



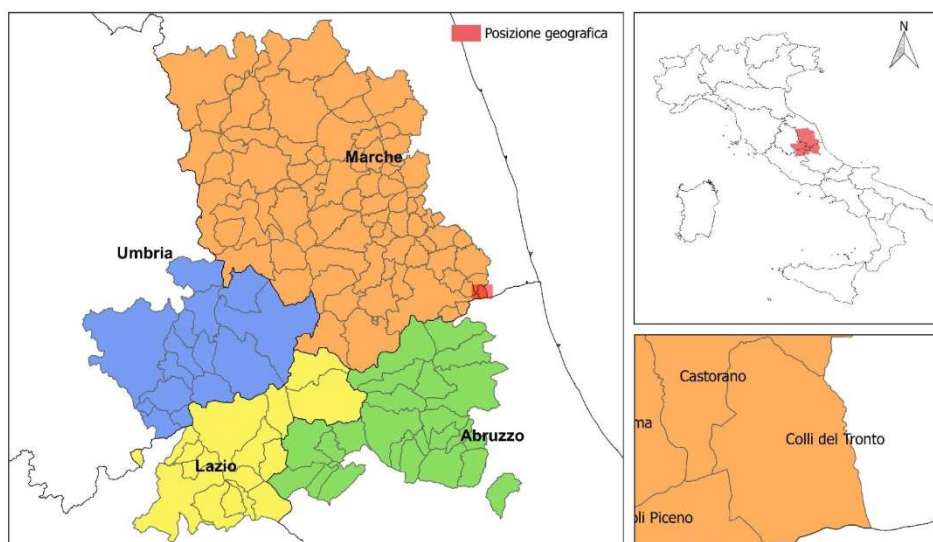
**COMMISSARIO STRAORDINARIO
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016**

Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Colli del Tronto 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 Colli del Tronto



Soggetto realizzatore: Geol. Tonino Colletta	Data gennaio 2018	 CENTRO PER LA MICROZONAZIONE SISMICA E LE SUE APPLICAZIONI
Collaboratrice: Geol. Monica Schiavi		

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1. Finalità degli studi	4
1.2. Descrizione generale dell'area comunale	5
1.3. Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio	5
1.4. Aree da sottoporre agli studi di MS	5
2. PERICOLOSITÀ DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO	7
2.1. Sismicità storica dell'area di studio	7
2.2. Sismicità recente dell'area di studio	10
2.3. Pericolosità sismica di base	14
3. ASSETTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO	18
3.1. Inquadramento Geologico	18
3.2. Assetto geomorfologico	21
3.3. Assetto stratigrafico	22
3.4. Elementi tettonici	23
3.5. Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale	23
4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	24
4.1. Dati pregressi	24
4.2. Dati acquisiti ex-novo	24
4.2.1. Indagine Masw	25
4.2.2. Indagine Hvsr	25
4.2.3. Sondaggio a carotaggio continuo	26
4.2.4. Indagine DH	26
4.2.5. Campione	26
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS	29
5.1. Unità geologico-tecnico: definizione e parametrizzazione	29
5.2. Sezioni geologico-tecnico	31
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	34
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	35
7.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione	35
7.1.1. Simulazioni numeriche monodimensionali (1D)	37
7.1.2. Sequenze litostratigrafiche, peso dell'unità di volume	38

7.1.3. Curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping	39
7.1.4. Scelta dell'input sismico (fornito dal CentroMS)	39
7.1.5. Simulazioni numeriche bidimensionali (2D - fornito dal CentroMS).....	48
7.1.6. Risultati dell'analisi	51
7.1.7. Risultati Analisi Monodimensionali 1D	52
7.1.8. Risultati analisi bidimensionali 2D (fornito dal CentroMS)	53
7.1.9. Confronto tra i risultati analisi monodimensionali 1D e bidimensionali 2D.....	56
7.2. Zone instabili	57
7.2.1. Liquefazioni (LQ).....	57
7.2.2. Instabilità di versante sismoindotte (FR)	57
7.2.3. Analisi e Risultati dei dati	58
8. ELABORATI CARTOGRAFICI	59
8.1. Carta delle indagini (CI)	59
8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	59
8.3. Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS)	61
8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	62
8.5. Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3.....	64
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	66
10. BIBLIOGRAFIA	67

Allegati

1. Carta delle indagini in scala 1:5.000
2. Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000
3. Carta Geologico-Tecnica per la MS (CGT_MS) in scala 1:5.000
4. Sezioni geologico-tecniche in scala 1:2.000
5. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1:5.000
6. Carte di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS) "FA0101s" in scala 1:5.000
7. Carte di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS) "FA0408s" in scala 1:5.000
8. Carte di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS) "FA0711s" in scala 1:5.000
9. Archivio informatizzato in ambiente QGIS

1. INTRODUZIONE

Il Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione nei territori dei Comuni delle Regioni Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria interessati dall'evento sismico del 24 agosto 2016, ha disposto con Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017, l'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.

Tale disposizione, effettuata in attuazione dell'articolo 2, comma 1, lettera I-bis), del decreto legge 17 ottobre 2016, n. 189, convertito con modificazioni dalla legge 15 dicembre 2016, n. 229, come modificato dall'articolo 1 del decreto legge 9 febbraio 2017, n. 8, convertito con modificazioni dalla legge 7 aprile 2017, n. 45, è finalizzata a dotare i Comuni di cui all'articolo 1 del citato decreto legge n. 189 del 2016 di studi di microzonazione sismica di 3° livello come definiti dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

1.1. Finalità degli studi

Nell'ambito di tale scenario l'Amministrazione comunale di Colli del Tronto (AP), il cui territorio appartiene al gruppo b) dell'Allegato 3, della sopracitata Ordinanza, ha affidato, mediante Determinazione dell'Ufficio Tecnico n.87 del 05/06/2017, l'incarico per la redazione dello studio di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3° nelle aree del proprio territorio allo scrivente Dott. Geol. Tonino Colletta quale esperto, iscritto nell'elenco speciale ed avente i requisiti di cui all'art. 5 della medesima Ordinanza.

Lo studio di microzonazione sismica di livello 3°, livello più approfondito di microzonazione, consente una valutazione della risposta sismica locale nelle diverse aree del territorio basata su metodologie dettagliate di analisi di tipo quantitativo.

In funzione delle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie, all'Amministrazione Comunale, verranno fornite informazioni utili per il governo del territorio, per la progettazione, per la pianificazione per l'emergenza e per la ricostruzione post sisma,

La presente relazione illustrativa ne sintetizza tutte le fasi di lavoro fin qui svolte, descrivendone sia le fasi operative effettuate in campagna, sia quelle elaborative di studio, in aderenza agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008 e successivi aggiornamenti) nonché seguendo gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS (Standard Versione 4.0b).

Tale attività si è resa possibile grazie alla collaborazione tra il sottoscritto e il geologo Monica Schiavi, coinvolta a vario titolo e in relazione alle proprie specifiche competenze

1.2. Descrizione generale dell'area comunale

Colli del Tronto è un comune italiano ubicato nella porzione centro orientale della provincia di Ascoli Piceno, nelle Marche, il cui territorio ha un'estensione pari a 6,04 kmq circoscritto in un perimetro di 10,97 Km.

Amministrativamente è confinato a sud dal Fiume Tronto, a Est dal F.so Pescolla - Morrice mentre a nord e ad Ovest dal comune di Castorano.

Sviluppato prevalentemente in direzione Nord-Sud, presenta un'altimetria variabile da una quota massima di 195,5 m. s.l.m. (abitato storico) ad una minima di circa 34,4 m. s.l.m. (alveo del Fiume Tronto).

L'abitato storico, sede del capoluogo con il municipio ubicato a 168,00 m s.l.m, è posto in posizione collinare rispetto alle sue frazioni, la più popolosa delle quali è rappresentata dalla località Bivio Colli, ubicata immediatamente a sud, nella piana del fiume Tronto.

Attualmente la popolazione complessiva è di circa 3.668 abitanti con una densità abitativa pari a 617 ab/kmq (dati ISTAT, 1/1/2016).

1.3. Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio

Le indagini utilizzate per il presente studio appartengono in parte al database del Comune di Colli del Tronto relativamente alla microzonazione sismica di livello 1 (n.151), in parte sono state realizzate ex novo dal sottoscritto appositamente per questo studio (n.10). Le diverse tipologie di prove analizzate sono descritte nel dettaglio nel Capitolo 4.

La cartografia di base utilizzata è la seguente:

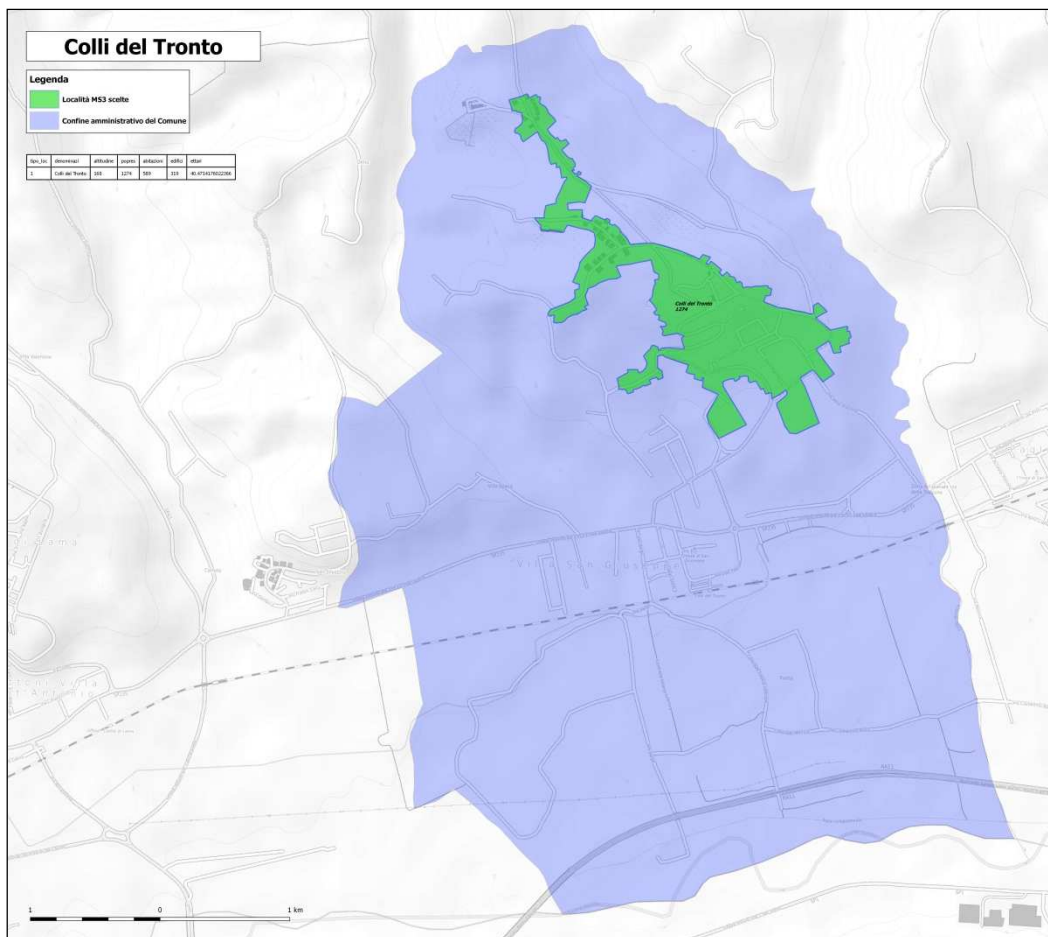
- Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 fogli n. 327090 e 327100.
- APAT- Servizio Geologico Italiano – Fogli 133 – 134 Ascoli Piceno e Giulianova Note Illustrative
- Carte P.A.I. - Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Tronto in scala 1:10.000.
- Ambiente Fisico delle Marche - Geologica – Geomorfologica – Idrogeologia - scala 1:100.000 (Centamore & Pambianchi ed altri).
- Carta geologica dei depositi Plio – Pleistocenici tra il fiume Tenna ed il fiume Tronto – scala 1:50.000 (Centamore).
- Carta geologica regionale sezione n. 327100 e 327090 in scala 1:10.000.

1.4. Aree da sottoporre agli studi di MS

Il livello 3 di microzonazione cerca di compensare e/o risolvere le incertezze del Livello 1 con approfondimenti conoscitivi di tipo numerico finalizzati alla quantificazione corretta della risposta sismica di sito.

Tale procedura tuttavia, allo stato attuale, è molto impegnativa e dispendiosa, pertanto l'Amministrazione Comunale ha deciso di concentrare i benefici derivanti dall'Ordinanza 24/2017 nella sola zona del capoluogo, a oggi la porzione più popolosa del suo territorio. Quest'ultima è caratterizzata da una morfologia prevalentemente collinare rappresentata da una dorsale a orientamento Nord-Sud la cui zona di cresta si presenta stretta e pianeggiante nel tratto settentrionale, larga e moderatamente pendente nella porzione posta a sud.

La dorsale traccia la linea di dislivello tra il bacino idrografico del F.so Vargo ad Ovest e quello del F.so Pescolla-Morrice; i versanti che la circoscrivono risultano asimmetrici: con pendenze elevate e fenomeni di erosione ad occidente; mentre, ad oriente, i pendii risultano meno acclivi con pendenze marcatamente più dolci relazionabili anche con leggeri fenomeni gravitativi.



2. PERICOLOSITÀ DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO

La Pericolosità sismica di base è una componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti).

Essa calcola, in maniera probabilistica, per una certa regione e in un determinato periodo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento).

A tal fine si utilizzano conoscenze di geologia strutturale e dati sulla sismicità storica, con metodologie che si basano su tre elementi fondamentali:

- il catalogo degli eventi sismici;
- la zonazione sismogenetica;
- le leggi di attenuazione.

2.1. Sismicità storica dell'area di studio

Per quanto riguarda la sismicità storica si è fatto riferimento al database delle osservazioni macrosismiche reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Le informazioni su cui concentrare l'attenzione sono:

- i dati dei singoli eventi che hanno colpito la località oggetto di studio (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani);
- le informazioni derivanti dallo studio della disaggregazione della Peak Ground Acceleration;
- analisi e inquadramento dell'area nella zonazione sismogenetica ZS9;
- analisi e descrizione delle sorgenti sismogenetiche presenti nei dintorni dell'area in esame (Database of Italian Seismic Sources).

La sismicità storica del Comune di Colli del Tronto è stata ricavata dal database DBMI15 associato al catalogo CPTI15 release 1.5, realizzato da Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016 CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes Istituto Nazionale Di Geofisica E Vulcanologia doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.

Tale studio si è reso possibile nell'ambito della linea di attività INGV T3 "Pericolosità sismica e contributi alla definizione del rischio" e quale contributo alle attività dell'Allegato "A" dell'accordo quadro INGV-DPC 2012-2021.

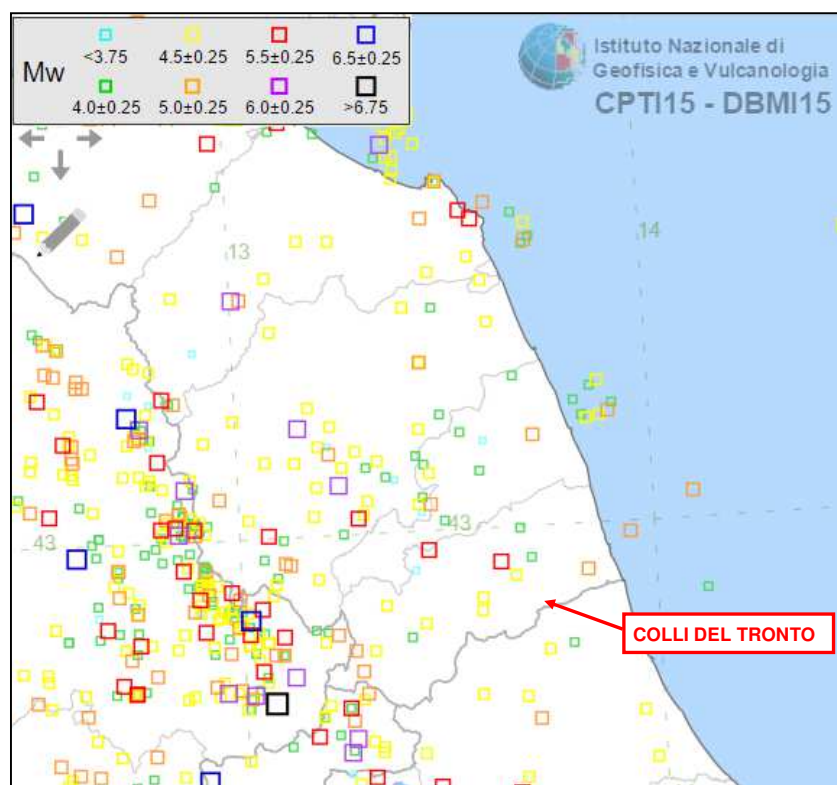
Esso fornisce un set omogeneo d'intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relative ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

In particolare nell'ultimo secolo, tra i terremoti che hanno prodotto danni, si segnalano quello di Senigallia (AN) nel 1930, di Offida (AP) nel 1943 e quello di Ascoli del 1972.

Oltre ai terremoti che si sono generati nel territorio marchigiano è necessario ricordare quelli con epicentro nelle regioni limitrofe che hanno prodotto danni anche nelle Marche (Norcia, 14 gennaio 1703 colpita da uno dei terremoti più forti della storia sismica italiana).

Dal database attraverso l'opzione "ricerca per località" è stato possibile ottenere lo schema sinottico delle osservazioni macrosismiche di terremoti avvertiti nel comune di Colli del Tronto al di sopra della soglia del danno, sia in forma grafica sia tabellare.

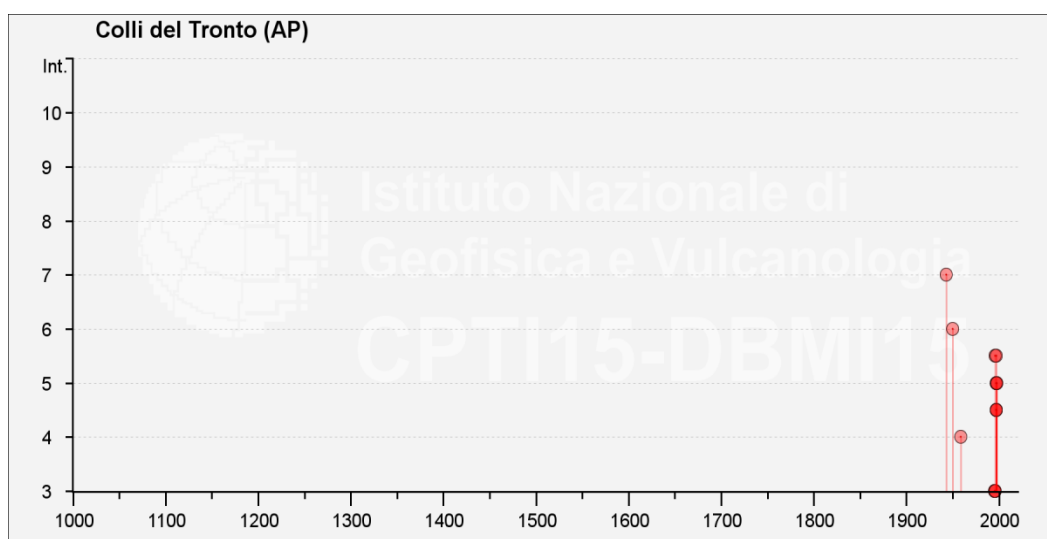
L'intensità massima al sito, in scala Mercalli, è indicata con "Intensity", la località epicentrale con "Epicentral area", l'intensità massima dell'area epicentrale in scala Mercalli, con la sigla "Io", la magnitudo momento dell'evento con la sigla "Mw" mentre con "NMDP" è indicato il numero di osservazioni macrosismiche del terremoto.



Catalogo parametrico CPTI15. - Finestra temporale dei terremoti dall'anno 1000 all'anno 2014 - <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

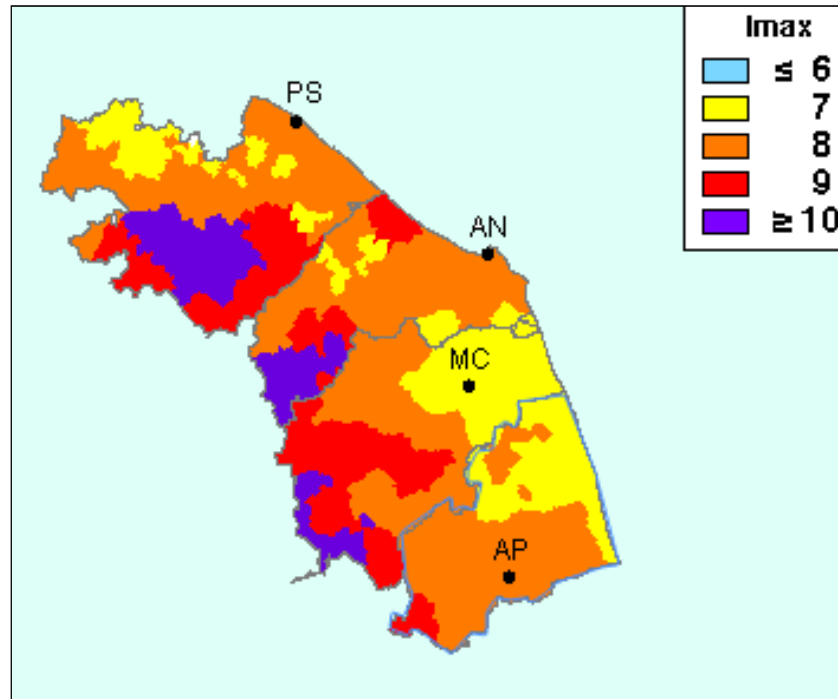
File downloaded from CPTI15 - DBMI15					
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015					
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia					
Seismic history of	Colli del Tronto				
PlaceID	IT_52384				
Coordinates (lat, lon)	42.876, 13.748				
Municipality (ISTAT 2015)	Colli del Tronto				
Province	Ascoli Piceno				
Region	Marche				
No. of reported earthquakes	14				
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	170	8	5,67
6	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5,69
4	1959 01 01 23 58 14.00	Teramano	46	5	4,33
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	4,20
3	1996 01 22 18 37 44.36	Fermano	76	5	3,96
5-6	1996 07 09 10 23 07.21	Costa abruzzese-marchigiana	45		4,20
5-6	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
4-5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
5	1997 10 03 08 55 22.07	Appennino umbro-marchigiano	490		5,22
4-5	1997 10 06 23 24 53.29	Appennino umbro-marchigiano	437		5,47
5	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
4-5	1997 11 09 19 07 33.27	Valnerina	180		4,87
5	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78

http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/



http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_place/

Da quanto sopra emerge che il territorio comunale di Colli del Tronto ha fatto registrare un'intensità al sito media circa pari a 4,6 con un picco di 7 (I_{max}) nell'anno 1943, in occasione della sequenza sismica che ha interessato il territorio ascolano con magnitudo momento pari 5,67 Mw confermata anche dalla mappa delle "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani".



2.2. Sismicità recente dell'area di studio

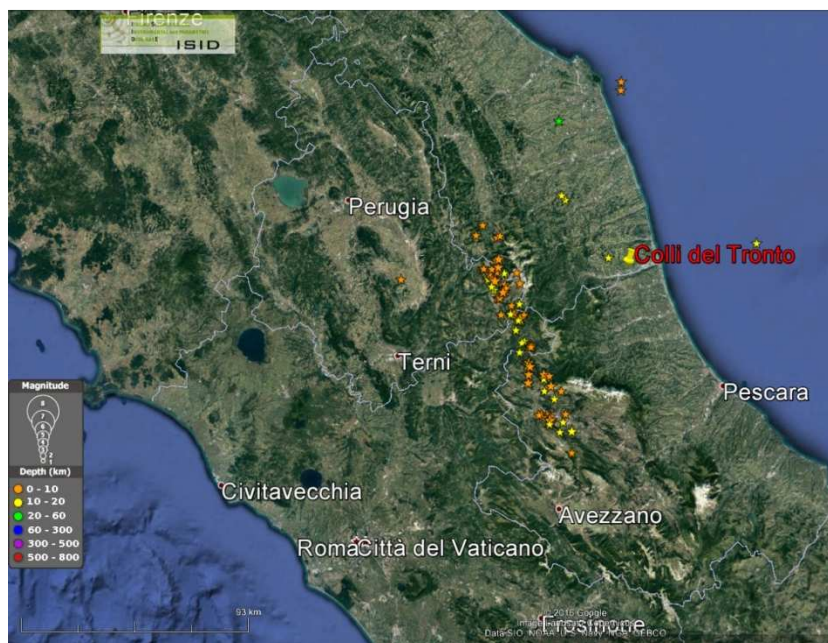
Le informazioni sulla sismicità recente, periodo successivo al sisma del 05-04-1998, sono state ricavate dal catalogo di sismicità strumentale ISIDe impostando come parametri di ricerca, oltre al comune stesso, un sisma di magnitudo minima 4,0 Mw fino con una distanza massima epicentrale pari a 100 km.

Data Da: 198/06/20 A: 2017/04/20					
Area Comune: Colli del Tronto Distanza (km): 100.0					
Magnitudo Min: 4.0 Max: 10.0 Tipo: Mag pref					
Profondità (km) Min: ND Max: ND					
Terremoti totali: 113					
Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
1998-06-02 23:11:22.310	43.170	12.817	9.5	4.2 - Md	BULLETIN
1998-06-05 21:53:11.760	43.179	12.818	9.4	4.1 - Md	BULLETIN
1998-06-25 00:32:51.920	43.005	12.862	4.5	4.0 - Md	BULLETIN
1998-08-15 05:18:09.990	42.446	13.058	5.0	4.5 - Md	BULLETIN
1999-10-10 15:35:52.260	42.685	13.108	5.0	4.0 - Md	BULLETIN
2000-06-11 22:55:31.410	43.151	12.763	5.0	4.0 - Md	BULLETIN
2000-06-27 07:32:32.070	41.983	13.036	5.0	4.0 - Md	BULLETIN
2000-12-16 07:31:06.930	42.528	12.624	7.7	4.0 - Md	BULLETIN
2006-10-21 07:04:10.010	43.628	12.980	36.3	4.2 - ML	BULLETIN
2009-03-30 13:38:38.960	42.321	13.376	9.8	4.0 - Mw	BULLETIN
2009-04-06 01:32:40.400	42.342	13.380	8.3	6.1 - Mw	BULLETIN
2009-04-06 01:36:29.190	42.352	13.346	9.7	4.7 - ML	BULLETIN
2009-04-06 01:40:50.650	42.417	13.402	11.0	4.1 - ML	BULLETIN
2009-04-06 01:41:32.690	42.377	13.319	8.5	4.0 - ML	BULLETIN
2009-04-06 01:41:37.770	42.364	13.456	8.7	4.3 - ML	BULLETIN
2009-04-06 01:42:49.970	42.300	13.429	10.5	4.2 - ML	BULLETIN
2009-04-06 02:37:04.250	42.360	13.328	8.7	4.9 - Mw	BULLETIN
2009-04-06 03:56:45.700	42.335	13.386	9.3	4.3 - Mw	BULLETIN
2009-04-06 07:17:10.140	42.356	13.383	9.0	4.1 - Mw	BULLETIN
2009-04-06 16:38:09.730	42.363	13.339	10.0	4.3 - Mw	BULLETIN
2009-04-06 23:15:36.760	42.463	13.385	9.7	5.0 - Mw	BULLETIN
2009-04-07 09:26:28.610	42.336	13.387	9.6	4.9 - Mw	BULLETIN
2009-04-07 17:47:37.340	42.303	13.486	17.1	5.4 - Mw	BULLETIN
2009-04-07 21:34:29.770	42.364	13.365	9.6	4.3 - Mw	BULLETIN
2009-04-09 00:52:59.690	42.489	13.351	11.0	5.2 - Mw	BULLETIN
2009-04-09 03:14:52.260	42.335	13.444	17.1	4.2 - Mw	BULLETIN
2009-04-09 04:32:45.050	42.445	13.434	9.8	4.1 - Mw	BULLETIN
2009-04-09 19:38:16.960	42.504	13.350	9.3	5.0 - Mw	BULLETIN
2009-04-13 21:14:24.470	42.498	13.377	9.0	4.8 - Mw	BULLETIN
2009-04-23 15:14:08.310	42.247	13.484	10.3	4.0 - Mw	BULLETIN
2009-04-23 21:49:00.840	42.228	13.486	9.7	4.2 - Mw	BULLETIN
2009-06-22 20:58:40.270	42.445	13.354	13.8	4.4 - Mw	BULLETIN
2009-07-12 08:38:51.370	42.328	13.379	10.1	4.2 - Mw	BULLETIN
2009-09-20 03:50:17.320	43.399	13.418	37.8	4.5 - Mw	BULLETIN
2010-01-10 08:33:35.640	43.119	13.445	16.9	4.0 - ML	BULLETIN
2010-01-12 08:25:11.320	43.119	13.451	17.1	4.1 - Mw	BULLETIN
2010-01-12 13:35:45.290	43.135	13.433	18.1	4.1 - Mw	BULLETIN
2010-08-28 07:08:03.250	42.834	12.654	6.7	4.1 - Mw	BULLETIN

2012-12-05 01:18:20.290	42.915	13.662	17.5	4.1 - Mw	BULLETIN
2013-07-21 01:32:24.240	43.509	13.723	7.9	4.9 - Mw	BULLETIN
2013-07-21 03:07:24.440	43.503	13.715	8.6	4.0 - ML	BULLETIN
2013-08-22 06:44:51.580	43.539	13.724	8.9	4.2 - Mw	BULLETIN
2015-05-29 13:07:56.160	42.965	14.384	14.6	4.2 - Mw	BULLETIN
2016-08-24 01:36:32.000	42.698	13.234	8.1	6.0 - Mw	BULLETIN
2016-08-24 01:37:26.580	42.712	13.253	9.0	4.5 - ML	BULLETIN
2016-08-24 01:56:00.580	42.601	13.276	7.7	4.3 - Mw	BULLETIN
2016-08-24 02:33:28.890	42.792	13.151	8.0	5.4 - Mw	BULLETIN
2016-08-24 03:40:10.930	42.614	13.244	10.7	4.1 - Mw	BULLETIN
2016-08-24 04:06:50.980	42.771	13.124	6.2	4.4 - Mw	BULLETIN
2016-08-24 11:50:30.560	42.820	13.160	9.8	4.5 - Mw	BULLETIN
2016-08-24 17:46:09.500	42.659	13.215	10.3	4.2 - Mw	BULLETIN
2016-08-24 23:22:05.830	42.654	13.210	11.8	4.0 - Mw	BULLETIN
2016-08-25 03:17:16.700	42.745	13.193	9.0	4.3 - Mw	BULLETIN
2016-08-25 12:36:05.210	42.600	13.282	7.5	4.4 - Mw	BULLETIN
2016-08-26 04:28:25.910	42.605	13.292	8.7	4.8 - Mw	BULLETIN
2016-08-27 02:50:59.310	42.843	13.238	7.8	4.0 - Mw	BULLETIN
2016-08-28 15:55:35.390	42.823	13.232	8.7	4.2 - Mw	BULLETIN
2016-09-03 01:34:12.150	42.770	13.132	8.9	4.2 - Mw	BULLETIN
2016-09-03 10:18:51.210	42.861	13.217	8.3	4.3 - Mw	BULLETIN
2016-10-16 09:32:35.480	42.748	13.176	9.2	4.0 - Mw	BULLETIN
2016-10-26 17:10:36.340	42.880	13.128	8.7	5.4 - Mw	BULLETIN
2016-10-26 19:18:05.850	42.909	13.129	7.5	5.9 - Mw	BULLETIN
2016-10-26 21:42:01.940	42.863	13.121	9.9	4.5 - Mw	BULLETIN
2016-10-27 03:19:27.130	42.843	13.143	9.2	4.0 - Mw	BULLETIN
2016-10-27 03:50:24.080	42.984	13.120	8.7	4.1 - Mw	BULLETIN
2016-10-27 08:21:45.600	42.873	13.097	9.4	4.3 - Mw	BULLETIN
2016-10-27 17:22:22.920	42.839	13.099	9.0	4.2 - Mw	BULLETIN
2016-10-29 16:24:33.170	42.811	13.095	10.9	4.1 - Mw	BULLETIN
2016-10-30 06:40:17.360	42.832	13.111	9.2	6.5 - Mw	BULLETIN
2016-10-30 06:41:17.010	42.772	13.136	9.3	4.3 - ML	BULLETIN
2016-10-30 06:43:08.810	42.767	13.138	9.7	4.0 - ML	BULLETIN
2016-10-30 06:44:30.670	42.855	13.085	8.3	4.6 - ML	BULLETIN
2016-10-30 06:55:41.060	42.712	13.197	10.8	4.1 - ML	BULLETIN
2016-10-30 06:55:54.210	42.751	13.231	10.9	4.1 - ML	BULLETIN
2016-10-30 06:56:05.780	42.799	13.108	10.5	4.2 - ML	BULLETIN
2016-10-30 07:00:40.250	42.876	13.053	9.9	4.1 - ML	BULLETIN
2016-10-30 07:01:32.690	42.777	13.223	9.4	4.0 - ML	BULLETIN
2016-10-30 07:04:59.390	42.826	13.060	10.0	4.0 - ML	BULLETIN
2016-10-30 07:05:56.340	42.796	13.161	9.1	4.1 - ML	BULLETIN
2016-10-30 07:06:45.200	42.874	13.057	9.9	4.1 - ML	BULLETIN
2016-10-30 07:07:53.690	42.715	13.188	10.2	4.2 - ML	BULLETIN
2016-10-30 07:08:35.450	42.713	13.142	9.9	4.3 - ML	BULLETIN
2016-10-30 07:13:05.210	42.693	13.226	10.6	4.5 - ML	BULLETIN

2016-10-30 07:34:47.900	42.927	13.133	9.5	4.0 - ML	BULLETIN
2016-10-30 07:38:59.030	42.682	13.157	10.7	4.0 - ML	BULLETIN
2016-10-30 08:35:58.560	42.837	13.079	10.3	4.3 - Mw	BULLETIN
2016-10-30 11:21:08.660	43.062	13.066	7.7	4.0 - Mw	BULLETIN
2016-10-30 11:58:17.460	42.845	13.057	9.8	4.0 - Mw	BULLETIN
2016-10-30 12:07:00.210	42.842	13.076	9.7	4.5 - Mw	BULLETIN
2016-10-30 13:34:54.400	42.806	13.166	9.6	4.1 - Mw	BULLETIN
2016-10-30 18:21:09.000	42.782	13.150	8.5	4.0 - Mw	BULLETIN
2016-10-31 03:27:40.300	42.761	13.086	10.6	4.0 - Mw	BULLETIN
2016-10-31 07:05:44.890	42.839	13.126	9.5	4.0 - Mw	BULLETIN
2016-11-01 07:56:40.340	42.990	13.135	8.3	4.8 - Mw	BULLETIN
2016-11-01 18:03:07.660	42.800	13.157	9.4	4.0 - ML	BULLETIN
2016-11-03 00:35:01.290	43.028	13.049	8.1	4.7 - Mw	BULLETIN
2016-11-12 14:43:33.860	42.719	13.206	9.8	4.1 - Mw	BULLETIN
2016-11-14 01:33:43.970	42.859	13.156	10.9	4.1 - ML	BULLETIN
2016-11-29 16:14:02.690	42.529	13.280	11.1	4.4 - Mw	BULLETIN
2016-12-11 12:54:52.970	42.905	13.118	8.5	4.3 - ML	BULLETIN
2017-01-18 09:25:40.390	42.545	13.277	10.0	5.1 - Mw	BULLETIN
2017-01-18 10:14:09.900	42.531	13.284	9.6	5.5 - Mw	BULLETIN
2017-01-18 10:15:33.400	42.528	13.285	8.8	4.7 - ML	BULLETIN
2017-01-18 10:16:39.600	42.538	13.268	8.2	4.6 - ML	BULLETIN
2017-01-18 10:24:14.200	42.581	13.311	8.7	4.0 - ML	BULLETIN
2017-01-18 10:25:23.730	42.503	13.277	9.4	5.4 - Mw	BULLETIN
2017-01-18 10:39:24.700	42.533	13.271	10.3	4.1 - ML	BULLETIN
2017-01-18 11:07:37.170	42.620	13.256	10.7	4.1 - Mw	BULLETIN
2017-01-18 13:33:36.740	42.473	13.275	9.5	5.0 - Mw	BULLETIN
2017-01-18 15:16:10.420	42.600	13.288	9.0	4.3 - Mw	BULLETIN
2017-01-18 19:32:31.890	42.581	13.233	10.9	4.2 - Mw	BULLETIN
2017-02-03 03:47:55.870	42.993	13.020	7.1	4.0 - Mw	BULLETIN
2017-02-03 04:10:05.320	42.992	13.017	7.1	4.2 - Mw	BULLETIN

<http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/result.jsp?page=EVENTS#result>



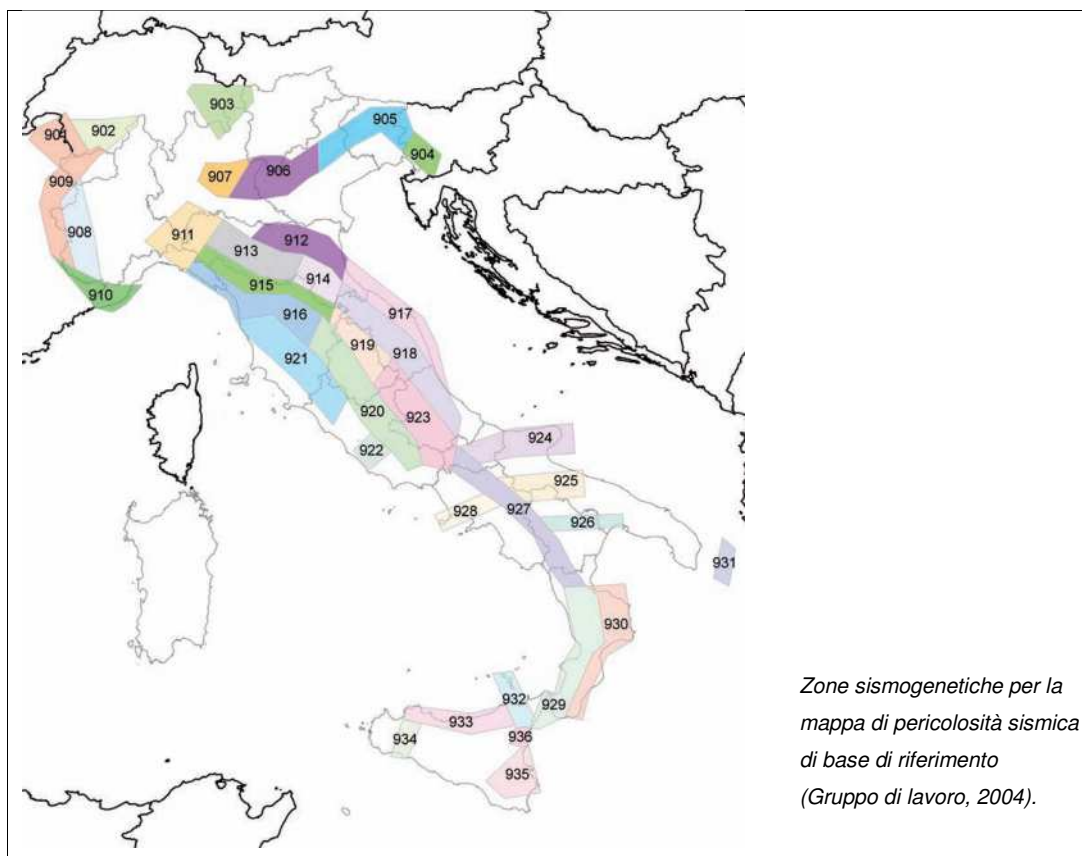
<http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/result.jsp?page=EVENTS#result>

2.3. Pericolosità sismica di base

La “pericolosità sismica di base”, in senso stretto, costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. In tale contesto viene descritta in modo da renderla compatibile con le NTC2008 e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali, utilizzabile per la microzonazione sismica. I risultati sono forniti in termini di valori di accelerazione orizzontale massima attesa a_g (PGA), in condizioni di campo libero su suolo rigido orizzontale in corrispondenza dei nodi di un reticolo distanti meno di 10 km, che permettono di definire gli spettri di risposta elastici in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento ad una prefissata probabilità di superamento in 50 anni e/o periodo di ritorno T_R di riferimento paria a 475 anni.

A tal proposito il territorio del comune di Colli del Tronto si trova all’interno della zona 918 (Medio-Marchigiana/Abruzzese) della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise 2004), come rappresentato nella figura sottostante.

Essa rappresenta una delle tre zone in cui è scomposta la fascia che da Parma si estende fino all’Abruzzo. In tale zona si verificano prevalentemente terremoti distensivi, talora meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità delle strutture longitudinali. Caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo oltreché da alcune sorgenti “silenti” (Monti della Laga) legate a fagliazione normale.



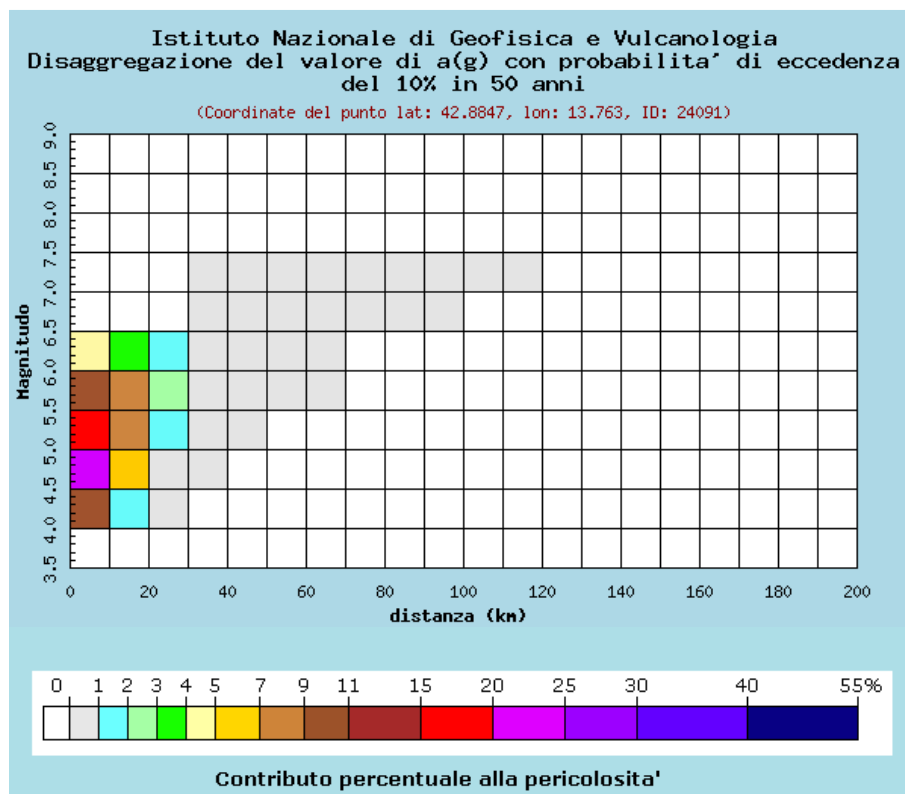
Per quanto riguarda la profondità efficace, ovvero lo strato sismogenetico inteso come intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti, le analisi individuano un valore pari a 13 Km a cui è associato una classe di profondità compreso tra 12 e 20 Km.

I dati pubblicati dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (marzo 2004) evidenziano una massima magnitudo attesa nella zona è $M = 6,37$ ("Indirizzi e criteri per microzonazione sismica", I.C.M.S. 2009).

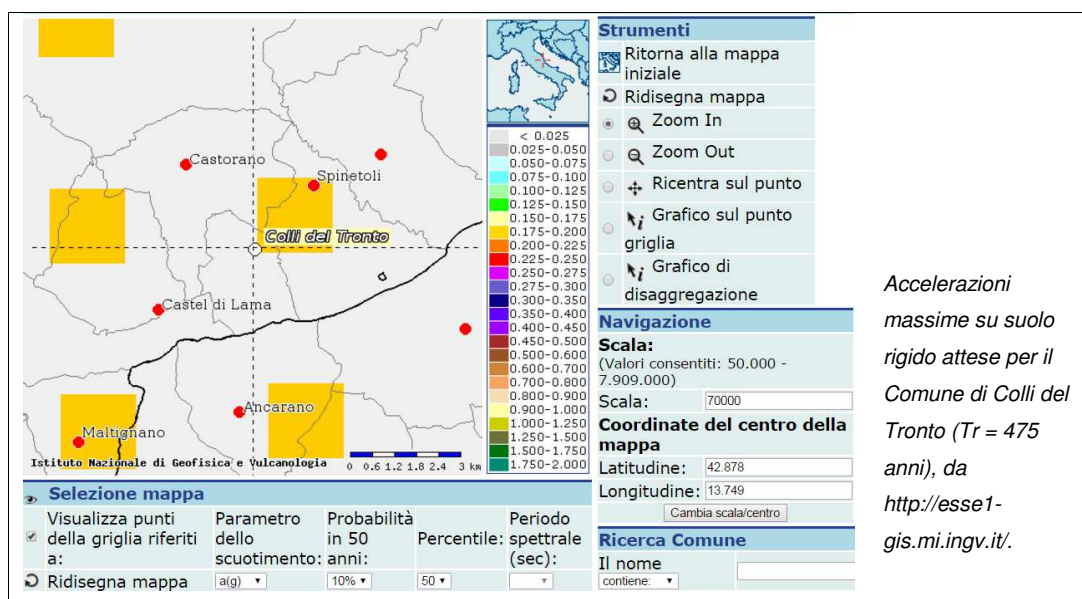
La lista dei principali eventi sismici occorsi nell'area in esame, riportati nelle tabelle, tuttavia mostra che tutti i terremoti elencati sono caratterizzati da Magnitudo inferiore, tranne quello della sequenza sismica di ottobre 2016 avente Magnitudo pari a 6,5.

A quanto sopra, si devono sovrapporre gli effetti di disaggregazione della pericolosità (McGuire, 1995 et alii), la quale permette di valutare i contributi delle diverse sorgenti sismiche (nodi) alla pericolosità di un sito.

Essa definisce statisticamente, il terremoto che domina lo scenario di pericolosità inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso, che per il comune di Colli del Tronto è rappresentato dal terremoto avente una magnitudo $M_w = 5,240$, originato da sorgenti sismiche distanti circa 10,500 Km con deviazione standard $\varepsilon=0,848$.

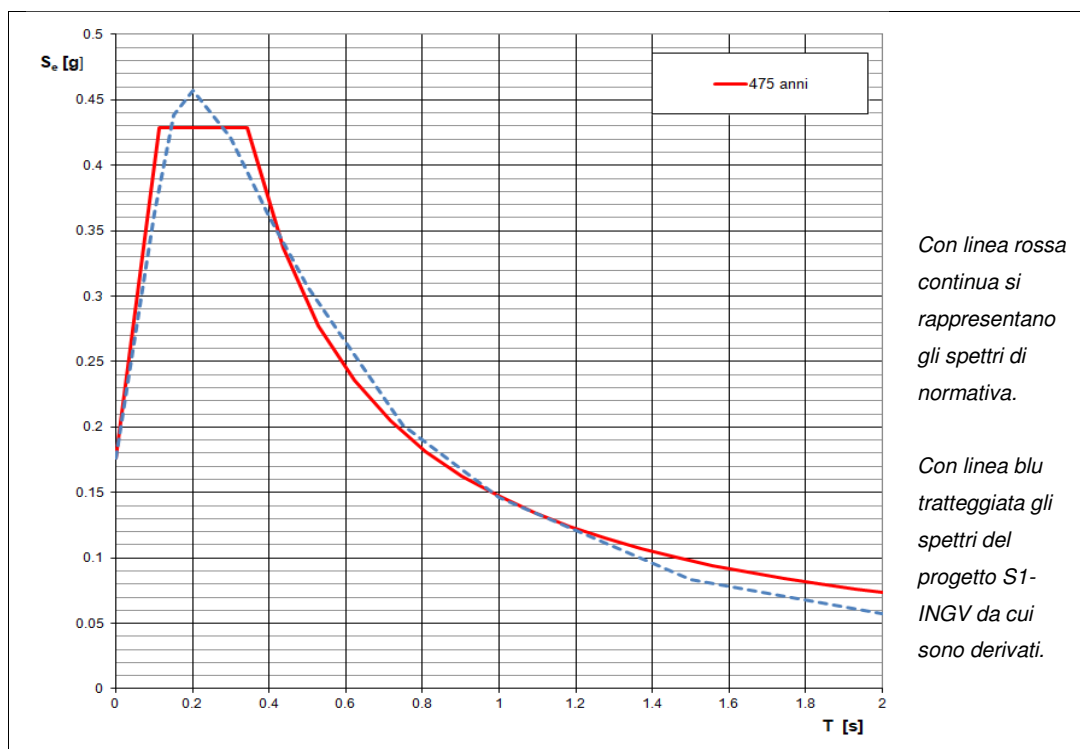


Per quanto riguarda le accelerazioni di progetto per il territorio del Comune di Colli del Tronto (AP), nella figura sotto, sono rappresentate le accelerazioni massime attese su suolo rigido (PGA0) di riferimento secondo le Norme Tecniche Italiane, NTC 2008, relative ad una probabilit  di superamento del 10% in 50 anni, ovvero tempo di ritorno pari a $T_r = 475$ anni. Le accelerazioni attese sono variabili tra 0,175g e 0,200g.



Accelerazioni massime su suolo rigido attese per il Comune di Colli del Tronto ($T_r = 475$ anni), da <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>.

Lo spettro di risposta in accelerazione rappresentativo, del moto sismico atteso per il comune di Colli del Tronto, per un periodo di ritorno di 475 anni su suolo di riferimento rigido, secondo gli “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica” nella Regione Marche per la pianificazione territoriale ed urbanistica è ancorato a 0,1760g.



Si ricorda inoltre che i valori di scuotimento attesi al sito costituiscono la base della classificazione sismica del territorio italiano diviso in quattro zone contraddistinte da differenti valori di PGA.

La Regione Marche con DGR n.1046/CMF del 29/07/2003 ha recepito la nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai sensi del OPCM n. 3274/2003, dalla quale risulta che il territorio di Colli del Tronto, avendo un'accelerazione orizzontale compresa tra 0,175 e 0,200 è stato riclassificato come appartenente alla **Zona Sismica 2** (Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti) con accelerazione di picco pari a **PGA fra 0,15 e 0,25g**.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]
1	> 0,25
2	0,15 - 0,25
3	0,05 – 0,15
4	< 0,05

Valori di PGA per le varie zone

3. ASSETTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO

3.1. Inquadramento Geologico

L'inquadramento geologico dell'area s'incardina nel bacino periadriatico marchigiano – abruzzese, compreso fra la dorsale Anconetana nord e il fiume Sangro a sud. Tale bacino è colmato, durante il pliocene medio – Pleistocene inferiore, da depositi della successione marina del Plio-Pleistocene, che rappresentano un ciclo sedimentario del I° ordine post-orogenico disposto secondo una struttura monoclinale blandamente immergente verso est.

La fisiografia del bacino *periadriatico marchigiano – abruzzese* è stata fortemente controllata dall'evoluzione della parte più esterna della catena appenninica.

Gli elementi in questione sono costituiti da due dorsali longitudinali (dorsale di Agugliano – Ortezzano – Bellante, più interna) ad andamento principalmente N – S in faglie trasversali ed oblique, talora impostate sui più antichi sistemi. Queste ultime individuano settori a diversa subsidenza per cui il bacino stesso è frammentato in una serie di depressioni minori: il *settore fermano* il più depresso a nord, il *settore anconetano*, il più rialzato e i *settori maceratese, teramano e chietino* in posizioni intermedie.

Il *settore fermano* il più depresso, era caratterizzato da una successione più continua e di maggiore spessore, di ambiente generalmente batiale, in cui si intercalavano a varie altezze stratigrafiche, torbiditi più o meno grossolani.

Nel *settore anconetano*, il più settentrionale e rialzato, si avevano in generale minori tassi di sedimentazione con lacune sedimentarie assai estese nel tempo e marcate discordanze angolari tra i vari termini della successione, depositatasi in un generale ambiente di piattaforma.

I *settori maceratese, teramano e chietino*, posti a livelli intermedi rispetto ai due precedenti, erano caratterizzati da un generale ambiente di piattaforma nel quale si intercalavano tempestiti e depositi grossolani, talora rimaneggiati dal moto ondoso.

Il bacino periadriatico differisce nettamente dalle più antiche avanfosse del Messiniano (Bacino della Laga) e del Pliocene inferiore (Bacino del Cellino), in quanto queste ultime sono caratterizzate da depressioni più vaste, da sistemi torbiditici assai sviluppati e da un notevole quantità di materiale silicoclastico a granulometria prevalentemente medio – fine.

Il sistema di depressione del bacino periadriatico è invece caratterizzato da dimensioni ridotte, dal confinamento dei sistemi e posizionali relativamente poco sviluppati, dai vistosi appoggi *onlap* dei depositi terrigeni sui bordi delle depressioni e della maggiore abbondanza dei depositi grossolani (es. vedi il Corpo del monte dell'Ascensione).

Nel Pliocene superiore fenomeni compressivi si riattivano e fanno sì che il fronte orientale della Maiella si accavallava sugli antistanti depositi del Pliocene medio e, per effetto della

ulteriore strutturazione della dorsale costiera, si produceva uno spostamento verso ovest (backward shifting) del depocentro della depressione esterna, come risulta dall'analisi dei profili sismici effettuati nell'area (Casnedi, 1991; Ori et Alii, 1991; Casnedi & Serafini, 1994).

Dalla fine del Pleistocene inferiore, la porzione più interna del bacino veniva interessata da iniziali fenomeni di sollevamento che ne determinavano la progressiva emersione (Ambrosetti et Alii 1982, Dufore et Alii 1989, Dramis 1992).

Come conseguenza di questo sollevamento, i depositi di chiusura della successione marina assumono il loro caratteristico assetto monoclinale con immersione generale verso est che testimonia un motivo di sollevamento generalizzato con ampiezza maggiore in direzione della catena.

Il rapido sollevamento del bacino porta allo sviluppo di una nuova fase tettonica di tipo estensionale, che ha dato origine alle faglie di neoformazione e alla riattivazione di dislocazioni più antiche.

Si ha così la formazione di faglie dirette lungo le quali si sono impostati molti dei principali corsi d'acqua attuali le cui valli corrisponderebbero a importanti faglie a orientamento antiappenninico, all'interno delle quali l'alternarsi delle fasi climatiche pleistoceniche, (Coltorti & Dramis 1978, Coltorti et Alii 1991), dava origine a più ordini di superficie di erosione e di depositi alluvionali di fondovalle e terrazzi. Questi ultimi, maggiormente sviluppati in sinistra idrografica, giungono a quote notevolmente superiori all'attuale alveo, talora raggiungendo lo spartiacque, mentre i terreni plio – pleistocenici si dispongono a estese zolle monoclinali, immergenti a est – nord – est di pochi gradi e tettonicamente poco disturbate.

La successione sedimentaria marina postorogena depostasi nel bacino periadriatico marchigiano – abruzzese presenta numerose variazioni di facies e di spessore da zona a zona. Al suo interno sono state riconosciute da Cantalamessa et Alii (1986), Ori et Alii (1991) e da Cantalamessa et Alii (1995, 1996) alcune sequenze di tipo P2, Qm, Qm1, Qc. All'interno delle suddette sequenze sono stati individuati, inoltre, cicli marini del IV° ordine (gruppi di parasequenze) P2a, P2b, P2c (nell'ambito della sequenza P2); Qma, Qmb (nell'ambito della sequenza Qm); Qmc (nell'ambito della sequenza Qm1); Qc1 e Qc2 infine corrispondono alla sequenza Qc.

La base dei cicli sopracitata è caratterizzata in genere da depositi conglomeratici – sabbiosi, che formano singoli orizzonti o corpi composti a geometria lenticolare. La loro deposizione potrebbe essere messa in relazione all'abbondante detrito prodotto sulla retrostante catena in sollevamento, in stretta connessione con altrettante fasi dell'evoluzione del bacino, controllate a loro volta da vari fattori.

Tra questi, di norma integrati tra loro (attività tettonica sin sedimentaria, fasi di strutturazione delle dorsali, variazioni eustatiche e climatiche e il disarmonico sollevamento regionale, causa del progressivo basculamento verso est) non sempre è

possibile individuare quale abbia maggiormente agito nei diversi momenti della storia evolutiva del bacino.

Le successioni precedentemente descritte poggiano sulla formazione argillosa Pleistocenica incise dall' asta del F. Tronto, le cui dinamiche idrauliche hanno condizionato la morfologia della zona studiata, in funzione dell'evoluzione del bacino idrografico del fiume stesso.

L'azione dei corsi d'acqua e degli agenti atmosferici ha generato difatti una forte diffusione delle coperture continentali quaternarie come i depositi alluvionali, i depositi eluvio-colluviali e i corpi di frana come di seguito riportato:

- I depositi alluvionali terrazzati attuali (III° e IV° ordine)

sono principalmente sviluppati nella valle maggiore rappresentata dal fiume Tronto e in alcune valli minori. I depositi terrazzati sono suddivisi, spesso su base morfologica, in più ordini e, come in tutte le valli principali delle Marche, essi sono più sviluppati in sinistra idrografica. Nelle valli dei fiumi principali essi sono caratterizzati da una porzione superiore limoso-argillosa e limoso sabbiosa seguita verso il basso da ghiaie sabbiose di spessore variabile. La parte limosa presenta spessori variabili da circa 2,00 m. a circa 5,00 m mentre i livelli ghiaiosi mostrano spessori variabili dai 2,00 m. ai 6,00 m ed andamenti lenticolare.

- I terrazzi di I e II ordine

situati alle quote comprese tra i 60 e i 190 m. s.l.m. circa, raggiungono spessori complessivi più elevati fino a circa 15 - 20,0 m.; la frazione ghiaioso-sabbiosa di spessore molto variabile tra i 2,0 e i 5,0 m. risulta sovrastata in superficie dai sedimenti limoso-sabbiosi.

- I depositi eluvio-colluviali

derivano dall'alterazione chimica – fisica - meccanica del substrato geologico e dei depositi alluvionali e formano estese coperture eluvio-colluviali di spessore estremamente variabile; sulle sommità delle dorsali morfologiche lo spessore è di circa 1-2 m mentre alla base dei versanti e nelle vallecicole può raggiungere anche i 10 - 20 m. la litologia riflette quella dei terreni da cui si originano ed è essenzialmente limoso-argillosa e limoso-sabbiosa.

3.2. Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico il territorio evidenzia tutte le caratteristiche tipiche delle valli fluviali marchigiane, dove i corsi d'acqua, superata la dorsale esterna, si distendono in vaste pianure alluvionali. Il fiume Tronto, proveniente da ovest, oltrepassata la formazione della Laga, ha potuto tracciare il proprio corso su terreni costituiti da materiali più erodibili, che hanno permesso la modellazione dell'estesa valle fluviale che ora si presenta con una morfologia fortemente arrotondata tipica dei paesaggi della fascia collinare marchigiana.

Tale fascia, che si estende fino al Mare Adriatico, mostra oltre alla successione marina plio-pleistocenica anche forme del rilievo derivanti dal suo assetto tettonico di blanda monoclinale con debole inclinazione verso Nord-Est.

L'azione della gravità e quella delle acque correnti superficiali, incanalate e non, sono le maggiori responsabili della produzione di forme e depositi. Facilitata e accelerata dalle diverse caratteristiche meccaniche di resistenza di gran parte del materiale costituente l'area in esame, si possono avere differenti tipi di evoluzione del rilievo generalmente in funzione del fattore strutturale.

Sui versanti a reggipoggio, più resistenti alla degradazione per effetto di movimenti di massa, specie dove l'esistenza di livelli meno erodibili alla sommità del versante argilloso, costituendo un vincolo al progressivo abbassamento dell'angolo di pendio, garantisce il mantenimento di un'elevata acclività, assumono prevalente importanza i processi morfogenetici legati all'azione delle acque correnti superficiali incanalate che favoriscono fenomeni di erosione lineare e lo sviluppo di morfotipi calanchivi.

Nelle zone dove si combinano negativamente le scadenti caratteristiche meccaniche dei terreni affioranti, l'azione di agenti di degradazione, le cause antropiche e la disposizione degli strati a franapoggio o traverso poggio, si vengono a creare le condizioni per cui la gravità costituisce uno degli agenti morfogenetici più importanti nel modellamento del rilievo.

In ragione della natura prevalentemente coesiva delle coperture, sono stati rilevati movimenti gravitativi a evoluzione lenta e durevole nel tempo, interessanti talora interi versanti e coinvolgenti volumi di terreno a diverse profondità.

Nello specifico sono stati rilevati movimenti superficiali fino a una profondità di 3-4 m inquadrabili in soliflussi nonché frane per colamento con corona/nicchia incerta e superfici di scivolamento comprese tra 10-20 m.

3.3. Assetto stratigrafico

La definizione dell'assetto stratigrafico dell'unità affioranti e relative caratteristiche litotecniche è avvenuto sulla base delle informazioni provenienti dal rilevamento geologico correlato con i dati geotecnici reperiti e quelli di nuova esecuzione.

La classificazione delle unità lito-tecniche è avvenuta sulla base delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, distinti in due insiemi: uno relativo ai terreni che costituiscono il substrato e l'altro relativo ai terreni della copertura.

- **UNITÀ LITOTECNICA DEL SUBSTRATO**

“COS”: Associazione Pelitica caratterizzata da un sedimento coesivo sovraconsolidato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre stratificate a consistenza elevata. Affiora raramente se non nell'incisione dei corsi d'acqua, in particolare nel versante est del fosso Vargo in una limitata porzione.

- **UNITÀ LITOTECNICA DELLA COPERTURA**

“ML”: Depositi Eluvio-Colluviali caratterizzati da sedimenti a granulometria mista e indistinta con prevalenza di limi argillosi e limi sabbiosi, in assenza di stratificazione aventi una consistenza da bassa a medio bassa. Formano estese coperture a mantello di spessore estremamente variabile; sulle sommità delle dorsali morfologiche lo spessore è di circa 1-2 m mentre alla base dei versanti e nelle vallecole può raggiungere anche i 10 - 20 m, in particolare nella porzione orientale del territorio comunale.

“SM”: Depositi Alluvionali caratterizzati da sedimenti limo-sabbiosi e/o sabbie limose prevalenti, talora misti a ghiaie. Talora si rinvencono orizzonti ghiaiosi a varie altezze stratigrafiche; più raramente intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi. La consistenza è eterogenea. Rappresentano l'unità litotecnica più estesa, situati alle quote comprese tra i 50 e i 190 m. s.l.m. circa, raggiungono spessori complessivi più elevati fino a circa 15 - 20,0 m.; la frazione ghiaioso-sabbiosa di spessore molto variabile tra i 2,0 e i 5,0 m. risulta sovrastata in superficie dai sedimenti limoso-sabbiosi.

“GM”: Depositi Alluvionali caratterizzati da sedimenti ghiaiosi in matrice sabbiosa, in subordine sabbie limose e limi sabbiosi; più raramente sono presenti intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi. Sono principalmente sviluppati nella pianura alluvionale del fiume Tronto e in alcune valli minori. La parte superiore generalmente presenta depositi limosi e con spessori variabili da circa 1,50 m. a circa 3,00 m.

3.4. Elementi tettonici

Dal punto di vista geologico-strutturale i litotipi del substrato sono caratterizzati generalmente da monoclinali pelitiche, con direzione dell'immersione verso NE e inclinazione di circa 7°-10° non movimentati dalla presenza certa di faglie.

3.5. Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale

Ai fini della valutazione delle criticità geologiche che insistono nelle aree investigate, funzionali alla definizione della risposta sismica locale, il rilevamento finalizzato sugli effetti dei terremoti recenti non ha individuato effetti cosismici primari.

Non sono state rilevate fratturazioni dovute faglie sul terreno e/o sulle infrastrutture univocamente riconducibili al sisma recente, né fratturazione evidenti a livello superficiale.

Di contro, riconducibili a effetti cosismici secondari, sono con molta probabilità la riattivazione e/o accelerazione dei movimenti franosi presenti nella porzione est del territorio.

Frane tra l'altro già studiate e censite nel Piano Assetto Idrogeologico del Fiume Tronto.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Le diverse tipologie d'indagini geotecniche e geofisiche utilizzate nel presente studio, e il relativo numero, sono elencate nel seguito. Sono stati complessivamente analizzati i risultati di 151 indagini. Di queste, 10 sono state appositamente realizzate per lo studio di microzonazione sismica di livello 3 mentre le restanti 141 provengono dalla banca dati relativa allo studio di microzonazione sismica di livello 1.

4.1. Dati pregressi

La banca dati relativa allo studio di microzonazione sismica di livello 1 ha fornito.

- n.1 sondaggio stratigrafici meccanici a carotaggio continuo (S);
- n.15 sondaggi stratigrafici meccanici a distruzione del nucleo (SD);
- n.10 sondaggi a carotaggio continuo con intercettazione del substrato (SS);
- n.25 sondaggi stratigrafici meccanici a distruzione del nucleo con intercettazione del substrato (SDS);
- n.28 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DS);
- n.39 pozzi per acqua (PA);
- n.23 registrazioni sismiche passive di microtremore a stazione singola (HVSR).

4.2. Dati acquisiti ex-novo

Il piano d'indagini, approvato in data 8 agosto 2017 dal Centro di Microzonazione Sismica Nazionale e dalla UOT Marche3, ha previsto indagini dirette (sondaggi geognostici) e indirette (prospezioni geofisiche di superficie e in foro)

Tale pianificazione è scaturita dalla conoscenza geolitologica e geomorfologica dell'area di studio, dalla consultazione della Carta delle Indagini della Microzonazione sismica di livello 1, nonché dalla volontà dell'Amministrazione Comunale di localizzare parte degli edifici di interesse strategico.

Il piano indagini ha previsto:

- n.5 multichannel analysis of surface waves (MASW)
- n.4 registrazioni sismiche passive di microtremore a stazione singola (HVSR)
- n.1 sondaggio a carotaggio continuo con intercettazione del substrato (SS);
- n.1 prospezione sismica attiva Down-Hole (DH)
- n.1 campionamento di terreno da sottoporre ad analisi geotecniche di laboratorio (SC).

4.2.1. Indagine Masw

L'indagine MASW, procedura sismica attiva volta alla determinazione della curva di dispersione delle Onde di Rayleigh mediante analisi di correlazione di misure effettuate su antenne sismiche del segnale prodotto da una sorgente artificiale, è stata eseguita dalla Ditta Geos snc di Jesi (AN).

La finalità ultima è stata la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs ottenuta usando attrezzature e procedure di analisi di seguito elencate:

<i>strumento</i>	<i>acquisitore Seismic Source DAQLink III a 24 canali</i>
<i>acquisizione</i>	<i>24 bit</i>
<i>geofoni</i>	<i>24</i>
<i>sorgente</i>	<i>Mazza 8 Kg</i>
<i>frequenza geofoni</i>	<i>4,5 Hz</i>
<i>frequenza campionamento</i>	<i>500 c/sec</i>
<i>formato dati</i>	<i>Seg2</i>
<i>spaziatura geofoni</i>	<i>2 m</i>
<i>lunghezza registrazione</i>	<i>1sec</i>
<i>schema geometria</i>	<i>Energizzazioni: 01-----02-----03-----04-----05*03-----06-----07-----08-----09</i> <i>Ricevitori: 01.....06.....12.....18.....24(X)</i>
<i>codice di calcolo</i>	<i>SurfSeis ® versione 2.0, Kansas University USA</i>
<i>processing</i>	<i>analisi spettrale in dominio f-k (frequenza numero d'onda).</i>
<i>inversione curva</i>	<i>processo iterativo ai minimi quadrati</i>

4.2.2. Indagine Hvsr

L'indagine HVSR, prospezione sismica passiva a Stazione Singola, volta alla costruzione delle carte delle frequenze di picco mediante la registrazione del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise), è stata eseguita dallo scrivente.

<i>strumento</i>	<i>Geobox 3ch 24 bit + ss45 pack</i>
<i>sismometro tipo</i>	<i>Velocimetro</i>
<i>frequenza sismometro</i>	<i>da 4,5 a 0,1 Hz (banda estesa)</i>
<i>sensibilità:</i>	<i>< 1 nanometro/secondo per count</i>
<i>frequenza campionamento</i>	<i>300 Hz simultaneo sui tre canali</i>
<i>interfaccia dati:</i>	<i>RS232 con cavo da 8 metri</i>
<i>fondo scala</i>	<i>150 Hz</i>
<i>durata registrazione</i>	<i>>1800 secondi</i>
<i>windows</i>	<i>30 secondi</i>
<i>smoothing</i>	<i>Konno-Ohmachi con b=40</i>
<i>tapering</i>	<i>disabilitato</i>
<i>correzione strumentale</i>	<i>disabilitata</i>
<i>formato file</i>	<i>SAF</i>

4.2.3. Sondaggio a carotaggio continuo

Il sondaggio a carotaggio continuo, realizzato secondo le “Raccomandazioni A.G.I., 1977”, è stato effettuato oltre che per fornire una sequenza completa dei litotipi attraversati, anche per la predisposizione della prospezione sismica Down Hole e per campionare il terreno da sottoporre ad analisi geotecniche di laboratorio.

La ditta Opere Speciali s.r.l in data 31 agosto 2017 ha iniziato e terminato il sondaggio sotto la mia supervisione seguendo il Protocollo di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III redatto dal Centro per la Microzonazione Sismica. In particolare si schematizzano le attrezzature e procedure adottate in cantiere.

<i>mezzo d'opera</i>	<i>Perforatrice cingolata Mori M40</i>
<i>tipo di perforazione</i>	<i>Carotaggio continuo</i>
<i>carotiere</i>	<i>Ø 101 mm</i>
<i>profondità</i>	<i>35,00 m</i>
<i>campionatore</i>	<i>a pressione (shelby)</i>
<i>percentuali di recupero</i>	<i>95%</i>
<i>cassette</i>	<i>5 scomparti di 1 m ciascuno con coperchio</i>
<i>fluidi di circolazione</i>	<i>assenti</i>
<i>livello idrico</i>	<i>assente</i>
<i>rivestimento</i>	<i>non necessario</i>
<i>tubo per prospezione</i>	<i>PVC atossico s=5 mm e d_{interno}=79 mm, con cannetta laterale</i>
<i>miscela cementizia</i>	<i>100 litri acqua, 30 kg cemento</i>
<i>verifica foro e tubazione</i>	<i>calata sul fondo e ritiro attrezzo</i>

4.2.4. Indagine DH

L'indagine DH (Down Hole) prospezione sismica attiva volta alla determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche di volume, di compressione e di taglio a diverse profondità, è stata realizzata dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale Edile e Geotecnica (DISEG) di Torino in data 17/10/2017.

Alla data odierna, lo scrivente seppur presente in cantiere, non è a conoscenza delle attrezzature e procedure adottate, poiché non riportato nel report fornitogli.

4.2.5. Campione

La fase di campionamento, durante il sondaggio, è avvenuta con prelievo indisturbato utilizzando il campionatore a infissione di tipo Shelby; costituito da un tubo tagliente, collegato per mezzo di tre viti a brugola di arresto con una testa, munita di valvola a sfera.

Di seguito si schematizzano le caratteristiche tecniche e le procedure adottate:

<i>diametro esterno</i>	<i>101,6 mm</i>
<i>spessore</i>	<i>2 mm</i>
<i>lunghezza tubo</i>	<i>630 mm</i>
<i>lunghezza campione</i>	<i>580 mm</i>
<i>peso campionatore</i>	<i>10,8(kg)</i>
<i>mantenimento campione</i>	<i>fustella metallica nuova</i>
<i>sigillatura</i>	<i>tappi a tenuta, bloccati da nastri adesivi previo colaggio di paraffina fusa nelle estremità del campione</i>

La successiva trasmissione del campione è avvenuta per posta secondo le indicazioni del Centro di Microzonazione Sismica presso il Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica (DISEG) - Laboratorio di Geotecnica, Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino (referente prof. Sebastiano Foti). Unitamente al campione è stata consegnata una scheda tecnica riassuntiva contenente i seguenti dati:

<i>comune</i>	<i>Colli del Tronto (AP)</i>
<i>località</i>	<i>Via IV Novembre</i>
<i>cantiere</i>	<i>Casa Comunale Rubicini</i>
<i>affidatario</i>	<i>Geol. Colletta Tonino</i>
<i>ditta esecutrice</i>	<i>Opere Speciali S.r.l</i>
<i>mezzo di perforazione</i>	<i>Perforatrice Mori M40</i>
<i>modalità di carotaggio</i>	<i>Continuo</i>
<i>numero del sondaggio</i>	<i>S1</i>
<i>profondità del sondaggio</i>	<i>35,00 m</i>
<i>profondità della falda</i>	<i>assente</i>
<i>numero del campione</i>	<i>C1</i>
<i>tipo di campione</i>	<i>indisturbato</i>
<i>profondità di prelievo</i>	<i>-5,50 m ÷ -6,00 m</i>
<i>tipo di terreno campionato</i>	<i>Limo sabbioso</i>
<i>data del prelievo</i>	<i>31-08-2017</i>
<i>ora del prelievo</i>	<i>8.15 am</i>

Nella tabella si riportano le tipologie di prove effettuate dall'Università, come si può osservare sono state realizzate prove di classificazione, granulometriche e meccaniche, mentre non sono state realizzate prove dinamiche di colonna risonante.

	<i>S1C1</i>	<i>Norme di riferimento</i>
<i>Peso volume</i>		
<i>Contenuto d'acqua</i>	<i>X</i>	<i>ASTM D2216-05</i>
<i>Peso specifico</i>	<i>X</i>	<i>ASTM D854-05</i>
<i>Limiti di atterberg</i>	<i>X</i>	<i>ASTM D4318-05</i>
<i>Contenuto di Carbonati</i>	<i>X</i>	<i>ASTM D4373-96</i>
<i>Analisi granulometrica per vagliatura</i>	<i>X</i>	<i>ASTM D422-63(2007)</i>
<i>Analisi granulometrica per sedimentazione</i>	<i>X</i>	<i>ASTM-D1140-00</i>
<i>Prova edometrica</i>		
<i>Prova Colonna risonante</i>		
<i>Prova Taglio Torsionale</i>		

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS

A seguito dei rilievi geologici di superficie, delle indagini multidisciplinari di esplorazione del sottosuolo, si è proceduto ad una fase di omogeneizzazione, confronto ed integrazione di tutti i dati da disposizione al fine di poter definire, nella maniera più attendibile possibile il modello geologico di sottosuolo.

Tale fase rappresenta, forse, la fase più critica di tutto lo studio di microzonazione, in cui la fase di omogeneizzazione e di creazione del modello ha indotto ad opportune valutazioni tenendo conto del differente livello di incertezza attribuito ai diversi parametri desunti da differenti indagini.

La modellazione, come già detto è avvenuta utilizzando tutti i dati a disposizione partendo dai rilievi geologici di superficie che hanno guidato la definizione del modello geologico ed integrando tali informazioni con i dati diretti forniti dai sondaggi geognostici e con i dati indiretti forniti dalle prospezioni geofisiche di superficie, di nuova esecuzione.

In alcune situazioni è stata necessaria una revisione del modello geologico di partenza sia in superficie sia in profondità da quello interpretato dello studio di livello 1.

Sono state revisionate e/o prodotte sezioni geologico-tecniche essenziali sia per una maggiore definizione della carta geologico-tecnica (CGT) e, conseguentemente, della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva Sismica (MOPS), sia per la determinazione dell'input geologico-tecnico necessario per l'esecuzione delle analisi di risposta sismica locale nell'ambito delle attività connesse con la microzonazione sismica di terzo livello.

Il modello del sottosuolo è pertanto considerato come il prodotto finale di un insieme di elaborazioni dei risultati di specifiche indagini tese a definire spazialmente i terreni raggruppandoli in singole unità spazialmente omogenee.

5.1. Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione

Il modello finale realizzato presenta una serie di sedimenti di ambiente vario legato essenzialmente alla fase terminale dell'evoluzione tettonica del bacino sedimentario.

La sua formazione di base, è costituita per la maggior parte dalla presenza di un substrato geologico di età pleistocenica depositatosi in un bacino marino poco profondo e di bassa energia, di natura coesiva, sovraconsolidato e stratificato in strati sottili argilloso-marnosi (COS).

Affiora raramente, poiché sepolto da estese coperture eluvio-colluviali, spesse da pochi metri, fino a decine di metri in corrispondenza degli impluvi (ML); mentre nelle zone collinari è occultato da potenti spessori di depositi alluvionali terrazzati (SM), così come

nella zona di fondovalle, dove i depositi alluvionali (GM) coprono a mantello, con spessori variabili, la totalità del bedrock geologico.

Di seguito vengono descritte le singole unità:

TERRENI DELLA COPERTURA:

unità “ML”: limi inorganici, sabbie fine limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. (sedimenti a granulometria mista ed indistinta con prevalenza di Limi argillosi e limi sabbiosi in assenza di stratificazione. Consistenza da bassa a medio bassa)			
Number standard penetration test	N_{SPT}		9 ÷ 10
Peso Specifico	Y	t/m ³	1,80 ÷ 1,90
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	0,00
Angolo di attrito	Ø	°	24 ÷ 28
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	50 ÷ 150
Modulo edometrico	Ed	Kg/cm ²	-----
Velocità onde di taglio	Vs	m/sec	150 ÷ 220

unità “SM”: sabbie limose, miscela di sabbia e limo (sedimenti limo-sabbiosi e/o sabbie limose prevalenti, talora misti a ghiaie. Talora si rinvenivano orizzonti ghiaiosi a varie altezze stratigrafiche; più raramente intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi. La consistenza risulta eterogenea)			
Number standard penetration test	N_{SPT}		15 ÷ 30
Peso Specifico	Y	t/m ³	1,90 ÷ 2,10
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	0,00
Angolo di attrito	Ø	°	28 ÷ 32
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	300 ÷ 350
Modulo edometrico	Ed	Kg/cm ²	-----
Velocità onde di taglio	Vs	m/sec	210 ÷ 350

unità “GM”: ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (sedimenti ghiaiosi in matrice sabbiosa, in subordine sabbie limose e limi sabbiosi; più raramente sono presenti intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi. Consistenza da media a medio-alta)			
Number standard penetration test	N_{SPT}		15 ÷ 35
Peso Specifico	Y	t/m ³	1,90 ÷ 2,10
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	0,00
Angolo di attrito	Ø	°	32 ÷ 36
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	320 ÷ 400
Modulo edometrico	Ed	Kg/cm ²	-----
Velocità onde di taglio	Vs	m/sec	330 ÷ 380

TERRENI DEL SUBSTRATO GEOLOGICO:

unità "COS": substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (argille e argille marnose grigio-azzurre, stratificate a consistenza elevata.			
Number standard penetration test	N_{SPT}		>45
Peso Specifico	γ	t/m ³	1,95 ÷ 2,20
Coesione non drenata	C_u	Kg/cm ²	>2,50
Angolo di attrito	ϕ	°	0
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	-----
Modulo edometrico	E_d	Kg/cm ²	350 ÷ 450
Velocità onde di taglio	V_s	m/sec	400 ÷ 710*

* = valore stimato su terreni simili di comuni limitrofi

5.2. Sezioni geologico-tecniche

Le prove geotecniche disponibili (sondaggi e prove penetrometriche) sono state utilizzate per realizzare le sezioni litotecniche, rappresentative della complessità del sottosuolo, da confrontare con il modello geologico e geomorfologico dell'area investigata. Nella carta geologica-tecnica allegata sono riportate le tracce planimetriche utilizzate per ricostruire le sezioni litotecniche, due delle quali vengono di seguito descritte poiché considerate come rappresentative dell'area esaminata:

- **Sezione DD:**

La sezione può essere divisa in due tratti, il primo dei quali, orientato, NNW-SSW impostato lungo la dorsale collese, intercetta in modo longitudinale l'abitato storico, mentre il secondo tratto, orientato circa N-S intercetta, la frazione Bivio Colli nella pianura alluvionale. L'andamento topografico è circa uniforme senza brusche rotture di pendenza dovute a scarpate e valli particolarmente incise. Procedendo da nord verso sud, l'elemento morfografico predominante è la zona di cresta che s'innalza dalla progressiva 250 m fino a 490 m per poi raccordarsi a 900 m con le zone di fondovalle dopo aver superato, in modo graduale, un dislivello altimetrico di circa 60 m.

Sempre da nord emergono due unità litologiche, caratterizzate da estensione e spessori piuttosto variabili.

La prima unità "ML", interessante i primi 100 m di lunghezza, presenta uno spessore compreso tra 3 e 8 metri, direttamente poggiante sul substrato geologico coesivo sovraconsolidato e stratificato. Essa è caratterizzata da sedimenti a granulometria mista e indistinta con prevalenza di limi argillosi e limi

sabbiosi, in assenza di stratificazione ed aventi una consistenza da bassa a medio bassa.

La seconda unità “SM”, in contatto diretto con il substrato geologico coesivo sovraconsolidato e stratificato, è presente con continuità fino alla fine della sezione. E' costituita da limi sabbiosi e/o sabbie limose prevalenti, talora misti a ghiaie. Si rinvencono talora orizzonti ghiaiosi a varie altezze stratigrafiche; più raramente intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi.

L'andamento dell'interfaccia substrato geologico-coperture riflette quindi lo spessore variabile di tale unità: da un massimo di 25 m nella porzione centrale fino ad un minimo di 3-5 m nelle zone di raccordo con il fondovalle dove lo spessore si attesta sui 10-15 m. E' inoltre presente una geometria lentiforme dei termini più grossolani “GM”.

La sopracitata discontinuità litologica, coperture substrato geologico, tuttavia non si riflette in modo netto nelle velocità di propagazione delle onde trasversali “S”, poiché all'aumentare della profondità d'indagine si assiste ad un aumento graduale delle velocità in modo quasi proporzionale. Le velocità registrate alla base delle coperture è difatti poco inferiore a quelle misurate al tetto del substrato geologico.

In tale sezione infine non si evidenziano morfologie sepolte; né zone interessate da instabilità (frane, faglie attive e capaci, liquefazione, cedimenti). Così come sono assenti elementi tettonici-strutturali e circolazione idrica sotterranea permanente.

- **Sezione EE**

La sezione orientata circa WNW-ESE-, intercetta in modo trasversale l'abitato storico.

Partendo dalla quota 195 m s.l.m. della zona ovest, la sezione si chiude a oriente con la quota 80 m s.l.m secondo un andamento topografico circa uniforme, senza brusche rotture di pendenza dovute a scarpate e valli particolarmente incise.

Da ovest, emergono due unità litologiche, caratterizzate da estensione e spessori piuttosto variabili, in cui l'unità “SM” è predominante e solo marginalmente, nella zona orientale s'intercetta l'unità “ML”.

L'unità litologica “SM”, presente con continuità spaziale in quasi tutta la sezione, è in contatto diretto con il substrato geologico coesivo sovraconsolidato e stratificato. E' costituita da limi sabbiosi e/o sabbie limose prevalenti, talora misti a ghiaie. Si rinvencono talora orizzonti ghiaiosi a varie altezze stratigrafiche; più raramente intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi.

L'andamento interfaccia substrato geologico-coperture è quasi pianeggiante con leggera immersione verso est, di riflesso allo spessore variabile dell'unità "SM", la quale presenta un massimo di 32 m nel tratto iniziale fino ad un minimo di 10 m procedendo verso est.

La seconda unità "ML", interessante i 50 m finali della sezione, a est del civico cimitero, è caratterizzata da sedimenti a granulometria mista e indistinta con prevalenza di limi argillosi e limi sabbiosi, in assenza di stratificazione ed aventi una consistenza da bassa a medio bassa. Presenta uno spessore compreso tra 3 m, nel tratto d'interdigitazione con l'unità "SM", e 16 metri, nel tratto finale, dove sovrasta direttamente il substrato geologico coesivo sovraconsolidato e stratificato. Anche qui come nella sezione EE, la discontinuità litologica, coperture-substrato geologico, non si riflette in modo netto nelle velocità di propagazione delle onde trasversali "S". Le velocità registrate alla base delle coperture è difatti poco inferiore a quelle misurate al tetto del substrato geologico.

In tale sezione infine non si evidenziano morfologie sepolte; né zone interessate da instabilità (frane, faglie attive e capaci, liquefazione, cedimenti). Così come sono assenti elementi tettonici-strutturali e circolazione idrica sotterranea permanente.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Per quanto riguarda le interpretazioni dei dati acquisiti si può affermare che, dal punto di vista geotecnico, i dati a disposizione possono essere soddisfacenti per ottenere una buona caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del territorio, anche se un'integrazione con una nuova campagna d'indagine specifica volta a descrivere lo spessore delle coltri e i parametri geotecnici del substrato potrebbe contribuire ad una modellizzazione più accurata.

Dal punto di vista geofisico, il sottosuolo indagato non presenta forti contrasti di velocità delle onde di taglio e, pertanto, si è portati a ritenere modesti gli effetti di amplificazione del moto sismico per effetti stratigrafici, come confermato dalle registrazioni di sismica passiva a stazione singola.

La profondità del bedrock sismico è stata inferita arbitrariamente basandosi sempre sulle misure di sismica passiva, mentre sarebbe auspicabile l'individuazione esatta in profondità del substrato $V_s > 800$ m/s.

A tal proposito sarebbe auspicabile una densificazione della maglia di acquisizioni d'indagini di sismica attiva, in particolare indagini di tipo down hole al fine di ottenere una valutazione delle velocità delle onde "S" spazialmente diffusa e correlabile fino al substrato sismico.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

7.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione

Il documento di sintesi finale della MZS di livello 1 è rappresentato da una carta del territorio nella quale sono indicate microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) rappresentate sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e geofisici.

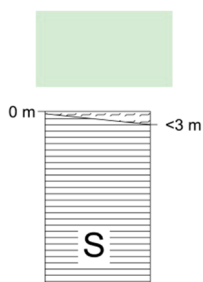
In tale contesto, le suddette microzone hanno subito una revisione a seguito di una miglior definizione del modello geologico di partenza che ha comportato di conseguenza differenze rispetto alle cartografie delle MOPS del livello 1.

Tale situazione è naturale e direttamente consequenziale con la logica di maggiore approfondimento del livello tre rispetto al precedente livello 1, proprio in relazione alla realizzazione di indagini di sottosuolo che hanno permesso d'individuare un assetto stratigrafico e geofisico che spesso è risultato diverso rispetto a quello del primo livello. Di seguito si schematizzano le zone della carta MOPS livello 3 e quelle del livello 1, in cui evincono differenze di classificazione:

<i>Carta MOPS mzs livello 1 codice zona</i>	<i>Carta MOPS mzs livello 3 codice zona</i>
<i>1</i>	<i>2001</i>
<i>2</i>	<i>2002</i>
<i>3</i>	<i>2003</i>
	<i>2004</i>
	<i>2005</i>

Di seguito si riportano le zone stabili suscettibili di amplificazione previste nella Carta MOPS livello 3 e la loro descrizione:

ZONA 2001

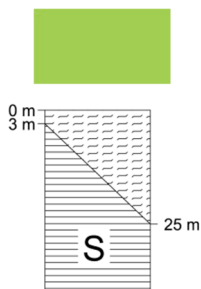


Coperture costituite da limi argillosi e limi sabbiosi prevalenti a granulometria mista ed indistinta in assenza di stratificazione.

Poco addensati a consistenza da bassa a medio bassa in spessori fino a 3,0 m.

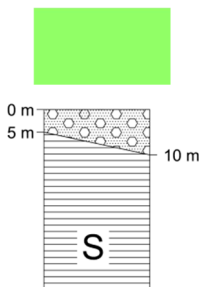
Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre

ZONA 2002



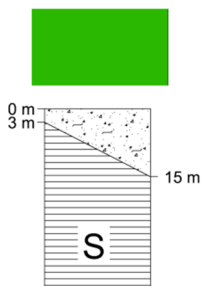
Coperture costituite da limi argillosi e limi sabbiosi prevalenti a granulometria mista ed indistinta in assenza di stratificazione. Poco addensati a consistenza da bassa a medio bassa in spessori compresi tra 3,0 e 25,0 m. Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre.

ZONA 2003



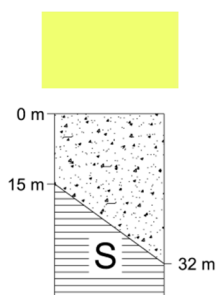
Coperture costituite ghiaie in matrice sabbiosa, in subordine sabbie limose e limi sabbiosi in spessori compresi tra 5,0 e 10,0 m. Più raramente sono presenti intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi. Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre

ZONA 2004



Coperture costituite limi sabbiosi e/o sabbie limose prevalenti in spessori compresi tra 3,0 e 15,0 m. Si rinvencono orizzonti ghiaiosi a varie altezze stratigrafiche; più raramente intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi. Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre

ZONA 2005



Coperture costituite limi sabbiosi e/o sabbie limose prevalenti in spessori compresi tra 15,0 e 32,0 m. Si rinvencono orizzonti ghiaiosi a varie altezze stratigrafiche; più raramente intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi. Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre

Non sono inserite zone stabili in quanto i substrati geologici affioranti, seppur nella scarsità di dati, non hanno le caratteristiche di velocità delle onde di taglio ($V_s > 800 \text{ m/sec}$) tali da poter essere definiti come substrato sismico.

7.1.1. Simulazioni numeriche monodimensionali (1D)

Le attività metodologiche effettuate durante il complesso lavoro di ricostruzione del modello fisico-tecnico di sottosuolo e della sua trasposizione in modello numerico, sono finalizzate alle analisi di risposta sismica locale all'interno del perimetro stabilito.

Lo studio è stato condotto utilizzando il codice di calcolo STRATA (Kottke & Rathje, 2008), che ha consentito di eseguire simulazioni di propagazione monodimensionale con il metodo lineare equivalente nel dominio del tempo, con informazioni su fase e frequenze del moto sismico d'input mediante il convenzionale uso di sismogrammi d'input.

Il software STRATA ha consentito di operare un ampio trattamento statistico del problema risultato molto utile nella fase preliminare di scelta delle condizioni al contorno per il modello di sito da sottoporre al calcolo finale. La descrizione del comportamento non lineare dei terreni, ha utilizzato un modello lineare equivalente studiando il comportamento tensione (totale) – deformazione, basandosi sul modello reologico di Kelvin – Voight, assumendo un sistema stratigrafico monodimensionale a strati paralleli, indefiniti lateralmente, in cui le tensioni totali e gli spostamenti, provocati dal passaggio di un'onda sismica di taglio, sono funzioni armoniche del tempo. Aggiornando, in maniera iterativa, i parametri del moto e le costanti elastiche in gioco al procedere della deformazione nel tempo, risolvendo per integrazione le equazioni differenziali, il moto sismico applicato a un substrato rigido di riferimento, viene “trasmesso” agli strati superiori attraverso la definizione di una funzione di trasferimento che “contiene” le variazioni spettrali del moto sismico di input verso la superficie. Lo spettro di Fourier, del segnale sismico trasmesso alla superficie, viene “riportato” nel dominio dei tempi (trasformata inversa di Fourier) con produzione di una storia temporale (in accelerazione, velocità, spostamento, stress e deformazione) calcolata in punti della colonna stratigrafica scelti dall'operatore.

I parametri di input intervenuti in tale procedura vengono di seguito riportati:

- moto sismico di riferimento (accelerogramma)
- modello geometrico del sottosuolo
- caratteristiche geotecniche dei terreni costituenti i vari strati
- i dati geofisici e sismologici.

L'input sismico, che in funzione del sito e del periodo di ritorno considerato (475 anni) , restituisce una combinazione di sette accelerogrammi è stato definito e fornito dal Centro di Microzonazione Sismica.

La definizione del modello di sottosuolo ha tenuto conto:

- sequenza stratigrafica e spessori delle unità litotecniche
- velocità di propagazione delle onde di taglio VS di ogni unità

- profondità del substrato sismico (frequenza fondamentale da HVSR) assimilato ad un'interfaccia caratterizzata da velocità di propagazione delle onde di taglio dell'ordine di 800 m/s.

la successiva fase di calibrazione del modello, avvenuta in campo visco-elastico lineare, è consistita nella valutazione della quota ottimale di imposizione dell'input (bedrock sismico), attraverso le seguenti fasi:

- confronto tra f_0 sperimentale e la f_0 numerica,
- definizione, sia per i terreni di copertura sia per il bedrock sismico, del peso di volume e rapporto di smorzamento (damping) senza considerare l'eventuale falda (analisi effettuata in termini di tensioni totali).

L'ipotesi che ha prevalso è stata quella di porre l'input sismico all'interno del substrato coesivo stratificato con $V_s \geq 800$ m/s, per tutte le aree omogenee indagate.

L'analisi numerica 1D preliminare, nonostante le maggiori incertezze associate all'assetto profondo, ha consentito una maggiore omogeneità di analisi tra le differenti sezioni (unico bedrock sismico posto a quote comparabili) e una maggiore coerenza nei confronti dell'assetto stratigrafico dell'area di Colli del Tronto.

Successivamente, si è eseguita per ogni MOPS l'analisi di risposta nel campo lineare equivalente nel dominio della frequenza utilizzando i moti di input del dominio del tempo.

Tale comportamento, non lineare e dissipativo del terreno, ha tenuto in conto della riduzione della rigidezza a taglio, G e dell'incremento dello smorzamento, D all'aumentare delle deformazioni di taglio, γ indotte dal sisma.

Sono state quindi applicate per ogni singolo strato, le curve di decadimento del modulo di taglio, $G(\gamma)$ e le curve di incremento del damping, $D(\gamma)$ fornite dai referenti della macroarea Marche 3.

7.1.2. Sequenze litostratigrafiche, peso dell'unità di volume

Le sequenze litostratigrafiche utilizzate per le simulazioni numeriche sono state dedotte dall'analisi critica delle indagini geologiche geotecniche e geofisiche e ricondotte alle microzone, nelle quali i terreni sono stati raggruppati in singole unità geologico-tecniche, come descritte nel capitolo 5 e di seguito schematizzate:

- "ML": Limi inorganici, sabbie fine limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità ($\gamma = 20,40$ kN/m³)
- "SM": sabbie limose, miscela di sabbia e limo ($\gamma = 19,90$ kN/m³)
- "GM": ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo ($\gamma = 20,30$ kN/m³)
- "COS": substrato coesivo sovraconsolidato stratificato ($\gamma = 21,08$ kN/m³)

Il peso dell'unità di volume delle unità delle coperture e del substrato geologico non rigido mostra quindi valori variabili tra $19,90 \div 21,08 \text{ kN/m}^3$, mentre il bedrock sismico è stato posto pari a 22 kN/m^3 .

Quest'ultimo è stato identificato con il primo strato in corrispondenza del quale la V_s calcolata è stata posta pari a 800 m/s .

7.1.3. Curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping

Le curve di decadimento del modulo $G(\gamma)$ e di incremento del damping $D(\gamma)$ utilizzate per le analisi di risposta sismica locale, sono state definite a partire dai risultati di prove di colonna risonante e taglio torsionale ciclico realizzate su campioni indisturbati di terreno prelevati in sito durante la campagna geognostica.

Per il comune di Colli del Tronto, in mancanza di prove di laboratorio, si sono usate curve di litotipi simili provenienti dai comuni limitrofi, fornite dai referenti della macroarea Marche 3 e solo in un caso ci si è riferito a curva di letteratura, come riassunto nel seguente schema riassuntivo.

<i>Unità litotecnica</i>	<i>G/Gmax model</i>	<i>Damping model</i>
<i>ML</i>	<i>campione Offida S1C1</i>	<i>campione Offida S1C1</i>
<i>SM</i>	<i>campione Castel di Lama S2C1</i>	<i>campione Castel di Lama S2C1</i>
<i>GM</i>	<i>Rollins (1998) media</i>	<i>Rollins (1998) media</i>
<i>COS</i>	<i>campione Castel di Lama S1C2</i>	<i>campione Castel di Lama S1C2</i>

7.1.4. Scelta dell'input sismico (fornito dal CentroMS)

Sono stati utilizzati come moti d'input (applicati su affioramento rigido e deconvoluti al basamento sismico attraverso il codice Strata) i sette accelerogrammi naturali, forniti dal Centro MS opportunamente estratti per il comune di Colli del Tronto.

Gli spetti di risposta in pseudoaccelerazione nonché le storie temporali dell'accelerazione e le principali caratteristiche di tali segnali sono riportati.

FILE_NAME	3A.MZ11..HNE.D.20161030.064018.C.ACC
EVENT_NAME	CENTRAL_ITALY
EVENT_ID	EMSC-20161030_0000029
EVENT_DATE_YYYYMMDD	20161030
EVENT_TIME_HHMMSS	064018
EVENT_LATITUDE_DEGREE	42.8322
EVENT_LONGITUDE_DEGREE	13.1107
EVENT_DEPTH_KM	9.2
HYPOCENTER_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
MAGNITUDE_W	6.5
MAGNITUDE_W_REFERENCE	INGV-webservice
MAGNITUDE_L	6.1

Dott. TONINO COLLETTA geologo specialista
Piazza del Popolo, 24 – 63073 OFFIDA (AP)

MAGNITUDE_L_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
FOCAL_MECHANISM	NF
NETWORK	3A
STATION_CODE	MZ11
STATION_NAME	bedrock nord Sant`Angelo - INGV
STATION_LATITUDE_DEGREE	42.662910
STATION_LONGITUDE_DEGREE	13.307648
STATION_ELEVATION_M	1231
LOCATION	
SENSOR_DEPTH_M	0.0
VS30_M/S	
SITE_CLASSIFICATION_EC8	A*
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION	
EPICENTRAL_DISTANCE_KM	24.8
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE	319.5
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_YYYYMMDD_HH_MMSS	20161030_064009.690
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_PRECISION	milliseconds
SAMPLING_INTERVAL_S	0.005000
NDATA	10834
DURATION_S	54.170
STREAM	HNE
UNITS	cm/s^2
INSTRUMENT	sensor = Unknown [Unknown] digitizer = Unknown [Unknown]
INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL	D
INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ	
INSTRUMENTAL_DAMPING	
FULL_SCALE_G	
N_BIT_DIGITAL_CONVERTER	
PGA_CM/S^2	-165.739296
TIME_PGA_S	21.575000
BASELINE_CORRECTION	BASELINE REMOVED
FILTER_TYPE	BUTTERWORTH
FILTER_ORDER	2
LOW_CUT_FREQUENCY_HZ	0.040
HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ	30.000
LATE/NORMAL_TRIGGERED	NT
DATABASE_VERSION	DYNA 1.0
HEADER_FORMAT	DYNA 1.2
DATA_TYPE	ACCELERATION
PROCESSING	manual (Paolucci et al., 2011)
DATA_TIMESTAMP_YYYYMMDD_HHMMSS	20170711_155201.345
DATA_LICENSE	U (unknown license)
DATA_CITATION	Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016). Engineering Strong Motion Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. doi10.13127/ESM
DATA_CREATOR	ESM working group
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR_CITATION	(C) INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR	FDSN INGV Web Service (http://webservices.rm.ingv.it/fdsnws/dataselect/1/)
ORIGINAL_DATA_CREATOR_CITATION	Centro di microzonazione sismica Network
ORIGINAL_DATA_CREATOR	network 3A (Centro di microzonazione sismica Network, 2016 Central Italy seismic sequence); owner Cetnro di Microzonazione Sismica
FILE_NAME	3A.MZ19..HNN.D.20161030.064018.C.ACC
EVENT_NAME	CENTRAL_ITALY
EVENT_ID	EMSC-20161030_0000029
EVENT_DATE_YYYYMMDD	20161030
EVENT_TIME_HHMMSS	064018
EVENT_LATITUDE_DEGREE	42.8322
EVENT_LONGITUDE_DEGREE	13.1107
EVENT_DEPTH_KM	9.2
HYPOCENTER_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
MAGNITUDE_W	6.5

MAGNITUDE_W_REFERENCE	INGV-webservice
MAGNITUDE_L	6.1
MAGNITUDE_L_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
FOCAL_MECHANISM	NF
NETWORK	3A
STATION_CODE	MZ19
STATION_NAME	Pasciano cimitero - INGV
STATION_LATITUDE_DEGREE	42.641090
STATION_LONGITUDE_DEGREE	13.206917
STATION_ELEVATION_M	1107
LOCATION	
SENSOR_DEPTH_M	0.0
VS30_M/S	
SITE_CLASSIFICATION_EC8	A*
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION	
EPICENTRAL_DISTANCE_KM	22.6
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE	339.7
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_YYYYMMDD_HHMMSS	20161030_064008.039
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_PRECISION	milliseconds
SAMPLING_INTERVAL_S	0.005000
NDATA	10151
DURATION_S	50.755
STREAM	HNN
UNITS	cm/s^2
INSTRUMENT	sensor = Unknown [Unknown] digitizer = Unknown [Unknown]
INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL	D
INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ	
INSTRUMENTAL_DAMPING	
FULL_SCALE_G	
N_BIT_DIGITAL_CONVERTER	
PGA_CM/S^2	-395.562607
TIME_PGA_S	20.720000
BASELINE_CORRECTION	BASELINE REMOVED
FILTER_TYPE	BUTTERWORTH
FILTER_ORDER	2
LOW_CUT_FREQUENCY_HZ	0.040
HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ	70.000
LATE/NORMAL_TRIGGERED	NT
DATABASE_VERSION	DYNA 1.0
HEADER_FORMAT	DYNA 1.2
DATA_TYPE	ACCELERATION
PROCESSING	manual (Paolucci et al., 2011)
DATA_TIMESTAMP_YYYYMMDD_HHMMSS	20170711_155526.147
DATA_LICENSE	U (unknown license)
DATA_CITATION	Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016). Engineering Strong Motion Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. doi 10.13127/ESM
DATA_CREATOR	ESM working group
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR_CITATION	(C) INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR	FDSN INGV Web Service (http://webservices.rm.ingv.it/fdsnws/dataselect/1/)
ORIGINAL_DATA_CREATOR_CITATION	Centro di microzonazione sismica Network
ORIGINAL_DATA_CREATOR	network 3A (Centro di microzonazione sismica Network, 2016 Central Italy seismic sequence); owner Cetnro di Microzonazione Sismica
FILE_NAME	IT.CLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC
EVENT_NAME	CENTRAL_ITALY
EVENT_ID	EMSC-20161026_0000095
EVENT_DATE_YYYYMMDD	20161026
EVENT_TIME_HHMMSS	191806
EVENT_LATITUDE_DEGREE	42.9087
EVENT_LONGITUDE_DEGREE	13.1288
EVENT_DEPTH_KM	7.5

Dott. TONINO COLLETTA geologo specialista
Piazza del Popolo, 24 – 63073 OFFIDA (AP)

HYPOCENTER_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
MAGNITUDE_W	5.9
MAGNITUDE_W_REFERENCE	INGV-webservice
MAGNITUDE_L	5.9
MAGNITUDE_L_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
FOCAL_MECHANISM	NF
NETWORK	IT
STATION_CODE	CLO
STATION_NAME	Castelluccio di Norcia
STATION_LATITUDE_DEGREE	42.829399
STATION_LONGITUDE_DEGREE	13.206000
STATION_ELEVATION_M	1456
LOCATION	
SENSOR_DEPTH_M	0.0
VS30_M/S	
SITE_CLASSIFICATION_EC8	A*
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION	
EPICENTRAL_DISTANCE_KM	10.8
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE	324.4
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_YYYYMMDD_HH_MMSS	20161026_191802.740
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_PRECISION	milliseconds
SAMPLING_INTERVAL_S	0.005000
NDATA	7852
DURATION_S	39.260
STREAM	HGE
UNITS	cm/s^2
INSTRUMENT	sensor = Unknown [Unknown] digitizer = Unknown [Unknown]
INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL	D
INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ	
INSTRUMENTAL_DAMPING	
FULL_SCALE_G	
N_BIT_DIGITAL_CONVERTER	
PGA_CM/S^2	-179.955087
TIME_PGA_S	10.930000
BASLINE_CORRECTION	BASLINE REMOVED
FILTER_TYPE	BUTTERWORTH
FILTER_ORDER	2
LOW_CUT_FREQUENCY_HZ	0.070
HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ	40.000
LATE/NORMAL_TRIGGERED	NT
DATABASE_VERSION	DYNA 1.0
HEADER_FORMAT	DYNA 1.2
DATA_TYPE	ACCELERATION
PROCESSING	manual (Paolucci et al., 2011)
DATA_TIMESTAMP_YYYYMMDD_HHMMSS	20170711_162639.004
DATA_LICENSE	CC-BY3.0-IT (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.en)
DATA_CITATION	Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016). Engineering Strong Motion Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. doi 10.13127/ESM
DATA_CREATOR	ESM working group
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR_CITATION	Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile (http://www.protezionecivile.gov.it/)
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR	Rete Accelerometrica Nazionale – RAN Download (http://www.motl.it/randownload/)
ORIGINAL_DATA_CREATOR_CITATION	Italian Strong Motion Network, Italian Civil Protection Department http://www.protezionecivile.gov.it
ORIGINAL_DATA_CREATOR	network IT (Italian Strong Motion Network); owner Dipartimento Della Protezione Civile
FILE_NAME	IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC
EVENT_NAME	CENTRAL_ITALY
EVENT_ID	EMSC-20161026_0000095

EVENT_DATE_YYYYMMDD	20161026
EVENT_TIME_HHMMSS	191806
EVENT_LATITUDE_DEGREE	42.9087
EVENT_LONGITUDE_DEGREE	13.1288
EVENT_DEPTH_KM	7.5
HYPOCENTER_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
MAGNITUDE_W	5.9
MAGNITUDE_W_REFERENCE	INGV-webservice
MAGNITUDE_L	5.9
MAGNITUDE_L_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
FOCAL_MECHANISM	NF
NETWORK	IT
STATION_CODE	CLO
STATION_NAME	Castelluccio di Norcia
STATION_LATITUDE_DEGREE	42.829399
STATION_LONGITUDE_DEGREE	13.206000
STATION_ELEVATION_M	1456
LOCATION	
SENSOR_DEPTH_M	0.0
VS30_M/S	
SITE_CLASSIFICATION_EC8	A*
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION	
EPICENTRAL_DISTANCE_KM	10.8
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE	324.4
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_YYYYMMDD_HHMMSS	20161026_191802.740
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_PRECISION	milliseconds
SAMPLING_INTERVAL_S	0.005000
NDATA	7852
DURATION_S	39.260
STREAM	HGN
UNITS	cm/s^2
INSTRUMENT	sensor = Unknown [Unknown] digitizer = Unknown [Unknown]
INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL	D
INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ	
INSTRUMENTAL_DAMPING	
FULL_SCALE_G	
N_BIT_DIGITAL_CONVERTER	
PGA_CM/S^2	-189.388350
TIME_PGA_S	10.690000
BASELINE_CORRECTION	BASELINE REMOVED
FILTER_TYPE	BUTTERWORTH
FILTER_ORDER	2
LOW_CUT_FREQUENCY_HZ	0.070
HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ	40.000
LATE/NORMAL_TRIGGERED	NT
DATABASE_VERSION	DYNA 1.0
HEADER_FORMAT	DYNA 1.2
DATA_TYPE	ACCELERATION
PROCESSING	manual (Paolucci et al., 2011)
DATA_TIMESTAMP_YYYYMMDD_HHMMSS	20170711_162639.004
DATA_LICENSE	//creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.en)
DATA_CITATION	Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016). Engineering Strong Motion Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. doi 10.13127/ESM
DATA_CREATOR	ESM working group
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR_CITATION	Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile (http://www.protezionecivile.gov.it/)
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR	Rete Accelerometrica Nazionale – RAN Download (http://www.motl.it/randownload/)
ORIGINAL_DATA_CREATOR_CITATION	Italian Strong Motion Network, Italian Civil Protection Department http://www.protezionecivile.gov.it
ORIGINAL_DATA_CREATOR	network IT (Italian Strong Motion Network); owner Dipartimento Della Protezione Civile

Dott. TONINO COLLETTA geologo specialista
Piazza del Popolo, 24 – 63073 OFFIDA (AP)

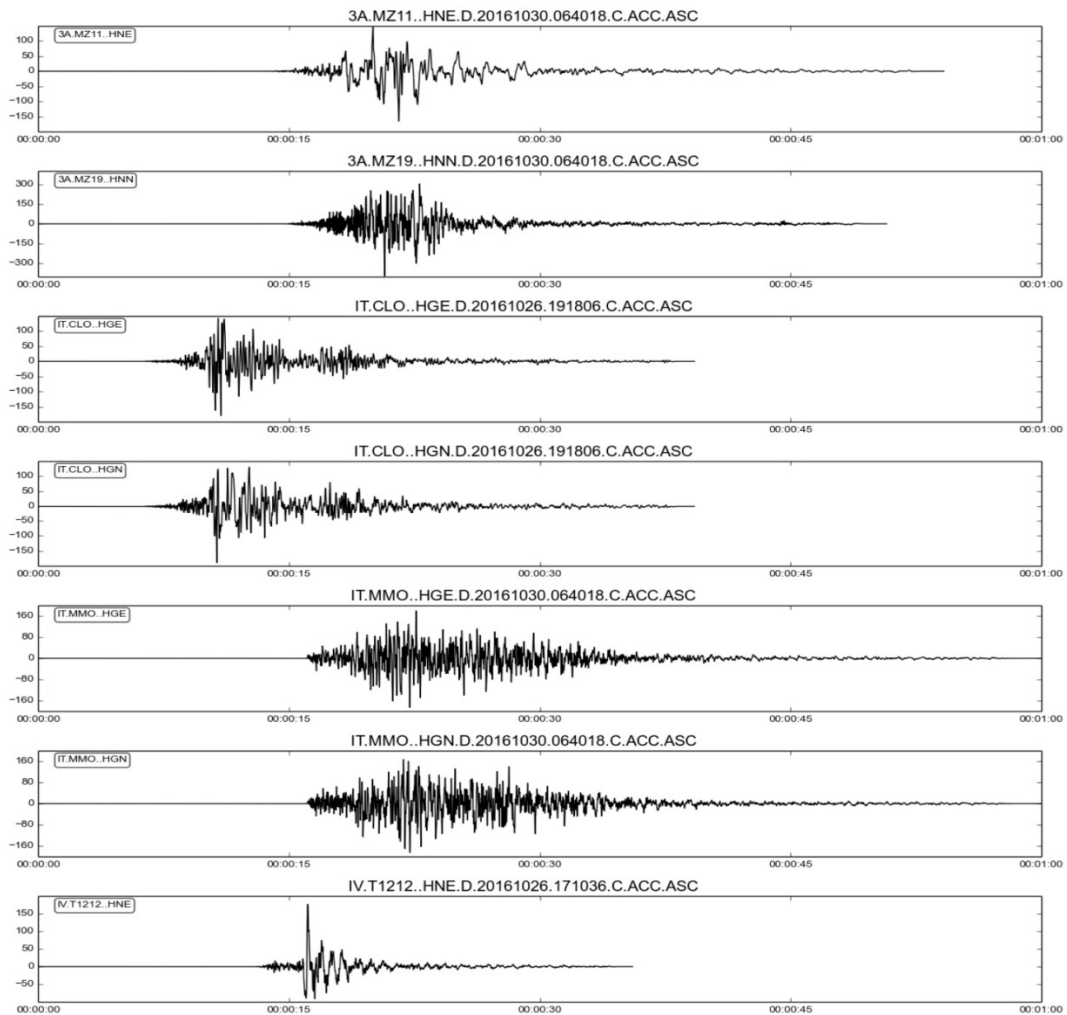
FILE_NAME	IT.MMO..HGE.D.20161030.064018.C.ACC
EVENT_NAME	CENTRAL_ITALY
EVENT_ID	EMSC-20161030_0000029
EVENT_DATE_YYYYMMDD	20161030
EVENT_TIME_HHMMSS	064018
EVENT_LATITUDE_DEGREE	42.8322
EVENT_LONGITUDE_DEGREE	13.1107
EVENT_DEPTH_KM	9.2
HYPOCENTER_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
MAGNITUDE_W	6.5
MAGNITUDE_W_REFERENCE	INGV-webservice
MAGNITUDE_L	6.1
MAGNITUDE_L_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
FOCAL_MECHANISM	NF
NETWORK	IT
STATION_CODE	MMO
STATION_NAME	Montemonaco
STATION_LATITUDE_DEGREE	42.899300
STATION_LONGITUDE_DEGREE	13.326800
STATION_ELEVATION_M	1030
LOCATION	
SENSOR_DEPTH_M	0.0
VS30_M/S	
SITE_CLASSIFICATION_EC8	A*
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION	
EPICENTRAL_DISTANCE_KM	19.2
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE	247.2
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_YYYYMMDD_HHMMSS	20161030_064005.480
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_PRECISION	milliseconds
SAMPLING_INTERVAL_S	0.005000
NDATA	12000
DURATION_S	60.000
STREAM	HGE
UNITS	cm/s^2
INSTRUMENT	sensor = Unknown [Unknown] digitizer = Unknown [Unknown]
INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL	D
INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ	
INSTRUMENTAL_DAMPING	
FULL_SCALE_G	
N_BIT_DIGITAL_CONVERTER	
PGA_CM/S^2	-185.324383
TIME_PGA_S	22.225000
BASELINE_CORRECTION	BASELINE REMOVED
FILTER_TYPE	BUTTERWORTH
FILTER_ORDER	2
LOW_CUT_FREQUENCY_HZ	0.050
HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ	30.000
LATE/NORMAL_TRIGGERED	NT
DATABASE_VERSION	DYNA 1.0
HEADER_FORMAT	DYNA 1.2
DATA_TYPE	ACCELERATION
PROCESSING	manual (Paolucci et al., 2011)
DATA_TIMESTAMP_YYYYMMDD_HHMMSS	20170711_162914.567
DATA_LICENSE	CC-BY3_0-IT (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.en)
DATA_CITATION	Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016). Engineering Strong Motion Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. doi 10.13127/ESM
DATA_CREATOR	ESM working group
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR_CITATION	Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile (http://www.protezionecivile.gov.it/)
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR	Rete Accelerometrica Nazionale - RAN Download (http://www.mot1.it/randownload/)

Dott. TONINO COLLETTA geologo specialista
Piazza del Popolo, 24 – 63073 OFFIDA (AP)

ORIGINAL_DATA_CREATOR_CITATION	Italian Strong Motion Network, Italian Civil Protection Department http://www.protezionecivile.gov.it
ORIGINAL_DATA_CREATOR	network IT (Italian Strong Motion Network); owner Dipartimento Della Protezione Civile
FILE_NAME	IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC
EVENT_NAME	CENTRAL_ITALY
EVENT_ID	EMSC-20161030_0000029
EVENT_DATE_YYYYMMDD	20161030
EVENT_TIME_HHMMSS	064018
EVENT_LATITUDE_DEGREE	42.8322
EVENT_LONGITUDE_DEGREE	13.1107
EVENT_DEPTH_KM	9.2
HYPOCENTER_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
MAGNITUDE_W	6.5
MAGNITUDE_W_REFERENCE	INGV-webservice
MAGNITUDE_L	6.1
MAGNITUDE_L_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
FOCAL_MECHANISM	NF
NETWORK	IT
STATION_CODE	MMO
STATION_NAME	Montemonaco
STATION_LATITUDE_DEGREE	42.899300
STATION_LONGITUDE_DEGREE	13.326800
STATION_ELEVATION_M	1030
LOCATION	
SENSOR_DEPTH_M	0.0
VS30_M/S	
SITE_CLASSIFICATION_EC8	A*
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION	
EPICENTRAL_DISTANCE_KM	19.2
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE	247.2
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_YYYYMMDD_HHMMSS	20161030_064005.480
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_PRECISION	milliseconds
SAMPLING_INTERVAL_S	0.005000
NDATA	12000
DURATION_S	60.000
STREAM	HGN
UNITS	cm/s^2
INSTRUMENT	sensor = Unknown [Unknown] digitizer = Unknown [Unknown]
INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL	D
INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ	
INSTRUMENTAL_DAMPING	
FULL_SCALE_G	
N_BIT_DIGITAL_CONVERTER	
PGA_CM/S^2	-185.085632
TIME_PGA_S	22.245000
BASELINE_CORRECTION	BASELINE REMOVED
FILTER_TYPE	BUTTERWORTH
FILTER_ORDER	2
LOW_CUT_FREQUENCY_HZ	0.050
HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ	30.000
LATE/NORMAL_TRIGGERED	NT
DATABASE_VERSION	DYNA 1.0
HEADER_FORMAT	DYNA 1.2
DATA_TYPE	ACCELERATION
PROCESSING	manual (Paolucci et al., 2011)
DATA_TIMESTAMP_YYYYMMDD_HHMMSS	20170711_162914.567
DATA_LICENSE	CC-BY3_0-IT (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.en)
DATA_CITATION	Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016). Engineering Strong Motion Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. doi 10.13127/ESM
DATA_CREATOR	ESM working group

ORIGINAL_DATA_MEDIATOR_CITATION	Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile (http://www.protezionecivile.gov.it/)
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR	Rete Accelerometrica Nazionale – RAN Download (http://www.motl.it/randownload/)
ORIGINAL_DATA_CREATOR_CITATION	Italian Strong Motion Network, Italian Civil Protection Department http://www.protezionecivile.gov.it
ORIGINAL_DATA_CREATOR	network IT (Italian Strong Motion Network); owner Dipartimento Della Protezione Civile
FILE_NAME	IV.T1212..HNE.D.20161026.171036.C.ACC
EVENT_NAME	CENTRAL_ITALY
EVENT_ID	EMSC-20161026_0000077
EVENT_DATE_YYYYMMDD	20161026
EVENT_TIME_HHMMSS	171036
EVENT_LATITUDE_DEGREE	42.8802
EVENT_LONGITUDE_DEGREE	13.1275
EVENT_DEPTH_KM	8.7
HYPOCENTER_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
MAGNITUDE_W	5.4
MAGNITUDE_W_REFERENCE	INGV-webservice
MAGNITUDE_L	5.4
MAGNITUDE_L_REFERENCE	INGV-CNT_Seismic_Bulletin
FOCAL_MECHANISM	NF
NETWORK	IV
STATION_CODE	T1212
STATION_NAME	Avendita PG
STATION_LATITUDE_DEGREE	42.751556
STATION_LONGITUDE_DEGREE	13.044636
STATION_ELEVATION_M	869
LOCATION	
SENSOR_DEPTH_M	1.0
VS30_M/S	
SITE_CLASSIFICATION_EC8	A*
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION	
EPICENTRAL_DISTANCE_KM	15.8
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE	25.3
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_YYYYMMDD_HH_MMSS	20161026_171027.496
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_PRECISION	milliseconds
SAMPLING_INTERVAL_S	0.005000
NDATA	7111
DURATION_S	35.555
STREAM	HNE
UNITS	cm/s^2
INSTRUMENT	sensor = Unknown [Unknown] digitizer = Unknown [Unknown]
INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL	D
INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ	
INSTRUMENTAL_DAMPING	
FULL_SCALE_G	
N_BIT_DIGITAL_CONVERTER	
PGA_CM/S^2	176.708485
TIME_PGA_S	16.135000
BASELINE_CORRECTION	BASELINE REMOVED
FILTER_TYPE	BUTTERWORTH
FILTER_ORDER	2
LOW_CUT_FREQUENCY_HZ	0.040
HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ	70.000
LATE/NORMAL_TRIGGERED	NT
DATABASE_VERSION	DYNA 1.0
HEADER_FORMAT	DYNA 1.2
DATA_TYPE	ACCELERATION
PROCESSING	manual (Paolucci et al., 2011)
DATA_TIMESTAMP_YYYYMMDD_HHMMSS	20170711_163424.002
DATA_LICENSE	CC-BY4_0 (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
DATA_CITATION	Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016). Engineering Strong Motion Database. Istituto Nazionale di Geofisica e

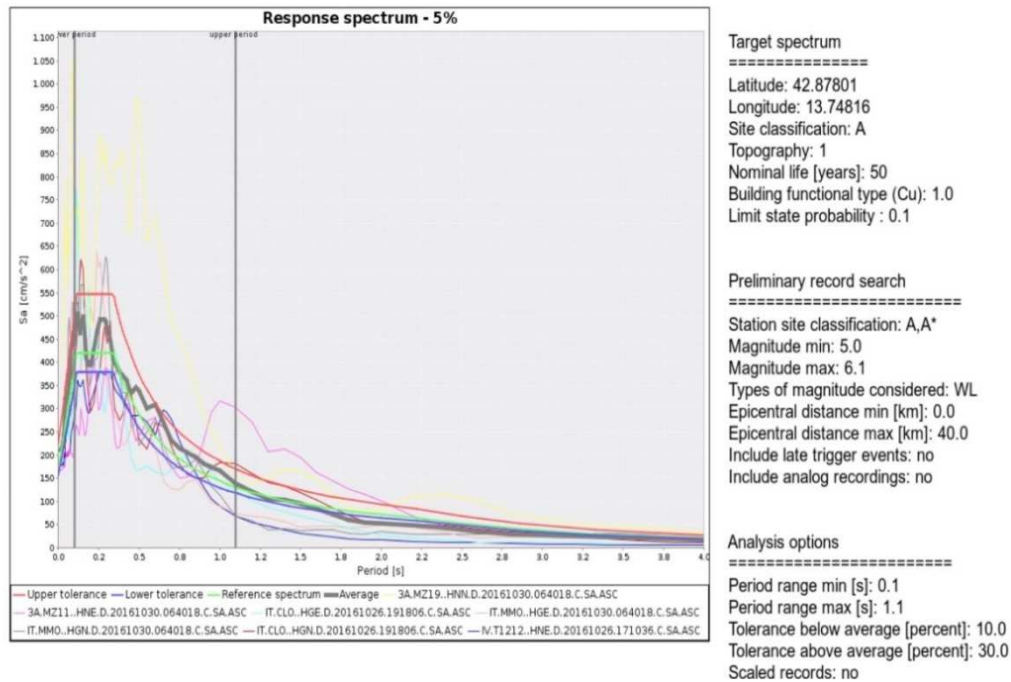
	Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. doi 10.13127/ESM
DATA_CREATOR	ESM working group
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR_CITATION	(C) INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
ORIGINAL_DATA_MEDIATOR	FDSN INGV Web Service (http://webservices.rm.ingv.it/fdsnws/dataselect/1/)
ORIGINAL_DATA_CREATOR_CITATION	Data for this study comes from the Italian national seismic network operated by Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia and archived at the European Integrated Data Archive http://eida.rm.ingv.it/
ORIGINAL_DATA_CREATOR	network IV (Italian National Seismic Network); owner Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia



Accelerogrammi di Input Colli del Tronto

MARCHE3 - COLLI DEL TRONTO (475yrs)

Mon Jul 10 13:06:28 CEST 2017



Spettro Compatibilità Colli del Tronto

7.1.5. Simulazioni numeriche bidimensionali (2D - fornito dal CentroMS)

Le simulazioni numeriche bidimensionali sono state eseguite dal Centro di Microzonazione Simica tramite l'utilizzo del codice di calcolo agli elementi finiti: QUAD4M (Hudson et al., 1994). Tale codice consente di effettuare analisi lineari equivalenti nel dominio del tempo risolvendo, tramite integrazione diretta nel dominio del tempo con il metodo di Newmark, il sistema di equazioni:

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

dove: u è il vettore degli spostamenti nodali; M la matrice delle masse globale; K la matrice delle rigidezze globale; C la matrice di smorzamento globale; \ddot{u}_b la storia temporale dell'accelerazione di input.

Il termine \ddot{u}_b esprime il moto sismico di input, il quale viene applicato simultaneamente a tutti i nodi della base sotto forma di onde trasversali SV o onde di compressione P con direzione di propagazione verticale.

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

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

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

In tal modo si adotta uno smorzamento dipendente dalla frequenza secondo la formulazione di Rayleigh.

Nel codice QUAD4M i coefficienti di Rayleigh vengono calcolati in funzione di due frequenze naturali dell'intero deposito, ω_m e ω_n :

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

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

in cui ξ_i è il rapporto di smorzamento viscoso dell'i-esimo elemento finito; $\omega_m = \omega_1$, prima frequenza naturale di vibrazione del deposito di terreno; $\omega_n = n\omega_1$ essendo n l'intero dispari che approssima per eccesso il rapporto tra la frequenza predominante dell'input sismico ω_{IN} e la frequenza ω_1 .

Tale procedura permette di ottenere risultati in buon accordo con quelli calcolati da modelli a smorzamento indipendente dalla frequenza (Lanzo et al., 2004).

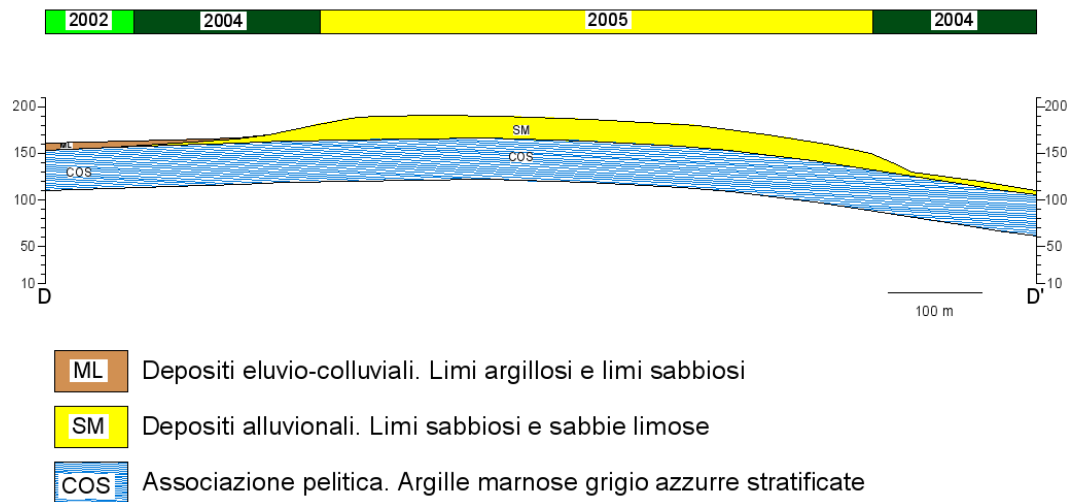
L'accuratezza della soluzione e l'onere computazionale sono influenzati dalle caratteristiche della mesh, a tal proposito, il modello geologico tecnico relativo alle sezioni esaminate è stato discretizzando attraverso elementi finiti triangolari le cui dimensioni massime sono state determinate seguendo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

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

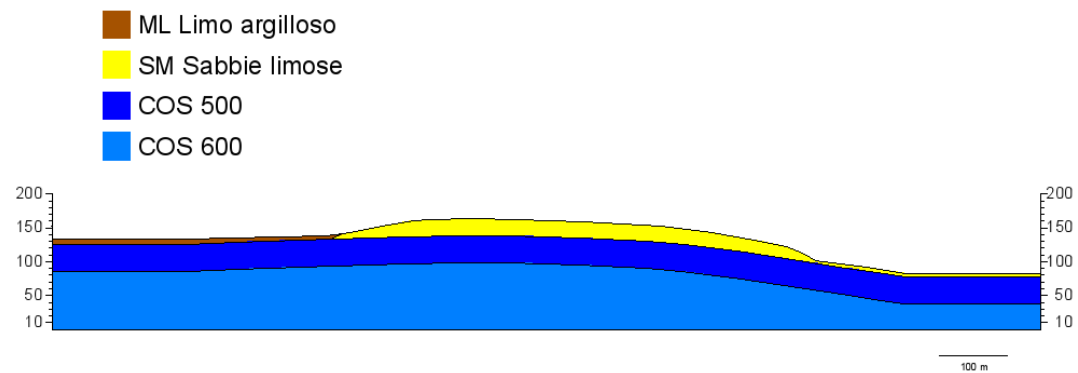
dove V_s è la velocità di propagazione delle onde di taglio valutata per ogni litotipo oggetto di analisi, e K è un coefficiente posto pari a 8 (Lanzo e Silvestri, 1999).

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

I parametri input adottati sono quelli sopra riportati in termini di spettro compatibilità e accelerogrammi.



Sezione Geologico-Tecnica e Modello Numerico



Sezione 2D Colli del Tronto

Litologia	Y [kN/m ³]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	ν	Curve Dinamiche	h* [m]
ML	20	300	735	0,4	Curve laboratorio	2,0
SM	20	300	735	0,4	Curve laboratorio	2,0
COS 500	21	500	1224	0,4	Curve laboratorio	3,0
COS 600	21	600	1469	0,4	Curve laboratorio	4,0
Bedrock	22	800	1960	0,4		

Caratteristiche Meccaniche e Geometriche Sezione Colli del Tronto.

*h= Altezza max elementi mesh

7.1.6. Risultati dell'analisi

I risultati delle analisi di risposta sismica locale sono rappresentati nel seguito in termini di parametri caratteristici dei moti sismici calcolati in superficie, spettri di risposta di pseudo-accelerazione PSA dei moti sismici calcolati in superficie e fattori di amplificazione del moto sismico.

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

$$FA = \frac{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0,4}^{0,8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0,1}^{0,8} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0,7}^{1,1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0,7}^{1,1} PSA_{in}(T) dT}$$

dove PSA_{output} è lo spettro di risposta di pseudo-accelerazione del moto sismico, calcolato in superficie, mentre PSA_{input} è lo spettro di risposta di pseudo-accelerazione del moto sismico calcolato al bedrock.

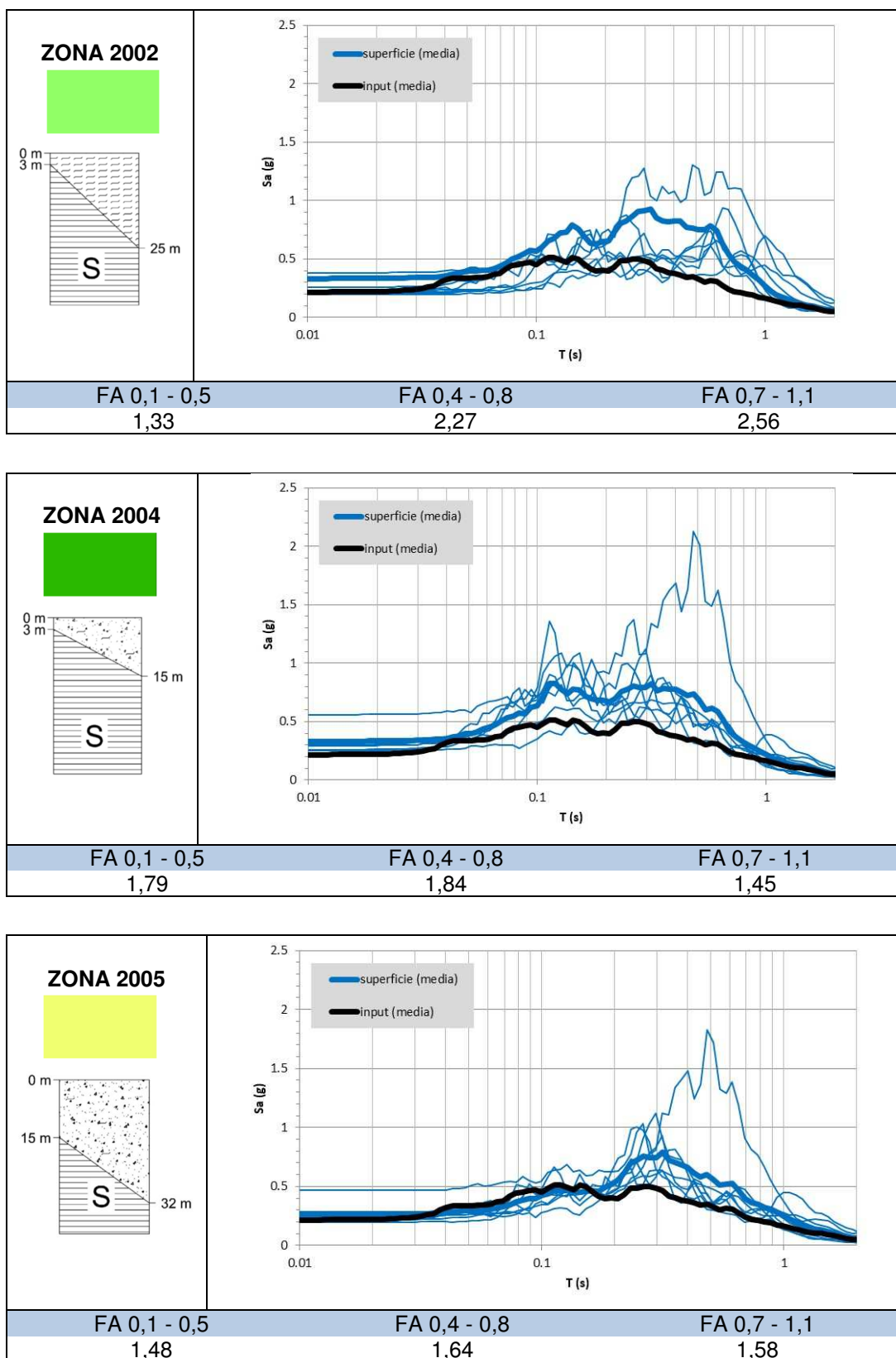
Tramite le formule indicate per tutti i punti di output e per ogni intervallo, è stata calcolata la media logaritmica dei valori del fattore di amplificazione relativi ai sette accelerogrammi di input, come riportato nell'equazione seguente:

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

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

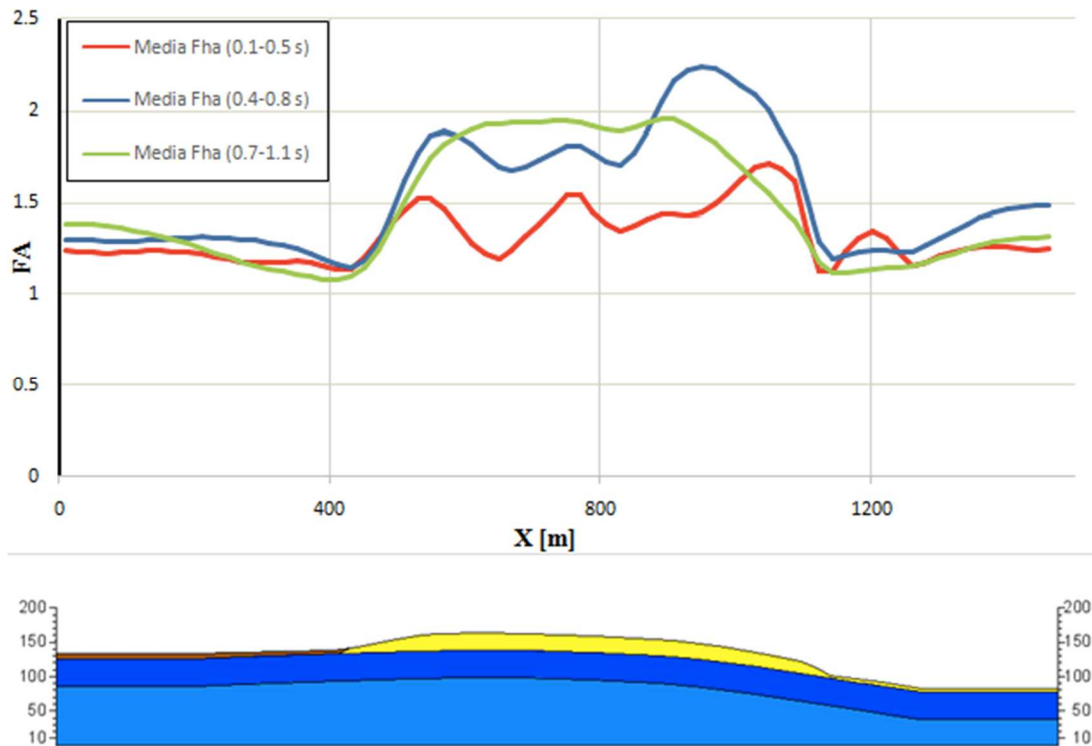
7.1.7. Risultati Analisi Monodimensionali 1D

I risultati sono organizzati secondo lo schema che segue:



7.1.8. Risultati analisi bidimensionali 2D (fornito dal CentroMS)

I risultati delle simulazioni numeriche bidimensionali sono stati espressi in termini di fattore di amplificazione FA definito come intensità di Housner (Housner, 1952), i cui valori sono stati calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output per tre differenti intervalli di integrazione (0,1 s ÷ 0,5 s, 0,4 s ÷ 0,8 s e 0,7 s ÷ 1,1 s) e i corrispondenti parametri di input:



Modello adottato per i risultati in termini di fattore di amplificazione (FA) Sez. Colli del Tronto

Di seguito i valori del fattore di amplificazione simica 2D per ogni singolo nodo e relativa media rapportata alla singola MOPS, tenendo presente che il modello di riferimento ha previsto un “allungamento” di 200 m a inizio e fine, rispetto alla sezione litostratigrafica.

Nodi	X [m] modello	X [m] sezione	FA ₁ [0.1-0.5s]	FA ₂ [0.4-0.8s]	FA ₃ [0.7-1.1s]
1	10,0		1,24	1,3	1,38
2	30,1		1,23	1,3	1,38
3	50,1		1,23	1,29	1,37
4	70,1		1,22	1,29	1,37
5	90,2		1,23	1,29	1,36
6	110,2		1,23	1,29	1,34
7	130,2		1,24	1,29	1,33
8	150,3		1,24	1,3	1,31
9	170,3		1,23	1,3	1,3
10	190,3		1,22	1,31	1,27

	200,0	0,0	1,22	1,31	1,27
11	210,4	10,4	1,22	1,31	1,25
12	230,4	30,4	1,20	1,31	1,22
13	250,4	50,4	1,19	1,30	1,20
14	270,5	70,5	1,17	1,3	1,18
15	290,5	90,5	1,17	1,29	1,16
	299,3	99,3	1,17	1,29	1,16
	valore medio MOPS 2002		1,19	1,30	1,21

16	310,5	110,5	1,17	1,28	1,14
17	330,5	130,5	1,17	1,27	1,12
18	350,6	150,6	1,18	1,25	1,1
19	370,6	170,6	1,17	1,22	1,09
20	390,6	190,6	1,15	1,19	1,08
21	410,6	210,6	1,13	1,16	1,08
22	430,6	230,6	1,14	1,14	1,09
23	450,3	250,3	1,20	1,18	1,15
24	469,9	269,9	1,30	1,27	1,24
	483,0	283,0	1,30	1,27	1,24
	valore medio MOPS 2004		1,19	1,22	1,13

25	489,5	289,5	1,38	1,43	1,36
26	509,1	309,1	1,46	1,62	1,50
27	528,9	328,9	1,52	1,77	1,63
28	548,8	348,8	1,52	1,86	1,74
29	568,8	368,8	1,47	1,88	1,81
30	588,8	388,8	1,37	1,86	1,86
31	608,8	408,8	1,28	1,81	1,90
32	628,8	428,8	1,22	1,75	1,92
33	648,8	448,8	1,19	1,70	1,93
34	668,9	468,9	1,24	1,68	1,94
35	688,9	488,9	1,31	1,69	1,94
36	708,9	508,9	1,38	1,73	1,94

37	728,9	528,9	1,46	1,77	1,94
38	748,9	548,9	1,54	1,80	1,94
39	768,9	568,9	1,54	1,80	1,93
40	788,9	588,9	1,45	1,77	1,91
41	808,9	608,9	1,38	1,72	1,90
42	828,9	628,9	1,35	1,70	1,89
43	848,9	648,9	1,37	1,77	1,90
44	868,9	668,9	1,40	1,90	1,93
45	888,8	688,8	1,44	2,05	1,95
46	908,8	708,8	1,44	2,16	1,95
47	928,6	728,6	1,42	2,22	1,92
48	948,5	748,5	1,44	2,24	1,87
49	968,3	768,3	1,49	2,23	1,82
50	988,1	788,1	1,55	2,19	1,76
51	1007,9	807,9	1,62	2,14	1,69
52	1027,7	827,7	1,69	2,08	1,62
53	1047,4	847,4	1,71	2,00	1,55
54	1066,9	866,9	1,68	1,88	1,47
55	1086,5	886,5	1,62	1,74	1,40
	1091,0	891,0	1,62	1,74	1,40
	valore medio MOPS 2005		1,45	1,87	1,79

56	1105,0	905,0	1,34	1,52	1,29
57	1123,0	923,0	1,12	1,29	1,18
58	1142,0	942,0	1,13	1,19	1,12
59	1161,9	961,9	1,23	1,21	1,12
60	1181,7	981,7	1,30	1,23	1,13
61	1201,6	1001,6	1,34	1,24	1,13
62	1221,3	1021,3	1,31	1,24	1,14
63	1241,1	1041,1	1,23	1,23	1,14
64	1260,8	1060,8	1,15	1,23	1,15
	valore medio MOPS 2004		1,24	1,26	1,16

65	1280,8		1,17	1,26	1,17
67	1320,8		1,23	1,34	1,22
68	1340,9		1,24	1,38	1,25
69	1360,9		1,26	1,41	1,27
70	1380,9		1,26	1,44	1,28
71	1400,9		1,26	1,46	1,30
72	1420,9		1,25	1,48	1,30
73	1441,0		1,24	1,48	1,31
74	1461,0		1,24	1,49	1,31

Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0,1-0,5s, 0,4-0,8s, 0,7-1,1s

7.1.9. Confronto tra i risultati analisi monodimensionali 1D e bidimensionali 2D

Sono di seguito illustrati i risultati di analisi della risposta sismica locale effettuate con modelli numerici 1D (STRATA) e 2D (QUAD4M) sulla sezione longitudinale “DD” che attraversa l’abitato di Colli del Tronto.

Dal confronto tra i risultati delle modellazioni, in termini di coefficiente di amplificazione F_a , si notano all’interno della singola MOPS, delle differenze più o meno marcate, in tutti gli intervalli di periodo considerato.

		FA ₁ [0.1-0.5s]	FA ₂ [0.4-0.8s]	FA ₃ [0.7-1.1s]
MOPS 2002	<i>modellazione 2D</i>	1,19	1,30	1,21
	<i>modellazione 1D</i>	1,33	2,27	2,56
MOPS 2004	<i>modellazione 2D</i>	1,19	1,30	1,21
	<i>modellazione 1D</i>	1,79	1,84	1,45
MOPS 2005	<i>modellazione 2D</i>	1,19	1,30	1,21
	<i>modellazione 1D</i>	1,48	1,64	1,58
MOPS 2004	<i>modellazione 2D</i>	1,24	1,26	1,16
	<i>modellazione 1D</i>	1,79	1,84	1,45

Come è noto, i modelli di risposta sismica bidimensionali sono da preferire nei confronti di quelli monodimensionali, in quanto, quest’ultimi non sono in grado di cogliere fenomeni come la focalizzazione delle onde sismiche, diffrazione ai bordi con generazione di onde di superficie, “imprigionamento delle onde sismiche” e interferenza tra onde di volume e di superficie con generazione di un campo d’onda complesso.

Trascurare il contributo di tali fenomeni, può portare a sottostimare, in maniera più o meno significativa, l’amplificazione sismica locale.

Tuttavia, nel caso in esame i valori di F_a dell’analisi monodimensionale risultano più cautelativi rispetto a quelli dell’analisi 2D e pertanto poiché risulta azzardato estendere valori puntuali di 2D alle zone limitrofe senza l’esatta conoscenza delle problematiche bidimensionale (sia sepolte sia topografiche) si è preferito adottare i valori dell’analisi numerica monodimensionale perché più prudente.

7.2. Zone instabili

L'attenta rilettura critica dell'assetto stratigrafico, idrogeologico e dei parametri geotecnici ha predisposto, come nelle zone stabili suscettibili di amplificazione, una miglior definizione del modello di partenza che ha comportato di conseguenza una differente perimetrazione di tali zone.

L'approfondimento del livello 3 rispetto al precedente livello 1, ha generato quindi un risultato diverso rispetto a quello del livello 1, le cui differenze sono di seguito schematizzate, tenendo presente che non sono state evidenziate per l'area indagata faglie attive e capaci, in entrambi i livelli:

Carta MOPS mzs livello 1 <i>codice zona</i>	Carta MOPS mzs livello 3 <i>codice zona</i>
ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante	30132002
	30152002
ZALQ - Zona di attenzione per liquefazioni	-----

7.2.1. Liquefazioni (LQ)

Tale instabilità riportata nella Carta MOPS di livello 1 è stata eliminata poiché non si sono ravvisati, a prescindere dall'azione sismica attesa, fattori predisponenti associabili alla potenziale perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Infine, ma non meno importante, si annovera la totale assenza di segnalazioni di fenomeni di liquefazione avvenuti in passato da documenti storici.

7.2.2. Instabilità di versante sismoindotte (FR)

I fenomeni di instabilità di versante sismoindotti, sono intesi come frane che devono il loro movimento, oltre a caratteri predisponenti, alla forzante sismica.

Le sollecitazioni sismiche per natura, essendo azioni di tipo dinamico e ciclico, producono rispetto al caso statico un'incremento delle forze destabilizzanti e una riduzione delle azioni resistenti.

Il primo, legato alla natura dinamica dell'azione sismica, genera all'interno del pendio delle forze inerziali variabili nel tempo e nello spazio (eterogeneità del terreno, effetti di

amplificazione litostratigrafica ed effetti di amplificazione topografica), mentre il secondo effetto, legato alla natura ciclica dell'azione sismica, induce nei terreni fenomeni di fatica con degradazione dei parametri di resistenza e accumulo delle pressioni interstiziali (Prof. Ing. Claudia Madiati - Università Degli Studi Di Firenze).

7.2.3. Analisi e Risultati dei dati

Tutti i movimenti franosi censiti, a seguito della consultazione della documentazione pregressa e nei database (PAI, IFFI, ...), unitamente a fenomeni attivi riscontrati durante la ricognizione di campo effettuata, hanno conoscenze esclusivamente parziali circa le geometrie, stratigrafie, parametri geotecnici nonché delle condizioni idrauliche dei terreni coinvolti.

Nonostante l'attenta osservazione dei fenomeni franosi, che in taluni casi potrebbe indurre a presumere un'accelerazione del movimento gravitativo, in assenza di informazioni dettagliate e complete, attribuire ai fenomeni franosi un nesso esclusivo di casualità ed effetto da fenomeni sismici è molto arduo.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1. Carta delle indagini (CI)

Le 153 indagini geotecniche e geofisiche complessivamente utilizzate per questo studio sono descritte nel Capitolo 4. Di queste, 141 sono indagini pregresse e le restanti 12 sono state appositamente realizzate per questo studio.

La distribuzione delle indagini pregresse, proprio per loro derivazione è casuale, mentre le indagini nuove sono state ubicate all'interno del perimetro di microzonazione sismica di terzo livello, in particolare dove, oltre ad essere strategiche per una pianificazione futura "coprivano" zone scarsamente indagate.

Di seguito si riporta la tabella schematica riassuntiva per tipologia e quantità:

INDAGINE		NUMERO		
sigla	tipologia	totale	pregresse	nuove
S	<i>sondaggio a carotaggio continuo</i>	1	1	
SD	<i>sondaggio a distruzione di nucleo</i>	15	15	
SS	<i>sondaggio a carotaggio continuo con intercettazione del substrato</i>	11	10	1
SDS	<i>sondaggio a distruzione del nucleo con intercettazione del substrato</i>	25	25	
DS	<i>prova penetrometrica dinamica super pesante</i>	28	28	
PA	<i>pozzi per acqua</i>	39	39	
HVSR	<i>registrazioni sismiche passive di microtremore a stazione singola</i>	27	23	4
MASW	<i>multichannel analysis of surface waves</i>	5		5
DH	<i>Down-Hole</i>	1		1
SC	<i>Sondaggio con prelievo di campione</i>	1		1

Tutte le prove utilizzate sono rappresentate nella Carta delle Indagini, riportata in allegato ed archiviate nel database associato. La carta e il database sono stati realizzati secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica versione 4.0b.

8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni

La carta delle frequenze fondamentali, ovvero i valori ricavati dai grafici di picco H/V delle indagini HVSR nuove (n.4) e pregresse (n.23) è stata redatta indicando le collocazioni puntuali delle indagini con una simbologia idonea e gradata, nella quale viene riportato il grado dell'intensità della frequenza e dell'ampiezza.

La cartografia così strutturata, permette di avere un quadro di lettura immediato della profondità dell'interfaccia risonante, attraverso il valore di frequenza (colore del simbolo), nonché dell'intensità del contrasto d'impedenza, mediante il valore dell'ampiezza (diametro del simbolo).

Sono elencate di seguito le frequenze fondamentali individuate nell'intervallo d'interesse (0.1 - 20 Hz) e le rispettive ampiezze.

<i>id</i>	<i>Note</i>	<i>frequenza fondamentale - F_0</i>	<i>Ampiezza - A_0</i>
P117	MZSI	1,41	2,95
P118	MZSI	10,53	1,96
P119	MZSI	2,66	1,94
P120	MZSI	12,69	2,65
P121	MZSI	2,5	1,87
P124	MZSI	1,53	2,11
P125	MZSI	14,13	2,31
P126	MZSI	13,015	3,962
P127	MZSI	5,762	2,018
P128	MZSI	4,159	2,499
P129	MZSI	15,093	3,324
P130	MZSI	1,869	2,777
P131	MZSI	13,209	3,664
P132	MZSI	1,565	2,082
P133	MZSI	3,806	1,741
P134	MZSI	17,765	2,025
P135	MZSI	2,20	2,001
P136	MZSI	7,523	2,67
P137	MZSI	2,104	2,095
P138	MZSI	19,706	2,937
P139	MZSI	19,416	2,018
P140	MZSI	2,589	3,018
P141	MZSI	4,221	2,767
P142	MZSIII	1,303	2,062
P143	MZSIII	2,379	2,003
P144	MZSIII	0,84	2,13
P145	MZSIII	1,643	2,01

Analizzando i dati in termini frequenziali si può evidenziare una sostanziale eterogeneità del valore della frequenza fondamentale f_0 .

Si alternano misure con picchi HVSR aventi valori a 10 Hz, che denotano la presenza di un contrasto superficiale e frequenze dell'ordine di pochi Hz, che denotano la presenza di un pacco risonante di alcune decine di metri.

In particolare quello a più alta frequenza, più superficiale, dovuto a un effetto di sito attribuibile presumibilmente al contatto depositi della copertura con il substrato argilloso e uno più profondo localizzato all'interno della formazione argillosa.

Come detto la frequenza fondamentale di sito non sempre rappresenta l'interfaccia bedrock sismico-coperture, pertanto l'attenta lettura delle analisi ha evidenziato che molte delle HVSR hanno restituito altri picchi significativi.

La lettura integrata dei due picchi ha consentito, utilizzando un metodo semplificato speditivo, di convertire tali frequenze in spessori di profondità, permettendo un'identificazione preliminare dell'interfaccia risonante bedrock sismico-coperture.

Questo tipo d'indagine non sostituisce un'analisi di dettaglio ma ha il solo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo.

<i>id</i>	<i>Max Peak – Fo (Hz)</i>	<i>Second Peak (Hz)</i>	<i>profondità bedrock sismico (m)</i>
P117	1,41		30-50
P118		2,90	30-50
P119	2,66		30-50
P120			30-50
P121	2,50		30-50
P124	1,53		50-100
P125		2,31	30-50
P126		1,50	50-100
P127		2,30	30-50
P128		1,90	50-100
P129		1,30	50-100
P130	1,87		50-100
P131		1,10	50-100
P132	1,57		30-50
P133		2,20	30-50
P134		2,10	30-50
P135	2,20		30-50
P136		0,80	>100
P137		0,90	>100
P138		2,00	30-50
P139		1,10	>100
P140	2,59		50-100
P141		2,20	30-50
P142	1,30		>100
P143	2,38		30-50
P144		2,10	30-50
P145	1,64		>100

8.3. Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS)

Per la realizzazione della Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS) e delle relative sezioni in scala 1: 2.000 che schematizzano i principali rapporti geologico - stratigrafici, è stato effettuato un rilevamento geologico di dettaglio unitamente alla consultazione delle cartografie disponibili (Carta Geologica Regionale in

scala 1:10.000, Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000, PRG, PAI, IFFI, etc) e delle indagini geognostiche reperite.

In tale elaborato, necessario per la definizione del modello del sottosuolo e funzionale alla realizzazione della Carta delle MOPS di livello 1, vengono riportati:

- in verde i sondaggi che hanno raggiunto il substrato e relativa profondità del substrato in metri dal p.c.;
- in rosso i sondaggi che non hanno raggiunto il substrato e relativa profondità in metri dal p.c.
- in celeste i pozzi in aree con sabbie e/o ghiaie e relativa profondità della falda (soggiacenza) in metri dal p.c.

Sono state inoltre evidenziate e distinte le unità della copertura da quelle del substrato e le principali forme e processi morfologici (aree in frana e relativo stato di attività, scarpate morfologiche, etc), al fine di identificare le zone suscettibili di amplificazioni locali.

Le coperture, come indicato nello "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica", vengono cartografate solo quando il loro spessore supera i 3,0 m.

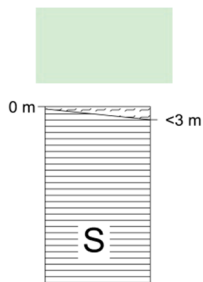
8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

La carta MOPS di livello 3, come già ampiamente descritte nel capitolo 7, nasce come revisione e aggiornamento della carta MOPS del livello 1.

Si ribadisce che non sono inserite zone stabili in quanto i substrati geologici affioranti, non hanno velocità delle onde di taglio ($V_s > 800 \text{ m/sec}$) tali da poter essere definiti come substrato sismico.

- **Zone Stabili suscettibili di amplificazione**

ZONA 2001

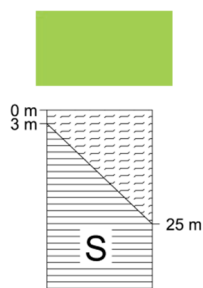


Coperture costituite da limi argillosi e limi sabbiosi prevalenti a granulometria mista ed indistinta in assenza di stratificazione.

Poco addensati a consistenza da bassa a medio bassa in spessori fino a 3,0 m.

Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre

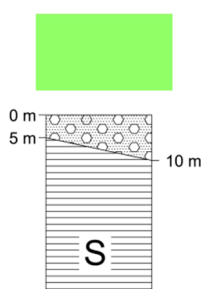
ZONA 2002



Coperture costituite da limi argillosi e limi sabbiosi prevalenti a granulometria mista ed indistinta in assenza di stratificazione. Poco addensati a consistenza da bassa a medio bassa in spessori compresi tra 3,0 e 25,0 m.

Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre.

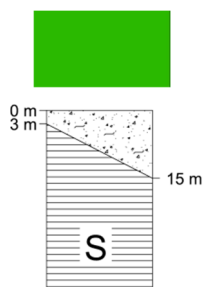
ZONA 2003



Coperture costituite ghiaie in matrice sabbiosa, in subordine sabbie limose e limi sabbiosi in spessori compresi tra 5,0 e 10,0 m. Più raramente sono presenti intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi.

Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre

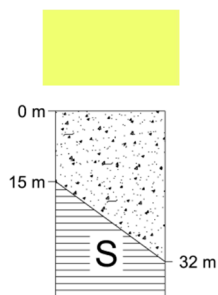
ZONA 2004



Coperture costituite limi sabbiosi e/o sabbie limose prevalenti in spessori compresi tra 3,0 e 15,0 m. Si rinvencono orizzonti ghiaiosi a varie altezze stratigrafiche; più raramente intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi.

Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre

ZONA 2005



Coperture costituite limi sabbiosi e/o sabbie limose prevalenti in spessori compresi tra 15,0 e 32,0 m. Si rinvencono orizzonti ghiaiosi a varie altezze stratigrafiche; più raramente intercalazioni lenticolari e/o tabulari di limi argillosi.

Il substrato geologico è coesivo sovraconsolidato e stratificato costituito da argille e argille marnose grigio-azzurre

- **Zone di attenzione per instabilità**



ZA_{FR} - ZONA ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE

Coperture eluvio colluviali interessate da dinamica attiva di versante censiti nel Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del Fiume Tronto i cui perimetri sono riportati in maniera fedele e confermati dalla ricognizione di campo effettuata, inquadrabili come

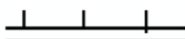
- colata (codice 3013)
- non definito (soliflusso 3012)

- **Punti di misura del rumore ambientale**



Dalle misure del rumore ambientale e relative curve H/V, elaborate con i software grilla e geoexplorer si sono ottenuti i valori di frequenza fondamentale di sito (F0) e talora di frequenze secondarie, nell'ambito del range d'interesse ingegneristico)

- **Forme di superficie e sepolte**



Orlo di terrazzo fluviale (10÷20m). Sono aree in cui potrebbero verificarsi fenomeni di amplificazione del moto sismico.

8.5. Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3

Dall'analisi numerica monodimensionale (1D e 2D) si sono ricavati gli spettri di risposta ed i fattori di amplificazione stratigrafica (FA) nei n°3 intervalli di tempo previsti; questi hanno consentito l'elaborazione delle n°3 carte di microzonazione di livello 3.

È bene precisare che l'analisi ha riguardato solo le aree comprese all'interno del perimetro di livello 3 che comprende n°3 delle n°5 zone MOPS nelle quali è stato suddiviso il territorio comunale secondo il perimetro definito in sede di studio di livello 1.

Gli accelerogrammi calcolati in superficie, gli spettri di risposta ed i fattori di amplificazione per le n°3 zone MOPS sono stati ampiamente descritti nel capitolo 7.

Di seguito viene proposta una tabella riassuntiva della categoria di sottosuolo secondo le NTC 2008 con indicazione della velocità delle onde "S" nei primi 30,0 m di profondità per ognuna delle n°3 zone MOPS presenti all'interno del perimetro di III° livello.

Per il calcolo della $V_{s,30}$ si fa riferimento alle condizioni stratigrafiche definite in sede di calcolo degli spettri di risposta con il codice "STRATA", utilizzando la relazione prevista dalle NTC2008:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i è lo spessore e $V_{s,i}$ è la velocità delle onde "S" dello strato i -esimo.

zona MOPS	$V_{s,30}$	categoria sottosuolo
2002	234 m/s	C
2004	326 m/s	C
2004	362 m/s	B

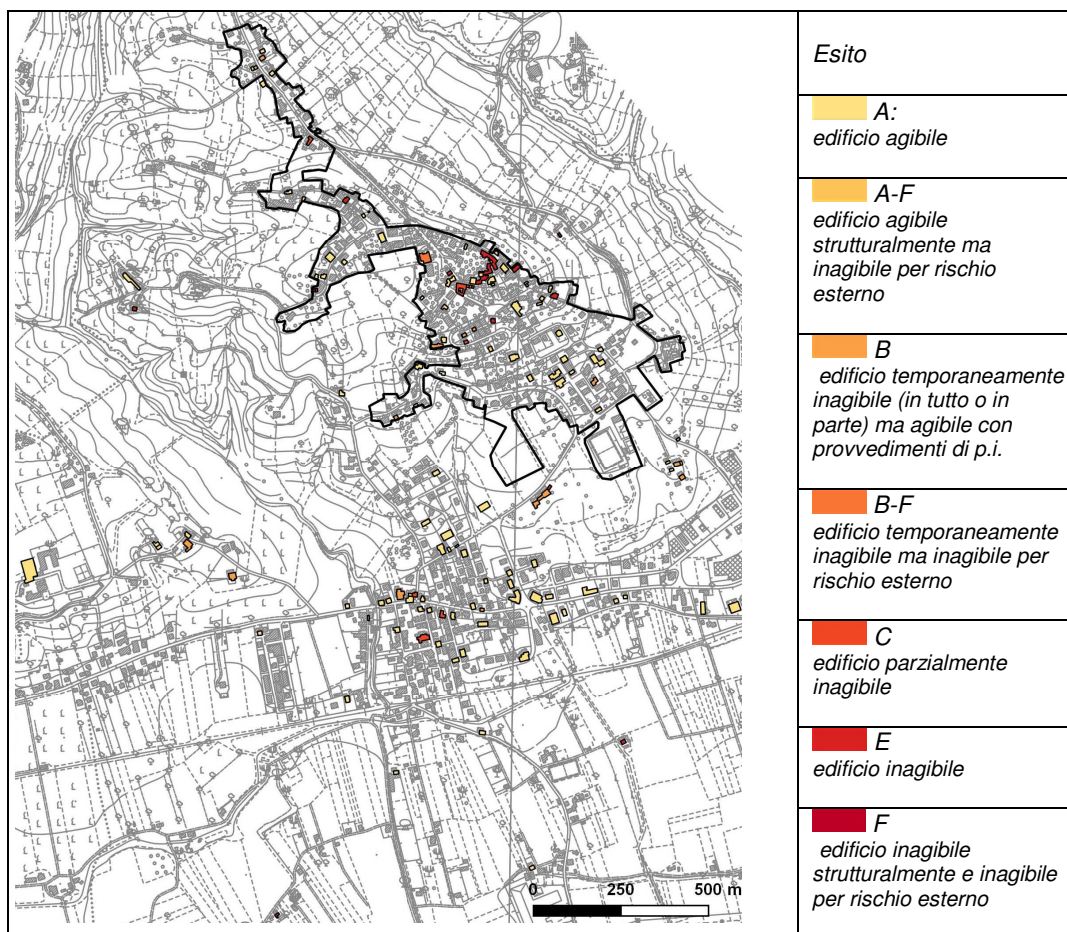
Per le categorie di sottosuolo previste, è opportuno puntualizzare che tali valori sono espressione di una procedura che in taluni casi, in mancanza di dati sperimentali misurati in situ, ha previsto approssimazioni e/o estrapolazioni; pertanto è da considerare solo come indicativa e non sostitutiva d'indagini sito-specifiche che i progettisti dovranno pianificare in caso d'interventi.

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

La storia sismica del territorio comunale di Colli del Tronto è stata illustrata nel capitolo 2, nel quale sono riportati i principali eventi sismici che lo hanno interessato, tuttavia la ricerca relativa a danni sul territorio comunale provocati da tali eventi, non ha fornito elementi utili per il presente studio, pertanto non è stato possibile confrontare le risultanze dello studio con scenari di danneggiamento sismico passati.

Discorso diverso invece con la sequenza sismica 2016-2017, in cui la gestione emergenziale dei sopralluoghi è stata organizzata e gestita attraverso l'uso del software ERIKUS della Regione Piemonte, che ha consentito, tra le altre cose, la rappresentazione cartografica delle domande di sopralluogo post-terremoto presentate dai cittadini al Comune e relativi esiti di agibilità. In figura sono riportati, gli edifici e relativi esiti, sia all'interno sia all'esterno del perimetro, caratterizzati da esiti di tipo diverso.

Gli esiti d'inagibilità si sono registrati in particolar modo all'interno del perimetro, in corrispondenza dell'abitato storico (MOPS 2005), dove, da una valutazione speditiva, gli edifici risultano più vulnerabili a causa delle carenze strutturali.



10. BIBLIOGRAFIA

- Carta Geologica Regionale in scala 1: 10.000 (CARG);
- Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000 (Fg. N. 132 - Norcia)
- Indagine geologica per il P.R.G. in adeguamento al P.P.A.R. (Geol. Giovanni Mancini)
- Studio di fattibilità geologica, geomorfologica ed idrogeologica inerente la lottizzazione residenziale Villa San Giuseppe (Geol. Daniele Morganti)
- AA. VV. Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Tronto (PAI) Approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 3 del 07/06/2006
- AA.VV. - Progetto IFFI - Inventario dei fenomeni franosi in Italia. Realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome
- AA.VV. – L'ambiente fisico delle Marche – Edizioni SELCA e Regione Marche, 177206, Firenze
- AA.VV. – “La Geologia delle Marche” - Studi Geologici Camerti, volume speciale (1986) –a cura di Centamore E. e Deiana G.
- BARCHI M., GALADINI F., LAVECCHIA G., MESSINA P., MICHETTI A.M., PERUZZA L., PIZZI A., TONDI E., VITTORI E. (2000) - Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica. CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 62 pp.
- CANTALAMESSA G. (2003) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia – Foglio 304 CIVITANOVA MARCHE
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., COLALONGO M. L., MICARELLI A., NANNI T., PASINI G., POTETTI M., RICCI LUCCHI F., con la collaborazione di CRISTALLINI C. & DI LORITO L. (1986)- Il Plio-Pleistocene delle Marche. Studi Geologici Camerti, volume speciale "La Geologia delle Marche", 61-81.
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DIDASKALOU P., MICARELLI A., & POTETTI M. – Elementi di correlazione nella successione marina plio-pleistocenica del bacino periadriatico marchigiano. Studi Geol. Camerti. (in stampa).
- CANTALAMESSA G., MICARELLI A., PICCINI M., POTETTI M. & RICCI LUCCHI F. (1993)-Physical stratigraphy of Pleistocene nearshore and continental deposits in southern Marche (between Aso and menocchia valleys). International Symposium on dynamics of fluvial-coastal system and environmental changes. Abstracts.

- CASNEDI R., CRESCENTI U. & TONNA M. (1984) – Evoluzione della avanfossa adriatica meridionale nel Plio-Pleistocene sulla base di dati del sottosuolo. Mem. Soc. Geol. It., 24.
- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M., BERTI D., BIGI S., MORELLI C. & RIDOLFI M. (1991) - Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del miocene e del pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe – Studi geologici Camerti vlume speciale.
- CENTAMORE E., PAM, BIANCHI G., DEIANA G. CALAMITA F., CELLO G., DRAMIS F., GENTILI B., NANNI T. (1991) - Ambiente fisico delle Marche Geologia – Geomorfologia – Idrogeologia: Scala 1:100.000 - Regione Marche assessorato Urbanistica Ambiente Ecologia Programmazione.
- Database of Individual Seismogenic Sources, versione 3, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.
- Database macrosismico italiano. DBMI15 associato al catalogo CPTI15 release 1.5, realizzato da Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016 CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes Istituto Nazionale Di Geofisica E Vulcanologia doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.ITCPTI15>. Linea di attività INGV T3 “Pericolosità sismica e contributi alla definizione del rischio” e quale contributo alle attività dell'Allegato “A” dell'accordo quadro INGV-DPC 2012-2021.
- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica - ICMS (Dipartimento di Protezione Civile Nazionale).
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Versione 4.0.b (Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica).
- COLLETTA T. (2017), Indagini di Microzonazione Sismica di Livello 1 del comune di Colli del Tronto (V annualità).

Tali studi hanno fornito utili indicazioni per inquadrare il territorio comunale in un contesto più ampio, relativamente soprattutto alle condizioni geologiche e geomorfologiche.

Sono state infine consultate e utilizzate svariate indagini geologico-tecniche, di committenza pubblica e privata, reperite presso l'Ufficio Tecnico del Comune di Colli del Tronto (AP).

Offida, 18-01- 2018

G E O L O G O
Dr. Tonino Colletta
Ordine dei Geologi della Regione Marche
– n.575 sezione “A” –