

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO E BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>2</b>
<b>3. LINEAMENTI GEOLOGICI.....</b>	<b>4</b>
3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	4
3.2. CARATTERI GEOLITOLOGICI DEI DEPOSITI SUPERFICIALI E DELLE FORMAZIONI DI SUBSTRATO ...	7
<b>4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI.....</b>	<b>10</b>
<b>5. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI.....</b>	<b>10</b>
<b>6. INQUADRAMENTO SISMICO.....</b>	<b>13</b>
6.1. PERICOLOSITÀ SISMICA.....	13
6.2. SISMICITÀ STORICA.....	15
6.3. AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE.....	22
<b>7. SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE LOCALE.....</b>	<b>24</b>
7.1. AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA.....	24
7.2. AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA.....	25
7.3. VITA NOMINALE.....	25
7.4. CLASSE D'USO.....	26
7.5. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	27
7.6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	27
<b>8. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....</b>	<b>30</b>
8.1. METODO DI CALCOLO.....	30
8.2. INDAGINI E INFORMAZIONI DI BASE.....	31
8.3. DEFINIZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO DI SOTTOSUOLO.....	34
8.4. DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE IN INGRESSO.....	36
8.4.1. <i>Segnali utilizzati per SLV</i> .....	37
8.4.2. <i>Segnali utilizzati per SLC</i> .....	41
8.5. RISULTATI E CONSIDERAZIONI FINALI.....	45
8.5.1. <i>SLV</i> .....	45
8.5.2. <i>SLC</i> .....	48
8.6. CONCLUSIONI.....	49

## **1. PREMESSA**

La presente relazione ha come finalità la caratterizzazione sismica delle aree interessate al Progetto Definitivo relativo al "Sublotto 2.2: Intervalliva di Macerata - allaccio funzionale della SS77 alla città di Macerata alle località "La Pieve" e "Mattei".

Il lavoro è stato svolto in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", ed è stata eseguita una ricerca bibliografica di eventuali studi specialistici riguardanti la zona in esame presso gli Enti, i Comuni e le Regioni interessati al territorio dell'intervento.

## **2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO E BIBLIOGRAFIA**

La redazione della seguente relazione è stata eseguita nel rispetto delle normative vigenti in materia di progettazione antisismica e di diverse raccomandazioni tecniche, tra cui:

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Circolare Min. LL.PP: 24 settembre 1988 n° 30483: "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale).
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Gruppo di lavoro MS (2008). Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, Dipartimento della protezione civile, Roma;
- G. Lanzo, A. Pagliaroli. Selection of real accelerograms for the seismic response analysis of the historical town of Nicastro (Southern Italy) during the March 1638 Calabria earthquake. Elsevier 2007;
- G. Modoni, A. Gazzellone (2010). Simplified theoretical analysis of the seismic response of artificially compacted gravels. Proc. V Int. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, USA, Paper No. 1.28a;
- DEEPSOIL v. 6.1 (Y. Hashash, 2014)

PROGETTAZIONE ATI:

**STUDI ED INDAGINI – SISMICA – RELAZIONE SISMICA**

- REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures))
- O.P.C.M. 13/11/2010 n. 3907: “Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico”;
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 pubblicate sul Supplemento ordinario alla “Gazzetta Ufficiale, n. 42 del 20 febbraio 2018
- Studio di microzonazione sismica per i comuni del centro Italia colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016 così come previsto con l’ordinanza n° 24 del 12 maggio 2017 del Commissario Straordinario
- Zaho B., Horike M.; 2003: Simulation of High-Frequency Strong Vertical Motions using Microtremor Horizontal-to-Vertical Ratios. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 6, pp. 2546–2553
- G. Peruzzi, D. Albarello (2016). Stimatori approssimati della componente verticale del moto nelle valutazioni di risposta sismica locale.

PROGETTAZIONE ATI:

### 3. LINEAMENTI GEOLOGICI

#### 3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area in oggetto è compresa tra le colline di Colbuccaro, il Fiume Chienti, il settore SW dell'abitato di Macerata e il versante in destra del Fosso Valteja.

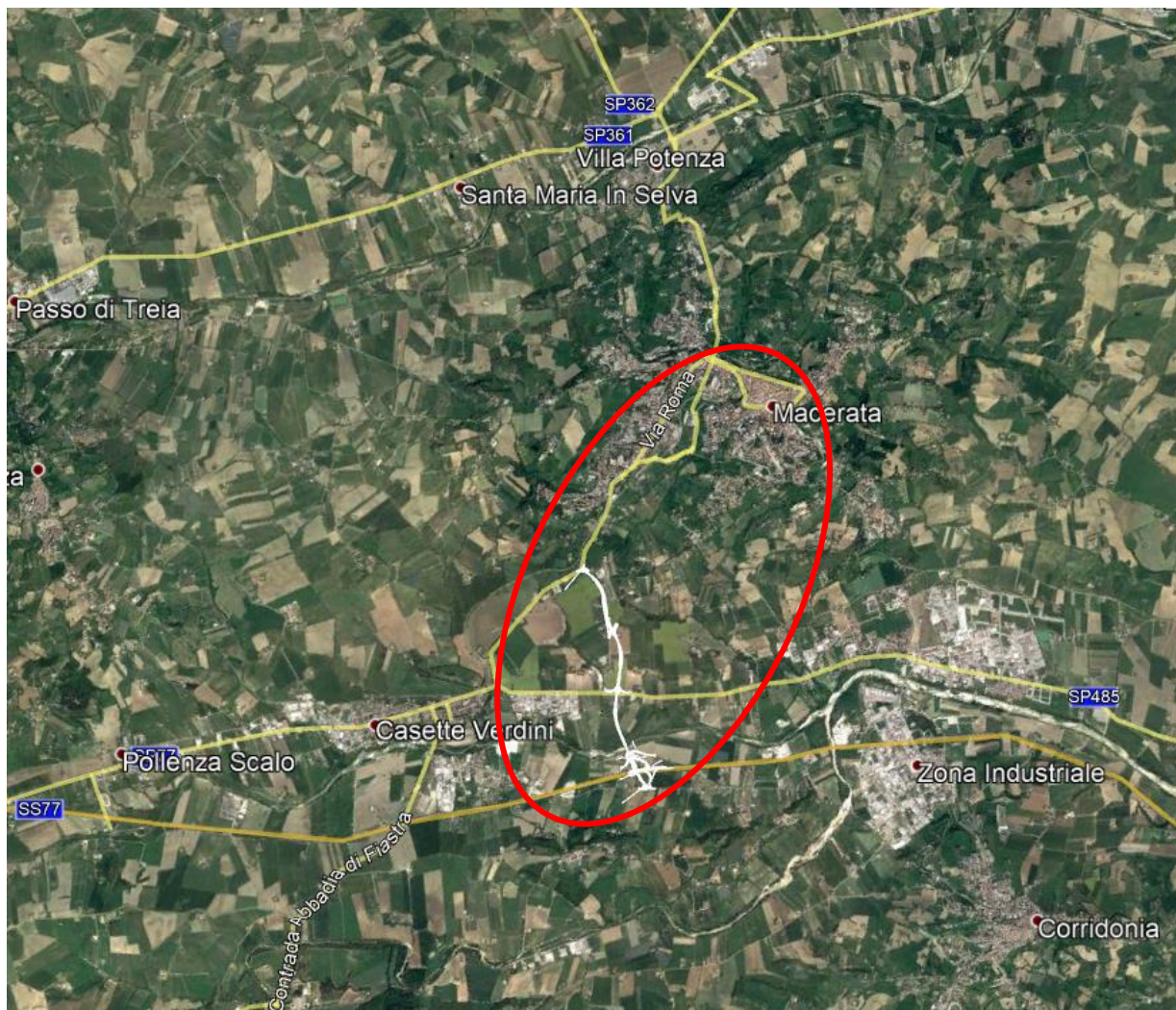
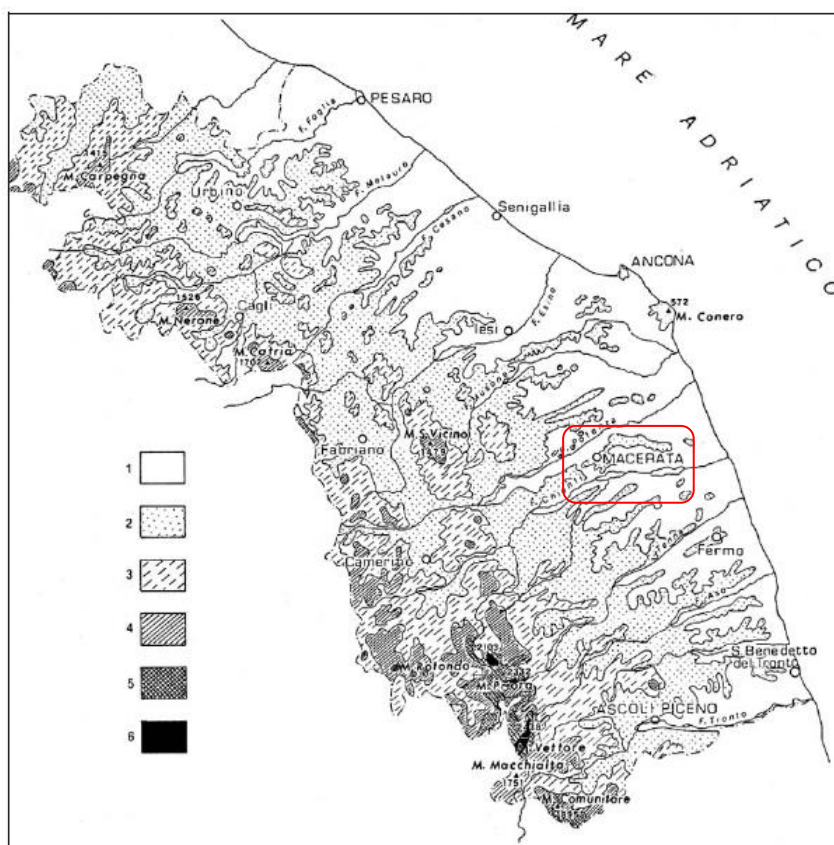


Figura 3.1 Immagine da Google dell'area con traccia del progetto

Dal punto di vista geo-litologico, nell'area sono presenti terreni appartenenti alla successione sedimentaria marina plio-pleistocenica e a depositi continentali di età quaternaria.

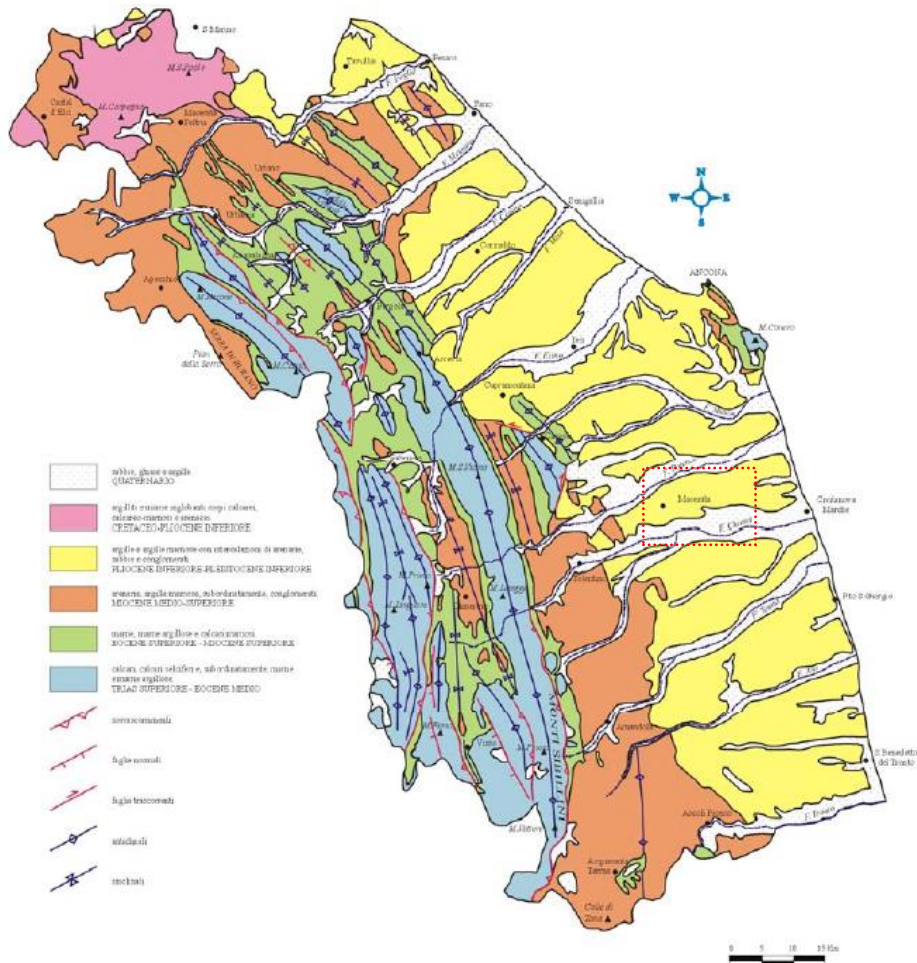
L'area marchigiana, dal punto di vista geografico, costituisce la parte meridionale più esterna dell'Appennino settentrionale; l'aspetto orografico della regione consente l'individuazione di tre fasce disposte in senso longitudinale da occidente al litorale Adriatico: una fascia pre-appenninica, una fascia appenninica e una fascia sub-appenninica.



**Figura 3.2 Immagine orografica della Regione Marche. 1) 0-200 m, 2) 200-500 m, 3) 500-1000 m, 4) 100-1700 m, 5) 1700-2000 m, 6) >2000 m (Molinari et alii, 1971)**

L'area di Macerata ricade nella fascia sub-appenninica che vede una morfologia essenzialmente di tipo collinare con quote di poco superiore ai 300 metri.

Per quanto riguarda gli aspetti tettonici, l'Appennino Umbro-Marchigiano è caratterizzato da domini strutturali a pieghe e sovrascorrimenti, e in misura minore a faglie inverse, trascorrenti e traspressive.

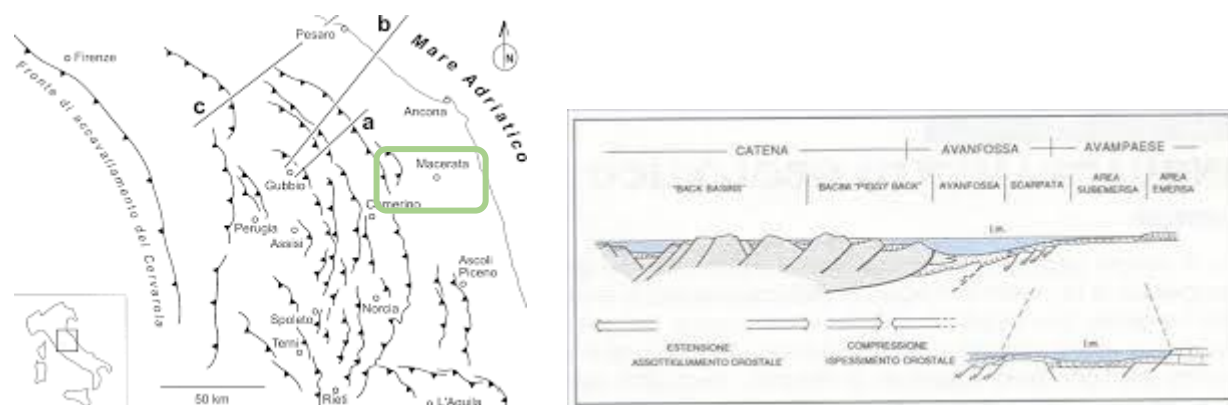


**Figura 3.3 Immagine schematica della geologia delle Marche (Deiana & Pambianchi, 2002)**

Dal punto di vista della dinamica geologico-strutturale che ha interessato la catena appenninica centrale, il settore maceratese ricade nell'ambito esterno ad essa.

Gli eventi deformativi che hanno interessato le zone appenniniche esterne nel Bacino marchigiano, a partire dal Pliocene inferiore, individuano settori caratterizzati da una diversa evoluzione tettonico-sedimentaria.

L'area maceratese, dal punto di vista paleomorfologico, ricade in ambito di piattaforma continentale.



**Figura 3.4 Immagini schematiche dell'assetto strutturale dell'area Umbro Marchigiana**

La successione sedimentaria, che costituisce l'ossatura e la struttura dell'Appennino Centrale è rappresentata dalla serie Umbro-Marchigiana (successione sedimentaria di ambiente pelagico) che si raccorda a Sud con i depositi della piattaforma Laziale-Abbruzzese. Dal punto di vista litologico, la sedimentazione pelagica si compone di calcari, calcari marnosi, calcari selciferi e marne poggianti su rocce ascrivibili al Triassico sup. e la loro sedimentazione si è protratta fino al Paleogene.

A partire dal Miocene i movimenti tettonici del thrust appenninico hanno comportato la dislocazione dei depositi rocciosi e nell'area marchigiana la sedimentazione è stata controllata dalla comparsa di aree bacinali che hanno accompagnato gli stadi evolutivi del sistema catena-avanfossa-avampaese. L'Avanfossa Marchigiana è caratterizzata da ampie sinclinali, separate fra loro da anticlinali molto strette orientate secondo un andamento NW-SE.

L'assetto morfostrutturale attuale è controllato dall'attività tettonica plio-quadernaria che, unitamente alle variazioni climatiche ed eustatiche, ne ha condizionato la sedimentazione verso ambienti marini o continentali.

I depositi marini plio-pleistocenici sono disposti secondo una struttura monoclinale debolmente immergente verso E, in quanto basculati a seguito del sollevamento regionale.

## 3.2. CARATTERI GEOLITologici DEI DEPOSITI SUPERFICIALI E DELLE FORMAZIONI DI SUBSTRATO

### 3.2.1. FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE

La formazione delle Argille Azzurre affiora in tutto il territorio circostante la città di Macerata; comprende una successione sedimentaria in prevalenza pelitica, caratterizzata da una parte basale pliocenica costituita da argille marnose e rare lenti pelitico arenacee e una parte sommitale pleistocenica di natura prevalentemente pelitica che include intercalazioni di corpi arenaceo conglomeratiche, arenacei, arenaceo pelitiche, pelitico arenacei e peliti laminati. Lo spessore complessivo è stimato intorno ai 1000 metri. In affioramento è osservabile solo in limitati settori prevalgono i termini arenacei. Lo studio delle diverse litofacies dimostra l'evidenza di un progressivo aumento verso l'alto della frazione arenacea.

Nell'area maceratese è stato istituito un membro locale, il **Membro di Offida**, posto a chiusura della Formazione delle Argille Azzurre, che, dal punto di vista temporale, viene collocato tra il Pleistocene basale ed il Siciliano. Nella cartografia ufficiale è indicato come FAA5.

PROGETTAZIONE ATI:

All'interno del membro di Offida sono state distinte diverse litofacies di natura arenaceo-pelitica e arenacea.

### **3.2.1.1. Litofacies pelitica**

è costituita da peliti marnose grigio-azzurre massive, più o meno siltose, in strati da sottili a sottilissimi alternati a straterelli limoso sabbiosi ocrei. Essa, nella cartografica ufficiale, è indicata come FAA<sub>5f</sub>.

### **3.2.1.2. Litofacies pelitico-arenacea**

è costituita da peliti laminate con intercalazioni sabbiose di spessore variabile da pochi cm fino a 25 cm. La frazione pelitica è costituita da silt argilloso e più raramente da silt o argilla. Questa litofacies è principalmente rappresentata nell'ambito dei depositi del Membro di Offida. Essa, nella cartografica ufficiale, è indicata come FAA<sub>5e</sub>.

### **3.2.1.3. Litofacies arenaceo-pelitica**

è caratterizzata da un'alternanza di strati da sottili a medio spessi di sabbie e straterelli di peliti. La frazione sabbiosa è data da sabbie gialle ocree, localmente giallo arancio talora grigiastre con granulometria da media a fine con rari livelli grossolani. La frazione pelitica è costituita da materiale argilloso-siltoso. Questa litofacies è tipica della porzione sommitale della Formazione delle Argille Azzurre. Essa, nella cartografica ufficiale, è indicata come FAA<sub>5d</sub>.

### **3.2.1.4. Litofacies arenacea**

comprende principalmente strati arenacei e livelli pelitici intercalati. Le arenarie si presentano ben cementate, a granulometria da fine a grossolana e in strati che, a luoghi, sono anche molto spessi. Le peliti sono costituite da argille marnoso siltose di spessore centimetrico. La litofacies arenacea presenta spessori variabili dai 30 ai 70 metri ed è ubicata in prossimità del tetto della Formazione delle Argille Azzurre. Nell'area di Macerata, questa facies è rappresentata da un'alternanza di strati da sottili a medi di sabbie gialle scarsamente cementate con granulometria medio-fine con strati gradati e laminati e livelli pelitici in genere sottili. Lo spessore medio dei singoli corpi arenacei è di circa 40-50 m. Essa, nella cartografica ufficiale, è indicata come FAA<sub>5c</sub>.

## **3.2.2. DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI**

A queste unità litologiche comprendo i depositi alluvionali terrazzati e le coltri eluvio colluviali e i corpi franosi.

Per i depositi alluvionali terrazzati, si segue la suddivisione ufficiale che avviene secondo sintemi. I dati litostratigrafici suggeriscono una ripetitività degli eventi deposizionali principali con ripetizione ciclica di associazione di facies e strutture che ne indicano un carattere deposizionale di ambiente freddo.

I depositi delle alluvioni terrazzati occupano le valli dei corsi d'acqua principali; nell'area a Sud di Macerata occupano tutta la valle del Fiume Chienti, la loro distinzione, in accordo con i dati bibliografici viene fatta in relazione all'ordine-sintema.

### **3.2.2.1. Sintema del F.Musone (MUS) (Olocene).**

Comprende l'insieme di terrazzi minori ascritti in letteratura al 4° ordine e i depositi alluvionali, terrazzati o meno, depositati durante il modellamento delle scarpate che incidono i depositi del Pleistocene superiore. Comprende inoltre le coltri eluvio colluviali costituite da sedimenti limoso-argillosi con frazione sabbiosa e con elementi marnosi o arenacei in relazione alla natura del bacino di alimentazione. Vengono infine compresi, nel suddetto sintema, detriti di versante ad elementi prevalentemente arenacei e i corpi di frana.

PROGETTAZIONE ATI:



### **3.2.2.2. Sintema di Matelica (MTI) (Pleistocene superiore).**

Comprende i depositi alluvionali terrazzati del 3° ordine tradizionale.

### **3.2.2.3. Supersintema di Colle Ulivo-Colonia Montani (AC) (Pleistocene medio finale).**

Il supersintema comprende i depositi alluvionali terrazzati di 2° ordine sugli attuali alvei. Si tratta di depositi prevalentemente ghiaiosi e nell'area del Chienti, al di sopra dei corpi ghiaiosi si osservano coltri di sedimenti sabbioso limosi di origine alluvionali e depositi di origine colluviale con frazione argillosa.

### **3.2.2.4. Sintema di Urbisaglia (URB) (Pleistocene medio-medio/inferiore).**

Comprende depositi terrazzati di 1° ordine rappresentati da ghiaie eterometriche poligeniche e sabbie limose a geometria essenzialmente lenticolare con al tetto relitti di suoli arrossati. I depositi alluvionali comprendono corpi ghiaiosi associati o intercalati a limi e sabbie relativamente abbondanti.

### **3.2.2.5. Coltri Eluvio-colluviali**

Si ha un'ampia diffusione di coltri eluvio-colluviali che ricoprono talora ampi settori dei versanti collinari, delle superfici dei terrazzi ad esse raccordanti e riempiono il fondo della maggior parte delle vallecole.

Sono rappresentate da sedimenti per lo più fini (proporzioni variabili di sabbie, limi e argille) con subordinati frammenti arenacei. Lungo i tratti di raccordo di versante contengono percentuali più o meno abbondanti di ciottoli rimaneggiati dai depositi alluvionali terrazzati.

### **3.2.2.6. Depositi di gravitativi**

I fenomeni franosi interessano versanti con giacitura del substrato a franapoggio o a traversopoggio. Si tratta generalmente di colamenti o di frane complesse rappresentate da scivolamenti che evolvono in colamento. I fenomeni interessano talora interi versanti e i loro contorni sono spesso mal definiti. La maggior parte delle frane interessa tuttavia le coltri eluvio-colluviali e presentano piani di scivolamento superficiali corrispondente con il passaggio alla sottostante roccia inalterata.

#### **4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI**

Dal punto di vista geomorfologico l'area si presenta in armonia con il contesto paesaggistico collinare che si estende lungo la fascia periadriatica.

Come anticipato in precedenza l'assetto geomorfologico è influenzato e condizionato da vari fattori fra i quali:

- l'evoluzione neotettonica
- la successione degli eventi climatici quaternari
- le caratteristiche litostratigrafie
- l'attività antropica

All'evoluzione tettonica dell'area ed alle caratteristiche litologiche è collegata la genesi e la morfologia dei rilievi collinari nonché le locali rotture di pendio, mentre i processi morfogenetici principali derivano dall'azione delle acque correnti superficiali e dalla gravità.

Di fondamentale importanza è il risultato dell'intenso sollevamento generale che ha interessato tutto l'appennino a partire dal Pliocene superiore. Tale sollevamento ha indotto un generale e rapido approfondimento dell'erosione lineare in funzione alle diverse condizioni climatiche che si sono avvicendate a partire dal Pleistocene medio.

L'alternanza di fasi climatiche che si sono susseguite nel passato, caratterizzati da periodi freddi (periglaciali) e da periodi temperati, sono alla base del susseguirsi di intervalli temporali a prevalente azione di sedimentazione o di erosione; questi elementi morfologici sono riconoscibili lungo il corso del F. Chienti, nell'area in studio, evidenziati dalla presenza di depositi alluvionali disposti a quote decrescenti rispetto al fondovalle attuale e particolarmente sviluppate in sinistra dei principali fiumi dove è possibile riconoscere l'intera successione degli ordini terrazzati.

La Carta geomorfologica è stata compilata tenendo conto anche delle litologie affioranti che sono raggruppate in 3 unità litostratigrafiche principali e fanno da sfondo agli elementi morfologici:

- Unità dei depositi di natura alluvionale
- depositi di copertura (eluvio-colluviali)
- depositi di plio-pleistocenici

Gli elementi geomorfologici rilevati sono definiti da linee a tratto continuo o discontinuo (nel caso si tratti di forme certe o incerte). La colorazione e la tipologia di rappresentazione adottata per la simbologia è funzione della diversa genesi dell'elemento morfologico rappresentato, per la loro scelta si è fatto riferimento ai Quaderni (ISPRA) serie III volume 13 (2018).

Nell'area in esame sono stati evidenziati quattro insiemi di forme morfogenetiche:

- Forme strutturali
- Forme gravitative
- Forme fluviali e dovute al dilavamento
- Forme di origine antropica

#### **5. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI**

Dal punto di vista idrogeologico, le unità arenaceo-pelitiche plio-pleistoceniche presentano una geometria tipicamente lenticolare con spessori variabili lateralmente spesso fino ad annullarsi. Esse costituiscono il substrato dei fossi che drenano le acque verso i fiumi principali.

I depositi pleistocenici a prevalentemente componente argilloso-limoso non sono sede di acquiferi significativi, ma di piccole falde locali spesso in pressione e lungo alcuni versanti si osservano manifestazioni sorgentizie.

Per quanto riguarda i depositi alluvionali composti da corpi ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso-limosi, con intercalate lenti argilloso-limose e sabbioso-limose occorre distinguere la situazione presente per ognuno degli ordini di terrazzo.

PROGETTAZIONE ATI:

I depositi terrazzati di ordine alto sono in continuità idraulica tra loro e rappresentano il vero acquifero di sub-alveo, mentre quelli di ordine basso sono sede di acquiferi per lo più isolati. Dove, però, è presente una continuità apprezzabile anche i depositi terrazzati di ordine inferiore possono essere in contatto con quelli di ordine maggiore fungendo, quindi, da zone di ricarica per le aree di pianura alluvionale attuale.

I depositi alluvionali generalmente sono sede di falde libere e l'alimentazione delle falde è principalmente connessa alle piogge.

L'andamento delle isofreatiche è abbastanza complesso a causa di differenze di permeabilità, della morfologia del substrato, della presenza di numerose opere di captazione e dell'infiltrazione di acque superficiali dagli alvei degli affluenti principali.

Durante l'ultima campagna di indagine (2019) sono stati installati n. 4 piezometri a tubo aperto da 2" nei fori di sondaggio BH01-PZ, BH03-PZ, BH05-PZ e BH09-PZ.

Nella tabella seguente si riportano le letture del livello di falda dei piezometri, inclusi quelli installati durante le campagne di indagini precedenti. Inoltre, si riportano anche le letture del livello di falda effettuate nei pozzi di acqua censiti nell'intorno dell'asse stradale insieme alla quota di rilevamento della falda riportata nei report di sondaggio (ove presente). L'ubicazione dei piezometri e dei pozzi è riportata nell'elaborato LO709.MC.D.P.GENER.00.GEO.PLA.007.A Carta idrogeologica.

**Tabella 5.1 Riepilogo del livello di falda**

Sondaggio	Lungh. [m]	Misura falda [m da p.c.]	Data lettura
BH01-PZ	20.0	9.08	Agosto 2019
		8.89	Febbraio 2020
BH03-PZ	20.0	11.70	Luglio 2019
		12.17	Febbraio 2020
BH05-PZ	30.0	4.95	Settembre 2019
		2.69	Febbraio 2020
BH09-PZ	25.0	7.92	Ottobre 2019
		9.10	Febbraio 2020
SD1PZ	35.0	6.08	20/07/2006
		4.50	15/09/2006
		3.50	21/12/2006
		3.50	20/03/2007
S1	20.0	4.40	30/06/2004
S2	20.0	7.80	01/07/2004
		6.48	23/09/2008
S3	10.0	asciutto (>10)	01/07/2006
		asciutto (>10)	26/07/2006
S4	6.0	asciutto (>6)	01/07/2004
		asciutto (>6)	23/09/2008
Pozzo 1	-	asciutto	23/09/2008
Pozzo 2	-	13.15	23/09/2008
Pozzo 3	-	9.69	23/09/2008
Pozzo 4	-	13.10	23/09/2008
Pozzo 5	-	0.57	23/09/2008
Pozzo 6	-	8.60	23/09/2008
Pozzo 7	-	10.50	23/09/2008

PROGETTAZIONE ATI:

**STUDI ED INDAGINI – SISMICA – RELAZIONE SISMICA**

Pozzo 8	-	asciutto	23/09/2008
Pozzo 9	-	14.20	23/09/2008
Pozzo 10	-	14.07	23/09/2008
Pozzo 11	-	10.43	23/09/2008

Le variazioni stagionali della quota della falda, sicuramente presenti saranno riscontrabili con il monitoraggio geotecnico, che sarà eseguito nei fori attrezzati con tubi piezometrici.

Attraverso l'analisi di tutti i dati è stato possibile ricostruire con buona attendibilità l'andamento della superficie piezometrica in corrispondenza del tracciato in progetto. Dal profilo idrogeologico si osserva che la superficie di falda è posizionata all'interno dei depositi alluvionali, sostenuti alla base dalle argille plio-pleistoceniche caratterizzate da bassa permeabilità. Il substrato marino rappresenta pertanto la base dell'acquifero del Fiume Chienti.

Dalla ricostruzione della superficie di falda emerge inoltre la diretta relazione tra il corso d'acqua e la falda stessa; il Chienti costituisce infatti l'asse drenante dell'intera area di studio.

Fatta eccezione per i pali di fondazioni delle opere principali non si prevede alcuna interazione fra la falda ed i lavori.

Durante la campagna di indagine del 2019 sono state eseguite n.4 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile.

**Tabella 5.2 Riepilogo delle prove di permeabilità**

Ubicazione prova (foro di sondaggio)	Tratto di prova dal p.c. [m]	Formazione	Coeff. di perm. k [m/s]
BH01-PZ	4.6 ÷ 5.2	Ghiaia-sabbiosa	8.3E-05
BH01-PZ	9.5 ÷ 10.2	Ghiaia-sabbiosa	1.2E-04
BH02-DH	10.0 ÷ 10.5	Ghiaia-sabbiosa	7.5E-05
BH09-PZ	9.5 ÷ 10.5	Limo sabbioso argilloso	1.4E-06

Per quanto riguarda le unità idrogeologiche si possono riscontrare le seguenti classi di permeabilità:  
Permeabilità alta: questa classe rappresenta soprattutto le ghiaie dell'alveo del Fiume Chienti. Livelli ghiaioso sabbiosi con permeabilità, per porosità, generalmente elevata.

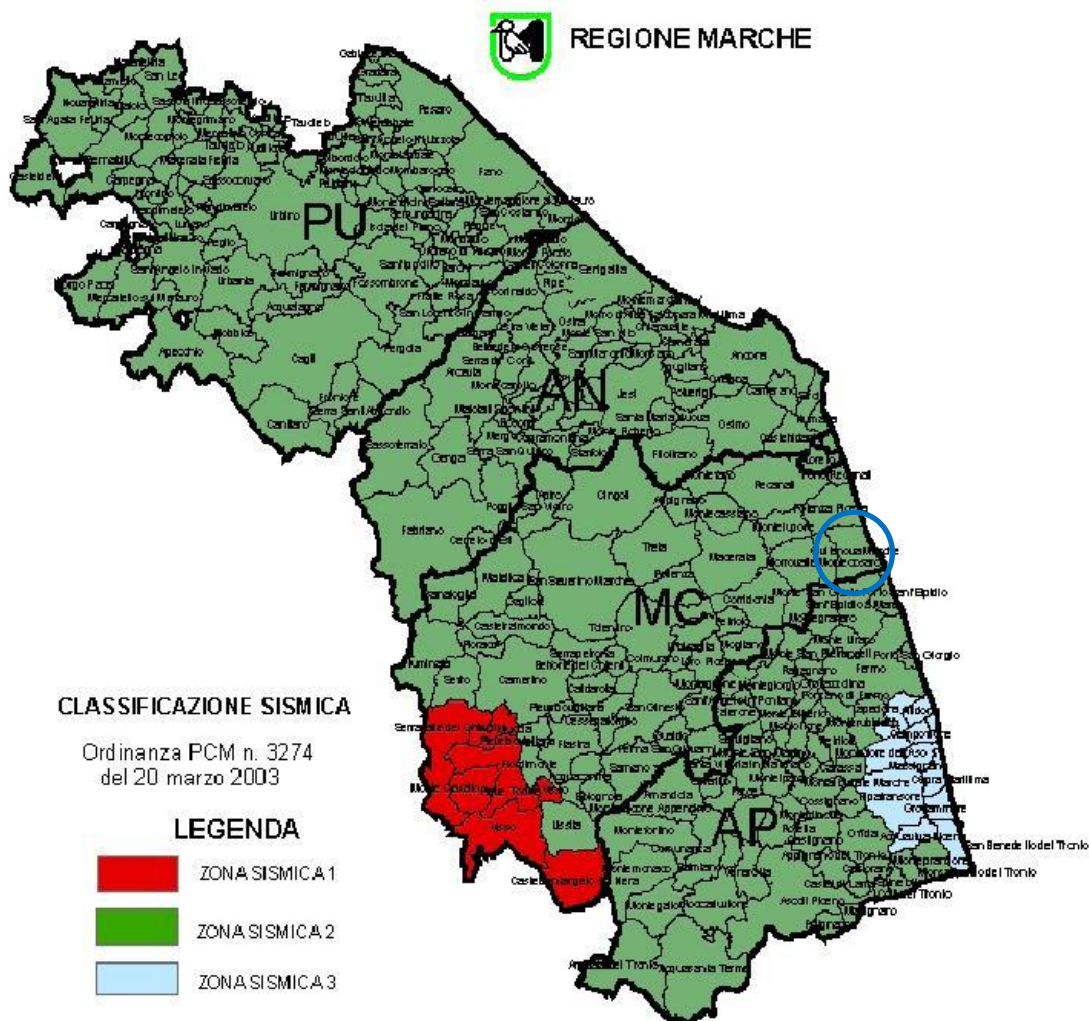
Permeabilità medio alta: unità litologiche costituite prevalentemente da ghiaia in matrice sabbioso limosa, con intercalati livelli ed orizzonti limoso sabbiosi e limoso argillosi.

Permeabilità bassa: in questa classe è rappresentato sia il substrato limoso argilloso che i depositi eluvio colluviali di copertura.

## 6. INQUADRAMENTO SISMICO

### 6.1. PERICOLOSITÀ SISMICA

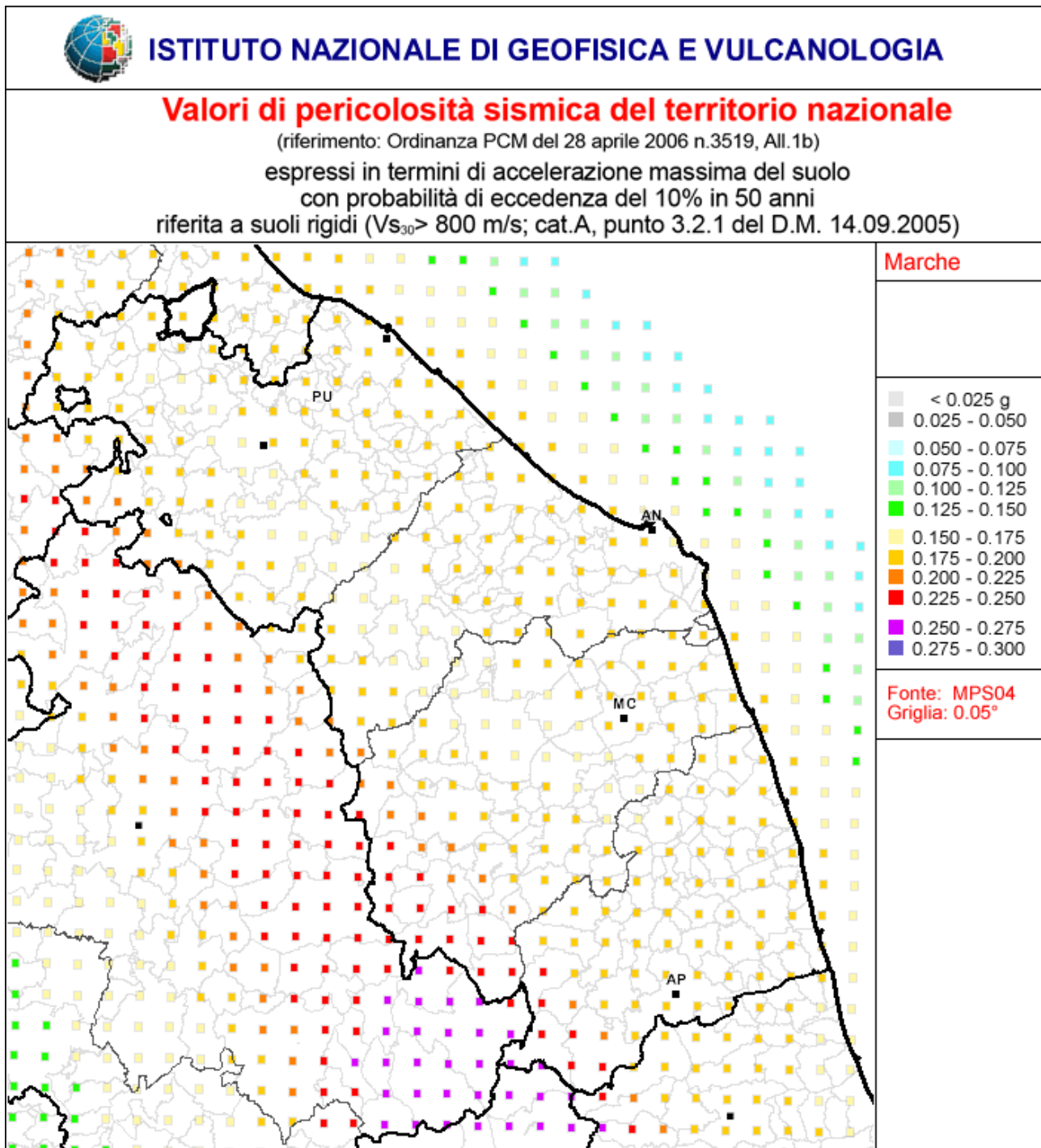
Per quanto riguarda la Classificazione sismica del Comune di Macerata, con riferimento all'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 e della successiva Delibera della Giunta regionale Marche n.1046 del 29/07/2003 e successive modificazioni, è inserito, in **Zona Sismica 2** ( $a_g = 0,25 \text{ g}$ ) "Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti".



Tale zona è individuata da un'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresa tra 0.15 e 0.25 ( $a_g/g$ ) e accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) di 0.25 ( $a_g/g$ ).

Nello specifico, tramite applicazione Webgis consultabile on line sul sito dell'I.N.G.V. all'indirizzo <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, è possibile in maniera interattiva esaminare le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale. In particolare, come specificato, per la zona di Macerata si hanno dei valori di accelerazione del suolo, riferiti ai suoli rigidi, (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) compresi tra  $0.175 \div 0.200 a_g$  di accelerazione massima del suolo espressa come accelerazione di gravità.

PROGETTAZIONE ATI:



L'OPCM 3907\_2010 associa al Comune di Macerata un'accelerazione orizzontale massima al suolo  $a_g$  pari a:  **$a_g = 0,182801$**   
 Anche quest'accelerazione è espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s, cat. A, punto 3.2.1 DM 14/09/2005, tempo di ritorno 475 anni).

PROGETTAZIONE ATI:

## 6.2. SISMICITÀ STORICA

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.
- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

Per area interessata dall'opera in progetto sono stati identificati i seguenti eventi ricavabili dal database dell'INGV:

PlaceID	IT_51792
Coordinates (lat, lon)	43.300, 13.453
Municipality (ISTAT 2015)	Macerata
Province	Macerata
Region	Marche
No. of reported earthquakes	123

Effects	Reported earthquakes				
	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1626 05 12	Macerata	1	7	5.10
3-4	1672 04 14 15 45	Riminense	92	8	5.59
6-7	1718 08 18	Maceratese	4	5-6	4.40
3-4	1733 10 19 03 30	Anconetano	4	4-5	3.93
7	1741 04 24 09 20	Fabrianese	135	9	6.17
5	1760 01 12	Valnerina	6	5-6	4.40
2	1785 05 03 02 30	Appennino umbro-marchigiano	11	7	5.10
6	1795 06 19 23 30	Maceratese	17	6	4.70
6-7	1805 05 09 01	Maceratese	3	5-6	4.40

PROGETTAZIONE ATI:

**STUDI ED INDAGINI – SISMICA – RELAZIONE SISMICA**

7	1809 08 25 12 13	Macerata	2	6	4.63
4-5	1828 04 11 22 25	Appennino umbro-marchigiano	22	5-6	4.93
5	1870 02 08	Anconetano	10	7	5.15
6	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5.85
4	1874 02 24 06 52	Aquilano	26	6-7	5.12
6	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74
3	1875 12 06	Gargano	97	8	5.86
F	1887 05 26	Jesi	19	5	4.44
3	1889 12 08	Gargano	122	7	5.47
3	1895 08 09 17 38 2	Adriatico centrale	103	6	5.11
5	1897 09 21	Marche settentrionali	44	7	5.40
4	1897 12 18 07 24 2	Alta Valtiberina	132	7	5.09
3	1898 06 27 23 38	Reatino	186	8	5.50
3	1898 08 25 16 37 4	Valnerina	67	7	5.03
4	1899 06 22 13 20	Corridonia	30	5	4.08
3-4	1903 11 02 21 52	Valnerina	33	6	4.81
5	1904 09 02 11 21	Maceratense	59	5-6	4.63
4-5	1907 01 23 00 25	Adriatico centrale	93	5	4.75
4	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
F	1910 06 29 13 52	Valnerina	58	7	4.93
2-3	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
6	1915 01 13 06 52 4	Marsica	1041	11	7.08
5	1916 08 16 07 06 1	Riminese	257	8	5.82
5	1916 11 16 06 35	Alto Reatino	40	8	5.50
4	1917 03 21 00 30	Monti Sibillini	21	5	4.44
4	1917 04 26 09 35 5	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
2	1917 05 12 15 34 3	Ternano	34	7-8	5.03
3	1917 07 08 02	Appennino laziale-abruzzese	44	5-6	4.68
3-4	1917 11 05 22 47	Costa anconetana	26	6	5.22
3-4	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38
2	1920 02 10 23 57	Monti Sibillini	18	5	4.30
2	1920 06 08 16 13	Appennino forlivese	19	5-6	4.54
2	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10	6.53
2	1921 04 05 17 40	Appennino umbro-marchigiano	10	5	4.23

PROGETTAZIONE ATI:



**STUDI ED INDAGINI – SISMICA – RELAZIONE SISMICA**

3	1921 08 28 10 45	Monti Sibillini	12	7	4.66
5-6	1922 06 08 07 47	Valle del Chienti	47	6	4.73
3	1922 10 11 06 43 4	Costa anconetana	20	5	4.34
2	1922 12 29 12 22 0	Val Roveto	119	6-7	5.24
4	1923 07 12 20 49	Marche meridionali	20	5	4.28
4	1924 01 02 08 55 1	Senigallia	76	7-8	5.48
2	1926 01 01 18 04 0	Carniola interna	63	7-8	5.72
3	1927 08 16 00 53	Valnerina	17	6	4.57
2	1927 10 11 14 45 0	Marsica	81	7	5.20
2	1928 05 30 20 01	Senigallia	17	5	5.02
3-4	1929 01 22 10 06 5	Marche Centrali	20	5-6	4.40
3	1930 04 07 17 17 1	Monti Sibillini	28	5-6	4.50
3	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6.67
4-5	1930 08 04 15 02 2	Marche meridionali	24	5-6	4.44
6-7	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
3	1930 11 09 01 33	Monti Sibillini	17	5	4.31
4	1933 09 26 03 33 2	Maiella	325	9	5.90
3-4	1934 11 30 02 58 2	Adriatico settentrionale	51	5	5.30
2	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
3-4	1936 12 09 07 34	Caldarola	31	6-7	4.76
2	1938 08 12 02 28 3	Appennino laziale-abruzzese	55	5-6	4.56
3-4	1940 10 16 13 17	Val di Paglia	106	7-8	5.29
4	1941 12 19	Monti Sibillini	30	7	5.02
4	1943 01 16	Monti Sibillini	22	6-7	5.04
4	1943 01 29	Monti Sibillini	50	6-7	4.94
5	1943 03 25	Marche meridionali	15	6	4.85
5	1943 10 03 08 28 2	Ascolano	170	8	5.67
3-4	1948 12 31 03 32	Monti Reatini	95	8	5.42
2-3	1950 09 03 22 41 2	Ascolano	5	5-6	4.40
5	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5.69
4	1951 08 08 19 56	Gran Sasso	94	7	5.25
7	1951 09 01	Monti Sibillini	80	7	5.25
4	1957 11 11 21 40	Costa anconetana	50	5	4.50
NF	1958 06 24 06 07	Aquilano	222	7	5.04
4-5	1960 02 24 01 51	Appennino umbro-marchigiano	25	5	4.32

PROGETTAZIONE ATI:

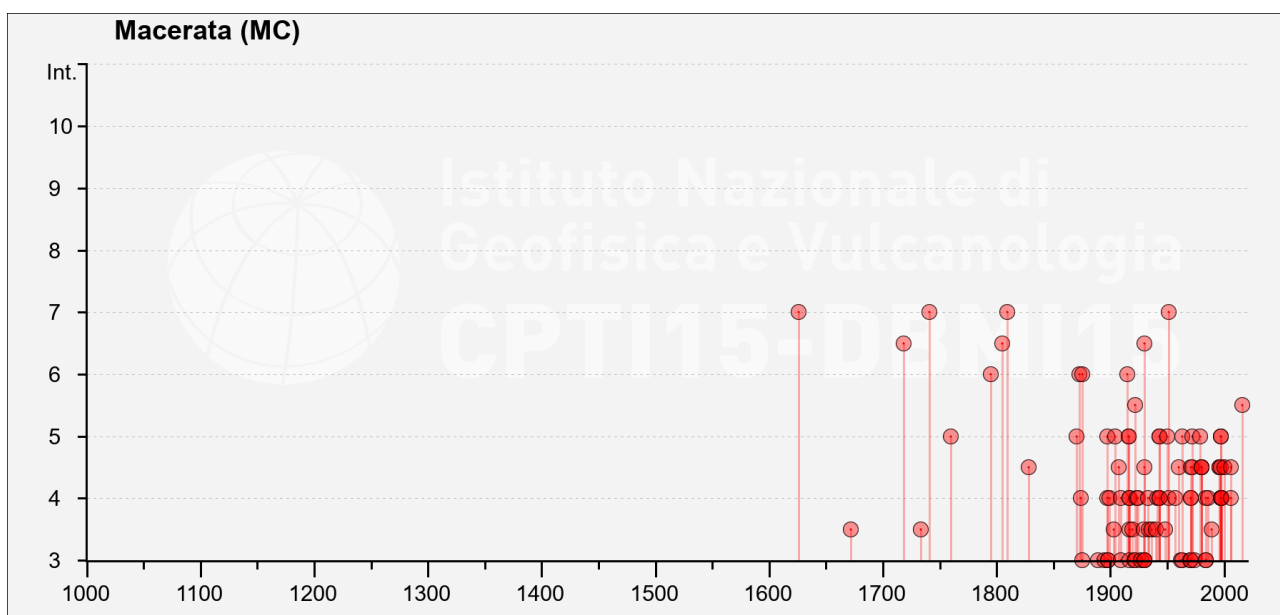
**STUDI ED INDAGINI – SISMICA – RELAZIONE SISMICA**

F	1960 03 16 01 52 4	Monti della Laga	81	5	4.44
3	1962 01 23 17 31	Costa pesarese	49	5	4.35
NF	1962 10 05 23 00 4	Appennino maceratese	16	5-6	4.35
3	1963 01 25 05 27	Monti Sibillini	30	5	4.31
5	1963 07 21 11 09	Monti della Laga	11	7	4.71
F	1964 08 02 10 40	Valnerina	25	6	4.53
3	1970 09 07 14 02 2	Appennino umbro-marchigiano	56	5	4.35
4	1971 02 11 18 49 2	Valle del Chiascio	71	6	4.61
3	1971 02 12 04 54 5	Valle del Chiascio	47	7	4.89
4	1971 04 02 01 43 5	Valnerina	68	6	4.50
4-5	1971 10 04 16 43 3	Valnerina	43	5-6	4.51
4-5	1972 02 04 02 42 1	Costa anconetana	75		4.57
F	1972 06 14 18 55 5	Costa anconetana	17		4.68
2-3	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
5	1972 11 26 16 03	Marche meridionali	73	8	5.48
3	1974 12 02 01 55 1	Valnerina	27	7-8	4.58
5	1979 09 19 21 35 3	Valnerina	694	8-9	5.83
4-5	1980 02 28 21 04 4	Valnerina	146	6	4.97
4-5	1980 05 24 20 16 0	Monti Sibillini	58	5-6	4.48
4-5	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
4	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
3	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	911	8	5.86
3	1984 05 11 10 41 4	Monti della Meta	342	7	5.47
4	1986 10 13 05 10 0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46
3-4	1989 09 11 02 46 2	Marche meridionali	60	5	4.04
4-5	1996 01 01 12 21 4	Maceratese	91	5-6	4.20
4-5	1996 01 22 18 37 4	Fermano	76	5	3.96
5	1997 09 26 00 33 1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
5	1997 09 26 09 40 2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4	1997 10 03 08 55 2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
4-5	1997 10 06 23 24 5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
4	1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786		5.62
4	1998 03 21 16 45 0	Appennino umbro-marchigiano	141		5.00
4	1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78

PROGETTAZIONE ATI:

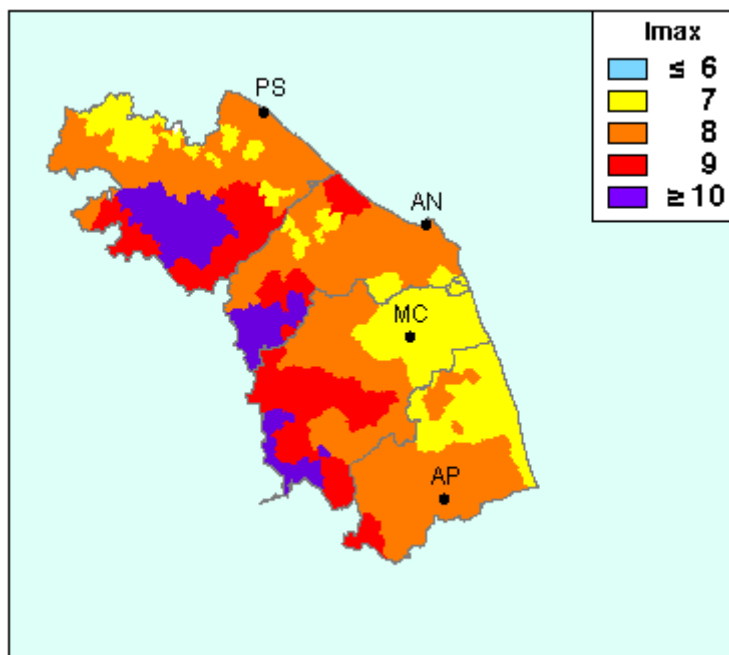
**STUDI ED INDAGINI – SISMICA – RELAZIONE SISMICA**

4-5	2000 09 02 05 17 0	Appennino umbro-marchigiano	115	5	4.40
NF	2003 05 25 17 15 1	Ascolano	88	4-5	3.81
NF	2004 12 09 02 44 2	Teramano	213	5	4.09
2	2005 04 12 00 31 5	Maceratese	131	4	3.74
2-3	2005 12 15 13 28 3	Val Nerina	350	5	4.14
4-5	2006 04 10 19 03 3	Maceratese	211	5	4.06
4	2006 10 21 07 04 1	Anconetano	287	5	4.21
5-6	2016 08 24 01 36 3	Monti della Laga	221	10	6.18
F	2017 01 18 10 14 0	Aquilano	280		5.70



Di seguito si riporta una mappa con le massime intensità macrosismiche osservate nella Regione Marche (Dipartimento della Protezione Civile 1996), in cui si può osservare come la massima intensità macrosismica registrata per il comune di Macerata sia  $I_{max} = 7$ .

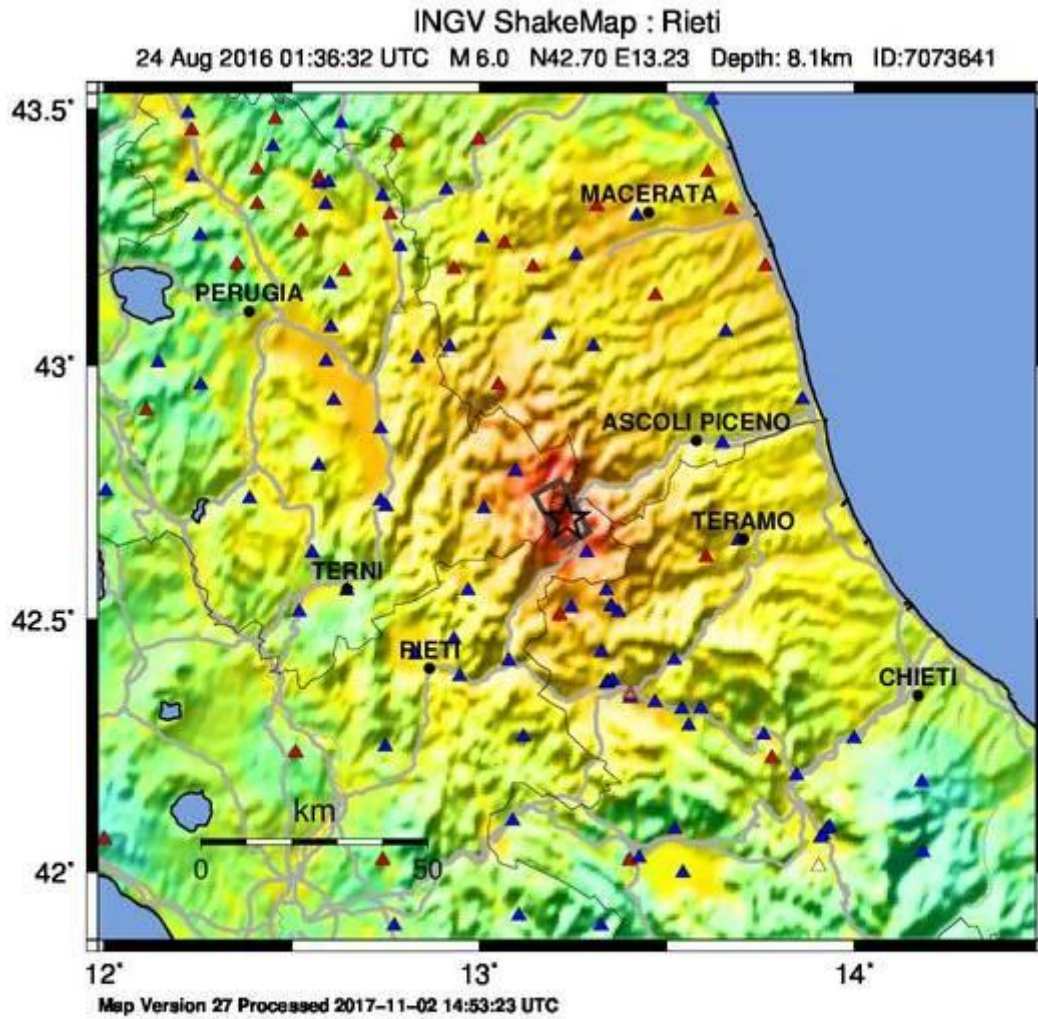
PROGETTAZIONE ATI:



[http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE\\_PROVINCE/11.html](http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE_PROVINCE/11.html)

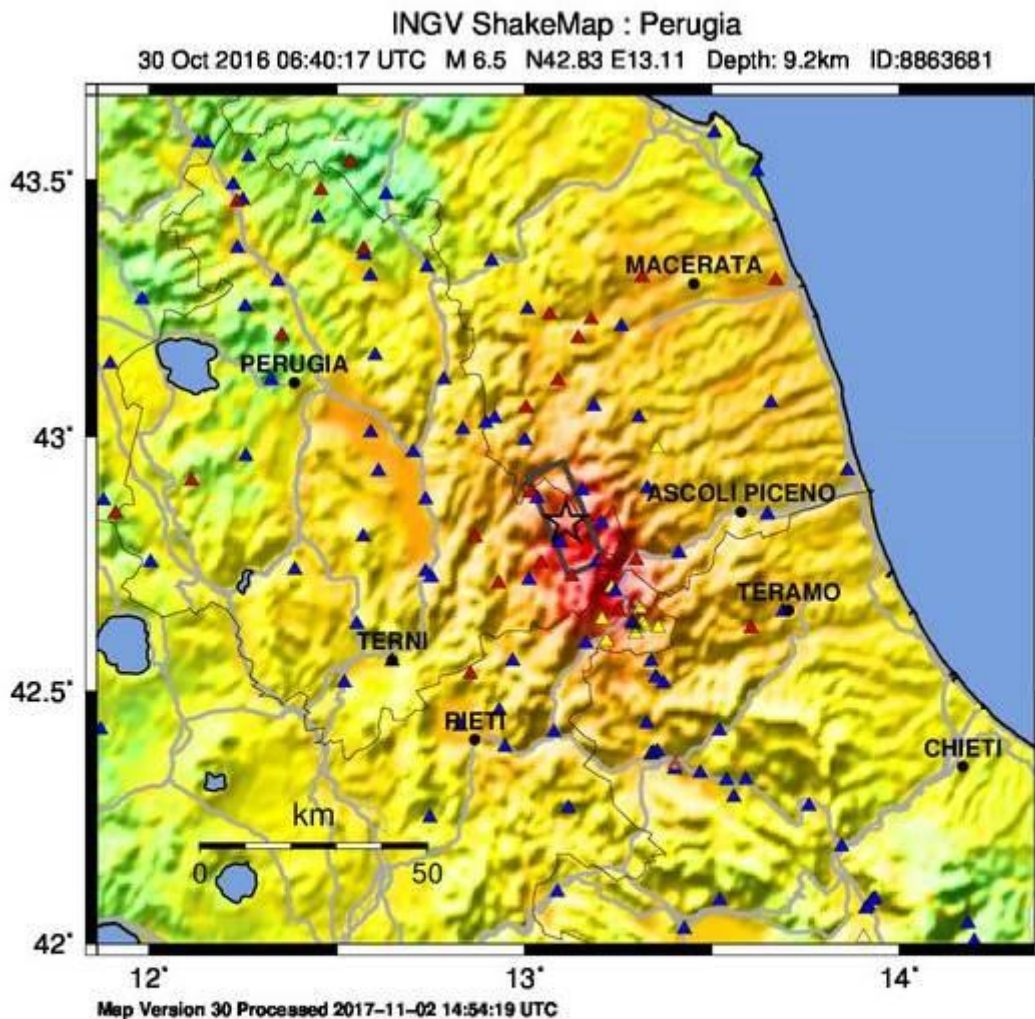
Di seguito si riportano le ShakeMap tratte dall'INGV per gli eventi sismici estremi del 24 Agosto 2016 e 30 Ottobre 2016 (<http://shakemap.rm.ingv.it/shake/archive/2016.html>).

PROGETTAZIONE ATI:



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Faenza and Michellini, 2010, 2011



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Faenza and Michelini, 2010, 2011

### 6.3. AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE

Il Comune di Macerata, come richiesto dall'Ordinanza N°24 del 12/05/2017 del Commissario Straordinario ricostruzione sisma 2016, ha redatto studi di microzonazione sismica di Livello 1 e successivi approfondimenti di Livello 3.

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (MS1), già effettuato nel Comune di Macerata nell'anno 2013, rappresenta un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

PROGETTAZIONE ATI:

La carta delle MOPS è di estrema importanza ai fini delle scelte di pianificazione territoriale, rappresentando uno strumento che consente di dare informazioni sintetiche ottenute dalla sovrapposizione di informazioni di dati geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici attraverso la suddivisione del territorio in zone che presentano un medesimo potenziale di suscettibilità o meno a fenomeni di amplificazione locale indotto dal sisma. La carta evidenzia perciò ambiti omogenei dove si può prevedere l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica come amplificazioni, instabilità e liquefazione.

Lo studio di MS ha permesso l'individuazione delle seguenti zone omogenee:

1. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali in cui il moto sismico è modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di suolo, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio.
2. Zone di attenzione per le instabilità in cui i terreni sono suscettibili di attivazione di fenomeni di deformazione permanente del territorio a seguito di un evento sismico.

### **Aree stabili suscettibili di amplificazioni locali**

- **ZONA 2001:** Depositi alluvionali del Fiume Potenza e del Fiume Chienti. Sono caratterizzati superiormente dalla presenza di terreni alluvionali principalmente medio-fini (limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose) per uno spessore variabile dai 3 agli 8 m. Inferiormente tali depositi (spessore massimo di circa 15 m) sono rappresentati da materiale grossolano, ghiaie, ghiaie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie argillose, ghiaie sabbiose argillose, dove a luoghi si possono avere intercalazioni di materiale più fine di origine limosa. Trattasi di terreni poco o per nulla consolidati, da sciolti a poco addensati e/o poco consistenti. Tali depositi poggiano su un substrato argilloso pliocenico;
- **ZONA 2002:** Coincidono con le zone alluvionali di IV° ordine del Fiume Potenza e del Fiume Chienti. Depositi alluvionali caratterizzati da livelli di ghiaie pulite con granulometria ben assortita, ghiaie limose, miscela di ghiaie e limo con spessori variabili dai 10 ai 20 m, che sovrastano un substrato coesivo sovraconsolidato ascrivibile alla Litofacies pelitica della Formazione delle Argille Azzurre;
- **ZONA 2003:** Zone dove sono presenti accumuli di terreno recente dovuti alle attività antropiche (riporti), per uno spessore variabile dai 3 agli 11 m circa. Trattasi principalmente di limi, limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie con ghiaietto frammisto con laterizi e materiali di origine antropica. Alla base del terreno di riporto si individuano livelli colluviali di limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità oppure argille sabbiose e/o argille limose con uno spessore massimo di circa 8 m. Al disotto di tali terreni di copertura si ha un substrato geologico caratterizzato da alternanza di litotipi stratificato, ascrivibile alla Formazione delle Argille Azzurre;
- **ZONA 2005:** Depositi eluvio-colluviali prodotti del dilavamento e depositati sul fondo di aree depresse recenti ma anche alla base di antichi fondivalle, rilevati prevalentemente nelle aree a sud ovest dell'abitato di Macerata. Depositi alluvionali fini relativi a due lembi di terrazzo rilevati nell'estrema porzione nord-orientale di Macerata Capoluogo. In generale, tali depositi sono prevalentemente caratterizzati da argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose con spessori vari che possono raggiungere anche i 20 m. La consistenza è varia passando da poco consistenti nei depositi più recenti a consistenti fino a molto consistenti nei depositi più antichi profondi. Essi poggiano su un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato e su alternanze di litotipi stratificati;
- **ZONA 2006:** Depositi fini eluvio-colluviali e/o di terrazzo fluviale rilevati in gran parte del territorio di Macerata. Essi sono formati prevalentemente da limi, limi argillosi, limi argilloso sabbiosi e la loro consistenza è varia passando da poco consistenti nei depositi

più recenti a consistenti fino a molto consistenti nei depositi più antichi e profondi.

Mediamente tali depositi hanno uno spessore di circa 7-10 m, ma possono raggiungere spessori dell'ordine di 20-35 m. Essi poggiano su un substrato caratterizzato da un'alternanza di litotipi stratificati (pelitico-arenacei, arenaceo-pelitici) o su un substrato coesivo pelitico;

- **ZONA 2007:** Substrato geologico. Alternanze di litotipi stratificati in affioramento e/o sottostanti le unità della copertura (quest'ultime con spessore inferiore ai 3 m), caratterizzate da VS inferiore a 800 m/s. Gli esigui terreni di copertura sono costituiti principalmente da sedimenti argilloso-limoso e/o limoso-sabbiosi. Tale substrato geologico è ascrivibile alla Formazione delle Argille Azzurre (Litofacies pelitico-arenacea e Litofacies arenaceo-pelitica);
- **ZONA 2008:** Substrato geologico. Coesivo sovraconsolidato stratificato in affioramento e/o sottostante le unità della copertura (quest'ultime con spessore inferiore ai 3 m), caratterizzato da VS inferiore a 800 m/s. Gli esigui terreni di copertura sono costituiti principalmente da sedimenti argilloso-limoso e/o limoso-sabbiosi. Tale substrato geologico è ascrivibile alla Formazione delle Argille Azzurre – Litofacies pelitica.

### Arete di attenzione per le instabilità

- **Zone di attenzione per instabilità di versante:** coincidono con le aree cartografate in frana nella Carta Geologico - Tecnica.

## **7. SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE LOCALE**

Per la valutazione dello spettro di risposta elastico (componente orizzontale e componente verticale) dell'area investigata si è fatto riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

### **7.1. AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA**

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico S riportati nella tabella seguente in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento. La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base, dove ST assume valore unitario.

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

**Tabella 7.1 – Categorie topografiche**

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera	ST
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

**Tabella 7.2 - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST (la variazione spaziale di ST è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo dalla sommità fino alla base dove ST=1,0).**



Lungo il tracciato stradale in progetto è stata considerata la categoria topografica **T1** per il tratto di piana alluvionale tra Allaccio SS77 – La Pieve, ed una categoria **T2** nel tratto caratterizzato da una morfologia collinare tra La Pieve – Rotatoria Mattei.

### 7.2. AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  valgono 1. Per le categorie di sottosuolo **B, C, D** ed **E** i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella tabella seguente, nelle quali  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità e  $T_C^*$  è espresso in secondi.

Categoria di sottosuolo	SS	CC
<b>A</b>	1.00	1.00
<b>B</b>	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
<b>C</b>	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
<b>D</b>	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.5}$
<b>E</b>	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

**Tabella 7.3 - Valori dei coefficienti SS e Cc, per ciascuna categoria di sottosuolo**

Nei sondaggi SD1PZ e BH02-DH, sono state realizzate 2 prove sismiche di tipo Down Hole, in cui è stata verificato che il substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s, ha profondità superiore a 30 m.

Per quanto riguarda la Categoria di sottosuolo, nell'area del sottopasso con la SS77 e del Ponte Chienti, in base alle prove sismiche down hole eseguite nei fori di sondaggio BH02-DH e SD1PZ, si è ritenuto opportuno effettuare un'analisi di risposta sismica locale al fine di determinare gli effetti di amplificazione stratigrafica. Tale analisi è riportata nel dettaglio nel Capitolo 8.

Lungo il tracciato sono state eseguite 6 prospezioni sismiche a rifrazione in termini di  $V_S$  e  $V_p$ , ed anche per queste prove non è stato individuato il bedrock sismico nei primi trenta metri di profondità. La categoria di sottosuolo ricavabile dall'analisi dei dati delle prove eseguite indica un suolo di categoria B per l'area della Pieve, mentre per il resto del tracciato una categoria di tipo C, confermata dai risultati della prova MASW, eseguita in prossimità della rotatoria Mattei, che ha confermato che il substrato sismico ha profondità  $>30 \text{ m}$  con una velocità delle  $V_{SEq}$  pari a circa 319 m/sec.

### 7.3. VITA NOMINALE

La vita nominale di progetto VN di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella seguente; tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di VN (anni)
Costruzioni temporanee e provvisorie	10

PROGETTAZIONE ATI:

Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

**Tabella 7.4 - Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

Nel caso del presente intervento si considera "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari";  
**VN =50 anni.**

#### 7.4. CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con lo scopo di valutare le conseguenze di una interruzione di operatività assegnata o di un eventuale collasso della struttura, le costruzioni sono catalogate in 4 classi d'uso a cui corrisponde un valore del coefficiente d'uso  $C_u$  per la definizione dell'azione sismica; in particolare, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise nelle classi d'uso così definite:

- *Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*
- *Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*
- *Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*
- *Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

CLASSE D'USO				
Classe	I	II	III	IV
Coefficiente $C_u$	0.7	1	1.5	2

**Tabella 7.5 - Parametri per il calcolo del coefficiente d'uso ( $C_u$ ).**

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

$$\underline{C_u = 2.0}$$

## 7.5. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d'uso CU; pertanto, con riferimento a quanto esposto ai paragrafi precedenti risulta che:

$$\underline{V_R = V_n \text{ (Vita nominale)} \times C_u \text{ (Classe d'uso)} = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}}$$

## 7.6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Si riporta di seguito la verifica di stabilità nei confronti della liquefazione.

Le NTC18, al §7.11.3.4.2 contengono una lista delle condizioni di esclusione di tale verifica:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

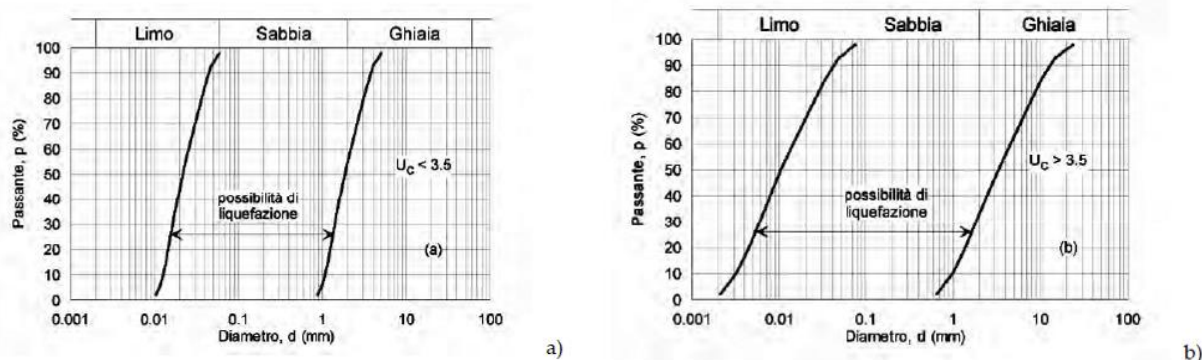
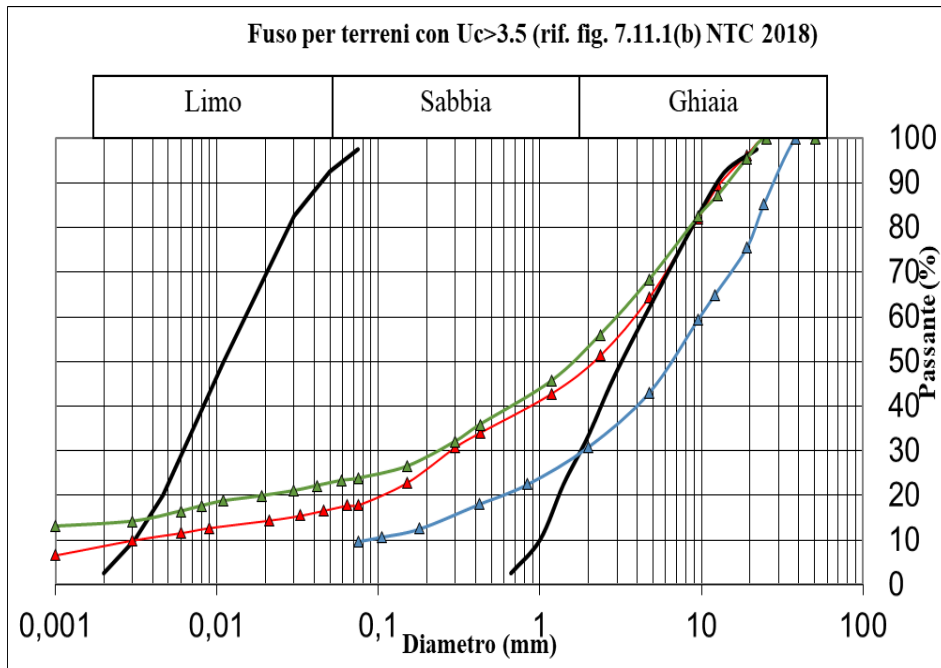


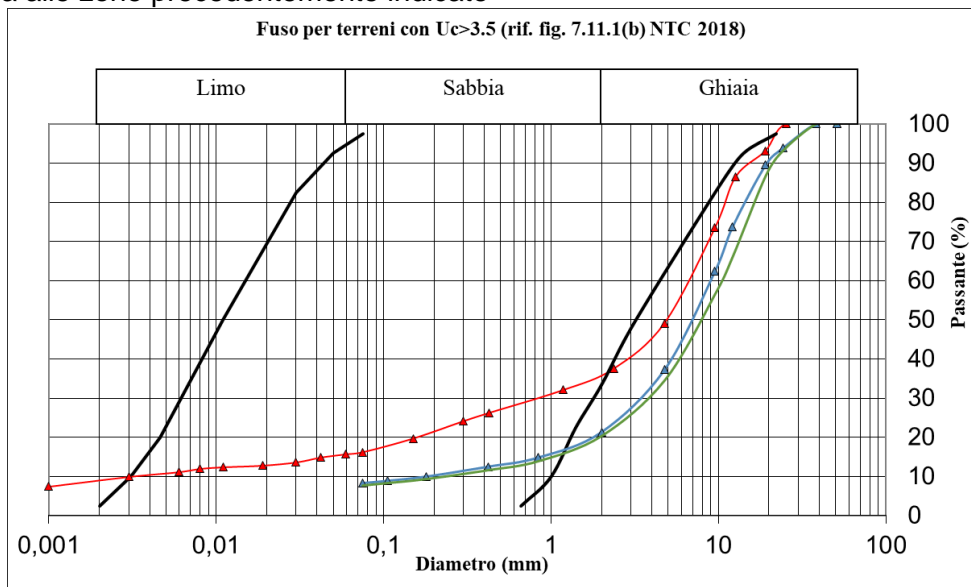
Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

E' possibile escludere dalla verifica le unità geotecniche individuate dallo studio geotecnico, per i seguenti motivi:

- GSLA1: la distribuzione granulometrica dei campioni prelevati all'interno di questa unità è esterna alle zone precedentemente indicate;



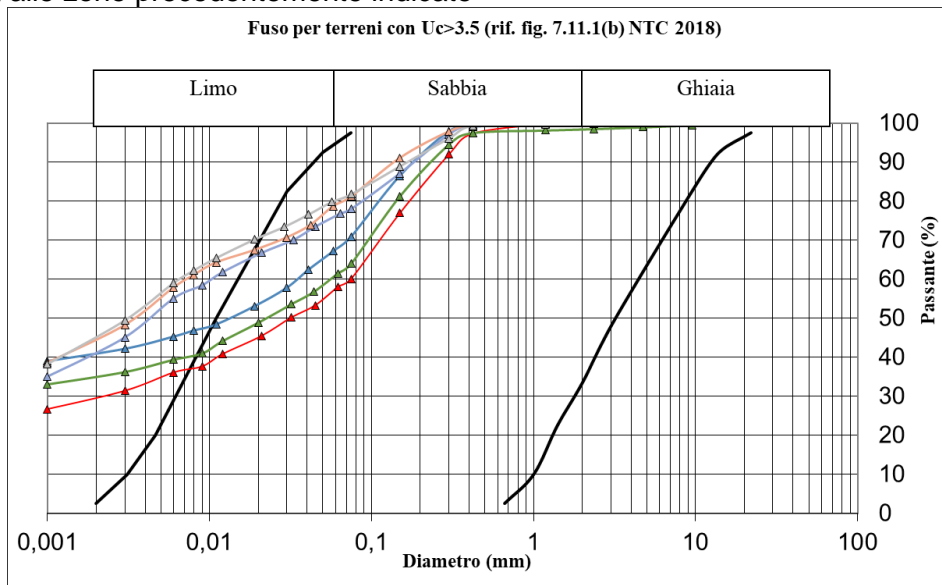
- GSLA2: questa unità geotecnica è presente unicamente al di sopra della falda;
- GS: la distribuzione granulometrica dei campioni prelevati all'interno di questa unità è esterna alle zone precedentemente indicate



- SL: dall'analisi granulometrica dei campioni prelevati nei pozzetti e nei sondaggi si manifesta la presenza di una frazione fine (limo + argilla) pari a minimo 35%
- LS1 dall'analisi granulometrica dei campioni prelevati nei pozzetti e nei sondaggi si manifesta la presenza di una frazione fine (limo + argilla) pari a minimo 35%
- LS2 dall'analisi granulometrica dei campioni prelevati nei pozzetti e nei sondaggi si manifesta la presenza di una frazione fine (limo + argilla) pari a minimo 35%
- AMA: dall'analisi granulometrica dei campioni prelevati nei pozzetti e nei sondaggi si manifesta la presenza di una frazione fine (limo + argilla) pari a minimo 35%
- LS3 dall'analisi granulometrica dei campioni prelevati nei pozzetti e nei sondaggi si manifesta la presenza di una frazione fine (limo + argilla) pari a minimo 35%

PROGETTAZIONE ATI:

- LS4: la distribuzione granulometrica dei campioni prelevati all'interno di questa unità è esterna alle zone precedentemente indicate

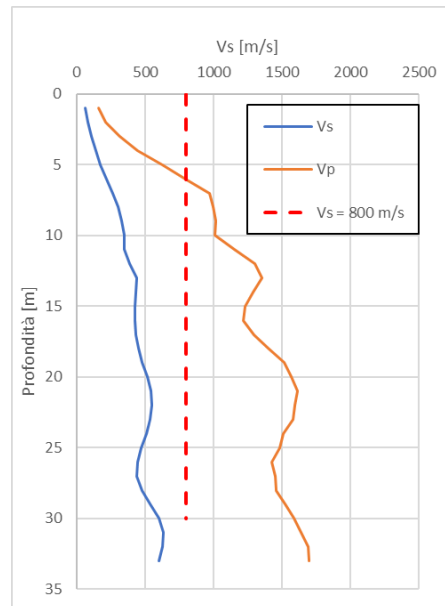


PROGETTAZIONE ATI:

## 8. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

In questo capitolo è illustrato il processo di determinazione degli effetti di amplificazione stratigrafica per quanto riguarda l'area del sottopasso sulla SS77 e del Ponte Chienti.

La necessità di eseguire tale studio deriva dall'osservazione dei risultati ottenuti dalla prova "Down Hole" eseguita nel foro di sondaggio SD1PZ, situati in prossimità della spalla 2 del Ponte Chienti.



**Figura 8.1 – Profilo delle velocità di propagazione delle onde S ( $V_s$ ) e P ( $V_p$ ) ottenuti dalla prova Down Hole eseguita nel foro SD1PZ**

La Figura 8.1 mostra i profili di velocità di propagazione delle onde S e P, insieme alla soglia di  $V_s = 800$  m/s, ottenuti dalla prova Down Hole eseguita nel foro di sondaggio SD1PZ. Osservando il profilo delle  $V_s$  si nota che, alle profondità comprese tra 22 m e 28 m, non si evince una chiara tendenza di aumento delle  $V_s$  con la profondità. Per tale motivo non si ritiene applicabile l'approccio semplificato proposto dall'attuale norma tecnica D.M. 2018 per l'individuazione della categoria di sottosuolo (§3.2.2).

### 8.1. METODO DI CALCOLO

L'analisi di risposta sismica locale è stata eseguita nei confronti dello S.L.V. (Stato Limite ultimo per la salvaguardia della Vita) e dello S.L.C. (Stato limite di prevenzione del Collasso).

Tali analisi sono state condotte con l'ausilio di codici di calcolo che simulano la propagazione delle onde sismiche all'interno di un deposito di terreno, dalla sottostante formazione rocciosa (*bedrock*) fino in superficie. L'analisi consente la valutazione del moto sismico cosiddetto "free field" (condizioni di "campo libero" ossia in assenza di manufatto) definito fino all'effettivo piano di posa delle fondazioni delle opere in questione, considerando il reale sottosuolo presente al di sotto di esse.

Per il problema in esame è sufficiente eseguire un'analisi condotta con riferimento a una geometria monodimensionale, che consente la valutazione degli effetti di amplificazione stratigrafica. Per quanto riguarda gli effetti di amplificazione topografica, si ritengono applicabili i coefficienti proposti dall'attuale norma tecnica (D.M. 17/01/2018).

Dai risultati di questo tipo di analisi è possibile ricavare lo spettro di risposta delle accelerazioni orizzontali.

Per la determinazione dello spettro di risposta delle accelerazioni verticali, è stato applicato il metodo approssimato proposto da Zaho & Horike (2003). Il metodo consiste nell'ipotizzare che il rapporto tra gli spettri di Fourier delle accelerazioni orizzontali e verticali sia lo stesso di quello che si ottiene da una prova HVSR. Ricavato lo spettro di Fourier della componente verticale è possibile, attraverso l'antitrasformata di Fourier, ricostruire la storia temporale delle accelerazioni verticali e, di conseguenza, calcolare lo spettro di risposta delle accelerazioni verticali.

La bontà di tale metodo è stata verificata, oltre che dagli autori, anche da altri ricercatori (e.g. Peruzzi & Albarello, 2016).

L'analisi di risposta sismica locale è stata eseguita con il codice di calcolo DEEPSOIL v.6.1 (Y. Hashash, 2014) secondo le indicazioni riportate al capitolo 7.11.3.1 del D.M. 17/01/2018 e della Circolare. In particolare, si è adottato l'approccio lineare equivalente, utilizzando un modello costitutivo visco-elastico lineare.

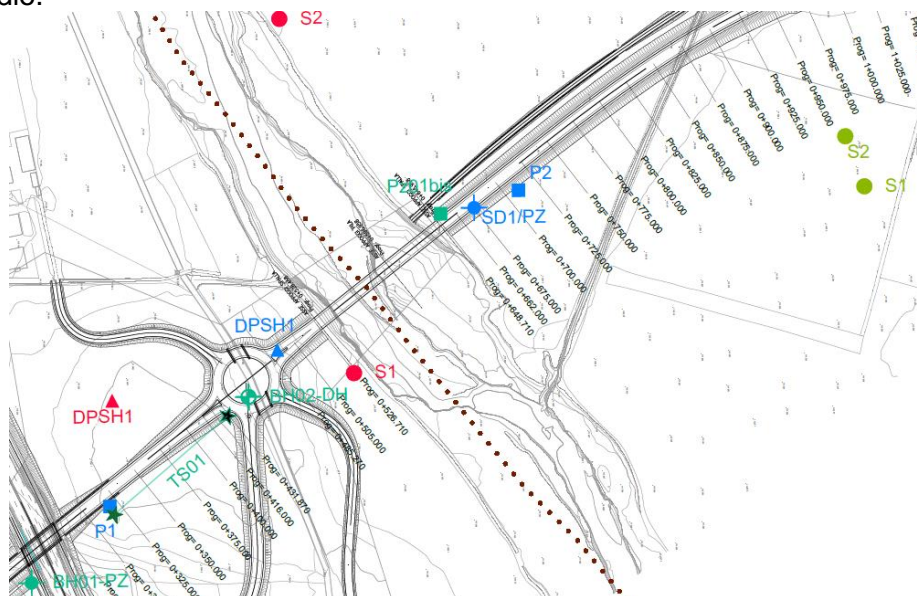
## 8.2. INDAGINI E INFORMAZIONI DI BASE

Con riferimento a quanto riportato nel Paragrafo 7.11.3 del D.M.17/01/2018, le indagini geotecniche volte all'analisi di risposta sismica locale, a rigore, devono consentire la definizione delle condizioni sismo-stratigrafiche di sottosuolo, le proprietà fisiche e meccaniche degli strati del terreno e la profondità del substrato rigido.

A tal fine le indagini eseguite per il sito in esame consistono in:

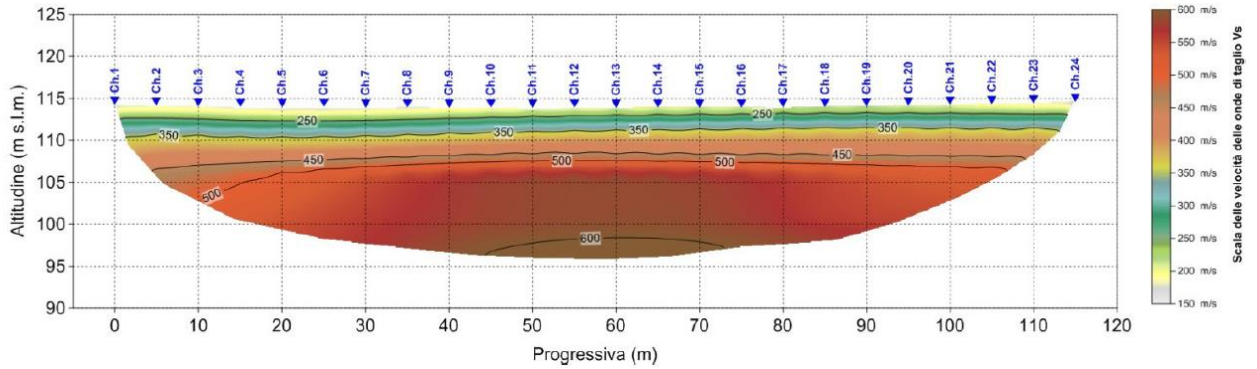
- n. 4 sondaggi a carotaggio (S1 e S2 – campagna del 2004; SD1PZ – campagna del 2006; BH02-DH – campagna del 2019);
- n. 2 Prova down hole eseguite nei fori SD1PZ e BH02-DH;
- n° 1 Stesa sismica a rifrazione tomografica;
- n° 2 Prove penetrometriche DPSH

La Figura 8.2 mostra uno stralcio della planimetria delle indagini geognostiche eseguite nell'area oggetto di studio.

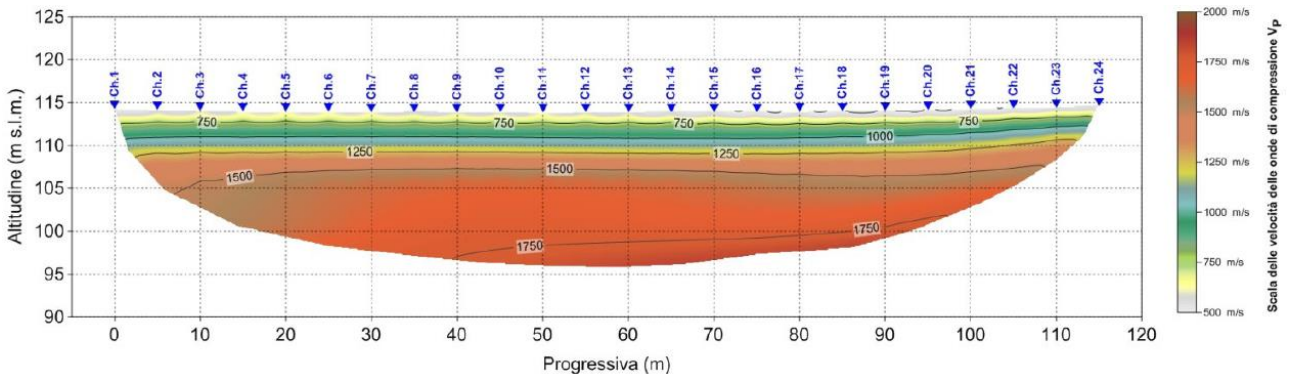


**Figura 8.2 Stralcio della planimetria delle indagini per il sito di studio.**

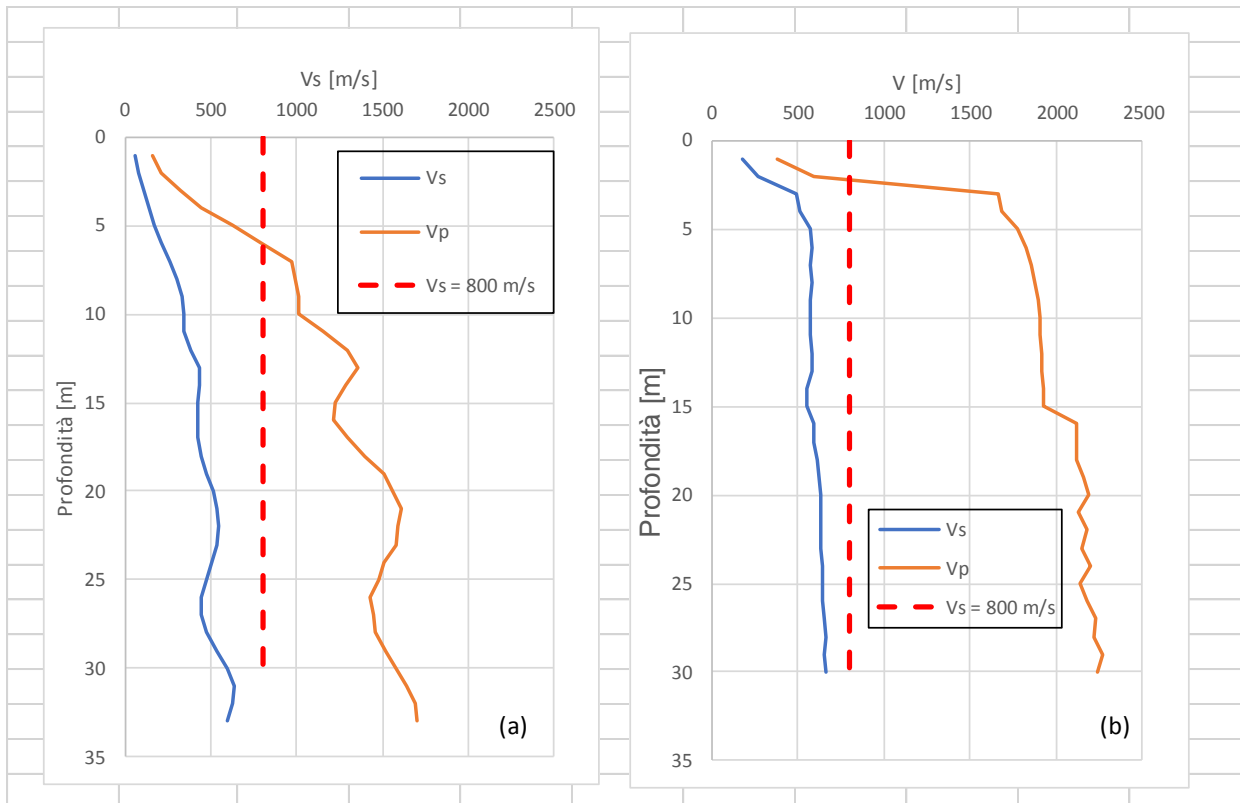
Le figure seguenti mostrano le risultanze delle indagini geofisiche disponibili.



**Figura 8.3 Elaborazione con tecnica tomografica (Velocità Onde S) – TS01**



**Figura 8.4 Elaborazione con tecnica tomografica (Velocità Onde P) – TS01**



**Figura 8.5 Profilo di velocità di propagazione delle onde P ed S ottenuto dalle prove down hole: (a) SD1PZ; (b) BH02-DH**

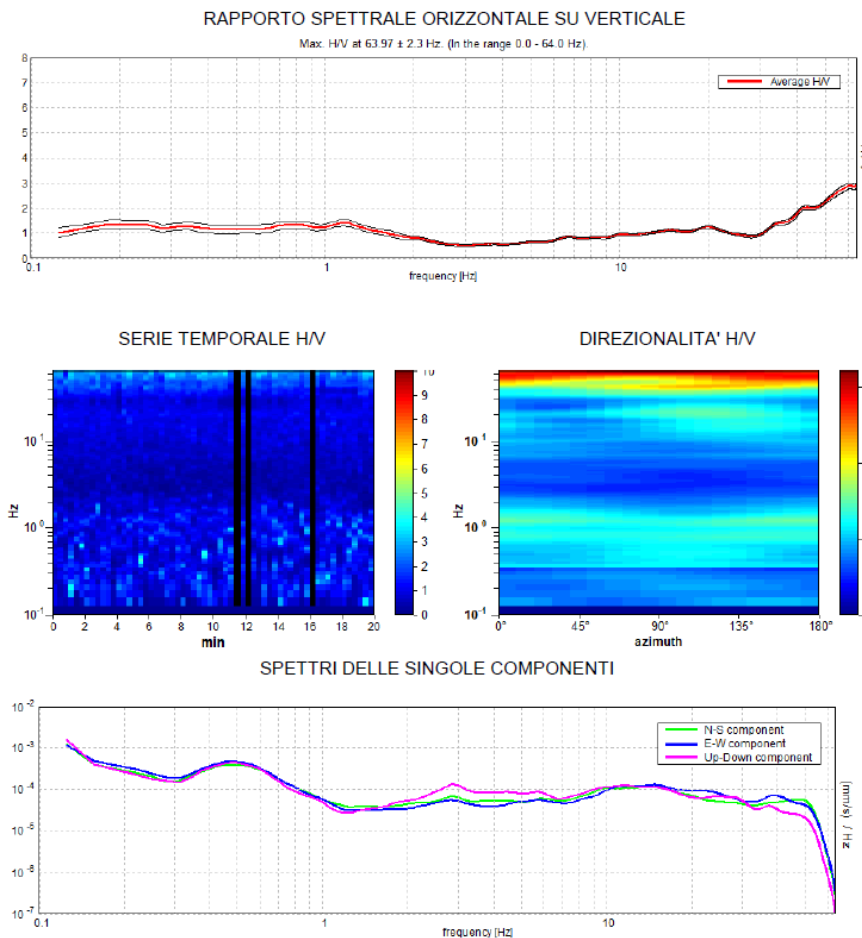
PROGETTAZIONE ATI:



Inoltre, per l'applicazione del metodo semplificato è necessario disporre di prove HVSR. Nell'area oggetto di studio sono disponibili i risultati di tali prove eseguite, per i comuni del centro Italia colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016, successivamente all'ordinanza n° 24 del 12 maggio 2017 del Commissario Straordinario. Nello specifico è stata utilizzata la prova N° 043023P334-HVSR371. Le Figura 8.6 e Figura 8.9 mostrano rispettivamente uno stralcio della planimetria della zona con l'ubicazione e i risultati della prova HVSR utilizzata in questo studio.



**Figura 8.6 - Stralcio planimetrico dell'ubicazione della prova HVSR**



**Figura 8.7 - Risultati della prova HVSR**

PROGETTAZIONE ATI:

### 8.3. DEFINIZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO DI SOTTOSUOLO

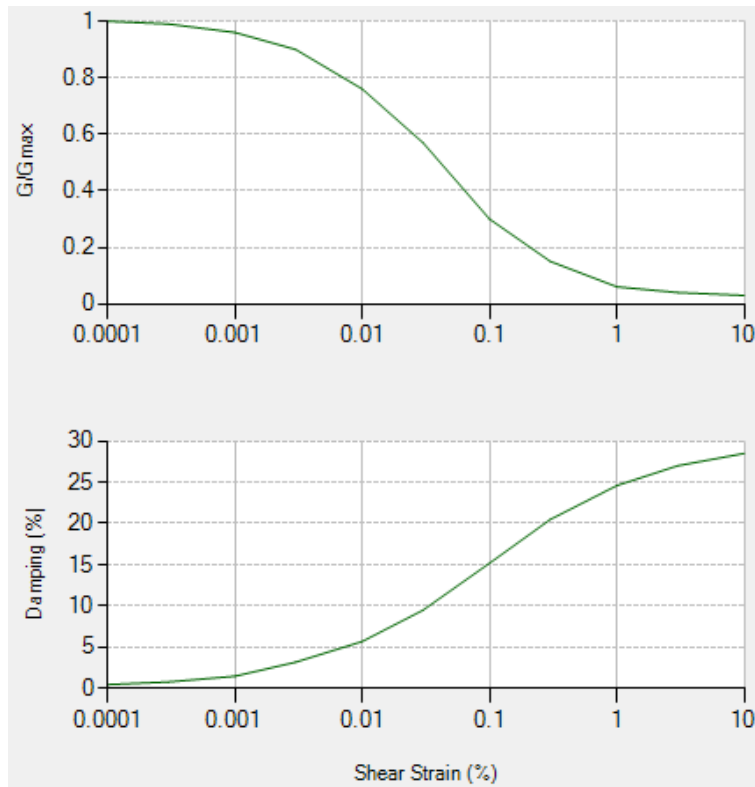
Il sito ricade nella categoria topografica T1, secondo quanto riportato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC18) al paragrafo 3.2.2 e pertanto gli effetti topografici possono essere trascurati (NTC18, paragrafo 7.11.3.3) nell'analisi di risposta sismica locale oggetto del presente studio.

È stato considerato uno schema di terreno stratificato, delimitato dal piano campagna orizzontale e poggiante su substrato rigido anch'esso orizzontale, posto a una profondità di 50 m. Tale valore è stato dedotto basandosi sullo studio di microzonazione sismica disponibile per i comuni del centro Italia colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016 così come previsto con l'ordinanza n° 24 del 12 maggio 2017 del Commissario Straordinario.

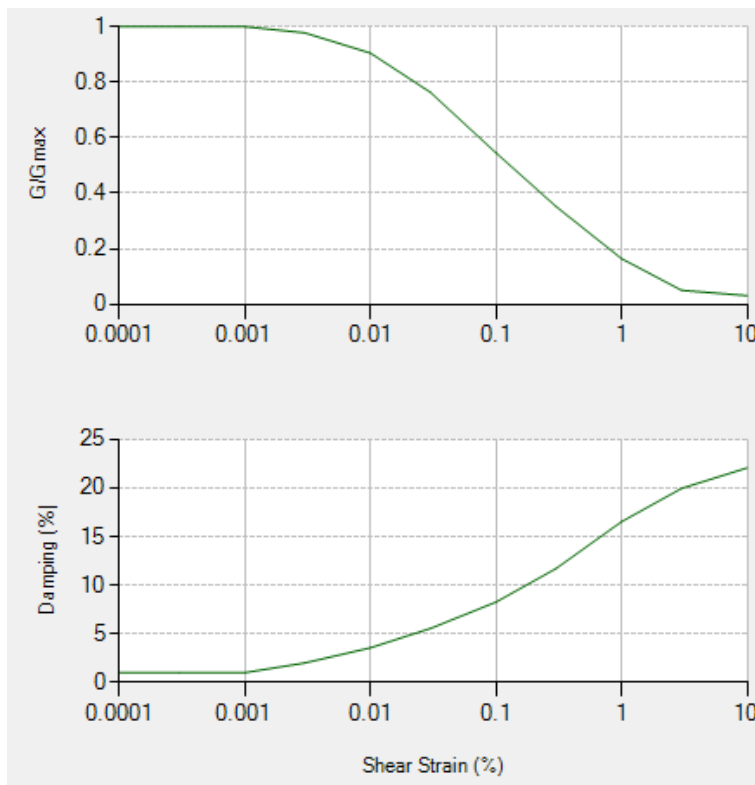
Il modello geotecnico del sottosuolo del sito in esame, a partire dal piano campagna, è stato schematizzato come un sistema a più strati, ottenuto sulla base del profilo geotecnico. Le unità presenti nella zona sono:

- LS3 – caratterizzato da un peso di volume pari a  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  e una curva di decadimento della rigidezza a taglio proposta da Vucetic & Dobry (1991), valida per materiali a grana fine e un indice di plasticità di circa 30%;
- GSLA1 – caratterizzato da un peso di volume pari a  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  e una curva di decadimento della rigidezza a taglio proposta da Seed & Idriss (1991), valida per materiali a grana grossa;
- GS – caratterizzato da un peso di volume pari a  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  e una curva di decadimento della rigidezza a taglio proposta da Seed & Idriss (1991), valida per materiali a grana grossa;
- AMA – caratterizzato da un peso di volume pari a  $\gamma = 20.5 \text{ kN/m}^3$  e una curva di decadimento della rigidezza a taglio proposta da Vucetic & Dobry (1991), valida per materiali a grana fine e un indice di plasticità di circa 30%;

Si riportano le curve di decadimento adottate per questa analisi:



**Figura 8.8 - Curva di decadimento della rigidità a taglio normalizzata e dello smorzamento proposta da Vucetic & Dobry (1991) per terreni a grana fina e un indice di plasticità pari a 30%**



**Figura 8.9 - Curva di decadimento della rigidità a taglio normalizzata e dello smorzamento proposta da Seed & Idriss (1991) per terreni a grana grossa**

PROGETTAZIONE ATI:

Nel modello si è ipotizzato che alla base del deposito sia presente un substrato avente comportamento visco-elastico lineare, caratterizzato da un peso di volume pari a  $21 \text{ kN/m}^3$ , un coefficiente di smorzamento pari al 10% e una velocità di propagazione delle onde S pari a  $800 \text{ m/s}$ .

Di seguito si riporta la schermata del software con l'indicazione della stratigrafia utilizzata:

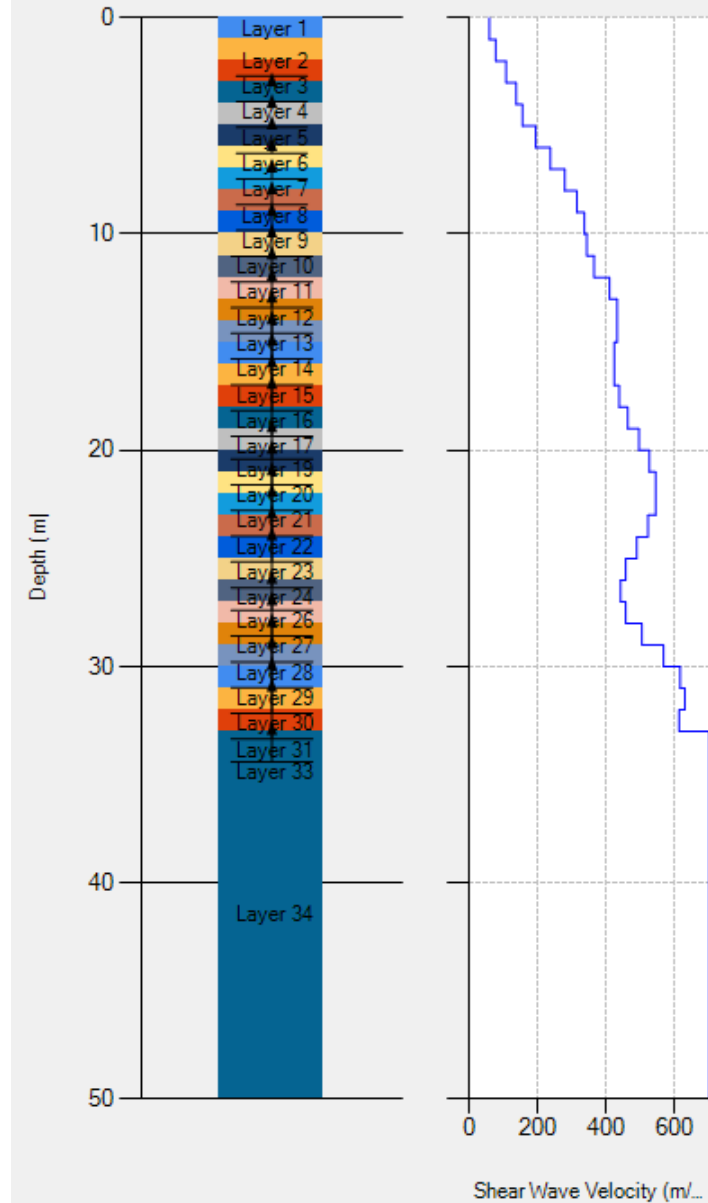


Figura 8.10 – Profilo delle velocità di propagazione delle onde S adottato per l'analisi

#### 8.4. DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE IN INGRESSO

L'input sismico, rappresentativo del moto atteso sul sito di riferimento rigido e utilizzato nelle analisi, è composto da 7 accelerogrammi riferiti a terremoti naturali spettro-compatibili, ricercati assegnando uno spettro di risposta rappresentativo della sismicità del sito d'interesse, con l'ausilio del codice di calcolo REXEL v. 3.5.

PROGETTAZIONE ATI:

### 8.4.1. SEGNALI UTILIZZATI PER SLV

Si riporta una schermata del software con i dati di input utilizzati:

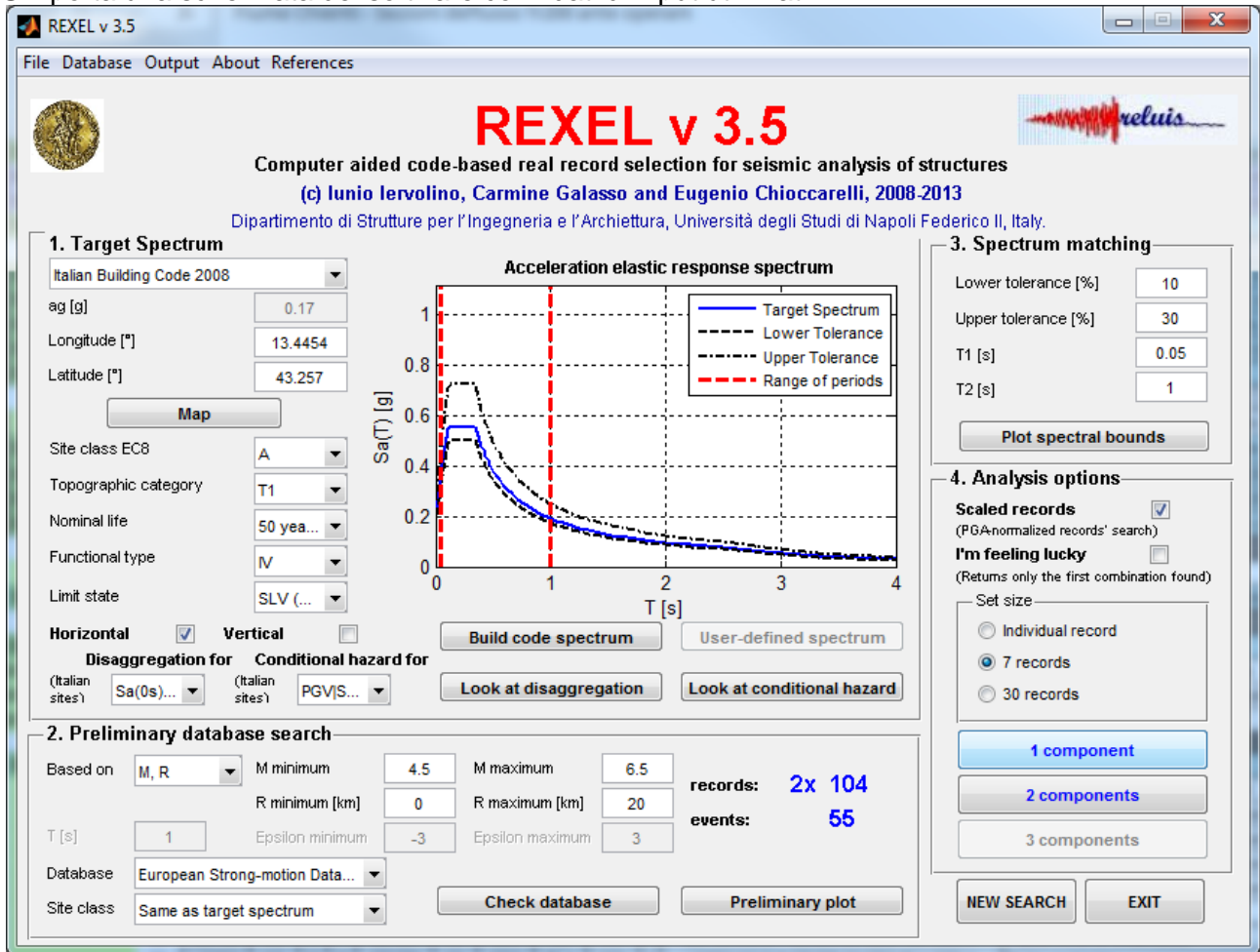


Figura 8.11: Stralcio della schermata di Rexel

Si riporta il risultato dell'analisi di disaggregazione dei dati, ottenuta tramite il programma Rexel:

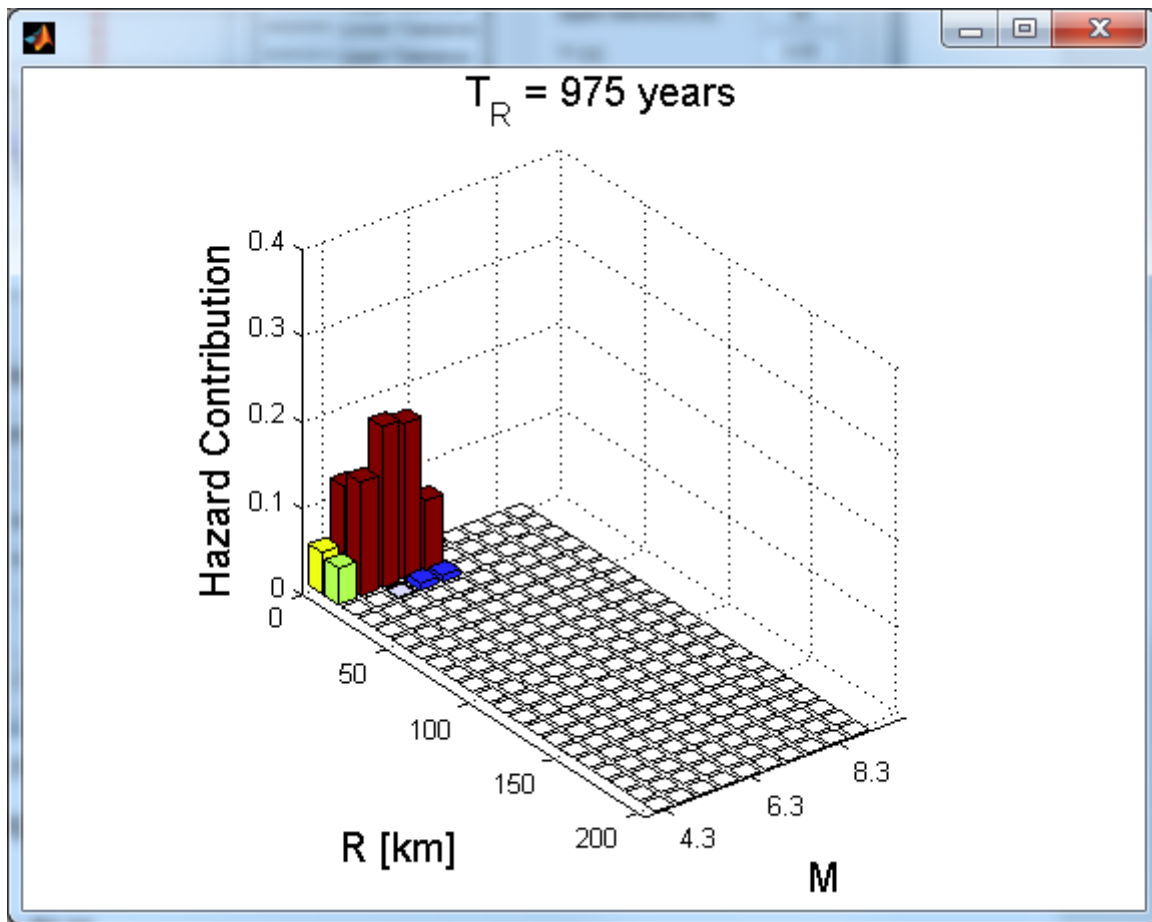


Figura 8.12: Risultati dell'analisi di disaggregazione dei dati

Si riporta il riepilogo delle caratteristiche degli accelerogrammi individuati:

Tabella 8.1: Riepilogo degli accelerogrammi individuati

Earthquake ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Y [m/s <sup>2</sup> ]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
2309	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178	0.336	0.2097	7.3341	8.4263	0.64556	0.85171	A
1464	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	18	0.1325	0.2386	0.0105	0.0193	5.2737	2.6775	0.86643	0.68945	A
2142	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	6	5.1881	5.5698	0.218	0.8303	6.6884	2.0632	0.70838	0.69452	A
2142	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	15	1.2481	1.1322	0.1659	0.1083	6.4075	7.0906	0.78039	0.61902	A
360	Umbria Marche (aftershock)	09/11/1997	4.9	normal	7	0.4634	0.6521	0.0215	0.0214	8.3682	5.041	0.67857	0.47743	A
72	Friuli (aftershock)	16/09/1977	5.4	thrust	11	0.6393	0.9099	0.0485	0.0713	8.3679	9.0346	0.44466	0.50863	A
2142	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	20	0.5044	1.0258	0.0876	0.1066	4.7834	3.5637	1.2513	0.95109	A
mean:			5.885714286		13	1.8896	1.778028571	0.126857143	0.195271429	6.746171429	5.413842857	0.767899594	0.684552012	

Si riporta la verifica di spettro-compatibilità degli accelerogrammi selezionati con riferimento allo spettro di risposta in accordo al D.M. 17/01/2018. Lo spettro di risposta elastico di riferimento è quello da normativa ottenuto per una categoria di sottosuolo A con coefficiente topografico T1:

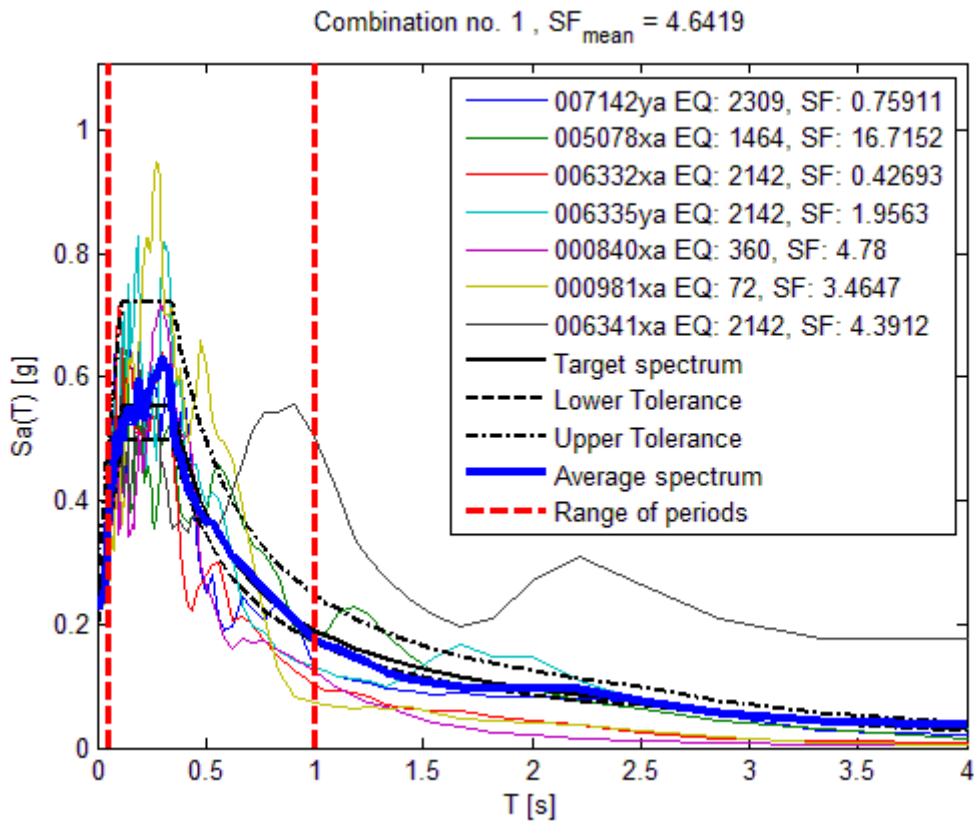


Figura 8.13: Verifica di spettro-compatibilità degli input sismici considerati

Di seguito si riportano gli input sismici considerati (da Figura 8.14 a Figura 8.20) resi spettro-compatibili attraverso un opportuno fattore di scala (FS).

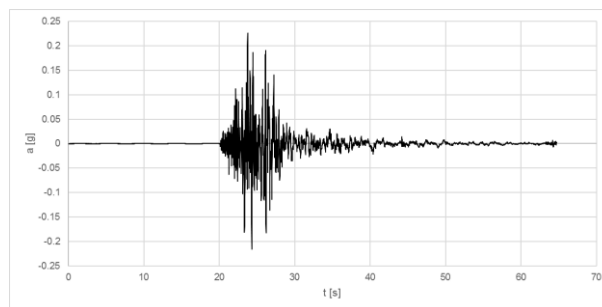
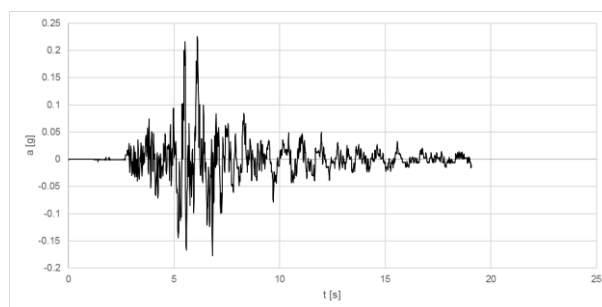
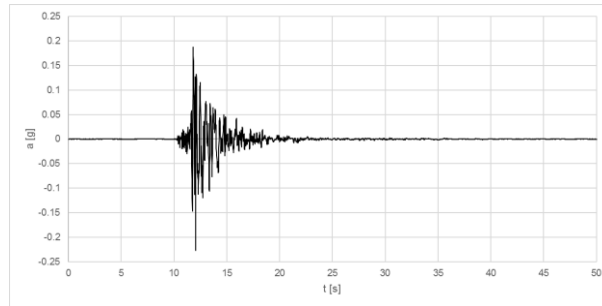


Figura 8.14: Accelerogramma 1 – FS = 0.75911

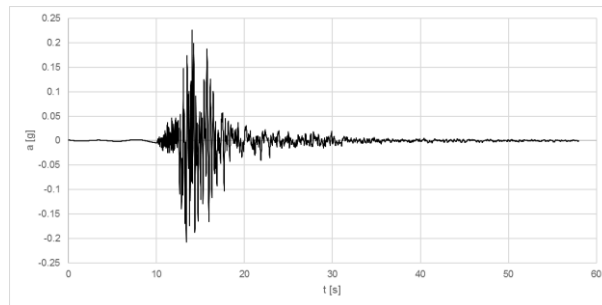


PROGETTAZIONE ATI:

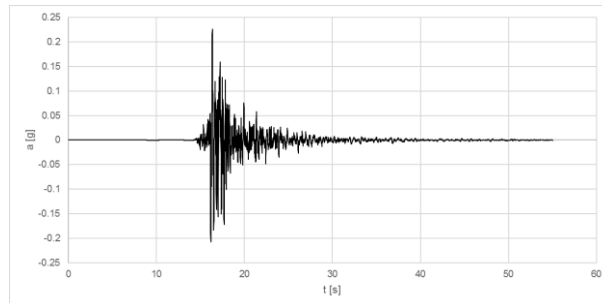
**Figura 8.15: Accelerogramma 2 – FS = 16.7152**



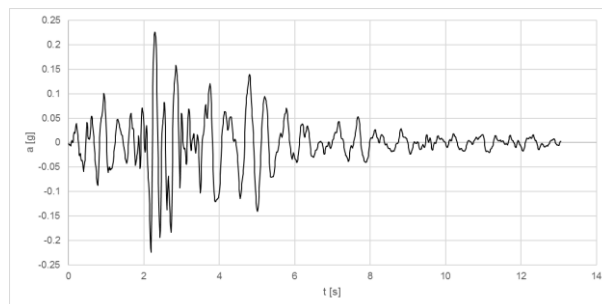
**Figura 8.16: Accelerogramma 3 – FS = 0.42693**



**Figura 8.17: Accelerogramma 4 – FS = 1.9563**



**Figura 8.18: Accelerogramma 5 – FS = 4.78**



**Figura 8.19: Accelerogramma 6 – FS = 3.4647**

PROGETTAZIONE ATI:



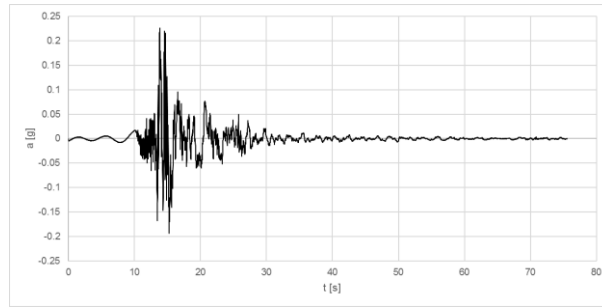


Figura 8.20: Accelerogramma 7 – FS = 4.3912

### 8.4.2. SEGNALI UTILIZZATI PER SLC

Si riporta una schermata del software con i dati di input utilizzati:

Figura 8.21: Stralcio della schermata di Rexel

Si riporta il risultato dell'analisi di disaggregazione dei dati, ottenuta tramite il programma Rexel:

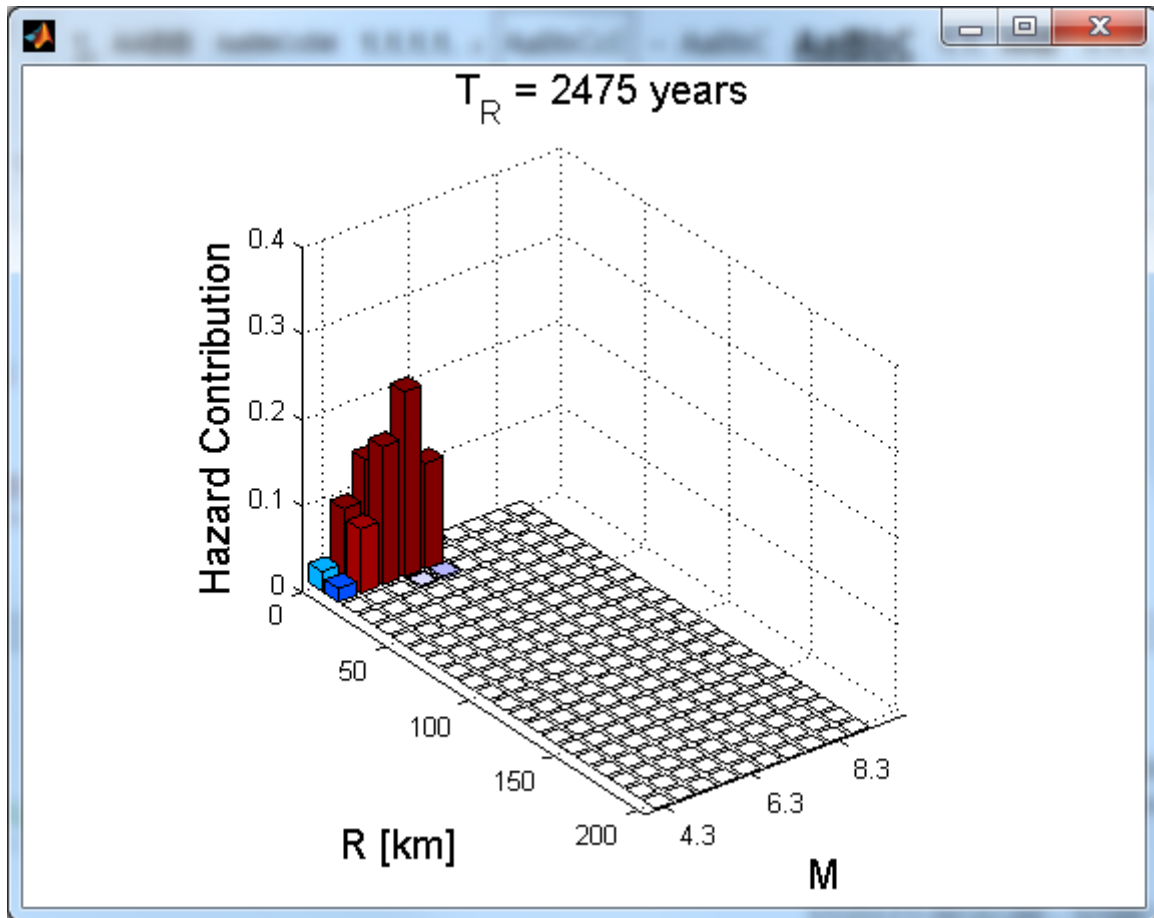


Figura 8.22: Risultati dell'analisi di disaggregazione dei dati

Si riporta il riepilogo delle caratteristiche degli accelerogrammi individuati:

Tabella 8.2: Riepilogo degli accelerogrammi individuati

Earthquake ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Y [m/s <sup>2</sup> ]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
1464	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	18	0.1325	0.2386	0.0105	0.0193	5.2737	2.6775	0.86643	0.68945	A
2309	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178	0.336	0.2097	7.3341	8.4263	0.64556	0.85171	A
2142	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	15	1.2481	1.1322	0.1659	0.1083	6.4075	7.0906	0.78039	0.61902	A
1635	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325	0.1611	0.101	4.8619	7.669	0.79499	0.70631	A
2142	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	6	5.1881	5.5698	0.218	0.8303	6.6884	2.0632	0.70838	0.69452	A
2142	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	15	1.2481	1.1322	0.1659	0.1083	6.4075	7.0906	0.78039	0.61902	A
1635	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	3.1176	3.3109	0.6122	0.2377	4.0709	9.8457	0.79545	0.58565	A
	mean:		6.271428571		12.28571429	2.4682	2.262	0.238514286	0.230657143	5.863428571	6.408985714	0.767368769	0.680812628	

Si riporta la verifica di spettro-compatibilità degli accelerogrammi selezionati con riferimento allo spettro di risposta in accordo al D.M. 17/01/2018. Lo spettro di risposta elastico di riferimento è quello da normativa ottenuto per una categoria di sottosuolo A con coefficiente topografico T1:

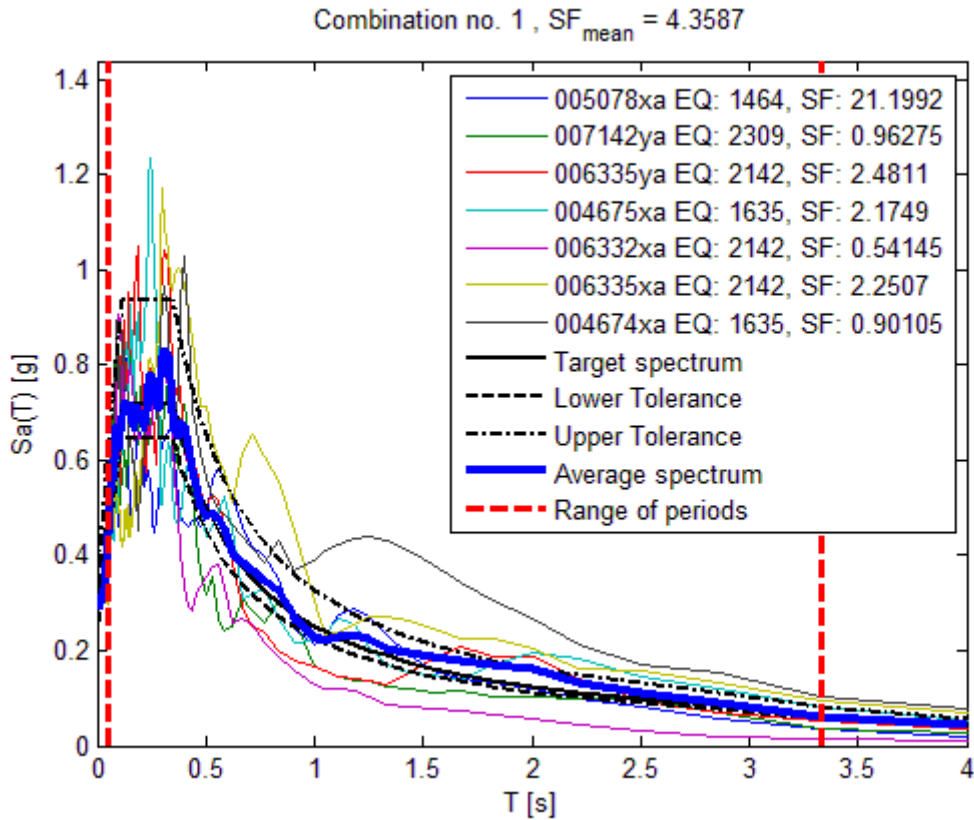


Figura 8.23: Verifica di spettro-compatibilità degli input sismici considerati

Di seguito si riportano gli input sismici considerati (da Figura 8.24 a Figura 8.30) resi spettro-compatibili attraverso un opportuno fattore di scala (FS).

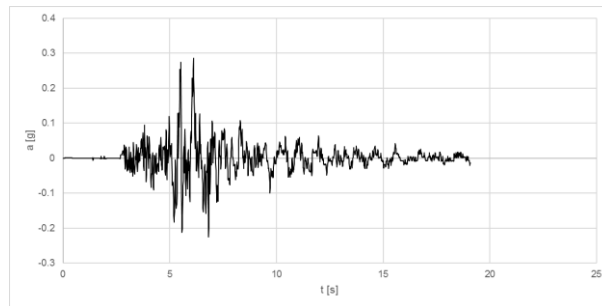
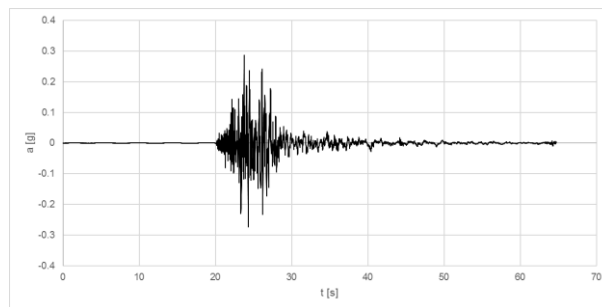
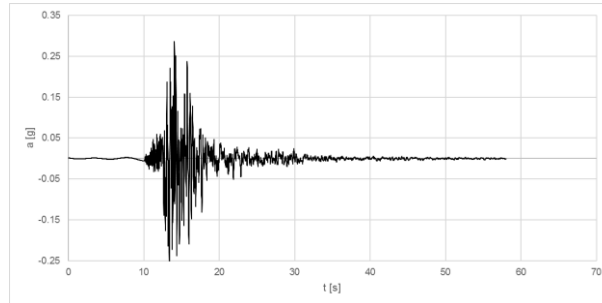


Figura 8.24: Accelerogramma 1 – FS = 21.1992

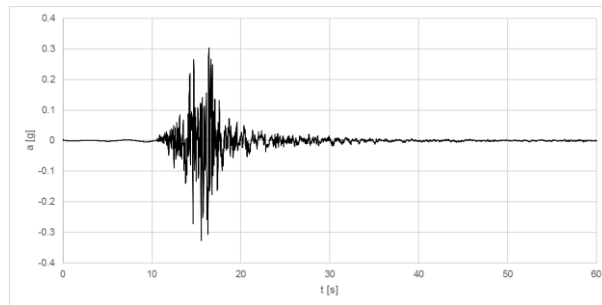


PROGETTAZIONE ATI:

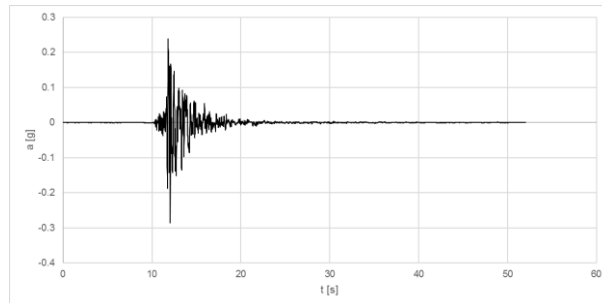
**Figura 8.25: Accelerogramma 2 – FS = 0.96275**



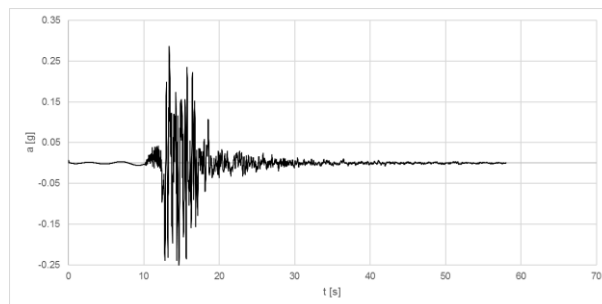
**Figura 8.26: Accelerogramma 3 – FS = 2.4811**



**Figura 8.27: Accelerogramma 4 – FS = 2.4811**



**Figura 8.28: Accelerogramma 5 – FS = 0.54145**



**Figura 8.29: Accelerogramma 6 – FS = 2.2507**

PROGETTAZIONE ATI:

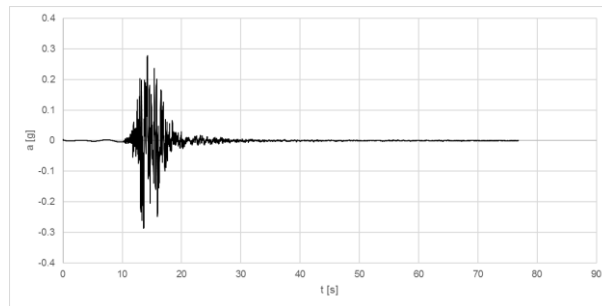


Figura 8.30: Accelerogramma 7 – FS = 0.90105

### 8.5. RISULTATI E CONSIDERAZIONI FINALI

Nel seguito si riportano i risultati dell'analisi di risposta sismica locale in termini di:

- spettro di risposta elastico delle accelerazioni, calcolato a 3 m di profondità dal piano campagna (quota ritenuta rappresentativa per le fondazioni del viadotto);
- Profilo di accelerazioni massime.

#### 8.5.1. SLV

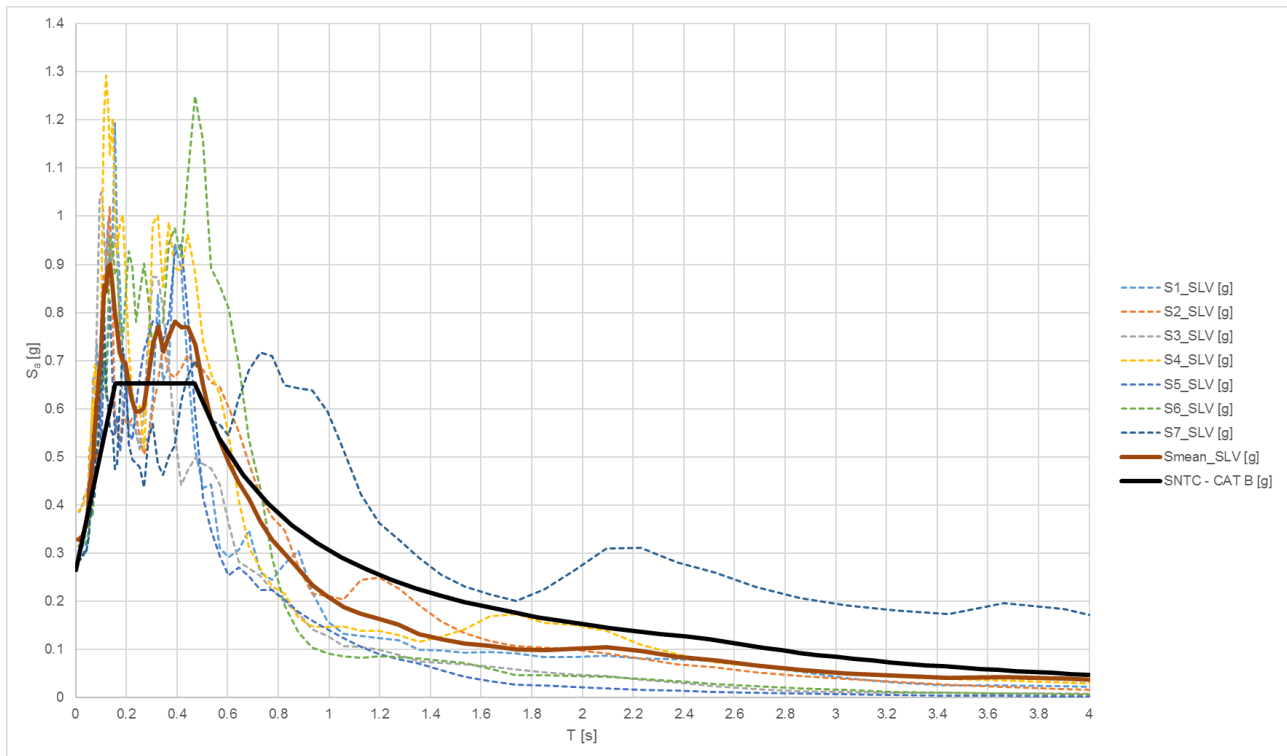


Figura 8.31 - Spettri di risposta elastici delle accelerazioni orizzontali ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale (curva marrone) con quello da normativa per una categoria di sottosuolo B (curva nera)

PROGETTAZIONE ATI:

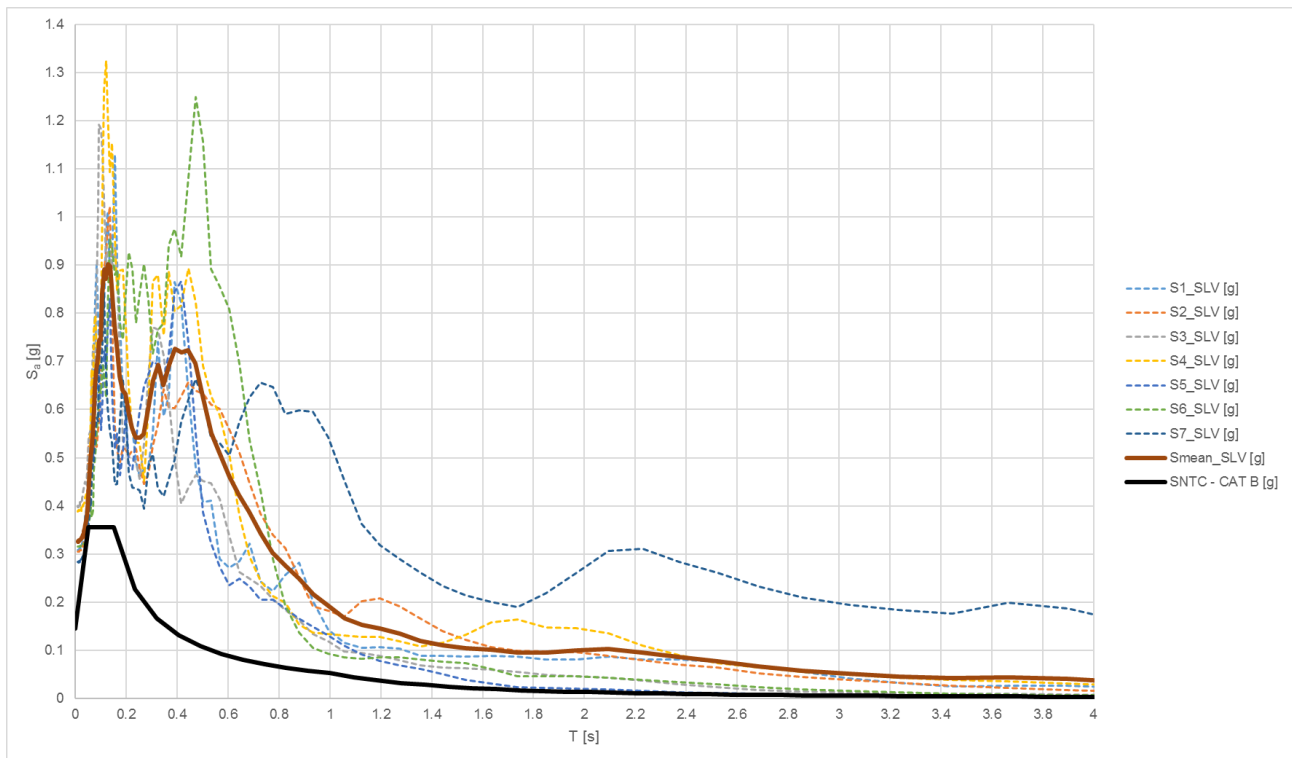


Figura 8.32 - Spettri di risposta elastici delle accelerazioni verticali ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale (curva marrone) con quello da normativa per una categoria di sottosuolo B (curva nera)

PROGETTAZIONE ATI:

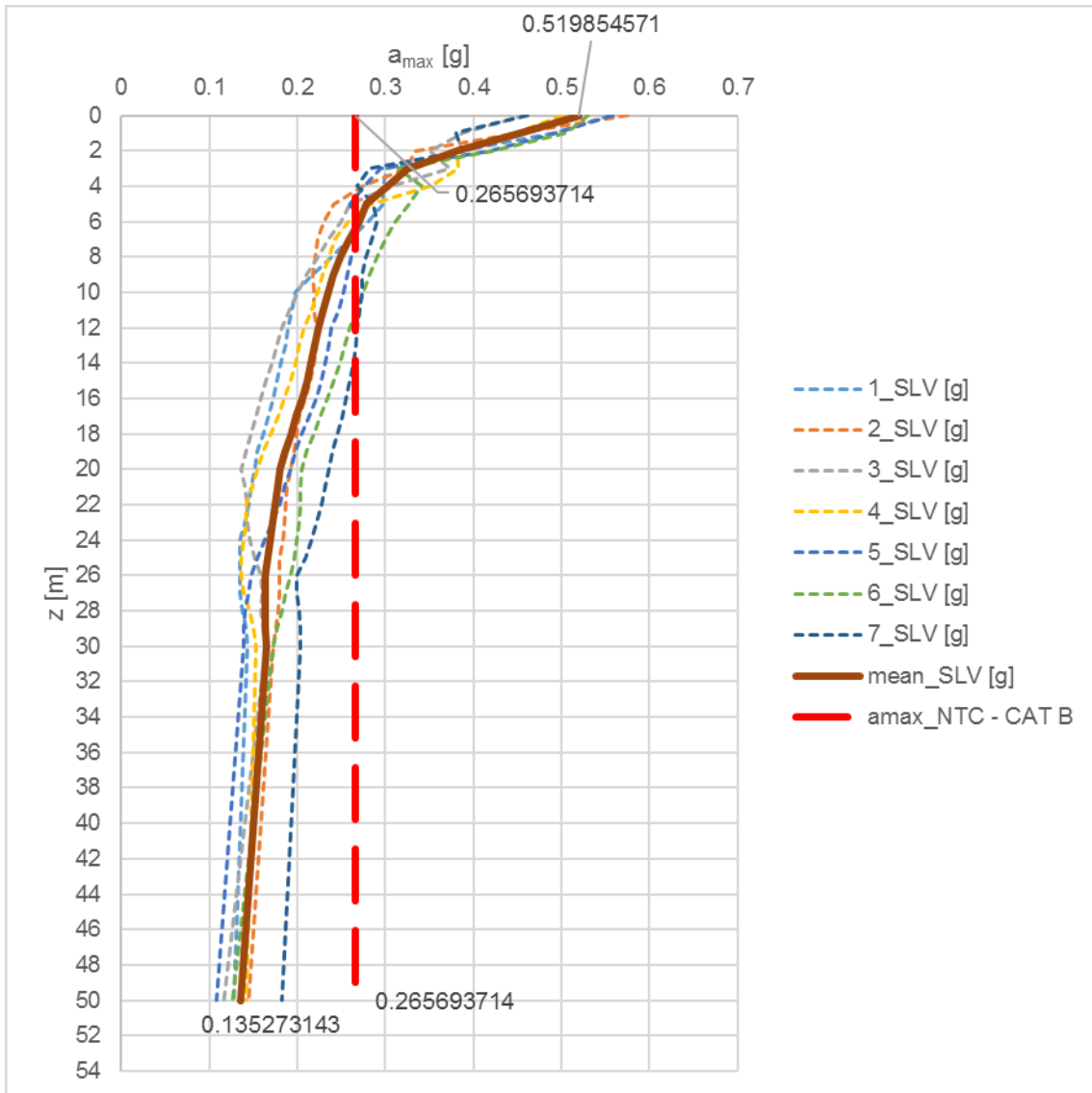


Figura 8.33 – Profilo delle accelerazioni massime orizzontali

PROGETTAZIONE ATI:

8.5.2. SLC

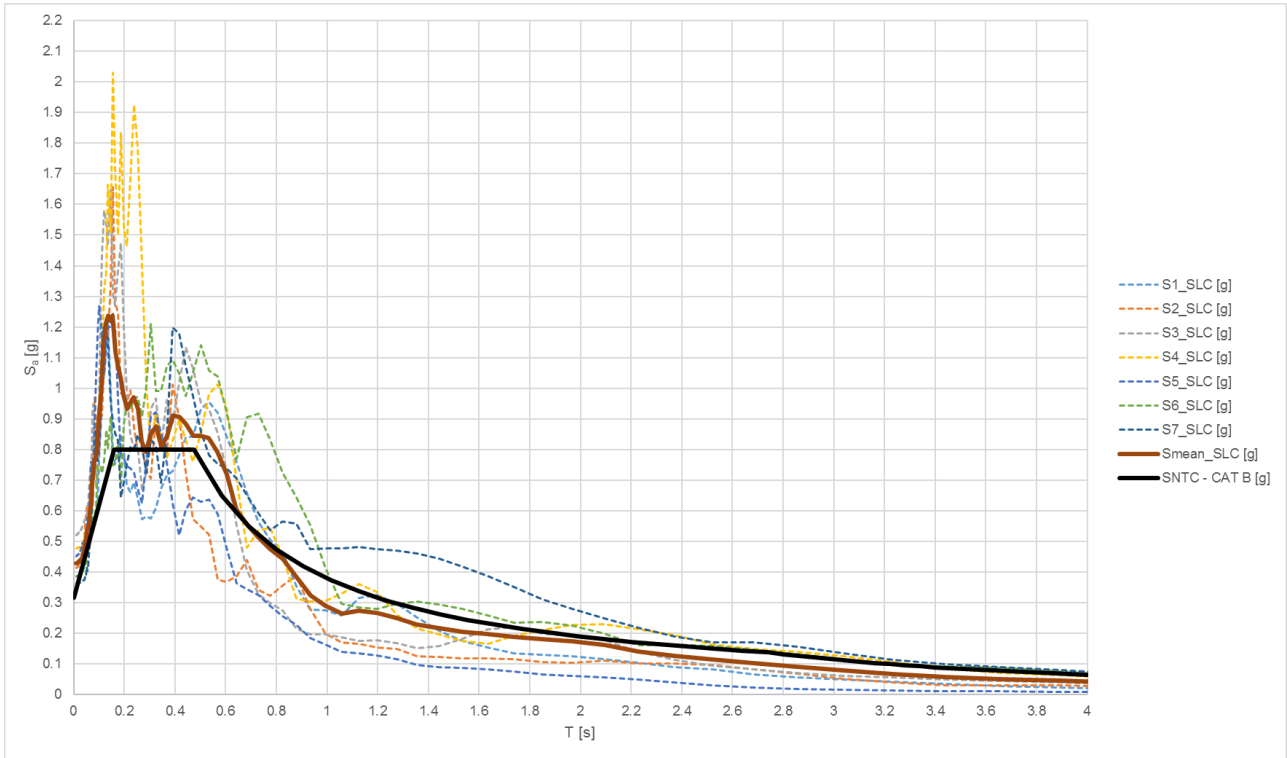


Figura 8.34 - Spettri di risposta elastici delle accelerazioni orizzontali ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale (curva marrone) con quello da normativa per una categoria di sottosuolo B (curva nera)

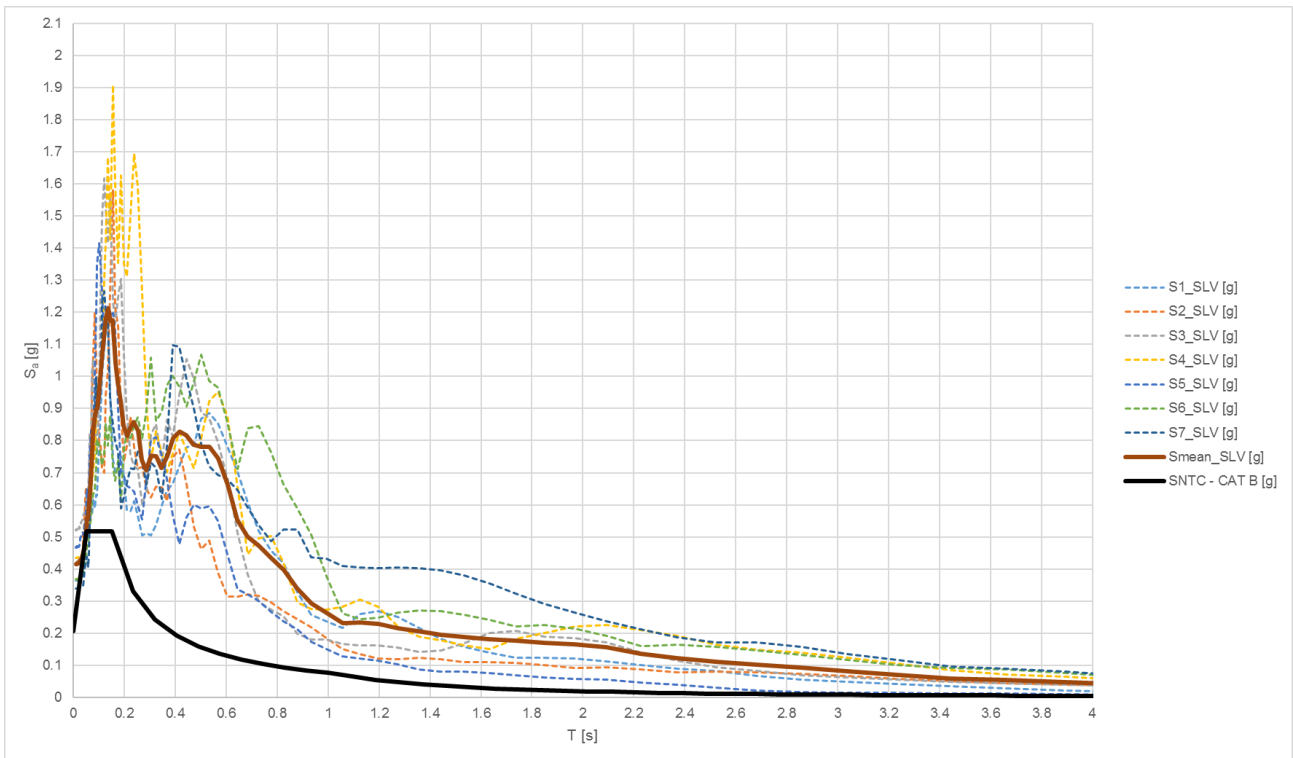


Figura 8.35 - Spettri di risposta elastici delle accelerazioni verticali ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale (curva marrone) con quello da normativa per una categoria di sottosuolo B (curva nera)

PROGETTAZIONE ATI:



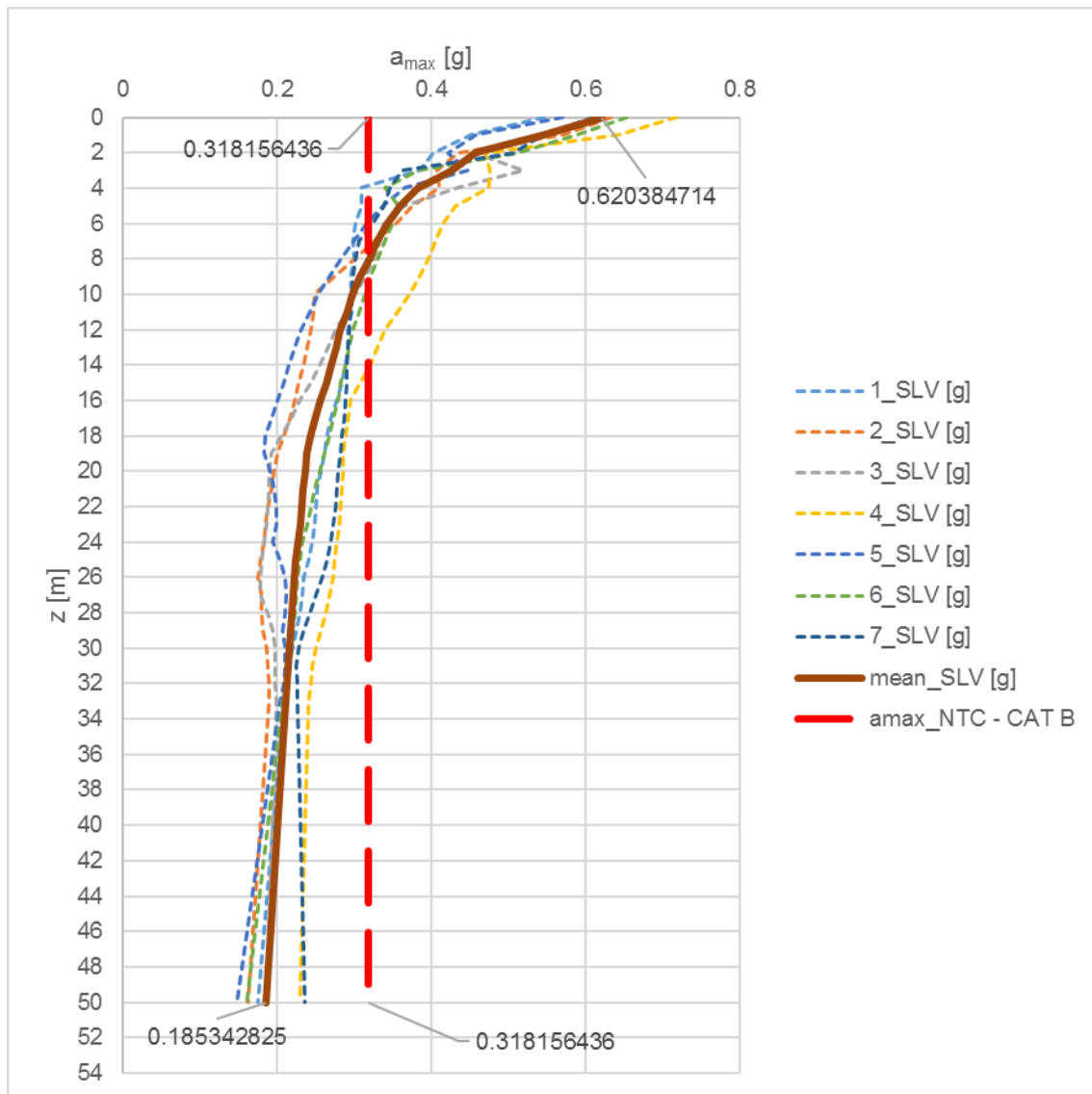


Figura 8.36 – Profilo delle accelerazioni massime orizzontali

## 8.6. CONCLUSIONI

Lo studio ha evidenziato significativi fenomeni di amplificazione sismica locale rispetto a quelli previsti dal D.M. 17/01/2018, specialmente nella componente verticale del moto. Ciò è dovuto ai risultati ottenuti dalla prova HVSr che non evidenziano significativi effetti di amplificazione della componente orizzontale del moto rispetto a quella verticale.

Inoltre, si evidenzia che i risultati di questo studio risultano compatibili con quelli ottenuti dalla microzonazione sismica disponibile per il comune di Macerata.