



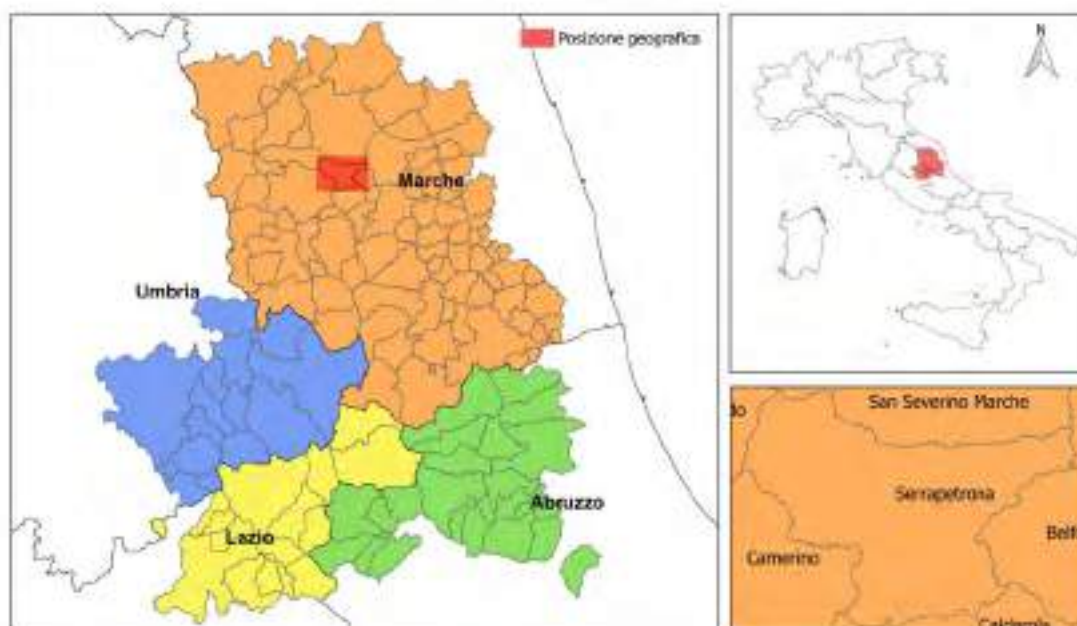
**COMMISSARIO STRAORDINARIO
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016**

Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Serrapetrona 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 Serrapetrona



Soggetto realizzatore
Dott. Geol. Giammaria Vecchioni

Data e revisione
Gennaio 2018

Collaboratore
Dott. Geol. Marta Lupetti

CENTROMS

CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI

INDICE

1. Introduzione.....	p. 3
1.1. Riferimenti normativi e specifiche tecniche.....	p. 4
1.2. Selezione e delimitazione delle aree di indagine.....	p. 5
2. Programma di lavoro e cronoprogramma delle indagini.....	p. 6
3. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	p. 10
4. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	p. 18
4.1. Caratteristiche Geologiche	p. 18
4.2. Caratteristiche Geomorfologiche	p. 20
5. Modello del sottosuolo	p. 23
5.1. Dati geologico stratigrafici	p. 23
5.2. Dati geologico strutturali.....	p. 30
6. Dati geotecnici e geofisici	p. 33
6.1. Dati geotecnici.....	p. 34
6.2. Dati geofisici	p. 38
6.3. Acquisizione ed elaborazione indagini geofisiche	p. 39
7. Metodologie di elaborazione e risultati	p. 46
8. Elaborati cartografici	p. 49
8.1. Carta delle Indagini	p. 49
8.2. Carta Geologico - Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS)	p. 49
8.3. Sezioni geologico - tecniche	p. 52
8.4. Carta delle frequenze naturali dei terreni (f_0)	p. 55
8.5. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS)	p. 56
8.6. Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS)	p. 64
8.6.1. Risultati della modellazione 1D: spettri di output e calcolo F_a	p. 67
8.6.2. Carta di Microzonazione Sismica F_a 0.1-0.5 s	p. 75
8.6.3. Carta di Microzonazione Sismica F_a 0.4-0.8 s	p. 75
8.6.4. Carta di Microzonazione Sismica F_a 0.7-1.1 s	p. 76
9. Categoria del sottosuolo	p. 78
10. Interpretazioni e incertezze	p. 85
11. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	p. 86
BIBLIOGRAFIA	p. 87

ALLEGATI:

ALLEGATO 1: Scheda metadati indagini HVSR

ALLEGATO 2: Scheda metadati indagini MASW

ALLEGATO 3: Stratigrafie sondaggi geognostici e prospezioni sismiche in foro DOWN-HOLE

ALLEGATO 4: Scheda rilevamento coperture

ALLEGATO 5: Scheda rilevamento frane

ALLEGATO 6: Modellazione 2D

1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra i risultati dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 3, ai sensi **dell'Ordinanza n. 24 registrata il 15 Maggio 2017 al n. 1065** "Assegnazione dei finanziamenti per gli studi di microzonazione sismica di III livello ai Comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 Agosto 2016 e proroga di termini di **cui all'ordinanza n. 13 del 9 Gennaio 2017**", promossa dal Commissario Straordinario del Governo per la ricostruzione nei territori dei Comuni delle Regioni di Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria **interessati dall'evento sismico del 24 Agosto 2016**, relativamente al territorio comunale di Serrapetrona (MC). Tale studio è stato effettuato tra i mesi di Luglio 2017 - Gennaio 2018 a seguito **dell'incarico conferito** al sottoscritto Dott. Geol. Giammaria Vecchioni (Soggetto Realizzatore) dal Comune di Serrapetrona (Ente Attuatore).

Gli approfondimenti di Livello 3 si possono intraprendere solo se esistono già studi di Livello 1, che sulla base della complessità geologico tecnica del territorio esaminato, stabiliscono **in quali aree c'è** la possibilità di procedere ad approfondimenti di Livello 3 e, in definitiva, costruire una Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS.)

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (MS1), già effettuato nel Comune di Serrapetrona **nell'anno 2017**, rappresenta quindi 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).

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 (MS3) consente invece, di associare valori dei fattori di amplificazione FA e spettri medi di risposta alle zone stabili soggette ad amplificazione definite nel livello 1 e di caratterizzare, attraverso specifici parametri, le instabilità permanenti. Il livello 3 si applica alla pianificazione del territorio e può fornire elementi di supporto alle valutazioni che il progettista responsabile degli interventi sui manufatti deve comunque fare sotto la sua esclusiva responsabilità, anche indipendentemente dai risultati della Microzonazione di livello 3.

1.1. Riferimenti normativi e specifiche tecniche

Lo studio è stato condotto secondo le normative e le specifiche tecniche contenute nei seguenti testi di riferimento:

- **Ordinanza n. 24 registrata il 15 Maggio 2017 al n. 1065** “Assegnazione dei finanziamenti per gli studi di microzonazione sismica di III livello ai Comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016 e proroga di termini di cui all'ordinanza n. 13 del 9 gennaio 2017;

- Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome;

- **Contributi per l'aggiornamento degli “Indirizzi e criteri per la microzonazione”, AA.VV.**, Pàtron Editore, 2011;

- Protocolli 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, Agosto 2017**, Centro per la Microzonazione Sismica e sue applicazioni;

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

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

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

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

- 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

- Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14 Gennaio 2008;

- Documento di indirizzo alla trattazione delle instabilità nei prodotti di livello 3 previsti dalla Ordinanza n. 24

del 12/05/2017, Unità Operativa Trasversale Instabilità (UOTI);

- Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica, Versione 4.0b, Roma, Ottobre 2015 – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica (**articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010**, n. 3907;

- **Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0);**

- **Predisposizione del modello per l'allestimento cartografico della Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni**, Centro per la Microzonazione Sismica e sue applicazioni;

- **Manuale per l'utilizzo degli strumenti software di inserimento e gestione dei dati**, Agosto 2017, Centro per la Microzonazione Sismica e sue applicazioni.

1.2. Selezione e delimitazione delle aree di indagine

Il territorio del Comune di Serrapetrona **ha un'estensione di circa 37.500.000 m²** ed è situato nella porzione centro-occidentale della Provincia di Macerata; è delimitato a nord dal territorio comunale di San Severino Marche, ad est dai territori dei Comuni di Tolentino e Belforte del Chienti, a sud dal territorio comunale di Caldarola ed a ovest dai territori dei Comuni di Camerino e Castelraimondo.

Le aree oggetto di Microzonazione Sismica sono state indicate dal Centro per la Microzonazione Sismica e **le sue applicazioni (Centro MS) in accordo con l'Ufficio Tecnico Comunale di Serrapetrona.**

La scelta delle aree per gli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 è stata basata sulla preselezione delle località ISTAT 2011 di tipo 1 (centro abitato), tipo 2 (nucleo abitato), tipo 3 (località produttiva), secondo i seguenti criteri generali:

- la località capoluogo è sempre inclusa;

- è data priorità alle località con maggiore danneggiamento e popolazione residente maggiore di 50 abitanti;

- oltre alla località capoluogo e a quelle con danneggiamento elevato, sono state selezionate altre località in ordine di densità di popolazione residente, fino al raggiungimento di un prefissato rapporto finanziamento/estensione totale (in ettari).

Nel complesso, tali aree si estendono su una superficie totale di 432.333 m² e sono riferibili alle seguenti località:

- I) Serrapetrona Capoluogo;
- II) Caccamo.

2. PROGRAMMA DI LAVORO E CRONOPROGRAMMA DELLE INDAGINI

Le specifiche tecniche e gli standard di riferimento con cui è stato condotto lo studio di MS di livello 3, sono i seguenti:

- Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 Novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome;
- **Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione", AA.VV., Pàtron Editore, 2011;**
- Protocolli 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, Agosto 2017**, Centro per la Microzonazione Sismica e sue applicazioni;
- Documento di indirizzo alla trattazione delle instabilità nei prodotti di livello 3 previsti dalla Ordinanza n. 24 del 12/05/2017, Unità Operativa Trasversale Instabilità (UOTI);
- Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica, Versione 4.0b, Roma, Ottobre 2015 – **Commissione Tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907;**
- **Predisposizione del modello per l'allestimento cartografico della Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni**, Centro per la Microzonazione Sismica e sue applicazioni;
- **Manuale per l'utilizzo degli strumenti software di inserimento e gestione dei dati**, Agosto 2017, Centro per la Microzonazione Sismica e sue applicazioni.

Gli approfondimenti di Livello 3 si possono intraprendere solo se esistono già studi di Livello 1 (Carta delle MOPS). Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 consente di associare valori dei fattori di amplificazione FA e spettri medi di risposta alle zone stabili soggette ad amplificazione definite nel livello 1 e di caratterizzare, attraverso specifici parametri, le instabilità permanenti, in modo da costruire una Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS).

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- le zone stabili: sono zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le zone stabili suscettibili di amplificazione sismica: sono le zone in cui il moto sismico viene modificato

a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;

- le zone **di attenzione per instabilità, corrispondenti alle “zone suscettibili di instabilità” originariamente** previste negli ICMS (2008): sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale).

In accordo con le indicazioni delle “Linee Guida” e dei “Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III”, citati in premessa, lo studio è stato condotto e sviluppato attraverso le seguenti fasi:

1. Partecipazione alla formazione preliminare.
2. Raccolta ed elaborazione dei dati pregressi:

Acquisizione di documenti ufficiali quali:

- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) della Regione Marche in scala 1:10.000:

Sezione n. 313020 – Letegge

Sezione n. 313030 – Serrapetrone

Sezione n. 313060 – Monte Fungo

Sezione n. 313070 – Caldarola

Sezione n. 302140 – Serripola

Si tratta di sezioni CTR georeferite secondo il Datum WGS 84 con proiezione UTM fuso 33N.

- Dati geologici relativi al Piano Regolatore Generale (P.R.G.) del Comune di Serrapetrone.
- Carta Geologica Regionale (CARG) della Regione Marche in scala 1:10.000.
- Carta Geomorfologica Regionale della Regione Marche in scala 1:10.000.
- Carta P.A.I. Regione Marche – Aggiornamento 2016 in scala 1:10.000.
- Inventario dei fenomeni franosi in Italia (progetto IFFI Marche).

Acquisizione degli elaborati relativi agli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Serrapetrone (O.C.D.P.C. 293/2015 e Decreto n. 138/DPS del 9 Agosto 2016) e nello specifico:

- Carta delle Indagini;
- Carta Geologico - Tecnica;
- Sezioni geologico-tecniche;
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica;
- Relazione Illustrativa.

Analisi critica del materiale acquisito (MS1), con attento esame del contenuto, al fine di appurarne l'**idoneità all'utilizzo** nel presente studio e revisione dello stesso.

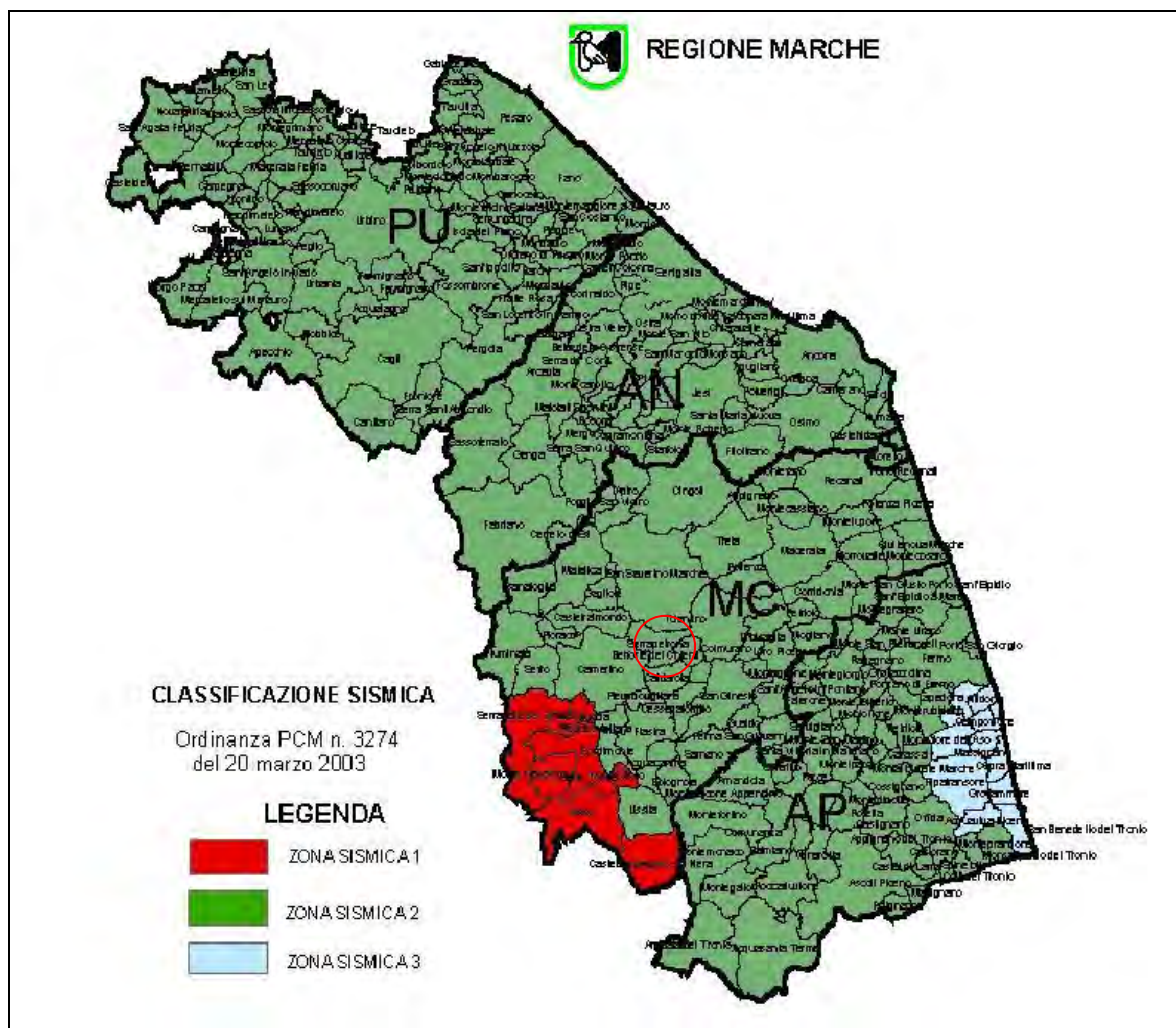
3. Verifica ed eventuale nuova perimetrazione delle aree di attenzione per instabilità di versante (ZA_{FR}), condotta secondo la seguente procedura:
 - a. acquisizione integrale delle perimetrazioni PAI + IFFI come dato pregresso;
 - b. rilevamento geologico, geomorfologico e geomeccanico e verifica in sito delle perimetrazioni PAI+IFFI;
 - c. eventuale rettifica (mai in difetto) delle aree PAI+IFFI e conseguente nuova perimetrazione;
 - d. restituzione di due layer informativi distinti, comprendenti: 1) perimetrazione PAI+IFFI originale; 2) nuova perimetrazione.
4. Definizione del piano di indagini integrative: tipologia e numero di indagini minime necessarie per la realizzazione dello studio di MS3 nelle aree di interesse.
5. Rilievi geologico tecnici di dettaglio.
6. Definizione delle tracce di sezioni geologico-tecniche per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo da corredare alla Carta Geologico - Tecnica.
7. Esecuzione delle indagini integrative:
 - ✓ N. 6 prospezioni sismiche MASW effettuate nei mesi di Settembre-Ottobre 2017;
 - ✓ N. 19 misure HVSR effettuate nei mesi di Settembre-Ottobre 2017;
 - ✓ N. 1 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di -35,00 m dal p.c. Il sondaggio è stato equipaggiato con tubo in PVC per DownHole. Durante le perforazioni di sondaggio sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche in foro SPT. Il sondaggio è stato effettuato nei giorni 18-22/09/2017.
8. Archiviazione dei dati e dei metadati.
9. Integrazione della Carta delle Indagini alla scala 1:5.000, con relative indicazioni tipologiche. Questa carta è prodotta in cartaceo ed in formato digitale GIS.
10. Revisione della Carta Geologico - Tecnica per la Microzonazione Sismica, alla scala 1:5.000; corredata dalle Sezioni geologico-tecniche. Questa carta è prodotta in cartaceo ed in digitale.
11. Realizzazione della Carta delle frequenze naturali dei terreni (f_0) alla scala 1:5.000. Questa carta è prodotta in cartaceo ed in formato digitale GIS.
12. Definizione del modello di sottosuolo finalizzato allo studio di MS.
13. Revisione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) alla scala 1:5.000. Essa è stata prodotta sia in formato cartaceo che digitale GIS e sintetizza tutti gli elementi acquisiti e sviluppati nelle precedenti fasi classificando le aree omogenee nelle tre categorie prestabilite

dalla normativa di riferimento.

14. Esecuzione di inversioni congiunte tra HVSR e curve di dispersione, in modo da ricercare il modello sismostratigrafico che meglio si accoppia ai dati sperimentali, utilizzando free software quali DINVER (Geopsy Package).
15. Esecuzione di analisi numeriche monodimensionali (1D) di risposta sismica locale, utilizzando il codice di calcolo STRATA.
16. Analisi numeriche bidimensionali (2D) di risposta sismica locale, eseguite dal Centro MS.
17. Realizzazione di n. 3 Carte di Microzonazione Sismica (Carta di MS) alla scala 1:5.000 per gli intervalli di periodo (T): 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s. **Questo documento costituisce l'elaborato** fondamentale dello studio di Microzonazione di livello 3 ed è stato prodotto sia in formato cartaceo che digitale GIS.
18. Redazione della Relazione Illustrativa.

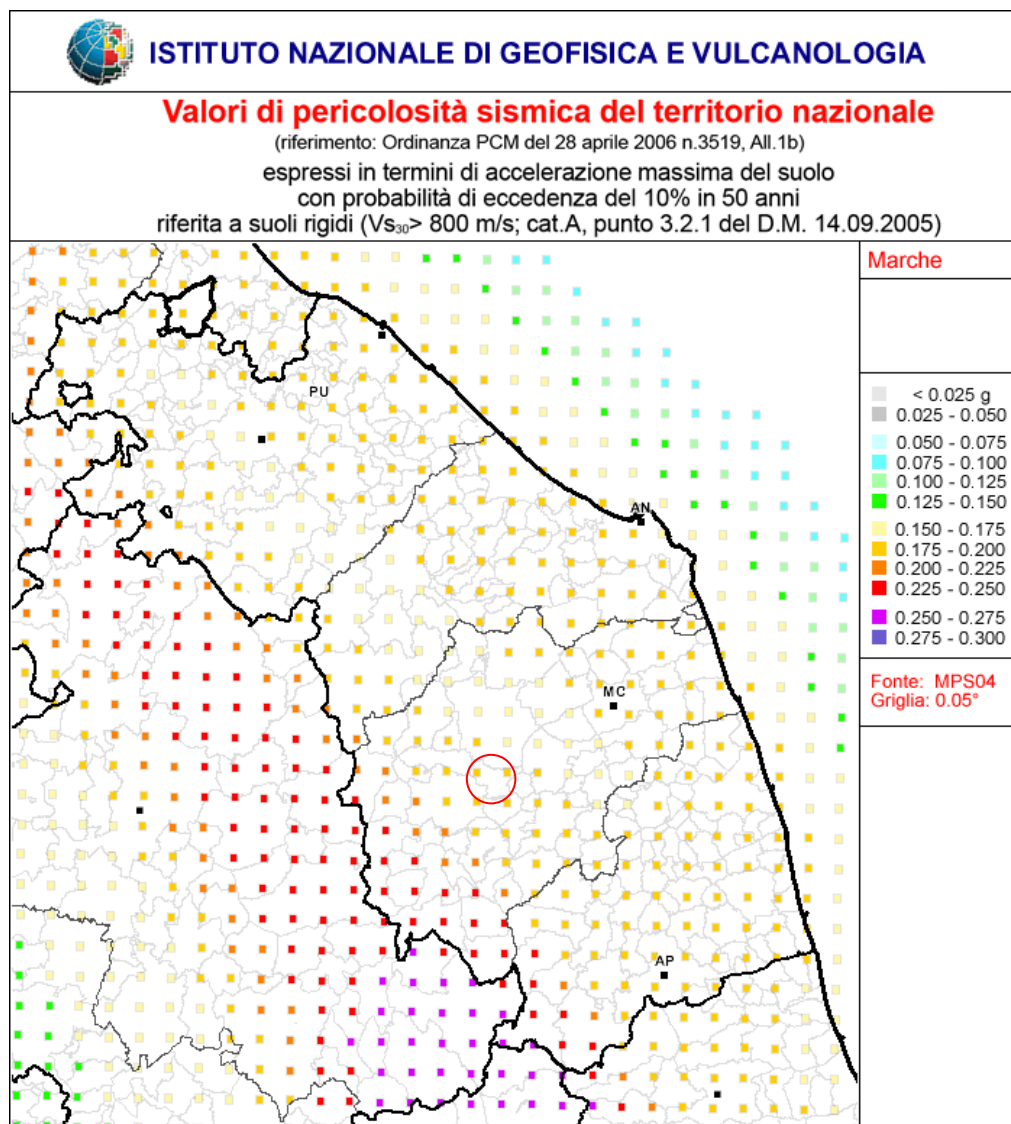
3. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

L'ordinanza del PCM n. 3274 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 – G.U. n.105 dell'8.5.2003), e successive modifiche e integrazioni, recepita dalla Regione Marche con D.G.R. n.1046 del 29.07.2003, classifica il comune di Serrapetrona nella Zona 2.



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 (ag/g) e accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) di 0.25 (ag/g).

I valori della pericolosità sismica di base del territorio di Serrapetrona (Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b) espressi 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), risultano compresi tra 0.175g-0.200g (http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/marche.html). Tale accelerazione è riferibile ad un tempo di ritorno di 475 anni.

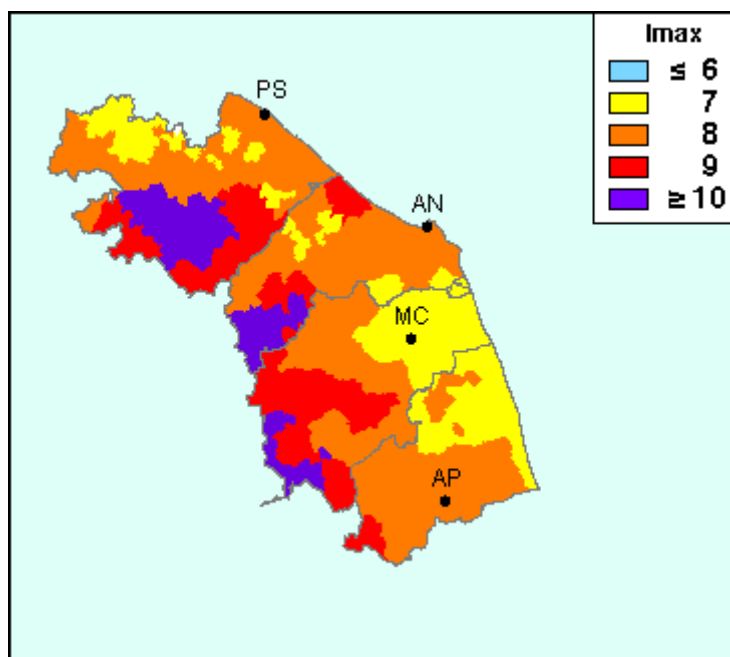


L'OPCM 3907_2010 associa al Comune di Serrapetrona un'accelerazione orizzontale massima al suolo ag pari a:

$$a_g = 0,179625$$

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).

Di seguito vengono riportati alcuni dati relativi alle massime intensità macrosismiche osservate nella Provincia di Macerata.



(http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE_PROVINCE/11.html)

Massime intensità macrosismiche osservate nella Provincia di Macerata

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	Imax
ACQUACANINA	11	43	1	43.02915	13.17499	8
APIRO	11	43	2	43.39096	13.13189	8
APPIGNANO	11	43	3	43.36371	13.34657	7
BELFORTE DEL CHIANTI	11	43	4	43.16325	13.23789	9
BOLOGNOLA	11	43	5	42.99298	13.22829	8
CALDAROLA	11	43	6	43.13748	13.22592	9
CAMERINO	11	43	7	43.13531	13.06811	9
CAMPOROTONDO DI FIASTRONE	11	43	8	43.13129	13.26494	9
CASTELRAIMONDO	11	43	9	43.20877	13.05718	9
CASTELSANTANGELO SUL NERA	11	43	10	42.89457	13.15346	9
CESSAPALOMBO	11	43	11	43.10812	13.25803	9
CINGOLI	11	43	12	43.37463	13.21631	8
CIVITANOVA MARCHE	11	43	13	43.30663	13.72968	7
COLMURANO	11	43	14	43.16346	13.35799	8
CORRIDONIA	11	43	15	43.24783	13.51011	7
ESANATOGLIA	11	43	16	43.25114	12.94784	9
FIASTRA	11	43	17	43.03546	13.15658	8
FIORDIMONTE	11	43	18	43.03634	13.08756	8

Comune di Serrapetrona
Microzonazione Sismica di Livello 3
Relazione illustrativa
Dott. Geol. Giammaria Vecchioni
Collaboratore: Dott. Geol. Marta Lupetti

FIUMINATA	11	43	19	43.18773	12.93169	9
GAGLIOLE	11	43	20	43.23746	13.06720	8
GUALDO	11	43	21	43.06650	13.33846	8
LORO PICENO	11	43	22	43.16573	13.41609	8
MACERATA	11	43	23	43.29941	13.45248	7
MATELICA	11	43	24	43.25575	13.00944	8
MOGLIANO	11	43	25	43.18536	13.47921	7
MONTECASSIANO	11	43	26	43.36338	13.43618	7
MONTE CAVALLO	11	43	27	42.99355	13.00098	9
MONTECOSARO	11	43	28	43.31619	13.63611	7
MONTEFANO	11	43	29	43.41143	13.43821	7
MONTELUPONE	11	43	30	43.34336	13.56809	7
MONTE SAN GIUSTO	11	43	31	43.23589	13.59524	7
MONTE SAN MARTINO	11	43	32	43.03050	13.43865	8
MORROVALLE	11	43	33	43.31393	13.58002	7
MUCCIA	11	43	34	43.08136	13.04296	9
PENNA SAN GIOVANNI	11	43	35	43.05605	13.42594	8
PETRIOLO	11	43	36	43.22059	13.46580	7
PIEVEBOVIGLIANA	11	43	37	43.06218	13.08482	8
PIEVE TORINA	11	43	38	43.04242	13.04862	9
PIORACO	11	43	39	43.17816	12.98597	9
POGGIO SAN VICINO	11	43	40	43.37518	13.07867	8
POLLENZA	11	43	41	43.26700	13.34808	7
PORTO RECANATI	11	43	42	43.43222	13.66501	7
POTENZA PICENA	11	43	43	43.36577	13.62109	7
RECANATI	11	43	44	43.40291	13.54993	7
RIPE SAN GINESIO	11	43	45	43.14243	13.36737	9
SAN GINESIO	11	43	46	43.10754	13.31916	9
SAN SEVERINO MARCHE	11	43	47	43.22868	13.17743	8
SANT'ANGELO IN PONTANO	11	43	48	43.09854	13.39763	8
SARNANO	11	43	49	43.03533	13.30139	8
SEFRO	11	43	50	43.14577	12.94895	9
SERRAPETRONA	11	43	51	43.17578	13.18864	9
SERRAVALLE DI CHIANTI	11	43	52	43.07257	12.95501	>=10
TOLENTINO	11	43	53	43.20957	13.28272	8
TREIA	11	43	54	43.31112	13.31196	7
URBISAGLIA	11	43	55	43.19595	13.37696	8
USSITA	11	43	56	42.94381	13.13626	9
VISSE	11	43	57	42.93041	13.08788	>=10

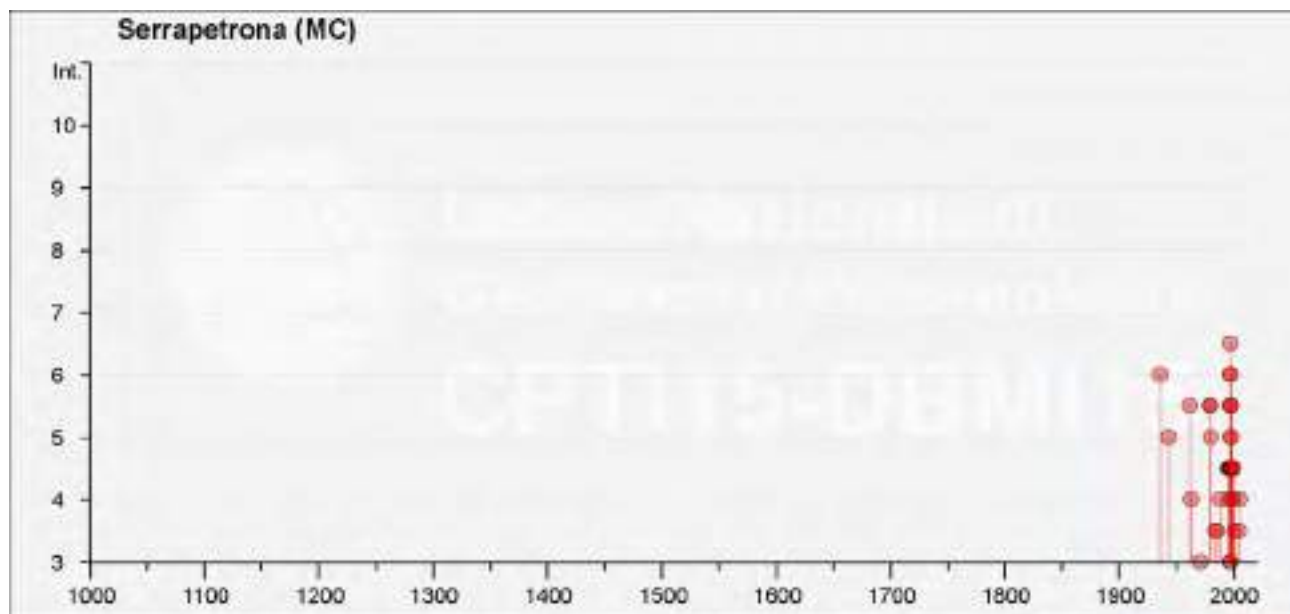
L'analisi sulla sismicità storica del territorio comunale di Serrapetrona è stata effettuata mediante l'osservazione dei dati riportati nel Database Macrosismico Italiano, ultima versione DBMI 2015 (http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/), da cui sono stati selezionati gli eventi di maggiore rilevanza. Nel caso specifico sono stati evidenziati n.40 eventi di riferimento a partire dall'anno 1799.

STORIA SISMICA DEL TERRITORIO DI SERRAPETRONA

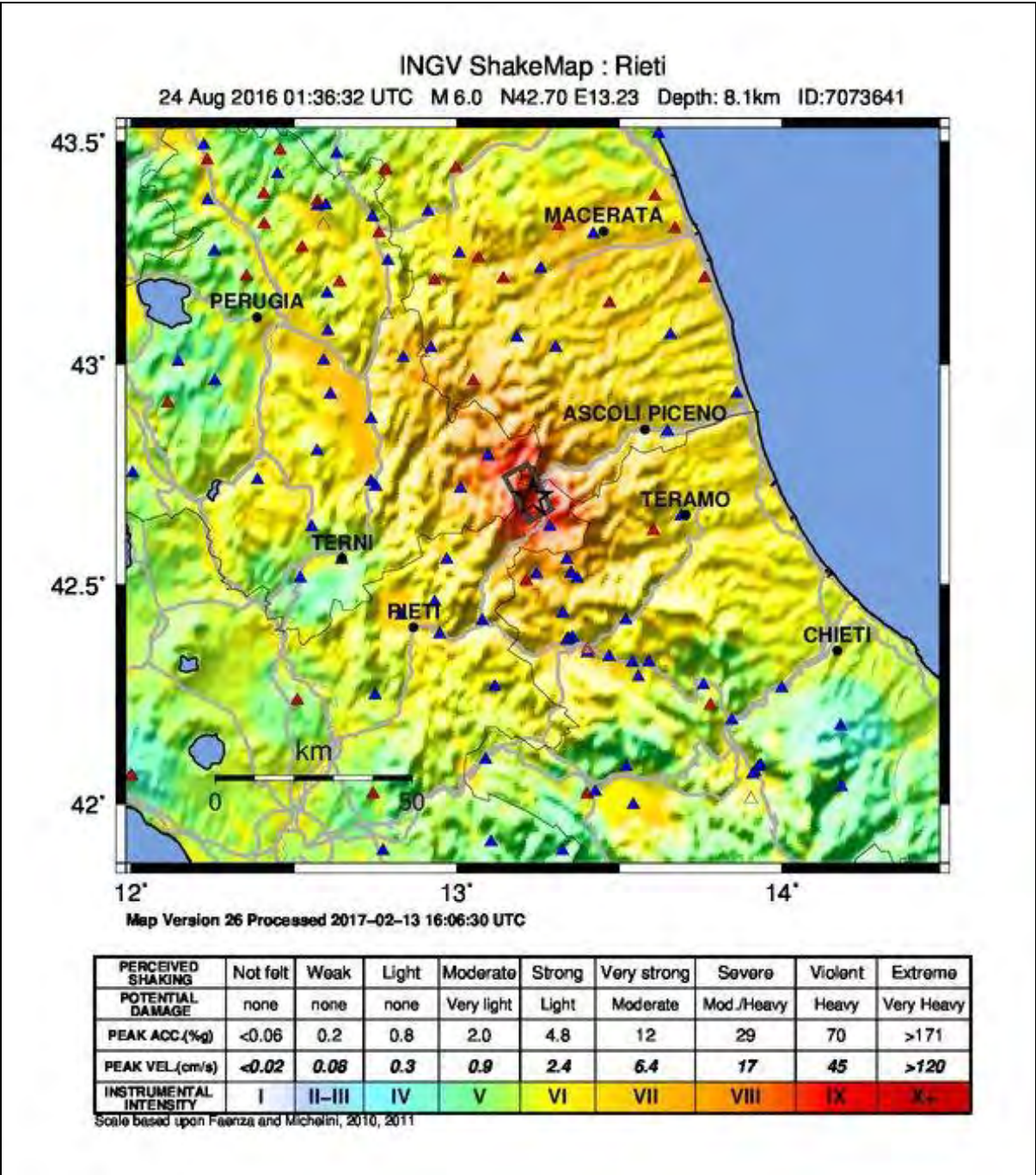
Place ID	IT_52114
Coordinate (lat, lon)	43.176, 13.189
Comune (ISTAT 2015)	Serrapetrona
Provincia	Macerata
Regione	Marche
Numero di eventi riportati	40

Intensità	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NC	1799 07 28 22 05	Appennino marchigiano	70	9	6,18
6	1936 12 09 07 34	Caldarola	31	6-7	4,76
5	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	170	8	5,67
NF	1958 06 24 06 07	Aquilano	222	7	5,04
5-6	1962 10 05 23 00 43.00	Appennino maceratese	16	5-6	4,35
4	1963 01 25 05 27	Monti Sibillini	30	5	4,31
3	1971 04 02 01 43 54.00	Valnerina	68	6	4,5
5-6	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5,83
5	1980 02 28 21 04 40.00	Valnerina	146	6	4,97
5-6	1980 05 24 20 16 04.00	Monti Sibillini	58	5-6	4,48
3-4	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5,62
3-4	1986 10 13 05 10 00.31	Monti Sibillini	322	5-6	4,46
4	1989 09 11 02 46 23.93	Marche meridionali	60	5	4,04
4-5	1995 12 30 15 22 08.73	Fermano	106	5	4,19
4-5	1996 01 01 12 21 41.54	Maceratese	91	5-6	4,2
4-5	1997 09 07 23 28 05.79	Appennino umbro-marchigiano	57	5-6	4,19
3	1997 09 09 16 54 47.50	Appennino umbro-marchigiano	39	5-6	3,78
3	1997 09 10 06 46 50.78	Appennino umbro-marchigiano	47	5	3,85
6-7	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
6	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
6	1997 10 03 08 55 22.07	Appennino umbro-marchigiano	490		5,22
5-6	1997 10 06 23 24 53.29	Appennino umbro-marchigiano	437		5,47
5-6	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
4	1997 10 23 08 58 43.96	Appennino umbro-marchigiano	56		3,86
4-5	1997 11 09 19 07 33.27	Valnerina	180		4,87
4-5	1998 02 07 00 59 44.54	Appennino umbro-marchigiano	62		4,41
5	1998 03 21 16 45 09.21	Appennino umbro-marchigiano	141		5
5-6	1998 03 26 16 26 17.03	Appennino umbro-marchigiano	409		5,26
5	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78
4-5	1998 06 02 23 11 23.00	Appennino umbro-marchigiano	83		4,25
4-5	1999 11 29 03 20 33.86	Monti della Laga	62	5-6	4,15
4-5	2000 09 02 05 17 02.41	Appennino umbro-marchigiano	115	5	4,4
4	2000 10 24 07 52 23.70	Monti Sibillini	65	5	4,11

3-4	2001 04 16 08 51 53.56	Appennino umbro-marchigiano	31	4-5	3,57
NF	2003 05 25 17 15 13.95	Ascolano	88	4-5	3,81
NF	2004 12 09 02 44 25.29	Teramano	213	5	4,09
2	2005 04 12 00 31 51.61	Maceratese	131	4	3,74
3-4	2005 12 15 13 28 39.59	Val Nerina	350	5	4,14
4	2006 04 10 19 03 36.67	Maceratese	211	5	4,06
NF	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21

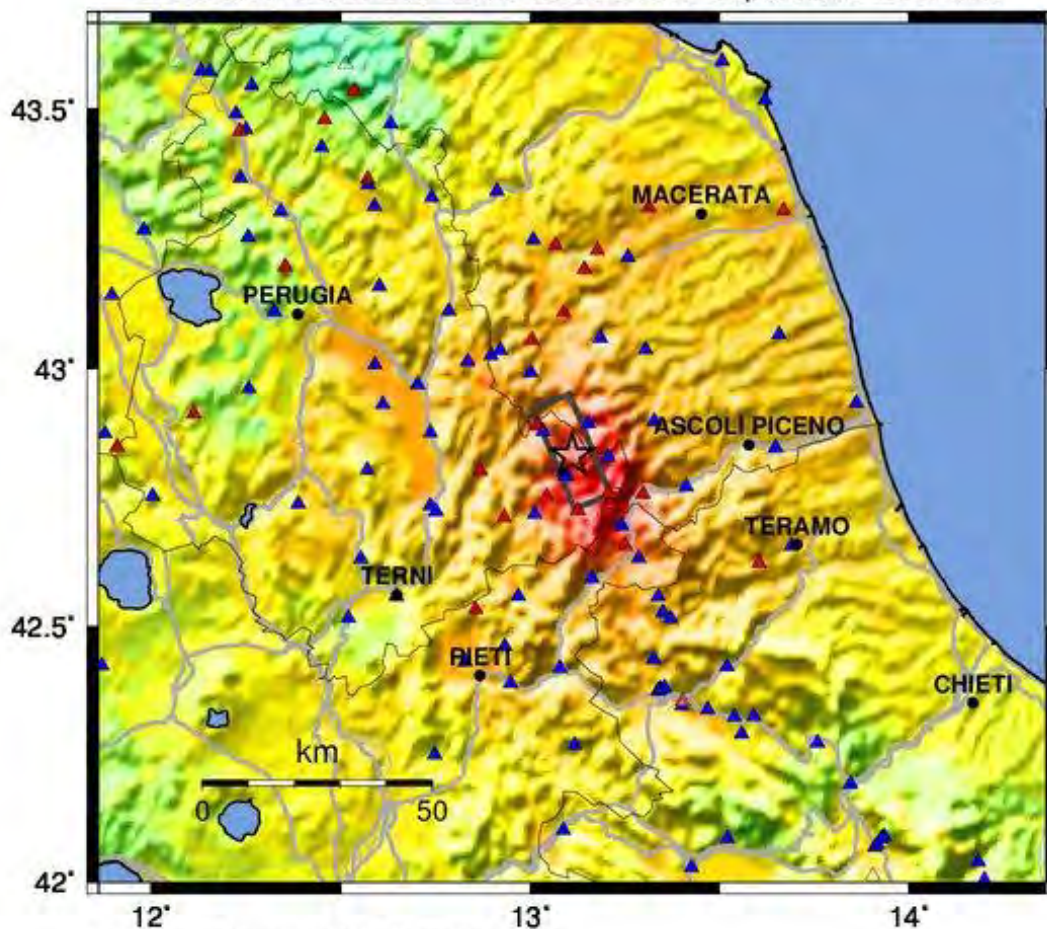


Di seguito si riportano le ShakeMap tratte dall'INGV per gli eventi sismici estremi del 24 Agosto 2016 e 30 Ottobre 2016 (<http://shakemap.rm.ingv.it/shake/archive/2016.html>).



INGV ShakeMap : Perugia

30 Oct 2016 06:40:17 UTC M 6.5 N42.83 E13.11 Depth: 9.2km ID:8863681



Map Version 29 Processed 2017-02-13 16:09:43 UTC

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

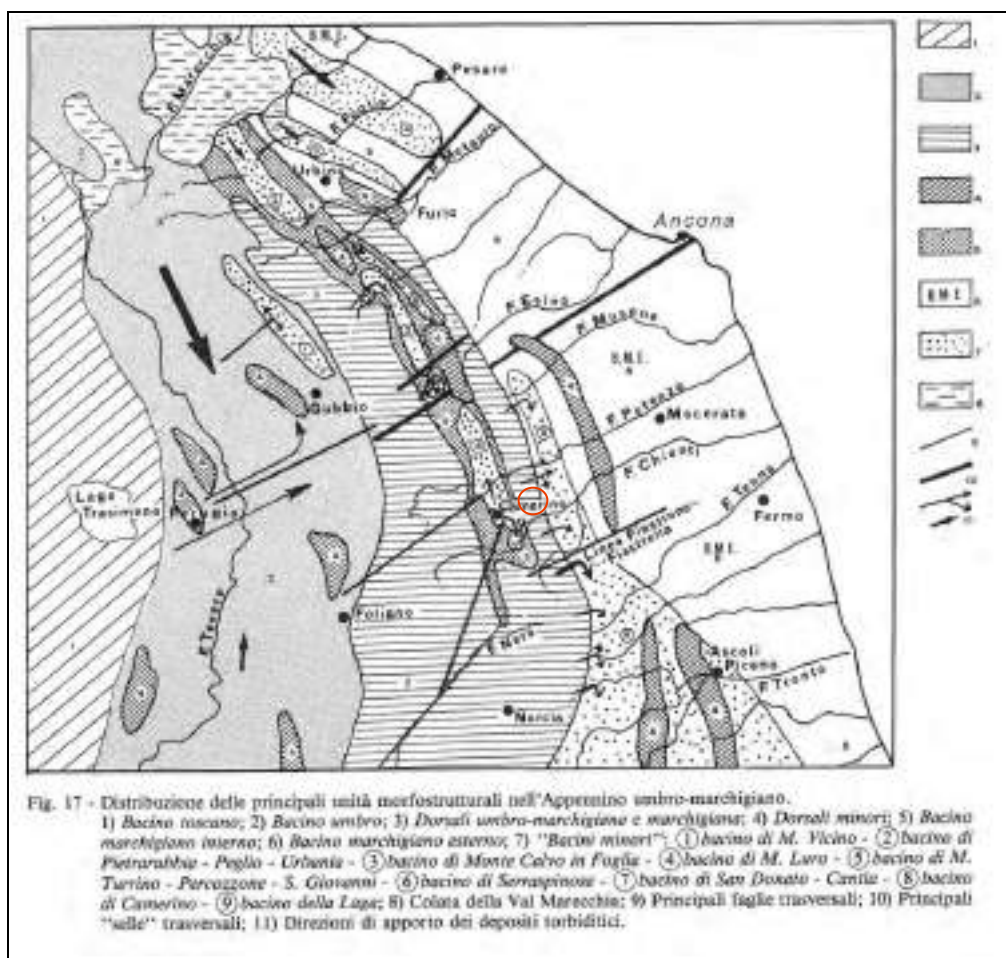
4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

4.1. Caratteristiche Geologiche

L'area esaminata è caratterizzata da diffusi affioramenti di terreni sia di ambiente marino che continentale.

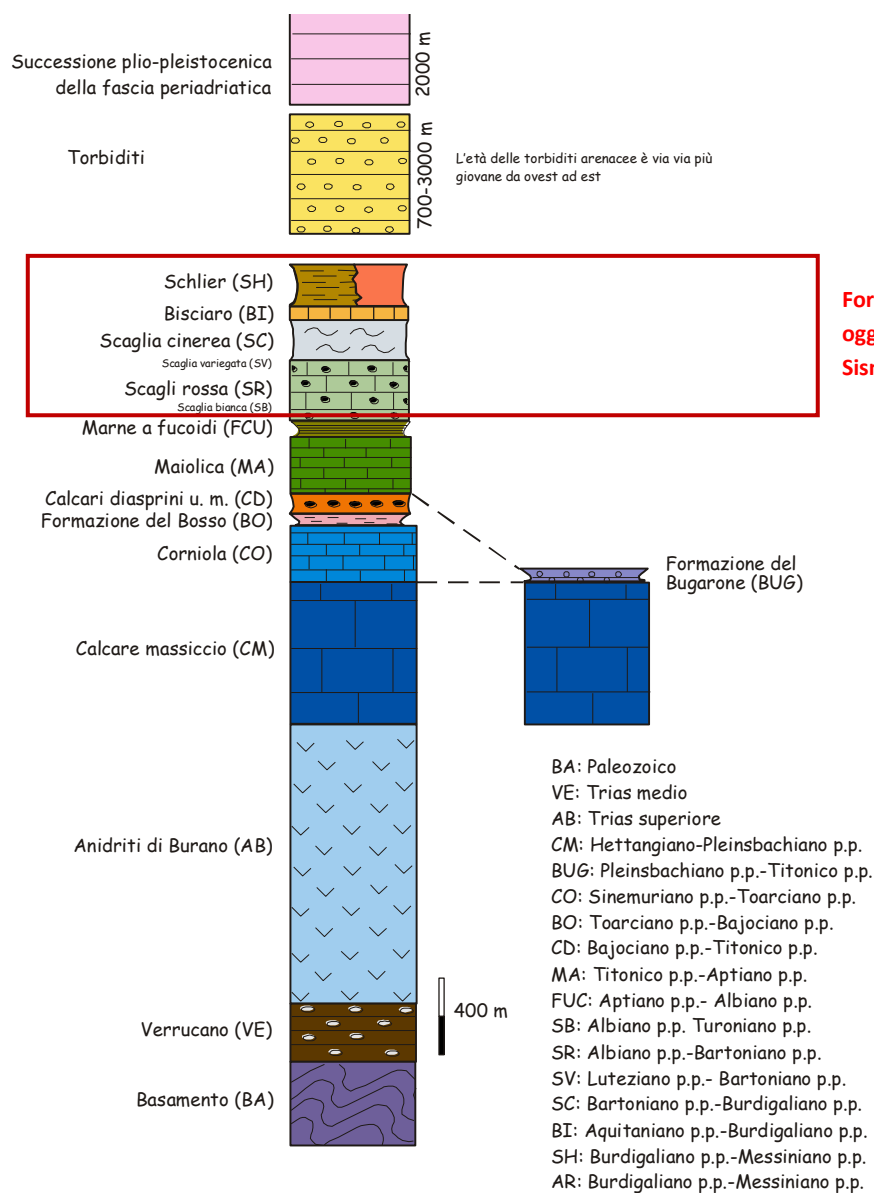
La porzione più occidentale del territorio del Comune di Serrapetrona risulta ubicata in corrispondenza della Dorsale Marchigiana, passante verso est al Bacino Marchigiano esterno e, più in particolare, al Bacino della Laga. Nel complesso, i litotipi affioranti, costituenti il substrato dell'area studiata, appartengono alla tipica successione umbro-marchigiana depositatasi in un intervallo di tempo compreso tra il Lias medio ed il Miocene superiore.

Le "Unità della copertura" sono ascrivibili sia a Depositi alluvionali del Fiume Chienti e del Rio Cesolone, che a depositi eluvio-colluviali, detriti di falda, depositi stratificati di versante ed accumuli di frana antichi e recenti (Pleistocene – Olocene).



Tratto dalla "Geologia delle Marche", (Studi Geologici Camerti, 1986 autori vari)

Comune di Serrapetrona
Microzonazione Sismica di Livello 3
Relazione illustrativa
Dott. Geol. Giammaria Vecchioni
Collaboratore: Dott. Geol. Marta Lupetti



Schema della successione sedimentaria Umbro Marchigiana (Deiana & Marchegiani, 2002)

4.2. Caratteristiche Geomorfologiche

Dal punto di vista orografico, sulla base delle peculiari caratteristiche geologiche e morfo-**strutturali**, l'**area** studiata può essere suddivisa in due settori principali:

- una zona montuosa **posta ad ovest dell'allineamento ideale** Serrapetrona - Borgiano;
- una zona medio-collinare posta ad est dello stesso allineamento.

Per quanto **riguarda l'idrografia**, il **territorio comunale ricade** per la maggior parte nel bacino idrografico del Fiume Chienti, **ad eccezione dell'estrema porzione settentrionale appartenente invece al bacino del Fiume Potenza**. Lo spartiacque tra i due bacini è rappresentato dall'**allineamento Torre Beregna - Monte D'Aria - M.da del Monte - Monte di Colleluce**.

Il **corso d'acqua principale** è rappresentato dal Fiume Chienti, che **borda la porzione meridionale dell'area** oggetto di studio, al confine con il territorio comunale di Caldarola. Nel tratto in cui attraversa la dorsale **montuosa**, il F. Chienti **alimenta l'invaso artificiale del Lago di Borgiano**, in cui sfociano in sinistra idrografica **piccoli fossi a regime torrentizio**, che incidono i versanti calcarei. A partire dall'**abitato di Caccamo**, il Chienti scorre invece in una pianura alluvionale, ricevendo in sinistra idrografica altri piccoli affluenti, a carattere stagionale, incisi sul versante meridionale di C.lle di Chiodi.

L'**altro corso d'acqua di una certa rilevanza** è rappresentato dal **Torrente o Rio Cesolone**, che nasce poco a monte del centro abitato di Villa **D'Aria** e **attraversa da ovest verso est tutto il territorio comunale di Serrapetrona**, fino a confluire nel F. Chienti, in località **"Le Grazie"** di Tolentino.

Corsi d'acqua di minore importanza sono rappresentati dal F.sso della Valle, F.sso Rio e dalla parte apicale del F.**sso Filette**, anch'essi **affluenti** del F. Chienti.

Nel settore montuoso, costituito essenzialmente dai litotipi di natura prettamente calcarea e calcareo-marnosa della serie giurassico-oligocenica, la quota più elevata del territorio comunale (975 m s.l.m.) viene **raggiunta in prossimità del Colle Leteggiolo**. I rilievi maggiori sono costituiti da: **M.te D'Aria (956 m s.l.m.)**, **M.te di Colleluce (860 m s.l.m.)**, **M.te Schiena (834 m s.l.m.)** e **M.te di Borgiano (883 m s.l.m.)**.

Queste aree sono caratterizzate dalla presenza di coltri detritiche, di spessore variabile, in corrispondenza dei versanti e, in parte, alla base dei rilievi. Tali depositi che si presentano, in genere, sciolti o moderatamente cementati e talvolta sottilmente stratificati (depositi stratificati di versante), sono costituiti principalmente da frammenti calcarei a spigoli vivi, appiattiti e di piccole dimensioni. Le coltri in oggetto ricoprono in parte il substrato calcareo. In alcuni casi tali depositi risultano interessati da frane di tipo scorrimento, che coinvolgono anche il substrato. Tali fenomeni risultano assai estesi ed interessano i centri abitati di **Villa D'Aria, Borgiano e**

Borgianello, ubicati all'interno degli stessi corpi di frana.

Nella morfogenesi attuale, notevole importanza si attribuisce **all'aumento considerevole dei fenomeni erosivi delle acque incanalate**, che hanno prodotto un notevole approfondimento del reticolo **idrografico e** quindi una elevata energia del rilievo.

Per quanto riguarda le forme, i depositi ed i processi dovuti all'azione delle acque correnti superficiali, l'area in oggetto è caratterizzata dalla presenza di alvei con tendenza all'approfondimento e solchi di erosione concentrata. In alcuni casi tali forme di erosione sono impostate all'interno degli accumuli di frana; in altri casi i fenomeni di approfondimento avvengono nel substrato.

Sono state riscontrate anche scarpate di erosione fluvio-torrentizia, per lo più inattive e quiescenti.

I versanti che presentano una copertura vegetale poco sviluppata risultano a volte caratterizzati dalla presenza di ruscellamento diffuso.

Sono stati evidenziati conoidi di deiezione, impostati alla confluenza dei fossi ad elevata pendenza con il **fondovalle, come in corrispondenza dell'abitato di Serrapetrona.**

Per quanto riguarda la forma delle valli dei principali corsi d'acqua presenti nel settore montuoso, essa è generalmente a V, anche se non mancano vallecole a fondo concavo e, subordinatamente, a fondo piatto, diffuse in tutta l'area.

Infine, le forme antropiche risultano costituite essenzialmente da orli di scarpate artificiali e da cave.

Il settore collinare, costituito da litotipi di natura prevalentemente marnosa-calcareo e arenaceo-argillosa delle formazioni mioceniche, risulta invece caratterizzato da quote meno elevate e da una minore acclività dei versanti a causa della maggiore erodibilità dei litotipi presenti. I rilievi collinari principali sono costituiti da Colle Novo (471 m s.l.m.), Colle (521 m s.l.m.), Parataio (584 m s.l.m.), il Colle (515 m s.l.m.), C.ile Chiodi (508 m s.l.m.) e C.lli di Belforte (555 m s.l.m.).

Le zone più depresse si rinvengono invece in corrispondenza delle porzioni più orientali sia della valle del Rio Cesolone (250 m s.l.m.) che della piana alluvionale del Fiume Chienti (255 m s.l.m.).

In quest'area i processi morfogenetici legati all'azione della gravità sono molto diffusi ma, in genere, di dimensioni minori. Estese coltri colluviali, costituite prevalentemente da materiali a granulometria fine (dalle sabbie ai limi), talora di considerevole spessore, ricoprono in maniera diffusa il substrato; sono in genere tali coperture ad essere interessate da fenomeni gravitativi diffusi (frane e deformazioni plastiche), attivati in speciale modo da precipitazioni intense e prolungate.

Per quanto riguarda le forme, i depositi ed i processi dovuti all'azione delle acque correnti superficiali, nell'area in oggetto sono presenti scarpate di erosione fluvio-torrentizia (attive, inattive e quiescenti, con

prevalenza **delle ultime**), **lungo** l'asse vallivo del Torrente Cesolone, del Fiume Chienti e dei fossi minori. Soprattutto per quanto riguarda il Fiume Chienti, in corrispondenza di tratti **dell'alveo** ad andamento meandriforme (località Caccamo), si hanno fenomeni di intensa erosione laterale attiva, che talora danno luogo a limitati **fenomeni di franamento della scarpata fluviale**.

La morfologia fluviale risulta caratterizzata dai terrazzi alluvionali del Fiume Chienti e del Torrente Cesolone.

Per quanto riguarda la forma delle valli, risultano ampie e pianeggianti quella del Chienti e un breve tratto di quella del Cesolone; risultano invece generalmente a fondo concavo i tratti apicali delle valli relative agli affluenti minori.

Anche in questa area sono piuttosto diffuse le scarpate poligeniche con influenza strutturale, ubicate principalmente in corrispondenza della formazione del Bisciario.

Infine, le forme antropiche risultano costituite essenzialmente da **un'area adibita ad estrazione e** lavorazione di inerti in località Caccamo, da piccole cave abbandonate e da scarpate artificiali.

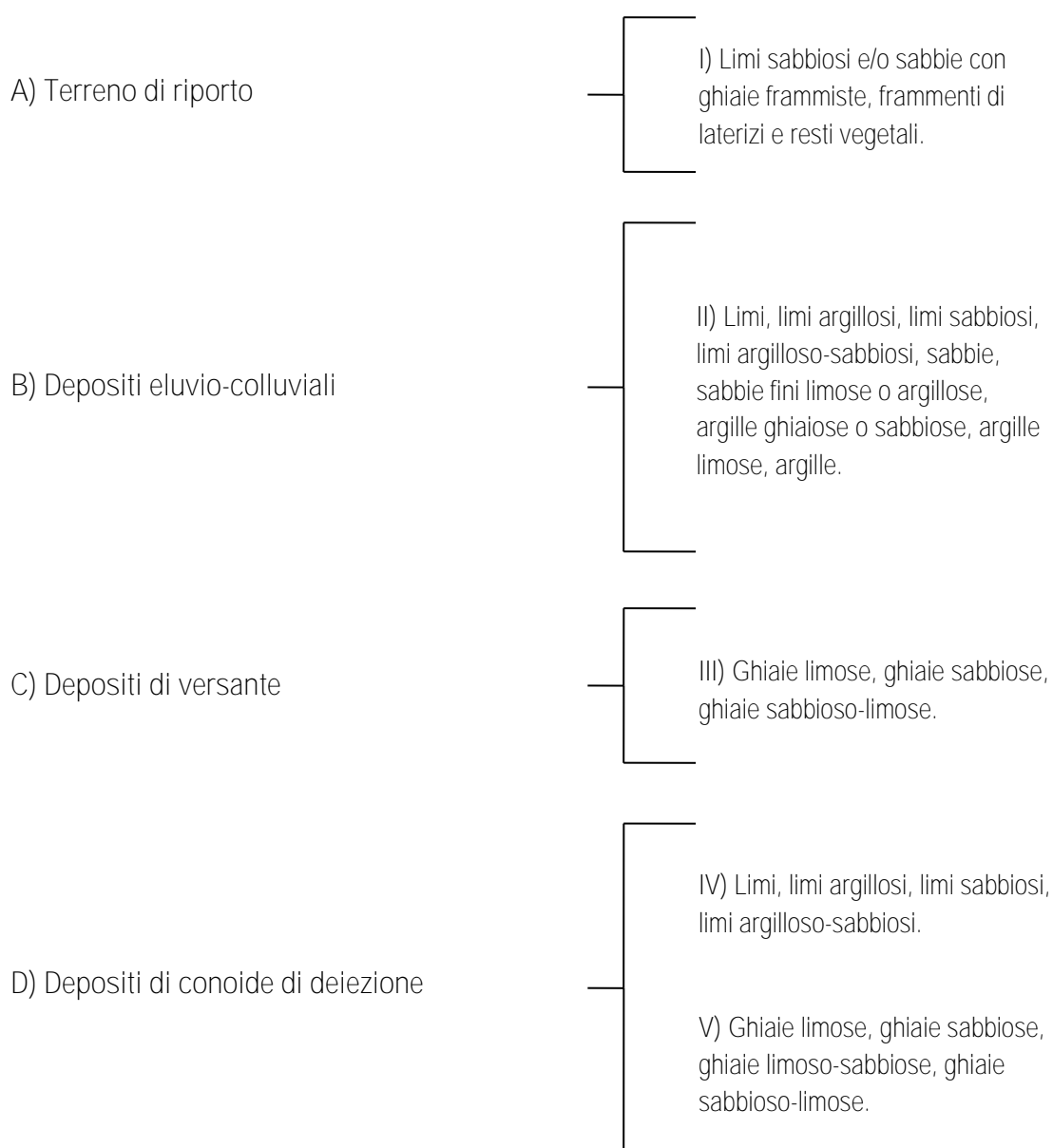
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

5.1 Dati geologico stratigrafici

Dai dati rilevati si evince, per le aree oggetto di studio di MS3, un modello di sottosuolo caratterizzato dalla seguente presenza di sedimenti.

UNITÀ DELLA COPERTURA

Depositi Continentali Quaternari e Terreno di riporto (*Pleistocene medio – Olocene*)



E) Depositi alluvionali

VI) Limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose.

VII) Sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose.

VIII) Ghiaie, ghiaie e sabbie, ghiaie sabbiose, ghiaie limose, ghiaie sabbioso-limose.

UNITÀ DEL SUBSTRATO:

Successione umbro-marchigiana (Turoniano – Messiniano)

Riferimento Carta Geologica Regionale CARG

F) Scaglia Rossa (SAA)

(*Turoniano – Luteziano p.p.*)

IX) Alternanze di strati di calcari, calcari marnosi e marne calcaree.

G) Scaglia Variegata (VAS)

(*Luteziano p.p. – Priaboniano p.p.*)

X) Alternanze di strati di calcari e calcari marnosi.

H) Scaglia Cinerea (SCC)

(*Priaboniano p.p. – Aquitaniano p.p.*)

XI) Alternanze di strati di marne calcaree, marne argillose e calcari marnosi.

I) Bisciaro (BIS)

(*Aquitaniano p.p. – Burdigaliano p.p.*)

XII) Alternanze di strati di calcari, calcari marnosi, marne calcaree e marne argillose.

L) Schlier (SCH)
(Langhiano - Messiniano)

XIII) Alternanze di marne calcaree, marne e marne argillose con sottili intercalazioni di calcari marnosi.

UNITÀ DELLA COPERTURA

Depositi Continentali Quaternari e Terreno di riporto (Pleistocene medio – Olocene)

A) TERRENO DI RIPORTO

Risulta piuttosto difficile caratterizzare tali terreni in quanto litologicamente e tessituralmente risultano molto eterogenei. Trattasi principalmente di limi sabbiosi e/o sabbie con ghiaie frammiste, frammenti di laterizi e resti vegetali (Litotipo I). **All'interno dell'aggregato** si rinvencono di frequente concrezioni carbonatiche sotto forma di noduli e striature. Dai sondaggi geognostici reperiti, si evince che un significativo spessore di terreno di riporto (massimo 5 m) è presente nella zona posta immediatamente a sud del Capoluogo di Serrapetrona e nella zona industriale di Caccamo, come indicato nella Carta Geologico - Tecnica.

B) DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI

Nelle aree d'interesse sono presenti prevalentemente i seguenti litotipi: limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie, sabbie fini limose o argillose, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille (Litotipo II). I sedimenti presentano una colorazione **variabile dal marrone all'avana**, con a luoghi bande grigie ed ocracee. **All'interno dell'aggregato** si rinvencono di frequente concrezioni carbonatiche sotto forma di noduli e striature, ossidazioni e subordinatamente inclusioni torbose e frustoli carboniosi. Si rinvencono ad est del centro abitato di Serrapetrona. Si stima per questi depositi uno spessore medio **dell'ordine di 15 m - 20 m**.

C) DEPOSITI DI VERSANTE

Tali coltri detritiche sono costituite principalmente da ghiaie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie sabbioso-limose (Litotipo III), a luoghi inglobanti blocchi di proporzioni variabili. I clasti sono di natura prevalentemente calcareo e calcareo-marnosa, si presentano con colorazione marrone nocciola, eterometrici, con spigoli vivi o poco elaborati e con granulometria medio-fine.

La loro genesi è da attribuire al disfacimento operato da processi di gelifrazione su versanti privi di vegetazione, al ruscellamento diffuso ed al soliflusso in ambiente periglaciale, nonché a movimenti di massa.



Si stima per questi depositi uno spessore massimo di circa 15 m - 20 m. Si rinvencono a sud ed a nord-ovest di Serrapetrona Capoluogo.

D) DEPOSITI DI CONOIDE DI DEIEZIONE

Tali depositi di copertura sono costituiti principalmente da ghiaie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie limoso-sabbiose, ghiaie sabbioso-limose (Litotipo V). I clasti sono di natura prevalentemente carbonatica, si presentano con colorazione variabile dal marrone **all'avana**, eterometrici, con forma lamellare e scarsamente arrotondati.

In particolare, è stato evidenziato un conoide di deiezione, impostato alla confluenza dei fossi ad elevata pendenza con il fondovalle, proprio **in corrispondenza dell'abitato di Serrapetrona**, dove tali depositi hanno uno spessore variabile dai 15 ai 35 m.

Si distinguono inoltre, dei depositi a maggior componente fine (limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, Litotipo IV) con uno spessore massimo intorno ai 10 m – 15 m, in Località Caccamo.

E) DEPOSITI ALLUVIONALI

Tali depositi sono costituiti da livelli distinguibili per caratteristiche granulometriche, tessiturali e fisico-meccaniche.

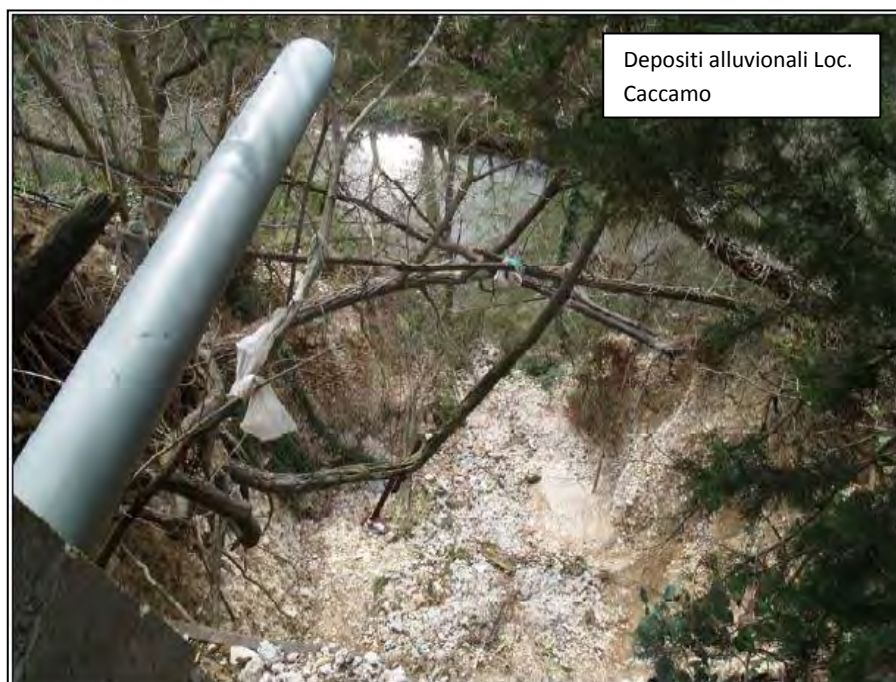
In località Serrapetrona Capoluogo e Caccamo, nella parte sommitale di tali depositi sono presenti principalmente alluvioni grossolane, quali ghiaie, ghiaie e sabbie, ghiaie sabbiose, ghiaie limose, ghiaie sabbioso-limose (Litotipo VIII). Trattasi di ghiaie eterometriche di natura prevalentemente carbonatica, con **diametri medi dell'ordine di 3 cm - 4 cm**, sciolte o moderatamente cementate, a tratti embriciate, arrotondate, mediamente appiattite e presentano una forma sia discoidale che sferica. Al disotto di tali litotipi, si possono rinvenire ghiaie intercalate a luoghi da lenti di materiale più fine a prevalente componente limosa (Litotipo VI).

Per tali depositi si stima uno spessore di circa 20 m.

Inoltre, in località Caccamo i depositi alluvionali in superficie sono costituiti anche da sedimenti fini, come limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose (Litotipo VI), per uno spessore massimo di circa 6 m. A maggiori profondità si ha **un'alternanza tra materiali ghiaiosi e materiali limoso-sabbiosi**; tali depositi hanno uno spessore minimo di 8 m e massimo stimato di 25 m.

Dai sondaggi geognostici reperiti si distinguono inoltre, dei depositi alluvionali a maggior componente sabbiosa (sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose, Litotipo VII), in Località Caccamo.

I rapporti stratigrafici e le geometrie dei corpi alluvionali fini e grossolani sono eterogenei e naturalmente **variabili all'interno del materasso alluvionale**.



UNITÀ DEL SUBSTRATO

Successione umbro-marchigiana (Turoniano – Messiniano)

-SUCCESSIONE CRETACICO OLIGOCENICA

F) Scaglia Rossa (*Turoniano – Luteziano p.p.*)

Costituita da **un'alternanza** di calcari, calcari marnosi, micriti e marne calcaree con selce rossastra in liste e noduli; la stratificazione è netta, **in strati da medi a spessi**. Il colore d'insieme varia dal rosato al rosso mattone con orizzonti biancastri più frequenti nella porzione basale; tipica è la frattura concoide o scagliosa.



Si ipotizza uno spessore variabile dai 200 ai 400 m.

Questa Formazione è presente in località Serrapetrona Capoluogo.

G) Scaglia Variegata (*Luteziano p.p. – Priaboniano p.p.*)

È costituita da calcari e calcari marnosi policromi alternati a marne, anch'esse policrome, in strati medi e spessi.

Lo spessore di tale unità è di circa 30 m.

Questa Formazione si rileva in località Serrapetrona Capoluogo.

H) Scaglia Cinerea (*Priaboniano p.p. – Aquitaniano p.p.*)

È costituita da alternanze, in strati sottili, di marne calcaree, marne argillose e, subordinatamente, di calcari marnosi in strati medi. Generalmente nella parte basale della formazione prevalgono le litofacies calcaree di colore grigio-chiaro, mentre nella parte superiore, di colore grigio-verdastro, si osserva un aumento della componente marnoso-argillosa.

La stratificazione medio-sottile talora risulta obliterata da un diffuso clivaggio.



Lo spessore di tale unità è di circa 150 m.

Questa Formazione si rileva in località Serrapetrona Capoluogo.

-SUCCESSIONE MIOCENICA

I) Bisciaro (*Aquitaniano – Burdigaliano p.p.*)

Alternanze, in strati sottili e medi, di calcari scuri, spesso silicizzati o detritici, calcari marnosi grigi con toni giallastri, marne calcaree, marne argillose grigie con sottili intercalazioni di colore ocreo per alterazione di solfuri; frequente è anche la bioturbazione.

Spessore intorno ai 30 m.

Questa Formazione si rileva ad oriente di Serrapetrona Capoluogo ed in località Caccamo.

L) Schlier (*Langhiano - Messiniano*)

Alternanze di marne, marne argillose grigie, marne calcaree biancastre e, subordinatamente, calcari marnosi biancastri e calcareniti fini, a luoghi con resti di macrofossili. **La stratificazione è medio-sottile**, spesso obliterata dalla bioturbazione e da un diffuso clivaggio.



Si ipotizza uno spessore massimo di circa 200-300 m.

Questa Formazione si rileva in località Caccamo.

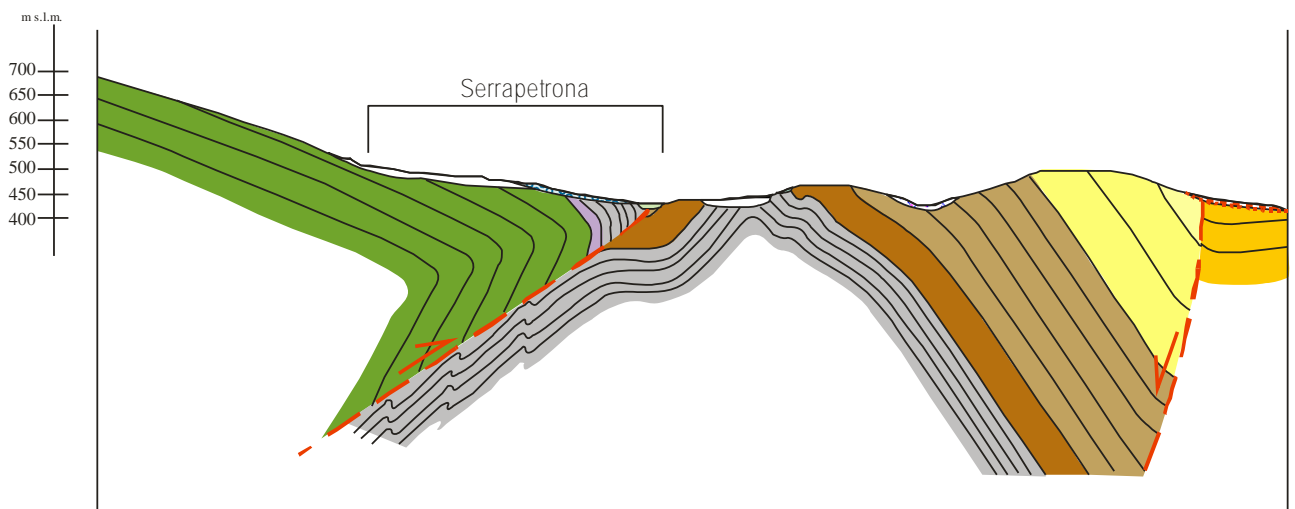
5.2 Dati geologico strutturali

È possibile distinguere, procedendo da ovest verso est, tre settori del territorio comunale **diversificabili dal punto di vista dell'assetto** morfologico e litologico-strutturale, di seguito descritti.

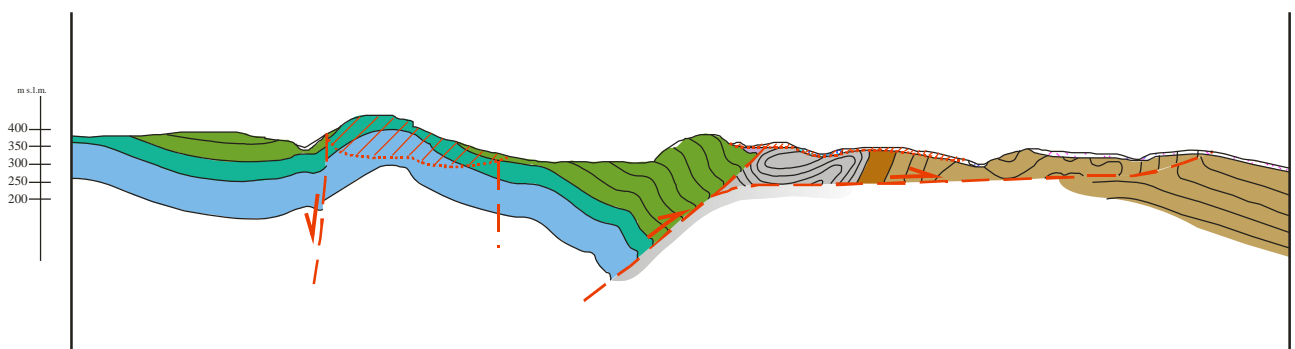
- Area occidentale, centro-occidentale. Le formazioni rocciose presenti, come sopra scritto, appartengono alla successione sedimentaria umbro marchigiana e il loro assetto geometrico, nel territorio comunale, forma a grandi linee due significative strutture plicative con assi generalmente orientati NNW-SSE che immergono debolmente verso Nord. Una prima ed ampia struttura anticlinale posta ad occidente del territorio comunale non interessa le aree **oggetto di microzonazione sismica**. Una **seconda piega anticlinale interessa l'area del Lago di Caccamo**, dove al nucleo affiora la formazione delle Marne a Fucoidi e via via verso oriente è interessata da fenomeni di sovrascorrimento.

- Area centrale, in cui affiorano i termini della serie oligo-miocenica (Scaglia Cinerea, Bisciaro e Schlier), è caratterizzata da pieghe anticlinali e sinclinali, con asse circa NNW-SSE e vergenza orientale, variamente dislocate da faglie estensive e trascorrenti. La struttura di maggior rilevanza è rappresentata dal *thrust* dei Monti Sibillini dove il sovrascorrimento si realizza mediante piani con direzione appenninica, immergenti verso ovest; in genere si ha sovrapposizione della Scaglia Rossa sui termini più recenti della Scaglia Cinerea.

SEZ I-I' AREA SERRAPETRONA CAPOLUOGO (sezione effettuata nel corso degli studi di MS1)



SEZ II-II' AREA LAGO DI CACCAMO (sezione effettuata nel corso degli studi di MS1)



- Area orientale, in cui affiora la Formazione della Laga, la Formazione di San Donato e la Formazione a Colombacci. Tale area orientale è caratterizzata da una monoclinale con immersione prevalente verso NE, dislocata da faglie di natura prevalentemente estensiva.

Tutte le **faglie individuate non mostrano evidenze di un'attività recente (ultimi 40.000 anni secondo "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica)**.

6. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Nella Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Serrapetrona sono stati presi in esame 110 punti di indagine sparsi nel territorio, di cui 101 siti puntuali e 9 siti lineari, suddivisi e rappresentati, in forma simbolica e per tipologia, nella “Carta delle Indagini”.

DATI PREGRESSI MS1		
Descrizione	Sigla	Quantità
Sondaggio a carotaggio continuo	S	38
Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	SS	36
Prova penetrometrica dinamica leggera	DL	3
Prova penetrometrica dinamica media	DN	1
Prova penetrometrica dinamica super pesante	DS	9
Trincea o pozzetto esplorativo	T	14
MASW	MASW	9

Nel corso degli studi di MS3 sono state eseguite **nelle aree di interesse nuove indagini**. L'ubicazione di tali indagini, concordata con il Centro MS, è avvenuta in accordo con i seguenti criteri:

- distribuzione dei dati pregressi;
- livello presunto di pericolosità relativa, eventualmente evidenziato nella carta delle MOPS di livello 1;
- tracce delle sezioni rappresentative che corredano la Carta geologico-tecnica;
- ogni microzona cartografata nella **Carta delle MOPS, nelle aree in cui è previsto l'approfondimento** di livello 3, deve essere caratterizzata attraverso un numero adeguato di misure di microtremore e almeno un profilo di Vs, possibilmente esteso fino al substrato di riferimento per le modellazioni numeriche;
- lungo almeno una delle sezioni geologico-tecniche deve essere realizzato almeno n. 1 sondaggio a carotaggio continuo (per una lunghezza complessiva di almeno 35 metri), con prelievo di campioni indisturbati, esecuzione di prove in sito (almeno prove SPT, quando possibile) e attrezzato per prova Down-Hole.

In riferimento a quanto detto sopra, nella sottostante tabella vengono identificati in chiave sinottica la quantità ed il tipo di indagini utilizzati per lo studio.

DATI NUOVA ACQUISIZIONE		
Descrizione	Sigla	Quantità
Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	SS	1
Prova penetrometrica in foro	SPT	2
Prova sismica in foro down-hole	DH	1
Misura di microtremore a stazione singola	HVSR	19
MASW	MASW	6

In particolare, nella la località Serrapetrona Capoluogo sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di n. 1 foro di sondaggio (denominato S1) tramite sonda idraulica rotativa SOILMEC a carotaggio continuo dei terreni attraversati con campionatore da 101 mm spinto fino alla profondità di S1= -35,00 m dal p.c.. **L'ubicazione della verticale indagata è riportata nella Carta delle Indagini, mentre i dati emersi sono riportati nell'allegato profilo stratigrafico (ALLEGATO 3).**
- Esecuzione di n. 2 prove penetrometriche dinamiche in foro S.P.T. con campionatore Raymond alle seguenti profondità rispetto il p.c.: S.P.T.1 = -3,00 m e S.P.T.2 = -19.55 m.
- Esecuzione di una prospezione sismica in foro tipo Down-Hole.
- Esecuzione di N. 5 prospezioni sismiche tipo MASW.
- Esecuzione di N. 15 misure HVSR.

Nella località Caccamo sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di N. 1 prospezione sismica tipo MASW.
- Esecuzione di N. 4 misure HVSR.

6.1 Dati geotecnici

La suddivisione tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse presenti nel territorio in esame, è stata effettuata in base ai dati reperiti.

Sono state distinte le unità litotecniche appartenenti ai depositi di copertura rispetto a quelle che compongono il substrato.

* UNITÀ LITOLOGICO-TECNICHE DELLA COPERTURA

Le unità litotecniche della copertura sono correlate alle unità litostratigrafiche ascrivibili al terreno di riporto, ai depositi eluvio-colluviali, ai depositi di versante, ai depositi di conoide di deiezione ed ai depositi alluvionali.

- SEDIMENTI A GRANA FINE - MEDIO FINE: Litotipi I, II, IV e VI, relativi al terreno di riporto, depositi eluvio-colluviali, depositi di conoide di deiezione a granulometria fine e alluvioni fini.

Classifica USCS: ML

Parametri geotecnici tipici:

$$\gamma_{\text{medio}} \text{ (peso volume)} = 1,90-2,10 \text{ g/cm}^3$$

$$\phi_{\text{medio}} \text{ (angolo di attrito)} = 22^\circ-28^\circ$$

$$C_u = 0,4-1,50 \text{ kg/cm}^2$$

$$C' = 0,05-0,20 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s \text{ (modulo elastico)} = 60-80 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_d \text{ (modulo edometrico tra 1 e 2 Kg di carico)} = 40-90 \text{ Kg/cm}^2$$

- SEDIMENTI A GRANA MEDIO FINE: Litotipo VII, relativo ad alluvioni medie.

Classifica USCS: SM

Parametri geotecnici tipici:

$$\gamma_{\text{medio}} \text{ (peso volume)} = 1,80-2,10 \text{ g/cm}^3$$

$$\phi_{\text{medio}} \text{ (angolo di attrito)} = 26^\circ-32^\circ$$

$$E_s \text{ (modulo elastico)} = 80-120 \text{ Kg/cm}^2$$

- SEDIMENTI A GRANA GROSSA: Litotipi III, V, VIII, relativi a depositi di versante, depositi di conoide di deiezione a granulometria grossolana ed alluvioni grossolane.

Classifica USCS: GM, GW

Parametri geotecnici tipici:

$$\gamma_{\text{medio}} \text{ (peso volume)} = 1,80-2,10 \text{ g/cm}^3$$






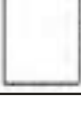
$$\phi_{\text{medio}} \text{ (angolo di attrito)} = 28^\circ-35^\circ$$

$$E_s \text{ (modulo elastico)} > 100 \text{ Kg/cm}^2$$

* UNITÀ LITOLOGICO-TECNICHE DEL SUBSTRATO

È stato classificato in modo speditivo l'**ammasso roccioso** Scaglia Rossa, Scaglia Variegata, Scaglia Cinerea, Bisciaro e Schlier secondo il concetto sviluppato da Hoek, GSI (*Geological strenght index*).

Geological Strenght Index

		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60		
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

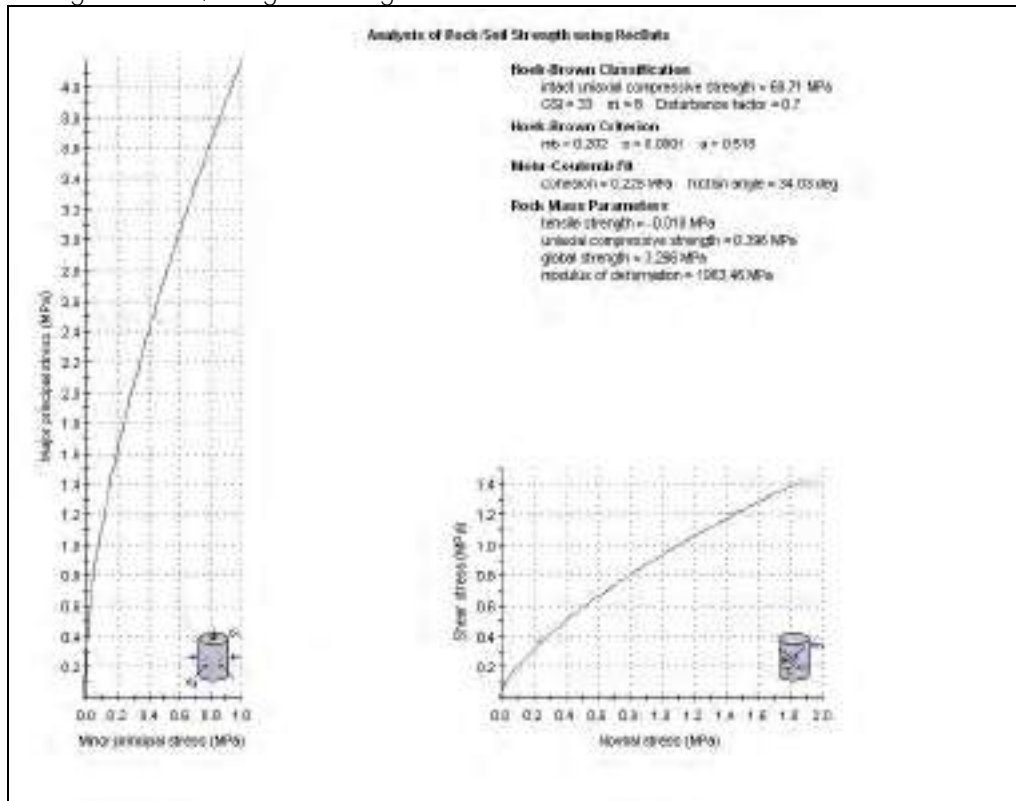
Scaglia rossa, Scaglia variegata.
GSI compreso tra 30 e 40

Scaglia cinerea e Bisciaro.
GSI compreso tra 23 e 35

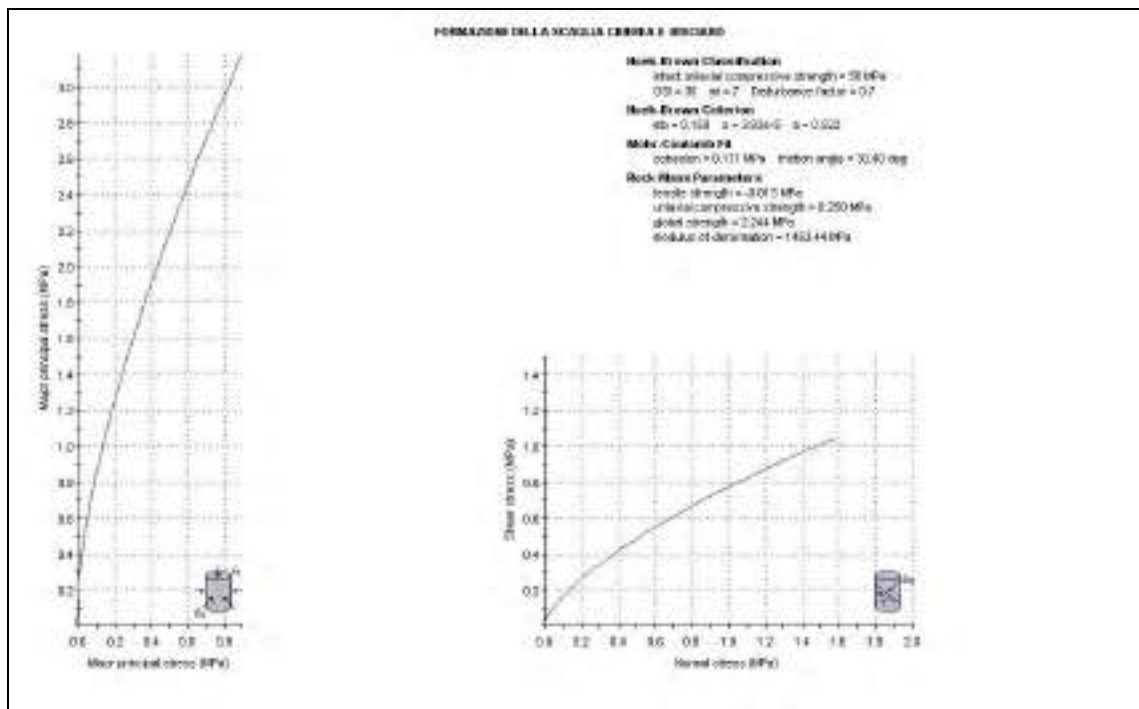
Schlier.
GSI compreso tra 18 e 25

Per la caratterizzazione geomeccanica del materiale “ammasso roccioso” si è fatto riferimento al criterio di rottura di Hoek-Brown, nonché dallo stesso si sono ricavati i parametri Mohr-Coulomb.

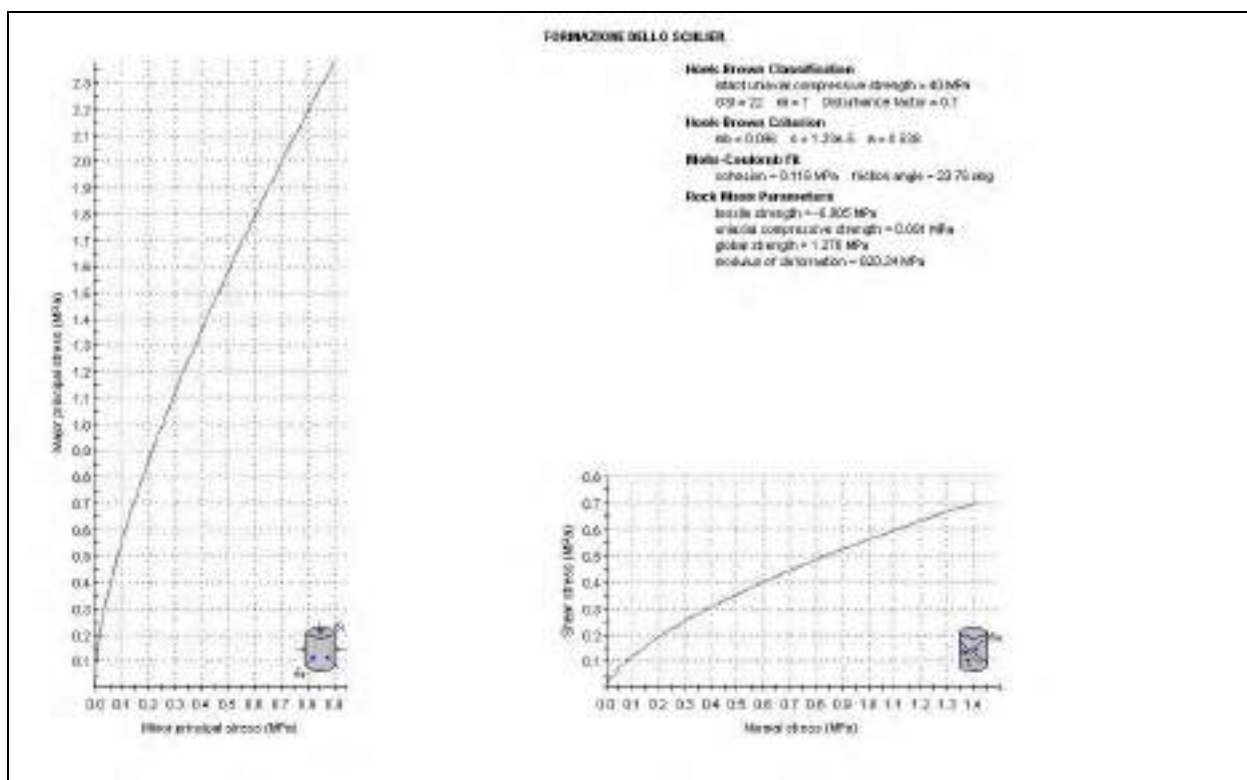
- Scaglia Rossa, Scaglia Variegata



- Scaglia Cinerea e Bisciaro



- Schlier



6.2 Dati geofisici

Le indagini di carattere geofisico, eseguite nelle aree oggetto di studio di MS3, sono consistite in N. 19 misure HVSR, N. 1 prova sismica in foro tipo Down-Hole e N. 6 prospezioni sismiche di superficie tipo MASW.

Nello specifico le indagini geofisiche di nuova acquisizione sono state ubicate come riportato nella tabella sottostante:

LOC. CACCAMO	SERRAPETRONA CAPOLUOGO
N. 4 HVSR	N. 15 HVSR
-	N. 1 DOWN-HOLE
N. 1 MASW	N. 5 MASW

Tutte le elaborazioni ed i dati relativi alle nuove acquisizioni sono consultabili nel cd allegato, nella cartella "Indagini/Documenti".

6.3. Acquisizione ed elaborazione indagini geofisiche

➤ HVSR

Le misure HVSR sono state effettuate **dal sottoscritto in qualità di responsabile dell'area geotecnica-geofisica** dalla ditta GEOIN s.r.l. di Macerata.

È stato utilizzato uno strumento della marca Tromino, TEC-0274/02-17, con frequenza sismometro 4,5 Hz, frequenza campionamento 128 Hz, durata misura 1200 sec. e finestre analisi 20 sec.

Il segnale di microtremore dopo essere stato acquisito, è stato elaborato secondo la tecnica di Nakamura (rapporti spettrali o HVSR) tramite il software dedicato (Grilla) il quale, per ciascuna delle tre componenti del moto registrate, permette di:

- suddividere la registrazione in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
- **eseguire l'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;**
- calcolare i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontali e verticale;
- calcolare i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

La lunghezza della finestra di analisi è stata scelta in 20 sec; è stato effettuato un lisciamento triangolare al **10% e l'intervallo di analisi** è stato scelto tra 0 e 64 Hz.

Previa pulizia del segnale, è stato riconosciuto il picco naturale a più bassa frequenza e, se presenti, picchi naturali a frequenze maggiori. Le frequenze fondamentali F_0 sono riportate nella Carta delle frequenze naturali dei terreni (f_0).

I dati relativi ad ogni acquisizione HVSR sono riportati nelle "Scheda Metadati indagini HVSR" (ALLEGATO 1), come richiesto dai "Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III".

I dati originali delle nuove acquisizioni sono consultabili nel cd allegato, nella cartella "Dati Originali" contenuta nella cartella "Indagini/Documenti".

Le elaborazioni ottenute tramite software GRILLA sono riportate nei file PDF nella cartella **"Indagini/Documenti" e, nello specifico, in ognuno di essi vengono illustrati:**

- **dati relativi all'acquisizione;**
- rapporto spettrale orizzontale su verticale;
- serie temporale H/V;
- direzionalità H/V;
- spettri delle singole componenti;
- criteri SESAME.

CONSIDERAZIONI MISURE HVSR

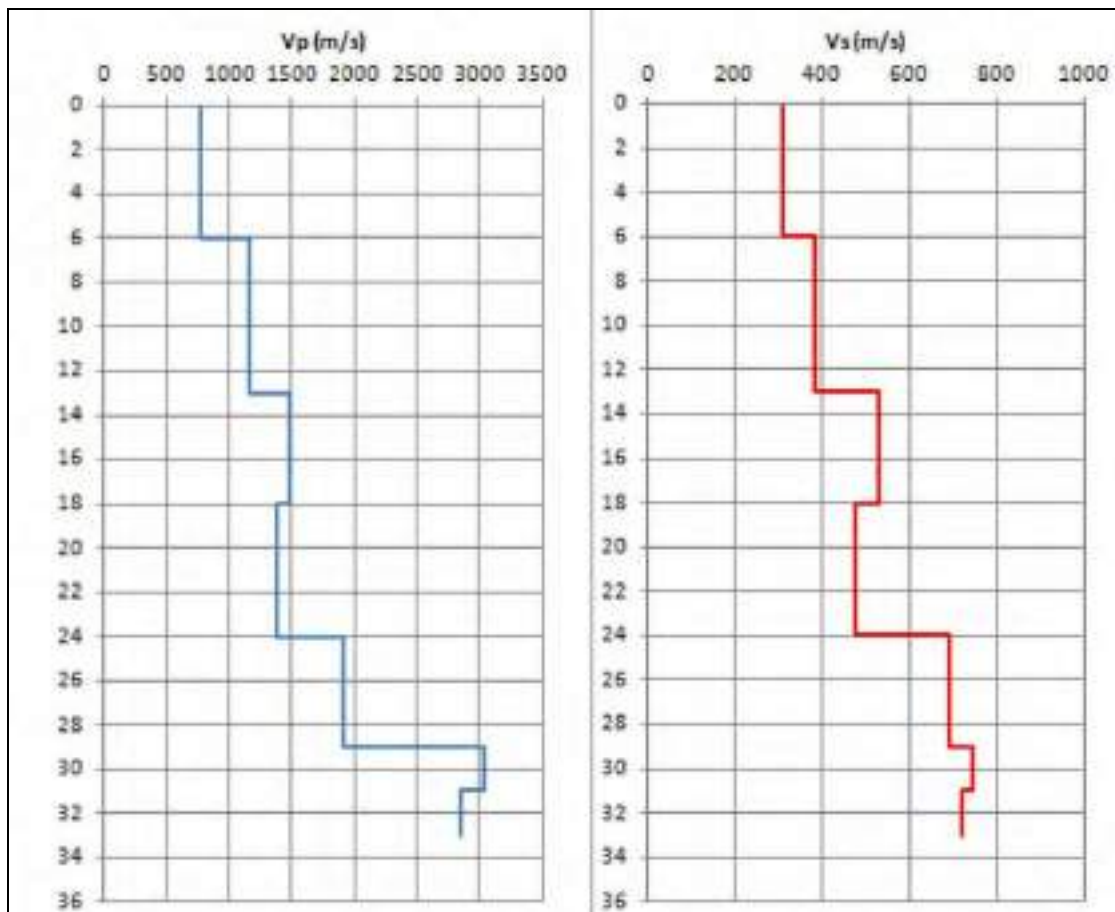
Nella maggior parte delle misure effettuate (anche in giorni diversi) è presente un disturbo antropico a circa 1,5 Hz ed un ulteriore tra 4 e 5 Hz. È stato verificato il buon funzionamento dello strumento utilizzato, il buon **accoppiamento strumento/terreno e l'assenza di vento significativo** nei giorni di misura; queste considerazioni **inducono a supporre che vi sia un'"anomalia" generale di origine antropica presente nei siti indagati** (Serrapetrona Capoluogo e Loc. Caccamo). Tuttavia, la presenza di un picco di origine antropica generalizzato su gran parte del territorio comunale, non ha compromesso la redazione della Carta delle frequenze f_0 (non è stato mai considerato come picco naturale), né tantomeno i processi di inversione congiunta effettuati, poichè tale picco antropico è stato rimosso.

Le misure HVSR **effettuate rispecchiano il modello geologico ipotizzato**. Lungo l'asse della conoide di **deiazione su cui poggia l'abitato di Serrapetrona, da W verso E (vedi figura sottostante)** si rileva un picco in frequenza variabile da $f_0 = 6,78$ Hz a $f_0 = 5,76$ Hz a cui si associa un contrasto di impedenza dai 15 m ai 20 m **di profondità**. **Perpendicolarmente all'asse del conoide, si rilevano picchi in frequenza che mostrano un approfondimento del contrasto di impedenza da NNW ($f_0 = 11,53$, contrasto impedenza a circa 7,5 m) verso SSE ($f_0 = 6,53$, contrasto impedenza a circa 7,5 m) rispecchiando la geometria della discordanza stratigrafica tra i depositi della copertura ed il sottostante substrato**. **Misure HVSR con "curva piatta" e/o con scarsa ampiezza A_0** (assenza di significativi contrasti di impedenza) sono state rilevate nei substrati geologici integri. In località Caccamo, le misure HVSR risultano simili. I valori di f_0 misurati mostrano picchi alle frequenze di $f_0 = 7,55/8,63/8,66/8,66$ Hz, con A_0 compreso tra 3,09/6,19 ascrivibili ad un probabile contrasto di impedenza posto alla profondità di circa 10/15 m.

➤ DOWN-HOLE

La prospezione sismica in foro DOWN-HOLE è stata eseguita dall'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero – Consiglio Nazionale delle Ricerche (IAMC-CNR) di Napoli.

1) Misura sismica in foro DOWN-HOLE eseguita a Serrapetrona Capoluogo nel foro do sondaggio S1



Profondità [m]	Vp [m/s]
0.0 - 6.0	778
6.0 - 13.0	1166
13.0 - 18.0	1480
18.0 - 24.0	1391
24.0 - 29.0	1914
29.0 - 31.0	3036
31.0 - 33.0	2864
Profondità [m]	Vs [m/s]
0.0 - 6.0	308
6.0 - 13.0	381
13.0 - 18.0	530
18.0 - 24.0	473
24.0 - 29.0	690
29.0 - 31.0	751
29.0 - 31.0	721

➤ MASW

Le prospezioni sismiche MASW sono state effettuate dal sottoscritto in qualità di responsabile dell'area geotecnica-geofisica dalla ditta GEOIN s.r.l. di Macerata. Le indagini sono state eseguite ponendo nel terreno n. 24 geofoni spazati tra loro 2,00 m. Nei rari siti dove non vi era lo spazio necessario, i geofoni sono stati spazati tra loro di 1,50 m. Sono state eseguite energizzazioni mediante una massa battente (mazza 8 Kg) fatta cadere su di una piastra metallica posizionata nel terreno. **L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo PASI 16S24U, 24 canali.** Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale PASI posto in prossimità della piastra posizionata alla distanza di 5,00 m dal primo geofono ed ulteriori acquisizioni con scoppi a 5,00 m dall'ultimo geofono. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali PASI-4.5Hz.

I dati relativi ad ogni acquisizione MASW sono riportati nelle "Scheda Metadati indagini MASW" (ALLEGATO 2), come richiesto dai "Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III".

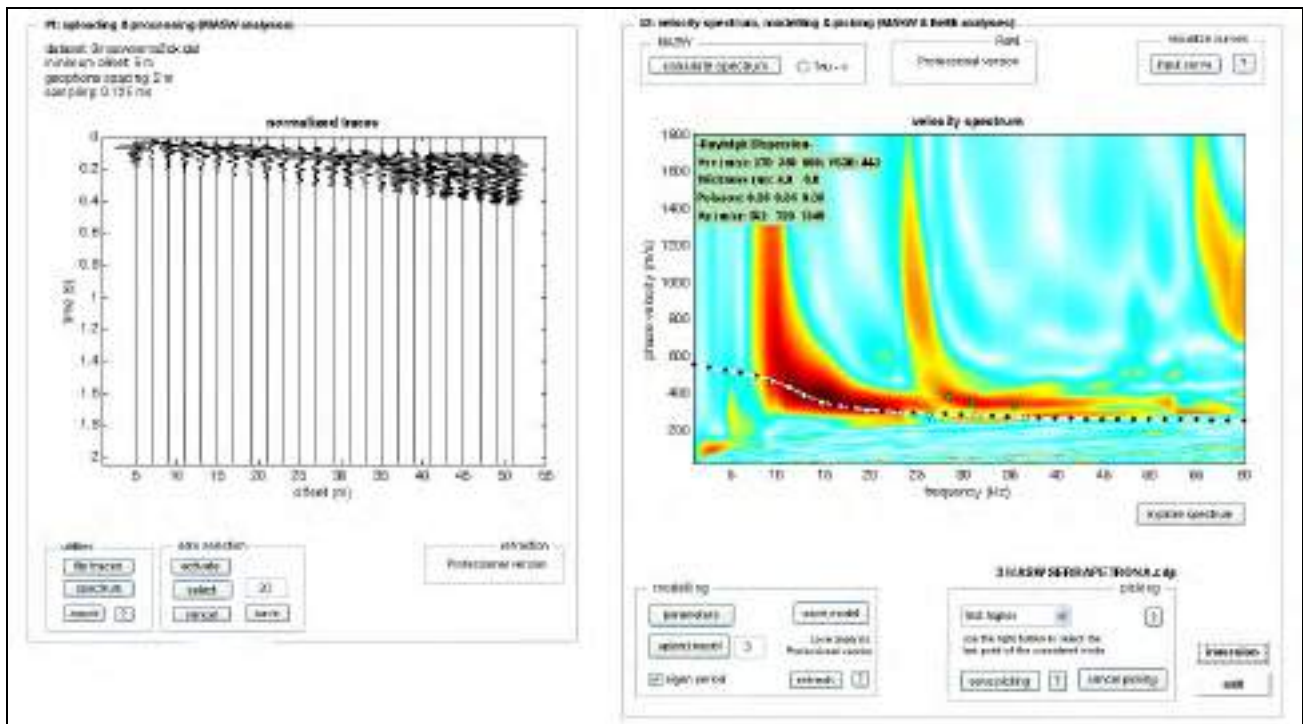
I dati originali delle nuove acquisizioni sono consultabili nel cd allegato, nella cartella "Dati Originali" contenuta nella cartella "Indagini/Documenti".

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s) sono state effettuate con il programma winMASW 4.1 che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione di una sezione

sismostratigrafica. I dati acquisiti sono stati elaborati mediante la determinazione dello spettro di velocità, l'identificazione delle curve di dispersione ed inversione/modellazione di queste ultime. In particolare, per prima cosa è stato ricercato il modo fondamentale e, se presenti, i modi superiori. È stato poi ipotizzato un modello geologico-sismostratigrafico del sottosuolo scaturito dalle MOPS e dalle indagini geognostiche reperite e/o effettuate. Il modello così ipotizzato, è stato caricato sulla curva di dispersione ed elaborato in modo tale da rispecchiare la curva stessa. È stato effettuato il picking sulla curva ed avviato, secondo il modello ipotizzato, il processo di inversione.

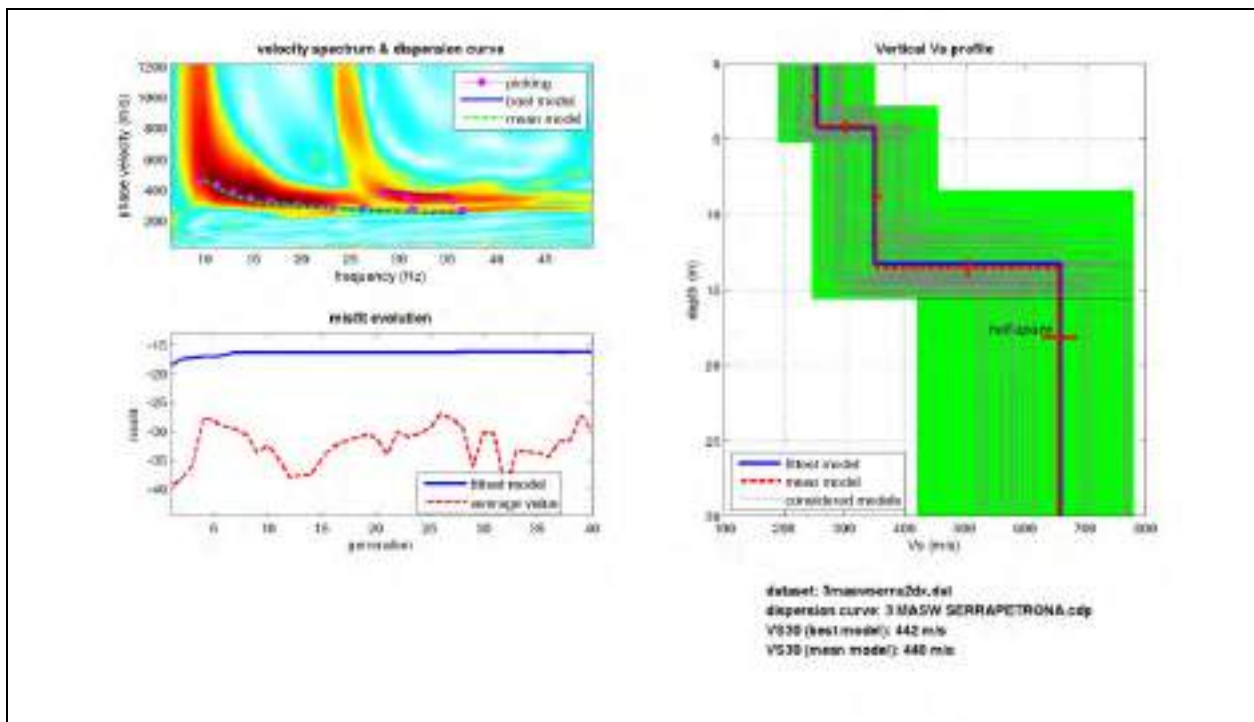
Le elaborazioni ottenute da questo processo sono riportate nei file PDF nella cartella "Indagini/Documenti" e, nello specifico, in ognuno di essi vengono illustrati:

- file txt dove sono riportati i risultati delle misure e delle inversioni;
- sismogramma elaborato relativo all'acquisizione sismica MASW e lo spettro di velocità calcolato su sismogramma elaborato (vedi esempio figura sottostante);



Sulla sinistra sismogramma relativo all'acquisizione sismica MASW e sulla destra lo spettro di velocità calcolato su sismogramma elaborato.

- risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite dati MASW (vedi esempio figura sottostante);



In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra profilo verticale Vs identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe Algoritmi Genetici).

- modello medio generato dal software winMASW;
- profilo verticale Vs, Vp e curve di dispersione generati dal software winMASW;
- sismostratigrafia.

CONSIDERAZIONI MASW

Le colonne sismostratigrafiche, ottenute dall'elaborazione dei dati, mostrano che i terreni di copertura hanno velocità Vs minori a Serrapetrona Capoluogo rispetto alla loc. Caccamo. A Serrapetrona i depositi di copertura fini hanno velocità Vs comprese tra i 150 e 250 m/sec, mentre quelli più grossolani (ghiaie) mostrano velocità Vs comprese tra 250 e 350 m/sec. In loc. Caccamo, i depositi di copertura fini hanno velocità Vs comprese tra i 340 e 370 m/sec, mentre quelli più grossolani (ghiaie) mostrano velocità Vs dell'ordine di 550 m/sec.

Per il substrato geologico alterato, si hanno valori pari o prossimi agli 800 m/s che vengono raggiunti soltanto a profondità superiori ai 12-20 m.

Per il substrato sismico, ascrivibile alla Formazione della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata, vengono raggiunti valori di Vs intorno ai 1200 m/s.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nello specifico, di seguito vengono illustrate le metodologie utilizzate per le Inversioni Congiunte, Modellazione 1D e Modellazione 2D.

- Inversioni congiunte

Per la stima del profilo di velocità delle onde di taglio Vs, a partire dai valori osservati dalle misure di campagna (curva di dispersione – curva HVSr), si è adottata la procedura che consente di invertire congiuntamente differenti dati sperimentali dipendenti dagli stessi parametri del sottosuolo. In particolare, sono state effettuate inversioni congiunte con coppie di misure MASW/HVSr. La tecnica ed i software utilizzati per le suddette inversioni, sono stati recepiti durante il Corso di Formazione – UTO Marche 2, tenutosi dal 17 al 20 Luglio 2017 a Falerone (FM).

In particolare, le inversioni congiunte sono state effettuate mediante software libero DINVER, Geopsy Package (versione 0.0.0-snapshot-20171024).

In DINVER la modellazione diretta si basa essenzialmente **sull'apporto** delle onde di Rayleigh, in particolare del loro modo fondamentale. La metodologia di inversione si basa su un metodo di ricerca globale (Neighbourhood Algorithm). In DINVER **la curva HVSr può essere riprodotta dall'ellitticità del** modo fondamentale delle onde di Rayleigh; ciò dà importanza soprattutto alla riproduzione della frequenza del massimo H/V (considerata la parte più informativa della curva) piuttosto che alla sua ampiezza.

In DINVER sono state caricate coppie MASW/HVSr. È stato poi ipotizzato un modello geologico-sismostratigrafico del sottosuolo scaturito dalle MOPS e dalle indagini geofisiche stesse. Il modello così ipotizzato, è stato elaborato dal software stesso. Sono state effettuate generalmente N. 10 inversioni per ogni coppia e considerato poi il solo modello migliore associato a quello con il più basso Misfit, che rappresentasse nel miglior modo possibile le curve MASW/HVSr. Il profilo di velocità delle onde di taglio Vs così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.

- Modellazione 1D

Per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D è stato utilizzato il codice di calcolo STRATA versione 0.5.9-36bf97a (Albert Kottke, Ellen Rathje, 2008), sfruttando l'opzione di analisi probabilistica presente nel software stesso. Tale codice opera nel dominio delle frequenze e modella il comportamento non lineare dei terreni mediante il metodo lineare equivalente.

L'analisi probabilistica presente nel codice STRATA ha consentito di eseguire numerose analisi della RSL (n.100) per ogni singolo scenario di scuotimento, variando casualmente l'andamento del profilo $V_s(h)$, delle curve di decadimento e smorzamento, e della profondità del basamento sismico, all'interno dei vincoli imposti in base al modello geologico e sismostratigrafico considerato. Inoltre, nel caso di variazioni di spessore di un litotipo all'interno di una MOPS di oltre i 10 m si è convenuto di confrontare i risultati immettendo rispettivamente il valore minimo, il massimo ed il medio dello spessore del litotipo stesso.

I dati richiesti in ingresso sono seguenti.

- 1) Lo scuotimento sismico (accelerogramma) su basamento sismico affiorante ovvero su un sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale.

Gli accelerogrammi di input utilizzati, con le caratteristiche sopra descritte, con periodo di ritorno pari a 475 anni, sono stati forniti dal Centro MS.

- 2) Il profilo di velocità delle onde S (V_s) fino alla profondità corrispondente al basamento sismico ovvero al tetto di un ammasso roccioso o terreno rigido caratterizzato da valori di V_s maggiori di 750-800 m/s. I profili di velocità utilizzati sono quelli scaturiti dalle inversioni congiunte e dai DH.

- 3) Le curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato G/G_0 e del rapporto di smorzamento D , in funzione della deformazione di taglio, per ciascuno dei materiali presenti nel modello di sottosuolo.

Le curve di decadimento utilizzate del modulo di taglio normalizzato G/G_0 e del rapporto di smorzamento D , sono state quelle fornite dal Centro MS.

In presenza di N profili all'interno di una stessa MOPS, si è proceduto mediante l'implementazione della variabilità del profilo di V_s nelle analisi di RSL così come riportato nei "Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III nei 140 Comuni di cui l'Ordinanza n. 24 del 12 Maggio 2017 della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Agosto 2017".

I parametri di interesse determinati sulla base delle analisi 1D di RSL sono:

- a) Accelerogrammi (in numero di 7) rappresentativi della pericolosità sismica locale (scenari di scuotimento) associata ad eventi con tempo di ritorno di 475 anni e relativi spettri di risposta elastici in pseudo-accelerazione con smorzamento pari al 5% dello smorzamento critico (S_a);

- b) Fattori di Amplificazione (FA) relativi a tre intervalli di periodi (0.1-0.5s, 0.4-0.8s e 0.7-1.1s).

- Modellazione 2D

La modellazione numerica RSL 2D è stata condotta dal Centro di Microzonazione Sismica utilizzando il codice QUAD4M (Hudson et al., 2003) e seguendo le prescrizioni definite nei “Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III”.

Nell'ALLEGATO 6 si riportano i risultati della modellazione numerica 2D effettuata.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1. Carta delle Indagini

La Carta delle Indagini per gli studi di MS è un elaborato che deve essere predisposto per ciascuno dei tre livelli degli studi di microzonazione; in particolare per il livello 1 devono essere rappresentate le indagini preesistenti e quelle eventualmente realizzate ex novo.

Per la stesura di questa Carta, realizzata in scala 1:5.000, sono state aggiunte alle indagini pregresse ed acquisite nel corso degli studi di livello 1, le indagini integrative predisposte per lo studio di MS3.

Tutti i **punti d'indagine sono stati rappresentati, in ambiente GIS, con l'indicazione del loro codice identificativo (pkey-spu, ovvero chiave primaria del sito) e con la simbologia idonea a distinguerne il tipo, come espresso nelle specifiche tecniche Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica, Versione 4.0b, Roma, Ottobre 2015 - Commissione Tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 Novembre 2010, n. 3907).**

Tutte le informazioni sono state archiviate **e georeferite usando il Software per l'archiviazione dei dati della Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica, SoftMS – Versione 4.0, predisposto dalla Protezione Civile. Le indagini sono state catalogate, secondo i codici indicati negli Standard di rappresentazione, in due diversi tipi di tabelle: una per le indagini di tipo puntuale e l'altra per quelle di tipo lineare; dal punto di vista grafico sono state inserite nella relativa Carta distinguendole per tipologia. I relativi shapefile sono consultabili nel cd allegato nella cartella “Indagini”; all'interno di questa cartella ne è contenuta un'altra, denominata “Documenti”, dove è possibile prendere visione dei documenti originali in formato pdf relativi alle varie indagini archiviate. Le indagini pregresse e quelle realizzate ex novo si distinguono sulla base della data di realizzazione, riportata sul database associato e contenuto nella cartella “Indagini”.**

Questa cartografia costituisce il primo passo per la definizione del quadro conoscitivo del sottosuolo, mettendo inoltre in evidenza la distribuzione areale delle indagini nel territorio in esame.

8.2. Carta Geologico - Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS)

Nella Carta Geologico - Tecnica per la Microzonazione Sismica sono state riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche), derivate da carte ed elaborati esistenti ed acquisite in seguito a rilevamento geologico-geomorfologico del territorio. Questi dati sono necessari alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla realizzazione della Carta delle

Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

Nella Carta, prodotta in scala 1:5.000, sono state rappresentate le unità geologico-litotecniche distinte tra terreni di copertura e substrato geologico. Per le coperture lo spessore minimo considerato è stato di 3 metri e la litologia dei terreni è stata descritta tramite sistema di classificazione Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985), a cui **è stata aggiunta una sigla che descrive l'ambiente deposizionale del litotipo**. Le unità del substrato sono state identificate con un codice in cui è riportata la sigla relativa **all'unità litotecnica**, prevista dagli Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica, e la corrispondente sigla CARG, in modo **da non perdere l'informazione geologica** relativa alle diverse Formazioni presenti nel territorio.

Per quanto riguarda le instabilità di versante, sono state cartografate in base alla loro tipologia di movimento ed al loro stato di attività, definito riferendosi al progetto IFFI ed alla cartografia P.A.I. della **Regione Marche**. **La perimetrazione delle stesse è derivata dall'unione dei corpi di frana PAI+IFFI, senza** apportare nessuna rettifica né in difetto, né in eccesso. Nello specifico, non si segnalano discrepanze tra la perimetrazione PAI+IFFI ufficiale e quella riportata nella Carta in oggetto relativamente alle instabilità di versante rappresentate nel perimetro relativo agli studi di MS3.

Sono state riportate inoltre le forme di superficie ritenute significative quali, nel caso in esame, conoidi alluvionali, orli di scarpata morfologica naturale o artificiale e di terrazzo fluviale e creste, oltre ad elementi tettonico-strutturali come, faglie dirette non attive (certe e incerte), faglie inverse non attive (incerte), faglie con cinematisma non definito non attive (incerte) ed anticlinali.

Sono stati altresì rappresentati i seguenti elementi geologici ed idrogeologici:

- ubicazione di pozzi o sondaggi che hanno raggiunto il substrato geologico (con indicazione della profondità ove il substrato è stato rinvenuto) e ubicazione di pozzi o sondaggi che non hanno raggiunto il substrato (con indicazione della massima profondità raggiunta dalla perforazione);
- ubicazione di misure della profondità della falda in aree con sabbia e/o ghiaie con relativa indicazione della profondità della superficie libera a partire dal piano campagna;
- giaciture degli strati.

Nella Carta sono state inoltre riportate le tracce delle 7 Sezioni geologico-tecniche, realizzate appositamente per tale studio, rappresentative del modello geologico del sottosuolo.

Nel dettaglio si riportano le unità litologiche cartografate nel campo carta relativo alle aree di MS3.

UNITÀ DELLA COPERTURA

Terreno di riporto

RI = Limi sabbiosi e/o sabbie con ghiaie frammiste, frammenti di laterizi e materiali e resti vegetali.

Depositi eluvio-colluviali – ec (> 3 m)

ML = Limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose.

Depositi di versante – fd (> 3 m)

GM = Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo.

Depositi di conoide di deiezione – cz (> 3 m)

ML = Limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose.

GM = Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo.

Depositi alluvionali – tf (> 3 m)

ML = Limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose.

SM = Sabbie limose, miscela di sabbia e limo.

GM = Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo.

GW = Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia.

UNITÀ DEL SUBSTRATO

ALS = Alternanza di litotipi, stratificato

Con tale sigla sono state identificate, seguendo le indicazioni del Centro MS - Raggruppamento Marche 2, le seguenti Formazioni della Successione Umbro-Marchigiana presenti nelle aree di MS3:

- VAS: Scaglia variegata;
- SCC: Scaglia cinerea;
- BIS: Bisciaro;
- SCH: Schlier.

SFALS = Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

Con tale sigla sono state identificate, seguendo le indicazioni del Centro MS - Raggruppamento Marche 2, le seguenti Formazioni della Successione Umbro-Marchigiana presenti nelle aree di MS3:

- BIS: Bisciario;
- SCH: Schlier.

LPS = Lapideo, stratificato

Con tale sigla sono state identificate, seguendo le indicazioni del Centro MS - Raggruppamento Marche 2, le seguenti Formazioni della Successione Umbro-Marchigiana presenti nelle aree di MS3:

- SAA3: Scaglia rossa – Membro superiore;
- SAA2: Scaglia rossa – Membro intermedio.

Le instabilità di versante cartografate nel campo carta relativo alle aree di MS3 sono:

- N. 2 frane del tipo scorrimento – attiva;
- N. 1 frana del tipo colata – attiva.

Per ogni unità della copertura **in affioramento e instabilità di versante presente all'interno delle aree di MS3** del territorio comunale di Serrapetrona **è stata effettuata, come da** “Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III”, **la relativa** “Scheda rilevamento coperture” (ALLEGATO 4) **e** “Scheda rilevamento frane” (ALLEGATO 5).

8.3. Sezioni geologico - tecniche

Le Sezioni geologico-tecniche costituiscono lo strumento per visualizzare il modello geologico di sottosuolo di riferimento in tutte le fasi degli studi di MS finalizzate alla determinazione della risposta sismica locale.

I **profili geologico tecnici devono definire la geometria dell'interfaccia substrato-copertura** e la distribuzione in sottosuolo delle diverse tipologie delle coperture.

I criteri di **tracciamento delle sezioni, come definito nei** “Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III”, sono stati i seguenti:

1) le sezioni devono attraversare i centri abitati per una porzione rappresentativa delle dimensioni del centro abitato stesso;

2) dimensioni **longitudinali delle sezioni scelte per l'analisi bidimensionali (2D)** devono essere tali da minimizzare, in corrispondenza della zona del centro abitato, gli effetti delle riflessioni totali delle onde che incidono sulle frontiere laterali della modellazione bidimensionale;

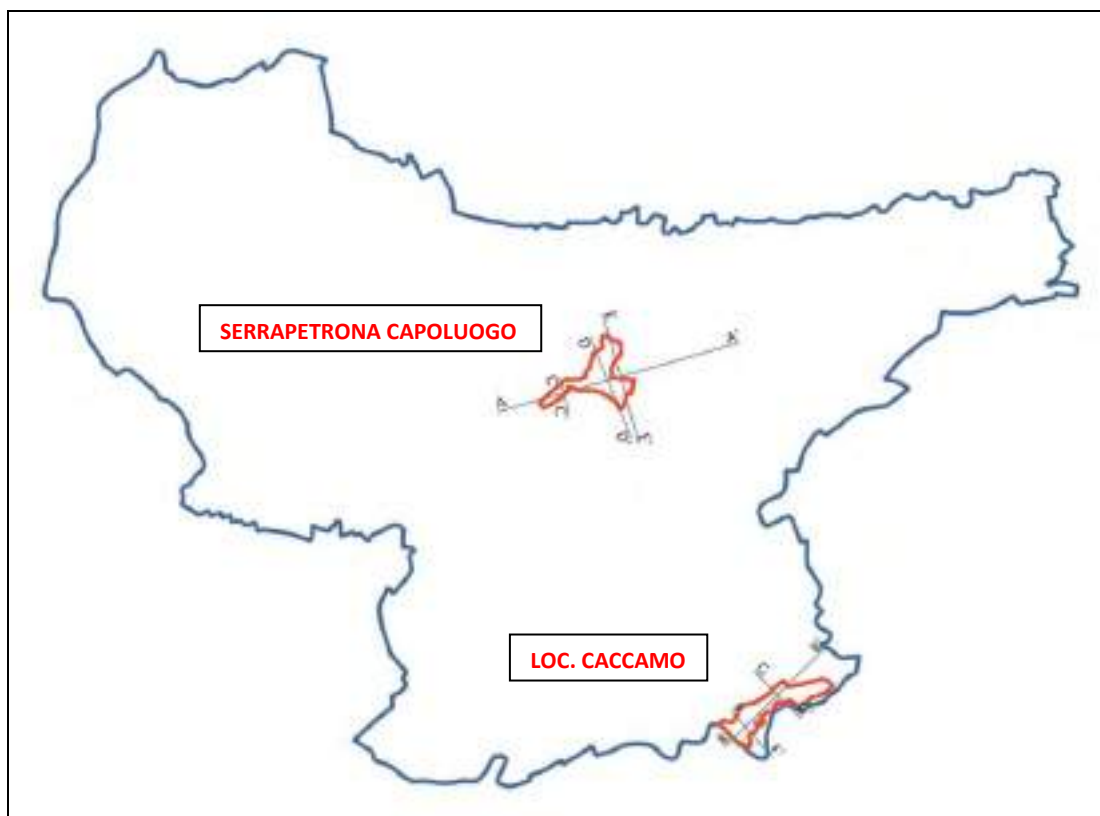
3) le sezioni devono essere ubicate in modo da caratterizzare la massima eterogeneità in termini di terreni di copertura (TC) e substrato (S) del Modello Geologico al di sotto del centro abitato, ovvero le sezioni devono essere realizzate fino ad una profondità tale da intercettare il Substrato Sismico (se identificabile) o quello Geologico;

4) **se l'eterogeneità è approssimativamente 1D (successione di strati orizzontali o sub-orizzontali)** le sezioni possono essere più corte; altrimenti, in caso di forti eterogeneità laterali, con configurazioni 2D o 3D (es. contatti sepolti molto acclivi, presenza di scarpate verticali sepolte, ecc.) è necessario ubicare le sezioni in modo tale da rappresentare al meglio anche tali eterogeneità;

5) le sezioni devono essere ubicate tenendo conto delle possibili morfologie sepolte o delle morfologie superficiali (ad es. presenza di riempimenti vallivi, contatti bruschi con i versanti, scarpate di terrazzo, scarpate strutturali, ecc.);

6) nel caso di centri abitati posti su TC (terreni di copertura) che riempiono morfologie sepolte è **raccomandabile, dove il contrasto laterale sia significativo e l'eterogeneità 2D e/o 3D attesa sia importante**, tracciare le sezioni lateralmente fino ad intercettare il Substrato Sismico.

In base a quanto detto sopra, nel territorio di Serrapetrona interessato dagli studi di livello 3, sono state effettuate n. 7 Sezioni geologico-tecniche ubicate come riportato nella figura sottostante. Nello specifico, sono state eseguite n. 4 sezioni a Serrapetrona Capoluogo e n. 3 sezioni in Loc. Caccamo.



Lungo la sezione D – D' è stato eseguito il sondaggio a carotaggio continuo (per una lunghezza complessiva di almeno 35 metri) attrezzato per la prova sismica in foro Down-Hole.

Le sezioni sono state realizzate alla scala 1:5.000.

In ogni Sezione geologico-tecnica sono state riportate le seguenti informazioni:

- **indicazione della posizione di vista rispetto all'orientamento geografico;**
- riferimenti toponomastici;
- incroci con altre sezioni;
- proiezione di sondaggi geognostici ricadenti lungo la traccia della sezione con relativa profondità in sottosuolo e codice di riferimento;
- sigla delle Unità litologiche cartografate nel campo carta. Per i terreni di copertura è stata riportata la sigla **relativa alla litologia ed all'ambiente deposizionale della stessa**, mentre per il substrato la **sigla relativa all'unità litotecnica** con la corrispondente sigla CARG.

8.4. Carta delle frequenze naturali dei terreni (f_0)

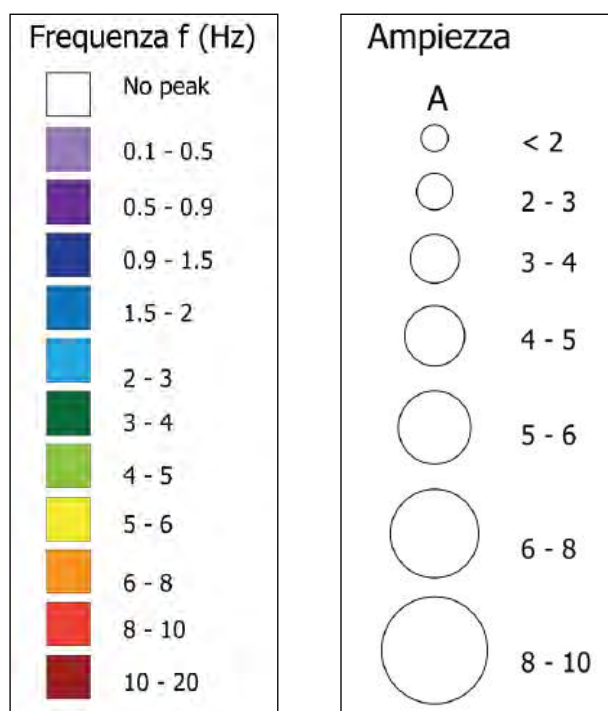
Nella Carta delle frequenze naturali dei terreni sono riportati i punti di misura dei rumori ambientali (HVSr) con il range dei valori di picco massimo F_0 (Hz) e di ampiezza del rapporto H/V.

Con F_0 si intende il massimo significativo in più bassa frequenza relativo ad un contrasto di impedenza presente nella curva H/V.

Le informazioni necessarie alla realizzazione di tale Carta sono state archiviate **all'interno dello shapefile "HVSr", presente nella cartella "Indagini"**. La struttura della Banca dati geografica "HVSr" prevede l'archiviazione di n. 4 valori di frequenze e relative ampiezze; nello specifico, le misure dei valori di rumore sono riportate nei campi F_0 , F_1 , F_2 e F_3 (Frequenze in Hz) e nei campi A_0 , A_1 , A_2 , e A_3 (Ampiezze H/V).

Nel campo numerico F_0 è stato riportato il valore f_0 (Hz) con relativa ampiezza A_0 , nel campo F_1 è stato riportato il valore di frequenza f_1 con ampiezza A_1 e così via a crescere in frequenza, per quanti sono i massimi significativi nella curva H/V.

Tale Carta è stata realizzata alla scala 1:5.000 ed i punti di misura HVSr sono stati rappresentati in ambiente GIS con l'indicazione del valore f_0 e con la simbologia riportata nella figura sottostante.



8.5. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS)

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), prodotta alla scala 1:5.000, ha lo scopo di individuare le zone stabili e le zone le cui condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, le infrastrutture e l'ambiente.

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.

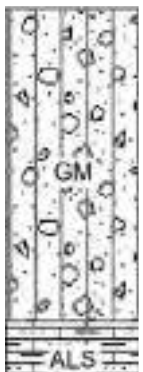
Non sono state individuate zone stabili.

Di seguito vengono descritte le principali caratteristiche geologiche e geomorfologiche delle 2 zone omogenee individuate nelle aree di studio di MS3 del territorio di Serrapetrona.

Aree stabili suscettibili di amplificazioni locali

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono state cartografate con campiture di colore pieno a differenti tonalità e sono state codificate in modo progressivo in base alla successione litostratigrafica con codice 20xy. Nella legenda della Carta sono riportate, in scala, le colonne litostratigrafiche sintetiche rappresentative di ogni microzona presente nelle aree di Microzonazione sismica di livello 3.

Nelle colonne litostratigrafiche sono state riportate diverse informazioni relative alle unità della copertura e del substrato, come rappresentato nella figura sottostante.

<p>2013</p> 	<p>2013: codice identificativo della MOPS</p> <p>GM: codice identificativo del Tipo_GT (riferimento Standard di Rappresentazione e Archiviazione informatica - versione 4.0b)</p> <p>GMcz: codice identificativo del Tipo_GT e dell'ambiente genetico-deposizionale dei terreni di copertura (riferimento Standard di Rappresentazione e Archiviazione informatica - versione 4.0b)</p> <p>15 - 35 m: spessore minimo - massimo dell'unità costitutiva della MOPS</p> <p>SCC: sigla formazionale utilizzata nella Carta Geologica (riferimento CARG Regione Marche)</p>
---	---

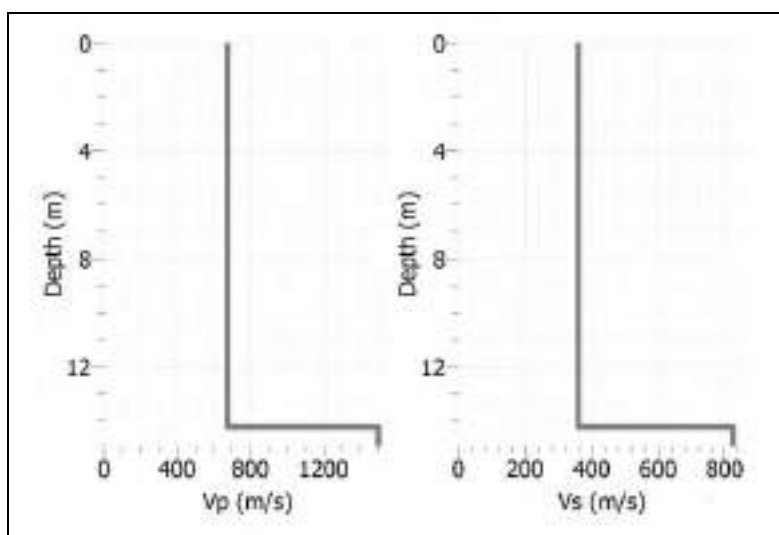
Lo studio ha definito le seguenti zone omogenee stabili suscettibili di amplificazioni locali.

ZONA 2099



Substrato geologico. Alternanze di litotipi stratificati in affioramento e/o sottostanti le unità della copertura (quest'ultime con spessore inferiore ai 3 m) molto fratturati e/o alterati. Si individua ad oriente del centro abitato di Serrapetrona (substrato ascrivibile al Bisciario) ed a nord-ovest dell'abitato di Caccamo (substrato ascrivibile allo Schlier).

A tale successione litostratigrafica si associa il seguente modello sismostratigrafico, ottenuto dall'inversione congiunta della coppia MASW/HVSR presente nella MOPS stessa. Il profilo di velocità delle onde di taglio V_s così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.



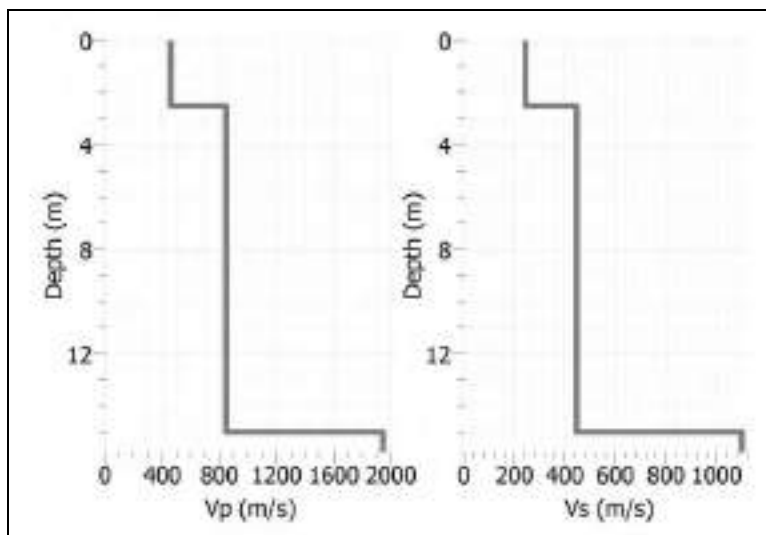
ZONA 2002



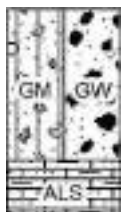
Depositi di versante posti alle pendici dei rilievi calcarei, dove affiorano i litotipi della serie Giurassico-Cretacica, generati dal disfacimento operato da processi di gelifrazione su versanti denudati, rilevati principalmente a sud e sud-ovest del centro storico di Serrapetrona.

Sono caratterizzati dalla presenza di ghiaie, ghiaie limose, ghiaie in matrice limoso-sabbiosa, miscela di ghiaia, sabbia e limo; con uno spessore variabile dai 5 m ai 15 m. Tali depositi poggiano su un substrato caratterizzato da $V_s > 800$ m/s ascrivibile alla Scaglia variegata (ALS) ed alla Scaglia rossa (LPS).

A tale successione litostratigrafica si associa il seguente modello sismostratigrafico, ottenuto dall'inversione congiunta della coppia MASW/HVSR presente nella MOPS stessa. Il profilo di velocità delle onde di taglio V_s così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.



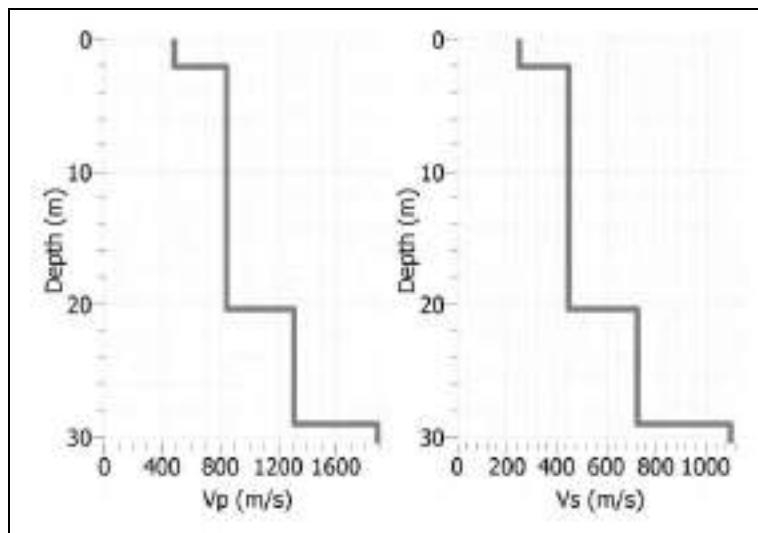
ZONA 2003



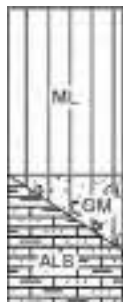
Depositi alluvionali terrazzati del Rio Cesolone, rilevati a nord del centro abitato di Serrapetrona, e del Fiume Chienti, rilevati in località Caccamo.

Essi sono caratterizzati dalla presenza di ghiaie, miscela di ghiaie e sabbie, ghiaie sabbiose, ghiaie limose e ghiaie in matrice limoso-sabbiosa, con uno spessore minimo di 6 m e massimo **stimato di 20 m.** All'interno di tale deposito si possono rinvenire a luoghi, con spessori variabili di circa 1-2 m, lenti di materiale più fine (limi, limi sabbiosi, limi argillosi, limi argilloso-sabbiosi). Tali depositi alluvionali poggiano su un substrato geologico caratterizzato da alternanza di litotipi stratificato, ascrivibile alla Scaglia cinerea ed al Bisciario.

A tale successione litostratigrafica si associa il seguente modello sismostratigrafico, ottenuto dall'inversione congiunta della coppia MASW/HVSR presente nella MOPS stessa. Il profilo di velocità delle onde di taglio V_s così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.



ZONA 2007

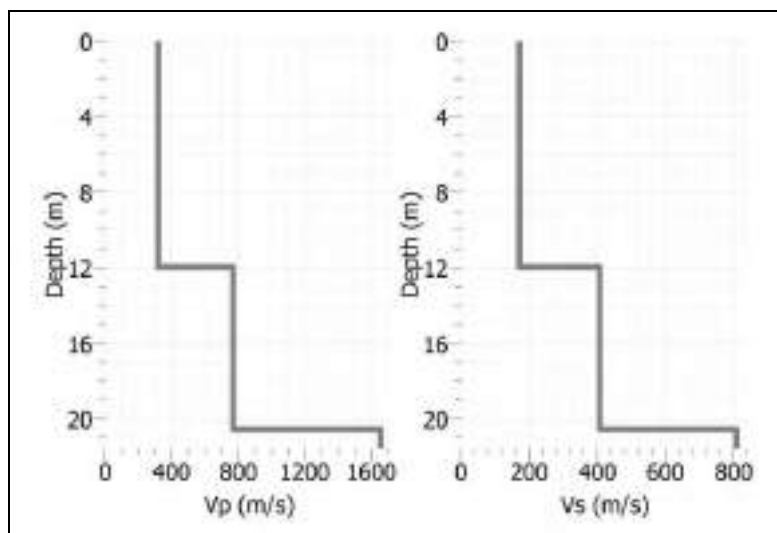


Depositi eluvio-colluviali individuati ad est del centro abitato di Serrapetrona e depositi di conoide di deiezione rilevati in località Caccamo.

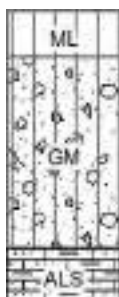
Tali coltri di copertura (spessore minimo di 3 m e massimo di circa 22 m) sono caratterizzate dalla presenza di limi, limi sabbiosi e limi sabbiosi-argillosi; nella parte più profonda di tali depositi si può avere un'alternanza tra materiali argillosi, limoso-sabbiosi, sabbiosi e ghiaiosi. In località Caccamo, al disotto dei depositi limosi si può avere la presenza di depositi ghiaiosi alluvionali del

Fiume Chienti per uno spessore massimo di circa 10 m. Tali depositi poggiano su di un substrato geologico caratterizzato da alternanza di litotipi stratificato, ascrivibile al Bisciario ed allo Schlier.

A tale successione litostratigrafica si associa il seguente modello sismostratigrafico, ottenuto dall'inversione congiunta della coppia MASW/HVSR presente nella MOPS stessa. Il profilo di velocità delle onde di taglio V_s così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.



ZONA 2008



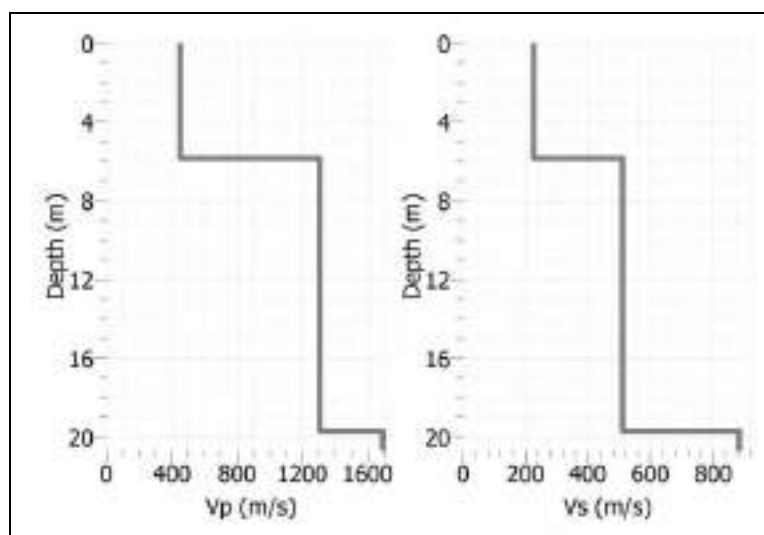
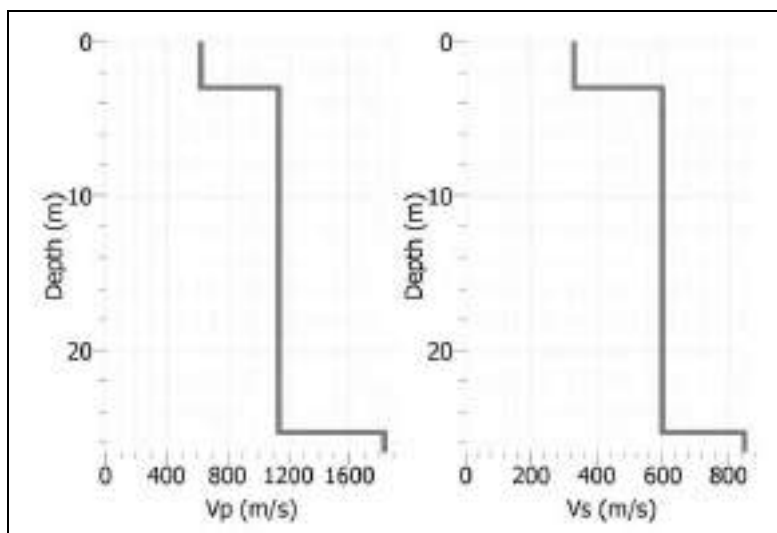
Depositi alluvionali terrazzati generati dal Fiume Chienti in località Caccamo.

Essi sono caratterizzati in prevalenza da sedimenti a granulometria medio-fine nella parte più superficiale e da materiale grossolano in quella più profonda.

Nello specifico, superiormente si individua un deposito di sedimenti (spessore da 3 m a 6 m) costituito principalmente da materiale limoso e subordinatamente sabbioso-limoso. Inferiormente si hanno terreni più grossolani (ghiaia, ghiaia sabbioso-limosa) per uno spessore minimo di 8 m e

massimo stimato di circa 25 m. Tali depositi alluvionali poggiano sul sottostante substrato geologico (Bisciario e Schlier).

A tale successione litostratigrafica si associano i seguenti modelli sismostratigrafici, ottenuti **dall'inversione** congiunta delle n. 2 coppie MASW/HVSR presenti nella MOPS stessa.



In presenza di N profili all'interno della stessa MOPS, si è proceduto mediante l'implementazione della variabilità del profilo di Vs nelle analisi di RSL così come riportato nei **"Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione"** relativi alle attività di Microzonazione di Livello III". Il profilo di velocità delle onde di taglio Vs così scaturito, e riportato di seguito, è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.

SPESSORE (m)	Vs (m/s)
6	274
14	553
6	727
Semi-spazio	866

ZONA 2009



Zona posta immediatamente a sud del Capoluogo di Serrapetrona e nella zona industriale di Caccamo, in cui è presente un accumulo di terreno recente dovuto alle attività antropiche per uno spessore variabile dai 3 ai 5 m. Trattasi principalmente di terreni sabbioso-limosi con ghiaietto frammisto, laterizi e materiali di origine antropica.

Alla base del terreno di riporto si individuano ghiaie con matrice limosa e/o sabbiosa di origine alluvionale, intervallate da sottili livelli limosi, con uno spessore massimo di circa 5 m.

Al disotto di tali terreni di copertura si ha un substrato geologico caratterizzato da alternanza di litotipi stratificato, ascrivibile al Bisciario ed allo Schlier.

Per ciò che riguarda i valori di V_s , relativi a tale MOPS, per il Riporto si è fatto riferimento a dati bibliografici e a dati forniti dal gruppo di studio MS3 Marche 2, mentre per gli altri litotipi sono stati utilizzati valori di V_s misurati su altre zone MS3 Serrapetrona. I valori così individuati sono stati utilizzati per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.

ZONA 2010



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 V_s inferiore a 800 m/s. Gli esigui terreni di copertura sono costituiti sia da ghiaie che da sedimenti limoso-sabbiosi. Tale substrato geologico è ascrivibile alla Scaglia cinerea ed al Bisciario.

Per ciò che riguarda i valori di V_s , relativi a tale MOPS, si è fatto riferimento a dati bibliografici e dati forniti dal gruppo di studio MS3 Marche 2; tali dati sono stati utilizzati per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.

ZONA 2012

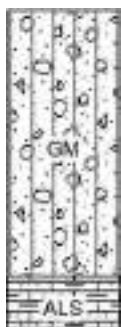


Substrato sismico: alternanze di litotipi stratificati e/o lapideo stratificato in affioramento **e/o sottostanti le unità della copertura (quest'ultime con spessore inferiore ai 3 m)**,

presenti su aree con superficie topografica inclinata (pendii con inclinazione superiore a 15°) e su aree in cresta, caratterizzate da V_s superiore a 800 m/s. Per ciò che riguarda il valore di V_s si è fatto riferimento a dati bibliografici ed a dati forniti dal gruppo di studio MS3 rilevato in altri siti oggetto di indagine. Gli esigui terreni di copertura sono costituiti sia da limi argillosi che da detrito di falda in matrice limoso-sabbiosa.

Tale substrato sismico è ascrivibile alla formazione della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata.

ZONA 2013



Depositi relativi al conoide di deiezione posto in corrispondenza del centro abitato di Serrapetrona. Tali depositi hanno uno spessore minimo di 15 m e massimo di 35 m e poggiano su un substrato geologico caratterizzato da alternanza di litotipi stratificato (Scaglia cinerea). Tali coltri sono costituite da ghiaie, ghiaie limose, ghiaie sabbiose e ghiaie sabbiose-limose; i clasti sono di natura prevalentemente calcareo e calcareo-marnosa, si presentano con colorazione marrone nocciola, eterometrici, con spigoli vivi o poco elaborati e con granulometria medio-fine.

A tale successione litostratigrafica si associa il seguente modello sismostratigrafico, ottenuto dalla prospezione sismica in foro DOWN-HOLE eseguita nella MOPS stessa. Il profilo di velocità delle onde di taglio Vs così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.

Profondità [m]	Vs [m/s]
0.0 - 6.0	308
6.0 - 13.0	381
13.0 - 18.0	530
18.0 - 24.0	473
24.0 - 29.0	690
29.0 - 31.0	751
29.0 - 31.0	721

Aree di attenzione per le instabilità

Zone di attenzione per instabilità di versante Z_{AFR}

Coincidono con le aree cartografate in frana nella Carta Geologico - Tecnica.

Sono state rappresentate nella Carta con un retino nero e colore di fondo della zona stabile suscettibile di amplificazione corrispondente e codificate in modo progressivo con codice da 8 cifre dove le prime quattro descrivono la tipologia della zona suscettibile di instabilità (tipo di movimento franoso e stato di attività) e le ultime quattro la tipologia della zona sulla base della successione litologica.

Questa rappresentazione conserva le informazioni sulla litostratigrafia della microzona, permettendo, se gli approfondimenti di **Microzonazione Sismica di Livello 3 non confermano l'instabilità, di trattare la stessa microzona come stabile suscettibile di amplificazione e caratterizzarla secondo i parametri di questo tipo di zona.**

Nell'area oggetto di studio sono state inoltre riportate alcune caratteristiche morfologiche del territorio che possono contribuire ad ulteriori effetti di amplificazione, quali:

- aree di cresta ubicate ad est del Capoluogo di Serrapetrona;
- aree con orli di scarpata morfologica naturale o artificiale e di terrazzo fluviale (10-20 m) a Serrapetrona Capoluogo;
- conoide alluvionale, in corrispondenza del centro abitato di Serrapetrona ed in località Caccamo.

Nella Carta sono stati indicati anche i punti relativi alle ubicazioni delle misure effettuate mediante sismica passiva a stazione singola (HVSR), da cui è stato possibile stimare la frequenza di risonanza fondamentale f_0 .

8.6. Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS)

La Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS) **costituisce l'elaborato** fondamentale dello studio di Microzonazione di livello 3 e consente di associare valori dei fattori di amplificazione FA e spettri medi di risposta alle zone stabili soggette ad amplificazione sismica.

Nella Carta di MS sono state rappresentate:

1. Zone stabili;
2. Zone stabili suscettibili di amplificazione locale;
3. Zone di attenzione per instabilità.

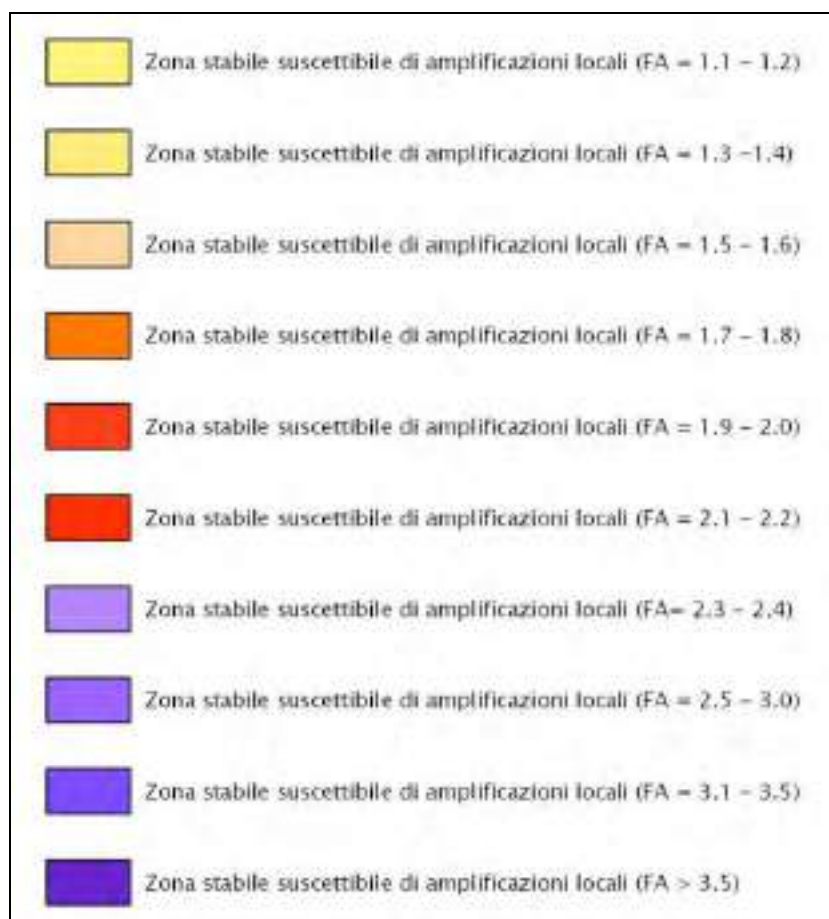
Nello specifico, nella Carta non sono state identificate le Zone di Suscettibilità (ZS) e/o di Rispetto (ZR), poichè non è stato previsto che i professionisti incaricati raggiungessero il livello 3 di approfondimento per i diversi fenomeni di instabilità (instabilità di versante - FR, liquefazione - LQ, e faglie attive e capaci - FAQ), **come definito nei "Protocolli"**.

In generale, le zone stabili e le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali hanno come attributo i **parametri che quantificano l'amplificazione locale del moto sismico di base e uno spettro di risposta elastico** rappresentativo, ottenuti attraverso analisi numeriche 1D o 2D a seconda della complessità del contesto nel quale è inquadrato lo studio.

Le zone stabili sono caratterizzate sempre da **un'amplificazione uguale a 1.0 e comprendono** quelle zone caratterizzate da deamplificazione e/o con amplificazioni fino a 1.04. In Carta sono state cartografate con campiture di colore pieno celeste, come riportato nella figura sottostante.



Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono invece caratterizzate da classi di fattori di amplificazione. In Carta sono state cartografate con campiture di colore pieno, come riportato nella figura sottostante.



Nella classe 1.1-1.2 sono compresi valori di amplificazione da 1.05 a 1.24, nella classe 1.3-1.4 sono compresi valori di amplificazione da 1.25 a 1.44 e così via.

Le zone di attenzione per instabilità di versante (ZA_{FR}) sono state rappresentate in Carta solo con il retinato delle ZA (come nella Carta delle MOPS) senza nessun colore di fondo relativo al fattore di amplificazione.

Nello specifico, le frane cartografate nel perimetro di studio di MS3 sono le seguenti:

INSTABILITÀ DI VERSANTE MS	CODICE FRANA PAI	CODICE FRANA IFFI
Scorrimento attiva	F-19-1411 (R2-P3)	430710700
Scorrimento attiva	-	430167800
Colata attiva	F-19-1885 (R3-P3)	-

Si rileva che la maggior parte delle frane presenti hanno un grado di pericolosità elevato e sono attive (grado di pericolosità P3).

In base a quanto sopra scritto si reputano necessari gli approfondimenti per lo studio dei fenomeni fransi presenti finalizzati soprattutto agli effetti di sismo-induzione.

Sono state realizzate, in ambiente GIS, n. 3 Carte di Microzonazione Sismica (Carta di MS) alla scala 1:5.000 per gli intervalli di periodo (T): 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s.

Le informazioni necessarie alla realizzazione di tali Carte sono state archiviate **all'interno degli shapefiles "Stab" e "Instab" presenti nella cartella "MS23". La struttura della Banca dati geografica "Stab" prevede l'archiviazione di n. 3 fattori di amplificazione** F_a relativi ai tre periodi T(S) di riferimento e degli spettri elastici di risposta in superficie (output) rappresentativi di ogni singola zona, ottenuti dalla modellazione 1D e/o 2D.

Per ogni MOPS sono stati prodotti, come definito nei "Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III", i seguenti dati:

- n. 3 fattori di amplificazione per gli intervalli di periodo (T): 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s;
- n. 7 accelerogrammi calcolati in superficie;
- n. 7 spettri di risposta elastici in pseudoaccelerazione.

Tutti gli accelerogrammi di output sono stati archiviati in formato **".txt"** e con il nome del file composto come richiesto dagli Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica Versione 4.0b, nella cartella **"Accelerogrammi"** contenuta nella cartella **"Indagini/Documenti"**. Per ogni accelerogramma è stato indicato il tipo di accelerogramma (S= sintetico), il nome (output), il passo di campionamento temporale in s (0.005 s) e l'unità di misura (g).

Tutti gli spettri elastici in pseudoaccelerazione (PSA) di output sono stati archiviati in formato **".txt"** e con il nome del file composto come richiesto dagli Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica Versione 4.0b, nella cartella **"Spettri"** contenuta nella cartella **"MS23"**. Per ogni spettro è stato indicato il nome del Comune di appartenenza (Serrapetrona) ed il passo di campionamento temporale in s (passo logaritmico).

8.6.1. Risultati della modellazione 1D: spettri di output e calcolo F_a

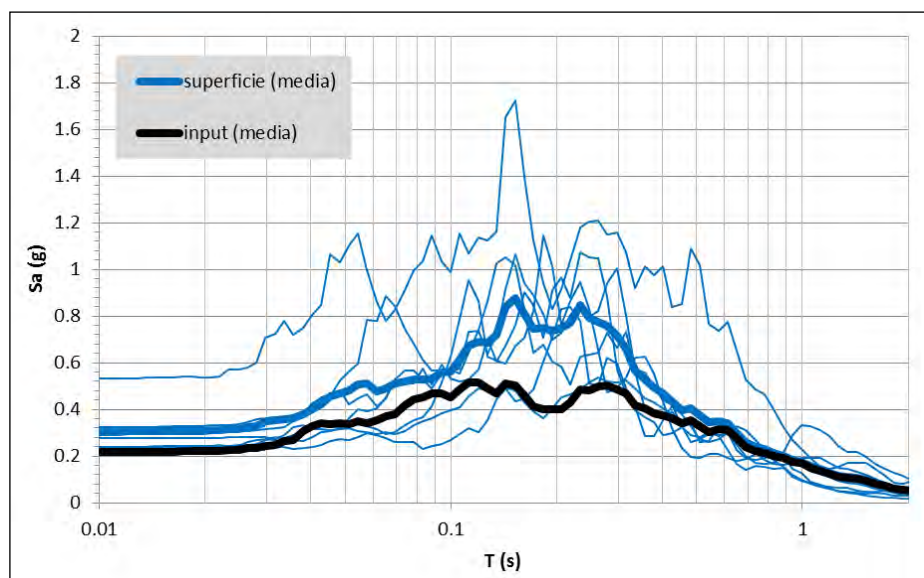
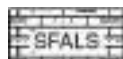
Nel presente capitolo si riassumono i risultati ottenuti dalle analisi numeriche 1D eseguite per ogni MOPS presente nelle aree oggetto di studio di MS3, del territorio comunale di Serrapetrona.

Le modellazioni 1D sono state eseguite in **accordo con quanto indicato nei** “Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III” e come precedentemente definito nel Capitolo 6.

Nello specifico, vengono riportati per ogni MOPS:

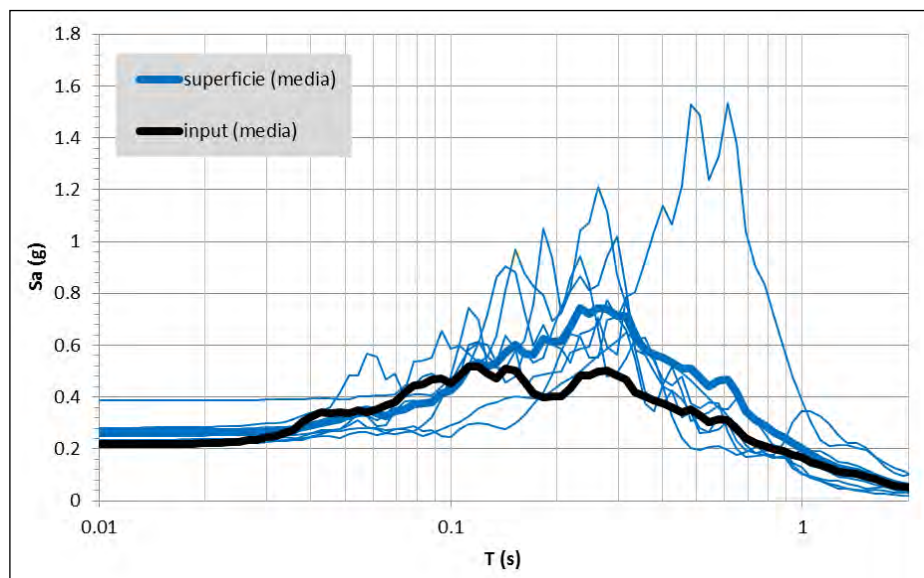
- 1) grafico in cui sono riportati i 7 spettri di output, lo spettro di output medio e lo spettro di input medio rispetto il periodo T (s);
- 2) calcolo del fattore di amplificazione F_a negli intervalli di periodo (T): 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s.

MOPS 2099



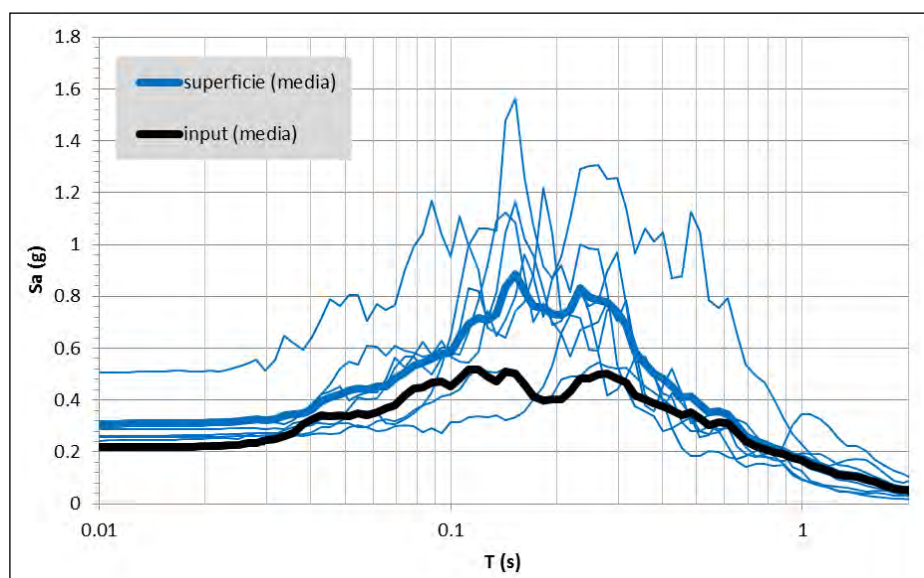
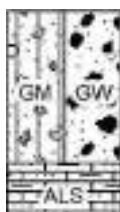
FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.46	1.13	1.06

MOPS 2002



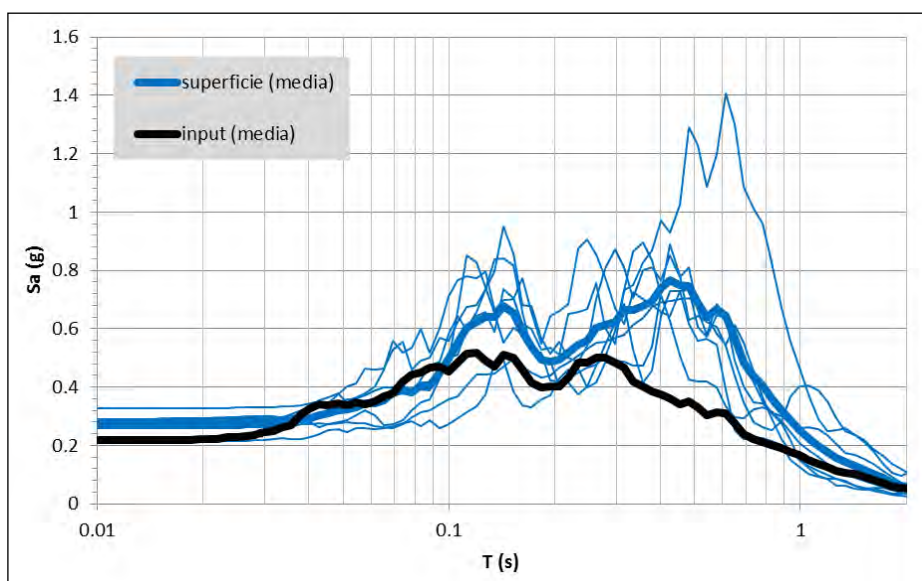
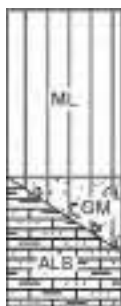
FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.45	1.34	1.21

MOPS 2003



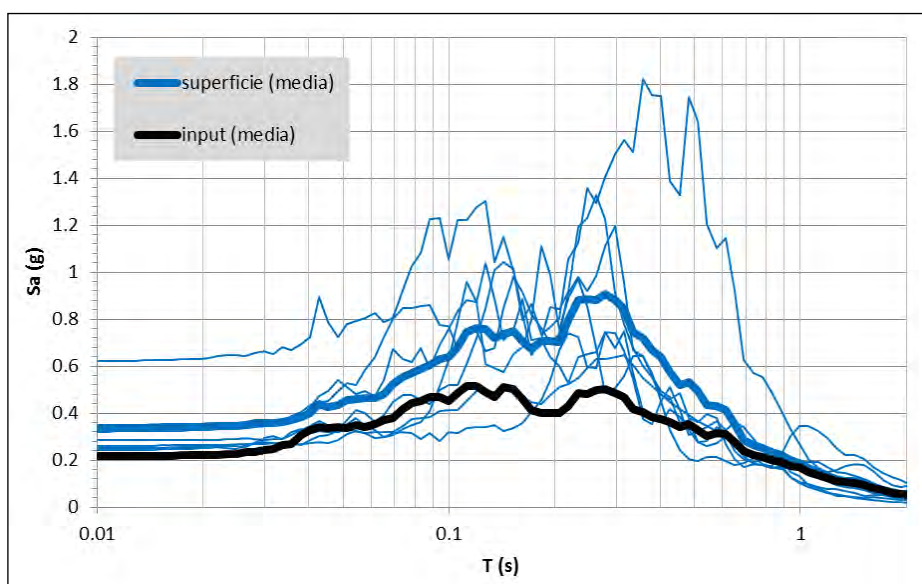
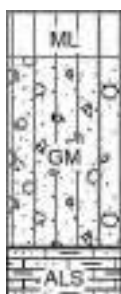
FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.49	1.15	1.07

MOPS 2007



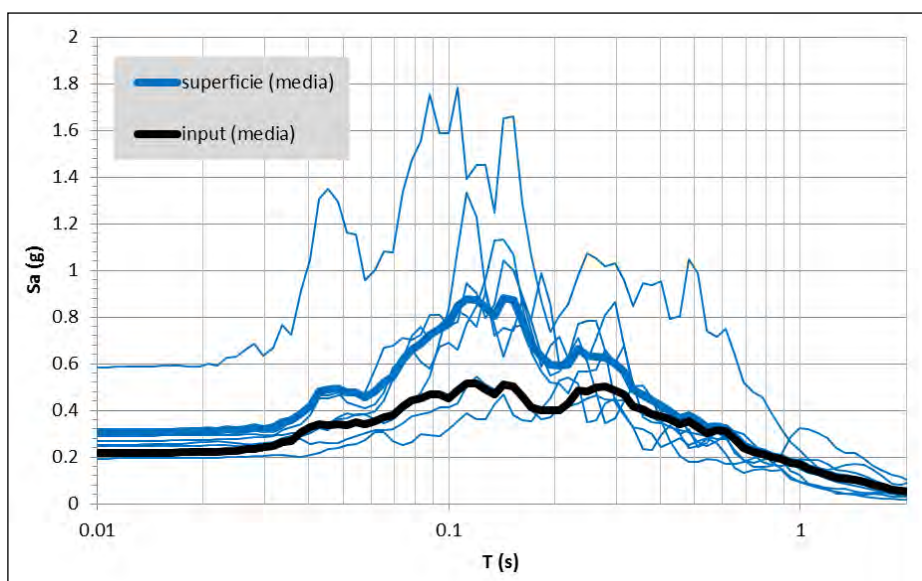
FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.58	2.13	1.66

MOPS 2008



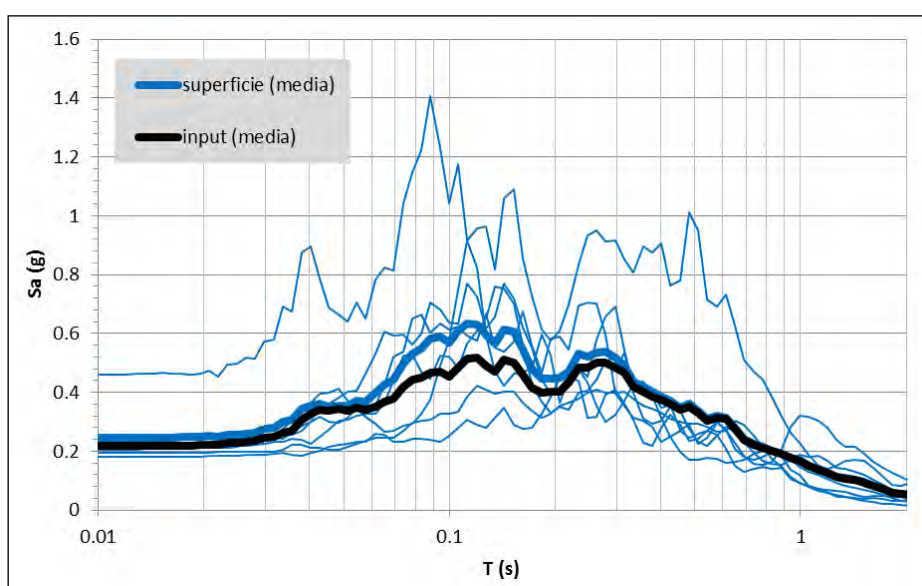
FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.65	1.31	1.14

MOPS 2009



FA 0.1-0.5 S	FA 0.4-0.8 S	FA 0.7-1.1 S
1.32	1.07	1.03

MOPS 2010



FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.08	1.02	1.01

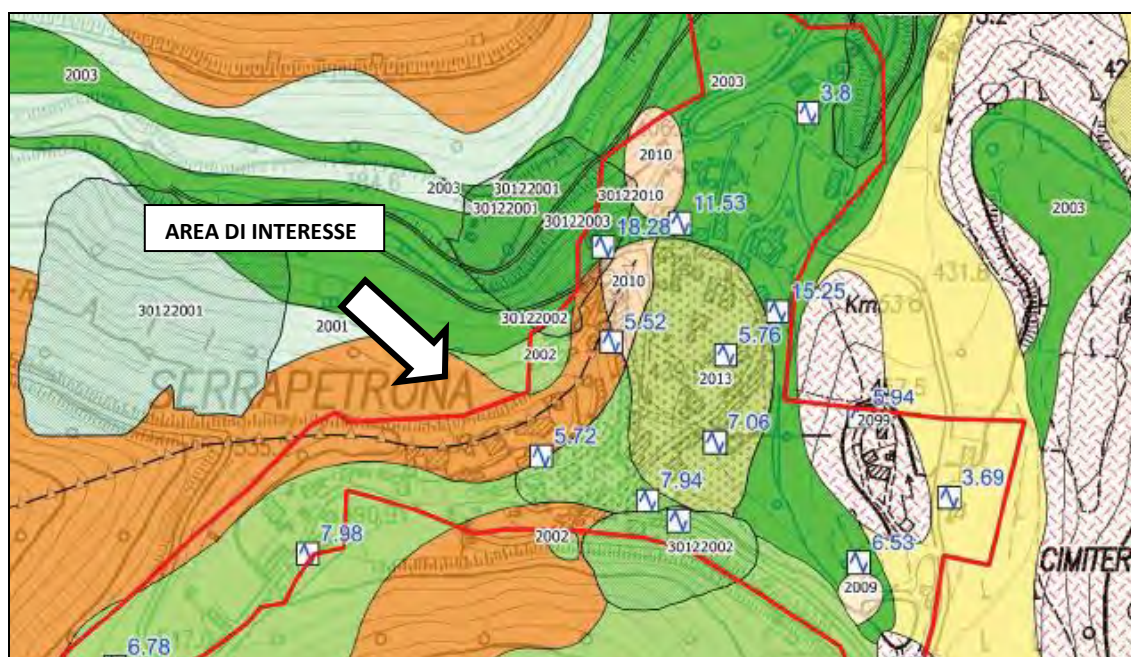
MOPS 2012



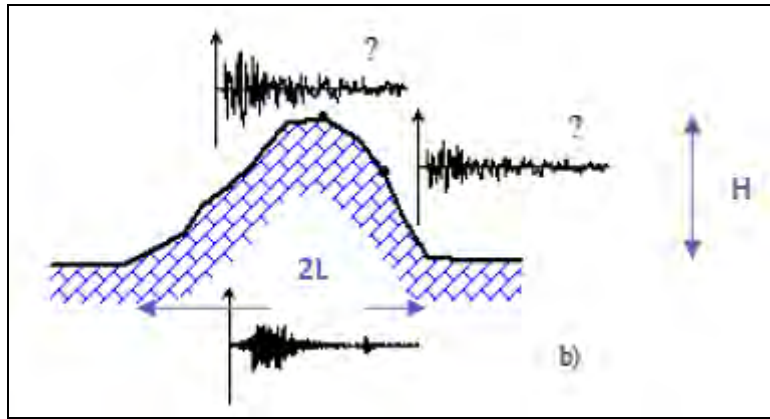
Si individua in tale MOPS un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) in affioramento, ma presente in aree caratterizzate da acclività o configurazioni morfologiche potenzialmente in grado di provocare fenomeni di amplificazione del moto sismico.

In questi caso, l'assegnazione del fattore di amplificazione è stato effettuato utilizzando un approccio, secondo il quale, in funzione della forma del rilievo (pendio o cresta) viene dapprima individuata la fascia di periodo (fra le tre di **interesse**) dove l'effetto può realizzarsi e poi viene definito un valore di FA (per la sola fascia di periodo interessato dal fenomeno).

CRESTA



La configurazione topografica considerata è la seguente:



Nel caso in esame si ha un rilievo isolato avente le seguenti caratteristiche:

$H = 20 \text{ m}$ (altezza del rilievo)

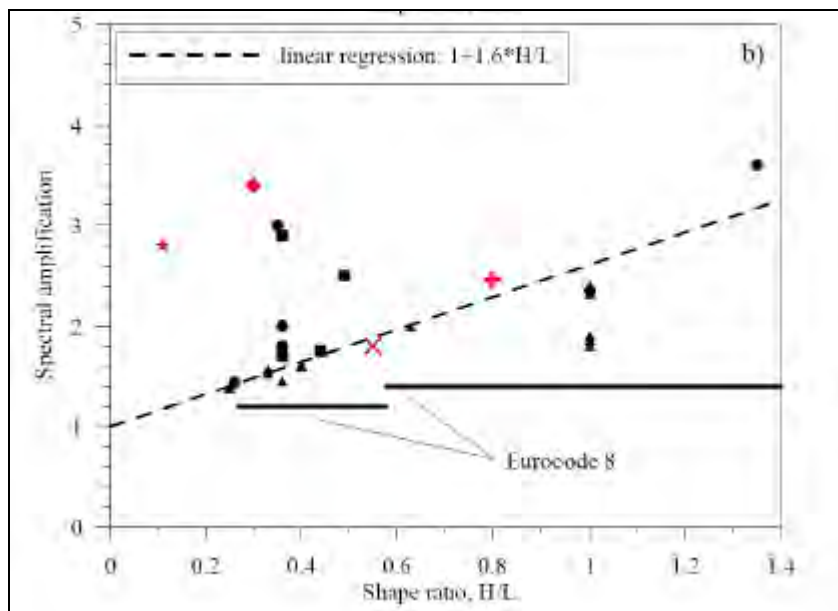
$2L = 114,75 \text{ m}$ (larghezza del rilievo misurata alla base)

Alla cresta di rilievi isolati i fenomeni di amplificazione topografica interessano prevalentemente i valori di periodo intorno a (Paolucci, 2002):

$$T_0 = (1.2) * 2L/V_s$$

dove L è la semi-larghezza del rilievo misurata alla base, V_s è la velocità delle onde di taglio media (pesata sullo spessore) dei materiali che costituiscono il rilievo.

Il fattore di amplificazione topografica in cresta può essere valutato a partire dalla retta di regressione riportata di seguito in funzione del rapporto di forma H/L .

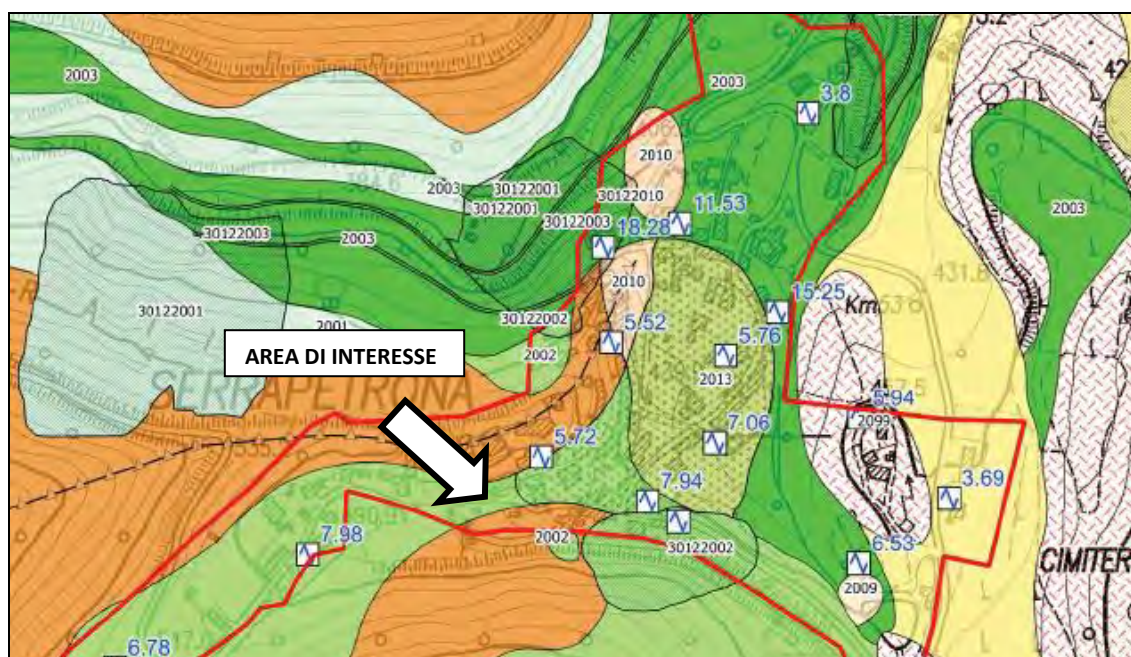


Stimato T_0 , si moltiplica per il valore di S_T , ricavato dal grafico, il fattore di amplificazione FA relativo all'intervallo di periodo in cui ricade T_0 .

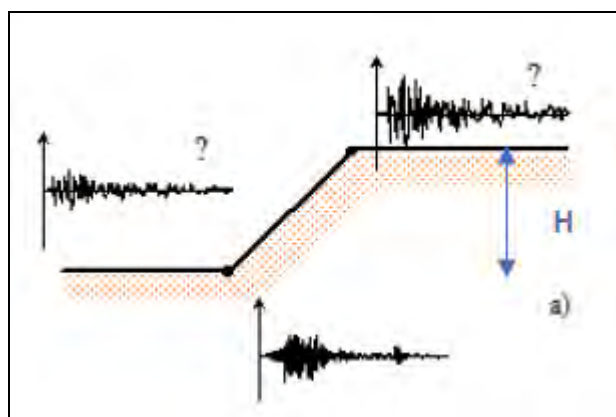
In base a quanto detto sopra, per l'area di interesse si hanno i seguenti Fa nei tre periodi di riferimento:

FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.6	1	1

PENDII



La configurazione topografica considerata è la seguente:



Nel caso in esame ci troviamo lungo un pendio con altezza $H = 90$ m e con inclinazione di circa 35° .

Sulla sommità dei pendii i fenomeni di amplificazione topografica interessano prevalentemente i valori di periodo intorno a (Ashford et al., 1997):

$$T_0 = 5H/V_s$$

dove H è altezza del pendio, V_s è la velocità delle onde di taglio media (pesata sullo spessore) dei materiali che costituiscono il pendio.

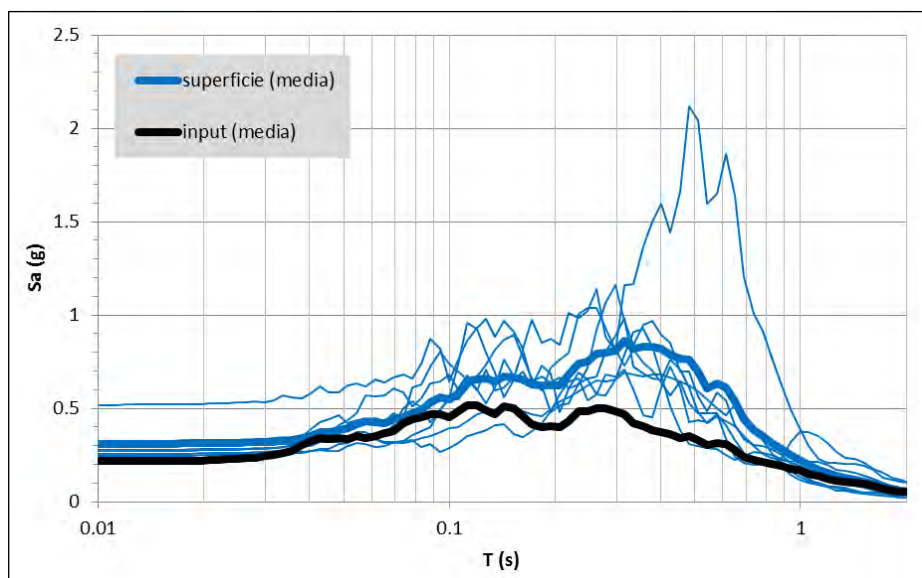
Lungo il pendio, calcolato T_0 , **se l'inclinazione è maggiore di 15°**, si pone sempre $S_T = 1.2$.

Per il calcolo dell'FA, si moltiplica per il corrispondente S_T il fattore di **amplificazione FA relativo all'intervallo** di periodo in cui ricade T_0 .

In base a quanto detto sopra, per l'area di interesse si hanno i seguenti Fa nei tre periodi di riferimento:

FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.2	1	1

MOPS 2013



FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.78	1.88	1.45

8.6.2. Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.1-0.5 s

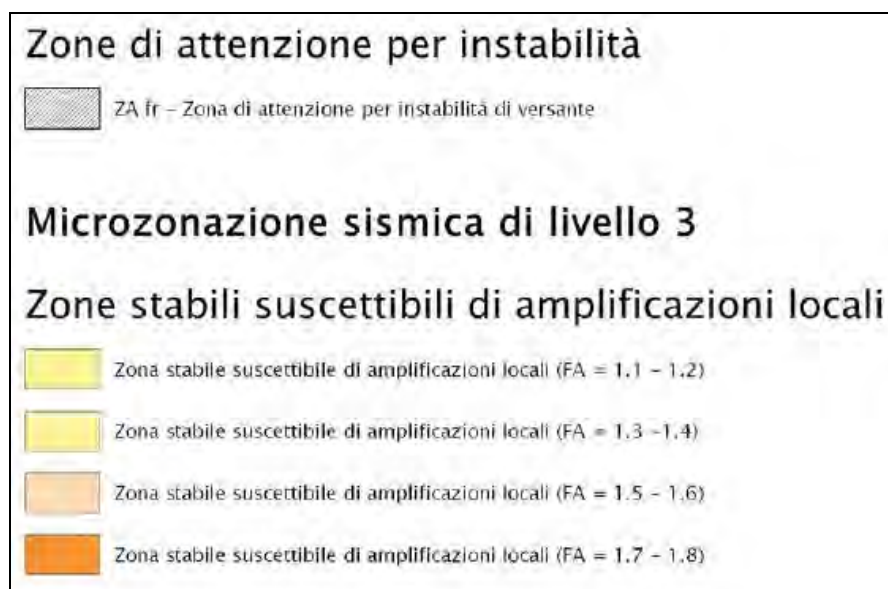
La Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.1-0.5 s è stata redatta in ambiente GIS, alla scala 1:5.000 e per le aree oggetto di MS3 del territorio comunale di Serrapetrone.

Nella Carta di MS sono state rappresentate:

1. Zone stabili suscettibili di amplificazione locale;
2. Zone di attenzione per instabilità.

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali hanno come attributo i valori del fattore di amplificazione calcolato per il periodo $T(s) = 0.1-0.5$ s.

Di seguito si riporta la legenda della Carta in oggetto, da cui si evincono le classi di fattori di amplificazione presenti nella stessa.



8.6.3. Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.4-0.8 s

La Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.4-0.8 s è stata redatta in ambiente GIS, alla scala 1:5.000 e per le aree oggetto di MS3 del territorio comunale di Serrapetrone.

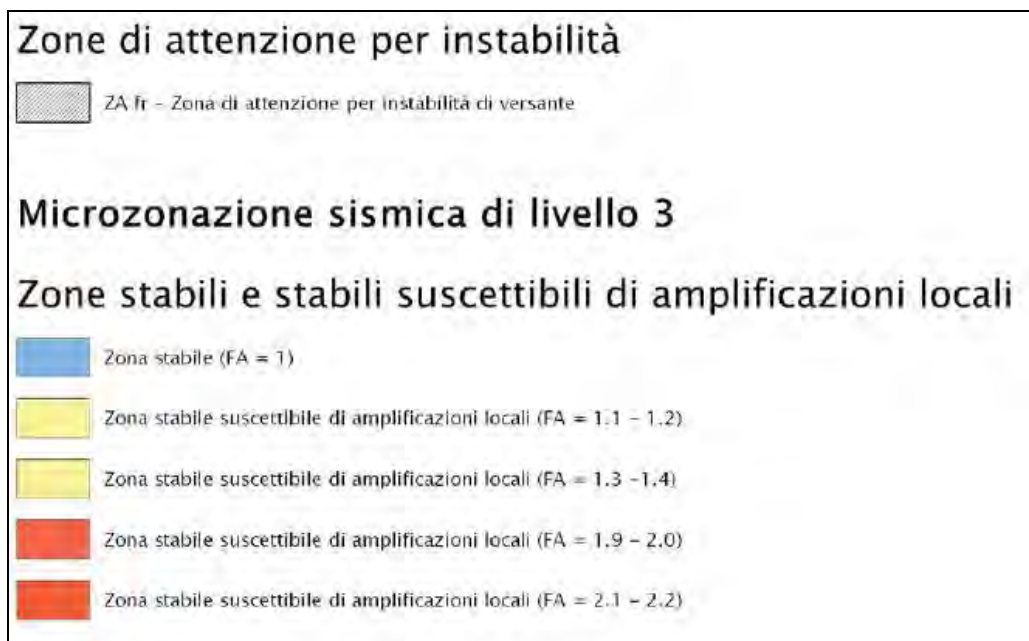
Nella Carta di MS sono state rappresentate:

1. Zone stabili
2. Zone stabili suscettibili di amplificazione locale;
3. Zone di attenzione per instabilità.

Le zone stabili e le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali hanno come attributo i valori del fattore di

amplificazione calcolato per il periodo $T(s) = 0.4-0.8$ s.

Di seguito si riporta la legenda della Carta in oggetto, da cui si evincono le classi di fattori di amplificazione presenti nella stessa.



8.6.4. Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.7-1.1 s

La Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.7-1.1 s è stata redatta in ambiente GIS, alla scala 1:5.000 e per le aree oggetto di MS3 del territorio comunale di Serrapetrona.

Nella Carta di MS sono state rappresentate:

1. Zone stabili
2. Zone stabili suscettibili di amplificazione locale;
3. Zone di attenzione per instabilità.

Le zone stabili e le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali hanno come attributo i valori del fattore di amplificazione calcolato per il periodo $T(s) = 0.7-1.1$ s.

Di seguito si riporta la legenda della Carta in oggetto, da cui si evincono le classi di fattori di amplificazione presenti nella stessa.

Zone di attenzione per instabilità



ZA fr – Zona di attenzione per instabilità di versante

Microzonazione sismica di livello 3

Zone stabili e stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zona stabile ($FA = 1$)



Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali ($FA = 1.1 - 1.2$)



Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali ($FA = 1.5 - 1.6$)



Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali ($FA = 1.7 - 1.8$)

9. CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

Nel disciplinare di incarico sottoscritto dallo **scrivente**, viene **richiesta** l'assegnazione di una categoria di sottosuolo secondo le NTC2008 a partire da un valore di V_{s30} per ogni MOPS. Dato che il valore di V_{s30} può essere considerato valido solo puntualmente, secondo lo scrivente non ha senso attribuire tale valore V_{s30} (e quindi della corrispondente categoria di sottosuolo) **ad un'intera MOPS**.

Si ritiene che il valore di V_{s30} e la categoria di sottosuolo associata, è considerata valida solo puntualmente dove è stata effettuata la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m e cioè nel DH effettuato. Le stesse NTC 2008 al cap. 3.2.2 indicano che ***“La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata”*** e **nello studio di MS3 effettuato, l'unica misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è quella rilevata nella prospezione sismica DH. La prospezione sismica MASW ci consente, attraverso l'analisi della dispersione delle onde di superficie, di ricavarci un profilo Vs tramite l'inversione delle curve di dispersione (non è una misura diretta delle Vs).**

Pertanto, seppur con le perplessità sopra riportate, al fine di adempiere al disciplinare sottoscritto ed alle richieste del Centro MS, si riportano di seguito, per ogni singola MOPS, i valori delle V_{s30} e delle relative categorie di sottosuolo derivate dalle prospezioni sismiche MASW e dalla prospezione sismica DH.

La velocità equivalente V_{s30} al suolo di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dalla superficie topografica dove è stata effettuata la prospezione sismica è scaturita, come da N.T.C. 2008, dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} [m/s]$$

con:

h_i = spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato.

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008) si riportano di seguito le categorie di sottosuolo.

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di V_{S30} inferiori 100 m/s (ovvero $10 < c_{uS30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Di seguito si riportano i valori delle V_{S30} e relative categorie di sottosuolo, secondo NTC 2008, per le MOPS presenti nel perimetro MS3 del Comune di Serrapetrona.

MOPS 2099

V_{S30} calcolato da prospezione sismica MASW

- MASW L13

- V_{S30} : 507 m/s
- Categoria di Sottosuolo S2

Seppur la media delle velocità V_s sui primi 30 m di profondità farebbe ipotizzare per il sito in esame una categoria di sottosuolo di tipo B (V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s), la presenza di uno spessore delle coperture e/o rocce tenere inferiore a 30 m, fa sì che al sito stesso non possa essere associata nessuna categoria di sottosuolo se non la S2.

Per questa tipologia di situazione la normativa vigente (NTC 2008 cap. 3.2.2) impone infatti, una categoria di sottosuolo S2.

La classe di sottosuolo così determinata vale solo per il punto dove questa è stata ricavata, relativo alla prospezione sismica MASW e non va **intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2099** dove la stessa è ubicata.

MOPS 2002

V_{S30} calcolato da prospezione sismica MASW

- MASW L5

- V_{S30} : 538 m/s
- Categoria di Sottosuolo S2

Seppur la media delle velocità V_s sui primi 30 m di profondità farebbe ipotizzare per il sito in esame una categoria di sottosuolo di tipo B (V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s), la presenza di uno spessore delle coperture e/o rocce tenere inferiore a 30 m, fa sì che al sito stesso non possa essere associata nessuna categoria di sottosuolo se non la S2.

Per questa tipologia di situazione la normativa vigente (NTC 2008 cap. 3.2.2) impone infatti, una categoria di sottosuolo S2.

La classe di sottosuolo così determinata vale solo per il punto dove questa è stata ricavata, relativo alla prospezione sismica MASW e non va **intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2002** dove la stessa è ubicata.

MOPS 2003

V_{S30} calcolato da prospezione sismica MASW

- MASW L12

- V_{S30} : 440 m/s
- Categoria di Sottosuolo B

La classe di sottosuolo così determinata vale solo per il punto dove questa è stata ricavata, relativo alla prospezione sismica MASW e non va **intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2003** dove la stessa è ubicata.

MOPS 2007

V_{S30} calcolato da prospezione sismica MASW

- MASW L11

- V_{S30} : 263 m/s
- Categoria di Sottosuolo C

La classe di sottosuolo così determinata vale solo per il punto dove questa è stata ricavata, relativo alla prospezione sismica MASW e non va **intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2007** dove la stessa è ubicata.

MOPS 2008

V_{S30} calcolato da prospezione sismica MASW

- MASW L10

- V_{S30} : 530 m/s
- Categoria di Sottosuolo S2

Seppur la media delle velocità V_s sui primi 30 m di profondità farebbe ipotizzare per il sito in esame una categoria di sottosuolo di tipo B (V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s), la presenza di uno spessore delle coperture e/o rocce tenere inferiore a 30 m, fa sì che al sito stesso non possa essere associata nessuna categoria di sottosuolo se non la S2.

Per questa tipologia di situazione la normativa vigente (NTC 2008 cap. 3.2.2) impone infatti, una categoria di sottosuolo S2.

- MASW L3

- V_{S30} : 496 m/s
- Categoria di Sottosuolo S2

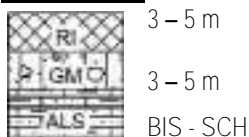
Seppur la media delle velocità V_s sui primi 30 m di profondità farebbe ipotizzare per il sito in esame una categoria di sottosuolo di tipo B (V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s), la presenza di

uno spessore delle coperture e/o rocce tenere inferiore a 30 m, fa sì che al sito stesso non possa essere associata nessuna categoria di sottosuolo se non la S2.

Per questa tipologia di situazione la normativa vigente (NTC 2008 cap. 3.2.2) impone infatti, una categoria di sottosuolo S2.

La classe di sottosuolo così determinata vale solo per il punto dove questa è stata ricavata, relativo alla prospezione sismica MASW e non va **intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2008** dove la stessa è ubicata.

MOPS 2009



3 – 5 m

3 – 5 m

BIS - SCH

Per ciò che riguarda i valori di V_{s30} , relativi a tale MOPS, per il Riporto si è fatto riferimento a dati bibliografici e a dati forniti dal gruppo di studio MS3 Marche 2, mentre per gli altri litotipi sono stati utilizzati valori di V_s misurati su altre zone MS3 Serrapetrona. I valori così individuati sono stati utilizzati per il calcolo delle V_{s30} e la relativa categoria di sottosuolo.

SPESSORE (m)	V_s (m/s)
4	274
4	553
6	727
Semi-spazio	866

- V_{s30} : 618 m/s
- Categoria di Sottosuolo S2

Seppur la media delle velocità V_s sui primi 30 m di profondità farebbe ipotizzare per il sito in esame una categoria di sottosuolo di tipo B (V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s), la presenza di uno spessore delle coperture e/o rocce tenere inferiore a 30 m, fa sì che al sito stesso non possa essere associata nessuna categoria di sottosuolo se non la S2.

Per questa tipologia di situazione la normativa vigente (NTC 2008 cap. 3.2.2) impone infatti, una categoria di sottosuolo S2.

La classe di sottosuolo così determinata non va **intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2009**.

MOPS 2010

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 V_s inferiore a 800 m/s. Gli esigui terreni di copertura sono costituiti sia da ghiaie che da sedimenti limoso-sabbiosi. Tale substrato geologico è ascrivibile alla Scaglia cinerea ed al Bisciario. Per ciò che riguarda i valori di V_s , relativi a tale MOPS, si è fatto riferimento a dati bibliografici e dati forniti dal gruppo di studio MS3 Marche 2. I valori così individuati sono stati utilizzati per il calcolo delle V_{s30} e la relativa categoria di sottosuolo.

- È probabile una $V_{s30} > 800$ m/s comprendenti in superficie uno strato di "alterazione" **con spessore maggiore di 3 m** e $V_s < 800$ m/sec.
- Categoria di Sottosuolo S2 (substrato sismico presente a profondità > 3 m).

La classe di sottosuolo così determinata non va **intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2010**.

MOPS 2012

Scaglia Rossa-Scaglia Variegata

$V_s > 800$ m/sec

Cat. A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

La classe di sottosuolo così determinata non va **intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2012**.

MOPS 2013

Dall'elaborazione dei dati scaturiti dalla prospezione sismica DOWH-HOLE, si evince che la velocità equivalente V_{s30} al suolo di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dalla superficie topografica dove è stata effettuata la prospezione sismica risulta:

$$\underline{V_{s30}: 437,64 \text{ m/s}}$$

Seppur la media delle velocità V_s sui primi 30 m di profondità farebbe ipotizzare per il sito in esame una categoria di sottosuolo di tipo B (V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s), la presenza di inversioni di velocità delle onde di taglio V_s , nonché **l'assenza di un "graduato miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità"** fa sì che al sito stesso non possa essere associata nessuna categoria di sottosuolo se non la S2.

Per questa tipologia di situazione la normativa vigente (NTC 2008 cap. 3.2.2) impone infatti, una categoria di sottosuolo S2.

Categoria di Sottosuolo tipo "S2"

Categoria di sottosuolo tipo S2 (N.T.C. 2008): *“Depositi di terreno suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti”* (A, B, C, D, E ed S1).

Profondità [m]	Vs [m/s]
0.0 - 6.0	308
6.0 - 13.0	381
13.0 - 18.0	530
18.0 - 24.0	473
24.0 - 29.0	690
29.0 - 31.0	751
29.0 - 31.0	721

Sismostratigrafia ottenuta dalla prova DH

La classe di sottosuolo così determinata vale solo per il punto dove questa è stata ricavata, relativo alla prospezione sismica in foro, e non va **intesa come rappresentativa dell'intera** MOPS 2013 dove la stessa è ubicata.

10. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

- Nella Carta Geologico - Tecnica, nelle aree interessate da instabilità di versante (frane) e prive di indagini geologiche reperite, la definizione dei terreni coinvolti dai movimenti franosi scaturisce **dall'interpretazione della Carta Geologica Regionale e da un rilevamento geologico speditivo di superficie** con le conseguenti incertezze del caso.
- Il terreno di riporto è stato generalmente cartografato quando rilevato con spessore maggiore di 3 m. Tuttavia, per ogni dato puntuale, sono state fatte considerazioni di carattere geologico con lo scopo di individuare una valenza ai fini dello studio in oggetto.
- Incertezze legate alla variazione locale degli spessori dei terreni di copertura
- Incertezze nella caratterizzazione geotecnica dei terreni a causa del limitato numero di indagini dirette.
- Incertezze nelle curve di decadimento e smorzamento nella modellazione 1D in quanto sono stati utilizzati dati bibliografici.
- **È auspicabile che alla "scala dell'edificio" vengano effettuati studi di risposta sismica locale sito specifici** soprattutto per edifici di particolare interesse e/o particolarmente vulnerabili e per edifici posti in particolari condizioni critiche di natura geologica, geomorfologica e topografica.

Si specifica comunque che, le opere e i progetti disciplinati dalle NTC 2008, devono necessariamente essere dotati di specifico studio di Risposta Sismica Locale sito specifico secondo la normativa vigente.

11. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

In via generale, gli edifici danneggiati sono omogeneamente distribuiti sul territorio.

Il presente studio di Microzonazione Sismica rispecchia (a prescindere dalla vulnerabilità degli edifici) gli **effetti percepiti sull'abitato a seguito degli eventi sismici dell'Agosto 2016 e successivi.**

L'Ufficio Tecnico del Comune di Serrapetrona ha comunicato che gli effetti più importanti del terremoto del 2016 si sono riscontrati lungo due creste morfologiche poste ad oriente di Serrapetrona Capoluogo, al di fuori del perimetro MS3; inoltre, danni significativi sono stati riscontrati in loc. Borgiano ed in Loc. Castel San Venanzio. In loc. Caccamo, diverse palazzine in c.a. hanno subito importanti danni sulle tamponature.

A seguito del terremoto del 24/08/2016 e successivi sono state inoltrate 580 istanze di sopralluogo di cui 15 edifici pubblici e 565 privati. Al 08/05/2017 risultavano essere fuori casa a seguito di ordinanza sindacale 100 nuclei familiari a cui corrispondono circa 300 persone su una popolazione totale di 966 abitanti.

Macerata, Gennaio 2018

Dott. Geol. Giammaria Vecchioni



Collaboratore

Dott. Geol. Marta Lupetti

Bibliografia

AA.VV. (2011) **Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione"**, Pàtron Editore.

Albarelli D., Bosi V., Bramerini F., Lucantoni A., Naso G., Peruzza L., Sabetta F. e Slejko D. (2000a) Pericolosità sismica del territorio nazionale: carte di consenso GNDT e SSN. In Galadini F., Meletti C. e Rebez A. (A cura di), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*, CNR-Gruppo Nazionale per la difesa dai Terremoti, Roma, 397 pp.

Albarelli D., Bosi V., Bramerini F., Lucantoni A., Naso G., Peruzza L., Sabetta F. e Slejko D. (2000b) Carte di pericolosità sismica del territorio nazionale. Quaderni di Geofisica n. 12.

Albarelli D. e Mucciarelli M. (2001) Seismic hazard estimates from ill-defined macroseismic data at a site. *Pure Appl. Geophys.*

Ashford S. A., Sitar N. (1997) Analysis of Topographic Amplification of Inclined Shear Waves in a Steep Coastal Bluff. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87: 692-700.

Baldetti E., Grimaldi F., Moroni M., Compagnucci M. & Natali A. (1983) Le basse valli del Musone e del Potenza nel Medioevo. *Archivio storico Santa Casa. Loreto*. 94pp.

Bender B. e Perkins D.M. (1987) Seisrisk III: a computer program for seismic hazard estimation, U.S. Geological Survey Bulletin, 1772, 48 pp.

Biondi E. & Coltorti M. (1982) The Esino flood plain during the Holocene. XI Congr. INQUA, Mosca 1-9 August. 111.45.

Braga F., Dolce M. e Liberatore D. (1982) A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K - 76 scale. 7th European Conference on Earthquake Engineering, Athens.

Braga F., Dolce M. e Liberatore D. (1985) Statistical analyses of damage data from 23.11.80 Italy earthquake. Italy Workshop on Seismic Hazard and Risk Analysis, Varenna, Italy.

Braga G. & Gervasoni S. (1989) Evolution of the poriver: an example of the application of historic maps John Wiley. 113-126.

Buccolini M. & Gentili B. (1986) **Variazioni della foce in relazione all'evoluzione morfodinamica recente dei fiumi Chienti e Renna (Marche centro-meridionali)**, Mem. Soc Geol. It., 35.827-831.

Bisci C., Farabollini P., Fazzini M. & Marzioletti V. (1999) Influenza di **fattori naturali ed antropici sull'evento alluvionale del 1992 del fiume Tronto (Italia centrale adriatica)**. Studi Geol. Camerti" Voi. Spec "Workshop Nazionale sulle Acque: il ciclo dell'acqua".

Blumetti A.M. (1995) Neotectonic investigations and evidence of paleoseismicity in the epicentral area of the January-February 1703, Central Italy, earthquakes. *Ass. Of Eng. Geologists, spec. Publ. No. 6*, 83-100.

Blumetti A.M., Coltorti M., Dramis F. (1992) **Evoluzione geomorfologica dell'area nursina. Guida all'escursione del 7-7-1992 nell'Appennino umbro-marchigiano (aree di Norcia e Casteluccio)**, 14-30.

Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smiriglio G. e Valensise G. (eds.) (1995) *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. Al 1980*. ING-SGA, Bologna, 970 pp.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. e Gasperini P. (eds.) (1997) *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. Al 1990, 2*. ING-SGA, Bologna, 644 pp.

Bosi C., Coltorti M., Dramis F. (1983) Carta del Quaternario della conca di Gualdo Tadino (tra Fossato di Vico e Rigali). Unpublished map.

- Bramerini F., Di Pasquale G., Orsini G., Pugliese A., Romeo R., Sabetta F. (1995) Rischio sismico del territorio italiano. Proposta di una metodologia e risultati preliminari, Rapporto tecnico SSN/RT/95/1, 54 pp.
- Calamita F., Centamore E. Deiana G. & Micarelli A. (1986) Evoluzione tettonico-**sedimentaria dell'**area Umbro-Marchigiana dal Trias al Pleistocene. Studi Geologici Camerti, vol. sp. "La geologia delle Marche", 89-90.
- Calamita F., Pizzi A., Scisciani V., De Girolamo C., Coltorti M., Pieruccini P., Turco E. (2002) Caratterizzazione delle faglie quaternarie nella dorsale appenninica umbro-marchigiano-abruzzese.
- Calamita F., Coltorti M., Pieruccini P., Pizzi A. (1999) Evoluzione strutturale e morfogenesi plio-quaternaria **dell'**Appennino umbro-marchigiano tra il pedappennino umbro e la costa adriatica. Boll. Soc. Geol. It., 118, 125-139.
- Camassi and Stucchi (1997) NT4.1, a parametric catalogue of damaging earthquakes in the Italian area (release NT4.1.1). GNDT, Milano, 66 + XXVII pp. (Internet, <http://emidius.irs.mi.cnr.it/NT/home.html>).
- Camassi R. e Stucchi M. (1996) NT4.1: Un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, Rapporto tecnico del CNR-GNDT, Milano, 86 pp. Internet: <http://emidius.itim.mi.cnr.it/NT/home.html>.
- Cantalamesa G., Centamore E., Chiocchini U., Marchetti P. & Pontoni F. (1981). Carta Geologica del Bacino della Laga tra il F. Potenza ed il T. Fiastrella.
- Capelli G., Miccadei E. & Raffi R. (1997) Fluvial dynamics in the castel di sangro plain: morphological changes and human impact from 1875 to 1992. Catena. 30. 295-309.
- Castelli V., Monachesi G., Moroni A. e Stucchi M. (eds.) (1996) **I terremoti toscani dall'anno 1000 al 1880: schede sintetiche.** GNDT, rapporto interno, Macerata-Milano, 314 pp.
- Castelli V. Principali terremoti storici dell'area umbro-marchigiana (GNDT presso OGSM, MC).
- Cecca F., Cresta S., Pallini G., e Santantonio M. (1990) Il Giurassico di Monte Nerone (Appennino Marchigiano, Italia Centrale): biostratigrafia, litostratigrafia ed evoluzione paleogeografica. In: Pallini G., Cecca F., Cresta S. e Santantonio M. (Ed.), Atti II° Convegno Internazionale "Fossili, Evoluzione, Ambiente", Pergola (1987), 63-139.
- Cello G., Mazzoli S., Tondi E., Turco E. (1997) Active tectonics in the central Apennines and possible implications for seismic hazard analysis in peninsular Italy. Tectonophysics, 272, 43-68.
- Centamore E., Jacobacci A., Martelli G. (1973) Modello strutturale umbro-marchigiano, correlazioni con le **regioni adiacenti.** Boll. Serv. Geol. d'It.
- Centamore E., Chiocchini M., Chiocchini U., Deiana G., Micarelli A., (1979) The minor basino in the context of the umbria-marchean region tectonic-sedimentary evolution during Modale-Upper Miocene. Ann. Geol. Pays Hellen., tome hors serie, 1979, fasc. 2 : 247-251 ; in 7th Int. Congr. On Mediterranean Neogene, Athens.
- Chiarabba C., De Gori P. & Speranza F. Deep geometry and rheology of an orogenic wedge developing above a continental subduction zone: Seismological evidence from the northern-central Apennines (Italy).
- Chiarabba C., Jovane L., Di Stefano R. A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings. Tectonophysics 395 (2005) 251-268
- Coltorti M. (1991) Modificazioni morfologiche oloceniche nelle piane alluvionali marchigiane: alcuni esempi nei fiumi Misa, Cesano e Musone. geogr. fis. dinam. quat., 14, 73 - 86.
- Coltorti M., Gentili E. & Pambianchi G. (1995) Evoluzione geomorfologica recente dei sistemi idrografici delle **Marche e i suoi riflessi sull'ambiente fisico.** mem. soc. geogr. it., liii, 271-292.

- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (**articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907**) Ottobre 2015 - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica, Versione 4.0b.
- CNR-GNDT, U.O. Ismes Bergamo (1996) Scenari di danno speditivi da dati di sismologia storica.
- Conti A., Di Eusebio L., Dramis F. & Gentili E. (1983) Evoluzione geomorfologica recente e processi in atto **nell'alveo del Renna (Marche meridionali)**. atti Congr.geogr. it.. 2(3). 53-56.
- Conversini P., Lolli O., Molin D., Paciello A. e Pagliacci S. (1990) Ricerche sulla sismicità storica della provincia di **Perugia. Quaderni Regione dell'Umbria**, Collana Sismica, Perugia, vol. 1b, 56 pp.
- Cresta S., Monechi S. e Parisi G. (1989) Stratigrafia del Mesozoico **e Cenozoico nell'area Umbro-Marchigiana, itinerari geologici sull'Appennino Umbro-Marchigiano (Italia)**. Mem. descrittive della carta geologica d'Italia, vol. XXXIX.
- De Marco R. e Marsan P. (1986) Atlante della riclassificazione sismica nazionale. Servizio Sismico, Roma, 210 pp.
- Di Bucci D. e Mazzoli S. Active tectonics of the Northern Appennines and Adria geodynamics: new data and a discussion, Journal of Geodynamics 34 (2002) 687-787.
- Di Celma C., Farabollini P. & Moscatelli U. (1999) Landscape, settlement and roman cadastres in the lower Sangro valley (Italy). Proc. Geoarchaeology of the Landscape of classical antiquity. International Colloquium Gent, 23-24 October 1998.
- Dramis F., Pambianchi G., Nesci O. & Consoli M. (1992) Il ruolo di elementi strutturali trasversali nell'evoluzione tettonico sedimentaria e geomorfologica della regione Marchigiana. Studi Geologici Camerti, spec. vol. CROP11, p.287-293.
- Farabollini P. (1995) Evoluzione **geomorfologica quaternaria dell'area periadriatica** tra Ancona e Vasto, Università di Perugia. Tesi di dottorato inedita.
- Farabollini P., Gentili B. & Pambianchi G. (1993) Dinamica fluviale e antropizzazione nel fiume Tronto. Abs. Conv. Naz. Giovani Ricercatori Geol. Appl. Potenza 28-31 ottobre 1993.
- Galadini F., Messina P., Basili R. e Bosi C. (1997) **Faglie attive nell'appennino centro-meridionale**. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, General Assembly, 41-44 (extended abstract).
- Gentili B. & Pambianchi G. (1987) Morfogenesi fluviale ed attività antropica nelle Marche centro-meridionali. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 10.204-217.
- GNDT (1994) Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Macerata. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
- GNDT (1995) Studi preliminari di terremoti attraverso i repertori sismologici. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
- Gruppo di Lavoro CPTI (1999) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 92 pp.
- Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.
- Macchiavelli C., Mazzoli S., Megna A., Saggese F., Santini S. & Vitale S. (2011) Applying the multiple Inverse Method to the analysis of earthquake focal mechanism data: New insights into the active stress field of Italy and surrounding regions. Tectonophysics 580 (2012) 124-149.

- Meletti C., Patacca E. e Scandone P. (2000) Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. *Pure Appl. Geophys.*, 157 pp. 11-35.
- Molin D., M. Stucchi, Valensise L. (1996) Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani. Rapporto tecnico per il Dipartimento della Protezione Civile. GNDT/ING/SSN, Milano 203 pp. Internet: http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/IMAX/max_int_oss.html.
- Monachesi G. (ed.) (1987) Revisione della sismicità di riferimento per i comuni di Cerreto d'Esi (AN), Esanatoglia (MC), Serra San Quirico (AN). Osservatorio Geofisico Sperimentale, Macerata, rapporto interno, 240 pp.
- Monachesi G. e Castelli V. (eds.) (1992) **Sismicità dell'area aquilano-teramana dall'analisi attraverso cataloghi**. Rapporto tecnico per la Regione Abruzzo, Osservatorio Geofisico Sperimentale, Macerata, 245 pp.
- Monachesi and Stucchi (1997) DOM4.1, an intensity database of damaging earthquakes in the Italian area. Internet, <http://emidius.irs.mi.cnr.it/DOM/home.html>
- Nostro C., Cocco M. e Belardinelli M. E. (1996) Static stress change in extensional regime: an application to southern Apennines. *Bull. Seism. Soc. Am.*
- Nanni T. (1991) Caratteri idrogeologici delle Marche. In "L'ambiente fisico delle Marche". Ed. da Regione Marche e S.E.L.C.A, Firenze.
- Nanni T. & Vivalda P. (1991) Caratteri idrogeologici delle sorgenti carbonatiche dell'Appennino marchigiano. *Atti Conv. "Ricerca e protezione delle risorse idriche sotterranee delle aree montuose"*, Fondazione Bresciana Ric. Scient., 42 (1), 269-331, 24-25 ottobre 1991, Brescia.
- Pagliaroli A., Lanzo G., D'Elia B., Costanzo A., Silvestri F. (2007) **Topographic amplification factors associated to cliff morphology: numerical results from two case studies in Southern Italy and comparison with EC8 recommendations**. XIV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Workshop on geotechnical aspect of EC8, Madrid (Spain), September 25, 2007, CD-ROM, 10 pp.
- Paolucci R. (2002) Amplification of earthquake ground motion by steep topographic irregularities. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31: 1831-1853.
- Pellegrini M., Perego S. & Tavaglini S. (1980) La situazione morfologica degli alvei degli affluenti del Po. Min. LL. PP., Parma.
- Pergalani F., Monachesi G., Stucchi M. (1985) The Camerino earthquake of July 28, 1799. In: D. Postpischl (ed.), *Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes*, Quad. Ric. Scien., 114, pp. 70-71.
- Piergiovanni F. (1989) Eventi lito-biostratigrafici nella Scaglia Bianca Umbro-Marchigiana in connessione con l'episodio anossico del "Livello Bonarelli" (Limite Cenomaniano-Turoniano). *Boll. Soc. Geol. It.*, vol. 108, 289-314.
- Pizzi A. (1992) **Faglie recenti ed attive e origine delle depressioni tettoniche. Esempi dall'Appennino umbro-marchigiano**. Tesio di dottorato, Università di Camerino.
- Postpischl D. (ed.) (1990) Valutazione del rischio sismico per il territorio della Repubblica di San Marino. Fase 1. Ist. Di Topografia, Geodesia e Geofisica Mineraria, Università di Bologna, RPT/TGGM/1/90, 826 pp.
- Raccichini S. (1999) Il Terremoto, conoscere per difendersi, CNR-GNDT/OGSM. Macerata, 47 pp.
- Scandone P., Patacca E., Meletti C., Bellatalla M., Perilli N. e Santini U. (1990) Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana. *Atti del Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*, vol.1, p. 119-135.
- Slejko D., Peruzza L. e Rebez A., (1998) Seismic hazard maps of Italy, *Annali di Geofisica*, 41, pp 407-414.

- Spadea M.C., Favali P., Giovani L. e Vecchi M. (1981) Indagine macrosismica sul terremoto di Norcia del 19.9.1979. In: Intervento a seguito del terremoto di Norcia del 1979, CNR/PFG, Roma, pubbl. 350, pp. 47-57.
- Stucchi M. (1985) The earthquakes in Central Italy, January-February 1703. Some questions, some preliminary answers. In: D. Postpischl (ed.), Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes, Quad. Ric. Scien., 114, pp. 56-57.
- Stucchi M., Monachesi G. e Mandrelli F.M. (1991) Investigation on XVIII century seismicity in Central Italy in the light of the 1741, Fabriano earthquake. In: M. Stucchi, D. Postpischl, D. Slejko (eds.), Investigation on Historical Earthquakes in Europe. Tectonophysics, 193, pp. 65-82.
- Stucchi M., Galadini F., Monachesi G. (1998) I terremoti del settembre/ottobre 1997 nel contesto della tettonica e della sismicità di lungo periodo dell'area umbro-marchigiana VITA-FINZI C (1969) - The mediterranean valleys. Geological Changes in Historical Times. Cambridge Univ. Press. 433pp.
- Tondi E., Cello G. Spatiotemporal evolution of the Central Apennines fault system (Italy). Journal of Geodynamics 36 (2003) 113-128.
- Vittorini S. (1991) La diminuzione del trasporto torbido nei fiumi italiani tra il periodo prebellico e quello attuale. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 14 (2).251-258.