REGIONE MARCHE

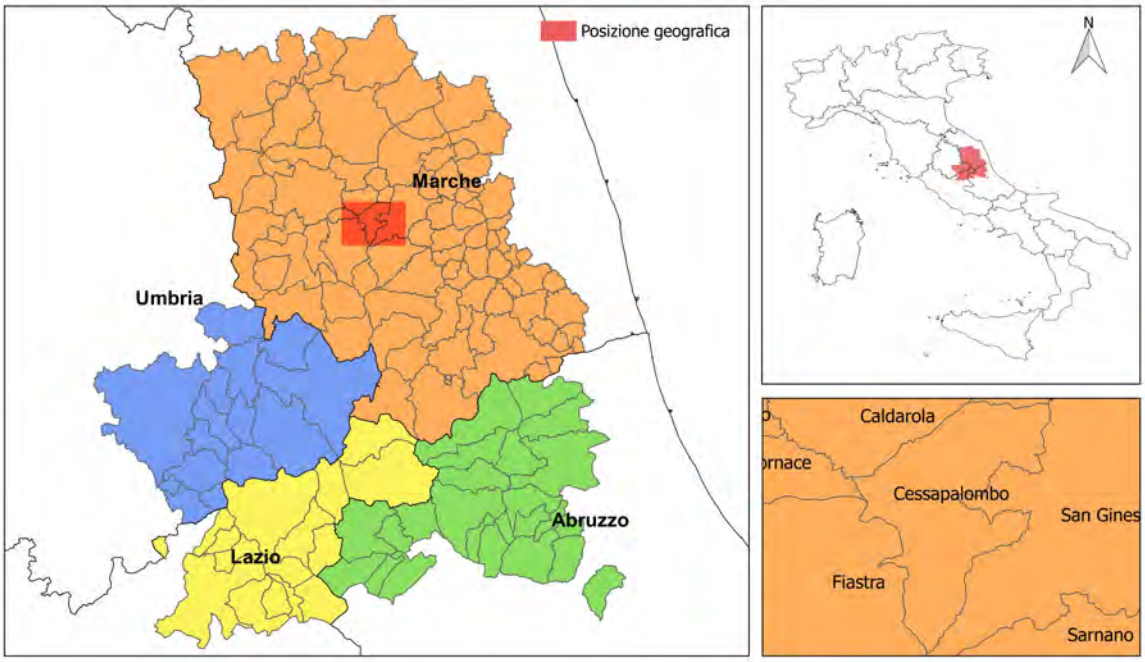
Comune di Cessapalombo

COMMISSARIO STRAORDINARIO
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016

Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Cessapalombo 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 Cessapalombo



Soggetto realizzatore Dott. Geol. Giammaria Vecchioni Collaboratore Dott. Geol. Marta Lupetti	Data e revisione Gennaio 2018	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. 7
3. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento....p. 11
4. Assetto **geologico e geomorfologico dell'area** ....p. 20
4.1. Caratteristiche Geologiche ....p. 20
4.2. Caratteristiche Geomorfologiche....p. 22
5. Modello del sottosuolo ....p. 25
5.1. Dati geologico stratigrafici ....p. 25
5.2. Dati geologico strutturali....p. 34
6. Dati geotecnici e geofisici ....p. 38
6.1. Dati geotecnici....p. 40
6.2. Dati geofisici....p. 44
6.3. Acquisizione ed elaborazione indagini geofisiche ....p. 44
7. Metodologie di elaborazione e risultati....p. 53
8. Elaborati cartografici ....p. 56
8.1. Carta delle Indagini ....p. 56
8.2. Carta Geologico - Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS) ....p. 56
8.3. Sezioni geologico - tecniche ....p. 60
8.4. Carta delle frequenze naturali dei terreni (f0) ....p. 62
8.5. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) ....p. 63
8.6. Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS) ....p. 72
8.6.1. Risultati della modellazione 2D ....p. 75
8.6.2. Risultati della modellazione 1D: spettri di output e calcolo Fa....p. 76
8.6.3. Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.1-0.5 s ....p. 83
8.6.4. Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.4-0.8 s ....p. 84
8.6.5. Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.7-1.1 s ....p. 85
9. Categoria del sottosuolo ....p. 87
10. Interpretazioni e incertezze ....p. 93
11. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati ....p. 94
BIBLIOGRAFIA ....p. 95

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 Cessapalombo (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 Cessapalombo (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 Cessapalombo nell'anno 2015, 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. del 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 Cessapalombo ha un'estensione di 27.780.000 m^2 ed è situato nella porzione centro-orientale della Provincia di Macerata, è delimitato a nord dal territorio comunale di Caldarola e Camporotondo di Fiastrone, ad est e sud-est dal territorio del Comune di San Ginesio ed a ovest dai territori dei Comuni di Pievebovigliana e Fiastra.

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 Cessapalombo.

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 303.817 m^2 e sono riferibili alle seguenti località:

1. Cessapalombo Capoluogo;
2. Castigliano;
3. Colfano;
4. Case Colbottoni;
5. Montalto;

6. La Valle;
7. Tribbio;
8. Case Caraffa;
9. La Villa;
10. Monastero.

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. 313070 Caldarola;

sezione n. 313080 S. Ginesio;

sezione n. 313110 Podalla;

sezione n. 313120 Colle;

sezione n. 313150 Acquacanina.

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 Cessapalombo.
- 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 Cessapalombo (O.C.D.P.C. 171/2014 – effettuazione delle indagini di microzonazione sismica (MS) – Decreto n. 1/DPS del 22 Gennaio 2015) 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.

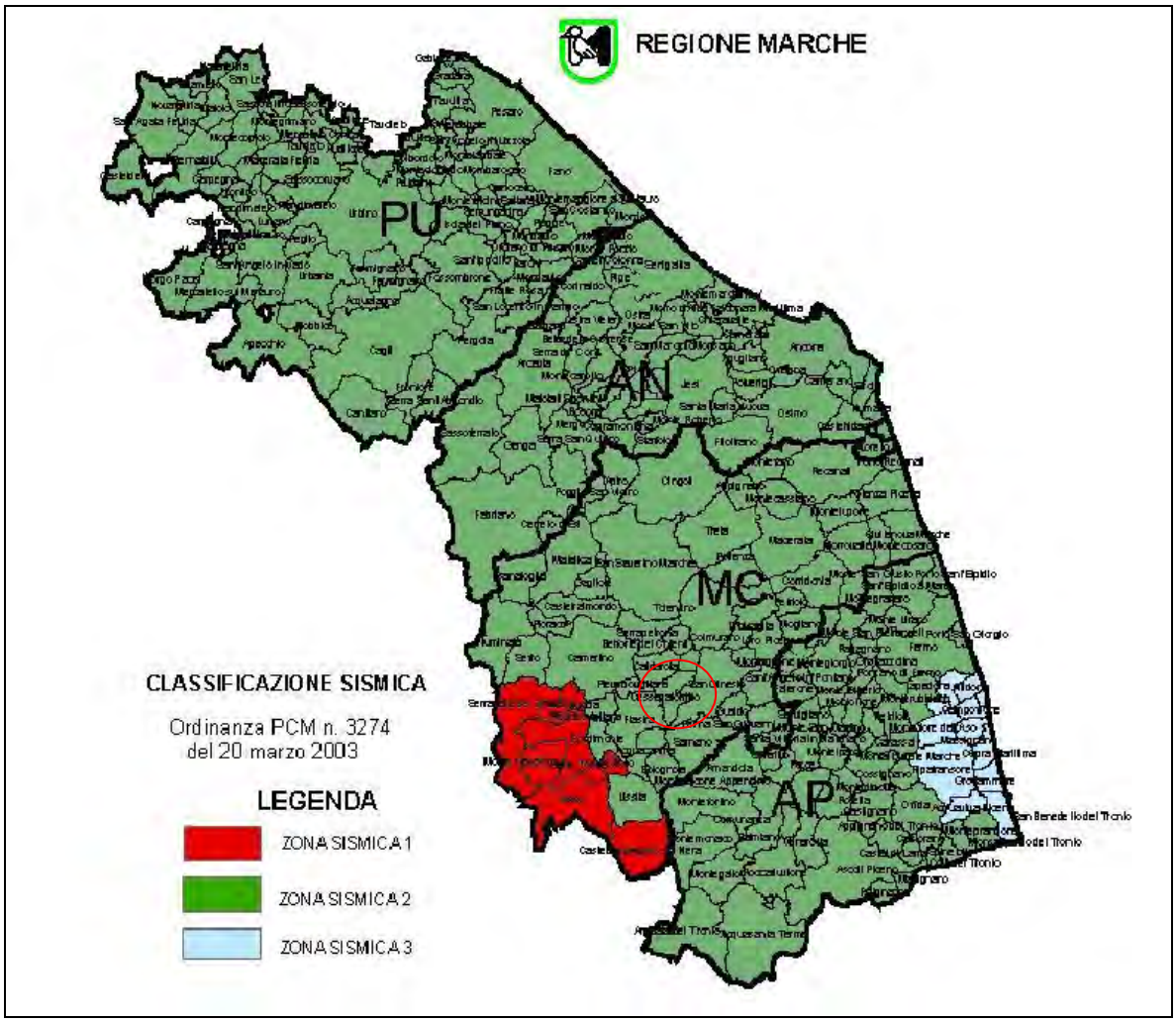
4. Definizione del piano di indagini integrative: tipologia e numero di indagini minime necessarie per la realizzazione dello studio di MS3 nelle aree di interesse.
5. Rilievi geologico tecnici di dettaglio.
6. Definizione delle tracce di sezioni geologico-tecniche per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo da corredare alla Carta Geologico - Tecnica.
7. Esecuzione delle indagini integrative:
   - ✓ N. 8 prospezioni sismiche MASW effettuate nel mese di Agosto 2017 e Ottobre 2017;
   - ✓ N. 23 misure HVSR effettuate nei mesi di Settembre e Ottobre 2017;
   - ✓ N. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di -35,00 m dal p.c. Il sondaggio è stato equipaggiato con tubo in PVC per DOWN-HOLE. Durante la perforazione di sondaggio sono state eseguite prove geotecniche SPT. Il sondaggio è stato effettuato nei giorni dal 12 al 15 Settembre 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 (f0) 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 DINVER (Geopsy Package).
15. Esecuzione di analisi numeriche monodimensionali (1D) di risposta sismica locale, utilizzando il codice di calcolo STRATA.
16. Comparazione tra le analisi numeriche 1D e 2D effettuate 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.

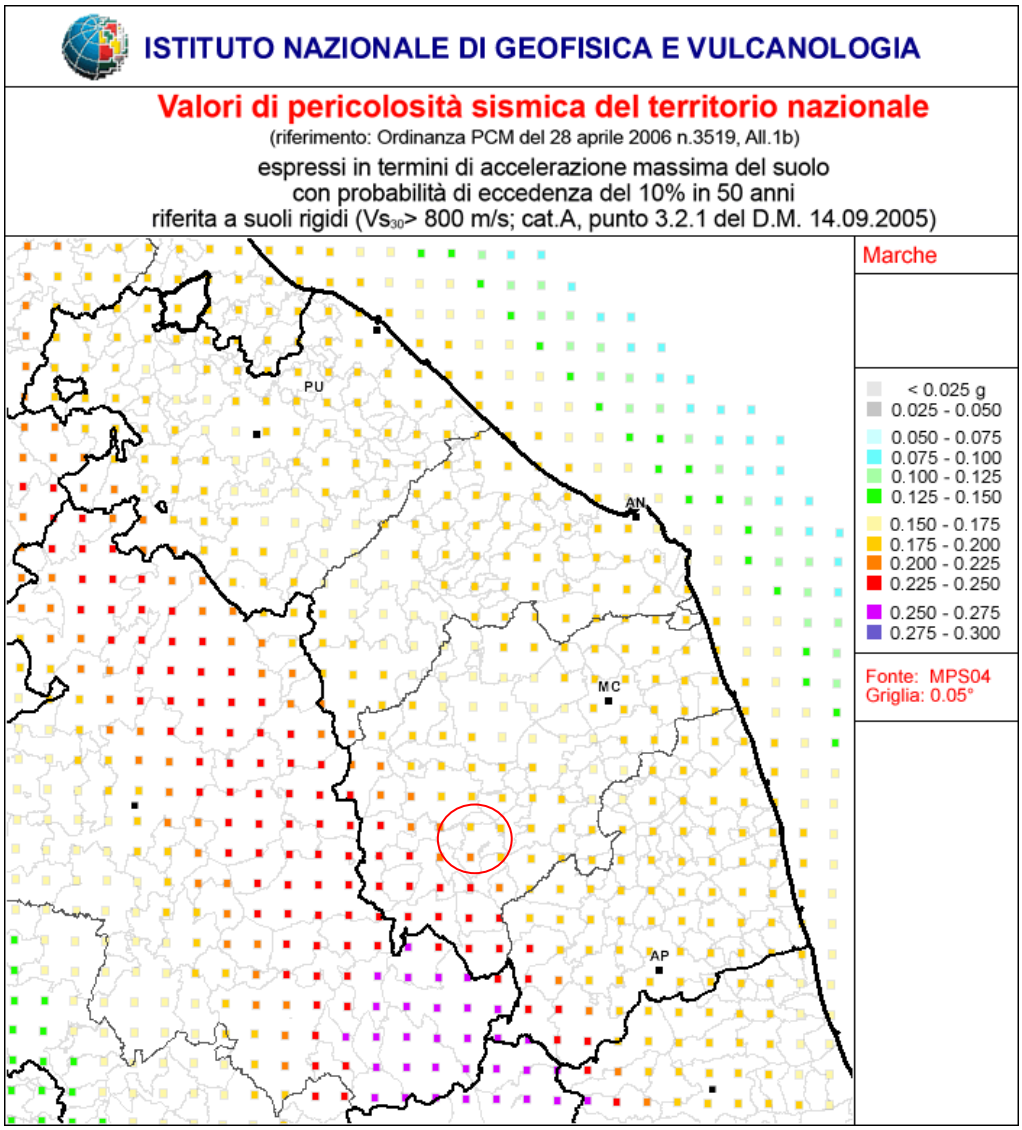
3. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

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 Cessapalombo 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 Cessapalombo (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 (Vs > 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.

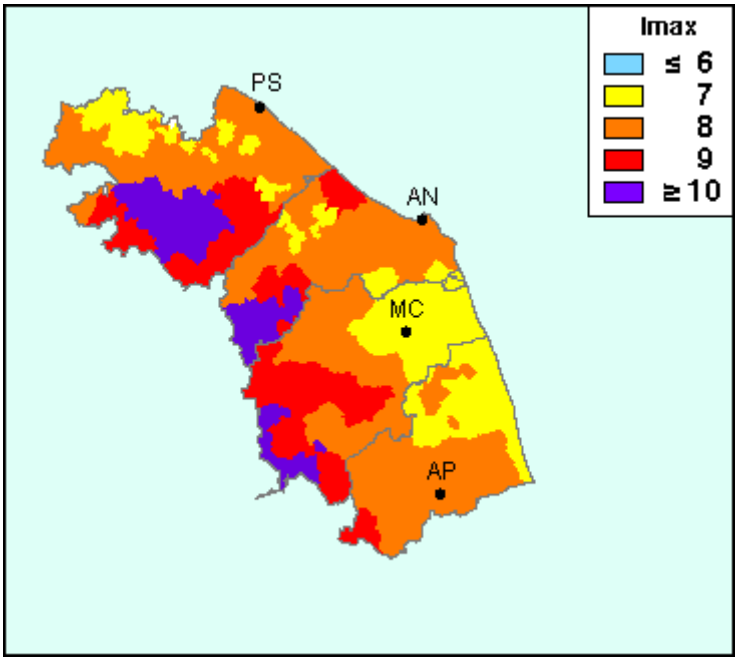


L'OPCM 3907_2010 associa al Comune di Cessapalombo un'accelerazione orizzontale massima al suolo ag pari a:

<u>ag = 0,18646</u>

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 (Vs > 800 m/s, cat. A, punto 3.2.1 DM 14/09/2005).

Di seguito vengono riportate le 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 CHIENTI	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
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 CHIENTI	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
VISSO	11	43	57	42.93041	13.08788	>=10

L'analisi sulla sismicità storica del territorio comunale di Cessapalombo 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.41 eventi di riferimento a partire dall'anno 1799.

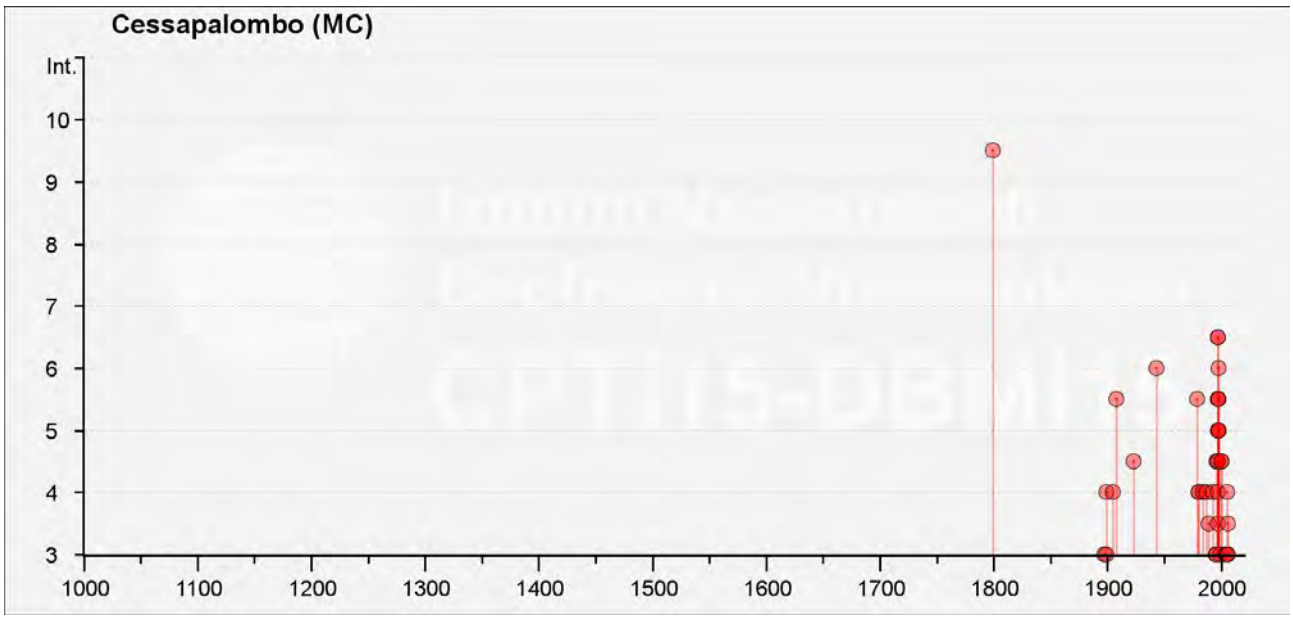
Da tale indagine risulta che la massima intensità registrata è pari a IX-X gradi MCS, riferito all'evento del 28 Luglio 1799.

STORIA SISMICA DEL TERRITORIO DI CESSAPALOMBO

Place ID	IT_51659
Coordinate (lat, lon)	43.108, 13.258
Comune (ISTAT 2015)	Cessapalombo
Provincia	Macerata
Regione	Marche
Numero di eventi riportati	41

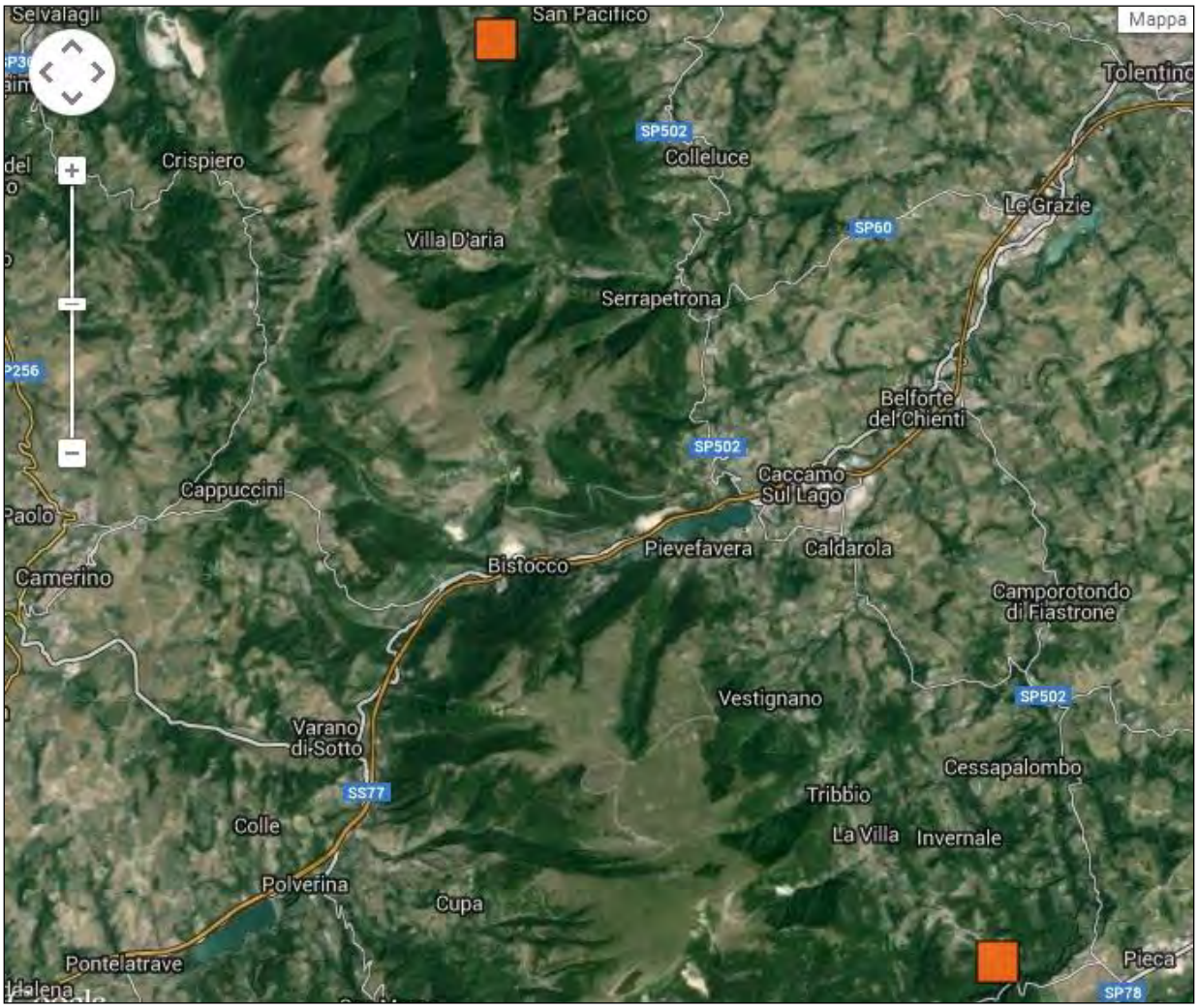
Intensità	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
9-10	**1799 07 28 22 05**	**Appennino marchigiano**	**70**	**9**	**6.18**
3	1897 10 28 10 40	Fermano	25	4-5	4.16
4	1899 02 07 12 35 30.00	Appennino umbro-marchigiano	49	4	4.04
3	1899 06 22 13 20	Corridonia	30	5	4.08
4	1905 11 30 22	Caldarola	9	4	3.7
5-6	1908 03 17 03 59	Marche meridionali	54	5-6	4.61
4-5	1923 07 12 20 49	Marche meridionali	20	5	4.28
6	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	170	8	5.67
5-6	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5.83
4	1980 02 28 21 04 40.00	Valnerina	146	6	4.97
4	1980 05 24 20 16 04.00	Monti Sibillini	58	5-6	4.48
4	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5.62
4	1987 07 03 10 21 57.64	Costa Marchigiana	359	7	5.06
3-4	1989 09 11 02 46 23.93	Marche meridionali	60	5	4.04
4	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	326	6	4.72
3	1995 12 30 15 22 08.73	Fermano	106	5	4.19
3	1996 01 01 12 21 41.54	Maceratese	91	5-6	4.2
4-5	1996 01 22 18 37 44.36	Fermano	76	5	3.96
3-4	1997 09 07 23 28 05.79	Appennino umbro-marchigiano	57	5-6	4.19
4	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
6-7	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
5-6	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
4-5	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5.62
5	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
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
6	1998 03 26 16 26 17.03	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
5-6	1998 04 03 07 26 36.97	Appennino umbro-marchigiano	14		5.1
5	1998 06 02 23 11 23.00	Appennino umbro-marchigiano	83		4.25
3	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

4-5	2000 10 24 07 52 23.70	Monti Sibillini	65	5	4.11
NF	2003 05 25 17 15 13.95	Ascolano	88	4-5	3.81
3	2004 12 09 02 44 25.29	Teramano	213	5	4.09
4	2005 04 12 00 31 51.61	Maceratese	131	4	3.74
3	2005 12 15 13 28 39.59	Val Nerina	350	5	4.14
3-4	2006 04 10 19 03 36.67	Maceratese	211	5	4.06
3	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4.21



Di seguito si riportano i dati tratti dal catalogo dei Forti Terremoti Italiani (http://storing.ingv.it/cfti4med/)

CFTI 4 MED CATALOGUE of STRONG EARTHQUAKES in ITALY 461 B.C. – 1997 and MEDITERRANEAN AREA 760 B.C. – 1500
An Advanced Laboratory of Historical Seismology – E.Guidoboni, G.Ferrari, D.Mariotti, A.Comastri, G.Tarabusi, G.Valensise



(1)

Date	Time	Lat	Lon	Rel	Io	Imax	Sites	Nref	Me	Rme	Location	Country
28 07 1799	22:05	43.217	13.15	b	9	9.5	71	0075	6.2	!	Appennino marchigiano	Italy

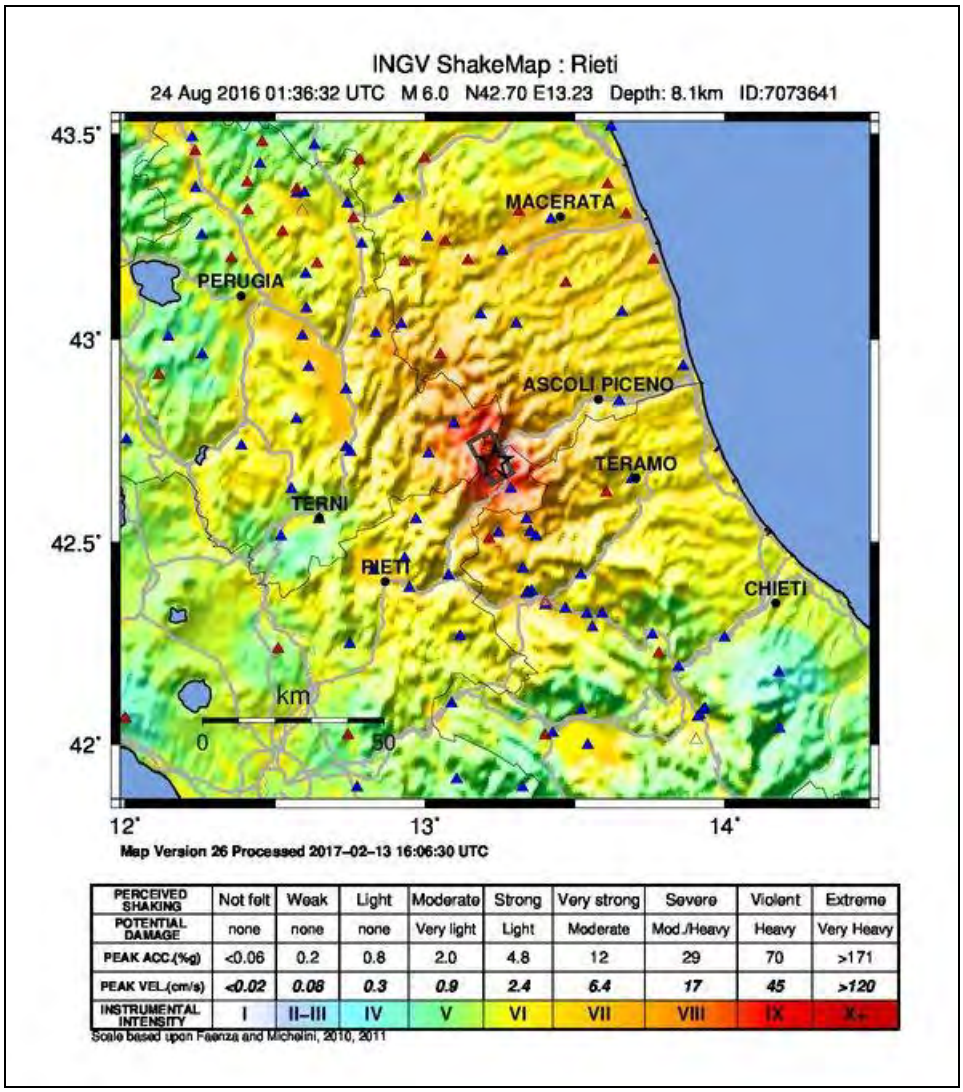
(2)

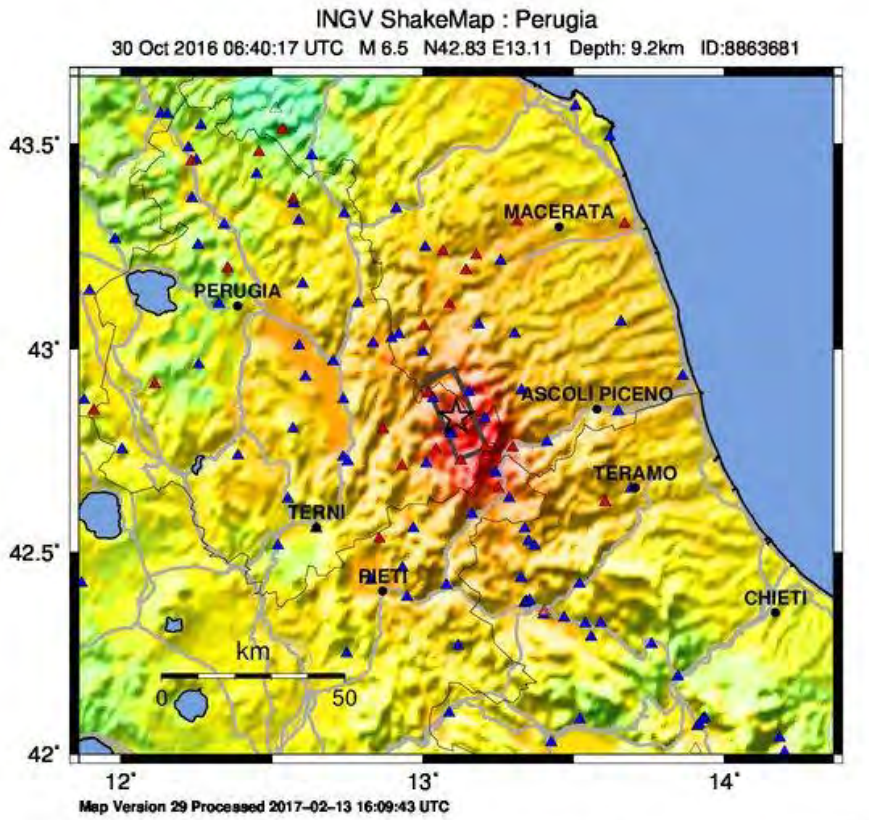
Date	Time	Lat	Lon	Rel	Io	Imax	Sites	Nref	Me	Rme	Location	Country
12 03 1873	20:04	43.083	13.25	b	8	9	196	0058	6	!	Marche meridionali	Italy

(http://storing.ingv.it/cfti4med/)

Come già scritto, l'evento del 28 Luglio 1799 (conosciuto anche come terremoto di Camerino) rappresenta la massima intensità registrata (pari ad IX-X gradi MCS) nel territorio comunale di Cessapalombo. Cessapalombo, paese composto di 31 nuclei familiari, fu completamente distrutto; le case crollarono dalle fondamenta, ma nonostante ciò le vittime furono solamente 9, poiché la maggior parte della popolazione spaventata dalle scosse precedenti aveva deciso di rifugiarsi in aperta campagna (Moreschini, 1802). Moreschini (1802) riferisce di alcuni fenomeni luminosi osservati in concomitanza con l'evento sismico. A Cessapalombo furono visti "globi di fuoco" alla sommità della torre (http://storing.ingv.it/cfti4med/quakes/04785.html). Cessapalombo (I = IX-X), insieme alla vicina frazione di Morico (I = VIII-IX), furono le località più colpite tra quelle interessate dal sisma.

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).





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

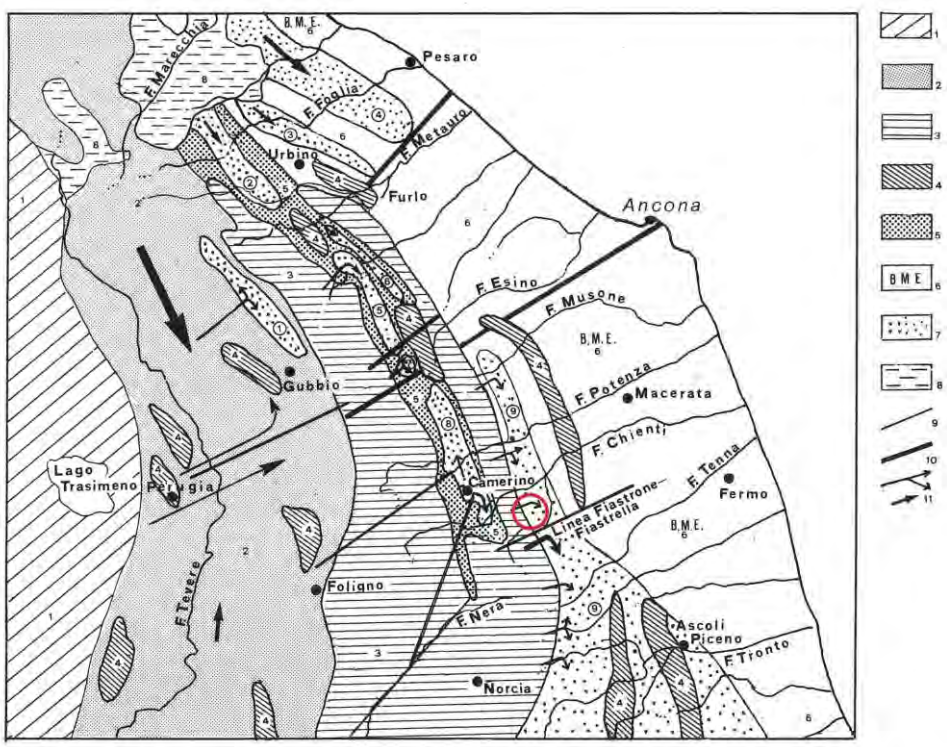
4. ASSETTO **GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

4.1. Caratteristiche Geologiche

L'area esaminata è caratterizzata da un diffuso affioramento di terreni sia di ambiente marino che continentale.

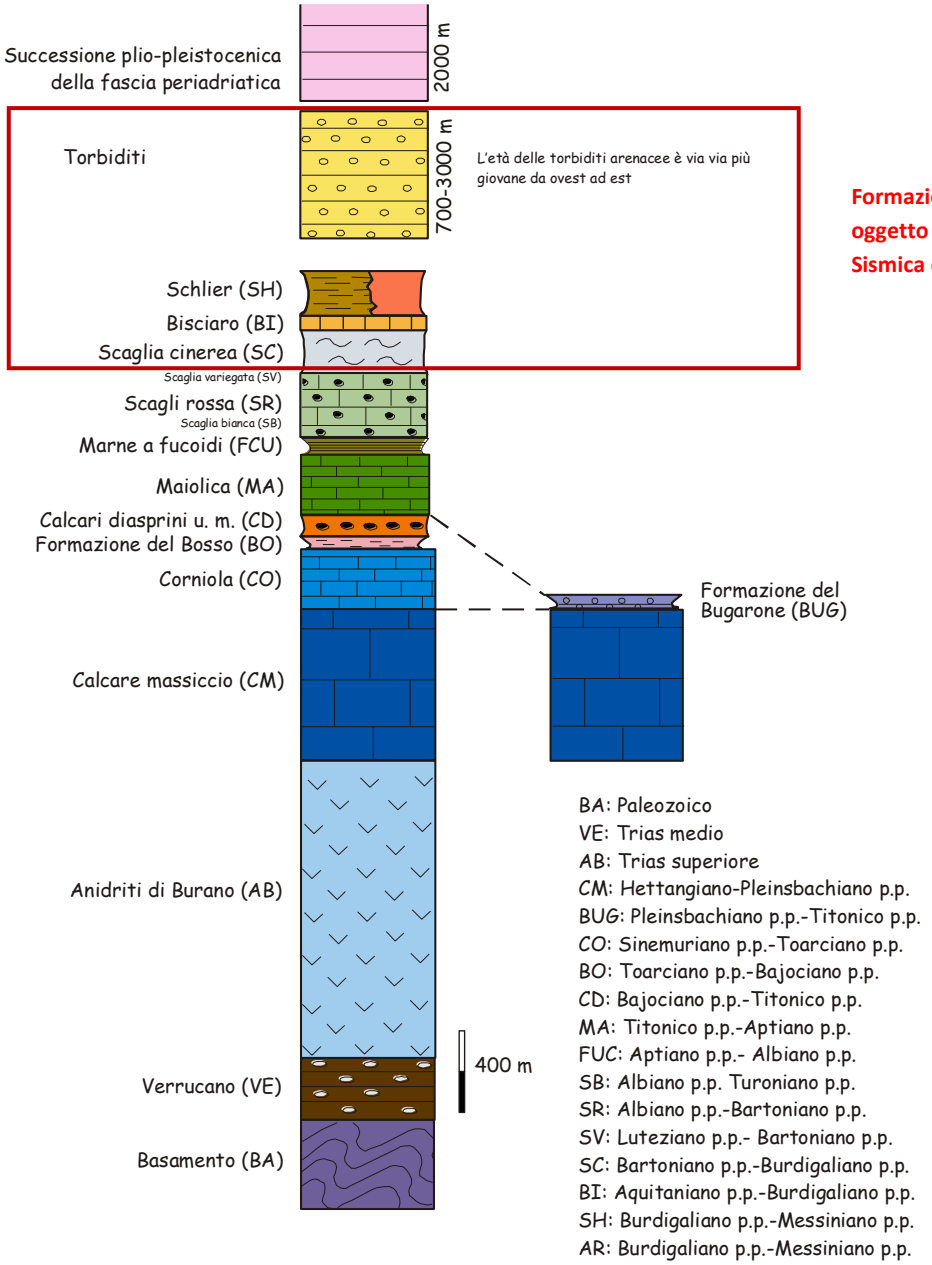
La porzione occidentale del territorio del Comune di Cessapalombo risulta ubicata in corrispondenza della Dorsale Marchigiana, mentre il settore più orientale appartiene al Bacino Marchigiano esterno e, più in particolare, al Bacino della Laga. Nel complesso, i litotipi affioranti, costituenti il substrato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

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



Distribuzione delle principali unità morfostrutturali nell'Appennino umbro-marchigiano.
1) *Bacino toscano*; 2) *Bacino umbro*; 3) *Dorsali umbro-marchigiana* e *marchigiana*; 4) *Dorsali minori*; 5) *Bacino marchigiano interno*; 6) *Bacino marchigiano esterno*; 7) *''Bacini minori''*: ① *bacino di M. Vicino* - ② *bacino di Pietrarubbia - Peglio - Urbania* - ③ *bacino di Monte Calvo in Foglia* - ④ *bacino di M. Luro* - ⑤ *bacino di M. Turrino - Percozzone - S. Giovanni* - ⑥ *bacino di Serraspinosa* - ⑦ *bacino di San Donato - Cantia* - ⑧ *bacino di Camerino* - ⑨ *bacino della Laga*; 8) Colata della Val Marecchia; 9) Principali faglie trasversali; 10) Principali ''selle'' trasversali; 11) Direzioni di apporto dei depositi torbiditici.

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



Formazioni presenti nelle aree oggetto di Microzonazione Sismica di livello 3

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 Col di Pietra – La Valle;
- una zona medio-collinare posta ad est dello stesso allineamento.

Per quanto riguarda l'idrografia, il territorio comunale ricade interamente nel bacino idrografico del Fiume Chienti ed il corso d'acqua principale è rappresentato dal Fiume Fiastrone. Un corso d'acqua di una certa rilevanza è rappresentato dal Rio Vallone che nasce alla base del Monte Petrella e attraversa da ovest verso est gran parte del territorio di Cessapalombo, fino a confluire in sinistra idrografica, poco a valle del Capoluogo, nel Fiume Fiastrone.

I rilievi calcarei sono incisi da numerosi corsi d'acqua, a regime prevalentemente torrentizio, quali Rio del Monte, Rio Fessa (affluenti di destra del Fiume Fiastrone) e dal Fosso Pelone (affluente di sinistra del Fosso Pisciarelle).

Nel settore collinare orientale i principali corsi d'acqua, a carattere stagionale, sono il Fosso Falcino e il Fosso Imbollata.

Nel settore montuoso, costituito essenzialmente dai litotipi di natura prettamente calcarea e calcareo-marnosa, i rilievi principali sono rappresentati (da nord a sud), da Monte Codardo, posto ad occidente dell'abitato Valle-Tribbio-Villa (1086 m s.l.m.), da Monte Petrella (1090 m s.l.m.), da Monte di Bozzi (745 m s.l.m.) e da Monte dei Cancelli posto ad occidente dell'abitato di Monastero (979 m s.l.m.).

Queste aree sono caratterizzate dalla presenza di estese coltri detritiche, di spessore variabile, in corrispondenza dei versanti ed alla base dei rilievi principali. 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 traslativo.

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 dei detriti di versante e degli

accumuli di frana; in altri casi, come ad esempio in alcuni tratti del Fiume Fiastrone e del Rio Vallone, i fenomeni di approfondimento avvengono nel substrato, dando origine a strette valli con pareti subverticali.

Sono presenti conoidi di deiezione, prevalentemente quiescenti, impostati alla confluenza dei fossi ad elevata pendenza con il fondovalle. Gli abitati di La Villa e La Valle sono ubicati proprio in corrispondenza dei conoidi formati, rispettivamente, dal Rio Vallone e dal Fosso Pelone.

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, diffuse in tutta l'area. Molto diffuse risultano anche le scarpate poligeniche con influenza strutturale che, talora, sono interessate da crolli e caduta di detrito (versante meridionale di Monte Petrella, in corrispondenza dei principali piani di sovrascorrimento).

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 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 Poggio la Città (708 m s.l.m.), Monte Parrone (618 m s.l.m.) e Colle Croce (502 m s.l.m.).

Le zone più depresse si rinvengono nel settore nord-orientale, in corrispondenza della piana alluvionale del Fiume Fiastrone (300 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 Fiume Fiastrone, del Rio Vallone, del Fosso Imbollata e del Fosso Falcino. Soprattutto per quanto riguarda il Fiume Fiastrone ed il Rio Vallone, in corrispondenza di tratti dell'alveo ad andamento meandriforme, si hanno fenomeni di intensa erosione laterale attiva e in stato quiescente, che talora danno luogo a fenomeni di franamento della scarpata fluviale.

La morfologia fluviale risulta caratterizzata dai terrazzi alluvionali del Fiume Fiastrone e del Rio Vallone; gli alvei attuali di tali corsi d'acqua si presentano molto incassati nei depositi alluvionali, arrivando talora ad erodere direttamente il locale substrato.

Anche in questa area sono piuttosto diffuse le scarpate poligeniche con influenza strutturale.

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

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 inferiore medio – Olocene)*

A) Terreno di riporto	I) Limi sabbiosi e/o sabbie con ghiaie frammiste, frammenti di laterizi e resti vegetali.
B) Depositi eluvio-colluviali	II) Limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille. III) Ghiaie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie limoso-sabbiose.
C) Depositi di versante	IV) Ghiaie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie sabbioso-limose.
D) Depositi di conoide di deiezione e conoide detritica	V) Ghiaie limoso-sabbiose, ghiaie sabbioso-limose.

E) Depositi alluvionali

- VI) Limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose, argille limose.
- VII) Sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose.
- VIII) Ghiaie, ghiaie sabbiose, ghiaie limose, ghiaie sabbioso-limose.

<u>UNITÀ DEL SUBSTRATO:</u>

Successione umbro-marchigiana *<u>(Priaboniano p.p. – Messiniano p.p.)</u>*

Riferimento Carta Geologica Regionale CARG.

F) Scaglia Cinerea (SCC)

(Priaboniano p.p. – Acquitanino p.p.)

- IX) Alternanze di strati di marne calcaree, marne argillose e calcari marnosi

G) Bisciaro (BIS)

(Acquitaniano – Burdigaliano p.p.)

- X) Alternanze di starti di calcari, calcari marnosi, marne calcaree e marne argillose

H) Formazione della Laga (LAG1d)

Membro pre-evaporitico

Litofacies arenaceo-pelitica

(Messiniano p.p.)

- XI) Alternanze di arenarie in strati da medi a spessi, con rare intercalazioni di strati pelitici.

I) Formazione della Laga (LAG1c)

Membro pre-evaporitico

Litofacies arenacea

(Messiniano p.p.)

XII) Arenarie medio-grossolane.

L) Formazione della Laga (LAG3d)

Membro post-evaporitico

Litofacies arenaceo-pelitica

(Messiniano p.p.)

XIII) Alternanze di arenarie medio-fini con sottili livelli di argille marnoso-siltose.

M) Formazione della Laga (LAG3e)

Membro post-evaporitico

Litofacies pelitico-arenacea

(Messiniano p.p.)

XIV) Alternanze di argille e argille marnoso-siltose con sottili livelli di arenarie.

UNITÀ DELLA COPERTURA

Depositi Continentali Quaternari e Terreno di riporto *(Pleistocene inferiore 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 rinvengono di frequente concrezioni carbonatiche sotto forma di noduli e striature. Dai sondaggi geognostici reperiti, si evince che un significativo spessore di terreno di riporto (circa 15 m) è presente in prossimità del Capoluogo di Cessapalombo, nell'area coincidente con l'ex discarica comunale di RSU (Vedi 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 fini limose o argillose, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille (Litotipo II). I sedimenti presentano una colorazione marrone-nocciola giallastra, più o meno brunastra, con bande grigie ed ocracee. All'interno dell'aggregato si rinvengono di frequente concrezioni carbonatiche sotto forma di noduli e striature, ossidazioni e subordinatamente inclusioni torbose e frustoli carboniosi. Si rinvengono in Loc. Castigliano e Colfano con spessori fino ad un massimo di 20 m ed in Loc. Tribbio con spessori minori (5-10 m).

Subordinatamente, dalla Carta Geologica Regionale, si ipotizza la presenza di depositi colluviali a granulometria più grossolana nell'intorno di Cessapalombo Capoluogo e La Valle. Trattasi di ghiaie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie limoso-sabbiose (Litotipo III).

Si stima per questi depositi uno spessore massimo di circa 20 m.

C) DEPOSITI DI VERSANTE

Tali coltri detritiche sono costituite principalmente da ghiaie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie sabbioso limose (Litotipo IV), a luoghi inglobanti blocchi di proporzioni variabili. Sulle pendici dei rilievi calcarei sono presenti estese coltri detritiche, generalmente omogenee dal punto di vista composizionale, talvolta sottilmente stratificate, localmente molto cementate. 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 25 m.

Si rinvengono in località La Villa, La Valle, Case Caraffa e Monastero.

D) DEPOSITI DI CONOIDE DI DEIEZIONE E CONOIDE DETRITICA

Tali depositi sono costituiti principalmente da ghiaie limoso-sabbiose, ghiaie sabbioso-limose (Litotipo V). I clasti sono di natura prevalentemente carbonatica, si presentano con colorazione variabile dall'avana al bruno, eterometrici (dimensioni 1-2 cm), con forma lamellare e/o discoidale e moderatamente arrotondati.

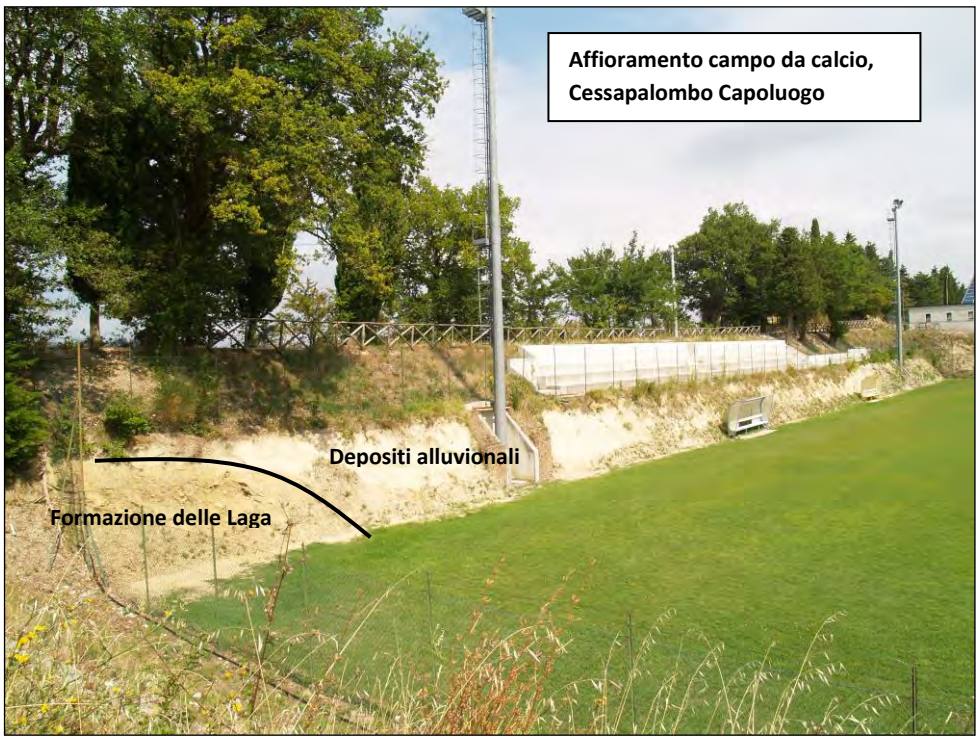
In particolare, è stato evidenziato un conoide di deiezione proprio in corrispondenza dell'abitato di La Villa, dove tali depositi hanno uno spessore variabile dai 5 ai 25 m.

E) DEPOSITI ALLUVIONALI

In Loc. Cessapalombo Capoluogo, nella parte sommitale di tali depositi sono presenti principalmente ghiaie, ghiaie sabbiose, ghiaie limose, ghiaie sabbioso-limose (Litotipo VIII). Trattasi di ghiaie eterometriche di natura prevalentemente carbonatica e subordinatamente silicea, 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 rinvengono a luoghi sia livelli tendenzialmente sabbiosi (sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, Litotipo VII) che limoso argillosi (limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose, argille limose, Litotipo VI).

In loc. Cessapalombo Capoluogo, questi depositi aumentano di spessore da ovest verso est. Nella porzione occidentale, in prossimità del campo da calcio, si rilevano in affioramento spessori di qualche metro, mentre nella porzione orientale, al disotto dell'abitato, dai sondaggi geognostici reperiti si stima uno spessore dell'ordine di 40 m.



Immediatamente a sud dell'abitato di Cessapalombo, la porzione più superficiale di tali depositi è invece caratterizzata da alluvioni fini (Litotipo VI) che presentano uno spessore variabile dai 20 ai 30 m.

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 *(Priaboniano p.p. – Messiniano p.p.)*

F) Scaglia Cinerea *(Priaboniano p.p. – Acquitanino 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 150-200 m.

Questa Formazione è presente in località La Valle, Tribbio, Case Caraffa, La Villa e Monastero.

Scaglia cinerea altamente tettonizzata in Loc. Case Invernale

Tettoniti s-c nella Formazione della Scaglia cinerea in prossimità del piano principale di sovrascorrimento in Loc. Monastero

G) Bisciaro *(Acquitaniano – 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 ocraceo per alterazione di solfuri; frequente è anche la bioturbazione.

Spessore: 60-80 m.

Questa Formazione è presente a Montalto.

H) Formazione della Laga (LAG1d), Membro pre-evaporitico, litofacies arenaceo-pelitica

(Messiniano p.p.)

Alternanze di arenarie a granulometria da fine a grossolana, in strati da medi a spessi, piano-paralleli e lenticlari e peliti; il rapporto sabbia/argilla è molto elvato.

Lo spessore varia da 50 m a 120 m.

Si rinviene a Cessapalombo Capoluogo.

I) Formazione della Laga (LAG1c), Membro pre-evaporitico, litofacies arenacea.

(Messiniano p.p.)

Alternanze di arenarie grigio-giallastre, a granulometria grossolana, in strati spessi e molto spessi, con rare intercalazioni di strati pelitici e ciottoli sparsi o in livelli sottili. Rapporto sabbia/argilla > 1.

Questo Formazione è presente in località Case Colbottoni.

L) Formazione della Laga (LAG3d), Membro post-evaporitico, litofacies arenaceo-pelitica *(Messiniano p.p.)*

È costituita da arenarie di colore giallastro a granulometria fine e media, in stati tabulari da medi a spessi, e da argille marnoso-siltose grigio-azzurre; il rapporto sabbia/argilla è maggiore di 1.

Affiora solamente nel settore orientale del territorio in località Colfano e Castigliano e gli spessori sono molto variabili da zona a zona.

M) Formazione della Laga (LAG3e), Membro post-evaporitico, litofacies pelitico-arenacea. *(Messiniano p.p.)*

È costituita da un'alternanza di argille e argille marnoso-siltose di colore grigio-azzurro, in strati sottili e medi, con arenarie in strati sottili e medi. Rapporto sabbia/argilla < 1.

Affiora solamente in Località Castigliano.

5.2 Dati geologico strutturali

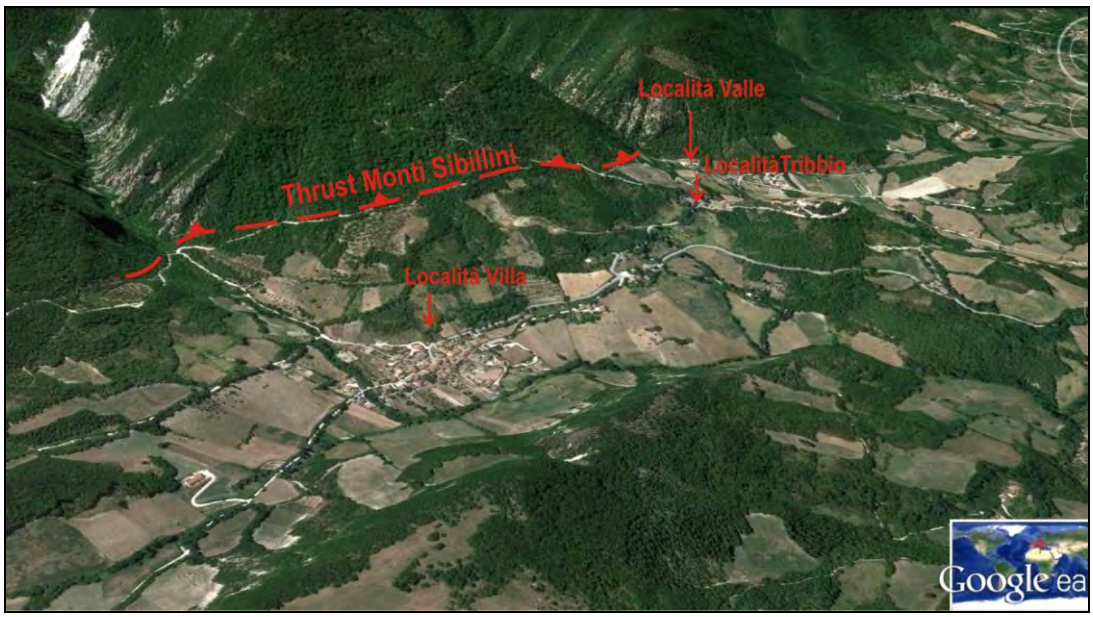
È possibile distinguere, procedendo da ovest verso est, tre settori del territorio comunale diversificabili dal punto di vista dell'assetto morfologico e litologico-strutturale, di seguito descritti.

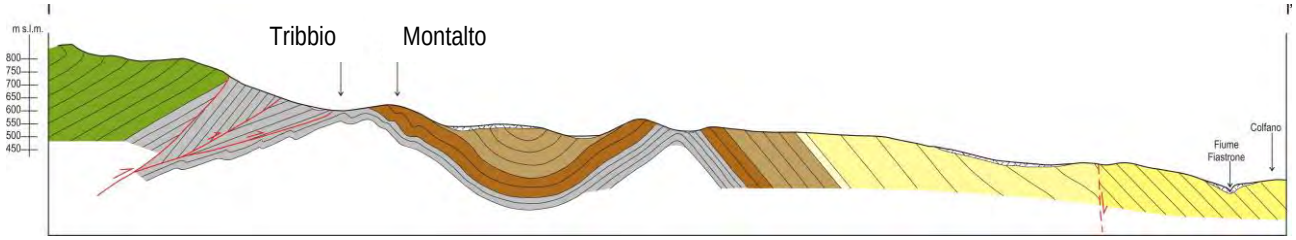
- Area occidentale (ad ovest dell'allineamento Monte di Bozzi - Tribbio): questa area rientra nella Dorsale Marchigiana ed è caratterizzata dagli affioramenti di litotipi prevalentemente calcarei e calcareo-marnosi della serie giurassico-cretacica.

Si tratta, nel complesso, di una macroanticlinale contenente strutture plicative minori, caratterizzata dal fianco orientale rovesciato e sovra scorso (*thrust dei* Monti Sibillini), dislocata ulteriormente da faglie di diversa natura e rigetto variabile, orientate prevalentemente NNW-SSE, ENE-WSW e NW-SE.

Il sovrascorrimento si realizza mediante piani con direzione appenninica, immergenti debolmente verso ovest; in genere si ha sovrapposizione della Scaglia Rossa sui termini più recenti della Scaglia Cinerea.

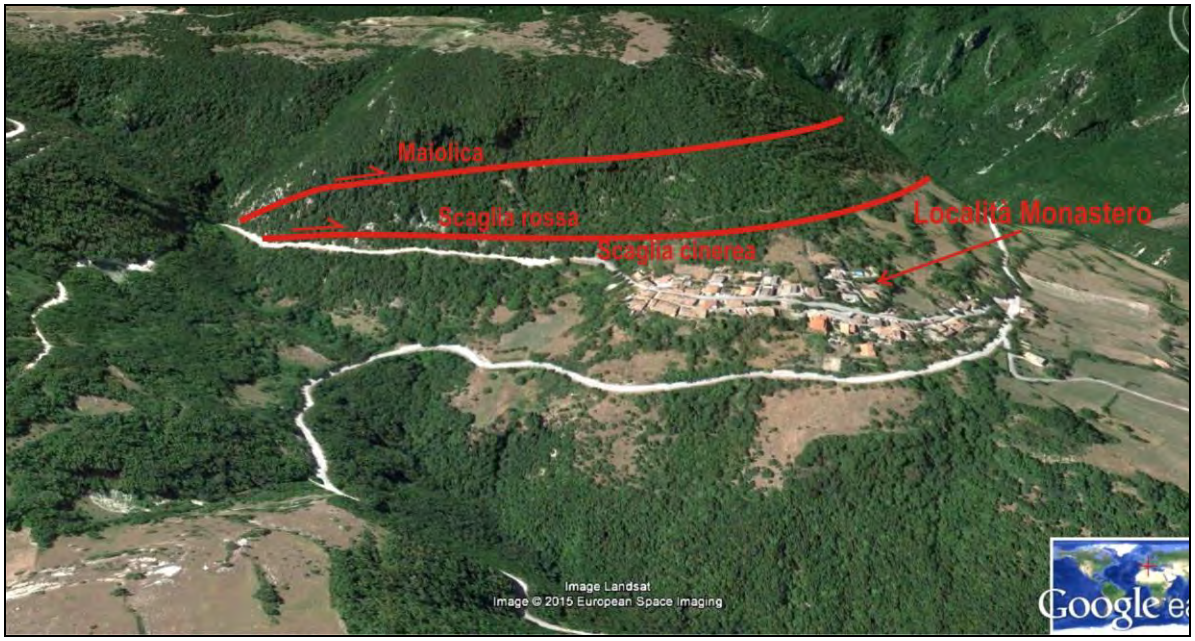
In particolare, i nuclei abitati di Valle, Tribbio e La Villa sono caratterizzati da un *bedrock* ascrivibile alla Formazione della Scaglia cinerea la quale, subito ad occidente, è coinvolta nei complessi fenomeni di sovrascorrimento. Si rileva infatti il contatto tettonico tra la Formazione della Scaglia rossa (posta nell'*hangin-wall* del *thrust* dei Monti Sibillini) e la suddetta Scaglia cinerea (posta al *footwall*). Il *thrust* presenta vergenza orientale ed i terreni dell'*hangin-wall* (Scaglia rossa) si rinvengono rovesciati. Le formazioni del *footwall*, (Scaglia cinerea, Bisciaro e Schlier) in successione normale, risultano essere interessate da strutture plicative alla macro e mesoscala. Le Formazioni del f*ootwall*, (specialmente la Scaglia cinerea associata alla *damage zone* di detto *thrust*) risultano essere interessate da un'intensa fratturazione.





SEZ I-I' AREA TRIBBIO-COLFANO (sezione effettuata nel corso degli studi di MS1)

Anche l'abitato della località Monastero è caratterizzato da un *bedrock* ascrivibile alla Formazione della Scaglia cinerea facente parte del footwall del sovrascorrimento dei Monti Sibillini. Qui l'*hanging-wall* è caratterizzato dalla presenza di una scaglia tettonica coinvolgente la Scaglia rossa interposta tra la formazione della Maiolica al tetto e la Scaglia Cinerea al letto.



Sovente, in corrispondenza dei piani di taglio inverso, si osserva un notevole aumento del grado di fratturazione e tettonizzazione dei litotipi interessati (cataclasiti).

- Area centrale (compresa tra l'allineamento Monte di Bozzi - Tribbio e l'allineamento Molinaccio - Monte Parrone): qui affiorano i termini della serie oligo-miocenica (Scaglia Cinerea, Bisciaro e Schlier), caratterizzata da pieghe sinclinaliche ed anticlinaliche, con asse circa NNW-SSE e vergenza orientale, variamente dislocate da faglie estensive e trascorrenti. Le strutture anticlinaliche si presentano, in genere, piuttosto strette, mentre le sinclinali sono caratterizzate da una maggiore ampiezza, con fianchi a minor pendenza.

In particolare, da ovest verso est si rilevano due macropieghe: la prima trattasi di una sinclinale sinforme al cui nucleo affiora la Formazione delle Schlier, la seconda una anticlinale antiforme al cui nucleo affiora la Formazione della Scaglia cinerea (vedi sezione I-I' sopra).

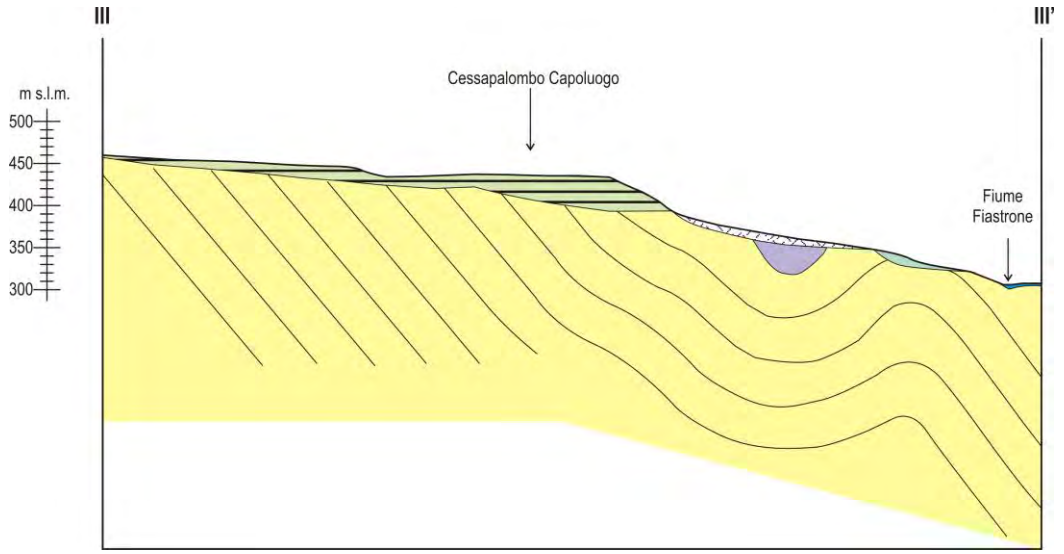
Tali macropieghe sono dislocate, a sud est della località Villa, da una faglia diretta ad andamento ENE-WSW ribassante il blocco settentrionale.

- Area orientale (ad est dell'allineamento Molinaccio - Monte Parrone): in questo settore del territorio comunale sono presenti i depositi del Bacino della Laga (Formazione della Laga: membri pre e post-evaporitico) e la Formazione gessoso-solfifera.

La struttura geologica è principalmente di tipo monoclinalico con strati immergenti verso NE e con inclinazioni comprese tra 20° e 70°.

A nord del Rio Vallone si assiste al contatto tettonico tra i membri pre-evaporitici e post-evaporitici della Formazione della Laga, mediante una faglia estensiva orientata NW-SE.

Nella porzione centro-orientale (dintorni del Capoluogo) la struttura si complica per la presenza di strutture plicative minori (sinclinali ed anticlinali), che interessano sia i termini terrigeni pre-evaporitici, sia la Formazione gessoso-solfifera. In particolare, subito ad oriente di Cessapalombo Capoluogo, è presente una struttura sinclinalica sinforme ad andamento NW-SE al cui nucleo affiora la Formazione Gessoso solfifera (vedi sezione geologica III-III').



SEZ III-III' AREA CESSAPALOMBO CAPOLUOGO (sezione effettuata nel corso degli studi di MS1)

Tutte le faglie individuate non mostrano evidenze di un'attività recente (ultimi 40.000 anni secondo "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica), ad eccezione di alcune discontinuità presenti a nord di Monte Bozzi che sono state cartografate come faglie potenzialmente attive. È stato infatti eseguito uno studio speditivo dei lineamenti geologici-geomerfologici delle aree d'interesse mediante l'utilizzo di immagini da satellite e foto aeree. Si rileva un set di discontinuità ad andamento E-W che non trova corrispondenza con le importanti strutture geologiche neogeniche (non sono riferibili nè alle strutture compressive, nè alle "faglie di strappo" associate alle stesse). Trattasi di una serie di allineamenti orientati E-W in corrispondenza dei quali si rilevano, a luoghi, un dislocamento sia del reticolo idrografico che di alcuni elementi lineari come le creste dei rilievi. Tuttavia queste strutture sono esterni alle aree oggetto di microzonazione sismica e vengono segnalate quali zone di possibile interesse per studi specifici di faglie recenti e/o attive. Ricordiamo che Cessapalombo, fu la località che subì maggiori danni in seguito al terremoto del 1799.

6. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Nella Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Cessapalombo sono stati presi in esame 64 punti di indagine sparsi nel territorio, di cui 59 siti puntuali e 5 siti lineari, suddivisi e rappresentati, in forma simbolica e per tipologia, nella "Carta delle Indagini".

DATI PREGRESSI MS1		
Descrizione	Sigla	Quantità
Prova penetrometrica dinamica media	DN	8
Prova penetrometrica dinamica super pesante	DS	7
Sondaggio a carotaggio continuo	S	18
Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	SS	21
Trincea o pozzetto esplorativo	T	3
MASW	MASW	4
Sismica a rifrazione	SR	1
Microtremori a stazione singola	HVSR	2

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	23
MASW	MASW	8

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

- Esecuzione di N. 1 prospezioni sismiche tipo MASW.
- Esecuzione di N. 6 misure HVSR.

Nella località Castigliano sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di N. 1 prospezioni sismiche tipo MASW.
- Esecuzione di N. 1 misure HVSR.

Nella località Colfano sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di N. 1 prospezioni sismiche tipo MASW.
- Esecuzione di N. 1 misure HVSR.

Nella località Case Colbottoni sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di N. 1 prospezioni sismiche tipo MASW.
- Esecuzione di N. 1 misure HVSR.

Nella località Montalto sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di N. 1 prospezioni sismiche tipo MASW.
- Esecuzione di N. 1 misure HVSR.

Nella località La Valle sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di N. 3 misure HVSR.

Nella località Tribbio sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di N. 1 prospezioni sismiche tipo MASW.

- Esecuzione di N. 1 misure HVSR.

Nella località Case Caraffa sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di N. 1 prospezioni sismiche tipo MASW.
- Esecuzione di N. 1 misure HVSR.

Nella località La Villa 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 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= -18,50 m.
- Esecuzione di una prospezione sismica in foro tipo Down-Hole (ALLEGATO 3).
- Esecuzione di N. 4 misure HVSR.

Nella località Monastero sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di N. 1 prospezioni sismiche 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 e detritica ed ai depositi alluvionali.

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

Classifica *USCS*: ML

Parametri geotecnici tipici:

γ_{medio} (peso volume) = 1,90-2,10 g/cm^3

ϕ_{medio} (angolo di attrito) = 22°-28°

Cu = 0,4-1,50 kg/cm^2

C' = 0,05-0,20 kg/cm^2

Es (modulo elastico) = 60-80 Kg/cm^2

Ed (modulo edometrico tra 1 e 2 Kg di carico) = 40-90 Kg/cm^2

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

Classifica *USCS*: SM

Parametri geotecnici tipici:

γ_{medio} (peso volume) = 1,80-2,10 g/cm^3

ϕ_{medio} (angolo di attrito) = 26°-32°

Es (modulo elastico) = 80-120 Kg/cm^2

- SEDIMENTI A GRANA GROSSA: Litotipi III, IV, V e VIII, relativi a depositi eluvio-colluviali grossolani, depositi di versante, depositi di conoide di deiezione e detritica ed alluvioni grossolane.

Classifica USCS: GM

Parametri geotecnici tipici:

γ_{medio} (peso volume) = 1,80-2,10 g/cm^3

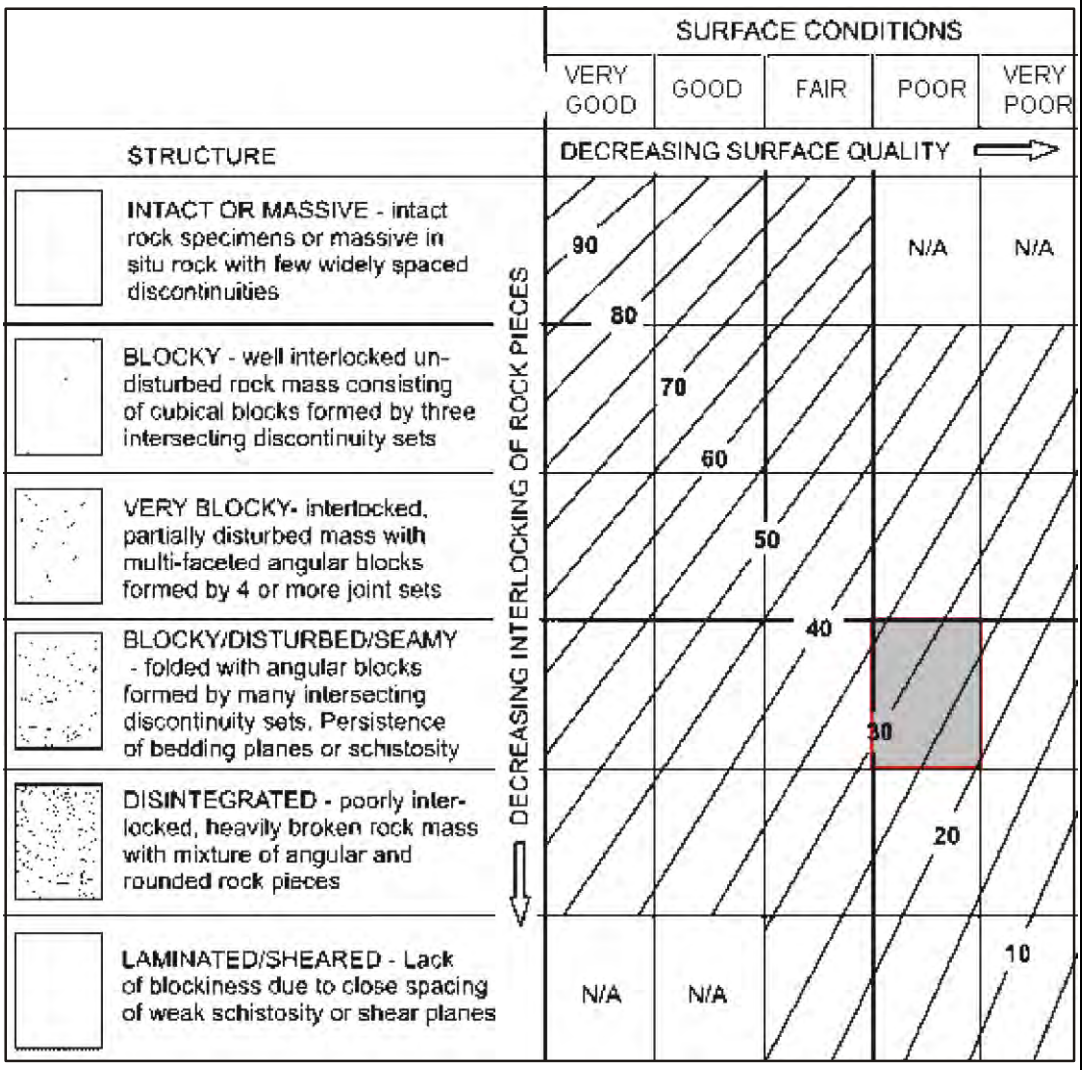
ϕ_{medio} (angolo di attrito) = 28°-35°

Es (modulo elastico) > 100 Kg/cm^2

∗ UNITÀ LITOLOGICO-TECNICHE DEL SUBSTRATO

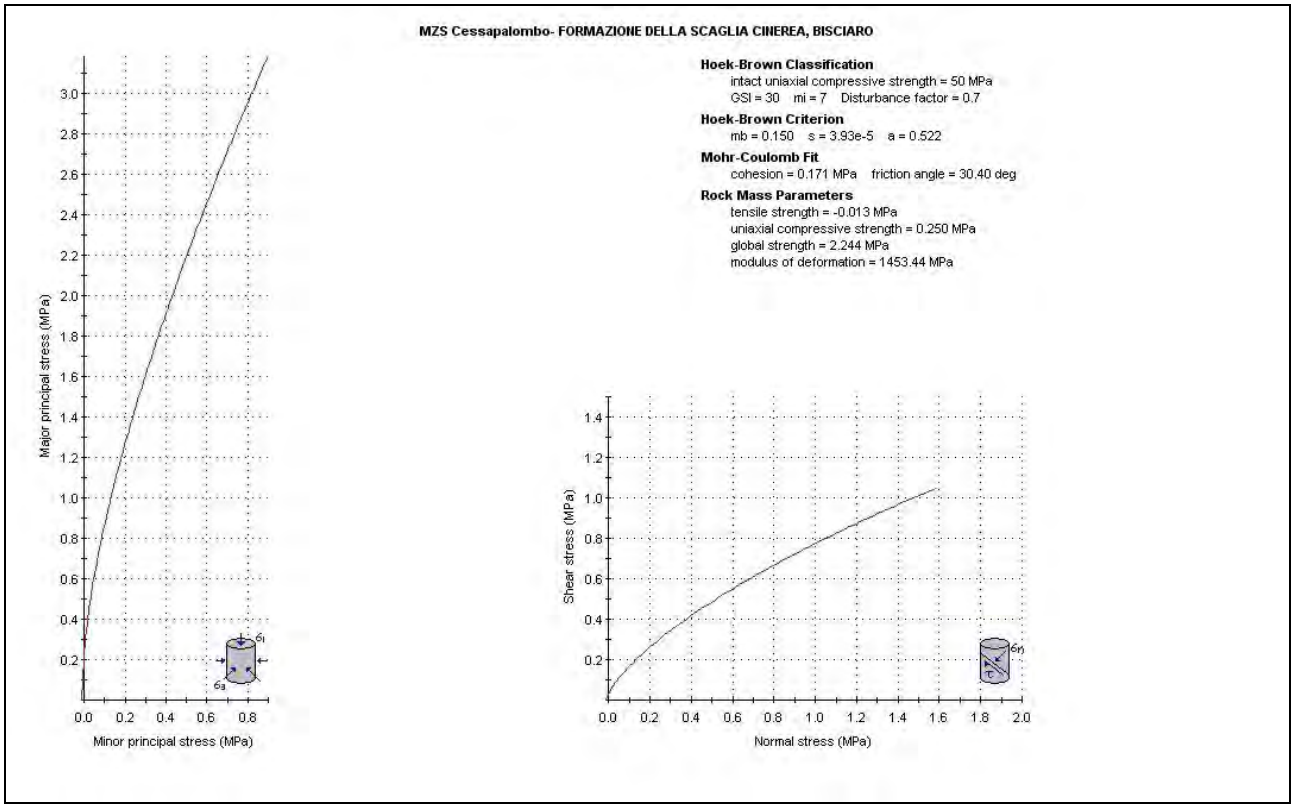
È stato classificato in modo speditivo l'ammasso roccioso Scaglia Cinerea e Bisciaro secondo il concetto sviluppato da Hoek, GSI *(Geological strenght index)*.

Geological Strenght Index



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.

- ALS Scaglia Cinerea e Bisciaro



- ALS ALTERNANZA DI ARENARIE E PELITI, FORMAZIONE DELLA LAGA
- Parametri geotecnici medi relativi alla frazione pelitica:

γ_{medio} (peso volume) = 1,00-2,20 g/cm^3

ϕ_{medio} (angolo di attrito) = 23°-28°

Cu (coesione non drenata) = 2,00-4,00 kg/cm^2

C' (coesione drenata) = 0,20-0,50 kg/cm^2

Ed (modulo edometrico tra 1 e 2 Kg di carico) > 80 Kg/cm^2

Parametri geotecnici medi relativi alla frazione arenacea:

γ_{medio} (peso volume) = 2,10-2,20 g/cm^3

ϕ_{medio} (angolo di attrito) = 32°-35°

qu (resistenza a compressione monoassiale) = 100-300 kg/cm^2

Es (modulo elastico) > 200 Kg/cm^2

6.2 Dati geofisici

Le indagini di carattere geofisico, eseguite nelle aree oggetto di studio di MS3, sono consistite in N. 23 misure HVSR, N. 1 prova sismica in foro tipo Down-Hole e N. 8 prospezioni sismiche di superficie tipo MASW.

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

UBICAZIONE	INDAGINI
CESSAPALOMBO CAPOLUOGO	N. 1 MASW N. 6 HVSR
CASTIGLIANO	N. 1 MASW N. 1 HVSR
COLFANO	N. 1 MASW N. 1 HVSR
CASE COLBOTTONI	N. 1 MASW N. 1 HVSR
MONTALTO	N. 1 MASW N. 1 HVSR
LA VALLE	N. 3 HVSR
TRIBBIO	N. 1 MASW N. 1 HVSR
CASE CARAFFA	N. 1 MASW N. 1 HVSR
LA VILLA	1 DOWN-HOLE N. 4 HVSR
MONASTERO	N. 1 MASW N. 4 HVSR

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 Fo sono riportate nella Carta delle frequenze naturali dei terreni (f0).

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.

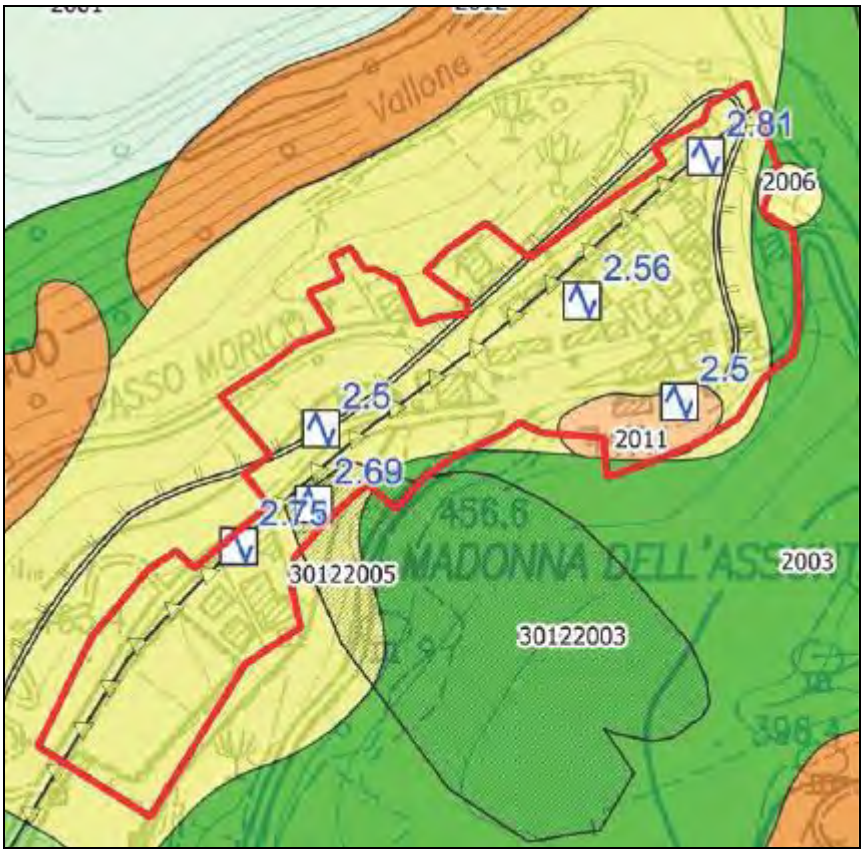
CONSIDERAZIONI MISURE HVSR

Nelle misure effettuate nei siti d'indagine, si rileva un disturbo antropico a circa 1,5 Hz ed in rari casi anche tra 4 e 5 Hz. Tale disturbo (1,5 Hz) è presente in tutte le misure effettuate (anche in giorni diversi) a Cessapalombo Capoluogo e nelle diverse frazioni ad eccezione di quella di Monastero. 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, ad eccezione della Loc. Monastero. 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 f0 (non è stato mai considerato come picco naturale), né tantomeno i

processi di inversione congiunta effettuati, poiché tale picco antropico è stato rimosso.

Le misure HVSR effettuate rispecchiano il modello geologico ipotizzato.

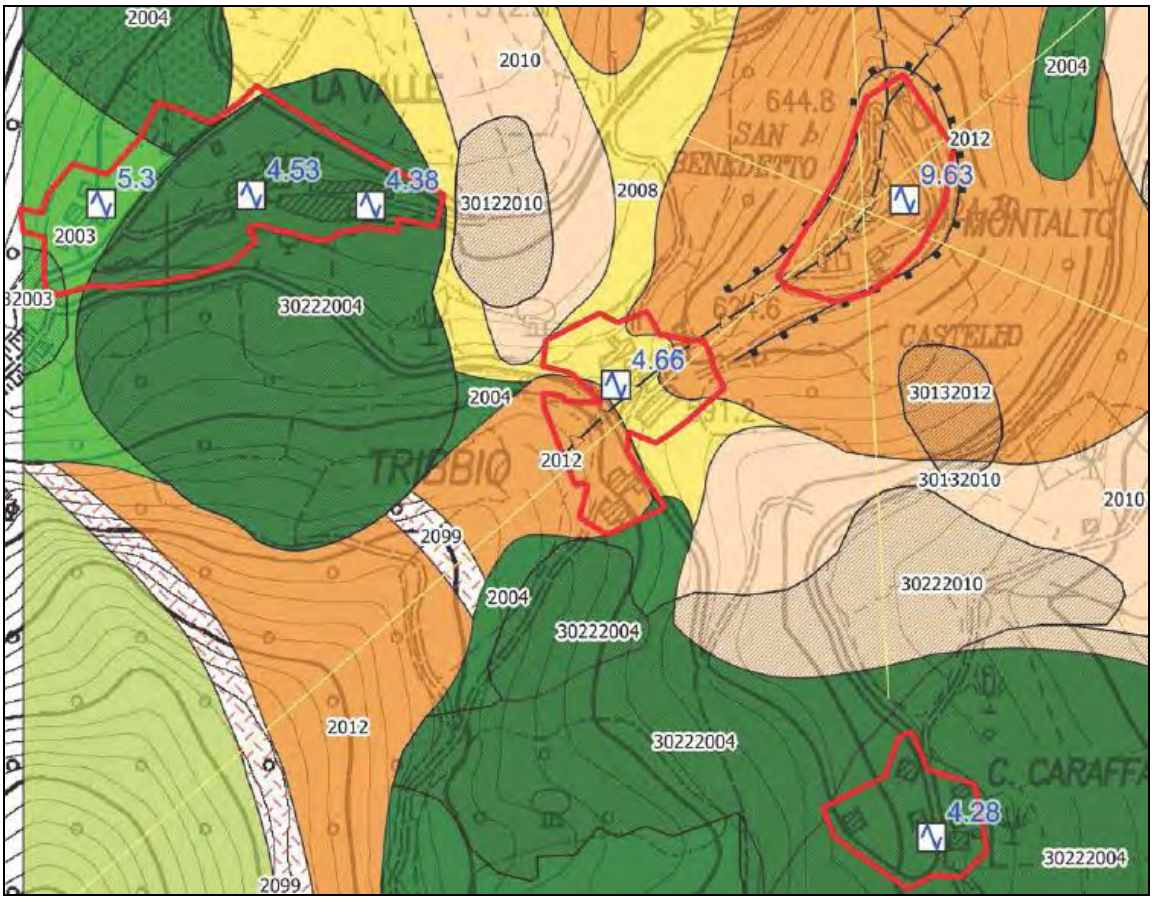
In località Cessapalombo Capoluogo, si riscontra un'omogeneità delle n. 5 misure effettuate con picchi in frequenza variabili da f0 = 2,50 Hz a f0 = 2,80 Hz a cui si associa un contrasto di impedenza dai 35 m ai 40 m di profondità.



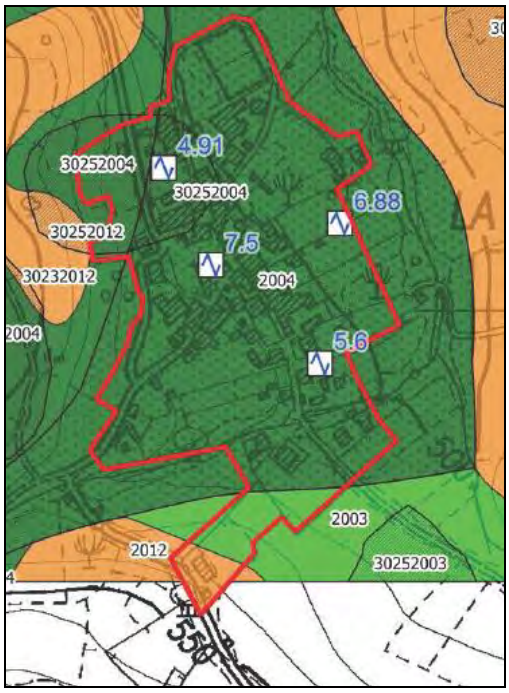
Le misure effettuate in Loc. La Valle, Tribbio e Case Caraffa mostrano picchi in frequenza variabili da f0 = 4,38 Hz a f0 = 5,30 Hz a cui si associa un contrasto di impedenza dai 13 m (loc. Tribbio) ai 22 m di profondità.

In Loc. Tribbio si rileva un picco in frequenza pari a f0 = 4,66 Hz a cui si associa un contrasto di impedenza alla profondità di circa 13,00m.

In località Montalto, il picco in frequenza f0 pari a 9,36 Hz, indica un contrasto di impedenza posto più in superficie stimato alla profondità di 10/15m.

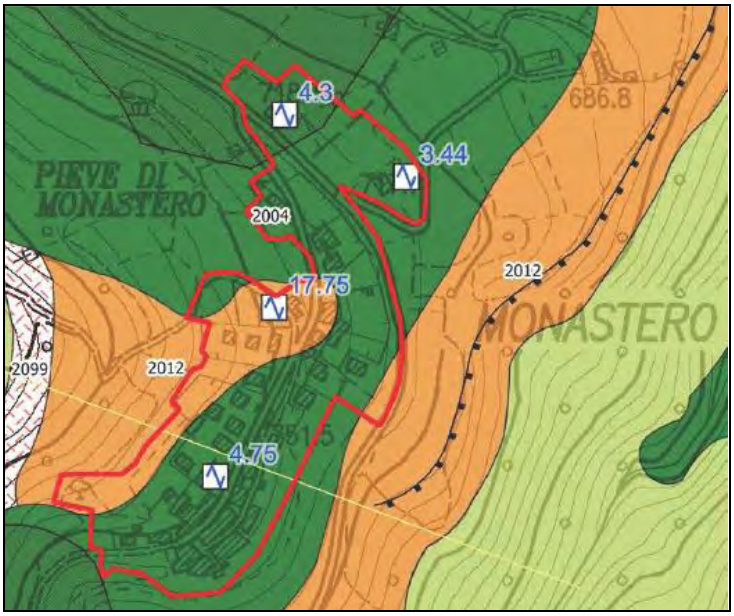


In Loc. La Villa, si rilevano picchi con frequenze variabili tra f0 = 4,91 Hz a 7,50 Hz cui si associa un contrasto di impedenza alla profondità variabile dai 15 m ai 20 m.



In Loc. Monastero i picchi in frequenza mostrano valori di f0 = 3,44/4,3/4,75 su aree caratterizzate da depositi ghiaiosi sovrastanti il substrato geologico (MOPS 2004), mentre si rileva un picco in frequenza pari a f0 = 17,75 su un'area caratterizzata dalla presenza del substrato geologico (MOPS 2012).

Alle frequenze f0 = 3,44/4,3/4,75 si associa una profondità del contrasto di impedenza variabile dai 20 ai 30 m, mentre alla frequenza f0= 17,75 si associa un contrasto di impedenza superficiale stimato dell'ordine di 3 m.

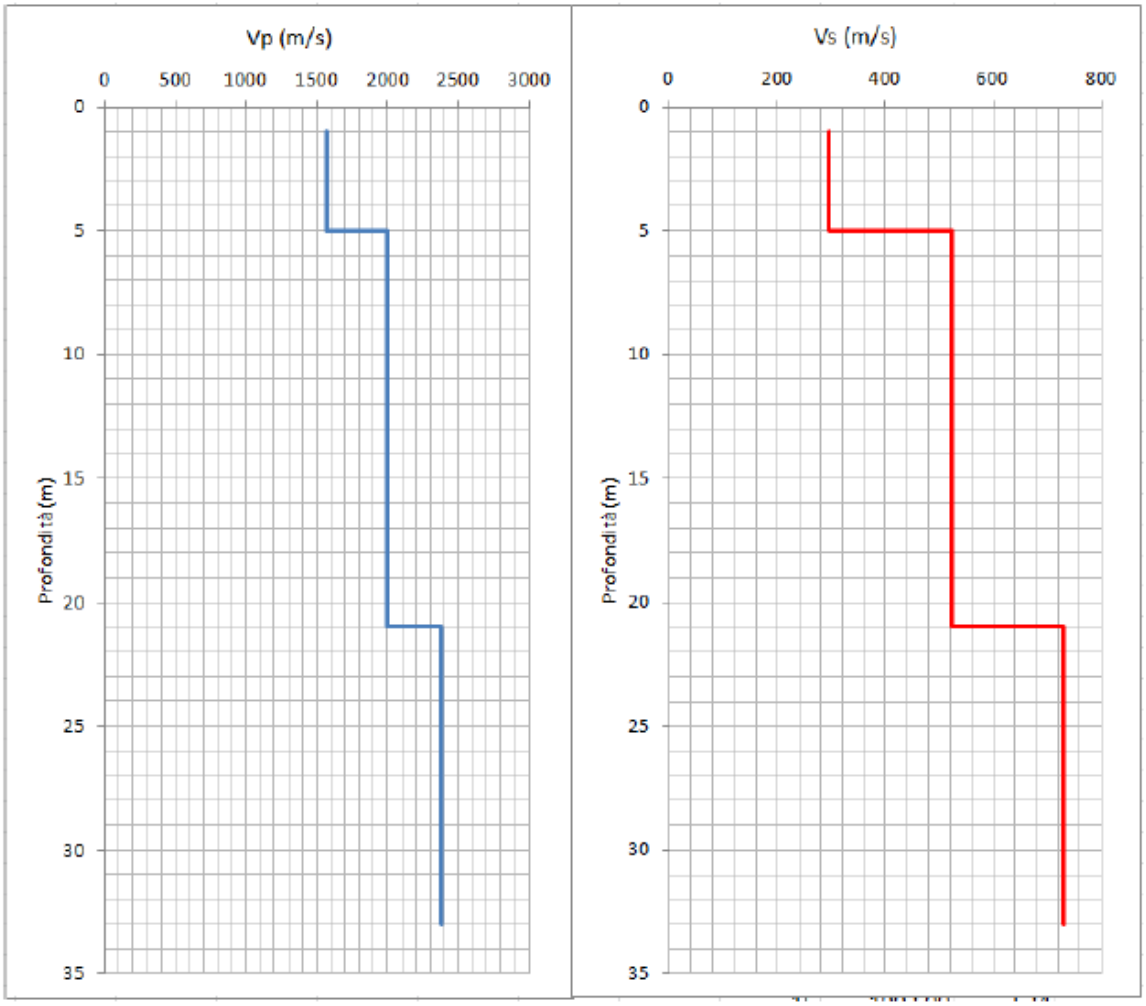


- DOWN-HOLE

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.

CONSIDERAZIONI MISURE DOWN-HOLE

1) Prospezione sismica in foro DOWN-HOLE eseguita in Loc. La Villa (sondaggio S1)



Profondità [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
0.0 - 5.0	1569	296
5.0 - 21.0	1992	524
21.0 – 33.0	2381	730

- 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 spaziati tra loro 2,00 m. Nei rari siti dove non vi era lo spazio necessario, i geofoni sono stati spaziati 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.

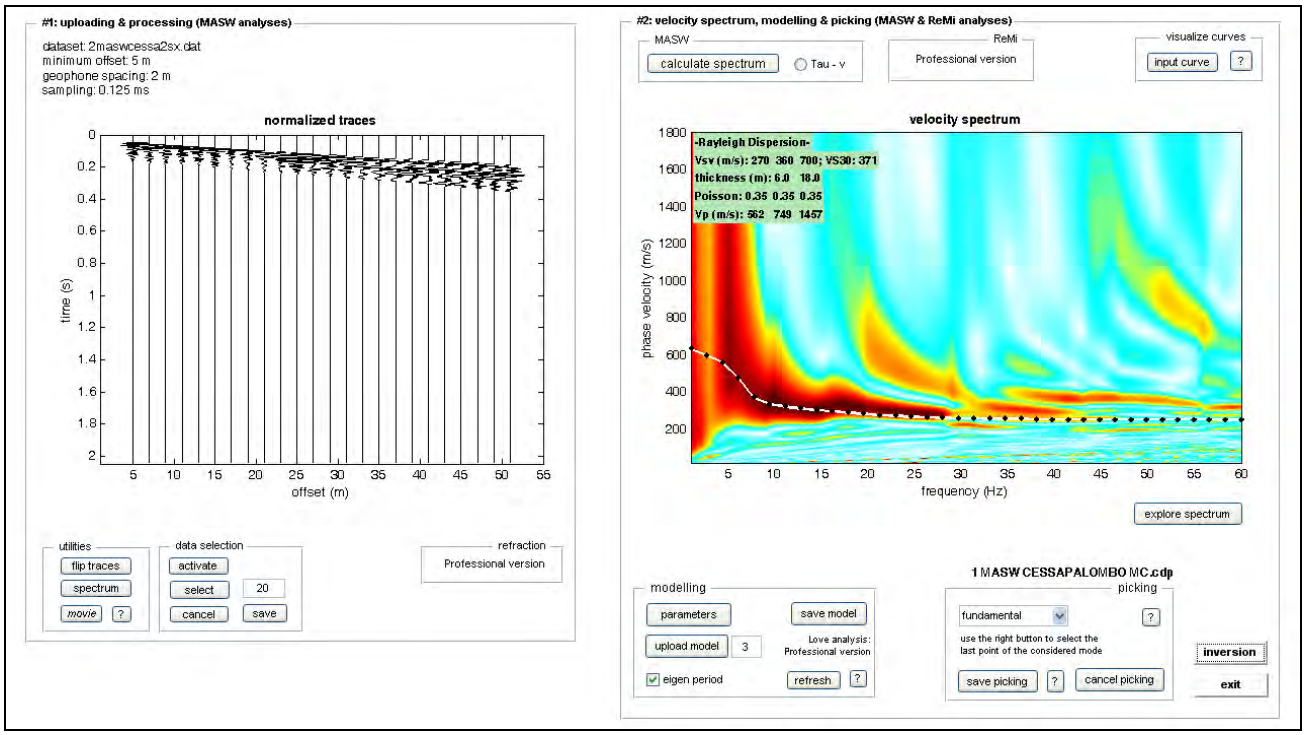
I dati relativi ad ogni acquisizione MASW sono riportati nelle "Scheda Metadati indagini MASW" (ALLEGATO 2), come richiesto dai "Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III".

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.

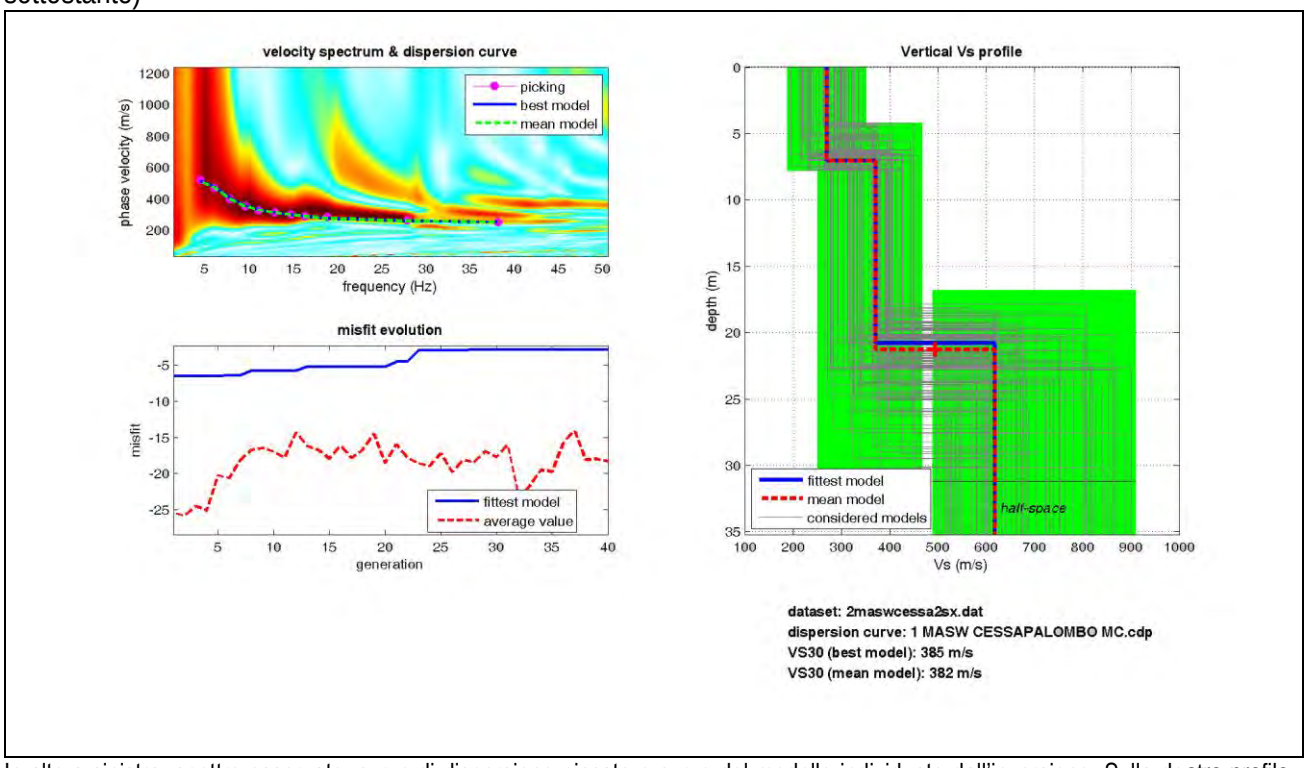
Le elaborazioni ottenute da questo processo sono riportate nei file PDF nella cartella "Indagini/Documenti" e, nello specifico, in ognuno di essi vengono illustrati:

- 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 migliore e 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 fini hanno velocità di circa Vs 270-370 m/sec. I terreni di copertura ascrivibili alle ghiaie mostrano velocità Vs differenti tra loro. Mediamente si collocano comunque su valori di Vs tra i 270 ed i 700 m/sec.

Per il substrato geologico, valori pari o prossimi agli 800 m/s si raggiungono solo a profondità superiori ai 12-20 m.

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 MSW/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 Vs(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 (Vs) fino alla profondità corrispondente al basamento sismico ovvero al tetto di un ammasso roccioso o terreno rigido caratterizzato da valori di Vs 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/G0 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/G0 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 Vs 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 (Sa);

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 shapefiles 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.

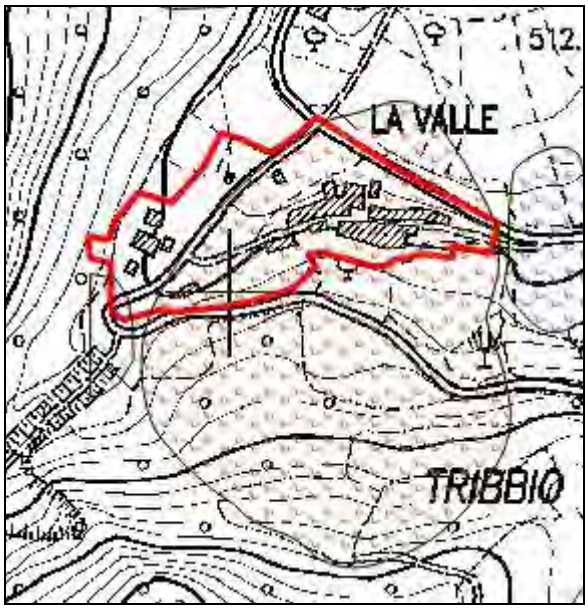
8.2. Carta Geologico - Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS)

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

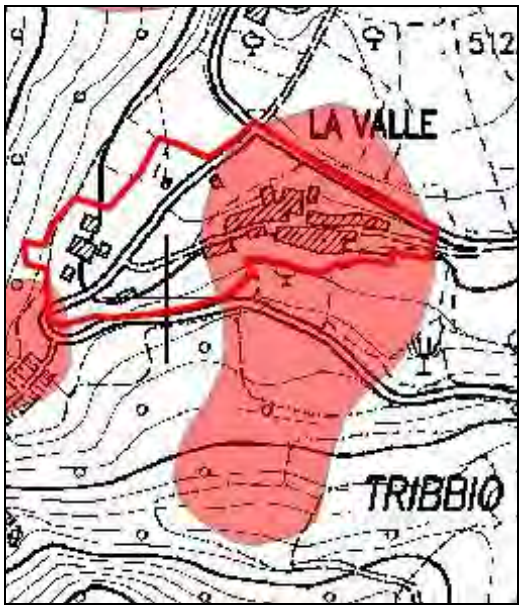
Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

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, ad eccezione di un unico caso in loc. La Valle. In questa località, è stata effettuata una riperimetrazione dell'area instabile a seguito di un rilevamento geomorfologico di dettaglio, nonché da studi pregressi effettuati dal sottoscritto nell'area in questione.



Frana cartografata Carta CGT – MS3 (3022/ID37)



Frana cartografata progetto IFFI (ID 430256800)

Nella Carta in oggetto, sono state riportate inoltre le forme di superficie ritenute significative quali, nel caso in esame, conoidi alluvionali, picchi isolati, 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 (certe e incerte), faglie con cinematismo non definito non attive (incerte), sinclinali 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 8 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.

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

Depositi di versante – fd (> 3 m)

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

Depositi di conoide di deiezione e conoide detritica – cz/cd (> 3 m)

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.

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

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:

- SCC: Scaglia cinerea;
- BIS: Bisciaro;
- LAG1d: Formazione della Laga, Membro pre-evaporitico – Litofacies arenaceo-pelitica;
- Lag3d: Formazione della Laga, Membro post-evaporitico – Litofacies arenaceo-pelitica;
- Lag3e: Formazione della Laga, Membro post-evaporitico – Litofacies pelitico-arenacea.

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:

- LAG1c: Formazione della Laga, Membro pre-evaporitico – Litofacies arenacea.

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

- N. 3 frane del tipo scorrimento – attiva;
- N. 2 frane del tipo scorrimento – quiescente;
- N. 1 frana del tipo colata – quiescente;
- N. 1 frana del tipo non definita – quiescente;
- N. 1 frana del tipo complessa – inattiva.

Per ogni unità della copertura in affioramento e instabilità di versante presente all'interno delle aree di MS3 del territorio comunale di Cessapalombo 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;

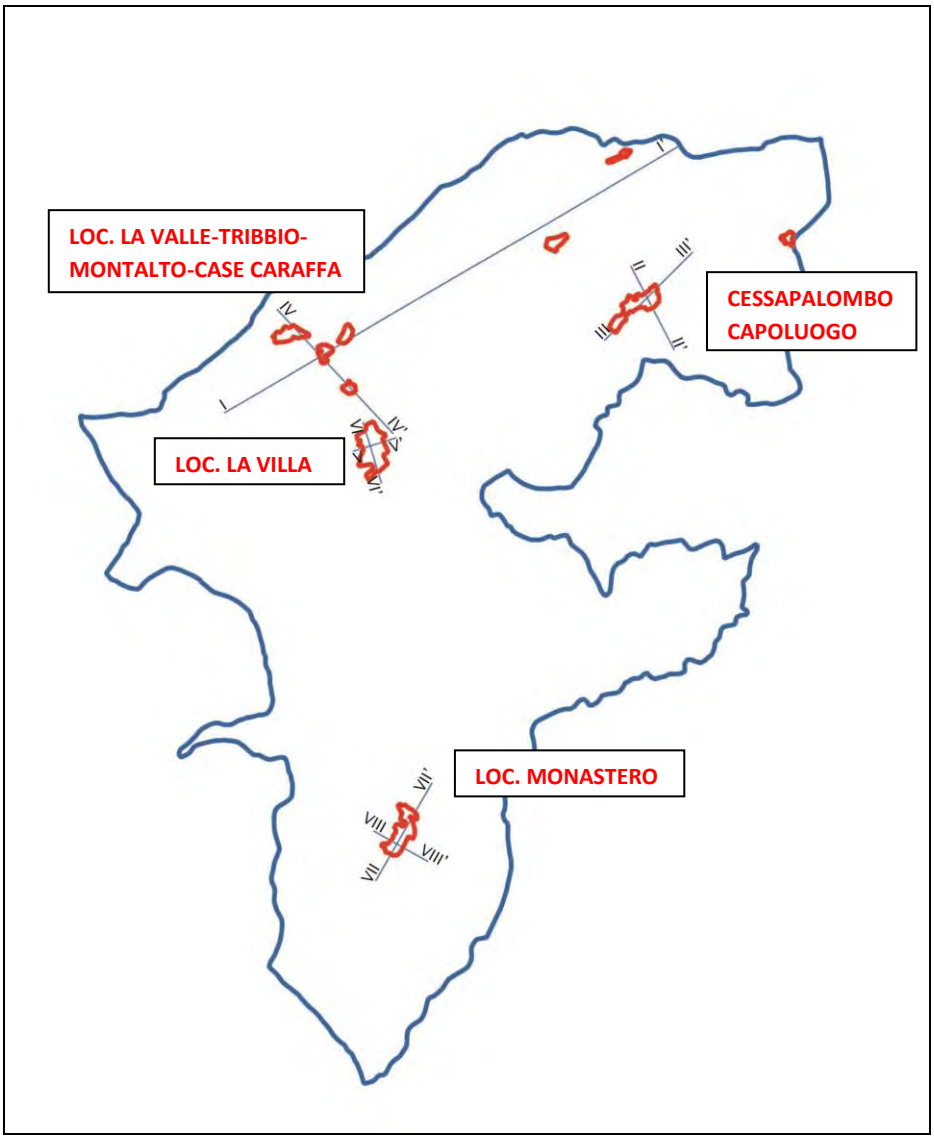
3) le sezioni devono essere ubicate in modo da caratterizzare la massima eterogeneità in termini di terreni di copertura (TC) e substrato (S) del Modello Geologico al di sotto del centro abitato, ovvero le sezioni devono essere realizzate fino ad una profondità tale da intercettare il Substrato Sismico (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 Cessapalombo interessato dagli studi di livello 3, sono state effettuate n. 8 Sezioni geologico-tecniche ubicate come riportato nella figura sottostante. Nello specifico, sono state eseguite n. 2 sezioni a Cessapalombo Capoluogo, n. 2 sezioni passanti lungo le Loc. La Valle-Tribbio-Case Caraffa-Montalto, n. 2 sezioni a La Villa e n. 2 sezioni a Monastero.



All'incrocio delle sezioni V – V' e VI – VI', in Località La Villa, 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 (f0)

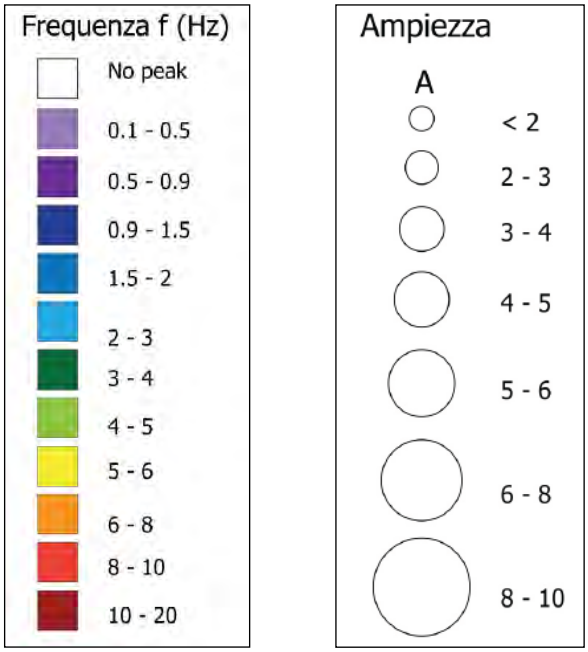
Nella Carta delle frequenze naturali dei terreni sono riportati i punti di misura dei rumori ambientali (HVSR) con il range dei valori di picco massimo F_0 (Hz) e di ampiezza del rapporto H/V.

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 F0, F1, F2 e F3 (Frequenze in Hz) e nei campi A0, A1, A2, e A3 (Ampiezze H/V).

Nel campo numerico F0 è stato riportato il valore f0 (Hz) con relativa ampiezza A0, nel campo F1 è stato riportato il valore di frequenza f1 con ampiezza A1 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 f0 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.

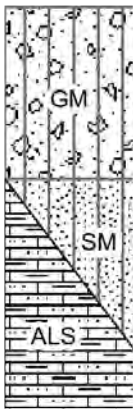
Non sono state individuate zone stabili.

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

Aree stabili suscettibili di amplificazioni locali

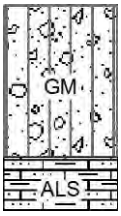
Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono state cartografate con campiture di colore pieno a differenti tonalità e sono state codificate in modo progressivo in base alla successione litostratigrafica con codice 20xy. Nella legenda della Carta sono riportate, in scala, le colonne litostratigrafiche 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.

2005	2005: codice identificativo della MOPS
 GMtf 5 – 20 m SMtf 0 – 20 m LAG1d	GM: codice identificativo del Tipo_GT (riferimento Standard di Rappresentazione e Archiviazione informatica – versione 4.0b) GMtf: codice identificativo del Tipo_GT e dell'ambiente genetico-deposizionale dei terreni di copertura (riferimento Standard di Rappresentazione e Archiviazione informatica – versione 4.0b) 5 – 20 m: spessore minimo – massimo dell'unità costitutiva della MOPS LAG1d: sigla formazionale utilizzata nella Carta Geologica (riferimento CARG Regione Marche)

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

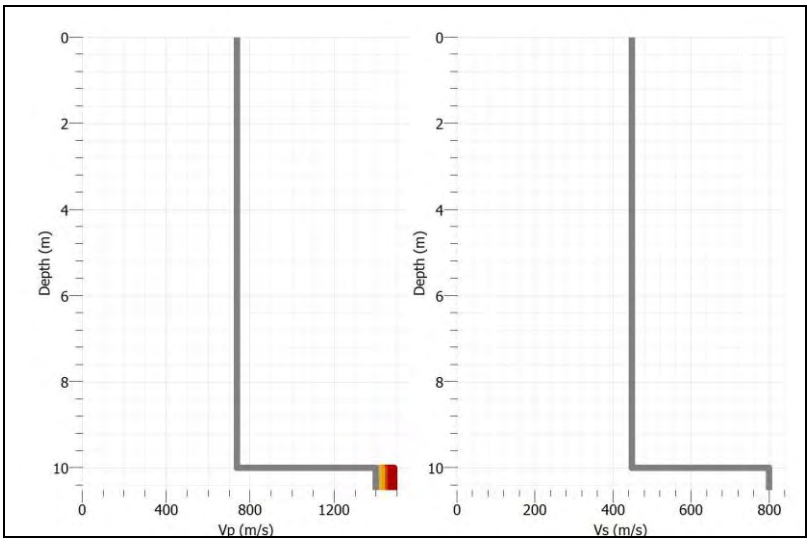
ZONA 2003



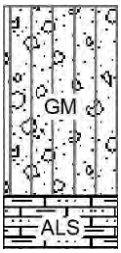
Depositi eluvio-colluviali prodotti dal dilavamento e da meccanismi di alterazione, che interessano le aree adiacenti il centro abitato di Cessapalombo Capoluogo e quello di La Valle.

Sono caratterizzati dalla presenza di ghiaie limose, ghiaie in matrice limoso-sabbiosa, miscela di ghiaia, sabbia e limo per uno spessore di circa 20 m. Tali depositi poggiano su un substrato geologico, caratterizzato da alternanze di litotipi, stratificato, ascrivibile alla Scaglia Cinerea ed alla Formazione della Laga (LAG1d).

A tale successione litostratigrafica si associa il seguente modello sismostratigrafico, ottenuto dall'inversione della misura HVSR presente nella MOPS e prendendo in considerazione gli spessori presenti nella MOPS stessa e le velocità Vs misurate per le stesse litologie in altre aree MS3 di Cessapalombo. Il profilo di velocità delle onde di taglio Vs così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.



ZONA 2004



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 e depositi di conoide di deiezione.

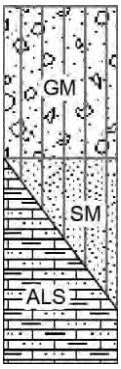
Questi terreni di copertura si rinvengono in Località La Valle, Case Caraffa, La Villa e Monastero.

Tali coltri sono costituite da ghiaie, ghiaie sabbiose, ghiaie limose, ghiaie in matrice limoso-sabbiosa-argillosa; i clasti sono di natura prevalentemente calcareo e calcareo-marnosa, si presentano con colorazione marrone nocciola, di forma allungata, eterometrici, moderatamente arrotondati. Questi sedimenti poggiano su di un substrato geologico ascrivibile alla Scaglia Cinerea. Tali depositi hanno uno spessore variabile dai 5 m ai 20-25 m a Case Caraffa, La Villa e Monastero, mentre in Loc. La Valle presentano uno spessore minore (5-10 m).

A tale successione litostratigrafica si associa il seguente modello sismostratigrafico, ottenuto dalla prospezione sismica in foro DOWN-HOLE eseguita in Località La Villa. 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]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
0.0 - 5.0	1569	296
5.0 - 21.0	1992	524
21.0 – 33.0	2381	730

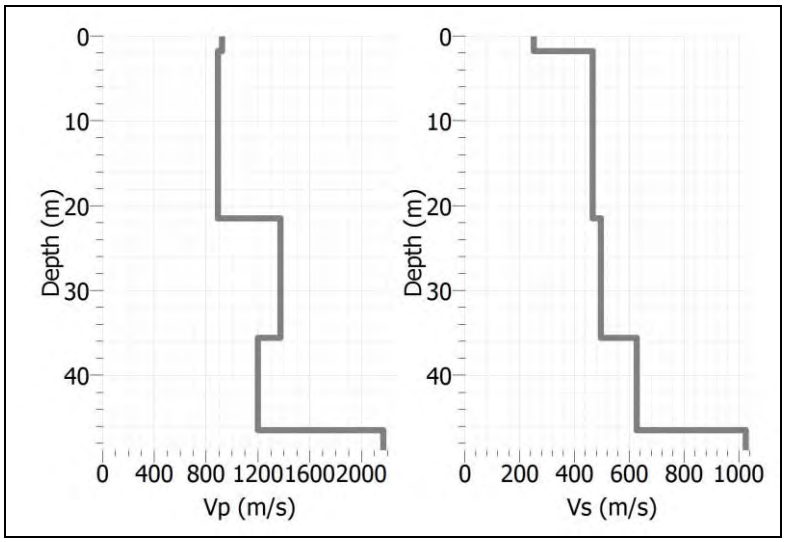
ZONA 2005

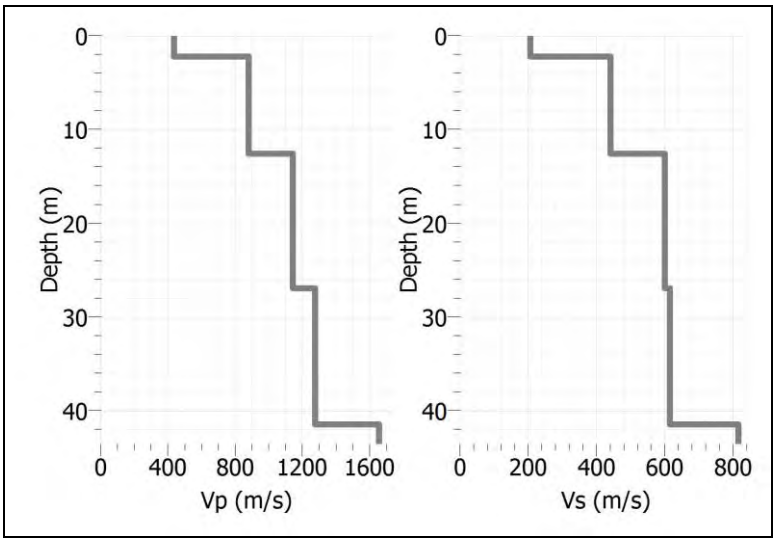


Depositi alluvionali terrazzati del Fiume Fiastrone - Rio Vallone (Cessapalombo Capoluogo) che sovrastano il substrato geologico (Formazione della Laga, LAG1d) con uno spessore medio di circa 40 m.

Essi sono caratterizzati superiormente da depositi a granulometria grossolana; nello specifico si individuano ghiaie, ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo con spessore da 5 m a circa 40 m. Inferiormente tali depositi alluvionali sono rappresentati prevalentemente da sedimenti sabbioso-limosi intervallati a luoghi da sottili livelli più ghiaiosi per uno spessore complessivo massimo fino a 20 m. Tali depositi fini si chiudono lateralmente verso occidente con geometria lentiforme, mentre ad oriente sono lateralmente in eteropia di facies con i sovrastanti depositi ghiaiosi.

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

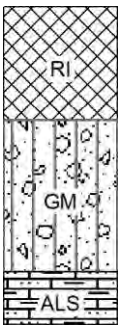




In presenza di N profili all'interno della stessa MOPS, si è proceduto mediante l'implementazione della variabilità del profilo di Vs nelle analisi di RSL così come riportato nei "Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III". Il profilo di velocità 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)
12	450
11	530
20	570
8	716
Semi-spazio	915

ZONA 2006

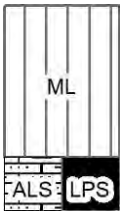


Zona posta in prossimità del Capoluogo di Cessapalombo, nell'area coincidente con l'ex discarica comunale di RSU, in cui è presente un accumulo di terreno recente dovuto alle attività antropiche per uno spessore di circa 15 m. Trattasi principalmente di limi, limi argillosi, limi sabbiosi e limi sabbioso-argillosi con ghiaietto frammisto, laterizi e materiali di origine antropica.

Alla base del terreno di riporto è presente, con uno spessore variabile dai 6 ai 20 m, materiale di origine alluvionale che poggia sul sottostante substrato geologico (Formazione della Laga, LAG11d). I depositi alluvionali sono costituiti da ghiaie, ghiaie limose, ghiaie sabbioso-limose intervallate a luoghi da sottili livelli di sabbie limose e limi sabbioso-argillosi.

Per ciò che riguarda i valori di Vs, 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 Vs misurati su altre zone MS3 di Cessapalombo. I valori così individuati sono stati utilizzati per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.

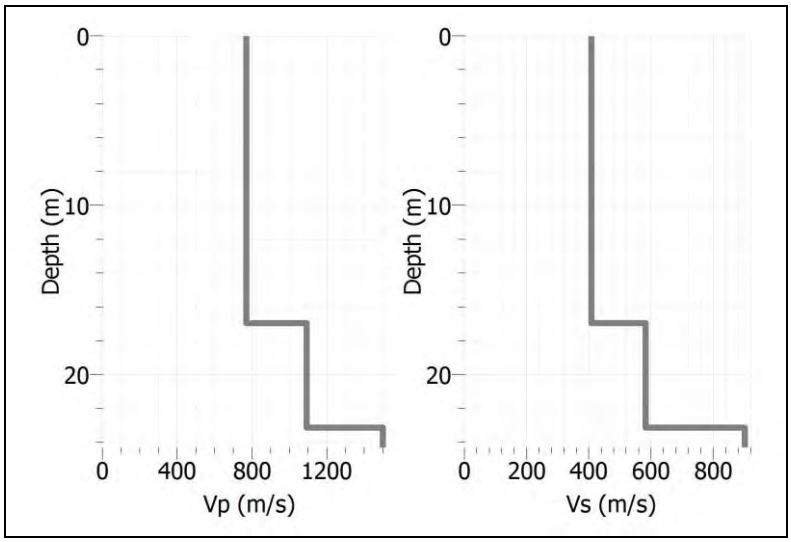
ZONA 2007



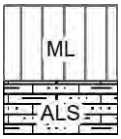
Depositi eluvio-colluviali costituiti da sedimenti fini, quali limi, sabbie fini limose o argillose e limi argillosi; tali depositi si presentano con uno spessore massimo stimato di 20 m e poggiano su un substrato geologico caratterizzato da alternanza di litotipi stratificato (Formazione della Laga, LAG3d e LAG3e) e lapideo stratificato (Formazione della Laga LAG1c).

Si ritrovano prevalentemente in Località Case Colbottoni, Colfano e Castigliano.

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 Vs così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.

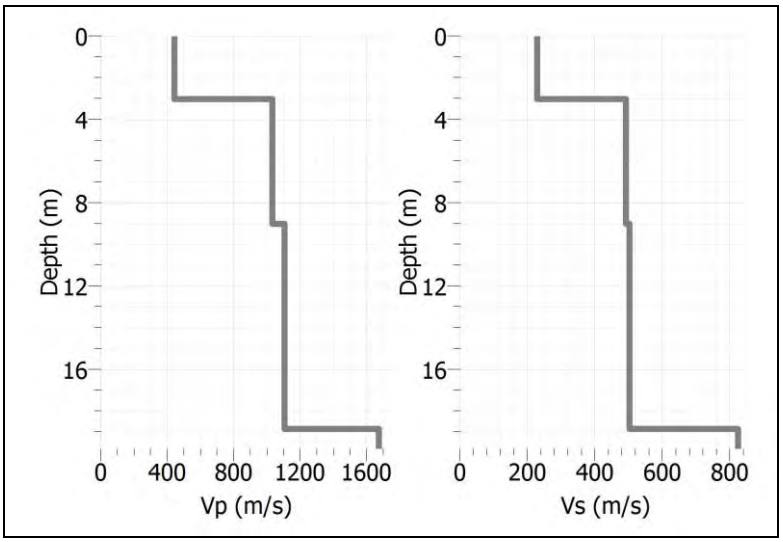


ZONA 2008

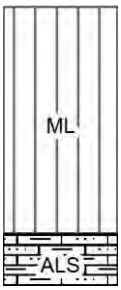


Depositi eluvio-colluviali rilevati nell'area di sella del centro abitato di Tribbio, costituiti da limi, limi argillosi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi, sabbie fini limose o argillose aventi uno spessore da 5 m a 10 m. Tali terreni di copertura poggiano su di un substrato geologico ascrivibile alla Scaglia cinerea.

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 Vs così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.



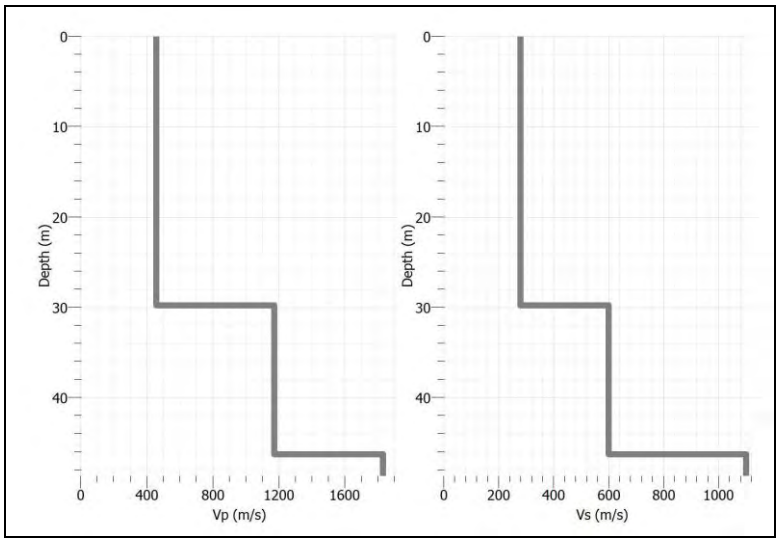
ZONA 2011



Depositi alluvionali terrazzati del Fiume Fiastrone – Rio Vallone (Cessapalombo Capoluogo) che sovrastano il substrato geologico (Formazione della Laga, LAG1d) con uno spessore di circa 20-30 m.

Essi sono caratterizzati in prevalenza da sedimenti a granulometria medio-fine di origine alluvionale (limi, limi sabbiosi, limi argilloso-sabbiosi). Nello specifico, a luoghi si possono avere delle alternanze tra materiali più fini e più grossolani (ghiaia, ghiaia sabbioso-limosa).

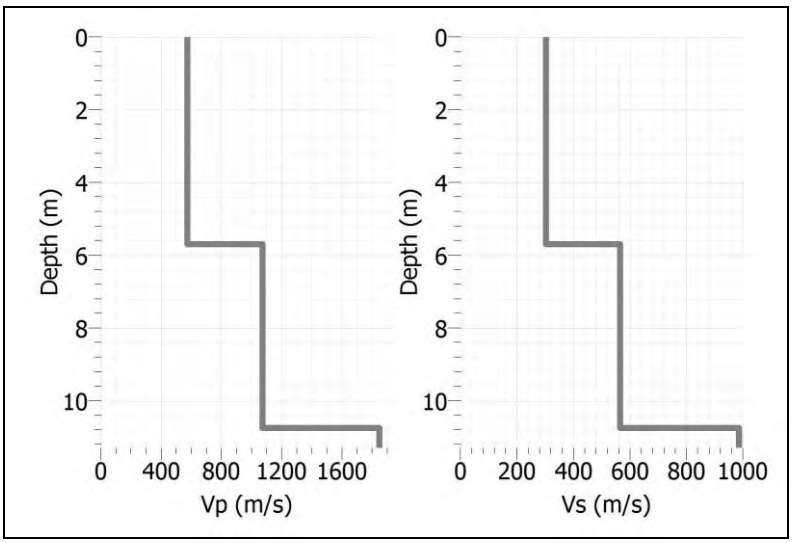
A tale successione litostratigrafica si associa il seguente modello sismostratigrafico, ottenuto dall'inversione della misura HVSR presente nella MOPS e prendendo in considerazione gli spessori presenti nella MOPS stessa e le velocità Vs misurate per le stesse litologie in altre aree MS3 di Cessapalombo. Il profilo di velocità delle onde di taglio Vs così scaturito è stato utilizzato per la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D.

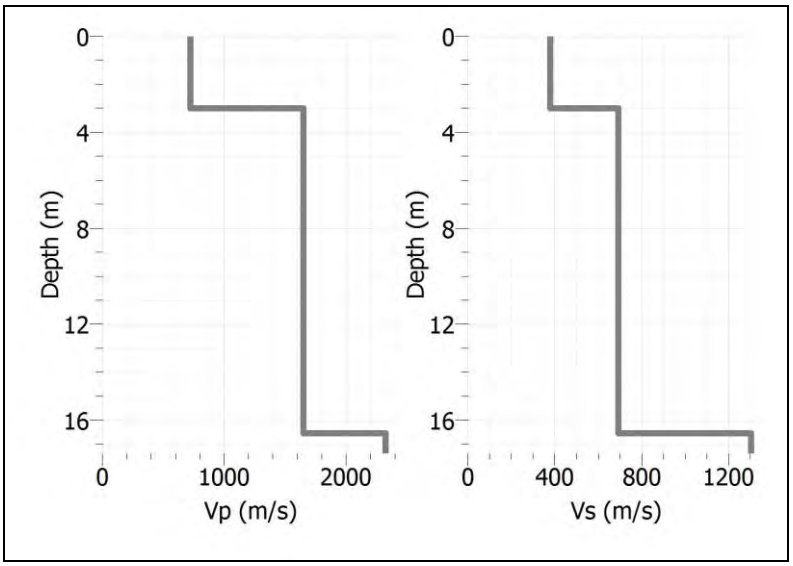


ZONA 2012

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, Bisciaro e Formazione della Laga (LAG3d e LAG3e).

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)
4	340
5	630
Semi-spazio	830

ZONA 2013

LPS Substrato geologico. Substrato lapideo stratificato in affioramento e/o sottostante le unità della copertura (quest'ultime con spessore inferiore ai 3 m), caratterizzato da V_S inferiore a 800 m/s. Gli esigui terreni di copertura sono costituiti da sedimenti limoso-sabbiosi. Tale substrato geologico è ascrivibile alla Formazione della Laga (LAG1c, Membro pre-evaporitico – Litofacies arenacea) e si rinviene in Loc. Case Colbottoni.

Per tale MOPS non è stata effettuata la modellazione numerica di Risposta Sismica Locale 1D, poiché l'area di studio di MS3 è interessata da un fenomeno di instabilità di versante e quindi, come da "Protocolli", non si è proceduto con l'approfondimento di 3 livello.

Aree di attenzione per le instabilità

Zone di attenzione per instabilità di versante ZA_{FR}

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:

- conoide alluvione nel centro abitato di La Villa ed ad ovest di Loc. La Valle;
- aree di cresta ubicate nel Capoluogo di Cessapalombo e in Loc. Tribbio-Montalto;
- aree con orli di scarpata morfologica e di terrazzo fluviale > 20 m;
- picco isolato sul centro abitato di Montalto.

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 f0.

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:

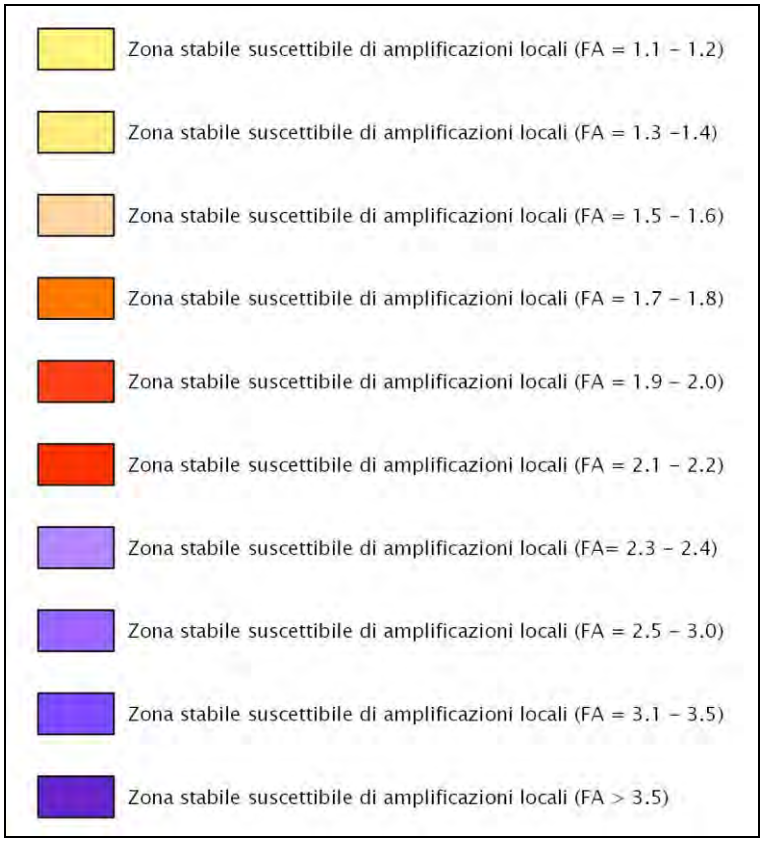
1. Zone stabili;
2. Zone stabili suscettibili di amplificazione locale;
3. Zone di attenzione per instabilità.

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 MS3	CODICE FRANA PAI	CODICE FRANA IFFI
3012 / ID 15 Scorrimento attiva	-	430241000
3012 / ID 16 Scorrimento attiva	F-19-1290 (R1-P3)	430255600
3012 / ID 17 Scorrimento attiva	F-19-1351 (R1-P3)	-
3022 / ID 37 Scorrimento quiescente	-	430256800
3022 / ID 41 Scorrimento quiescente	F-19-1360 (R1-P2)	-
3023 / ID 45 Colata quiescente	-	430257600
3025 / ID 49 Non definita quiescente	F-19-1362 (R2-P2)	430614300
3034 / ID 55 Complessa inattiva	F-19-1303 (R1-P1)	-

Si rileva che la maggior parte delle frane presenti hanno un grado di pericolosità medio elevato. Pertanto si reputano necessari approfondimenti nelle aree di versante in dissesto 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 Fa 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

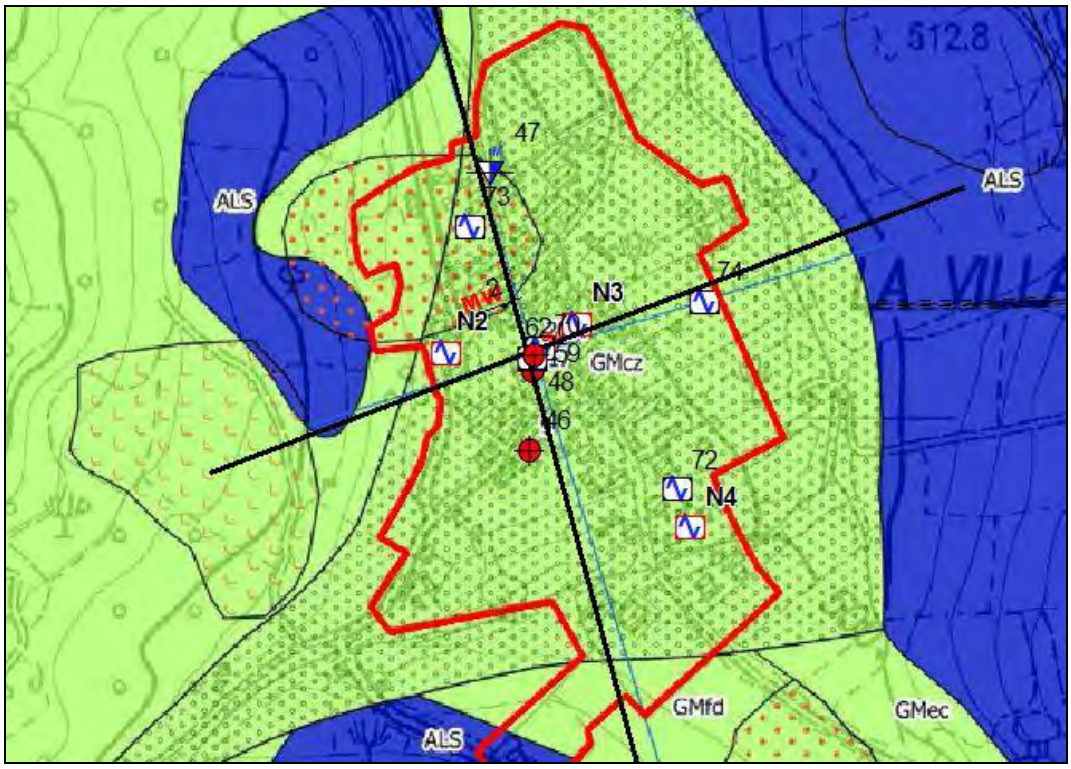
tipo di accelerogramma (S= sintetico), il nome (output), il passo di campionamento temporale in s (0.005 s) e l'unità di misura (g).

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 (Cessapalombo) ed il passo di campionamento temporale in s (passo logaritmico).

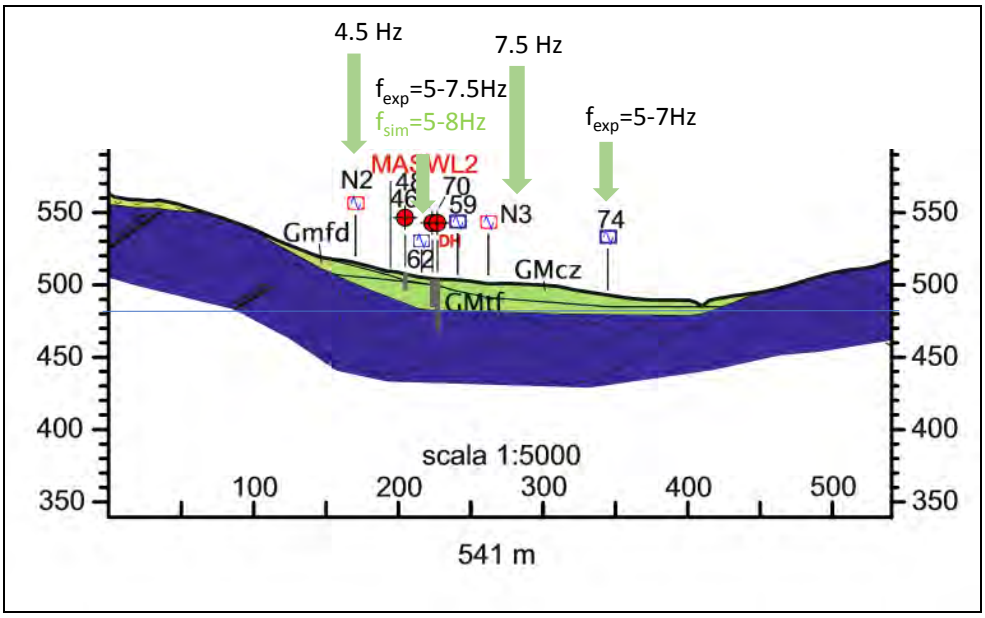
8.6.1. Risultati della modellazione 2D

Nel presente Capitolo si riassumono i risultati della modellazione 2D trasmessi dal Centro MS, che ha redatto la modellazione stessa lungo la Sezione SW-NE (ALLEGATO 6).

Nelle figure di seguito si riportano l'ubicazione ed il profilo della sezione sottoposta ad analisi bidimensionale.



Carta Geologico-tecnica di Cessapalombo – Traccia sezione SW-NE sottoposta a modellazione 2D



Profilo sottoposto alle analisi numeriche

I risultati delle analisi numeriche bidimensionali condotte utilizzando il codice QUAD4M (Hudson et al., 2003) hanno definito per la MOPS 2004, attraversata dalla sezione in esame, i seguenti fattori di amplificazione per i periodi considerati:

	MOPS 2004
$FA_{0.1-0.5}$	1.62
$FA_{0.4-0.8}$	1.12
$FA_{0.7-1.1}$	0.93

8.6.2. Risultati della modellazione 1D: spettri di output e calcolo Fa

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 Cessapalombo.

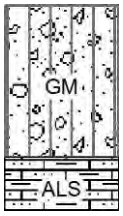
Le modellazioni 1D sono state eseguite in accordo con quanto indicato nei "Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III" e come precedentemente definito nel Capitolo 6.

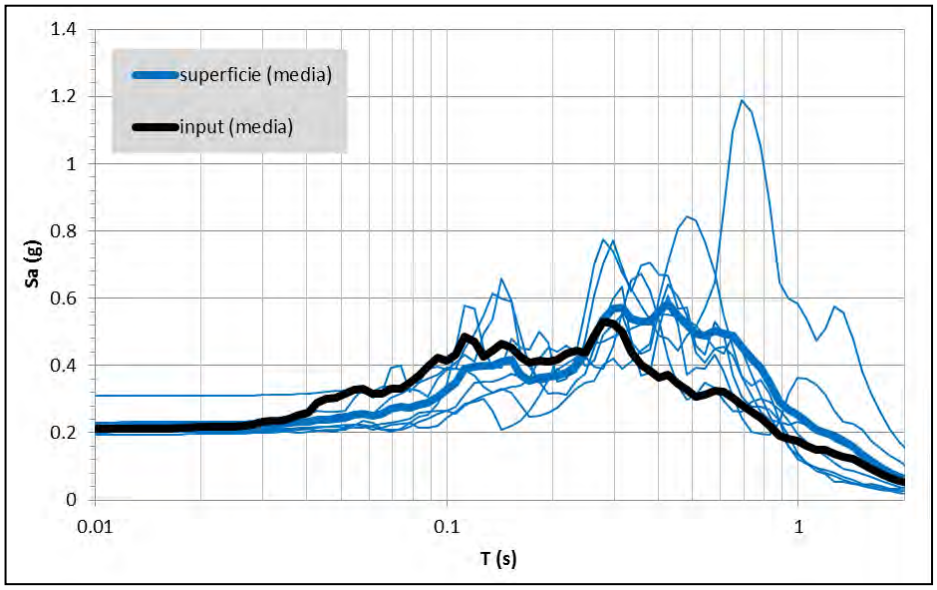
Nello specifico, vengono riportati di seguito per ogni MOPS:

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 Fa negli intervalli di periodo (T): 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s.

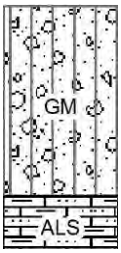
MOPS 2003





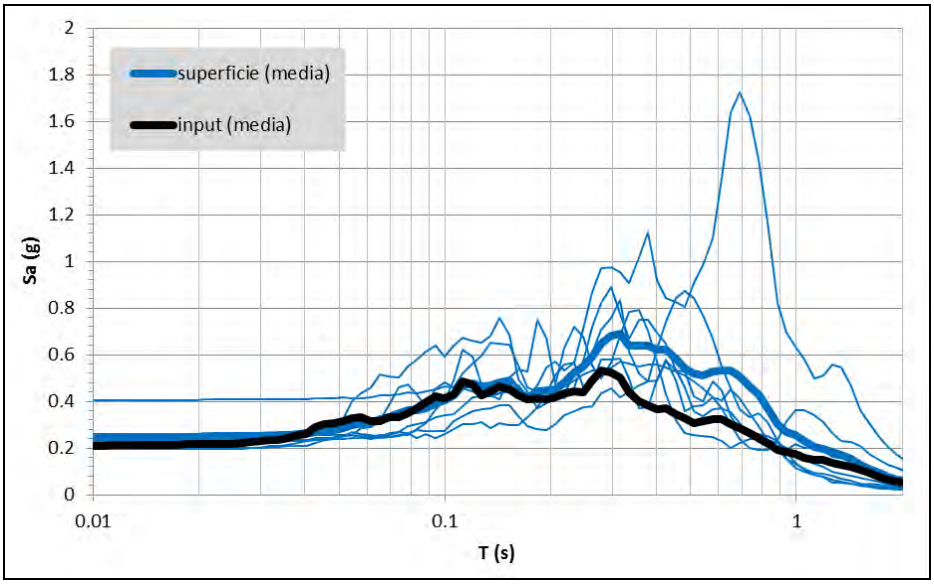
FA 0.1-0.5s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.20	1.63	1.48

MOPS 2004



Alla MOPS 2004 è stato associato il valore di Fa scaturito sia dalla modellazione numerica RSL 1D che RSL 2D, eseguita dal Centro MS.

Modellazione 1D



FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.38	1.61	1.44

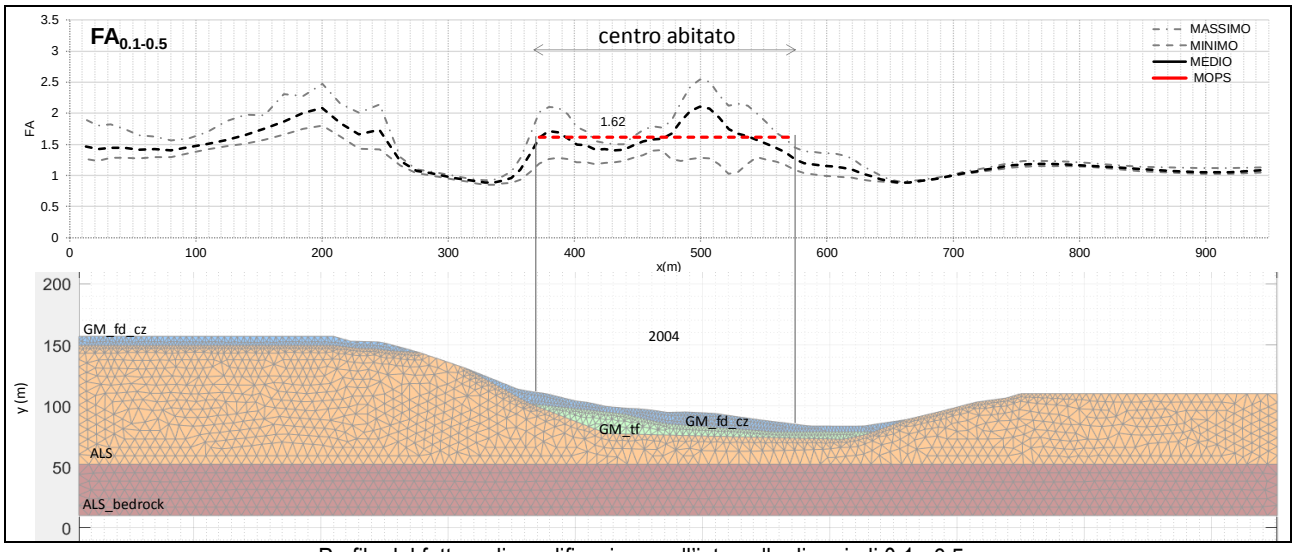
Tali valori sono stati associati alla MOPS 2004 presente nelle Località La Valle, Case Caraffa e Monastero.

Modellazione 2D

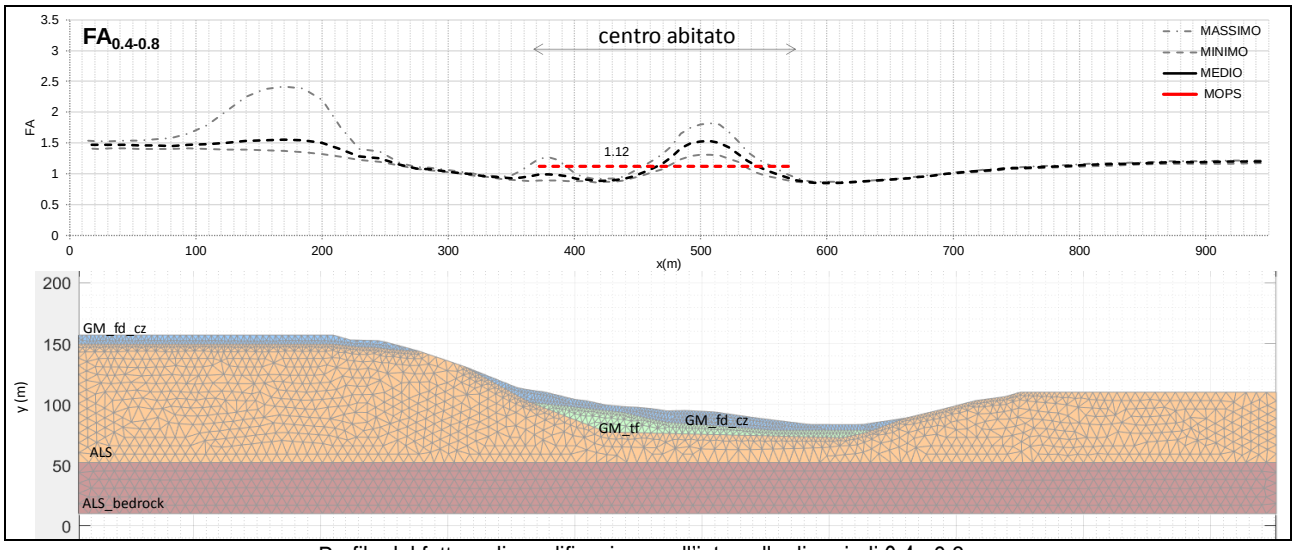
	2004
$FA_{0.1-0.5}$	1.62
$FA_{0.4-0.8}$	1.12
$FA_{0.7-1.1}$	0.93

Tali valori sono stati associati alla MOPS 2004 presente nelle Località La Villa.

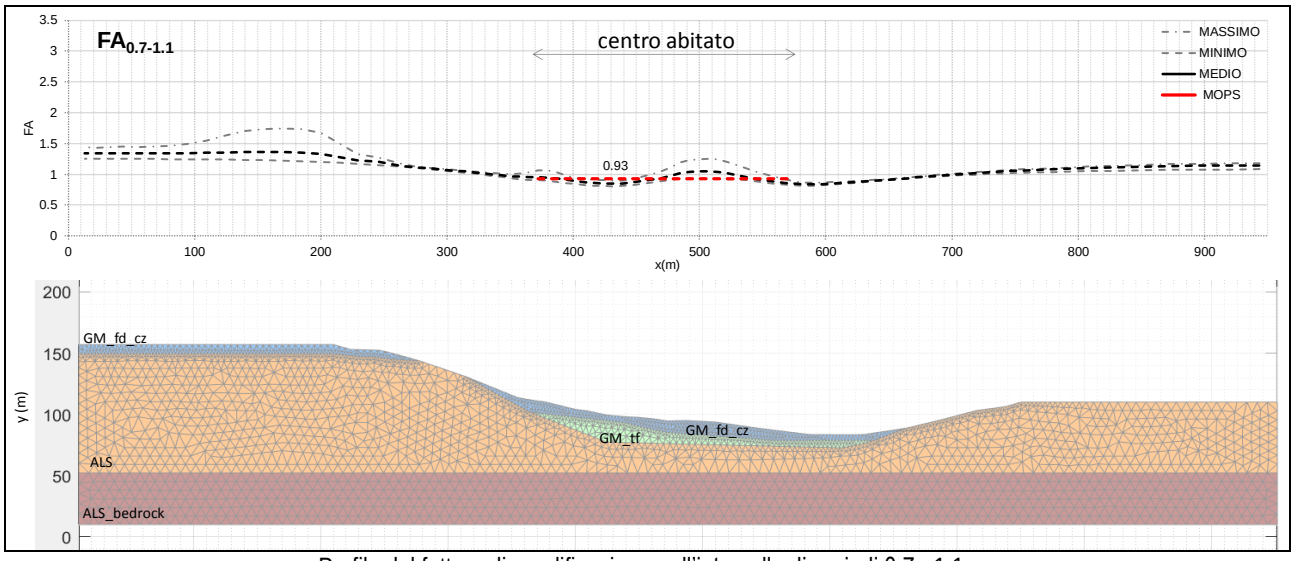
Si riportano di seguito i profili del fattore di amplificazione nei 3 periodi considerati.



Profilo del fattore di amplificazione nell'intervallo di periodi 0.1s-0.5s

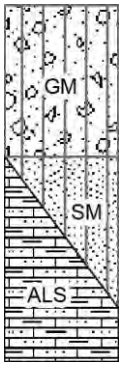


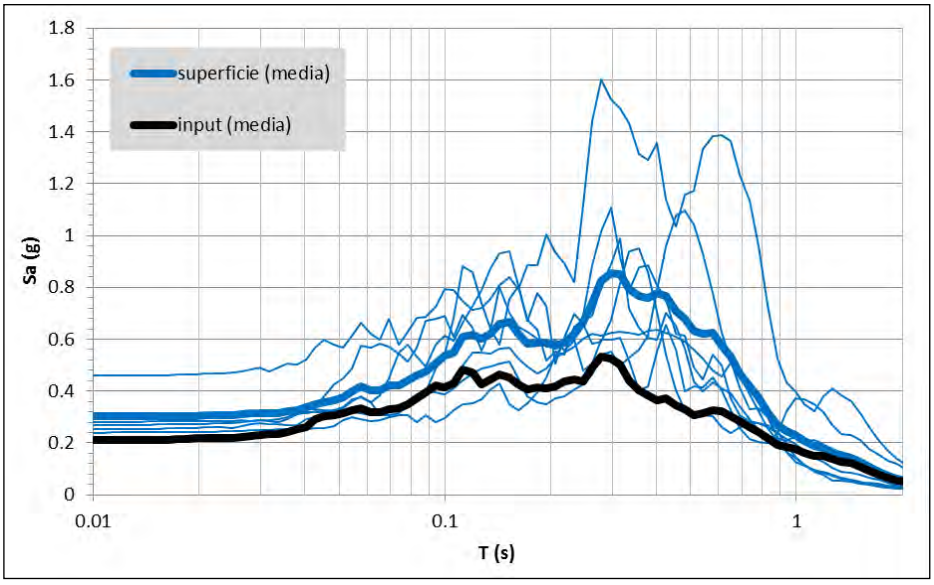
Profilo del fattore di amplificazione nell'intervallo di periodi 0.4s-0.8s



Profilo del fattore di amplificazione nell'intervallo di periodi 0.7s-1.1s

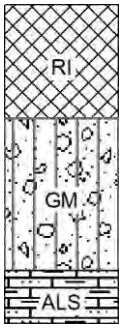
MOPS 2005

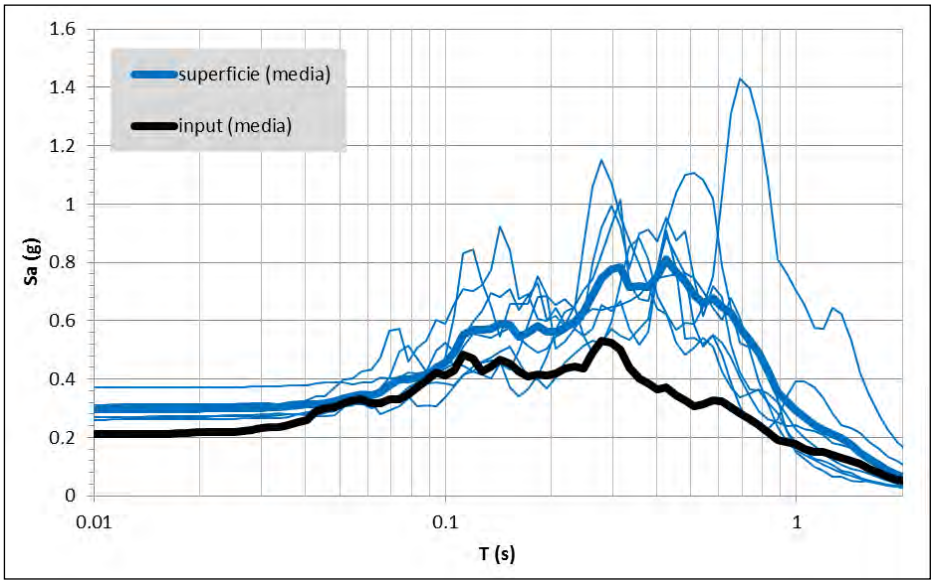




FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.70	1.80	1.43

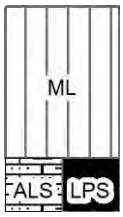
MOPS 2006

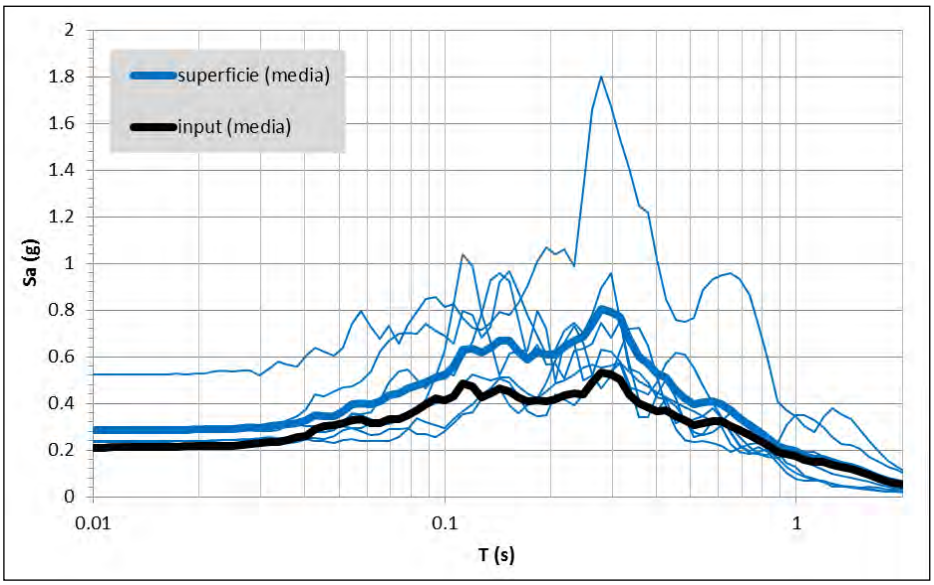




FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.69	2.18	1.79

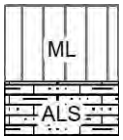
MOPS 2007

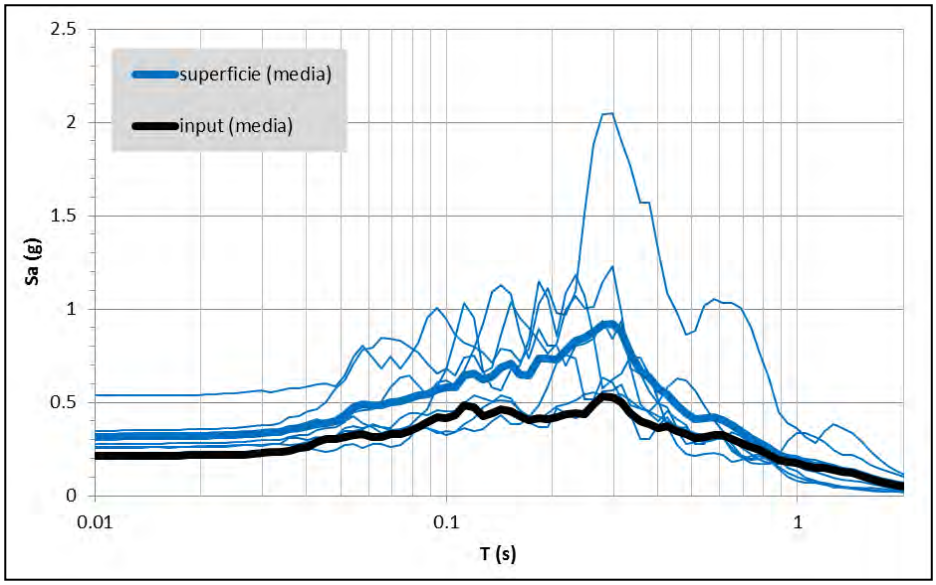




FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.45	1.23	1.12

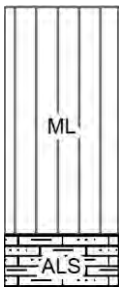
MOPS 2008

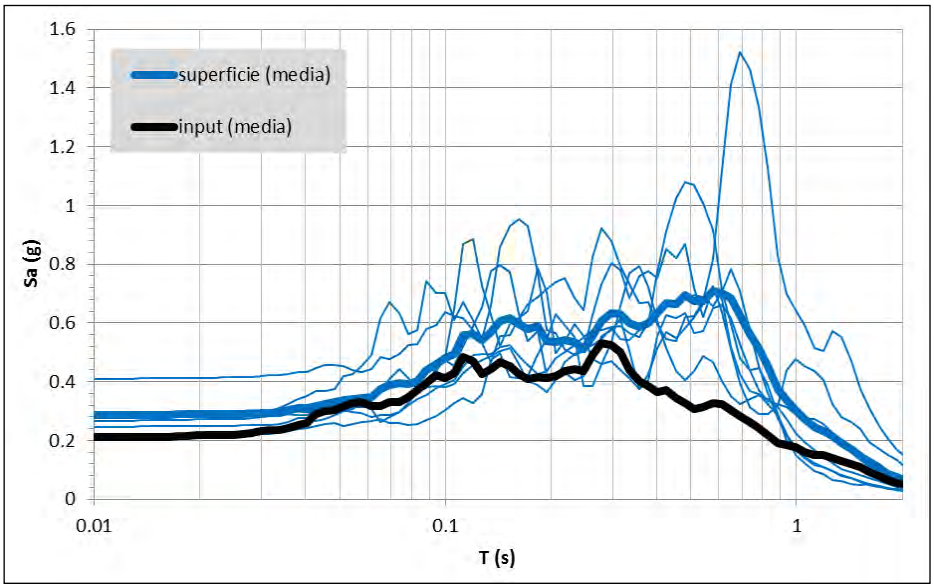




FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.59	1.24	1.12

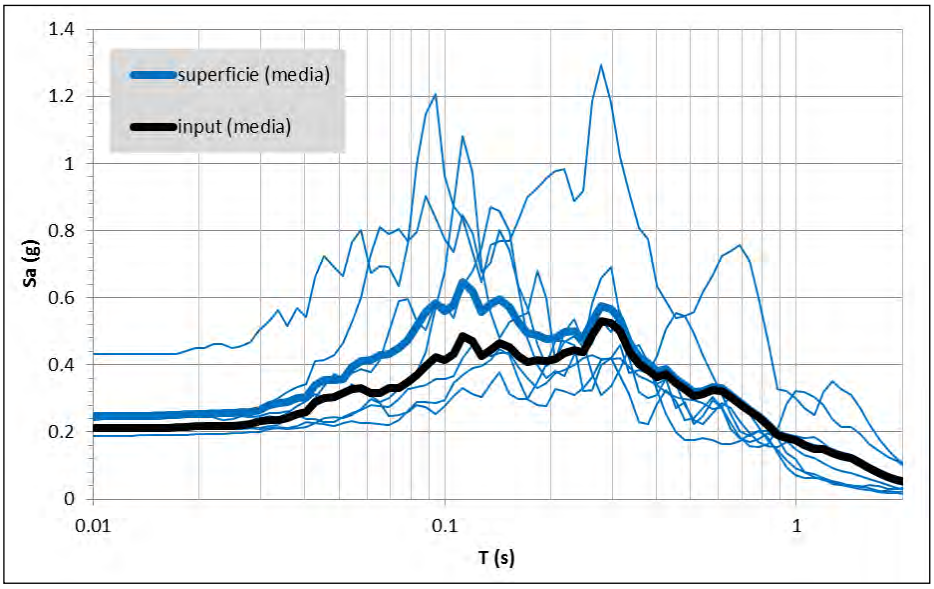
MOPS 2011





FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.50	2.19	1.90

MOPS 2012



FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-1.1 s
1.12	1.03	1.01

8.6.3. 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 Cessapalombo.

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.

8.6.4. Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.4-0.8 s

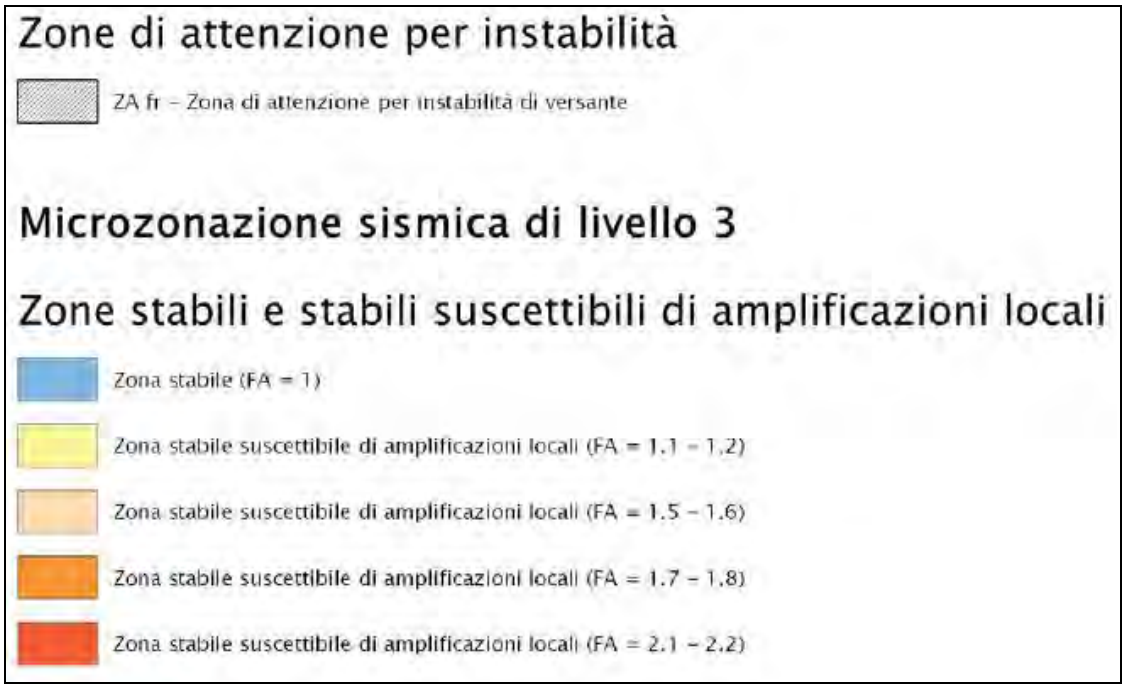
La Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.4-0.8 s è stata redatta in ambiente GIS, alla scala 1:5.000 e per le aree oggetto di MS3 del territorio comunale di Cessapalombo.

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.



8.6.5. 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 Cessapalombo.

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 = 1.3 –1.4)

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

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

Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.9 – 2.0)

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:

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

Vs,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 cu_{30}> 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositi 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 < cu_{30} < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositi 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 cu_{30} < 70 kPa nei terreni a grana fina).

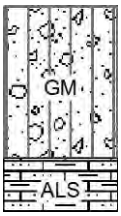
E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con V_S > 800 m/s).

S1 - Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{S30} inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS_{30} < 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 - Depositi 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 Cessapalombo.

<u>MOPS 2003</u>



Il profilo di velocità Vs per tale MOPS è stato ottenuto dall'inversione della misura HVSR. Per tale inversione sono stati considerati gli spessori dei litotipo presenti nella MOPS stessa e le velocità Vs misurate (per le stesse litologie) in altre aree MS3 di Cessapalombo. I valori così individuati sono stati utilizzati per il calcolo delle Vs30 e la relativa categoria di sottosuolo.

SPESSORE (m)	Vs (m/s)
12	430
Semi-spazio	800

- V_{S30}: 595 m/s
- Categoria di Sottosuolo S2

  Seppur la media delle velocità Vs 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 2003.

MOPS 2004

Dai dati scaturiti dalla prospezione sismica DH effettuata in località La Villa, nel foro di sondaggio S1, si evince che la velocità equivalente Vs,30 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:

- V_{S30} = 502 m/sec
- **Categoria di Sottosuolo tipo "B"**

La classe di sottosuolo così determinata vale solo per il punto dove questa è stata ricavata, relativo alla prospezione sismica DOWN-HOLE e non va intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2004 dove la stessa è ubicata.

MOPS 2005

V_{S30} calcolato da prospezione sismica MASW

- MASW L6

- V_{S30}: 462 m/s
- Categoria di Sottosuolo B

- MASW L4

- V_{S30}: 468 m/s

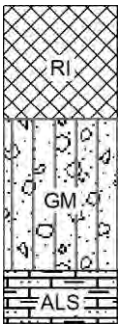
- Categoria di Sottosuolo S2

  Seppur la media delle velocità Vs 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 Vs, nonché l'assenza di un "*graduale 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.

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 2005 dove la stessa è ubicata.

MOPS 2006



Per ciò che riguarda i valori di Vs, 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 Vs misurati su altre zone MS3 di Cessapalombo. I valori così individuati sono stati utilizzati per il calcolo delle Vs30 e la relativa categoria di sottosuolo.

SPESSORE (m)	Vs (m/s)
13	220
13	530
8	716
Semi-spazio	915

- V_{S30}: 336 m/s
- Categoria di Sottosuolo C

La classe di sottosuolo così determinata non va intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2006.

MOPS 2007

V_{S30} calcolato da prospezione sismica MASW

- MASW L11

- V_{S30}: 505 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 2007 dove la stessa è ubicata.

MOPS 2008

V_{S30} calcolato da prospezione sismica MASW

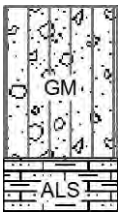
- MASW L9

- V_{S30}: 476 m/s
- Categoria di Sottosuolo S2

  Seppur la media delle velocità Vs 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.

MOPS 2011



Il profilo di velocità Vs per tale MOPS è stato ottenuto dall'inversione della misura HVSR. Per tale inversione sono stati considerati gli spessori dei litotipo presenti nella MOPS stessa e le velocità Vs misurate (per le stesse litologie) in altre aree MS3 di Cessapalombo. I valori così individuati sono stati utilizzati per il calcolo delle Vs30 e la relativa categoria di sottosuolo.

SPESSORE (m)	Vs (m/s)
25	280
17	600
Semi-spazio	1100

- V_{S30}: 307 m/s
- Categoria di Sottosuolo C

La classe di sottosuolo così determinata non va intesa come rappresentativa dell'intera MOPS 2011

MOPS 2012

V_{S30} calcolato da prospezione sismica MASW

- MASW L12

- V_{S30}: 498 m/s
- Categoria di Sottosuolo S2

  Seppur la media delle velocità Vs 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 L8

- V_{S30}: 873 m/s
- Categoria di Sottosuolo S2

  Seppur la media delle velocità Vs sui primi 30 m di profondità farebbe ipotizzare per il sito in esame una categoria di sottosuolo di tipo A (V_{S30} >800 m/s), la presenza di inversioni di velocità delle onde di taglio Vs, nonché l'assenza di un "*graduale 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.

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 2012 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.
- La comparazione tra i risultati 1D e 2D in località La Villa - Cessapalombo mostrano differenze sostanziali, probabilmente a causa del particolare assetto geologico-strutturale e topografico del sito in esame.
- 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

Si riporta di seguito una nota dell'Ufficio Tecnico del Comune di Cessapalombo del giorno 15/01/2018 relativa alla situazione nel Comune di Cessapalombo a seguito degli eventi sismici dell'Agosto 2016 e successivi

- *Le istanze di sopralluogo pubbliche e private pervenute sono 598, di cui circa 50 sono ripetizioni di istanze già presentate e 16 sono immobili pubblici.*
- *Le inagibilità da scheda AEDES sono 246 di cui 2 sono edifici pubblici.*
- *I nuclei familiari fuori casa sono 81.*
- *Le persone fuori casa sono:*
    - *167 in CAS;*
    - *17 in albergo;*
    - *7 nel Centro Accoglienza Comunale;*
    - *20 nelle SAE.*
- *Le aree maggiormente colpite sono:*
    - *Villa;*
    - *Tribbio;*
    - *Valle;*
    - *Monastero, la parte più vecchia.*

Macerata, Gennaio 2018

Dott. Geol. Giammaria Vecchioni

ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE
Giammaria VECCHIONI
Geologo Specialista
N. 503
ALBO SEZIONE A

Collaboratore

Dott. Geol. Marta Lupetti

Bibliografia

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

Albarello 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.

Albarello 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.

Albarello D. e Mucciarelli M. (2001) Seismic hazard estimates from ill-defined macroseismic data at a site. Pure Apll. 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 dunng 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 histonc 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. & Marzialetti 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.irrs.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.

Cantalamessa G., Centamore E., Chioccini 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 theumbria-marchean region tectonic-sedimentary evolution durino Modale-Upper Miocene. Ann. Geol. Pays Hellen., tome hors serie, 1979, fasc. 2 : 247-251 ;m 7th Int. Congr. On Mediterranean Neogene, Athenns.

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 ouat., 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 Northen 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 (llaly). Prooc. Geoarchaeclogy 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. Ouat,. 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. Tectophysics 580 (2012) 124-149.

Meletti C., Patacca E. e Scandone P. (2000) Construction of a seismotettonic 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.irrs.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 Apeninnes. Bull. Seism. Soc. Am.

Nanni T. (1991) Caratteri idrogeologici delle Marche. In "L"mbiente 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 diminuizione del trasporto torbido nei fiumi italiani tra il periodo prebellico e quello attuale. Geogr. Fis. Dinam. Ouat,. 14 (2).251-258.