

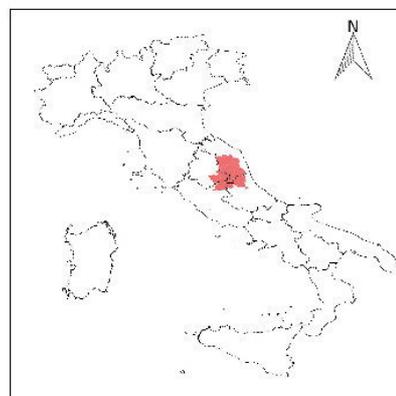
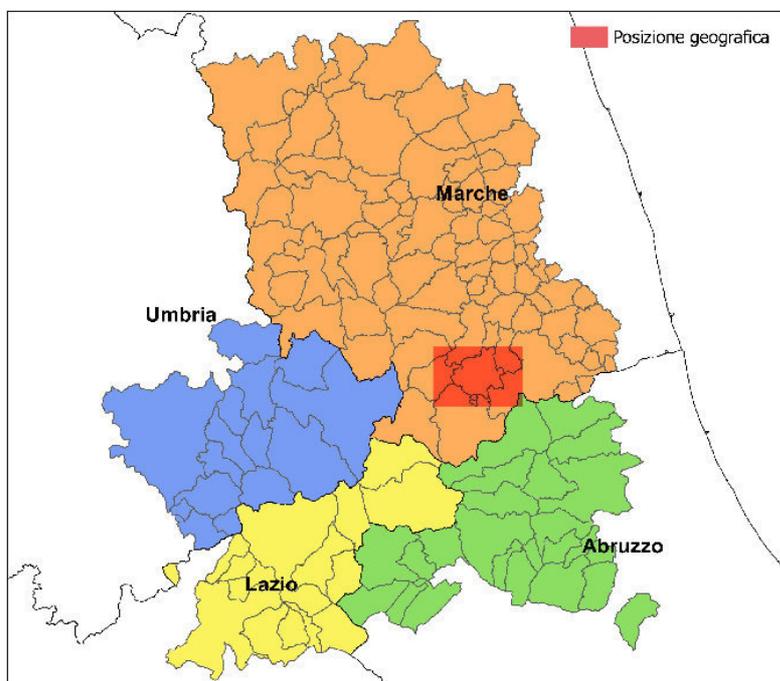


Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Roccafluvione ai sensi
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata
il 15 maggio 2017 al n. 1065

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Marche Comune di Roccafluvione



Soggetto realizzatore

Dott.Geol Giovanni Mancini
Dott.Geol Marco Giovannozzi
Dott.ssa Geol Morena D'Angelo

Data e revisione

17-01-2018

CENTROMS

CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI

INDICE GENERALE

Introduzione	
1.1. Finalità degli studi	3
1.2. Descrizione generale dell'area comunale	5
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	
2.1. Sismicità storica dell'area di studio	6
2.2. Sismicità recente dell'area di studio	8
2.3. Pericolosità sismica di base	11
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	
3.1. Inquadramento geologico	15
3.2. Assetto geomorfologico	16
3.3. Assetto stratigrafico	18
3.4. Elementi tettonici	19
4. Dati geotecnici e geofisici	
4.1. Dati pregressi	20
4.2. Dati acquisiti ex-novo	20
5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS	
5.1. Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione	29
5.2. Sezioni geologico-tecniche	31
6. Interpretazioni e incertezze	34
7. Metodologie di elaborazione e risultati	
7.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione	36
7.1.1. Scelta dell'input sismico	36
7.1.2. Simulazioni numeriche 1D	37
7.1.3. Simulazioni numeriche 2D	47
7.1.4. Risultati	55
7.2. Zone instabili	57

8. Elaborati cartografici	
8.1. Carta delle indagini (CI)	57
8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni	57
8.3. Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS)	64
8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	65
8.5. Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3	66
9. Commenti finali e criticità	67

10. Bibliografia

Allegati

Carta delle indagini in scala 1:5.000

Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000

Carta Geologico-Tecnica per la MS (CGT_MS) in scala 1:5.000

Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5.000

Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1:5.000

Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 in scala 1:5.000

Accelerogrammi calcolati in superficie

Spettri di risposta in accelerazione

1.INTRODUZIONE

1.1 FINALITÀ DEGLI STUDI

Il Comune di Roccafluvione ha incaricato il sottoscritto Dott. Geol. Giovanni Mancini della realizzazione dello “Studio di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3) nelle aree del territorio comunale di Roccafluvione”, come previsto dall’art. 1 del Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017, convertito con modificazioni dalla Legge 7 aprile 2017 n. 45.

Lo studio è stato condotto in coordinamento con il Centro per la Microzonazione Sismica (CentroMS), seguendo il “Protocollo di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III nei 140 Comuni di cui all’Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 della Presidenza del Consiglio dei Ministri” a cura del Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni, elaborato nell’ambito della convenzione tra il Commissario Straordinario del Governo per la Ricostruzione Sisma 2016 e l’Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del Consiglio Nazionale delle ricerche per il “Supporto e coordinamento tecnico-scientifico per le attività di microzonazione sismica dei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016.”

Tale studio è finalizzato a quantificare la pericolosità sismica locale delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) individuate con la microzonazione sismica di I livello, revisionate ed aggiornate in funzione delle indagini integrative effettuate, con particolare riferimento alle aree stabili, aree stabili suscettibili di amplificazioni locali e alle aree instabili, ed alla redazione della Carta di Microzonazione sismica di livello III, scala 1:5.000.

La pericolosità sismica è valutata mediante le analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) e bidimensionale (2D), effettuate su verticali e sezioni rappresentative; i risultati delle analisi numeriche sono restituiti in termini di accelerogrammi calcolati in superficie ed elaborati in termini di fattori di amplificazione in pseudo-accelerazione calcolati per prefissati intervalli di periodi, nonché di spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento.

L’area oggetto di studio, individuata in base alle località ISTAT 2011 (centro abitato) ed ampliata del 20% in accordo con l’Amministrazione Comunale, comprende il centro abitato di Roccafluvione in sponda destra del Torrente Fluvione (località Marsia), e la località Ponte Pugliese, in sponda sinistra; si tratta di aree già edificate con zone di completamento.

Lo studio di MS3 si articola in una prima fase propedeutica articolata nelle seguenti attività:

- raccolta ed elaborazione dei dati pregressi

- definizione del piano di indagini integrative;
- integrazione dei rilievi geologico-tecnici di dettaglio;
- esecuzione delle indagini integrative;
- archiviazione dei dati e dei metadati;
- realizzazione della Carta delle frequenze naturali dei terreni;
- revisione della Carta geologico-tecnica (CGT) corredata dalle sezioni geologico-tecniche;
- definizione del modello di sottosuolo finalizzato allo studio di MS;
- revisione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

Successivamente si è proceduto con l' esecuzione delle analisi numeriche monodimensionali (1D) e bidimensionali (2D) di risposta sismica locale necessarie per la realizzazione delle Carte di microzonazione sismica di livello 3 con indicazione dei fattori di amplificazione (FA) e degli spettri di risposta in accelerazione.

La presente Relazione illustra i risultati dell'intero studio condotto.

1.2. DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA COMUNALE

Il territorio comunale di Roccafluvione ricade nei quadranti 132 I - 132 II - 133 III - 133 IV della Carta Topografica Regionale alla scala 1:25.000, e nelle tavole 326090 - 326100 - 326130 - 326140 della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000.

Il Comune di Roccafluvione confina con i territori di Acquasanta Terme, Ascoli Piceno, Comunanza, Montegallo, Palmiano e Venarotta.

Il presente studio riguarda il capoluogo Marsia, il cui centro abitato si sviluppa lungo la Strada Provinciale SP 237, dalla località Caserine, a sud, fino al toponimo Abbazia Benedettini, a nord; compreso tra i versanti collinari che chiudono ad ovest il Piano Generale Terrazzato del T. Fluvione e la scarpata fluviale, molto incisa nelle arenarie e marne della formazione di base.

Il sito di studio è completato da un'area di modesta estensione, estesa sul lato nord di Marsia, in sinistra orografica del T. Fluvione ed indicata dal toponimo Ponte Pugliese.

I versanti collinari in oggetto, comprendenti l'area in studio, sono ubicati a quote comprese tra 310 e 330 m s.l.m. e risultano densamente edificati; essi, esposti ad est, hanno una acclività media del 15% circa

La fascia di valle, costituita dal piano generale terrazzato, ha un andamento topografico regolare e pianeggiante, con quote della superficie topografica che variano da m 275 a m 292, lungo una estensione SN dell'area di circa 1Km; l' area di Ponte Pugliese, in sinistra orografica, con andamento regolare e pianeggiante, tipico dei terrazzi alluvionali è ubicata alla quota media di m 298 s.l.m.

Tale area è stata oggetto di studi di microzonazione sismica di livello I (agosto 2014); lo studio di I livello interessava una porzione di territorio più ampia, compresa tra la località Marese, a nord, e S. Sebastiano, a SE, e la frazione di Forcella, ubicata a sud del territorio comunale.

Gli elaborati cartografici prodotti sono realizzati sulla base della Carta Tecnica Regionale sezione 326100.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 SISMICITÀ STORICA DELL'AREA IN STUDIO

Il territorio marchigiano è interessato da attività sismica significativa sia per l'intensità dei terremoti, che per la loro frequenza.

Nell'ultimo secolo tra i terremoti che hanno prodotto danni nel territorio marchigiano, si segnalano quello di Senigallia (AN) nel 1930, di Offida (AP) nel 1943, quello di Ancona del 1972, fino alle recenti sequenze sismiche dell'Appennino Umbro-Marchigiano del settembre-ottobre 1997. Si ricordano inoltre il terremoto di Norcia del 14 gennaio 1703, uno dei terremoti più forti della storia sismica italiana, ed i terremoti di Sansepolcro (AR), di Rimini, del Forlivese e dell'Aquilano con epicentro nelle regioni limitrofe ma che hanno prodotto danni anche nelle Marche.

Il Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) dell'INGV raccoglie ed omogenizza le informazioni relative ai principali terremoti storici che hanno interessato il territorio nazionale dall'anno 1000 fino al 2006.

Limitatamente al territorio di interesse il DBMI15 elenca i seguenti eventi sismici:

PlaceID: IT_52718; Coordinate (lat, lon):42.861, 13.475;
Comune (ISTAT 2015):Roccafluvione; Provincia: Ascoli Piceno; Regione: Marche; Numero di eventi riportati 22

Effetti	In occasione del terremoto del										NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale						
5-6	1943	01	16				Monti Sibillini				22	6-7	5.04
6-7	1943	10	03	08	28	2	Ascolano				170	8	5.67
6	1950	09	05	04	08		Gran Sasso				386	8	5.69
4	1958	06	24	06	07		Aquilano				222	7	5.04
4	1959	01	01	23	58	1	Teramano				46	5	4.33
4	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale				709	7	5.62
4-5	1986	10	13	05	10	0	Monti Sibillini				322	5-6	4.46
4	1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino				326	6	4.72
NF	1994	06	02	17	38	1	Aquilano				106	5	4.21
NF	1995	12	30	15	22	0	Fermano				106	5	4.19
4	1996	01	01	12	21	4	Maceratese				91	5-6	4.20
4	1996	01	22	18	37	4	Fermano				76	5	3.96
4	1996	10	20	19	06	5	Appennino laziale-abruzzese				100	5	4.36
5	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano				869	8-9	5.97
4-5	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano				490		5.22
5-6	1997	10	06	23	24	5	Appennino umbro-marchigiano				437		5.47
4-5	2000	10	24	07	52	2	Monti Sibillini				65	5	4.11
3-4	2004	12	09	02	44	2	Teramano				213	5	4.09
3-4	2005	04	12	00	31	5	Maceratese				131	4	3.74
3	2005	12	15	13	28	3	Val Nerina				350	5	4.14
4	2006	04	10	19	03	3	Maceratese				211	5	4.06
3-4	2006	10	21	07	04	1	Anconetano				287	5	4.21

Fig. 1: Database DBMI15. Nella colonna Int. viene riportata l'intensità al sito in scala Mercalli, mentre con la sigla Io viene indicata l'intensità massima in scala Mercalli dell'area epicentrale e con Mw viene indicata la magnitudo dell'evento.

Nella Figura sottostante è riportato il grafico anno/intensità per i principali eventi sismici.

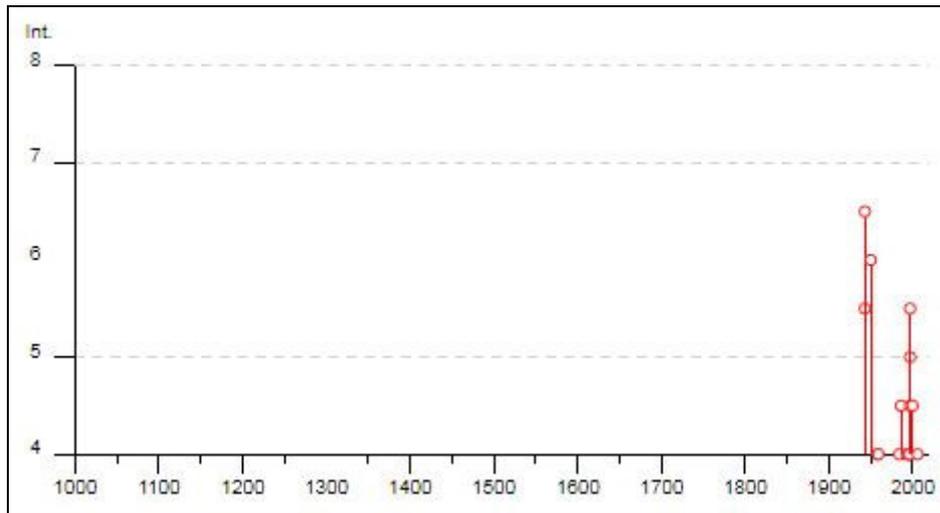


Fig. 2: grafico anno/intensità da DBM15.

2.2 SISMICITÀ RECENTE DELL'AREA DI STUDIO

I principali terremoti risentiti in tempi recenti nell'area in studio si sono verificati nell'ambito di diverse sequenze sismiche, attivate a partire dal sisma Umbria-Marche del 1997, seguito dalla sequenza sismica dell'area aquilana del 2009 ed infine la recente crisi sismica in Italia centrale del 2016-2017.

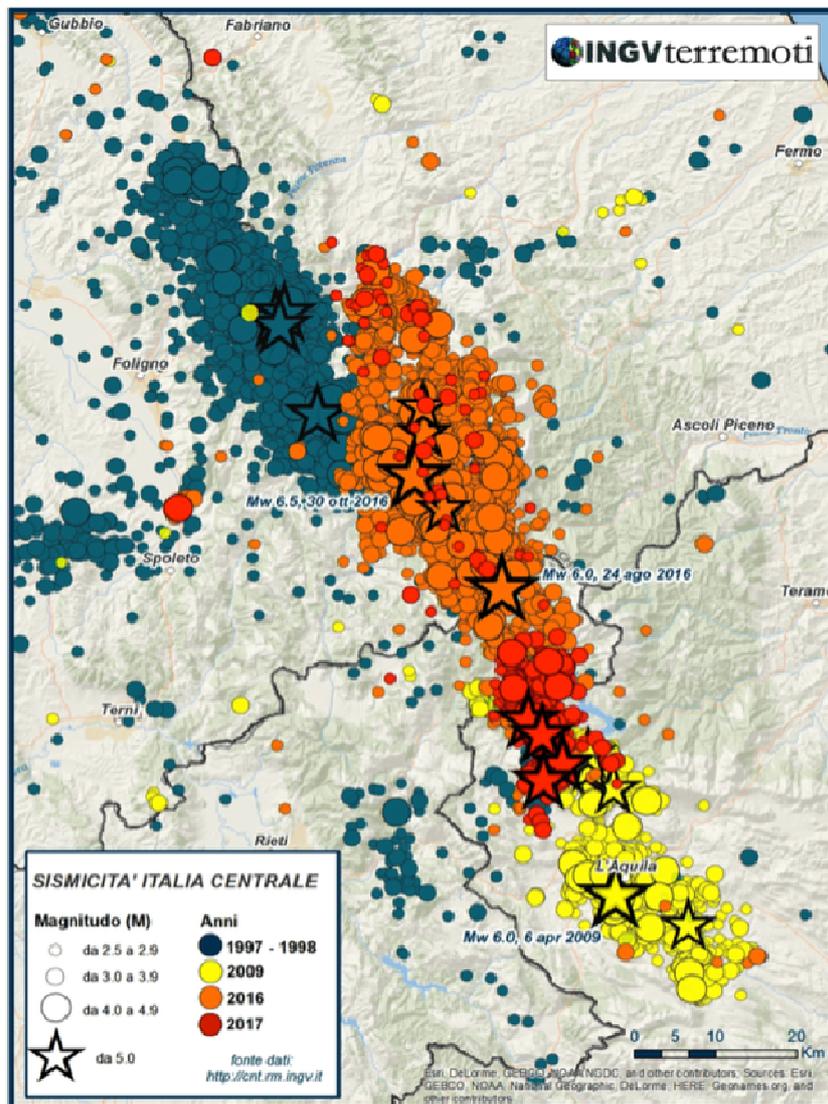


Fig. 3: Mappa epicentrale delle sequenze sismiche in Italia centrale dal 1997 al 2017. I terremoti del 1997 sono rappresentati in blu. Le tre stelle blu in alto a sinistra sono gli epicentri dei terremoti del 26 settembre e del 14 ottobre 1997. In giallo la sequenza dell'Aquila del 2009, in arancione e rosso la sismicità del 2016-2017 (dal sito INGV)

La sequenza sismica dell'Umbria–Marche è caratterizzata dai due eventi sismici principali del 26 settembre 1997 di magnitudo Mw 5.7 e 6.0 che colpiscono l'area di Colfiorito (al confine tra Umbria e Marche) a distanza di nove ore l'uno dall'altro (alle 2:33 e alle 11:40 ore italiane).

Dagli studi sulla sequenza del 1997, e confermata poi dalla recente crisi sismica, è emersa la tendenza dei terremoti appenninici a manifestarsi con la migrazione dell'attività tra segmenti di faglia vicini, come accadde il 26 settembre 1997; infatti al primo terremoto di magnitudo Mw 5.7,

avvenuto nella notte alle ore 02:33 italiane, seguì un secondo evento più forte nove ore dopo, di magnitudo Mw 6.0, alle ore 11:40 italiane, che provocò ulteriori crolli e vittime.

Complessivamente, la sequenza si manifestò con sette terremoti principali di magnitudo momento Mw compresa tra 5.0 e 6.0 nel primo mese di attività e migliaia di terremoti di magnitudo minore che in 40 giorni attivarono un sistema di faglie esteso per circa 45 chilometri lungo l'Appennino.

I terremoti della sequenza Umbria-Marche hanno interessato faglie normali (o estensionali) che hanno dislocato la porzione più superficiale della crosta fino a 8 km di profondità, con pendenza verso Sud-Ovest (dati tratti da INGV Terremoti).

Come visibile dalla mappa allegata, l'evento di Magnitudo Mw 5.97 (6.0) del 26 settembre 1997 venne avvertito distintamente nel territorio di Roccafluvione con un'intensità in scala Mercalli pari a 5, causando localizzati danni alle strutture.

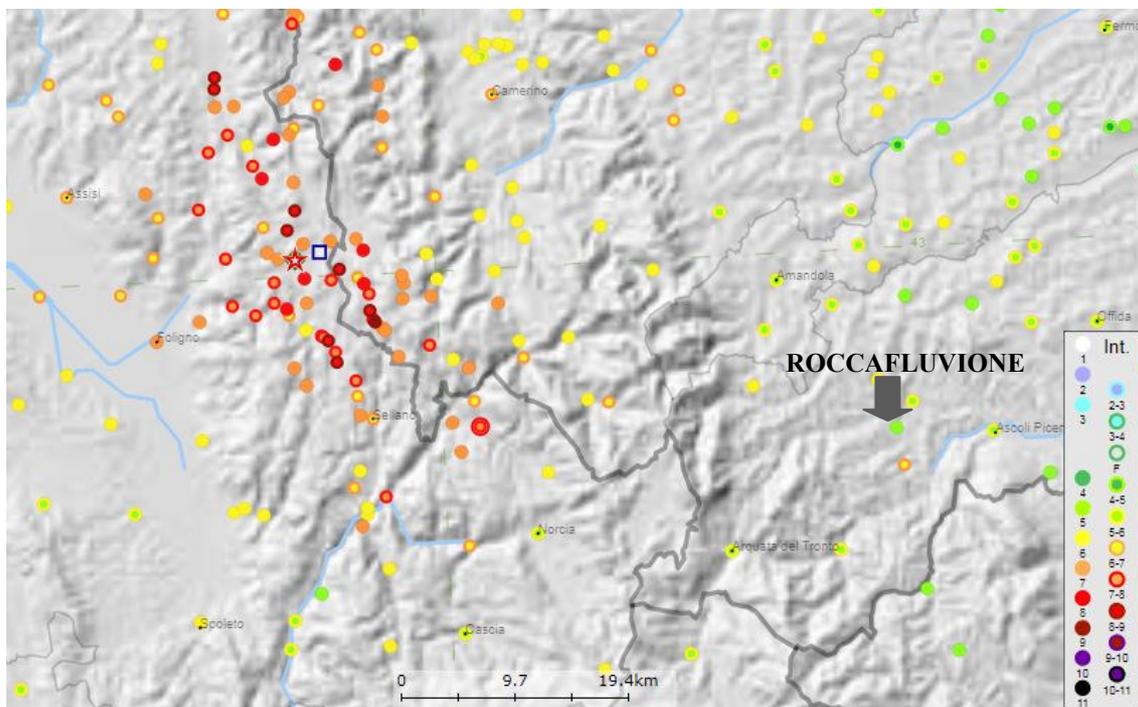


Fig. 4: Mappa dell'intensità in scala Mercalli dell'evento sismico del 26 settembre 1997 ore 09:40:26.60 (da CPTI15-DBMI15)

Successivamente, nel dicembre 2008, nell'Appennino centrale si è attivata la sequenza sismica dell'area aquilana costituita da numerosi eventi sismici, iniziati nel dicembre 2008 e susseguitesesi per diversi mesi, con epicentri nell'intera area della città e della provincia dell'Aquila.

La scossa principale, verificatasi il 6 aprile 2009 alle ore 3:32, ha avuto un'intensità pari a 5,9 della scala Richter e 6,3 magnitudo momento (Mw). In termini di scala Mercalli di misurazione dei danni, la stima iniziale dell'INGV è stata dell'VIII/IX grado.

Nel territorio di Roccafluvione sono state avvertite distintamente le principali scosse senza registrare significativi danni alle strutture.

La recente sequenza sismica del centro Italia, iniziata con il terremoto di Mw 6.0 di Amatrice e la replica di Mw 5.4 avvenuti il 24 agosto 2016, è stata caratterizzata da forti terremoti alla fine del mese di ottobre 2016. Il 26 ottobre due eventi di Mw 5.4 e 5.9 hanno interessato l'area posta al confine Marche - Umbria tra i Comuni di Castelsantangelo sul Nera (MC), Norcia (PG) e Arquata del Tronto (AP).

Il 30 ottobre un terremoto di Mw 6.5 con epicentro non lontano da Norcia ha interessato l'intera area già profondamente colpita dalla sequenza; questo è stato il più forte terremoto registrato negli ultimi 30 anni in Italia.

Il 18 gennaio 2017 si sono verificati quattro eventi di magnitudo ≥ 5.0 , con epicentro nella parte meridionale della sequenza sismica (zona di Campotosto).

La sequenza sismica contava alla data 2 febbraio 2017 oltre 50mila scosse, di cui 9 con magnitudo ≥ 5.0 , 59 con magnitudo tra 4.0 e 5.0, e quasi 1000 eventi di magnitudo compresa tra 3.0 e 4.0 (da INGV Terremoti).

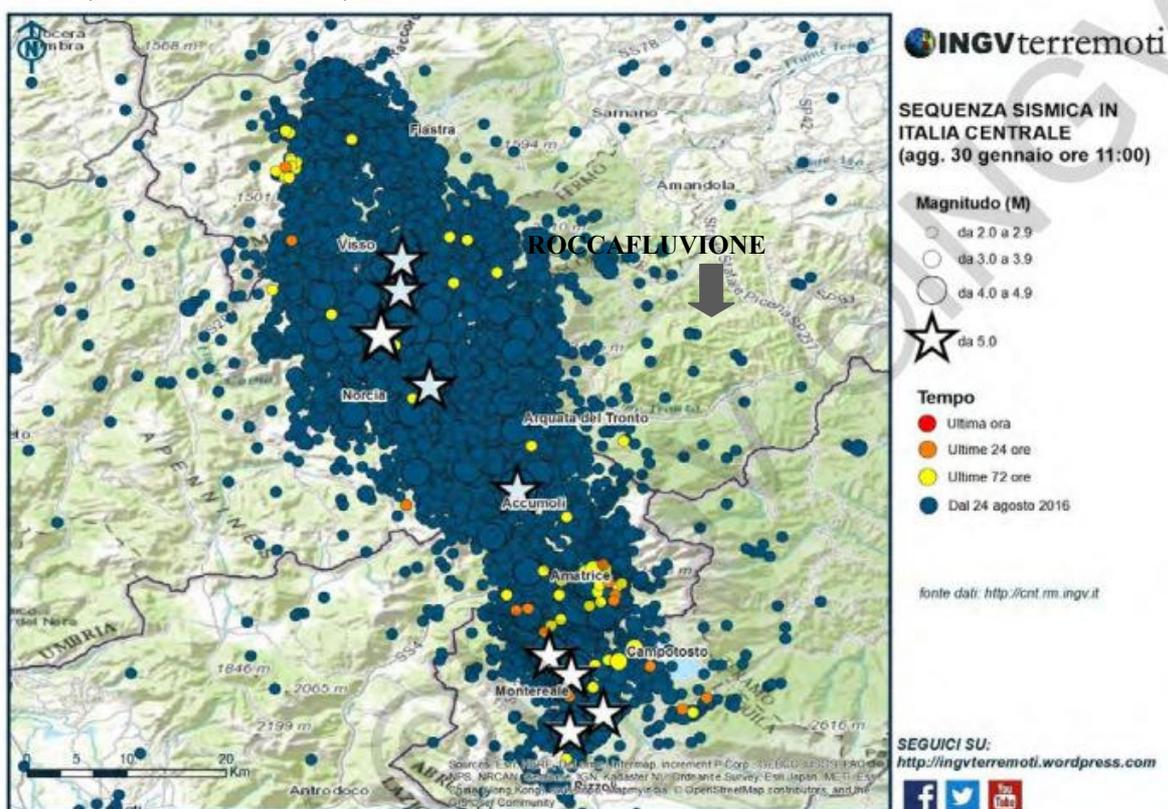


Fig. 5: sequenza sismica Italia Centrale (aggiornamento 30 GEN 2017 ore 11). Mappa degli eventi sismici con magnitudo maggiore di 2.0, (dal sito INGV)

Nel territorio di Roccafluvione i recenti eventi sismici hanno prodotto danni significativi alle strutture, localizzati principalmente nel centro abitato di Marsia, a monte della Strada Provinciale, e nelle frazioni.

2.3 PERICOLOSITÀ DI BASE

La pericolosità sismica di un sito rappresenta lo scuotimento del suolo atteso con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo.

La stima della pericolosità sismica si basa sulla definizione di una serie di elementi quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, tipo di suolo, ecc..

Pertanto, per ogni comune si ha una stima del rischio sismico che tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espresso in termini probabilistici.

La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90 % di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni.

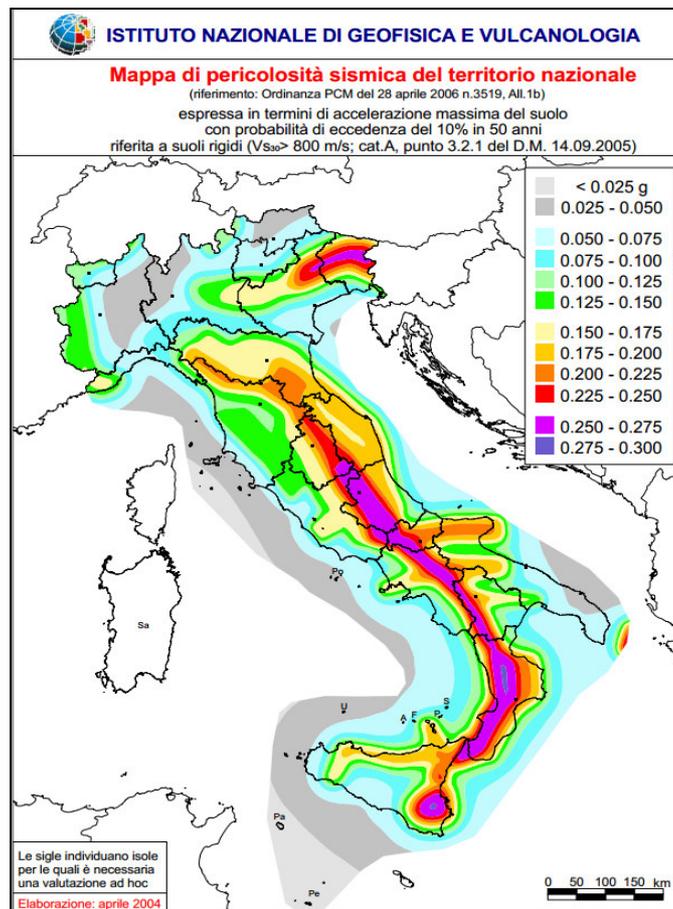


Fig. 6: Carta di pericolosità sismica in funzione dell'accelerazione orizzontale di picco PGA (valori in g, accelerazione di gravità). La carta mostra i valori del picco di accelerazione atteso al suolo su sito rigido di riferimento (per definizione $V_s > 800$ m/sec); gli intervalli (di 0.025g, pari a circa 24.5 cm/s²) sono quelli previsti dall'ordinanza 3274 della PCM ai fini della classificazione sismica del territorio Italiano.

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 il territorio nazionale è suddiviso in quattro zone sismiche in base ai valori di PGA previsti:

- zona 1: $PGA > 0.25g$
- zona 2: $0.15 < PGA < 0.25g$
- zona 3: $0.05 < PGA < 0.15g$
- zona 4: $PGA < 0.05g$

Il Comune di Roccafluvione rientra nella “zona sismica 2”.

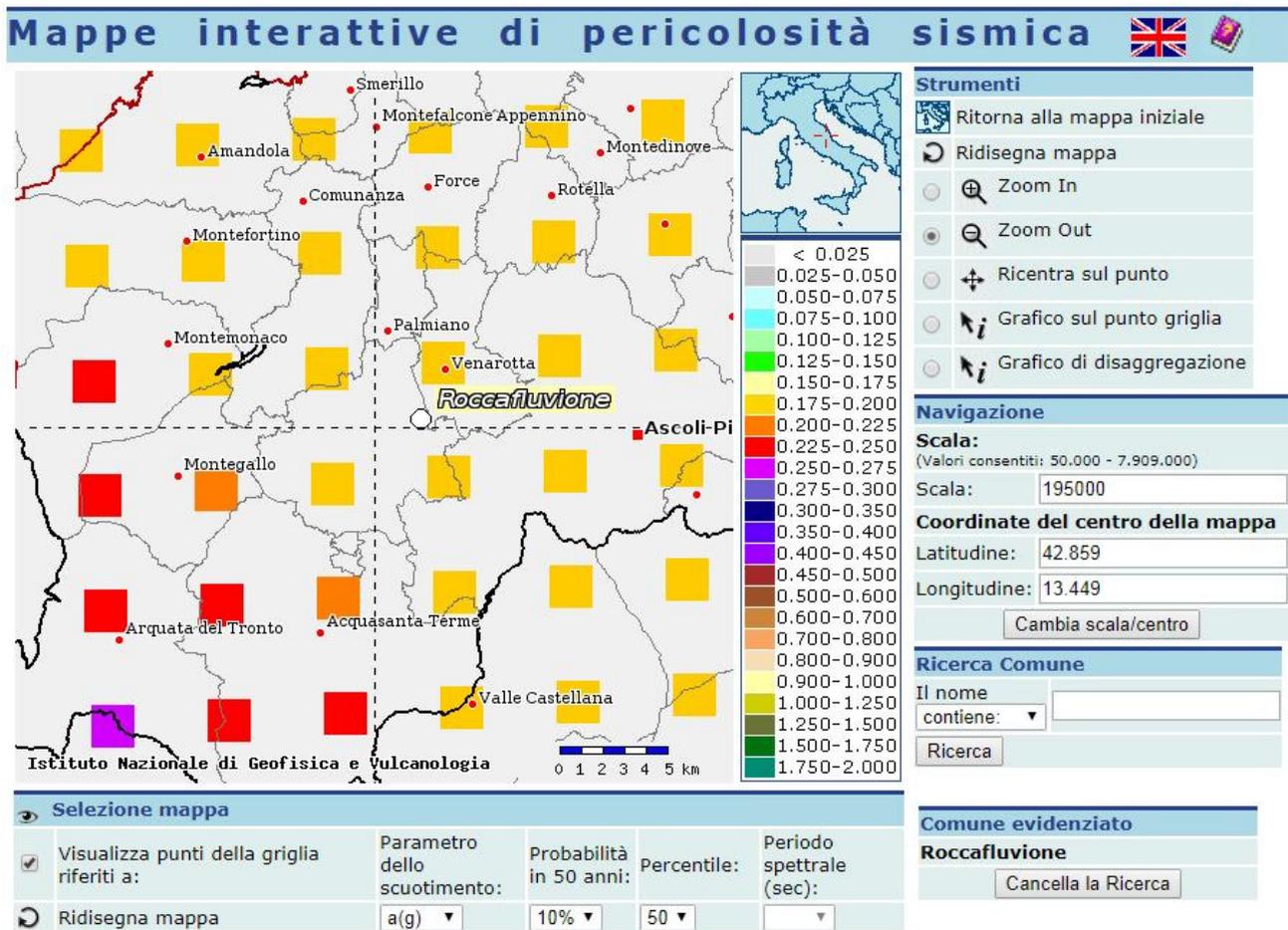


Fig. 7: Mappa di pericolosità sismica (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>)

I parametri della pericolosità sismica di base del territorio di Roccafluvione, elaborati per le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), sono riportati nella seguente tabella

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO		0.061	2.479	0.280
SLD	50	0.076	2.460	0.293
SLV	475	0.185	2.499	0.346
SLC	975	0.239	2.534	0.357

Tab. 1: Valori dei parametri a_g , F_o , T_c 7 per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno stato limite.

Per il territorio di Roccafluvione la massima accelerazione attesa su suolo rigido è pari a 0,185 g per tempo di ritorno di 475 anni, periodo, quest'ultimo, di riferimento per i normali edifici residenziali.

Per fornire indicazioni in merito alle sorgenti sismogenetiche ovvero porzioni di faglia che si muovono cosismicamente in profondità con un rilascio significativo di energia sismica, si fa riferimento ai dati riportati sul database DISS dell'INGV (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>) e sul database ITHACA (<http://itaca.mi.ingv.it/>) dell'ISPRA.

Il Database DISS contiene informazioni sismotettoniche sviluppate per applicazioni nell'ambito della valutazione della pericolosità sismica da scuotimento (ground shaking hazard) alla scala nazionale e locale.

Il contenuto del database è costituito da sorgenti sismogenetiche rappresentate in 3D ottenute parametrizzando la geometria e la cinematica di faglie e sistemi di faglie attive ritenute in grado di generare terremoti almeno di M 5.5.

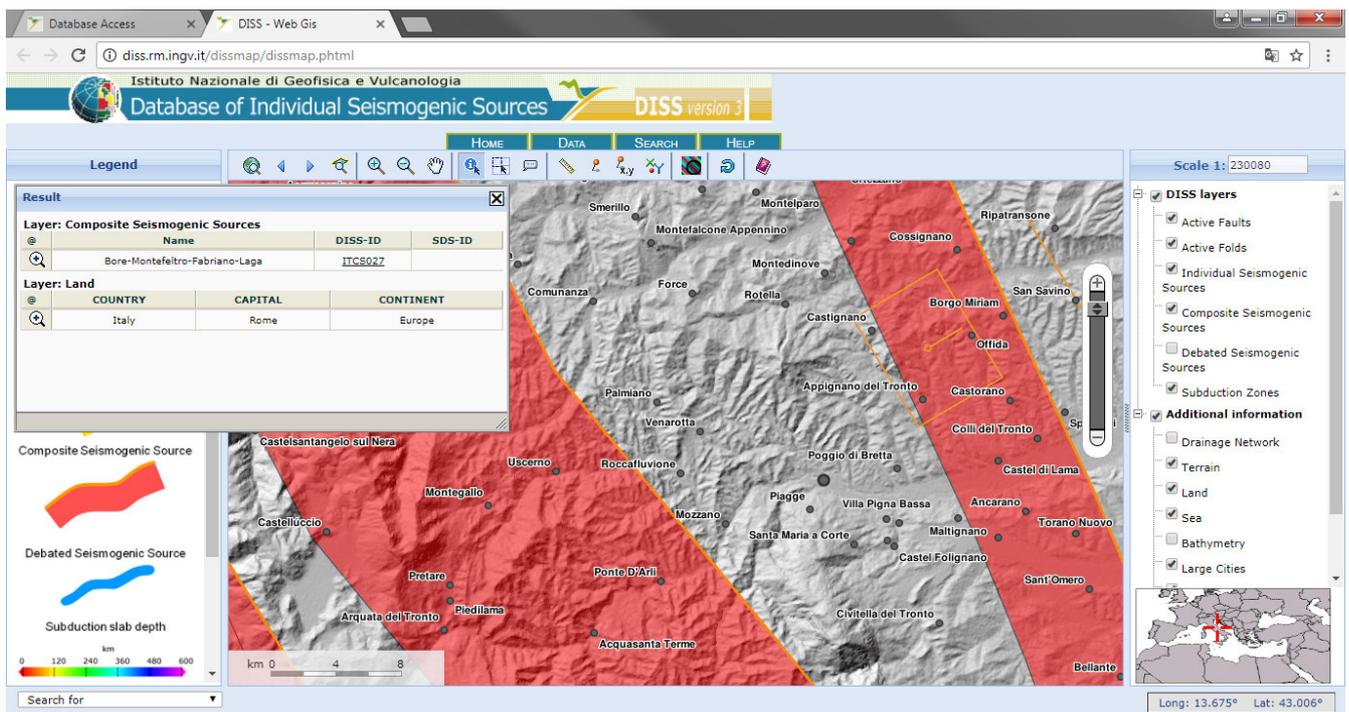


Fig. 8: Stralcio Carta delle sorgenti sismogenetiche censite con il Progetto DISS.

Ad ovest del territorio in esame è indicata, in rosso, una sorgente sismogenetica composta con andamento appenninico identificata con il codice ITCS07 (Bore Montefeltro Fabriano Laga) a cui si associa una Magnitudo Mw pari a 6.2.

Il database ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) dell'ISPRA raccoglie, in un ambiente GIS, le informazioni disponibili nella letteratura geologica riguardanti le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare interesse per le faglie capaci, definite come faglie che possono determinare una deformazione in superficie o in prossimità di essa. Questo database raccoglie quindi prevalentemente informazioni su faglie superficiali ed è utilizzabile per le analisi di pericolosità ambientale e sismica, per la pianificazione territoriale e per la pianificazione degli interventi durante le emergenze di protezione civile.

Dalla Cartografia ITACHA non risultano nel territorio comunale faglie capaci.

A N-W dell'area studiata, in prossimità delle località Osoli e Uscerno, in data 2016-03-09 è stata installata una stazione mobile di misura della rete sismica nazionale (Lat. 42.85635, Long. 13.43116 – quota 664 m.s.l.m.), con registrazioni fino alla data 2016-10-30, definita in base all'EC8 di topologia B*.

3. ASPETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio in esame è situato nel settore centrale dell'Appennino umbro-marchigiano, costituito da una catena caratterizzata da pieghe e sovrascorrimenti a prevalente vergenza orientale che, in affioramento, interessa una successione sedimentaria di età compresa tra il Trias superiore al Pleistocene inferiore.

Tale successione, condizionata anche da un'intensa tettonica sinsedimentaria, presenta numerose variazioni di spessori e di facies sia in senso laterale che verticale e riflettendo così la sua evoluzione nello spazio e nel tempo.

Ci troviamo pertanto nel "Bacino della Laga", costituito da una successione torbiditica di un antico bacino in subsidenza, caratterizzato da terreni di sedimentazione marina, di età messiniana.

A partire dal Miocene, infatti, il bacino umbro-marchigiano viene interessato da una fase compressiva (in migrazione da ovest verso est) ed assume le caratteristiche di un'avanfossa torbiditica non uniforme ma variamente articolata.

L'articolazione del bacino torbiditico comporta la presenza di zone più rialzate e zone più depresse; le prime sono sede di deposizione di mare poco profondo e/o continentale mentre le zone più profonde sono colmate da sedimenti torbiditici derivanti da varie aree di alimentazione (Formazione della Laga).

I terreni che costituiscono il substrato geologico dell'area studiata del comune di Roccafluvione appartengono alle suddette arenarie Messiniane della Formazione della Laga e affiorano lungo le scarpate di raccordo tra il terrazzo più antico e più alto in quota, e quelli sottostanti, ubicate lungo il tracciato della strada statale Piceno Aprutina, in corrispondenza delle creste collinari e lungo le scarpate fluviali incise dal Torrente Fluvione, che delimita ad Ovest il centro abitato stesso.

Il nucleo principale abitativo di Roccafluvione si estende lungo i depositi alluvionali terrazzati del Torrente Fluvione.

La morfologia è quella tipica delle vallate alluvionali interne con ampie superfici terrazzate pressoché pianeggianti, solcate da incisioni strette che si raccordano ai versanti più acclivi siti ad Est e ad Ovest del centro abitato, legati ad una litologia del substrato più resistente alle azioni erosive.

I depositi alluvionali attuali, recenti e terrazzati (Pleistocene medio/superiore – Olocene) sono costituiti da ghiaie, sabbie e limi di vario spessore; quelli terrazzati sono suddivisi, su base morfologica, in più ordini e sono stati depositati principalmente in destra idrografica dal Torrente

Fluvione, che presenta un andamento circa NW-SE. Al tetto di tali depositi ed in particolare sui terrazzi più antichi sono prevalenti i sedimenti a granulometria fine sabbioso-limosi di origine colluviale.

Il terrazzo recente, che si estende lungo una fascia prospiciente la scarpata fluviale, alla quota di circa 275 m. s.l.m. (lato Sud della Carta Geologico-Tecnica) e di 298 m. s.l.m. (Lato Nord-Est della Carta Geologico-Tecnica) presenta uno spessore di circa 4,0-6,0 m.

Il terrazzo più antico esteso a monte compreso tra le quote di 290 m. s.l.m. e 350 m. s.l.m. circa, raggiunge spessori superiori ai 30,00m in corrispondenza del toponimo Santo Stefano; la frazione ghiaioso-sabbiosa con spessore di circa 10,00 m risulta sovrastata in superficie dai sedimenti limoso-sabbiosi dello spessore di oltre 20 m. circa.

3.2 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Sotto l'aspetto morfostrutturale il territorio è caratterizzato da rilievi arenacei variamente articolati, in funzione delle locali condizioni giaciture del substrato, situati ad Est ed Ovest del capoluogo, e solcati dal Torrente Fluvione, che ha inciso ed alluvionato la valle a seguito della variazione nel tempo del proprio regime idraulico.

I pendii litici della zona, sovrastanti l'antica valle fluviale, presentano un'acclività medio-elevata (circa 30°) con giacitura degli strati verso W-NW ed inclinazione di circa 25-30 gradi. Essi risultano nel complesso stabili e non sono interessati da movimenti gravitativi; nella zona oggetto di MZS di terzo livello.

Gli affioramenti delle arenarie con intercalati sottili strati marnosi sono presenti nell'alveo fluviale e lungo le scarpate di raccordo tra i terrazzi più antichi e quelli più recenti di valle, a monte della SP 237 sul lato sud ed a valle della SP a nord.

Tali scarpate litiche, ben visibili lungo la strada statale e la strada di accesso al Ponte Pugliese, sono subverticali con strati che intercettano le scarpate stesse a traversopoggio - reggipoggio, con inclinazione di circa 25 gradi; in corrispondenza dell'asta fluviale, gli strati intercettano a lieve franapoggio la sponda sinistra del Fluvione. L'acclività delle scarpate suddette, molto elevata, determina una amplificazione sismica di tipo topografico.

La scarpata fluviale incisa dal Torrente Fluvione raggiunge in alcuni tratti i 20,0 m. di altezza; lungo tale scarpata sono presenti fenomeni erosivi particolarmente evidenti e localizzati in corrispondenza della frana n. 1190 cartografata da PAI. Tale frana di crollo risulta attiva e si estende per circa 350 m. lungo l'orlo del terrazzo, coinvolgendo in parte i terreni alluvionali ghiaioso-sabbiosi del terrazzo alluvionale recente ed in parte gli strati arenacei più alterati e fratturati.



Fig. : Stralcio cartografia PAI

La superficie topografica in corrispondenza dei terrazzi alluvionali risulta lievemente inclinata (massimo 9 gradi circa) verso l'asta del Torrente Fluvione, situazione tipica dei bacini a prevalente sedimentazione alluvionale.

3.3. ASSETTO STRATIGRAFICO

L'assetto stratigrafico della zona studiata è quello tipico dei terrazzi alluvionali, caratterizzato dalla presenza di terreni ghiaioso-sabbiosi di origine alluvionale, depositati su un substrato rigido inciso dal corso d'acqua, sovrastati da materiali a fine granulometria di origine colluviale.

I risultati delle indagini geognostiche effettuate, hanno evidenziato la successione litostratigrafica suddetta, con forti variazioni di spessore dei litotipi, in funzione della ubicazione e della storia sedimentaria delle strutture geomorfologiche considerate.

Nell'area indagata si distinguono due ordini di terrazzi con caratteristiche sedimentarie e granulometriche simili e spessori diversi.

Il terrazzo alluvionale più antico e più alto in quota è ubicato, in corrispondenza dell'area in studio, a monte (ovest) della strada Provinciale, chiuso ad ovest dai pendii arenacei.

La porzione superficiale delle coperture è costituita da depositi colluviali limoso-sabbiosi con piccoli detriti di arenaria con spessore massimo ai piedi del versante.

Al di sotto giacciono le sabbie limose alluvionali ubicate fino a 25 m circa, quota di ubicazione delle ghiaie sabbiose alluvionali, sovrastanti le arenarie della Formazione di base.

Il terrazzo alluvionale più giovane e prospiciente l'asta del T. Fluvione, si sviluppa a valle di quello più antico fino al ciglio superiore della sponda destra del T. Fluvione stesso.

Gli spessori delle coperture e la potenza del deposito alluvionale sono esigui; le coperture limoso sabbiose presentano uno spessore medio di circa 3,00-4,00 m e sovrastano il livello ghiaioso dello spessore di circa 2,00 m..

Il substrato arenaceo nell'area in esame costituisce, pertanto, l'antica superficie di deposizione alluvionale e la fascia di raccordo tra i diversi ordini di terrazzo e l'area golenale attuale.

La formazione è strutturata in strati e banconi arenacei, ben cementati, con spessore variabile da pochi centimetri fino a circa 1,50 m., intercalati da sottili livelli marnosi.

In affioramento gli strati arenacei si presentano di colore giallastro e localmente fratturati.



Foto n. 1: affioramento di strati arenacei (Formazione della Laga) a monte della SP



Foto n. 2: affioramento di strati arenacei (Formazione della Laga) a monte della Strada per Ponte Pugliese

3.4 ELEMENTI TETTONICI

Dal punto di vista geologico-strutturale i litotipi costituenti il substrato geologico delle aree studiate, sono caratterizzati generalmente da pieghe anticlinaliche e sinclinaliche, più o meno strette e allungate, con asse appenninico (NNW-SSE).

Localmente, in corrispondenza dei rilievi arenacei sovrastanti il centro abitato di Roccafluvione, la giacitura dei termini affioranti si presenta monotona, con immersione verso i quadranti occidentali e Nord-occidentali con inclinazioni medie di circa 25°. Nell'area indagata non sono state rilevate faglie attive e capaci, come riportato sulla cartografia ITHACA..

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1. DATI PREGRESSI

Per la redazione degli studi di MZ di prima fase erano stati utilizzati i dati stratigrafici e geofisici ricavati dalla consultazione delle indagini effettuate in sede di Redazione del Piano Regolatore Generale (PRG) e successive varianti, e da indagini realizzate per la progettazione di vari interventi edificatori.

Tali indagini costituiscono i dati pregressi consultati per la realizzazione degli studi di III livello.

Le indagini geofisiche esistenti sono rappresentate da n. 2 indagini sismiche attive di tipo MASW e n. 5 indagini sismiche passive HVSR (di cui n. 1 relativa ad un intervento edificatorio pregresso e n. 4 misure effettuate durante gli studi di microzonazione sismica di I livello).

Le misure dei microtremori (misure HVRS) esistenti evidenziavano la presenza di importanti picchi di amplificazione in corrispondenza dei terrazzi alluvionali e delle coperture eluvio-colluviali, riconducibili al contrasto di impedenza tra le coperture ed il substrato.

La misura effettuata sulle arenarie di base affioranti sulle creste collinari a SE del toponimo Caserine, invece, non presenta picchi di amplificazione.

Le indagini geognostiche esistenti sono rappresentate da n. 18 sondaggi geognostici con carotaggio continuo (di cui 8 hanno raggiunto il substrato) e n. 6 prove penetrometriche dinamiche.

Come visibile dalla cartografia allegata (Carta delle Indagini), alcune indagini pregresse sono ubicate al di fuori dell'area di MZ di terzo livello.

4.2 DATI ACQUISITI EX-NOVO

Per la realizzazione dello studio di microzonazione sismica di III livello sono state programmate e realizzate delle indagini geognostiche e geofisiche integrative allo scopo di puntualizzare e dettagliare le conoscenze acquisite nella I fase e colmare le carenze di dati geofisici in zone significative del territorio in esame.

Il piano di indagini integrativo, concordato con il Centro di MS, si articola in:

- n. 1 sondaggio geognostico a rotazione con carotaggio continuo spinto fino alla profondità di m. 35 dal p.c. attuale ed attrezzato per misura sismica DH, ubicato in località Marsia-Santo Stefano;

- n. 5 prove SPT in foro effettuate a varie quote di profondità;
- prelievo di n. 1 campione indisturbato alla profondità di m. 6.50 dal p.c. fino a m. 6.90 da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico;
- n. 1 prova Down-Hole;
- n. 8 misure HVSR;
- n. 3 MASW.

4.2.1. Sondaggio Geognostico, prove SPT in foro, prelievo del campione indisturbato.

Il sondaggio geognostico è stato eseguito dalla Ditta Microsonda.geo s.n.c. (iniziato in data 08/08/2017) con la tecnica a rotazione a carotaggio continuo con l'ausilio di tubazioni di rivestimento e con l'utilizzo di liquidi di perforazione, ove necessario.

La metodologia utilizzata è finalizzata a valutare l'assetto stratigrafico e geotecnico dei livelli attraversati; in fase di esecuzione del sondaggio non è stata intercettata falda acquifera.

L'attrezzatura utilizzata è una sonda perforatrice "*F.lli Mori*" mod. *M40* oleodinamica con le seguenti caratteristiche:

- testa di rotazione psm 800;
- peso totale kg 8700;
- slitta di avanzamento 2.60 m;
- motore oleodinamico;
- argano idraulico h 3.50 m;
- freno blocca aste;
- pompa CMO 320 a vite continua;
- pompa scarotatrice.

Corredata dai seguenti utensili:

- aste di manovra \varnothing 88.9 mm, lunghezza 1.0 m;
- tubi carotieri semplici \varnothing 101 mm, rispettivamente di lunghezza 3.0 - 1.5m;
- corone e scarpe con denti e prismetti di widia.



Foto n.3: sonda utilizzata per effettuare il sondaggio a carotaggio continuo

Le prove SPT in foro sono state svolte utilizzando la seguente attrezzatura standard:

- maglio cilindrico peso kg 63,5;
- volata altezza cm 76,
- aste metalliche diametro 50 mm.

In seguito, il foro è stato “rivestito” mediante tubi in PVC cementati tra le pareti del foro e il tubo stesso con una malta a ritiro controllato; la malta è composta di acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

Il fine di questa procedura è quello di far aderire lo strumento alla superficie del foro in modo da considerarlo un corpo unico col livello da considerare.

Le perforazioni e le indagini sono state eseguite rispettando il D.M. 11/03/88, e seguendo le specifiche tecniche riportate sul prontuario delle Prove in Sito - Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I. 1977).

Il campione indisturbato è stato prelevato alla profondità di m. 6.50 dal p.c. attuale (lunghezza campione 0.4 m.), in corrispondenza delle sabbie limose mediante campionatore in acciaio inox del diametro di 90 mm e sigillato.

Il campione (C1-S1) è stato inviato al laboratorio Geotecnico del Politecnico di Torino che ha provveduto a fare le seguenti Prove:

Tabella 2 Prove di classificazione

Sondaggio	Campione	Peso di volume	Contenuto d'acqua	Peso specifico	Limiti di Atterberg	Prova granulometrica	Carbonati
S1	C1	-	1	1	-	1	1

La prova di colonna risonante non è stata effettuata in quanto le caratteristiche del materiale non hanno permesso l'estrazione di un provino idoneo da sottoporre alla prova; dal certificato di laboratorio risulta che la presenza di numerose occlusioni e del ghiaietto non consentono la determinazione dei Limiti di Atterberg e la preparazione del provino per l'esecuzione della prova di colonna risonante.

4.2.2 Esecuzione della Prova Down-Hole

In data 10/10/2017 il Politecnico di Torino ha effettuato la prova Down-Hole utilizzando apposita strumentazione.

Nel metodo sismico down hole (DH) viene misurato il tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio appositamente "rivestito".

La misura DH si compone dei seguenti elementi:

- Un sistema di geofoni tridimensionali, con risposta in frequenza (4,5-14 Hz), direzionale e dotato di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- Un sismografo multi-canale;
- Una sorgente di onde sismiche con trasduttore (*trigger*) alloggiato nella stessa.

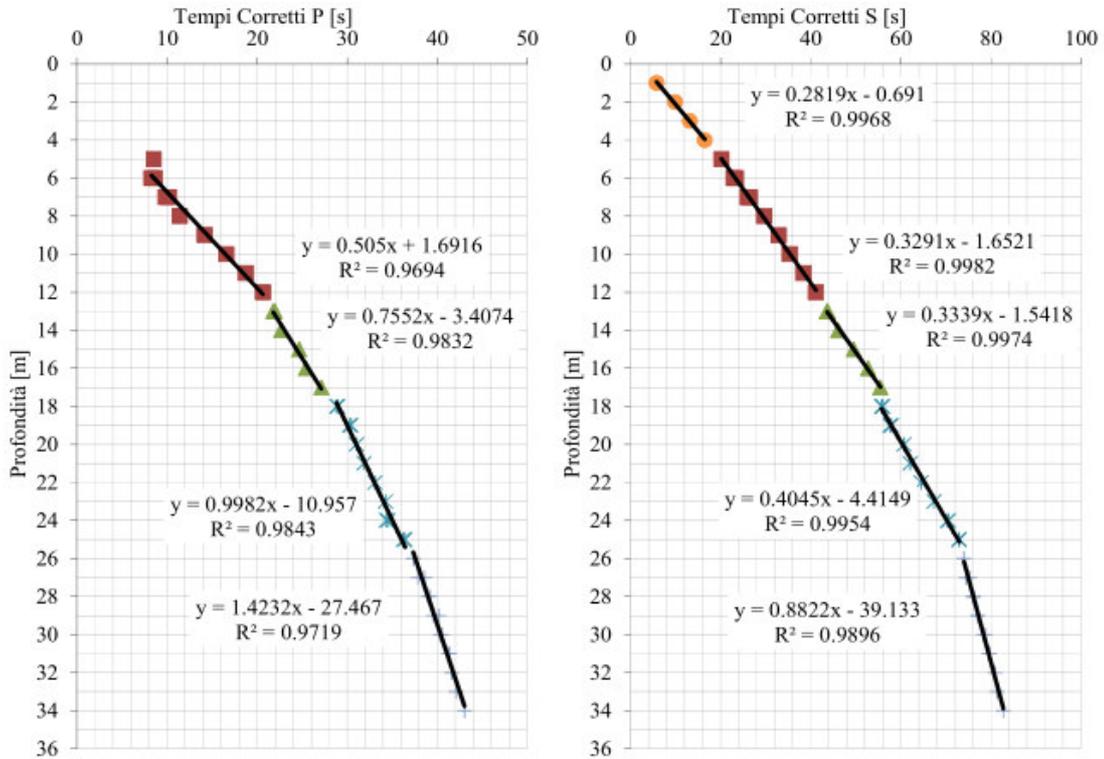
Per effettuare la Prova Down hole, si scende il sistema di geofoni (alloggiato all'interno di uno strumento), dentro il foro e lo si svolge tramite un cavo misurato, collegato ad una bobina (immagini in allegato). Il sistema aderisce rimane serrato alla parete del foro tramite opportune parti meccaniche.

Dopo aver fissato lo strumento alla profondità desiderata, si generano i segnali sismici tramite un transiente verticale che colpisce la sorgente sismica.

Il sistema di geofoni riceve il segnale generato dall'impatto del transiente sulla sorgente, e lo invia al sismometro per la registrazione.

La sorgente consiste in una piastra di alluminio adagiata in superficie ad una distanza di 1,5 – 2,5 m dal foro a cui è agganciato il trasduttore di velocità utilizzato come *trigger*.

Dall'elaborazione della misura DH si sono ottenuti i seguenti risultati:



Roccafluvione		
Stringa da 8 geofoni – Sovrapposizione 1 m		
Distanza bocca foro – sorgente: 1.4 m		
Interasse tra i ricevitori: 1 m		
Intervalli di profondità [m]	V _S [m/s]	V _P [m/s]
1 - 4	282	
4 - 12	329	505
12 - 17	334	755
17 - 25.5	405	998
25.5 - 34	882	1423

4.2.3. Misure HVSR

Le misure di rumore sismico ambientale o microtremori HVSR consentono di analizzare la variazione della risposta sismica di un sito al variare delle condizioni lito-stratigrafiche, e ci permettono di realizzare la “Carta delle frequenze fondamentali di vibrazione”.

Lo strumento utilizzato per le misure H/V è un tromografo digitale (TROMINO della MICROMED S.p.a) dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati sul piano orizzontale (N-S e E-W) e sul piano verticale (Up-Down).

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz per una durata di 20 minuti, ad eccezione della misura HVSR_8 della durata di 60 minuti.



Foto n.4: tromino utilizzato per le misure HVSR

Le misure HVSR sono state effettuate in corrispondenza di aree prive di misure di rumore e distribuite sul territorio in modo da caratterizzare con le frequenze di risonanza le diverse situazioni stratigrafiche individuate.

La misura HVSR_6, ubicata in località Marsia-Santo Stefano in prossimità del foro di sondaggio, è stata utilizzata anche per la calibrazione del modello geofisico ricavato dalla DH.

La misura HVSR_8, effettuata in località Marsia Santo-Stefano, circa 70 m. a nord-ovest della misura HVSR_6, ha consentito una interpretazione “critica” di indagini pregresse; infatti, in corrispondenza di tale zona le indagini geognostiche reperite ubicavano il substrato arenaceo alla profondità di circa 15 m. dal p.c. attuale (indagini 044064 P15 e P16 – SS16/SS17 Piano di lottizzazione Via Manzoni).

Considerando che il sondaggio geognostico realizzato per il presente studio, ubicato a breve distanza dall’area (circa 70 m.), ha raggiunto la profondità di m. 35 dal p.c. senza intercettare il substrato arenaceo, il dato stratigrafico riportato sulle indagini pregresse è apparso “anomalo”.

Si è deciso quindi, in accordo con il centro di MS, di effettuare in corrispondenza del sito con stratigrafia incerta una misura HVSR_8 di lunga durata (60 minuti) in modo da ottenere un segnale statisticamente più rappresentativo per indagare le basse frequenze.

Tale misura ha rilevato un importante picco di amplificazione alla frequenza di 4.06 Hz, molto simile a quello registrato dalla misura HVSR_6 (3.97 Hz); pertanto si è esclusa la presenza di substrato litico alle profondità indicate dalle indagini pregresse, ipotizzando una situazione stratigrafica simile a quella rilevata dal il sondaggio geognostico.

4.2.3. Misure MASW

La strumentazione utilizzata per effettuare le indagini di simica attiva tipo MASW è costituita da un sismografo multicanale PASI mod.16S24-U, dalle caratteristiche tecniche di seguito specificate:

- risoluzione a 24bit
- capacità di campionamento (sampling time) del segnale da 125 μ S a 2 mS
- tempo di registrazione da 32 mS a 65,536 S
- delay time da 0 a 8000 mS con passo di 1 mS
- inversione di polarità dei geofoni
- geofoni verticali da 4,5 Hz di periodo proprio
- massa battente pesante da 10Kg



Foto n.5: sismografo utilizzato per le MASW

La geometria dello stendimento è stata programmata cercando un giusto compromesso tra la necessità di investigare le zone d'interesse, le difficoltà logistiche, le profondità massime da esplorare e la risoluzione del metodo.

La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea" dal seguente set-up:

- distanza intergeofonica 2,0m (24 geofoni) quindi 46 m totali con il primo geofono a 0m;
- MASW n. 2 energizzazioni ad offset (Sx e Dx) a 6,0 m, 10 m - Totale 4 energizzazioni
- passo di campionamento pari a 500 us - 2000 Hz;
- tempo di acquisizione delle tracce sismiche di 2000 mS.

Le n. 3 misure MASW sono ubicate in prossimità del foro di sondaggio (misura 1), a monte della SP (area parcheggio ristorante) ed in località Ponte Pugliese.

Gli spettri registrati con la curva di dispersione sono i seguenti

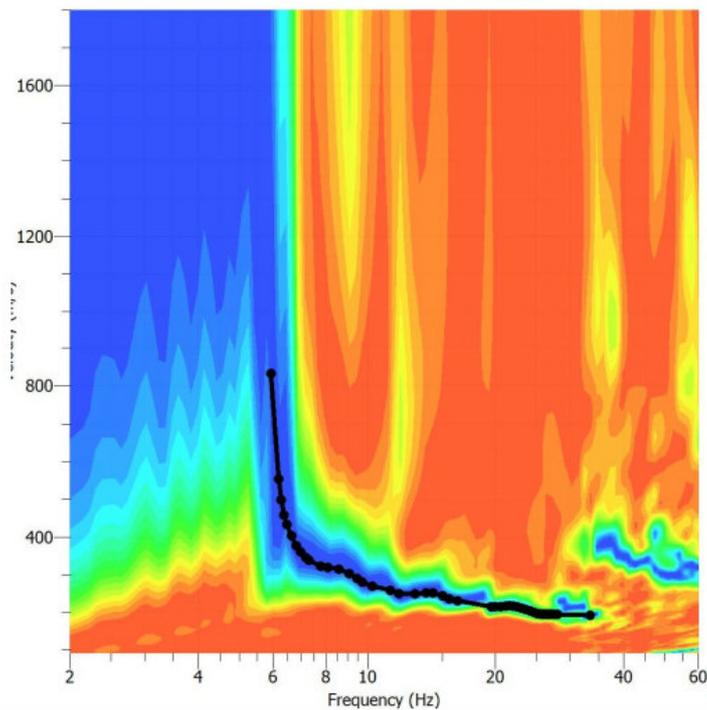


Figura 10: Spettro osservato con curva di dispersione rispetto levelocità (MASW 1-area DH)

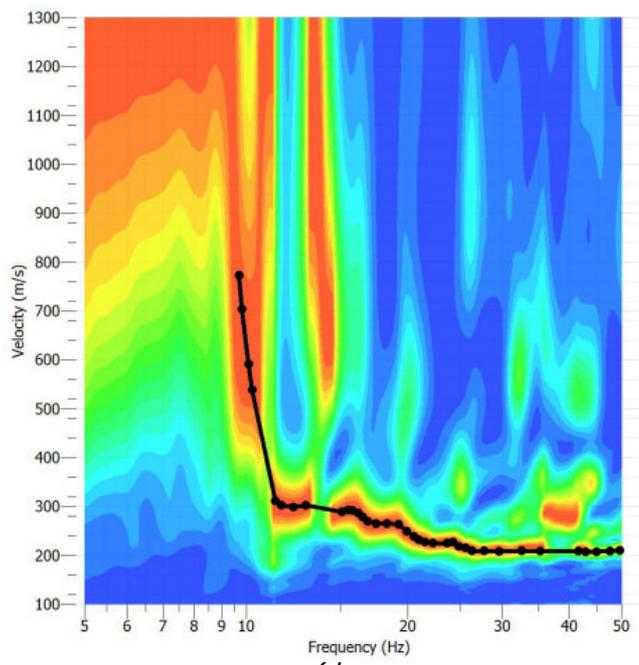


Figura 11: Spettro osservato con curva di dispersione rispetto le velocità (MASW 2-area parcheggio)

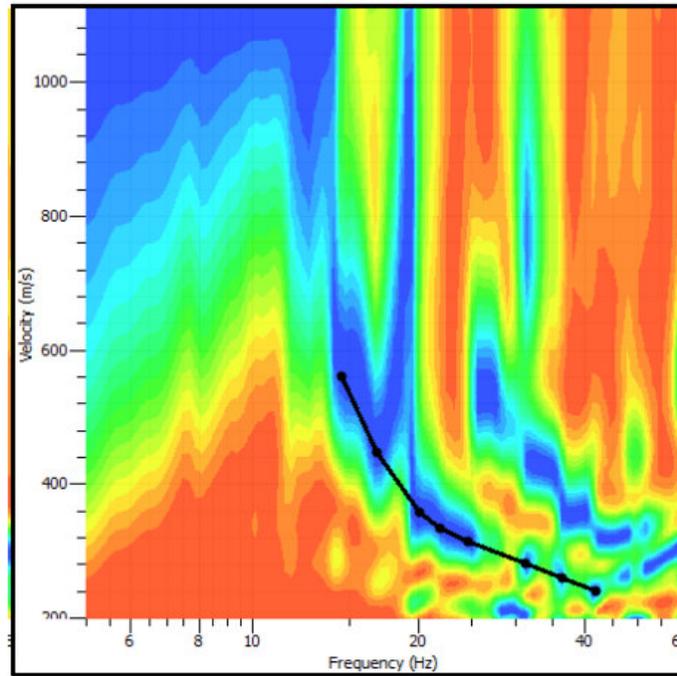


Figura 12: Spettro osservato con curva di dispersione rispetto le velocità (MASW 2-area parcheggio)

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS

5.1 UNITÀ GEOLOGICO-TECNICHE: DEFINIZIONE E PARAMETRIZZAZIONE

In base alla consultazione delle indagini geognostiche pregresse ed ai risultati delle indagini geognostiche e geofisiche integrative sono state elaborate la Carta Geologico-tecnica e n. 5 sezioni lito-stratigrafiche rappresentative dell'andamento stratigrafico dei terreni che costituiscono l'area in studio.

Sulla Carta geologico-Tecnica e sulle relative sezioni si distinguono le seguenti unità geologico-tecniche.

Terreni di copertura:

SMec: sabbie limose, miscela di sabbia e limo (depositi eluvio-colluviali OLOCENE)

Tali depositi rappresentano la porzione più corticale dei terreni di copertura presenti nell'area in esame; trattasi di sabbie limose e limi sabbiosi avana-giallastri da scarsamente a mediamente addensati con calcinelli biancastri nella fascia più superficiale.

SMtf: sabbie limose, miscela di sabbia e limo (depositi alluvionali terrazzati Pleistocene medio-Sup.)

Tali materiali di colore giallastro sovrastano i depositi ghiaiosi alluvionali; sono caratterizzati da un buon grado di addensamento tanto da presentare localmente cenni di stratificazione.

GPtf: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla (alluvioni terrazzate del Pleistocene medio-Sup.).

La deposizione di tali materiali è legata alla variazione nel tempo del regime idraulico del Torrente Fluvione, il quale ha inciso e successivamente alluvionato le arenarie della Formazione della Laga. I ciottoli sono di dimensioni centimetriche (diametro medio 3,00-4,00 cm), arrotondati, arenacei e subordinatamente calcarei e risultano immersi in matrice sabbioso limosa.

Substrato non rigido:

LPS: arenarie con stratificazione da molto spessa a media con intercalazioni di sottili livelli pelitici (Messiniano - LAG1c Litofaces arenacea).

Gli strati arenacei si presentano in affioramento di colore variabile dal giallo-grigiastro al grigio, poco fratturati.

Le proprietà fisiche, meccaniche e geofisiche dei terreni di copertura sono di seguito schematizzate:

SMec: sabbie limose, miscela di sabbia e limo

γ [kN/m ³]	Analisi granulometrica				φ (gradi)	Vs [m/s]	V _p [m/s]
	ghiaia %	sabbia %	limo %	argilla %			
19	17.5	48	28	6.5	25	300	505/755

SMtf: sabbie limose, miscela di sabbia e limo

γ [kN/m ³]	Analisi granulometrica				φ (gradi)	Vs [m/s]	V _p [m/s]
	ghiaia %	sabbia %	limo %	argilla %			
19					28	405	998

GPtf: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla

γ [kN/m ³]	Analisi granulometrica				φ (gradi)	Vs [m/s]	V _p [m/s]
	ghiaia %	sabbia %	limo %	argilla %			
20					32	882	1423

Le proprietà fisiche, meccaniche e geofisiche del substrato sono le seguenti:

LPS: arenarie con stratificazione da molto spessa a media con intercalazioni di sottili livelli pelitici

γ [kN/m ³]	φ (gradi)	Vs [m/s]	V _p [m/s]
22.55	40	1020	

5.2 SEZIONI GEOLOGICO TECNICHE

In corrispondenza dell'area oggetto di studio sono state elaborate n. 5 sezioni geologiche rappresentative dell'andamento stratigrafico del territorio in esame.

La sezione A-A', orientata circa SW-NE, intercetta il versante arenaceo ubicato a monte del centro abitato di Marsia, la zona a debole pendenza in località Santo Stefano, la fascia terrazzata a valle della S.P. 237 in sponda destra, la forra del T. Fluvione ed il versante arenaceo in sponda sinistra, nel territorio comunale di Venarotta.

Tale sezione evidenzia la presenza, a valle del pendio arenaceo, in località Marsia- Santo Stefano, di una potente coltre di copertura limoso-sabbioso di origine eluvio colluviale, in superficie, ed alluvionale antica in profondità, per uno spessore complessivo di circa 25,00 m. (in corrispondenza del sondaggio effettuato per la DH), sovrastante le ghiaie ciottolose alluvionali dello spessore di circa 10 m..

La potenza della coltre di copertura diminuisce verso valle, raggiungendo spessori dell'ordine dei 7,00 m. circa in corrispondenza della sede stradale provinciale (SP 237).

I depositi alluvionali ed eluvio colluviali sovrastano la formazione arenacea di base caratterizzata da un andamento sub-pianeggiante nel tratto di valle (dalla zona di ubicazione del sondaggio fino alla SP) e con acclività di circa 16 gradi verso monte.

A valle della S.P. 237 si intercettano i depositi limoso sabbiosi e ghiaiosi del terrazzo alluvionale recente, dello spessore complessivo medio di circa 6.00 m. (circa 4.00 m. di limi sabbiosi e 2.00 m. di ghiaie) sovrastanti la formazione di base.

Gli strati arenacei con intercalati sottili livelli marnosi affiorano in corrispondenza delle scarpate fluviali e, limitatamente, in corrispondenza di scarpate di raccordo tra i due ordini di terrazzo, a monte ed a valle della SP 237.

La sezione B-B' è tracciata a nord del fosso che incide il pendio in località Marsia con andamento circa parallelo alla sezione A-A'; la sezione intercetta l'area del campo sportivo e prosegue verso valle chiudendosi in corrispondenza della scarpata del T. Fluvione in sponda destra.

Tale sezione evidenzia un assetto stratigrafico simile a quello mostrato dalla sezione A-A' con la presenza di una potente coltre di copertura limo sabbioso eluvio colluviale in superficie (SMec) ed alluvionale (SMtf) in profondità dello spessore complessivo di circa 25 m., sovrastante il livello ghiaioso alluvionale (GPtf) con spessore di circa 8,00 m., tendente a diminuire di potenza verso est.

A valle della S.P. 237 si intercettano i depositi limoso sabbiosi e ghiaiosi del terrazzo alluvionale recente, dello spessore complessivo medio di circa 6.00 m. (circa 4.00 m. di limi sabbiosi e 2.00 m. di ghiaie).

L'andamento profondo del substrato arenaceo risulta nel complesso regolare, con debole pendenza verso valle e presenza di un modesto ginocchio di raccordo tra i due ordini di terrazzo in prossimità della sede stradale.

La sezione C-C', ubicata in corrispondenza dell'abitato di Ponte Pugliese in sinistra orografica del Torrente Fluvione; intercetta con andamento circa NE-SW i versanti arenacei di monte, il terrazzo alluvionale recente su cui insiste l'abitato, a valle della sede stradale, l'attuale incisione del Torrente ed il terrazzo alluvionale recente in destra orografica fino alla strada provinciale.

Tale sezione evidenzia un andamento stratigrafico simile dei depositi alluvionali depositati in sinistra e destra orografica, caratterizzati da spessori modesti, dell'ordine dei 6 m. che tende ad azzerarsi verso le scarpate del torrente.

La sezione D-D' intercetta l'abitato di Marsia in direzione NW-SE; tale sezione tracciata con andamento circa parallelo all'asta del Torrente mostra l'andamento sub-pianeggiante della superficie topografica lungo tale direzione; il substrato arenaceo, affiorante sulla scarpata stradale in prossimità del bivio per Ponte Pugliese, è ubicato alla profondità di circa 3,00-4.00 m. lungo la zona settentrionale prossima al cimitero, approfondendosi verso sud. Lo spessore delle coperture limoso sabbiose (SMtf) aumenta da nord verso sud, passando da 3-4 m. circa a 14,00 m. circa.

La sezione E-E' con andamento NW-SE si estende dall'area del centro sportivo a NW, verso SE fino all'incisione del fosso in prossimità della località Caserine.

Tale sezione intercetta il terrazzo alluvionale antico evidenziano un andamento regolare e lievemente inclinato di circa 2 gradi verso SE del substrato arenaceo, antico letto di deposizione fluviale.

Al di sopra delle arenarie giacciono i depositi ghiaiosi del terrazzo alluvionale antico con spessori dell'ordine degli 8.00-10.00 m., sovrastati da depositi limo-sabbiosi alluvionali ed eluvio-colluviali in superficie, con spessori massimi di circa 25.00 m. e minimi di circa 3-4 m. in corrispondenza delle incisioni del reticolo idrografico attuale.

Dalla consultazione di dati pregressi risulta che in corrispondenza del terrazzo alluvionale recente di valle è presente una modesta falda acquifera ospitata nelle ghiaie alluvionali, localizzata al contatto ghiaie-arenaria con consistenza minore di 0.5 m. e drenata dalla scarpata fluviale di valle. Il sondaggio effettuato per la redazione del presente studio, spinto fino alla profondità di m. 35.00 dal p.c. attuale, non ha intercettato falde acquifere; tuttavia da informazioni reperite risulta che in

zona era stato realizzato in passato un pozzo spinto fino alla profondità di m. 37 dal p.c. attuale che ha intercettato il basamento arenaceo a circa 36,00 m. dal p.c. con un modesto livello saturo al di sopra del basamento impermeabile.

6. INTERPRETAZIONE ED INCERTEZZE

Il modello geologico proposto è basato sull'analisi dei dati stratigrafici reperiti, delle indagini integrative realizzate e sul rilevamento geo-morfologico di campagna effettuato dal sottoscritto e dai tecnici del Centro di MS.

Le indagini interessano l'intero territorio in esame e sono localizzate principalmente in corrispondenza dell'abitato di Marsia-Santo Stefano e della fascia edificata a valle della SP; in corrispondenza della zona settentrionale, a valle del campo sportivo, sono presenti solo misure geofisiche.

L'assetto geologico del territorio esaminato è caratterizzato dalla presenza di due ordini di terrazzo alluvionale: quello più antico esteso in destra orografica del Torrente Fluvione si chiude in prossimità della sede stradale provinciale ed a valle della SP si sviluppa il terrazzo alluvionale recente rilevato anche in sponda sinistra e depositato dal Torrente Fluvione precedentemente l'incisione dell'attuale area golenale.

L'assetto stratigrafico riportato sulla sezione A-A', a monte dell'area in studio, necessario per una completa interpretazione del modello geologico e per la realizzazione delle analisi numeriche 2D, è stato ricostruito basandosi sul rilevamento degli affioramenti arenacei in corrispondenza dei pendii di monte (a valle del toponimo Vallicella) e raccordando il substrato con la zona di valle indagata secondo un andamento tipico delle zone a deposizione alluvionale.

Il terrazzo alluvionale antico è costituito da una potente coltre di copertura limoso sabbiosa dello spessore complessivo di circa 25.00 m., poggiante sulle ghiaie ciottolose alluvionali; in corrispondenza del terrazzo di valle i depositi limoso sabbiosi, presentano spessori minori dell'ordine dei 4.00-6.00 m..

I limi sabbiosi sovrastanti il terrazzo di monte sono, probabilmente, di origine colluviale in superficie (SMec) e di origine alluvionale (SMtf) nella porzione più profonda; risulta, tuttavia, molto difficile definire il limite tra le due unità essendo costituite dalle stesse litologie (limi sabbiosi e sabbie) e dotate nel complesso di un discreto grado di addensamento.

Dall'analisi del log stratigrafico e delle SPT in foro risulta che dalla profondità di m. 4,00 in poi le sabbie limose presentano, a varie quote di profondità, cenni di stratificazione, che lascerebbero ipotizzare un'origine alluvionale di tali materiali.

Accettando tale ipotesi lo spessore delle sabbie limose alluvionali sarebbe di oltre 20,00 m..

Tuttavia, la prova DH ha restituito, fino alla profondità di m. 17 dal p.c. attuale, valori di velocità molto simili, dell'ordine dei 300 m/sec e valori superiori, dell'ordine dei 400 m/sec dai 17,00 m. ai

25.5 m. di profondità; l'aumento di velocità potrebbe indicare un passaggio dai terreni colluviali ai terreni alluvionali, più consistenti.

In conclusione, essendo le due unità di copertura simili dal punto di vista litologico, geotecnico e sismico l'attribuzione di un limite ben definito tra le due unità non comporta variazioni sostanziali del modello geologico, né di quello geofisico.

Il sondaggio geognostico effettuato in località Santo Stefano, confrontato con le indagini geognostiche pregresse della zona, aveva evidenziato un andamento anomalo del substrato arenaceo; infatti le indagini reperite (indagini 044064 P15 e P16 – SS16/SS17) rappresentate da n. 2 colonne stratigrafiche, prive di documentazione fotografica, indicavano uno spessore dei depositi eluvio-colluviali ed alluvionali significativamente inferiore (circa 15.00 m.) rispetto a quanto evidenziato dal sondaggio geognostico.

Pertanto, in accordo con il centro di MS, si è deciso di effettuare una misura HVSR di lunga durata per verificare l'attendibilità del dato stratigrafico pregresso; tale misura (HVSR_8) ha rilevato un importante picco di amplificazione alla frequenza di 4.06 Hz, simile a quello ottenuto dalla misura HVSR_6 (3.97 Hz) effettuata in prossimità del sondaggio geognostico, escludendo così la presenza del substrato arenaceo alle profondità indicate dalle indagini pregresse e permettendo di ipotizzare una situazione stratigrafica simile a quella rilevata con il sondaggio geognostico.

Il substrato arenaceo nell'area in esame costituisce l'antico letto di deposizione alluvionale dei due ordini di terrazzo; l'andamento profondo del substrato risulta nel complesso regolare e lievemente acclive verso SE; con modesti e localizzati avvallamenti legati alle naturali dinamiche di erosione fluviale.

L'assetto stratigrafico rilevato è compatibile con una migrazione nel tempo dell'alveo del Torrente Fluvione verso ENE.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

7.1. ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE

7.1.1. SCELTA DELL'INPUT SISMICO

L'input sismico è stato fornito dal Centro di MS, definito in funzione del sito in esame e del periodo di ritorno considerato, pari a 475 anni, in accordo con altri studi nazionali ed internazionali.

L'input sismico è rappresentato dal set di sette accelerogrammi compatibili con gli spettri NTC08 per condizioni di roccia affiorante (Cat. A).

I sette accelerogrammi utilizzati hanno le seguenti caratteristiche:

codice	Magnitudo locale ML	Magnitudo Momento Mw	distanza dall'epicentro	condizioni di sottosuolo	Fattore di scala
3A.MZ19..HNE.D.20161030.064018.	6.1	6.5	22.6	A*	1
3A.MZ21..HNE.D.20161026.171036.	5.4	5.4	27.9	A*	1
IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C	5.9	5.9	10.8	A*	1
IT.MMO..HGE.D.20161030.064018.C	6.1	6.5	19.2	A*	1
IT.MMO..HGN.D.20161026.191806.C	5.9	5.9	16.2	A*	1
IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C	6.1	6.5	19.2	A*	1
IV.T1212..HNN.D.20161030.064018	6.1	6.5	10.5	A*	1

La figura seguente mostra lo spettro medio degli accelerogrammi di input (linea grigia) e lo spettro di riferimento (in verde).

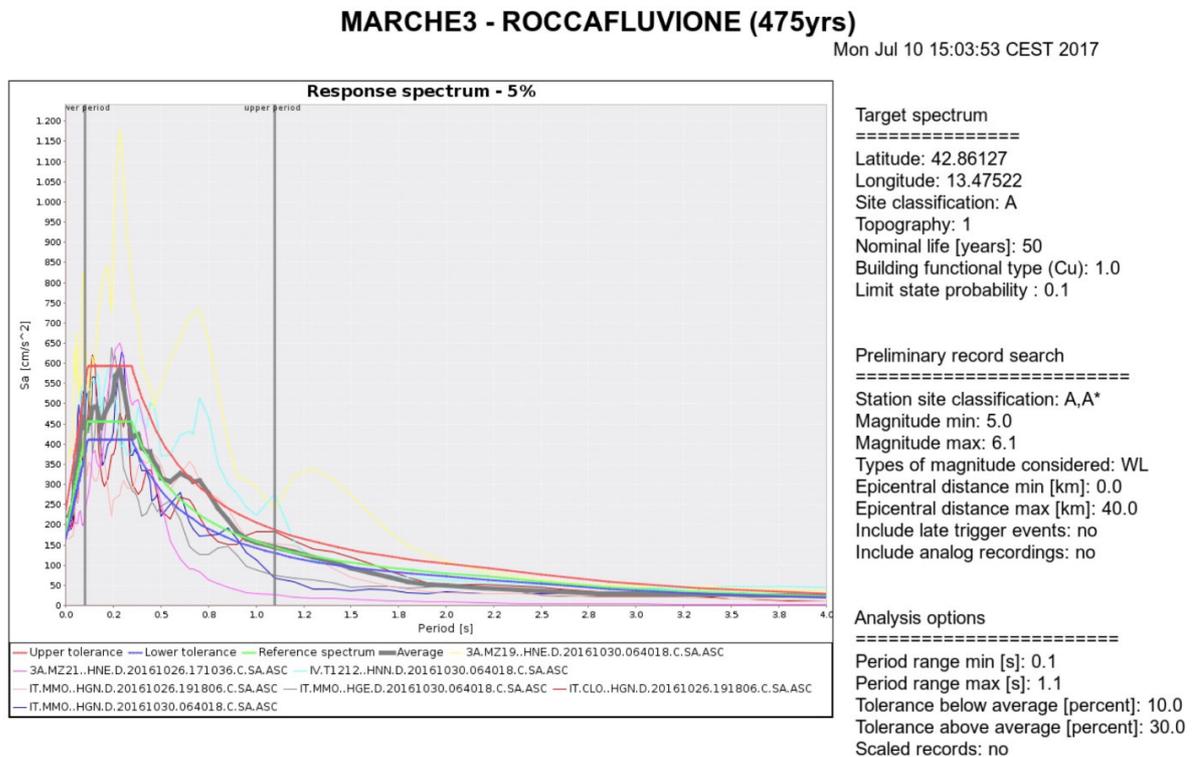


Figura 13: Spettro Compatibilità Roccafluvione

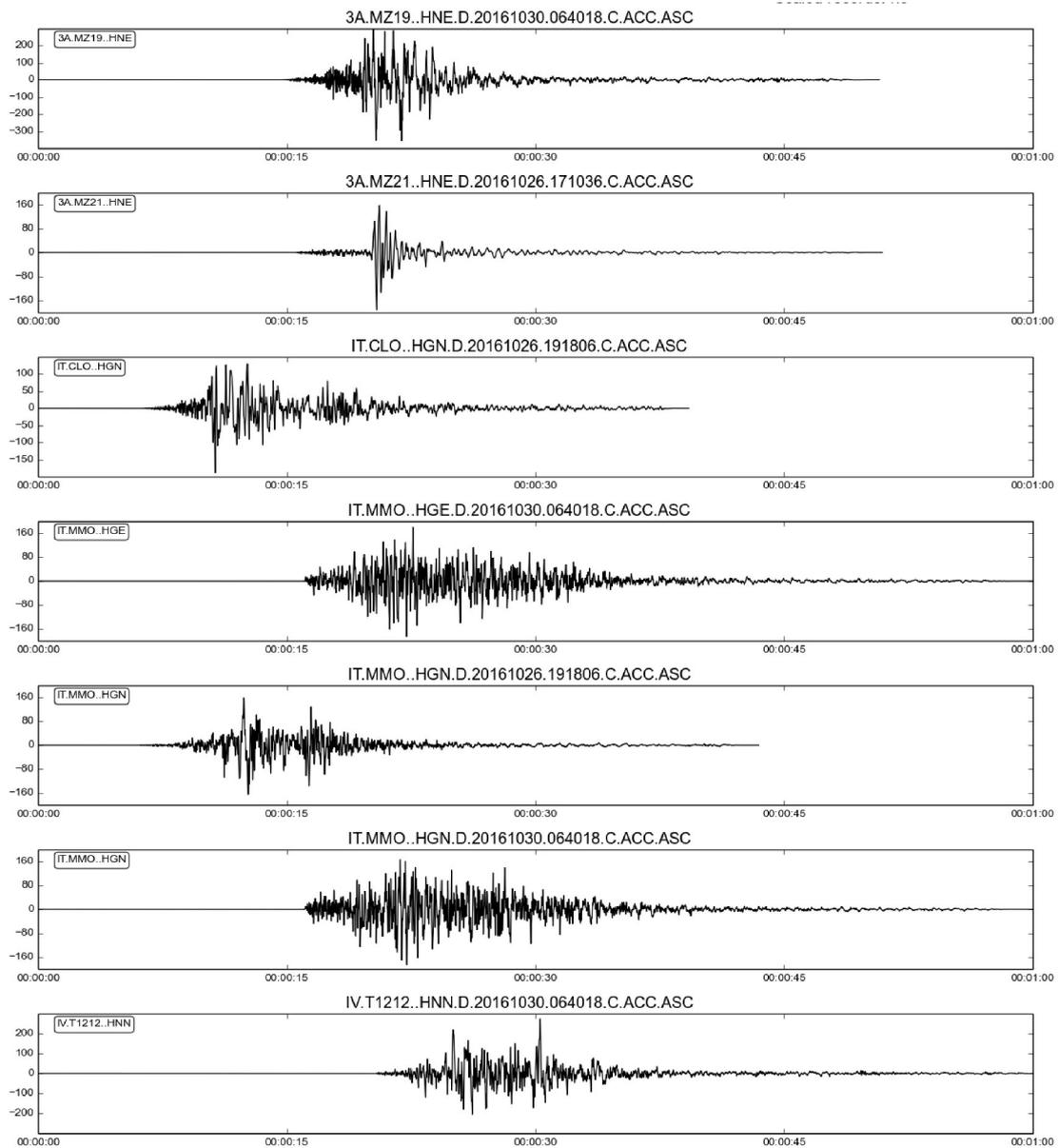


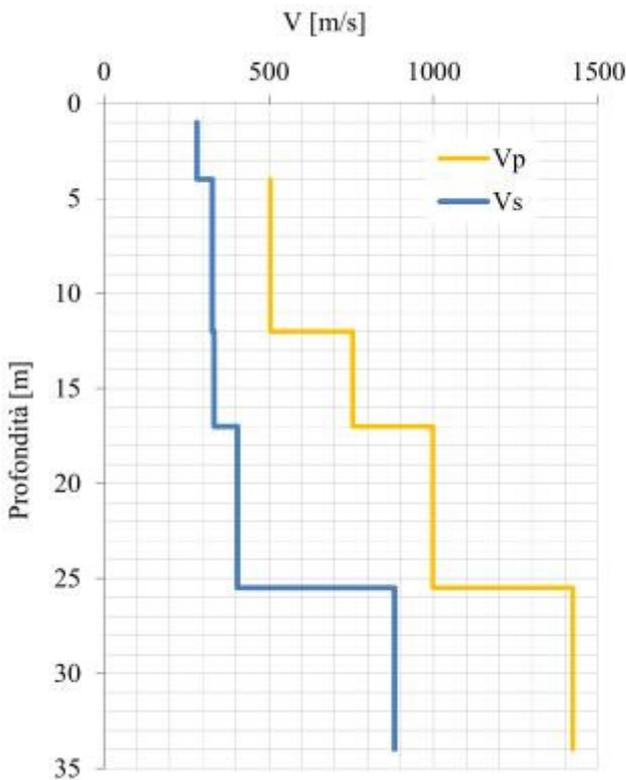
Figura 14: Accelerogrammi di Input

7.1.2 SIMULAZIONI NUMERICHE 1D

Il modello stratigrafico di sottosuolo e l'andamento delle geometrie sepolte sono stati ricavati dalle sezioni geologiche allegate.

I valori di velocità delle onde S sono quelli ottenuti con la prova sismica DH che ha intercettato le unità litologiche che caratterizzano l'intero territorio indagato, ad eccezione del substrato arenaceo, ubicato in corrispondenza del punto di indagine alla profondità di circa 36 m. dal p.c. attuale, in base a dati raccolti in zona relativi alla perforazione di un vecchio pozzo.

Il profilo sismico utilizzato è il seguente:



Roccafluvione		
Stringa da 8 geofoni – Sovrapposizione 1 m		
Distanza bocca foro – sorgente: 1.4 m		
Interasse tra i ricevitori: 1 m		
Intervalli di profondità [m]	V _S [m/s]	V _P [m/s]
1 - 4	282	
4 - 12	329	505
12 - 17	334	755
17 - 25.5	405	998
25.5 - 34	882	1423

Il valore di Vs del substrato arenaceo è stato ricavato dai risultati della misura DH effettuata nel confinante comune di Venarotta ed è pari a 1020 m/sec..

Definito il modello di sottosuolo in termini stratigrafici, di geometrie sepolte e di velocità Vs si è proceduto ad una preliminare verifica delle verticali di output, una per ciascuna MOPS individuata, mediante analisi numeriche monodimensionali Elastico Lineari (EL), al fine di stabilire quale fosse l'ottimale quota di imposizione dell'input (bedrock sismico), calibrate in funzione delle frequenze di amplificazione registrate dalle misure HVSR effettuate.

L'analisi è stata condotta utilizzando il software STRATA.

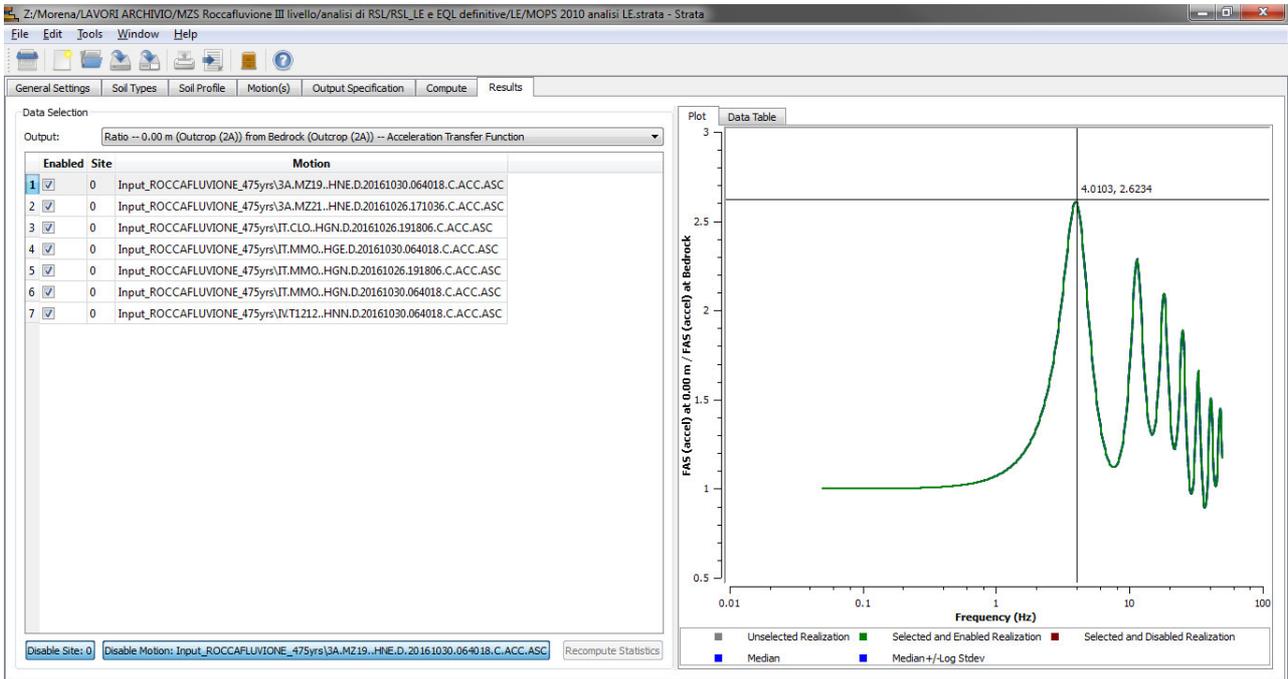
Di seguito si riportano le ipotesi stratigrafiche e geofisiche adottate per ciascuna MOPS e la relativa funzione di amplificazione.

MOPS 2010

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	4.00	SMec sup	282.00
2	4.00	8.00	SMec inf	329.00
3	12.00	5.00	SMtf sup	334.00
4	17.00	8.50	SMtf inf	405.00
5	25.50	Half-Space	Bedrock	882.00

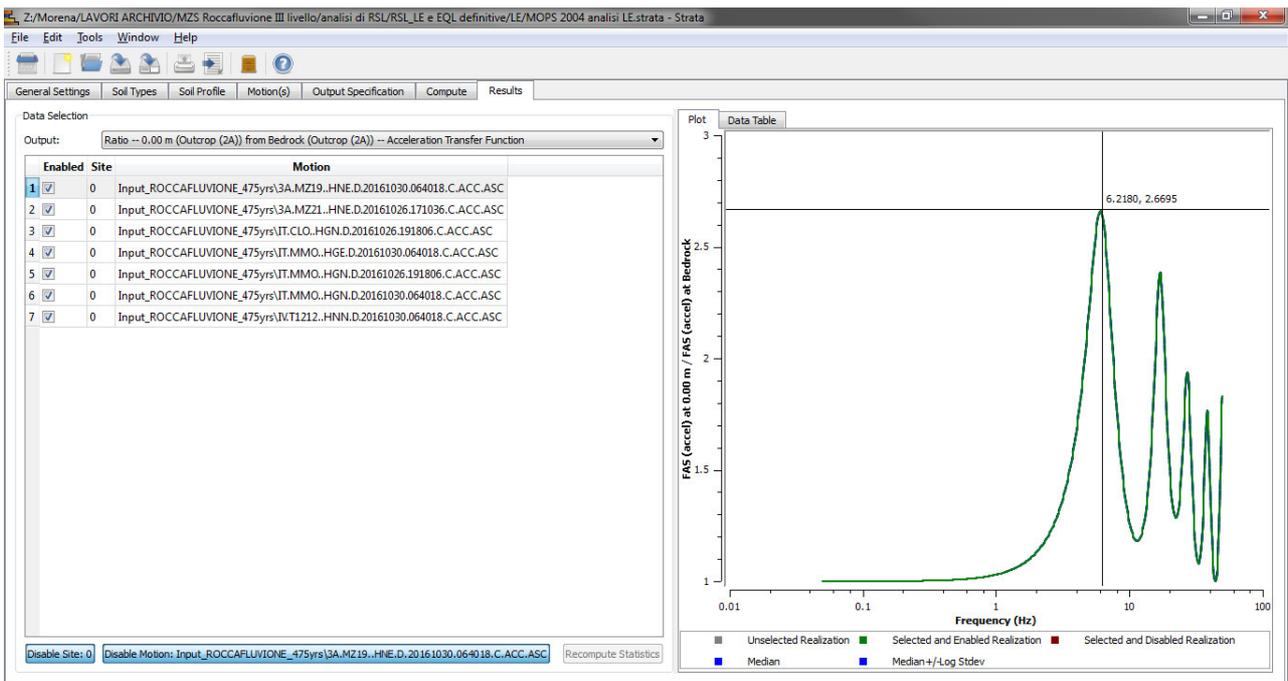
Bedrock Layer

Unit weight: 20.00 kN/m³ Damping: 1.00 %



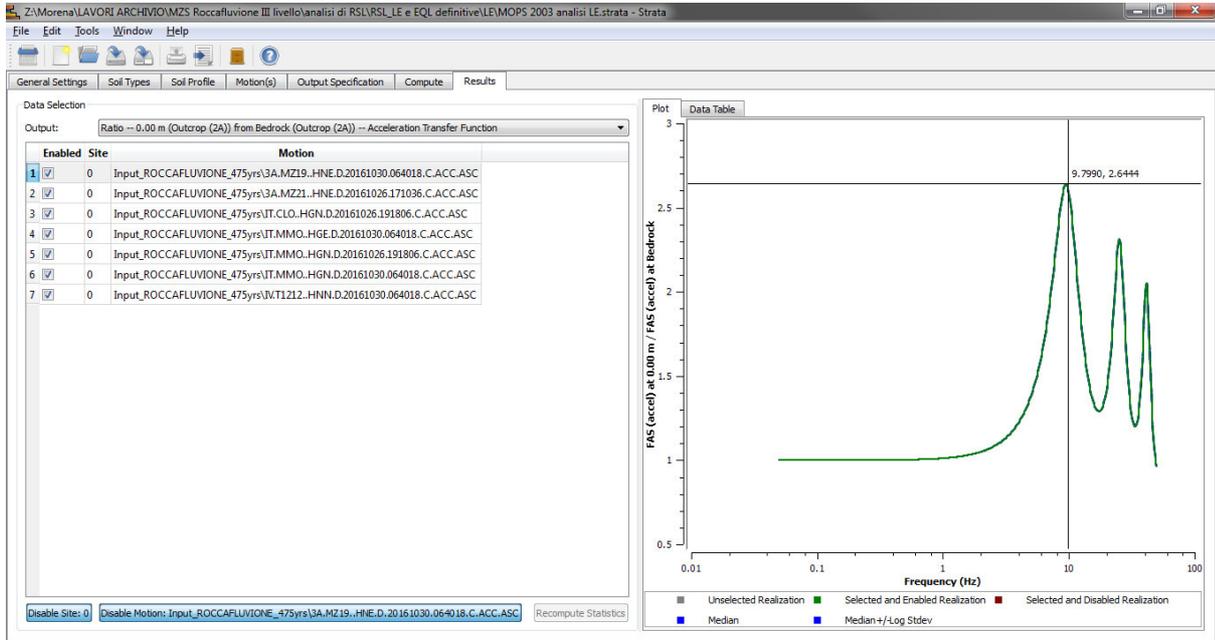
MOPS 2004

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	4.00	SMec sup	282.00
2	4.00	4.00	SMec inf	329.00
3	8.00	3.00	SMTf sup	334.00
4	11.00	4.00	SMTf inf	405.00
5	15.00	Half-Space	Bedrock	882.00



MOPS 2003

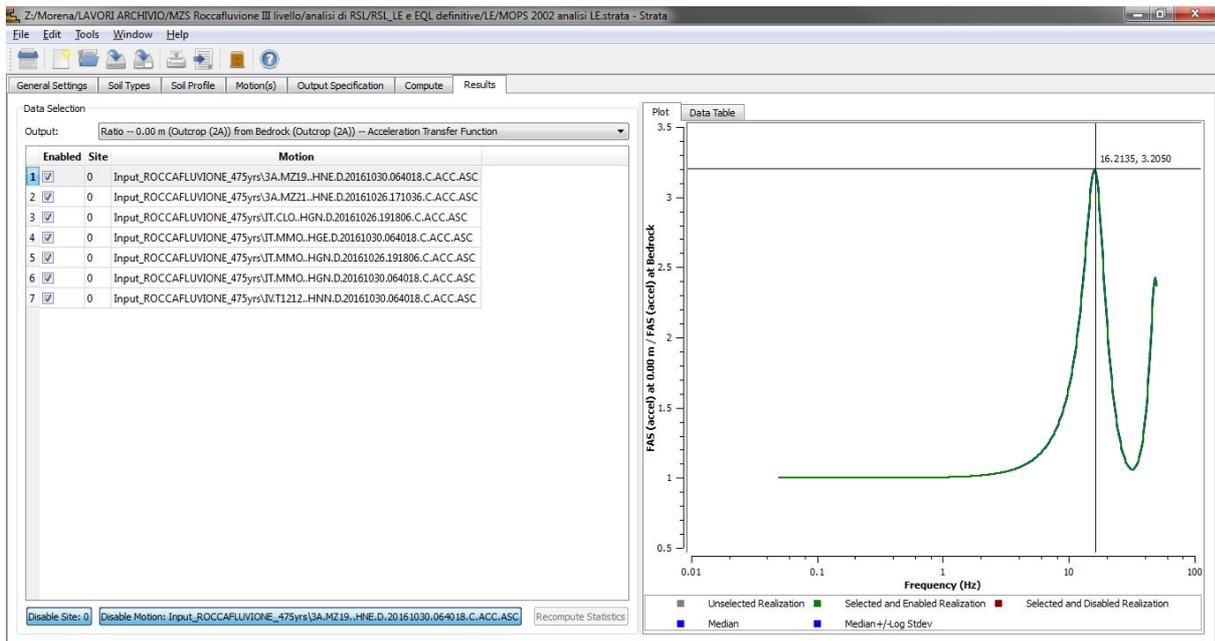
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	SMec sup	282.00
2	3.00	1.00	SMec inf	329.00
3	4.00	2.00	SMTf sup	334.00
4	6.00	4.00	SMTf inf	405.00
5	10.00	Half-Space	Bedrock	882.00



MOPS 2002

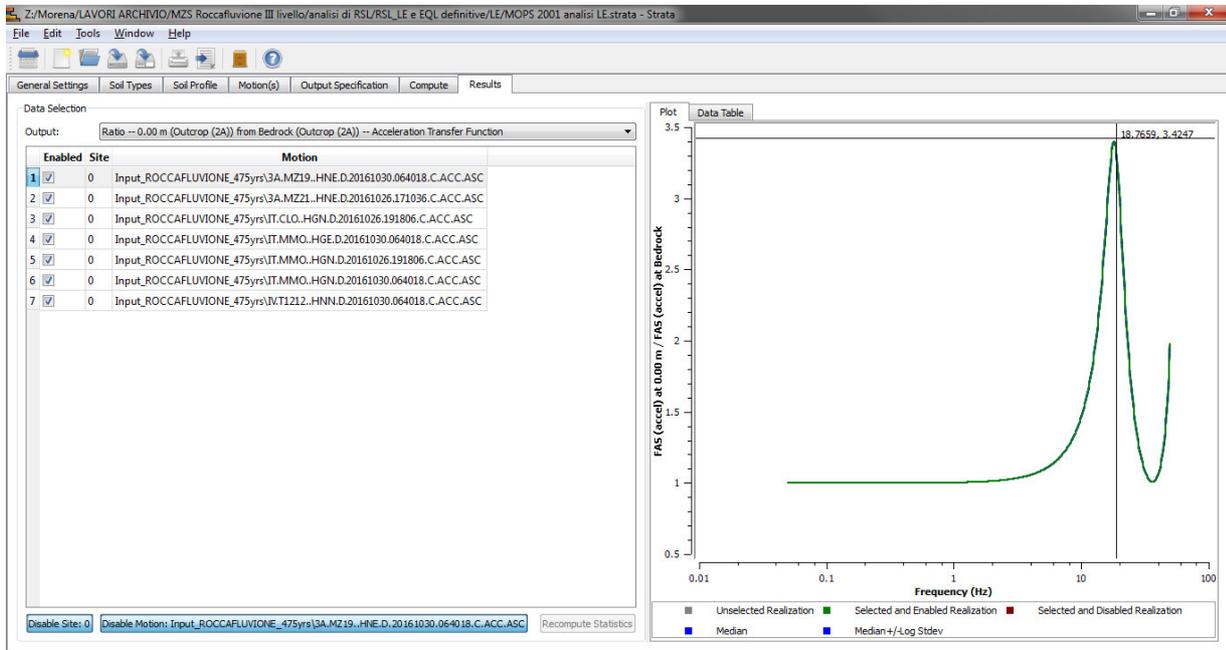
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	5.00	SMTf	334.00
2	5.00	3.00	GPTf	882.00
3	8.00	Half-Space	Bedrock	1020.00

Bedrock Layer
 Unit weight: 22.55 kN/m³ Damping: 1.00 %



MOPS 2001

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	4.50	SMTf sup	334.00
2	4.50	1.50	GPTf	882.00
3	6.00	Half-Space	Bedrock	1020.00



I modelli sopra indicati sono stati calibrati in funzione delle seguenti misure HVSR:

MOPS 2010: misure HVSR_6, HVSR_8

MOPS 2003: misure HVSR_5, HVSR_7

MOPS 2001 misure HVSR_2, HVSR_3, HVSR_9

Per le MOPS 2004 e 2005 non sono a disposizione misure HVSR; tuttavia, l'assetto stratigrafico della zona ha permesso di ipotizzare un modello attendibile per tali aree associando a ciascuna MOPS una funzione di trasferimento con Frequenza intermedia rispetto a quella delle MOPS vicine.

Il modello ipotizzato e validato con le analisi LE prevede per le MOPS 2010-2004 e 2003 l'ubicazione del bedrock sismico in corrispondenza delle ghiaie alluvionali con Vs pari a 882 m/sec e spessore superiore ai 6.00 m. circa.

Per le MOPS 2002 e 2001, essendo minore lo spessore delle ghiaie alluvionali (circa 2.00 m.), il bedrock sismico è rappresentato dalle arenarie LPS.

Completata la calibrazione delle MOPS si è proceduto con l'analisi numerica 1D lineare equivalente EQL introducendo le curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato (G/G_{max}) e di decadimento ($D\%$).

Per i terreni di copertura SM sono state utilizzate le curve dinamiche ricavate dalle prove effettuate su terreni simili campionati a Venarotta, dal momento che, come sopra specificato, sul campione indisturbato prelevato a Roccafluvione non sono state fatte le prove dinamiche.

γ (%)	G/G_{max}	D (%)
0.00045	1.00000	1.159
0.00055	0.99543	1.082
0.00075	0.98619	1.031
0.0013	0.97408	0.918
0.00185	0.96244	1.135
0.0029	0.93344	1.521
0.00395	0.90924	1.687
0.0051	0.88834	1.926
0.00625	0.86266	2.209
0.0075	0.84005	2.536
0.0088	0.81813	2.707
0.0117	0.76984	3.155
0.01475	0.73262	3.644
0.01815	0.69586	4.183
0.022	0.65567	4.591
0.02595	0.62553	5.139
0.05645	0.44754	7.335
0.06765	0.40027	7.777
0.1506	0.20379	10.222
0.2415	0.131179	11.979

Per le ghiaie GP e per il substrato LPS G/G_{max} e D sono pari ad 1.

γ (%)	G/G_{max}	D (%)
0.0001	1	1
0.0003	1	1
0.001	1	1
0.003	1	1
0.01	1	1
0.03	1	1
0.1	1	1
0.3	1	1
1	1	1

I parametri utilizzati nell'analisi (tolleranza, numero massimo di interazioni e deformazione equivalente) sono di seguito riportati:

Error tolerance:

Maximum number of iterations:

Effective strain ratio:

L'analisi 1D ha fornito i seguenti spettri di risposta in superficie (smorzamento strutturale 5%):

Response Spectrum Properties

Damping:

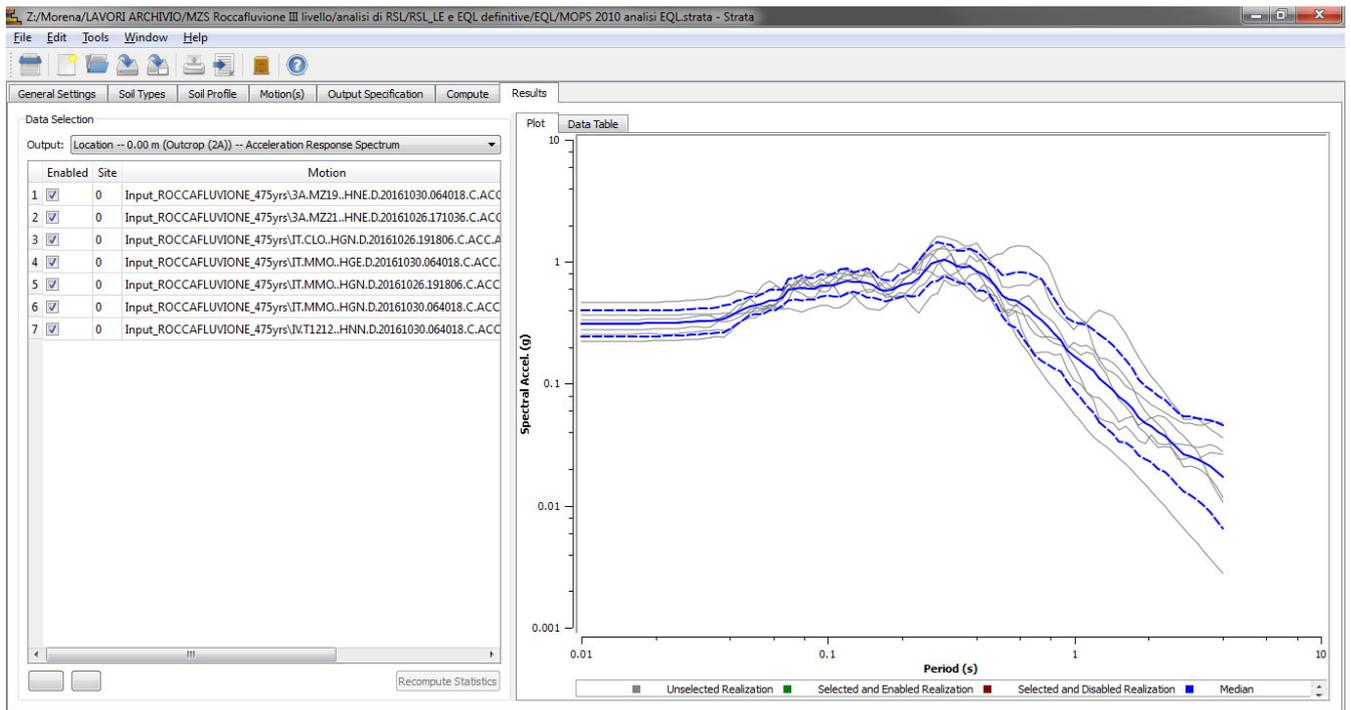
Minimum:

Maximum:

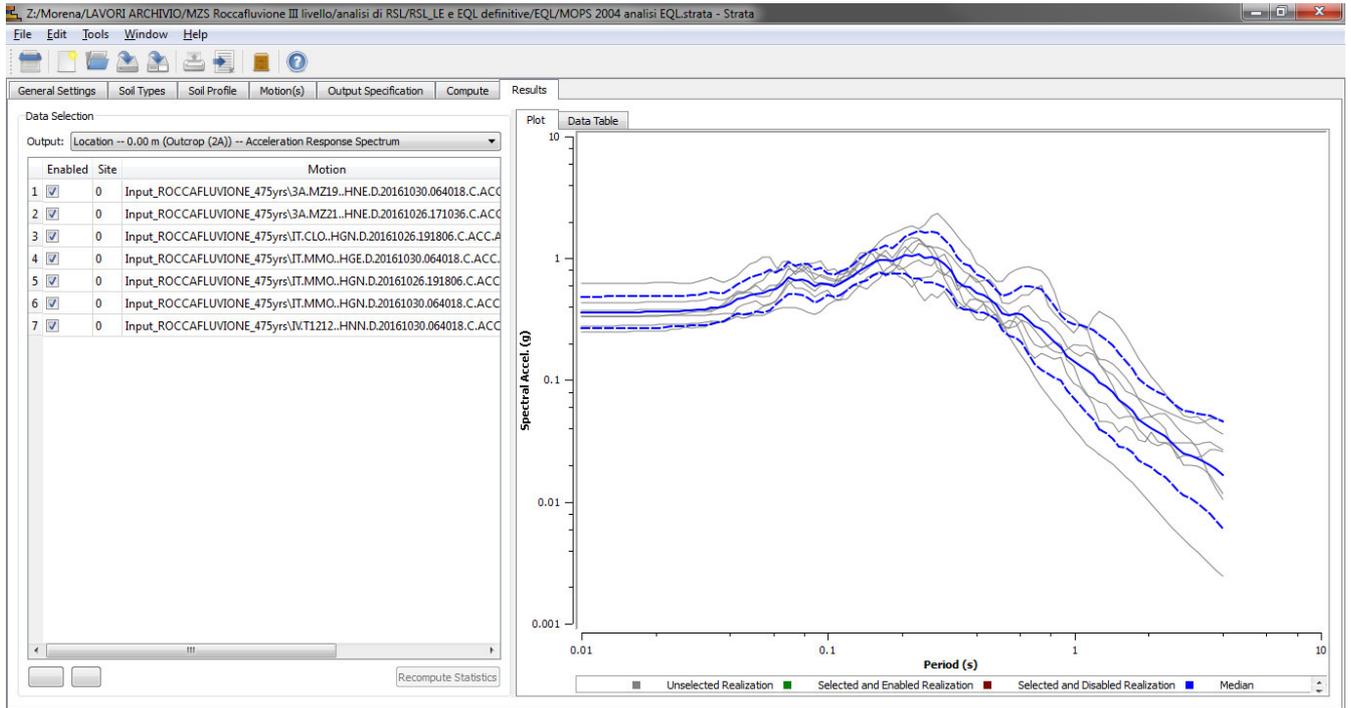
Point count:

Spacing:

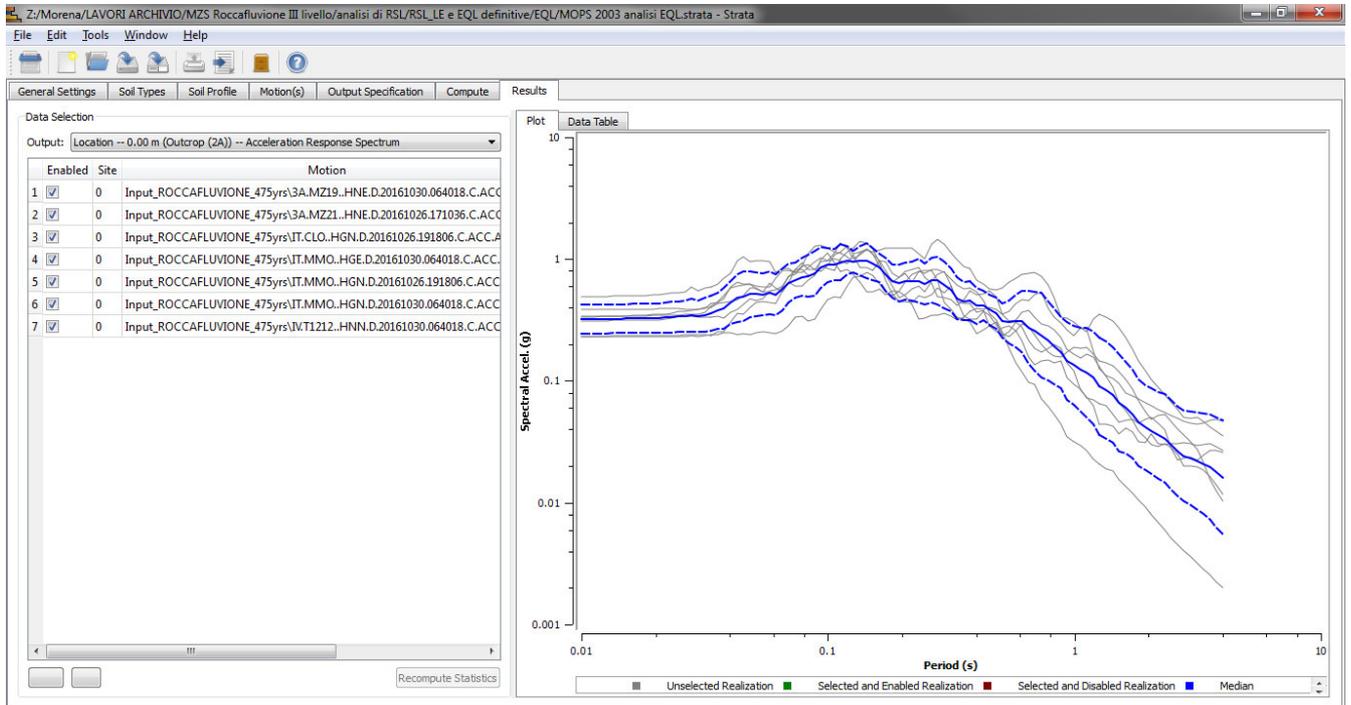
MOPS 2010



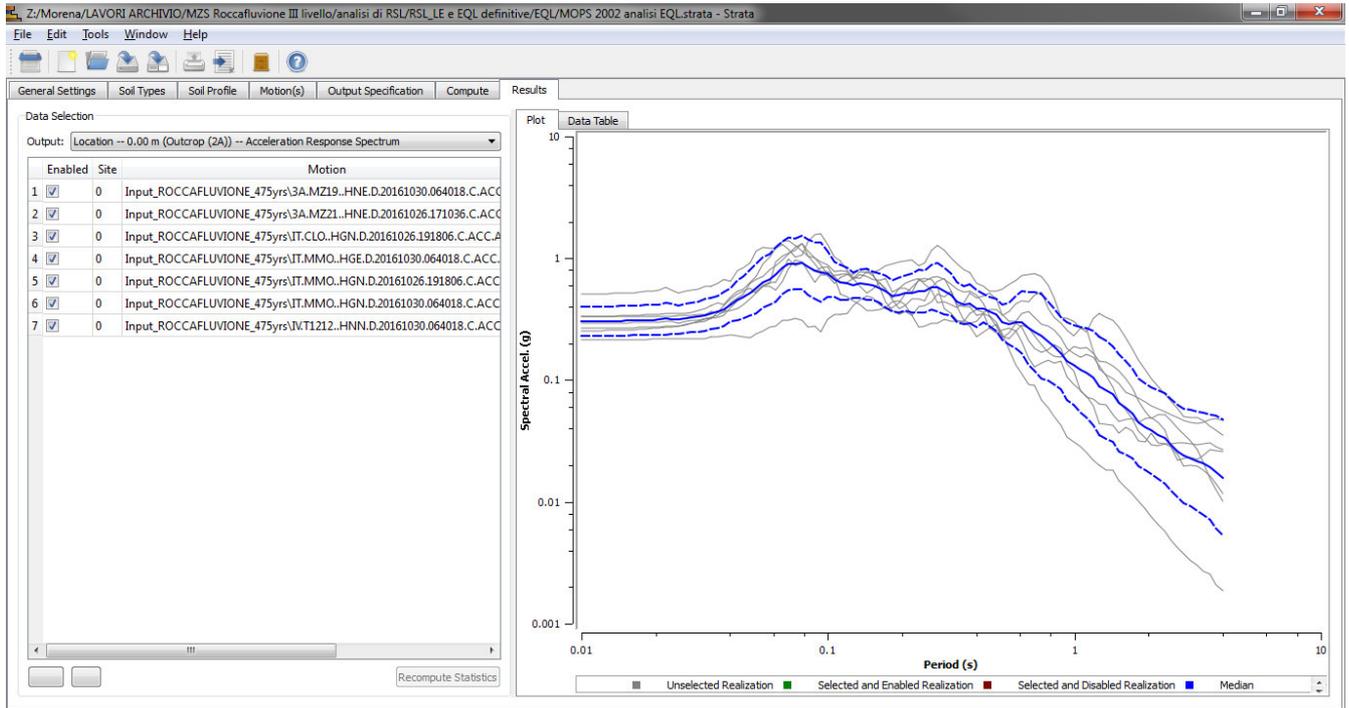
MOPS 2004



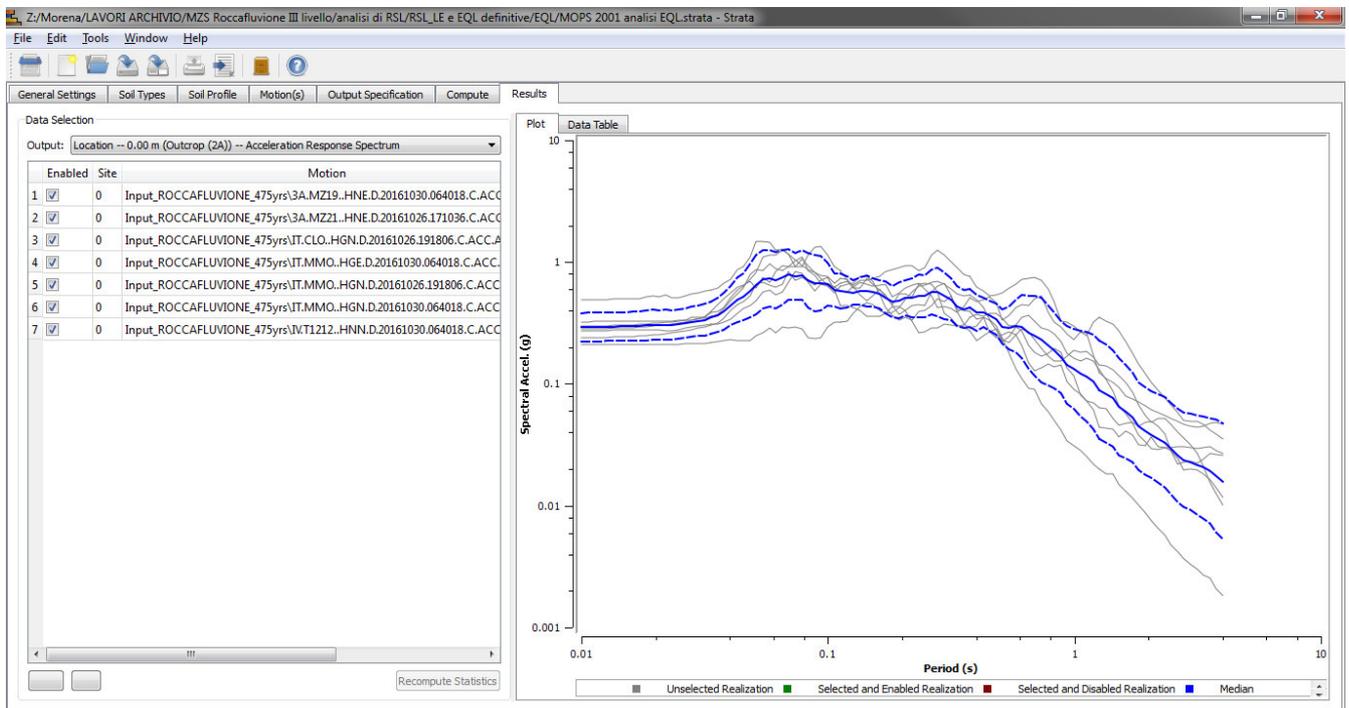
MOPS 2003



MOPS 2002



MOPS 2001



Si è proceduto al calcolo dei valori di Fa come media logaritmica dei valori di FA relativi ai 7 accelerogrammi utilizzati per i seguenti intervalli di periodo T:

0.1-0.5 s

0.4-0.8 s

0.7-1.1 s

$$m_{ln} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \ln(FA_i)$$

$$FA_{rif} = e^{m_{ln}}$$

I valori di Fa ottenuti per ciascuna MOPS sono i seguenti:

MOPS 2010

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.80	1.69	1.36

MOPS 2004

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.70	1.20	1.11

MOPS 2003

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.36	1.06	1.03

MOPS 2002

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.11	1.02	1.01

MOPS 2001

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.08	1.01	1.01

7.1.3 ANALISI NUMERICHE 2D

Il centro di MS ha eseguito le analisi di risposta sismica locale in assetto bidimensionale, lungo la sezione A-A' rappresentativa dell'assetto stratigrafico dell'intera area in esame.

Le simulazioni numeriche bidimensionali sono state eseguite tramite l'utilizzo di due codici di calcolo agli elementi finiti: QUAD4M (Hudson et al., 1994).

QUAD4M

Il codice di calcolo QUAD4M(Hudson et al., 1994)consente di effettuare analisi lineari equivalenti nel dominio del tempo risolvendo, tramite integrazione diretta nel dominio del tempo con il metodo di Newmark, il sistema di equazioni:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = M\ddot{u}_b$$

dove: u è il vettore degli spostamenti nodali; M la matrice delle masse globale; K la matrice delle rigidezze globale; C la matrice di smorzamento globale; \ddot{u}_b la storia temporale dell'accelerazione di input. Il termine \ddot{u}_b esprime il moto sismico di input, il quale viene applicato simultaneamente a tutti i nodi della base sotto forma di onde trasversali SV o onde di compressione P con direzione di propagazione verticale.

La matrice di dissipazione Cusata nella presente formula, invece, è frutto della combinazione lineare delle matrici della massa e di quelle di rigidezza di ogni singolo elemento:

$$C_i = \alpha_{R,i}M_i + \beta_{R,i}K_i$$

dove $\alpha_{R,i}$ e $\beta_{R,i}$ sono i coefficienti di Rayleigh e M_i, C_i, K_i le matrici locali dell'elemento.

In tal modo si adotta uno smorzamento dipendente dalla frequenza secondo la formulazione di Rayleigh. Nel codiceQUAD4M i coefficienti di Rayleigh vengono calcolati in funzione di due frequenze naturali dell'intero deposito, ω_m e ω_n :

$$\alpha_{R,i} = \xi_i \frac{2\omega_m\omega_n}{\omega_m + \omega_n}$$

$$\beta_{R,i} = \xi_i \frac{2}{\omega_m + \omega_n}$$

in cui: ξ_i è il rapporto di smorzamento viscoso dell'i-esimo elemento finito; $\omega_m = \omega_1$, prima frequenza naturale di vibrazione del deposito di terreno; $\omega_n = n\omega_1$ essendo n l'intero dispari che approssima per eccesso il rapporto tra la frequenza predominante dell'input sismico ω_{IN} e la frequenza ω_1 . Tale procedura permette di ottenere risultati in buon accordo con quelli calcolati da modelli a smorzamento indipendente dalla frequenza (Lanzo et al., 2004).

L'accuratezza della soluzione e l'onere computazionale sono influenzati dalle caratteristiche della mesh, a tal proposito, il modello geologico tecnico relativo alle sezioni esaminate è stato discretizzando attraverso elementi finiti triangolari le cui dimensioni massime sono state determinate seguendo la regola (Kuhlemeyer e Lysmer, 1973):

$$D_{max} = \frac{\lambda}{k} = \frac{TV_s}{k}$$

dove V_s è la velocità di propagazione delle onde di taglio valutata per ogni litotipo oggetto di analisi, e k è un coefficiente posto pari a 8 (Lanzo e Silvestri, 1999).

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, lungo il contorno inferiore delle *mesh*, il codice inserisce una serie di smorzatori viscosi che simulano il comportamento di un *bedrock* deformabile (*compliant base*); lungo i lati della *mesh*, invece, si impongono condizioni di vincolo quali carelli che limitano gli spostamenti

Elaborazione dei risultati (FA)

I risultati delle simulazioni numeriche sono stati espressi in termini di fattore di amplificazione FA definito come intensità di Housner (Housner, 1952), i cui valori sono stati calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output per tre differenti intervalli di integrazione (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1) e i corrispondenti parametri di input:

$$FA = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.8} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T) dT}$$

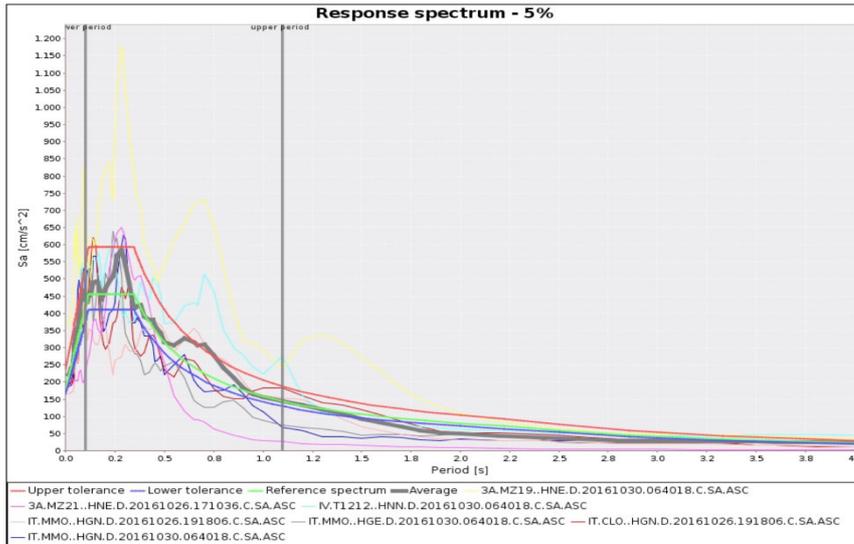
Tramite le formule indicate per tutti i punti di output e per ogni intervallo, è stata calcolata la media logaritmica dei valori del fattore di amplificazione relativi ai sette accelerogrammi di input, come riportato nell'equazione seguente:

$$m_{in} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \ln(FA_i)$$

$$FA_{rif} = e^{m_{in}}$$

MARCHE3 - ROCCAFLUVIONE (475yrs)

Mon Jul 10 15:03:53 CEST 2017



Target spectrum
 =====
 Latitude: 42.86127
 Longitude: 13.47522
 Site classification: A
 Topography: 1
 Nominal life [years]: 50
 Building functional type (Cu): 1.0
 Limit state probability : 0.1

Preliminary record search
 =====
 Station site classification: A,A*
 Magnitude min: 5.0
 Magnitude max: 6.1
 Types of magnitude considered: WL
 Epicentral distance min [km]: 0.0
 Epicentral distance max [km]: 40.0
 Include late trigger events: no
 Include analog recordings: no

Analysis options
 =====
 Period range min [s]: 0.1
 Period range max [s]: 1.1
 Tolerance below average [percent]: 10.0
 Tolerance above average [percent]: 30.0
 Scaled records: no

Figura 15: Spettro compatibilità di Input

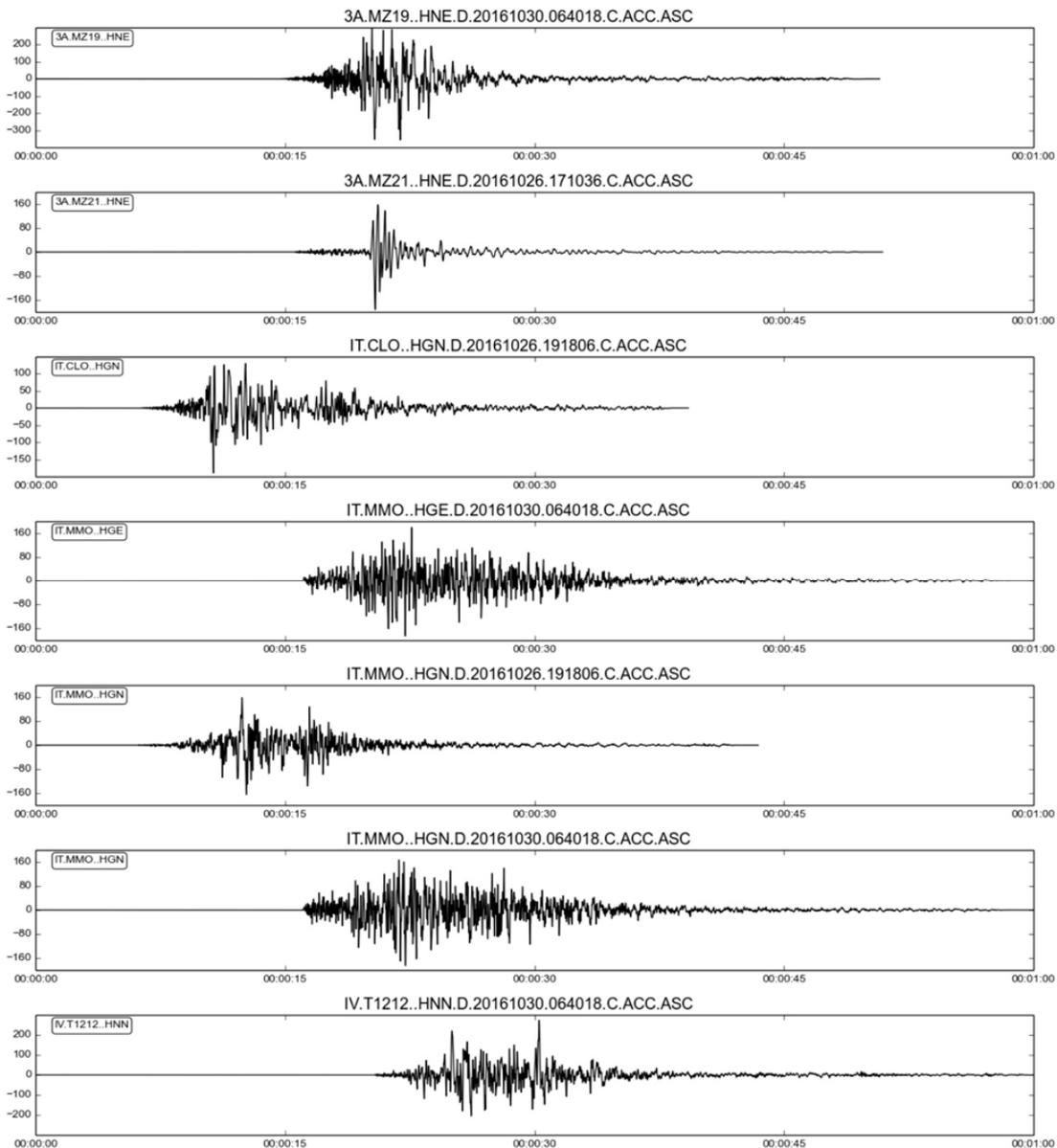
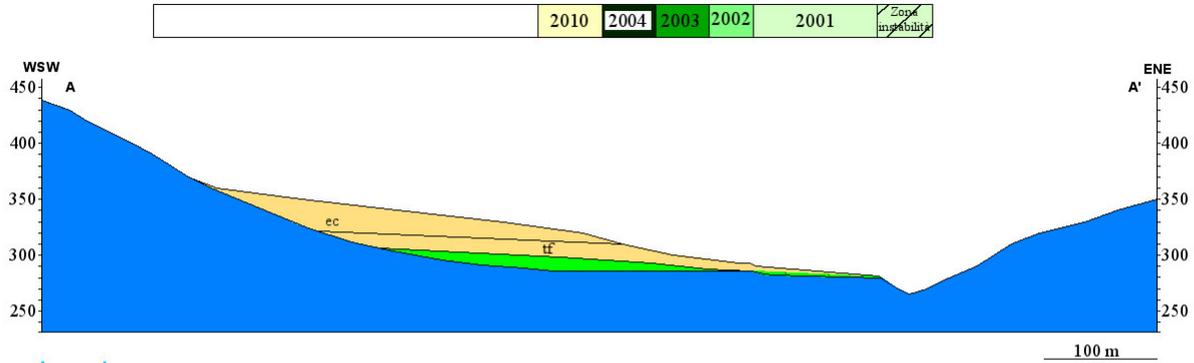


Figura 16: Accelerogrammi di Input Roccafluvione

Sezione A-A' Roccafluvione

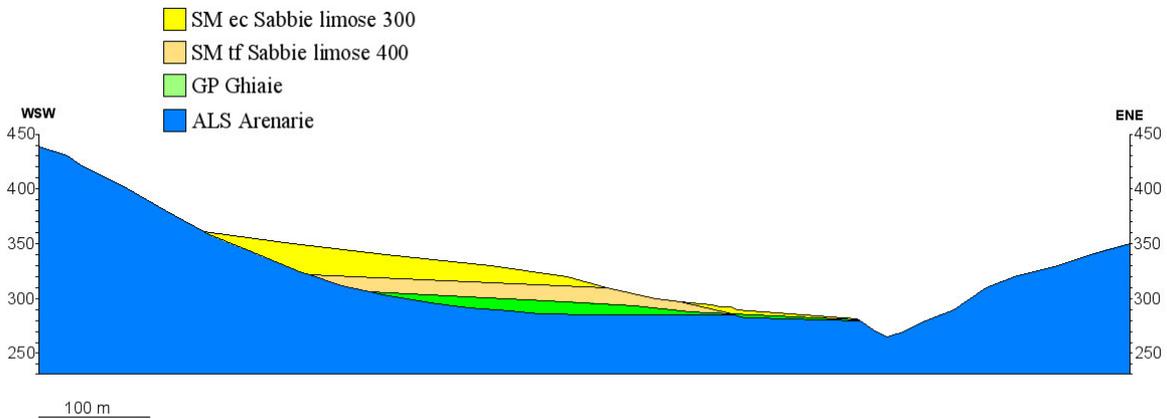
Sezione Geologico-Tecnica e Modello Numerico



Legenda:

- SM tf Sabbie limose, miscela di sabbia e limo depositi - moderatamente addensate
- SM ec Sabbie limose, miscela di sabbia e limo - addensate con cenni di stratificazione
- LPS Arenarie con stratificazione da molto spessa a media con intercalazioni di sottili livelli pelitici

Sezione Geologico Tecnica A-A' Roccafluvione



Sezione 2D A-A' Roccafluvione

Litologia	γ [kN/m ³]	V_s [m/s]	V_p [m/s]	ν	Curve Dinamiche	h^* [m]
SM ec	19	300	505	0.23	Curve laboratorio	2.0
SM tf	19	400	998	0.4	Curve laboratorio	2.0
GP	20	882	1423	0.2	Lineare D0=1%	5.0
ALS	22.55	1020	3010	0.4	Lineare D0=1%	6.0
Bedrock	22.55	1020	3010	0.4		

Tabella 2: Caratteristiche Meccaniche e Geometriche Sezione A-A' Roccafluvione. *h= Altezza max elementi mesh.

Risultati simulazioni numeriche bidimensionali

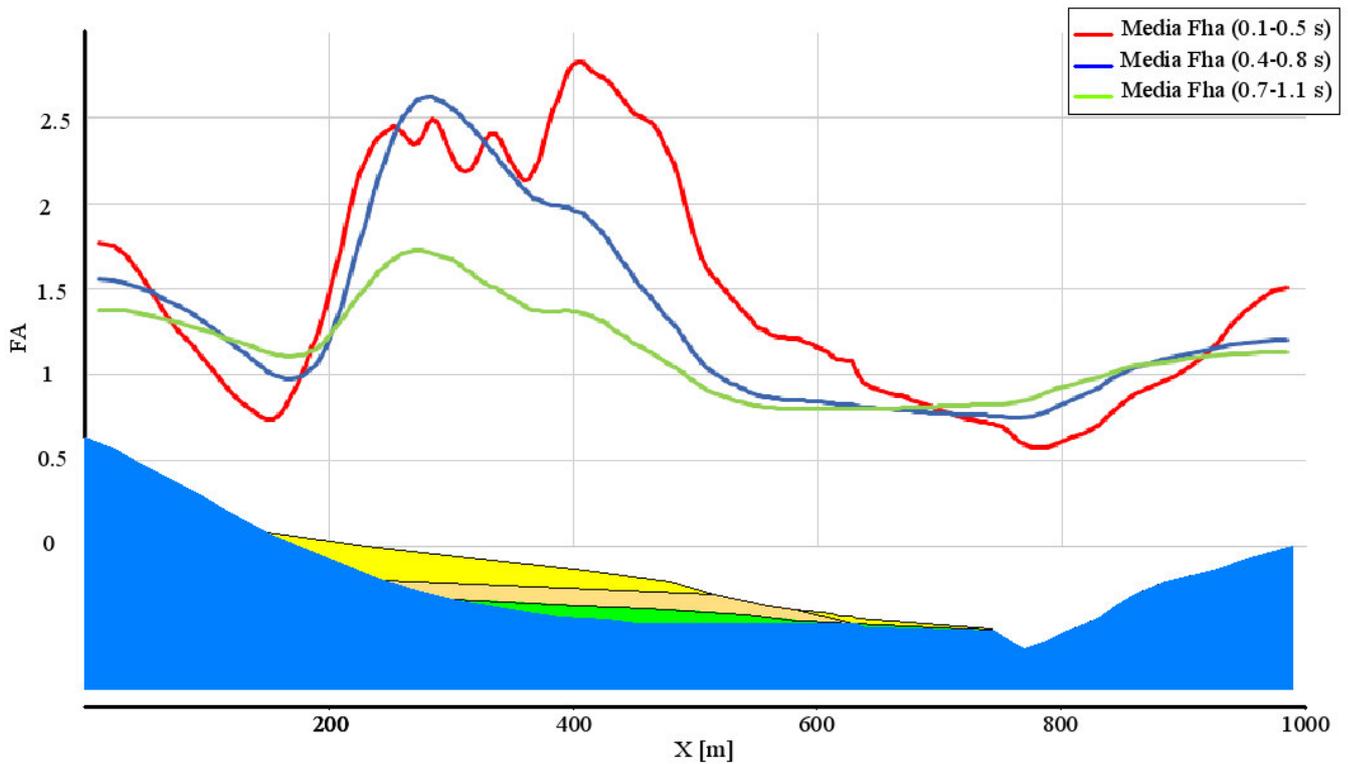


Figura 17: Risultati in termini di fattore di amplificazione (FA) Sez. A-A' Roccafluvione

N° Nodi	X [m]	FA ₁ [0.1-0.5s]	FA ₂ [0.4-0.8s]	FA ₃ [0.7-1.1s]
1	11.5	1.77	1.56	1.38
2	23	1.75	1.55	1.38
3	33.4	1.70	1.54	1.37
4	43.8	1.60	1.51	1.36
5	54.8	1.47	1.48	1.35
6	65.7	1.36	1.44	1.33
7	76.6	1.26	1.40	1.31
8	86.8	1.17	1.36	1.28
9	96.1	1.10	1.31	1.26
10	104.5	1.03	1.27	1.24
11	112.2	0.96	1.23	1.22
12	119.3	0.90	1.19	1.21
13	125.7	0.86	1.15	1.19
14	131.5	0.82	1.12	1.18
15	136.7	0.79	1.09	1.16
16	141.4	0.77	1.07	1.15
17	145.6	0.75	1.04	1.14
18	149.4	0.74	1.02	1.13
19	153.4	0.74	1.00	1.12
20	157.3	0.76	0.99	1.12
21	161.3	0.79	0.98	1.11
22	165.2	0.83	0.98	1.11
23	169.2	0.88	0.98	1.11
24	173.2	0.94	0.98	1.11
25	177.1	1.00	0.99	1.12
26	181.1	1.07	1.01	1.12

Studi di Microzonazione sismica Livello III

27	185	1.15	1.03	1.14
28	189	1.22	1.07	1.15
29	193	1.31	1.11	1.18
30	196.9	1.40	1.16	1.20
31	200.9	1.50	1.22	1.24
32	204.8	1.61	1.30	1.27
33	208.8	1.73	1.38	1.31
34	212.8	1.85	1.48	1.35
35	216.7	1.97	1.57	1.39
36	220.7	2.08	1.67	1.43
37	224.6	2.17	1.77	1.47
38	228.6	2.24	1.87	1.50
39	232.6	2.30	1.97	1.54
40	236.5	2.35	2.06	1.57
41	240.5	2.39	2.16	1.60
42	244.5	2.41	2.24	1.63
43	248.4	2.43	2.31	1.65
44	252.4	2.45	2.39	1.68
45	256.4	2.44	2.45	1.69
46	260.3	2.41	2.50	1.71
47	264.3	2.37	2.55	1.72
48	268.3	2.34	2.58	1.72
49	272.2	2.35	2.60	1.73
50	276.2	2.39	2.61	1.72
51	280.2	2.46	2.62	1.72
52	284.1	2.49	2.62	1.71
53	288.1	2.47	2.61	1.70
54	292.1	2.42	2.60	1.69
55	296	2.35	2.58	1.68
56	300	2.28	2.56	1.67
57	304	2.22	2.53	1.65
58	307.9	2.19	2.50	1.64
59	311.9	2.19	2.48	1.62
60	315.9	2.20	2.45	1.59
61	319.8	2.25	2.41	1.57
62	323.8	2.31	2.38	1.55
63	327.8	2.37	2.35	1.53
64	331.8	2.41	2.32	1.52
65	335.7	2.41	2.28	1.51
66	339.7	2.37	2.24	1.49
67	343.7	2.32	2.21	1.47
68	347.7	2.26	2.17	1.45
69	351.6	2.20	2.14	1.44
70	355.6	2.16	2.11	1.42
71	359.6	2.13	2.08	1.40
72	363.5	2.14	2.05	1.39
73	367.5	2.19	2.03	1.38
74	371.5	2.26	2.02	1.37
75	375.5	2.36	2.01	1.37
76	379.4	2.45	2.00	1.37
77	383.4	2.54	1.99	1.37
78	387.4	2.62	1.98	1.37
79	391.3	2.70	1.98	1.37
80	395.3	2.77	1.97	1.37
81	399.3	2.80	1.96	1.37
82	403.3	2.82	1.95	1.37
83	407.2	2.82	1.94	1.36
84	411.2	2.80	1.92	1.35
85	415.2	2.77	1.89	1.34
86	419.1	2.75	1.86	1.33
87	423.1	2.73	1.83	1.31
88	427	2.72	1.80	1.30

Studi di Microzonazione sismica Livello III

89	431	2.69	1.76	1.27
90	434.9	2.66	1.72	1.26
91	438.9	2.62	1.67	1.24
92	442.8	2.58	1.63	1.22
93	446.8	2.54	1.59	1.20
94	450.8	2.52	1.55	1.18
95	454.7	2.51	1.52	1.16
96	458.7	2.49	1.49	1.15
97	462.6	2.48	1.46	1.13
98	466.6	2.45	1.42	1.12
99	470.5	2.40	1.39	1.10
100	474.5	2.35	1.35	1.08
101	478.4	2.29	1.32	1.07
102	482.3	2.22	1.29	1.05
103	486.2	2.13	1.25	1.03
104	490	2.03	1.21	1.01
105	493.8	1.94	1.18	0.99
106	497.7	1.84	1.14	0.97
107	501.5	1.76	1.10	0.95
108	505.4	1.69	1.07	0.93
109	509.2	1.63	1.04	0.91
110	513	1.58	1.02	0.90
111	516.9	1.55	1.00	0.89
112	520.9	1.51	0.99	0.88
113	524.8	1.49	0.97	0.87
114	528.7	1.46	0.95	0.86
115	532.7	1.42	0.94	0.85
116	536.6	1.39	0.92	0.84
117	540.5	1.36	0.91	0.83
118	544.5	1.33	0.90	0.83
119	548.4	1.30	0.89	0.82
120	552.3	1.27	0.88	0.82
121	556.3	1.26	0.88	0.81
122	560.2	1.24	0.87	0.81
123	564.2	1.23	0.86	0.81
124	568.2	1.22	0.86	0.81
125	572.2	1.22	0.86	0.81
126	576.2	1.21	0.86	0.80
127	580.2	1.21	0.85	0.80
128	584.2	1.21	0.85	0.80
129	588.2	1.20	0.85	0.80
130	592.1	1.19	0.85	0.80
131	596.1	1.17	0.85	0.80
132	600.1	1.16	0.84	0.80
133	604.1	1.15	0.84	0.80
134	608	1.13	0.84	0.80
135	612	1.11	0.83	0.80
136	615.9	1.09	0.83	0.80
137	619.9	1.09	0.83	0.80
138	623.9	1.08	0.83	0.80
139	627.9	1.08	0.83	0.80
140	631.3	1.02	0.82	0.80
141	637	0.96	0.81	0.80
142	640.9	0.94	0.81	0.80
143	644.9	0.93	0.81	0.80
144	648.9	0.92	0.80	0.80
145	652.8	0.91	0.80	0.80
146	656.8	0.90	0.80	0.80
147	660.7	0.89	0.80	0.80
148	664.7	0.88	0.80	0.81
149	668.7	0.88	0.79	0.81
150	672.6	0.87	0.79	0.81

151	676.6	0.86	0.79	0.81
152	680.6	0.85	0.79	0.81
153	684.5	0.84	0.78	0.81
154	688.5	0.83	0.78	0.81
155	692.4	0.82	0.78	0.81
156	696.4	0.81	0.78	0.81
157	700.2	0.80	0.78	0.82
158	704.1	0.79	0.77	0.82
159	708	0.78	0.77	0.82
160	711.8	0.77	0.77	0.82
161	715.6	0.76	0.77	0.82
162	719.3	0.75	0.77	0.82
163	723	0.75	0.77	0.82
164	726.7	0.74	0.77	0.82
165	730.4	0.73	0.76	0.83
166	734	0.73	0.76	0.83
167	737.6	0.72	0.76	0.83
168	741.2	0.72	0.76	0.83
169	744	0.71	0.76	0.83
170	746.9	0.71	0.76	0.83
171	751.1	0.69	0.76	0.83
172	757	0.66	0.75	0.83
173	765.2	0.61	0.75	0.84
174	775.6	0.57	0.76	0.87
175	786.8	0.58	0.79	0.89
176	797.4	0.60	0.82	0.92
177	808.1	0.63	0.86	0.94
178	819.1	0.67	0.89	0.96
179	830.1	0.71	0.93	0.99
180	840	0.77	0.97	1.01
181	849.9	0.83	1.01	1.03
182	859.8	0.89	1.04	1.05
183	870.8	0.92	1.07	1.06
184	881.8	0.96	1.09	1.08
185	893.1	1.00	1.11	1.08
186	904.6	1.04	1.13	1.09
187	916.2	1.10	1.14	1.10
188	927.6	1.19	1.16	1.11
189	938.9	1.29	1.18	1.12
190	950.1	1.37	1.19	1.13
191	961.5	1.44	1.20	1.13
192	972.9	1.49	1.20	1.13
193	984.3	1.51	1.20	1.13

Tabella 3 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

I fattori di amplificazione FA ottenuti per ciascuna MOPS, con la modellazione 2D, relativi agli intervalli di periodo richiesti sono:

MOPS	Fa 01_05	Fa 04_08	Fa 07_1.1
2010	2.32	1.39	1.10
2004	1.51	0.99	0.88
2003	1.23	0.86	0.81
2002	1.11	0.83	0.80
2001	1	1	1

Tabella 4 : Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s per ciascuna MOPS

Valori di FA inferiori a 1 indicano situazioni di deamplificazione che secondo gli standard di Microzonazione 4.0 vanno riportati ad 1.

Pertanto, i valori di Fa in 2D sono:

MOPS	Fa 01_05	Fa 04_08	Fa 07_1.1
2010	2.32	1.39	1.10
2004	1.51	1	1
2003	1.23	1	1
2002	1.11	1	1
2001	1	1	1

Tabella4 : Fattore di Amplificazione (FA) per i diversi intervalli adottati per ciascuna MOPS

7.1.3 RISULTATI

La scelta relativa all'utilizzo della modellazione 1D o 2D è funzione delle condizioni geologiche, geomorfologiche e litostratigrafiche dell'area.

Nel caso in esame, la presenza di un bacino di sedimentazione alluvionale confinato a monte da versanti arenacei con acclività di circa 30° e con Vs dell'ordine dei 1000 m/sec ed a valle da scarpate di erosione fluviale sub-verticali, da origine a fenomenologie di amplificazione che richiedono una modellazione di tipo 2D.

L'effetto topografico prodotto dall'andamento profondo del substrato arenaceo è maggiormente significativo in corrispondenza della fascia di monte dell'area studiata, prossima alla zona di raccordo con i pendii arenacei; spostandoci verso valle, la situazione stratigrafica rilevata è assimilabile ad uno scenario monodimensionale con strati circa piano paralleli, valutabile mediante analisi 1D.

La sezione utilizzata per la modellazione 2D (A-A') intercetta da monte verso valle le diverse situazioni stratigrafiche presenti nel territorio in esame, valutate anche in funzione dell'effetto topografico prodotto dall'andamento profondo del substrato arenaceo.

I valori di FA ottenuti con le analisi 1D e 2D sono di seguito riportati:

MOPS	Fa 01_05		Fa 04_08		Fa 07_1.1	
	2D	1D	2D	1D	2D	1D
2010	2.32	1.8	1.39	1.69	1.1	1.36
2004	1.51	1.7	1	1.2	1	1.11
2003	1.23	1.36	1	1.06	1	1.03
2002	1.11	1.11	1	1.02	1	1.01
2001	1	1.08	1	1.01	1	1.01

Tabella5 : Confronto tra i Fattori di Amplificazione (FA) ottenuti con la modellazione 1D e 2D.

Dal confronto dei risultati ottenuti con le due modellazioni risulta che relativamente alla MOPS 2010, i valori di FA, nell'intervallo 01-0.5 sec., con l'analisi 2D sono significativamente superiori rispetto ai valori dell'analisi monodimensionale; considerando che la MOPS 2010 rappresenta la porzione di area prossima alla fascia di raccordo con il versante arenaceo ed ha una estensione areale limitata alla zona intercettata dalla sezione A-A', si ritiene opportuno caratterizzare la MOPS 2010 con i valori dell'analisi 2D.

Per le MOPS 2004 e 2003 si evidenziano valori di Fa superiori con l'analisi 1D; pertanto, a vantaggio della sicurezza si utilizzano i risultati dell'analisi monodimensionale.

Per la MOPS 2002 le analisi 1D e 2D hanno fornito gli stessi valori di Fa; gli spettri e gli accelerogrammi allegati si riferiscono all'analisi 2D.

Per la MOPS 2001 le analisi 1D e 2D hanno evidenziato risultati molto simili; tuttavia a vantaggio della sicurezza sono stati adottati i valori della modellazione 1D, leggermente superiori rispetto a quelli della 2D.

Pertanto i valori di FA riportati sulle carte allegate sono i seguenti:

MOPS	Fa 01_05		Fa 04_08		Fa 07_1.1	
	2D	1D	2D	1D	2D	1D
2010	2.32		1.39		1.1	
2004		1.7		1.2		1.11
2003		1.36		1.06		1.03
2002	1.11		1		1	
2001		1.08		1.01		1.01

Tabella6 : Fattori di Amplificazione (FA) riportati sulla cartografia di III livello

Gli affioramenti del substrato arenaceo LPS presenti in carta sono localizzati in corrispondenza delle attuali scarpate di erosione fluviale e delle scarpate stradali, con andamento molto acclive o sub-verticale; pertanto, il valore di Fa per tali aree è 1.2.

7.2 ZONE INSTABILI

Nel territorio in esame è ubicato un dissesto attivo codice 30112005 localizzato sul bordo della scarpata fluviale, perimetrato sul Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico con codice 1190 con pericolosità elevata H3 e rischio elevato R3.

Tale frana di crollo risulta attiva e si estende per circa 350 m. lungo l'orlo del terrazzo recente delimitato dalla scarpata di erosione fluviale costituita da terreni alluvionali ghiaioso-sabbiosi poggianti sugli strati arenacei localmente alterati e fratturati, caratterizzata da andamento sub-verticale; il dissesto interessa una superficie complessiva 1,199 Ha.

Alla zona di scarpata in dissesto, è stato attribuito un valore di Fa pari a 1.2.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 CARTA DELLE INDAGINI (CI)

Sulla Carta delle indagini sono distribuite tutte le indagini geognostiche, geotecniche e sismiche reperite e realizzate ex-novo; alcune indagini pregresse risultano al di fuori dell'attuale area di indagine poiché si riferivano agli studi di microzonazione sismica di I livello estesi su un'area più vasta rispetto a quella attuale.

In sintesi le indagini riportate sulla cartografia sono le seguenti:

Tipo Indagine	Pregresse	Nuove
Sondaggio geognostico a carotaggio continuo che intercetta il substrato(SS)	8	0
Sondaggio geognostico a carotaggio continuo che NON intercetta il substrato(S)	10	1
Prova penetrometrica dinamica Pesante (DP)	1	0
Prova penetrometrica dinamica Media (DL)	5	0
Misure di microtremori a stazione singola HVSR	5	9
MASW	3	3
Down Hole (DH)	0	1

8.2 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

La Carta delle frequenze naturali dei terreni è stata realizzata sulla base delle misure HVSR che hanno permesso di stimare le frequenze alle quali il moto del terreno può essere amplificato e valutare qualitativamente l'entità dell'amplificazione, in funzione dell'ampiezza del picco H/V.

Le analisi HVSR hanno inoltre convalidato la delimitazione delle MOPS proposte.

Le misure utilizzate, complessivamente 14; hanno mostrato frequenze di risonanza ben riconoscibili come picchi nei grafici H/V, queste sono state cartografate assegnando, a determinati intervalli di frequenze, colori diversi.

La scelta di porre 2 come valore dell'ampiezza di picco discriminante, è stato dettato dalla necessità di porre in evidenza i picchi di maggiore entità ed è giustificato dai criteri Sesame.

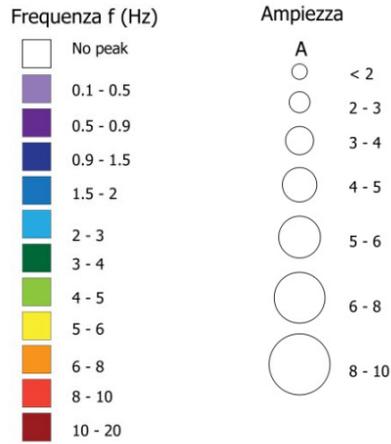


Fig. 21: intervalli di frequenza e di Ampiezza utilizzati

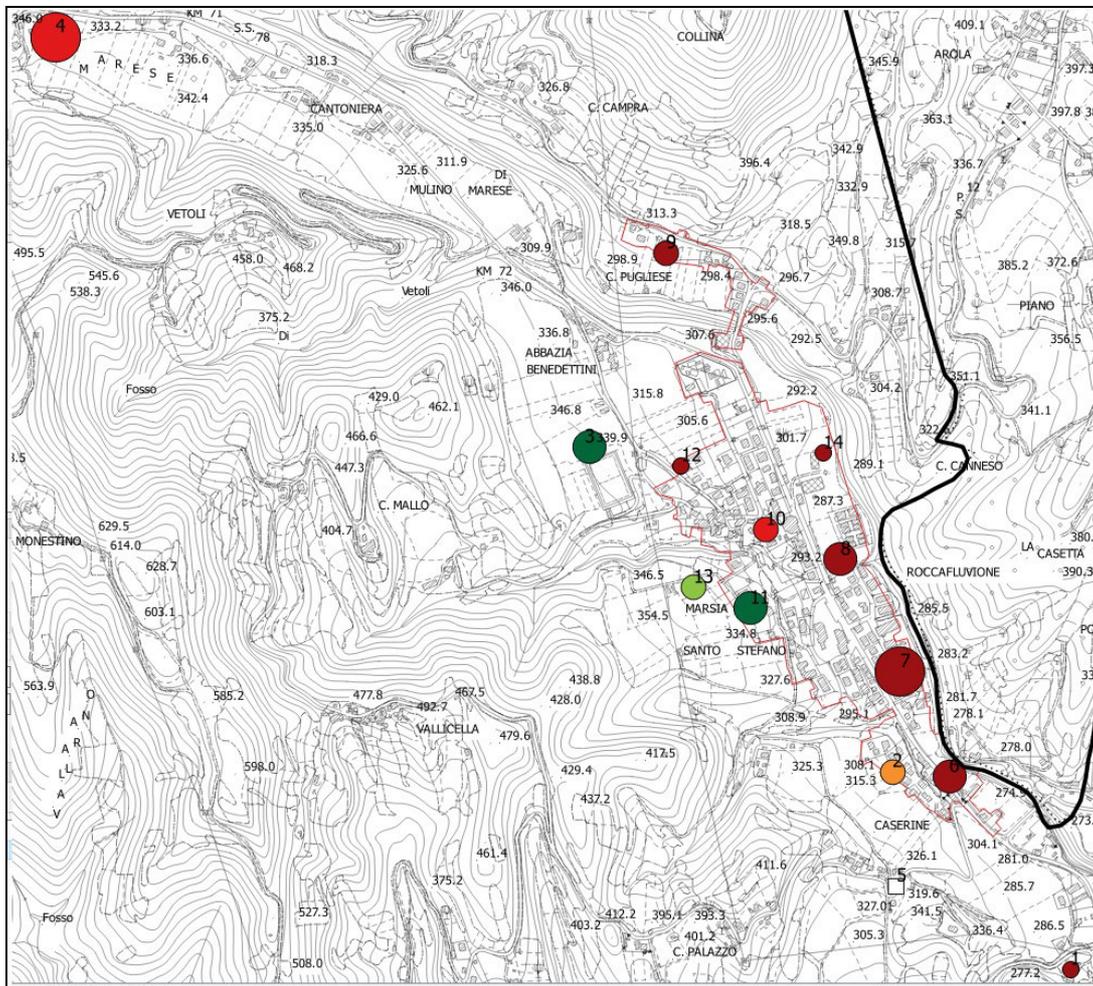


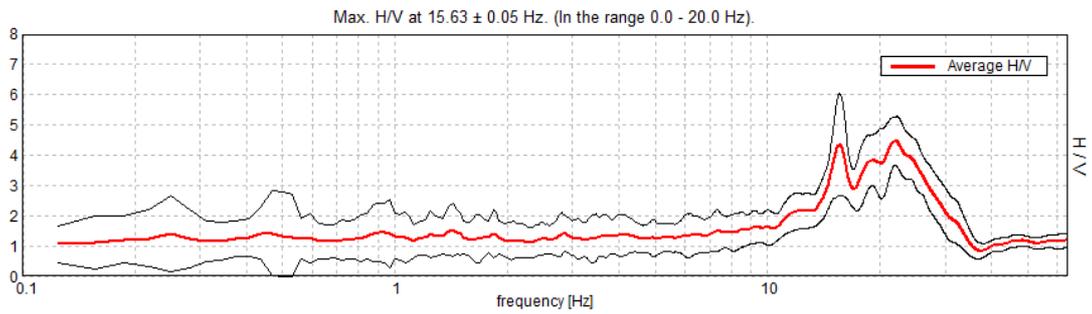
Fig. 22: Stralcio della Carta delle frequenze con numeri che identificano le misure utilizzate

OBJECTID	qualit	F0	A0
1	A1	20.00000000000	3.00000000000
2	A1	7.60000000000	4.00000000000
3	A1	4.00000000000	5.00000000000
4	A1	8.50000000000	8.00000000000
5	A	0.00000000000	0.00000000000
6	A1	15.63000000000	4.30000000000
7	A1	18.63000000000	6.20000000000
8	A1	20.00000000000	4.20000000000
9	A1	15.75000000000	3.40000000000
10	A1	9.84000000000	3.40000000000
11	A1	3.97000000000	4.50000000000
12	A1	10.20000000000	3.00000000000
13	A1	4.06000000000	3.90000000000
14	A1	17.88000000000	3.00000000000

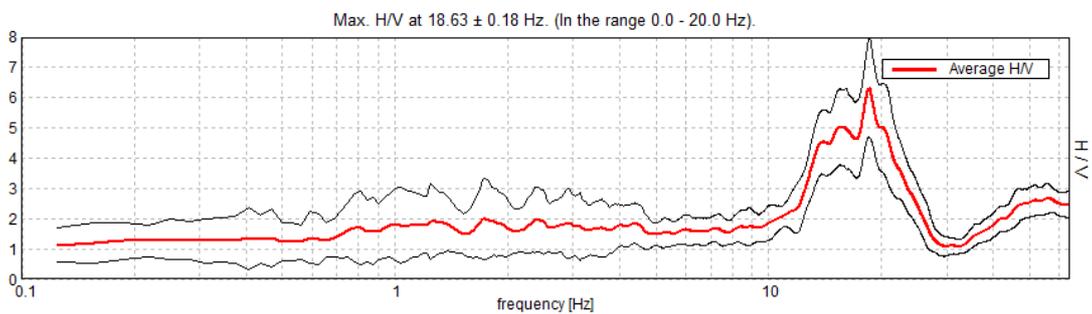
Tabella5 : Frequenza ed ampiezza di ciascuna misura HVSR

Dall'analisi delle misure e della cartografia risulta che le zone terrazzate recenti estese in sinistra e destra orografica presentano una frequenza di amplificazione superiore a 10 Hz con ampiezza dei picchi da 3 a 6.

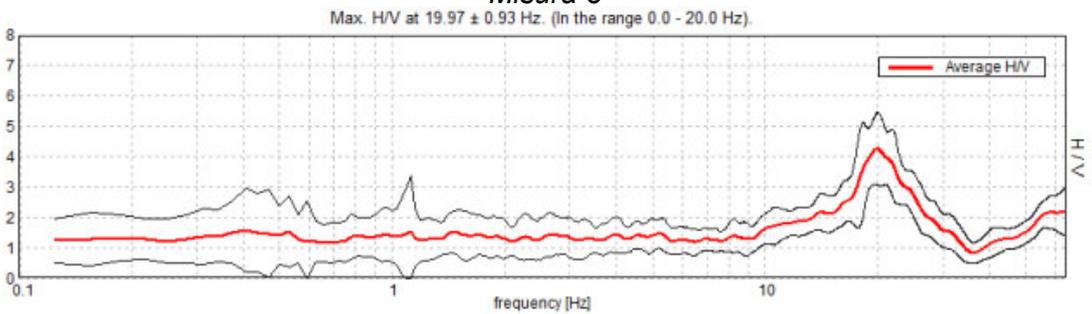
Misura 6

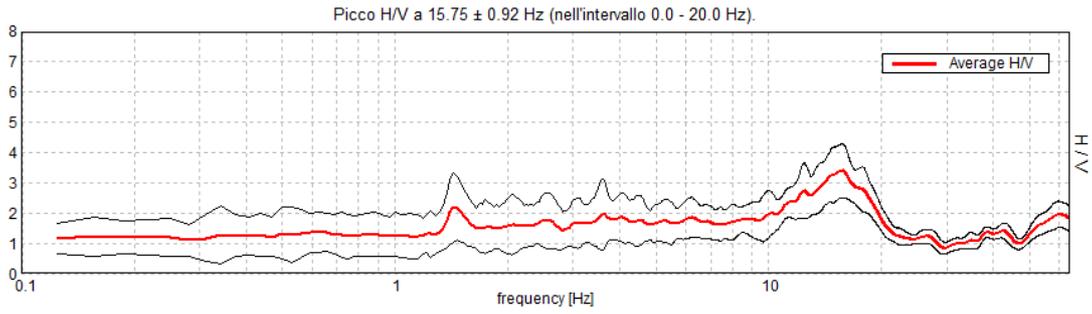


Misura 7

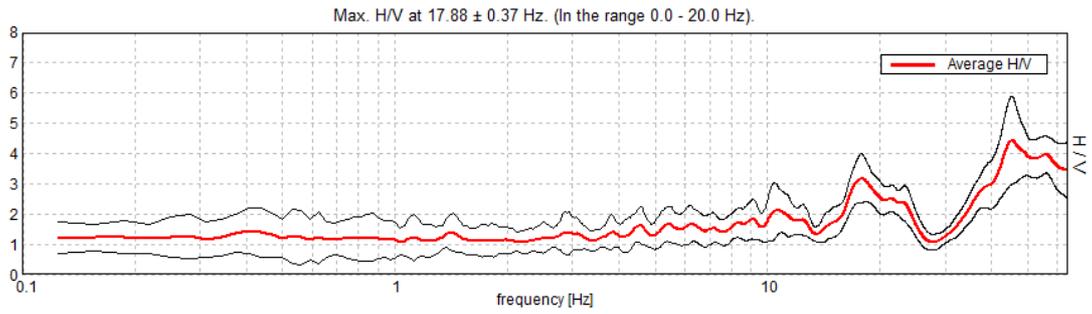


Misura 8

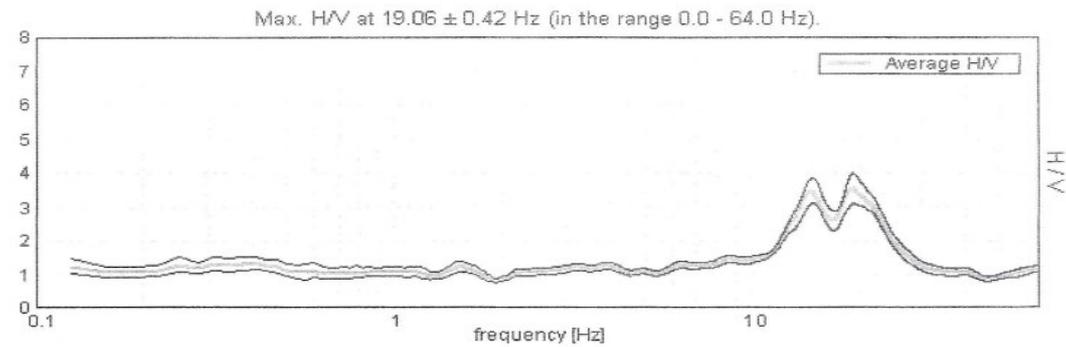




Misura 14



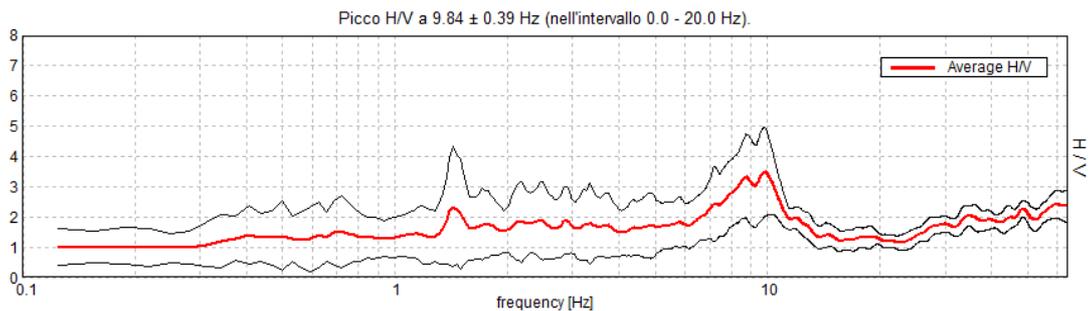
Misura 1



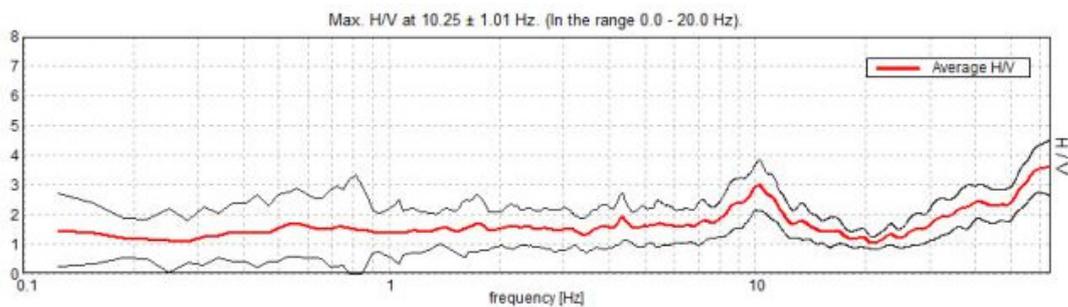
Il contrasto di impedenza evidenziato dai picchi può ragionevolmente essere localizzato al passaggio dai limi sabbiosi dello spessore di circa 4.00 m. alle ghiaie con spessore massimo di 2,00 m. poggiati sulle arenarie.

Le misure 10 e 12, ubicate a monte della SP evidenziano picchi di amplificazione compresi tra 9 e 10.2 Hz con ampiezza superiore a 3.

Misura 10

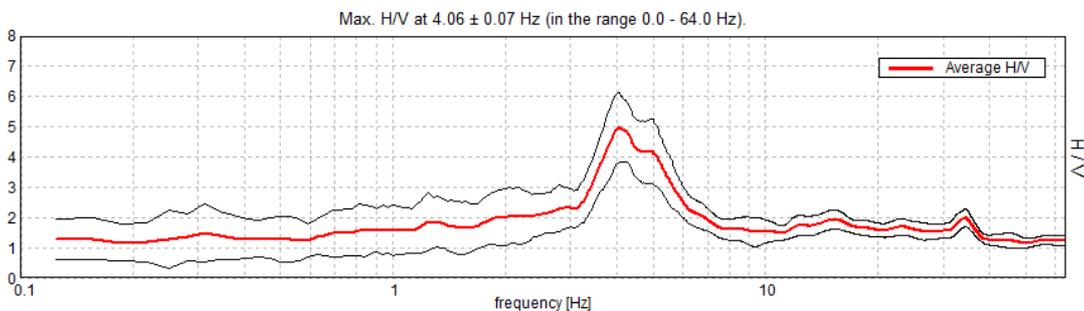


Misura 12

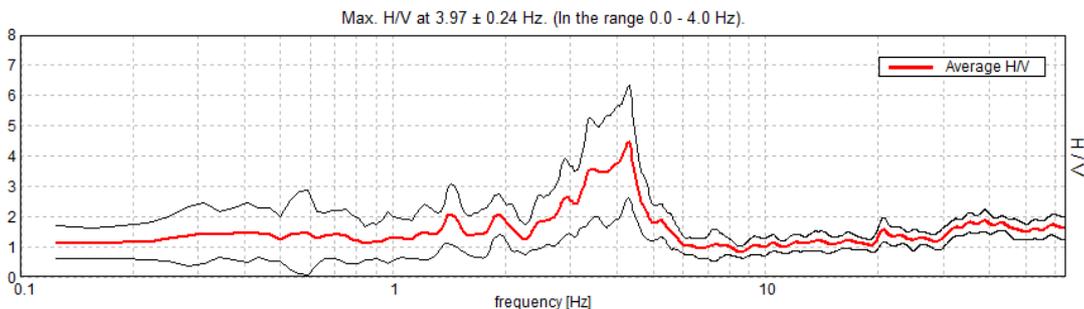


Le misure 3, 11 e 13 mostrano picchi di ampiezza compresa tra 4-5 a frequenze di circa 4Hz.

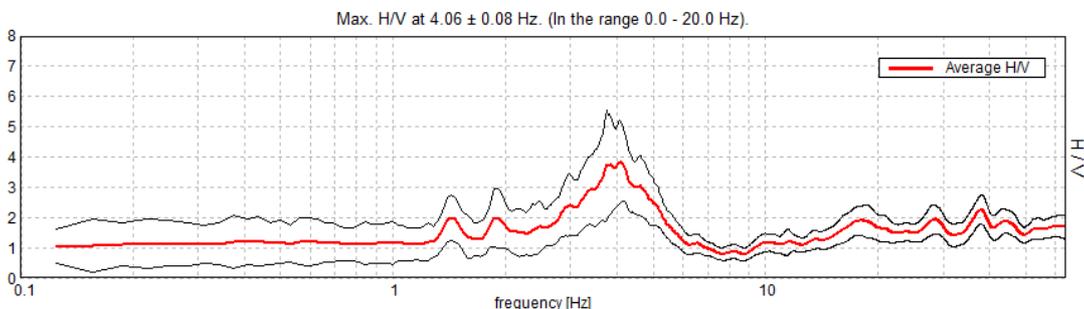
Misura 3



Misura 11

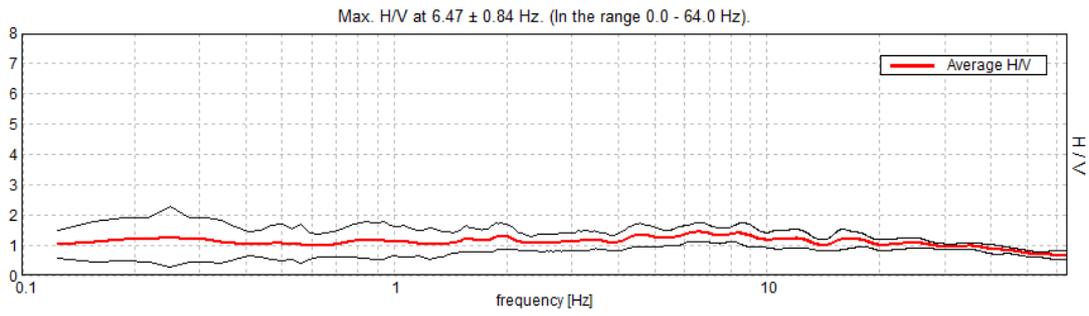


Misura 13



In fase di MZS di I livello è stata effettuata una misura di microtremori su roccia affiorante (arenarie stratificate) che evidenzia l'assenza di picchi di amplificazione.

Misura 5



La variazione dei picchi di amplificazione da frequenze superiori a 10 Hz fino a circa 4 Hz, spostandosi dal terrazzo recente a quello antico di monte, corrisponde ad un approfondimento della superficie di impedenza determinato dall'aumento dello spessore delle coperture sovrastanti i depositi ghiaiosi e/o arenacei.

8.3 CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MS

Come visibile dalla Carta geologico-Tecnica la porzione di territorio in esame è caratterizzata dalla presenza di coperture limoso sabbiose e localizzati affioramenti arenacei.

Le sezioni geologiche allegate intercettano tutte le unità litologiche della zona e mostrano i rapporti stratigrafici rapporti tra le varie unità.

Terreni di copertura:

SMec: sabbie limose, miscela di sabbia e limo (depositi eluvio-colluviali OLOCENE)

Tali depositi rappresentano la porzione più corticale dei terreni di copertura presenti nell'area in esame; trattasi di sabbie limose e limi sabbiosi avana-giallastri da scarsamente a mediamente addensati con calcinelli biancastri nella fascia più superficiale.

SMtf: sabbie limose, miscela di sabbia e limo (depositi alluvionali terrazzati Pleistocene medio-Sup.)

Tali materiali di colore giallastro sovrastano i depositi ghiaiosi alluvionali; sono caratterizzati da un buon grado di addensamento tanto da presentare localmente cenni di stratificazione.

GPtf: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla (alluvioni terrazzate del Pleistocene medio-Sup.).

La deposizione di tali materiali è legata alla variazione nel tempo del regime idraulico del Torrente Fluvione, il quale ha inciso e successivamente alluvionato le arenarie della Formazione della Laga. I ciottoli sono di dimensioni centimetriche (diametro medio 3,00-4,00 cm), arrotondati, arenacei e subordinatamente calcarei e risultano immersi in matrice sabbioso limosa.

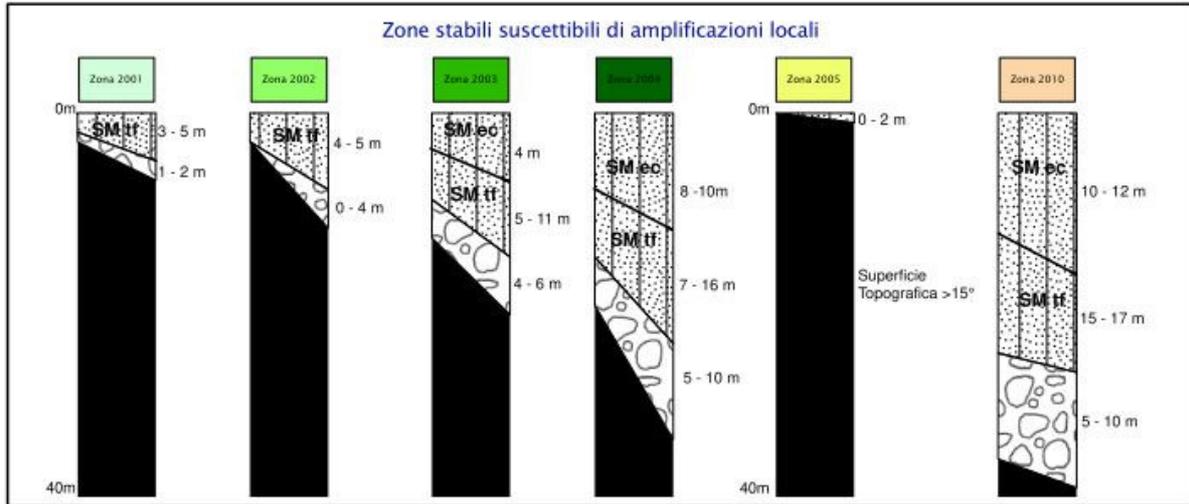
Substrato non rigido:

LPS: arenarie con stratificazione da molto spessa a media con intercalazioni di sottili livelli pelitici (Messiniano - LAG1c Litofaces arenacea).

Gli strati arenacei si presentano in affioramento di colore variabile dal giallo-grigiastro al grigio, poco fratturati.

8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Sulla base dei dati raccolti e delle analisi effettuate nel presente studio sono state identificate 6 MOPS definite come aree stabili suscettibili di amplificazione, caratterizzate da una variazione degli spessori dei terreni di copertura sovrastanti il substrato arenaceo, omogeneo su tutta l'area di indagine.



Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia limo



Sabbie limose, miscela di sabbie e limo



Substrato geologico Lapideo Stratificato

Indagini sismiche puntuali



HVSr

La MOPS 2005 è stata attribuita alle scarpate in cui affiora il substrato arenaceo con superficie topografica sub-verticale.

Rispetto alla carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica di livello I sono stati modificati gli spessori delle unità della copertura ed è stata differenziata la MOPS 2003, poiché le nuove indagini hanno rilevato un maggiore spessore dei terreni sovrastanti il bedrock arenaceo.

8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (MS) DI LIVELLO 3

Sulla base dei valori di FA ottenuti con le modellazioni numeriche sono state elaborate le carta di microzonazione di livello 3 per i diversi intervalli di periodo.

Per periodo compreso tra 0.1-0.5s le aree terrazzate recenti in destra e sinistra orografica e la fascia a monte della SP in destra orografica, risultano stabili suscettibili di amplificazioni locali con $Fa=1.1-1.2$; procedendo verso monte (Ovest) il valore di Fa passa da 1.3-1.4, a 1.7-1.8 fino a un valore di $FA = 2.3$ nella zona di monte (aumento spessore delle coperture).

Per periodo compreso tra 0.4-0.8s nella zona di monte risulta un Fa pari a 1.39, la MOPS 2004 presenta un FA compreso tra 1.1-1.2, mentre il resto del territorio risulta con Fa1 ad eccezione delle scarpate arenacee e dell'area in frana con Fa1.2.

Per periodo compreso tra 0.7-1.1s alla zona di monte è associato il valore di Fa pari a 1.1; il resto del territorio, ad eccezione delle scarpate arenacee con $Fa = 1.2$, risulta stabilee con $Fa = 1$.

Gli accelerogrammi e gli spettri di risposta sono allegati al presente studio.

In base alle velocità misurate su ciascuna MOPS è possibile fare una correlazione con le categorie di sottosuolo indicate dalle NTC08 da cui risulta che l'intero territorio esaminato appartiene alla categoria B.

MOPS	Vs30 (m/sec)c	Categorie di sottosuolo NTC08
2010	373.93	B
2004	384.88	B
2003	574.51	B
2002	751.13	B
2001	794.22	B

9. COMMENTI FINALI E CRITICITA'

Gli studi effettuati hanno evidenziato la variabilità della risposta sismica tra i terreni che costituiscono i due terrazzi alluvionali che caratterizzano la porzione di territorio in studio.

Il terrazzo alluvionale recente, più basso in quota, limitato a valle dal ciglio superiore della scarpata fluviale, in destra orografica, e confinato a monte, dalle scarpate di raccordo con il terrazzo più alto in quota, all'incirca in corrispondenza del tracciato del SP. 257, non è suscettibile di amplificazione sismica.

In corrispondenza di tale terrazzo insistono le residenze private di civile abitazione, le case popolari di recente edificazione, gli impianti sportivi, la zona produttiva del comune di Roccafluvione, e le aree estese fino al confine con l'attraversamento di Ponte Pugliese; anche l'area di espansione prevista dal PRG comunale in corrispondenza della zona Ponte Pugliese, che insiste sul terrazzo alluvionale recente in sinistra orografica del T.Fluvione, non è suscettibile di amplificazione sismica.

I fabbricati presenti nelle aree suddette, costituiti da strutture in c.a., realizzate in tempi recenti o successivi agli anni 70, non sono stati danneggiati in maniera significativa dal sisma.

Il terrazzo più antico e più alto in quota, che costituisce il versante sovrastante le aree pianeggianti di valle, presenta una struttura sedimentaria particolare, caratterizzata da ingenti coperture limoso sabbiose a luogo detritiche (spessore 25 m circa), sovrastanti un pacchetto francamente alluvionale, ghiaioso-sabbioso, dello spessore di circa 10,00 m., sedimentato al di sopra delle arenarie di base.

Tale terrazzo antico è suscettibile di amplificazione sismica con F_a compresi tra 2,3 a monte, dove lo spessore delle coperture è maggiore, e 1,1 a valle.

Gran parte del centro storico ed urbano del capoluogo insiste su tale struttura geomorfologica; il tessuto edilizio più antico, realizzato fino agli anni 70, è costituito prevalentemente da murature a sacco, con strutture fondali superficiali poco approfondite nei terreni corticali; il tessuto più recente è di tipo misto, in parte caratterizzato da strutture in c.a., con fondazione di tipo superficiale, ben dimensionate.

I fabbricati in oggetto, di costruzione meno recente, compresa la Chiesa di S. Stefano, sono stati danneggiati diffusamente dagli eventi sismici dell'agosto 2016 e seguenti.

In occasione del sisma Umbria Marche del 1997 erano stati danneggiati numerosi fabbricati del centro storico e soprattutto quelli delle frazioni.

Ascoli Piceno, Gennaio 2018

Il Geologo

Dott. Giovanni Mancini

Collaboratori:

Geol. Marco Giovannozzi

Geol. Morena D'Angelo

BIBLIOGRAFIA

AA. VV. Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Tronto (PAI). Approvato con Delibera del Comitato Istituzionale del 07/06/2007.

Decreto del Segretario Generale dell'Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Tronto n. 10 del 21/05/2014

AA.VV. - Progetto IFFI - Inventario dei fenomeni franosi in Italia. Realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome

AA.VV. – L'ambiente fisico delle Marche – Edizioni SELCA e Regione Marche

AA.VV. – “La Geologia delle Marche” - Studi Geologici Camerti, volume speciale (1986) –a cura di Centamore E. e Deiana G.

BARCHI M., GALADINI F., LAVECCHIA G., MESSINA P., MICHETTI A.M., PERUZZA L., PIZZI A., TONDI E., VITTORI E. (2000) - Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica. CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 62 pp.

CANTALAMESSA G. (2003) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia – Foglio 133-134 Ascoli Piceno-Giulianova

CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., COLALONGO M. L., MICARELLI A., NANNI T., PASINI G., POTETTI M., RICCI LUCCHI F., con la collaborazione di CRISTALLINI C. & DI LORITO L. (1986)- Il Plio-Pleistocene delle Marche. Studi Geologici Camerti, volume speciale "La Geologia delle Marche", 61-81.

CASNEDI R., CRESCENTI U. & TONNA M. (1984) – Evoluzione della avanfossa adriatica meridionale nel Plio-Pleistocene sulla base di dati del sottosuolo. Mem. Soc. Geol. It., 24.

CENTAMORE E., PAMBIANCHI G., DEIANA G. CALAMITA F., CELLO G., DRAMIS F., GENTILI B., NANNI T. (1991) - AMBIENTE FISICO DELLE MARCHE Geologia – Geomorfologia – Idrogeologia: Scala 1:100.000 - Regione Marche assessorato Urbanistica Ambiente Ecologia Programmazione.

Database macrosismico italiano. DBMI15

<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI08/> A cura di Locati M. INGV-MI) Aprile 2009

GALADINI F., MELETTI C., VITTORI E. (1996) - Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. Risultati del progetto 5.1.2 “Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili”. In: F. Galadini, C. Meletti, A. Rebez (A cura di), Le ricerche del GNDDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999), CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Roma, 2000, 397 pp.

Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area "Rischio Sismico". Link:

http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137

Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII – n.2 – 2011.

Link:http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/aggiornamento_indirizzi_microzonazione_sismica.pdf

Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. a. Versione 4.0b. Roma, ottobre 2015. 122 pp.

Link: http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_4_0b.pdf

Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma.

Link: http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC_v1_0.pdf

Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ). Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0.

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Liq_v1_0.pdf

Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR). Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0.

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Frane_v1_0.pdf

Regione Emilia Romagna, 2015. Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia- Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica. Allegato A3 - Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento.

Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2014. Linee guida per l'elaborazione della carta e delle sezioni geologico tecniche per la microzonazione sismica (CGT_MS). Dipartimento della protezione civile, Roma. Bozza, ver. 1.2 beta.

Significato e contenuto degli studi di MS di livello 2 e 3. Link:

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Significato_e_contenuto_degli_studi_di_MS_di_livello_2_e_3.pdf

Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0). Link: Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0).

Bard P., Y., Bouchon M. (1985) - The two dimensional resonance of sediment filled valleys. *Bull. Seism. Soc. Am.* 75: 519–541.

Cividini A., Pergalani F., Compagnoni M., Parisi A. (2017). On the evaluation of Local Response Spectra according to the Italian Design Code, 15th International Conference of the International Association for Compute Method and Advances in Geomechanics IACMAG, 19-23 October, Wuhan, China.

Di Capua G., Compagnoni M., Di Giulio G., Marchetti M., Milana G., Peppoloni S., Pergalani F., Sapia V. (2014). The seismic microzonation of level 3 of Sant'Agata Fossili (northern Italy) based on a multidisciplinary approach. *Annals of Geophysics*, 57, 1, S0189; DOI:10.4401/ag-6363.

Evangelista L., Landolfi L., d'Onofrio A., Silvestri F. (2016). The influence of the 3D morphology and cavity network on the seismic response of Castelnuovo hill to the 2009 Abruzzo earthquake. *Bull Earthquake Eng*, 14, pp. 3363- 3387.

Landolfi L. (2013). Analisi della risposta sismica locale in condizioni complesse di sottosuolo: il caso di Castelnuovo (AQ). Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Geotecnica XXV ciclo, Università di Napoli Federico II.

Lanzo G., Silvestri F., Costanzo A., d'Onofrio A., Martelli L., Pagliaroli A., Sica S., Simonelli A. (2011). Site response studies and seismic microzoning in the Middle Aterno valley (L'Aquila, Central Italy). *Bull Earthquake Eng*, n. 9, pp. 1417-1442.

Pagliaroli A., Lanzo G., Sanò T. (2007). Confronto fra tre codici di calcolo 2D della risposta sismica locale. *Atti del XII Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, ANIDIS, Pisa, 10-14 giugno 2007, Edizioni Plus – Pisa University Press, Pisa, DVD articolo #45. ISBN: 978-88-8492-458-2, 12 pp.

Pagliaroli A., Quadrio B., Lanzo G., Sanò T. (2014a). Numerical modelling of site effects in the Palatine hill, Roman Forum and Coliseum archaeological area. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, pp. 1383–1403.

Pagliaroli A., Moscatelli M., Raspa G., Naso G. (2014b). Seismic microzonation of the Central Archeological Area of Rome: results and uncertainties. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, 1405–1428.

Santucci de Magistris F., d'Onofrio A., Evangelista L., Foti S., Maraschini M., Monaco P., Amoroso S., Totani G., Lanzo G., Pagliaroli A., Madiari C., Simoni G., Silvestri F. (2013). Geotechnical characterization of the Aterno valley for site response analyses. *Rivista Italiana di Geotecnica*, 47 (3), 65-86.