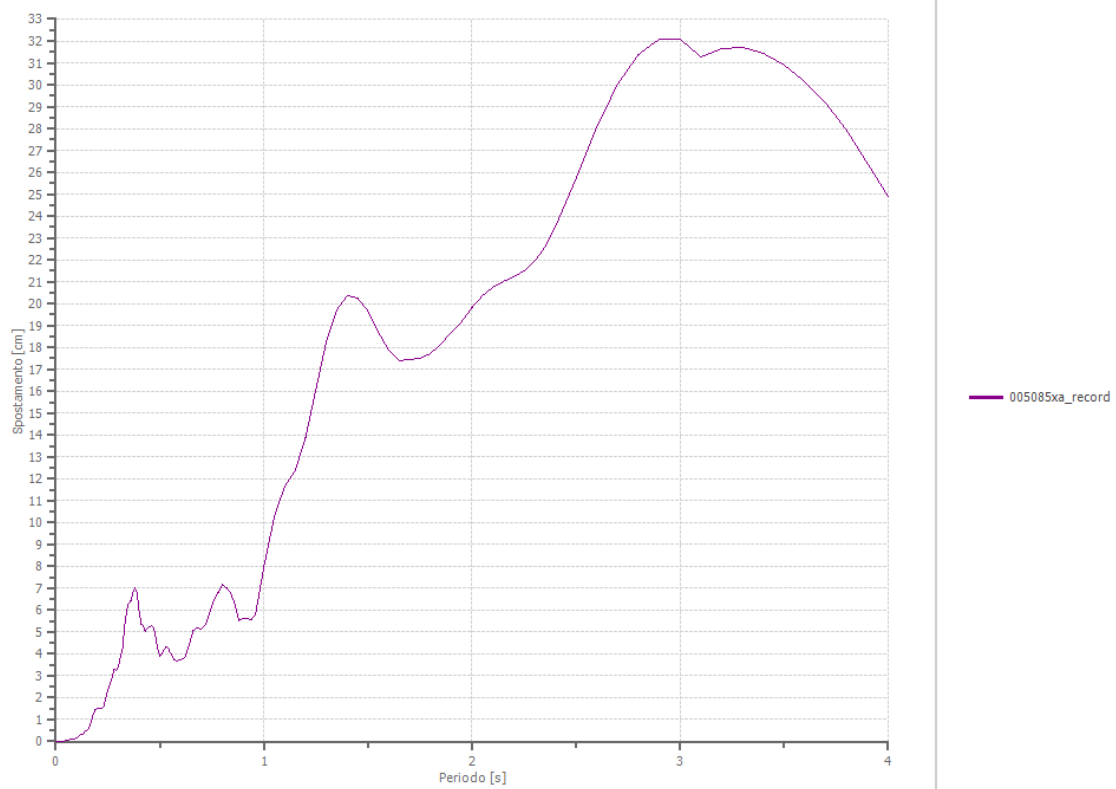
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

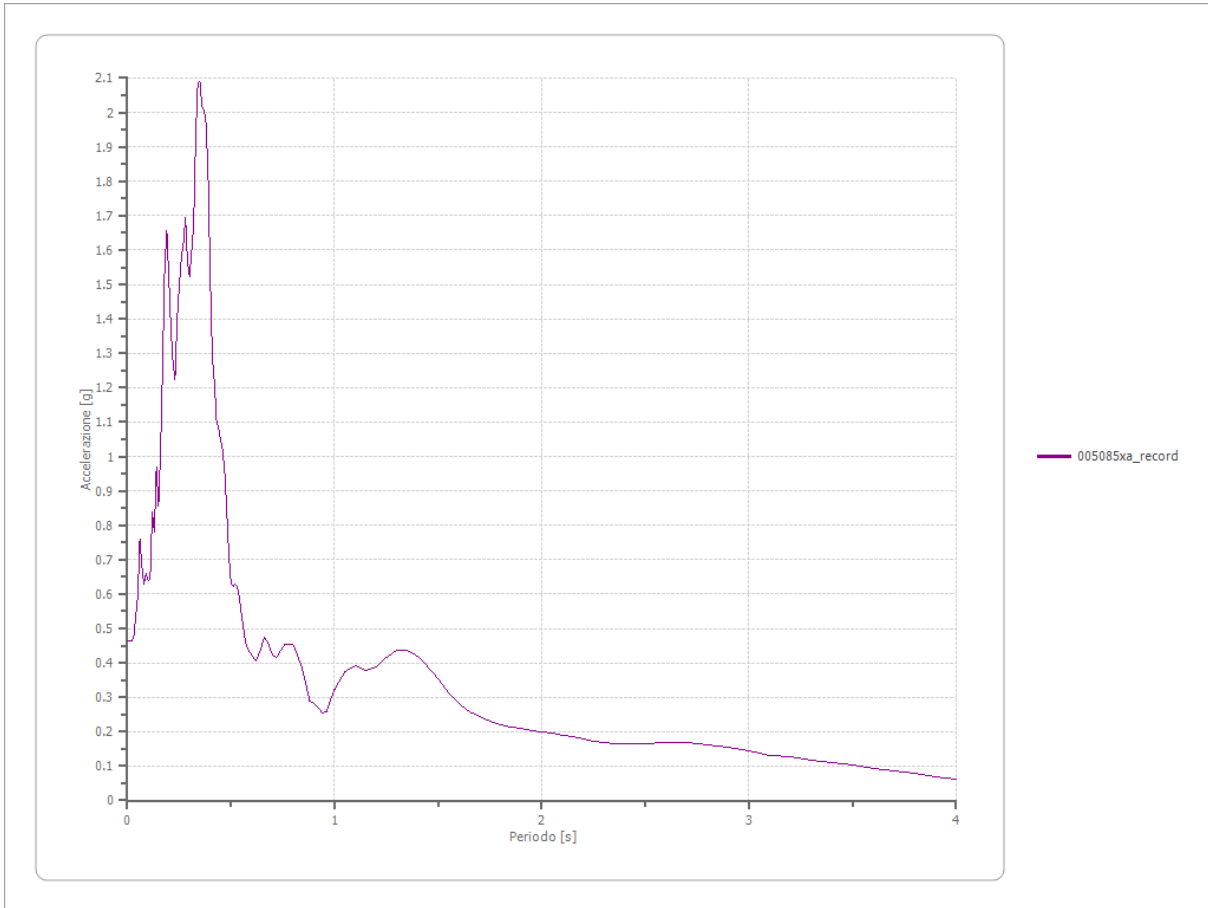
Spostamento

Spostamento massimo	32.099 [cm]
Periodo massimo spostamento	2.900 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	2.091 [g]
Periodo accelerazione massima	0.350 [s]



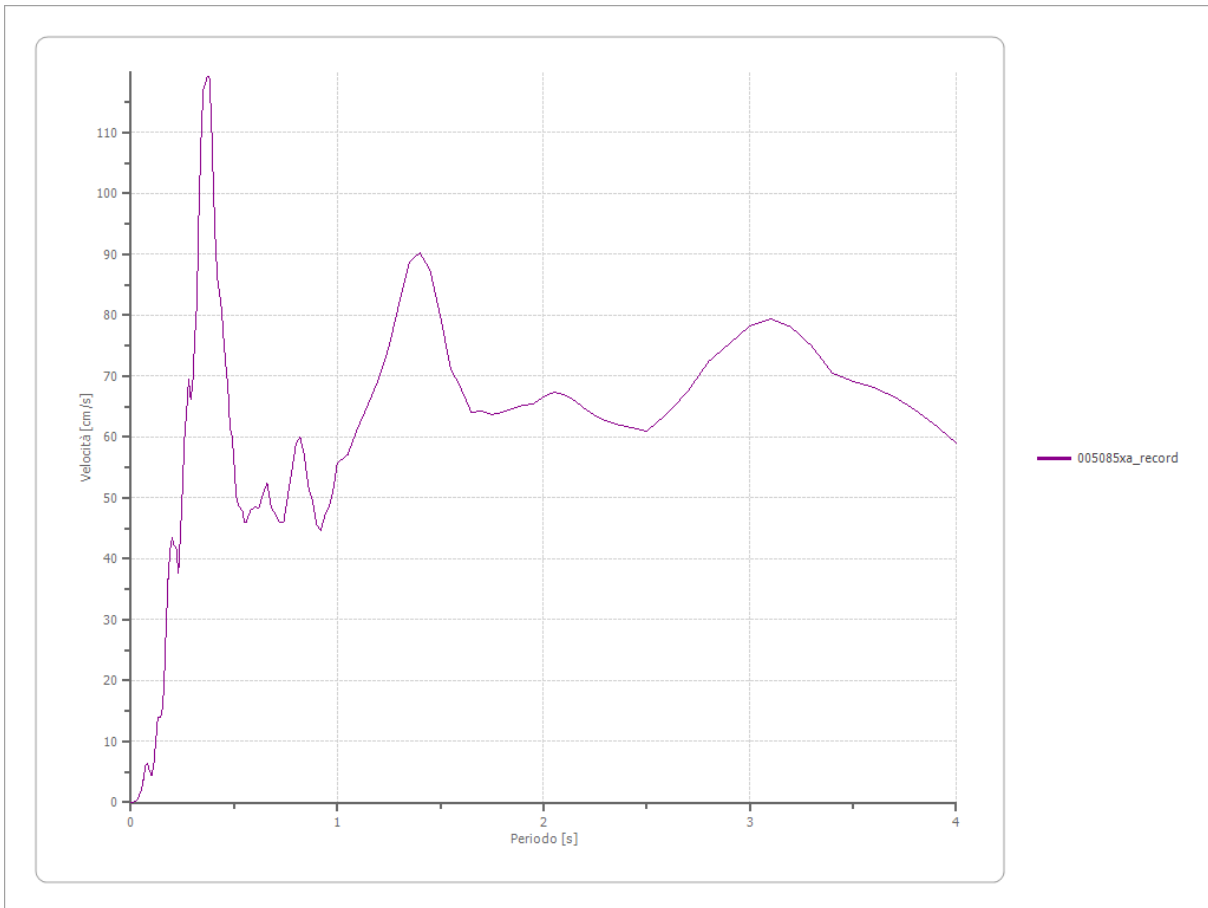
Velocità

Velocità massima

2.091 [cm/s]

Periodo massima velocità

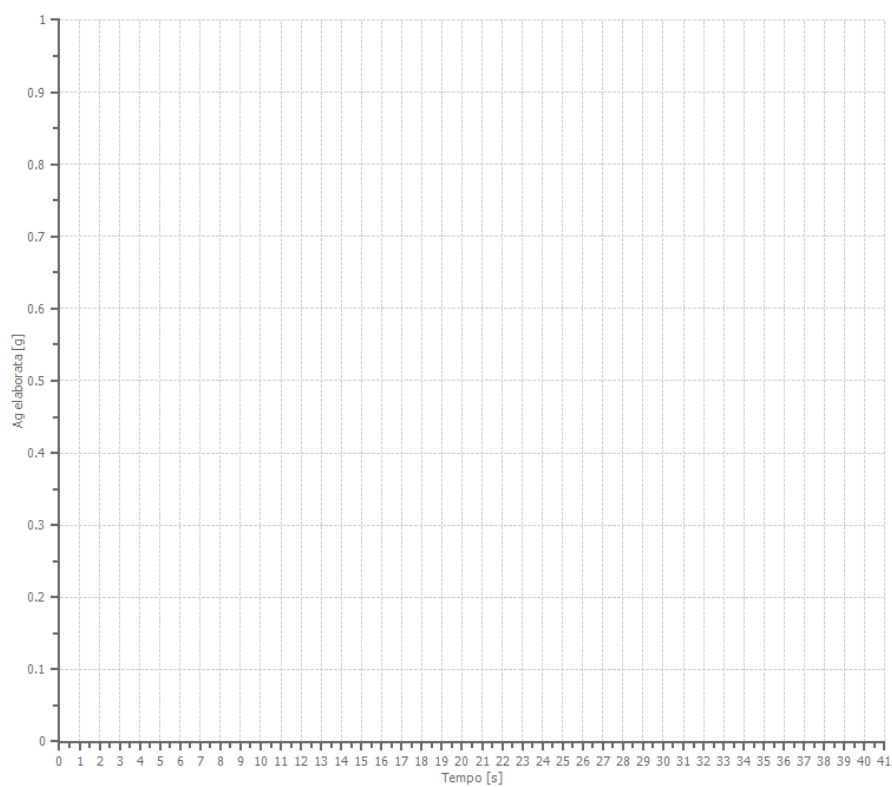
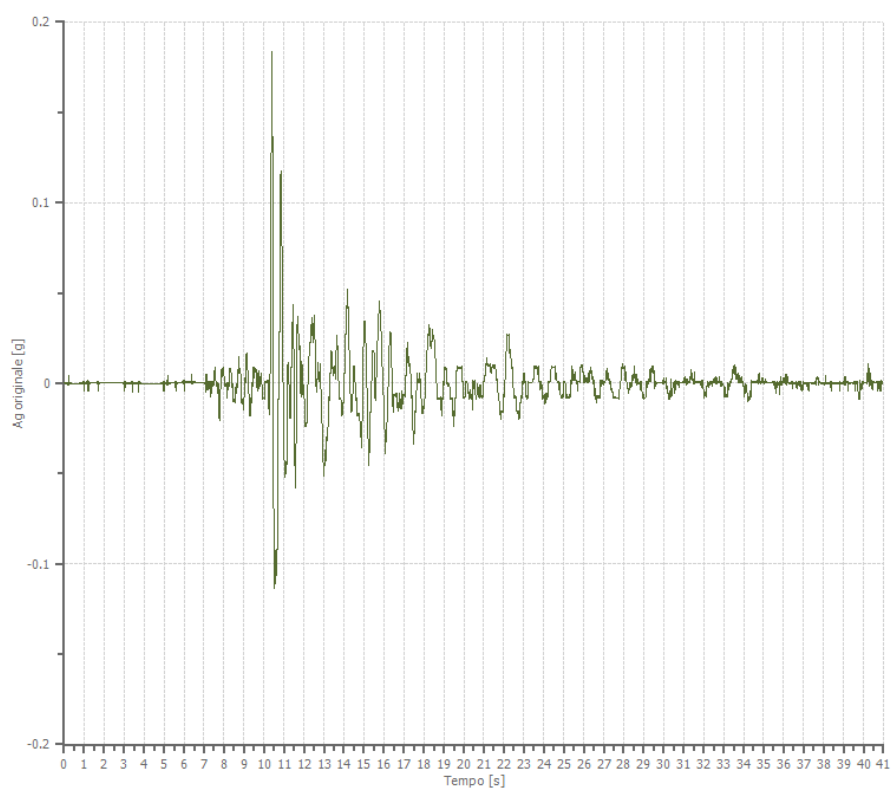
0.380 [s]



File 005259xa_record:

Accelerogramma importato

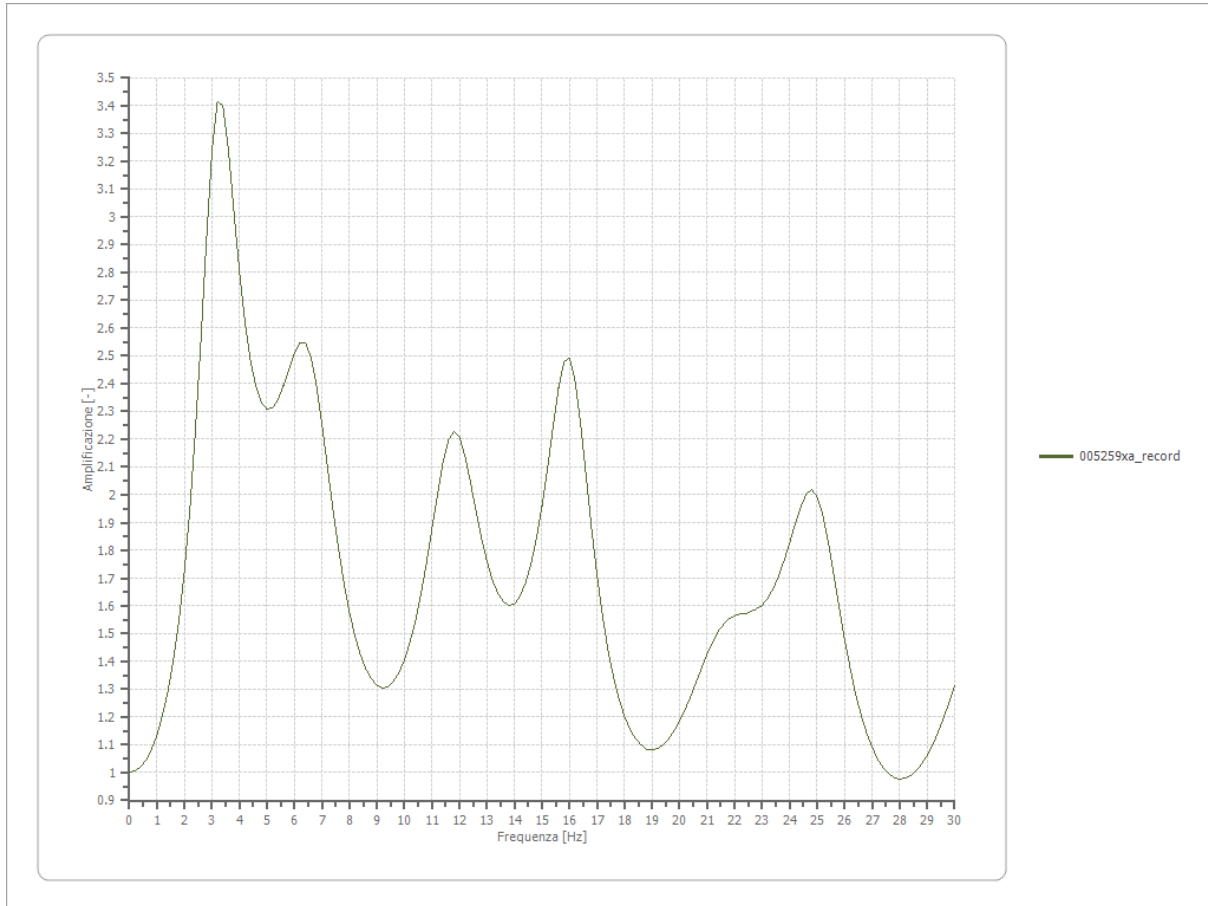
Nome del file	005259xa_record
Durata della traccia	40.940 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	10.400 [s]



Amplificazione

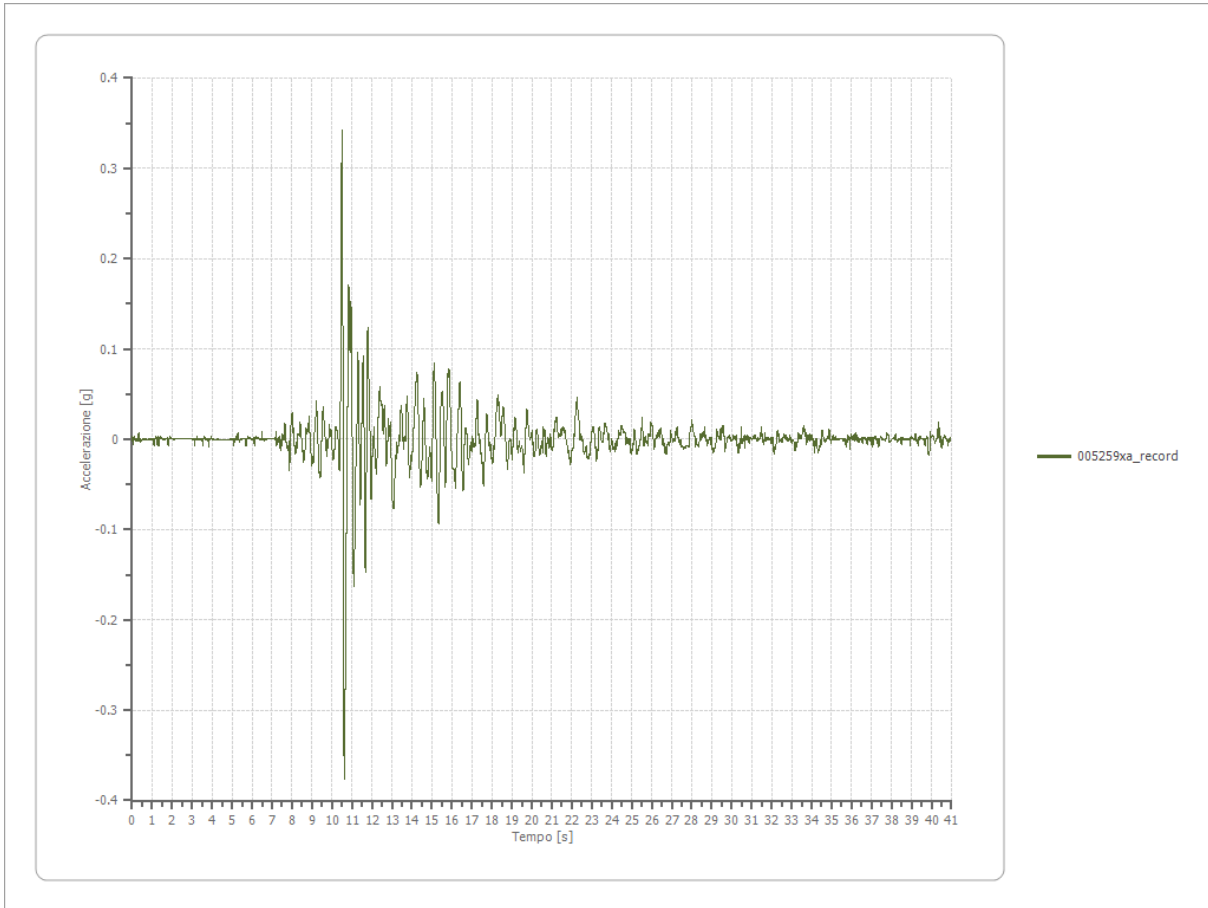
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



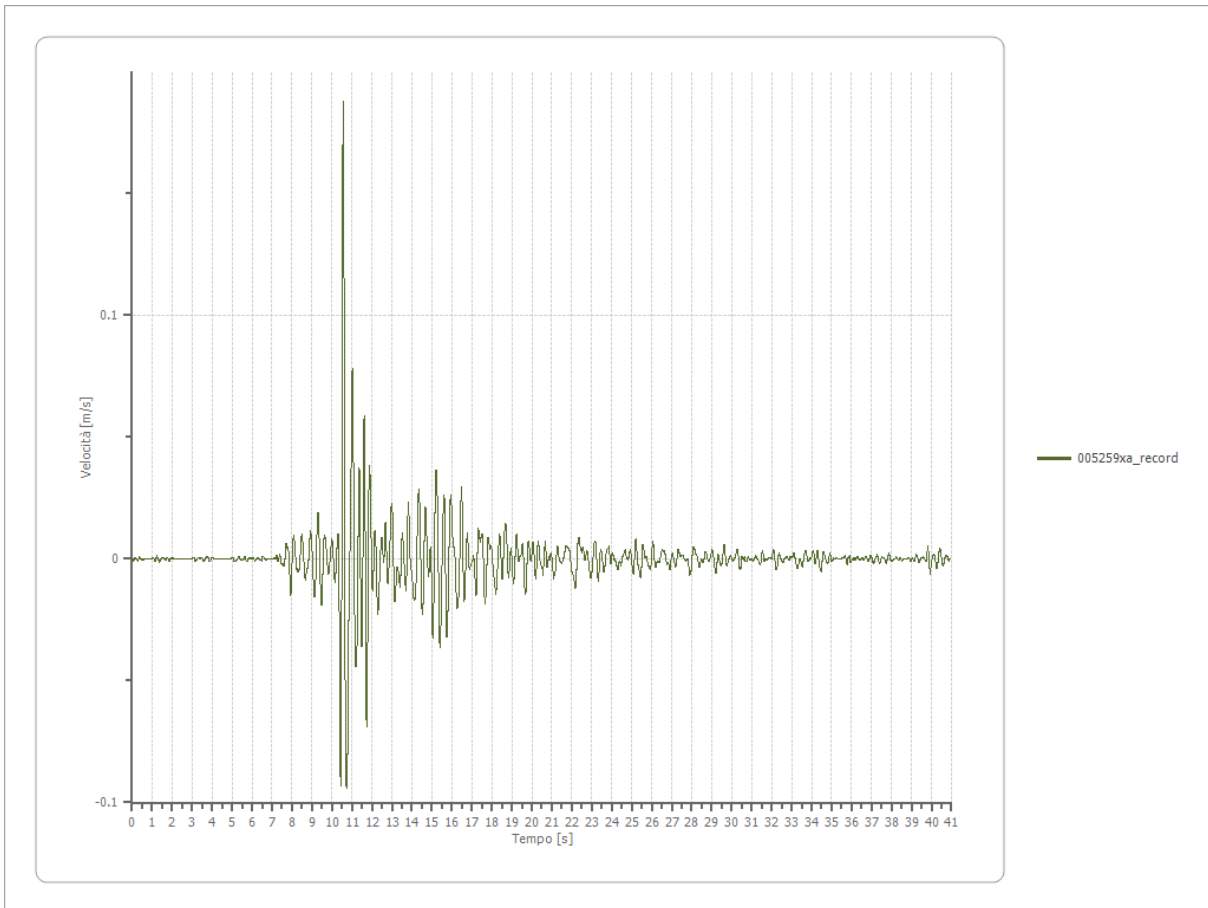
Accelerazione

Strato	1 Affiorante
Pga	0.376 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	2.066
Accelerazione massima	0.376 [g]
Periodo accelerazione massima	10.620 [s]



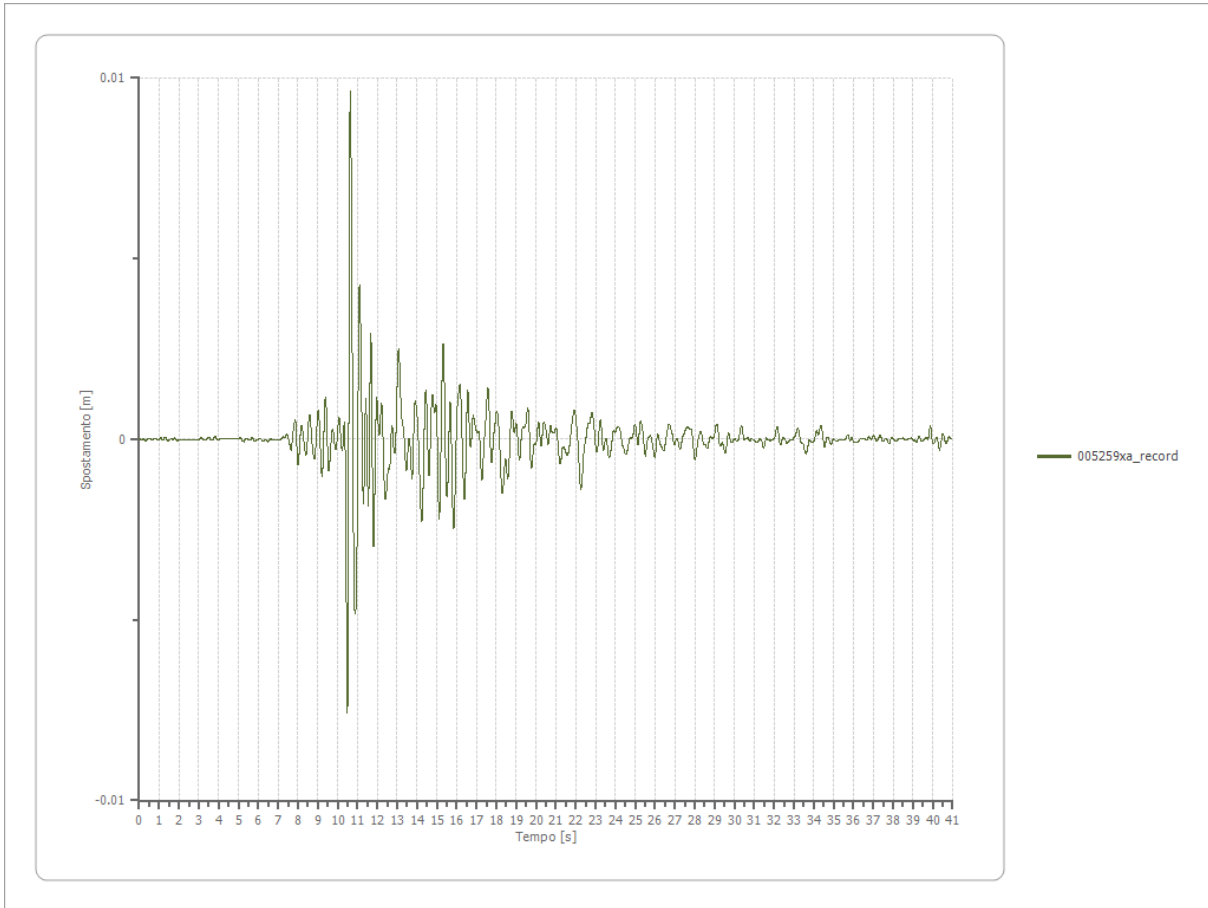
Velocità

Strato	1 Affiorante
Velocità massima	0.188 [m/s]
Periodo velocità massima	10.560 [s]



Spostamento

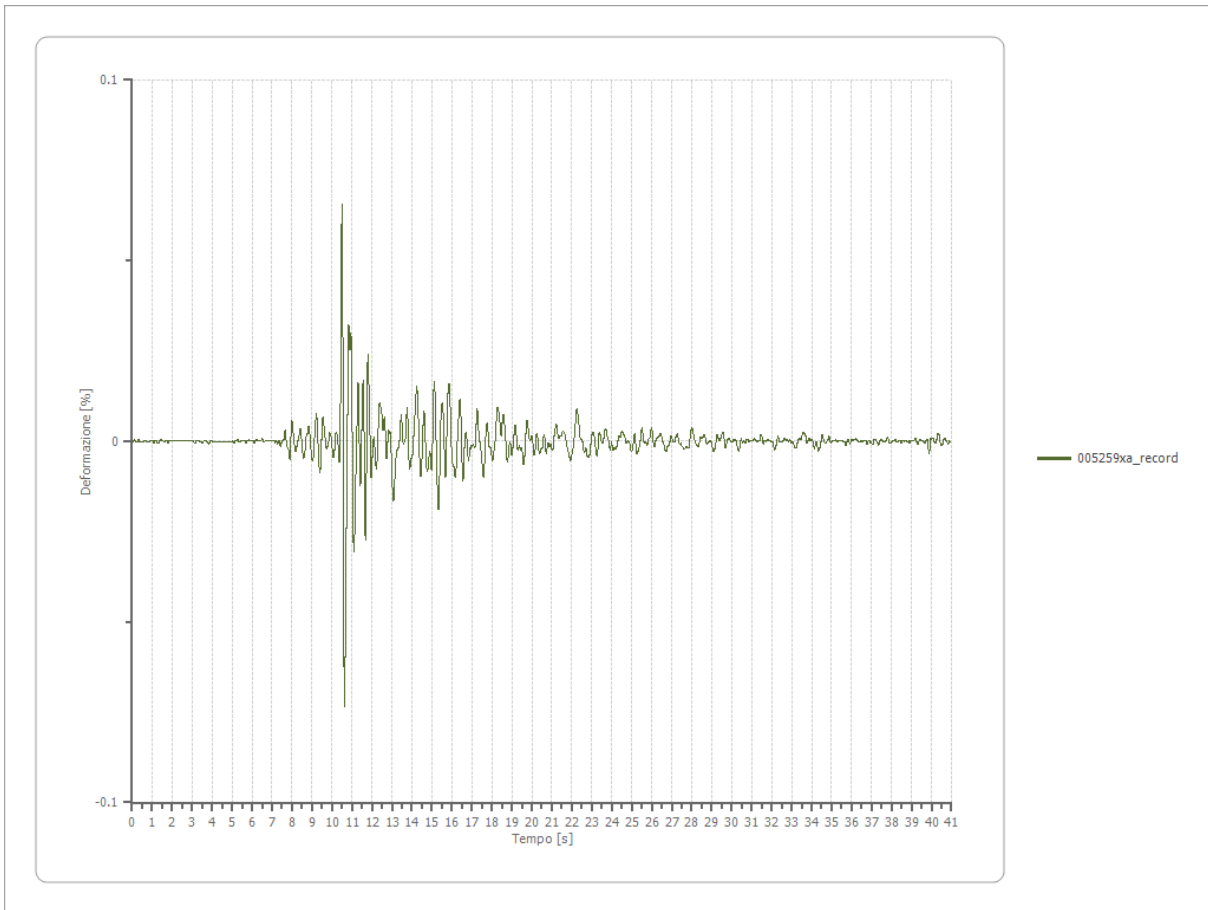
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.010 [m]
Periodo spostamento massimo	10.640 [s]



Deformazione

Numero di strati

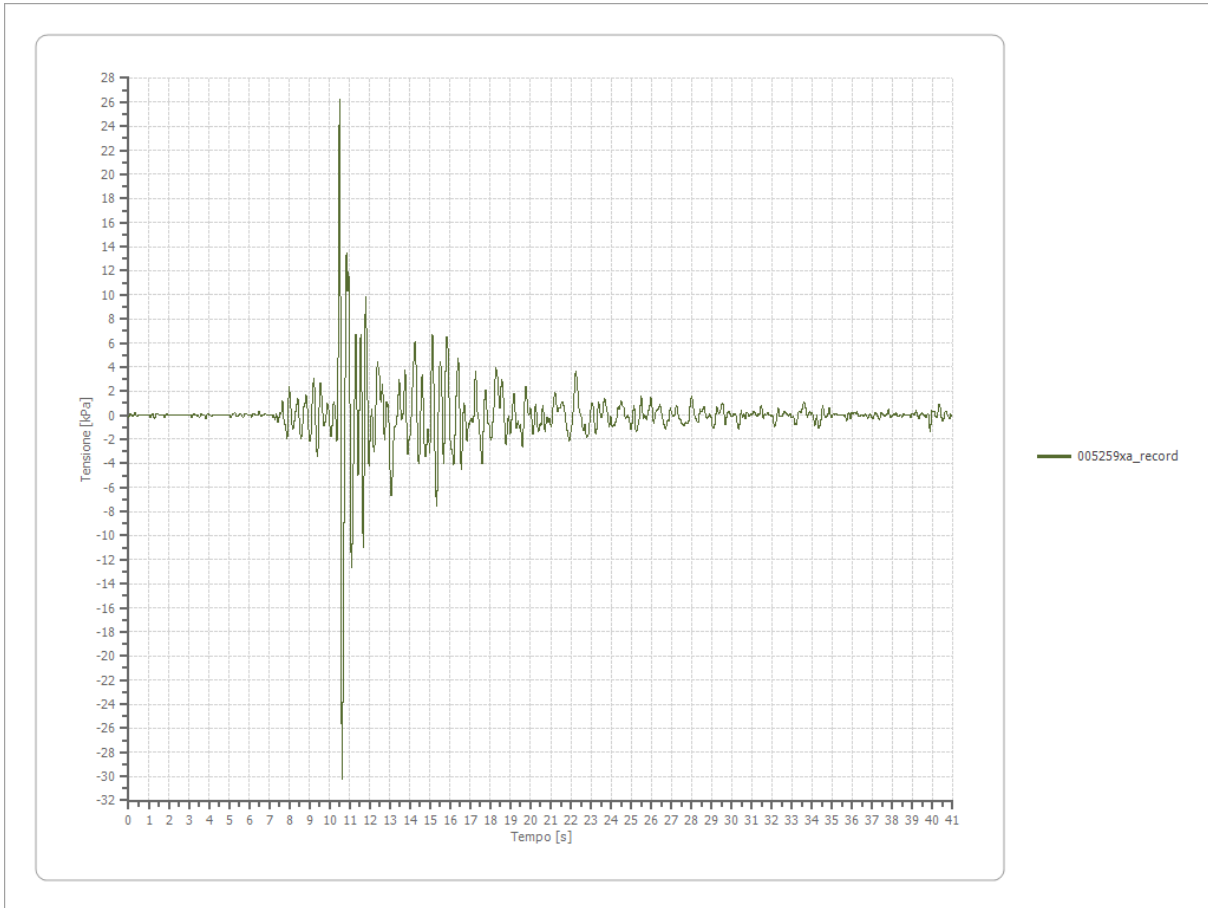
3



Tensione

Numero di strati

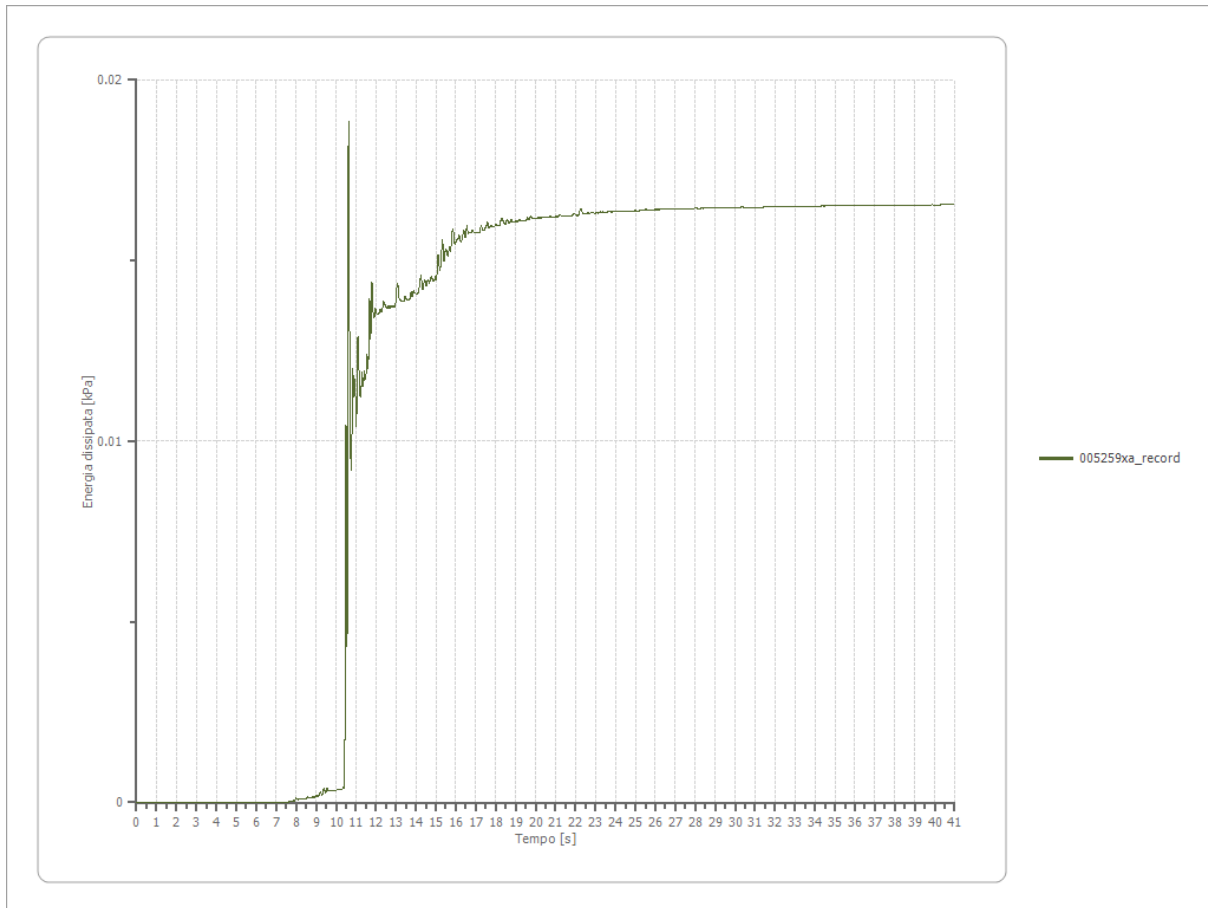
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



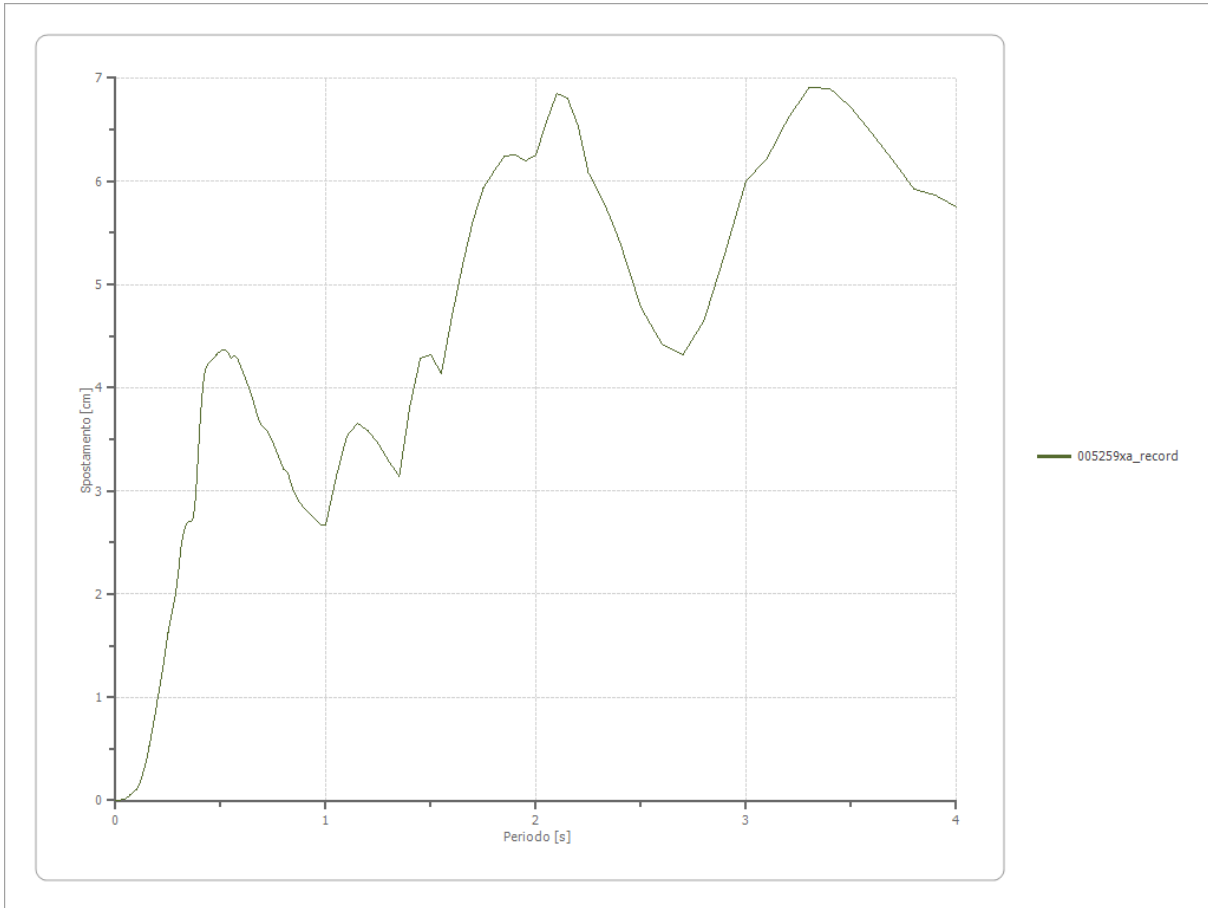
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

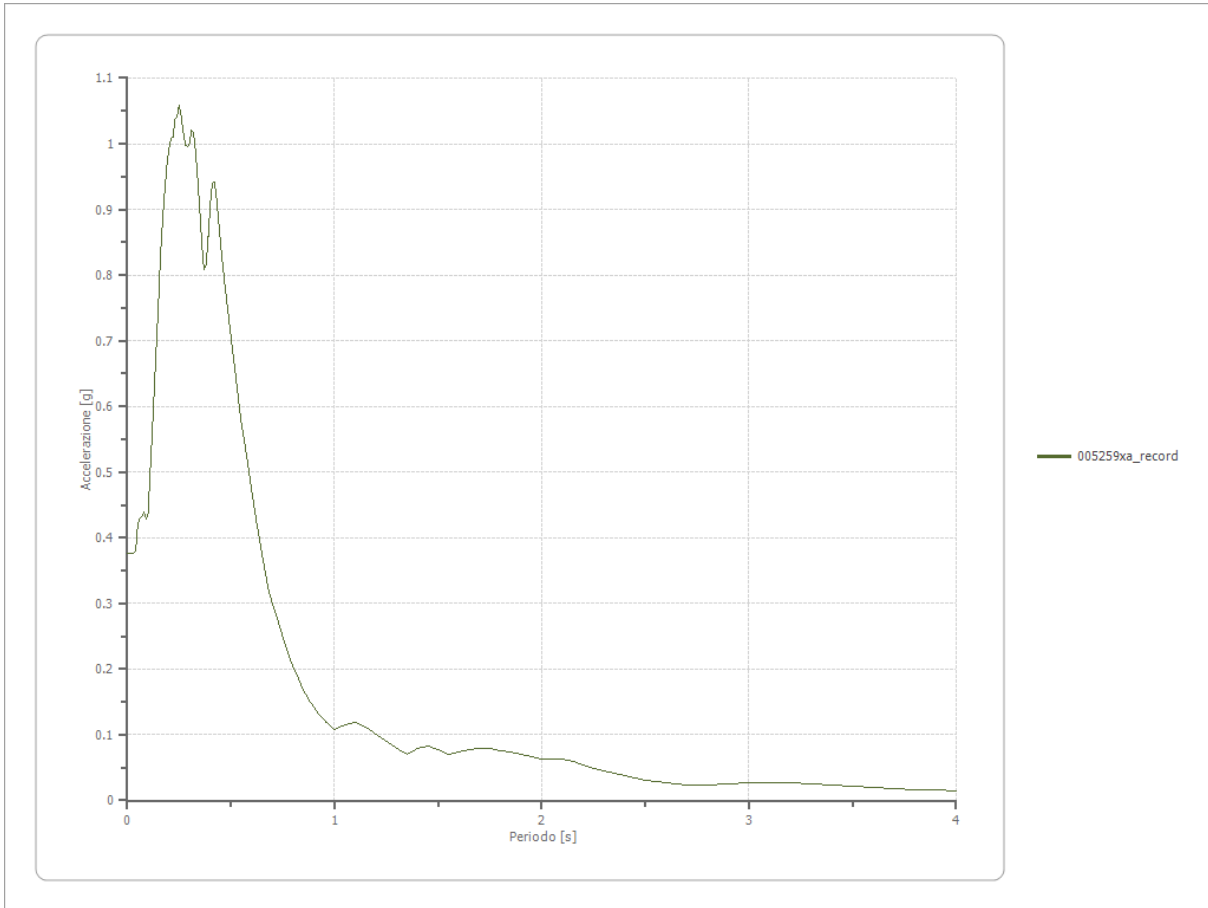
Spostamento

Spostamento massimo	6.909 [cm]
Periodo massimo spostamento	3.300 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.058 [g]
Periodo accelerazione massima	0.250 [s]



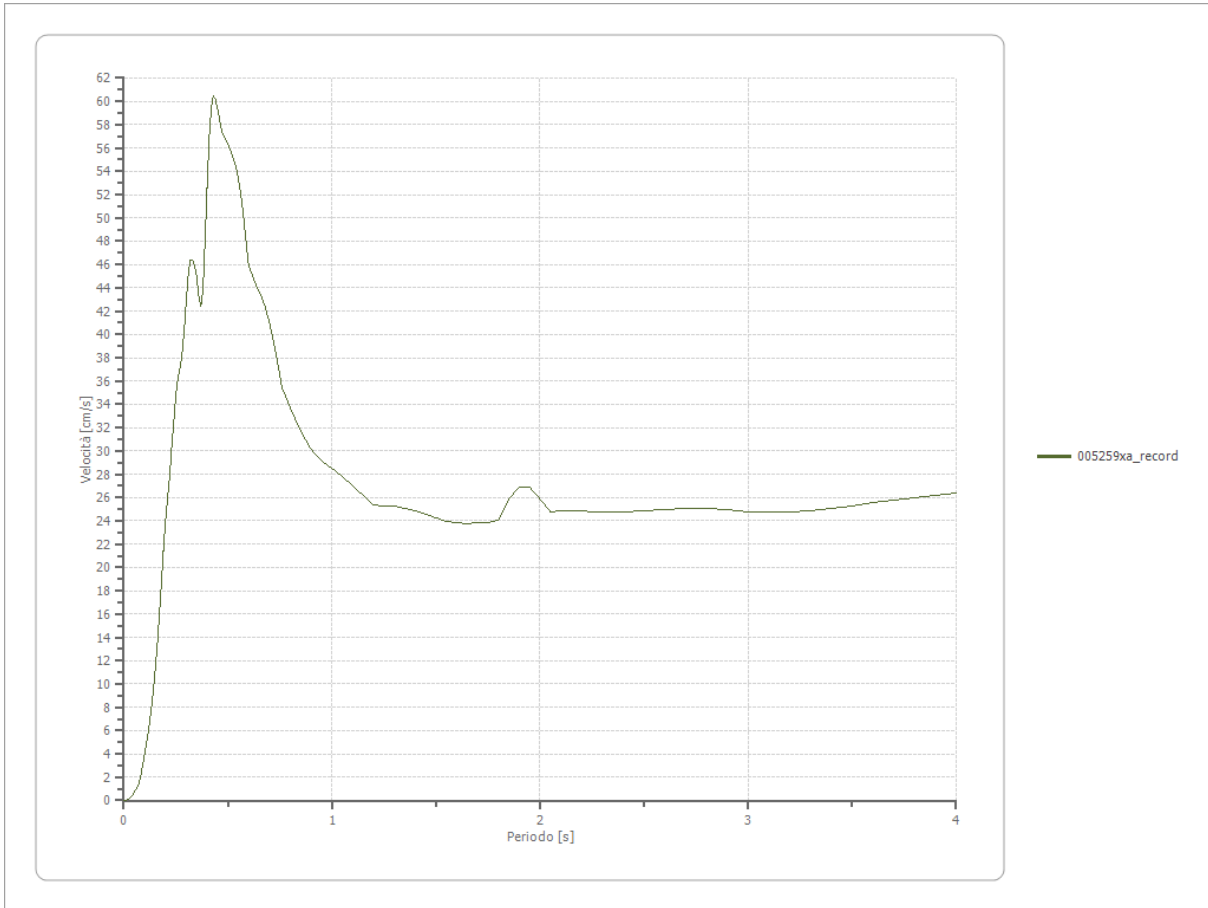
Velocità

Velocità massima

1.058 [cm/s]

Periodo massima velocità

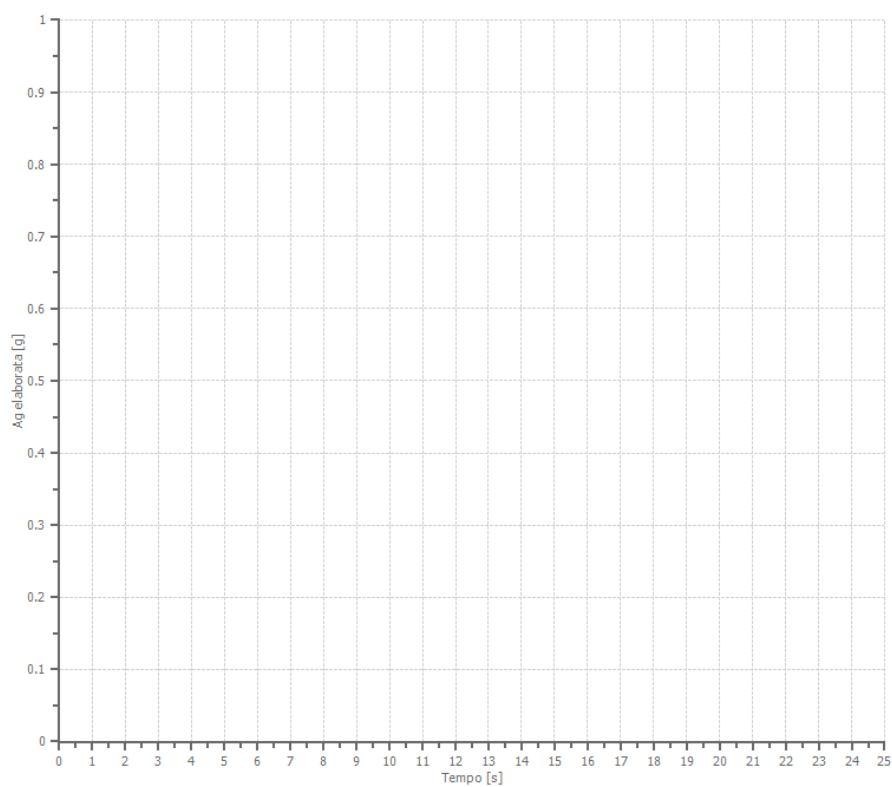
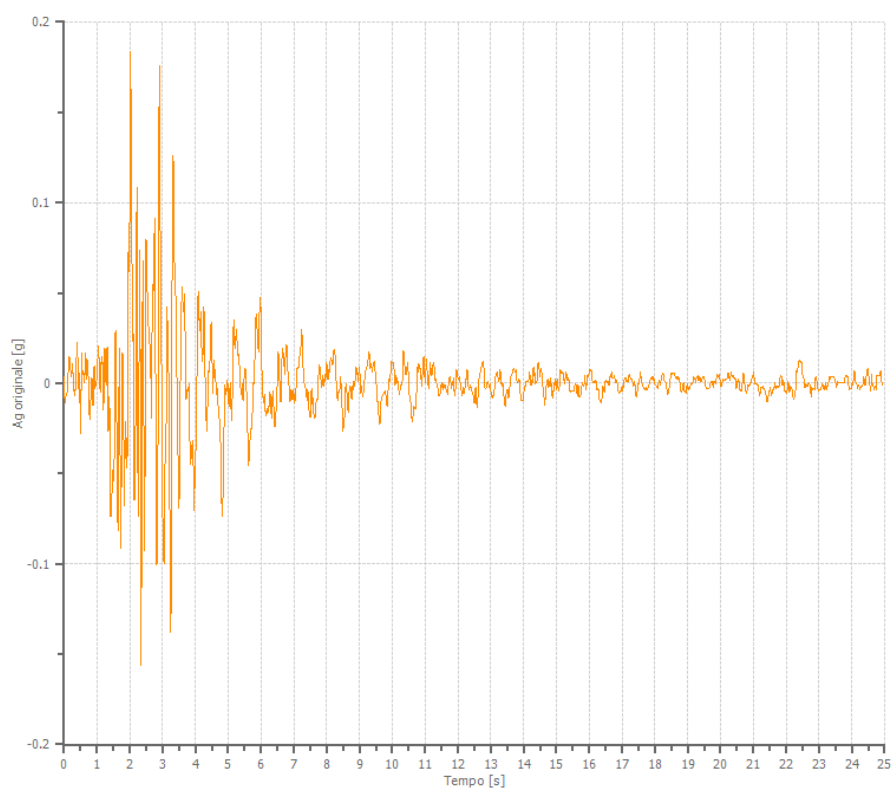
0.430 [s]



File 005655xa_record:

Accelerogramma importato

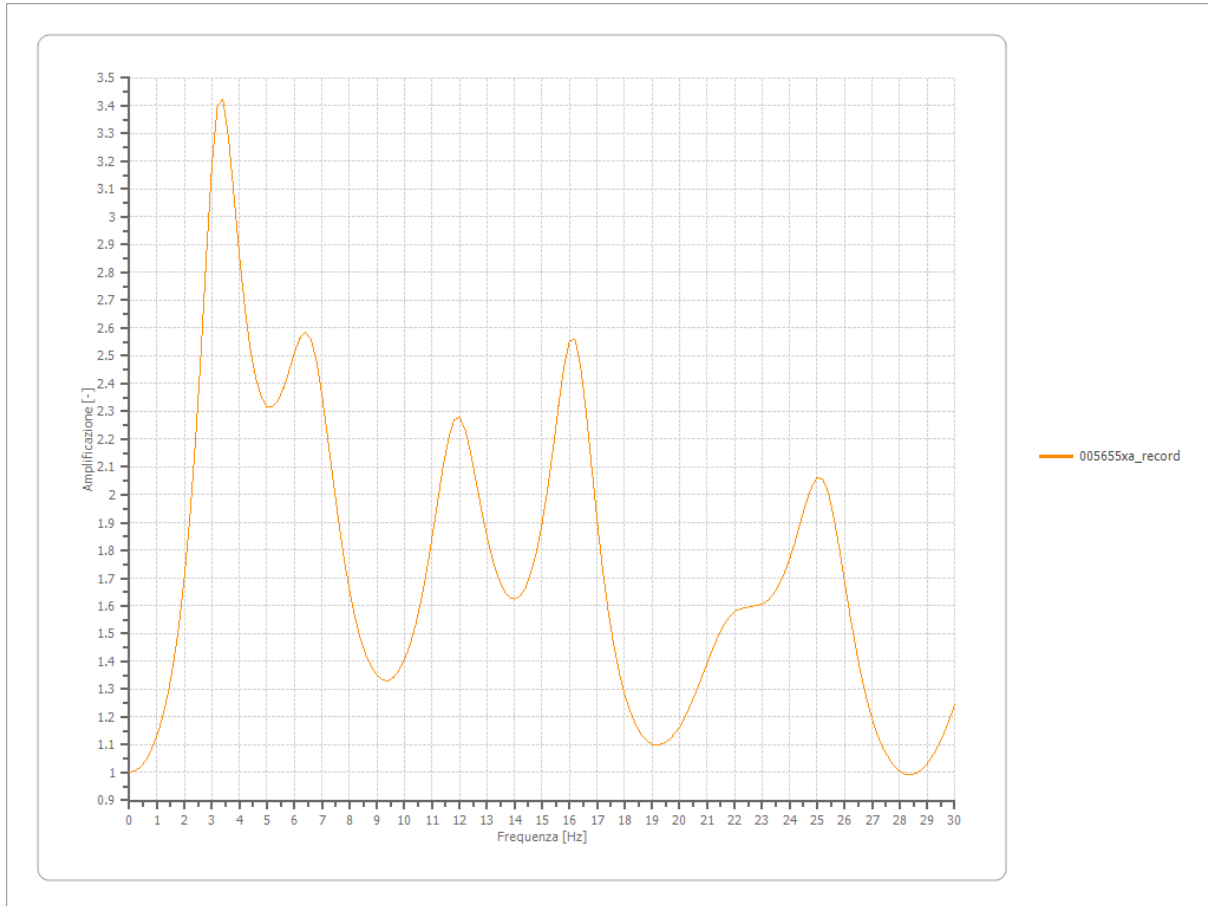
Nome del file	005655xa_record
Durata della traccia	24.920 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	2.020 [s]



Amplificazione

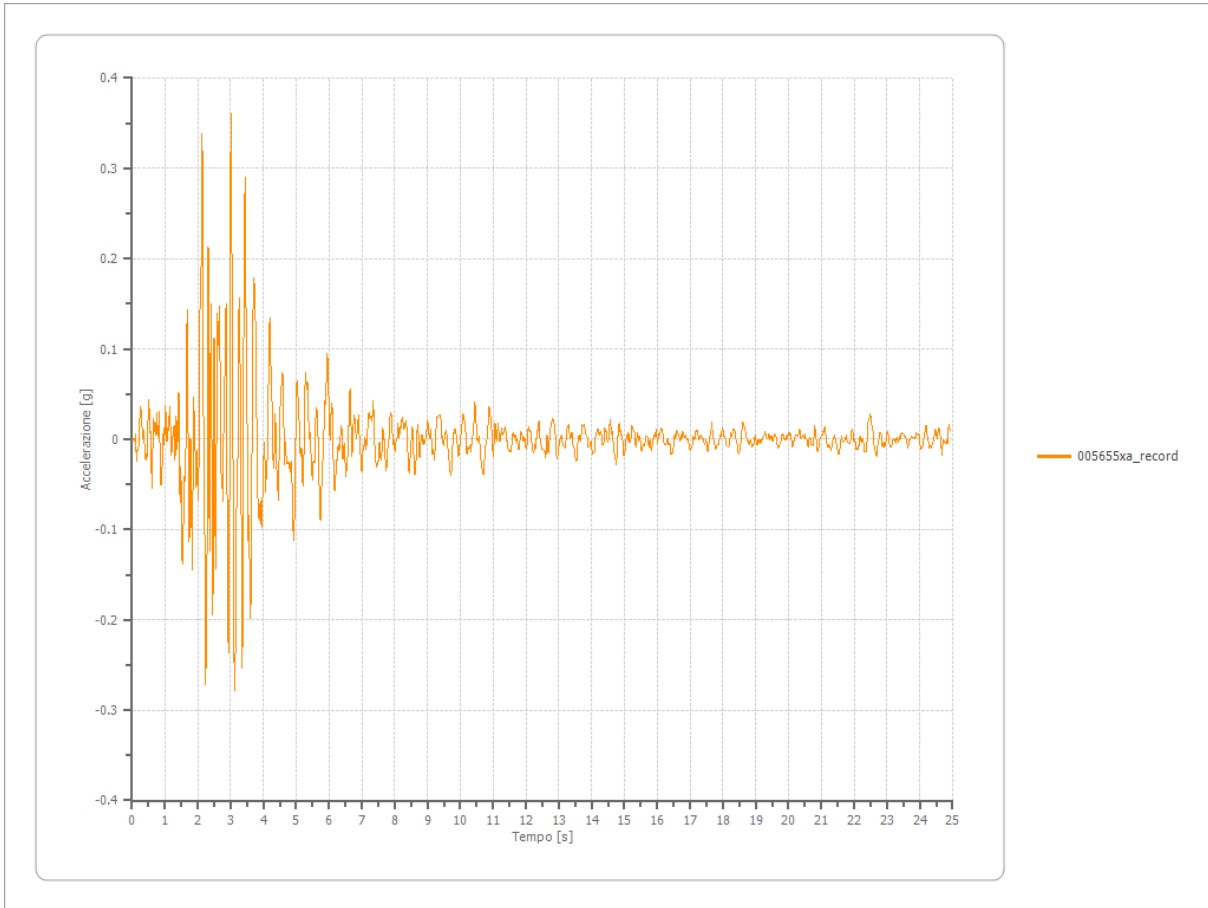
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

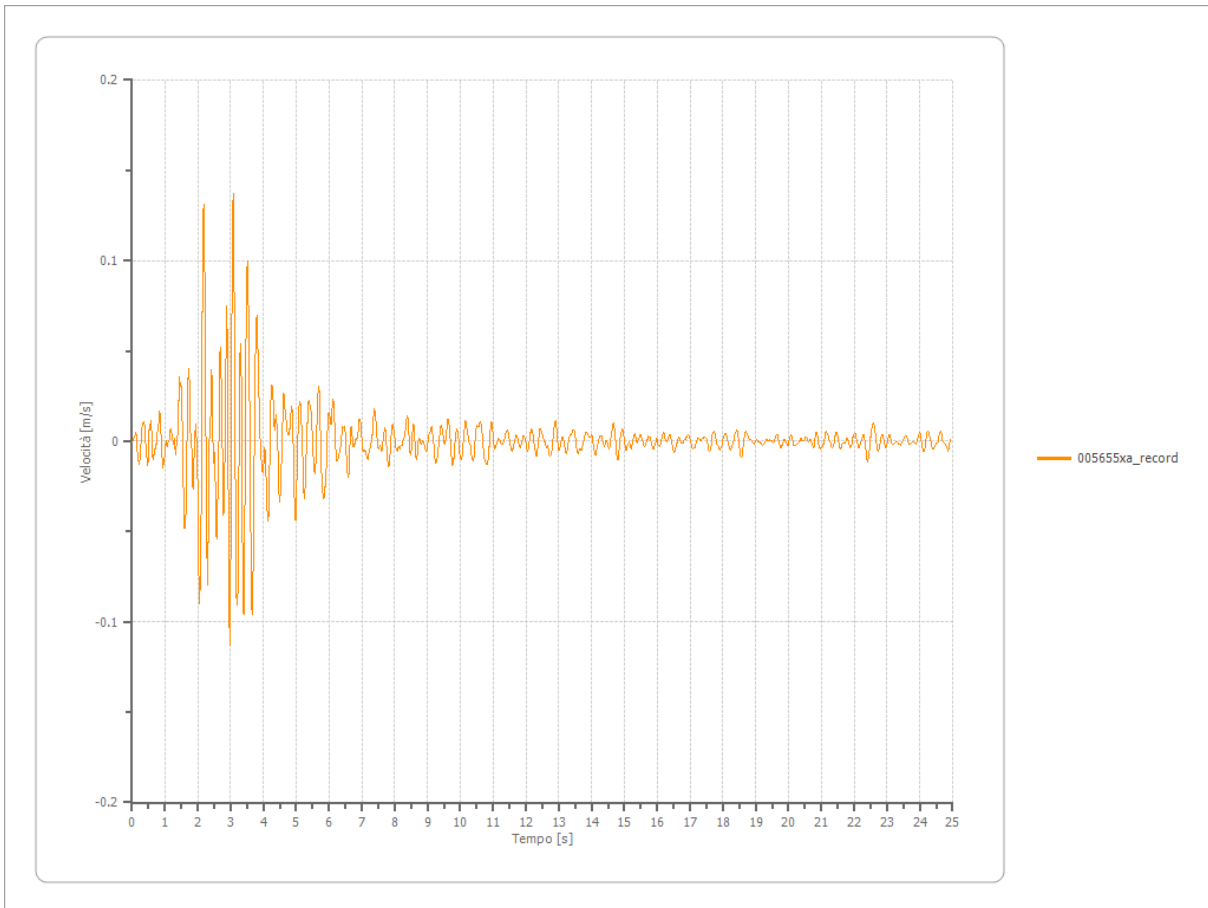
Strato	1 Affiorante
Pga	0.361 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	1.985
Accelerazione massima	0.361 [g]
Periodo accelerazione massima	3.020 [s]



Velocità

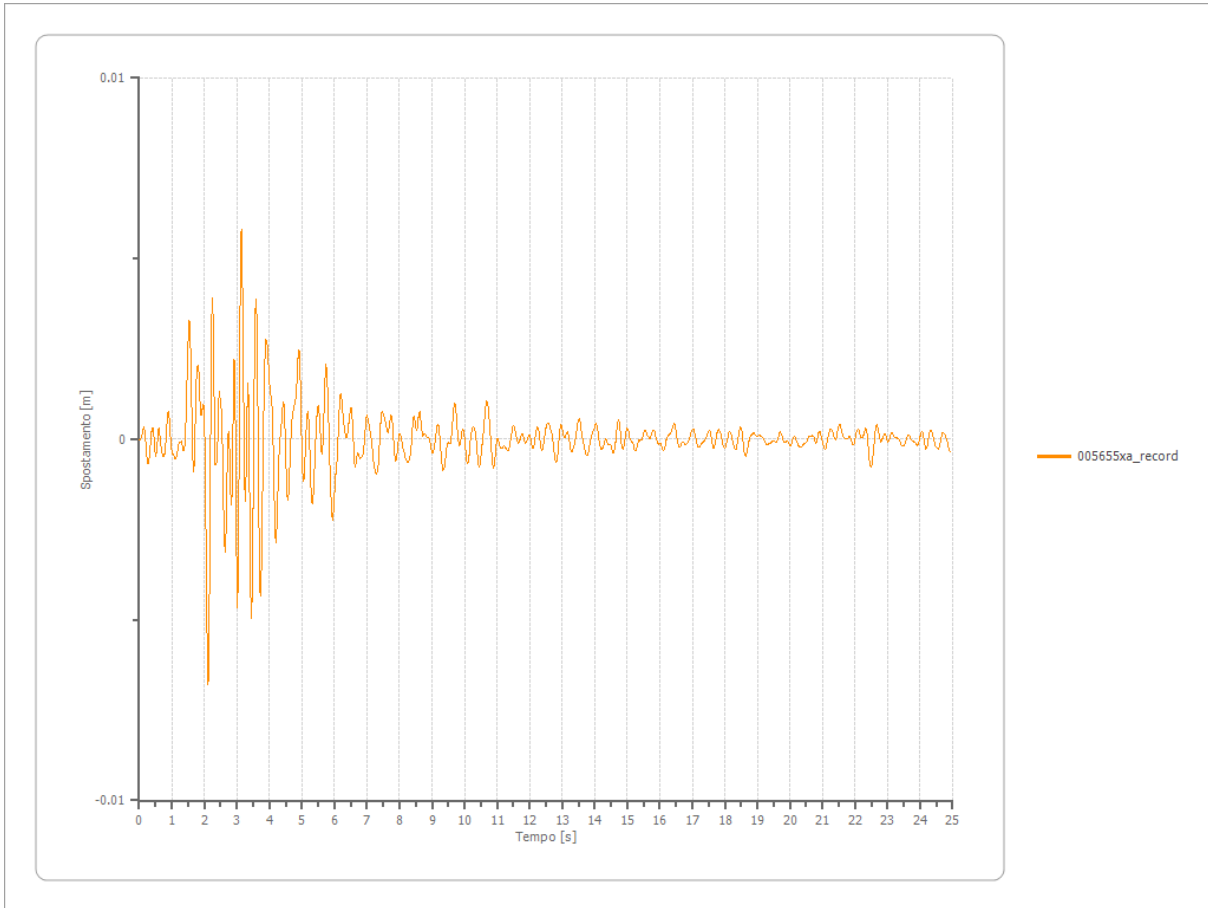
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.137 [m/s]
3.080 [s]



Spostamento

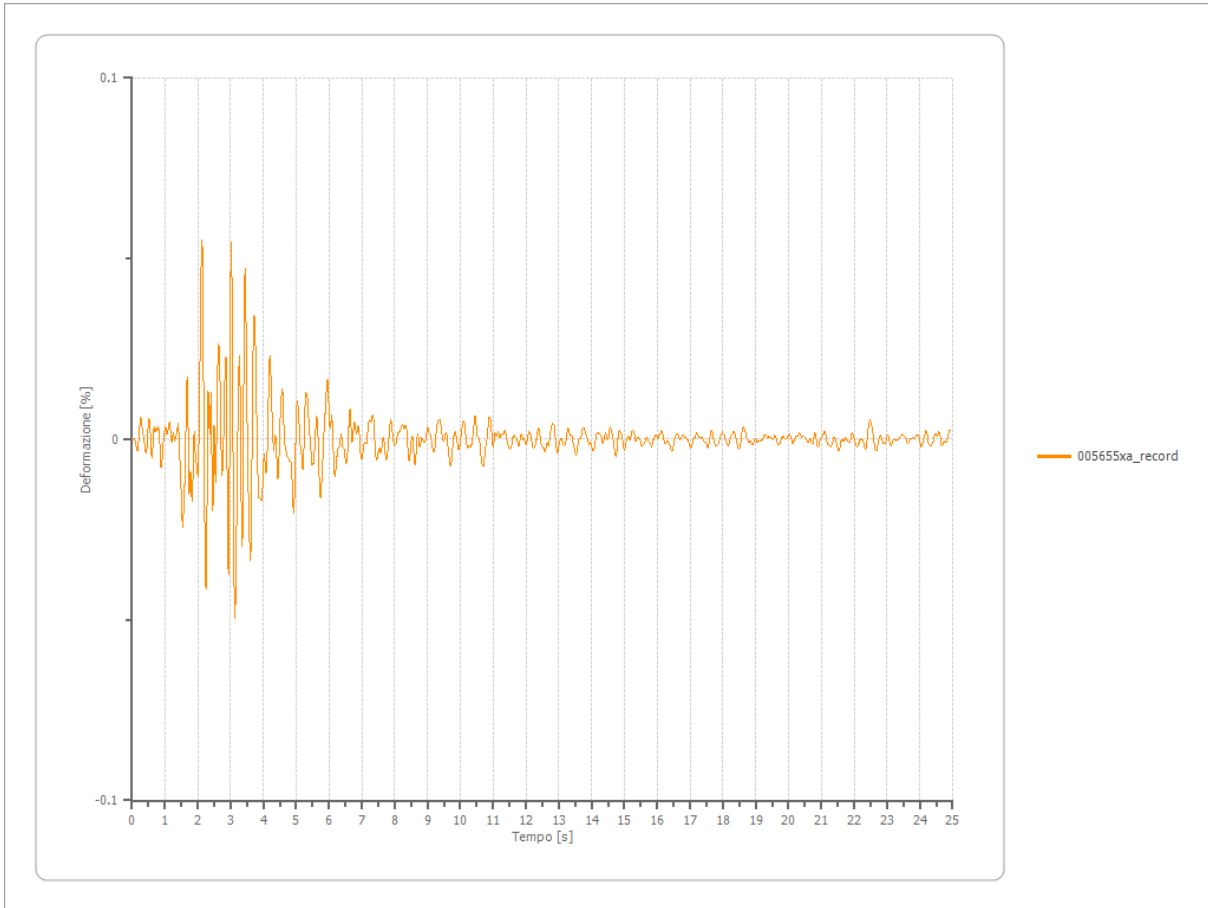
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.007 [m]
Periodo spostamento massimo	2.120 [s]



Deformazione

Numero di strati

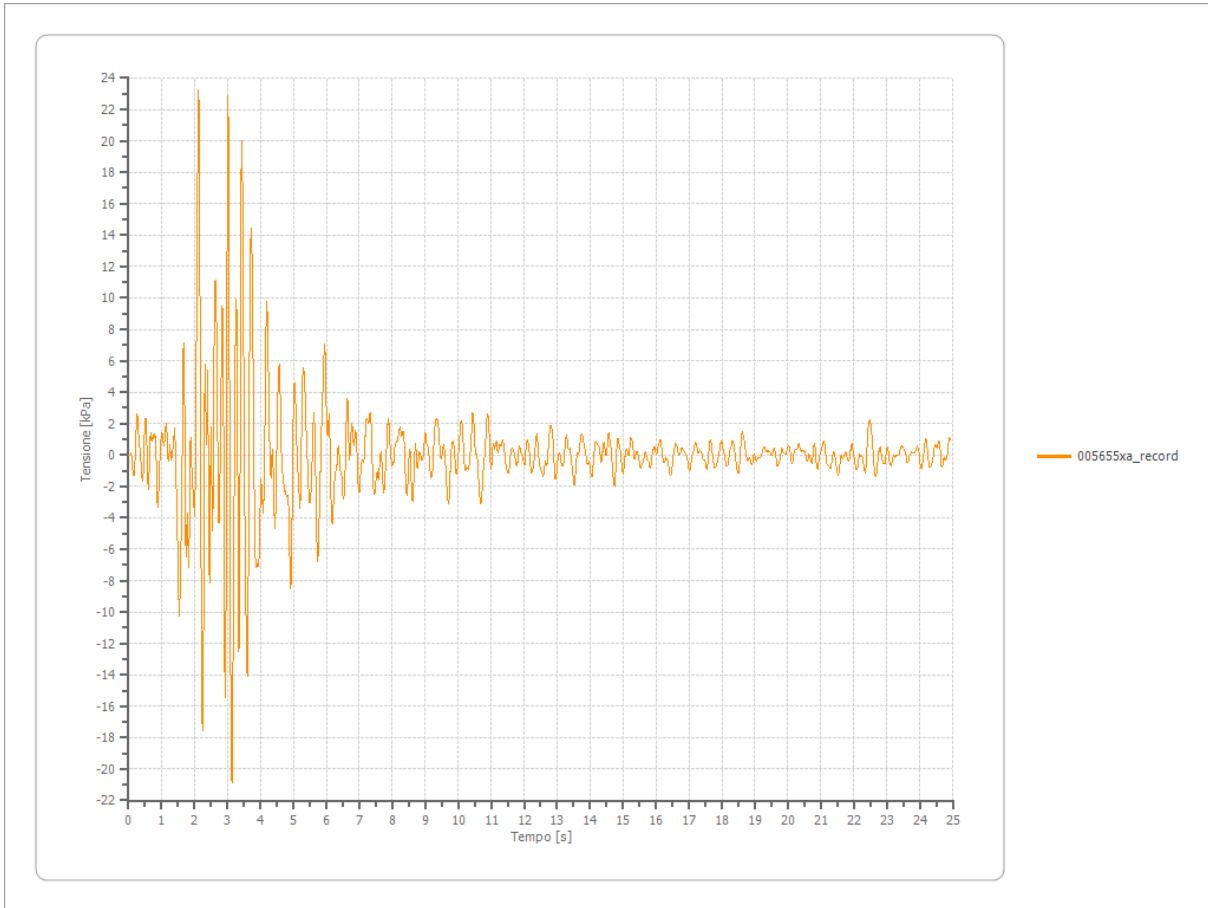
3



Tensione

Numero di strati

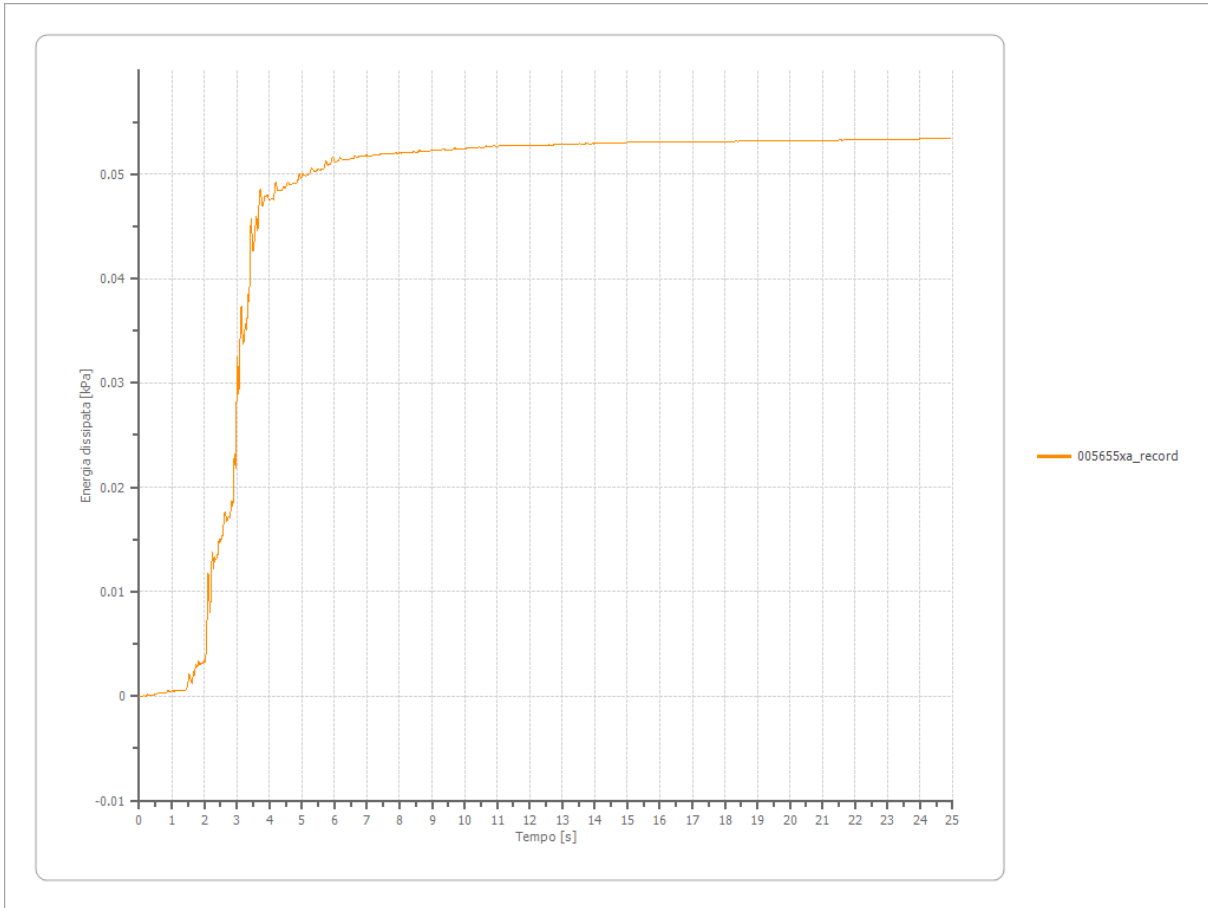
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



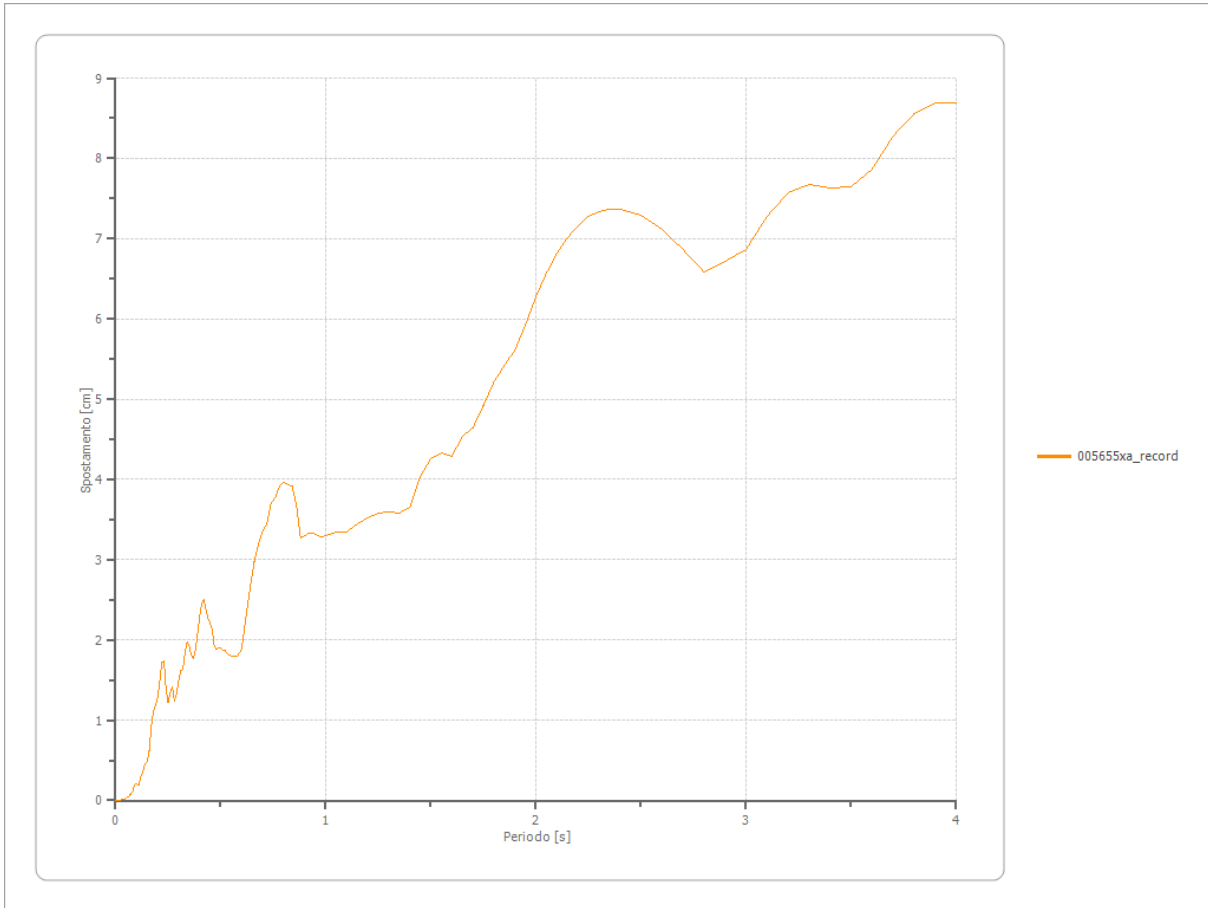
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

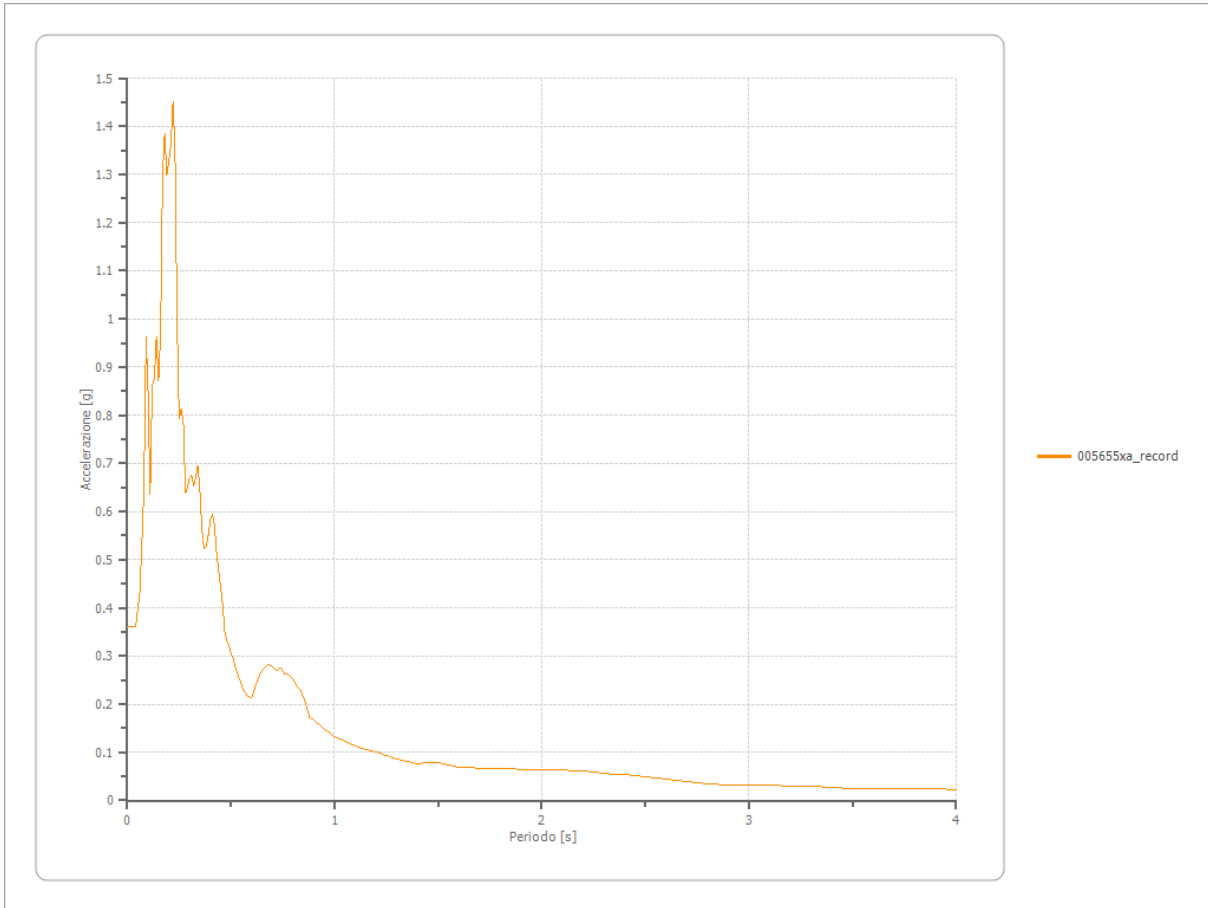
Spostamento

Spostamento massimo	8.695 [cm]
Periodo massimo spostamento	4.000 [s]



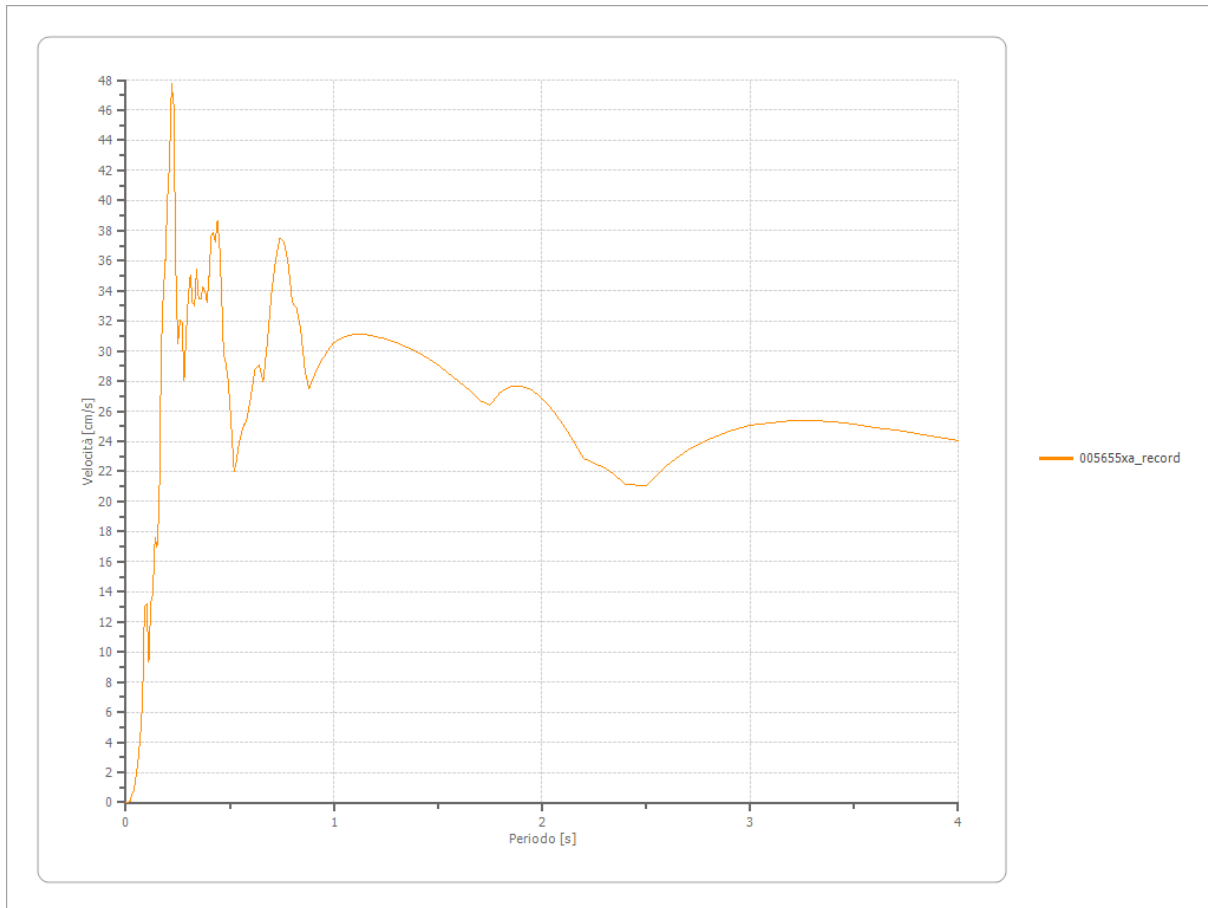
Accelerazione

Accelerazione massima	1.451 [g]
Periodo accelerazione massima	0.220 [s]



Velocità

Velocità massima	1.451 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.220 [s]



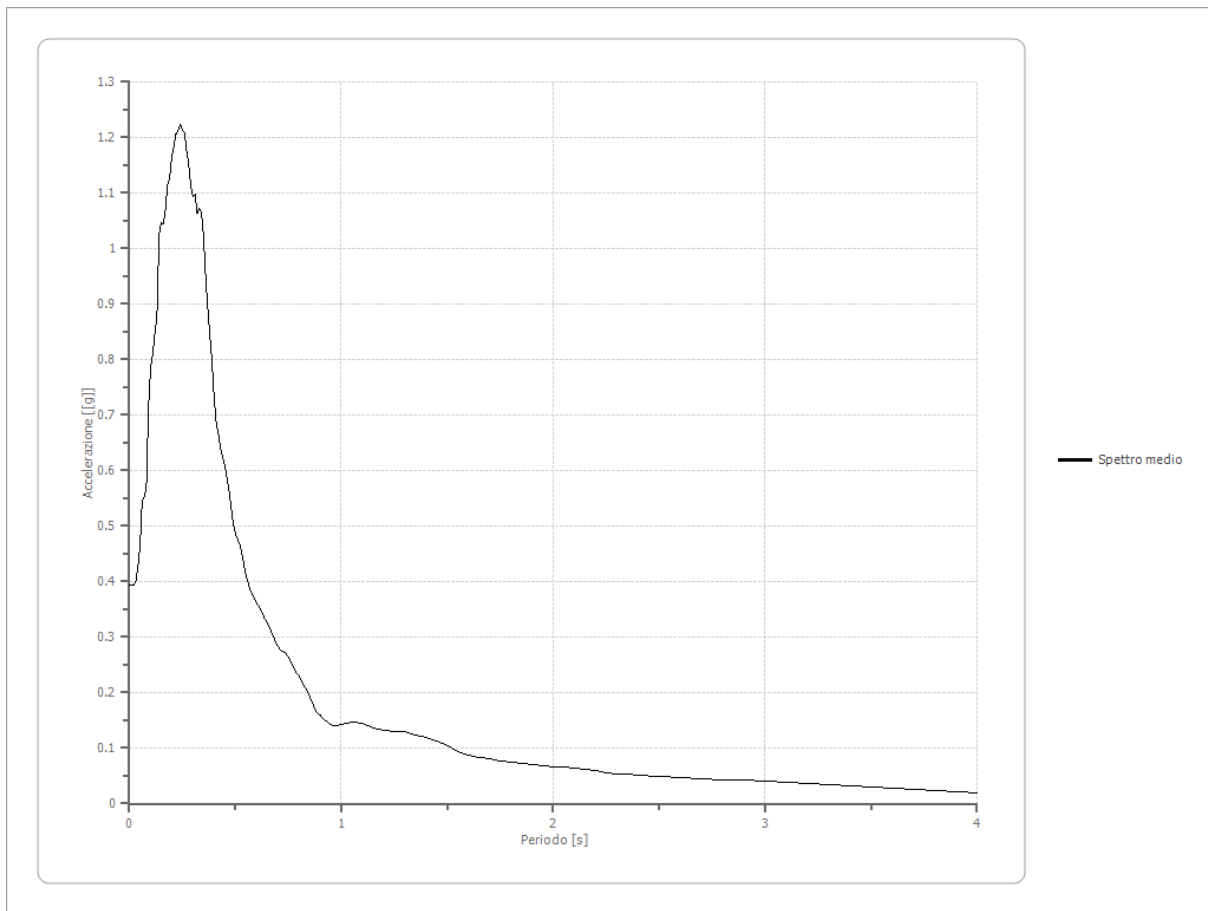
Fattori di amplificazione ICMS 2008

Tai	0.220 [s]
Tvi	1.400 [s]
Tao	0.240 [s]
Tvo	0.350 [s]
Sami	4.242 [m/s ²]
Svmi	0.236 [m/s]
Samo	10.823 [m/s ²]
Svmo	0.516 [m/s]
Fa	2.551 [-]
Fv	2.189 [-]
TB	0.100 [s]
TC	0.300 [s]
TD	2.328 [s]
SA(0)	0.464 [g]
SA(TB)	1.103 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.064	0.160	0.200	2.494
0.500	1.000	0.112	0.177	0.500	1.584
0.500	1.500	0.230	0.334	0.333	1.455

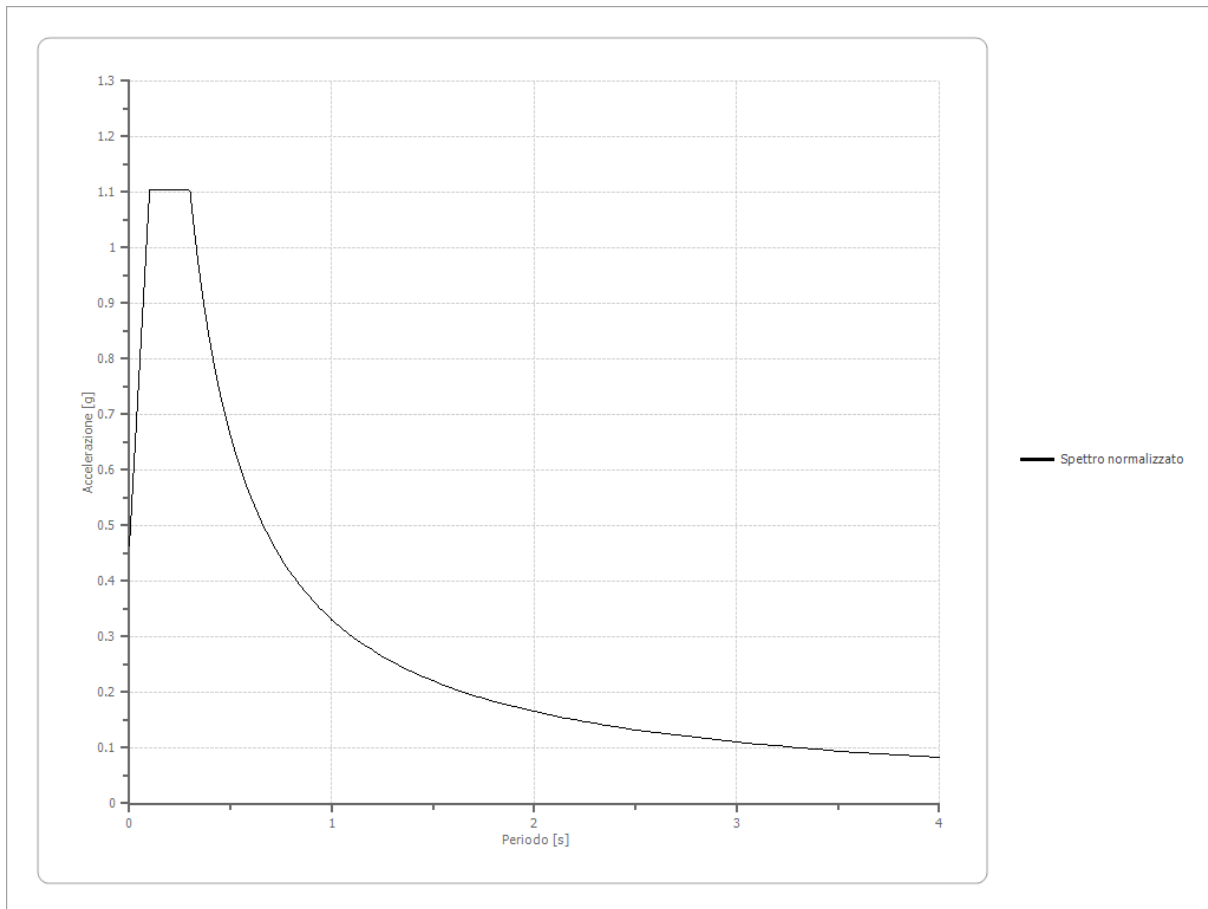
Spettro medio di risposta elastico



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.4643	0.26	1.1032	0.52	0.6359	0.98	0.3374	2.25	0.1470
0.01	0.5283	0.27	1.1032	0.53	0.6239	1.00	0.3307	2.30	0.1438
0.02	0.5922	0.28	1.1032	0.54	0.6123	1.05	0.3149	2.35	0.1407
0.03	0.6562	0.29	1.1032	0.55	0.6012	1.10	0.3006	2.40	0.1378
0.04	0.7201	0.30	1.1022	0.56	0.5905	1.15	0.2875	2.50	0.1323
0.05	0.7841	0.31	1.0666	0.57	0.5801	1.20	0.2755	2.60	0.1272
0.06	0.8480	0.32	1.0333	0.58	0.5701	1.25	0.2645	2.70	0.1225
0.07	0.9120	0.33	1.0020	0.60	0.5511	1.30	0.2543	2.80	0.1181
0.08	0.9759	0.34	0.9725	0.62	0.5333	1.35	0.2449	2.90	0.1140
0.09	1.0399	0.35	0.9447	0.64	0.5166	1.40	0.2362	3.00	0.1102
0.10	1.1032	0.36	0.9185	0.66	0.5010	1.45	0.2280	3.10	0.1067
0.11	1.1032	0.37	0.8937	0.68	0.4863	1.50	0.2204	3.20	0.1033
0.12	1.1032	0.38	0.8701	0.70	0.4724	1.55	0.2133	3.30	0.1002
0.13	1.1032	0.39	0.8478	0.72	0.4592	1.60	0.2067	3.40	0.0973
0.14	1.1032	0.40	0.8266	0.74	0.4468	1.65	0.2004	3.50	0.0945
0.15	1.1032	0.41	0.8065	0.76	0.4351	1.70	0.1945	3.60	0.0918
0.16	1.1032	0.42	0.7873	0.78	0.4239	1.75	0.1889	3.70	0.0894

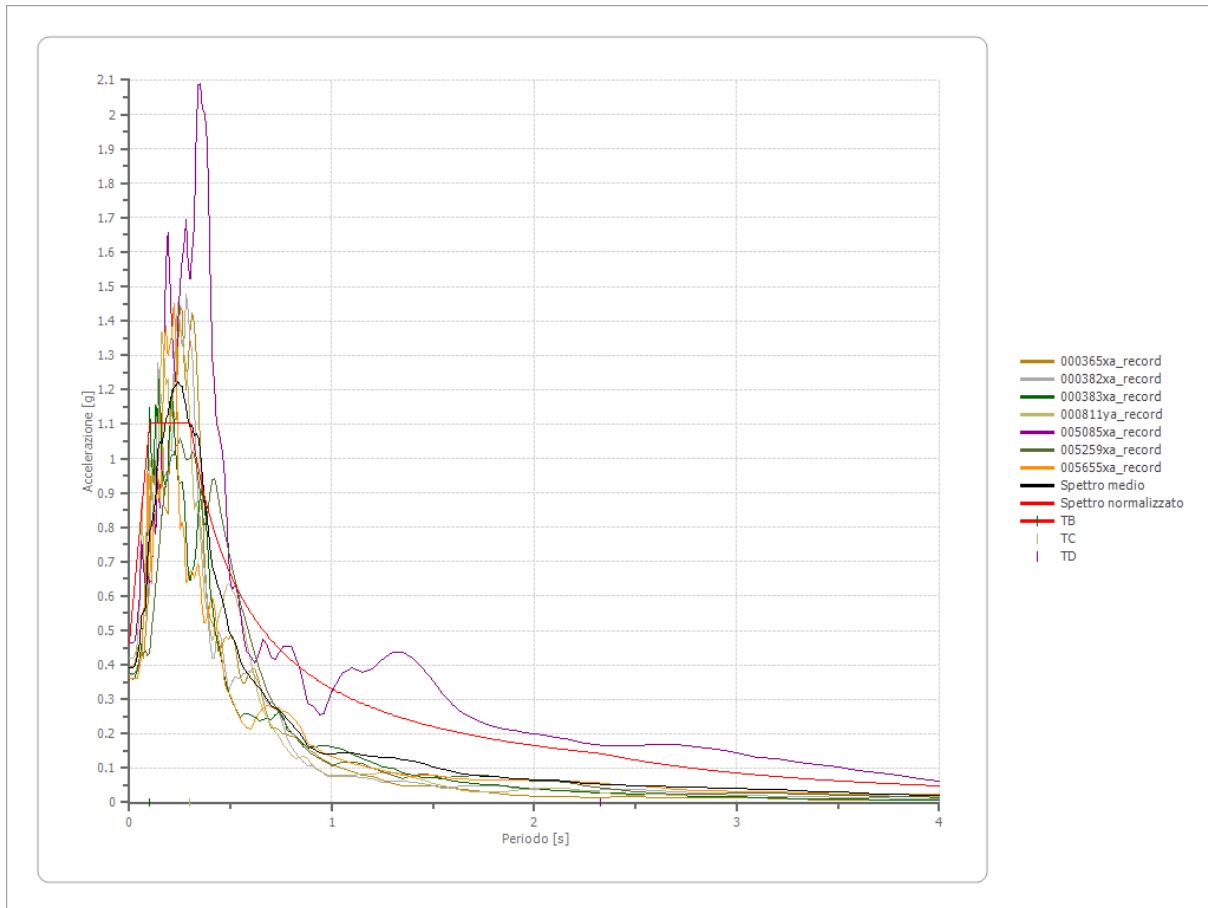
0.17	1.1032	0.43	0.7690	0.80	0.4133	1.80	0.1837	3.80	0.0870
0.18	1.1032	0.44	0.7515	0.82	0.4032	1.85	0.1787	3.90	0.0848
0.19	1.1032	0.45	0.7348	0.84	0.3936	1.90	0.1740	4.00	0.0827
0.20	1.1032	0.46	0.7188	0.86	0.3845	1.95	0.1696		
0.21	1.1032	0.47	0.7035	0.88	0.3757	2.00	0.1653		
0.22	1.1032	0.48	0.6889	0.90	0.3674	2.05	0.1613		
0.23	1.1032	0.49	0.6748	0.92	0.3594	2.10	0.1575		
0.24	1.1032	0.50	0.6613	0.94	0.3518	2.15	0.1538		
0.25	1.1032	0.51	0.6483	0.96	0.3444	2.20	0.1503		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.464	2.376	--	0.100	0.300	2.328	0.464	1.103	2.551

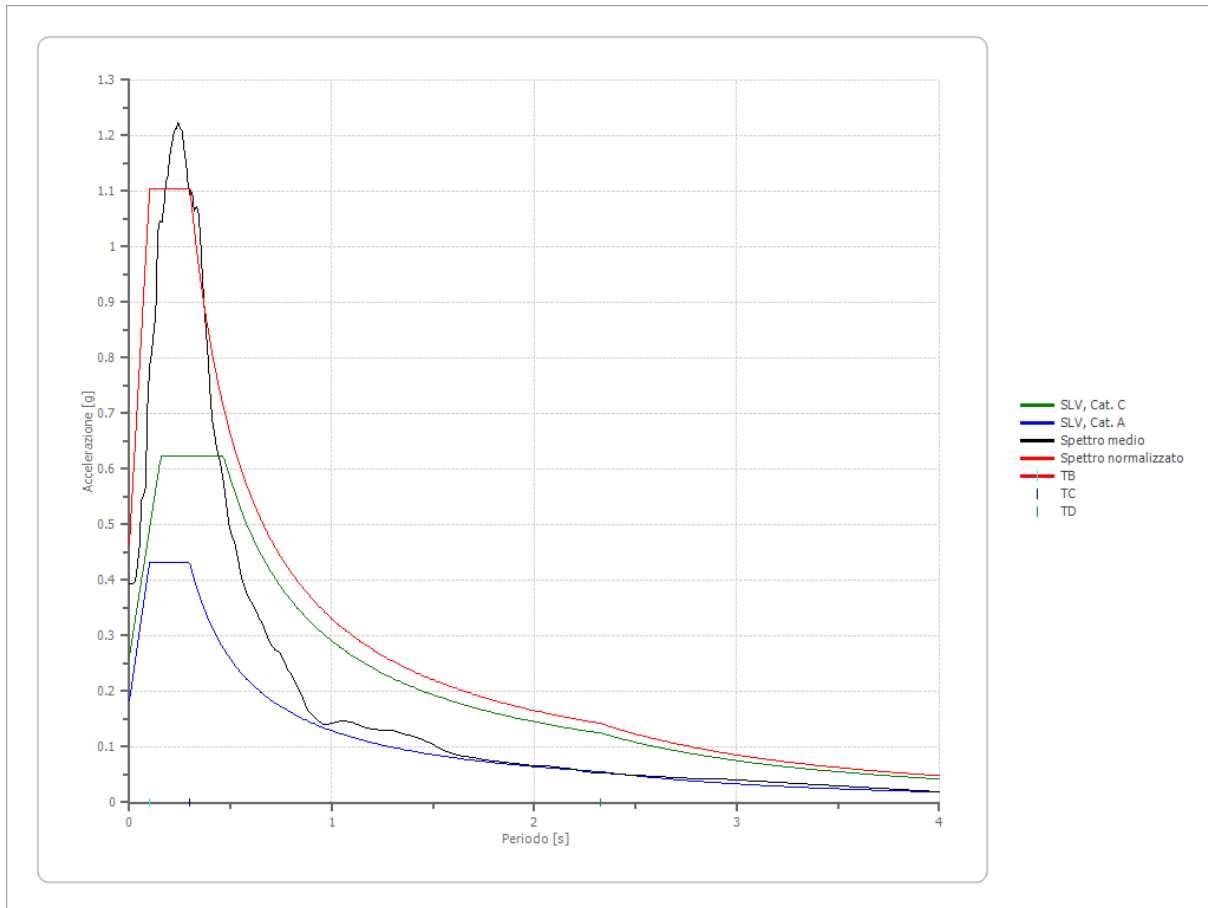
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

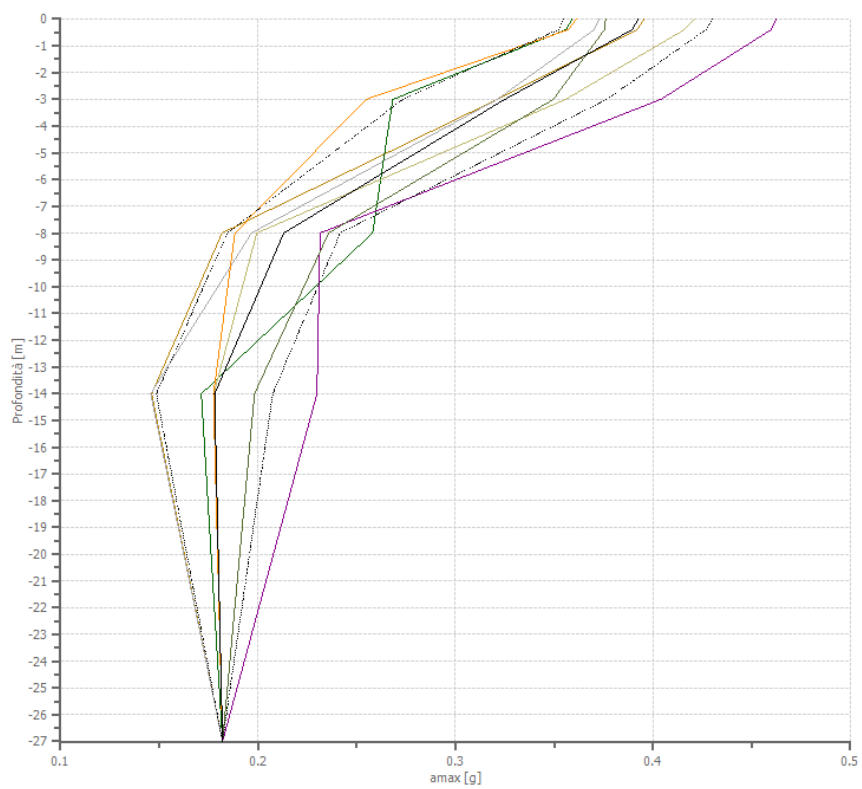
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	0.4 [m]	3.0 [m]	8.0 [m]	14.0 [m]	27.0 [m]
000365xa_re cord [g]	0.396	0.392	0.321	0.182	0.146	0.182
000382xa_re cord [g]	0.373	0.370	0.321	0.197	0.146	0.182
000383xa_re cord [g]	0.359	0.356	0.268	0.258	0.171	0.182
000811ya_re cord [g]	0.421	0.416	0.356	0.199	0.178	0.182
005085xa_re cord [g]	0.463	0.460	0.404	0.231	0.230	0.182
005259xa_re cord [g]	0.376	0.375	0.350	0.236	0.198	0.182
005655xa_re cord [g]	0.361	0.357	0.255	0.188	0.177	0.182
media [g]	0.393	0.389	0.325	0.213	0.178	0.182
Dev. St. [g]	0.038	0.037	0.052	0.029	0.029	0.000



- 000365xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 005085xa_record
- 005259xa_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- amax media - dev.st

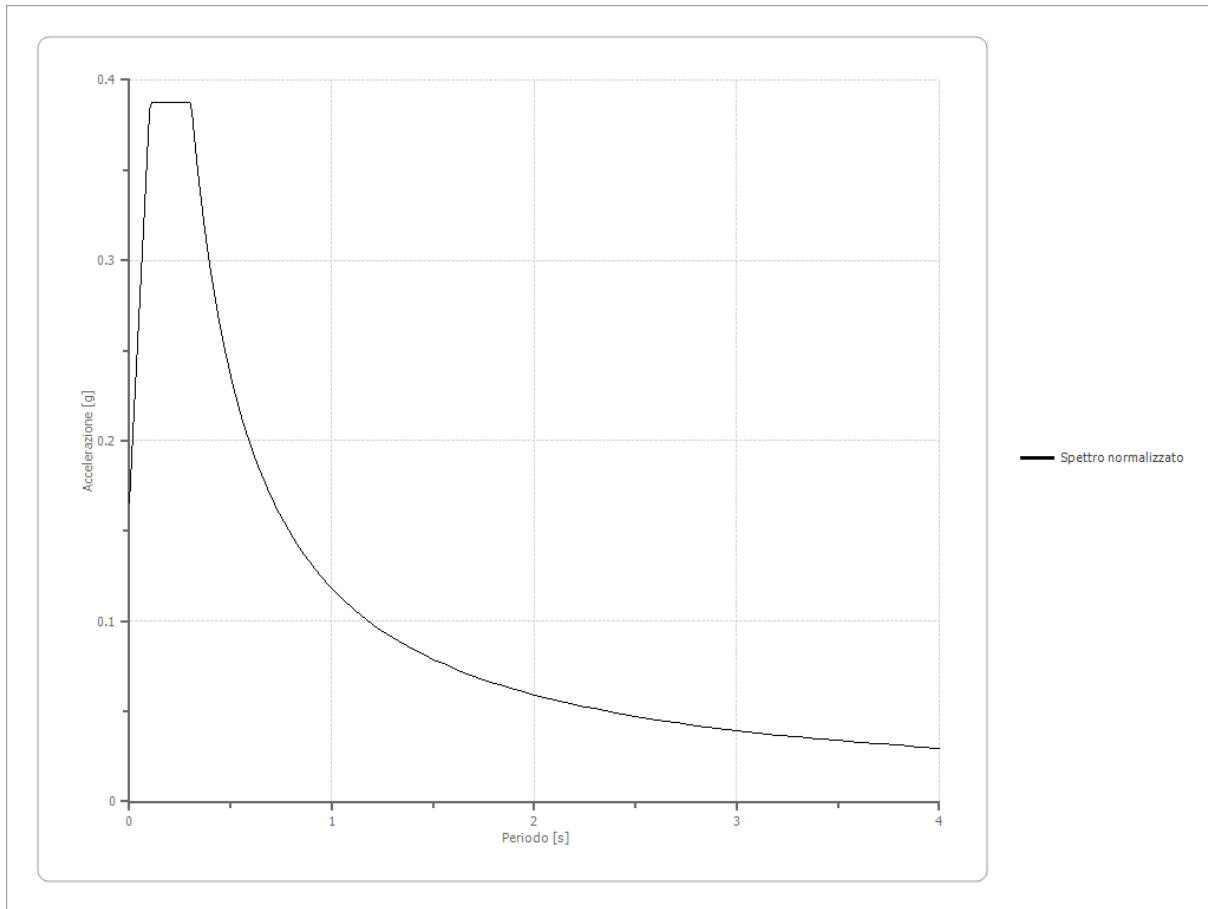
Indice

Dati generali	.7
Terreni	.7
Idriss (1990) Rock	.7
Argille 1 (Hardin e Drnevich)	.8
Stratigrafia	.9
Elaborazione	.10
File 000365xa_record	.11
Accelerogramma importato	.11
Amplificazione	.12
Accelerazione	.13
Velocità	.14
Spostamento	.15
Deformazione	.16
Tensione	.17
Energia dissipata	.18
Trasformata di Fourier	.19
Spettri	.19
Spostamento	.19
Accelerazione	.20
Velocità	.21
File 000382xa_record	.22
Accelerogramma importato	.22
Amplificazione	.24
Accelerazione	.24
Velocità	.25
Spostamento	.26
Deformazione	.27
Tensione	.28
Energia dissipata	.29
Trasformata di Fourier	.30
Spettri	.30
Spostamento	.30
Accelerazione	.31
Velocità	.32
File 000383xa_record	.33
Accelerogramma importato	.33
Amplificazione	.35
Accelerazione	.35
Velocità	.36
Spostamento	.37
Deformazione	.38
Tensione	.39
Energia dissipata	.40
Trasformata di Fourier	.41
Spettri	.41
Spostamento	.41
Accelerazione	.42
Velocità	.43
File 000811ya_record	.44

Accelerogramma importato	.44
Amplificazione	.46
Accelerazione	.46
Velocità	.47
Spostamento	.48
Deformazione	.49
Tensione	.50
Energia dissipata	.51
Trasformata di Fourier	.52
Spettri	.52
Spostamento	.52
Accelerazione	.53
Velocità	.54
File 005085xa_record	.55
Accelerogramma importato	.55
Amplificazione	.57
Accelerazione	.57
Velocità	.58
Spostamento	.59
Deformazione	.60
Tensione	.61
Energia dissipata	.62
Trasformata di Fourier	.63
Spettri	.63
Spostamento	.63
Accelerazione	.64
Velocità	.65
File 005259xa_record	.66
Accelerogramma importato	.66
Amplificazione	.68
Accelerazione	.68
Velocità	.69
Spostamento	.70
Deformazione	.71
Tensione	.72
Energia dissipata	.73
Trasformata di Fourier	.74
Spettri	.74
Spostamento	.74
Accelerazione	.75
Velocità	.76
File 005655xa_record	.77
Accelerogramma importato	.77
Amplificazione	.79
Accelerazione	.79
Velocità	.80
Spostamento	.81
Deformazione	.82
Tensione	.83
Energia dissipata	.84
Trasformata di Fourier	.85

Spettri	.85
Spostamento	.85
Accelerazione	.86
Velocità	.87
Fattori di amplificazione ICMS 2008	.88
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.88
Spettro medio di risposta elastico	.89
Spettro normalizzato di risposta elastico	.89
Confronto tra gli spettri	.90
Confronto spettro normativa	.91
Profilo a max	.92
Indice	.94

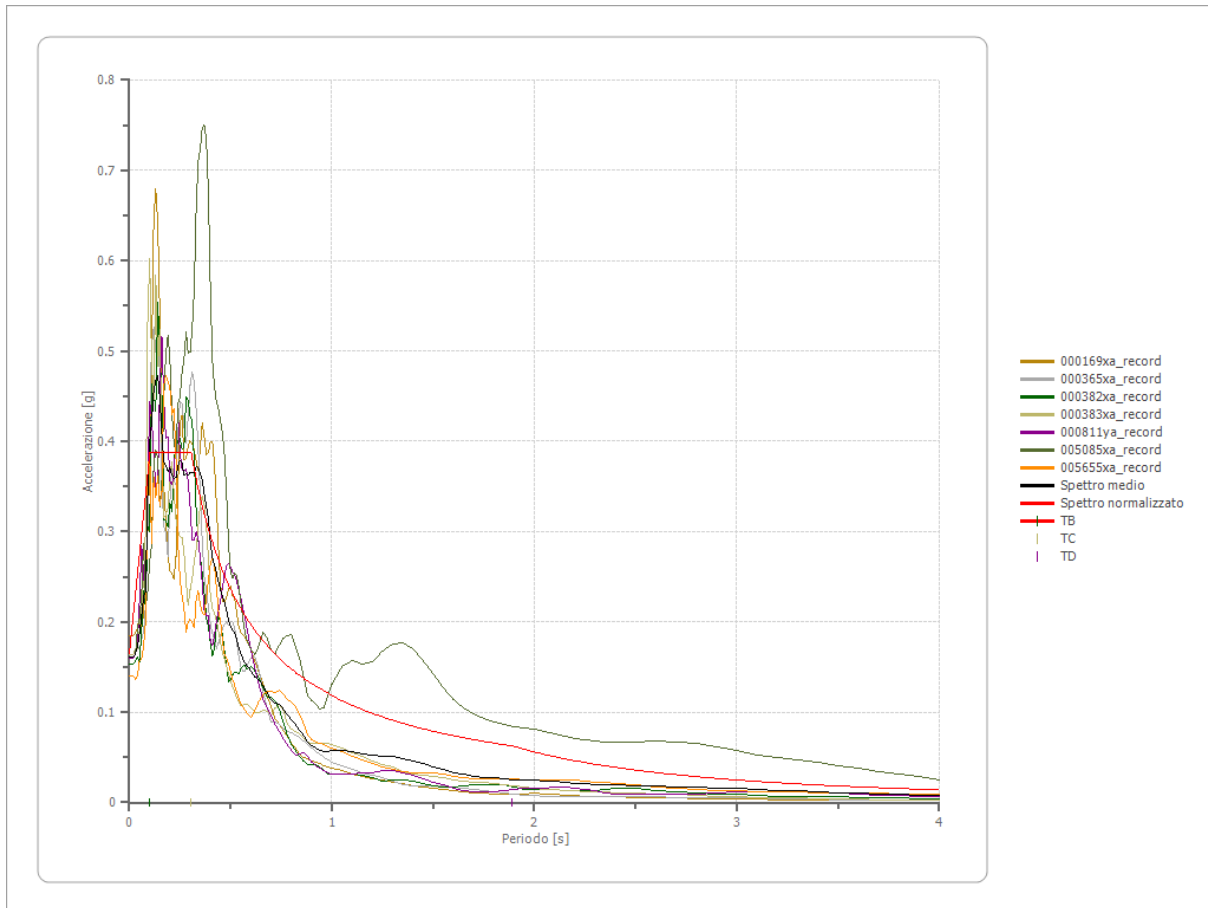
Spettro normalizzato di risposta elastico RSLIII SLD MASW N. 3



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.166	2.342	--	0.102	0.305	1.892	0.166	0.388	2.267

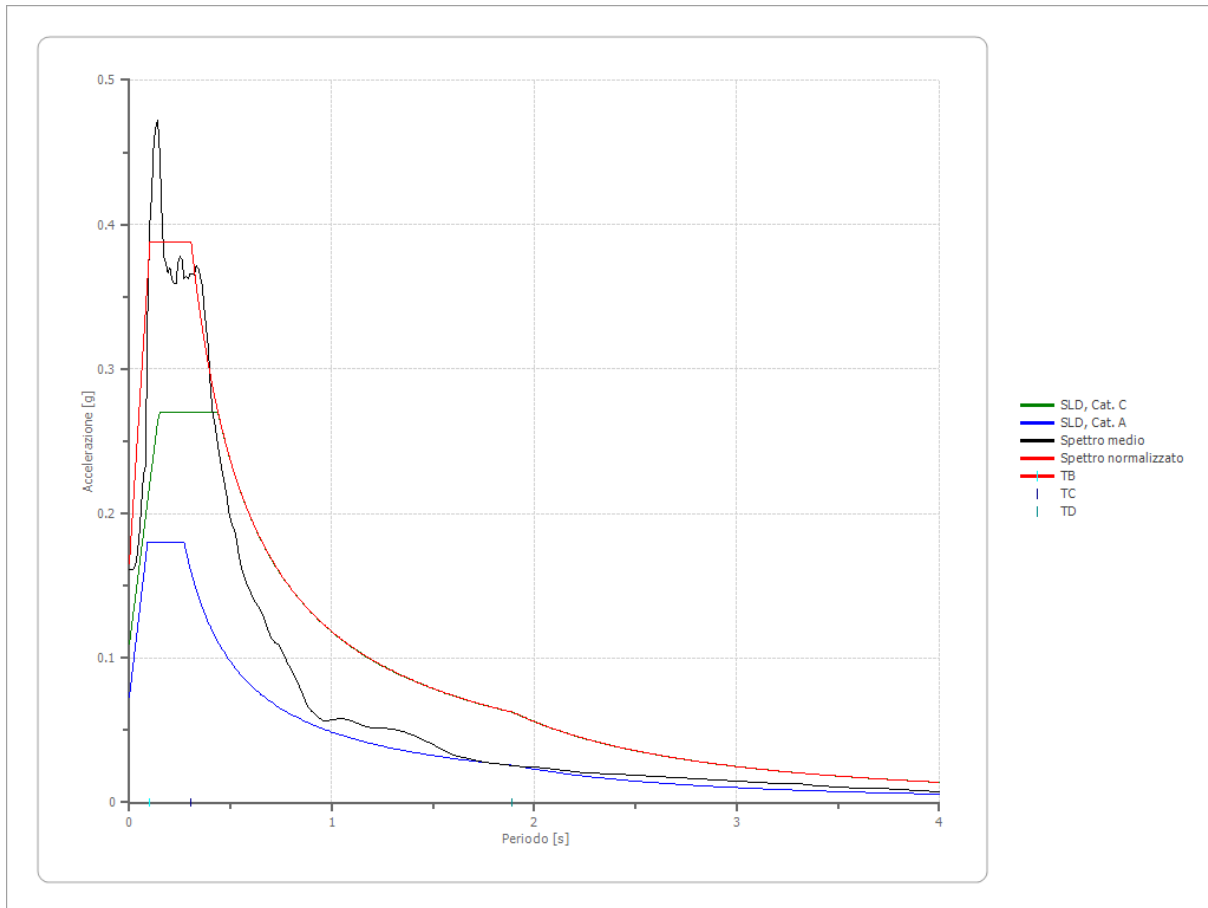
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

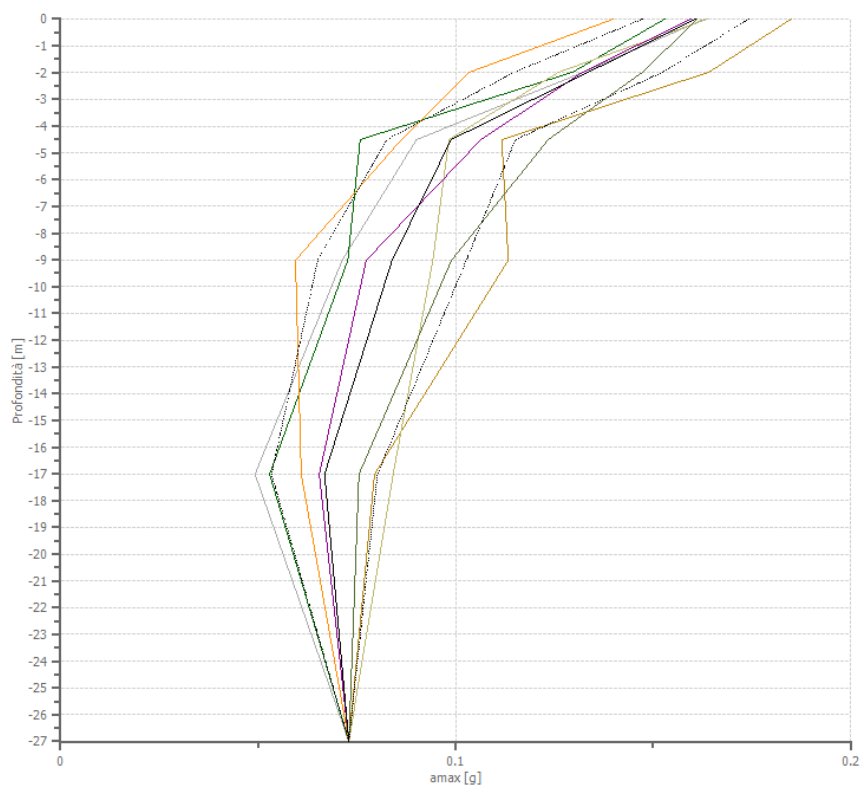
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	2.0 [m]	4.5 [m]	9.0 [m]	17.0 [m]	27.0 [m]
000169xa_re cord [g]	0.185	0.164	0.112	0.113	0.079	0.073
000365xa_re cord [g]	0.163	0.132	0.090	0.071	0.049	0.073
000382xa_re cord [g]	0.153	0.130	0.076	0.073	0.053	0.073
000383xa_re cord [g]	0.164	0.126	0.098	0.094	0.084	0.073
000811ya_re cord [g]	0.160	0.132	0.106	0.077	0.065	0.073
005085xa_re cord [g]	0.161	0.147	0.123	0.099	0.076	0.073
005655xa_re cord [g]	0.140	0.104	0.086	0.059	0.061	0.073
media [g]	0.161	0.134	0.099	0.084	0.067	0.073
Dev. St. [g]	0.014	0.019	0.016	0.019	0.013	0.000

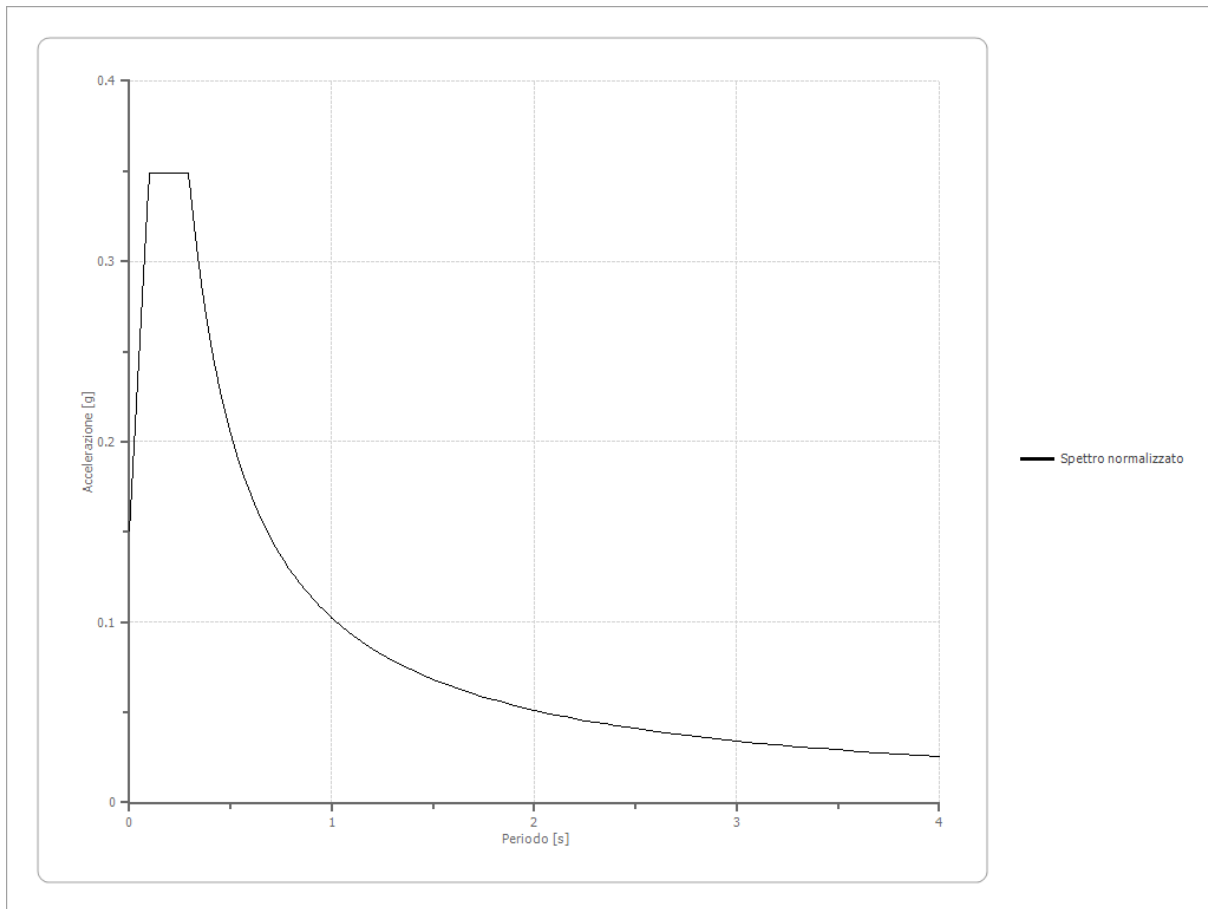


- 000169xa_record
- 000365xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 005085xa_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- amax media - dev.st

Indice

Spettro normalizzato di risposta elastico	.7
Confronto tra gli spettri	.7
Confronto spettro normativa	.8
Profilo a max	.9
Indice	.11

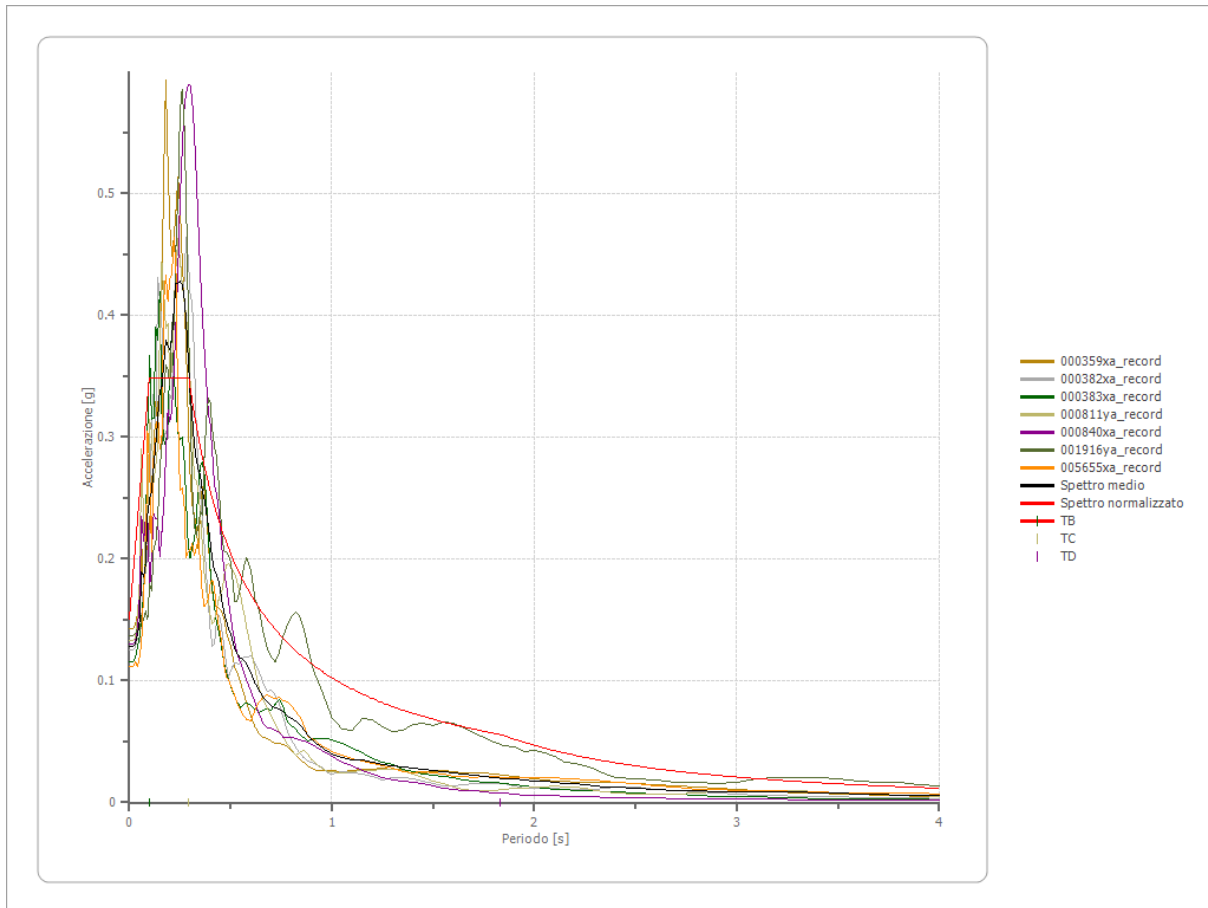
Spettro normalizzato di risposta elastico RSLIII SLO MASW N. 3



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.151	2.314	--	0.098	0.293	1.832	0.151	0.349	2.599

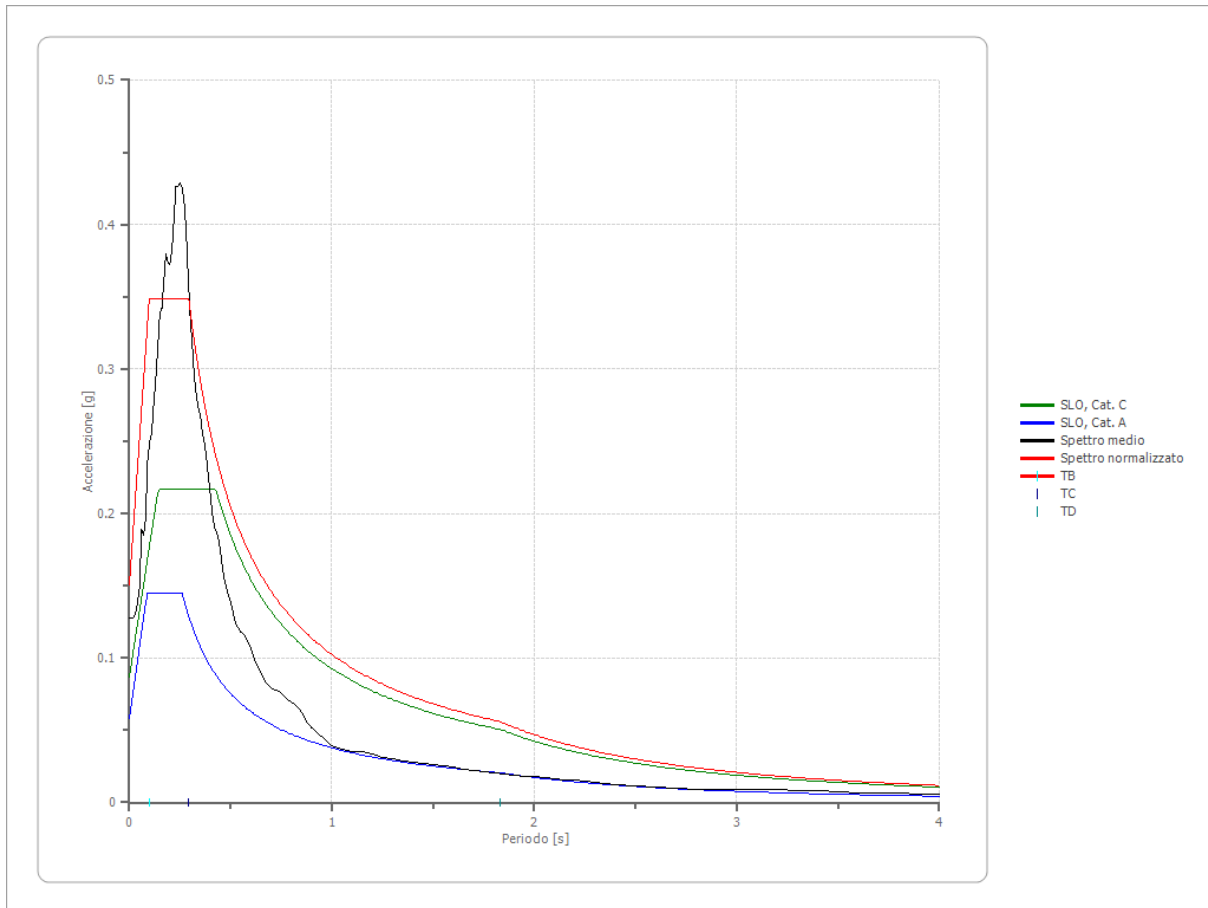
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

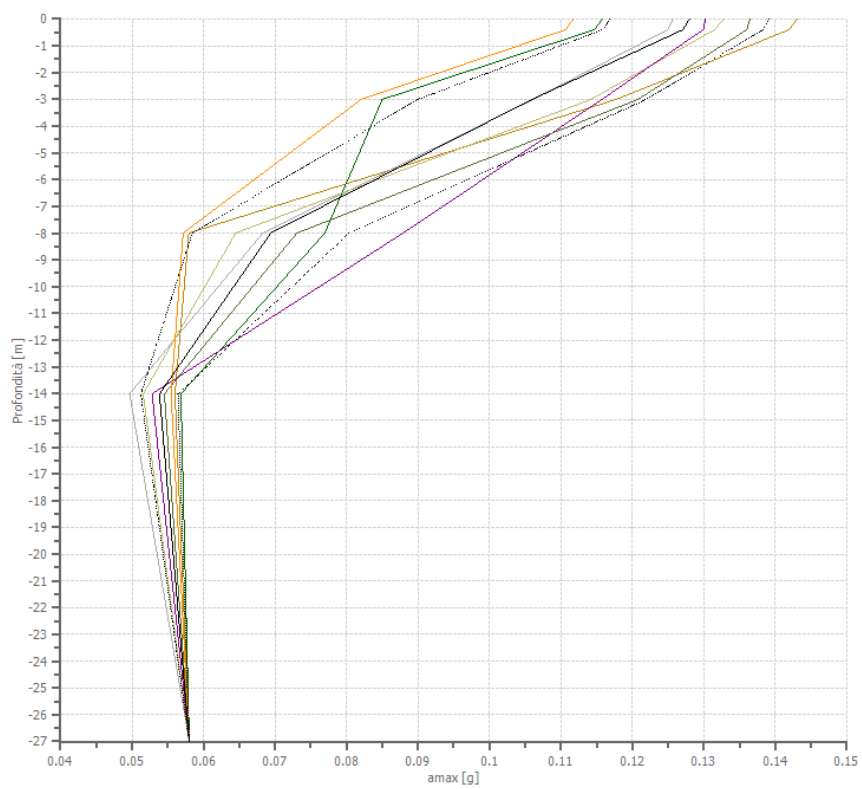
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	0.4 [m]	3.0 [m]	8.0 [m]	14.0 [m]	27.0 [m]
000359xa_re cord [g]	0.143	0.142	0.118	0.058	0.056	0.058
000382xa_re cord [g]	0.126	0.125	0.106	0.068	0.050	0.058
000383xa_re cord [g]	0.116	0.115	0.085	0.077	0.057	0.058
000811ya_re cord [g]	0.133	0.131	0.114	0.064	0.052	0.058
000840xa_re cord [g]	0.130	0.130	0.116	0.088	0.053	0.058
001916ya_re cord [g]	0.136	0.136	0.121	0.073	0.055	0.058
005655xa_re cord [g]	0.112	0.111	0.082	0.057	0.055	0.058
media [g]	0.128	0.127	0.106	0.069	0.054	0.058
Dev. St. [g]	0.011	0.011	0.016	0.011	0.003	0.000



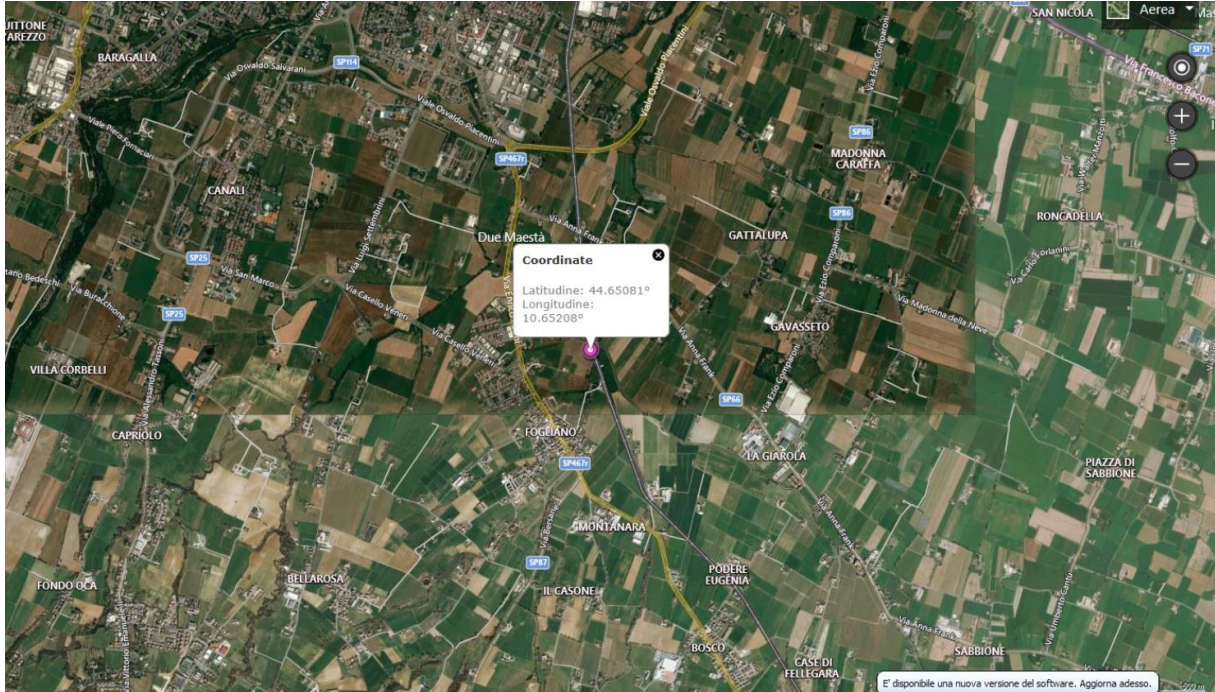
- 000359xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 000840xa_record
- 001916ya_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- amax media - dev.st

Indice

Spettro normalizzato di risposta elastico	.7
Confronto tra gli spettri	.7
Confronto spettro normativa	.8
Profilo a max	.9
Indice	.11

Dati generali RSLIII SLV MASW N. 4

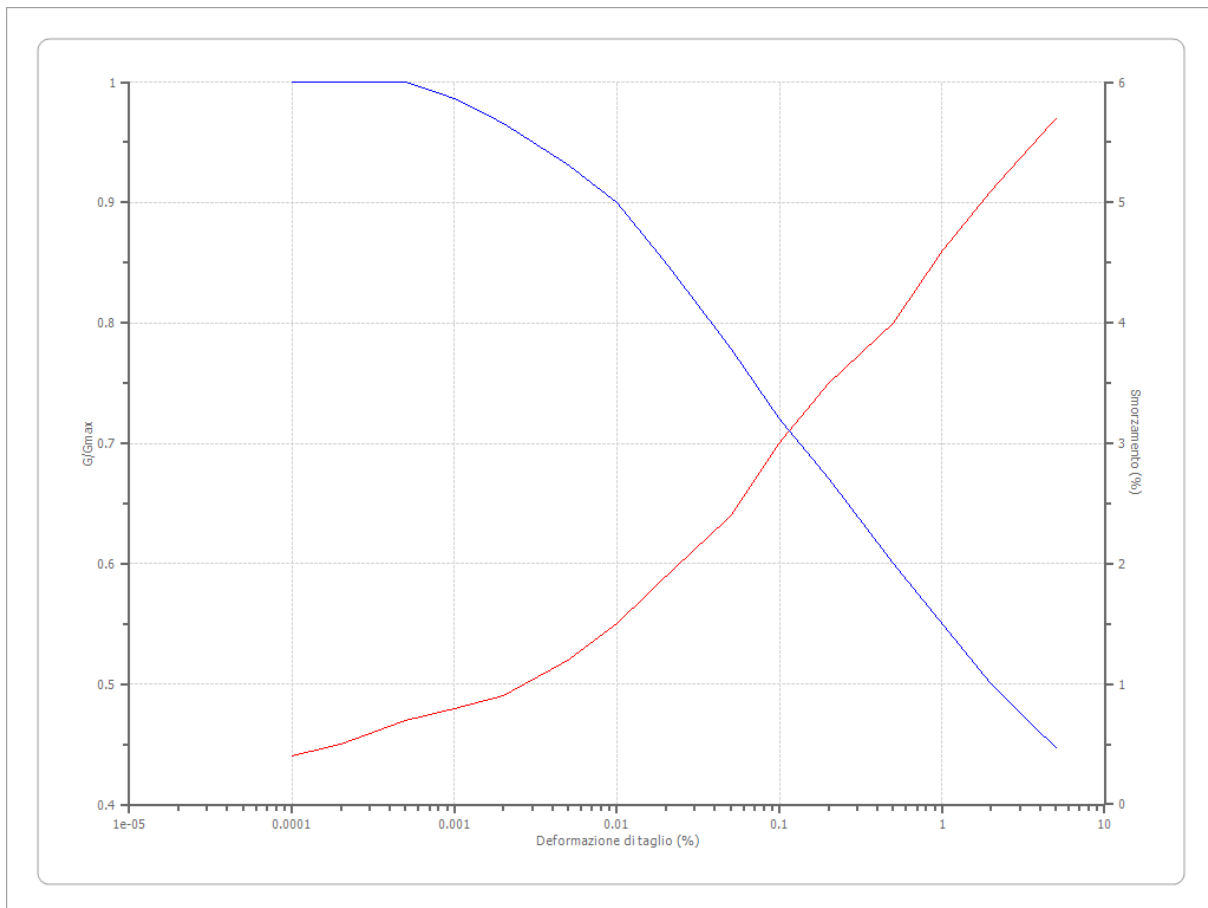
Data della prova d.C./11/2020
 Latitudine 44.65081[°]
 Longitudine 10.65208[°]



Terreni

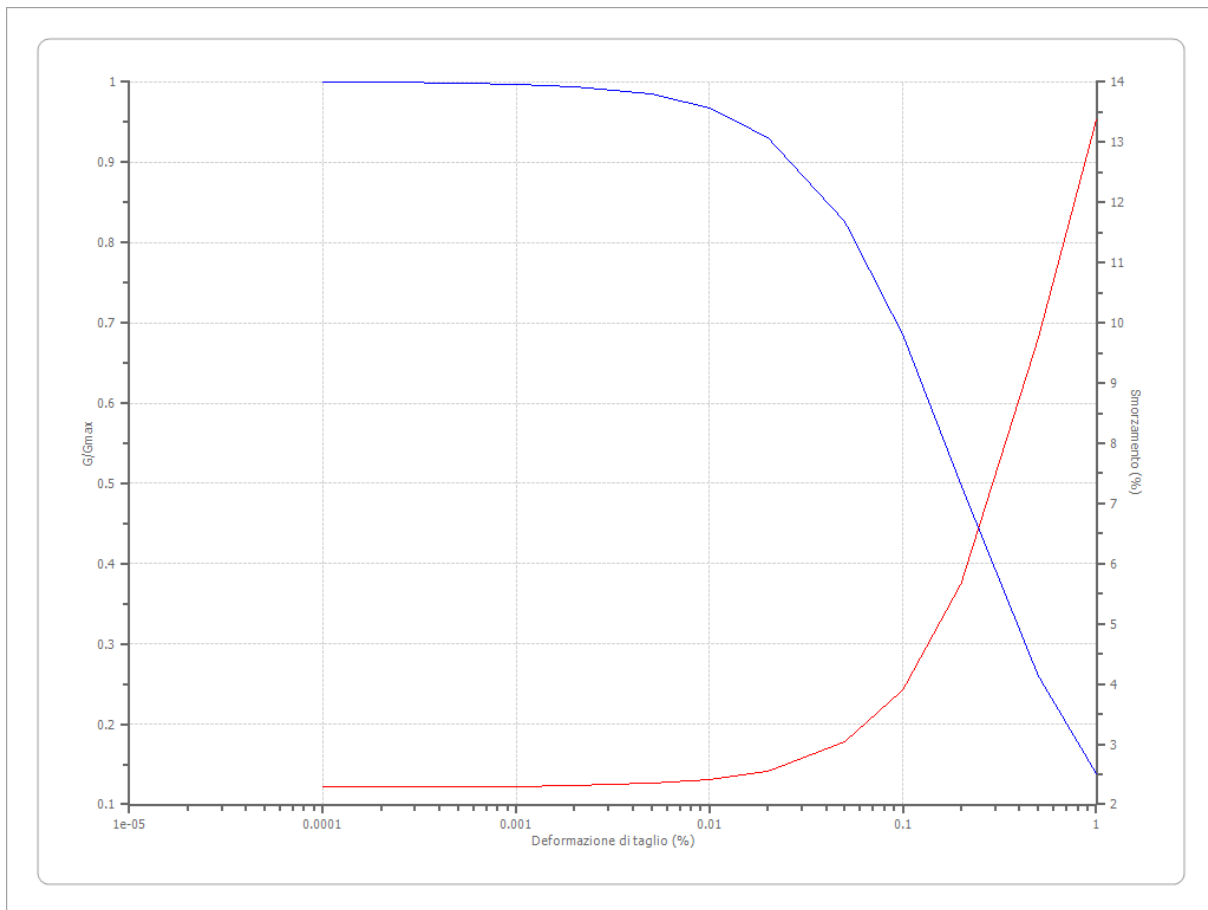
Idriss (1990) Rock

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



Argille 1 (Hardin e Drnevich)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.999814	0.0001	2.292169
0.0002	0.999592	0.0002	2.292953
0.0005	0.99885	0.0005	2.295579
0.001	0.997486	0.001	2.300422
0.002	0.99451	0.002	2.311031
0.005	0.984677	0.005	2.346566
0.010	0.967042	0.010	2.412195
0.020	0.930543	0.020	2.556218
0.050	0.826171	0.050	3.038566
0.100	0.684554	0.100	3.91201
0.200	0.497708	0.200	5.663003
0.500	0.260092	0.500	9.744892
1.000	0.138305	1.000	13.36791



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	2.0	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	31.97	--	16.0	140.0	16.0
2		2.0	2.5	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	36.70	--	16.0	150.0	52.0
3		4.5	4.5	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	83.87	--	17.0	220.0	110.3
4		9.0	8.0	Argille	0	114.68	--	18.0	250.0	220.5

				1 (Hardin e Drnevic h)						
5		17.0	10.0	Argille 1 (Hardin e Drnevic h)	0	237.26	--	19.0	350.0	387.5
6		oo	--	Idriss (1990) Rock	0	720.12	--	21.0	580.0	482.5

Strato rilevamento accelerogramma: 6 Affiorante

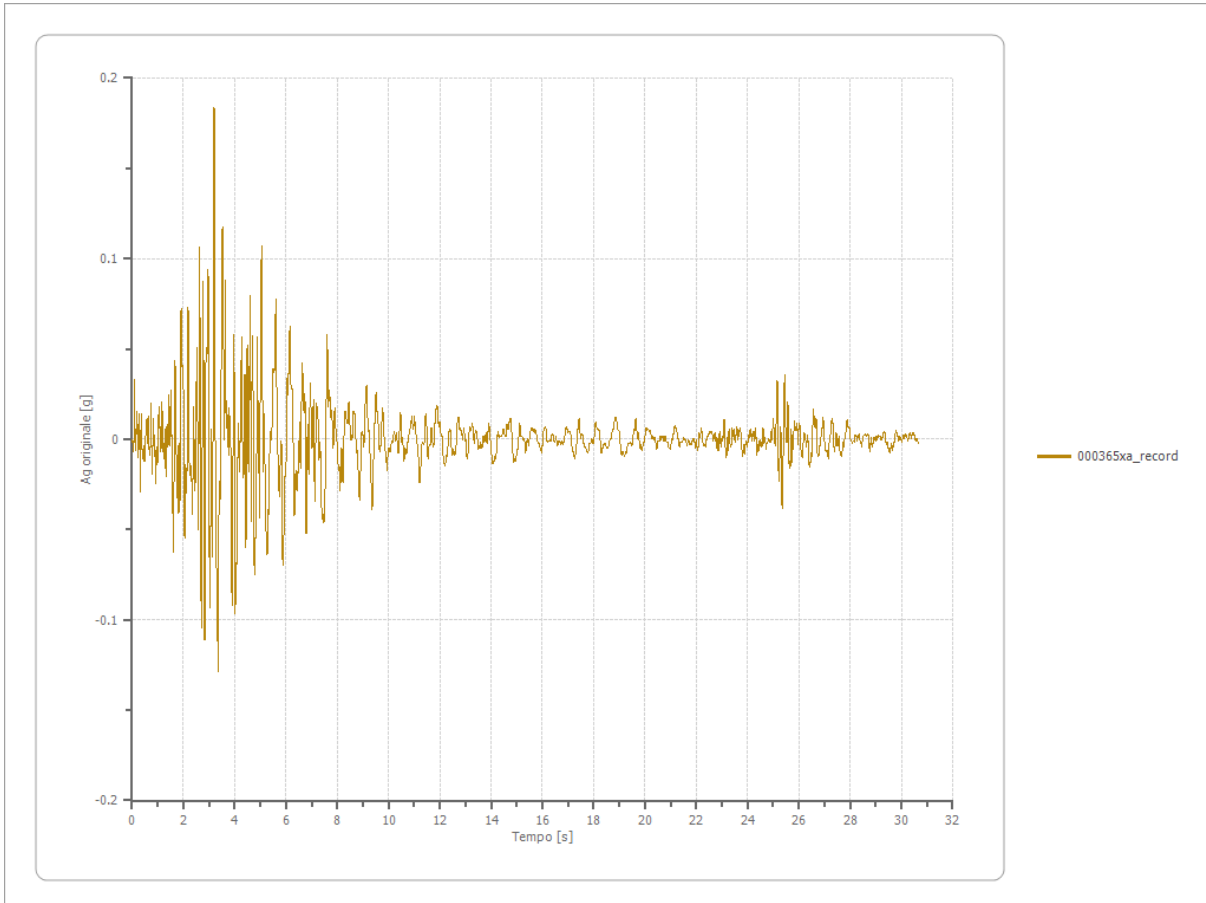
Elaborazione

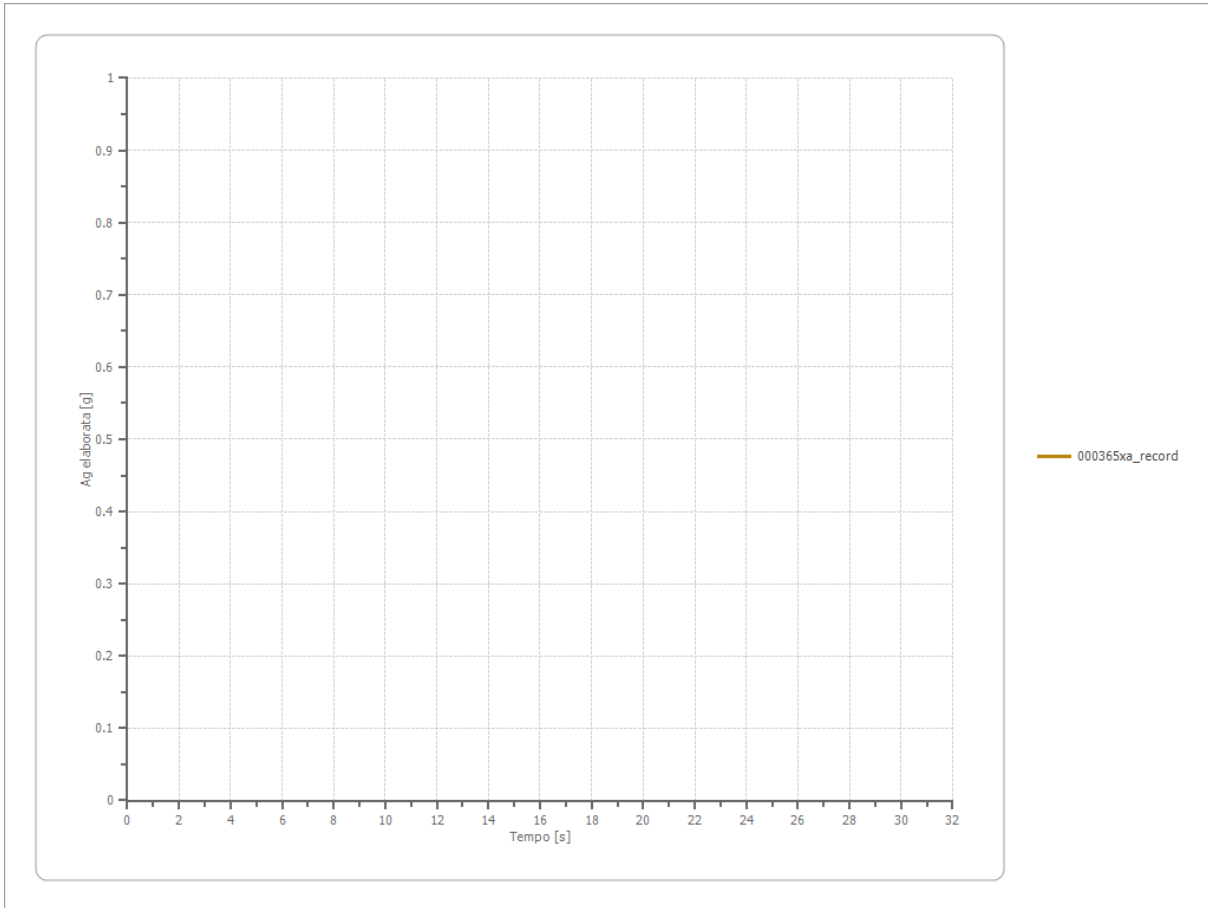
Numero di iterazioni 20
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 8.13 E-06

File 000365xa_record:

Accelerogramma importato

Nome del file	000365xa_record
Durata della traccia	30.670 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	3.200 [s]

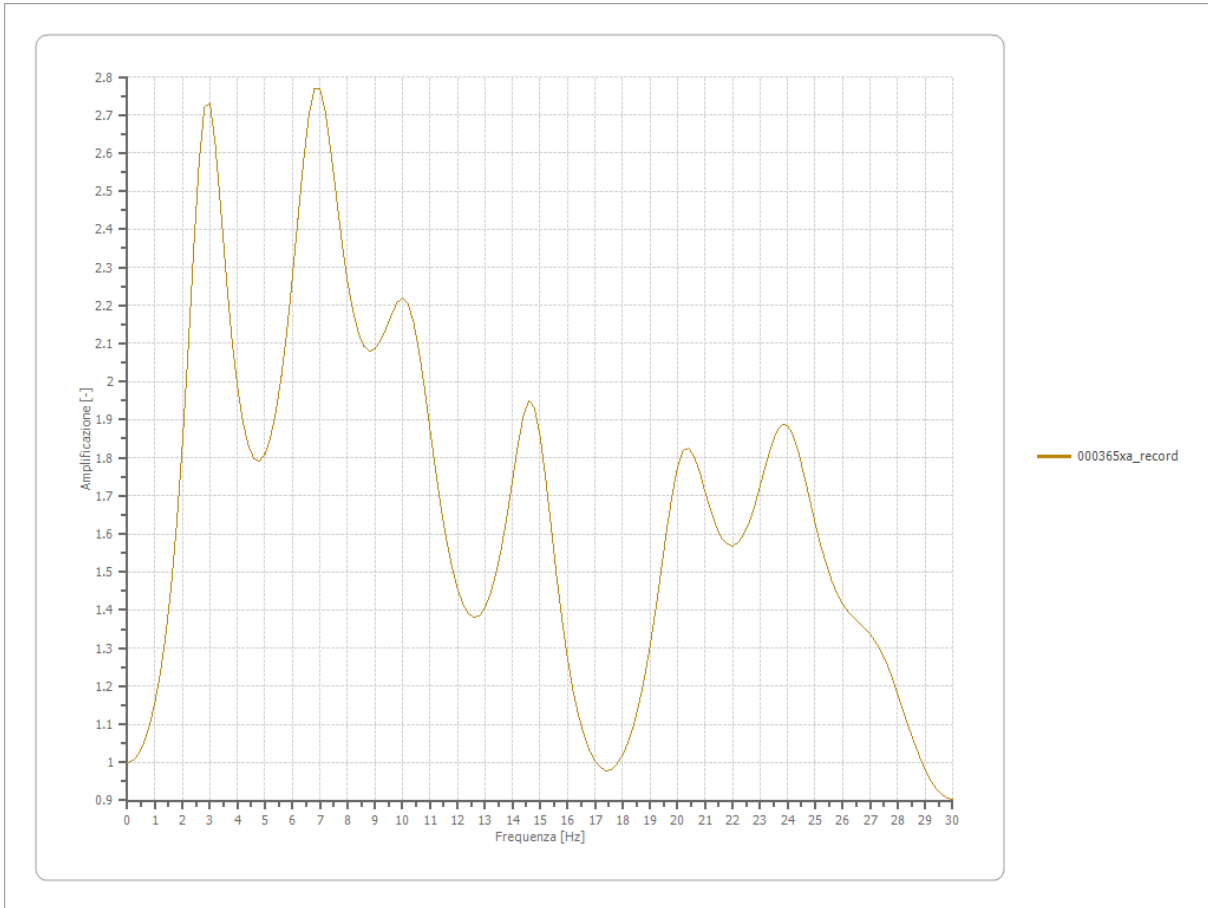




Amplificazione

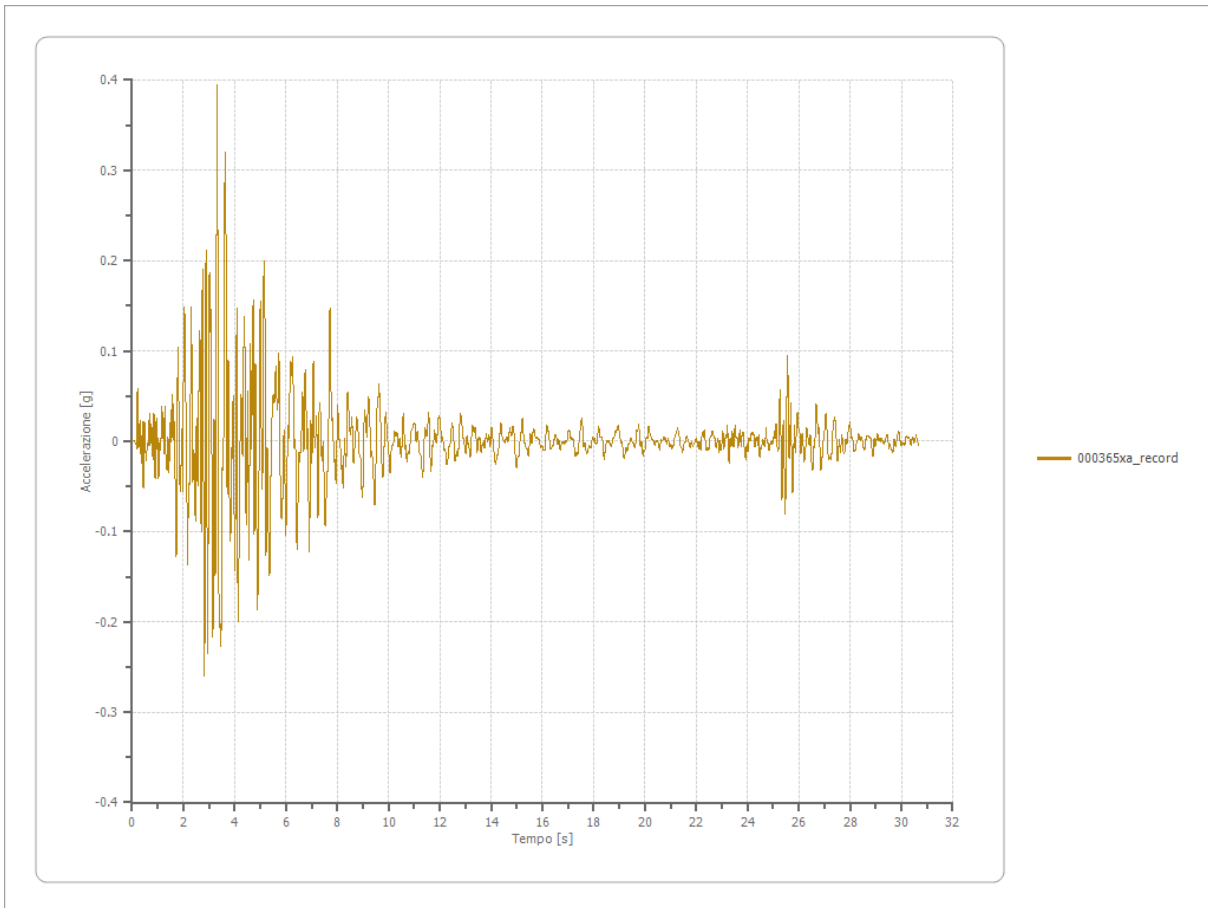
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

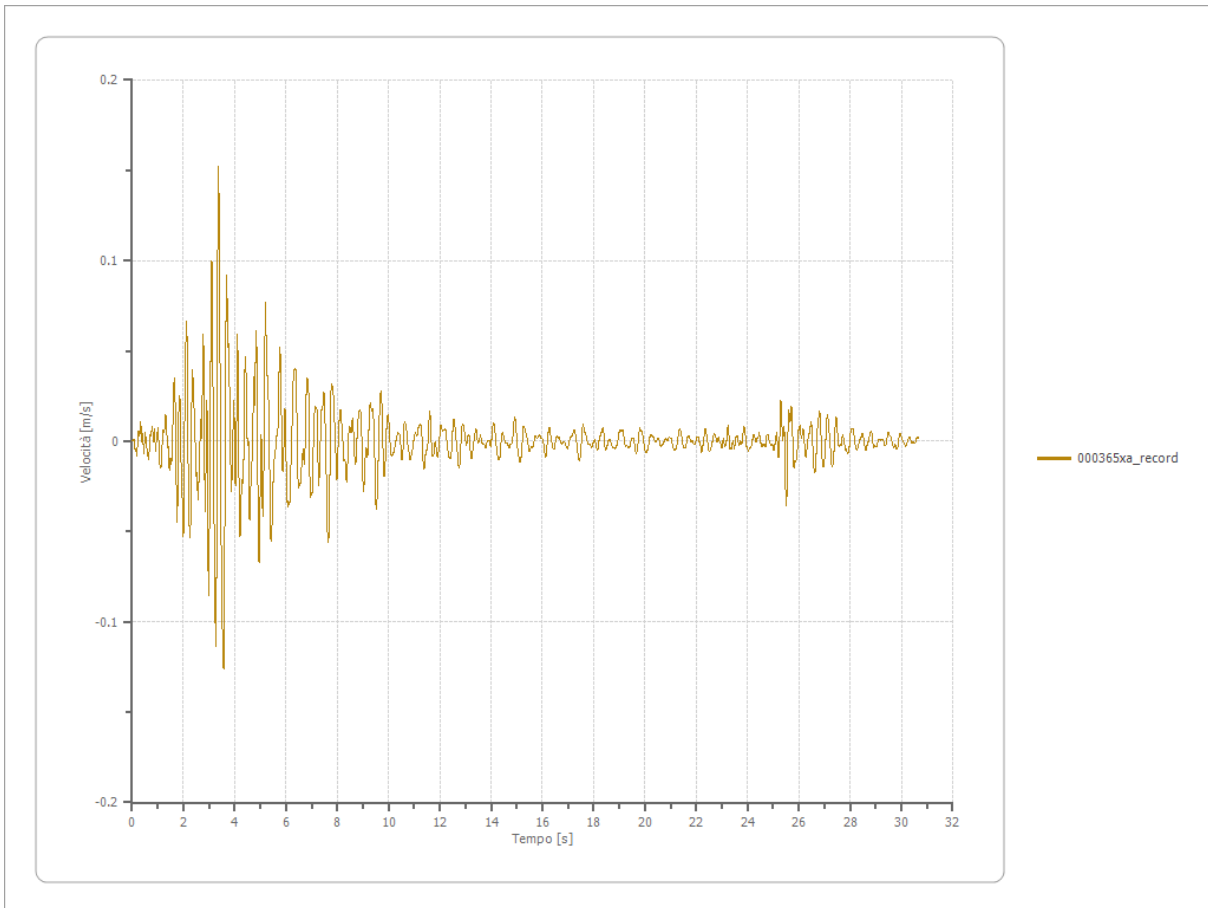
Strato	1 Affiorante
Pga	0.395 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	2.171
Accelerazione massima	0.395 [g]
Periodo accelerazione massima	3.310 [s]



Velocità

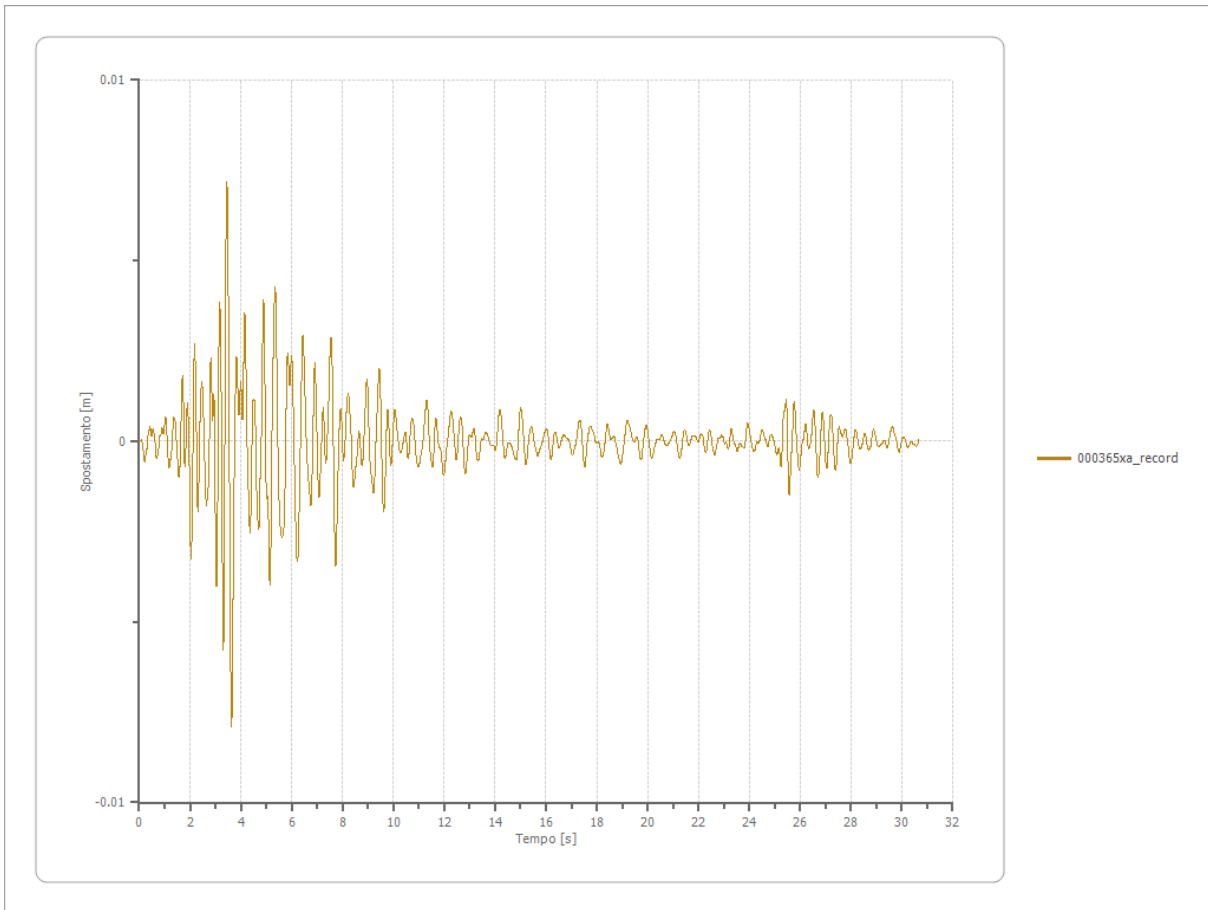
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.152 [m/s]
3.370 [s]



Spostamento

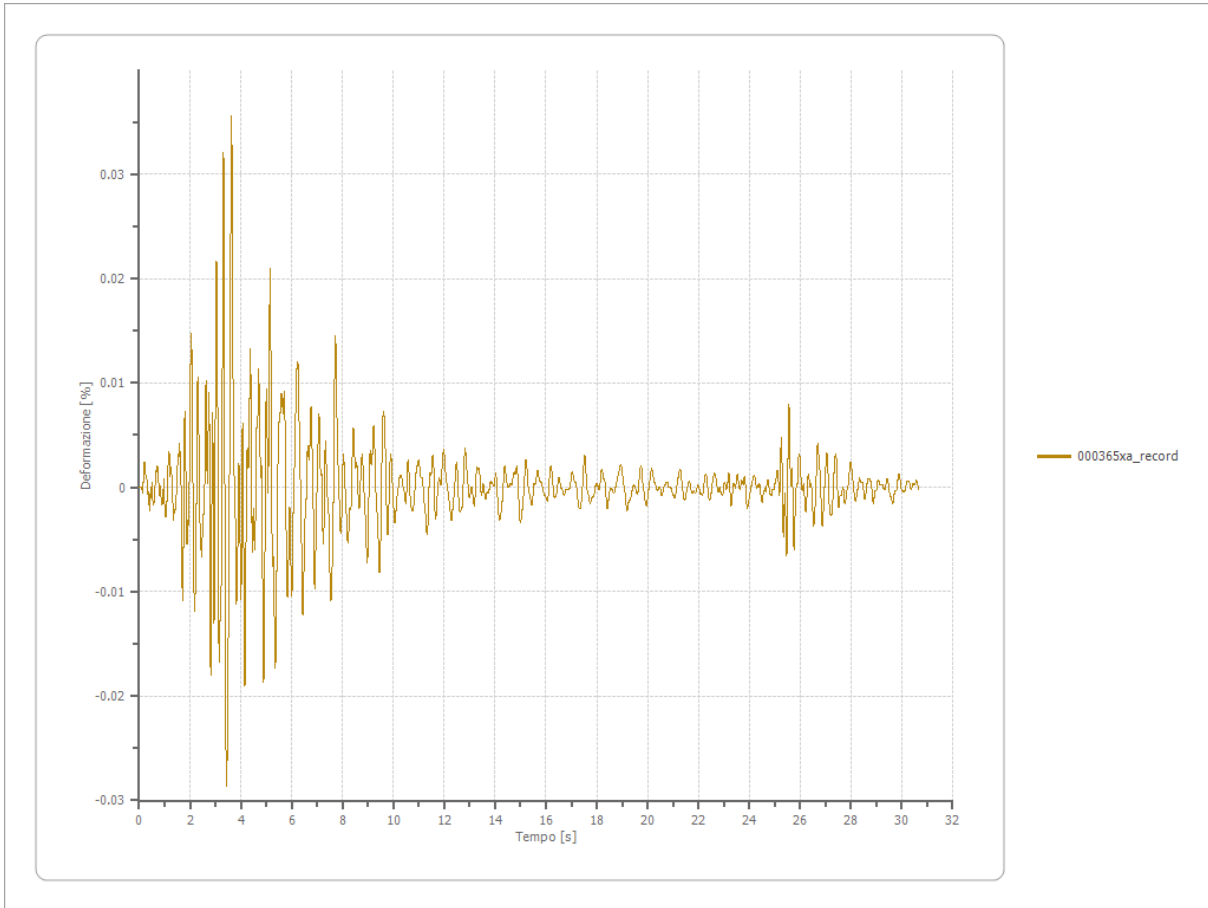
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.008 [m]
Periodo spostamento massimo	3.630 [s]



Deformazione

Numero di strati

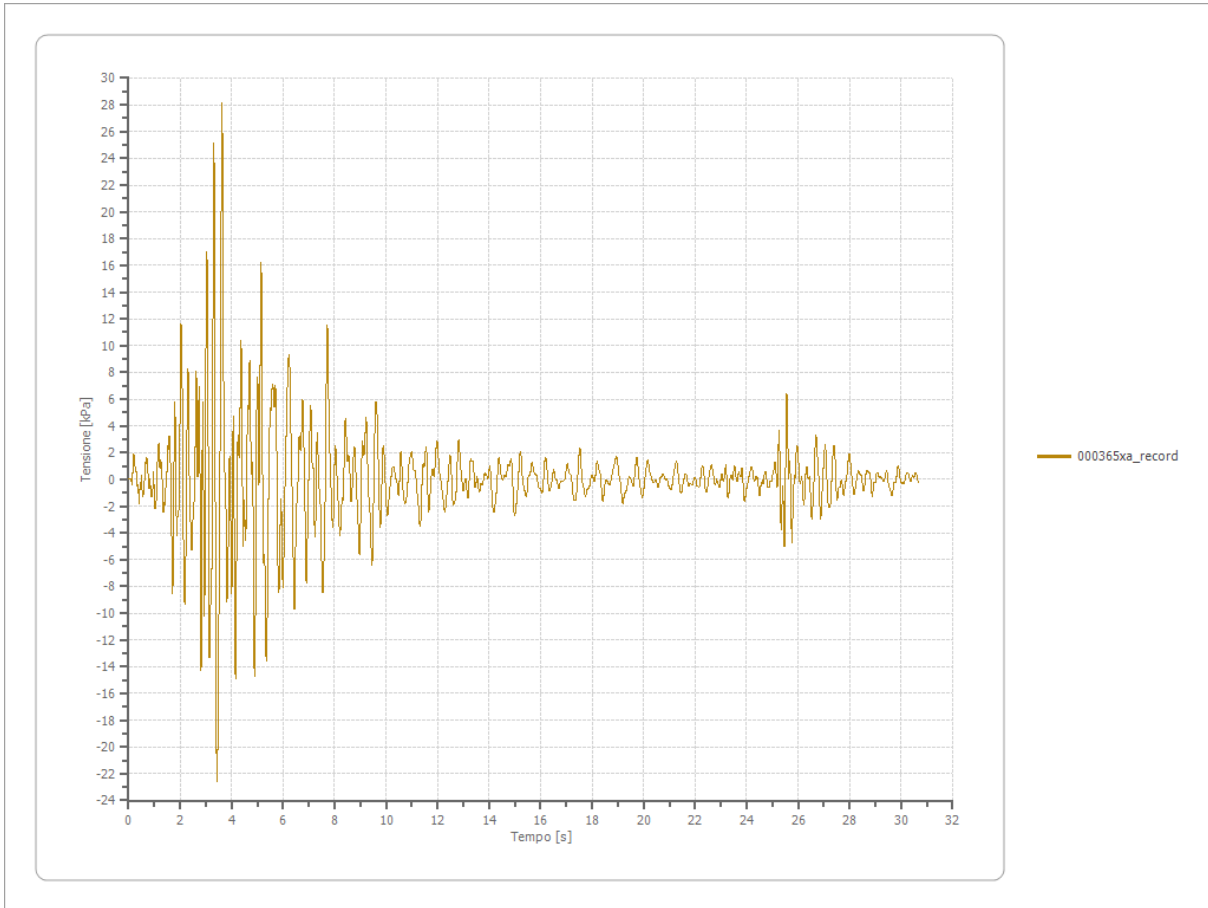
3



Tensione

Numero di strati

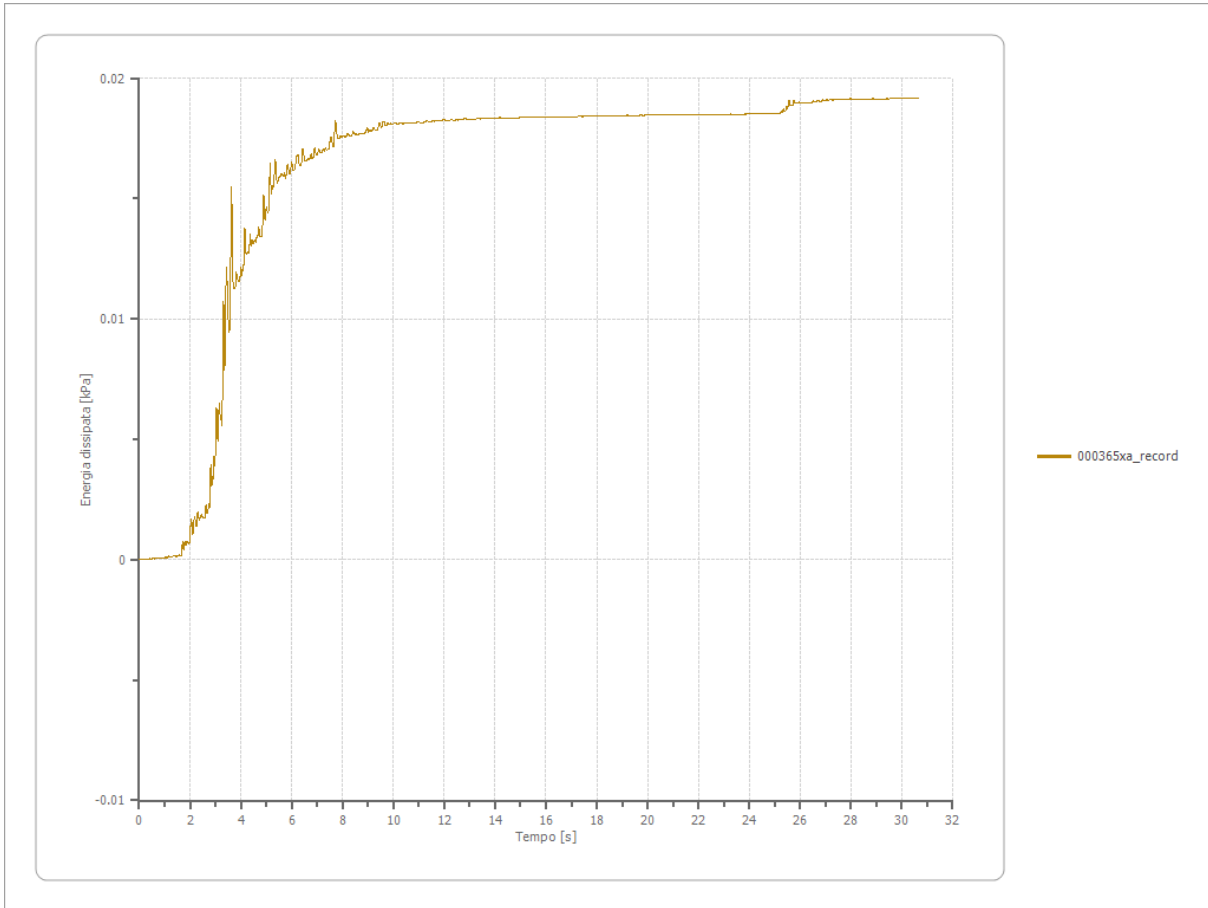
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



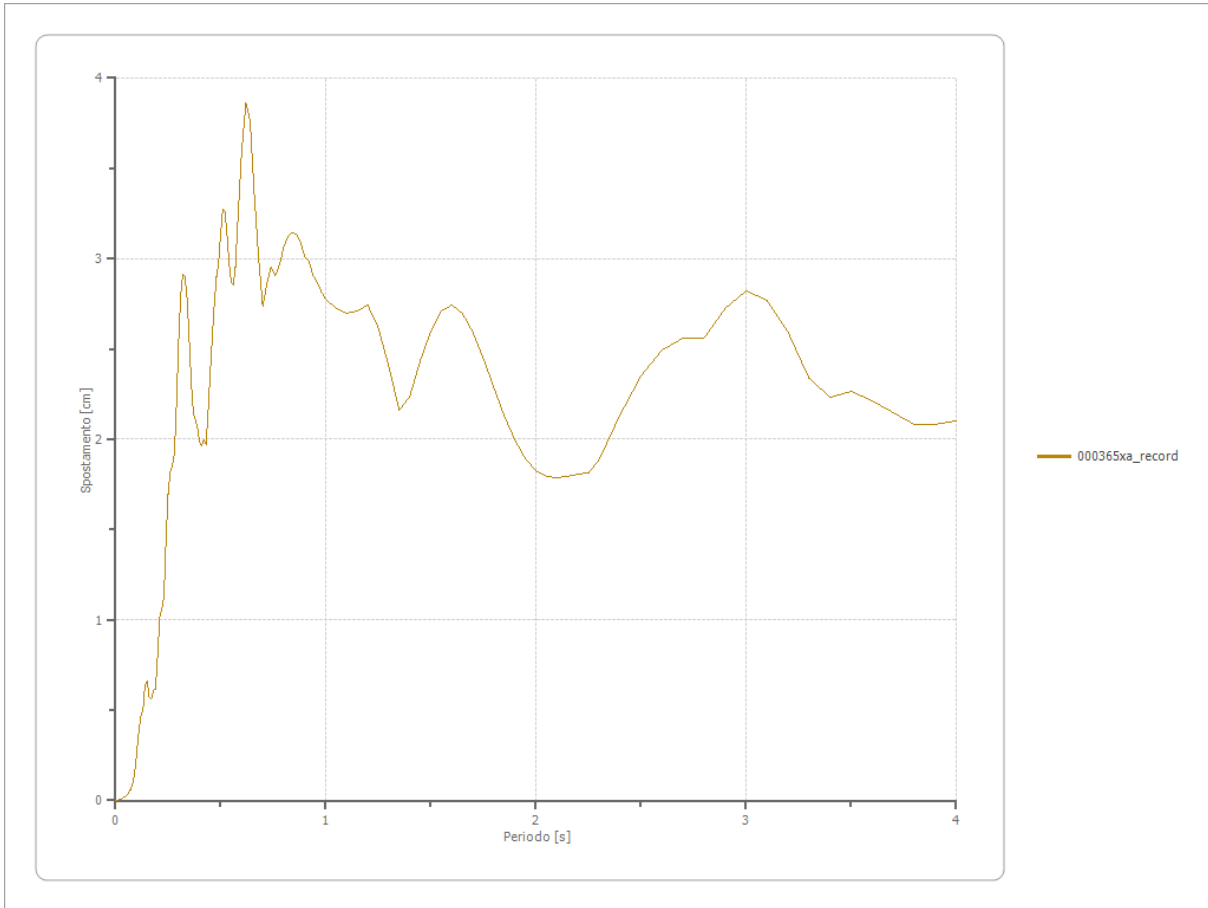
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

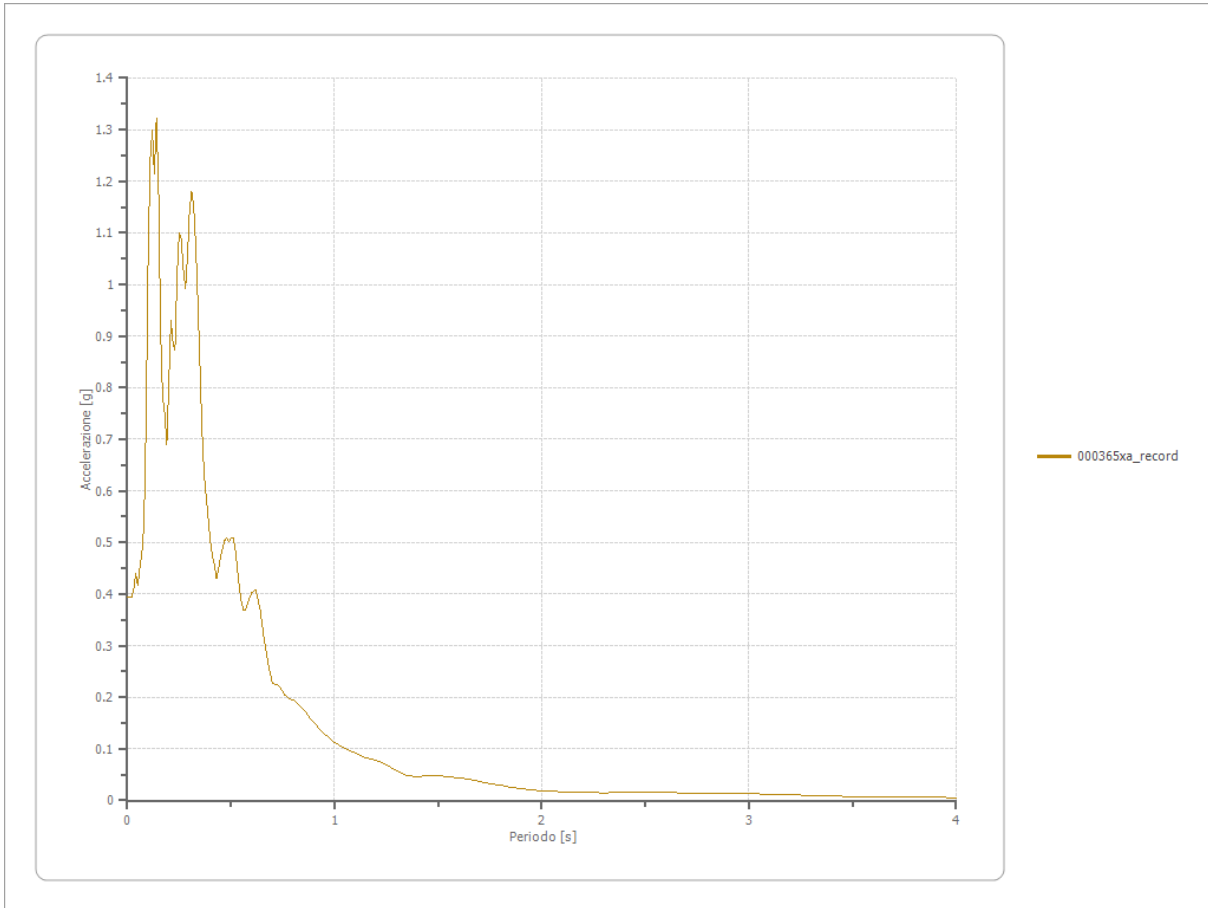
Spostamento

Spostamento massimo	3.864 [cm]
Periodo massimo spostamento	0.620 [s]



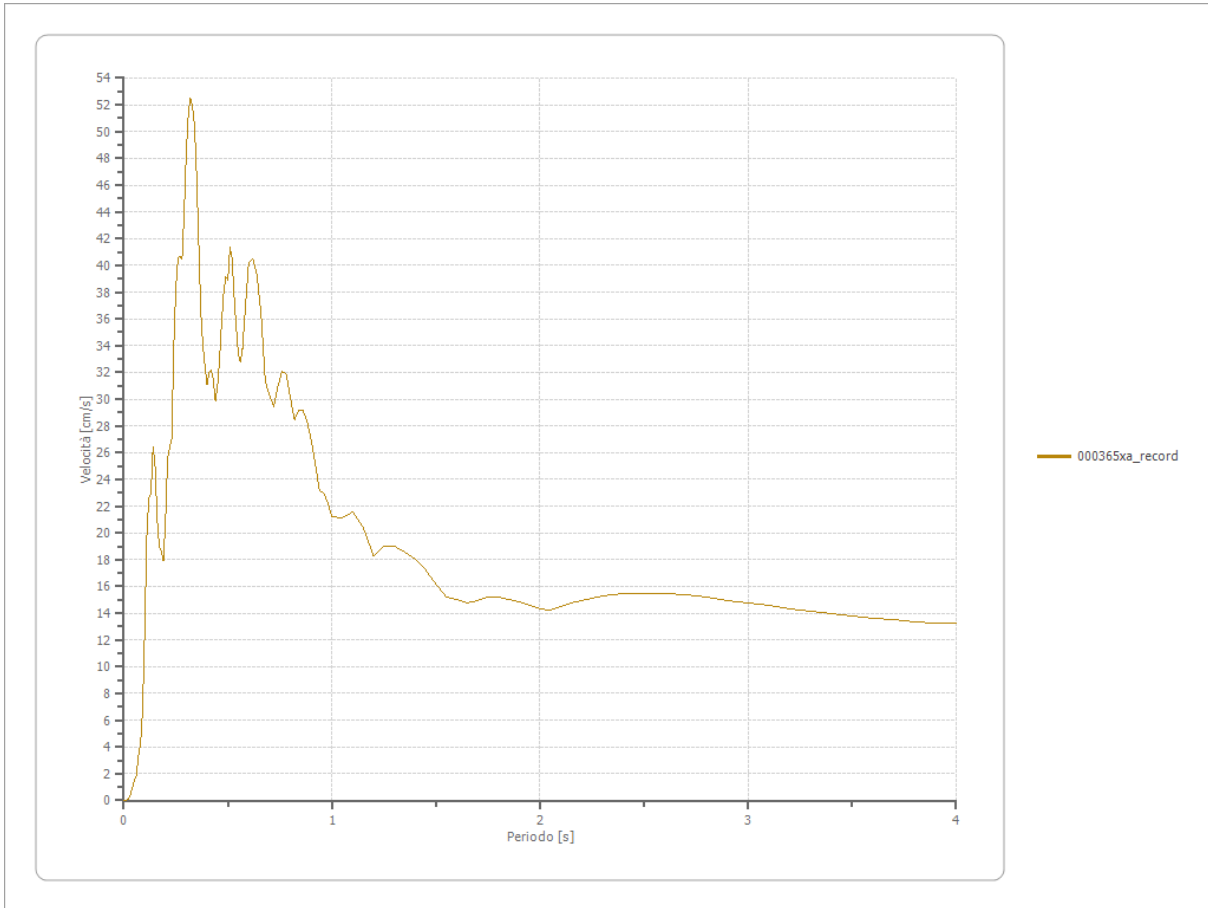
Accelerazione

Accelerazione massima	1.323 [g]
Periodo accelerazione massima	0.140 [s]



Velocità

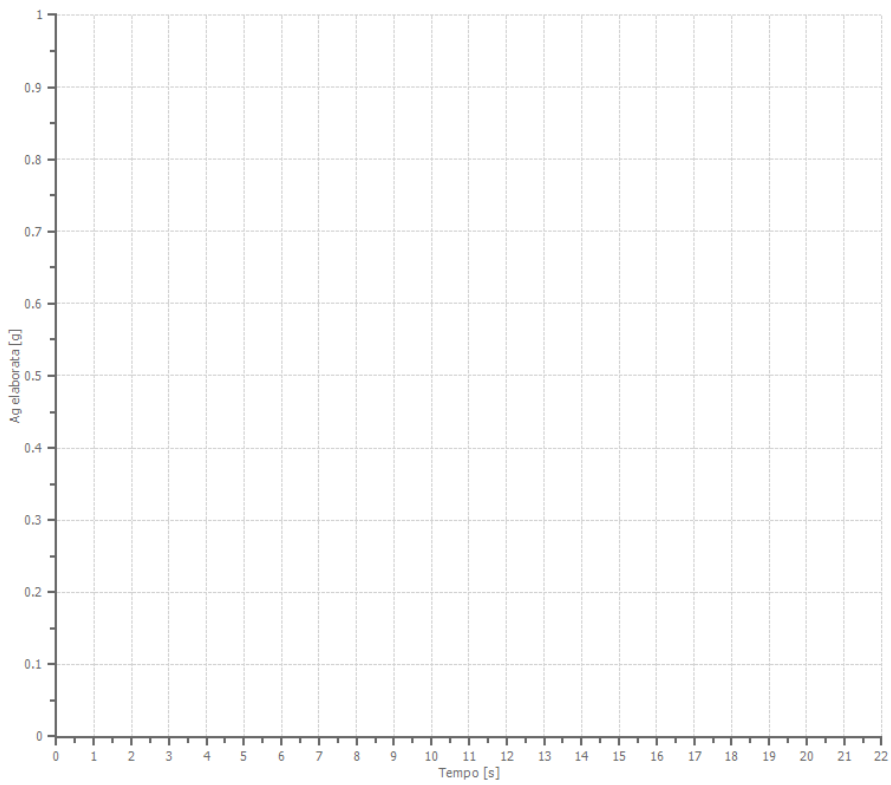
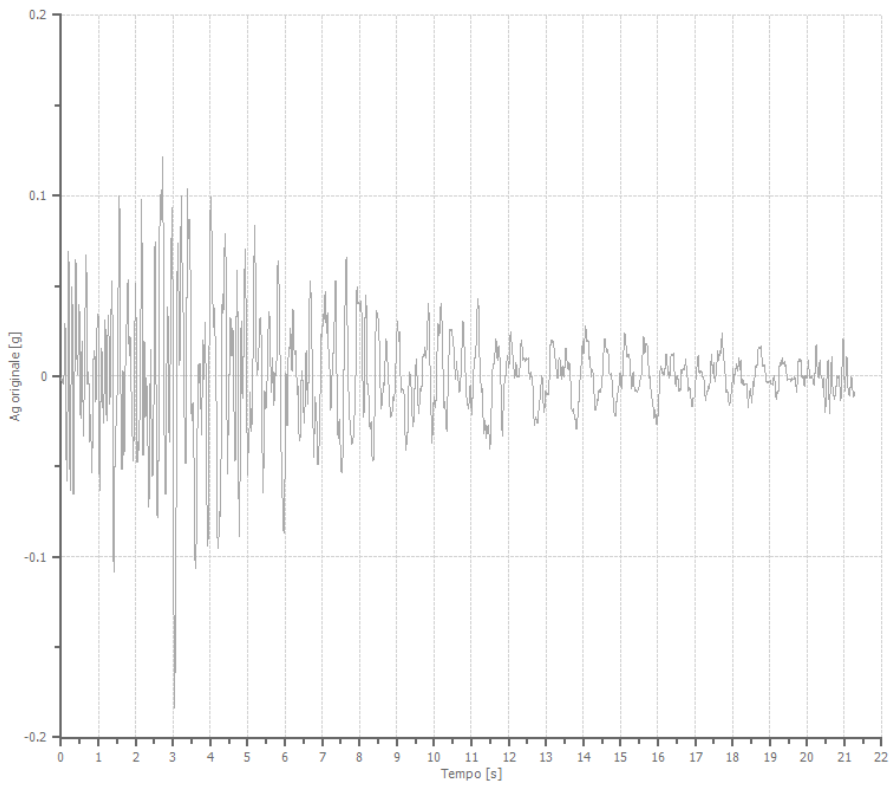
Velocità massima	1.323 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.320 [s]



File 000382xa_record:

Accelerogramma importato

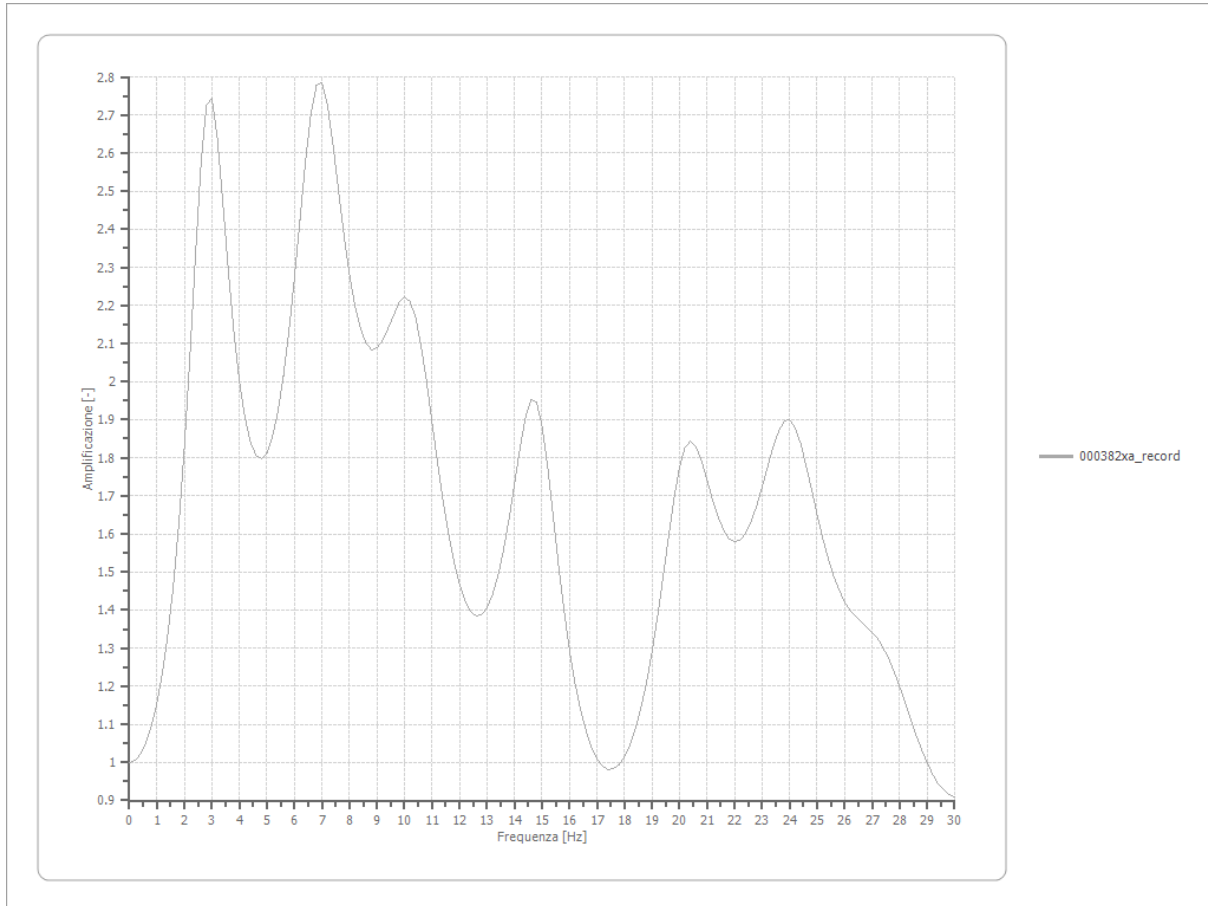
Nome del file	000382xa_record
Durata della traccia	21.270 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	3.040 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.377 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

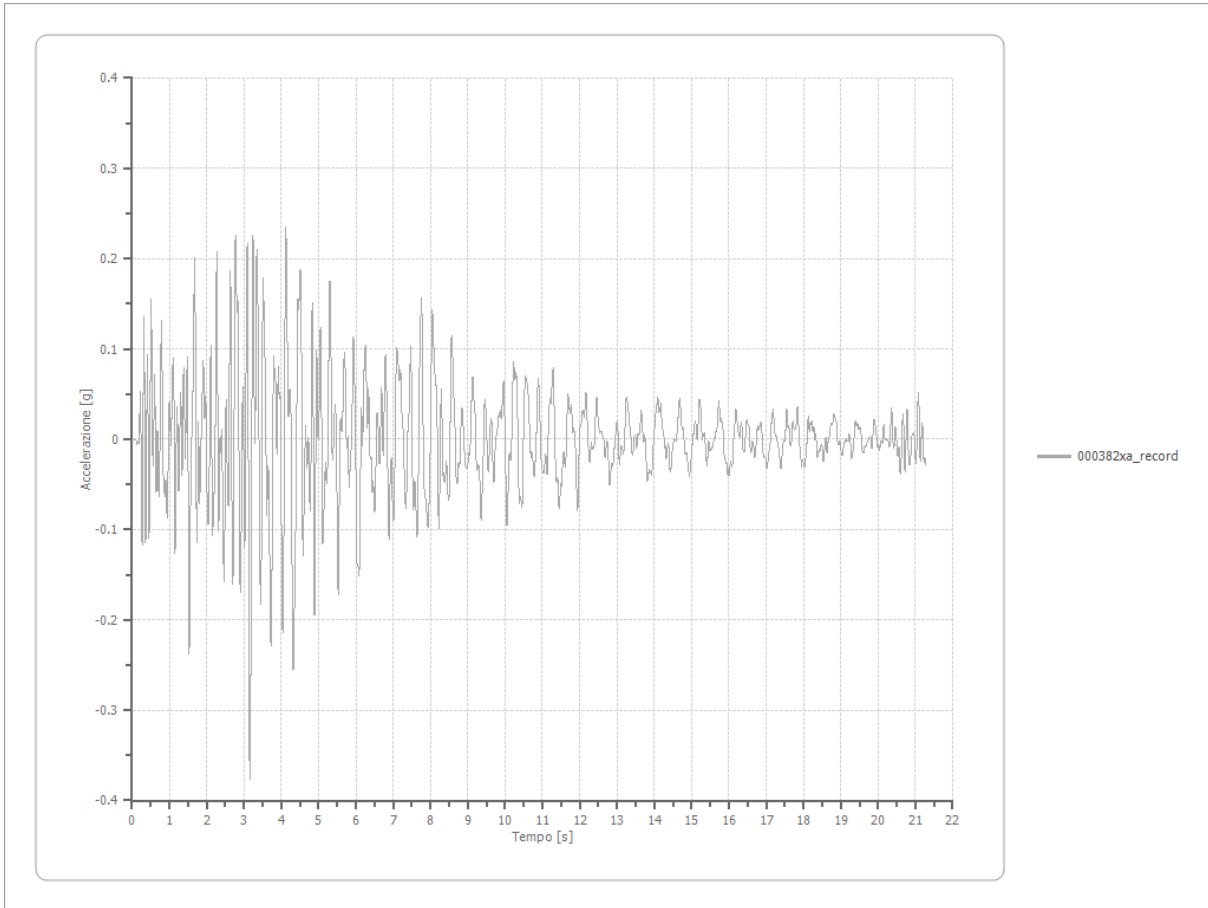
2.071

Accelerazione massima

0.377 [g]

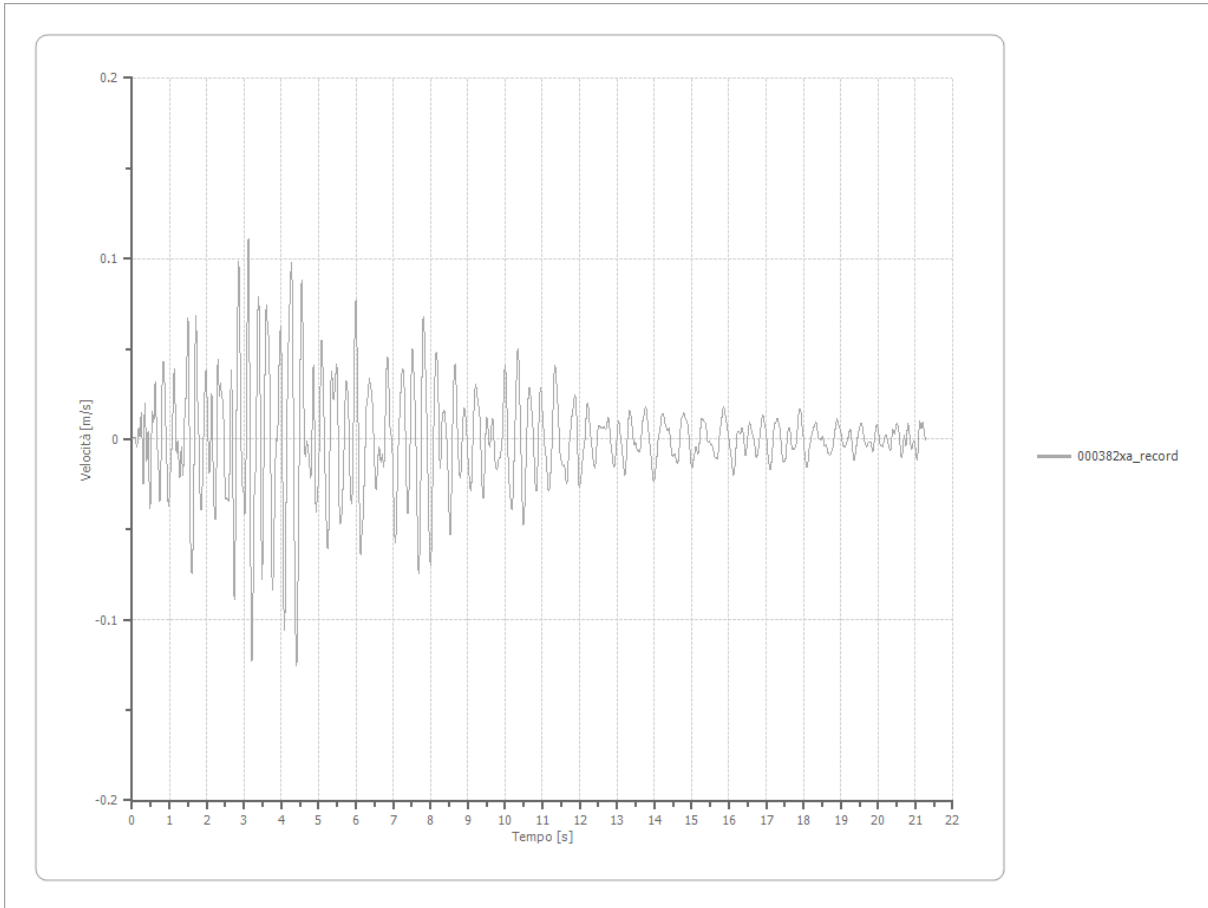
Periodo accelerazione massima

3.160 [s]



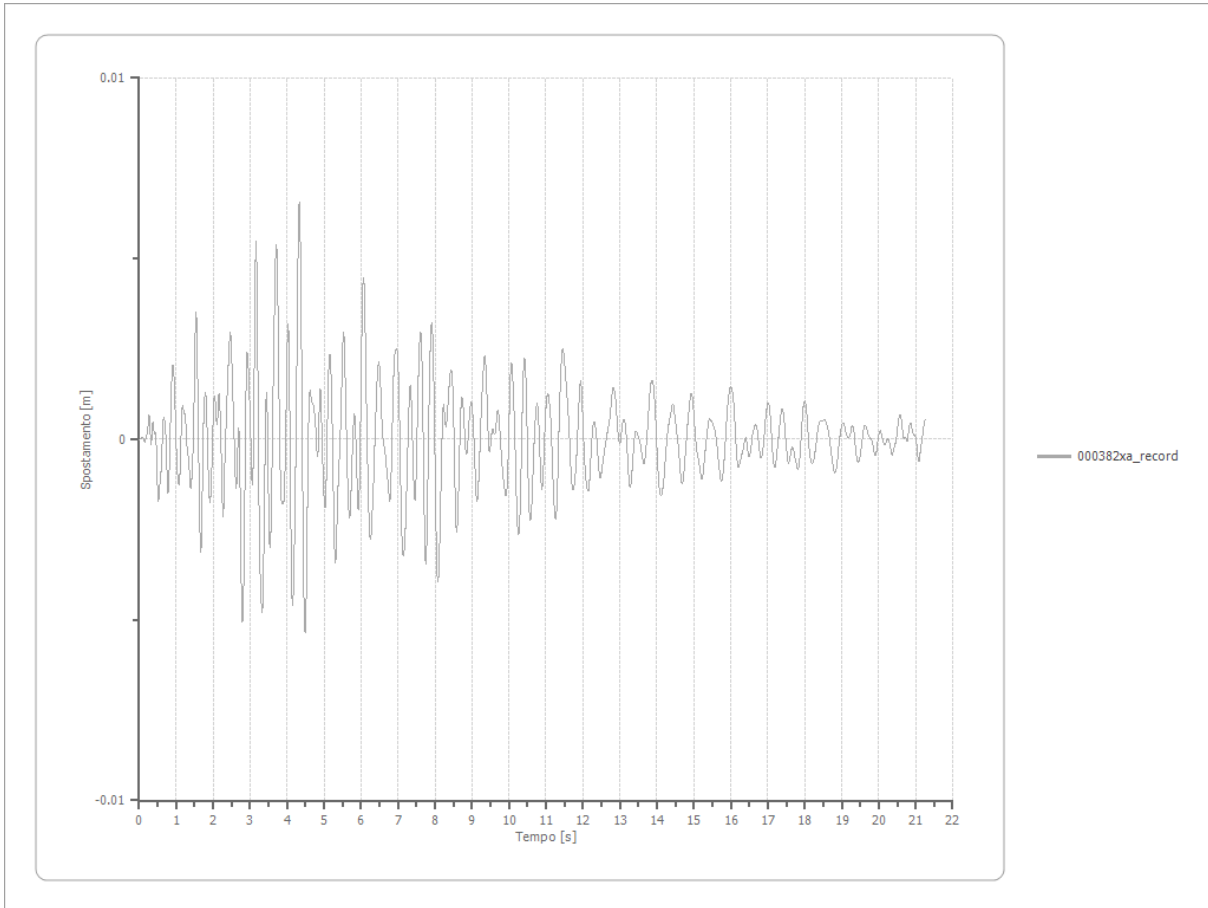
Velocità

Strato	1 Affiorante
Velocità massima	0.126 [m/s]
Periodo velocità massima	4.410 [s]



Spostamento

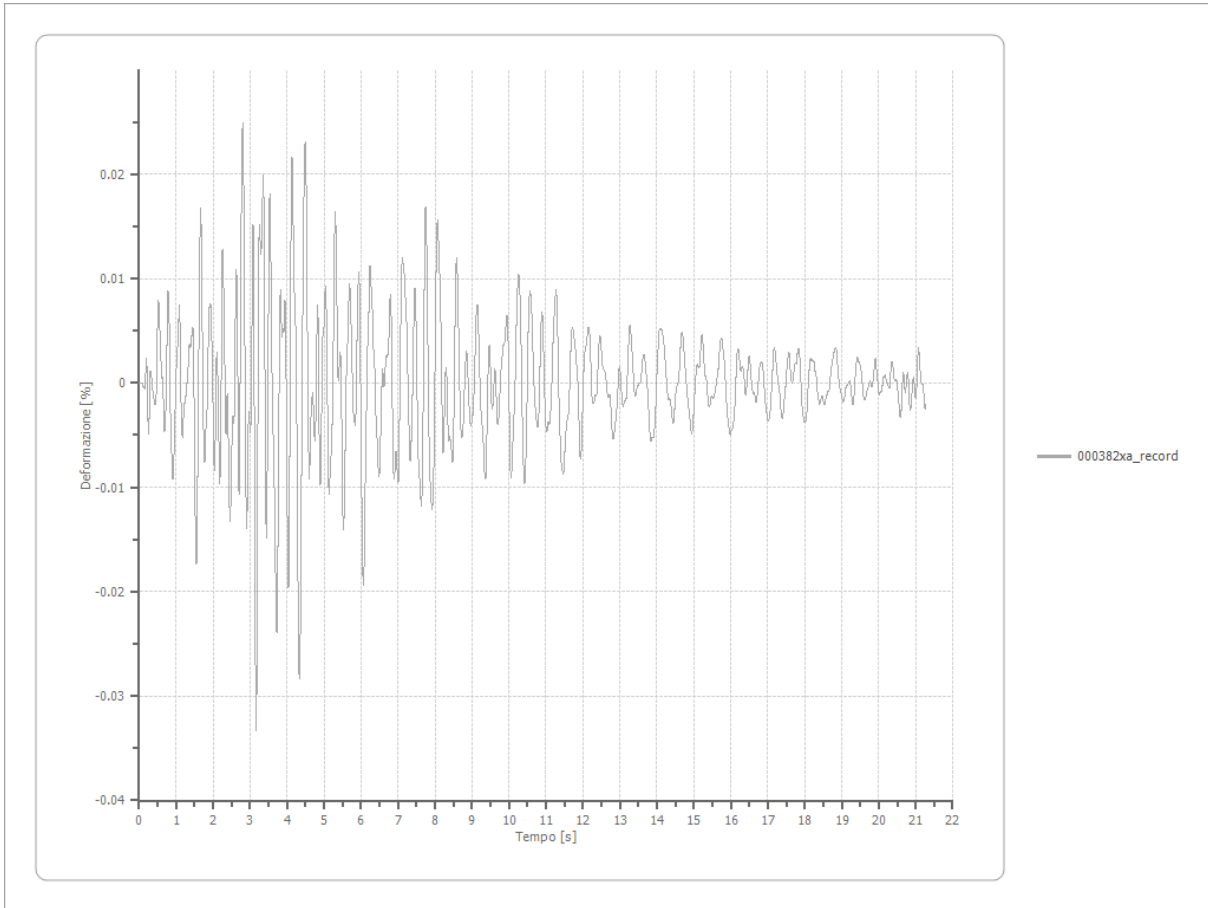
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.007 [m]
Periodo spostamento massimo	4.330 [s]



Deformazione

Numero di strati

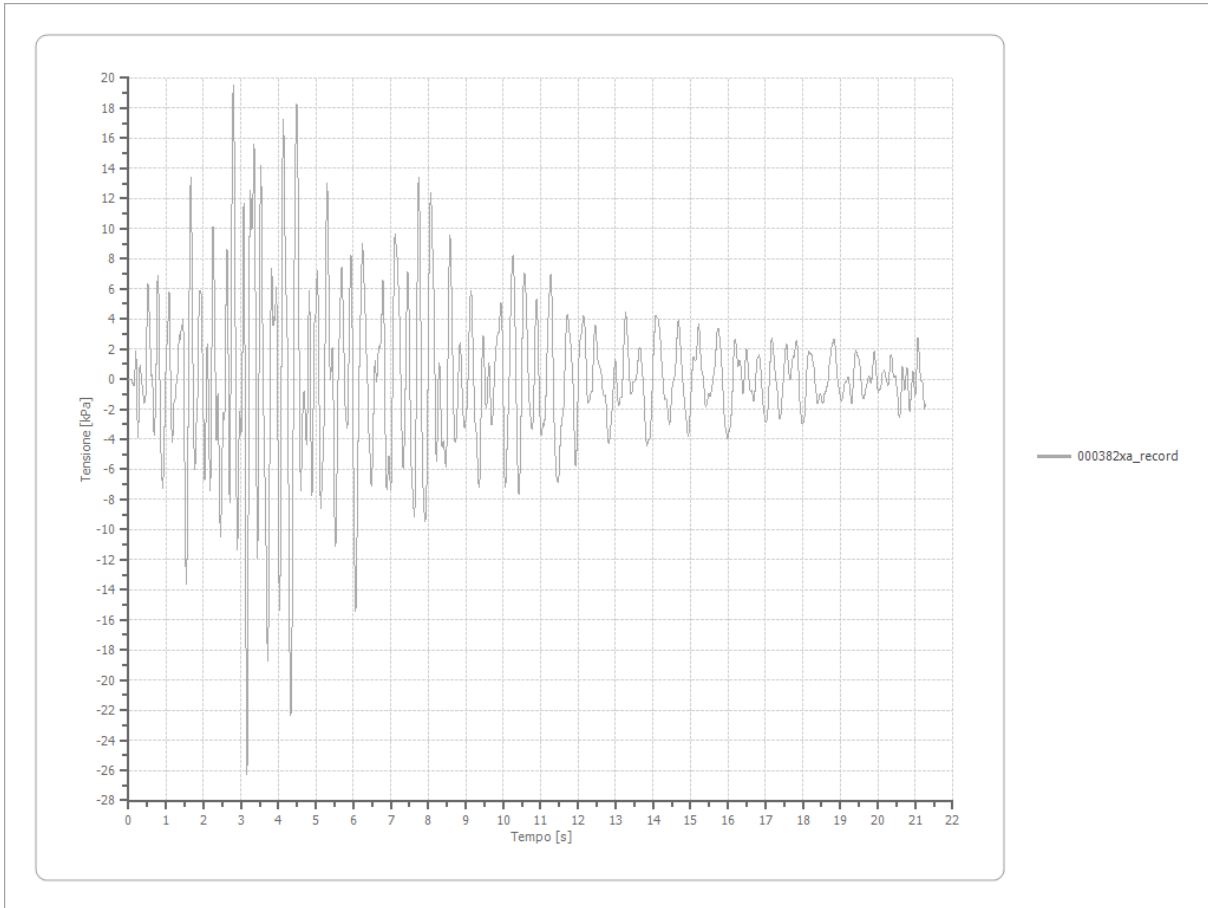
3



Tensione

Numero di strati

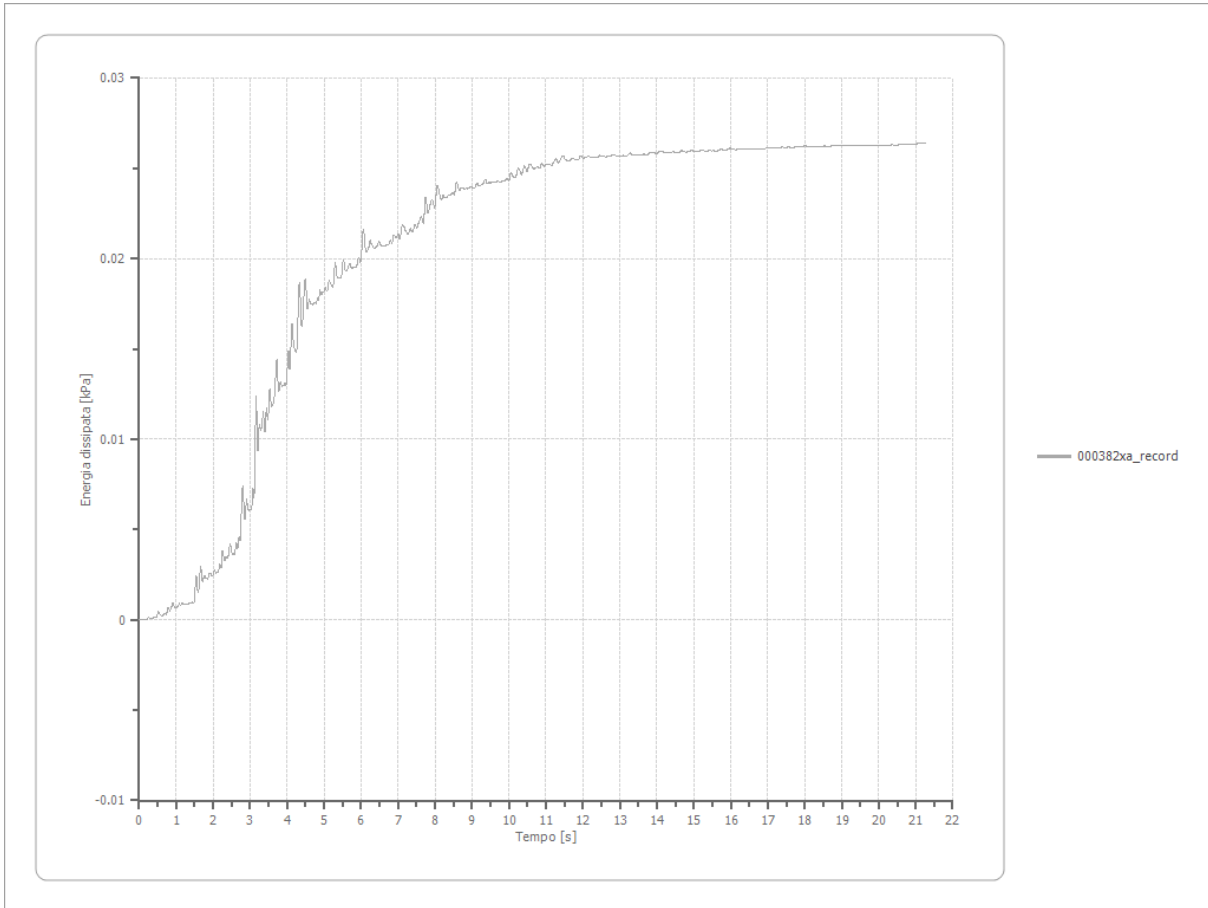
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



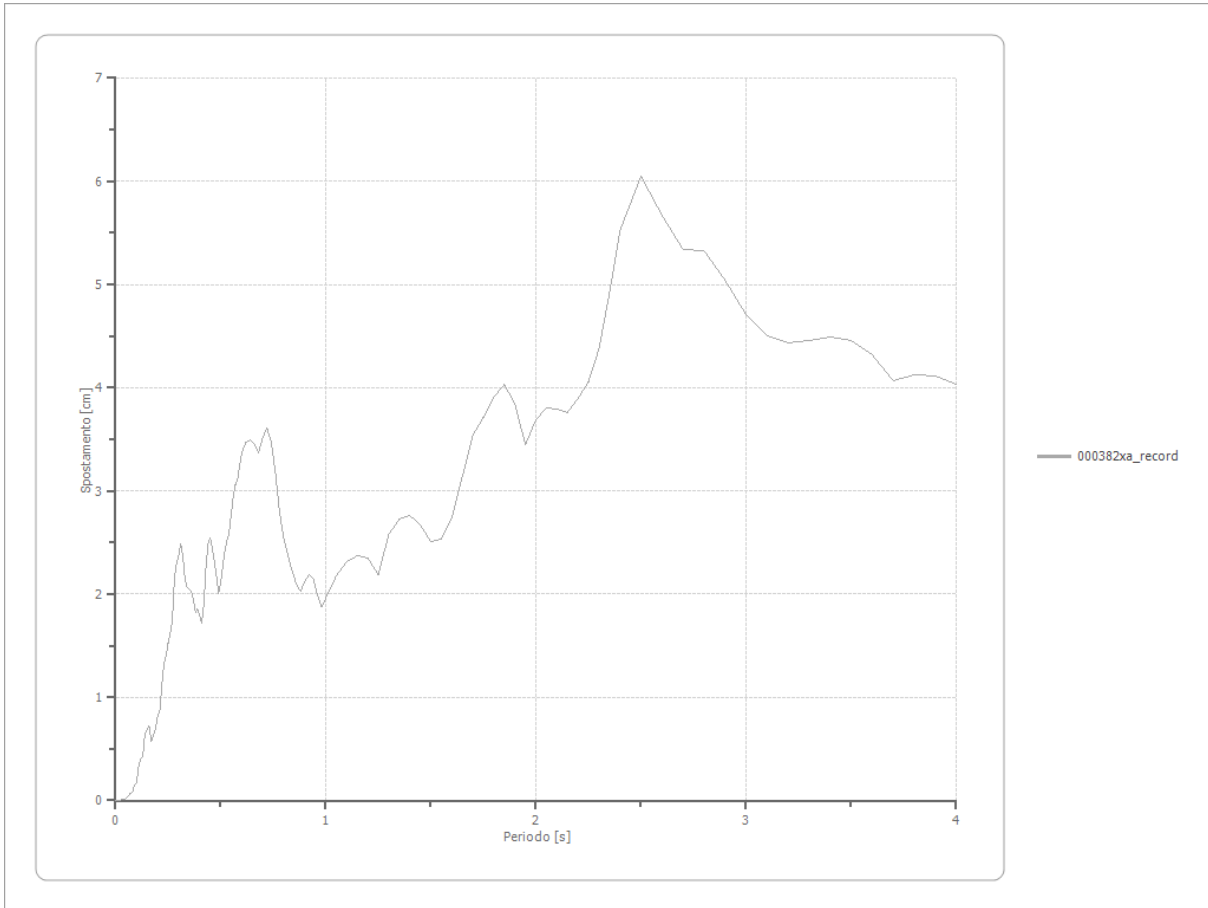
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

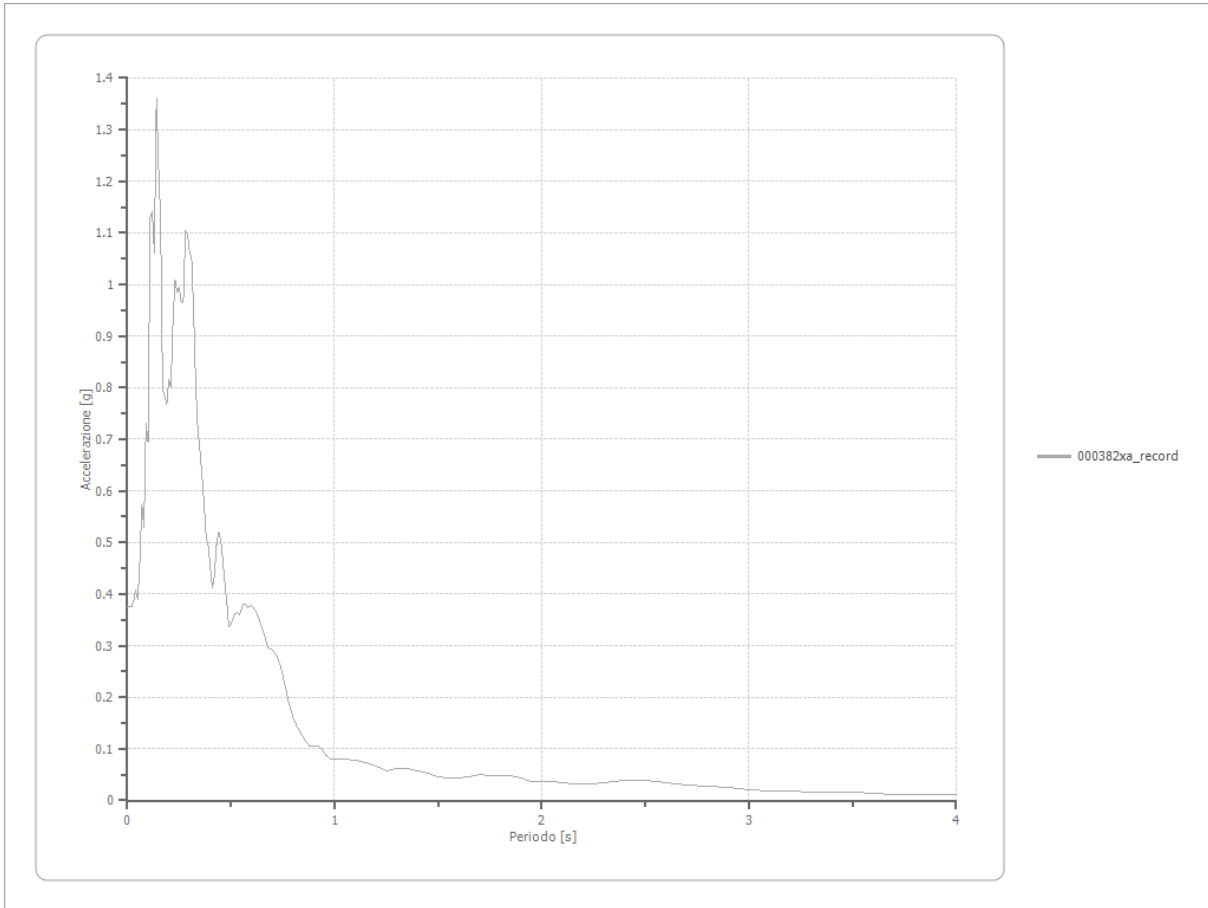
Spostamento

Spostamento massimo	6.051 [cm]
Periodo massimo spostamento	2.500 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.361 [g]
Periodo accelerazione massima	0.140 [s]



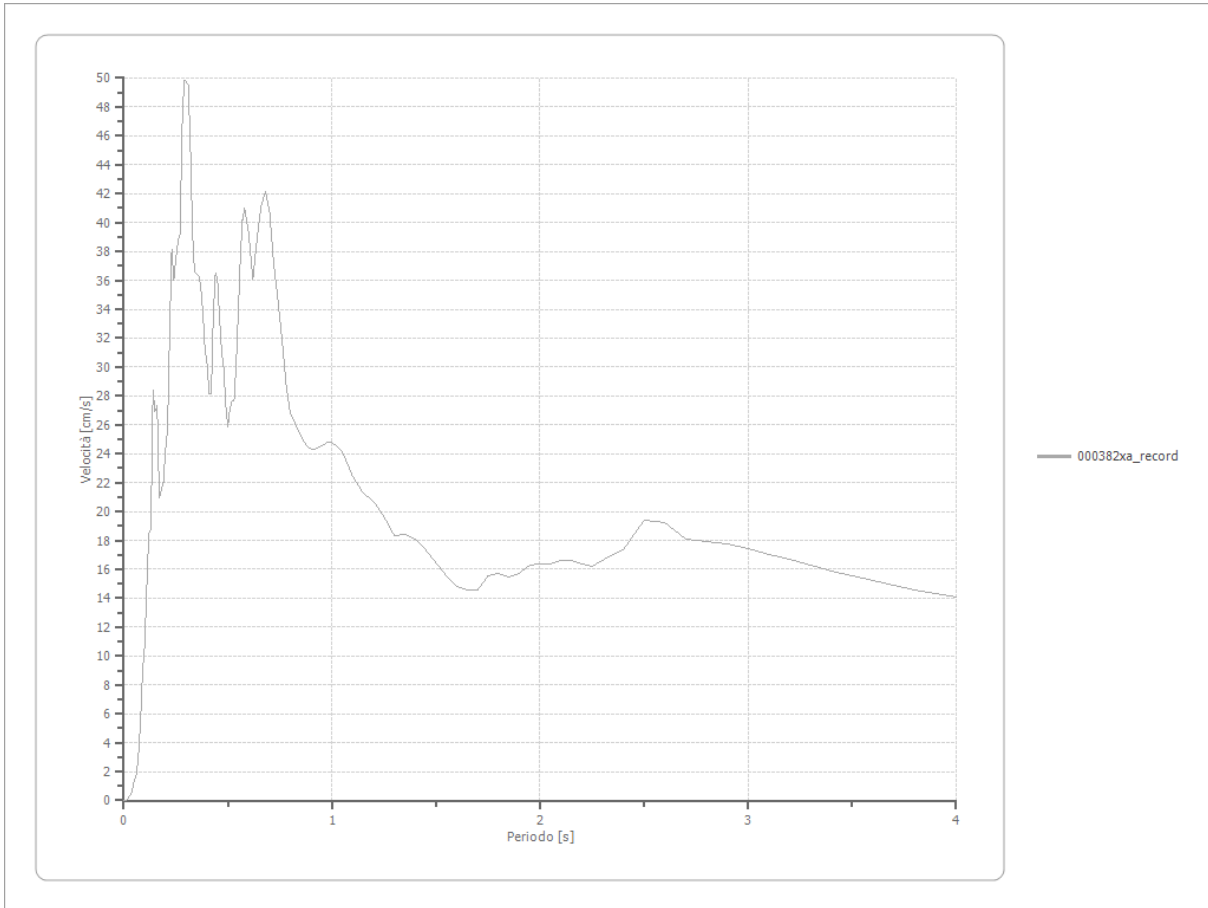
Velocità

Velocità massima

1.361 [cm/s]

Periodo massima velocità

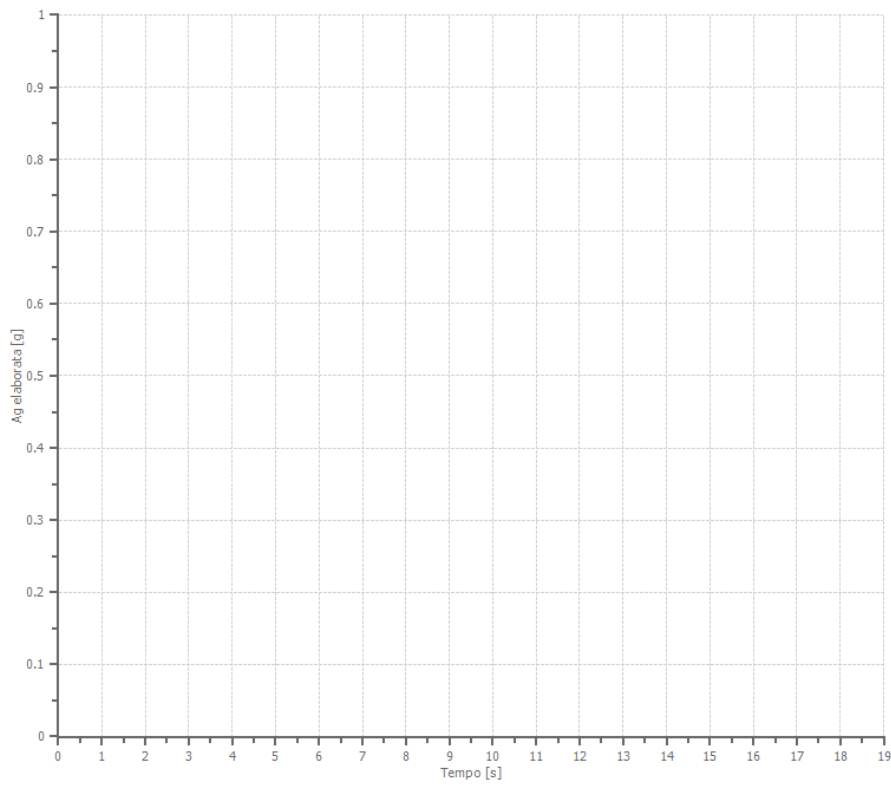
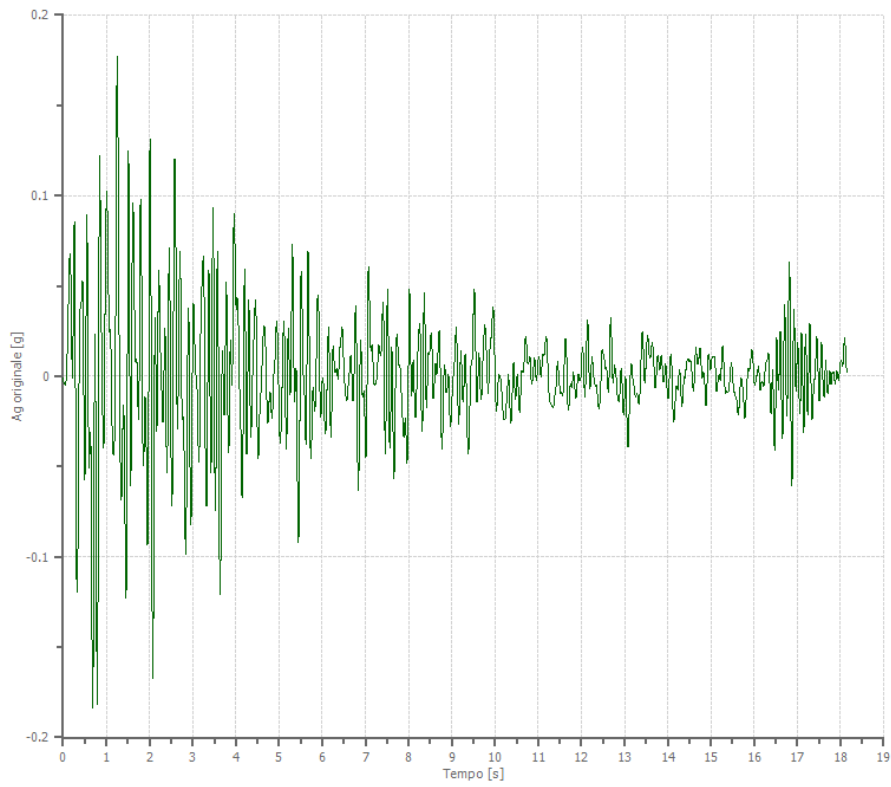
0.290 [s]



File 000383xa_record:

Accelerogramma importato

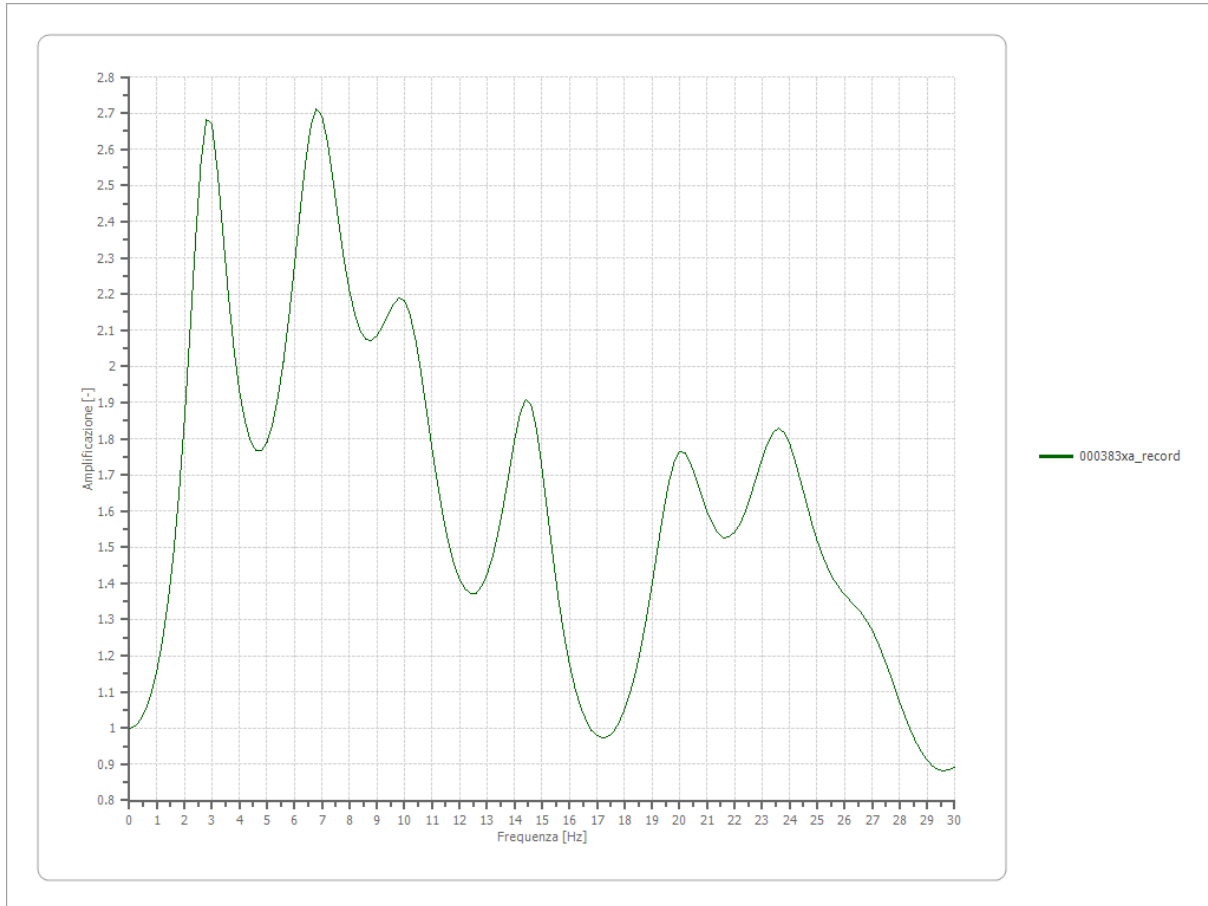
Nome del file	000383xa_record
Durata della traccia	18.160 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	0.680 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.393 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

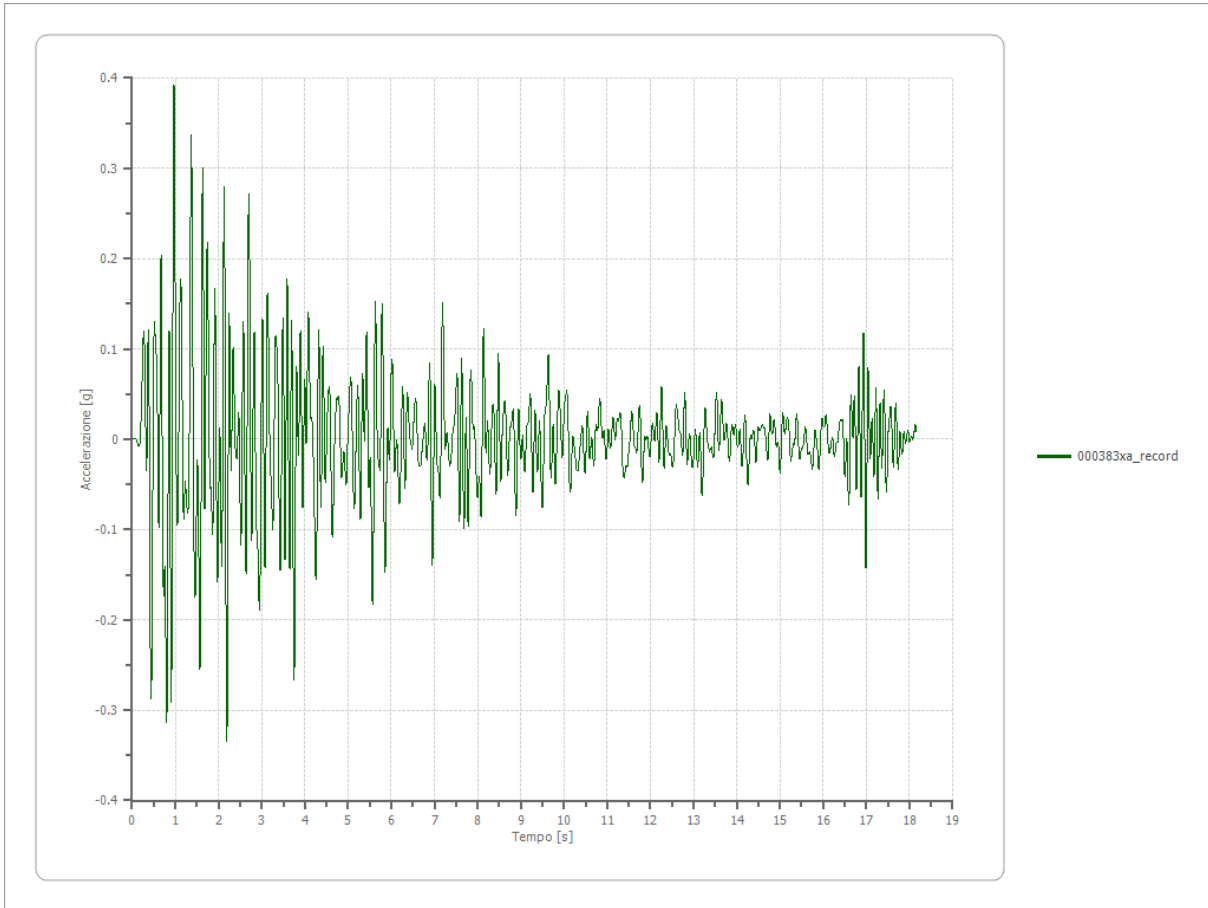
2.158

Accelerazione massima

0.393 [g]

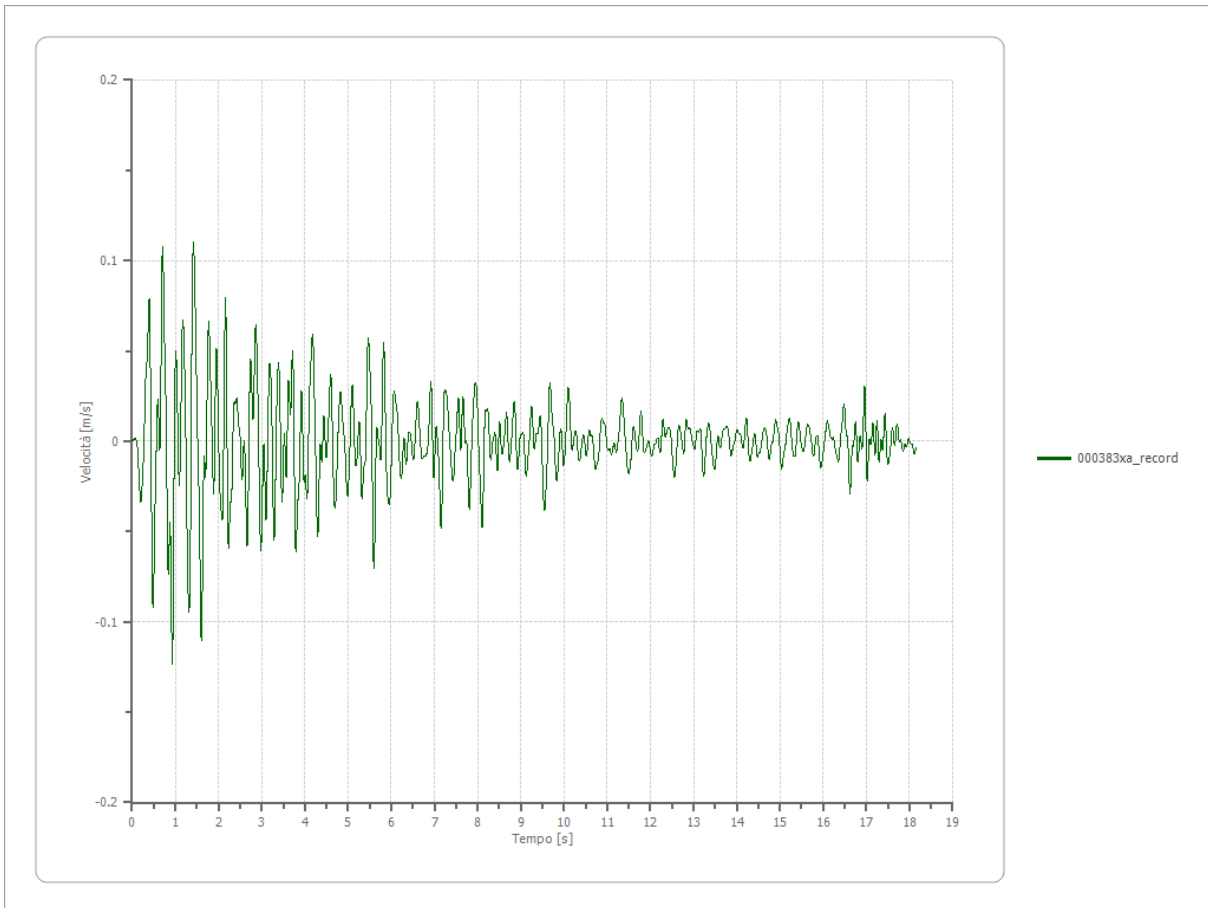
Periodo accelerazione massima

0.970 [s]



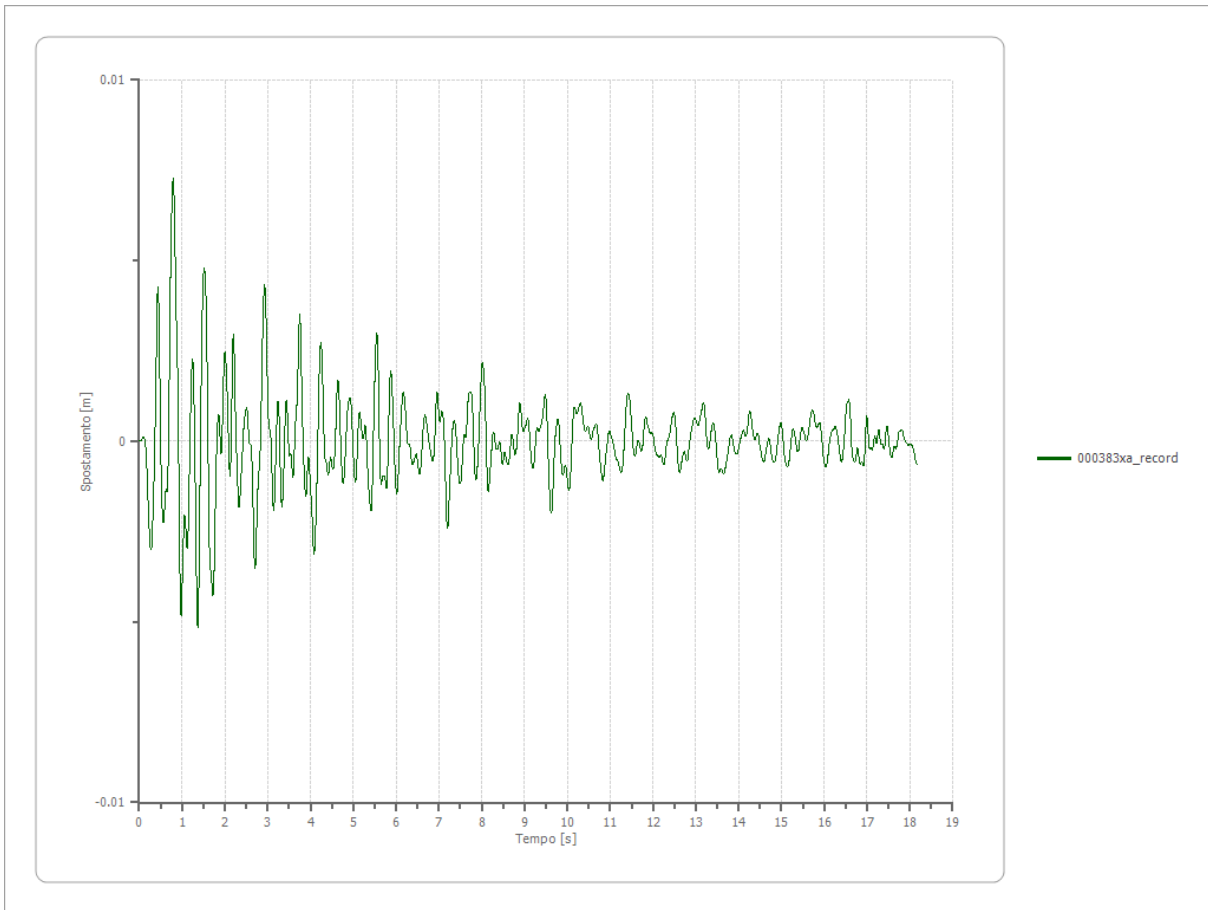
Velocità

Strato	1 Affiorante
Velocità massima	0.123 [m/s]
Periodo velocità massima	0.930 [s]



Spostamento

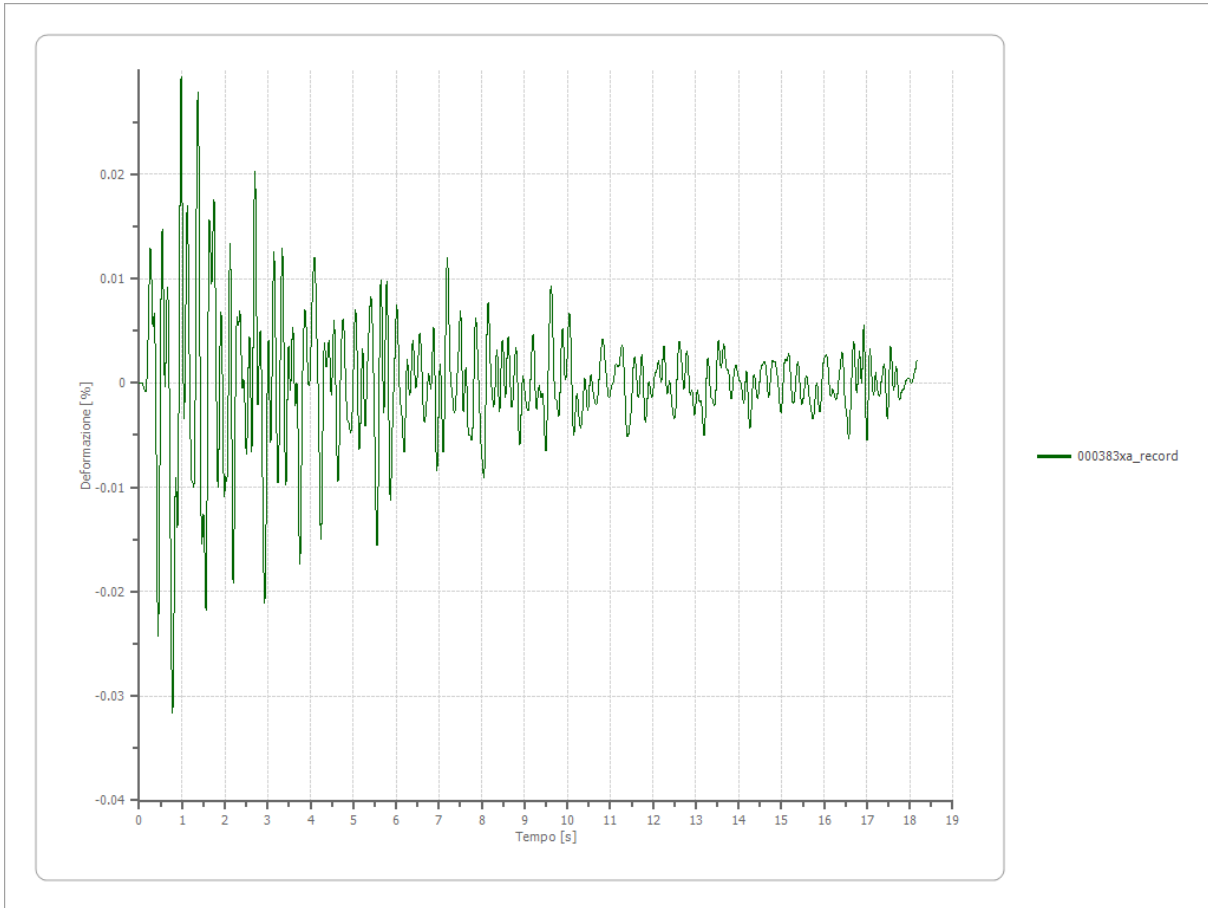
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.007 [m]
Periodo spostamento massimo	0.790 [s]



Deformazione

Numero di strati

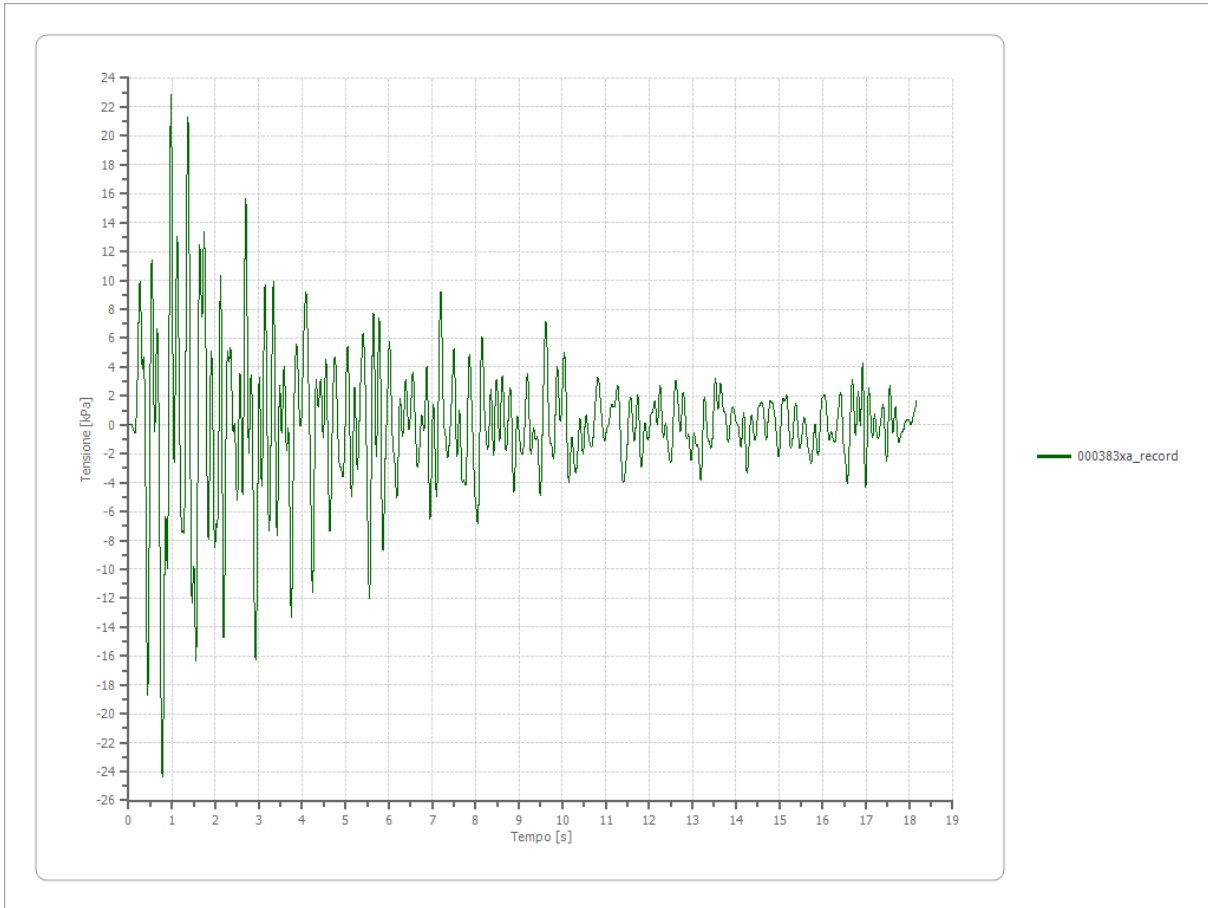
3



Tensione

Numero di strati

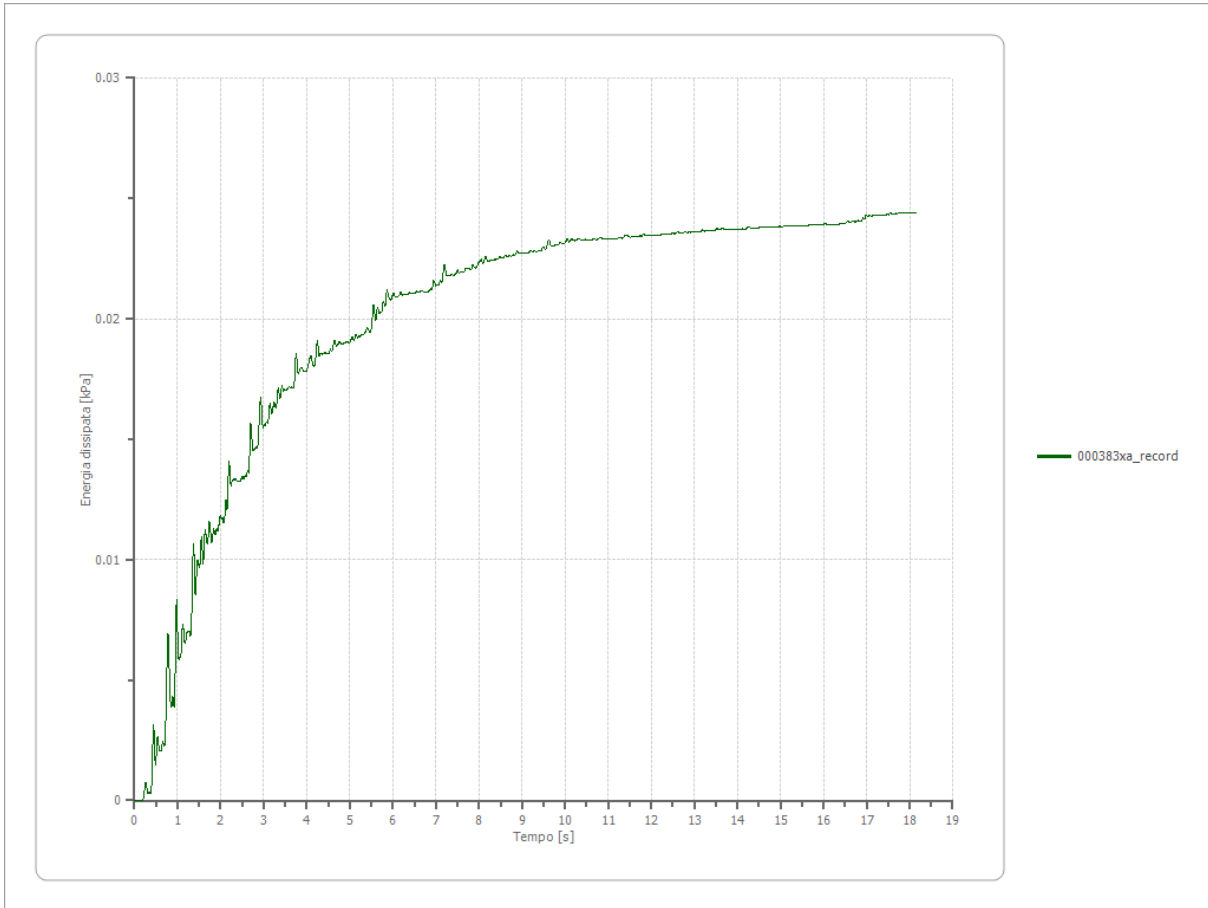
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



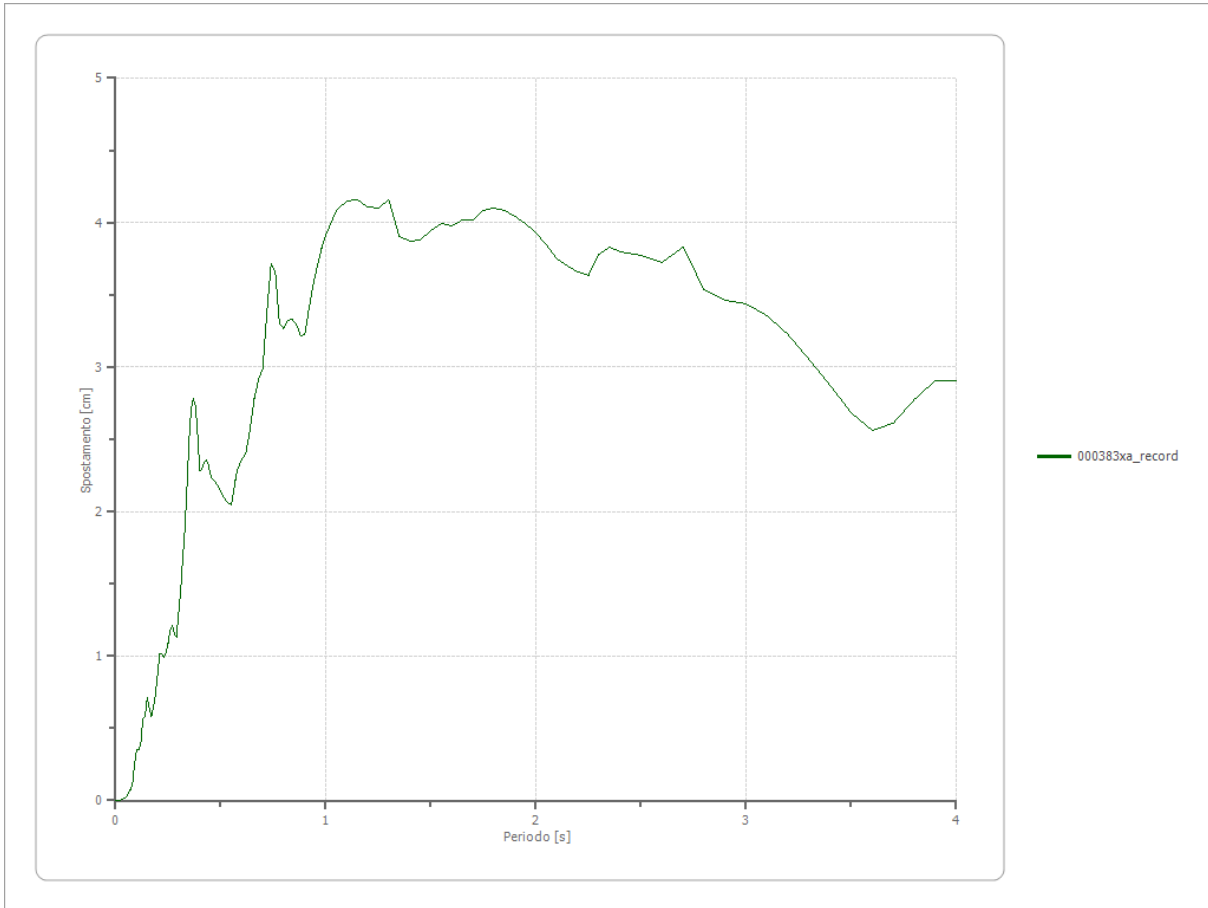
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

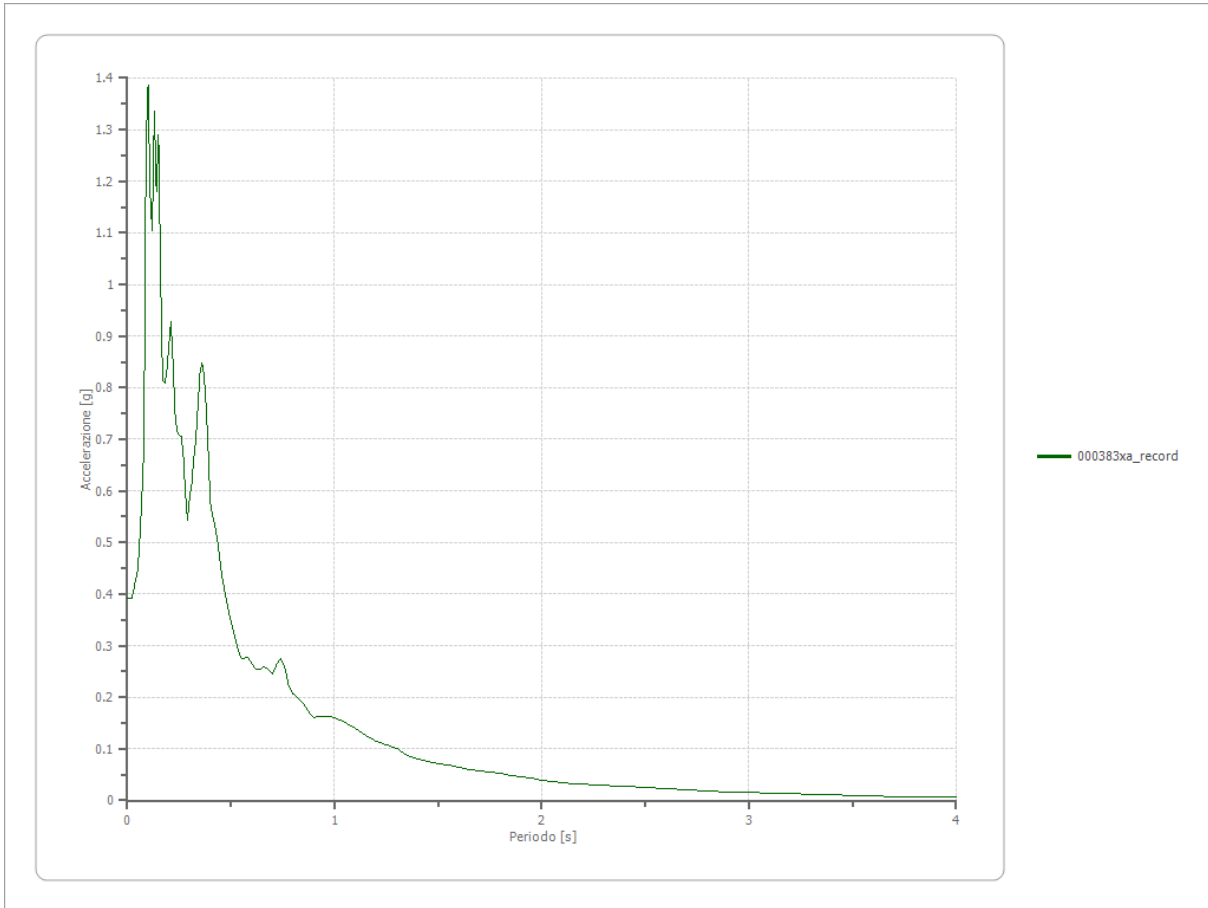
Spostamento

Spostamento massimo	4.160 [cm]
Periodo massimo spostamento	1.300 [s]



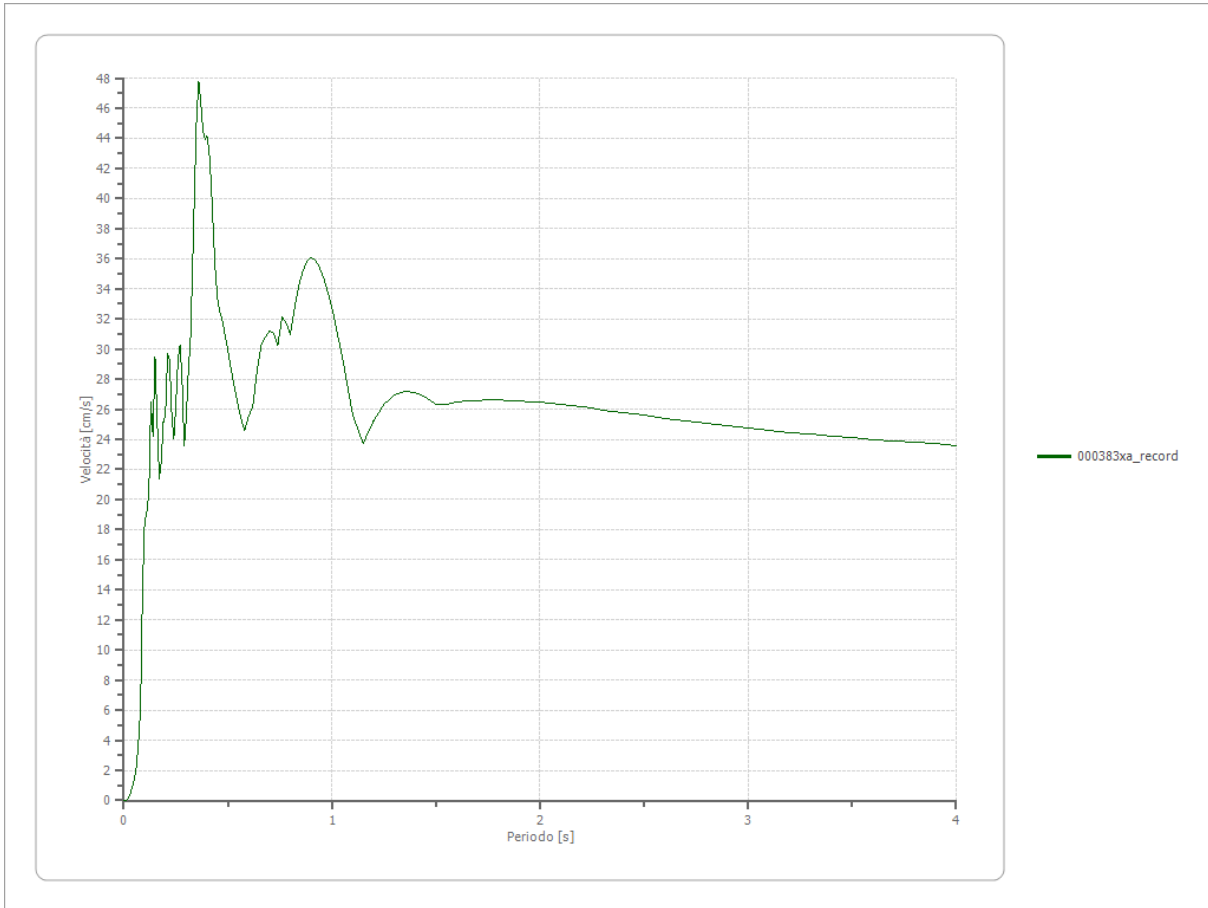
Accelerazione

Accelerazione massima	1.386 [g]
Periodo accelerazione massima	0.100 [s]



Velocità

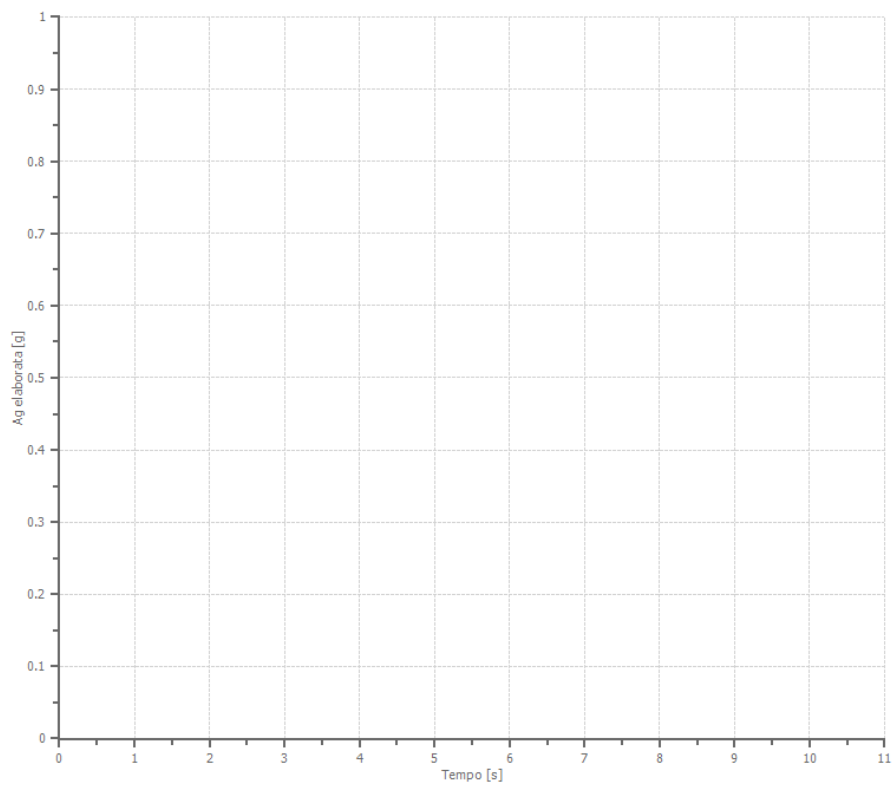
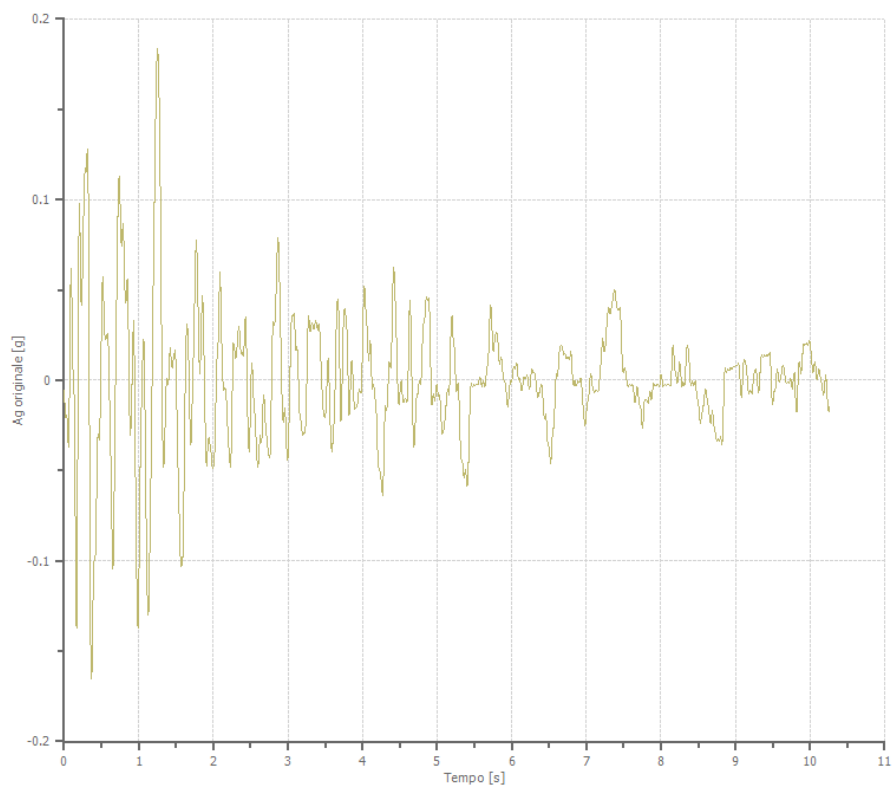
Velocità massima	1.386 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.360 [s]



File 000811ya_record:

Accelerogramma importato

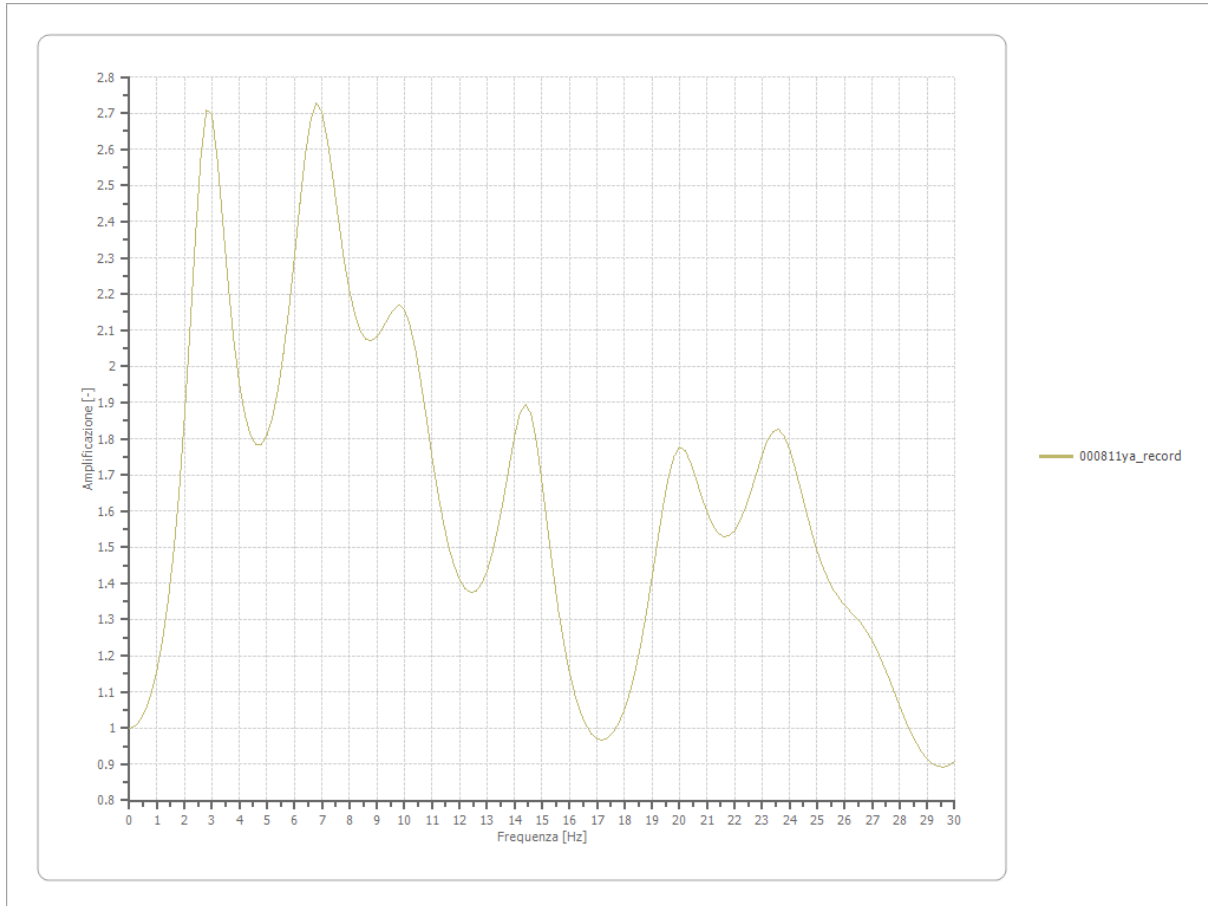
Nome del file	000811ya_record
Durata della traccia	10.260 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	1.250 [s]



Amplificazione

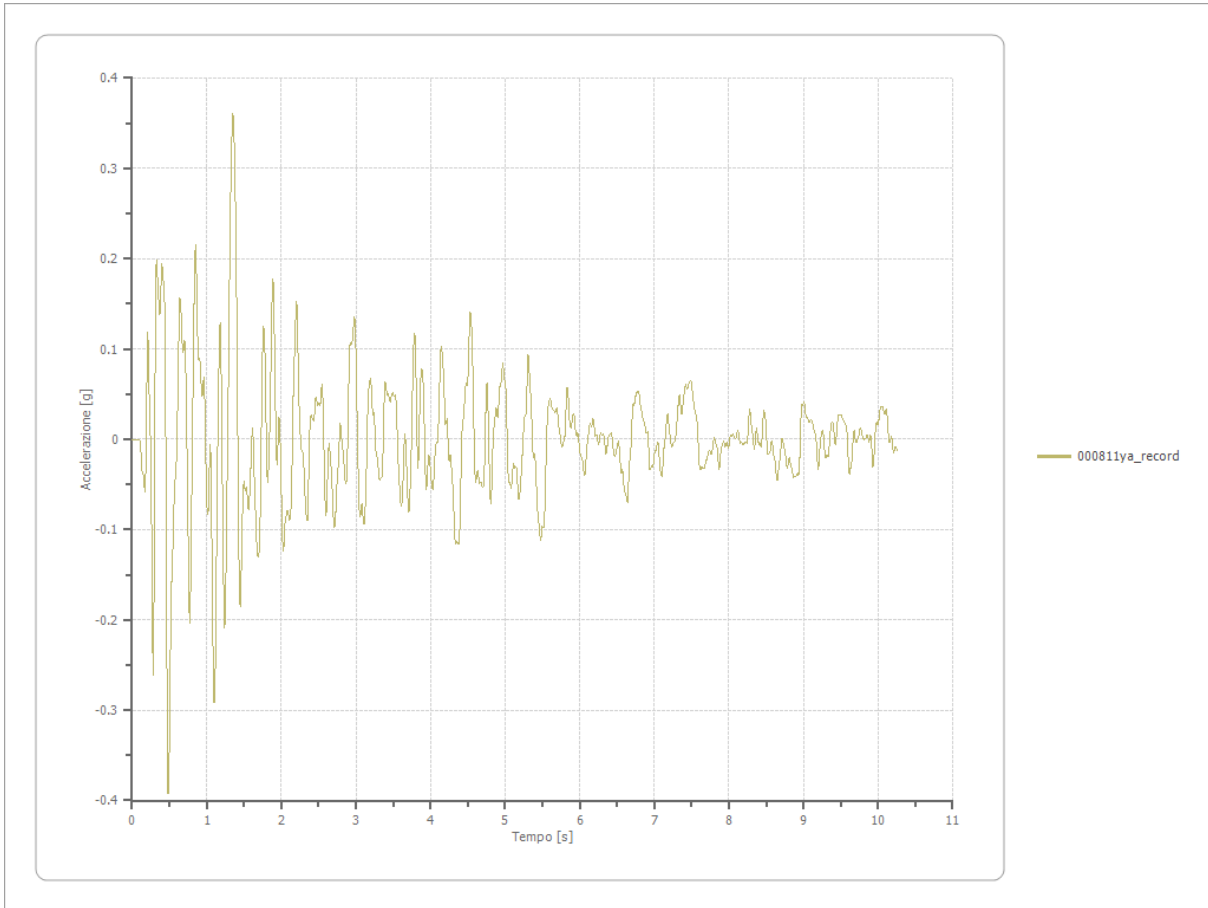
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

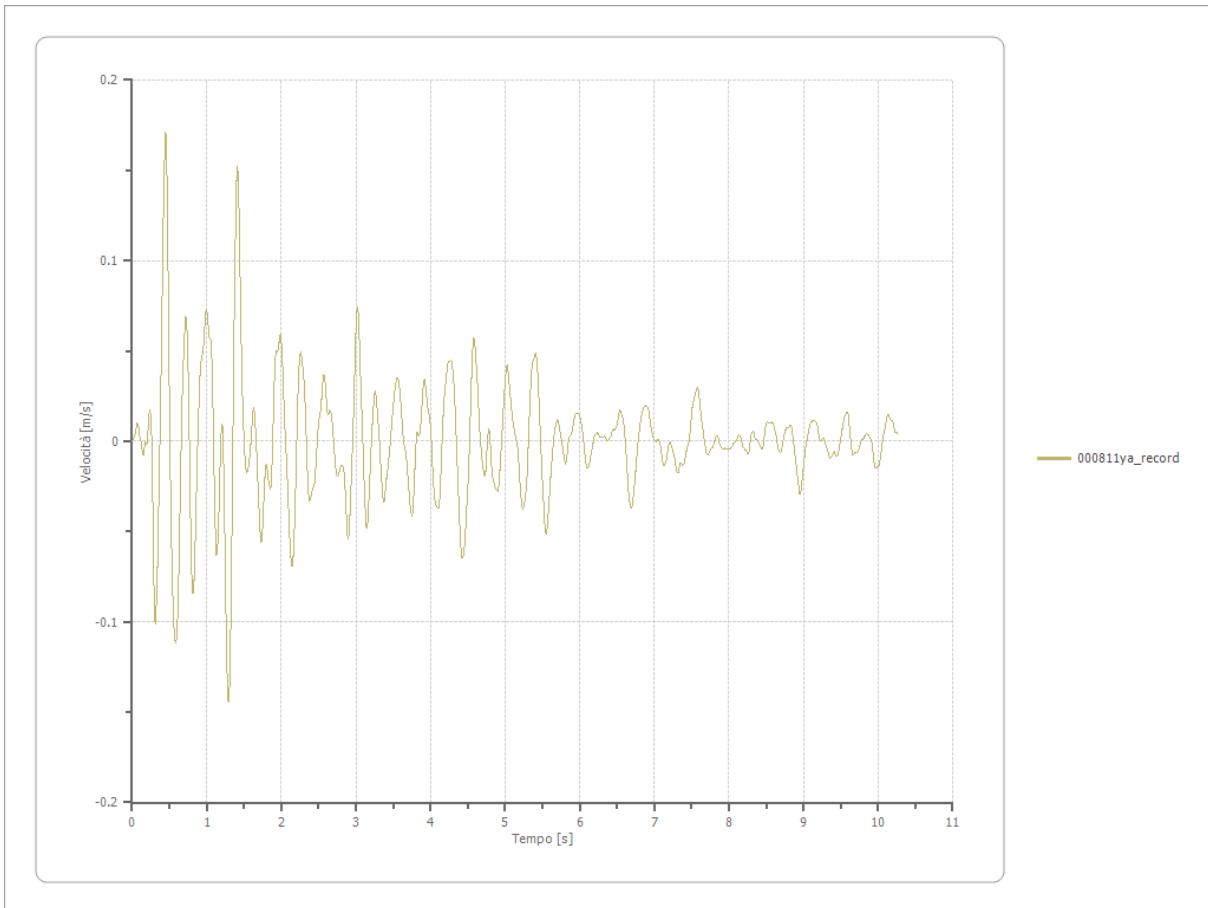
Strato	1 Affiorante
Pga	0.392 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	2.155
Accelerazione massima	0.392 [g]
Periodo accelerazione massima	0.480 [s]



Velocità

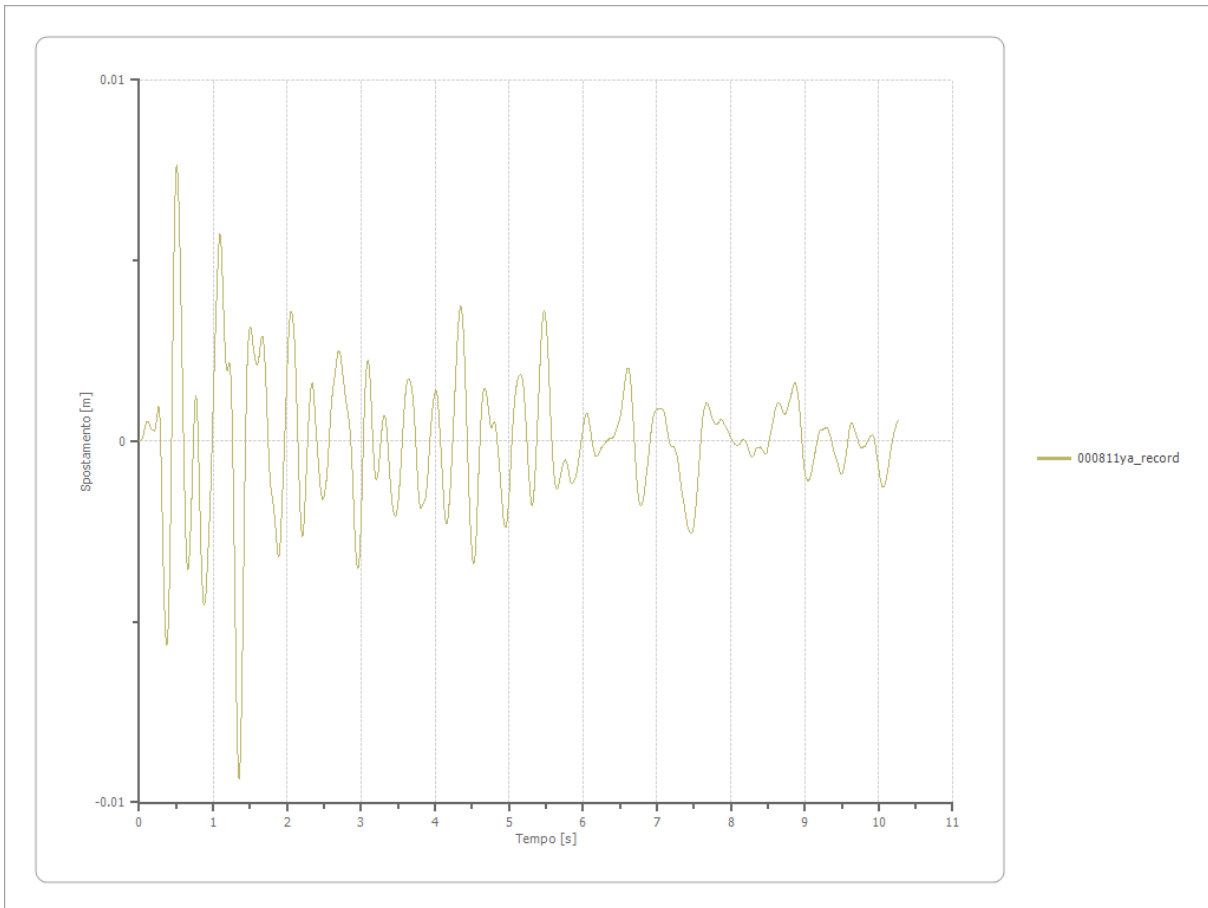
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.171 [m/s]
0.450 [s]



Spostamento

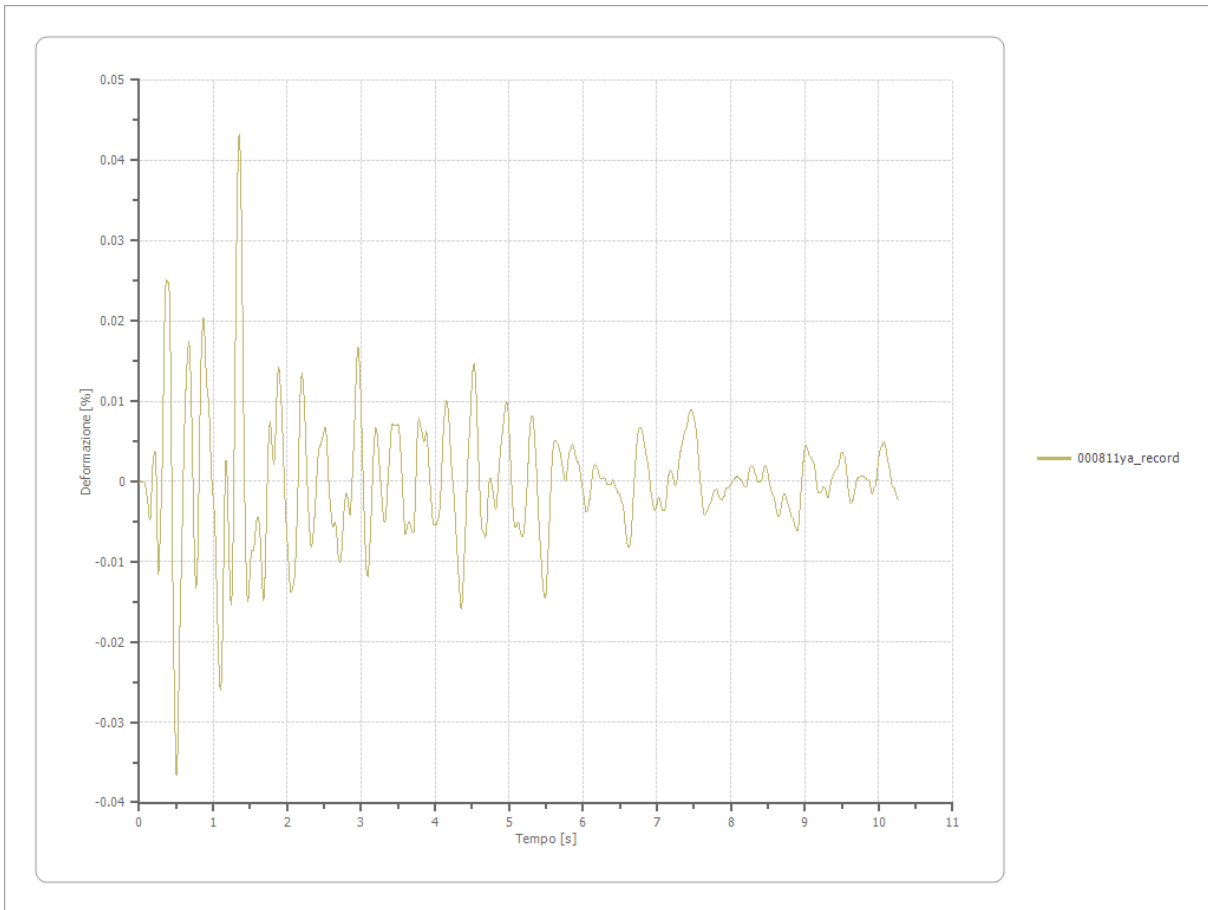
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.009 [m]
Periodo spostamento massimo	1.350 [s]



Deformazione

Numero di strati

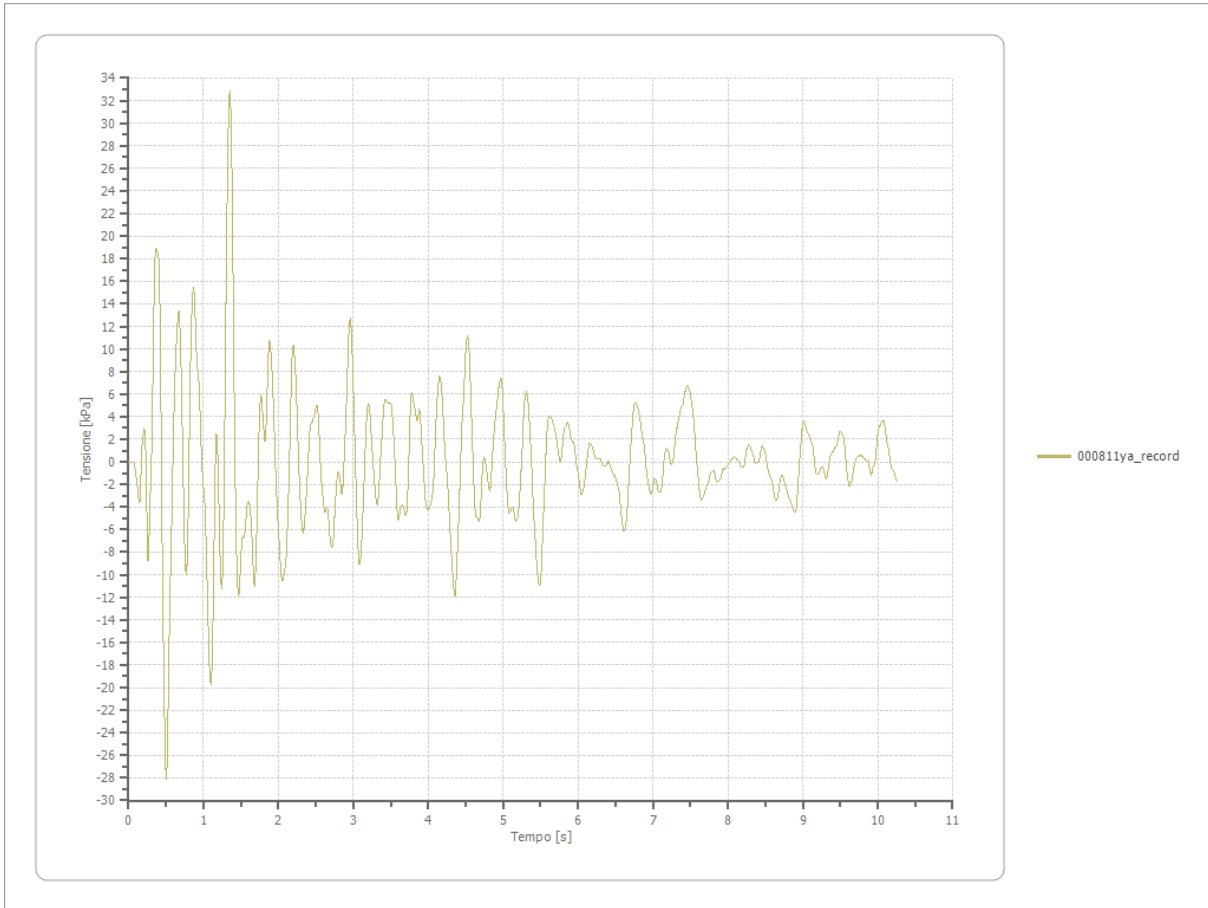
3



Tensione

Numero di strati

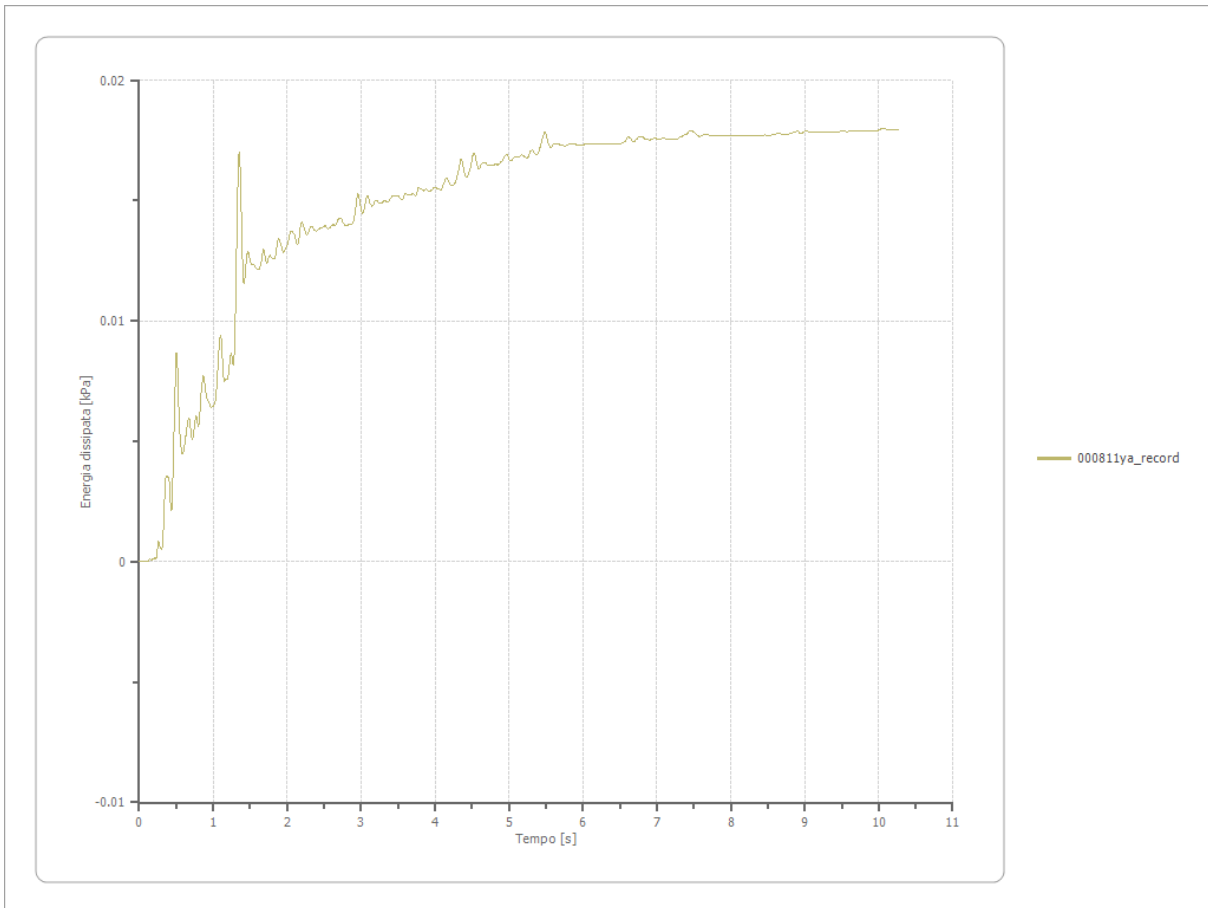
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



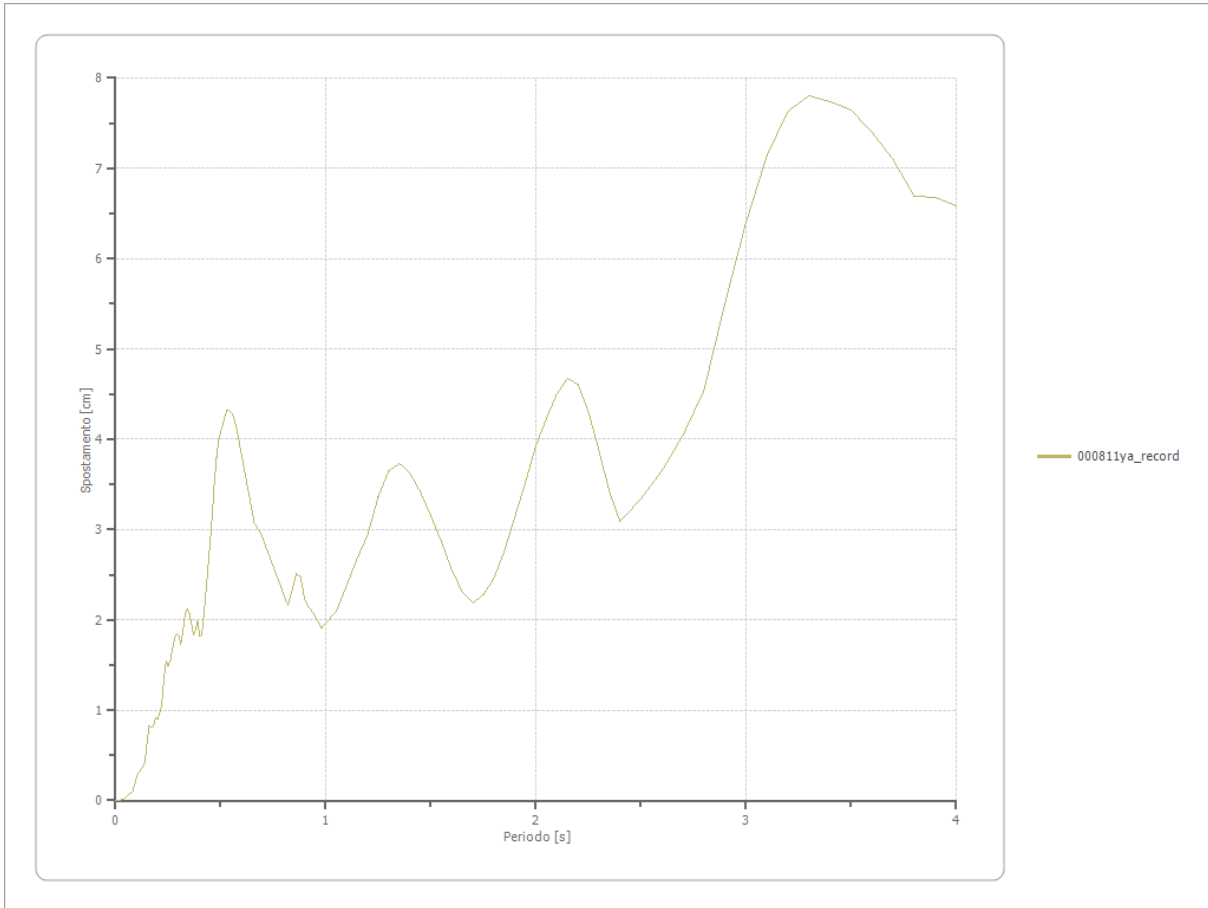
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

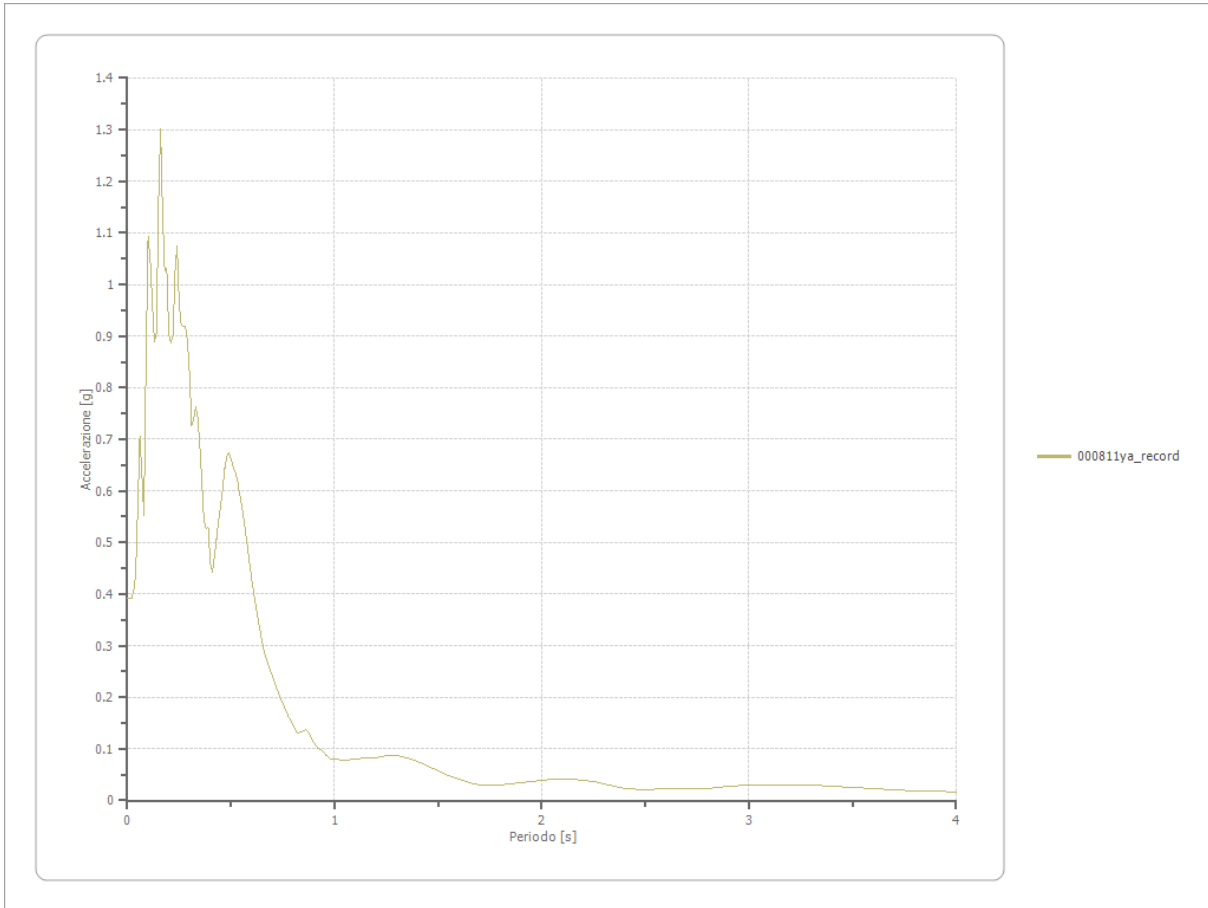
Spostamento

Spostamento massimo	7.804 [cm]
Periodo massimo spostamento	3.300 [s]



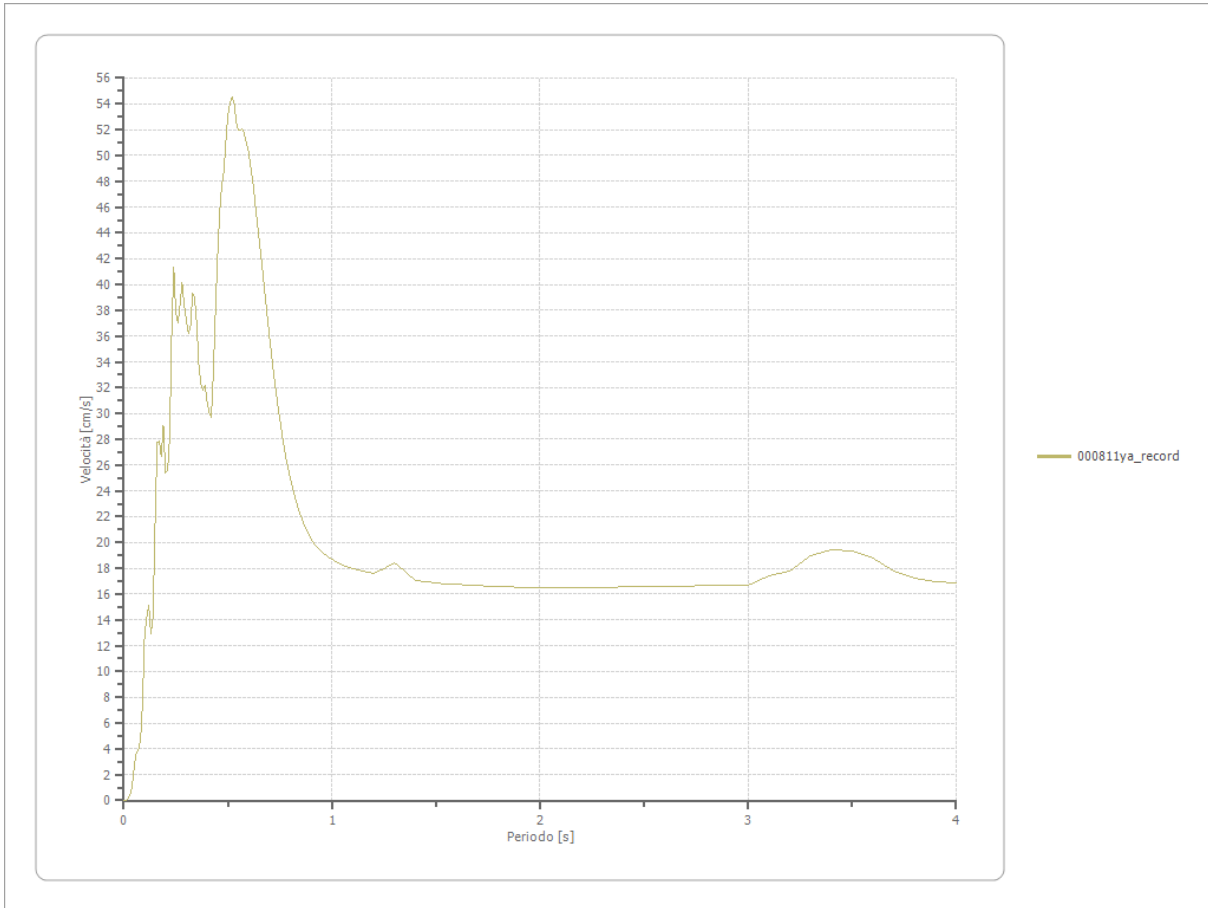
Accelerazione

Accelerazione massima	1.302 [g]
Periodo accelerazione massima	0.160 [s]



Velocità

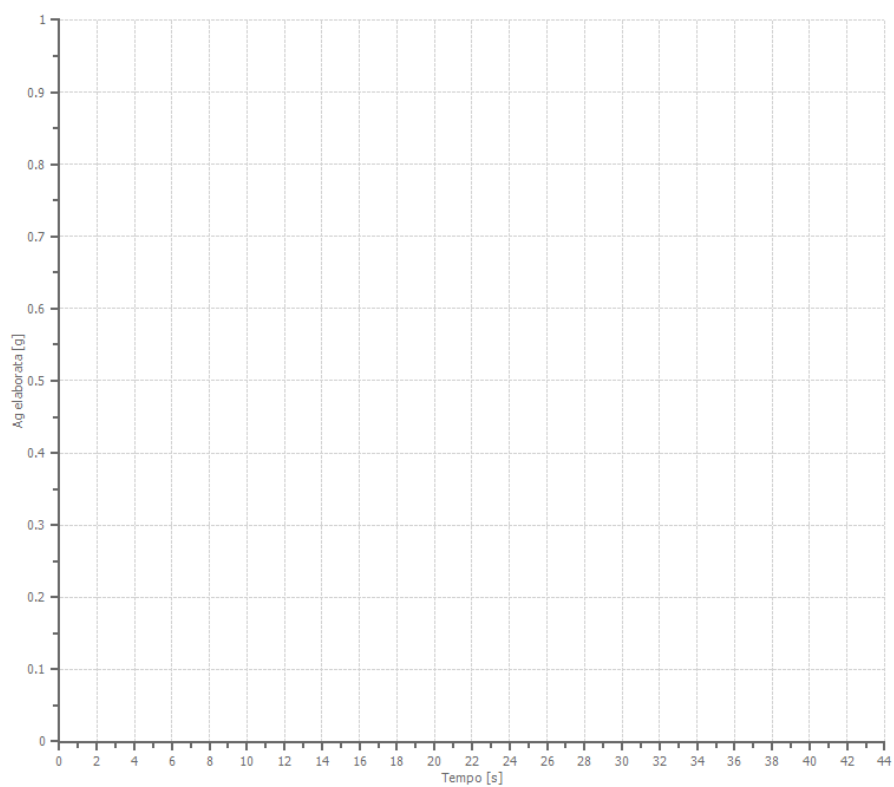
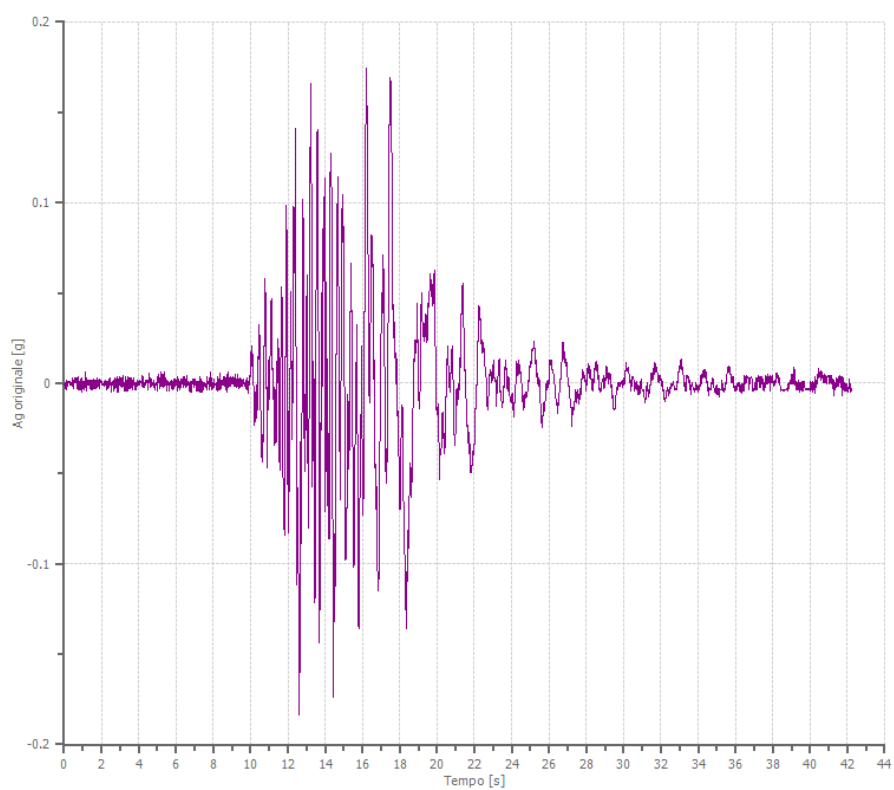
Velocità massima	1.302 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.520 [s]



File 005085xa_record:

Accelerogramma importato

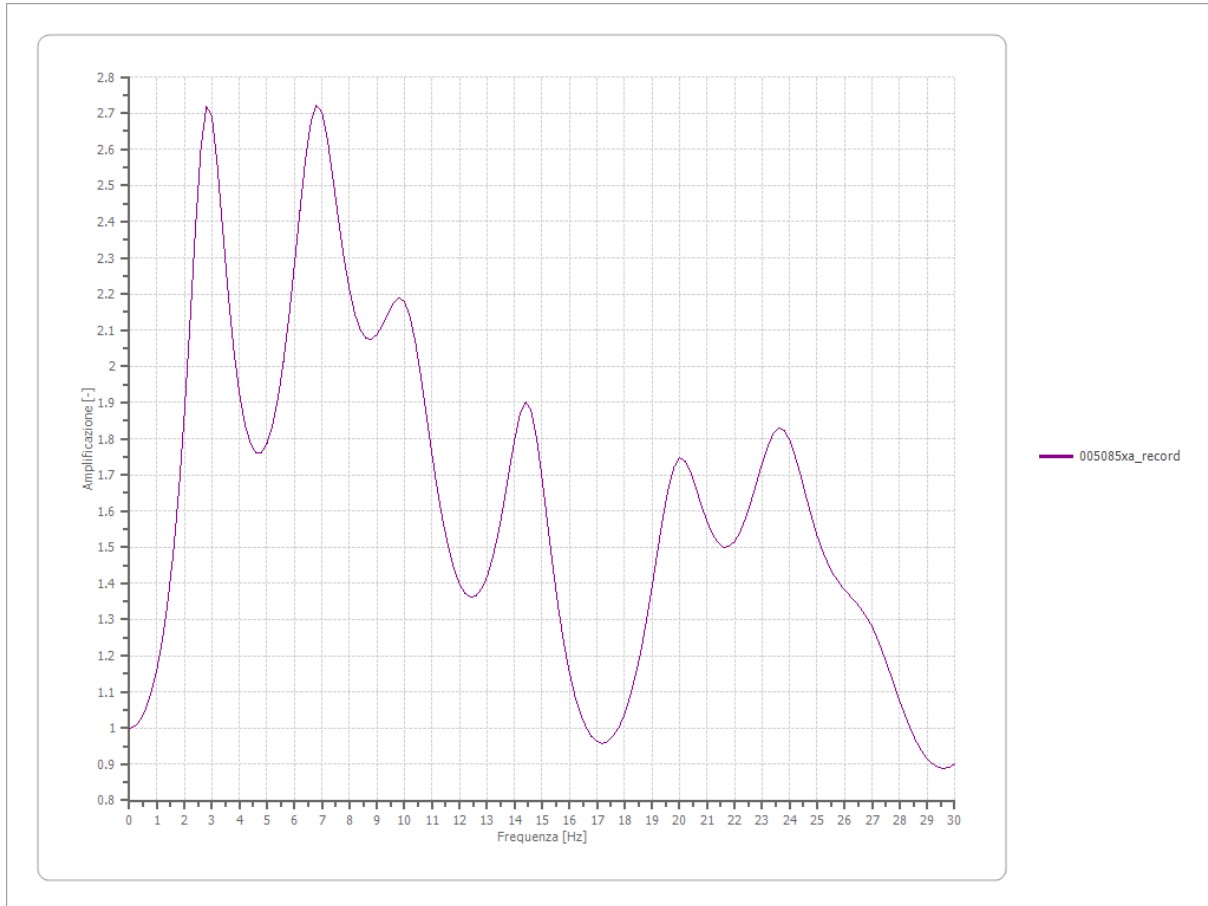
Nome del file	005085xa_record
Durata della traccia	42.220 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	12.620 [s]



Amplificazione

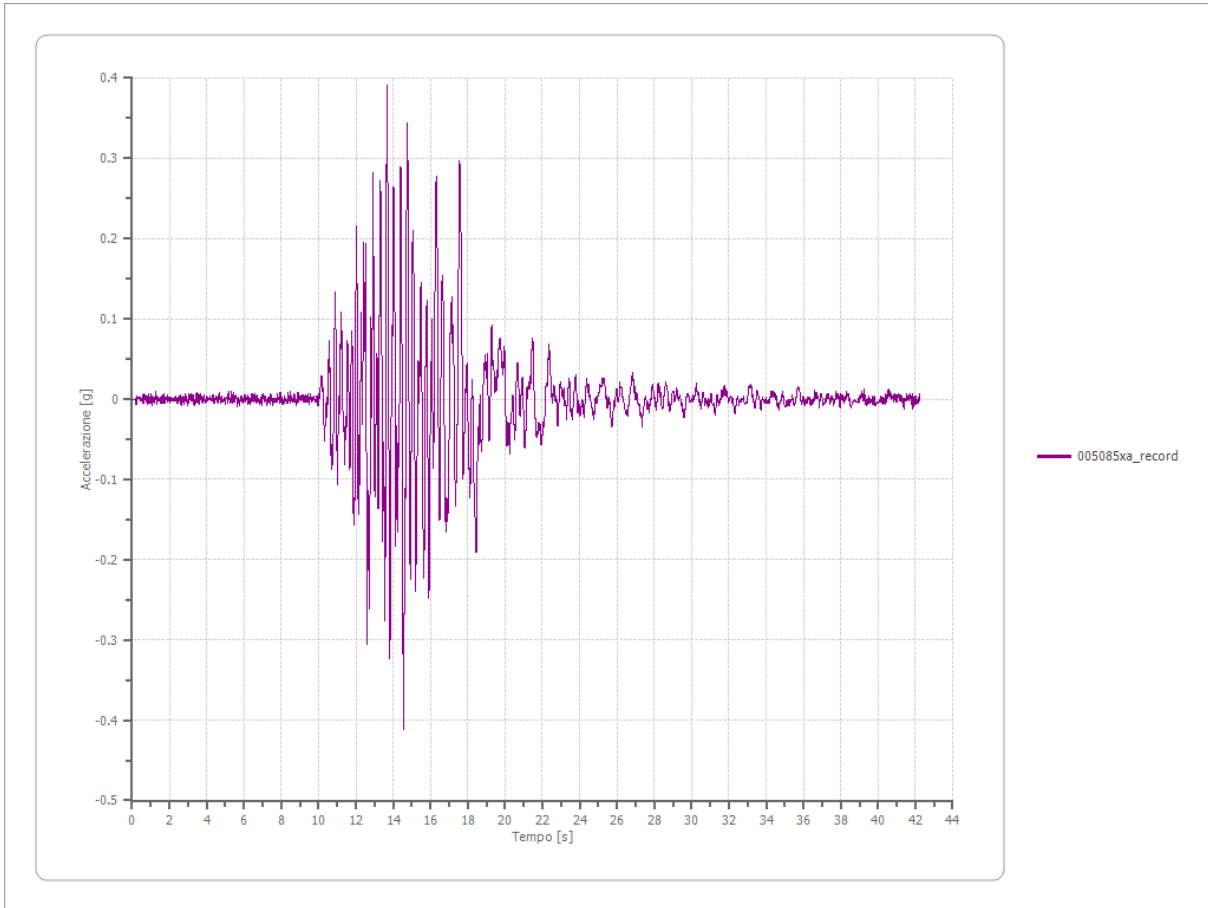
Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

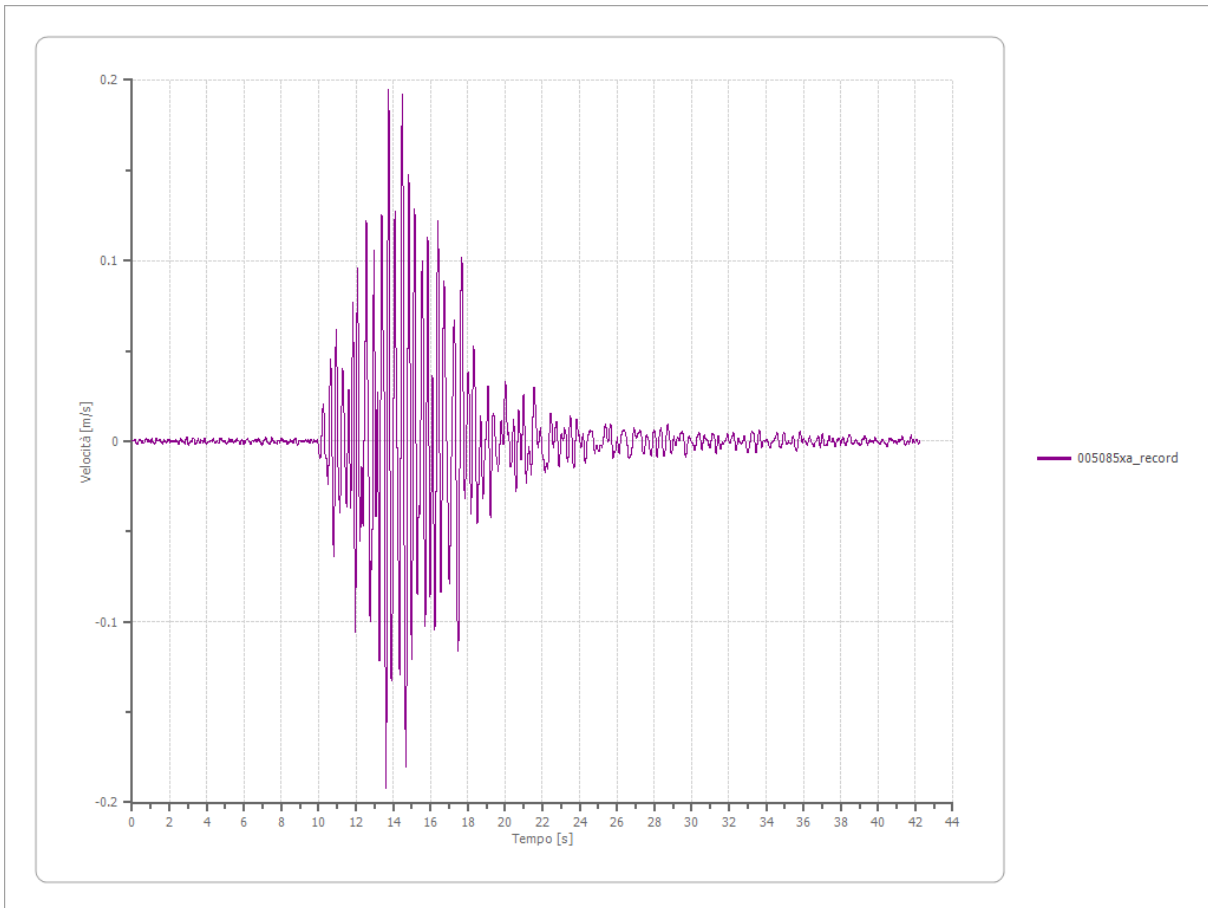
Strato	1 Affiorante
Pga	0.411 [g]
Pga0	0.182 [g]
Pga/Pga0	2.261
Accelerazione massima	0.411 [g]
Periodo accelerazione massima	14.550 [s]



Velocità

Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.195 [m/s]
13.750 [s]



Spostamento

Strato

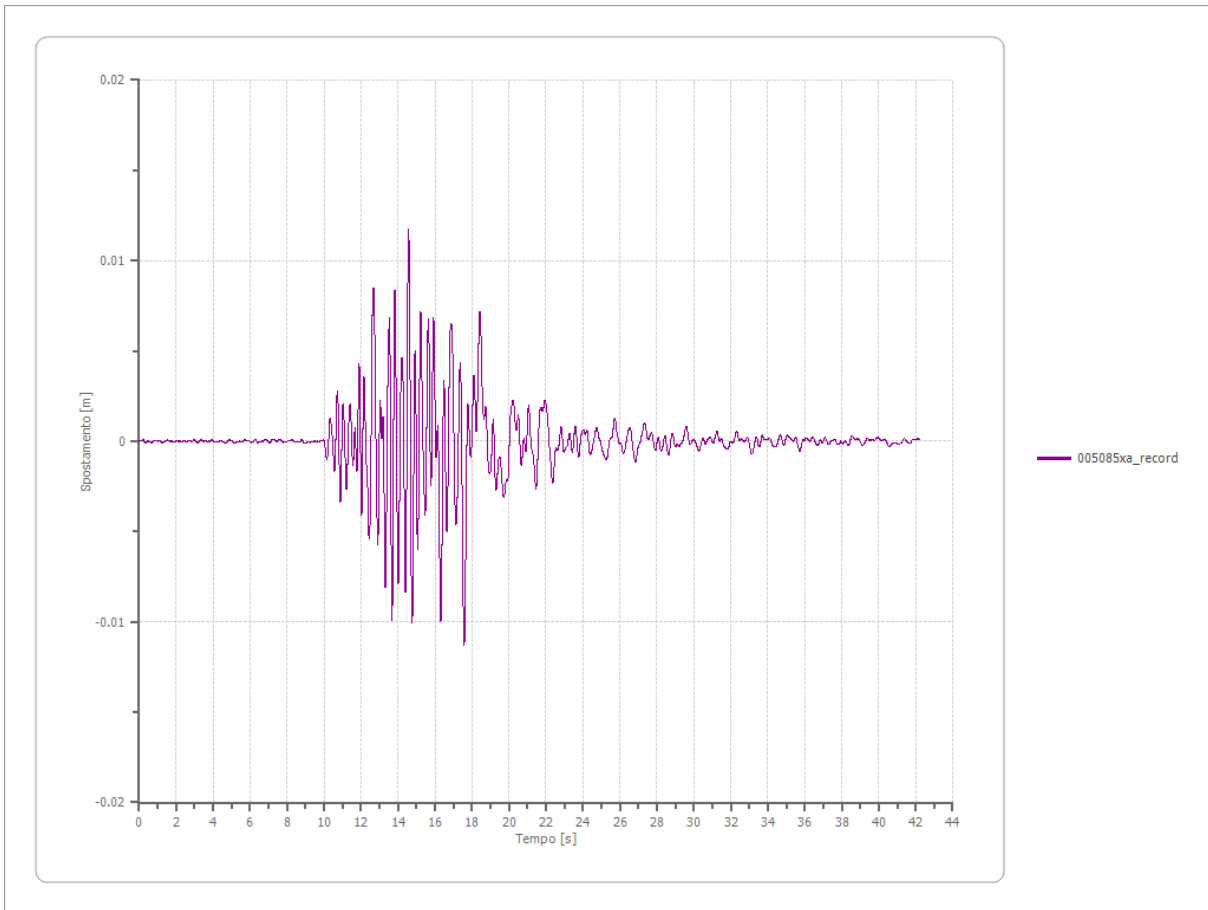
1 Affiorante

Spostamento massimo

0.012 [m]

Periodo spostamento massimo

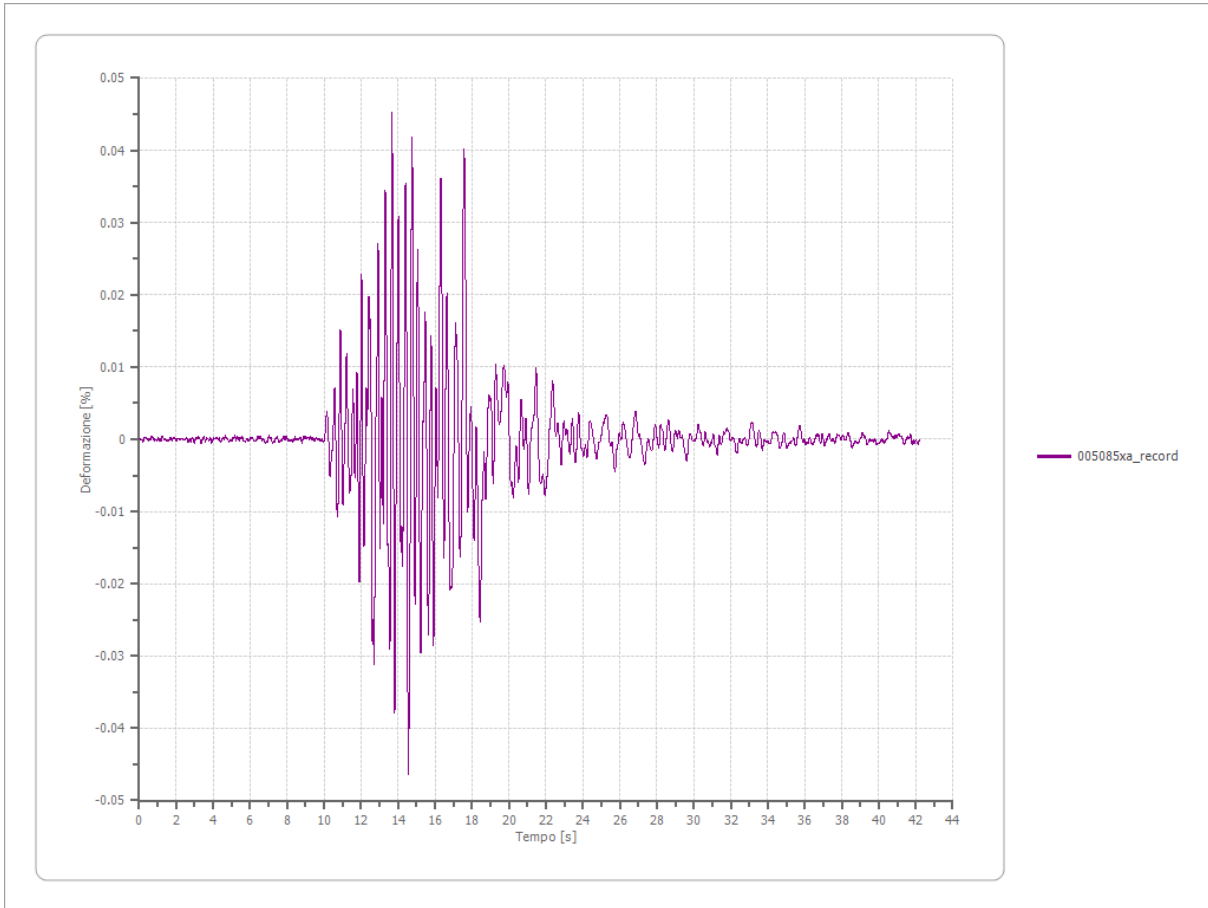
14.570 [s]



Deformazione

Numero di strati

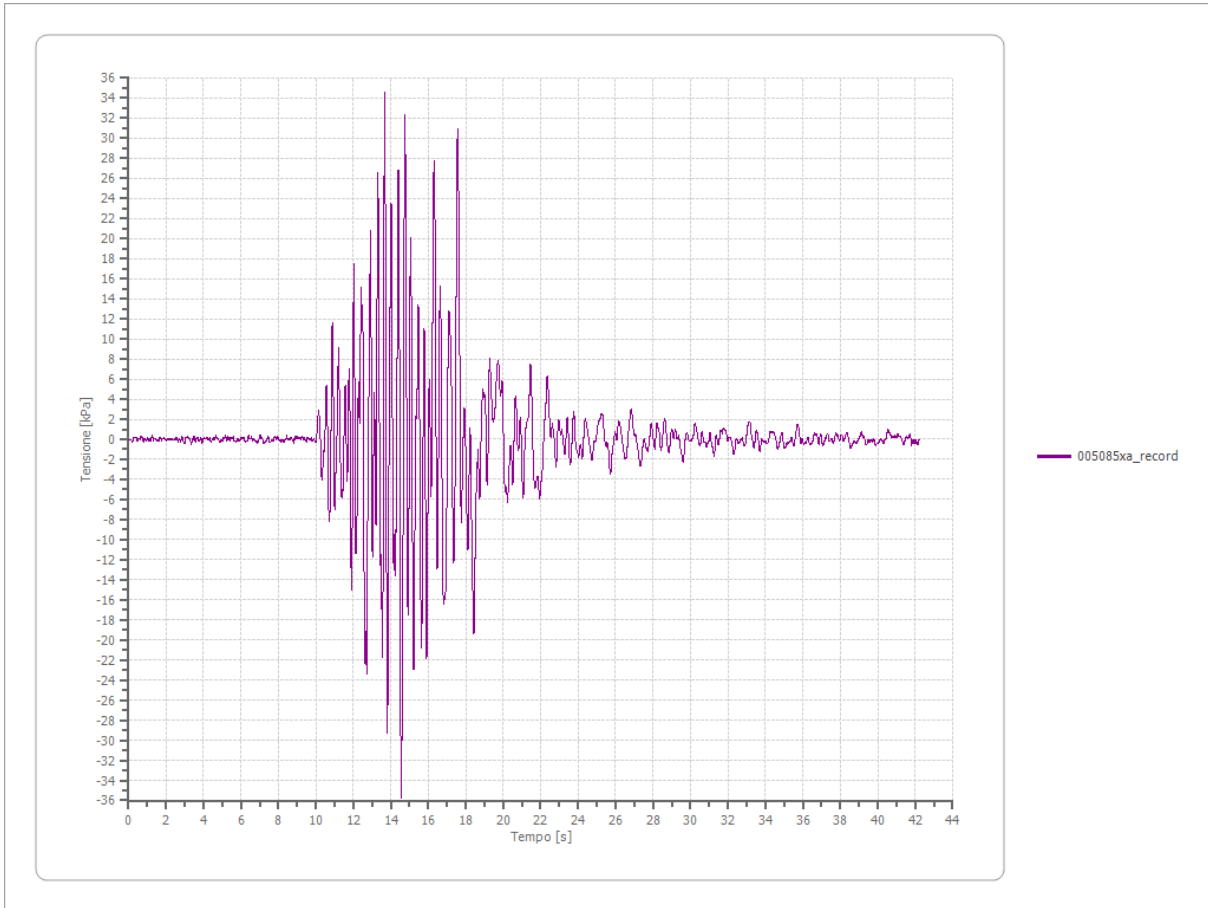
3



Tensione

Numero di strati

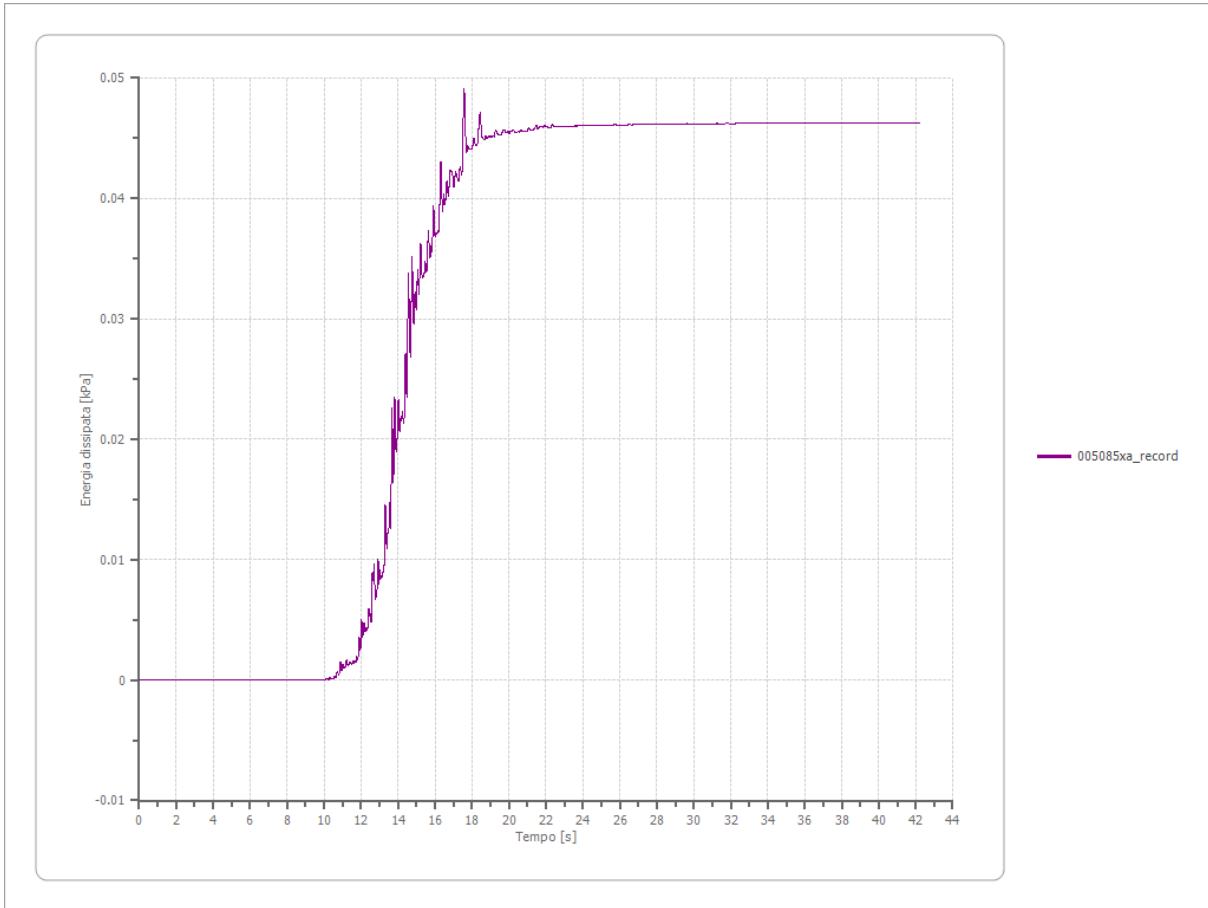
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



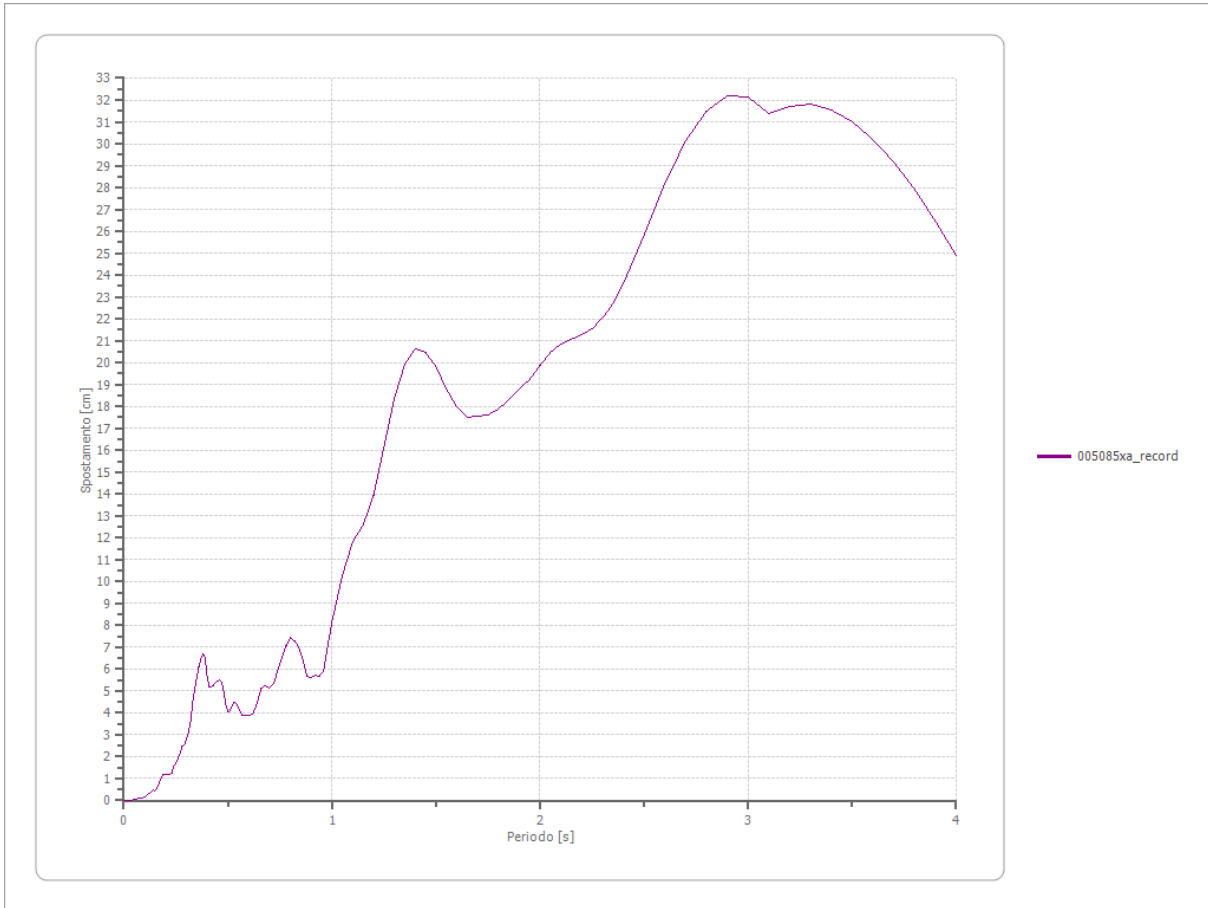
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

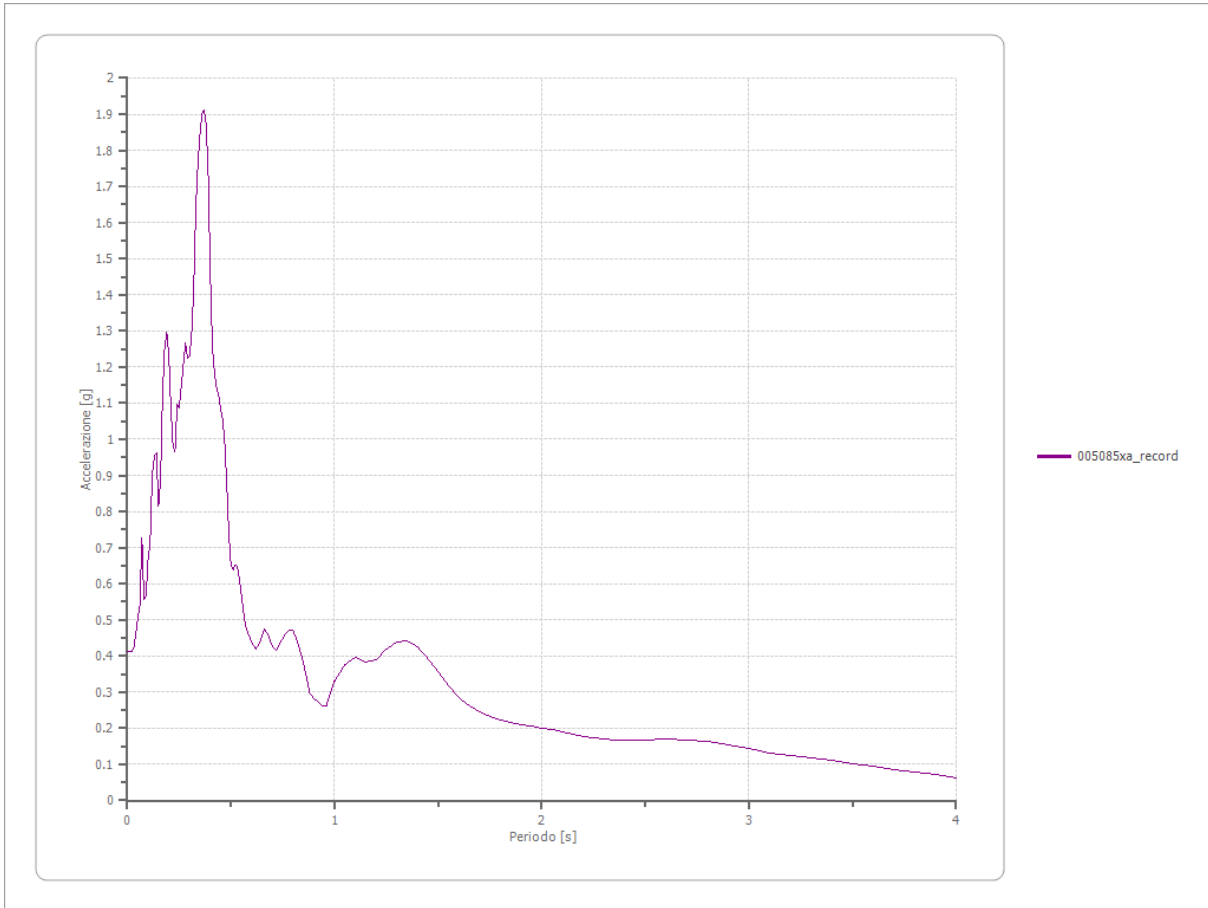
Spostamento

Spostamento massimo	32.174 [cm]
Periodo massimo spostamento	2.900 [s]



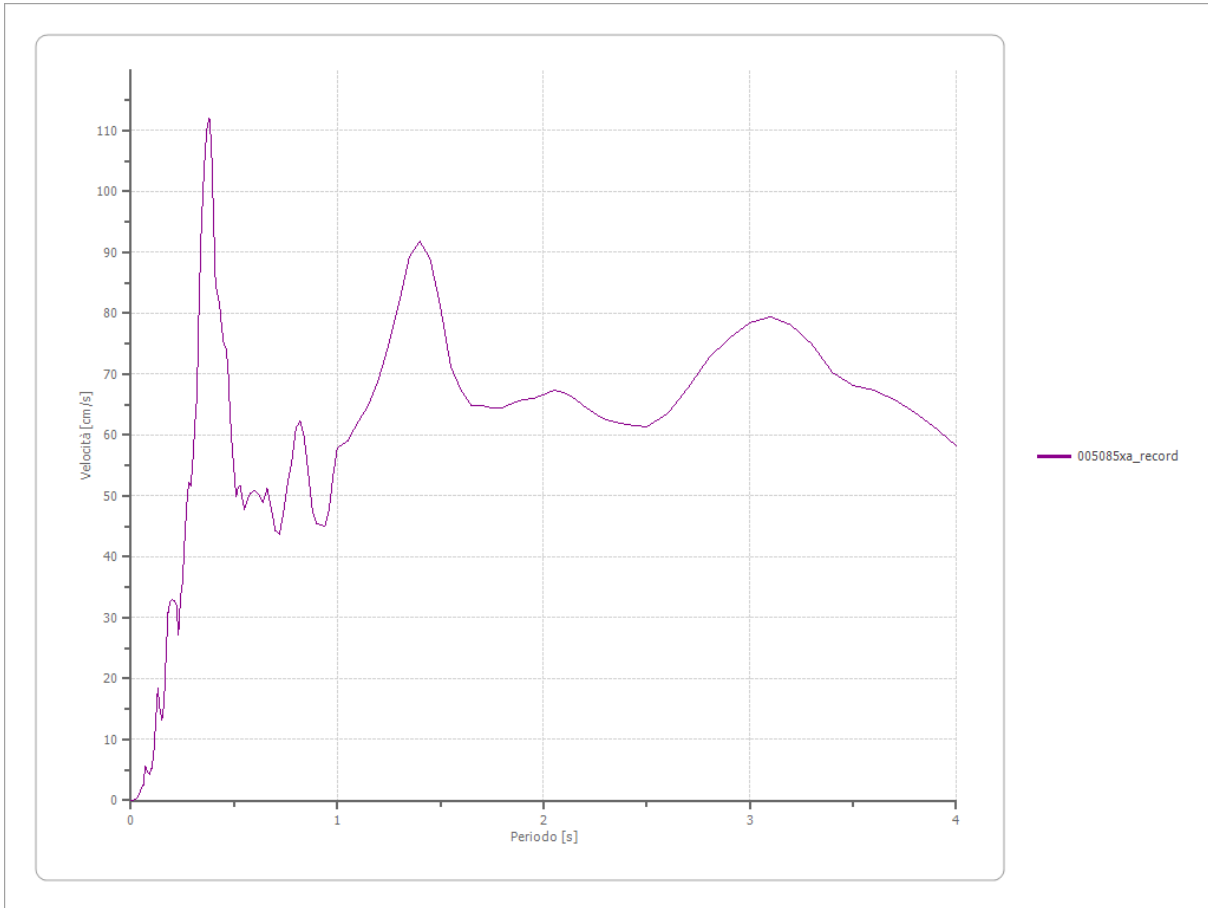
Accelerazione

Accelerazione massima	1.911 [g]
Periodo accelerazione massima	0.370 [s]



Velocità

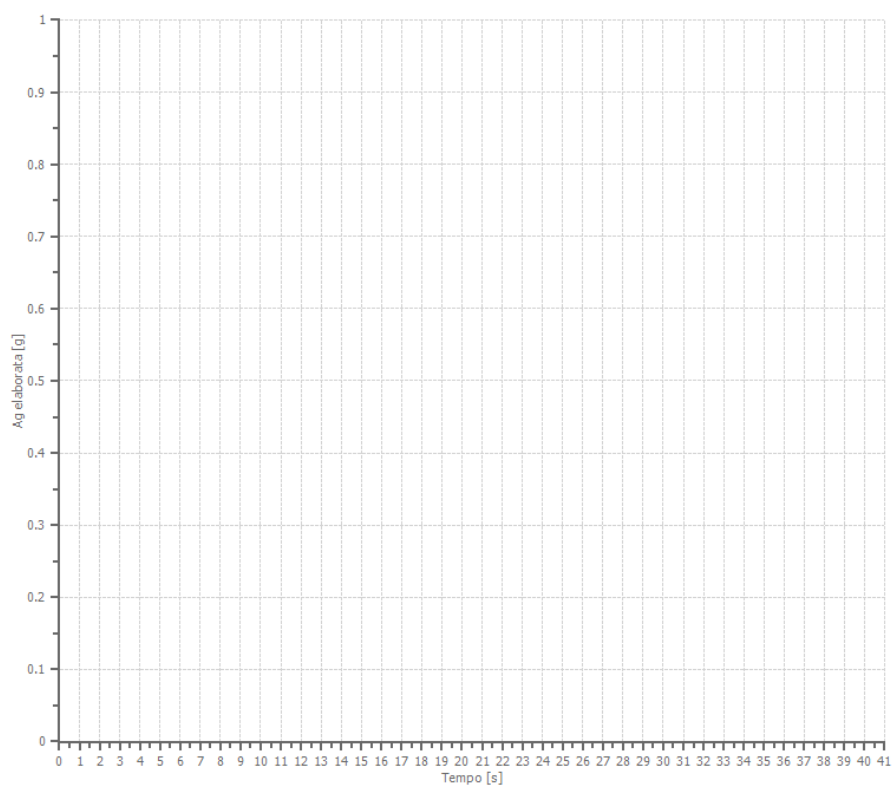
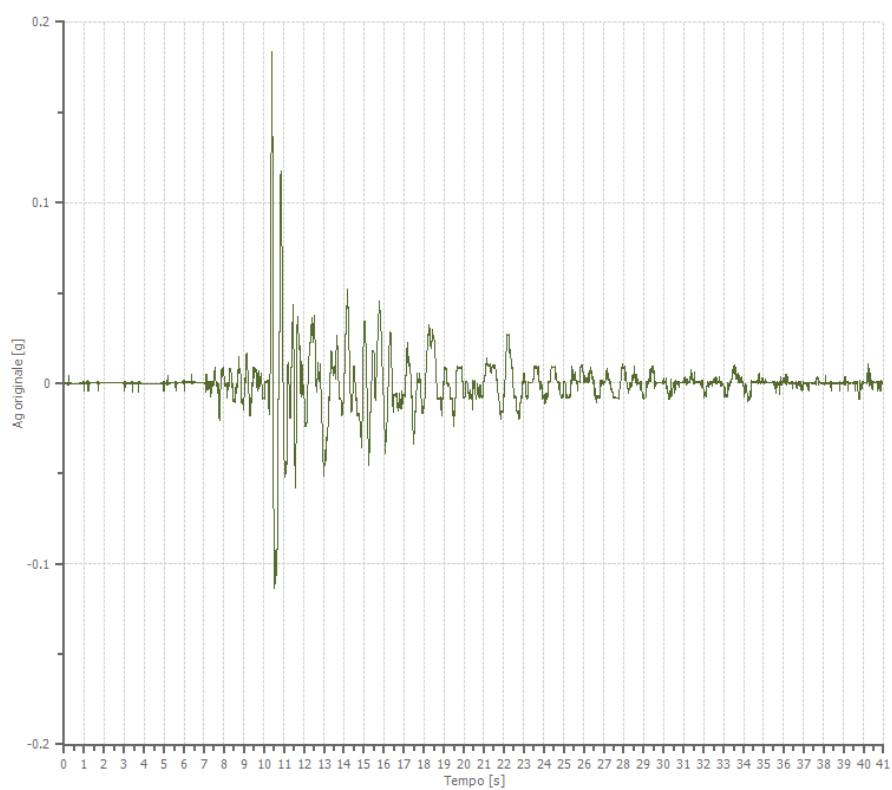
Velocità massima	1.911 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.380 [s]



File 005259xa_record:

Accelerogramma importato

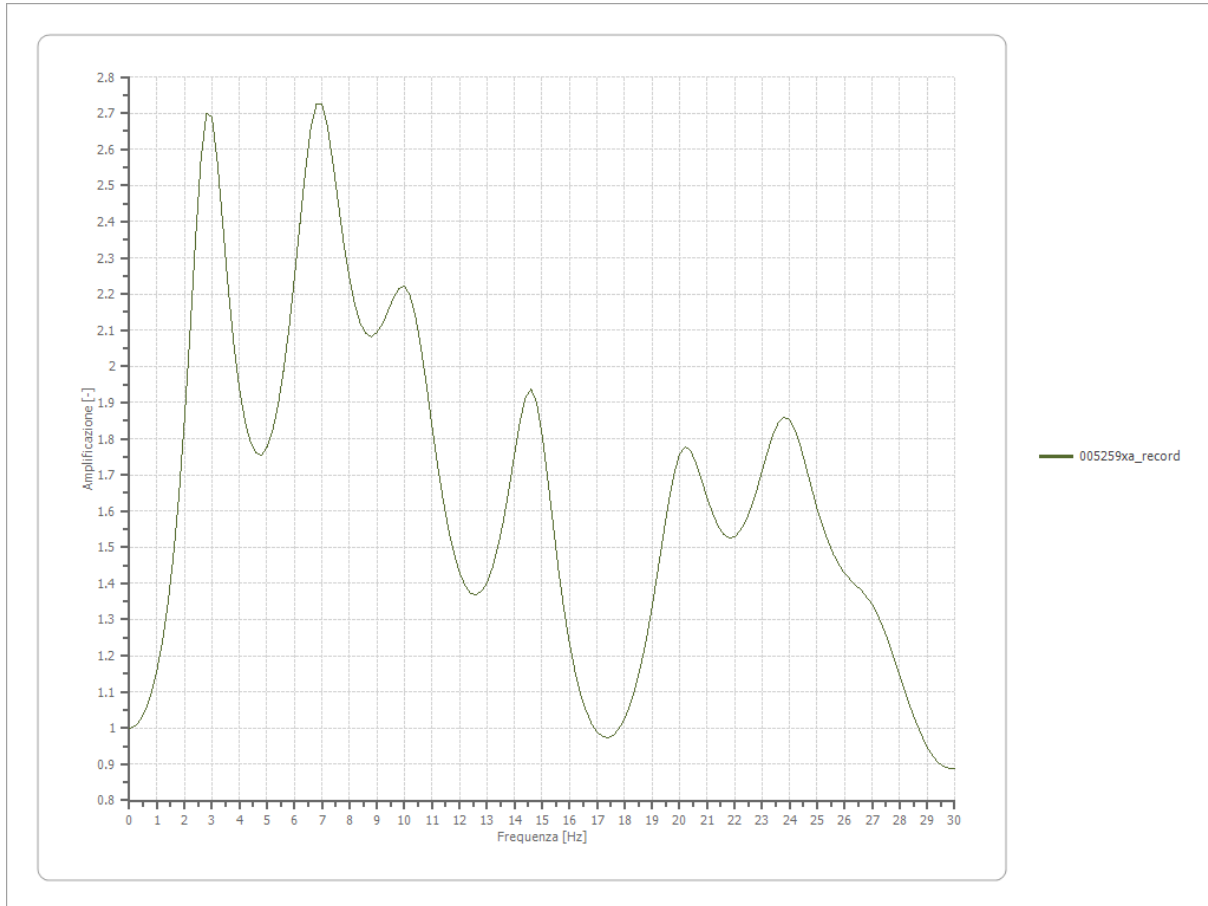
Nome del file	005259xa_record
Durata della traccia	40.940 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	10.400 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.317 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

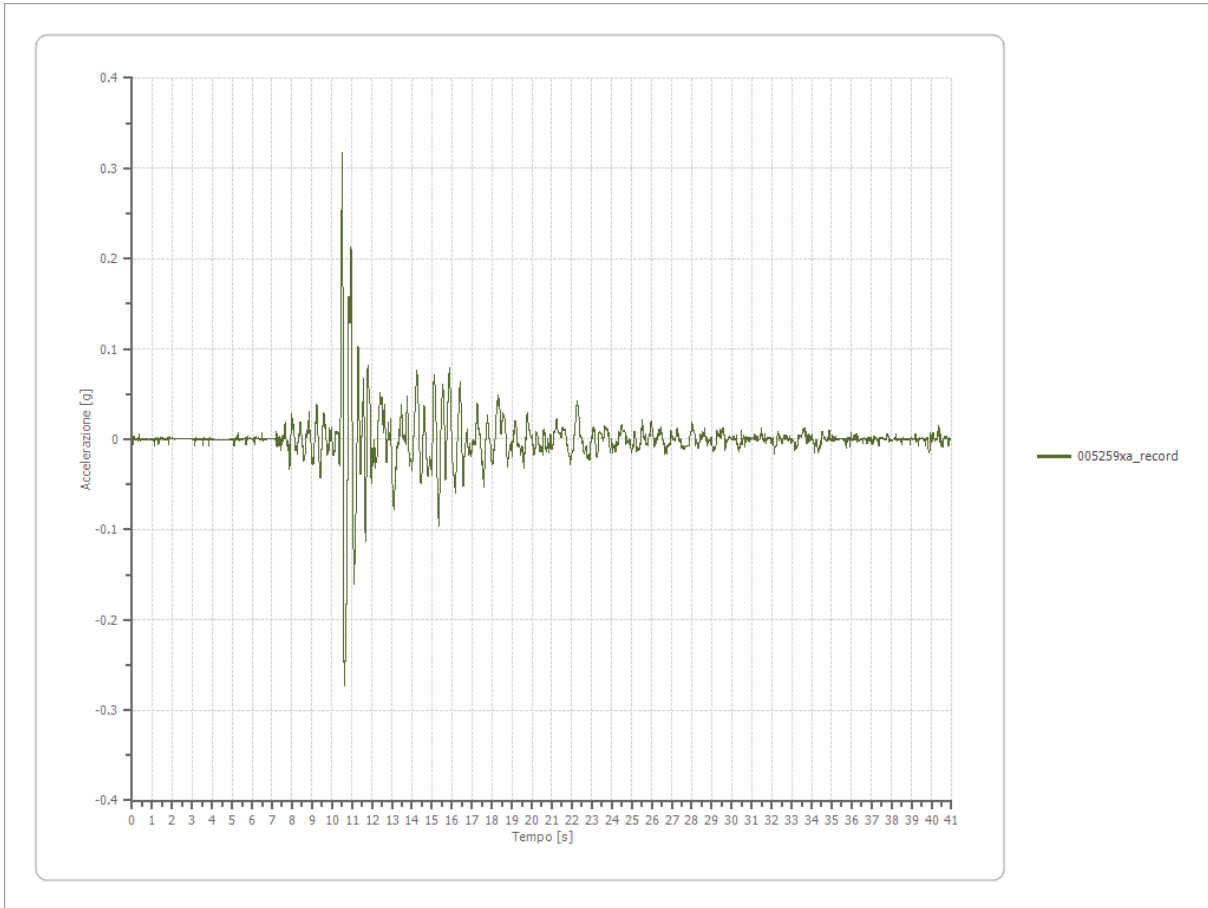
1.743

Accelerazione massima

0.317 [g]

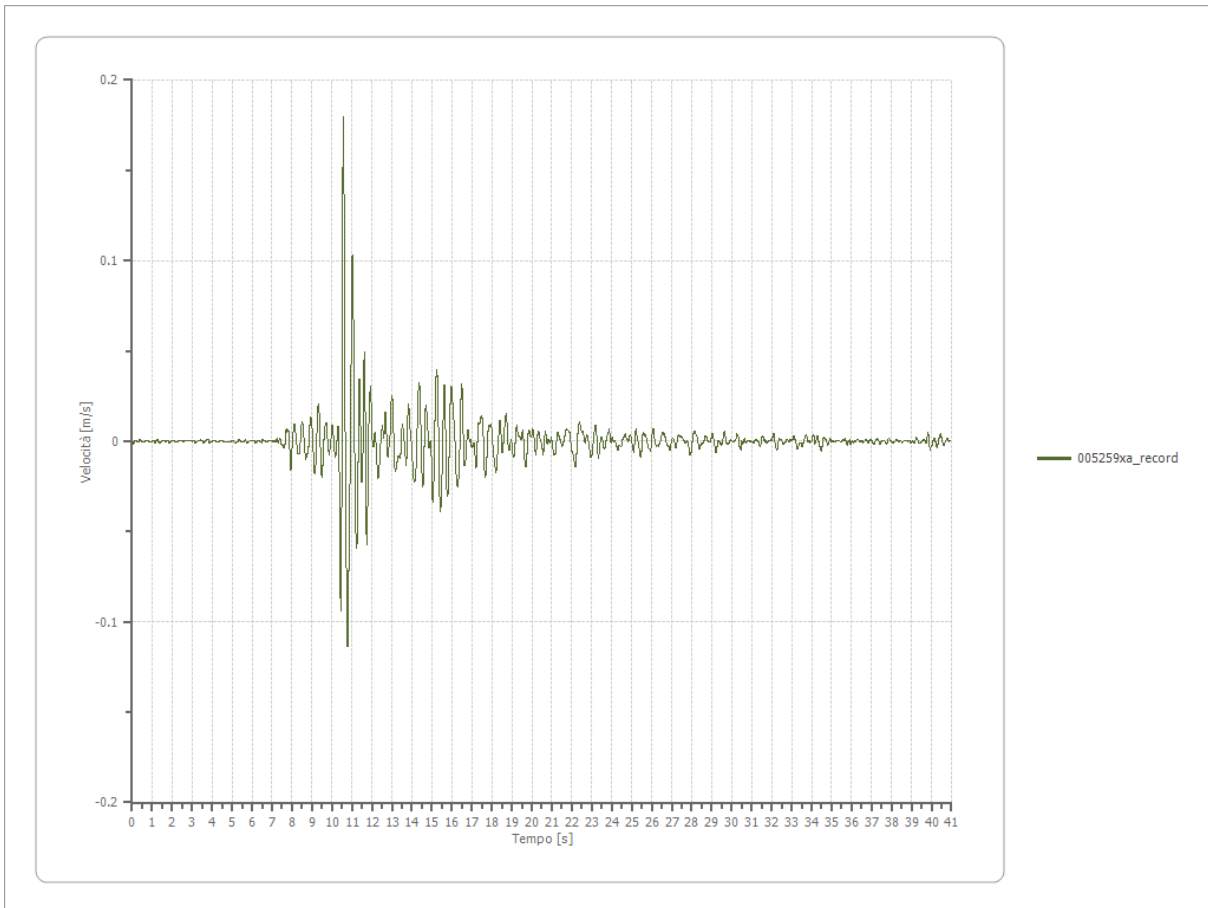
Periodo accelerazione massima

10.510 [s]



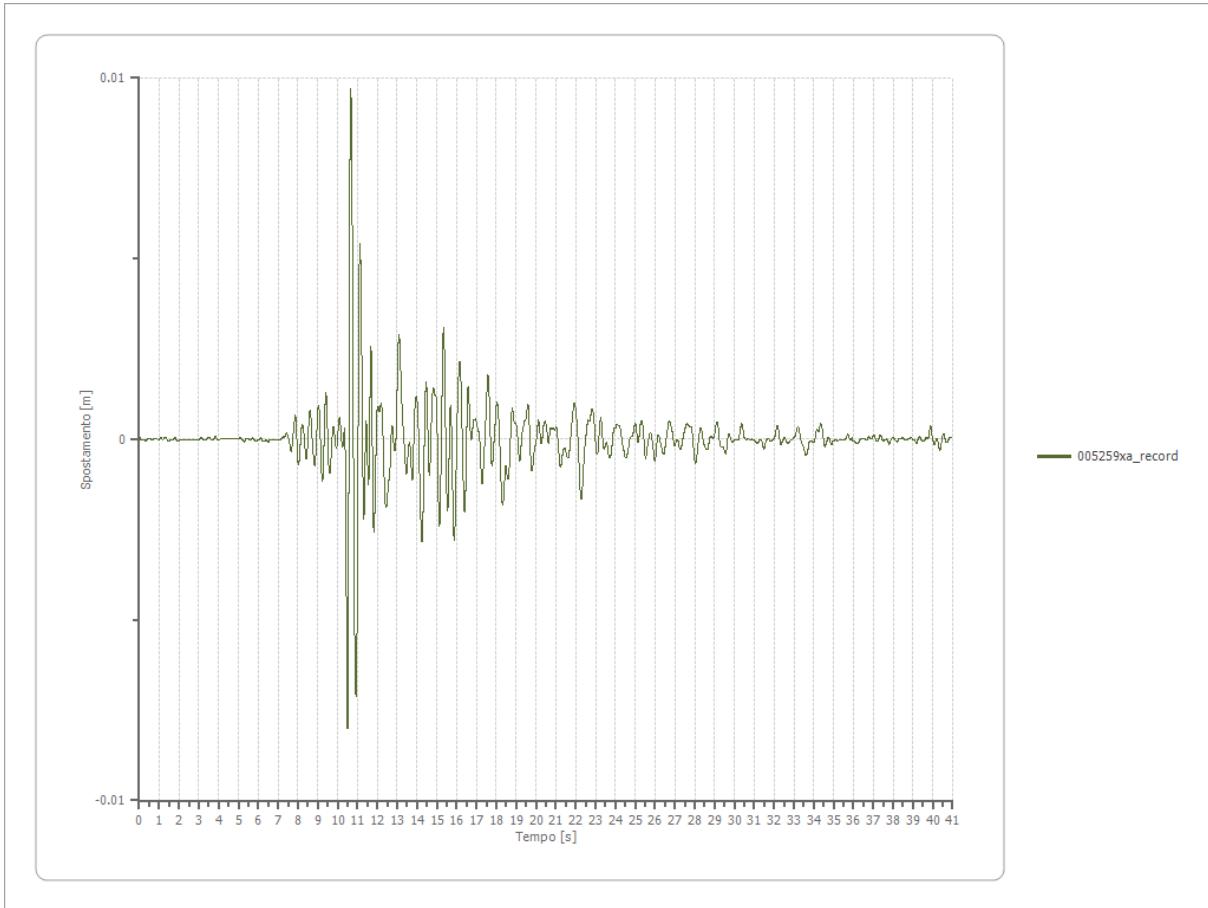
Velocità

Strato	1 Affiorante
Velocità massima	0.180 [m/s]
Periodo velocità massima	10.570 [s]



Spostamento

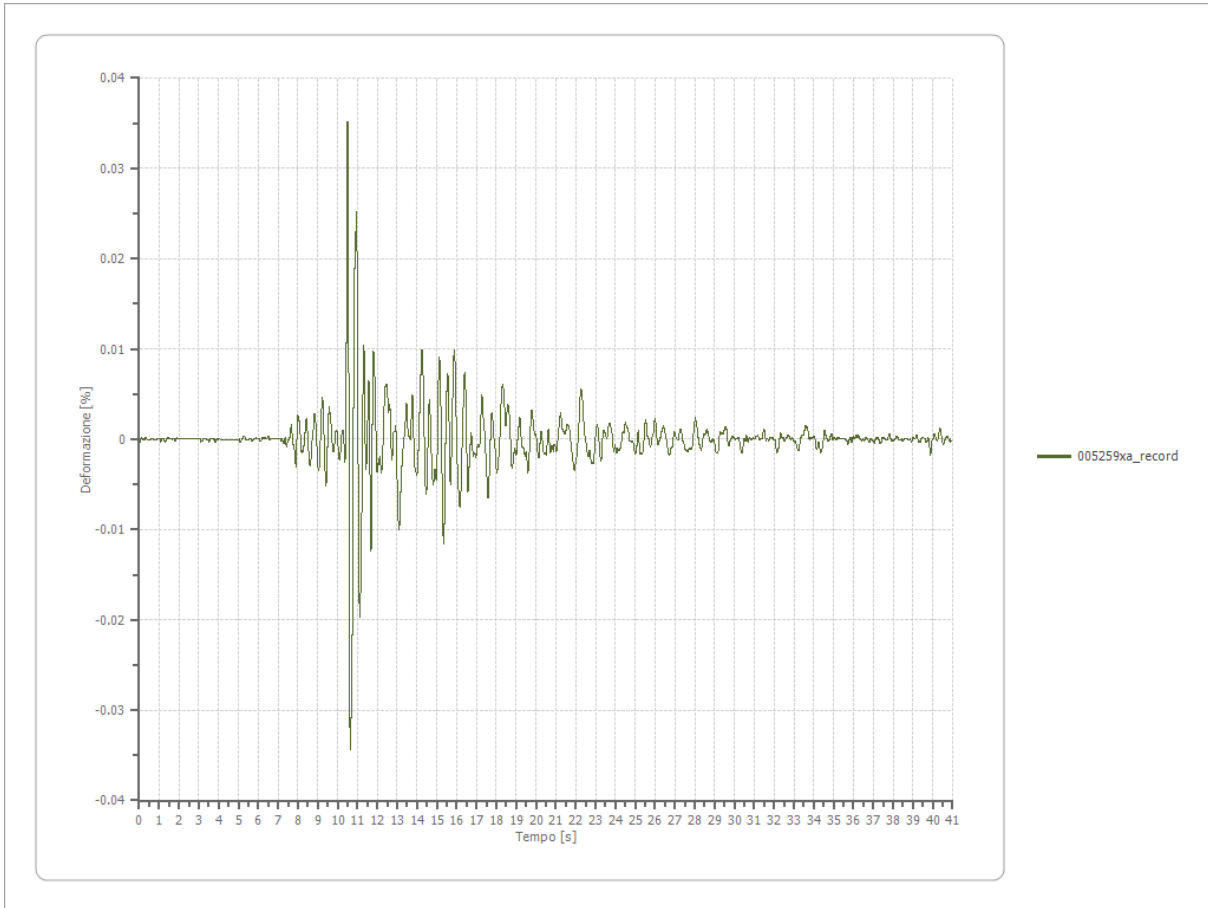
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.010 [m]
Periodo spostamento massimo	10.660 [s]



Deformazione

Numero di strati

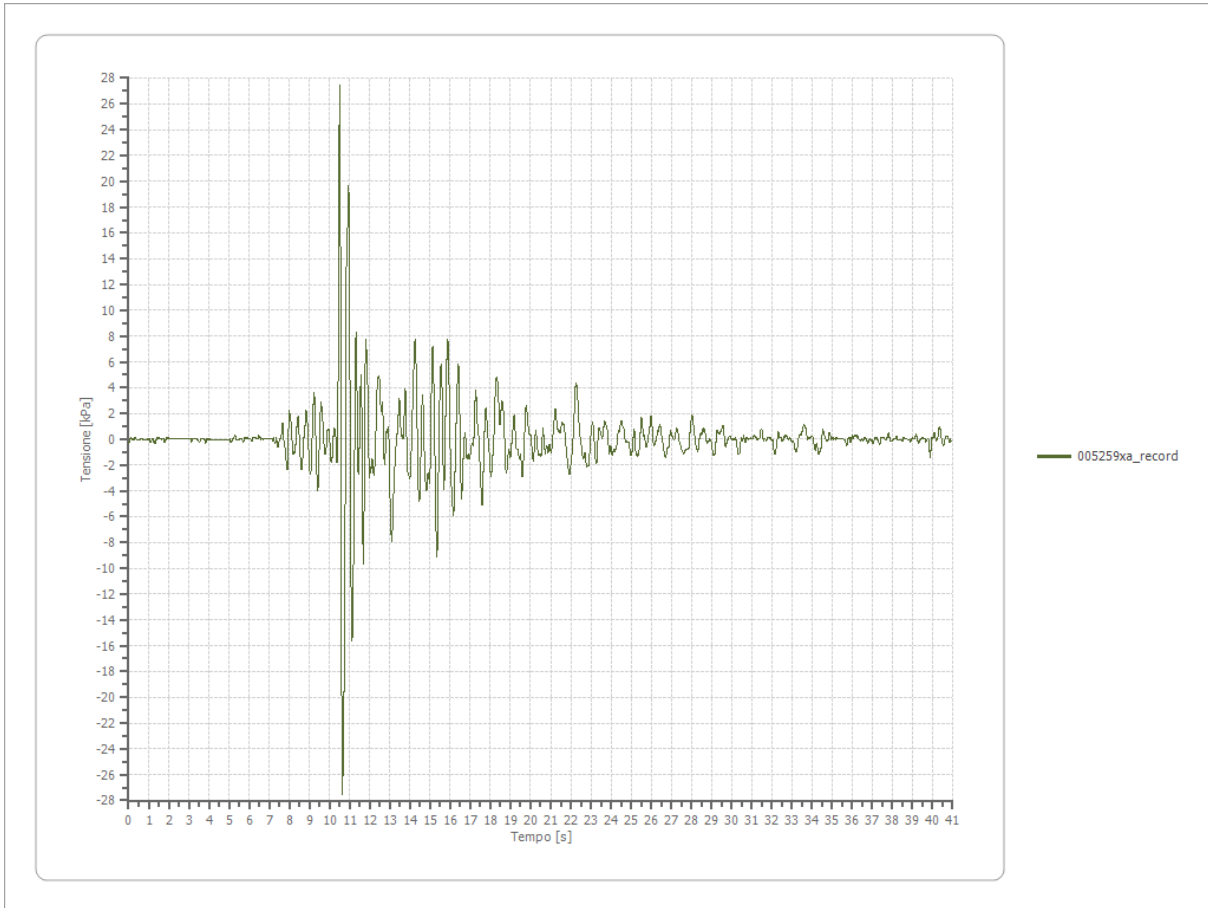
3



Tensione

Numero di strati

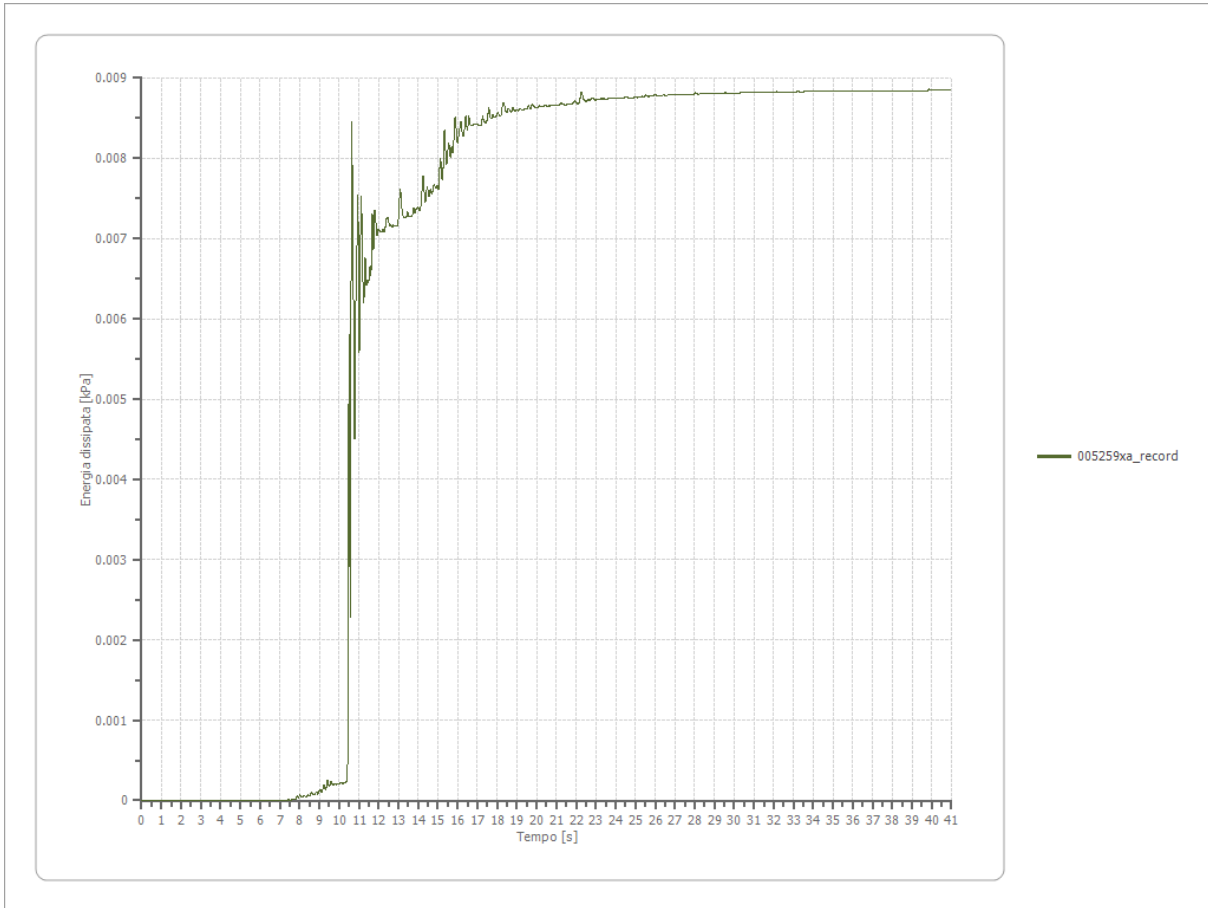
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



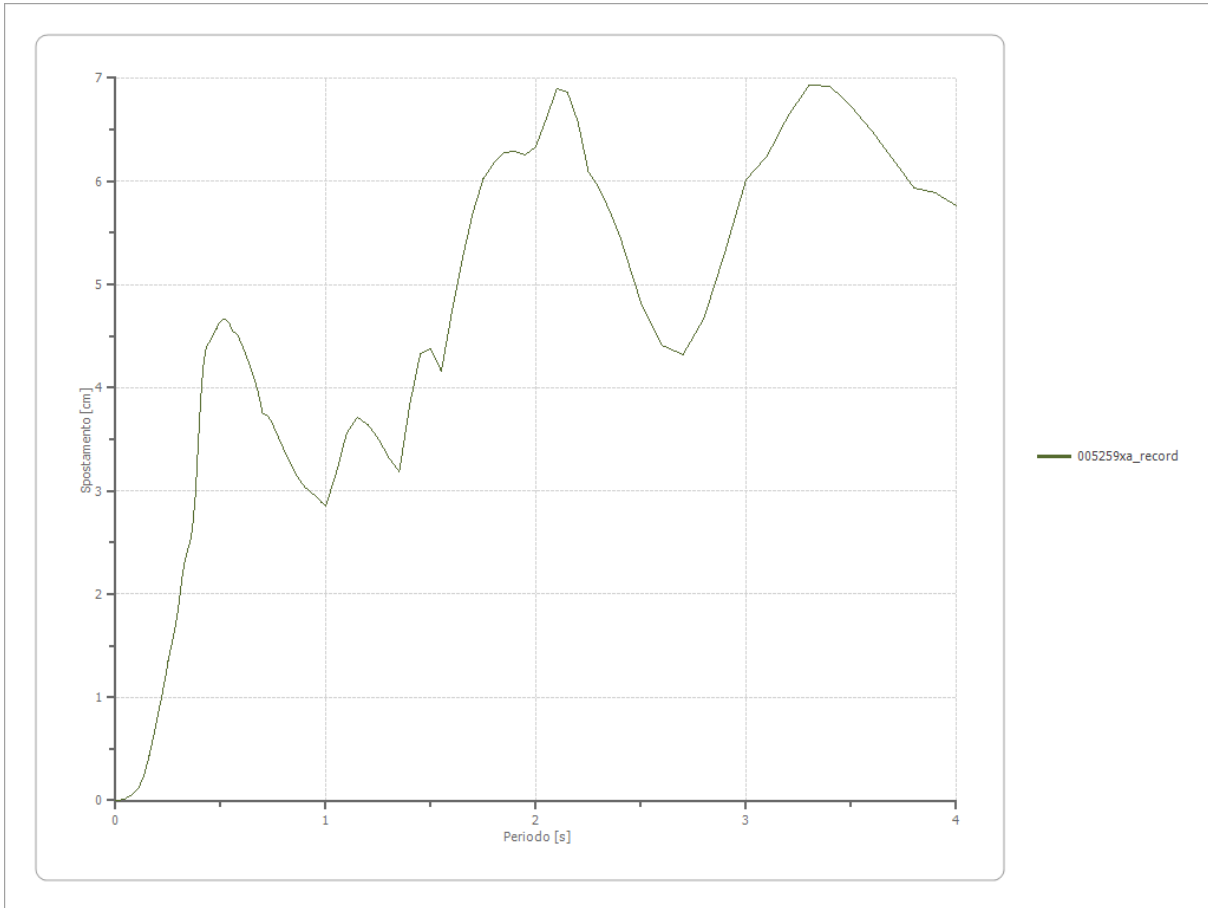
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

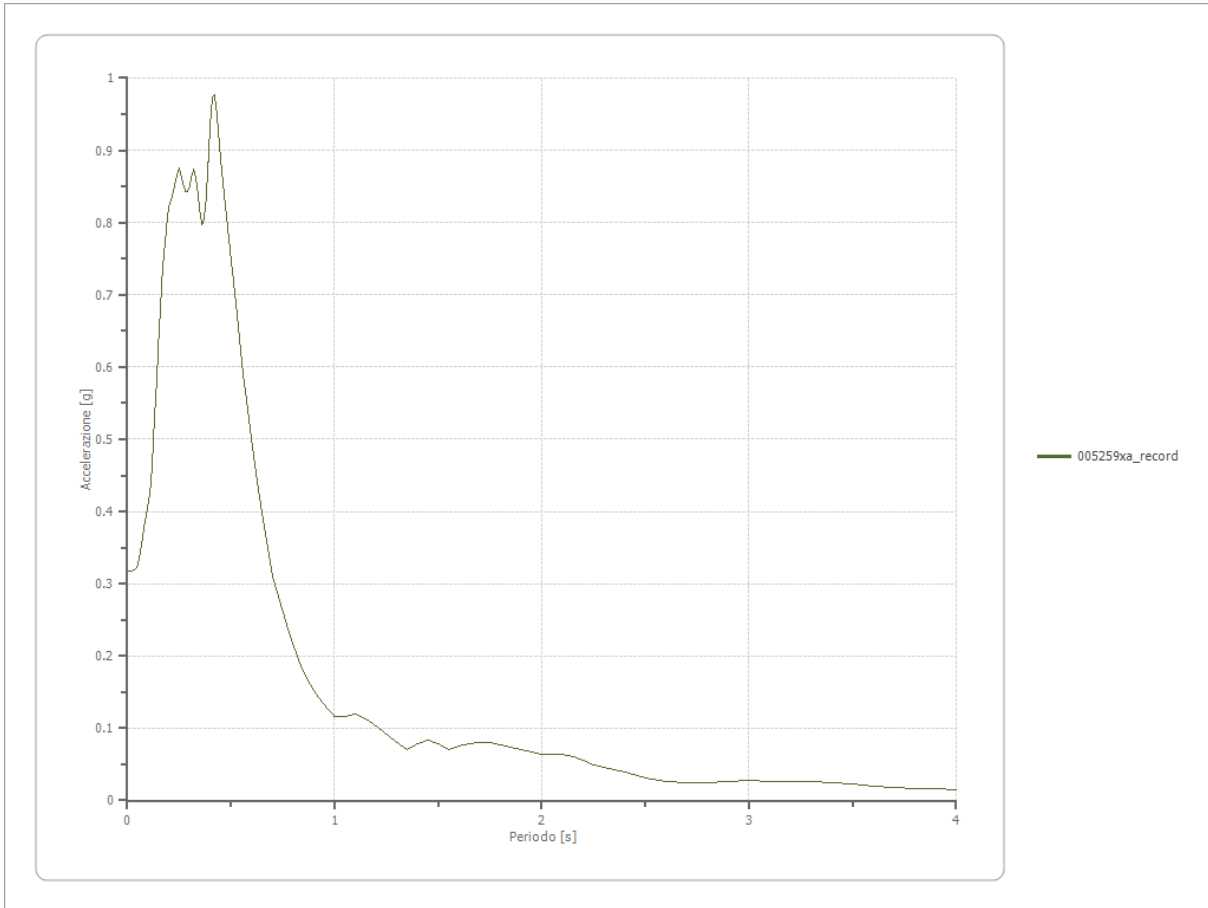
Spostamento

Spostamento massimo	6.926 [cm]
Periodo massimo spostamento	3.300 [s]



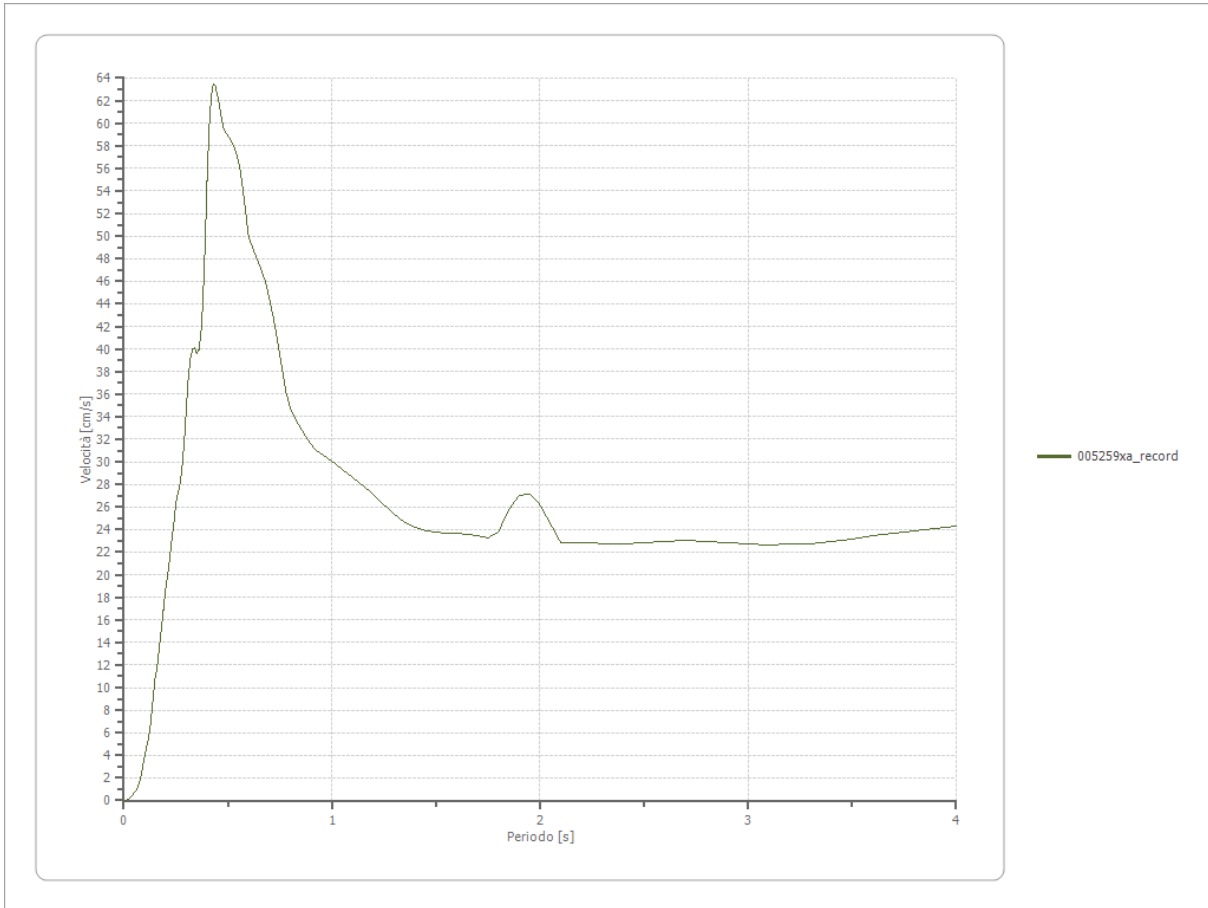
Accelerazione

Accelerazione massima	0.977 [g]
Periodo accelerazione massima	0.420 [s]



Velocità

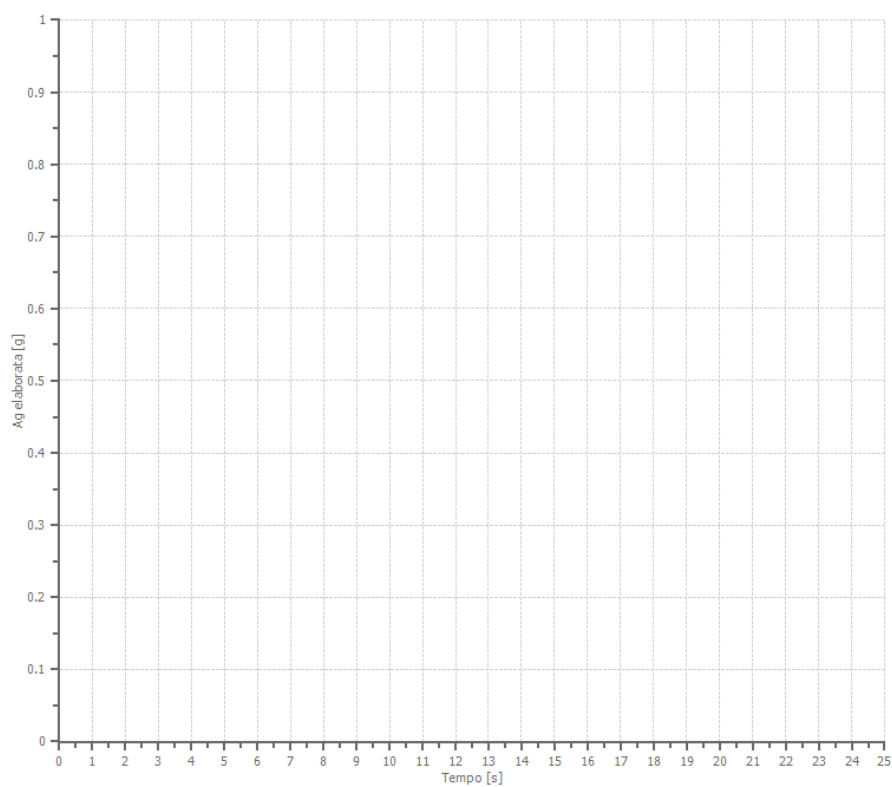
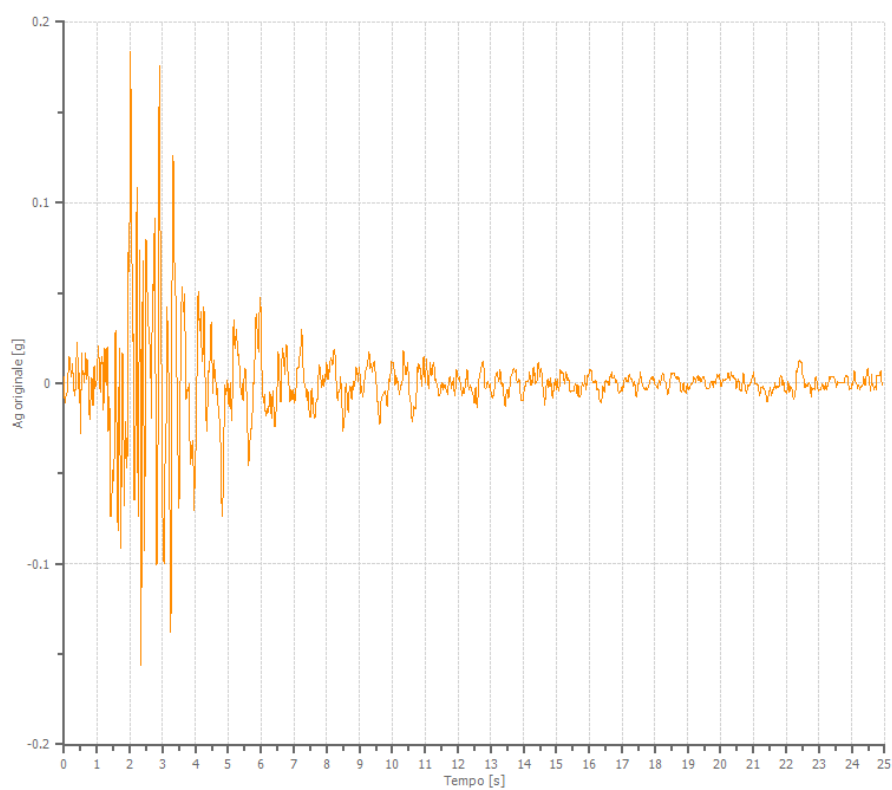
Velocità massima	0.977 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.430 [s]



File 005655xa_record:

Accelerogramma importato

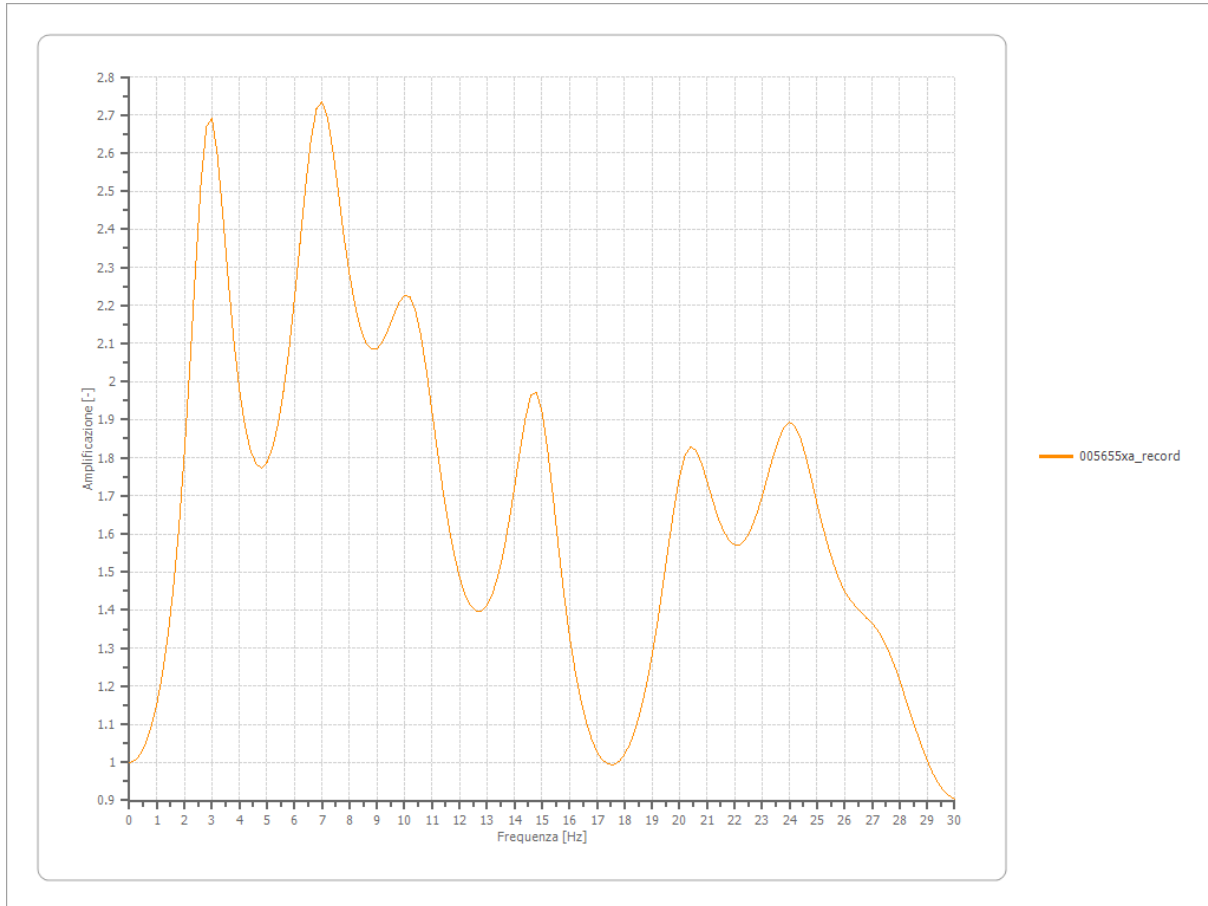
Nome del file	005655xa_record
Durata della traccia	24.920 [s]
Accelerazione massima	0.183 [g]
Periodo con accelerazione massima	2.020 [s]



Amplificazione

Strato iniziale
Strato finale

6 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato

1 Affiorante

Pga

0.378 [g]

Pga0

0.182 [g]

Pga/Pga0

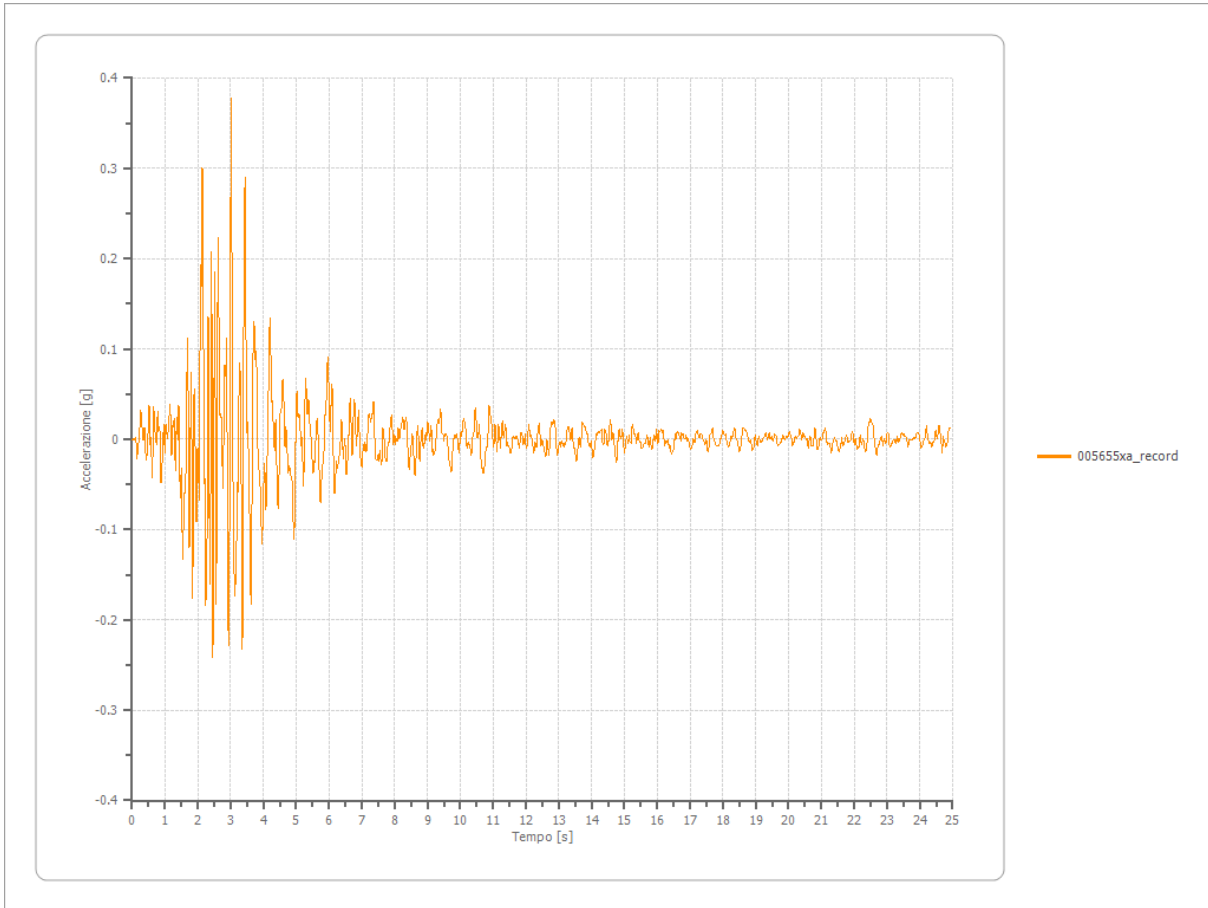
2.076

Accelerazione massima

0.378 [g]

Periodo accelerazione massima

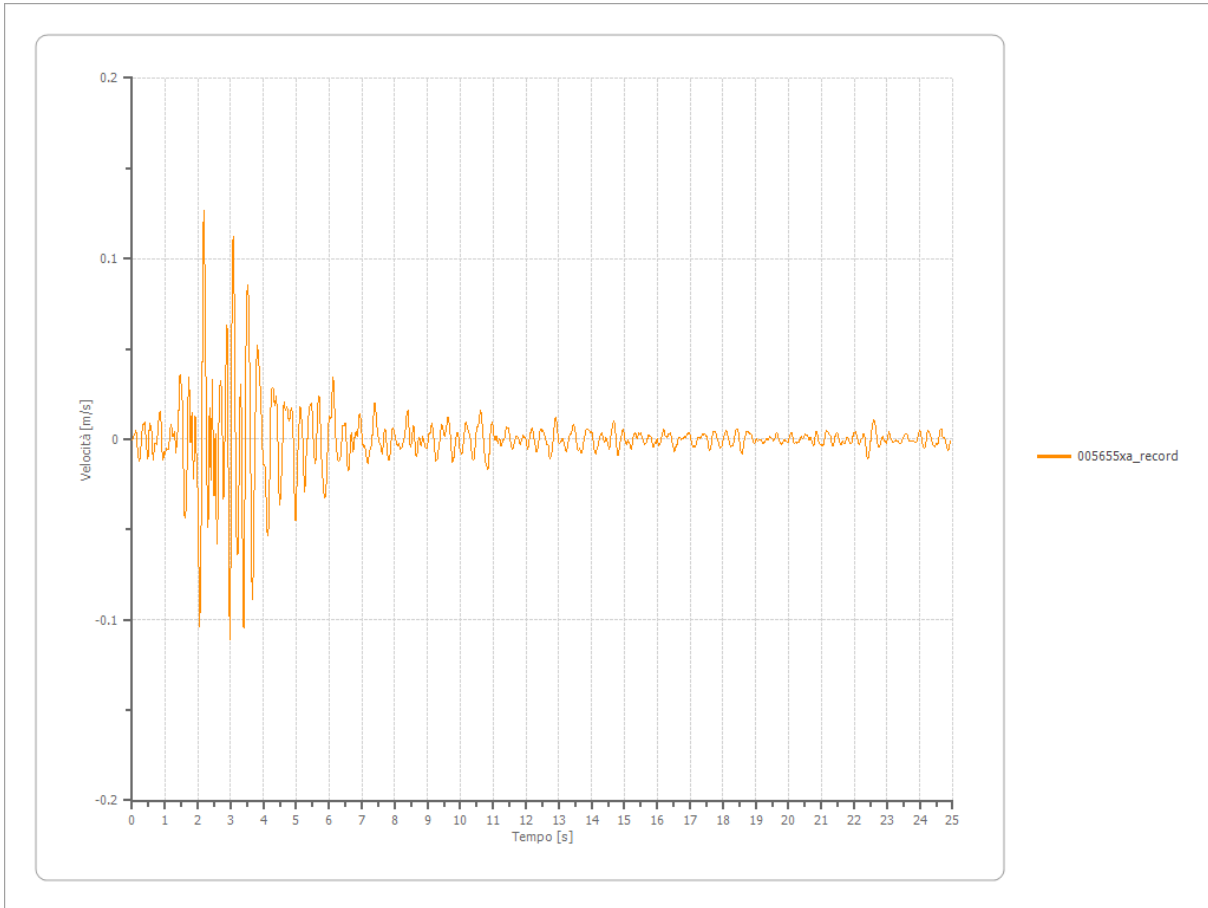
3.020 [s]



Velocità

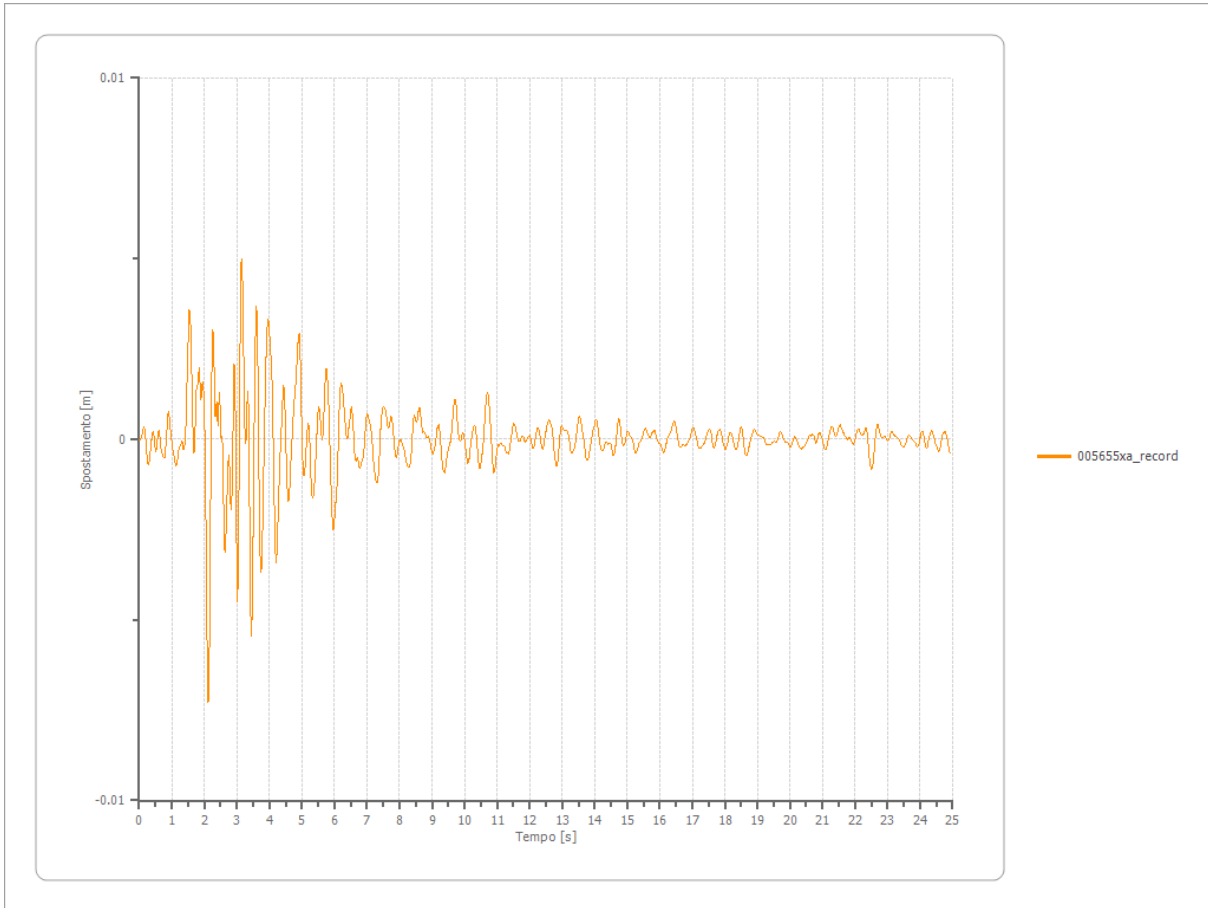
Strato
Velocità massima
Periodo velocità massima

1 Affiorante
0.127 [m/s]
2.180 [s]



Spostamento

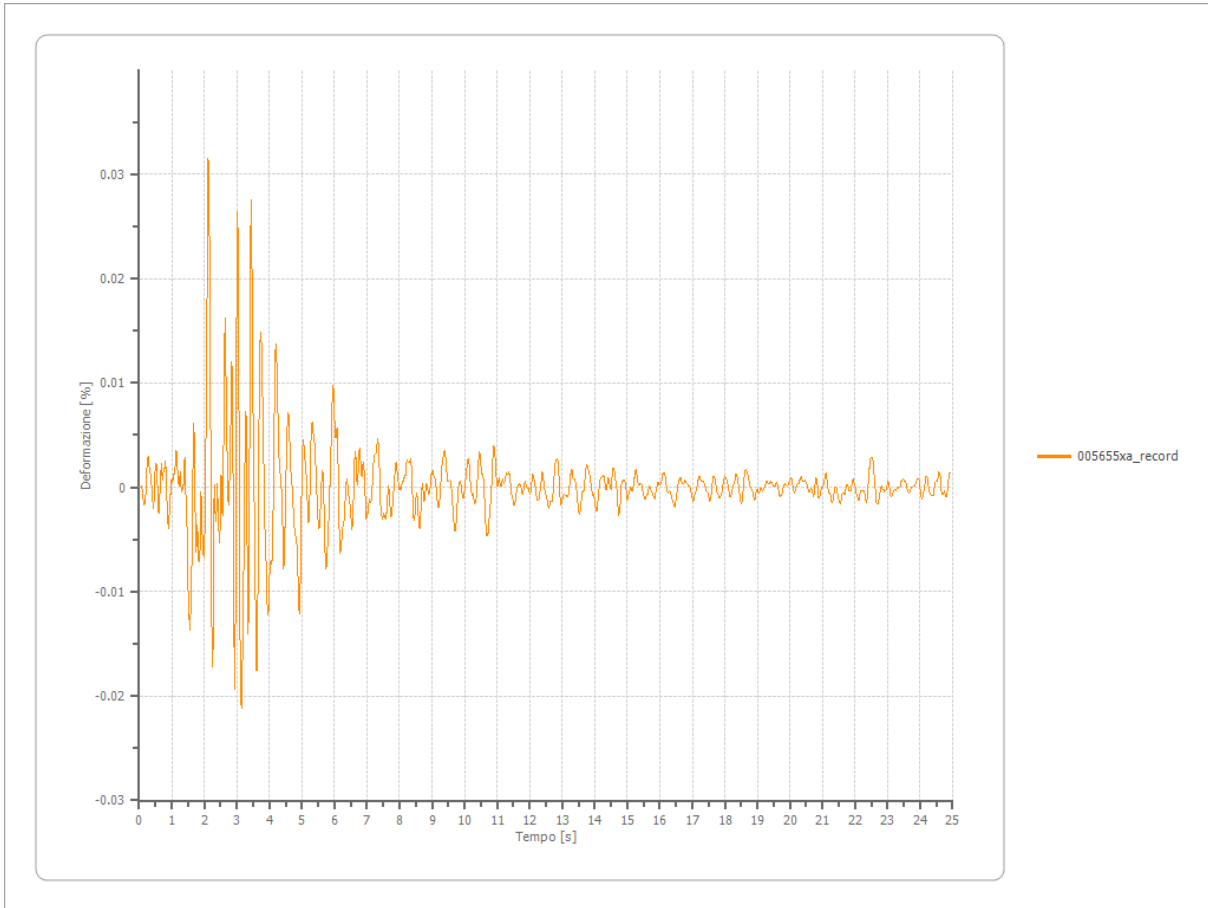
Strato	1 Affiorante
Spostamento massimo	0.007 [m]
Periodo spostamento massimo	2.120 [s]



Deformazione

Numero di strati

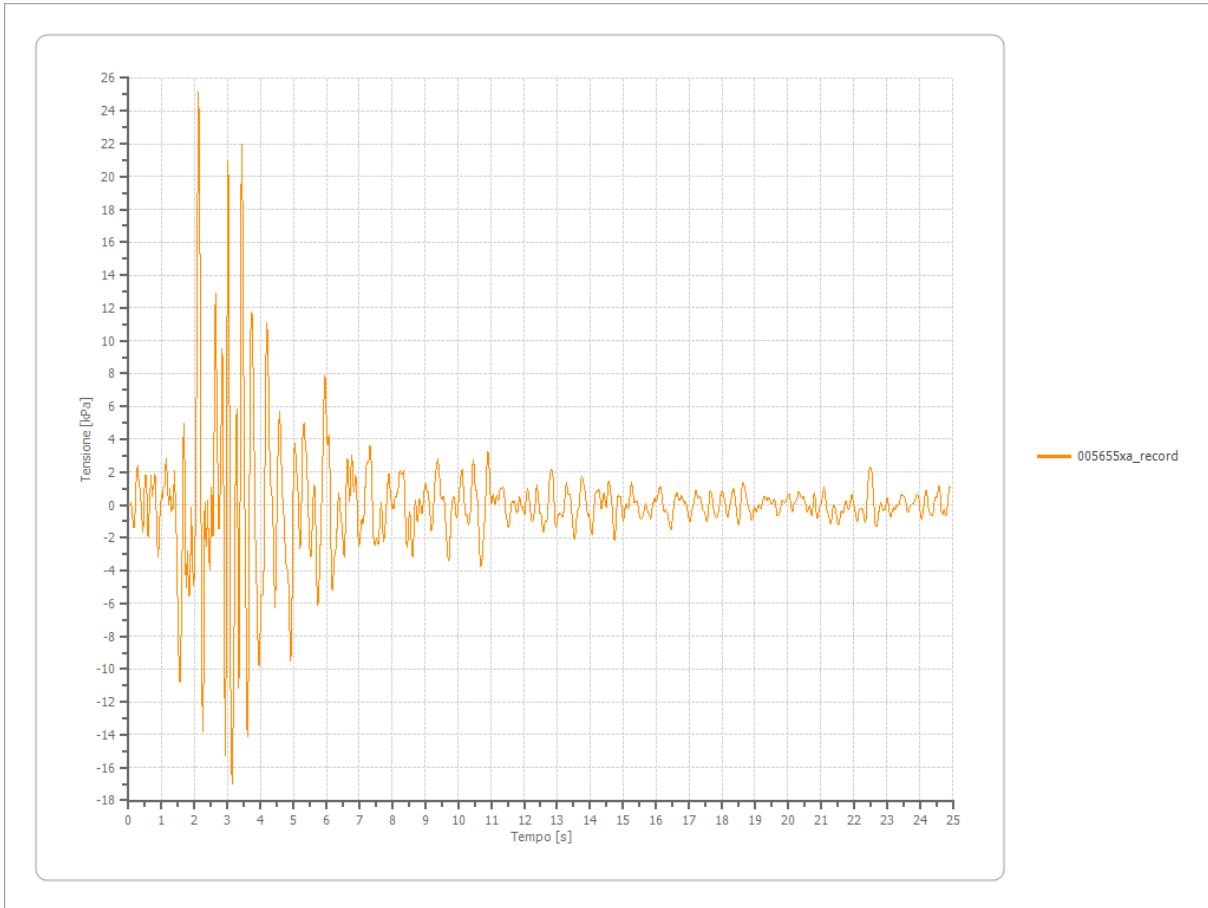
3



Tensione

Numero di strati

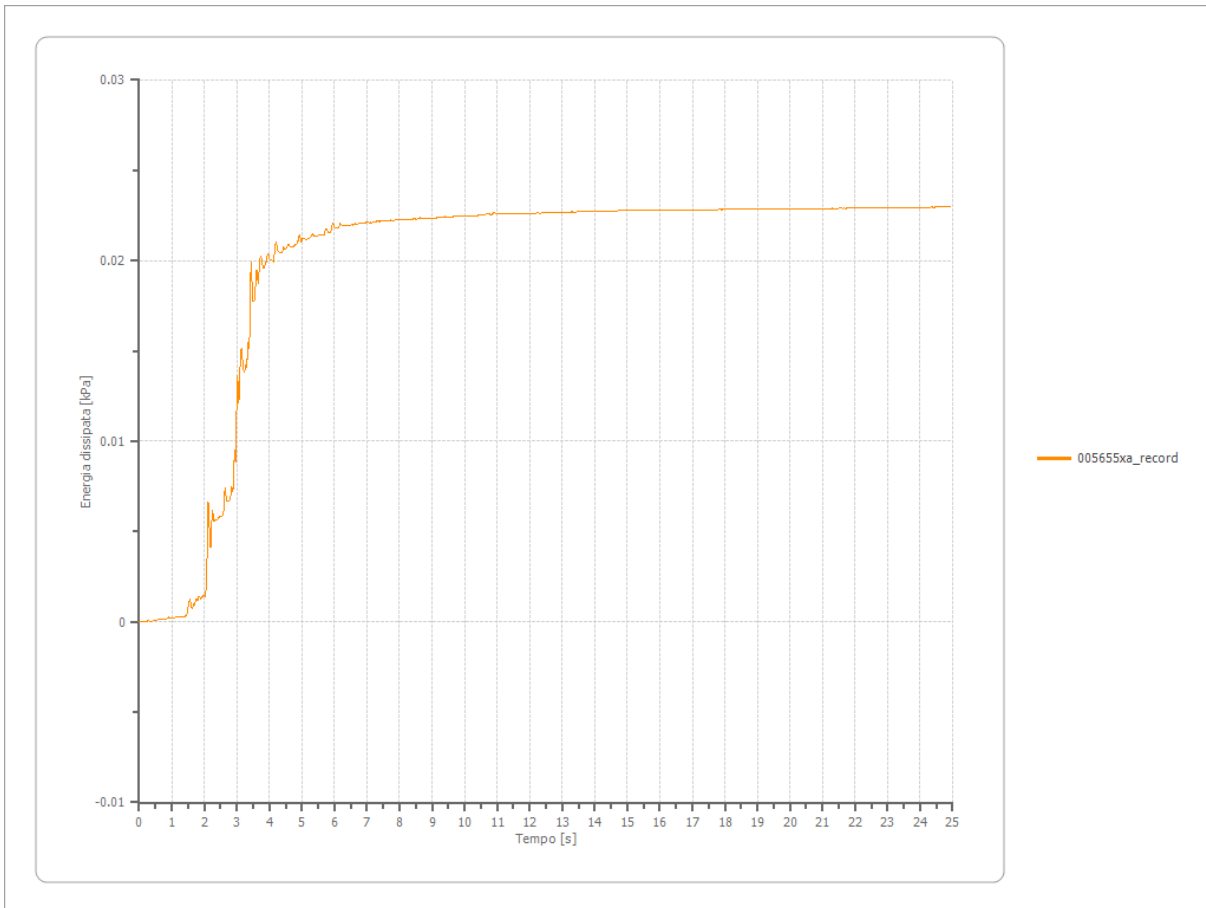
3



Energia dissipata

Numero di strati

3



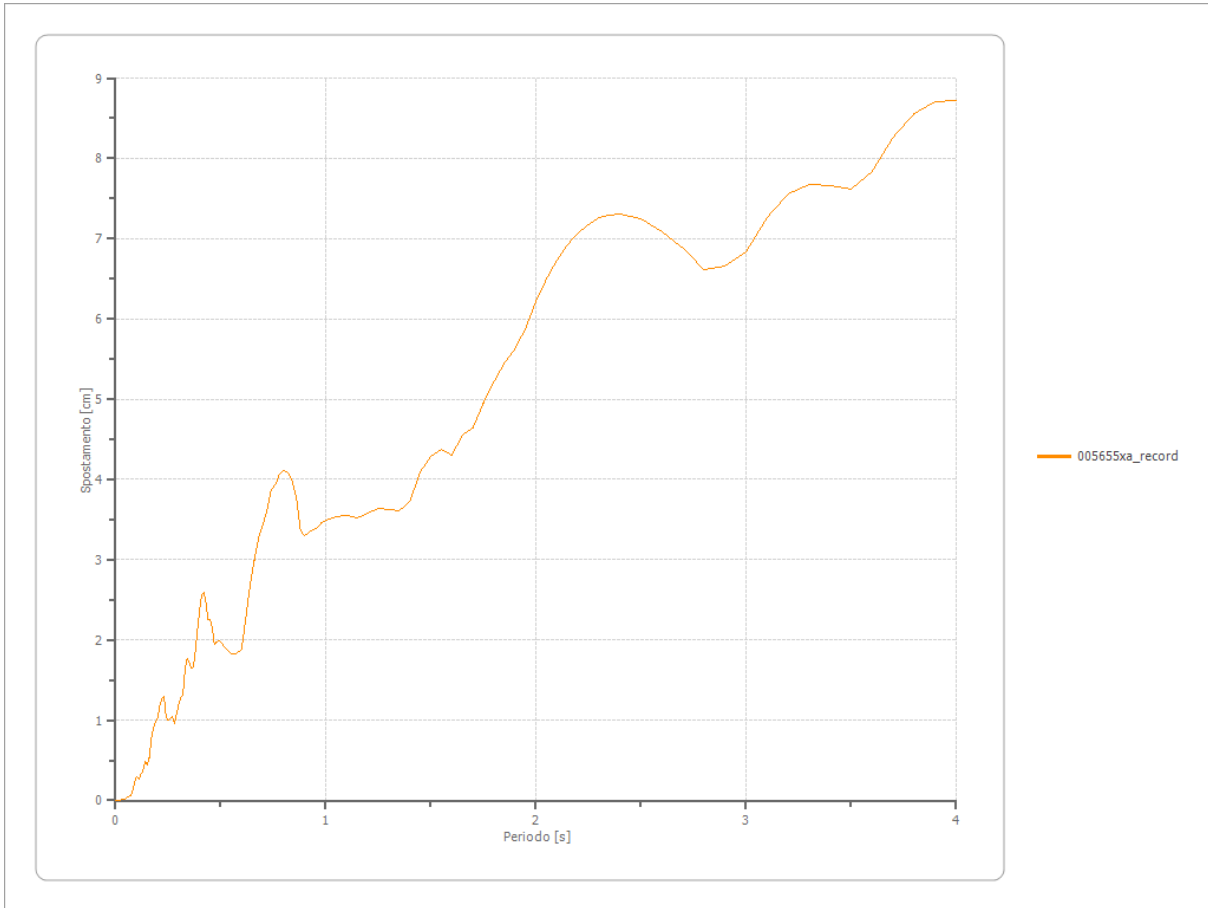
Trasformata di Fourier

Strato	1	Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1	

Spettri

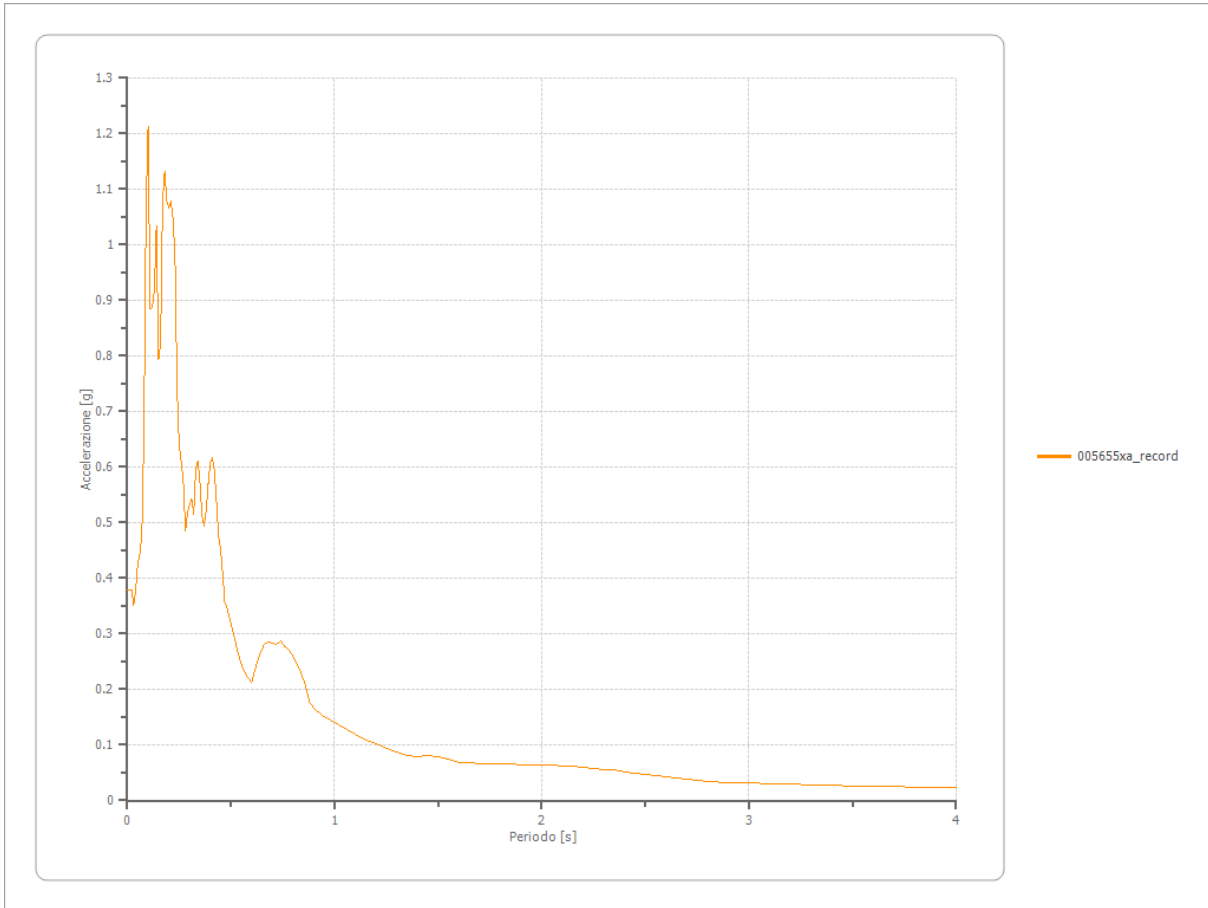
Spostamento

Spostamento massimo	8.714 [cm]
Periodo massimo spostamento	4.000 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	1.213 [g]
Periodo accelerazione massima	0.100 [s]



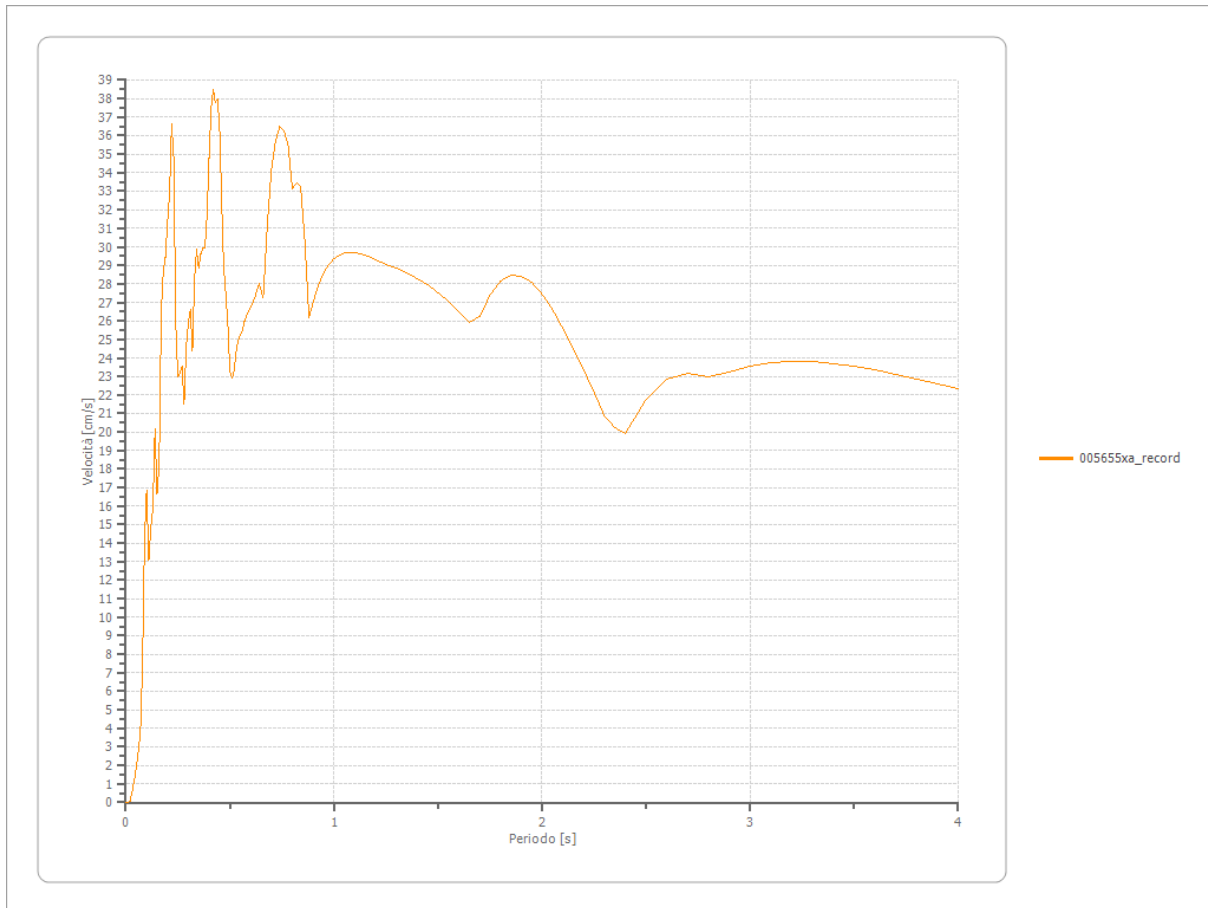
Velocità

Velocità massima

1.213 [cm/s]

Periodo massima velocità

0.420 [s]



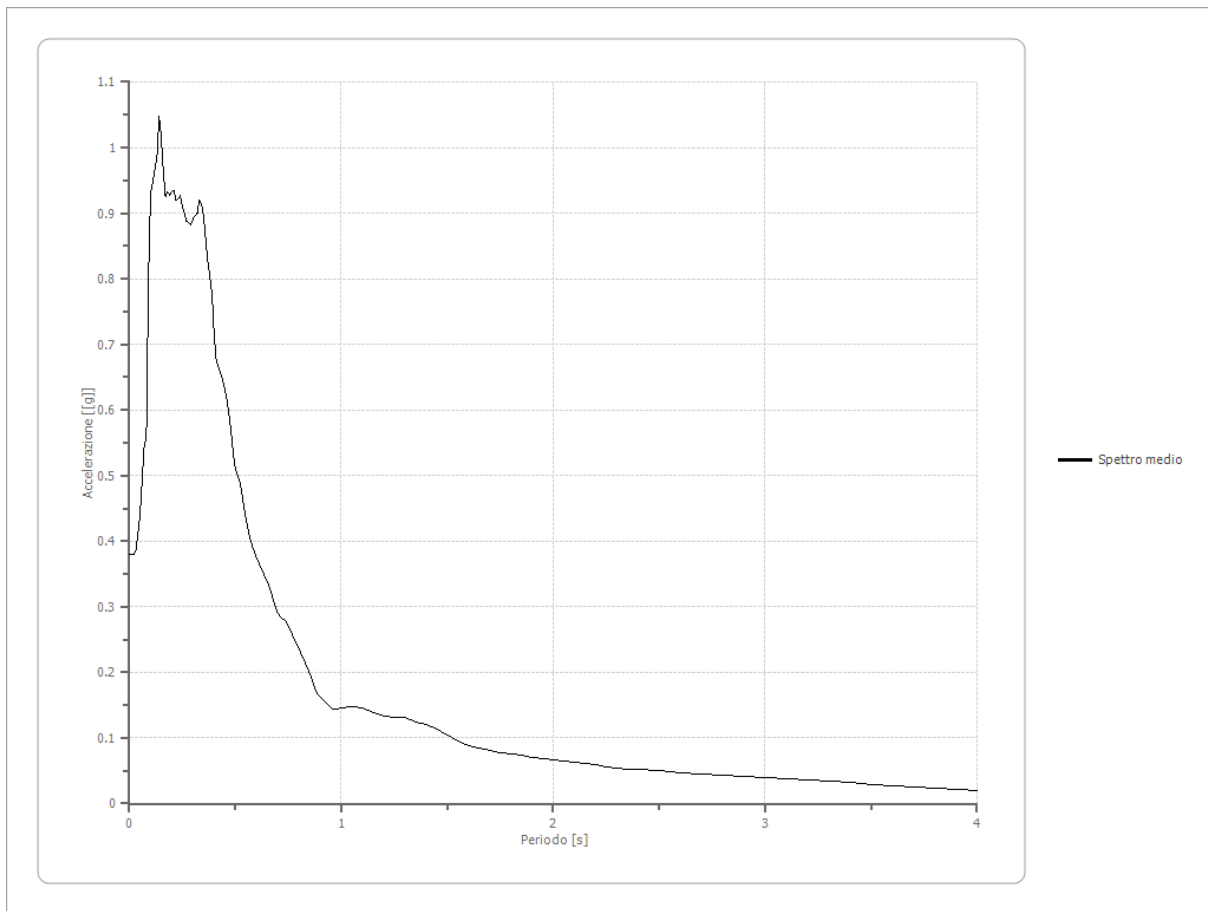
Fattori di amplificazione ICMS 2008

Tai	0.220 [s]
Tvi	1.400 [s]
Tao	0.140 [s]
Tvo	0.360 [s]
Sami	4.242 [m/s ²]
Svmi	0.236 [m/s]
Samo	8.883 [m/s ²]
Svmo	0.449 [m/s]
Fa	2.094 [-]
Fv	1.905 [-]
TB	0.106 [s]
TC	0.318 [s]
TD	2.328 [s]
SA(0)	0.381 [g]
SA(TB)	0.906 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.064	0.142	0.200	2.210
0.500	1.000	0.112	0.178	0.500	1.589
0.500	1.500	0.230	0.331	0.333	1.442

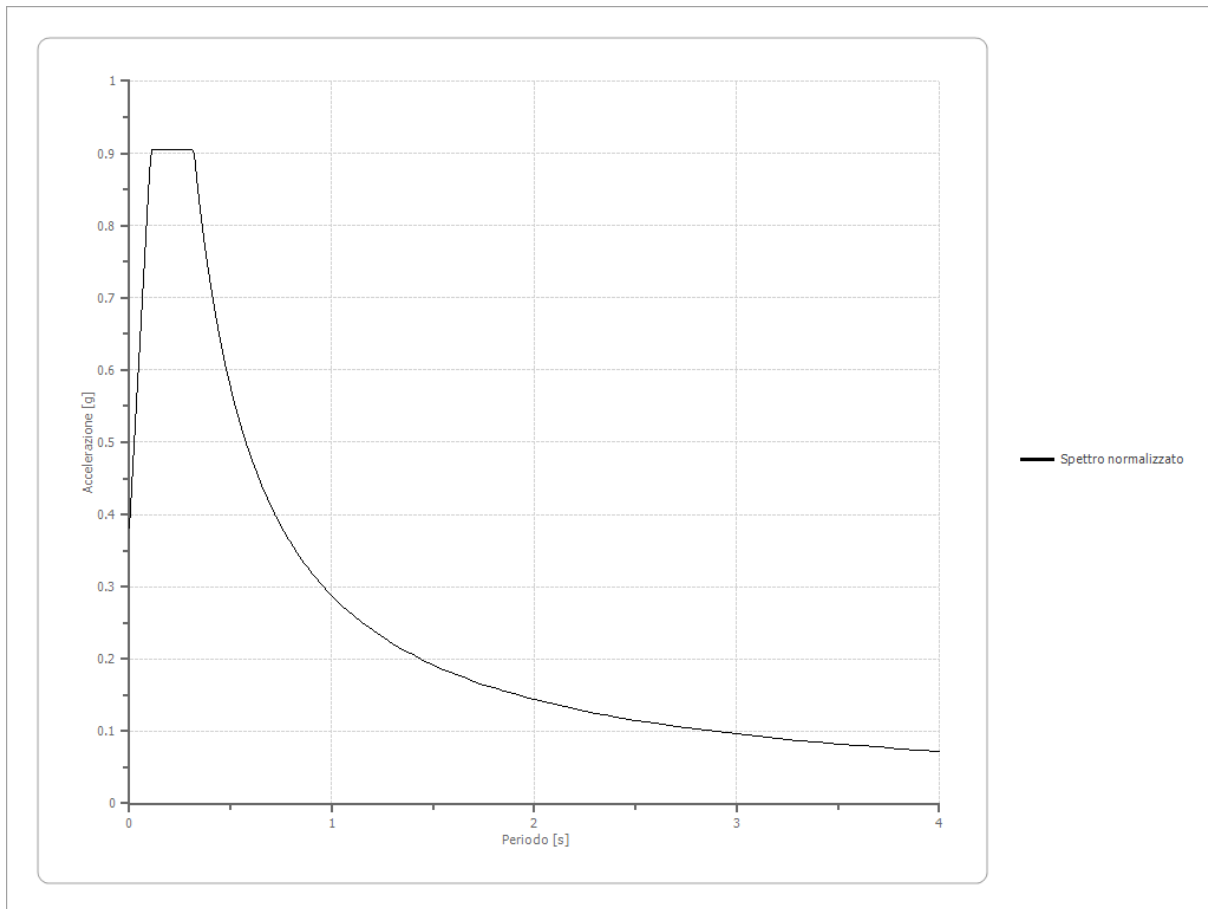
Spettro medio di risposta elastico



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3811	0.26	0.9055	0.52	0.5535	0.98	0.2937	2.25	0.1279
0.01	0.4306	0.27	0.9055	0.53	0.5430	1.00	0.2878	2.30	0.1251
0.02	0.4801	0.28	0.9055	0.54	0.5330	1.05	0.2741	2.35	0.1225
0.03	0.5296	0.29	0.9055	0.55	0.5233	1.10	0.2616	2.40	0.1199
0.04	0.5791	0.30	0.9055	0.56	0.5140	1.15	0.2503	2.50	0.1151
0.05	0.6286	0.31	0.9055	0.57	0.5049	1.20	0.2398	2.60	0.1107
0.06	0.6781	0.32	0.8994	0.58	0.4962	1.25	0.2303	2.70	0.1066
0.07	0.7276	0.33	0.8722	0.60	0.4797	1.30	0.2214	2.80	0.1028
0.08	0.7771	0.34	0.8465	0.62	0.4642	1.35	0.2132	2.90	0.0992
0.09	0.8266	0.35	0.8223	0.64	0.4497	1.40	0.2056	3.00	0.0959
0.10	0.8761	0.36	0.7995	0.66	0.4361	1.45	0.1985	3.10	0.0928
0.11	0.9055	0.37	0.7779	0.68	0.4233	1.50	0.1919	3.20	0.0899
0.12	0.9055	0.38	0.7574	0.70	0.4112	1.55	0.1857	3.30	0.0872
0.13	0.9055	0.39	0.7380	0.72	0.3997	1.60	0.1799	3.40	0.0847
0.14	0.9055	0.40	0.7195	0.74	0.3889	1.65	0.1744	3.50	0.0822
0.15	0.9055	0.41	0.7020	0.76	0.3787	1.70	0.1693	3.60	0.0799
0.16	0.9055	0.42	0.6853	0.78	0.3690	1.75	0.1645	3.70	0.0778

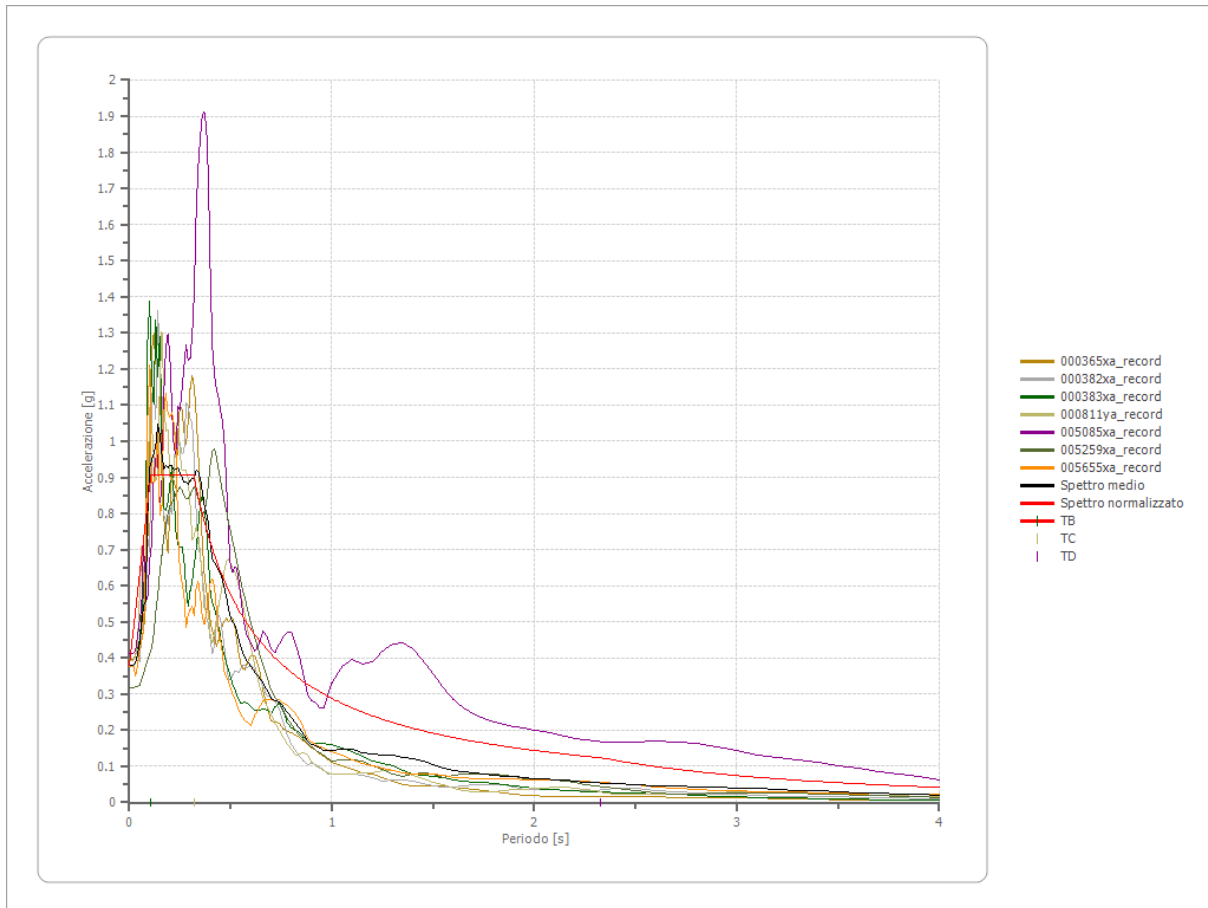
0.17	0.9055	0.43	0.6693	0.80	0.3598	1.80	0.1599	3.80	0.0757
0.18	0.9055	0.44	0.6541	0.82	0.3510	1.85	0.1556	3.90	0.0738
0.19	0.9055	0.45	0.6396	0.84	0.3426	1.90	0.1515	4.00	0.0720
0.20	0.9055	0.46	0.6257	0.86	0.3347	1.95	0.1476		
0.21	0.9055	0.47	0.6124	0.88	0.3271	2.00	0.1439		
0.22	0.9055	0.48	0.5996	0.90	0.3198	2.05	0.1404		
0.23	0.9055	0.49	0.5874	0.92	0.3128	2.10	0.1371		
0.24	0.9055	0.50	0.5756	0.94	0.3062	2.15	0.1339		
0.25	0.9055	0.51	0.5643	0.96	0.2998	2.20	0.1308		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.381	2.376	--	0.106	0.318	2.328	0.381	0.906	2.094

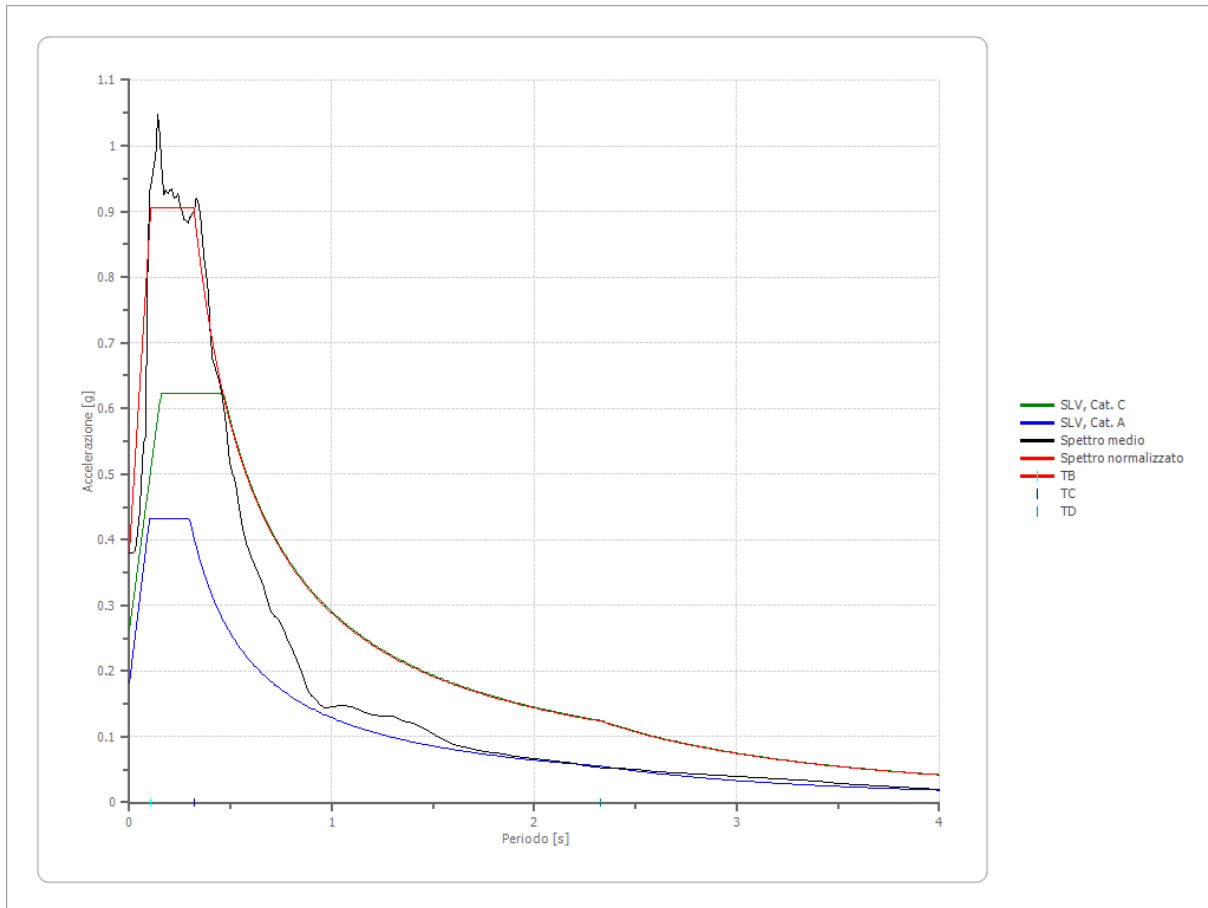
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

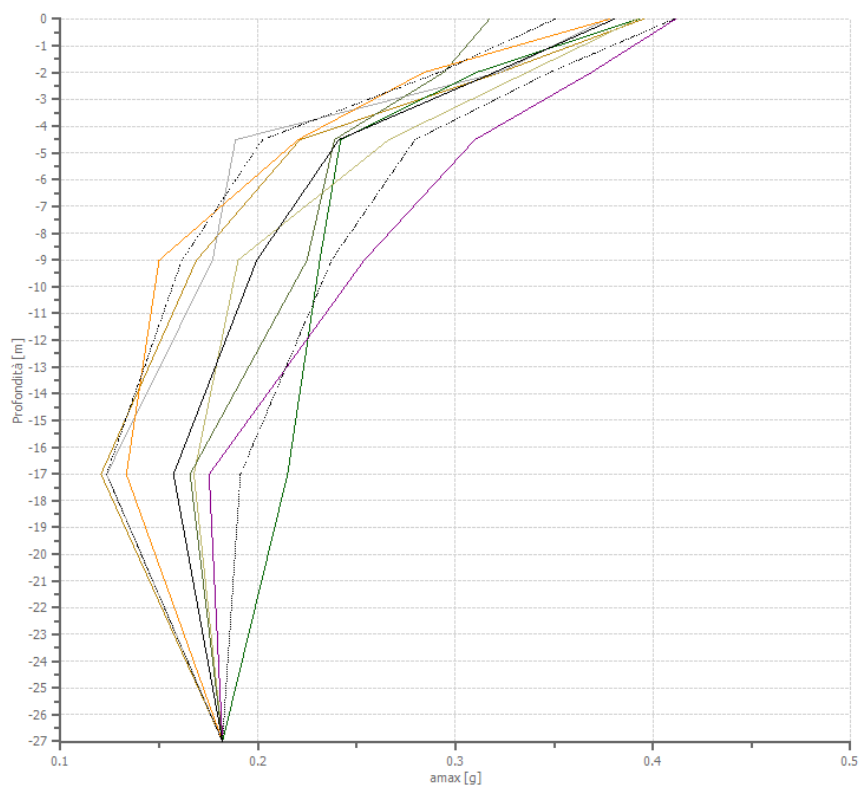
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia dia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	2.0 [m]	4.5 [m]	9.0 [m]	17.0 [m]	27.0 [m]
000365xa_re cord [g]	0.395	0.323	0.221	0.169	0.120	0.182
000382xa_re cord [g]	0.377	0.323	0.189	0.177	0.123	0.182
000383xa_re cord [g]	0.393	0.311	0.242	0.231	0.215	0.182
000811ya_re cord [g]	0.392	0.336	0.266	0.190	0.168	0.182
005085xa_re cord [g]	0.411	0.369	0.310	0.254	0.175	0.182
005259xa_re cord [g]	0.317	0.294	0.239	0.225	0.166	0.182
005655xa_re cord [g]	0.378	0.284	0.220	0.150	0.133	0.182
media [g]	0.381	0.320	0.241	0.199	0.157	0.182
Dev. St. [g]	0.030	0.028	0.039	0.038	0.034	0.000



- 000365xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 005085xa_record
- 005259xa_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- amax media - dev.st

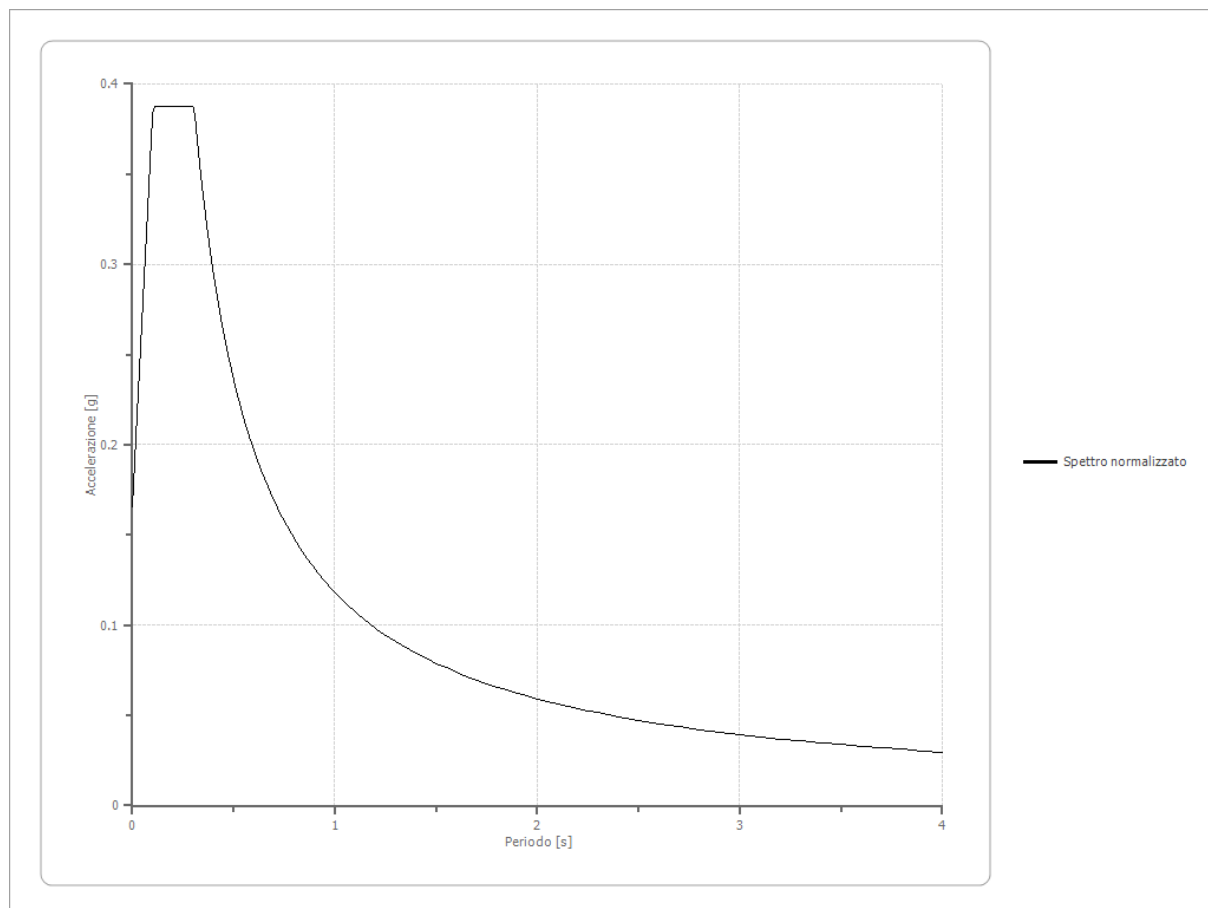
Indice

Dati generali	.7
Terreni	.7
Idriss (1990) Rock	.7
Argille 1 (Hardin e Drnevich)	.8
Stratigrafia	.9
Elaborazione	.10
File 000365xa_record	.11
Accelerogramma importato	.11
Amplificazione	.12
Accelerazione	.13
Velocità	.14
Spostamento	.15
Deformazione	.16
Tensione	.17
Energia dissipata	.18
Trasformata di Fourier	.19
Spettri	.19
Spostamento	.19
Accelerazione	.20
Velocità	.21
File 000382xa_record	.22
Accelerogramma importato	.22
Amplificazione	.24
Accelerazione	.24
Velocità	.25
Spostamento	.26
Deformazione	.27
Tensione	.28
Energia dissipata	.29
Trasformata di Fourier	.30
Spettri	.30
Spostamento	.30
Accelerazione	.31
Velocità	.32
File 000383xa_record	.33
Accelerogramma importato	.33
Amplificazione	.35
Accelerazione	.35
Velocità	.36
Spostamento	.37
Deformazione	.38
Tensione	.39
Energia dissipata	.40
Trasformata di Fourier	.41
Spettri	.41
Spostamento	.41
Accelerazione	.42
Velocità	.43
File 000811ya_record	.44

Accelerogramma importato	.44
Amplificazione	.46
Accelerazione	.46
Velocità	.47
Spostamento	.48
Deformazione	.49
Tensione	.50
Energia dissipata	.51
Trasformata di Fourier	.52
Spettri	.52
Spostamento	.52
Accelerazione	.53
Velocità	.54
File 005085xa_record	.55
Accelerogramma importato	.55
Amplificazione	.57
Accelerazione	.57
Velocità	.58
Spostamento	.59
Deformazione	.60
Tensione	.61
Energia dissipata	.62
Trasformata di Fourier	.63
Spettri	.63
Spostamento	.63
Accelerazione	.64
Velocità	.65
File 005259xa_record	.66
Accelerogramma importato	.66
Amplificazione	.68
Accelerazione	.68
Velocità	.69
Spostamento	.70
Deformazione	.71
Tensione	.72
Energia dissipata	.73
Trasformata di Fourier	.74
Spettri	.74
Spostamento	.74
Accelerazione	.75
Velocità	.76
File 005655xa_record	.77
Accelerogramma importato	.77
Amplificazione	.79
Accelerazione	.79
Velocità	.80
Spostamento	.81
Deformazione	.82
Tensione	.83
Energia dissipata	.84
Trasformata di Fourier	.85

Spettri	.85
Spostamento	.85
Accelerazione	.86
Velocità	.87
Fattori di amplificazione ICMS 2008	.88
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.88
Spettro medio di risposta elastico	.89
Spettro normalizzato di risposta elastico	.89
Confronto tra gli spettri	.90
Confronto spettro normativa	.91
Profilo a max	.92
Indice	.94

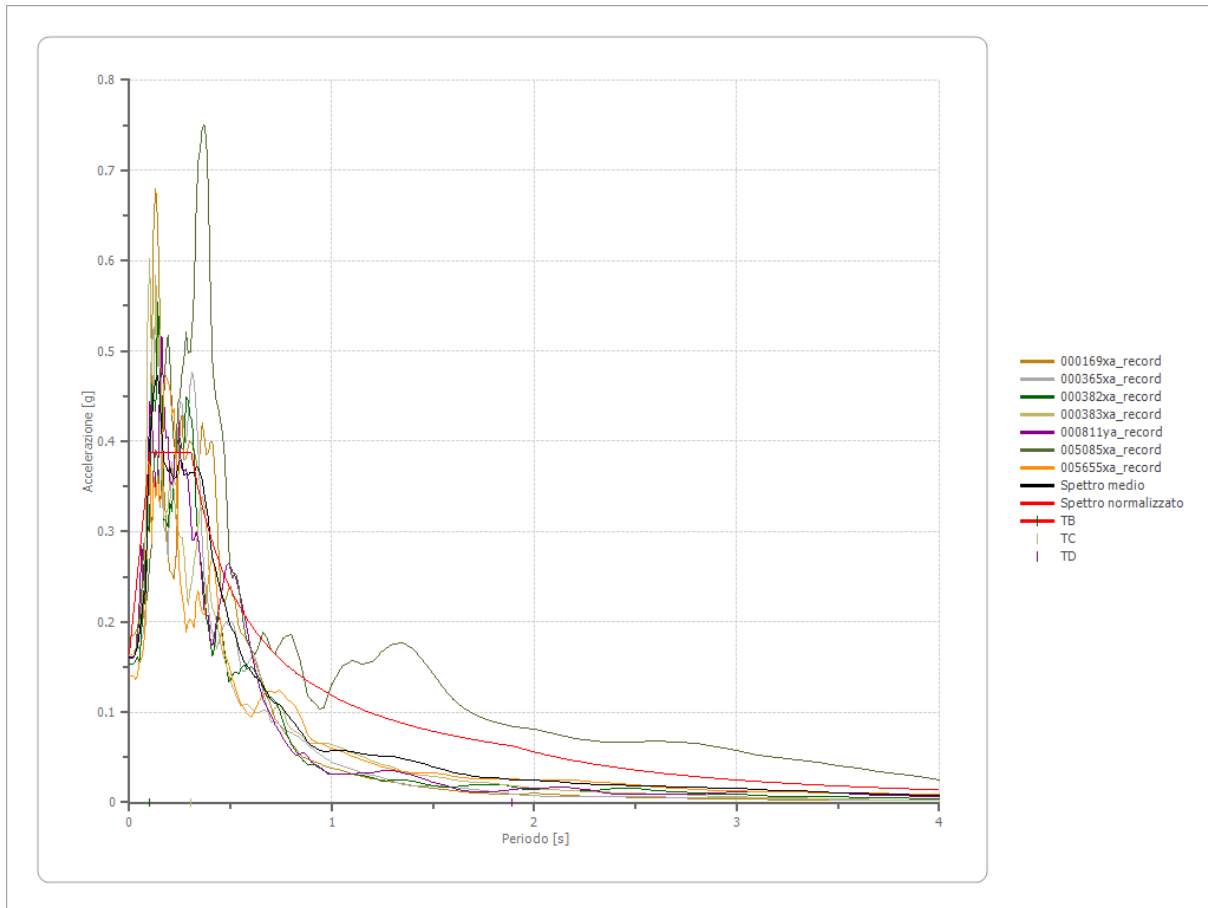
Spettro normalizzato di risposta elastico RSLIII SLD MASW N. 4



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.166	2.342	--	0.102	0.305	1.892	0.166	0.388	2.267

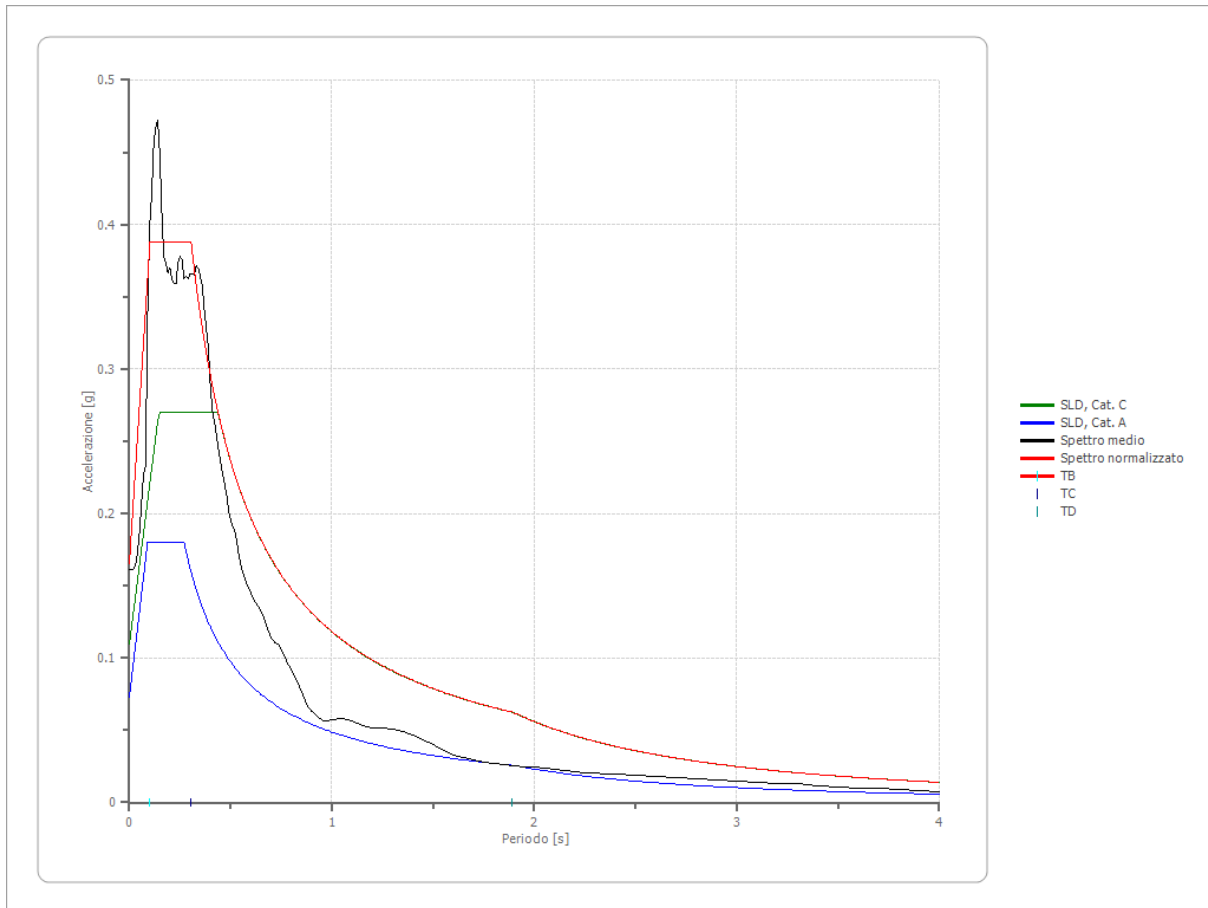
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

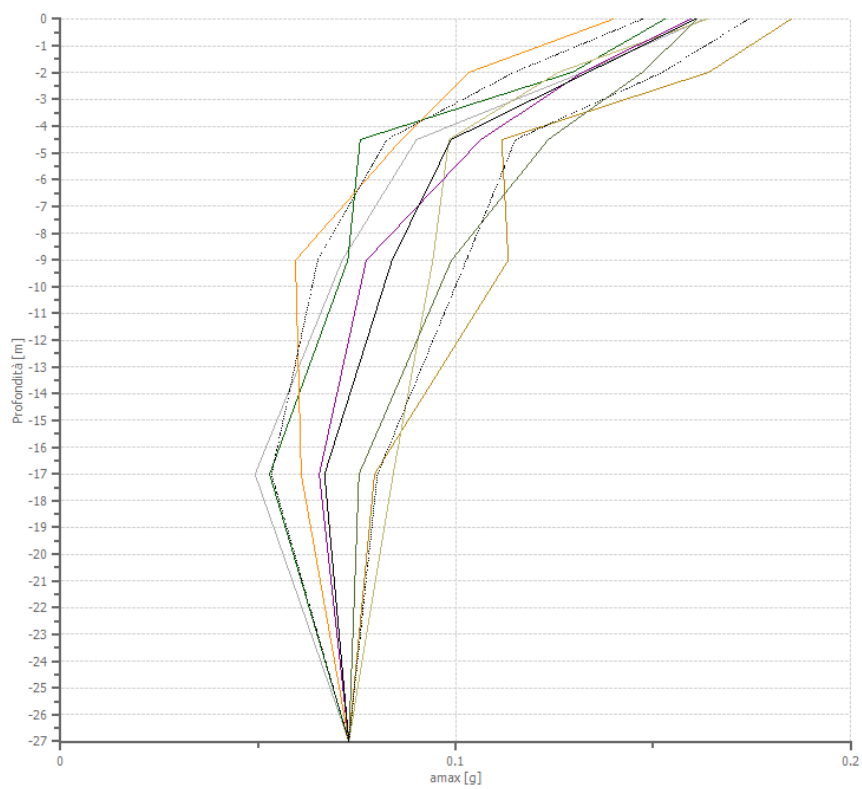
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	2.0 [m]	4.5 [m]	9.0 [m]	17.0 [m]	27.0 [m]
000169xa_re cord [g]	0.185	0.164	0.112	0.113	0.079	0.073
000365xa_re cord [g]	0.163	0.132	0.090	0.071	0.049	0.073
000382xa_re cord [g]	0.153	0.130	0.076	0.073	0.053	0.073
000383xa_re cord [g]	0.164	0.126	0.098	0.094	0.084	0.073
000811ya_re cord [g]	0.160	0.132	0.106	0.077	0.065	0.073
005085xa_re cord [g]	0.161	0.147	0.123	0.099	0.076	0.073
005655xa_re cord [g]	0.140	0.104	0.086	0.059	0.061	0.073
media [g]	0.161	0.134	0.099	0.084	0.067	0.073
Dev. St. [g]	0.014	0.019	0.016	0.019	0.013	0.000

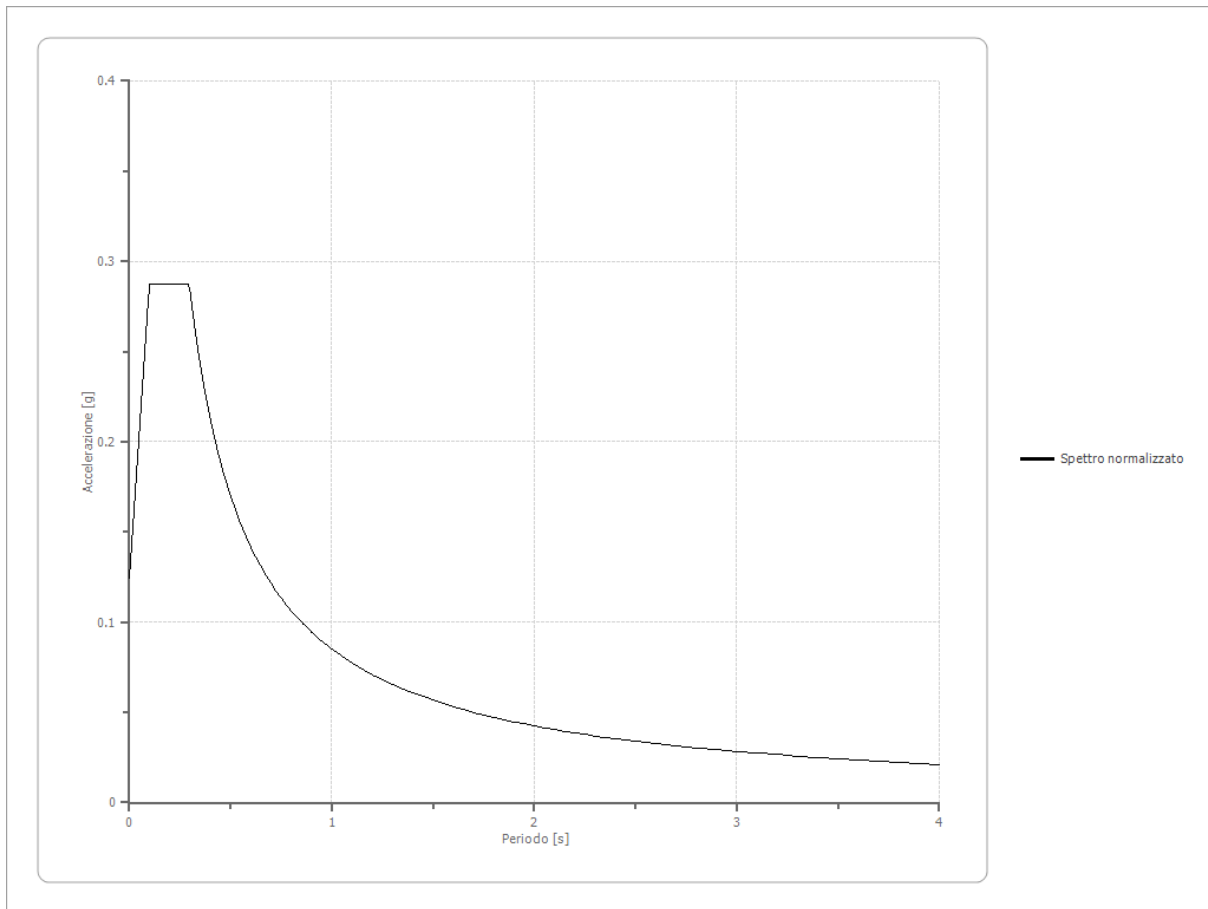


- 000169xa_record
- 000365xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 005085xa_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- amax media - dev.st

Indice

Spettro normalizzato di risposta elastico	.7
Confronto tra gli spettri	.7
Confronto spettro normativa	.8
Profilo a max	.9
Indice	.11

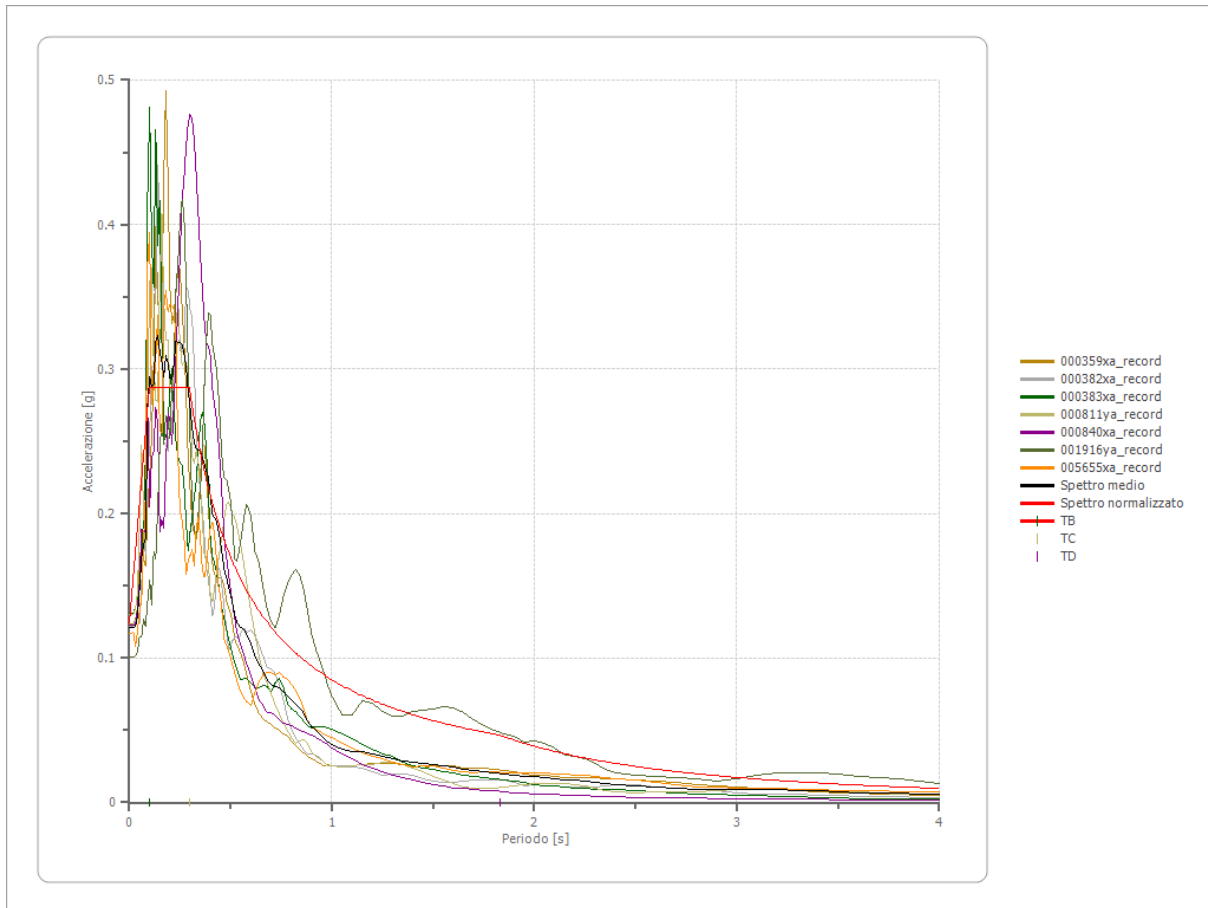
Spettro normalizzato di risposta elastico RSLIII SLO MASW N. 4



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.124	2.314	--	0.099	0.296	1.832	0.124	0.288	2.143

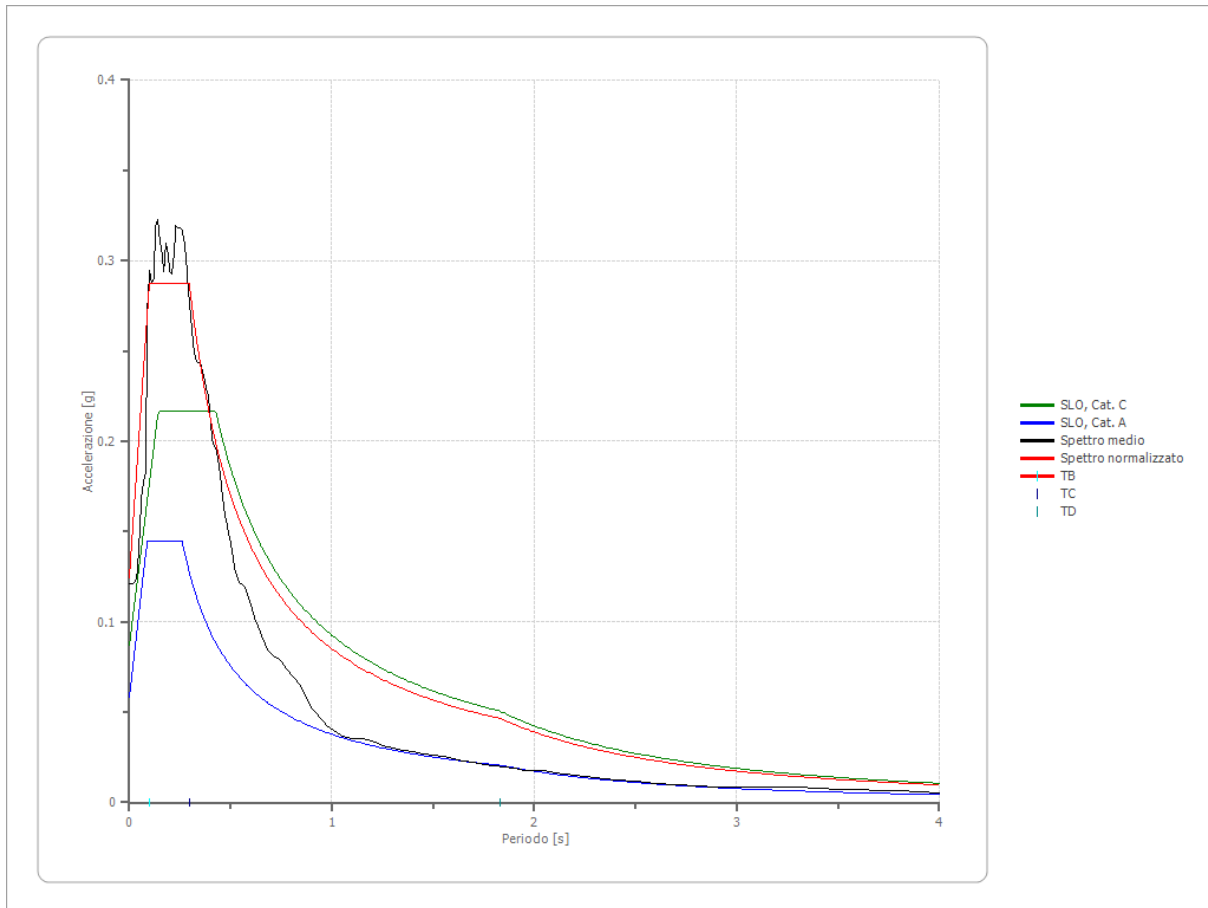
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

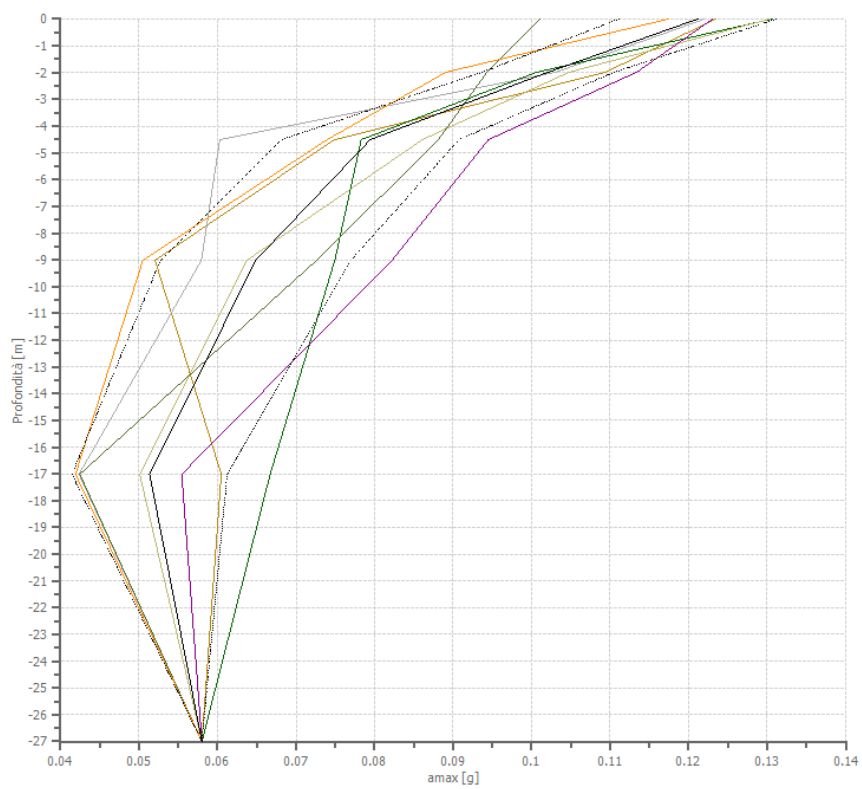
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.058	0.073	0.182	0.229	0.058	0.073	0.182	0.229
Fo	2.491	2.469	2.374	2.409	2.491	2.469	2.374	2.409
Tc* [s]	0.261	0.27	0.298	0.311	0.261	0.27	0.298	0.311
Ss	1.50	1.50	1.44	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.62	1.57	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.142	0.146	0.156	0.160	0.087	0.090	0.099	0.104
TC [s]	0.427	0.437	0.467	0.480	0.261	0.270	0.298	0.311
TD [s]	1.832	1.892	2.328	2.516	1.832	1.892	2.328	2.516
Se(0) [g]	0.087	0.110	0.262	0.314	0.058	0.073	0.182	0.229
Se(TB) [g]	0.217	0.270	0.623	0.755	0.144	0.180	0.432	0.552



Profilo a max

	0.0 [m]	2.0 [m]	4.5 [m]	9.0 [m]	17.0 [m]	27.0 [m]
000359xa_re cord [g]	0.123	0.109	0.075	0.052	0.060	0.058
000382xa_re cord [g]	0.122	0.103	0.060	0.058	0.042	0.058
000383xa_re cord [g]	0.131	0.101	0.078	0.075	0.067	0.058
000811ya_re cord [g]	0.130	0.105	0.086	0.064	0.050	0.058
000840xa_re cord [g]	0.123	0.113	0.095	0.082	0.055	0.058
001916ya_re cord [g]	0.101	0.094	0.088	0.073	0.042	0.058
005655xa_re cord [g]	0.117	0.089	0.074	0.050	0.042	0.058
media [g]	0.121	0.102	0.079	0.065	0.051	0.058
Dev. St. [g]	0.010	0.008	0.011	0.012	0.010	0.000



- 000359xa_record
- 000382xa_record
- 000383xa_record
- 000811ya_record
- 000840xa_record
- 001916ya_record
- 005655xa_record
- amax media
- amax media + ded. st.
- .-.- amax media - dev.st

Indice

Spettro normalizzato di risposta elastico	.7
Confronto tra gli spettri	.7
Confronto spettro normativa	.8
Profilo a max	.9
Indice	.11