



**PROTEZIONE CIVILE**  
 Presidenza del Consiglio dei Ministri  
 Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
 DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77  
 OCDPC 344 / 2016

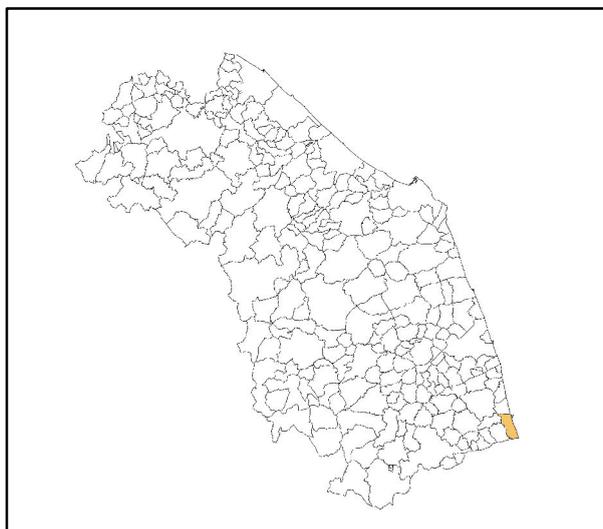
PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO – ANNUALITA' 2015

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Marche

### Comune di San Benedetto del Tronto



Regione



Soggetto realizzatore:



Via Adorni, 2 – 43121 Parma

*Direttori tecnici:*

Geol. Carlo Caleffi

Geol. Francesco Cerutti

*Collaboratori:*

Geol. Matteo Baisi

Geol. Alessandra Cantoni

Geol. Alessandro Ferrari

Ing. Giulia Mainardi

Geol. Gian Marco Veneziani

Data:

Novembre 2018

# MS2

## INDICE

1.	Introduzione .....	2
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento .....	5
2.1	Sismicità del territorio .....	5
2.2	Classificazione sismica comunale .....	9
3.	Assetto geologico e geomorfologico dell'area .....	12
3.1	Geologia .....	12
3.1.1	Depositi continentali quaternari .....	13
3.1.2	Successione umbro-marchigiano-romagnola .....	15
3.1.3	Successione pliocenica .....	15
3.2	Geomorfologia .....	16
4.	Dati geotecnici e geofisici .....	19
4.1	Stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR) .....	19
4.2	Prove sismiche MASW .....	20
5.	Modello del sottosuolo .....	23
6.	Interpretazioni e incertezze .....	25
6.1	Stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR) .....	25
6.2	Prove sismiche MASW .....	27
7.	Elaborati cartografici .....	30
7.1	Carta delle indagini .....	30
7.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica .....	32
7.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	36
7.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica .....	37
7.5	Carte di microzonazione sismica .....	47
8.	Bibliografia .....	52
9.	Allegati .....	54

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	1 di 54

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello studio di Microzonazione Sismica (MS) di secondo livello del Comune di San Benedetto del Tronto (Provincia di Ascoli Piceno), assegnata a Engeo s.r.l. dal Comune di San Benedetto del Tronto, con determinazione dirigenziale n. 558 del 07.05.2018 (codice CIG: Z04237172A).

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare le conoscenze in merito alle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie e di fornire informazioni utili al governo del territorio, alla progettazione, alla pianificazione per l'emergenza e alla ricostruzione post sisma.

La MS consente di suddividere il territorio esaminato in base alla presenza e alla distribuzione dei fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento, legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche delle singole aree considerate ed ai possibili fenomeni di instabilità e deformazione permanente in esse attivati dal sisma. L'insieme di queste conoscenze, sul comportamento dei terreni durante un evento sismico e sui possibili effetti indotti dallo scuotimento, è un indispensabile strumento di prevenzione e di riduzione del rischio, particolarmente efficace, se realizzato e applicato durante la pianificazione urbanistica, per indirizzare le scelte di trasformazione verso aree a minore pericolosità.

In Comune di San Benedetto del Tronto, sempre su incarico dell'amministrazione comunale, è già stata effettuata, da parte dello studio S.G.A. Studio Geologi Associati, con sede in Perugia, un'analisi di microzonazione sismica di primo livello, datata settembre 2013, approvata dall'apposita Commissione Tecnica del Dipartimento della Protezione Civile e certificata dalla Regione Marche.

Partendo da tale analisi, tutte le attività svolte nell'ambito del presente studio, sono state effettuate nel rispetto dei seguenti riferimenti normativi e tecnici:

- O.P.C.D.C. 344 del 9.5.2016 "Attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77 - annualità 2015." (da qui in avanti "Ordinanza 344/2016")
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- Studi pilota e disposizioni e/o linee guida per specifici tematismi redatte dai gruppi di lavoro del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile in accordo con la Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	2 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

- Allegato A2 “Schema tipo affidamento incarico geologo per studi di microzonazione sismica di 2° Livello” al decreto del dirigente del servizio protezione civile n. 20 del 26 febbraio 2018 (da qui in avanti “Allegato A2 al decreto regionale”)
- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 4.0b, Roma, ottobre 2015 - Elaborato e approvato nell’ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (da qui in avanti “SRAI”)
- Indicazioni fornite al corso di formazione “Le indagini geofisiche per la Microzonazione sismica di livello II”, organizzato dalla Regione Marche - Ordine Geologi Marche - ANCI Marche, tenutosi a Colle Ameno (Ancona), il 5 giugno 2018, dal Prof. Dario Albarello (da qui in avanti “Indicazioni del Prof. Albarello”)
- Attuazione dell’articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 - Microzonazione Sismica di II Livello - Abachi Regionali - Realizzato da OGS di Trieste (2015) e modificato dalla Commissione Tecnica Regionale (2018) (da qui in avanti “Abachi Regionali”)

Lo studio di secondo livello, attuato in conformità anche al disciplinare d’incarico del 05.05.2018 (Fascicolo n. 49), è stato finalizzato a una suddivisione dettagliata del territorio, in base all’amplificazione attesa, secondo aree con maggiore o minore pericolosità sismica.

In accordo con quanto indicato all’art. 3 del sopraccitato disciplinare, nell’ambito di un confronto con l’Ente Attuatore (Comune di San Benedetto del Tronto), è stata effettuata una ridefinizione dell’area di studio, rispetto a quella indagata con il primo livello di approfondimento, escludendo le zone esterne al territorio urbanizzato e urbanizzabile.

Conseguentemente, le aree oggetto di microzonazione, dove è stata concentrata la nuova campagna d’indagini, presentano una superficie complessiva di circa 1230 ettari (il primo livello ne aveva presi in considerazione circa 1550), corrispondente a quasi il 50% dell’intero territorio comunale.

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 9.

Essi sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in versione digitale (pdf, con risoluzione 300 dpi).

I dati cartografici sono forniti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

Per l’archiviazione dei dati e l’editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall’Allegato A2 della delibera regionale e dagli SRAI.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	3 di 54

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito software: "MS – SoftMS" nella versione 4.0.

L'impostazione e lo stato di avanzamento dello studio, oltre che gli elaborati prodotti in bozza, sono stati esaminati nel corso di 2 riunioni tecniche di coordinamento con la Commissione Tecnica Regionale per gli studi di MS, tenutesi entrambe ad Ancona, in data 20/07/2018 e 28/09/2018.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	4 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Sismicità del territorio

Nella valutazione della pericolosità sismica di una determinata area occorre, in primo luogo, definire la pericolosità di base attraverso una corretta analisi della sismicità evidenziando, sia la distribuzione spazio-temporale degli eventi, sia le caratteristiche di intensità degli stessi.

A riguardo, va segnalato che il territorio marchigiano è stato nel tempo sede di evidente attività sismica, tanto per l'intensità dei terremoti, quanto per la loro frequenza.

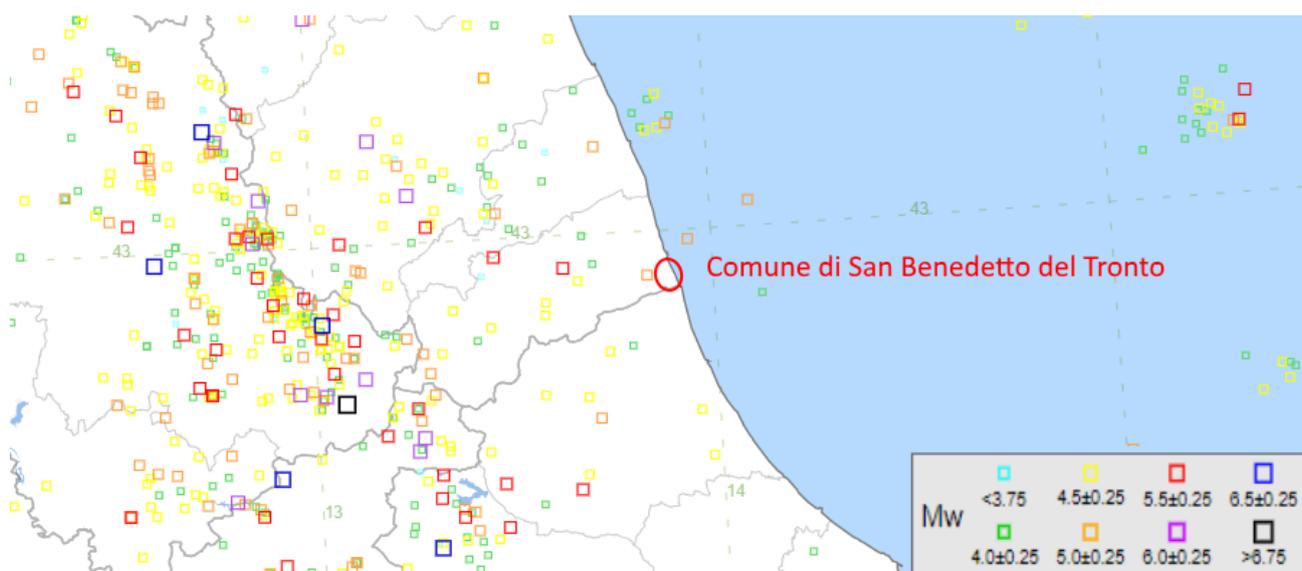
Nell'ultimo millennio, si possono contare circa una ventina di eventi distruttivi con zona epicentrale in territorio marchigiano. Tra i più recenti, che hanno prodotto maggiori danni, si possono citare quelli di Senigallia (AN), nel 1930, di Castignano (AP) nel 1943, quello di Ancona del 1972, fino alle sequenze sismiche dell'Appennino Umbro-Marchigiano, del settembre ottobre 1997, e del terremoto del Centro Italia, del 2016 e del 2017, che provocò oltre 300 morti.

Nel corso di quest'ultimo fenomeno, definito dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) *sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso*, si sono registrate le seguenti scosse, di particolare intensità:

- la prima è avuta il 24 agosto 2016, alle ore 3.36 e ha avuto una magnitudo di 6.0, con epicentro situato lungo la Valle del Tronto, tra i comuni di Accumoli (RI) e Arquata del Tronto (AP);
- due potenti repliche sono avvenute il 26 ottobre 2016 con epicentri al confine umbro-marchigiano, tra i comuni della Provincia di Macerata di Visso, Ussita e Castelsantangelo sul Nera (la prima scossa alle 19.11 con magnitudo 5.4 e la seconda alle 21.18 con magnitudo 5.9);
- il 30 ottobre 2016 è stata registrata la scossa più forte, di magnitudo momento 6.5 con epicentro tra i comuni di Norcia e Preci, in Provincia di Perugia;
- il 18 gennaio 2017 è avvenuta una nuova sequenza di quattro forti scosse di magnitudo superiore a 5, con massima pari a 5.5, ed epicentri localizzati tra i comuni aquilani di Montereale, Capitignano e Cagnano Amiterno.

Oltre ai terremoti che si sono generati nel territorio regionale, è necessario ricordare quelli con che vi hanno generato danno pur se con epicentro in zone limitrofe, che, come rappresentato in Fig. 1, si concentrano nel settore appenninico, ai confini tra Marche e Umbria e, più a sud, tra Abruzzo e Lazio. Tipico esempio è il terremoto verificatosi a Norcia, il 14 gennaio 1703, che fu uno dei più forti della storia sismica italiana.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	5 di 54



**Fig. 1 – Epicentri dei principali terremoti che hanno interessato il Comune di San Benedetto e zone limitrofe dall’anno 1000 al 2014 (Rovida et al., 2016; ISIDe Working Group, 2015)**

La storia sismica del Comune di San Benedetto del Tronto può essere dedotta anche dal database DBMI15 utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)<sup>1</sup> aggiornato al 2014, nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative al Capoluogo.

Essa è riassunta nella Tab. 1, dove sono stati elencati gli eventi di maggior intensità al sito (Intensity), in scala MCS, indicando, per ciascuno di essi, oltre alla stessa intensità: l’anno (Year), il mese (Mo), il giorno (Da) ed, eventualmente, l’ora (Ho), il minuto (Mi), il secondo (Se), in cui si è verificato, la denominazione dell’area epicentrale (Epicentral area), il relativo numero di dati di intensità macrosismica (NMDP), l’intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5,85
7	1882 08 16	Costa ascolana	13	7	5,15
4-5	1897 09 21	Marche settentrionali	44	7	5,4
5	1907 01 23 00 25	Adriatico centrale	93	5	4,75
6	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7,08
5-6	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
F <sup>2</sup>	1943 01 16	Monti Sibillini	22	6-7	5,04

<sup>1</sup> Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

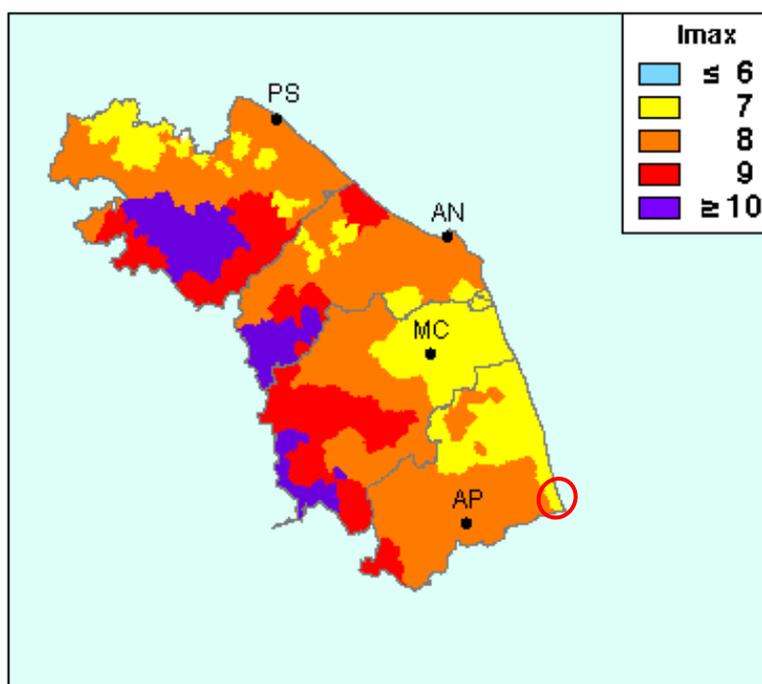
<sup>2</sup> Percepito (Felt)

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
F	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	170	8	5,67
F	1951 05 25 20 42	Adriatico centrale	5	4	4,55
5	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5,83
4-5	1985 05 01 16 57 35.00	Ascolano	51	5	4,09
5	1987 07 03 10 21 57.64	Costa Marchigiana	359	7	5,06
5	1987 09 04 16 42 49.60	Costa Marchigiana	75	6	4,66
5	1996 07 09 10 23 07.21	Costa abruzzese-marchigiana	45		4,2
5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
4-5	1997 10 06 23 24 53.29	Appennino umbro-marchigiano	437		5,47
4-5	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62

**Tab. 1 - Massimi eventi sismici verificatisi a San Secondo**

Dalla lettura di Tab. 1 si evidenzia che il massimo evento sismico censito a San Benedetto del Tronto si è verificato il 16 agosto 1882 con un'intensità al sito del VII grado della scala MCS.

Fatto salvo quanto sopra, si propone di tenere in considerazione anche quanto indicato nel lavoro elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile, a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", determinate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA (cfr. Fig. 2).

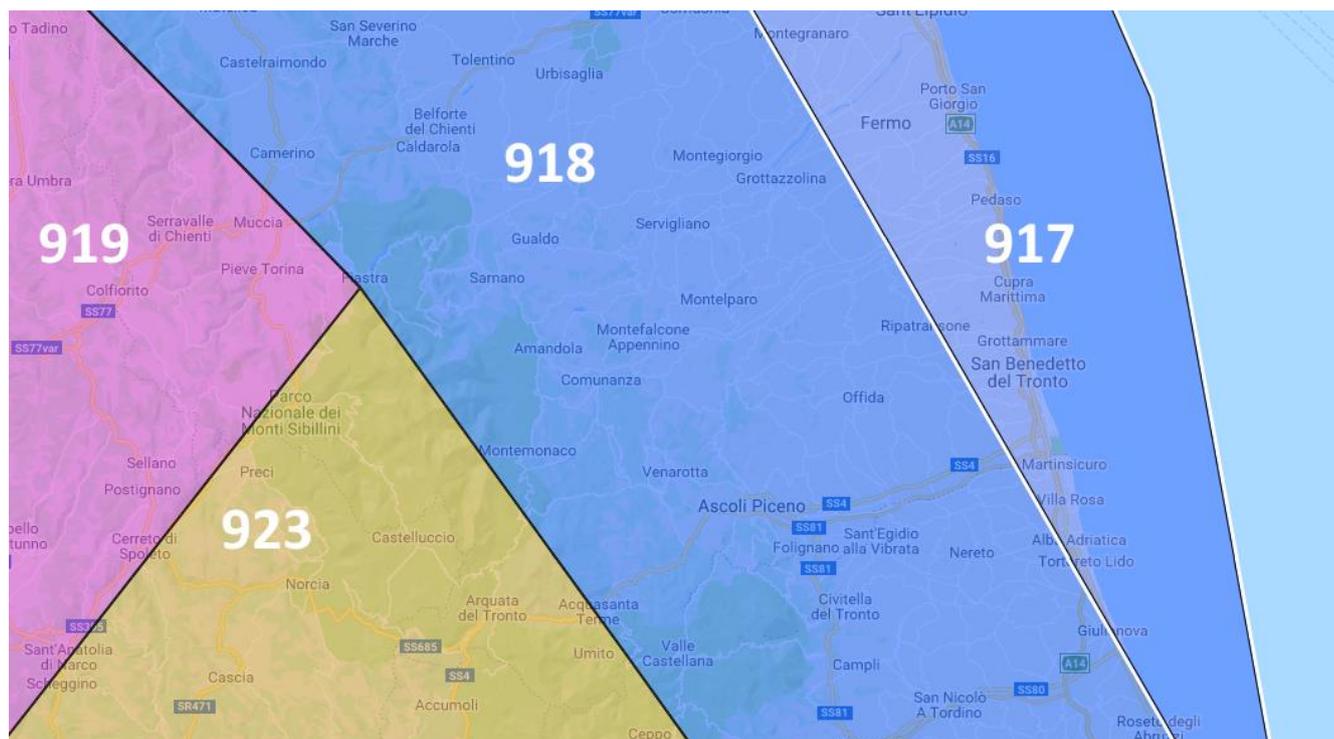


**Fig. 2 - Carta della massima intensità macrosismica nella Regione Marche**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	7 di 54

Secondo tale studio, basato in misura prevalente su valori realmente osservati, ma che contiene delle correzioni, per quelle località ove queste si siano rese necessarie, il territorio di San Benedetto del Tronto è stato soggetto a terremoti di intensità massima pari al VII grado della scala MCS.

Come si può osservare in Fig. 3 dove è riportato uno stralcio della zonazione sismogenetica del territorio nazionale (Zonazione Sismogenetica ZS9 – INGV, 2004), l'area in esame ricade nella Zona 917 Rimini-Ancona.



**Fig. 3 - Stralcio da Zonazione Sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)**

Detta zona è contraddistinta da eventi sismici originati da strutture compressive (prevalentemente *thrust*) allineate lungo la costa o a breve distanza da essa.

Il maggior numero di terremoti che si verificano nella zona 917 presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 5 e 8 km, con profondità efficace di 7 km.

Sulla base dei meccanismi focali, sono previsti valori “cautelativi” di massima magnitudo ( $M_{wmax2}$ ) pari a = 6,14.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	8 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

## 2.2 Classificazione sismica comunale

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, utilizzando e aggiornando la precedente proposta del 1998.

La suddivisione è articolata in 4 zone: le prime 3 corrispondono alle zone di sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6), contemplati nella Legge 64/74, mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

Ciascuna zona è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Tab. 2), eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche: in questo modo, ad ogni area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di pericolosità sismica.

Zona	Valori massimi di $a_g$
1	$>0,25$
2	$0,15 \div 0,25$
<b>3</b>	<b><math>0,05 \div 0,15</math></b>
4	$<0,05$

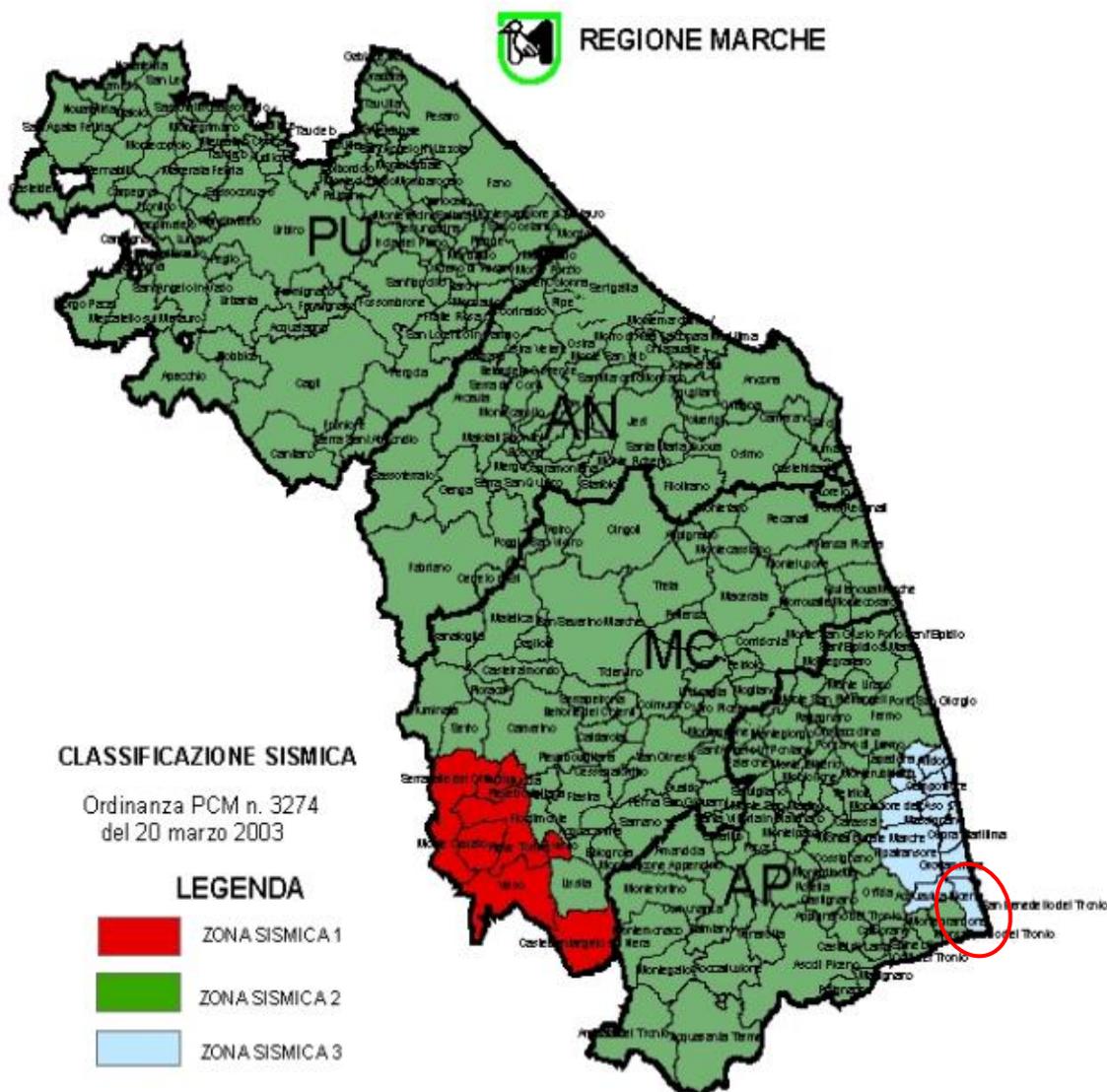
**Tab. 2 - Valori di accelerazione orizzontale associati a ciascuna zona sismica**

La classificazione vigente, recepita dalla Regione Marche con D.G.R. 1046 del 29 luglio 2003, identifica il Comune di San Benedetto del Tronto in zona 3 (Fig. 4), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra  $0,05 \cdot g$  e  $0,15 \cdot g$  (dove  $g$  è l'accelerazione di gravità).

Risulta opportuno evidenziare che, con l'entrata in vigore del decreto ministeriale 14 gennaio 2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni", la stima della pericolosità sismica, non è più associata alla zona sismica di appartenenza, ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica in uno specifico sito.

Ciò ha permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	9 di 54



**Fig. 4 -Classificazione sismica regionale dei Comuni della Regione Marche**

L’elaborazione dei parametri della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale redatta da INGV (2004) e riportata nell’OPCM 3519 del 28/04/2006 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”, identifica, per il territorio comunale di San Benedetto del Tronto, valori di accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra:  $a_g = 0,075/0,150$  g (ricavato dalle mappe interattive di pericolosità sismica dell’Istituto di Geofisica e Vulcanologia – INGV. Fig. 5).

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	10 di 54



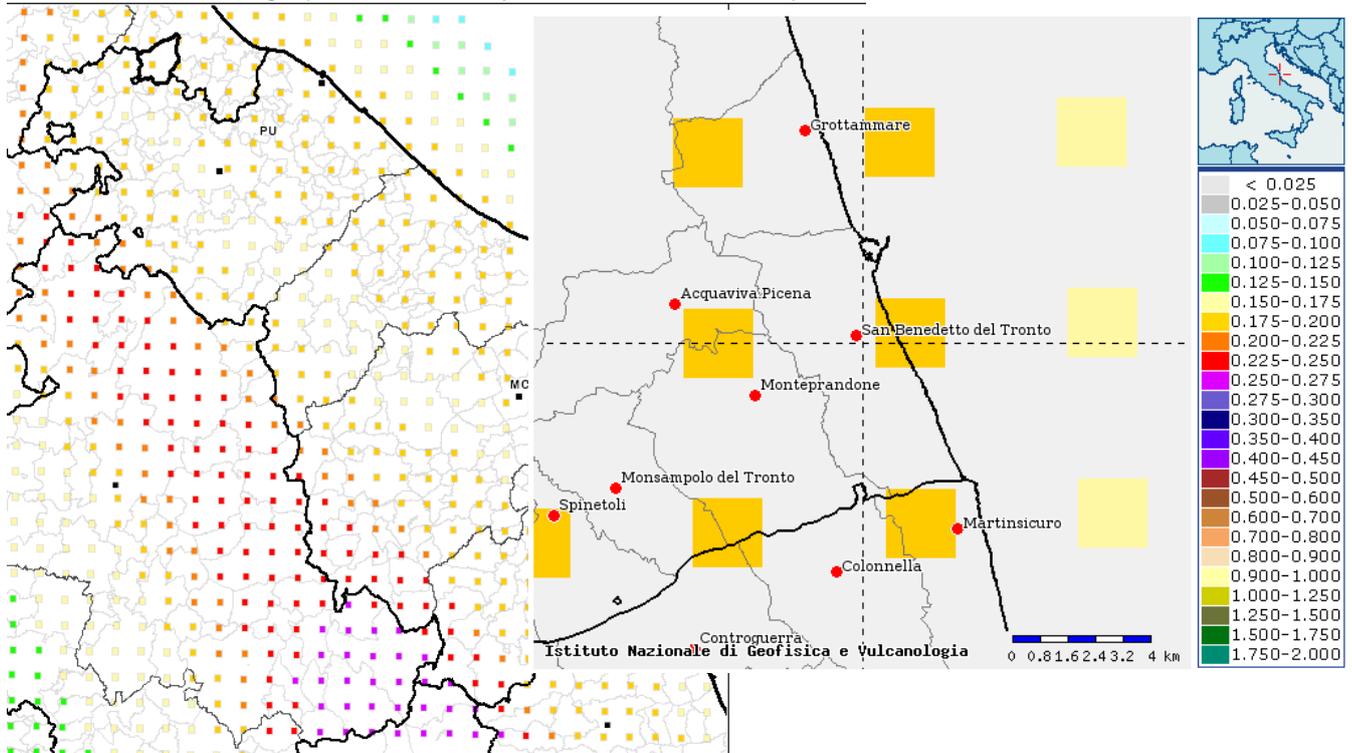
**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**

**Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale**

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressi in termini di accelerazione massima del suolo  
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

referita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)



**Fig. 5 – Stralcio della mappa di pericolosità sismica ripreso dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1 Geologia

San Benedetto del Tronto è il comune più meridionale tra quelli marchigiani affacciati sul mare Adriatico.

L'abitato si è sviluppato perlopiù lungo la fascia costiera, della larghezza media di un chilometro, costituita da una cimosa sabbiosa che, alle spalle, si raccorda con il settore collinare, con quote medie inferiori ai trecento metri s.l.m. e dove affiorano terreni argillosi, sabbioso-arenacei e ghiaiosi di età plio-pleistocenica.

Detto settore è caratterizzato da un paesaggio dolce, con una estesa monoclinale che immerge di alcuni gradi verso E-NE.

L'intero territorio è attraversato da una serie di corsi d'acqua, di differenti dimensioni, disposti perpendicolarmente alla linea di costa.

Di seguito, viene proposta una breve descrizione dei processi strutturali e sedimentari che hanno interessato le Marche e più specificatamente l'area in esame, ripresa dalla Relazione illustrativa dello Studio di microzonazione sismica di primo livello.

*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 torbiditica, 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.*

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	12 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

*Il bacino marchigiano esterno, ove ricade l'area in esame, assume nel Messiniano i caratteri di un'avanfossa torbida, 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.*

Più in dettaglio, le caratteristiche litologiche dell'area in esame possono essere desunte, oltre che da rilievi di campagna e dall'analisi delle indagini raccolte, dalla lettura della cartografia geologica della Regione Marche, a scala 1:10.000.

In tale cartografia sono distinte le seguenti unità:

### **3.1.1 Depositi continentali quaternari**

#### SINTEMA DEL MUSONE (OLOCENE)

*Frana in evoluzione (MUSa1) o senza indizi di evoluzione (MUSa1q)*

Si tratta di materiali a differente tessitura, prevalentemente argillosa e argilloso-sabbiosa, derivanti da movimenti franosi. Per la descrizione di tali fenomeni si rimanda al paragrafo 3.2.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	13 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

#### *Depositi eluvio-colluviali (MUSb2)*

Data la natura piuttosto erodibile (peliti e arenarie scarsamente cementate) dei terreni affioranti, nell'area in esame, si ha una discreta diffusione di depositi eluvio-colluviali che ricoprono settori talora ampi dei versanti collinari e delle superfici dei terrazzi. Sono bibliograficamente descritti come depositi limoso argillosi e subordinatamente limoso sabbiosi anche se le indagini a disposizione indicano granulometrie variabili da argilloso-limose a francamente sabbiose.

#### *Depositi alluvionali attuali (MUSb)*

Sono i depositi dell'alveo dei corsi d'acqua. Quelli del fiume Tronto sono a tessitura prevalentemente ghiaiosa. Quelli dell'Albula risultano più fini. A dominanza di sabbie e sabbie ghiaiose.

#### *Depositi alluvionali terrazzati (MUSbn)*

Appartengono a questa unità i depositi dei terrazzi posti alle quote più basse (terrazzi del quarto ordine) particolarmente estesi in sponda sinistra del fiume Tronto e presenti anche lungo le valli dei torrenti Albula e Ragnola. Bibliograficamente, sono 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, con intercalazioni di lenti prevalentemente ghiaiose. Nella piana alluvionale del fiume Tronto, si rileva, al contatto con il substrato geologico costituito dalle Argille azzurre (a una profondità che, generalmente, non supera i 40 m), un banco di ghiaie di spessore plurimetrico.

#### *Depositi di spiaggia attuali (MUSg2a)*

Si tratta di sabbie con alternanze di sabbie ghiaiose, poco addensate, di colore dal marrone al giallastro, che affiorano lungo la linea di costa, per una larghezza massima di un centinaio di metri.

#### *Depositi di spiaggia antica (MUSg2b)*

In buona parte dell'area pianeggiante oggetto di studio affiora diffusamente questa unità caratterizzata da sabbie pulite e sabbie ghiaiose di piana costiera. Lo spessore massimo di tali depositi non supera i 20 m.

#### *SINTEMA DI MATELICA (PLEISTOCENE SUPERIORE)*

#### *Depositi alluvionali terrazzati (MTIbn)*

Fanno parte di questa unità i depositi dei terrazzi definiti del terzo ordine, situati lungo le valli del Tronto e dell'Albula. In letteratura, sono descritti come ghiaie sabbiose poligeniche con sabbie limose al tetto. L'analisi dei dati disponibili evidenzia, nel primo sottosuolo, una prevalenza di limi sabbiosi e sabbie limose e un passaggio in profondità a

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	14 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

miscele di sabbie e ghiaie. Anche se le indagini a disposizione non forniscono in tutte le aree dati sullo spessore di tale unità, si può stimare che possa risultare anche superiore ai 20 m.

*SUPERSINTEMA COLLE ULIVO COLONIA MONTANI (PLEISTOCENE MEDIO FINALE)*

*Depositi alluvionali terrazzati (ACbn)*

Appartengono a questa unità i depositi dei terrazzi tradizionalmente definiti del secondo ordine, individuati, all'interno dell'area di studio, solo in una porzione di territorio, in sponda sinistra del fiume Tronto. L'analisi dei dati raccolti evidenzia uno spessore massimo di circa 25÷30 m e 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.

*SINTEMA DI URBISAGLIA (PLEISTOCENE INFERIORE MEDIO-MEDIO)*

*Depositi alluvionali terrazzati (URSbn)*

Sono i depositi dei terrazzi più antichi, posti topograficamente alle quote più elevate (primo ordine). Sono costituiti da ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa, solitamente ben assortite e addensate, di colore dal marrone al giallastro. Si stima che lo spessore massimo sia di circa 20 m.

**3.1.2 Successione umbro-marchigiano-romagnola**

*FORMAZIONE DI FERMO (SICILIANO)*

La formazione di Fermo affiora solo in limitate porzioni dell'area di studio, in litofacies arenacea (FEMc). Si tratta di arenarie debolmente cementate o sabbie addensate, giallastre, laminate (a laminazione piano parallela od ondulata, raramente, inclinata), con spessore massimo di una cinquantina di metri. E' costituita da arenarie debolmente cementate o da sabbie da addensate a molto addensate di colore giallastro.

**3.1.3 Successione pliocenica**

*FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE (PLIOCENE INFERIORE – PLEISTOCENE INFERIORE)*

Il substrato geologico dell'area in esame, affiorante nelle aree basso collinari o ricoperto dai depositi quaternari precedentemente descritti, è in gran parte costituito dalla Formazione delle Argille azzurre (FAA) in litofacies argillosa e argilloso limosa ha uno spessore, nel suo complesso, di alcune centinaia di metri. Si tratta di peliti grigio azzurre più o meno siltose in strati sottili con subordinati livelli di silt, che ne evidenziano la stratificazione. Presentano spessori estremamente elevati, di alcune centinaia di metri.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	15 di 54

### 3.2 Geomorfologia

L'attuale assetto geomorfologico dell'ambito territoriale del Comune di San Benedetto del Tronto è il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche e interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni e hanno direttamente interagito sull'andamento morfologico del territorio.

Come già indicato, l'area in esame, appartiene alla fascia costiera affacciata sul mare Adriatico e ai primi rilievi collinari solcati da corsi d'acqua ortogonali alla linea di costa.

Dunque, si possono distinguere 3 zone a caratteristiche geomorfologiche omogenee:

- i versanti collinari;
- le valli alluvionali;
- le aree di pianura costiera.

Relativamente ai rilievi, uno dei parametri geomorfologici più importanti nella modifica ed evoluzione del territorio è costituito dal diverso grado di morfoselezione, che risulta strettamente correlato con le litologie presenti e dipendente da altri fattori come clima, acclività, coperture boschive e arboree ecc...

La morfoselezione può essere definita come la tendenza dei terreni e delle rocce ad evolversi verso forme e strutture selettive sotto l'azione dei processi e degli agenti morfogenetici principali (acque superficiali e meteoriche, vento, gelo-disgelo, gravità, ecc.).

In questa ottica, la morfoselezione risulta correlata all'impedenza (capacità dei suoli di opporsi all'erosione operata dalle acque superficiali dilavanti) ed alla ritenzione idrica dei suoli (quantità di acque assorbita dai terreni superficiali), a loro volta condizionate dal tipo e grado di copertura vegetale esistente e dalla geologia e litologia del substrato; litofacies argillose o pelitiche offrono, infatti, una minore resistenza all'erosione rispetto a rocce arenacee o calcaree e, quindi, hanno meno possibilità di queste ultime di originare nel tempo forme selettive (picchi o rilievi rocciosi, scarpate strutturali, ecc.).

Tutti questi elementi condizionano in ultima analisi la stabilità idrogeologica dei versanti e i tempi di corrivazione (velocità di ruscellamento delle acque superficiali verso valle) e quindi i tempi di formazione delle piene fluviali.

La bassa morfoselettività delle rocce pelitiche e di quelle argilloso-marnose in genere, è di norma abbinata ad una elevata e diffusa franosità, che col tempo si evolve verso morfologie più dolci e meno acclivi (ossia più stabili), che consentono, di conseguenza, una più agevole e conveniente utilizzazione antropica dei suoli e dei terreni.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	16 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

Alla luce delle caratteristiche geologiche e litologiche delle formazioni affioranti nel territorio collinare in esame, si può affermare che si tratta terreni con grado di morfoselezione da basso a molto basso, cui consegue un comportamento poco resistente nei confronti dell'erosione e dell'alterazione morfologica e pendenze dei versanti limitate.

In tale contesto, è chiaro che i fenomeni più significativi e diffusi, in questa fascia, sono i fenomeni legati alla gravità.

Nel presente lavoro, per la definizione dei movimenti gravitativi che interessano le aree in esame, si è fatto riferimento allo studio effettuato per il primo livello in cui sono state riportate tutte le frane 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 quelle individuate attraverso l'analisi stereoscopica di foto aeree, la consultazione delle indagini reperite nel territorio e i rilievi di campagna.

Sulla base dello stato di attività, sono state distinte le seguenti tre classi:

- **frana attiva**: si tratta di un movimento gravitativo ritenuto attivo o riattivato (dopo un periodo di inattività) all'atto dell'indagine fotointerpretativa, ovvero rilevato o confermato da controllo sul terreno; l'attività può trovare conferma anche in dati documentali recenti (pubblicazioni, carte geologiche, relazioni tecniche, ecc.);
- **frana quiescente**: una frana inattiva, che non si muove da più di un anno, è definita quiescente se si ritiene possibile una sua riattivazione; in questo caso, l'elemento presenta ancora l'aspetto originale ma è stato interessato, del tutto o in parte, da una blanda azione di rimodellamento, operata sia dalle acque ruscellanti, sia dalle attività antropiche o da altri tipi di processo ad azione prevalentemente superficiale (grado di rimodellamento da basso a nullo);
- **frana non definita**: sono stati inseriti in questa classe quei movimenti gravitativi per i quali il grado di approfondimento dello studio non permette di raccogliere informazioni riguardo il loro stato di attività.

Quanto alla tipologia, tenendo conto delle classi stabilite dagli ICMS, nel territorio in esame, si sono distinte le seguenti instabilità di versante:

- **crollo o ribaltamento**: tipologia attribuita alle 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 presenti solo all'esterno della zona oggetto di microzonazione di secondo livello;
- **scorrimento**: classe in cui sono accorpati gli scivolamenti rotazionali e quelli traslazionali o planari;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	17 di 54

- complessa: data dalla combinazione di 2 o più movimenti di tipo semplice; è la tipologia che, generalmente, caratterizza le frane di grandi dimensioni, con meccanismi prevalentemente roto-traslativi e subordinatamente di crollo.

Lungo gli assi vallivi, si osserva, invece, che i depositi alluvionali, per l'effetto morfoevolutivo dell'alternanza di condizioni climatiche fredde e temperate, avvenuta durante il Quaternario, hanno edificato terrazzi la cui età aumenta al crescere delle quote del terreno, rispetto all'attuale fondovalle.

Va comunque segnalato che, in questo settore come nella piana costiera, le interazioni tra i vari fattori morfogenetici hanno dato luogo ad un paesaggio relativamente omogeneo, contraddistinto da superfici pressoché piane debolmente degradanti verso est con gradiente topografico molto basso.

La spiaggia attuale e le aree di pertinenza di corsi d'acqua (in particolare, il fiume Tronto) sono rimaste le uniche in cui si osserva una evoluzione morfologica dipendente da fattori naturali.

Al contrario, la pianura circostante esprime il congelamento di una situazione passata, in cui le opere di insediamento hanno conferito alla superficie topografica un assetto costante ed uniforme, livellando gran parte delle asperità del terreno, tra cui le scarpate che, in passato, delimitavano i terrazzi sopraccitati.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	18 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

I dati esaminati in questo studio derivano:

- dal database allegato all'analisi studio di microzonazione sismica di primo livello;
- da un'apposita campagna d'indagini, attuata allo scopo di completare e arricchire adeguatamente la conoscenza della specifica situazione locale.

Delle 627 indagini geotecniche e geofisiche acquisite (sondaggi, penetrometrie e prove geofisiche), 567 provengono dal database allegato allo studio di microzonazione sismica di primo livello, mentre le restanti 60 derivano da prove in sito effettuate nell'ambito del presente studio.

Più in particolare nel corso della nuova campagna d'indagine sono state eseguite:

- N° 15 Prove sismiche di tipo MASW
- N° 45 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSr)

Essa è stata effettuata nel rispetto dell'Allegato A2 al decreto regionale che prescrive n. 3 (tre) misure H/V e n. 1 (una) misura della curva di dispersione delle onde di Rayleigh, in questo caso effettuata in configurazione attiva (MASW), da effettuarsi in coincidenza con una delle misure H/V, per ogni MOPS.

Le indagini sono state effettuate anche nelle zone instabili con l'esclusione dell'area in dissesto per possibili cedimenti di cunicoli sotterranei di origine antropica, caratterizzata, secondo il PAI, da un livello di rischio R3.

Tutti i dati sono stati inoltre trasformati in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS e sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto delle specifiche tecniche di riferimento.

Nei capitoli successivi si riportano per ogni tipologia d'indagine una breve descrizione del metodo di acquisizione utilizzato, rimandando agli specifici allegati contenenti i report completi per ulteriori dettagli.

##### 4.1 Stazioni di microtremore a stazione singola (HVSr)

Per il presente studio, sono state realizzate n. 45 misure di microtremore a stazione sismica (HVSr) equamente distribuite sulle differenti aree di studio di secondo livello.

La prova è stata condotta utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (da 20 a 30 minuti a seconda del punto di misura).

Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	19 di 54

attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z).

La strumentazione utilizzata è un tromografo digitale marca Ambrogeo equipaggiato con geofoni a 2 Hz.

Tutte le misure sono state eseguite su terreno, accoppiando ad esso i sensori mediante infissione tramite chiodi e orientando i geofoni orizzontali secondo i punti cardinali.

In Foto 1 si riporta, a titolo esemplificativo, una fotografia della strumentazione utilizzata su un punto d'indagine.



**Foto 1 - Esecuzione di un'indagine tramite tromografo**

#### 4.2 Prove sismiche MASW

Durante la campagna indagini sono state realizzate 15 prove sismiche di tipo MASW: una per ogni MOPS, di dimensioni significative, interna al territorio oggetto di microzonazione di secondo livello.

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (*Rayleigh*), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, portando quindi a determinare anche il parametro  $V_{s30}$  (velocità media delle onde S nei primi 30 m).

In un mezzo stratificato le onde di superficie (*Rayleigh*) danno vita al fenomeno della dispersione, cioè lunghezze d'onda diverse si propagano con diverse velocità di fase e

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	20 di 54

gruppo: le componenti ad alta frequenza (con piccola lunghezza d'onda) "sentono" solamente gli strati più superficiali del suolo, mentre le componenti a più bassa frequenza "sentono" anche gli strati più profondi, consentendo quindi di determinarne le caratteristiche.

Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo, individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il *range* di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione viene realizzata mediante uno stendimento sismico costituito da più geofoni (preferibilmente 24) allineati con distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di un punto di energizzazione effettuata tipicamente ad una distanza compresa fra 2 e 20 m dal primo geofono.

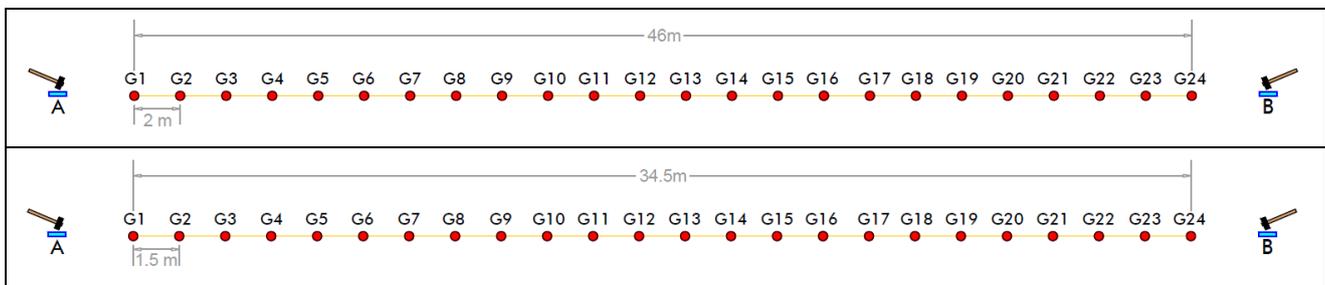
L'acquisizione delle onde di *Rayleigh* può essere fatta mediante geofoni verticali, oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento. In entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello.

Le indagini sono state realizzate con un sismografo a 24 canali, marca Sara Electronic Instrument, utilizzando geofoni verticali con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

Ove lo spazio a disposizione lo consentiva i geofoni sono stati posizionati a 2 m l'uno dall'altro, ottenendo uno stendimento di 46 m di lunghezza; nei casi in cui non vi era sufficiente spazio lo stendimento è stato ridotto a 34.5 m di lunghezza con una spaziatura dei geofoni pari a 1,5 m.

In Fig. 6 si riportano due schemi grafici delle geometrie di stendimento utilizzate.

Quale sorgente sismica è stata utilizzata una mazza da 10 Kg battente su piastra cilindrica in PVC.



**Fig. 6 - Schemi raffiguranti le geometrie di stendimento utilizzate**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	21 di 54

Le battute sono state realizzate su entrambi i lati dello stendimento, eseguendo 5 energizzazioni per punto, così da amplificare il segnale mediante somma delle tracce acquisite (*stacking*).

In Foto 2 si riporta, a titolo esemplificativo, una fotografia del sismografo su un punto di misura.



**Foto 2 – Sismografo su un punto d’Indagine**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	22 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, per il Comune di San Benedetto del Tronto, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti, oltre a differenti cartografie tematiche, con diverso grado di dettaglio. Tra queste, quella di particolare ausilio, risulta essere la Carta geologica della Regione Marche, alla scala 1:10.000, elaborato che, secondo quanto indicato nella Relazione illustrativa, era stato preso a riferimento anche dallo studio di microzonazione di primo livello. Tuttavia, esaminando le rappresentazioni grafiche effettuate in detto studio, a partire dalla Carta geologico-tecnica, si nota che l'ubicazione delle differenti unità è stata significativamente modificata, anche in assenza di dati che giustificano tali correzioni.

Conseguentemente, nel presente lavoro, si è ritenuto necessario rivedere le zonizzazioni che definiscono le caratteristiche del territorio in esame, rendendole coerenti con la Carta geologica regionale.

Rimandando al paragrafo 7.2 la descrizione specifica di tali caratteristiche, di seguito, si propongono alcune considerazioni su come il complesso assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

Innanzitutto, va evidenziato che il substrato geologico, costituito, in grandissima parte, dalla Formazione delle Argille azzurre (FAA), in litofacies argillosa e argilloso limosa, e, in limitate zone, dalla formazione di Fermo, in litofacies arenacea (FEMc), non corrisponde al substrato sismico, poiché i dati raccolti indicano che in tali formazioni la velocità di propagazione delle onde S non raggiunge gli 800 m/s.

Si è osservato, d'altra parte, che i contrasti di impedenza sismica alla base delle coperture quaternarie spesso non sono significativi o lo sono meno di quelli che si registrano, all'interno delle stesse coperture, al passaggio tra terreni a tessitura media o fine (argille, limi sabbie) e livelli con depositi prevalentemente ghiaiosi, dove la velocità delle onde di taglio aumenta considerevolmente.

Bisogna, inoltre, considerare che l'assetto litostratimetrico dei depositi continentali, in particolare di quelli alluvionali, costituiti da corpi lentiformi intrecciati, a differente spessore, granulometria e grado di addensamento, è estremamente vario e difficilmente schematizzabile. Anche le ricostruzioni del modello geologico e delle successioni

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	23 di 54

stratigrafiche tipo, che saranno descritte nei paragrafi 7.1 e 7.4, hanno un discreto grado di indeterminatezza.

Ne consegue che non ci si deve stupire se indagini effettuate in una zona definita “omogenea” possano fornire risultati differenti. E’, infatti, evidente che, in un tale contesto, comprendere come possa essere modificato localmente l’input sismico non sia sempre facile, così come risulta spesso una discreta forzatura assimilare l’assetto geologico delle varie zone ad un modello fisico monodimensionale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	24 di 54

**6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE**

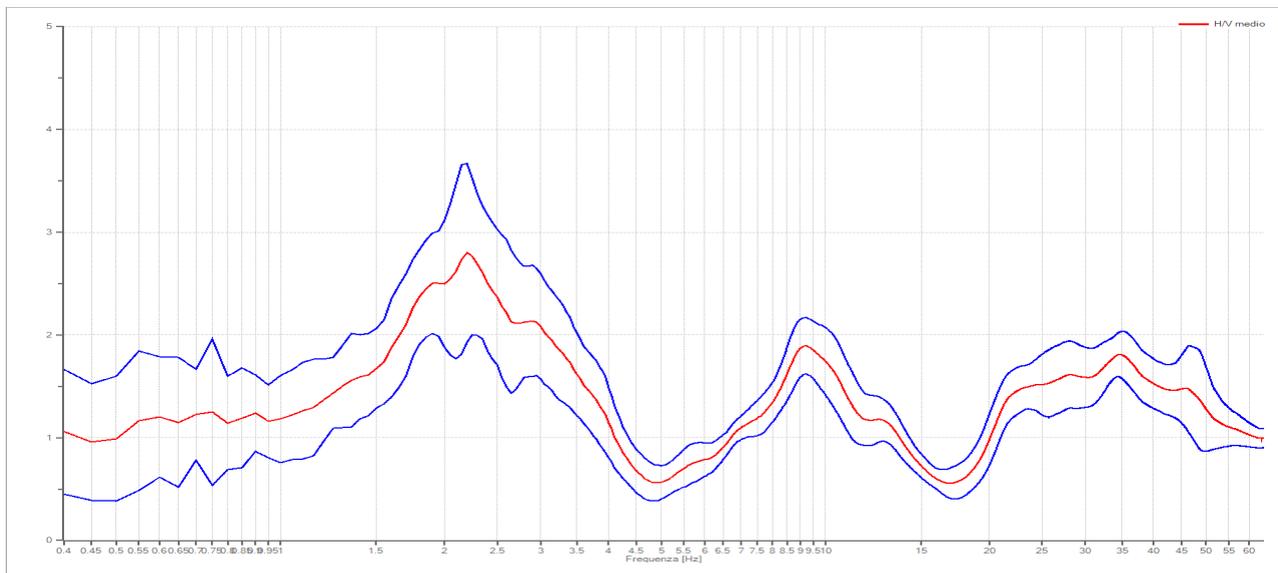
Nei successivi paragrafi vengono illustrate le metodologie interpretative utilizzate per analizzare i dati sismici acquisiti, indicando, ove presenti le incertezze riscontrate.

**6.1 Stazioni di microtremore a stazione singola (HVSr)**

Le misure registrate sono state elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, di cui si riporta un'immagine esemplificativa in Fig. 7) e spettri delle singole componenti (componente verticale del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni, esempio in Fig. 8).

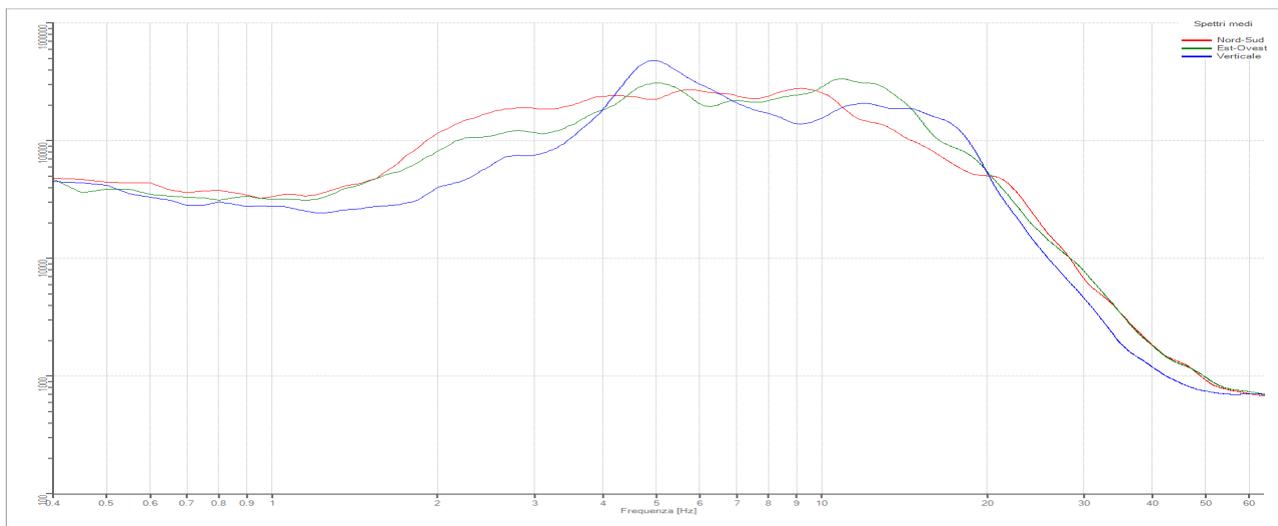
A riguardo, va sottolineato come il confronto fra questi due tipi di grafici consenta di distinguere i picchi di frequenza dovuti a disturbi nel corso della misurazione, in cui tutte le componenti hanno lo stesso andamento, da quelli dovuti a motivi stratigrafici, in cui la componente verticale, a differenza delle altre due, presenta un minimo locale.

Per giungere a tali risultati il segnale acquisito è stato analizzato suddividendolo in porzioni di 30 secondi, eliminando le finestre con presenza di transienti caratteristici di forte disturbo e infine mediando i segnali delle finestre rimaste.



**Fig. 7 - Elaborazione delle misure registrate dal tomografo: rapporto spettrale orizzontale su verticale**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	25 di 54



**Fig. 8 - Grafico con spettri delle singole componenti**

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSR effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all’analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime “robuste” del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Quindi, per ogni singola acquisizione è stato valutato l’andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l’individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (*EasyHVSR di Geostru*), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale.

Infine, come da indicazioni del Prof. Albarello, si è provveduto a classificare ogni indagine sulla base di un sistema di classificazione utile a fornire un’indicazione immediata circa la qualità delle singole misure HVSR.

Tale sistema prevede l’utilizzo di tre differenti classi di qualità definite tramite l’analisi delle seguenti proprietà:

- durata complessiva della registrazione che deve essere tale da produrre stime “robuste” del campo medio delle vibrazioni ambientali;
- stazionarietà temporale dei rapporti spettrali;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	26 di 54

- isotropia del segnale in termini dei rapporti spettrali;
- assenza di disturbi di origine industriale;
- andamento complessivo della curva H/V.

Di seguito si riportano le classi di qualità possibili:

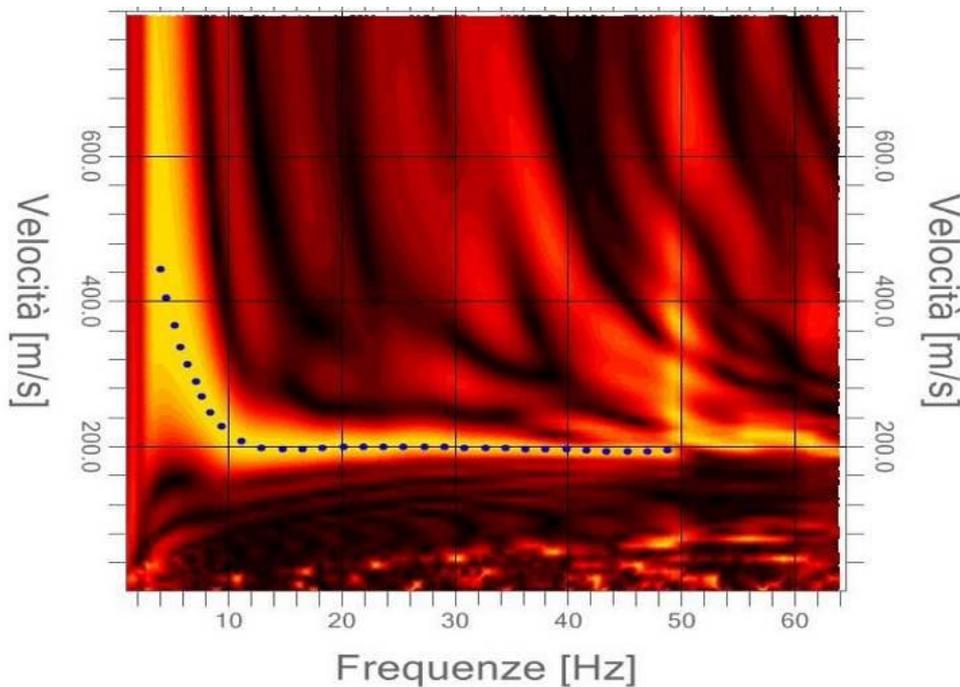
- Classe A: HVSR affidabile e interpretabile; può essere utilizzata anche da sola.
- Classe B: curva HVSR sospetta (da “valutare criticamente”); va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze.
- Classe C: curva HVSR scadente e di difficile interpretazione; non va utilizzata.

## 6.2 Prove sismiche MASW

L’analisi dei dati acquisiti mediante le prove MASW avviene attraverso le seguenti fasi:

- 1) Calcolo dello spettro di velocità;
- 2) Individuazione del modo fondamentale e degli eventuali superiori;
- 3) Picking della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere a un determinato modo;
- 4) Stima del parametro  $V_{s30}$  e/o  $V_{sh}$ .

In Fig. 9 si riporta, a titolo esemplificativo lo spettro di velocità di una delle indagini realizzate con sovrapposto il picking del modo fondamentale.



**Fig. 9 – Spettro di velocità e picking della curva di dispersione**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	27 di 54

Per la stima del valore di  $V_{s30}$  si è preferito, su Indicazioni del Prof. Albarello, non ricorrere a procedure di inversione più sofisticate, che potrebbero portare a risultati artificiosi, soprattutto in caso di situazioni più complesse.

Si è quindi giunti alla stima del parametro  $V_{s30}$  mediante due modalità semplificate di seguito indicate:

- calcolo del Profilo di velocità equivalente;
- intercetta fra la retta di  $V_s=40*f$  e la curva  $V_s(f)$

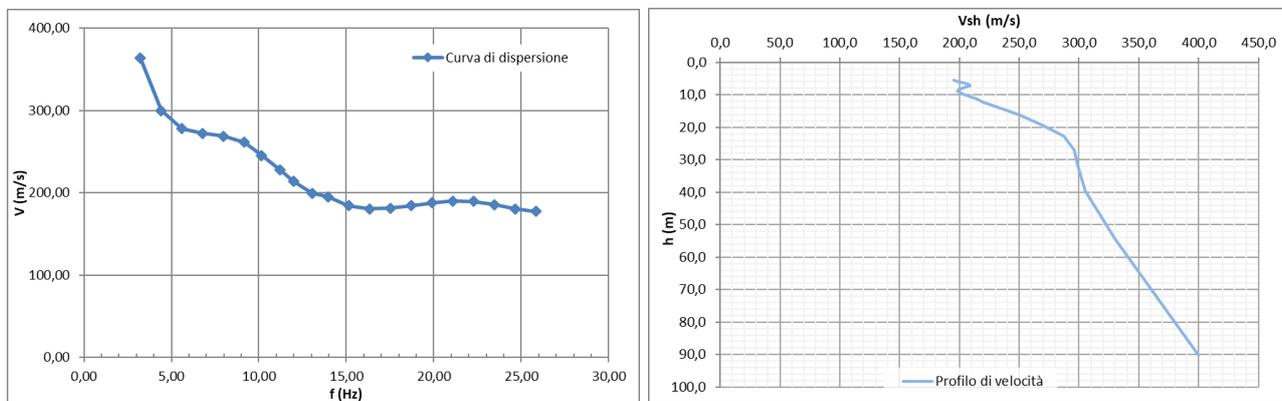
Il primo metodo prevede un'interpretazione semi-qualitativa e diretta della curva di dispersione: la curva di dispersione  $V_r(f)$  può essere convertita in una curva  $V_{sh}$  (velocità media delle onde s fino alla profondità h) nelle coperture tramite l'utilizzo delle seguenti equazioni:

$$h \approx 0.8 \frac{V_r(f)}{f}$$

$$V_s h \approx 1.1 V_r(f)$$

In Fig. 10 si riporta a titolo esemplificativo una curva di dispersione ottenuta e relativo profilo di velocità equivalente.

La curva di velocità equivalente può essere regolarizzata per ottenendo così un profilo di velocità regolarizzato.

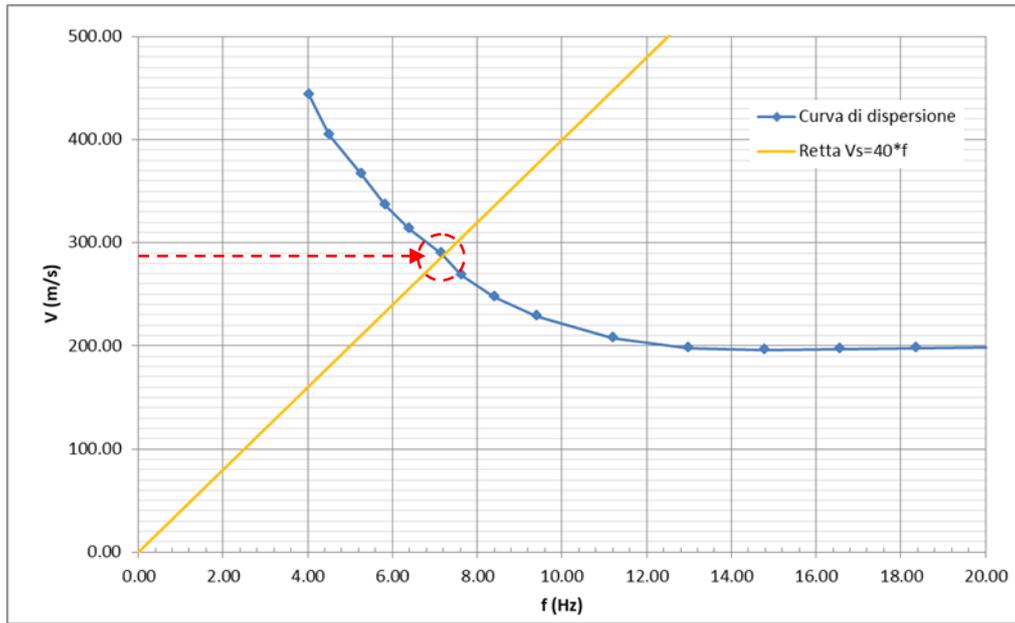


**Fig. 10 - Curva di dispersione e relativo profilo di velocità equivalente**

La seconda modalità utilizzata con cui si è ottenuto il valore di  $V_{s30}$  consiste nel prendere il valore corrispondente all'intercetta fra la retta di  $V_s=40*f$  e la curva  $V_s(f)$ .

In Fig. 11 si riporta un grafico esemplificativo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	28 di 54



**Fig. 11 - Curva di dispersione e retta  $V_s=40*f$**

In tutte le indagini interpretate è risultato che il metodo dell'intercetta fornisce un valore di  $V_{s30}$  leggermente più basso rispetto a quello che si ottiene tramite il profilo di velocità equivalente (differenza di circa 10 m/s).

Nelle fasi successive del presente studio, a favore di cautela, si è sempre utilizzato il valore di  $V_{s30}$  minore.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	29 di 54

## 7. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 7.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:5.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione e dei dati pregressi, già utilizzati per lo studio di primo livello.

Esse sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo (indicando se intercetta il substrato)
- sondaggio a distruzione di nucleo (indicando se intercetta il substrato)
- sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
- sondaggio con piezometro
- prova penetrometrica in foro (SPT)
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica dinamica pesante
- prova penetrometrica dinamica leggera
- trincea o pozzetto esplorativo
- prova sismica in foro tipo Downhole
- stazione microtremore a stazione singola

	Sondaggio a carotaggio continuo		Prova penetrometrica dinamica leggera
	Sondaggio a distruzione di nucleo		Trincea o pozzetto esplorativo
	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato		Prova sismica in foro tipo Downhole
	Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato		Stazione microtremore a stazione singola
	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni		Profilo sismico a rifrazione
	Sondaggio con piezometro		Tomografia elettrica
	Prova penetrometrica in foro (SPT)		Prova RefractionMicrotremors
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)		MASW
	Prova penetrometrica dinamica pesante		

**Fig. 12 – Legenda delle Carte delle indagini**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	30 di 54

- profilo sismico a rifrazione
- tomografia elettrica
- prova RefractionMicrotremors
- MASW

(cfr. la legenda riportata in Fig. 12).

Come si può osservare in carta, le indagini sono concentrate all'interno del territorio urbanizzato e urbanizzabile, oggetto dello studio di microzonazione di secondo livello; mentre, tra quelle esterne, ve ne sono che ricadono anche al di fuori dell'area indagata con il primo grado di approfondimento, ugualmente utili a definirne il modello geologico.

Nel database dello studio di primo livello erano state archiviate le seguenti indagini in sito:

- N° 242 sondaggi a carotaggio continuo, di cui:
  - N° 66 che intercettano il substrato
  - N° 10 da cui sono stati prelevati campioni
  - N° 132 con piezometro
- N° 9 sondaggi a distruzione di nucleo, di cui 4 che intercettano il substrato
- N° 97 prova penetrometrica in foro (SPT)
- N° 26 prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- N° 78 prova penetrometrica dinamica pesante
- N° 40 prova penetrometrica dinamica leggera
- N° 3 trincea o pozzetto esplorativo
- N° 6 prova sismica in foro tipo Downhole
- N° 45 stazione microtremore a stazione singola
- N° 7 profilo sismico a rifrazione
- N° 1 tomografia elettrica
- N° 3 prova RefractionMicrotremors
- N° 10 MASW

Ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna costituita da:

- N° 15 MASW
- N° 45 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSr)

Essa è stata effettuata nel rispetto dell'Allegato A2 al decreto regionale che prescrive n. 3 (tre) misure H/V e n. 1 (una) misura della curva di dispersione delle onde di Rayleigh, in questo caso effettuata in configurazione attiva (MASW), da effettuarsi in coincidenza con una delle misure H/V, per ogni MOPS.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	31 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

## 7.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse.

Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione delle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1), che saranno descritte nel successivo paragrafo 7.4.

La necessità di realizzare una nuova Carta geologico-tecnica, malgrado fosse già stata redatta per lo studio di primo livello, deriva da 2 motivi principali:

1. gli Standard di rappresentazione cui bisogna fare riferimento sono cambiati: infatti, i vecchi elaborati sono stati predisposti nel rispetto della versione 2.0, del giugno 2012, degli SRAI, mentre l'attuale versione è la 4.0b, dell'ottobre 2015;
2. come anticipato nel Capitolo 5, alla luce delle caratteristiche del territorio in esame e dei dati disponibili si è deciso rivedere le precedenti zonizzazioni rendendole più coerenti con la Carta geologica della Regione Marche alla scala 1:10.000.

Nella Carta geologico tecnica sono, innanzitutto, distinte le zone con substrato affiorante, o subaffiorante (posto a profondità minore di 3 m da piano campagna), da quelle con presenza di terreni di copertura.

Queste, attenendosi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state classificate sulla base della tessitura prevalente e dell'ambiente genetico-deposizionale. Sono così state individuate le seguenti unità:

- **Rlzz** - *Terreni contenenti resti di attività antropica*: si tratta dei terreni di riporto identificati in corrispondenza del porto, caratterizzati da granulometria eterogenea, prevalentemente granulare.
- **GWes** - *Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie di Argine/barre/canali*: sono stati inclusi in questa unità i depositi alluvionali attuali (MUSb) del fiume Tronto.
- **GWtf** - *Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie di Terrazzo fluviale*: corrispondenti con i depositi del Sintema di Urbisaglia (URSBn) appartenenti al terrazzo più antico, posto alle quote maggiori, esterno all'area oggetto di microzonazione di secondo livello.
- **GMtf** - *ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di Terrazzo fluviale*: sono stati accorpati in questa unità i depositi alluvionali terrazzati del Sintema di Matelica (MTIbn), situati lungo le valli del Tronto e dell'Albula, e del Supersintema Colle Ulivo Colonia Montani (ACbn), individuati solo in una porzione di territorio, in sponda sinistra del fiume Tronto a quote leggermente maggiori.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	32 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

- **SWes** – *sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di Argine/barre/canali*: corrispondono ai depositi alluvionali attuali (MUSb) del torrente Albula.
- **SWsp** – *sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di Spiaggia*: sono i depositi di spiaggia antica (MUSg2b) dominanti nella piana costiera.
- **SWtf** – *sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di Terrazzo fluviale*: appartengono a questa unità la maggior parte dei depositi alluvionali terrazzati del Sintema del Musone (MUSbn), particolarmente estesi in sponda sinistra del fiume Tronto e presenti anche lungo la valle dell'Albula.
- **SPsp** – *sabbie pulite con granulometria poco assortita di Spiaggia*: ovvero, i depositi di spiaggia attuale (MUSg2a).
- **SMec** – *sabbie limose, miscela di sabbia e limo di Eluvi/colluvi*: si tratta di Depositi eluvio-colluviali (MUSb2); tutti quelli compresi nell'area di microzonazione di secondo livello, più 3 settori ad essa esterni.
- **SMtf** – *sabbie limose, miscela di sabbia e limo di Terrazzo fluviale*: sono stati inseriti in questa unità i depositi alluvionali terrazzati del Sintema del Musone (MUSbn), presenti in corrispondenza della valle del torrente Ragnola, più estesi in sponda sinistra.
- **MLec** – *Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di Eluvi/colluvi*: si tratta di Depositi eluvio-colluviali (MUSb2) sempre esterni all'area di microzonazione di secondo livello.

Nelle zone con substrato geologico affiorante e/o subaffiorante, sono, invece state distinte le seguenti unità:

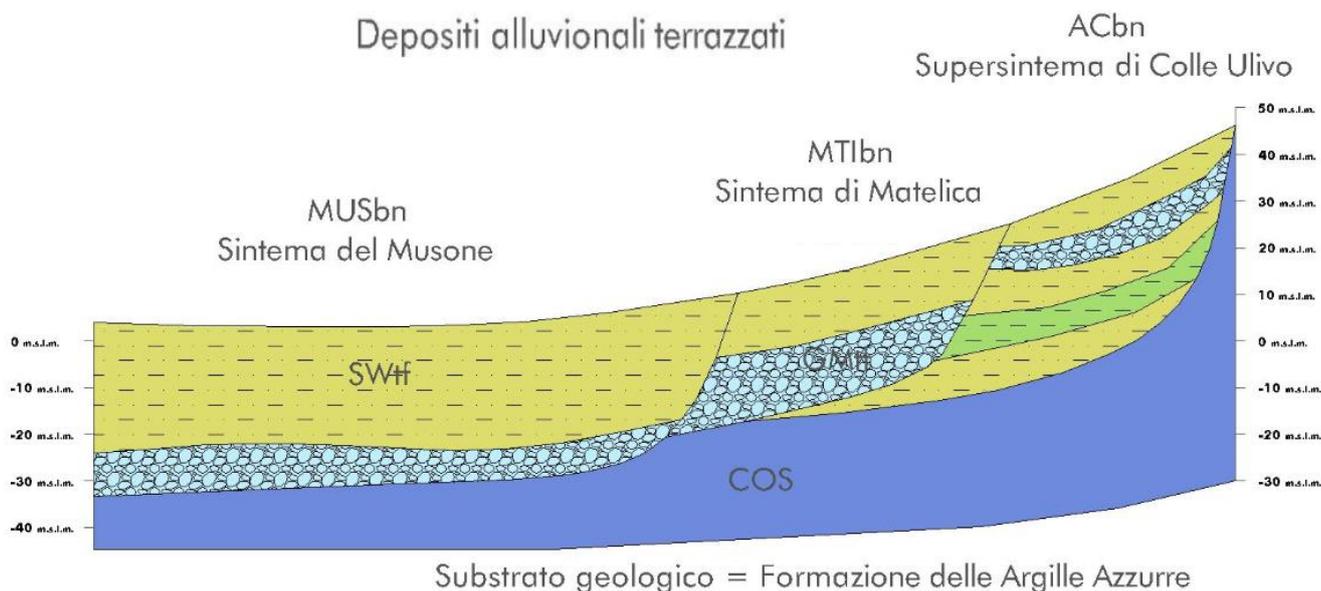
- **LPS** – *Lapideo stratificato*: è l'unità corrispondente con la presenza, limitata a piccoli settori del territorio in esame, della litofacies arenacea (FEMc) della formazione di Fermo, appartenente alla Successione umbro-marchigiano-romagnola.
- **COS** – *Coesivo sovraconsolidato stratificato*: si sono indicati come appartenenti a tale unità le peliti grigio azzurre più o meno siltose della formazione delle Argille azzurre (FAA), appartenenti alla Successione pliocenica e affioranti nelle aree basso collinari.

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico dell'area soggetta a microzonazione di secondo livello, in Fig. 13 e in Fig. 14, sono proposte due sezioni geologiche, redatte utilizzando le stratigrafie più profonde relative al territorio in esame.

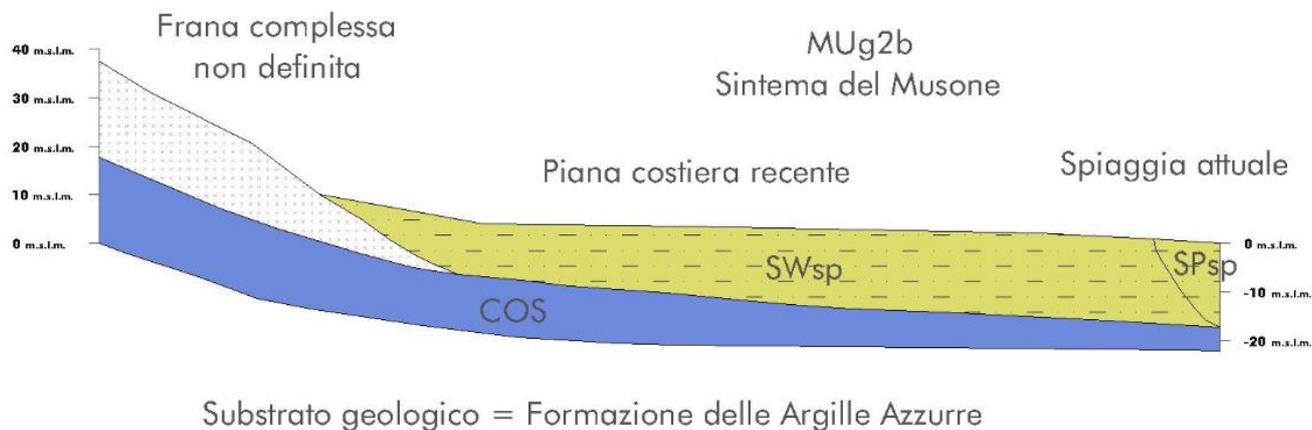
Dette sezioni, la cui traccia è riportata nella Carta geologico-tecnica, interessano:

- la Sezione A, la valle del Tronto, in sinistra idraulica, con andamento nord-sud
- la sezione B, la piana costiera e i primi rilievi, con andamento WSW-ENE

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	33 di 54



**Fig. 13 - Sezione geologica A**



**Fig. 14 - Sezione geologica B**

Come già visto nel paragrafo 3.2, nell'area di studio, ricadono anche varie zone soggette ad instabilità di versante, sulla base della loro tipologia e stato di attività, raffigurate come appartenenti ad una delle classi di seguito elencate:

- Crollo o ribaltamento - attiva
- Scorrimento - attiva
- Scorrimento - quiescente

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	34 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

- Complessa - quiescente
- Scorrimento – non definita
- Complessa – non definita

Sempre nella Carta geologico-tecnica, quali forme di superficie, sono stati raffigurati alcuni orli di scarpata morfologica naturale o artificiale (distinti se con altezza compresa tra 10 e 20 m o superiore a 20 m) ripresi dallo studio di microzonazione di primo livello; mentre, come forma sepolta, è stata indicata l'area con cavità sepolte/doline/sinkhole, corrispondente al centro storico dell'abitato capoluogo ("Paese Alto"), inserita nel PAI quale zona in dissesto per possibili cedimenti di cunicoli sotterranei di origine antropica.

Gli unici elementi strutturali rappresentati, anch'essi ripresi dallo studio di microzonazione di primo livello, sono 2 faglie dirette non attive presunte, in accordo con gli SRAI, definite in legenda con la voce "faglia non attiva/frattura vulcanica cosismica diretta incerta".

Infine, in tavola, sono stati raffigurati alcuni pozzi o sondaggi che non hanno raggiunto il substrato geologico, con relativa lunghezza, indicandone la profondità, oltre ai valori di soggiacenza della falda freatica in aree con sabbie e/o ghiaie, necessari alla successiva definizione delle zone potenzialmente instabili per fenomeni liquefazione.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	35 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

### 7.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia pregressi, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:5.000.

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura (90), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ).

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- Nessun picco
- $0,1 \text{ Hz} < F_0 \leq 0,5 \text{ Hz}$
- $0,5 \text{ Hz} < F_0 \leq 0,9 \text{ Hz}$
- $0,9 \text{ Hz} < F_0 \leq 1,5 \text{ Hz}$
- $1,5 \text{ Hz} < F_0 \leq 2 \text{ Hz}$
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 3 \text{ Hz}$
- $3 \text{ Hz} < F_0 \leq 4 \text{ Hz}$
- $4 \text{ Hz} < F_0 \leq 5 \text{ Hz}$
- $5 \text{ Hz} < F_0 \leq 6 \text{ Hz}$
- $6 \text{ Hz} < F_0 \leq 8 \text{ Hz}$
- $8 \text{ Hz} < F_0 \leq 10 \text{ Hz}$
- $10 \text{ Hz} < F_0 \leq 20 \text{ Hz}$

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse (cerchi di differente dimensione) a seconda del contrasto di impedenza, in corrispondenza della frequenza principale, secondo il seguente schema:

- ampiezza picco  $H/V \leq 2$
- ampiezza picco  $2 \leq H/VS R < 3$
- ampiezza picco  $3 \leq H/VS R < 4$
- ampiezza picco  $4 \leq H/VS R < 5$
- ampiezza picco  $5 \leq H/VS R < 6$

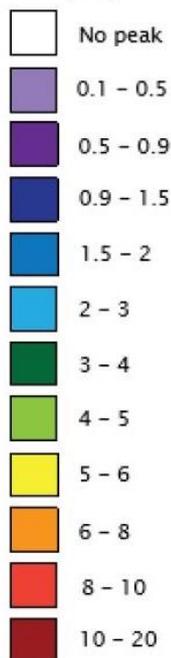
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	36 di 54

- ampiezza picco  $6 \leq \text{HVSR} < 8$
- ampiezza picco  $8 \leq \text{HVSR} < 10$

Quanto appena descritto è visibile in Fig. 15, in cui si riporta uno stralcio della legenda della carta in oggetto.

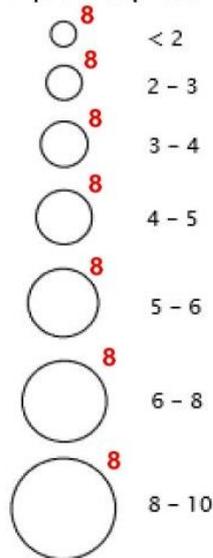
**FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI**

Classi di frequenza (Hz)



**FREQUENZA PRINCIPALE E RELATIVO VALORE (Hz)**

Ampiezza picco HSVR



**FREQUENZA SECONDARIA (QUANDO PRESENTE) E RELATIVO VALORE (Hz)**

**Fig. 15 - Legenda della Carta delle frequenze naturali dei terreni**

**7.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica**

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

Nel presente studio dette microzone sono state ripериметrate sia per recepire quanto modificato nella Carta geologico-tecnica sia per tener conto dei risultati delle nuove misure effettuate.

In questa cartografia il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti 3 categorie:

- 1. zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
- 2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	37 di 54

**3. zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali liquefazioni e densificazione.

Dalla lettura delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di San Benedetto del Tronto, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili. Invece, come si può osservare nella legenda riportata in Fig. 16, sono state individuate:

**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

-  Zona 2001 – Argille e argille limose, da consistenti a molto consistenti, con spessori >> 100 m
-  Zona 2002 – Ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e sabbie, da addensate a debolmente cementate, con spessore medio di circa 20 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  Zona 2003 – Limi con sabbie e argille, moderatamente consistenti, con spessore medio di 5+10 m, su argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  Zona 2004 – Sabbie limose, a tratti, limi sabbiosi addensati, alternate ad argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti, di spessore medio pari a circa 30 m, con intercalazione di un livello, prevalentemente, di ghiaie limose addensate con spessore medio di circa 5 m, su argille e argille limose, da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  Zona 2005 – Limi sabbiosi e sabbie fini limose, moderatamente addensati con spessore nell'ordine dei 10+15 m, su sabbie ghiaiose e sabbie limose ghiaiose addensate con spessore medio di circa 10 m, su argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  Zona 2006 – Sabbie con limi e argille, moderatamente consistenti, con spessore medio di circa 10+15 m, su argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  Zona 2007 – Limi, limi sabbiosi, sabbie limose o argillose e limi argillosi moderatamente addensati/consistenti con spessore medi di circa 6 m, su argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 3 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m (il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente)
-  Zona 2008 – Sabbie limose a tratti limi sabbiosi addensati con spessore medio di circa 10 m, su argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 2 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m (il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente)
-  Zona 2009 – Limi sabbiosi e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 5 m su sabbie limose addensate con spessori medi di circa 7 m, su argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 2 m su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m (il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente)
-  Zona 2010 – Ghiaie sabbiose e miscele di ghiaie e sabbie addensate con spessore medio di circa 10 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m

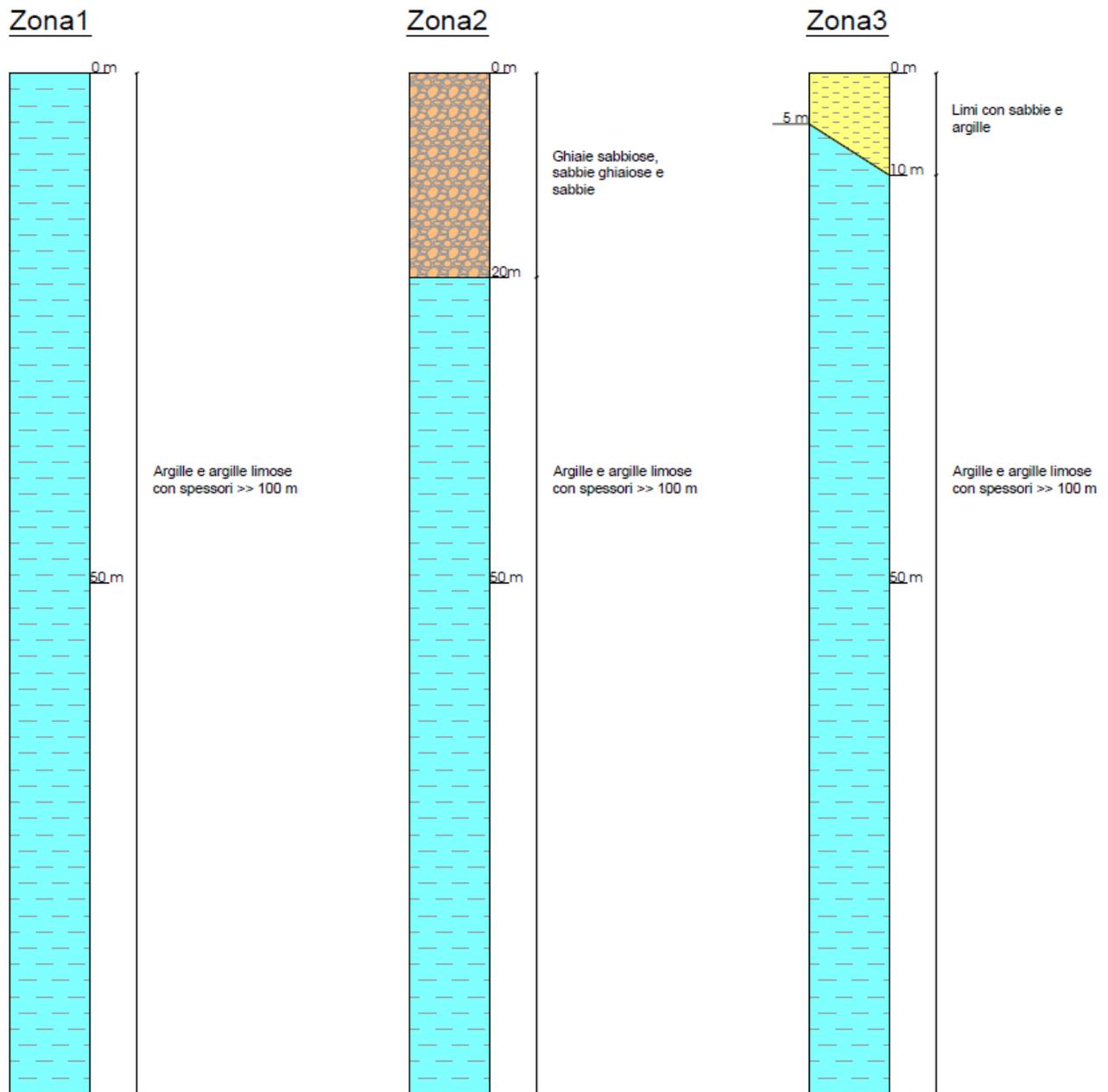
**Zone di attenzione per instabilità**

-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante – Zona 11  
Corpo di frana del tipo crollo o ribaltamento attiva
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante – Zona 12  
Corpo di frana del tipo scorrimento attiva
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante – Zona 13  
Corpo di frana del tipo scorrimento quiescente
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante – Zona 14  
Corpo di frana del tipo complessa quiescente
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante – Zona 15  
Corpo di frana del tipo scorrimento non definita
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante – Zona 16  
Corpo di frana del tipo complessa non definita
-  ZA-LQ – Zona di Attenzione per Liquefazioni – Zona 17  
Sabbie e sabbie limose, generalmente, a basso grado di addensamento, con spessore di circa 10+20 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  ZA-LQ – Zona di Attenzione per Liquefazioni – Zona 18  
Limi e limi argillosi limosi, con presenza di lenti a tessitura variabile, poggiati su un livello ghiaioso di 5+10 m di spessore; a maggiori profondità, comunque prima dei 40 m da p.c. si incontra il substrato, costituito da argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  ZA-LQ – Zona di Attenzione per Liquefazioni – Zona 19  
Sabbie e sabbie limose, generalmente, a basso grado di addensamento, con spessore medio di circa 5+10 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  ZA-CD – Zona di Attenzione per Cedimenti Differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole – Zona 20  
(Frana da crollo a rischio R3 da PAI)

**Fig. 16 – Legenda della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	38 di 54

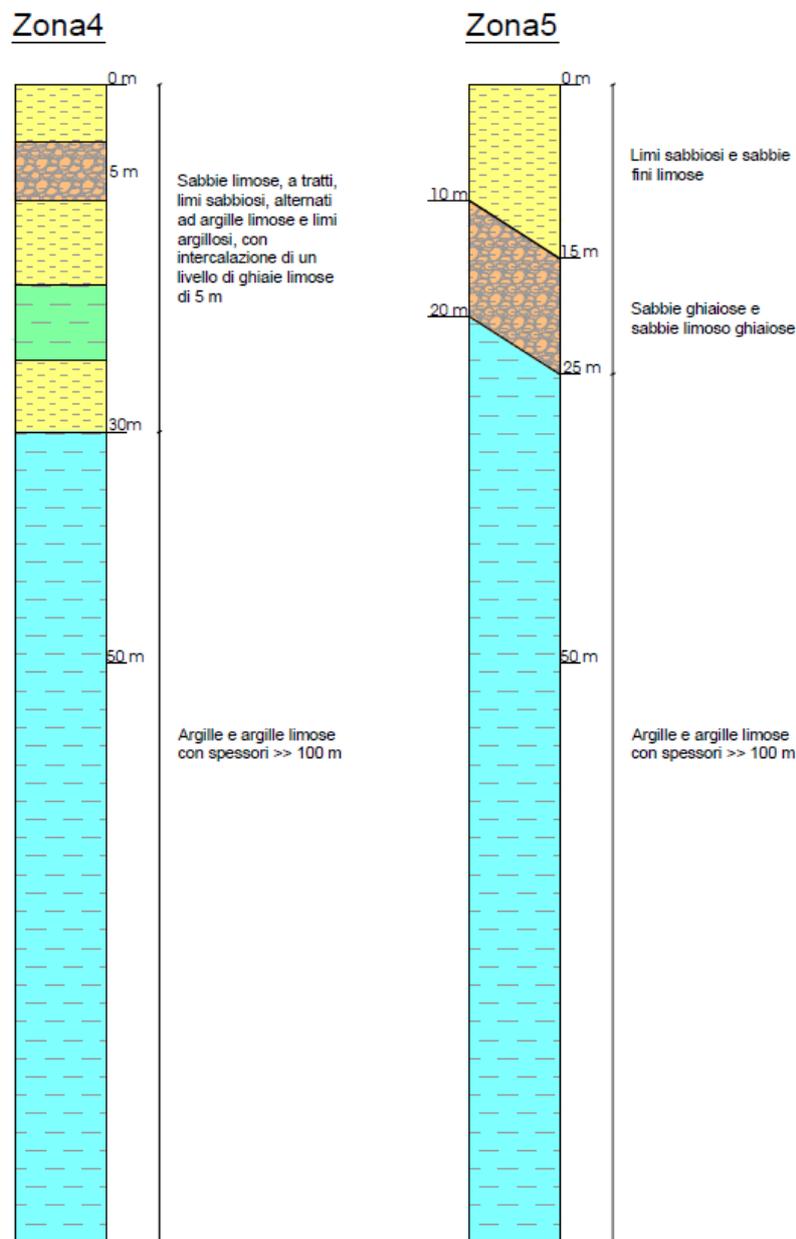
- N° 10 TIPOLOGIE DI ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI
- Zona 2001 - Argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- Zona 2002 - Ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e sabbie da addensate a debolmente cementate con spessore medio di circa 20 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- Zona 2003 - Limi con sabbie e argille, moderatamente consistenti, con spessore medio di 5÷10 m, su argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m



**Fig. 17 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle MOPS 1, 2 e 3**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	39 di 54

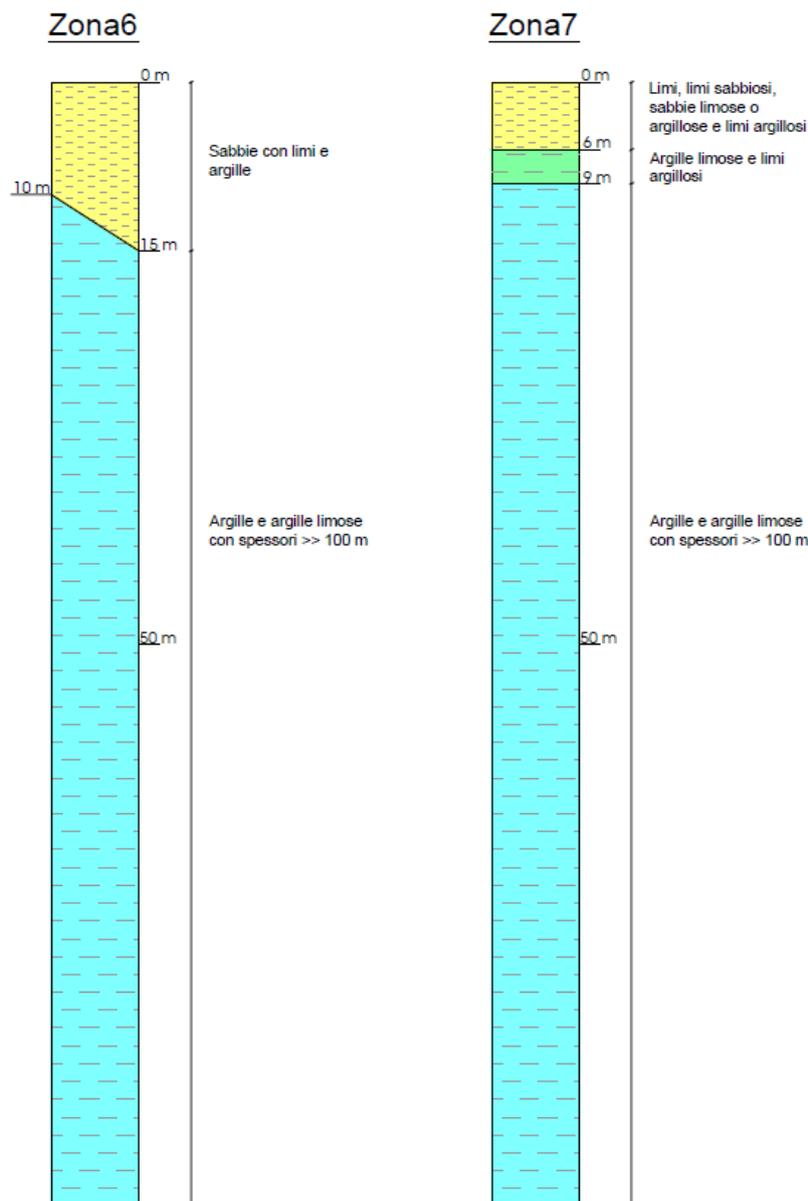
- **Zona 2004** - Sabbie limose, a tratti, limi sabbiosi addensati, alternate ad argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti, di spessore medio pari a circa 30 m, con intercalazione di un livello, prevalentemente, di ghiaie limose addensate con spessore medio di circa 5 m, su argille e argille limose, da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- **Zona 2005** - Limi sabbiosi e sabbie fini limose, moderatamente addensati con spessore nell'ordine dei 10÷15 m, su sabbie ghiaiose e sabbie limoso ghiaiose addensate con spessore medio di circa 10 m, su argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100



**Fig. 18 – Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle MOPS 4 e 5**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	40 di 54

- **Zona 2006** - Sabbie con limi e argille, moderatamente consistenti, con spessore medio di circa 10÷15 m, su argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- **Zona 2007** - Limi, limi sabbiosi, sabbie limose o argillose e limi argillosi moderatamente addensati/consistenti con spessore medio di circa 6 m, su argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 3 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m (Il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente)



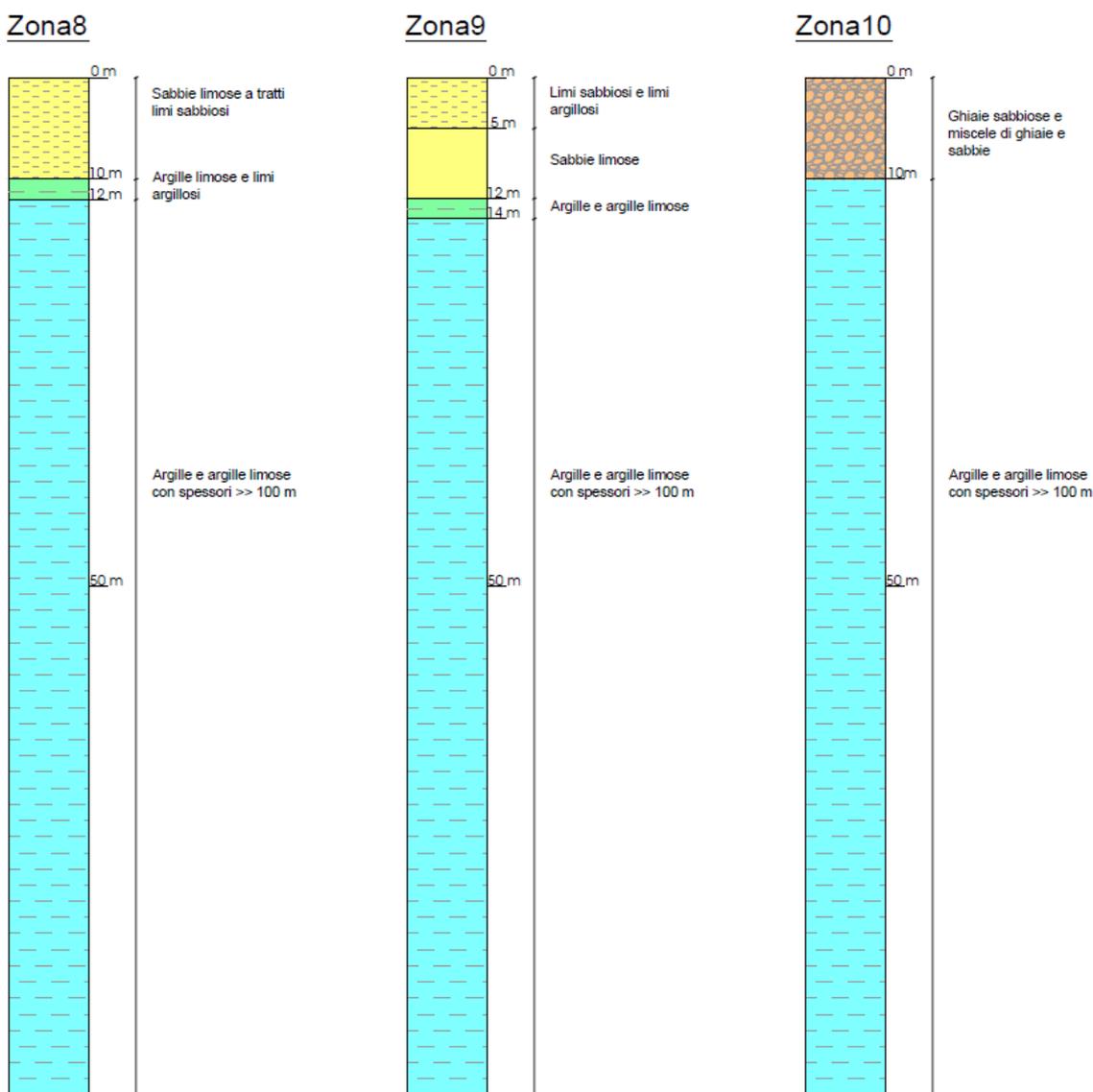
**Fig. 19 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle MOPS 6 e 7**

- **Zona 2008** - Sabbie limose a tratti limi sabbiosi addensati con spessore medio di circa 10 m, su argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	41 di 54

medio di circa 2 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m (Il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente)

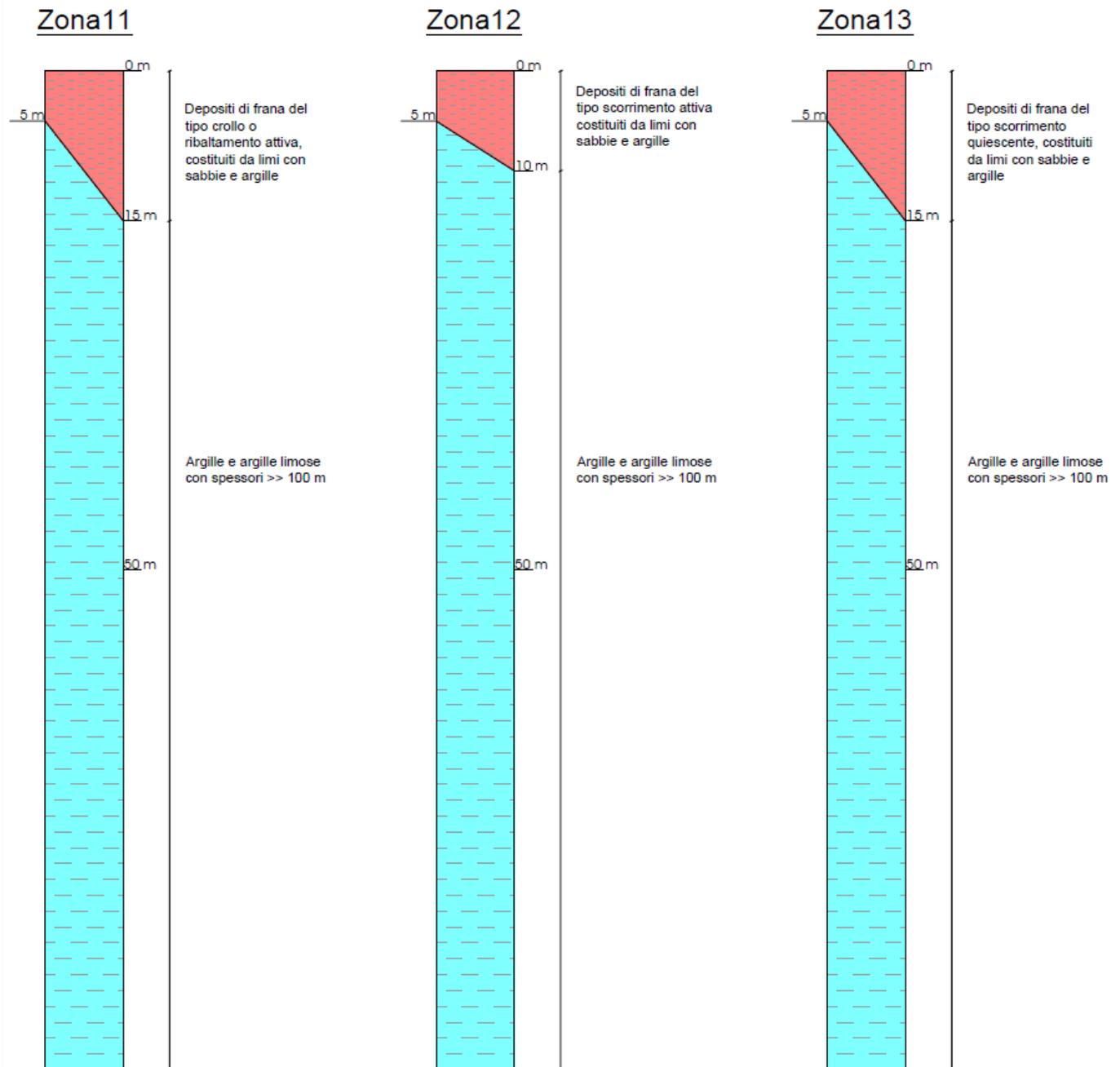
- **Zona 2009** - Limi sabbiosi e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 5 m su sabbie limose addensate con spessori medi di circa 7 m, su argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 2 m su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m (Il livello limo argilloso posto al disopra delle argille di base può, a volte, essere assente)
- **Zona 2010** - Ghiaie sabbiose e miscele di ghiaie e sabbie addensate con spessore medio di circa 10 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m



**Fig. 20 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle MOPS 8, 9, 10**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	42 di 54

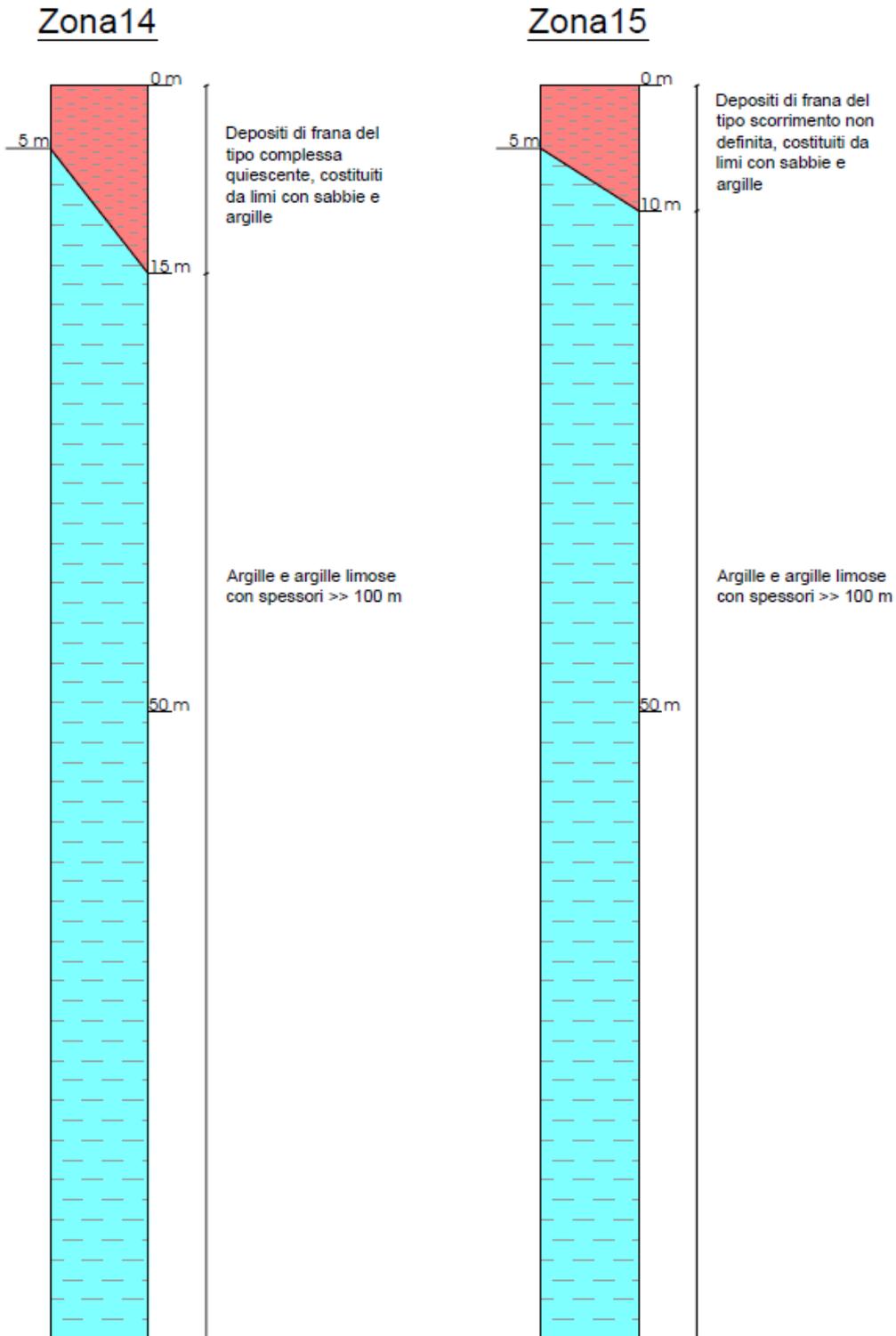
- N° 10 TIPOLOGIE DI ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ
- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 11 Corpo di frana del tipo crollo o ribaltamento attiva
- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 12 Corpo di frana del tipo scorrimento attiva
- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 13 Corpo di frana del tipo scorrimento quiescente



**Fig. 21 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle MOPS 11, 12 e 13**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	43 di 54

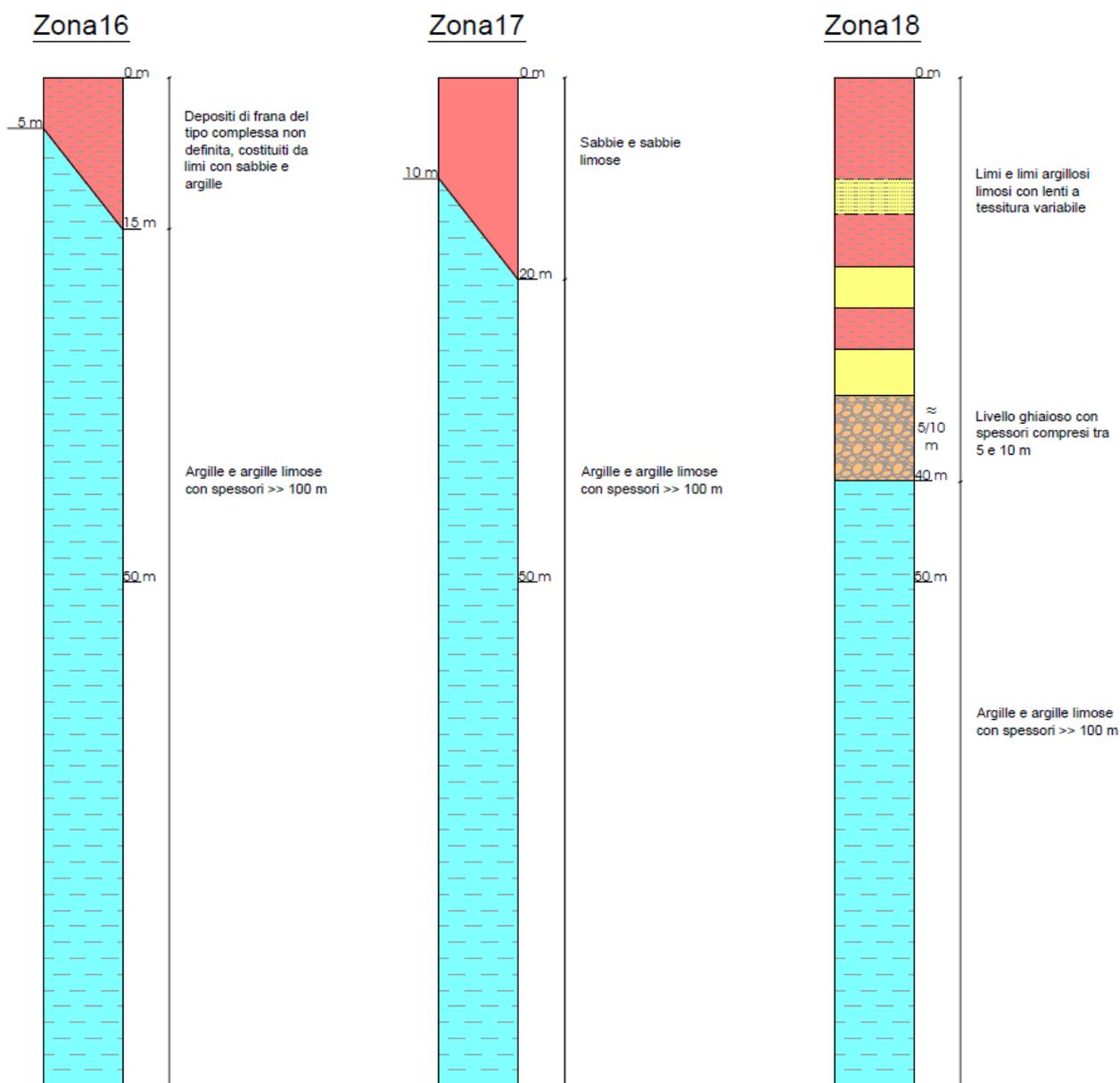
- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 14 Corpo di frana del tipo complessa quiescente
- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 15 Corpo di frana del tipo scorrimento non definita



**Fig. 22 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle MOPS 14 e 15**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	44 di 54

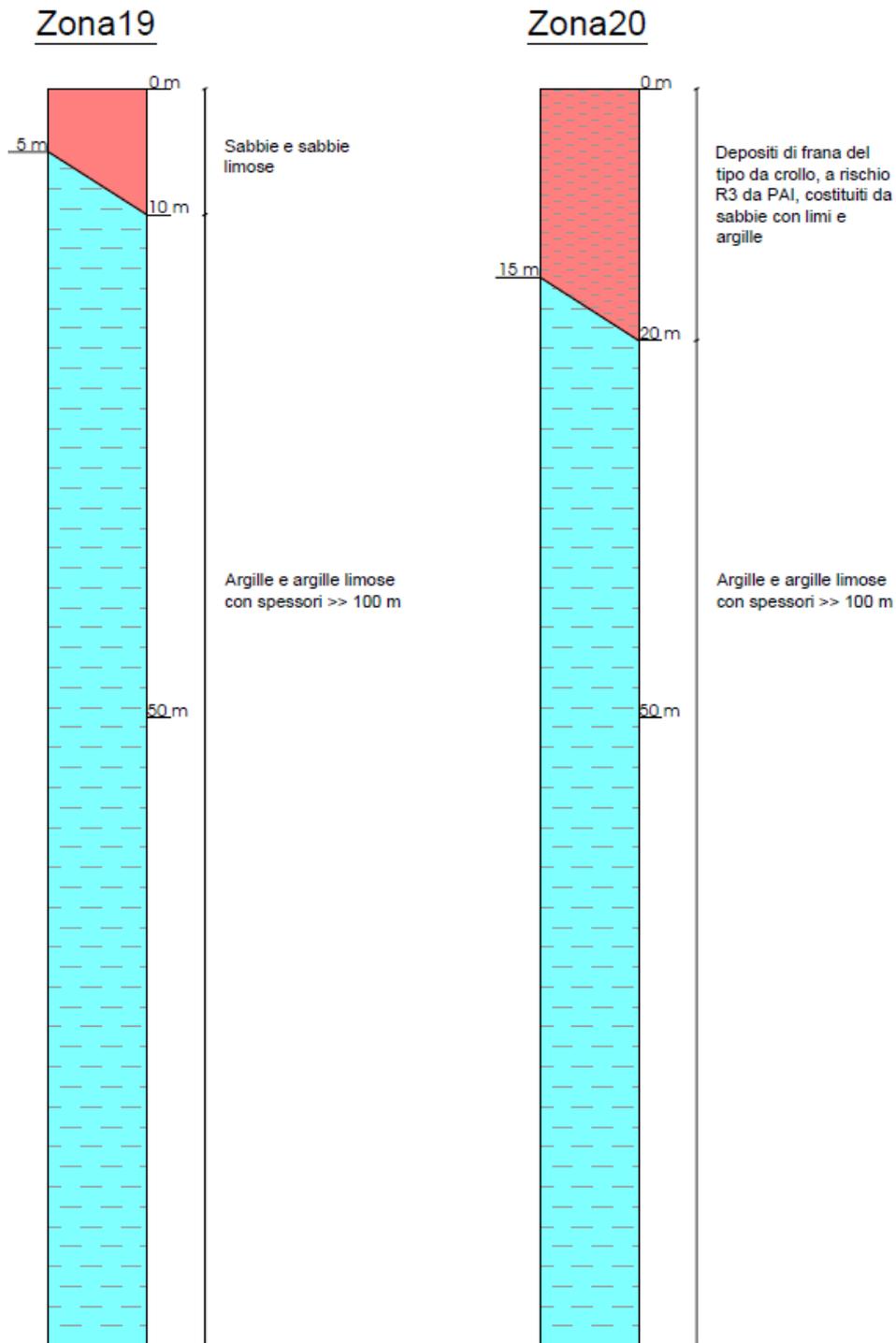
- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 16 Corpo di frana del tipo complessa non definita
- ZA-LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 17 Sabbie e sabbie limose, generalmente, a basso grado di addensamento, con spessore di circa 10÷20 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- ZA-LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 18 Limi e limi argillosi limosi, con presenza di lenti a tessitura variabile, poggianti su un livello ghiaioso di 5÷10 m di spessore; a maggiori profondità, comunque prima dei 40 m da p.c. si incontra il substrato, costituito da argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m



**Fig. 23 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle MOPS 16, 17 e 18**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	45 di 54

- ZA-LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 19 Sabbie e sabbie limose, generalmente, a basso grado di addensamento, con spessore di circa 5÷10 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- ZA-CD - Zona di Attenzione per Cedimenti Differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole - Zona 20 Frana da crollo a rischio R3 da PAI



**Fig. 24 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle MOPS 19 e 20**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	46 di 54

## 7.5 Carte di microzonazione sismica

Gli ultimi elaborati in cui sono riportati i risultati del presente studio sono le Carte dei fattori di amplificazione, anch'esse redatte alla scala 1:5.000, in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate per i vari settori di territorio in esame.

La stima dell'amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate, utilizzando gli abachi forniti dalla Regione Marche, nel rispetto delle modalità applicative dettate dalla stessa Regione.

Gli abachi da utilizzare sono stati individuati tenendo conto del dominio geologico attribuito al Comune di San Benedetto del Tronto (A - Dominio alluvionale) nell'Allegato 1 - Attribuzione degli abachi ai Comuni delle Marche.

Inoltre, si è considerato che, in tutto il territorio oggetto di studio il substrato sismico risulta sempre sotto i 30 m di profondità.

Conseguentemente, per i tre intervalli di periodo considerati ( $0.1 < T < 0.5$  s,  $0.4 < T < 0.8$  s e  $0.7 < T < 1.1$  s) si sono utilizzate le tabelle di seguito riportate (cfr. Tab. 3, Tab. 4 e Tab. 5), riprese Allegato 2 - Abachi per la realizzazione delle carte di microzonazione sismica di livello II.

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.0	1.3	1.5							1.3
	300	1.3	1.4	1.5	1.8	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5
	500	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.5	1.5	1.5	1.5
	700	0.9	1.1	1.3		1.4			1.2	1.1	1.1
	≥800										

**Tab. 3 - Tabella utilizzata per la stima dei F.A. per l'intervallo  $0.1 < T < 0.5$  s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.8	2.1	2.1							2.0
	300	1.6	2.0	1.9	1.8	1.7	1.9	1.9	1.7	1.7	1.9
	500	1.3	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5
	700	1.1	1.3	1.5		1.3			1.3	1.3	1.3
	≥800										

**Tab. 4 - Tabella utilizzata per la stima dei F.A. per l'intervallo  $0.4 < T < 0.8$  s**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	47 di 54

		f <sub>0</sub> (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
V <sub>s30</sub> (m/s)	<200	2.5	2.7	1.8							2.6
	300	2.0	2.2	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.6	1.9
	500	1.5	1.5	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5
	700	1.3	1.4	1.3		1.2			1.3	1.4	1.4
	≥800										

**Tab. 5 - Tabella utilizzata per la stima dei F.A. per l'intervallo 0.7<T<1.1 s**

Il calcolo dei singoli fattori di amplificazione è stato effettuato sulla base dei valori di V<sub>s30</sub> e F<sub>0</sub> misurati con le prove sismiche descritte nei capitoli precedenti.

Nei casi in cui non è stato possibile dedurre dalla misura sperimentale il valore di F<sub>0</sub> (per esempio quando la curva HVSR è piatta) si è utilizzata l'ultima colonna di ciascuna tabella.

Grazie alla metodologia sopra descritta, per gli areali oggetto di microzonazione, sono stati attribuiti i valori riportati in Tab. 6, se ricadenti in zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, e in Tab. 7, quando compresi in zone di attenzione per instabilità:

MOPS	AREA	V <sub>s30</sub>	F <sub>0</sub>	F.A. <sub>0.1-0.5</sub>	F.A. <sub>0.4-0.8</sub>	F.A. <sub>0.7-1.1</sub>
2001	zona sud	300	2,5	1,5	1,9	1,7
2001	zona nord	300	6,5	2	1,9	1,8
2001				2	1,9	1,8
2001				2	1,9	1,8
2001				2	1,9	1,8
2001				2	1,9	1,8
2002	ovunque			2	1,9	1,8
2003	ovunque	300	≥ 8	1,7	1,7	1,6
2003				1,7	1,7	1,6
2003				1,7	1,7	1,6
2003				1,7	1,7	1,6
2003				1,7	1,7	1,6
2003				1,7	1,7	1,6
2003				1,7	1,7	1,6
2003				1,7	1,7	1,6
2003				1,7	1,7	1,6
2004	ovunque	500	≥ 8	1,5	1,4	1,4
2005	zona est	300	≥ 8	1,7	1,7	1,6

MOPS	AREA	V <sub>S30</sub>	F <sub>0</sub>	F.A. <sub>0.1-0.5</sub>	F.A. <sub>0.4-0.8</sub>	F.A. <sub>0.7-1.1</sub>
2005	zona ovest	300	2,5	1,5	1,9	1,7
2006	ovunque tranne in area Via Colle San Marco	300	0	1,5	1,9	1,9
2006				1,5	1,9	1,9
2006				1,5	1,9	1,9
2006				1,5	1,9	1,9
2006	area Via Colle San Marco	300	> = 8	1,7	1,7	1,6

**Tab. 6 - Valori dei fattori di amplificazione sismica in zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

MOPS	Tipo di instabilità	AREA	V <sub>S30</sub>	F <sub>0</sub>	F.A. <sub>0.1-0.5</sub>	F.A. <sub>0.4-0.8</sub>	F.A. <sub>0.7-1.1</sub>
2012	3012	ovunque	300	0	1,5	1,9	1,9
2012	3012				1,5	1,9	1,9
2012	3012				1,5	1,9	1,9
2014	3024	ovunque	300	0	1,5	1,9	1,9
2014	3024				1,5	1,9	1,9
2014	3024				1,5	1,9	1,9
2014	3024				1,5	1,9	1,9
2015	3042	ovunque	300	>= 8	1,7	1,7	1,6
2016	3044	zona sud	300	>= 8	1,7	1,7	1,6
2016	3044	ovunque	300	2,5	1,5	1,9	1,7
2016	3044				1,5	1,9	1,7
2016	3044				1,5	1,9	1,7
2017	3050	nella zona nord, fascia tra il Paese Alto e il porto fino all'estremità settentrionale del comune zona più a sud della fascia di spiaggia attuale	300	1,5	1,4	2	2,2
2017	3050				1,4	2	2,2
2017	3050				1,4	2	2,2
2017	3050	nella zona nord, fascia tra la ferrovia e la base del versante zona centrale	300	0	1,5	1,9	1,9
2017	3050				1,5	1,9	1,9
2017	3050				1,5	1,9	1,9
2017	3050				1,5	1,9	1,9
2017	3050	zona del porto e zona sud	300	2,5	1,5	1,9	1,7
2017	3050				1,5	1,9	1,7
2017	3050				1,5	1,9	1,7
2018	3050	zona ovest	300	2,5	1,5	1,9	1,7
2018	3050				1,5	1,9	1,7
2018	3050	zona est	300	1,5	1,4	2	2,2
2018	3050	zona centrale	200	1,5	1,3	2,1	2,7
2019	3050	zona ovest della valle dell'Albula	300	1,5	1,4	2	2,2
2019	3050				1,4	2	2,2
2019	3050				1,4	2	2,2

MOPS	Tipo di instabilità	AREA	V <sub>S30</sub>	F <sub>0</sub>	F.A. <sub>0.1-0.5</sub>	F.A. <sub>0.4-0.8</sub>	F.A. <sub>0.7-1.1</sub>
2019	3050	zona est della valle dell'Albula e valle del Ragnola	300	0	1,5	1,9	1,9
2019	3050				1,5	1,9	1,9
2019	3050				1,5	1,9	1,9
2019	3050				1,5	1,9	1,9
2019	3050				1,5	1,9	1,9

**Tab. 7 - Valori dei fattori di amplificazione sismica in zone di attenzione per instabilità**

Nel caso di microzone di dimensioni poco significative, prive di dati, il calcolo dei fattori di amplificazione è stato effettuato con i risultati delle misure di prove ubicate nelle MOPS con caratteristiche stratigrafiche sismiche; più precisamente, alle MOPS 2002 e 2012 sono stati attribuiti i valori, rispettivamente della 2001 e della 2014.

I fattori di amplificazione, calcolati come sopradescritto, sono stati rappresentati nelle relative carte, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI e riportati nella seguente figura.

	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.5 - 3.0

**Fig. 25 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone suscettibili di amplificazioni locali**

Nelle stesse carte le zone di attenzione per instabilità (sia di versante che per liquefazioni), per le quali sono richiesti approfondimenti di terzo livello, sono state

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

cartografate a parte, contrassegnandole con l'apposito retino, ma con colore di fondo dato dall'amplificazione calcolata con gli abachi.

Fa eccezione l'area con cavità sepolte/doline/sinkhole, corrispondente al centro storico dell'abitato capoluogo ("Paese Alto"), inserita nel PAI quale zona in dissesto per possibili cedimenti di cunicoli sotterranei di origine antropica, con rischio R3 e, conseguentemente, non considerata nel presente studio.

Infine, va osservato che non è stato necessario valutare gli effetti di amplificazione connessi con le caratteristiche morfologiche, in quanto, il territorio oggetto di microzonazione sismica di secondo livello, risulta sempre con inclinazione minore di 15°.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	51 di 54

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D., Castellaro S. (2011). TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 - 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- 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
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014
- ISIDe Working Group INGV (2015): Italian Seismological Instrumental and parametric Database. <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>
- Gruppo di lavoro MS, 2008. "INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.  
[http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>
- Meletti C. e Valensise G. (2004). ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Molin D., Stucchi M. e Valensise G. (1996). MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016): CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>
- Studio S.G.A. Studio Geologi Associati, MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 DEL COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO. Perugia, settembre 2013

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	52 di 54

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

- ABACHI REGIONALI - MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO - attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77 - Realizzato da OGS di Trieste (2015) e modificato dalla Commissione Tecnica Regionale (2018)
- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE MARCHE. SEZIONI 327030 "SAN BENEDETTO DEL TRONTO NORD", 327070 "SAN BENEDETTO DEL TRONTO SUD" E 327110 "FOCE DEL TRONTO" alla scala 1:10.000, P.F. Urbanistica, Paesaggio e Informazioni Territoriali della Regione Marche
- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Novembre 2018	1	53 di 54

## 9. ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici, tutti suddivisi in due tavole, una per il settore settentrionale e una per quella meridionale dell'area oggetto di studio:

Elaborato 1	Carta delle indagini	scala 1:5.000
Elaborato 2	Carta geologico-tecnica	scala 1:5.000
Elaborato 3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	scala 1:5.000
Elaborato 4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	scala 1:5.000
Elaborato 5.a	Carta di microzonazione sismica - $FA_{IS\ 0,1-0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 5.b	Carta di microzonazione sismica - $FA_{IS\ 0,4-0,8\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 5.c	Carta di microzonazione sismica - $FA_{IS\ 0,7-1,1\ s}$	scala 1:5.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati:

Elaborato 6	Indagini sismiche di tipo MASW
Elaborato 7	Indagini sismiche di tipo HVSR