



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77
 OPCM 4007 / 2012

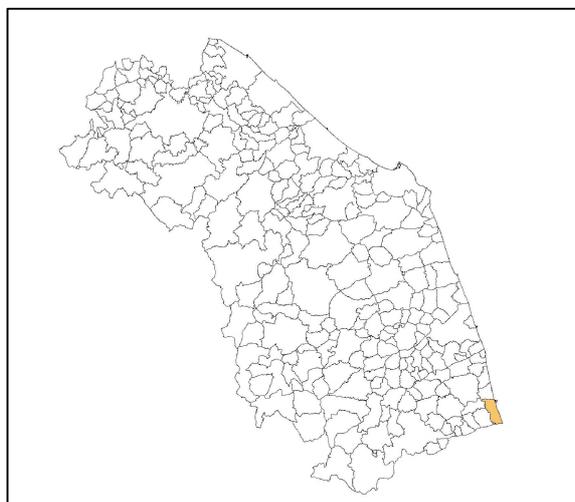
PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA. ANNUALITA' 2011

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Marche

Comune di San Benedetto del Tronto



Regione



Soggetto realizzatore



Studio Geologi Associati
 Via XX Settembre, 76 06124 PERUGIA

Geol. Luciano Faralli
 Geol. Nello Gasparri
 Geol. Riccardo Piccioni
 Geol. Luca D. Venanti

Collaboratori

Geol. Alessandro Speciali
 Dott.ssa Laura Fiorucci

Data

Settembre 2013

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE.....	2
1.1 FINALITÀ DEGLI STUDI.....	2
1.2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA DI INDAGINE.....	2
1.3 DEFINIZIONE DELLA CARTOGRAFIA DI BASE.....	2
1.4 ELENCO ARCHIVI CONSULTATI.....	3
1.5 ELENCO ELABORATI.....	3
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1 SISMICITÀ STORICA.....	4
2.2 PERICOLOSITÀ DI BASE.....	6
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	8
3.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICO STRUTTURALI GENERALI.....	8
3.2 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GENERALI.....	9
3.3 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE GENERALI.....	11
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	14
4.1 INDAGINI PREGRESSE.....	14
4.1.1 INDAGINI PUNTUALI - INDAGINI GEOTECNICHE.....	14
4.1.2 INDAGINI PUNTUALI - INDAGINI GEOFISICHE.....	20
4.1.3 INDAGINI LINEARI - INDAGINI GEOFISICHE.....	20
4.2 INDAGINI REALIZZATE.....	21
4.2.1 INDAGINI GEOFISICHE – PROVE DI SISMICA PASSIVA HVSR.....	21
4.2.2 INDAGINI GEOFISICHE – PROVE DI SISMICA ATTIVA TIPO MASW.....	24
4.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GEOFISICHE.....	25
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	30
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	35
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONI E RISULTATI.....	37
7.1 ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ.....	37
7.1.1 ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ PER LIQUEFAZIONE.....	37
7.1.2 ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ PER INSTABILITÀ DI VERSANTE.....	37
7.1.3 ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ PER CROLLI DI CAVITÀ SOTTERRANEE.....	37
7.2 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI.....	38
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	42
8.1 CARTA DELLE INDAGINI.....	42
8.2 CARTA GEOLOGICO- TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.....	42
8.3 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (LIVELLO 1).....	45
9. BIBLIOGRAFIA.....	49
10. ALLEGATI.....	50

1. INTRODUZIONE

1.1 FINALITÀ DEGLI STUDI

Per incarico del Comune di San Benedetto del Tronto, lo studio S.G.A. Studio Geologi Associati, con sede in Perugia, ha effettuato le indagini di microzonazione sismica di livello 1, ai sensi della O.P.C.M. 29 febbraio 2012, n.4007 e della D.G.R. 23 ottobre 2012, n. 1470, in un'area del Comune di San Benedetto del Tronto indicata dall'amministrazione comunale, osservabile nelle cartografie realizzate e in esse denominata come "area di indagine".

Per la realizzazione dello studio sono state eseguite le seguenti attività propedeutiche in ordine cronologico:

- raccolta dei dati bibliografici;
- raccolta delle indagini pregresse disponibili presso l'amministrazione comunale, altre amministrazioni pubbliche e attraverso la consultazione di database pubblici;
- analisi stereoscopica di foto aeree;
- rilevamento geologico di dettaglio ad integrazione delle cartografie geologiche di base a disposizione;
- realizzazione campagna di indagini geofisiche integrative.

Tali attività hanno permesso di realizzare il presente studio di microzonazione sismica di I livello costituito dalla presente relazione e dagli elaborati esplicitati nei seguenti paragrafi. Tutti gli elaborati sono stati realizzati secondo gli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS - 2008) e gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Microzonazione Sismica, versione 2.0 del giugno 2012 (SRAI 2012), mediante l'utilizzo di software dedicato operante in ambiente GIS.

1.2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA DI INDAGINE

L'area di indagine è stata concordata con l'Amministrazione Comunale considerando le specifiche esigenze di carattere urbanistico della stessa.

Il Territorio comunale di San Benedetto del Tronto confina con il Comune di Grottammare a N, con quello di Martinsicuro a S, e con i comuni di Acquaviva Picena e Montepandone ad O. Il territorio in questione è costituito da una fascia costiera ed un'area basso collinare, posta ad E. Fascia costiera e area collinare sono tagliate trasversalmente dai principali corsi d'acqua della zona (Fiume Tronto, Torrente Ragnola, Torrente Albula), con direzione di scorrimento E-O. L'area di indagine è costituita: dall'intera fascia costiera, dalla parte della piana alluvionale del Fiume Tronto ricadente all'interno del territorio comunale (escludendo l'area della Riserva Naturale Regionale Sentina), dalla piana alluvionale del Torrente Albula ricadente nel territorio comunale e da una parte dell'area basso collinare di particolare interesse urbanistico. I confini dell'area di indagine possono essere facilmente osservabili nelle cartografie parte del presente studio.

1.3 DEFINIZIONE DELLA CARTOGRAFIA DI BASE

Per la redazione degli elaborati cartografici è stata utilizzata la Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) Regione Marche, scala originaria 1:10.000, vettoriale, georeferenziata (Gauss - Boaga, Roma 40).

Sono state utilizzate le seguenti sezioni: sez. 327030; sez. 327070; sez. 327110.

Per la realizzazione di tutte le cartografie, come indicato negli SRAI, il sistema di riferimento utilizzato è WGS84UTM33N.

In fase di stampa, la cartografia è stata riprodotta, in scala 1:5.000, ingrandendo la suddetta cartografia di base.

1.4 ELENCO ARCHIVI CONSULTATI

Sono stati consultati i seguenti archivi:

- Archivio lavori pubblici e privati - Comune di San Benedetto del Tronto;
- Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (L.464/84) – Servizio Geologico d'Italia/ISPRA;
- Cartografia PAI - Regione Marche;
- Cartografia PAI - Bacino Interregionale Fiume Tronto;
- Cartografia geologica regionale in scala 1:10.000, Servizio Ambiente e Paesaggio, sez.ni 327030, 327070, 327110;
- Banca dati Progetto IFFI – ISPRA;
- Database Macrosismico Italiano DBMI11 – INGV;
- Catalogo faglie capaci (progetto ITHACA) – Servizio Geologico d'Italia/ISPRA;
- Volo foto aeree GAI, anno 1954, F.gli 133-134, Strisciata 59 - foto 2230 e 2231, strisciata 61 - foto 2434-2435.

1.5 ELENCO ELABORATI

Lo studio di Microzonazione Sismica è composto dai seguenti elaborati:

- Carta delle indagini - Area Nord, scala 1:5.000;
- Carta delle Indagini - Area Sud, scala 1:5000;
- Carta geologica - tecnica - Area Nord, scala 1:5.000;
- Carta geologica - tecnica - Area Sud, scala 1:5.000;
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Area Nord scala 1:5.000;
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Area Sud scala 1:5.000;
- Relazione illustrativa, con i seguenti allegati esterni:
 - Sezioni geologico-tecniche - Allegato 1;
 - Indagini geofisiche integrative - Allegato 2.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 SISMICITÀ STORICA

Il territorio marchigiano è stato nel tempo sede di evidente attività sismica, sia per l'intensità dei terremoti, che per la loro frequenza.

Dall'anno 1000 ad oggi, si possono contare circa una ventina di eventi distruttivi con zona epicentrale in territorio marchigiano. Tra i più recenti che hanno prodotto maggiori danni si possono citare quelli di Senigallia (AN) nel 1930, di Castignano (AP) nel 1943, quello di Ancona del 1972, fino alle recenti sequenze sismiche dell'Appennino Umbro-Marchigiano del settembre ottobre 1997.

Oltre ai terremoti che si sono generati nel territorio marchigiano è necessario ricordare quelli con epicentro nelle regioni limitrofe ma che hanno prodotto danni anche nelle Marche. Tipico esempio è Norcia che è stata colpita il 14 gennaio 1703 da uno dei sismi più forti della storia sismica italiana. Tale evento, fu risentito con effetti distruttivi anche nel territorio marchigiano.

La zonazione sismogenetica del territorio nazionale (Zonazione Sismogenetica ZS9 – INGV, 2004), assegna la Regione Marche alle zone 917 e 918.

Dal Database Macrosismico Italiano 2011 (DBMI11) dell'INGV (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi - Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>), è consultabile la storia sismica del comune di San Benedetto del Tronto, nella quale sono riassunti 34 eventi a partire dall'anno 1870.

In particolare si osserva che la massima intensità di sito, **Is**, è del VII gradi della scala Mercalli (MCS), per eventi di intensità epicentrale, **Io**, del VII grado MCS del 1882 di Grottammare, con una magnitudo Richter di circa 5.02.

Un'intensità di sito **Is** del VI grado (MCS), è inoltre relativa ad un evento di intensità epicentrale, **Io**, del XI grado MCS del terremoto del 1915 di Avezzano, con una magnitudo Richter di circa 7.0.

Un'intensità di sito **Is** del V-VI grado (MCS), è inoltre relativa ad un evento di intensità epicentrale, **Io**, del VIII grado MCS del terremoto del 1930 di Senigallia, con una magnitudo Richter di circa 5.81.

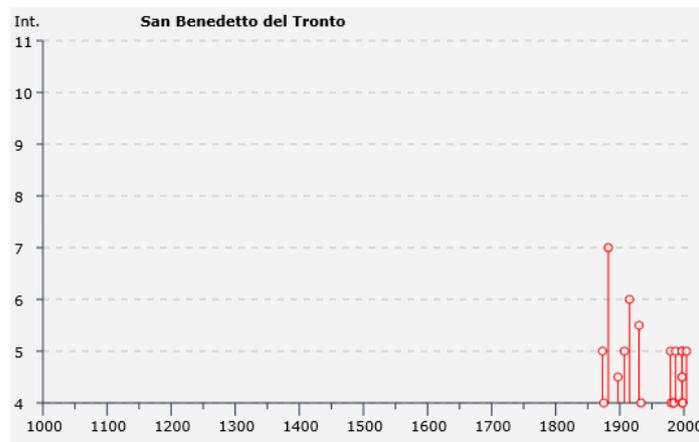
Storia sismica di San Benedetto del Tronto [42.934, 13.893]

Numero di eventi: 34

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
3	<u>1870 02 08</u>	NUMANA	10	7 5.10 ±0.54
5	<u>1873 03 12 20:04</u>	Marche meridionali	196	8 5.95 ±0.10
4	<u>1875 12 06</u>	S.MARCO IN LAMIS	97	8 5.98 ±0.16
7	<u>1882 08 16</u>	GROTTAMMARE	13	7 5.02 ±0.47
4-5	<u>1897 09 21</u>	ADRIATICO CENT.	44	7 5.46 ±0.27
NF	<u>1897 12 18 07:24</u>	Appennino umbro-marchigiano	132	7 5.13 ±0.14
NF	<u>1898 06 27 23:38</u>	RIETI	186	8 5.49 ±0.12
NF	<u>1898 08 25</u>	VISSO	66	7 5.04 ±0.29
5	<u>1907 01 23 00:20</u>	Adriatico centrale	93	5.06 ±0.15

Effetti		In occasione del terremoto del:		
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
NF	<u>1911 02 19 07:18</u>	Romagna meridionale	181	7 5.28 ±0.11
6	<u>1915 01 13 06:52</u>	Avezzano	1041	11 7.00 ±0.09
NF	<u>1924 01 02 08:55</u>	Medio Adriatico	76	7-8 5.36 ±0.16
5-6	<u>1930 10 30 07:13</u>	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09
4	<u>1933 09 26 03:33</u>	Maiella	326	9 5.95 ±0.09
3	<u>1934 11 30 02:58</u>	Alto Adriatico	51	5.34 ±0.17
F	<u>1951 05 25 20:42</u>	ADRIATICO	5	5.06 ±0.32
5	<u>1979 09 19 21:35</u>	Valnerina	694	8-9 5.86 ±0.09
4	<u>1980 11 23 18:34</u>	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
NF	<u>1983 11 09 16:29</u>	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4	<u>1984 04 29 05:02</u>	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7 5.65 ±0.09
4	<u>1984 05 07 17:49</u>	Appennino abruzzese	912	8 5.89 ±0.09
3-4	<u>1986 10 13 05:10</u>	Appennino umbro-marchigiano	322	5-6 4.65 ±0.09
5	<u>1987 07 03 10:21</u>	PORTO SAN GIORGIO	359	5.09 ±0.09
NF	<u>1990 05 05 07:21</u>	Potentino	1374	5.80 ±0.09
5	<u>1997 09 26 00:33</u>	Appennino umbro-marchigiano	760	5.70 ±0.09
5	<u>1997 09 26 09:40</u>	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 6.01 ±0.09
4	<u>1997 10 03 08:55</u>	Appennino umbro-marchigiano	490	5.25 ±0.09
4-5	<u>1997 10 06 23:24</u>	Appennino umbro-marchigiano	437	5.46 ±0.09
4-5	<u>1997 10 14 15:23</u>	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8 5.65 ±0.09
4	<u>1998 04 05 15:52</u>	Appennino umbro-marchigiano	395	6 4.81 ±0.09
NF	<u>2003 05 25 17:15</u>	Zona Ascoli Piceno	92	5 4.15 ±0.18
5	<u>2004 12 09 02:44</u>	Zona Teramo	224	5-6 4.18 ±0.09
NF	<u>2005 04 12 00:31</u>	Maceratese	137	4-5 4.16 ±0.14
2-3	<u>2006 04 10 19:03</u>	Maceratese	211	5 4.51 ±0.10

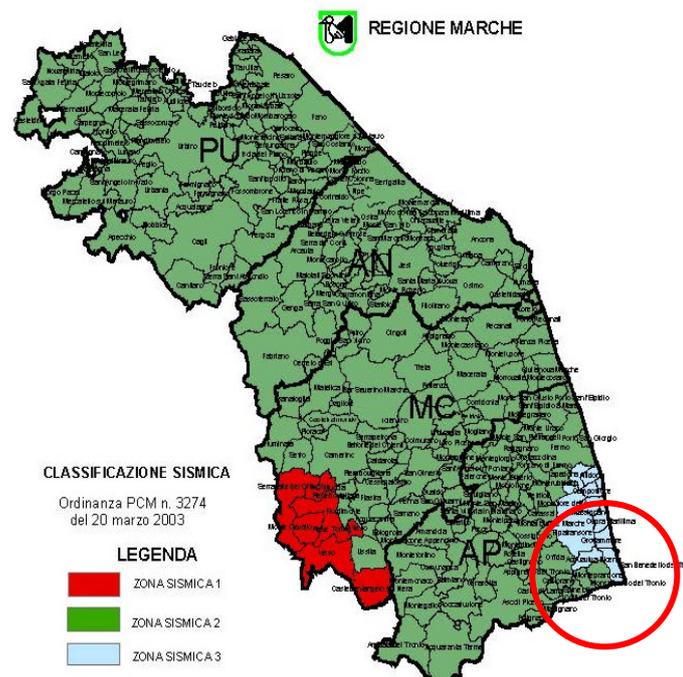
Storia sismica di San Benedetto del Tronto, tabella – DBMI11 - INGV



Storia sismica di San Benedetto del Tronto, grafico – DBMI11 - INGV

2.2 PERICOLOSITÀ DI BASE

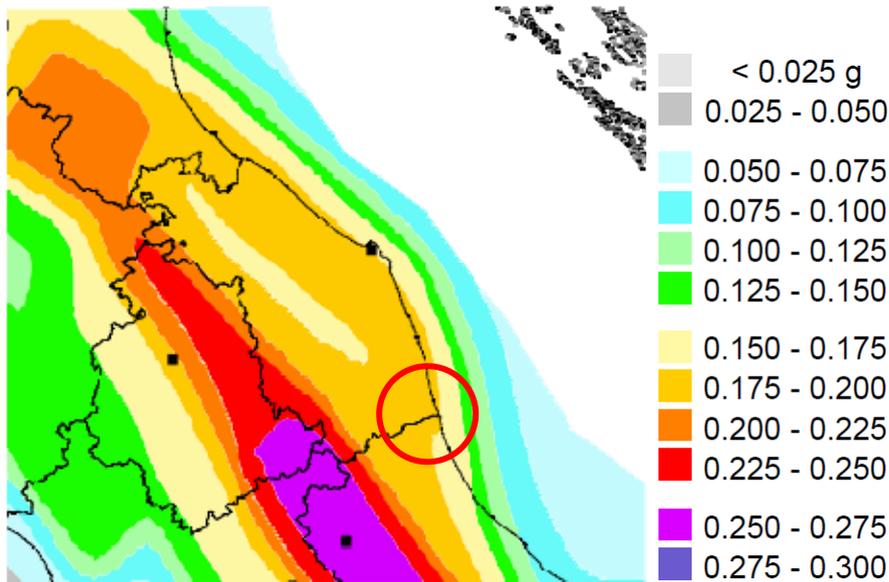
Il territorio comunale di San Benedetto del Tronto (AP), è attualmente classificato come *zona sismica 3*, come evidenziato dalla D.G.R. del 29 luglio 2003 n. 1046.



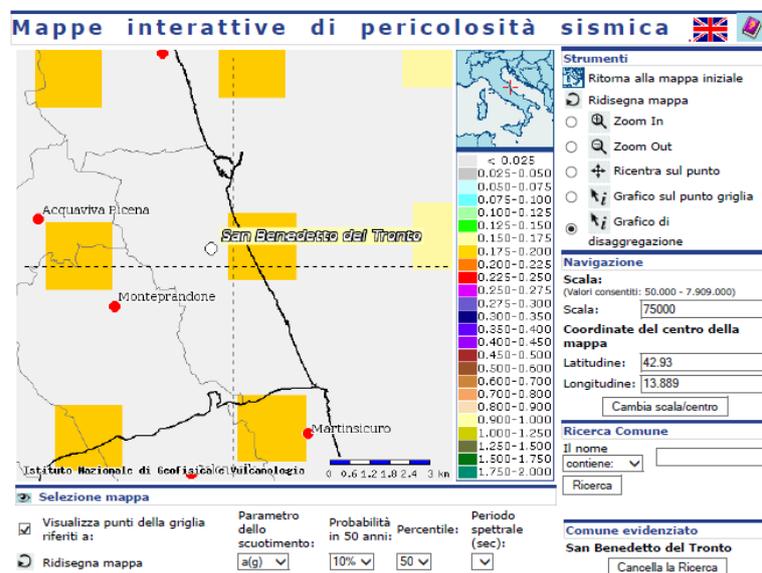
Classificazione sismica dei comuni della REGIONE MARCHE (DGR 1046/2003)

Per quanto concerne la Pericolosità sismica di base, si è fatto riferimento alla vigente Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b) e alla Mappa interattiva di Pericolosità Sismica del progetto DPC-INGV S1 (consultabili al sito <http://esse-1gis.mi.ingv.it>), INGV,

entrambe analogamente espresse in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a sottosuoli molto rigidi ($V_s > 800$ m/s, Cat. A).



Mapa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale (stralcio per la Regione Marche con individuazione dell'area di interesse) – INGV



Mapa di Pericolosità Sismica del Comune di San Benedetto del Tronto - INGV

Si osserva come l'intero territorio comunale di San Benedetto del Tronto ricada completamente all'interno della fascia con $0.175 < a_{max} < 0.200$ g.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area d'indagine individuata per lo studio di MZS livello 1, sono state principalmente ricavate:

- dall'analisi dei dati bibliografici raccolti;
- dalla recente cartografia geologica della Regione Marche in scala 1:10.000;
- da un rilevamento geologico e geomorfologico di superficie in scala 1:5.000;
- dall'analisi delle risultanze delle indagini reperite e realizzate;
- dall'analisi stereoscopica di foto aeree.

Per il rilevamento geologico di campagna e per la definizione dei principali elementi geomorfologici è stato utilizzata una base topografica in scala originaria 1:2.000, realizzata dal Comune di San Benedetto del Tronto, nell'anno 2007, attraverso specifico volo aerofotogrammetrico.

3.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICO STRUTTURALI GENERALI

Il territorio comunale di San Benedetto del Tronto, è limitato ad ovest dai comuni di Montepandone e Acquaviva, a nord dal comune di Grottammare, a sud dal Comune di Martinsicuro e ad est dal Mare Adriatico.

Gran parte dell'abitato si è sviluppato lungo la fascia costiera, costituita da una cimosa sabbiosa che si raccorda, alle spalle, con una fascia collinare, degradante verso il mare, con quote s.l.m. medie generalmente inferiori ai trecento metri.

La fascia collinare, costituita da terreni argillosi, sabbioso-arenacei e ghiaiosi di età plio-pleistocenici, è caratterizzata da una serie di corsi d'acqua disposti perpendicolarmente alla linea di costa.

La fascia collinare è caratterizzata da un paesaggio dolce, con una estesa monoclinale che, costituita da termini terrigeni, immerge di alcuni gradi verso E-NE.

Di seguito una breve descrizione dei processi strutturali e sedimentari che hanno interessato le Marche e più specificatamente l'area oggetto di studio.

Nell'era terziaria (Miocene), con l'emersione della catena appenninica, si è creato, fra l'emergente catena (appenninica) e l'attuale costa adriatica, un ampio bacino di avanfossa che si estendeva dalla Valpadana al Golfo di Taranto.

I movimenti orogenetici che hanno portato al sollevamento degli attuali rilievi marchigiani hanno influenzato i processi sedimentari verificatisi nel bacino stesso.

I movimenti orogenetici hanno dato luogo, nelle Marche, ad un sistema di pieghe parallele ed allungate, con asse parallelo alla costa adriatica.

Schematizzando al massimo i processi che hanno interessato la regione possiamo dire che all'inizio del Lias un'intensa attività tettonica distensiva, provocando l'emersione della piattaforma carbonatica, crea il bacino Umbro-Marchigiano.

I fenomeni regressivi, verificatisi nel Cretaceo, danno poi luogo, nel bacino, ad una sedimentazione prettamente pelitica.

Nel terziario, con la completa chiusura del bacino Ligure-Piemontese, emersa già la catena alpina, inizia, a spese del margine africano, la formazione della catena appenninica.

Nel Miocene inferiore prende forma il bacino Umbro che costituisce la più antica avanfossa, a sedimentazione torbidity, del dominio Umbro-Marchigiano.

Da un punto di vista strutturale, partendo da ovest verso est, ci si trova di fronte alla seguente successione: bacino umbro, dorsale umbro-marchigiana, bacino marchigiano interno, dorsale marchigiana, bacino marchigiano esterno.

Il bacino marchigiano esterno, ove ricade l'area in esame, assume nel Messiniano i caratteri di un'avanfossa torbidity, colmata dalla successione silicoclastica della Formazione della Laga.

La sedimentazione marina continua con la deposizione delle "Argille azzurre" (Pliocene - Pleistocene inferiore) ed è chiusa dai depositi litoranei della Formazione di Fermo (Pleistocene inferiore). Questa successione poggia in unconformity su un substrato piegato ed eroso costituito generalmente dalla Formazione della Laga.

Durante il Pliocene-Pleistocene inferiore l'attività tettonica ha condizionato l'assetto morfologico del bacino marchigiano esterno. Con la fine del Pleistocene inferiore tutta la fascia periadriatica marchigiana emerse per effetto di un fenomeno di sollevamento generalizzato e i depositi marini Plio-pleistocenici assunsero il caratteristico assetto monoclinale con leggera immersione verso E-NE.

Nell'area di interesse, i depositi marini e litoranei affioranti sono le "Argille azzurre" e la "Formazione di Fermo".

La Formazione delle Argille azzurre è delimitata alla base e al tetto da due superfici di discontinuità a carattere regionale: l'inferiore, ubicata alla base del Pliocene e non affiorante nell'area di interesse, la separa dalle formazioni messiniane, quella di tetto la pone a contatto con la Formazione di Fermo del Pleistocene inferiore. La formazione delle Argille azzurre, nel suo insieme, ha uno spessore di varie centinaia di metri.

Al di sopra del substrato geologico, costituito nell'area dalla Formazione delle Argille azzurre e dalla Formazione di Fermo, sono particolarmente diffuse le coperture quaternarie, come i depositi eluvio colluviali, i corpi di frana ed i depositi alluvionali attuali e terrazzati.

Le alluvioni terrazzate vengono tradizionalmente suddivise in quattro ordini in base all'altezza relativa delle superfici terrazzate sul fondovalle.

3.2 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GENERALI

Le caratteristiche litologiche generali dell'area di indagine sono state ricavate dall'analisi della cartografia geologica della Regione Marche a scala 1:10.000, da osservazioni di superficie e dall'analisi delle indagini reperite.

Nella descrizione delle caratteristiche litologiche dei corpi sedimentari presenti si è fatto riferimento inizialmente alla descrizione ed alla definizione delle unità litologiche indicate nella carta geologica regionale in scala 1:10.000, per poi integrare tali descrizioni con i dati raccolti da osservazioni di superficie e dalle varie indagini reperite.

Di seguito si descriveranno le unità geologiche individuate in senso temporale andando dalle più antiche alle più recenti.

- Formazione delle Argille azzurre

Associazione Pelitica (FAA - Pleistocene inf. p.p. - Pliocene inf.)

La Formazione delle Argille azzurre ha uno spessore, nel suo complesso, di varie centinaia di metri. L'associazione pelitica della Formazione delle Argille azzurre, affiorante nel territorio di interesse è caratterizzata da peliti grigio azzurre più o meno siltose in strati sottili con subordinati livelli di silt, che ne evidenziano la stratificazione; dove gli straterelli siltosi sono meno evidenti le argille appaiono più massive. Dalle osservazioni effettuate in campagna non solo nel territorio in esame ma anche nelle aree al contorno si è osservata all'interno di tale unità una generale stratificazione.

- Formazione di Fermo

Litofacies arenacea (FMEc - Pleistocene inf. p.p.)

La litofacies arenacea della Formazione di Fermo ha, nell'area di stretto interesse uno spessore massimo di circa 50 m. E' costituita da arenarie debolmente cementate o da sabbie da addensate a molto addensate di colore giallastro. Le sabbie appaiono spesso con laminazione piano parallela od ondulata, raramente si osservano laminazioni inclinate.

Litofacies conglomeratica (FMEa - Pleistocene inf. p.p.)

E' presente al tetto delle litofacies arenacea. Può essere riferita sia ad ambiente continentale che ad ambiente marino. La litofacies conglomeratica della Formazione di Fermo ha, nell'area di stretto interesse, uno spessore massimo di qualche decina di metri. E' costituita da conglomerati debolmente cementati e da ghiaie da addensate a molto addensate a matrice prevalentemente sabbiosa giallastra, massivi.

- Sintema di Urbisaglia

Alluvioni terrazzate (bn4URS - Pleistocene medio-Pleistocene inf.)

Ne fanno parte i terrazzi tradizionalmente definiti del I° ordine e topograficamente più elevati in quota. Sono costituiti da ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa, solitamente ben assortite e addensate. Lo spessore massimo è di circa 20 m.

- Supersintema di Colle Ulivo

Alluvioni terrazzate (bn3AC - Pleistocene medio)

Ne fanno parte i terrazzi tradizionalmente definiti del II° ordine. Sono bibliograficamente descritti come ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa, massivi con intercalazioni di sabbie. Le osservazioni di campagna e l'analisi dei dati raccolti, evidenziano invece una prevalenza di sabbie limose sia in affioramento che in profondità, con presenza di lenti e livelli metrici intercalati di ghiaie limose e sabbiose con matrice in percentuale variabile. Lo spessore massimo è di circa 25-30 m.

- Sintema di Matelica

Alluvioni terrazzate (bn2MAT - Pleistocene superiore)

Ne fanno parte i terrazzi tradizionalmente definiti del III° ordine. Sono bibliograficamente descritti come ghiaie sabbiose poligeniche con sabbie limose al tetto. Le osservazioni di campagna e l'analisi dei dati raccolti, evidenziano una prevalenza di limi sabbiosi e sabbie limose sia in affioramenti che in profondità con, solo in alcune aree, un passaggio alla base a miscele di sabbie e ghiaie. Le indagini a disposizione non forniscono in tutte le aree dati sullo spessore di tali depositi, si può stimare una spessore massimo superiore ai 20 m.

- Sistema del Fiume Musone

Alluvioni terrazzate (b1nMUS - Olocene)

Ne fanno parte i terrazzi tradizionalmente definiti del IV° ordine. Sono bibliograficamente descritti come ghiaie sabbiose poligeniche con sabbie limose al tetto. Le indagini a disposizione evidenziano una prevalenza, sia in affioramento che in profondità di limi sabbiosi, sabbie limose e limi. Nella piana alluvionale del Fiume Tronto è omogeneamente osservabile, alla base, al contatto con il substrato geologico costituito dalle Argille azzurre, un banco di ghiaie di spessore plurimetrico. E' inoltre possibile la presenza di lenti e livelli di ghiaie subordinate, intervallate ai terreni medio-fini prima descritti.

Lo spessore risulta massimo in corrispondenza della valle alluvionale del Fiume Tronto e dalle indagini a disposizione non supera generalmente i 40 m.

Depositi di piana costiera (g6mus - Olocene)

Sono bibliograficamente descritti come depositi ghiaioso sabbiosi di spiaggia recente. Le indagini a disposizione evidenziano una prevalenza sia in affioramento che in profondità di alternanze di sabbie e sabbie ghiaiose, solo in alcune limitate aree si osservano prevalenti depositi ghiaiosi. Lo spessore massimo di tali depositi non supera i 20 m.

Depositi eluvio colluviali (b2MUS - Olocene)

Sono bibliograficamente descritti come depositi limoso argillosi e subordinatamente limoso sabbiosi. Le indagini a disposizione indicano granulometrie variabili da argilloso-limose a francamente sabbiose con a volte presenza di frazione ghiaiosa. Le caratteristiche granulometriche di tali depositi risultano funzione dei litotipi di origine. Lo spessore è solitamente piuttosto limitato, generalmente inferiore a 10 m.

Depositi di spiaggia attuale (g2aMUS - Olocene)

Sono bibliograficamente descritti come depositi prevalentemente sabbiosi di spiaggia attuale, le indagini confermano tale dato evidenziando la presenza di alternanze di sabbie e sabbie ghiaiose da poco assortite a ben assortite.

Depositi alluvionali attuali (bMUS - Olocene)

Depositi prevalentemente ghiaiosi dell'alveo dei principali corsi d'acqua. La distribuzione di tali depositi è stata ripresa dalle carte geologiche in scala 1:10.000 della Regione Marche.

Depositi di frana (a1MUS-Olocene)

Materiali prevalentemente argillosi ed argilloso sabbiosi e subordinatamente arenacei e ghiaioso-conglomeratici, derivanti da movimenti franosi. Nelle frane di maggiori dimensioni, coinvolgenti il substrato geologico, il dissesto può non aver alterato i rapporti stratigrafici tra le unità costituenti il basamento geologico che però risultano ruotate, con assetto giaciturale non coerente e a volte ribassate. I corpi di frana hanno spessori variabili, le grandi frane possono avere spessori di varie decine di metri.

3.3 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE GENERALI

L'area del territorio comunale di San Benedetto del Tronto ricade nell'ambito del bacino periadriatico marchigiano, il substrato geologico, come precedentemente detto, è rappresentato da terreni pliocenici e pleistocenici terrigeni con prevalente assetto monoclinale con debole vergenza adriatica, pressoché sub orizzontale, emersi durante le ultime fasi del sollevamento tettonico generalizzato.

Il paesaggio è caratterizzato da quote s.l.m. medie piuttosto limitate, la massima altitudine osservabile nell'intero territorio comunale è di circa 280 m s.l.m.

I dislivelli rispetto ai fondovalle risultano sempre moderati e il paesaggio è dominato da ampie aree sub-pianeggiate.

Di particolare importanza nella definizione dell'attuale assetto geomorfologico è stato l'intenso sollevamento generale che ha avuto luogo dal Pliocene superiore e che è origine dell'emersione e della formazione dei rilievi. Tale sollevamento ha indotto un generale e rapido approfondimento dell'erosione lineare. A questo approfondimento del reticolo idrografico vanno ricondotte sia la creazione delle principali valli e vallecole che solcano l'area, incise dai corsi d'acqua, sia il modellamento dei versanti collinari su cui, l'aumento di acclività causato dalle incisioni fluviali ha generato condizioni favorevoli all'insorgere di movimenti gravitativi e di fenomeni di ruscellamento.

L'alternanza di condizioni climatiche fredde e temperate avvenuta durante il Quaternario sono legate rispettivamente a erosione dei versanti-sedimentazione lungo i fondovalle e a prevalente erosione lineare lungo le aste fluviali.

Gli effetti morfoevolutivi di tali variazioni climatiche sono riconoscibili lungo gli assi vallivi per la presenza di depositi alluvionali terrazzati disposti a quote crescenti rispetto all'attuale fondovalle.

Nel complesso l'area di interesse può essere suddivisa in tre unità di paesaggio fondamentali: i rilievi collinari, i fondovalle alluvionali, le coste basse.

I bassi rilievi collinari, formati durante il recente sollevamento tettonico e modellati attraverso l'azione delle acque di scorrimento superficiali ed i movimenti di massa, hanno caratteristiche abbastanza omogenee, tipiche del paesaggio basso collinare della fascia periadriatica marchigiana.

Lungo i versanti collinari le pendenze medie sono modeste, rare brusche rotture di pendii ad acclività molto elevata sono comunque presenti.

I profili dei versanti risultano a volte irregolari a seguito di erosione differenziale, con rotture di pendio che caratterizzano gli affioramenti più resistenti (Formazione di Fermo).

La fascia litoranea è rappresentata da una zona di spiaggia con sedimenti prevalentemente sabbiosi e subordinatamente ghiaiosi, eteropica con i depositi alluvionali di fondovalle dei principali corsi fluviali (Fiume Tronto, Torrente Albula e Torrente Ragnola) che, scorrendo perpendicolarmente alla costa, sfociano in corrispondenza della linea di costa.

Attenzione particolare deve essere posta ai fenomeni franosi individuati, tali fenomeni sono la somma di quelli presenti nelle carte geologiche della Regione Marche in scala 1:10.000, nelle cartografie del PAI della Regione Marche e nel PAI interregionale del Fiume Tronto e di quelli individuati attraverso l'analisi stereoscopica di foto aeree, la consultazione delle indagini reperite nel territorio ed i rilievi di campagna.

Da un punto di vista generale si può affermare che tratte del versante costiero adriatico tra Pesaro e Vasto e alcuni versanti esposti principalmente a N risultano caratterizzate da frane di grandi dimensioni. Tali frane, sono generalmente di tipo complesso, con meccanismi prevalentemente roto-traslativi e subordinatamente di crollo nella zona di nicchia delle frane più grandi. Tali tipi di dissesti risultano descritti in varie pubblicazioni scientifiche (Esu & Grisolia, 1991; Cancelli et alii, 1984; Aringoli et alii, 2010).

Le superfici di scivolamento risultano generalmente poco inclinate, con meccanismi di rottura progressiva del basamento geologico della zona, costituito dalla Formazione delle Argille Azzurre e dalla Formazione di Fermo.

Alcuni dei citati autori hanno analizzato le generali condizioni di stabilità in questa vasta area della costa adriatica, concludendo che l'evoluzione della zona costiera è ancora in atto. Gli stessi autori, anche se considerano i versanti costieri come "pendii abbandonati" a causa del progressivo allontanamento verso E della linea di costa, non escludono la riattivazione delle grandi frane a causa soprattutto di possibili variazioni delle pressioni interstiziali e per progressiva diminuzione nel tempo della resistenza al taglio dei terreni per processi di alterazione.

L'analisi della "Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche e delle aree limitrofe" (Antonini et alii, 1993) fornisce una mappatura, realizzata attraverso l'analisi di foto aeree, dei principali dissesti presenti lungo la costa adriatica Marchigiana. E' proprio in tale lavoro che vengono individuati per la prima volta grandi frane sui versanti costieri ricadenti all'interno del territorio comunale di San Benedetto del Tronto.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 INDAGINI PREGRESSE

La ricerca dei dati pregressi disponibili presso gli archivi indicati nei precedenti paragrafi, ha permesso l'individuazione di indagini geotecniche e geofisiche puntuali e lineari, in sito e laboratorio, eseguite sia per interventi di carattere pubblico che privato, le cui caratteristiche principali sono riportate nelle seguenti tabelle, mentre, i relativi elaborati grafici sono osservabili nel progetto su supporto informatico.

La rappresentazione del complesso di tali indagini, insieme a quelle realizzate nell'ambito del presente studio, sono le carte delle indagini, in scala 1:5.000, area Nord ed area Sud.

Nelle tabelle riassuntive di seguito allegate le indagini sono distinte in lineari e puntuali. Quelle puntuali sono sia geotecniche che geofisiche, quelle lineari esclusivamente geofisiche.

Le indagini puntuali sono ordinate per sito puntuale di indagine; sono state di seguito sintetizzate le informazioni a disposizione per ogni verticale.

4.1.1 INDAGINI PUNTUALI - INDAGINI GEOTECNICHE

Sito Puntuale	Sigla Originale	Tipo indagine	Prof. m da p.c.	Data	Campioni	Lab.	SPT	Misura falda
P1	S1	SS	15	10-10			X	
P2	DL30	DL	4.1	11-06				
P3	S1	SD	8	03-04				X
P4	DL30	DL	5	05-05				X
P5	S1	S	8	06-05			X	
P6	S1	S	13	05-07				
P8	S2	S	12	01-92			X	X
P9	DIN1	DL	10	03-09				X
P10	DPSH1	DP	11.4	03-12				X
P13	P1	DL	2.9	04-08				X
P14	SCPT	CPT	6.9	02-09				
P15	DPM	DL	3.2	05-05				X
P16	S1	SS	19.5	03-06				X
P17	DPM30	DL	9	28-03				X
P18	DPSH2	DP	11	29-03				X
P19	DPSH	DP	11.2	10-09				X
P20	S1	S	6	01-12				X
P21	S4	SS	21	31-05	X	X	X	
P22	S	SS	7	08-99			X	
P23	S	SS	7	08-99			X	
P24	S	SS	7	08-99			X	
P25	S	SS	7	08-99			X	
P26	S	SS	7	08-99			X	
P27	S	SS	7	08-99			X	
P28	S	SS	7	08-99			X	
P29	DPSH	DP	4	07-07				
P30	S	S	10	03-95				
P31	P1	DL	3	11-93				
P33	DIN1	DP	10	04-05				X
P34	T	T	4.8	10-03				

Sito Puntuale	Sigla Originale	Tipo indagine	Prof. m da p.c.	Data	Campioni	Lab.	SPT	Misura falda
P35	S1	S	8	04-06			X	
P36	S1	SS	20	10-94				
P37	S1	SS	12	09-10				
P38	P1	DP	8.7	09-04				
P39	S1	S	8	12-02			X	
P41	CPT4	CPT	6.8	03-04				
P42	S1	SS	15	11-07				
P43	DPSH1	DP	6.8	01-03				X
P44	DPSH	DP	11.2	05-12				
P45	S1	SS	13.8	10-01				X
P46	S	S	8	05-00			X	
P47	S1	SS	13.8	04-02				X
P48	S1	SS	11	01-94				X
P49	S2	SS	26	11-92				
P50	DPSH1	DP	10	07-07				X
P51	S1	SS	10	02-01			X	
P52	DPSH1	DP	10.2	06-06				
P53	DIN1	DL	8	10-04				
P54	103-S	CPT	12.6	11-94				
P55	DL30	DL	5	09-02				
P56	S1	SS	13	10-06			X	
P57	DPSH1	DP	9	05-10				
P58	S1	S	6	07-98			X	
P59	S2	SS	15	10-09				X
P60	PP1	DL	8.8	09-97				
P61	CPT1	CPT	8	04-02				
P62	S1	SDS	18	02-09				X
P63	PI	DL	3.5	09-03				
P64	DPSH1	DP	5	06-10				
P65	DPSH1	DP	6	01-05				
P66	DPSH1	DP	11.2	03-07				X
P67	S1	SS	15	10-09				X
P68	P1	DP	8.4	09-10				X
P69	CPT1	CPT	15	07-04				X
P70	S1	SD	5	06-08				X
P71	S1	S	8	05-03			X	X
P72	P1	DL	3.5	06-04				X
P73	S2	SS	15	10-10			X	X
P74	PP1	DL	6	03-04				X
P75	PP2	DL	4.8	03-04				
P76		DP	8.4	01-95				
P77	DPSH	DP	10	11-92				X
P78	P1	DL	8.7	01-05				
P79	P1	DL	3	09-06				
P80	DPSH2	DP	11.4	01-12				X
P82	P1	DL	4	10-05				
P84	P2	DL	8	11-93				

Sito Puntuale	Sigla Originale	Tipo indagine	Prof. m da p.c.	Data	Campioni	Lab.	SPT	Misura falda
P85	P3	DL	10	11-93				
P88	CPT2	CPT	10	04-07				
P89	DPSH2	DP	9.4	04-10				X
P90	DPSH2	DP	8	01-03				
P91	S1	SS	21	11-92				
P92	SCPT	DP	13.5	12-10				X
P93	S2	SS	26	11-92				
P94	S2	SS	10	02-01			X	
P95	S3	SS	10	02-01			X	
P96	P2	DP	16.4	10-09				X
P98	PP2	DL	5.9	09-97				
P99	DPSH	DP	11.8	01-06				
P102	S2	SS	19	02-05				
P103	DPSH	DP	7	06-10				
P106	S1	SS	18	09-04				X
P107	DPSH1	DP	7.2	11-05				X
P108	P4r	DL	5	05-97				X
P109	DPSH	DP	5	01-05				
P110	DPSH1	DP	9.2	03-11				X
P111	SCPT	DP	8.4	07-10				X
P113	S1	S	6	02-93				X
P114	DPSH	DP	6.2	01-08				X
P115	P1	DL	4.9	04-05				
P116	S1	SS	20	12-05				X
P117	CPT1	CPT	14.6	09-12				
P118	CPT2	CPT	12.6	09-12				
P119	DPSH2	DP	10.2	11-02				X
P120	S1	SS	12	11-97				X
P122	S	S	7	11-05			X	X
P123	S4	S	11	11-97				X
P124	P1	DP	10	10-92				X
P126	DPSH	DP	10.2	11-11				X
P127	S1	SS	5.5	02-98				
P128	S2	SS	9.5	02-98	X	X		
P129	S3	SS	10	02-98	X	X		
P131	DPSH1	DP	12	11-09				
P132	DPSH2	DP	15	11-09				
P133	DPSH3	DP	13.4	11-09				
P134	S1	S	8	03-03			X	X
P135	S1	S	12	11-02				X
P136	DPSH1	DP	11.2	11-02				
P137	SCPT1	DP	8.7	02-08				X
P138	CPT1	CPT	23.6	09-07				X
P139	CPT2	CPT	23.8	09-07				X
P140	CPT3	CPT	23.8	09-07				X
P141	S1	SS	40	10-09				X
P142	DPSH1	DP	9.2	08-04				X

Sito Puntuale	Sigla Originale	Tipo indagine	Prof. m da p.c.	Data	Campioni	Lab.	SPT	Misura falda
P143	P4	DP	21.2	10-10				X
P144	T1	DL	7.8	06-01				
P145	S	S	8	05-00			X	X
P146	Pp1	DL	6.2	08-93				X
P147	Pp2	DL	6.8	08-93				X
P148	DPSH	DP	5	03-07				X
P149	Pp4	DL	7.8	08-93				X
P150	S1	S	7	02-11			X	X
P151	S2	S	7	02-11				X
P153	S6	SS	18	02-00				X
P154	S1	SDS	17	07-09				X
P155	S2	SDS	17	07-09				X
P160	SCPT	DP	15	09-10				X
P161	CPT2	CPT	14	02-02				X
P162	CPT4	CPT	12	02-02				X
P163	DPSH	DP	6.2	09-12				
P164	DPSH1	DP	22	07-02				X
P165	CPT1	CPT	7.8	07-02				
P166	CPT2	CPT	7.8	07-02				X
P167	DPSH1	DP	9	11-02				X
P168	CPT1	CPT	8.8	11-02				X
P169	SCPT	DP	12	07-05				X
P170	DPSH	DP	11	02-02				X
P171	DPSH	DP	11	06-11				
P172	S	S	8	04-03			X	
P174	Pp1	DL	10.8	09-07				
P175	S1	SD	20	05-02				
P177	DPSH	DP	10.2	04-11				X
P178	DPM	DL	3	01-05				X
P180	DPSH	DP	7	09-03				X
P181	DPSH	DP	9.2	06-12				X
P182	T	T	4	08-99				X
P183	P1	DP	10.5	02-08				X
P184	P	DP	18.2	02-11				X
P185	SCPT1	DP	14.1	03-07				X
P186	DPSH	DP	12.6	07-12				X
P187	P1	DL	4	10-07				
P188	CPT1	CPT	8	02-11				
P189		SS	8.3	06-11				
P190	T1	T	4	11-10				
P192	DPSH2	DP	11	07-05				X
P194	P1	DL	7.6	02-12				X
P195	P1	DP	6.9	04-09				
P196	P2	DP	7.2	04-09				
P197	P3	DP	12.9	04-09				
P198	P4	DP	13.2	04-09				
P199	S1	SS	25	04-09				

Sito Puntuale	Sigla Originale	Tipo indagine	Prof. m da p.c.	Data	Campioni	Lab.	SPT	Misura falda
P200	S2	SS	25	04-09				
P201	S2	SS	25	04-10	X	X	X	
P202	S1	SS	25	04-10	X	X	X	
P203	DPSH1	DP	7	01-04				X
P205	DPSH	DP	7	03-10				
P207	P1	DP	11.2	10-10				X
P208	S1	SS	11	11-99				X
P209	SR1	SS	33	12-00			X	X
P210	SR2	S	27	12-00			X	X
P211	SS1	SS	35	02-02			X	X
P212	S1	S	25	08-10	X	X	X	X
P213	S	SD	8	02-00			X	X
P214	S	S	7	10-02			X	X
P215	DPSH1	DP	15.2	07-10				X
P217	S1	S	33	07-10	X	X	X	X
P218	S1	S	7	10-06			X	
P219	Pn1	DL	10	10-10				
P220	S	SS	10	09-07			X	
P221	S1	SS	15	05-10				
P223	S3	SS	15	10-01				
P224	DPSH1	DP	7.2	03-05				X
P225	S1	SS	32	03-02			X	X
P226	S2	SS	45	03-02			X	X
P227	S3	SS	44.5	05-02			X	X
P228	S4	SS	50	06-04			X	X
P229	S5	SS	35	05-04			X	X
P230	CPT1	CPT	10	05-11				
P231	CPT2	CPT	10	05-11				
P232	CPT3	CPT	10	05-11				
P233	CPT4	CPT	10	05-11				
P234	P1	DL	3.5	06-07				
P235	CPT6	CPT	10	05-11				
P239	Sa1	SD	15	08-11				X
P240	Sb1	SS	17	08-11			X	X
P241	Sb2	SS	16	08-11				
P242	Sc1	S	10	08-11			X	X
P243	Sd1	SS	19.8	05-10	X	X	X	X
P244	DPSH1	DP	7	12-07				X
P245	P3	DP	10.5	07-09				X
P252	DPSH1	DP	12.2	01-12				X
P253	DPSH2	DP	12.2	01-12				X
P254	S1	SS	14.5	07-05				X
P255	S2	SS	17.5	07-05				X
P256	DIN1	DP	9.8	07-05				
P257	DPSH	DP	10	04-06				
P258	S1	S	15	04-09	X	X	X	
P259	S2	S	15	04-09	X	X	X	

Sito Puntuale	Sigla Originale	Tipo indagine	Prof. m da p.c.	Data	Campioni	Lab.	SPT	Misura falda
P260	P1	CPT	15.6	04-08				
P261	P2	CPT	11.4	04-08				
P262	S1	SS	15	04-08				
P263	S2	SS	15	04-08				
P264	S3	SS	32	04-08				
P265	S4	SS	22	04-08				
P266	S5	SS	15	04-08				
P267	S1	S	12.5	06-11				X
P269	S1	SS	20	05-05				X
P270	S2	SS	20	05-05				
P271	S3	SS	20	05-05				
P272	DPSH	DP	7.2	10-02				X
P273	Se	S	8	04-03			X	X
P275	DPSH	DP	10	01-08				X
P276	S1	S	7	07-03			X	X
P277	DPSH1	DP	10.2	03-11				X
P278	DL2	DL	5	07-08				
P279	S1	S	35	10-02			X	X
P280	CPT1	CPT	10.6	02-03				X
P281	DPSH1	DP	6.4	02-03				
P282	DPSH2	DP	5.4	02-03				
P283	DPSH1	DP	15	02-03				X
P284	DPSH2	DP	15	02-03				X
P285	1	DL	8.4	02-02				X
P287	S1	S	31	10-08				X
P288	1	DL	6.8	04-10				X
P289	P1	DL	6.1	11-00				
P290	P1	DL	7	06-00				X
P291	P2	DL	7.6	06-00				X
P293	S	S	7	12-00			X	
P294	S1	SDS	45	05-95				
P295	P2	DL	6.9	01-05				
P296	DPSH1	DP	8.2	07-05				
P297	S	SS	8	10-00			X	
P298	S1	SS	10	05-92			X	
P299	P2	DL	6.4	02-95				
P300	S1	SS	7	10-04			X	X
P301	P1	CPT	7.4	10-09				X

Legenda:

- S: Sondaggio a carotaggio continuo
- SS: sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
- SD: sondaggio a distruzione di nucleo
- SDS: Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato
- DP: Penetrometrica dinamica pesante
- DL: Penetrometrica dinamica leggera
- CPT: Penetrometrica statica
- T: Trincea o pozzetto esplorativo

4.1.2 INDAGINI PUNTUALI - INDAGINI GEOFISICHE

Sito Puntuale	Sigla Originale	Tipo indagine	Profondità DH.	Data
P7		HVSR		11-12
P40	HVSR	HVSR		12-10
P81	HVSR	HVSR		03-11
P83	HVSR	HVSR		05-11
P100	Tr1	HVSR		09-10
P101	HVSR	HVSR		01-10
P112	HVSR	HVSR		02-12
P121	Trom	HVSR		10-11
P130	HVSR	HVSR		01-12
P157	HVSR	HVSR		03-11
P158	HVSR	HVSR		09-11
P159	HVSR	HVSR		09-10
P173	HVSR	HVSR		09-11
P176	HVSR	HVSR		04-11
P179	HVSR	HVSR		03-12
P191	HVSR	HVSR		11-10
P193	HVSR	HVSR		11-10
P204	HVSR	HVSR		10-10
P206	HVSR	HVSR		10-10
P217	S1	DH	33	07-10
P227	S3	DH	44.5	05-02
P229	S5	DH	35	05-04
P236	HVSR1	HVSR		05-11
P237	HVSR2	HVSR		05-11
P238	HVSR3	HVSR		05-11
P246	HVSR1	HVSR		08-11
P247	HVSR2	HVSR		10-10
P248	HVSR3	HVSR		12-10
P249	T1	HVSR		03-10
P268	HVSR	HVSR		06-11
P269	S1	DH	20	05-05
P270	S2	DH	20	05-05
P271	S3	DH	20	05-05
P274	HVSR	HVSR		10-10
P286	HVSR	HVSR		03-11
P292	HVSR	HVSR		01-11

Legenda:

- DH: prova sismica in foro down hole
- HVSR: misura di rumore ambientale su stazione singola

4.1.3 INDAGINI LINEARI - INDAGINI GEOFISICHE

Sito Lineare	Sigla Originale	Tipo Indagine	Data
L1	MASW	MASW	10-10
L2	RIF	SR	07-12
L3	MASW	MASW	01-12

Sito Lineare	Sigla Originale	Tipo Indagine	Data
L4	MASW	MASW	10-09
L5	RIF	SR	09-10
L6	MASW	MASW	01-12
L7	MASW	MASW	03-10
L8	REF	SR	02-10
L9	RIF	SR	06-12
L10	MASW	MASW	02-10
L11	MASW	MASW	06-11
L12	RIF	SR	06-09
L13	RIF	SR	02-10
L14	RIF	SR	03-13
L15	P3	ERT	02-09
L16	REMI3	REMI	06-06
L17	REMI4	REMI	06-06
L18	REMI	REMI	10-10

Legenda:

- ERT: Tomografia sismica
- SR: Sismica a rifrazione
- MASW: Multichannel Analysis of Surface Waves
- REMI: Refraction Microtremor

4.2 INDAGINI REALIZZATE

Nell'ambito del presente studio di Microzonazione Sismica, ad integrazione dei dati disponibili, è stata eseguita una campagna d'indagini geofisiche in sito.

Nel dettaglio, la campagna d'indagini geotecniche e geofisiche è consistita nell'esecuzione di:

- n. 15 indagini geofisiche di sismica passiva mediante misura di microtremore a stazione singola (HVSR);
- n. 3 indagini geofisiche di sismica attiva con metodologia MASW.

Le modalità tecniche ed esecutive delle indagini geofisiche vengono di seguito descritte mentre, negli allegati sono riportati:

- grafici e tabulati di acquisizione ed elaborazione e documentazione fotografica delle indagini geofisiche di sismica passiva HVSR;
- grafici e tabulati di acquisizione ed elaborazione e documentazione fotografica delle indagini geofisiche tipo MASW.

La rappresentazione del complesso di tali indagini, insieme a quelle pregresse, sono le carte delle indagini, in scala 1:5.000, area Nord ed area Sud.

4.2.1 INDAGINI GEOFISICHE – PROVE DI SISMICA PASSIVA HVSR

La seguente tabella indica le indagini tipo HVSR realizzate:

Sito Puntuale	Sigla Originale	Tipo indagine	Data
P11	HVSR14	HVSR	06-13
P12	HVSR13	HVSR	06-13
P32	HVSR15	HVSR	06-13
P86	HVSR12	HVSR	06-13
P87	HVSR11	HVSR	06-13
P97	HVSR10	HVSR	06-13
P104	HVSR9	HVSR	06-13
P105	HVSR8	HVSR	06-13
P125	HVSR7	HVSR	06-13
P152	HVSR6	HVSR	06-13
P156	HVSR5	HVSR	06-13
P216	HVSR4	HVSR	06-13
P222	HVSR3	HVSR	06-13
P250	HVSR2	HVSR	06-13
P251	HVSR1	HVSR	06-13

Legenda:

- HVSR: misura di rumore ambientale su stazione singola

Per l'esecuzione delle prove è stato utilizzato un sismografo digitale triassiale (componenti N-S, E-O e Verticale), a 24 bit SR04-GEOBOX 45 (SARA electronic instruments s.r.l.), con sensori interni (Velocimetri Geospace Technology - HS1).

L'acquisizione è avvenuta avendo cura di effettuare un adeguato accoppiamento sensore-terreno previo scotico della porzione superficiale di suolo presente e posizionamento con bolla torica alloggiata nella strumentazione.

La registrazione del rumore ambientale (microtremore) è stata effettuata per durate di 30' utilizzando un campionamento di 300 Hz attraverso il software di acquisizione Seismolog-MT - Sara s.r.l. .

Le misure di microtremore a stazione singola sono state eseguite nel giugno 2013.

Di seguito si forniscono alcuni cenni teorici relativi alle indagini di tipo HVSR.

Le vibrazioni sismiche ambientali (chiamate anche rumore sismico) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm. In riferimento al contenuto in frequenza, il rumore sismico è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze (in genere maggiori di 0.5 Hz) e microsisma per basse frequenze. Per quanto riguarda l'origine del rumore sismico, è certo che le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali etc. e si propagano come onde superficiali di Rayleigh.

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- Spettri di Fourier; Rapporti spettrali; Rapporti spettrali H/V.

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura. La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali

NS ed EW) e della componente verticale V. Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura di terreni. Nel 1989, Nakamura propose in inglese il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio. Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico/ingegneristico per derivare i seguenti parametri :

- la frequenza fondamentale di risonanza F_0 dei terreni presenti nel sottosuolo;
- la stima del profilo del terreno in termini delle velocità V_s , attraverso opportuni metodi di inversione;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio e i relativi modi di vibrare.

I pregi fondamentali di tale tecnica di sismica passiva sono:

- possibilità di operare in spazi molto ristretti in quanto i rilievi vengono eseguiti a "stazione singola";
- la presenza di rumore ambientale non disturba il rilievo sismico sempre che questo non sia presente in modo costante e continuo per tutta la durata del singolo rilievo (di durata da 10' a 30');
- non necessita di energizzazioni al di fuori del rumore sismico ambientale sempre presente;
- permette di raggiungere grandi profondità.

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è finalizzata quindi all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura sia nel substrato.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici.

L'elaborazione delle registrazioni è avvenuta con il software Geopsy, con eliminazione delle sottofinestre di registrazione (windowing) contenenti transienti significativi, prendendo in considerazione i rapporti spettrali H/V compresi in intervalli di frequenze variabili al massimo tra 0.4-50 Hz, non sono stati individuati picchi significativi al di fuori di questo range di frequenze.

La lunghezza delle finestre utilizzate è stata di 25 secondi. Il lisciamento è stato di tipo triangolare, del 5%.

Tramite l'applicazione delle procedure indicate nelle linee guida nell'ambito del progetto SESAME (2004), si è proceduto al calcolo della curva H/V-F ed alla determinazione della frequenza (f_0) dell'eventuale picco significativo.

Sono inoltre stati analizzati e restituiti gli spettri delle tre componenti del moto del suolo e la direzionalità del segnale H/V.

Il dato ottenuto è stato quindi analizzato secondo i criteri SESAME di valutazione del dato ed è stata definita la classe di qualità secondo la procedura indicata da Albarello & Castellaro, 2011 - Appendice 2.

4.2.2 INDAGINI GEOFISICHE – PROVE DI SISMICA ATTIVA TIPO MASW

La seguente tabella indica le indagini tipo HVSR realizzate:

Sito Lineare	Sigla Originale	Tipo Indagine	Data
L19	MASW1	MASW	06-13
L20	MASW2	MASW	06-13
L21	MASW3	MASW	06-13

Legenda:

- MASW: Multichannel Analysis of Surface Waves

I sismogrammi sono stati acquisiti con un sismografo multicanale DoReMi della SARA srl, con risoluzione di acquisizione 16bit collegato tramite cavo a 12 geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz, Geospace GS11D.

Per ogni sito è stato realizzato uno stendimento di 46.0 m, eseguendo 6 punti di energizzazione (3 punti per ogni estremo), con l'utilizzo di una mazza da 5 Kg che si è dimostrata in grado di fornire energia sufficiente allo scopo prefissato, tramite sollecitazione di una piastra di metallo.

Per ogni punto di energizzazione sono stati acquisiti 3 colpi.

Come sistema per fornire il tempo zero all'acquisitore, è stato utilizzato un geofono starter posto in corrispondenza del punto di energizzazione.

La tecnica M.A.S.W. consente una ricostruzione bidimensionale della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo; tale metodologia risulta essere internazionalmente accreditata.

La determinazione della velocità delle onde di taglio V_s tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).

Le prospezioni sismiche M.A.S.W. forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione dal punto di vista dinamico di un sito.

Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. Analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.

La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) è pari a circa il 90% delle onde di taglio (V_S).

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle Vs;

Il software di elaborazione utilizzato per l'analisi di questo tipo di dati è Easy MASW della Geostru.

4.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GEOFISICHE

Il complesso dei dati geotecnici e geofisici e degli studi pregressi reperiti ha permesso una prima definizione di massima delle unità geotecniche e geofisiche presenti nei siti d'indagine e dei range di variazione dei parametri caratteristici delle stesse.

Per le caratteristiche geotecniche sono in particolare stati presi in considerazione i risultati delle prove di laboratorio a disposizione e tralasciati i dati derivanti da prove penetrometriche, considerati troppo soggetti ad interpretazione.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei parametri geotecnici di maggiore interesse raccolti.

SITO PUNTUALE	SIGLA ORIGINALE	SIGLA CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	W [%]	γ [KN/m ³]	W _{le} W _p [%]	G _s [KN/m ³]	GRANULOMETRIA [%]	ELL- q_u [Kpa]	TAGLIO DIRETTO-CD $\Phi' = \tau' - c =$ [Kpa]	TX-UU Cu = [Kpa]	TAGLIO DIRETTO-CD RESIDUO $\Phi' = \tau' - c =$ [Kpa]	Edometrica [Kpa]	
													Carico	Ed
P21	S4	1/I	6.0-6.5	30.0	17.9		25.5			$\Phi' = 26$ $c = 24.52$			10	1411.2
													25	9193.7
													50	6368.4
													100	9806.7
													200	11080.5
													400	16907.6
													800	27240.9
1600	88647.2													
P128	S2	C2	4.8-5	21.5	19.8					$\Phi' = 26.1$ $c = 15.7$				
P129	S3	C1	9.1-9.5	20.7	20.3			486.4				$\Phi' = 19.5$ $c_r = 5.88$		
P201	S2	C1	15.1-15.6	22.8	19.9	W _l =41 W _p =21	26	L=61.7 A=38.1						
P201	S2	SPT1	3.0-3.45					G=1.5 S=86.0 A+L=12.5						
P201	S2	SPT2	7.0-7.45					G=0.2 S=92.7 A+L=7.1						
P202	S1	C1	21.7-22.3	22.1	20	W _l =44 W _p =22	26.2	L=47.0 A=52.6		$\Phi' = 25.3$ $c = 18.4$				
P212	S1	C1	4.1-4.6	32.7	17.1			G=1.0 S=72.0 L=15.0 A=12.0		$\Phi' = 31.1$ $c = 1.18$				
P212	S1	C2	7.5-8.0	26.5	17.2		26.5	S=33.0 L=51.0 A=16.0		$\Phi' = 29.4$ $c = 2.94$				
P212	S1	C3	16.0-16.5	38.5	17.5		26.5	S=8.0 L=58.0 A=34.0		$\Phi' = 22.3$ $c = 2.94$			12.5	567.8
													25	1017.9

													50	1251.3
													100	1637.7
													200	2634.1
													400	4186.5
													800	7746.3
													1600	12769.2
P217	S1	C1	3.0-3.5	35.1	18.8			S=69.9 L=27.4 A=2.7					$\Phi'=26.3$ c'=0.0	
P243	S1	C1	19.2-19.8	21.1	20.4	$W_l=41$ $W_p=19$	26.5						$\Phi'=24.0$ c'=18.0	cu=184.0
													25	199
													50	555
													100	1525
													200	3195
													400	5218
P258	S1	C1	5.0-5.5	20.3	19.5	$W_l=26$ $W_p=22$	26.5	S=16.9 L=59.1 A=24.0					$\Phi'=31.1$ c'=0.0	
P259	S2	C1	5.1-5.6	19.3	19.2	$W_l=27.5$ $W_p=22$	26.3	S=16.6 L=54.5 A=28.9					$\Phi'=29.8$ c'=0.0	

Dall'analisi di tutti i dati a disposizione e attraverso la carta e le sezioni geologico tecniche redatte sono state distinte varie unità geotecniche/geofisiche di seguito sinteticamente descritte.

- Substrato geologico non rigido - Litofacies pelitica

Tale litofacies è costituita prevalentemente da argille ed argille limose grigie da consistenti a molto consistenti, stratificate.

Si posso stimare preliminarmente i seguenti valori geotecnici/geofisici:

$$\gamma = 19.0-21.0 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi' = 20^\circ-25^\circ$$

$$c' = 20-30 \text{ KPa}$$

$$c_u = 150-300 \text{ KPa}$$

$$V_s = 250-800 \text{ m/s}$$

Si può notare come i valori delle V_s calcolate attraverso le indagini che raggiungono tale substrato risultano estremamente dispersi, indicando generalmente valori di $V_s < 800$; sono state comunque reperite due DH realizzate in prossimità del Fiume Tronto che indicano velocità delle onde di taglio di poco superiori agli 800 m/s.

L'analisi delle curve H/V ha evidenziato che, ad eccezione nella valle alluvionale del Fiume Tronto il passaggio tra depositi di copertura e unità argillose del substrato non è caratterizzato da un contrasto di competenza tale da evidenziare picchi di rilievo. Anche le varie indagini a disposizione che attraversano sia i depositi di copertura che le unità argillose del substrato non evidenziano mai ragguardevoli variazioni di consistenza dei materiali.

Date le considerazioni prima espone, il limitato numero di dati geofisici a disposizione e la loro dispersione si è cautelativamente scelto di considerare tale litofacies pelitica di base quale substrato geologico non rigido.

- Substrato geologico non rigido - Litofacies pelitica alterata

Tale litofacies è costituita prevalentemente da limi argillosi ed argille limose moderatamente consistenti.

Si posso stimare preliminarmente i seguenti valori geotecnici/geofisici:

$$\gamma = 19.0-21.0 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi' = 20^\circ-25^\circ$$

$$c' = 5-15 \text{ KPa}$$

$$c_u = 50-150 \text{ KPa}$$

$$V_s = 200-300 \text{ m/s}$$

- Substrato geologico non rigido - Litofacies arenacea

Tale litofacies è costituita da arenarie debolmente cementate o da sabbie da addensate a molto addensate di colore giallastro. Non sono a disposizione, tra le informazioni raccolte, dati geotecnici o geofisici inerenti la litofacies sopra descritta. E' auspicabile, su eventuali aree di interesse per l'amministrazione comunale, che vengano realizzate, in concomitanza di futuri studi di microzonazione sismica di maggior dettaglio, indagini che permettano di caratterizzare dal punto di vista geotecnico e geofisico tali terreni.

- Substrato geologico non rigido - Litofacies conglomeratica

Tale litofacies è costituita da conglomerati da debolmente cementati a cementati e da ghiaie da addensate a molto addensate a matrice prevalentemente sabbiosa giallastra. Non sono a disposizione, tra le informazioni raccolte, dati geotecnici o geofisici inerenti la litofacies sopra descritta. E' auspicabile, su eventuali aree di interesse per l'amministrazione comunale, che vengano realizzate, in concomitanza di futuri studi di microzonazione sismica di maggior dettaglio, indagini che permettano di caratterizzare dal punto di vista geotecnico e geofisico tali terreni.

- Alluvioni terrazzate ed attuali - Litofacies ghiaiosa

Tale litofacies è costituita da ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa o limosa solitamente ben assortite da addensati per i terreni più antichi a poco addensati per quelli più recenti.

Si posso stimare preliminarmente i seguenti valori geotecnici/geofisici:

$$\gamma = 18.5 - 19.5 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi' = 32^\circ-38^\circ$$

$$c' = 0-10 \text{ KPa}$$

$$V_s = 200-650 \text{ m/s}$$

Anche in questo caso pochi sono i dati a disposizione per caratterizzare dal punto di vista geotecnico e geofisico tale litofacies. E' auspicabile, su eventuali aree di interesse per l'amministrazione comunale, che vengano realizzate, in concomitanza di futuri studi di microzonazione sismica di maggior dettaglio, indagini che permettano di caratterizzare dal punto di vista geotecnico e geofisico tali terreni.

- Alluvioni terrazzate - Litofacies limosa, limo sabbiosa e sabbioso limosa

Tale litofacies è costituita da limi, limi sabbiosi e sabbie limose da addensati per i terreni più antichi a poco addensati per quelli più recenti.

Sono presenti anche livelli e strati di sedimenti fini generalmente limo argillosi.

Si posso stimare preliminarmente i seguenti valori geotecnici/geofisici:

$$\gamma = 18.0 - 19.5 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi' = 22^\circ - 30^\circ$$

$$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$$

$$V_s = 100 - 350 \text{ m/s}$$

Si osservano valori piuttosto dispersi; risulta evidente come i terreni appartenenti a tale litofacies, affioranti in corrispondenza della piana alluvionale del Fiume Tronto hanno caratteristiche geotecniche e geofisiche generalmente più scadenti rispetto a quelli affioranti nelle altre aree, anche rispetto alle zone di valle del Torrente Ragnola e del Torrente Albula.

Ciò è confermato dall'analisi delle curve H/V; in corrispondenza della piana alluvionale del Fiume Tronto è osservabile un picco piuttosto chiaro con f_0 prossimo ai 2 Hz che evidenzia un contrasto di impedenza di rilievo tra i depositi medio fini ed i terreni sottostanti che potrebbero essere sia le litofacies alluvionali ghiaiose di base che il substrato geologico costituito dalle argille azzurre.

Ad esclusione della zona di piana del Tronto, le indagini HVSR presenti nelle aree di affioramento di tali depositi non evidenziano generalmente picchi di rilievo, ciò indicherebbe l'assenza di contrasti di impedenza importanti tra i suddetti ed il sottostante substrato geologico argilloso. Tali considerazioni dovranno comunque essere approfondite attraverso specifiche analisi su aree di interesse per l'amministrazione comunale, da realizzare, in concomitanza di futuri studi di microzonazione sismica di maggior dettaglio, attraverso indagini che permettano di caratterizzare maggiormente, dal punto di vista geotecnico e geofisico, tali terreni.

- Depositi di spiaggia attuali e recenti - Litofacies sabbiosa e sabbioso ghiaiosa

Tale litofacies è costituita da alternanza di sabbie e sabbie ghiaiose generalmente poco addensate.

Si possono stimare preliminarmente i seguenti valori geotecnici/geofisici:

$$\gamma = 18.0 - 19.5 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi' = 22^\circ - 28^\circ$$

$$c' = 0 - 15 \text{ KPa}$$

$$V_s = 100 - 350 \text{ m/s}$$

Le indagini HVSR presenti nelle aree di affioramento di tale depositi non evidenziano picchi di rilievo, ciò indicherebbe l'assenza di contrasti di impedenza importanti tra i depositi costieri ed il sottostante substrato geologico argilloso. Tali considerazioni dovranno comunque essere approfondite attraverso specifiche analisi su aree di interesse per l'amministrazione comunale, da realizzare, in concomitanza di futuri studi di microzonazione sismica di maggior dettaglio, attraverso indagini che permettano di caratterizzare maggiormente, dal punto di vista geotecnico e geofisico, tali terreni.

- Depositi di spiaggia attuali e recenti - Litofacies ghiaioso sabbiosa limosa

Tale litofacies è costituita da alternanza di ghiaie sabbiose e miscele di ghiaie sabbie e limo generalmente poco addensate.

Si possono stimare preliminarmente i seguenti valori geotecnici/geofisici:

$$\gamma = 18.5 - 19.5 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi' = 30^\circ - 35^\circ$$

$c' = 0$ KPa

$V_s = 200-350$ m/s

- Depositi eluvio colluviali

Tale litofacies è costituita da limi, limi sabbiosi, limi argillosi e sabbie limose a volte con frazione ghiaiosa moderatamente addensati.

Si possono stimare preliminarmente i seguenti valori geotecnici:

$\gamma = 18.5 - 19.5$ KN/m³

$\phi' = 22^\circ - 28^\circ$

$c' = 10-20$ KPa

$V_s = 100-250$

- Depositi di frana

Sono materiali prevalentemente argillosi ed argilloso sabbiosi e subordinatamente arenacei e ghiaioso-conglomeratici, derivanti da movimenti franosi.

Non sono a disposizione dati geotecnici che possano dare informazioni significative.

Per quanto riguarda i dati geofisici sono state realizzate indagini DH in corrispondenza della grande frana individuata nella zona centrale dell'area di indagine. Si possono osservare valori di $V_s = 150-300$.

Le indagini HVSR presenti nelle aree di affioramento di tali corpi non evidenziano generalmente picchi di rilievo, ciò indicherebbe l'assenza di contrasti di impedenza importanti tra i depositi di frana ed il sottostante substrato geologico argilloso. Tali considerazioni dovranno comunque essere approfondite attraverso specifiche analisi su aree di interesse per l'amministrazione comunale, da realizzare, in concomitanza di futuri studi di microzonazione sismica di maggior dettaglio, attraverso indagini che permettano di caratterizzare maggiormente, dal punto di vista geotecnico e geofisico, tali terreni. Sono inoltre auspicabili, nelle aree definite in frana, la realizzazione di indagini geotecniche e geofisiche e di sistemi di monitoraggio che permettano di acquisire le informazioni necessarie per ricostruire modelli di frana specifici, che non possono essere oggetto del presente studio.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

L'integrazione di tutti i dati raccolti ha permesso di ipotizzare un modello geologico e geologico tecnico rappresentativo del territorio in esame ed in particolare dell'area di studio. Per la definizione di tale modello, oltre ai dati superficiali a disposizione (carta geologica Regione Marche e dati rilevamento di campagna) di estrema utilità sono stati i dati derivanti dalle numerose indagini reperite. Altrettanto utile è stata la redazione di n. 3 sezioni geologico-tecniche, che hanno permesso una maggiore comprensione del modello in profondità e sono state la base, assieme alla carta geologico-tecnica, per la realizzazione delle stratigrafie di riferimento per le microzone omogenee e quindi per la realizzazione della carta delle MOPS.

Le sezioni geologico-tecniche sono state disegnate in scala 1:5.000/1.000; è stata fatta questa scelta in quanto le coperture hanno spessori limitati e la realizzazione di sezioni con scala verticale deformata ha permesso di esaltare la leggibilità dei rapporti stratigrafici tra le varie unità.

Di seguito verrà quindi descritto il modello geologico e geologico tecnico di riferimento, assunto in corrispondenza dell'area di indagine.

Il territorio comunale di San Benedetto del Tronto, è limitato ad ovest dai comuni di Montepandone e Acquaviva, a nord dal comune di Grottammare, a sud dal comune di Martinsicuro ed a est dal Mare Adriatico.

Gran parte dell'abitato si è sviluppato lungo la fascia costiera, costituita da una cmosa sabbiosa che si raccorda, alle spalle, con una fascia collinare, degradante verso il mare, con quote s.l.m. medie generalmente inferiori ai trecento metri.

La fascia collinare è caratterizzata da un paesaggio dolce, con una estesa struttura monoclinale che, costituita da termini terrigeni, immerge di alcuni gradi verso E-NE.

La fascia collinare, costituita da terreni argillosi, sabbioso-arenacei e ghiaiosi di età plio-pleistocenici, è caratterizzata da una serie di corsi d'acqua disposti perpendicolarmente alla linea di costa. I principali corsi d'acqua risultano essere, da S verso N, Il Fiume Tronto, il Torrente Ragnola ed il Torrente Albula.

Il limite orientale dell'area di studio corrisponde alla linea di costa; subito a O è stata considerata la presenza di una fascia di spiaggia attuale con larghezza massima di circa 100 m, costituita in prevalenza da sabbie poco assortite con subordinate sabbie ben assortite, sabbie limose e ghiaie. E' stato stimato uno spessore massimo di 15-20 m. Tale litofacies appoggia sul substrato geologico non rigido costituito da argille e argille limose grigie da consistenti a molto consistenti. I depositi di spiaggia sono prevalentemente saturi per presenza di una falda superficiale con quota praticamente coincidente con il p.c. .

Ad eccezione delle aree di piana alluvionale del Fiume Tronto a S e del Torrente Albula a N, di cui si parlerà successivamente, subito a monte dei depositi di spiaggia attuali, è stata individuata, soprattutto attraverso le indagini reperite, la fascia dei depositi di piana costiera recente, caratterizzata, rispetto ai depositi precedentemente descritti da una maggiore frequenza di sabbie ben assortite, miscele di sabbie e ghiaie e subordinate aree francamente ghiaiose. La distribuzione di tale area è osservabile nella carta geologico-tecnica redatta. Il limite tra tale litofacies e i terreni caratterizzanti i rilievi basso collinari posti a monte è mediamente a circa 1 Km di distanza dalla linea di costa. E' stato stimato uno spessore massimo di 15-20 m. La litofacies descritta appoggia sul substrato geologico non rigido costituito da argille e argille limose grigie da consistenti a molto consistenti.

Anche tali depositi, risultano prevalentemente saturi per presenza di una falda superficiale, con profondità della superficie piezometrica posta a pochi metri al disotto del p.c. .

Dal punto di vista geotecnico e geofisico le varie unità di spiaggia sono considerabili analoghe e generalmente caratterizzate da un basso grado di addensamento. Le indagini HVSR presenti nelle aree di affioramento non evidenziano picchi di rilievo, ciò indicherebbe l'assenza di contrasti di impedenza importanti tra i depositi costieri ed il sottostante substrato geologico argilloso.

Al margine meridionale dell'area di studio è invece osservabile la piana alluvionale del Fiume Tronto, caratterizzata dal punto di vista geologico da subordinati depositi d'alveo e dai maggiormente diffusi depositi alluvionali olocenici. Le osservazioni di superficie e le indagini raccolte hanno permesso di osservare che tali depositi risultano prevalentemente costituiti da limi, limi sabbiosi, sabbie limose e limi argillosi, con presenza di lenti e livelli di ghiaie di spessore plurimetrico. I sedimenti non sono affatto omogenei, sia lateralmente che verticalmente; frequenti e repentine sono le variazioni di litofacies, con alternanze continue di litotipi granulometricamente differenti, con prevalenza comunque, di terreni a granulometria media e fine.

Dal punto di vista della rappresentazione cartografica e in sezione di tali sedimenti, per quanto riguarda i depositi medi e fini si è scelto di rappresentarli in modo omogeneo classificandoli nella classe ML che poteva in un certo senso descrivere tale variabilità granulometrica essendo una classe che comprende terreni che vanno dai limi argillosi alle sabbie limose o argillose (fini).

Le indagini evidenziano, in modo piuttosto diffuso, dal punto di vista areale, alla base dei suddetti depositi medio-fini, in contatto con il sottostante basamento geologico argilloso, la presenza di uno strato ghiaioso con spessore generalmente non superiore ai 10 m. Lo spessore complessivo dei depositi alluvionali, posti al disopra del substrato geologico argilloso non supera i 40 m.

Anche tali depositi, sono prevalentemente saturi per presenza di una falda superficiale con profondità della superficie piezometrica posta a pochi metri al disotto del p.c. .

I sedimenti alluvionali del Fiume Tronto sembrano avere caratteristiche geotecniche e geofisiche generalmente più scadenti rispetto a quelli affioranti nelle altre aree (Albula e Ragnola).

Ciò risulta evidente anche dall'analisi delle curve H/V; in corrispondenza della piana alluvionale del Fiume Tronto è osservabile un picco piuttosto chiaro con f_0 prossimo ai 2 Hz che evidenzia un contrasto di impedenza di rilievo tra i depositi medio fini ed i terreni sottostanti, che potrebbero essere sia le litofacies alluvionali ghiaiose di base che il substrato geologico costituito dalle argille azzurre.

Nell'area di indagine ricadono, inoltre, le aree di fondovalle relative al Torrente Ragnola e al Torrente Albula. Pochi sono i dati a disposizione ma quelli presenti indicano prevalenti depositi sabbioso limosi poco addensati con spessore massimo di circa 10 m. E' ragionevole ipotizzabile che sia presente, in tali terreni, una falda superficiale con superficie piezometrica posta pochi metri al disotto del p.c. .

Le indagini HVSR raccolte e realizzate nelle aree di affioramento di tali depositi non evidenziano picchi di rilievo, ciò indicherebbe l'assenza di contrasti di impedenza importanti tra i suddetti ed il sottostante substrato geologico argilloso.

Le aree basso collinari, che limitano ad occidente l'area di indagine sono caratterizzate dall'affioramento di depositi di copertura e dalle unità costituenti il substrato geologico non rigido.

Tra le coperture si possono osservare alluvioni terrazzate, depositi eluvio colluviali e corpi di frana.

Le alluvioni terrazzate occupano i versanti collinari che delimitano in riva destra ed in riva sinistra le aree di fondovalle collegate ai principali corsi d'acqua della zona. Particolarmente estesi dal punto di vista areale sono quelli che bordano la piana alluvionale del Fiume Tronto e del Torrente Albula. Tali depositi sono stati

osservati sino a quote prossime ai 100 m s.l.m. e sono, alla base, in contatto sedimentario con le unità argillose del substrato geologico integro o alterato.

I rapporti stratigrafici e le caratteristiche geologico tecniche dei suddetti terreni possono essere osservati nella carta geologico tecnica e nelle sezioni geologico tecniche allegate.

Ad eccezione dei terrazzi più antichi della zona meridionale dell'area di indagine, costituiti da prevalenti ghiaie e ghiaie sabbiose (spessore massimo stimato di circa 20 m), tali unità sono caratterizzate in prevalenza di limi sabbiosi e sabbie limose con, a volte, presenza di livelli e lenti anche di alcuni metri di sedimenti ghiaiosi.

In particolare, i depositi di terrazzo posti in riva sinistra del Fiume Tronto, escludendo quelli posizionati nell'area di fondovalle, sono caratterizzati da prevalenti sedimenti limosi, limo sabbiosi e sabbiosi limosi.

Quello più basso topograficamente è costituito da prevalenti depositi limo sabbiosi al tetto e miscele di sabbie e ghiaie alla base. In tale zona non sono a disposizione indagini che indichino lo spessore di tali sedimenti, si è stimato uno spessore medio di circa 25 m.

Quello immediatamente a monte sembra invece caratterizzato da prevalenti sabbie limose con un livello prevalentemente ghiaioso intercalato, spesso alcuni metri. Lo spessore massimo è di circa 25-30 m.

I depositi di terrazzo osservabili lungo i versanti collinari in riva destra e sinistra del Torrente Ragnola e del Torrente Albula sono invece caratterizzati da prevalenti terreni sabbioso limosi con spessori massimi di circa 15-20 m.

I depositi eluvio colluviali sono identificabili generalmente lungo i versanti collinari in corrispondenza delle aree a minor pendenza. In generale sovrastano stratigraficamente le unità argillose del substrato (integro o alterato). In una zona, in riva destra del Torrente Albula, in prossimità della località Forno, sono invece stratigraficamente sovrapposti a sedimenti terrazzati.

Le indagini a disposizione indicano granulometrie variabili da argilloso limose a francamente sabbiose con, a volte, presenza di frazione ghiaiosa. Le caratteristiche granulometriche di tali depositi risultano funzione dei litotipi di origine e la loro distribuzione areale e le loro caratteristiche geologico tecniche possono essere osservate nella carta geologico tecnica e nelle sezioni realizzate. Lo spessore è solitamente piuttosto limitato, generalmente inferiore a 10 m.

Per quanto riguarda i corpi di frana essi derivano dalla consultazione dei dati bibliografici esistenti, dall'analisi di foto aeree e da osservazioni di campagna. Il tipo di studio in oggetto, data la finalità a carattere territoriale di tipo generale, e la mancanza di sistemi di monitoraggio non ha permesso una definizione ed una caratterizzazione di dettaglio dei singoli dissesti franosi.

Nelle carte redatte sono stati quindi introdotti i dissesti indicati nei PAI regionale e del Fiume Tronto, quelli individuati nella Carta geologica Regionale a scala 1:10.000 e quelli riconosciuti attraverso l'analisi delle foto aeree ed i rilievi di campagna.

Le frane cartografate interessano sia i depositi di copertura che le unità del substrato geologico non rigido (in prevalenza la litofacies argillosa); sono caratterizzate solitamente da meccanismi cinematici di tipo rototraslazionale.

I corpi di frana di grande dimensione sono caratterizzati da meccanismi complessi e hanno scarpate di frana molto acclivi con altezze spesso superiori ai 20 m. Tali scarpate solo perlopiù impostate su depositi granulari da molto addensati a debolmente cementati e sono attualmente sede di localizzati fenomeni erosivi e crolli,

che potrebbero essere di maggiore entità soprattutto in corrispondenza di eventi sismici. Sono stati ipotizzati per i corpi di grandi dimensioni spessori di varie decine di metri.

I corpi minori hanno spessori minori compreso tra qualche metro e 10-20 m.

Ai dissesti derivanti dalle cartografie PAI è stato assegnato un grado di attività quiescente. Ai dissesti individuati nella carta geologica regionale a scala 1:10.000 è stato assegnato il grado di attività segnalato in tali cartografie. Alle poche piccole frane riconosciute in campagna è stato assegnato un grado di attività in funzione degli elementi superficiali osservati.

Alle frane riconosciute attraverso l'analisi delle foto aeree è stato generalmente assegnato un grado di attività non definito in quanto il tenore di tale studio non permette di raccogliere informazioni in tale senso.

Relativamente a tali aree due sono comunque le eccezioni fatte di seguito esplicitate:

- La grande frana individuata a N, al confine con il comune di Grottammare, posta sul versante orientale di un rilievo collinare e limitata ad oriente dai depositi di piana costiera, è stata considerata quiescente; tale scelta è stata fatta considerando che tale dissesto, per la parte ricadente nel comune di Grottammare è stato nel tempo studiato, inserito nel PRG Comunale, inserito nelle cartografie del progetto IFFI e considerato generalmente quiescente.

- Le maggiori scarpate di frana, con altezze di almeno 10 m e le aree immediatamente a monte e a valle delle stesse, a causa della loro acclività e della presenza diffusa di fenomeni erosivi e di locali episodi di crollo, sono state considerate come aree in frana per fenomeni di crollo e ribaltamento di tipo attivo.

Dato il tenore dello studio e la mancanza di adeguate indagini geologiche, geotecniche e di sistemi di monitoraggio, la definizione di dettaglio dei modelli di frana ed il grado di attività di ogni singolo dissesto, potrà essere definito solo a seguito di specifici studi ed indagini di dettaglio che non sono oggetto del presente lavoro.

Area di particolare interesse, risulta essere quella relativa al "Paese Alto", corrispondente al centro storico dell'abitato capoluogo. Tale area è stata infatti, a seguito di specifici studi, inserita nel PAI quale area in dissesto per possibili cedimenti di cunicoli sotterranei di origine antropica. L'area in questione è stata oggetto di sprofondamenti e cedimenti l'ultimo dei quali risale al 1996. In particolare, nei relativi documenti istruttori, è stato individuato un perimetro (integralmente riportato negli elaborati del presente studio) delimitante l'area probabilmente soggetta a sprofondamenti assegnandogli un grado di rischio R3, *"...ipotizzando l'esistenza di potenziali forme di dissesto, attualmente in fase quiescente, che potrebbero attivarsi o riattivarsi soprattutto in particolari condizioni sismiche, meteo-climatiche o per perdite idriche (fogne, acquedotto)".* L'area di interesse è costituita, per la gran parte, da depositi alluvionali terrazzati antichi generalmente addensati, solo un piccolo lembo a sud sembra essere ubicato nella zona pianeggiante con terreni prevalentemente granulari a minor grado di addensamento e probabile presenza di falda superficiale.

Nelle aree collinari con assenza delle coperture prima descritte affiorano invece le unità geologiche del substrato, tali terreni appartengono prevalentemente alla litofacies argillosa e limosa e subordinatamente a quella sabbiosa o conglomeratica. I contatti stratigrafici tra le varie unità appaiono sub-orizzontali. Le unità prevalentemente sabbiose affiorano, a meno di limitate dislocazioni tettoniche osservate nella parte N, ad una quota compresa tra 130 e 180 m s.l.m., quelle conglomeratiche affiorano generalmente al disopra dei 180 m s.l.m. . Nella redazione della carta geologico-tecnica e delle relative sezioni, la litofacies sabbioso arenacea e quella ghiaioso conglomeratica sono state unite e descritte come substrato geologico granulare debolmente cementato non rigido.

Per ultimo è necessario sottolineare la presenza di scarpate, oltre a quelle di frana già descritte, di origine antropica e fluviale, con altezze anche superiore ai 10 metri e, a tratti, superiore ai 20 m.

La definizione planimetrica di tali scarpate è stata realizzata attraverso l'ausilio delle planimetria topografica in scala 1:2.000 a disposizione dell'amministrazione comunale.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Le fonti dei dati disponibili sono relative agli archivi dettagliati al paragrafo 1.4 e alle indagini specifiche effettuate per il presente studio di MZS.

In entrambi i casi si è osservato un buon grado di attendibilità del dato disponibile, in relazione sia agli studi di carattere cartografico che ai dati delle indagini pregresse e realizzate, ovviamente in relazione alla capacità d'indagine delle metodologie utilizzate.

Particolare attenzione è stata data ad indagini geotecniche di tipo diretto quali sondaggio a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo. Tra le prove penetrometriche a disposizione la maggioranza sono dinamiche, in minor numero quelle statiche. Le prove penetrometriche statiche sono state utilizzate sia per considerazioni di tipo granulometrico che di comportamento meccanico. Le prove penetrometriche dinamiche hanno fornito dati di caratterizzazione geotecnica nei depositi granulari.

Elevato è stato il numero di dati relativi alla soggiacenza della falda ricavati sia dai sondaggi che dalle prove penetrometriche, quelli derivati dai sondaggi sono stati considerati generalmente più significativi; è evidente che essendo dati distribuiti temporalmente in un buon numero di anni non si può pretendere completa omogeneità, ma comunque danno informazioni sufficienti, almeno nelle zone pianeggianti, sulle caratteristiche e profondità della falda, condizione discriminante, insieme a dati granulometrici di carattere generale per individuare aree potenzialmente soggette a liquefazione. I valori piezometrici riguardanti le aree basso collinari risultano invece più dispersi e meno coerenti.

Le indagini geotecniche sono molto abbondanti nelle aree di piana costiera e nella piana alluvionale del Fiume Tronto, lungo i versanti collinari prospicienti l'area di costa e lungo quelli in riva sinistra e destra del Torrente Albula.

Risultano invece meno coperte: il versante collinare che limita in riva sinistra la piana alluvionale del Fiume Tronto; la zona di fondovalle ed i relativi versanti del Torrente Ragnola e l'area di piana alluvionale del Torrente Albula.

Scarse sono anche le indagini presenti in corrispondenza dei vari corpi di frana individuati in quanto, quando anche presenti, furono realizzate, tranne rare eccezioni, con solo scopo edificatorio e senza prendere in considerazione la possibile esistenza di tali dissesti. Non furono quindi eseguite indagini che avessero lo scopo di acquisire informazioni relative al modello del possibile dissesto e non furono progettati eventuali sistemi di monitoraggio.

Assenti sono le informazioni di carattere geotecnico relative alle unità granulari, sia sabbiose sia ghiaiose, costituenti in substrato geologico, posizionate nelle aree topograficamente più elevate e scarsamente abitate.

Dal punto di vista geofisico, si è reperito un numero di indagini piuttosto limitato, sono state raccolte: n. 30 indagini di tipo HVSR; n. 6 down-hole e n.18 indagini lineari, di cui solo n.10 in grado di fornire indicazioni sui valori delle Vs.

Ad integrazione dei dati raccolti sono state realizzate n. 15 HVSR e n. 3 MASW.

Le indagini HVSR reperite e realizzate risultano piuttosto coerenti ed omogenee, indicando per la maggior parte assenza di forti contrasti di impedenza ad eccezione dell'area alluvionale del Fiume Tronto e di alcune localizzate aree caratterizzate da presenza di coperture.

Anche le indagini MASW e REMI a parità di condizioni litologiche e stratigrafiche, risultano piuttosto coerenti.

Il numero limitato di indagine DH non permette un confronto esaustivo sull'attendibilità dei dati.

E' necessario comunque notare come i dati più dispersi risultano essere quelli relativi alle caratteristiche geofisiche del substrato geologico argilloso. Si può notare come i valori delle Vs calcolate attraverso le indagini che raggiungono il substrato risultano piuttosto dispersi. Tali valori indicando generalmente $V_s < 800$ ma sono state comunque reperite due DH, realizzate in prossimità del Fiume Tronto, che evidenziano velocità delle onde di taglio di poco superiori agli 800 m/s.

Per quanto riguarda future indagini da realizzare per l'esecuzione di eventuali successivi studi di microzonazione sismica di maggior dettaglio, saranno fornite, di seguito, alcune indicazioni di massima.

L'area di versante in riva sinistra del Fiume Tronto, caratterizzata dalla presenza di depositi di terrazzo, necessita di indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo), che permettano di definire con maggiore accuratezza lo spessore di tali depositi e i rapporti stratigrafici tra le varie unità litologiche. Risulteranno utili, nelle stesse aree, indagini geofisiche che permettano di confermare le condizioni stimate nel presente lavoro, evidenziare eventuali contrasti di impedenza non individuati e acquisire maggiori informazioni sulle velocità di taglio dei terreni di copertura a delle unità di substrato sottostanti.

Pochi dati sia di carattere geotecnico che di tipo geofisico sono a disposizione relativamente alle aree di fondovalle del Torrente Ragnola e del Torrente Albula. Anche in queste aree sarà utile realizzare alcune indagini geotecniche ed alcune indagini geofisiche per determinare con maggiore precisione, le caratteristiche geotecniche e granulometriche di tali terreni, la presenza e le caratteristiche di un'eventuale falda superficiale, la presenza di eventuali contrasti di impedenza non individuati e acquisire maggiori informazioni sulle velocità di taglio dei terreni di copertura a delle unità di substrato sottostanti.

Le aree maggiormente carenti di indagini specifiche e mirate, sono comunque quelle individuate quali aree in frana. Sarà chiaramente necessario, nell'ambito di eventuali futuri studi di dettaglio, eseguire indagini che permettano di realizzare modelli del sottosuolo sufficientemente dettagliati e di comprendere quali potrebbero essere i meccanismi cinematici ipotizzabili, gli spessori dei materiali coinvolti e lo stato di attività. Tali indagini dovranno comprendere sondaggi a carotaggio continuo, sistemi di monitoraggio delle eventuali deformazioni e di variazione delle pressioni neutre nei terreni, indagini sismiche puntuali e lineari che permettano di approfondire a sufficienza i modelli di frana, in rapporto agli scopi da raggiungere.

Data la mancanza di dati, sarà utile raccogliere informazioni, attraverso indagini geotecniche ma prevalentemente geofisiche, sulle caratteristiche del substrato geologico individuato, per capire le velocità di taglio caratteristiche, la possibile presenza di inversioni di velocità in corrispondenza delle litofacies sabbiose arenacee e ghiaioso conglomeratiche e l'eventuale presenza od assenza di terreni con $V_s > 800$ m/s e la loro distribuzione spaziale ed in profondità.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONI E RISULTATI

La distribuzione dei dati geotecnici e geofisici raccolti e realizzati hanno permesso un'adeguata definizione degli spessori e delle caratteristiche litotecniche ed idrogeologiche delle coperture e del substrato osservati nell'area di studio.

La sintesi dei dati a disposizione ha quindi permesso di arrivare alla realizzazione della Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) fornita in due elaborati (area Nord e area Sud) in scala 1:5.000.

Non è stato individuato all'interno dell'area di indagine un substrato uniformemente ed univocamente rigido ($V_s > 800$ m) per cui non sono presenti aree definite stabili. La parte di territorio comunale sottoposto ad indagine è quindi costituito da zone suscettibili di instabilità o da zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

7.1 ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ

Sono state individuate tre tipologie di zone suscettibili di instabilità, di seguito descritte.

7.1.1 ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ PER LIQUEFAZIONE

Le aree sono state individuate attraverso l'analisi delle carta geologico tecnica, delle sezioni geologico tecniche, dei dati idrogeologici ed in generali delle varie indagini a disposizione.

Sono stati inseriti all'interno di tali zone le aree caratterizzate in superficie e/o nei primi 20 m circa di terreni da limosi a ghiaioso sabbiosi generalmente poco consistenti, con falda superficiale e comunque la cui profondità del livello statico è < 15 m da p.c. .

Seguendo tale definizione, sono state considerate zone suscettibili di instabilità per liquefazione le zona di spiaggia e piana costiera e le zone di fondovalle del Fiume Tronto, del Torrente Albula e del Torrente Ragnola.

Le aree definite suscettibili di instabilità per liquefazione, data la presenza di terreni non rigidi con $V_s < 800$ m/s, potranno essere comunque anche soggette a fenomeni di amplificazione locale.

Per quanto riguarda le aree poste lungo i versanti, caratterizzate da granulometrie medie si è osservato che i dati di falda risultano dispersi ed eterogenei, inoltre essendo tali depositi più antichi e quindi generalmente addensati non sono stati considerati come suscettibili a liquefazione ma sono stati considerati come terreni stabili suscettibili di amplificazione locale.

7.1.2 ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ PER INSTABILITÀ DI VERSANTE

Sono state inserite in tali zone le aree individuate nella carta geologico-tecnica come aree soggette ad instabilità di versante, la metodologia di definizione del grado di attività assegnato è stata descritta nei precedenti paragrafi.

Le aree definite suscettibili di instabilità per instabilità di versante, data la presenza di terreni non rigidi con $V_s < 800$ m/s, potranno essere comunque anche soggette a fenomeni di amplificazione locale.

7.1.3 ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ PER CROLLI DI CAVITÀ SOTTERRANEE

Tale area risulta essere quella relativa al "Paese Alto", corrispondente al centro storico dell'abitato capoluogo. Questa, come precedentemente detto, è stata, infatti, a seguito di specifici studi, inserita nel PAI quale area in dissesto per possibili cedimenti di cunicoli sotterranei di origine antropica.

In particolare, nei relativi documenti istruttori, è stato individuato un perimetro (integralmente riportato negli elaborati del presente studio) delimitante l'area probabilmente soggetta a sprofondamenti. L'area di interesse è costituita, per la gran parte, da depositi alluvionali terrazzati antichi generalmente addensati; solo un piccolo lembo a sud sembra essere ubicato nella zona pianeggiante con terreni prevalentemente granulari a minor grado di addensamento, probabile presenza di falda superficiale e quindi considerata anche come zona suscettibile di instabilità per liquefazione.

Tale piccolo lembo è quindi una zona caratterizzata dalla sovrapposizione di due zone suscettibili di instabilità differenti.

Le aree definite suscettibili di instabilità per crolli di cavità sotterranee, data la presenza di terreni non rigidi con $V_s < 800$ m/s, potranno essere comunque anche soggette a fenomeni di amplificazione locale.

7.2 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Definite e limitate arealmente le zone suscettibili di instabilità, si è passato alla caratterizzazione della rimanente parte del territorio in varie zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

Per la definizione di tali zone ci si è basato sull'interpretazione congiunta della carta geologico tecnica, delle sezioni geologico tecniche e di tutte le indagini reperite e realizzate.

L'intento è stato quello di raggiungere un soddisfacente compromesso tra descrizione dettagliata del sottosuolo e sintesi dai dati a disposizione, con l'intento di mettere a disposizione uno strumento di facile utilizzo.

Si è quindi cercato di raggruppare aree con caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e geofisiche simili, cercando comunque di evidenziare particolari passaggi litologici (anche all'interno di stesse unità geologiche) che potessero avere un qualche significato dal punto di vista della risposta sismica (es. variazioni litologiche verticali tra terreni fini e medio-fini e terreni grossolani) e che potessero essere oggetto di particolare attenzione durante le successive fasi di studio di dettaglio. Parallelamente c'è stato uno sforzo per non definire un eccessivo numero di zone omogenee e quindi di colonne stratigrafiche di riferimento.

Degno di nota è il percorso che ha portato alla scelta interpretativa del substrato geologico non rigido in quanto è stato oggetto durante la realizzazione del lavoro di un continuo e proficuo scambio di opinioni tra tecnici incaricati, commissione tecnico-scientifica e tecnici regionali.

Su indicazione della suddetta commissione il substrato geologico non rigido è stato distinto nella carta geologico-tecnica dando prevalenza alle caratteristiche litologiche dello stesso ed utilizzando, nel caso in esame, la descrizione di substrato coesivo sovraconsolidato stratificato non rigido per le unità argillose di base e la descrizione di substrato granulare debolmente cementato non rigido per l'unità sabbioso arenacea e per la sovrastante unità ghiaioso conglomeratica. Ciò ha chiaramente richiesto l'accorpamento delle due unità di sommità.

Stesso metodo è stato utilizzato per la realizzazione delle sezioni geologico-tecniche.

Considerando il substrato come non rigido, le aree caratterizzate dall'affioramento di tali terreni sono state inserite tra quelle stabili soggette ad amplificazione. L'accorpamento delle due unità granulari prima descritte ha portato quindi alla definizione di due sole MOPS riguardanti il substrato non rigido, una caratterizzata dalla presenza delle sole argille di base e l'altra caratterizzata dalla presenza dei litotipi non rigidi granulari (sabbie e arenarie poco cementate su ghiaie e conglomerati poco cementati) stratigraficamente sovrastanti le argille di base.

Anche se tali terreni occupano in affioramento aree a densità abitativa molto scarsa e quindi di relativo interesse dal punto di vista urbanistico, in eventuali successivi studi di dettaglio potrebbe essere utile porre attenzione al comportamento sismico delle singole unità litotecniche granulari presenti, attualmente accorpate (sabbie/arenarie poco cementate e ghiaie/conglomerati poco cementati).

Sono state comunque definite n.9 tipi di zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, con le relative colonne litostratigrafiche di riferimento, la cui descrizione è osservabile di seguito:

2001 (Zona 1): Caratterizzata dalla presenza di soli terreni appartenenti al substrato geologico non rigido. La stratigrafia può essere sinteticamente descritta, dall'alto verso il basso come:

- argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m riferibili alla Formazione delle Argille azzurre.

2002 (Zona 2): Caratterizzata dalla presenza di soli terreni appartenenti al substrato geologico non rigido. La stratigrafia può essere sinteticamente descritta, dall'alto verso il basso come:

- ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e sabbie da addensate a debolmente cementate con spessore medio di circa 40 m riferibili alla facies conglomeratica della Formazione di Fermo per i depositi granulometricamente grossolani ed alla facies arenacea della stessa Formazione per quelli a granulometria media (spessore massimo supposto circa 90 m).
- argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m riferibili alla Formazione delle Argille azzurre.

2003 (Zona 3): Caratterizzata dalla presenza di una copertura dello spessore medio di 10 m su substrato geologico non rigido. La stratigrafia può essere sinteticamente descritta, dall'alto verso il basso come:

- argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 10 m, riferibili a depositi eluvio colluviali e alla facies alterata del substrato (spessore massimo supposto 15 m);
- argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m riferibili alla Formazione delle Argille azzurre.

2004 (Zona 4): Caratterizzata dalla presenza di una copertura dello spessore medio di 9-10 m su substrato geologico non rigido. La stratigrafia può essere sinteticamente descritta, dall'alto verso il basso come:

- limi, limi sabbiosi, sabbie limose o argillose e limi argillosi moderatamente addensati/consistenti con spessore medio di circa 6 m, riferibili a depositi eluvio colluviali (spessore massimo supposto 10 m);
- argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 3 m, riferibili alla facies alterata del substrato (spessore massimo supposto 6-8 m);
- argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m riferibili alla Formazione delle Argille azzurre.

Il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente.

2005 (Zona 5): Caratterizzata dalla presenza di una copertura dello spessore medio di 10 m su substrato geologico non rigido. La stratigrafia può essere sinteticamente descritta, dall'alto verso il basso come:

- ghiaie sabbiose e miscele di ghiaie e sabbie addensate con spessore medio di circa 10 m, riferibili a depositi alluvionali di terrazzo (spessore massimo supposto 20 m);
- argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m riferibili alla Formazione delle Argille azzurre.

2006 (Zona 6): Caratterizzata dalla presenza di una copertura dello spessore medio di 30 m su substrato geologico non rigido. La stratigrafia può essere sinteticamente descritta, dall'alto verso il basso come:

- sabbie limose a tratti limi sabbiosi addensati con spessore medio di circa 5 m, riferibili a depositi alluvionali di terrazzo (spessore massimo supposto 8 m);
- ghiaie limose prevalenti addensate con spessore medio di circa 5 m, riferibili a depositi alluvionali di terrazzo (spessore massimo supposto 10 m);
- sabbie limose addensate con spessore medio di circa 10 m riferibili a depositi alluvionali di terrazzo (spessore massimo supposto 15-20 m);
- argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 10 m, riferibili alla facies alterata del substrato (spessore massimo supposto 15 m);
- argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m riferibili alla Formazione delle Argille azzurre.

2007 (Zona 7): Caratterizzata dalla presenza di una copertura dello spessore medio di circa 25 m su substrato geologico non rigido. La stratigrafia può essere sinteticamente descritta, dall'alto verso il basso come:

- limi sabbiosi e sabbie fini limose moderatamente addensati con spessore medio di circa 12 m, riferibili a depositi alluvionali di terrazzo (spessore massimo supposto 15 m);
- sabbie ghiaiose e sabbie limose ghiaiose addensate con spessore medio di circa 10 m, riferibili a depositi alluvionali di terrazzo (spessore massimo supposto 15 m);
- argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 2 m, riferibili alla facies alterata del substrato (spessore massimo supposto 5 m);
- argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m riferibili alla Formazione delle Argille azzurre.

Il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente.

2008 (Zona 8): Caratterizzata dalla presenza di una copertura dello spessore medio di circa 12 m su substrato geologico non rigido. La stratigrafia può essere sinteticamente descritta, dall'alto verso il basso come:

- sabbie limose a tratti limi sabbiosi addensati con spessore medio di circa 10 m, riferibili a depositi alluvionali di terrazzo (spessore massimo supposto 15-20 m);
- argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 2 m, riferibili alla facies alterata del substrato (spessore massimo supposto 5 m);
- argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m riferibili alla Formazione delle Argille azzurre.

Il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente.

2009 (Zona 9): Caratterizzata dalla presenza di una copertura dello spessore medio di circa 15 m su substrato geologico non rigido. La stratigrafia può essere sinteticamente descritta, dall'alto verso il basso come:

- limi sabbiosi e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 5 m, riferibili a depositi eluvio colluviali (spessore massimo supposto 8 m)
- sabbie limose addensate con spessore medio di circa 7 m, riferibili a depositi alluvionali di terrazzo (spessore massimo supposto 10 m);
- argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 2 m, riferibili alla facies alterata del substrato (spessore massimo supposto 5 m);
- argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m riferibili alla Formazione delle Argille azzurre.

Il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente.

Lo schema sintetico delle stratigrafie di riferimento descritte può essere osservato in allegato al capitolo 8.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 CARTA DELLE INDAGINI

La carta è fornita in due elaborati, una per la zona Nord e l'altra per la zona Sud. Gli elaborati sono restituiti alla scala 1:5.000.

L'ubicazione dei punti di indagine e delle indagini lineari reperite è desunta dagli elaborati planimetrici reperiti.

Le indagini realizzate sono state posizionate attraverso rilievo in sito con GPS portatile Garmin Map 60 CS.

Viene riportato il perimetro dell'area d'indagine per la MZS livello 1.

Sono riportate anche indagini reperite realizzate esternamente all'area d'indagine ma utili per la ricostruzione del modello geologico e litostratigrafico locale.

La carta è stata redatta, come per tutti gli altri elaborati cartografici, secondo gli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS - 2008), della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome, Commissione protezione civile, e degli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Microzonazione Sismica, versione 2.0 del giugno 2012, della Commissione tecnica per la microzonazione sismica mediante l'utilizzo di un software dedicato operante in ambiente GIS.

Il database delle indagini è stato anch'esso compilato secondo gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Microzonazione Sismica, versione 2.0 del giugno 2012, usufruendo dell'applicazione SoftMS (Software per l'archiviazione dei dati della Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica) a cura del Dipartimento di Protezione Civile, CNR-IGAG (2012).

Si fa notare che il simbolo "Sondaggio con piezometro" è stato utilizzato per indicare, nelle indagini puntuali, quelle indagini (sondaggi e prove penetrometriche) in cui era disponibile la misura del livello di falda. Tale dato è stato molto importante per la definizione delle aree suscettibili di instabilità per liquefazione.

Nei soli files di stampa è stato inserito, per una maggiore leggibilità della carta, per ogni sito di indagine, un codice numerico progressivo ed univoco, corrispondente:

- per le indagini puntuali alla chiave primaria della tabella indagini puntuali (pkey_spu);
- per le indagini lineari alla chiave primaria della tabella indagini lineari (pkey_slm).

Tale codice è di colore nero per le indagini puntuali e verde per quelle lineari.

8.2 CARTA GEOLOGICO- TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

La carta è fornita in due elaborati, una per la zona Nord e l'altra per la zona Sud. Gli elaborati sono restituiti alla scala 1:5.000.

La carta è stata redatta, come per tutti gli altri elaborati cartografici, secondo gli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS - 2008), della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome, Commissione protezione civile, e degli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Microzonazione Sismica, versione 2.0 del giugno 2012, della Commissione tecnica per la microzonazione sismica mediante l'utilizzo di un software dedicato operante in ambiente GIS.

Per la redazione della carta geologico-tecnica, elaborato di riferimento di base è stato la carta geologica regionale in scala 1:10.000, i cui dati sono stati integrati attraverso il rilevamento geologico di dettaglio,

l'osservazione delle foto aeree, l'analisi dell'intera mole di indagini reperite e la consultazione della bibliografia di riferimento.

Per quanto riguarda i terreni di copertura, come indicato negli SRAI, sono stati cartografati solo quelli con spessore > 3 m.

Nella redazione della cartografia, sono state indicate in carta le unità geologico-tecniche affioranti, con spessore di almeno 3 m, indicando su ogni singola zona della carta il relativo codice composto come indicato nel paragrafo 1.1.2 degli SRAI. Nella legenda, accanto al simbolo ed al codice, è stata riportata una descrizione della litologia e dell'ambiente genetico deposizionale.

Di seguito una descrizione delle unità geologico tecniche rappresentate in carta.

- Rlzz - Si tratta di terreni di riporto, derivanti quindi da attività antropica; sono caratterizzati da granulometria eterogenea, prevalentemente granulare e grado di addensamento moderato. Tali terreni sono stati indicati in prossimità dell'area del Porto;

- GWes - Si tratta di sedimenti ghiaiosi prevalentemente ben assortiti e di miscele di ghiaie e sabbia dell'alveo dei principali corsi d'acqua (Fiume Tronto e Torrente Albula), poco addensati, di colore dal marrone al giallastro. In tale carta sono stati attribuiti a depositi di argine, barra e canale, ritenuto l'ambiente genetico deposizionale più vicino ma comunque non completamente calzante;

- GWf - Si tratta di sedimenti ghiaiosi, prevalentemente ben assortiti e di miscele di ghiaia e sabbia, solitamente addensate, di colore dal marrone al giallastro, sono classificabili come depositi terrazzati. Nell'area di interesse affiorano in zone elevate e sono quindi riconducibili a depositi terrazzati generalmente antichi;

- GMsp - Si tratta di sedimenti ghiaioso limosi e miscele di ghiaia, sabbia e limo di piana costiera, poco addensati, di colore dal marrone al giallastro; affiorano in una limitata area al contatto con il piede dei rilievi collinari occidentali, al confine con il territorio comunale di Grottammare;

- SWsp - Si tratta di prevalenti sabbie pulite e sabbie ghiaiose di piana costiera e di spiaggia attuale, poco addensate, di colore dal marrone al giallastro; affiorano diffusamente in buona parte dell'area pianeggiante costiera;

- SPsp - Si tratta di prevalenti sabbie pulite di ambiente di spiaggia, poco addensate, di colore dal marrone al giallastro; affiorano prevalentemente lungo la linea di costa;

- SMec - Si tratta di depositi eluvio colluviali sabbioso limosi e da miscele di sabbia e limo, marroni, moderatamente addensati. Affiorano prevalentemente in corrispondenza dei rilievi basso collinari, nella parte N dell'area di indagine;

- SMtf - Si tratta di prevalenti sedimenti sabbioso limosi e miscele di sabbie e limo di ambiente fluviale di terrazzo; i depositi più antichi, più alti in quota, sono generalmente addensati, quelli più recenti interessanti le aree di fondovalle, sono generalmente poco addensati. Affiorano lungo le valli ed i relativi versanti dei principali corsi d'acqua presenti (Fiume Tronto, Torrente Albula, Torrente Ragnola);

- MLec - Si tratta di limi, sabbie limose o argillose, limi sabbiosi e limi argillosi di origine eluvio colluviale moderatamente addensati per i terreni granulari, moderatamente consistenti per quelli coesivi, generalmente marroni. Affiorano diffusamente nei tratti a minor pendenza dei rilievi basso collinari presenti nell'area. I depositi eluvio colluviali sono generalmente medio fini ma comunque con granulometria piuttosto variabile; si è comunque teso ad un generale omogeneizzazione per semplificare le carte di sintesi;

- MLtf - Si tratta di limi, sabbie fini limose o argillose, limi sabbiosi di terrazzo fluviale marroni e nocciola, i depositi più antichi, più alti in quota, sono generalmente addensati, quelli più recenti interessanti le aree di piana, sono generalmente poco addensati. Affiorano in corrispondenza del fondovalle e dei relativi versanti della valle del Fiume Tronto;

Per quanto riguarda l'area di fondovalle del fiume Tronto, le osservazioni di superficie e le indagini raccolte hanno permesso di osservare che tali depositi risultano prevalentemente costituiti da limi, limi sabbiosi, sabbie limose e limi argillosi, con presenza di lenti e livelli di ghiaie di spessore plurimetrico. I sedimenti non sono affatto omogenei, sia lateralmente che verticalmente; frequenti e repentine sono le variazioni di litofacies, con alternanze continue di litotipi granulometricamente differenti, con prevalenza comunque, di terreni a granulometria media e fine. Dal punto di vista della rappresentazione cartografica e in sezione di tali sedimenti, per quanto riguarda i depositi medi e fini si è scelto di rappresentarli in modo omogeneo classificandoli nella classe ML che poteva in un certo senso descrivere tale variabilità granulometrica essendo una classe che comprende terreni che vanno dai limi argillosi alle sabbie limose o argillose (fini).

- CLec - Si tratta di limi argillosi ed argille limose di origine eluvio colluviale moderatamente consistenti, generalmente marroni. Affiorano in alcuni limitati tratti di versante nella parte N dell'area di indagine;

- GR - Tale unità corrisponde alla litofacies conglomeratica ed alla sottostante litofacies arenacea del basamento geologico non rigido. Per la litofacies arenacea si tratta di arenarie debolmente cementate o sabbie addensate, giallastre, laminate, con spessore massimo, nell'area di stretto interesse, di circa 50 m. Per la litofacies conglomeratica si tratta di conglomerati generalmente debolmente cementati e ghiaie addensate con matrice prevalentemente sabbiosa giallastra, solitamente massivi, nell'area di stretto interesse ha uno spessore di qualche decina di metri.

- COS - Tale unità corrisponde alla litofacies argillosa e argilloso limosa della Formazione delle Argille azzurre. Si tratta di depositi argillosi e argilloso limosi grigi ed azzurri, stratificati, da consistenti a molto consistenti, con spessori estremamente elevati, di varie centinaia di metri. Affiorano nelle aree basso collinari al letto delle unità prima descritte.

Di particolare utilità è stata l'introduzione nella Carta geologico-tecnica della profondità della falda in aree con sabbie e ghiaie derivante dai dati delle indagini puntuali, tale dato ha permesso di definire, assieme ad informazioni riguardanti i meccanismi deposizionali e le caratteristiche geotecniche, le aree suscettibili di instabilità per liquefazione.

L'area di studio è inoltre caratterizzata da zone soggette ad instabilità di versante, i terreni interessati risultano prevalentemente argillosi ed argilloso sabbiosi e subordinatamente arenacei e ghiaioso-conglomeratici, derivanti da movimenti franosi. Nelle frane di maggiori dimensioni, coinvolgenti il substrato geologico, il dissesto può non aver alterato i rapporti stratigrafici tra le unità costituenti il basamento geologico che però risultano ruotate, con assetto giaciturale non coerente e a volte ribassate.

Nelle carte redatte sono stati quindi introdotti i dissesti indicati nei PAI regionale e del Fiume Tronto, quelli individuati nella Carta geologica Regionale a scala 1:10.000 e quelli riconosciuti attraverso l'analisi delle foto aeree ed i rilievi di campagna.

Le frane cartografate sono caratterizzate solitamente da meccanismi cinematici di tipo rototraslazionale.

I corpi di frana di grande dimensione sono caratterizzati da meccanismi complessi e sono caratterizzati da scarpate di frana molto acclivi con altezze spesso superiori ai 20 m. Tali scarpate solo perlopiù impostate su depositi granulari da molto addensati a debolmente cementati e sono attualmente sede di localizzati

fenomeni erosivi e crolli, che potrebbero essere di maggiore entità soprattutto in corrispondenza di eventi sismici. Sono stati ipotizzati per i corpi di grandi dimensioni spessori di varie decine di metri.

I corpi minori hanno spessori minori compreso tra qualche metro e 10-20 m.

Ai dissesti derivanti dalle cartografie PAI è stato assegnato un grado di attività quiescente. Ai dissesti individuati nella carta geologica regionale a scala 1:10.000 è stato assegnato il grado di attività individuato in tali cartografie. Alle poche piccole frane riconosciute in campagna è stato assegnato un grado di attività in funzione degli elementi superficiali osservati.

Alle frane riconosciute attraverso l'analisi delle foto aeree è stato generalmente assegnato un grado di attività non definito in quanto il tenore di tale studio non permette di raccogliere informazioni in tale senso.

Relativamente a tali aree due sono comunque le eccezioni fatte di seguito esplicitate:

- La grande frana individuata a N, al confine con il comune di Grottammare, posta sul versante orientale di un rilievo collinare e limitata ad oriente dai depositi di piana costiera, è stata considerata quiescente; tale scelta è stata fatta considerando che tale dissesto, per la parte ricadente nel comune di Grottammare è stato nel tempo studiato, inserito nel PRG Comunale, inserito nelle cartografie del progetto IFFI e considerato generalmente quiescente.

- Le maggiori scarpate di frana, con altezze di almeno 10 m e le aree immediatamente a monte e a valle delle stesse, a causa della loro acclività e della presenza diffusa di fenomeni erosivi e di locali episodi di crollo, sono state considerate come aree in frana per fenomeni di crollo e ribaltamento di tipo attivo.

Dato il tenore dello studio e la mancanza di adeguate indagini geologiche, geotecniche e di sistemi di monitoraggio, la definizione di dettaglio dei modelli di frana ed il grado di attività di ogni singolo dissesto, potrà essere definito solo a seguito di specifici studi ed indagini di dettaglio che non sono oggetto del presente lavoro.

Altra area di particolare interesse, risulta essere quella relativa al "Paese Alto", corrispondente al centro storico dell'abitato capoluogo. Tale area è stata infatti, a seguito di specifici studi, inserita nel PAI quale area in dissesto per possibili cedimenti di cunicoli sotterranei di origine antropica. L'area di interesse è caratterizzata, per la gran parte, da depositi alluvionali terrazzati antichi generalmente addensati, solo un piccolo lembo a sud sembra essere ubicato nella zona pianeggiante costituita da terreni prevalentemente granulari a minor grado di addensamento e probabile presenza di falda superficiale.

Si evidenzia inoltre che, a supporto della Carta geologico-tecnica sono state redatte n.3 sezioni geologico-tecniche, fondamentali per la comprensione e la descrizione del modello del sottosuolo e per la definizione delle MOPS.

La distribuzione areale delle unità descritte può essere osservata nelle cartografie redatte.

8.3 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (LIVELLO 1)

La carta è fornita in due elaborati, una per la zona Nord e l'altra per la zona Sud. Gli elaborati sono restituiti alla scala 1:5.000.

La carta è stata redatta, come per tutti gli altri elaborati cartografici, secondo gli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS - 2008), della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome, Commissione protezione civile, e degli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Microzonazione Sismica, versione 2.0

del giugno 2012, della Commissione tecnica per la microzonazione sismica mediante l'utilizzo di un software dedicato operante in ambiente GIS.

La carta riporta la distribuzione delle MOPS all'interno del perimetro d'indagine ed è stata eseguita mediante i criteri, i dati e le elaborazioni dettagliate nei precedenti capitoli mentre, la descrizione delle singole zone è stata già riportata al capitolo 5.

Anche in questa carta, viene riportato il perimetro dell'area d'indagine per la MZS livello 1.

Di seguito una descrizione sintetica della carta, movendosi da est verso ovest.

Il limite orientale dell'area di studio corrisponde alla linea di costa subito a O è stata considerata la presenza di una fascia di spiaggia attuale con larghezza massima di circa 100 m costituita in prevalenza da sabbie poco assortite con subordinate sabbie ben assortite, sabbie limose e ghiaie. I depositi di spiaggia, risultano prevalentemente saturi per presenza di una falda superficiale con quota praticamente coincidente con il p.c. Tali aree sono state considerate come suscettibili di instabilità per liquefazione (codice 3050).

Ad eccezione delle aree di piana alluvionale del Fiume Tronto a S e del Torrente Albula a N, di cui si parlerà successivamente, subito a monte dei depositi di spiaggia attuali, è stata individuata la fascia dei depositi di piana costiera recente, caratterizzata, rispetto ai depositi precedentemente descritti da una maggiore frequenza di sabbie ben assortite, miscele di sabbie e ghiaie e subordinate aree francamente ghiaiose.

Anche tali depositi, risultano prevalentemente saturi per presenza di una falda superficiale con profondità della superficie piezometrica posta a pochi metri al disotto del p.c. . Tali aree sono state considerate come suscettibili di instabilità per liquefazione (codice 3050) .

Al margine meridionale dell'area di studio è invece osservabile la piana alluvionale del Fiume Tronto, caratterizzata dal punto di vista geologico da subordinati depositi d'alveo e dai maggiormente diffusi depositi alluvionali olocenici. Le osservazioni di superficie e le indagini raccolte hanno permesso di notare che tali depositi risulta prevalentemente costituiti da limi, limi sabbiosi e sabbie limose, con presenza di lenti e livelli di ghiaie di spessore plurimetrico.

Anche tali depositi, risultano prevalentemente saturi per presenza di una falda superficiale con profondità della superficie piezometrica posta a pochi metri al disotto del p.c. . Tali aree sono state considerate come suscettibili di instabilità per liquefazione (codice 3050).

Nell'area di indagine ricadono, inoltre, le aree di fondovalle relative al Torrente Ragnola e al Torrente Albula. Pochi sono i dati a disposizione ma quelli presenti indicano prevalenti depositi sabbioso limosi poco addensati con spessore massimo di circa 10 m. E' ragionevole ipotizzabile che sia presente, in tali terreni, una falda superficiale con superficie piezometrica posta pochi metri al disotto del p.c. . Tali aree sono state considerate come suscettibili di instabilità per liquefazione (codice 3050) .

Le aree basso collinari, che limitano ad occidente l'area di indagine sono caratterizzate dall'affioramento di depositi di copertura e dalle unità costituenti il substrato geologico non rigido.

Tra le coperture si possono osservare alluvioni terrazzate, depositi eluvio colluviali e corpi di frana.

Le alluvioni terrazzate occupano i versanti collinari che delimitano in riva destra ed in riva sinistra le aree di fondovalle collegate ai principali corsi d'acqua della zona. Particolarmente estesi dal punto di vista areale sono quelli che bordano la piana alluvionale del Fiume Tronto e del Torrente Albula. Tali depositi sono stati osservati sino a quote prossime ai 100 m s.l.m. e sono, alla base, in contatto sedimentario con le unità argillose del substrato geologico integro o alterato.

I terrazzi più antichi della zona meridionale dell'area di indagine sono posti ad una quota tra i 60 e gli 80 m s.l.m. e sono costituiti da prevalenti ghiaie e ghiaie sabbiose (spessore massimo stimato di circa 20 m). Alla zona è stata assegnata una stratigrafia di riferimento specifica e tale area costituisce una microzona omogenea con codice 2005.

Gli altri terrazzi sono caratterizzati, in prevalenza, da limi sabbiosi e sabbie limose con, a volte, presenza di livelli e lenti anche di alcuni metri, di sedimenti ghiaiosi.

In particolare, i terrazzi posti in riva sinistra del Fiume Tronto, escludendo quello posizionato nell'area di fondovalle, sono caratterizzati da prevalenti sedimenti limosi, limo sabbiosi e sabbiosi limosi.

Quello più basso topograficamente è costituito da prevalenti depositi limo sabbiosi al tetto e miscele di sabbie e ghiaie alla base. In tale zona non sono a disposizione indagini che indichino lo spessore di tale depositi, si è stimato uno spessore medio di circa 25 m. Alla zona è stata assegnata una stratigrafia di riferimento specifica e tale area costituisce una microzona omogenea con codice 2006.

Quello immediatamente a monte sembra invece caratterizzato da prevalenti sabbie limose con un livello prevalentemente ghiaioso intercalato, spesso alcuni metri. Lo spessore massimo è di circa 25-30 m. Alla zona è stata assegnata una stratigrafia di riferimento specifica e tale area costituisce una microzona omogenea con codice 2007.

I depositi di terrazzo osservabili lungo i versanti collinari in riva destra e sinistra del Torrente Ragnola e del Torrente Albula sono invece caratterizzati da prevalenti terreni sabbioso limosi con spessori massimi di circa 15-20 m. Ad essi è stata assegnata una stratigrafia di riferimento specifica e l'area di affioramento costituisce una specifica microzona omogenea con codice 2008.

I depositi eluvio colluviali sono identificabili generalmente lungo i versanti collinari in corrispondenza delle aree a minor pendenza. In generale sovrastano stratigraficamente le unità argillose del substrato (integro o alterato). Le indagini a disposizione indicano granulometrie variabili da argilloso limose a francamente sabbiose con a volte presenza di frazione ghiaiosa. A tali aree sono state assegnate stratigrafie specifiche di riferimento che sono funzione delle caratteristiche granulometriche della copertura. Le aree di affioramento dei depositi eluvio colluviali costituiscono specifiche microzone omogenee generalmente con codice 2003 e 2004. In una piccola area a N, i depositi eluvio colluviali risultano prevalentemente sabbioso limosi e sono stratigraficamente sovrastanti il substrato geologico argilloso non rigido; a tale area è stata assegnata, per analogia nei caratteri granulometrici e geotecnici la microzona omogenea riferita al codice 2008.

In una zona in riva destra del Torrente Albula, in prossimità della località Forno, i depositi eluvio colluviali a prevalenza limosa e limo sabbiosa sono invece stratigraficamente sovrapposti a sedimenti terrazzati. All'area di affioramento è stata assegnata una stratigrafia di riferimento specifica e tale area costituisce una microzona omogenea con codice 2009.

Nelle aree collinari con assenza delle coperture prima descritte affiorano invece le unità geologiche del substrato, tali terreni appartengono prevalentemente alla litofacies argillosa e limosa e subordinatamente a quella sabbiosa o conglomeratica. I contatti stratigrafici tra le varie unità appaiono sub-orizzontali.

Le unità granulari affiorano, a meno di limitate dislocazioni tettoniche, osservate nella parte N, ad una quota superiore ai 130 m s.l.m. Alle relative zone di affioramento è stata assegnata una stratigrafia di riferimento specifica e tali aree costituiscono microzone omogenee con codice 2002.

Al di sotto dei 130 m s.l.m. affiorano invece le unità argillose e argillose di base. Anche in questo caso alle relative zone di affioramento è stata assegnata una stratigrafia di riferimento specifica e tali aree costituiscono microzone omogenee con codice 2001.

Per ultimo è necessario sottolineare la presenza di scarpate, oltre a quelle di frana già descritte, di origine antropica e fluviale, con altezze anche superiore ai 10 metri e, a tratti, superiore ai 20 m.

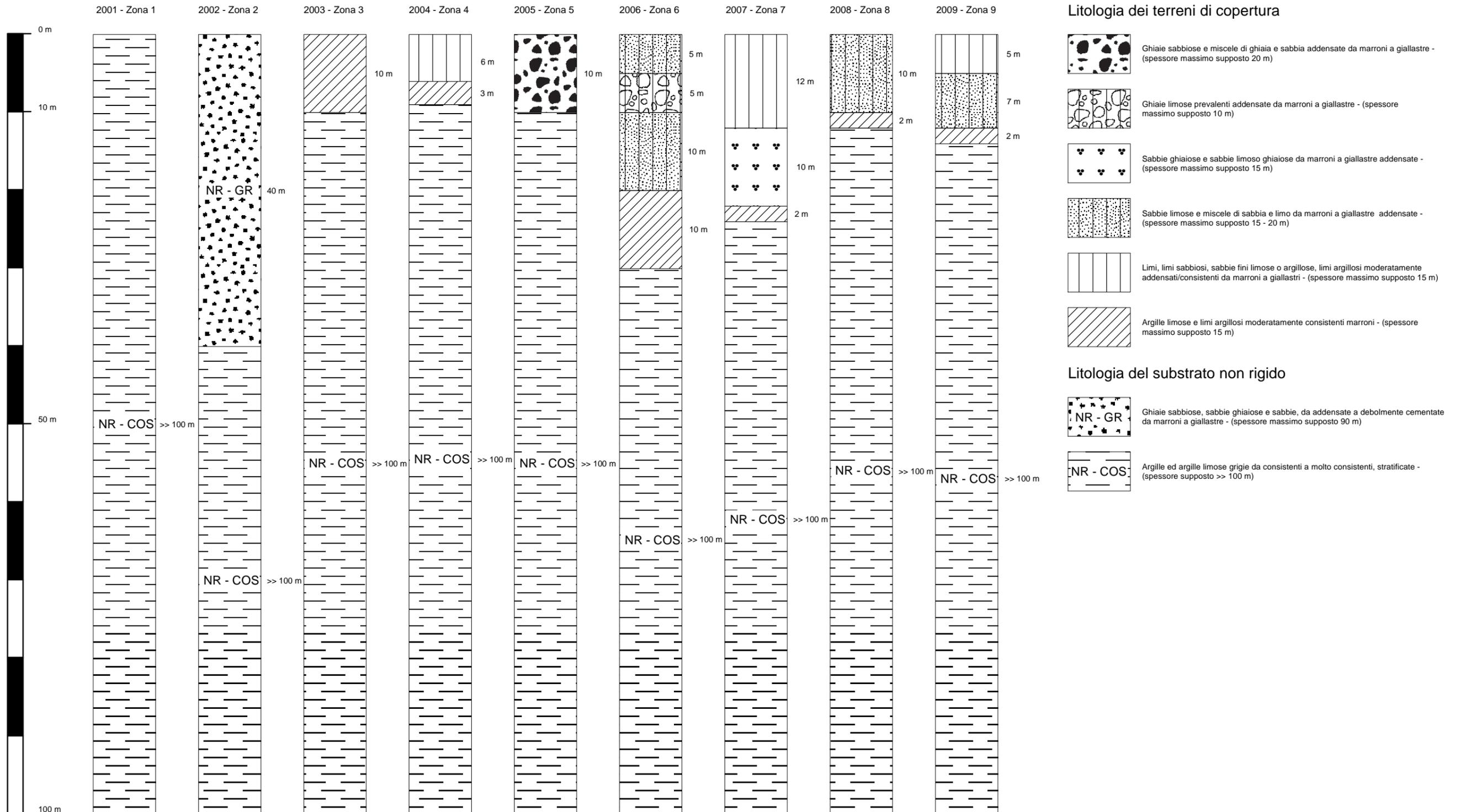
La definizione planimetrica di tali scarpate è stata realizzata attraverso l'ausilio delle planimetria topografica in scala 1:2.000 a disposizione dell'amministrazione comunale.

Nella carta delle MOPS sono inoltre state individuate le aree suscettibili di instabilità per instabilità di versante, la metodologia di definizione del grado di attività assegnato ed i meccanismi cinematici supposti, sono stati descritti nei precedenti capitoli.

Dato il tenore dello studio e la mancanza di adeguate indagini geologiche, geotecniche e di sistemi di monitoraggio, la definizione di dettaglio dei modelli di frana ed il grado di attività di ogni singolo dissesto, potrà essere definito solo a seguito di specifici studi ed indagini di dettaglio che non sono oggetto del presente lavoro. I codici assegnati al singolo dissesto possono essere osservati nella Carta delle MOPS.

Per ultimo, l'area relativa al "Paese Alto", corrispondente al centro storico dell'abitato capoluogo, è stata inserita nel PAI quale area in dissesto per possibili cedimenti di cunicoli sotterranei di origine antropica ed è stata quindi considerata come zona suscettibile di instabilità per crollo di cavità sotterranee (codice 3080). Tale zona è caratterizzata, per la gran parte, da depositi alluvionali terrazzati antichi generalmente addensati, solo un piccolo lembo a sud sembra essere ubicato nella zona pianeggiante costituita da terreni prevalentemente granulari a minor grado di addensamento, probabile presenza di falda superficiale e quindi considerata anche come zona suscettibile di instabilità per liquefazione. Tale piccolo lembo è quindi una zona caratterizzata dalla sovrapposizione di due zone suscettibili di instabilità differenti (codice 3070).

COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO
CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA
ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI
STRATIGRAFIE DI RIFERIMENTO MICROZONE OMOGENEE



9. BIBLIOGRAFIA

AA.VV., Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2012) - "Microzonazione sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" versione 2.0.

AA.VV., INGV, Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica OPCM n.3274/2003 (2004) – "Zonazione sismogenetica ZS9 , App. 2 al Rapporto Conclusivo".

AA.VV., Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, Commissione protezione civile (2008) - "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS - 2008)".

Albarello D. & Castellaro S. (2011) - "Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola" - Ingegneria sismica Anno XXVIII n.2, 32-62.

Antonini G., Cardinali M., Guzzetti F., Reichenbach P., Sorrentino A. (1993) - Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche ed aree limitrofe. C.N.R. - I.R.P.I. Perugia, G.N.D.C.I., n.580.

Aringoli D., Gentili B., Materazzi M., Pambianchi G.(2010) - Mass Movements in adriatic central Italy: activation and evolutive control factors. Landslide: Causes, Types and Effects, Ed. Ernest D. Werner, 1-71.

Cancelli A., Marabini F., Pellegrini M. & Tonnetti G. (1984) - Incidenza delle frane sull'evoluzione della costa adriatica da Pesaro a Vasto. Mem. Soc. Geol. It., 27, 555-568.

Esu F. & Grisolia M. (1991) - La stabilità dei pendii costieri adriatici tra Ancona e Vasto. Univ. degli Studi di Roma "La Sapienza", G.N.D.C.I.U.O. - 2.18, pubbl. n. 464.

Sesame Project (2004) - Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibration. Measurements, processing and interpretation. WP12 deliverable n. D23.12.

10. ALLEGATI

Di seguito l'elenco degli allegati alla Relazione Illustrativa esterni alla relazione:

- Sezioni geologiche-geotecniche - Allegato 1;
- Indagini geofisiche integrative - Allegato 2.