

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Livello 3

Regione Emilia-Romagna

Comune di Misano Adriatico



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia-Romagna	Geologo Dott. Aldo Antoniazzi Studio di Geologia Tecnica ed Ambientale (capogruppo/mandatario) Dott. Geol. Marco Baldi (mandante) Dott. Geol. Stefano Castagnetti (mandante) Dott. Geol. Alfredo Ricci (mandante) Dott. Geol. Francesco Stragapede (mandante)	Dicembre 2019

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

INDICE

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	2
GRUPPO DI LAVORO	2
ELABORATI	3
1. INTRODUZIONE	4
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1. Inquadramento geografico	6
2.2. Inquadramento geologico	8
2.3. Caratteristiche sismotettoniche	11
2.4. Storia sismica	14
2.5. Classificazione sismica	17
2.6. Pericolosità sismica	17
3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	20
3.1. Acquisizione ed elaborazione dei dati	20
3.2. Sondaggi e penetrometrie	21
3.3. Prove geofisiche	21
4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	22
5. DETERMINAZIONI ED INCERTEZZE	25
6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	27
6.1. Prima fase del lavoro	27
6.2. Seconda fase del lavoro	27
6.3. Terza fase del lavoro	27
7. ELABORATI CARTOGRAFICI	29
7.1. Carta delle indagini	29
7.2. Carta geologico-tecnica per microzonazione sismica	29
7.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni	30
7.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	30
7.5. Carta delle velocità delle onde di taglio S	40
7.6. Carte di microzonazione sismica	40
8. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO	46
8.1. Area considerata	46
8.2. Analisi di disaggregazione	46
8.3. Spettro di risposta rappresentativo	49
8.4. Analisi della risposta sismica locale	52
8.5. Selezione dei segnali sismici di riferimento	52
8.6. Modello del sottosuolo	54
8.7. Fattori di amplificazione determinati con modellazione numerica	56
9. VERIFICA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI LIQUEFAZIONE	60
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	71

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	1 di 71

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Alberto Rossini
Responsabile Ufficio di Piano del Comune di Misano Adriatico

GRUPPO DI LAVORO

Soggetto Incaricato

GEOLOGO DOTT. ALDO ANTONIAZZI
Studio di Geologia Tecnica e Ambientale



Professionisti	Professione	Principali competenze
Dott. Aldo Antoniazzi (Coordinatore)	Geologo	Pianificazione territoriale, idrogeologia, meccanica delle terre e rocce Protezione Civile e coordinamento generale
Dott. Marco Baldi	Geologo	Pianificazione territoriale, Microzonazione Sismica, sistemi informativi territoriali (GIS) e telerilevamento
Dott. Stefano Castagnetti	Geologo	Pianificazione territoriale, Microzonazione Sismica, Protezione Civile e CLE
Dott. Alfredo Ricci	Geologo	Pianificazione territoriale, idrogeologia, esplorazione del sottosuolo e geotecnica
Dott. Francesco Stragapede	Geologo	Geofisica applicata alla pianificazione territoriale e progettazione ed analisi Microzonazione Sismica

Collaboratori e specialisti

Dott. Geol. Alberto Antoniazzi
Dott. Geol. Giovanni Leonasi
Dott. Geol. Gian Marco Veneziani

Esecuzione indagini

Dott. Geol. Maurizio Moroni (indagini geognostiche)
Dott. Geol. Francesco Stragapede (indagini geofisiche)

Fonte dati

Uffici Tecnici Comunali - Comune di Misano Adriatico
Provincia di Rimini
Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	2 di 71

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

ELABORATI

- Relazione illustrativa
- Carta delle indagini in scala 1:10.000
- Carta geologico-tecnica in scala 1:10.000
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:10.000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica in scala 1:10.000
- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA_{SA 0,1 - 0,5 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA_{SA 0,4 - 0,8 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA_{SA 0,7 - 1,1 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA_{SA 0,5 - 1,5 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA_{SI 0,1 - 0,5 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA_{SI 0,5 - 1,0 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA_{SI 0,5 - 1,5 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - H_{SM} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - H_{0,4 - 0,8 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - H_{0,7 - 1,1 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - H_{0,5 - 1,5 s} in scala 1:10.000

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	3 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa sono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nell'ambito dello studio di Microzonazione Sismica di III livello del Comune di Misano Adriatico - CUP C93H18000050006 - CIG Z122766434, realizzato su incarico del Comune di Misano Adriatico in Provincia di Rimini (firmato digitalmente il 17/09/2019).

Gli studi di Microzonazione Sismica (MS), secondo le indicazioni della Protezione Civile, hanno l'obiettivo di razionalizzare le conoscenze in merito alle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie e di fornire in merito informazioni utili al governo del territorio, alla progettazione, alla pianificazione per l'emergenza e alla ricostruzione post sisma. Questi studi si riferiscono essenzialmente alle aree in cui il quadro normativo consente o prevede: l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, la trasformazione a tali fini, l'uso per esigenze di Protezione Civile.

Gli studi di Microzonazione Sismica suddividono dettagliatamente il territorio preso in esame 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 circostanziate 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 sismico, particolarmente efficace, se realizzato e applicato durante la pianificazione urbanistica, per indirizzare le scelte verso le aree meno pericolose.

Il Comune di Misano Adriatico è già dotato di una valutazione della pericolosità sismica locale con approfondimenti di secondo livello.

Nell'ambito dell'attuazione del presente studio di Microzonazione Sismica di III livello del territorio comunale e, in particolare, nella predisposizione e redazione degli elaborati richiesti, sono stati seguiti gli indirizzi forniti dai seguenti documenti tecnici:

- ◆ Allegato A della Deliberazione della Giunta Regionale 29 aprile 2019, n. 630. Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017).
- ◆ "Indicazioni per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e decreto del 15 aprile 2013 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile" della deliberazione di Giunta Regionale n. 1919 del 16.12.2013 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli Enti Locali" (Allegato D della delibera regionale).
- ◆ "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.1, Roma, novembre 2018 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (SRAI).

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	4 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

- ◆ “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 (ICMS).

Gli studi di Microzonazione Sismica, attuati in conformità a quanto stabilito dai riferimenti tecnici menzionati, sono in genere articolati nei seguenti tre livelli di approfondimento:

- PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, con:
 - definizione del modello geologico di base per la microzonazione sismica (litologia, stratigrafia, tettonica e loro rapporti geometrici);
 - individuazione delle aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
 - definizione del tipo di effetti attesi;
 - indicazione, per ogni area, del livello di approfondimento necessario.
- SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, con:
 - la conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento e l'eventuale nuova perimetrazione delle aree ove effettuare la microzonazione sismica;
 - la suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, secondo aree con maggiore o minore pericolosità sismica;
 - la conferma o la migliore definizione delle aree, indicate dal precedente livello di approfondimento, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello con l'indicazione delle indagini e analisi da effettuare.
- TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, con:
 - gli approfondimenti di terzo livello sulle aree definite nel precedente livello d'approfondimento.

Il presente studio di Microzonazione Sismica (terzo livello) del territorio di Misano Adriatico è stato effettuato conformemente a quanto stabilito dai riferimenti tecnici menzionati oppure definiti nelle seguenti parti della presente relazione.

Gli elaborati redatti sono stati predisposti in versione cartacea e in versione digitale (Portable Document Format - PDF, con risoluzione di 300 dpi). I dati cartografici sono stati allestiti 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 D della DGR 1919/2013 e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica).

Per l'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri è stato utilizzato l'apposito software: “MS - SoftMS”, versione 4.1.1.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	5 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

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

2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Comune di Misano Adriatico appartiene alla Regione Emilia-Romagna e ricade nella Provincia di Rimini (figura 1). Il suo territorio è di pianura. Oltre il 91% della sua superficie, pari a 22,5 km², è infatti situata tra 0 e 100 metri sul livello marino. L'altitudine massima del Comune (167 m s.l.m.) ricade nei pressi di Monte Annibolina. L'altezza media è di 49 metri.



Figura n. 1 - Ubicazione di Misano Adriatico nell'ambito della Regione Emilia-Romagna

Nella figura n. 2 è fornito l'inquadramento topografico dell'abitato di Misano Adriatico e della sua area costiera.

L'ambito territoriale del Comune di Misano Adriatico ricade, in parte, nei seguenti elementi, in scala 1:5.000, dalla CTR della Regione Emilia-Romagna: 268011, 268012, 268013, 268014, 268051, 268054, 267041, 267042 e 267081. Alla scala 1:10.000, del CTR regionale, ricade nelle sezioni: 268010, 268050, 267040 e 267080.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	6 di 71

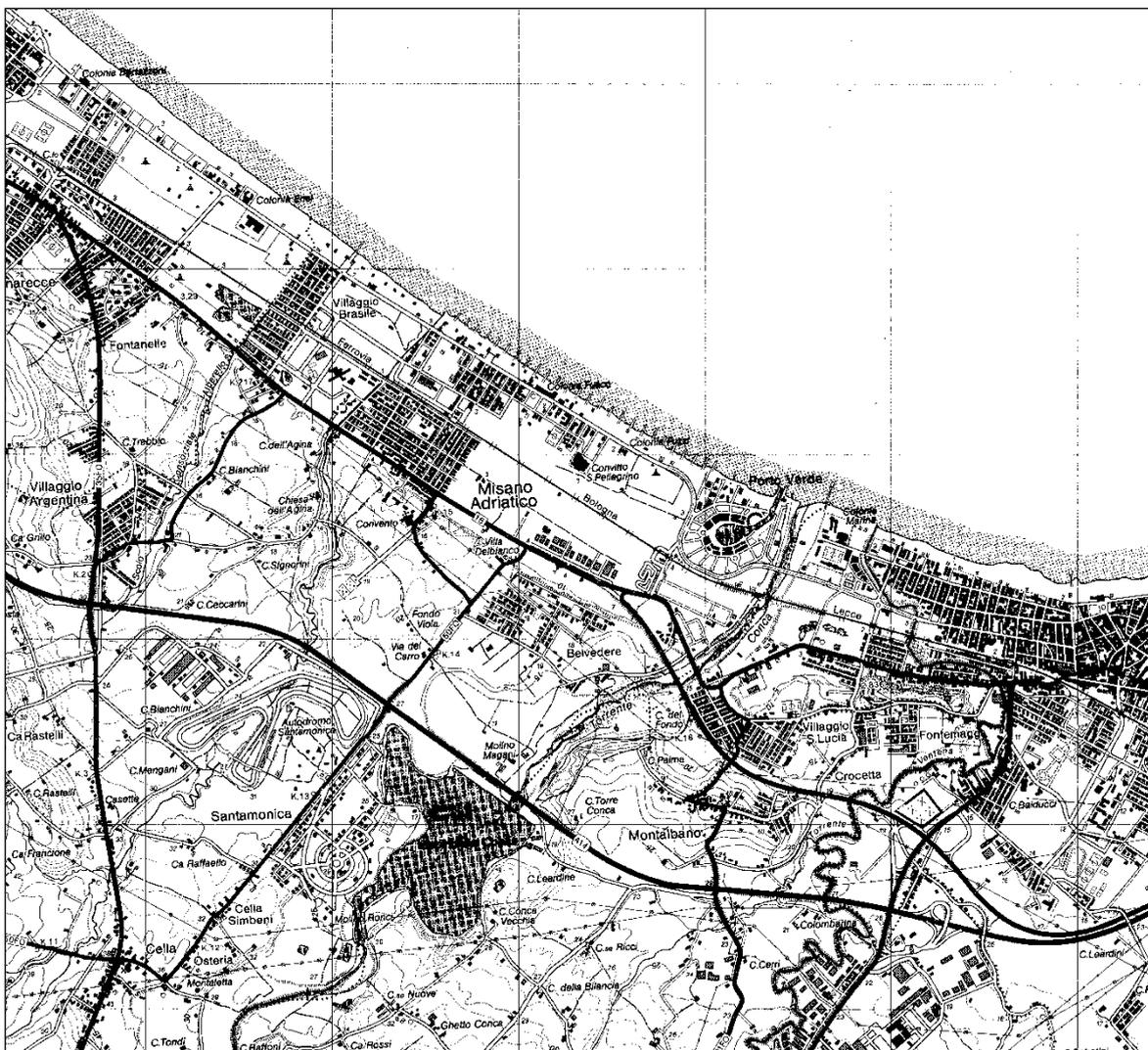


Figura n. 2 - Inquadramento topografico del sito di Misano Adriatico e del suo ambito costiero (da CTR 1:25.000, tavola 268NO)

Nella figura n. 3, in cui è evidente la posizione del Comune di Misano Adriatico nell'ambito della Provincia di Rimini, si può osservare che, procedendo in senso antiorario, confina a nord ovest col Comune di Riccione, ad ovest col Comune di Coriano, a sud ovest col Comune di San Clemente, a sud est con i Comuni di San Giovanni in Marignano e Cattolica e a nord est col Mare Adriatico.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	7 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

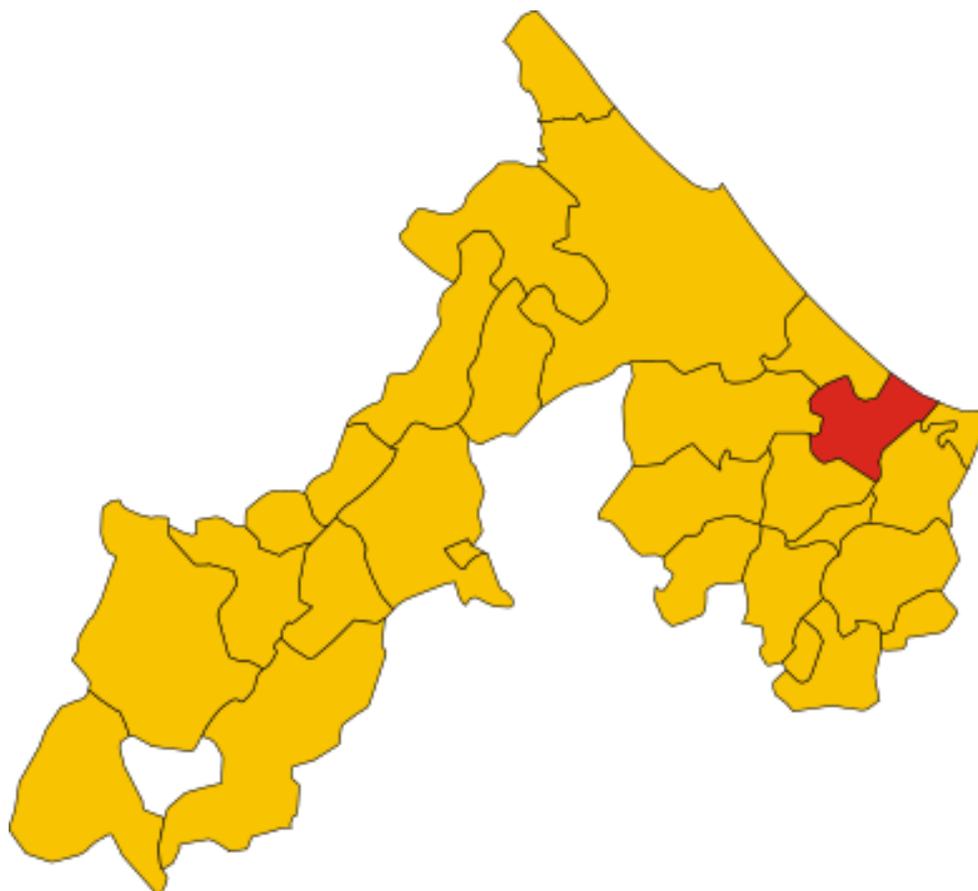


Figura n. 3 - Inquadramento del Comune di Misano Adriatico (area in rosso) nell'ambito della Provincia di Rimini

2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per quanto concerne la cartografia ufficiale, il territorio comunale di Misano Adriatico ricade:

- nel foglio 268 (Pesaro) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, pubblicata sul web dal Servizio Geologico d'Italia (ISPRA),
- nelle sezioni 268010, 268050, 267040 e 267080 della Carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo in scala 1:10.000, edita dalla Regione Emilia-Romagna.

Un inquadramento geologico generale del territorio ove ricade il Comune di Misano Adriatico è fornito dallo Schema d'inquadramento regionale, riportato nella figura n. 4, del foglio 256 (Rimini) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	8 di 71

SCHEMA DI INQUADRAMENTO REGIONALE

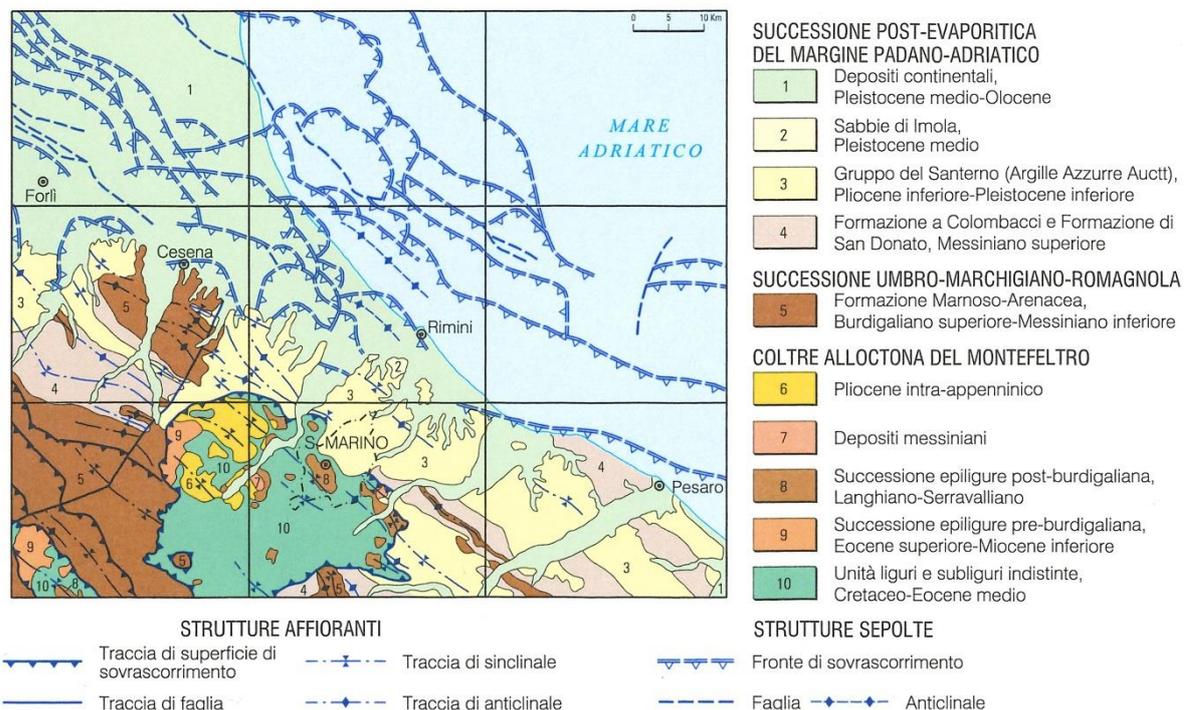


Figura n. 4 - Inquadramento geologico generale del territorio in cui ricade il Comune di Misano Adriatico

Nell'ambito territoriale di Misano Adriatico ad est dominano i depositi continentali del Pleistocene medio - Olocene, talvolta più o meno rimaneggiati dai flutti marini nei settori costieri, ad ovest sono invece significativi gli affioramenti delle Argille Azzurre del Pliocene inferiore - Pleistocene inferiore.

Nei depositi continentali, affioranti nel territorio comunale in esame, figurano terreni di pertinenza del:

- 1) Subsistema di Ravenna (AES₈), distinti in:
 - depositi di tracimazioni fluviali indifferenziate e di piana alluvionale del Pleistocene superiore - Olocene, ove si presentano senza il loro settore sommitale olocenico costituito dall'Unità di Modena (AES_{8a});
 - depositi di pertinenza dell'Unità di Modena, ove presenti, ripartiti in:
 - sedimenti di canale, argine e rotta fluviale;
 - sedimenti di piana inondabile in area interfluviale e di piana alluvionale;
 - di cordone litorale, di piana costiera, fronte deltizia;
- 2) Subsistema di Villa Verucchio (AES₇) del Pleistocene superiore, con depositi alluvionali ghiaiosi, sabbiosi e limo argillosi di origine fluviale;
- 3) Subsistema di Bazzano (AES₆) del Pleistocene medio, con depositi alluvionali ghiaiosi, sabbiosi e limo argillosi di origine fluviale.

Si veda, in proposito, l'inquadramento geologico fornito dallo stralcio del foglio 268 (Pesaro) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, riportato nella figura 5.



Figura n. 5 - Stralcio del foglio 268 (Pesaro) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, concernente il territorio del Comune di Misano Adriatico

Il territorio del Comune di Misano Adriatico, appartiene strutturalmente all'Appennino Settentrionale¹, la cui tettonica è contraddistinta da ampi fronti di scorrimento, che individuano alcune unità tettoniche fondamentali, e da importanti accavallamenti. Un fronte di sovrascorrimento profondo, com'è evidente nella figura 4, interessa la zona di pertinenza del territorio comunale in oggetto.

¹ L'Appennino settentrionale è una catena a falde derivata dal corrugamento e dalla sovrapposizione di prismi sedimentari, depositatisi nel paleo oceano ligure-piemontese e sul margine continentale della microplacca dell'Adria, durante la collisione tra la placca africana e quella europea. L'orogenesi, iniziata nell'Eocene medio e sviluppata soprattutto a partire dall'Oligocene, ha dato luogo a pieghe e a sovrascorrimenti lungo faglie inverse con spostamento generale verso nord-est.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	10 di 71

Una sintesi schematica della situazione globale della crosta terrestre, indicativamente valida anche per quanto concerne il territorio del Comune di Misano Adriatico, è fornita dalla sezione geologica schematica (figura n. 6), che taglia trasversalmente la penisola italiana dalla Toscana alla Romagna e si estende dalla superficie fino alla parte superiore del mantello terrestre².

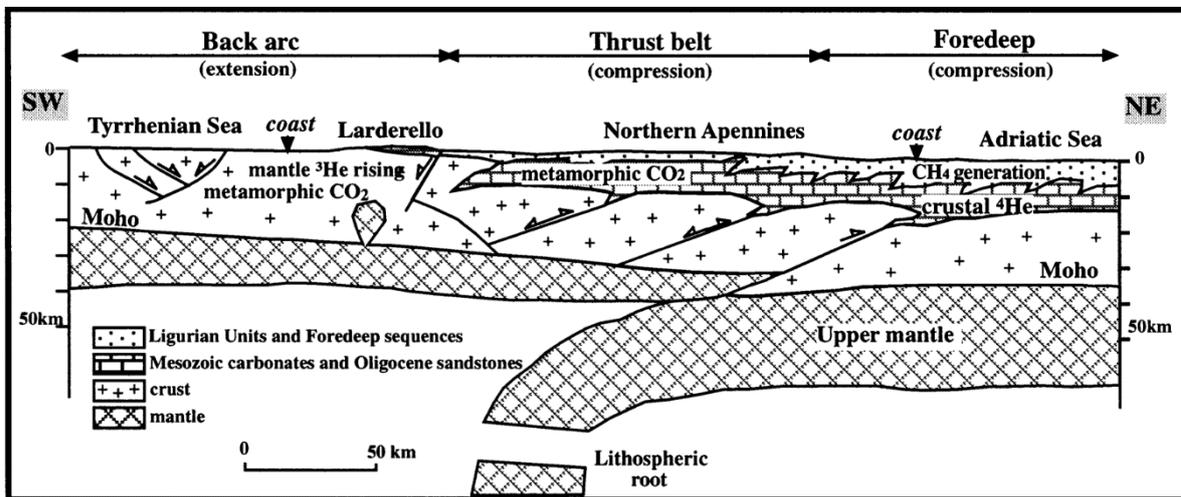


Figura n. 6 - Sezione geologica schematica attraverso l'Appennino Settentrionale, estesa dal Tirreno all'Adriatico e dalla superficie al Mantello superiore (da A. MINISSALE E ALTRI, 2.000)

2.3. CARATTERISTICHE SISMOTETTONICHE

Un inquadramento generale delle principali strutture attive sismogenetiche dell'Emilia-Romagna, quindi anche della zona in esame, è fornito dall'apposita carta (figura n. 7), a cura dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna.

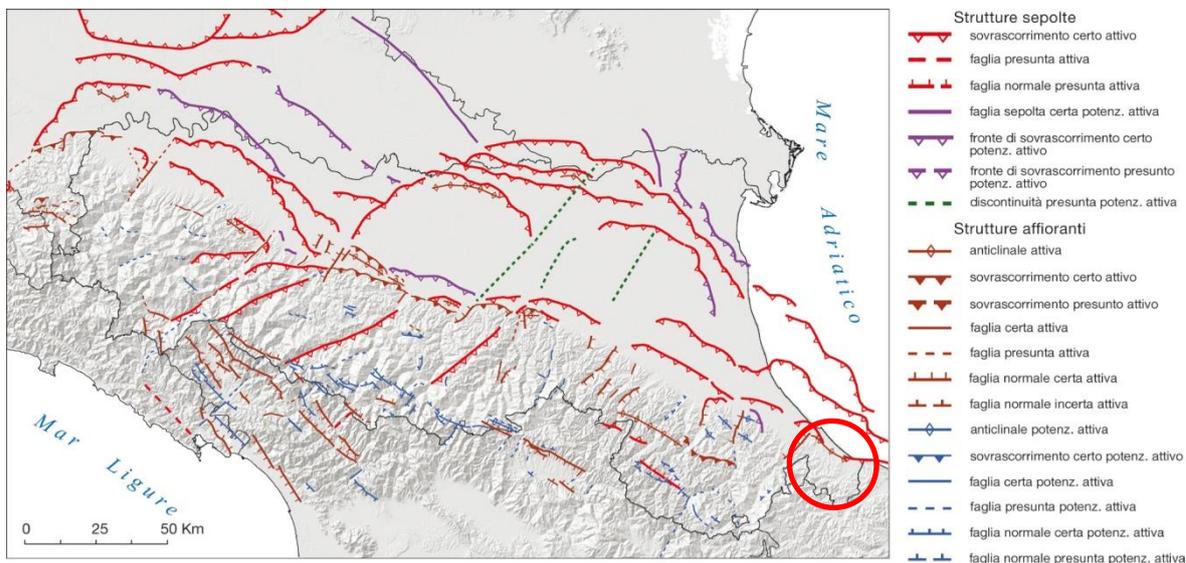


Figura n. 7 - Strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute in Emilia-Romagna

² MINISSALE A., MAGRO G., MARTINELLI G., VASELLI G., TASSI G.F., *Fluid geochemical transect in the Northern Apennines (central-northern Italy): fluid genesis and migration and tectonic implications*, «Tectonophysics», 319, (2000), p. 218.

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

Le sorgenti sismogenetiche e le faglie potenzialmente attive e capaci, interessanti specificatamente il territorio comunale di Misano Adriatico, sono state ricavate dal *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Version 3.2.0, ossia dal database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana³. La loro distribuzione geografica è evidente nella figura n. 8.

Nel territorio di pertinenza di Misano Adriatico figurano le seguenti sorgenti sismogenetiche:

- ♦ ITCS039 - Riminese onshore con Mw max (magnitudo momento massima) 5,9;
- ♦ ITIS033 - Rimini offshore South con Mw max (magnitudo momento massima) 5,6;
- ♦ ITCS030 - Riminese offshore con Mw max (magnitudo momento massima) 6,1;
- ♦ ITCS032 - Pesaro-Senigallia con Mw max (magnitudo momento massima) 6,1.

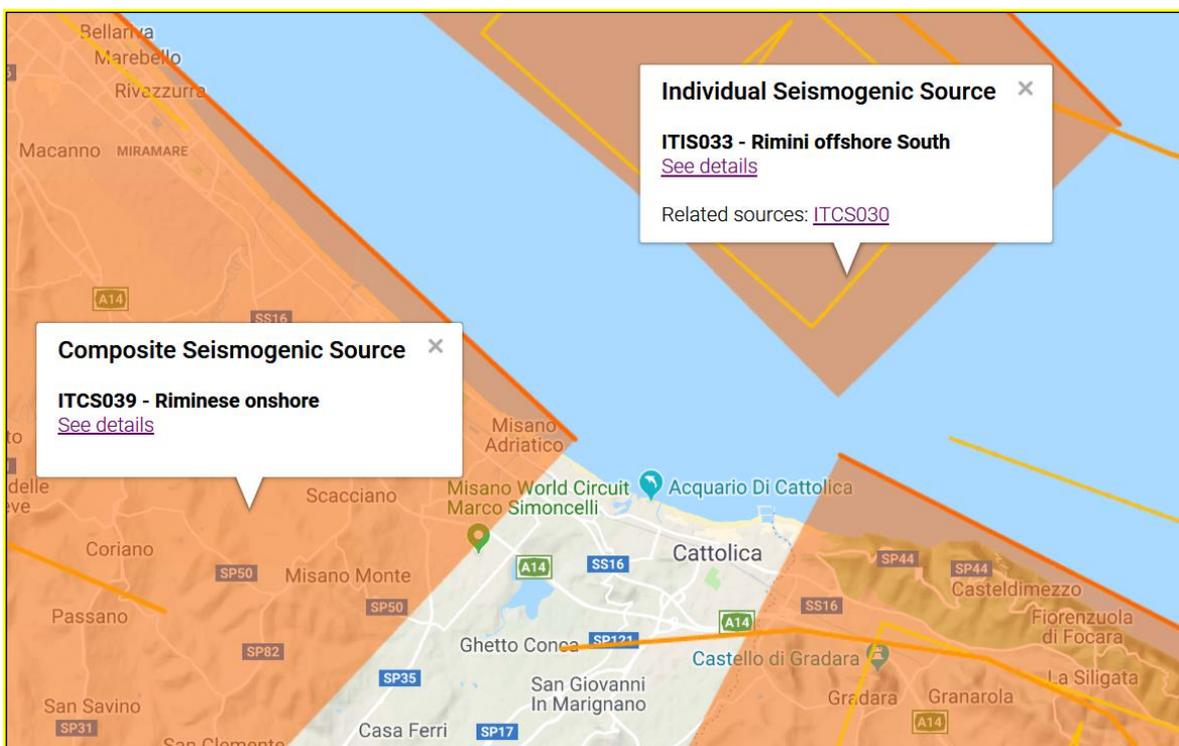


Figura n. 8 - Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS nella zona di pertinenza del Comune di Misano Adriatico

Nella Zonazione sismogenetica ZS9 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia⁴, il territorio comunale di Misano Adriatico (figura n. 9) ricade nella zona Rimini-Ancona 917 con Mw max (magnitudo momento massima) di 6,14.

³ 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*.

⁴ MELETTI C. E VALENSISE G. (a cura) del 2004, Zonazione sismogenetica ZS9 - App. 2 al Rapporto conclusivo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	12 di 71

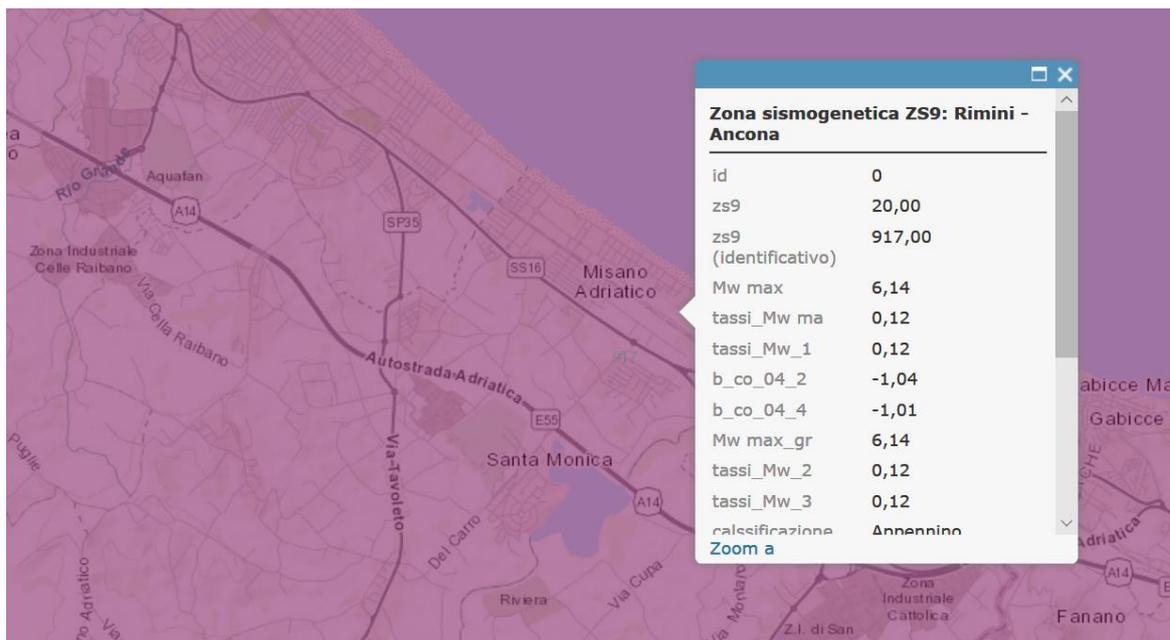


Figura n. 9 - Zonazione sismogenetica ZS9 del Comune di Misano Adriatico (zona "Rimini-Ancona 917")

Nella mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, redatta a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (figura n. 10) la pericolosità di ciascuna zona è espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi contraddistinti da $V_{s30} > 800$ m/s.

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

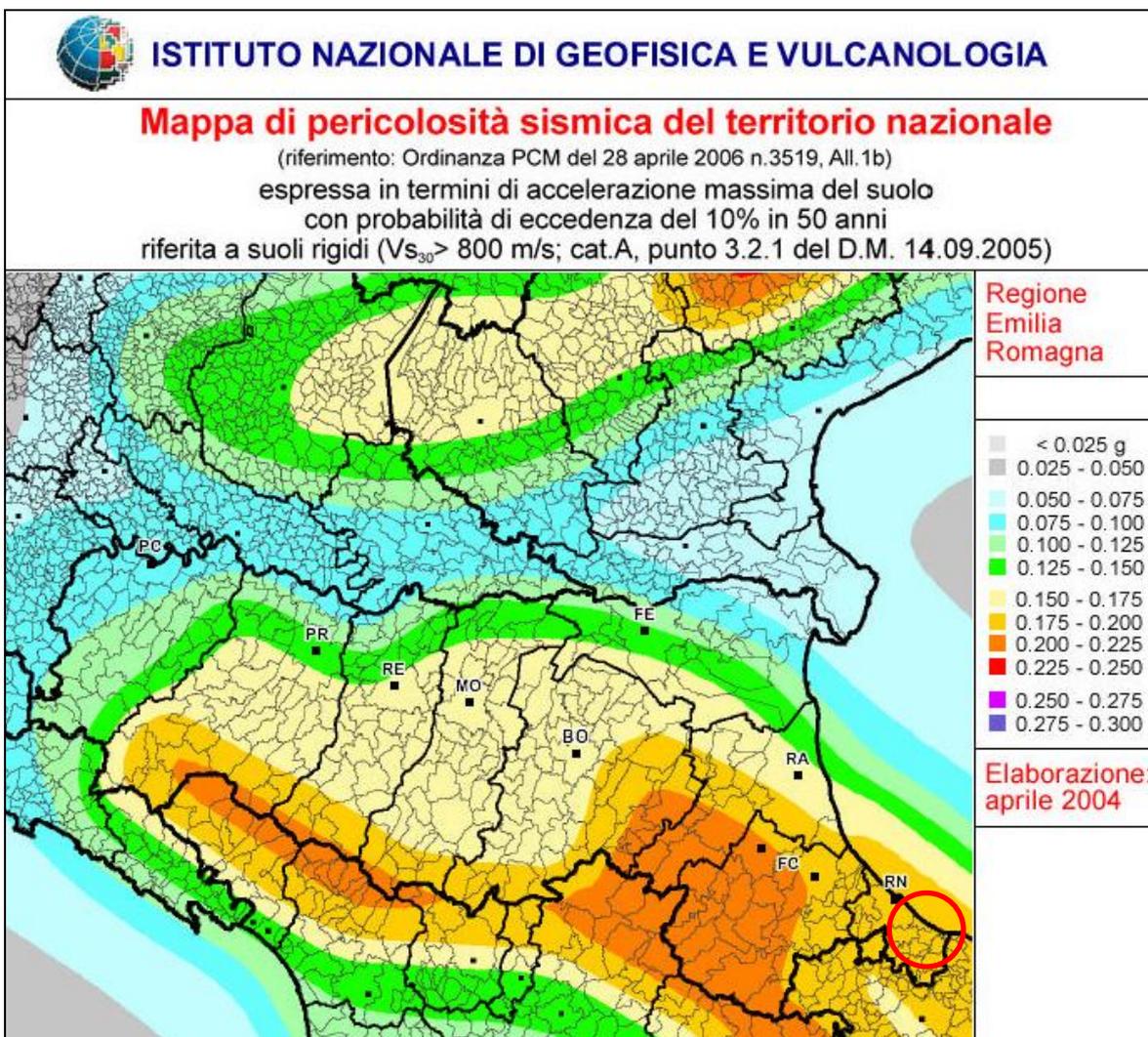


Figura n. 10 - Estratto della Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

In questa mappa il territorio in esame ricade in un'area caratterizzata da un'accelerazione sismica orizzontale massima a_g pari a 0,175-0,200 g.

2.4. STORIA SISMICA

La storia sismica del Comune di Misano Adriatico è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI15⁵. Nella tabella n. 1 sono riportati gli eventi di maggiore intensità verificatisi a Misano Adriatico indicando per ciascuno di essi, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come intensità (MCS), quando si è verificato, l'area epicentrale, il numero di località coinvolte (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (I_0), e la magnitudo momento (M_w).

⁵ Locati M., Camassi R. e al. (a cura di), 2016. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15>. DOI: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	14 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

TABELLA N. 1 - MAGGIORE SISMICITÀ STORICA DEL COMUNE DI MISANO ADRIATICO

Effetti	In occasione del terremoto del:				
Intensità [MCS]	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5,82
8	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
2-3	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78
3-4	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4,67
3	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4,82
3-4	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4,27
NF	2001 11 26 00 56 55.46	Casentino	211	5-6	4,63
NF	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4,18
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4,29
NF	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21

DEFINIZIONI DELLE SIGLE UTILIZZATE NELLA TABELLA N. 1

I [MCS]	Intensità macrosismica espressa in scala MCS. Alcuni effetti non sono esprimibili con la scala MCS per cui vengono utilizzati dei codici alternativi (si veda la relativa tabella)
Data	Data del terremoto
Ax	Area epicentrale, area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto
NMDP	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
Io	Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI15, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg [dettagli]
Mw	Magnitudo momento, da CPTI15

CODICI ALTERNATIVI MCS UTILIZZATI NELLA TABELLA N. 1

Codice	Descrizione
D	danno (damage): danno di entità non precisabile (indicativamente $Int \geq 6$)
F	avvertito (felt): si ritiene di escludere che si siano verificati danni ($3 \leq Int \leq 5$)
NC	non classificato (not classified): indica una informazione non classificabile in termini di intensità ovvero con i codici utilizzati
EE	effetti sull'ambiente (environment effects): effetti sull'ambiente in prossimità della località cui vengono riferiti
SW	effetti marini anomali (sea waves): indica maremoto o comunque effetti anomali in mare, in prossimità della località cui vengono riferiti
NR	non segnalato (not reported): utilizzato a volte per segnalare che nelle fonti non vi è menzione di effetti per quella data località
NF	non avvertito (not felt): in presenza di segnalazione esplicita è equiparabile a $Int=1$
RS	registrazione strumentale: alcuni studi riportano questa informazione, non utilizzabile dal punto di vista macrosismico, che tuttavia si è preferito conservare

A Misano Adriatico, com'è evidente nella figura n. 11, il maggiore terremoto noto in epoca recente si è verificato nel 1916.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	15 di 71

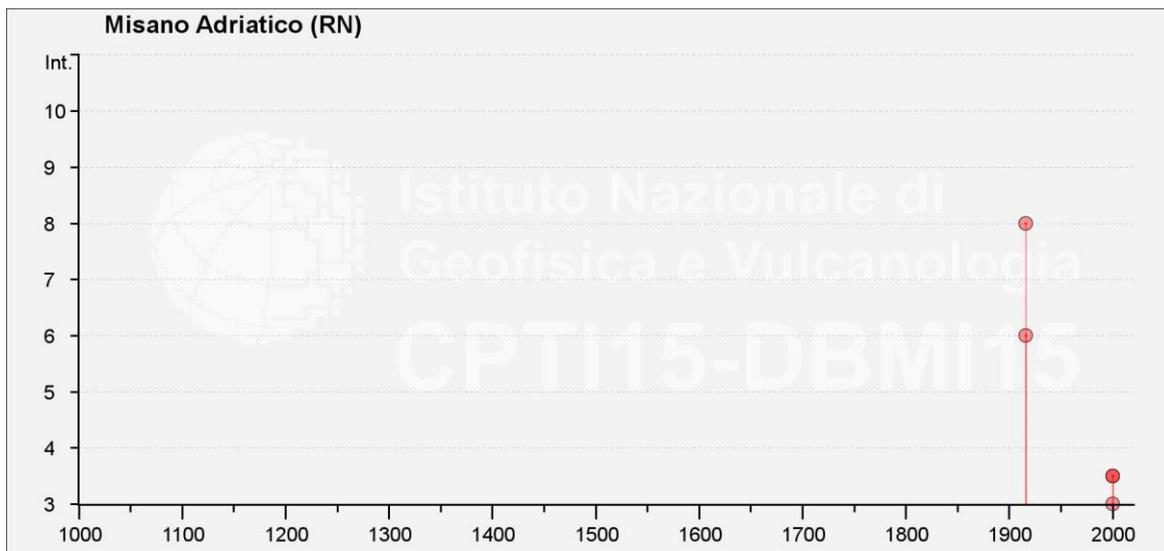


Figura n. 11 - I maggiori terremoti storici che hanno colpito Misano Adriatico

Nella figura n. 12, è riportata la magnitudo e la profondità dei terremoti verificatisi nella zona di pertinenza di Misano Adriatico dal 1 gennaio del 1900 ad oggi, entro il raggio di 20 chilometri⁶. Come si può notare dalla figura la profondità degli ipocentri è quasi sempre superficiale.

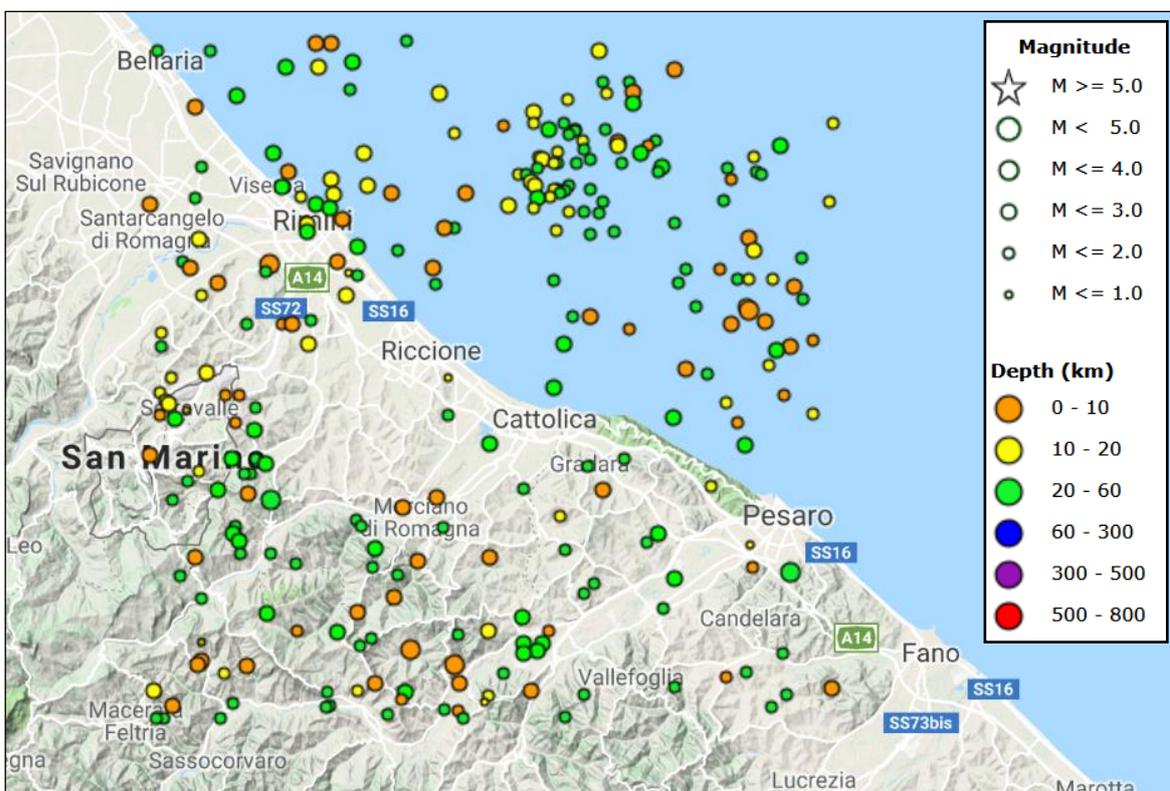


Figura n. 12 - Magnitudo e profondità dei sismi verificatisi nella zona di pertinenza di Misano Adriatico dall'inizio del 1900 ad oggi

⁶ ISIDe Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

2.5. CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il territorio del Comune di Misano Adriatico è classificato sismico di seconda categoria (S=9) (è stato classificato sismico nel 1927, nel 1938 è stato declassificato e riclassificato nel 1983). In base alla classificazione nazionale dei Comuni italiani, stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, i Comuni sismici italiani sono pertanto distinti in 4 zone. Le prime, con sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6), erano già state definite dalla Legge 64/74. Viceversa la zona 4 è di nuova introduzione. A ciascuna di queste zone è stato assegnato uno specifico valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tabella 2).

TABELLA N. 2 - ZONE SISMICHE E MASSIMI VALORI DI a_g

ZONA	VALORI MASSIMI DI a_g
1	>0,25
2	0,15 ÷ 0,25
3	0,05 ÷ 0,15
4	<0,05

In base alla Classificazione sismica della Regione Emilia-Romagna, evidente nella figura n. 13, il territorio comunale di Misano Adriatico appartiene alla zona 2.

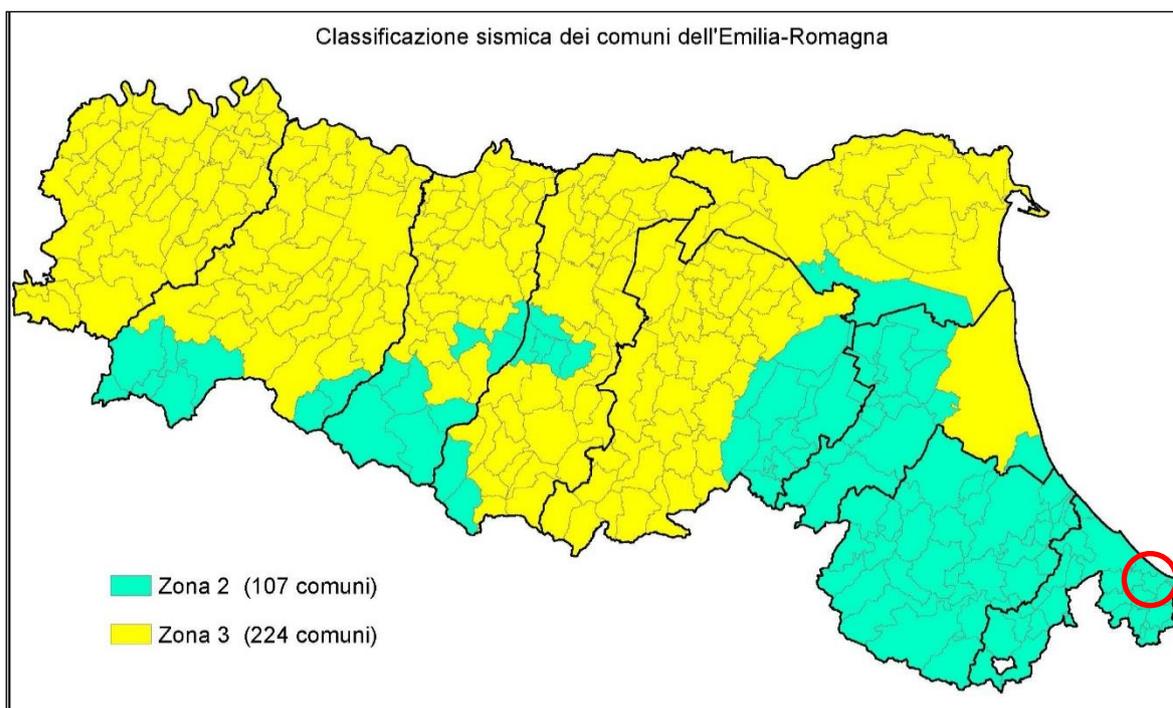


Figura n. 13 - Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna. DGR n° 1164 del 23.07.2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna"

2.6. PERICOLOSITÀ SISMICA

Con l'Ordinanza n° 3519 del 28 aprile 2006 sono stati precisati i criteri generali, la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale, riportata nel suo allegato 1b, e la normativa tecnica associata alla nuova classificazione sismica.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	17 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

Il recente Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 “*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*” (N.T.C. 2018) stabilisce che per la determinazione dell’azione sismica si deve fare riferimento agli allegati al decreto ministeriale del 14 gennaio 2008 “*Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni*”.

Alle N.T.C. 2008 citate, infatti, è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), secondo il quale l’azione sismica sulle costruzioni è da valutare in base alla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica, che costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Con riferimento a quanto disposto in tale Allegato, l’accelerazione sismica massima del terreno (a_g) viene definita in corrispondenza dei punti di un reticolo, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 2.475 anni).

Qualora il sito in esame non ricada nei nodi del reticolo di riferimento, il valore del suo parametro a_g può essere ricavato come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento in cui è situato, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In adempimento agli obblighi stabiliti dalla normativa nazionale e con l’obiettivo di ridurre il rischio sismico, la Regione Emilia-Romagna, con Deliberazione dell’Assemblea legislativa n. 112 del 2 maggio 2007, ha approvato l’atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 “*Disciplina generale sulla tutela e l’uso del territorio*”, in merito a “*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*”. Tale atto è stato poi aggiornato con la DGR n. 2193 del 21 dicembre 2015 ed infine con la DGR n. 630 del 29 aprile 2019. Quest’ultimo documento fornisce i criteri per l’individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio al fine di orientare le scelte della pianificazione verso le aree contraddistinte da minore pericolosità sismica. In esso viene inoltre precisato che la pericolosità del rischio sismico dipende sia dalle caratteristiche sismiche dell’area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall’energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti in essa presenti (*pericolosità sismica di base*), sia dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, in quanto alcune formazioni litologiche e particolari forme del paesaggio, possono modificare le caratteristiche del moto sismico superficiale e possono favorire effetti locali di amplificazione o di instabilità dei terreni (*pericolosità sismica locale*).

Gli studi sulla pericolosità sismica hanno pertanto come obiettivo:

- ◆ l’individuazione delle aree dove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- ◆ la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell’area di indagine (Analisi della Risposta Sismica Locale, RSL);
- ◆ la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale (Microzonazione Sismica, MZ).

Per questi studi sono previsti diversi livelli di approfondimento a seconda della sismicità locale e delle finalità delle realizzazioni previste.

La **prima fase** è volta a definire gli *scenari di pericolosità sismica locale*, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	18 di 71

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

del terreno, ecc.). Questa individuazione si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, nonché su raccolte di informazioni in merito agli effetti indotti dai terremoti che in passato hanno colpito la zona. Spesso, quanto definito in questa fase, fa ampio riferimento ed elabora i dati predisposti e resi disponibili dalle indagini eseguite in sede di redazione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) e del Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) e, a sua volta, concorre alla definizione delle scelte urbanistiche, fornendo indicazioni sui limiti e sulle condizioni di cui tenere conto nella pianificazione.

La **seconda fase** ha come obiettivo la *Microzonazione sismica del territorio indagato* ossia l'approfondimento delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento, la suddivisione dettagliata del territorio, in aree con maggiore o minore pericolosità sismica, l'indicazione delle aree ove si ritengono necessari approfondimenti con la precisazione delle indagini e delle analisi da effettuare.

La **terza fase** consiste nell'attuazione degli approfondimenti nei luoghi e con le modalità indicate di massima nella seconda fase.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	19 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

3.1. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

I dati acquisiti ed elaborati in questa sede derivano:

- dalla raccolta ed elaborazione di quanto disponibile in merito alle aree considerate presso l'Ufficio Tecnico comunale, la Provincia di Rimini, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e gli archivi personali dei partecipanti a questo studio;
- dalle campagne d'indagini, attuate per la stesura del II e del III livello di approfondimento allo scopo di acquisire un'adeguata conoscenza della specifica situazione locale.

Nella tabella n. 3 è fornito il quadro d'assieme delle prove acquisite o appositamente realizzate, concernenti le aree interessate dal secondo e dal terzo livello d'approfondimento.

TABELLA N. 3 - PROVE IN SITO DISPONIBILI (COMUNE DI MISANO ADRIATICO)

Prova in sito Comune di Misano Adriatico	Archivio		Prove realizzate II livello	Prove realizzate in questa sede	Totale
	RER	Comune			
Sondaggi a carotaggio continuo	81	2			83
Prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)	2				2
Prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)	143	22			165
Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)			4	16	20
Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTE)	3				3
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)	44	94			138
Down Hole	2				2
MASW			26	4	30
Microtremori (HVSR)	1	9	27	5	42
ESAC			12		12
Totale	276	127	69	25	497

Delle 497 prove geotecniche e geofisiche acquisite (sondaggi, penetrometrie e prove geofisiche), 403 provengono dagli archivi degli Enti, di cui 127 da quello del Comune di Misano Adriatico e 276 da quello della Regione Emilia-Romagna. Le restanti 94 prove in sito sono state effettuate nell'ambito degli studi di secondo e di terzo livello d'approfondimento.

L'insieme dei dati geologici e geofisici così acquisiti, unitamente alle informazioni presenti nella letteratura ed ai risultati dei numerosi sopralluoghi effettuati nell'ambito di Misano Adriatico, ha permesso di ricostruire il modello geologico del territorio interessato dallo studio di microzonazione sismica.

L'ubicazione degli elementi stratigrafici e geofisici acquisiti è riportata nella **Carta delle indagini** in scala 1.10.000. Il loro insieme è stato configurato in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS. Sia i dati di base, sia quelli elaborati sono stati inoltre organizzati in formato

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	20 di 71

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

vettoriale (*shapefile*) nel rispetto di quanto precisato negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

3.2. SONDAGGI E PENETROMETRIE

In merito al territorio comunale in oggetto, com'è evidente nella tabella n. 3, sono disponibili complessivamente 83 sondaggi a carotaggio continuo, 161 prove penetrometriche statiche (4 CPTU sono state realizzate nello studio di II livello e 16 in quello di III livello) e 167 prove penetrometriche dinamiche. I sondaggi e le penetrometrie hanno raggiunto rispettivamente profondità massime dell'ordine di 83 metri e di circa 24 metri.

3.3. PROVE GEOFISICHE

L'insieme delle prove geofisiche, raccolte e appositamente realizzate nell'area in esame, è ascrivibile ai seguenti tipi:

- Microtremori a stazione singola (HVSR), prove complessive n. 42, di cui 27 eseguite nello studio di II livello e 5 in quello di III livello;
- Down Hole, prove complessive n. 2 non eseguite in questa sede;
- Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), prove complessive n. 30 di cui 26 eseguite nello studio di II livello e 4 in quello di III livello;
- ESAC, prove complessive n. 12, attuate nell'ambito dello studio di II livello.

I dati registrati sono stati poi elaborati e restituiti graficamente con le usuali procedure. L'ubicazione di queste prove è precisata nella **Carta delle indagini** in scala 1.10.000.

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	21 di 71

4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Basilare, in uno studio di Microzonazione sismica, è la definizione, più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo locale con particolare riferimento all'individuazione della profondità del substrato rigido.

Mentre si rimanda ad una seguente parte della presente relazione la descrizione della situazione dei vari settori del Comune di Misano Adriatico, distinti in base all'elaborazione dell'insieme dei dati acquisiti nell'ambito della presente ricerca, è opportuno soffermarsi, a questo punto, sull'assetto generale del sottosuolo locale, che può modificare il moto sismico in superficie e condizionare gli effetti sismici locali.

Nell'ambito territoriale di Misano Adriatico, com'è già stato fatto rilevare, ad est dominano i depositi continentali del Pleistocene medio - Olocene, talvolta più o meno rimaneggiati dai flutti marini nei settori costieri, ad ovest sono invece significativi gli affioramenti delle Argille Azzurre del Pliocene inferiore - Pleistocene inferiore.

Il substrato presente nel territorio di Misano Adriatico, è rappresentato dalla parte superiore dei sedimenti argillosi e marnosi di pertinenza delle Argille Azzurre plio-pleistoceniche. Si vedano, in proposito le figure 14 e 15, raffiguranti rispettivamente le tracce e le sezioni geologiche tratte dalla "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica dell'area costiera di Misano Adriatico (RN)" redatta dal Dott. Geol. Luca Martelli della Regione Emilia-Romagna.



Figura n. 14 - Traccia delle sezioni geologiche riportate nella figura n. 15

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	22 di 71

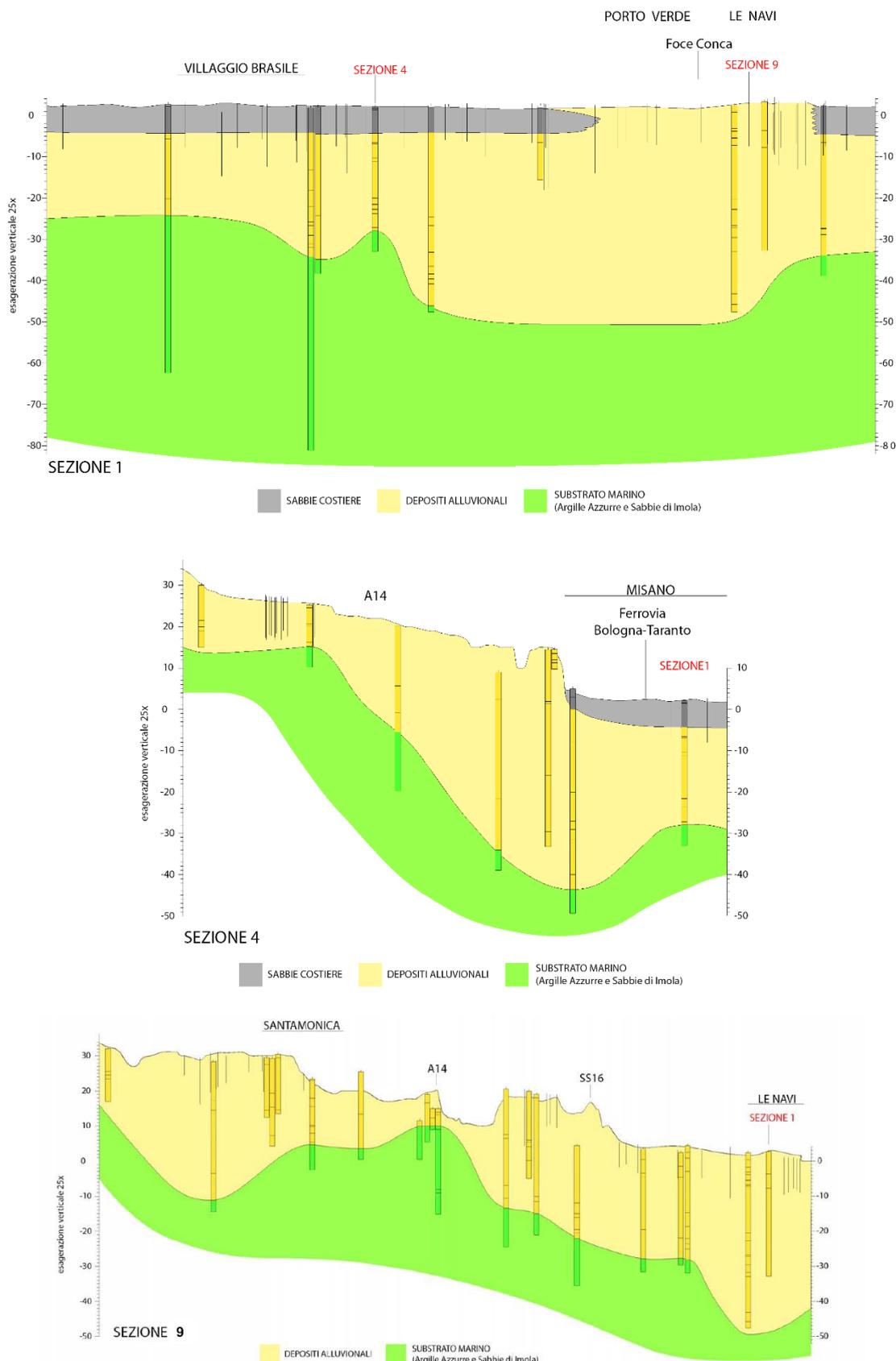


Figura n. 15 - Sezioni geologiche evidenzianti il contatto tra i depositi continentali e le Argille Azzurre Plio-Pleistoceniche nel sottosuolo di Misano Adriatico

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	23 di 71

Tali sezioni ed in particolare la Carta degli spessori dei depositi continentali redatta dal Dott. Geol. Luca Martelli della Regione Emilia-Romagna (figura 16), evidenziano un approfondimento del substrato geologico nella zona dell'Autodromo e nella fascia costiera dove il tetto delle Argille Azzurre raggiunge profondità massime prossime a 50 metri dal piano campagna.

Nelle restanti parti del territorio comunale in esame, come si può osservare nella Carta geologico tecnica in scala 1:10.000 allegata, le Argille Azzurre affiorano direttamente in superficie.

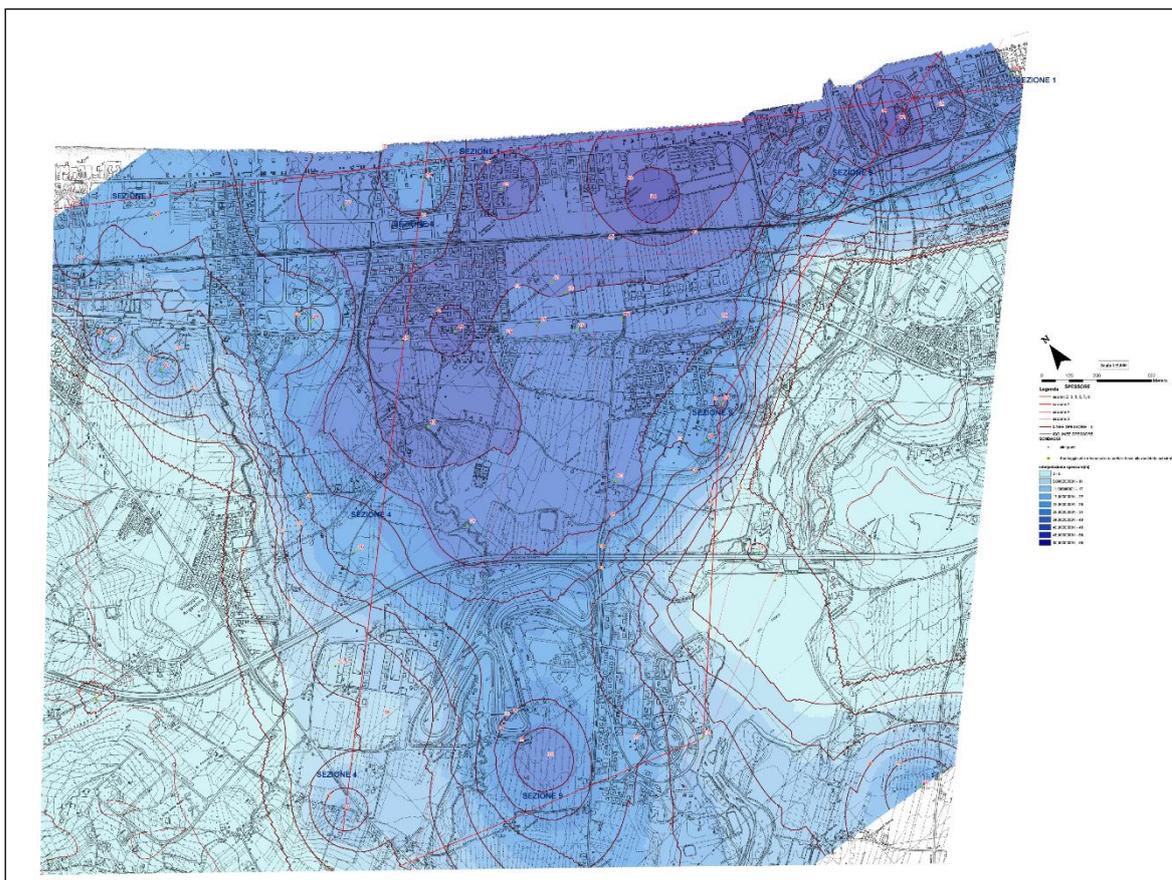


Figura n. 16 - Carta dello spessore dei depositi continentali

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

5. DETERMINAZIONI ED INCERTEZZE

Nel rilievo dei microtremori per analisi dei rapporti spettrali delle componenti orizzontale e verticale del moto (HVSr), direttamente rilevati in questa sede e nello studio di II livello, e nelle relative analisi sono state seguite le linee guida del progetto SESAME (European research project - Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibration) con le tecniche di acquisizione e le modalità di elaborazione esplicitate negli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica.

Questo metodo (HVSr o di Nakamura) si basa sul rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del noise, assumendo che la componente verticale (V) nel passare dal *bedrock* alla superficie non subisce amplificazione, e consente di determinare la "frequenza di risonanza" di uno strato caratteristico del sito, per il quale assume il valore massimo il rapporto $RHV = HS/VS$ (*Horizontal to Vertical Ratio*) tra gli spettri delle componenti orizzontale e verticale del moto del suolo.

Ciascuna prova realizzata ha fornito, in particolare, un grafico del rapporto spettrale H/V - frequenza, in cui si possono osservare il picco o i picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze.

Per determinare la qualità delle singole misure HVSr effettuate e la loro relativa affidabilità, si è proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali. Tutte le misure soddisfano i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale.

Per ogni singola acquisizione è stato inoltre 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 (Jsesame, Geopsy), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimutali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale.

Con riferimento ai criteri delle linee guida SESAME 2005, relativi alla "chiarezza" del picco di possibile risonanza, si osserva che normalmente le misure soddisfano almeno 5 su 6 criteri. Solo sedici casi (099005P408HVSr418, 099005P412HVSr422, 099005P413HVSr423, 099005P414HVSr424, 099005P417HVSr427, 099005P418HVSr428, 099005P420HVSr430, 099005P424HVSr434, 099005P425HVSr435, 099005P426HVSr436, 099005P428HVSr438, 099005P429HVSr439, 099005P430HVSr440, 099005P431HVSr441, 099005P432HVSr442, 099005P464HVSr476) non soddisfano questi requisiti. Verosimilmente questo accade per le peculiarità del complesso e variabile deposito del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), presente nel sottosuolo in esame.

L'indagine microsismica MASW è stata eseguita con un sismografo "DOREMI" della SARA Electronic Instruments S.r.l. È stata utilizzata una frequenza di campionamento di 5.000 Hz e una registrazione magnetica degli eventi per un intervallo di 2000 ms. Alla strumentazione sismografica sono stati connessi sensori

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	25 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

geofonici verticali da 4,5 Hz, posti alla distanza reciproca di 1 metro. Il rilievo è stato condotto operando energizzazioni per l'acquisizione dei dati agli estremi delle stese geofoniche della lunghezza complessiva variabile da 32 a 50 metri, restituendo i risultati su verticali rappresentative del sito.

La tecnica di investigazione ed elaborazione MASW dei dati consente di rilevare la situazione sismo-stratigrafica del sottosuolo in riferimento alla velocità delle onde S, basandosi sulla misura delle onde superficiali di Rayleigh (onde di superficie prodotte da un movimento circolare retrogrado delle particelle del suolo), che si presta ad una agevole elaborazione in considerazione del fatto che il contenuto energetico risulta nettamente superiore a quello che compete alle componenti delle onde di volume P ed S, il cui decadimento ed attenuazione risulta proporzionale al quadrato della distanza piuttosto che alla distanza dalla sorgente dell'impulso.

Dato che in un mezzo stratificato le onde di Rayleigh subiscono il fenomeno della dispersione, poiché le differenti lunghezze d'onda, che descrivono il movimento delle particelle, viaggiano a velocità differenti in relazione alle caratteristiche dei terreni presenti nel sottosuolo, la loro dispersione consente di analizzare le variazioni di velocità delle onde S e di discriminare in profondità le principali variazioni di rigidità dei terreni, tenendo conto che le componenti d'onda ad alta frequenza impegnano e caratterizzano gli strati più superficiali dell'area di indagine, mentre quelle a più bassa frequenza interessano spessori maggiori del sottosuolo e caratterizzano gli strati più profondi. La velocità delle onde S si determina, in particolare, considerando che è dell'ordine del 90-110% di quella delle onde di Rayleigh.

Le interpretazioni MASW, eseguite con softwares votati (WinMASW, Seisimager, Masw-Vitantonio e WinMasw-Eliosoft), hanno permesso di determinare le sismostratigrafie in onde S dei siti, accertando eventuali e locali inversioni di velocità e calcolando il valore equivalente alla profondità di 30 metri attraverso la seguente relazione:

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

dove: $V_{S_{30}}$ è la velocità sismica ponderata su 30 metri delle onde trasversali, h_i è lo spessore dell'orizzonte i esimo nei 30 metri di riferimento, V_i è la velocità delle onde S dell'orizzonte i esimo di spessore h_i . I valori ottenuti sono riportati nella relativa documentazione allegata.

Nei rilievi con la tecnica ESAC (Extended Spatial Autocorrelation Method) i microtremori sismici, registrati con stendimenti bidimensionali e attraverso il processo di inversione della curva di dispersione effettiva (anziché modale), consentono di identificare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s del sottosuolo indagato e quindi di determinare il valore $V_{S_{30}}/V_{SH}$. Anche in questo caso i valori ottenuti sono riportati nella relativa documentazione allegata.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	26 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

6.1. PRIMA FASE DEL LAVORO

Nella prima fase di lavoro, concernente le aree del Comune di Misano Adriatico da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica (territorio urbanizzato e urbanizzabile), sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e di archivio disponibili, sono stati condotti puntuali rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica fruibile. In seguito, tenendo conto dell'insieme degli elementi acquisiti, è stata predisposta ed eseguita un'attenta campagna di rilievi integrativi e di controllo.

A conclusione di questa prima fase d'indagini, come in seguito precisato, sono stati predisposti i seguenti elaborati:

- **Carta delle indagini (scala 1:10.000)** - In questa carta è riportata l'ubicazione, di tutte le indagini in sito acquisite o realizzate in questa sede, distinte in base alla specifica tipologia (sondaggi, penetrometrie, prove geofisiche ecc.);
- **Carta geologico-tecnica (scala 1:10.000)** - Questa carta, concernente le zone interessate dall'analisi di secondo livello, prende in esame i terreni di copertura, il substrato geologico, le instabilità dei versanti, gli elementi geologici e idrogeologici e gli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura.
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:10.000)** - In questa carta sono riportate le ubicazioni dei punti ove sono state eseguite le indagini sismiche HVSR, con simbolicamente precisato il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (*frequenza principale*). A fianco di ciascun simbolo è riportata la frequenza relativa al primo picco significativo (in rosso). Nel caso sia presente, è indicata anche la frequenza (in blu) di un secondo picco (*frequenza secondaria*). Le misure inoltre sono state suddivise in classi sulla base delle frequenze ($F_0 \leq 0.6$ Hz; $0.6 < F_0 < 1$; $1 < F_0 \leq 2$ Hz; $2 < F_0 \leq 8$ Hz; $F_0 > 8$ Hz) e dell'ampiezza del picco ($1,5 \leq HVSR < 2$; $2 \leq HVSR < 3$; $HVSR \geq 3$).
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:10.000)** - In questa carta sono state individuate le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, distinte in sette zone, le zone di attenzione per instabilità, a seconda se da liquefazione o da instabilità di versante, e i punti di misura di rumore ambientale.

6.2. SECONDA FASE DEL LAVORO

Nella seconda fase della presente indagine è stato predisposto il seguente elaborato:

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (scala 1:10.000)** - In questa carta è precisata l'ubicazione delle prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), Down Hole, ESAC e di misura dei microtremori a stazione singola. A fianco di ciascuna indicazione è precisato il rispettivo valore di V_{S30} e/o V_{SH} in m/s.

6.3. TERZA FASE DEL LAVORO

La terza fase del lavoro è stata sviluppata nella Zona di Attenzione per instabilità da liquefazioni individuata dal II livello di approfondimento, ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	27 di 71

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

In questa fase è stata sviluppata l'analisi approfondita che ha portato alla determinazione dello spettro di risposta in superficie e dei fattori di amplificazione che hanno permesso di realizzare la verifica alla liquefazione. In questa sede sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- **Verifiche del potenziale di liquefazione** - In questo elaborato sono raccolte le verifiche del potenziale di liquefazione realizzate;
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 (scala 1: 10.000)** - In questa carta sono riportate le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, le zone di attenzione per instabilità di versante (Livello 2) e le zone suscettibili di instabilità per liquefazione (livello 3). In queste ultime zone sono stati effettuati gli approfondimenti e il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione, ottenuto dall'analisi della liquefazione effettuata nelle verticali delle CPTU, raccolte e realizzate nell'ambito di questo studio. Sono stati, in particolare, predisposti i seguenti elaborati cartografici:
 - Carta di microzonazione sismica - FA PGA in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,1 - 0,5 s in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,4 - 0,8 s in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,7 - 1,1 s in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,5 - 1,5 s in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,1 - 0,5 s in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,5 - 1,0 s in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,5 - 1,5 s in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - HSM in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - H 0,4 - 0,8 s in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - H 0,7 - 1,1 s in scala 1:10.000
 - Carta di microzonazione sismica - H 0,5 - 1,5 s in scala 1:10.000

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	28 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

7. ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1. CARTA DELLE INDAGINI

Nella **Carta delle indagini** in scala 1:10.000, concernente il territorio di Misano Adriatico è riportata l'ubicazione di tutte indagini in sito disponibili. Pertanto nella relativa legenda figurano i seguenti elementi:

- Sondaggio a carotaggio continuo;
- Prova sismica in foro tipo *Downhole*
- Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT);
- Prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTE);
- Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU);
- Prova penetrometrica dinamica pesante (DP);
- Prova penetrometrica dinamica leggera (DL);
- Stazione microtremore a stazione singola (HVSR);
- ESAC;
- MASW;
- Confine comunale;
- Aree oggetto di microzonazione.

7.2. CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER MICROZONAZIONE SISMICA

La realizzazione della **Carta geologico-tecnica** in scala 1:10.000 del territorio del Comune di Misano Adriatico ha consentito di definire il modello del sottosuolo del Comune in oggetto ed è stata funzionale anche alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:10.000). In essa sono stati distinti:

- Terreni di copertura;
- Substrato geologico;
- Instabilità di versante;
- Elementi geologici e idrogeologici;
- Ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura;
- Confine comunale;
- Aree oggetto di microzonazione.

I terreni di copertura, dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono stati distinti sulla base delle caratteristiche tessiturali, come di seguito specificato:

- **GP** - *Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia*: sono cartografate principalmente nel settore orientale della zona costiera, caratterizzata dalla presenza della conoide alluvionale del T. Conca;
- **GM** - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*: caratterizzano la fascia dei terrazzi alluvionali recenti del T. Conca, riconducibili all'Unità di Modena del Subsistema di Ravenna. Inoltre si rinvencono nelle zone di talweg del reticolo idrografico secondario;
- **SM** - *Sabbie limose, miscela di sabbia e limo*: occupano il settore centro occidentale della zona costiera;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	29 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

- **ML** - *Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità*: a questa classe sono stati attribuiti i depositi di versante s.l. e i depositi gravitativi quiescenti ed in atto;
- **CL** - *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre*: ricomprendono i depositi alluvionali terrazzati del Subsistema di Ravenna e di quello di Villa Verucchio.

Il substrato geologico affiorante o subaffiorante risulta classificabile come:

- **Substrato coesivo sovraconsolidato**: coincidente con la Formazione delle Argille Azzurre. Si tratta di argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili.

Sono stati altresì distinti gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura secondo le seguenti classi:

- **es** - argini, barre, canali;
- **tf** - terrazzo fluviale;
- **sp** - spiaggia;
- **ec** - eluvi/colluvi.

Infine nella Carta geologico tecnica è indicata la soggiacenza della falda e sono rappresentati i pozzi/sondaggi profondi, distinguendoli a seconda che abbiano raggiunto o meno il substrato rigido e riportando la profondità dello stesso oppure la profondità raggiunta dalla perforazione.

7.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

La **Carta delle frequenze naturali dei terreni** in scala 1:10.000, del territorio del Comune di Misano Adriatico è stata realizzata utilizzando i dati sui microtremori disponibili e ubicando i punti ove sono state effettuate le misure HVSR. Nella relativa legenda, con riferimento a ciascuna prova, sono state precisate:

- la frequenza di picco significativa;
- l'ampiezza di picco;
- lo spessore atteso.

Al lato di ciascun simbolo sono riportate le frequenze relative al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu) se presente.

Sono inoltre indicati:

- il confine comunale;
- le aree oggetto di microzonazione.

L'esame della carta evidenzia la presenza di picchi H/V in prevalenza compresi tra 1,5 e 3 Hz, con ampiezza generalmente moderata ($2 \leq HVSR < 3$). I picchi che ricadono nel campo delle frequenze più basse, caratterizzano le zone dove il substrato geologico risulta più profondo.

7.4. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

La **Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica** (MOPS) in scala 1:10.000 del territorio del Comune di Misano Adriatico, individua:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	30 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

- le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (zone da 1 a 7);
- le zone di attenzione per instabilità (zone da 8 a 10) con instabilità per liquefazioni (zone 8 e 9) e per instabilità di versante (zona 10);
- i punti di misura di rumore ambientale;
- il confine comunale;
- le aree oggetto di microzonazione.

Le figure da 17 a 26 mostrano le colonne stratigrafiche sintetiche rappresentanti le MOPS (zone da 1 a 10).

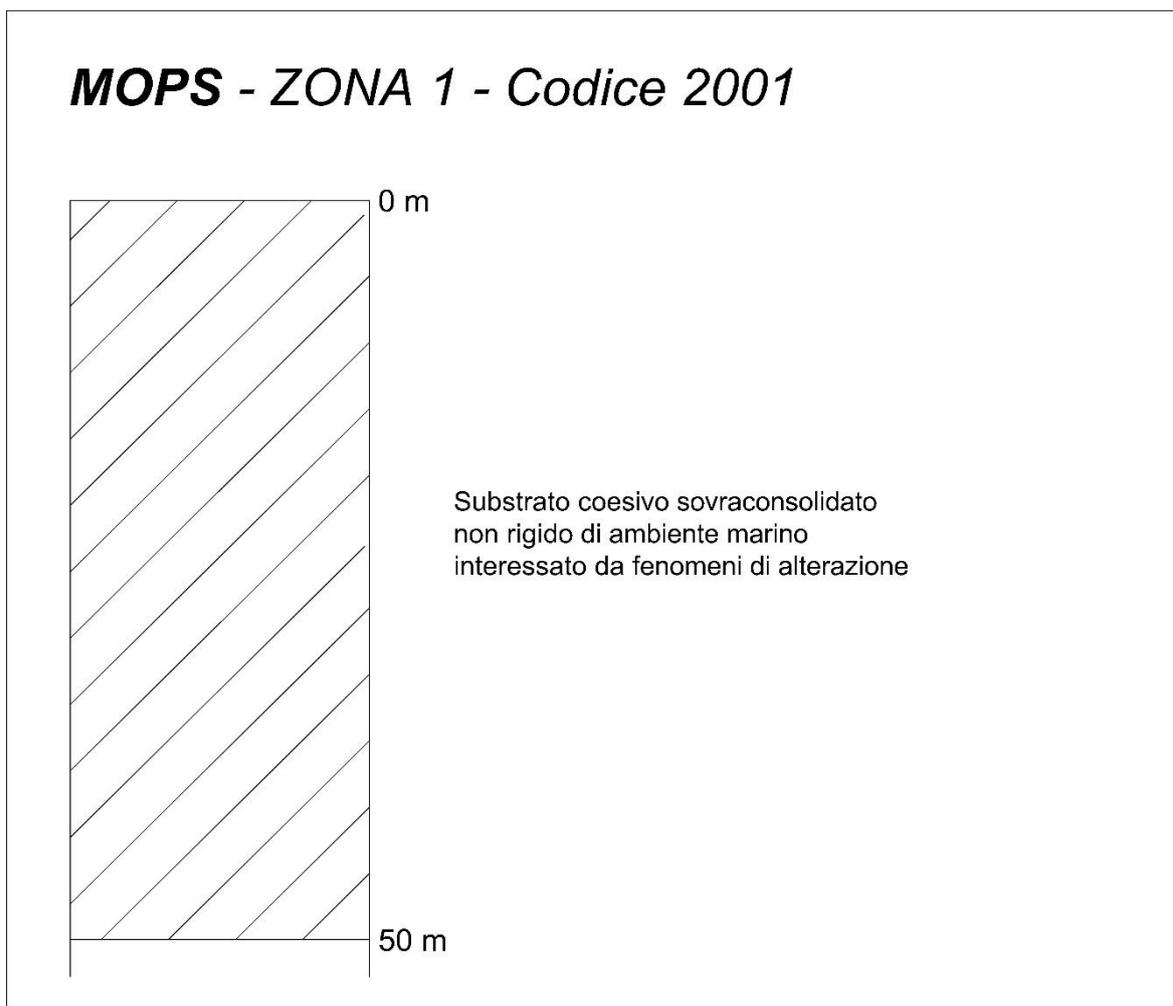


Figura n. 17 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 1 Cod. 2001

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	31 di 71

MOPS - ZONA 2 - Codice 2002

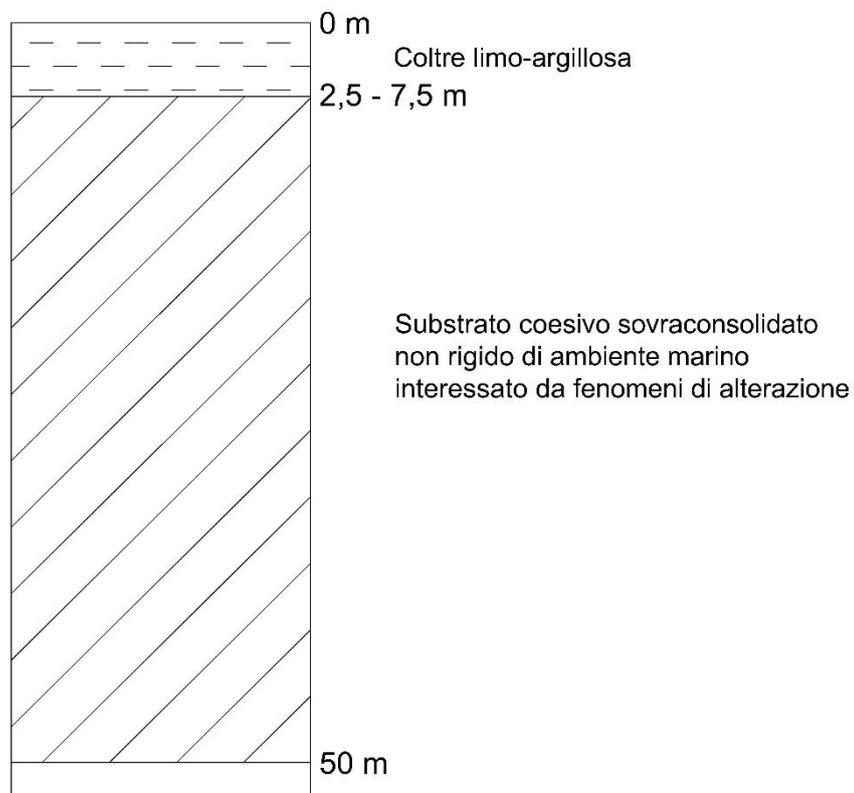


Figura n. 18 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 2 Cod. 2002

MOPS - ZONA 3 - Codice 2003

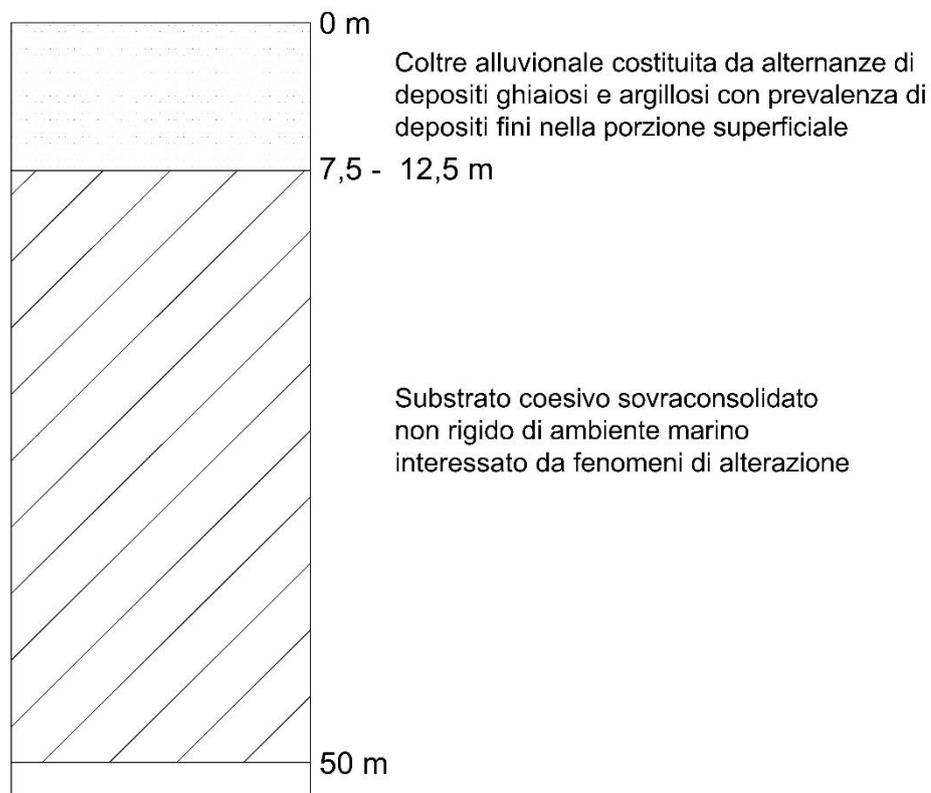


Figura n. 19 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 3 Cod. 2003

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	33 di 71

MOPS - ZONA 4 - Codice 2004

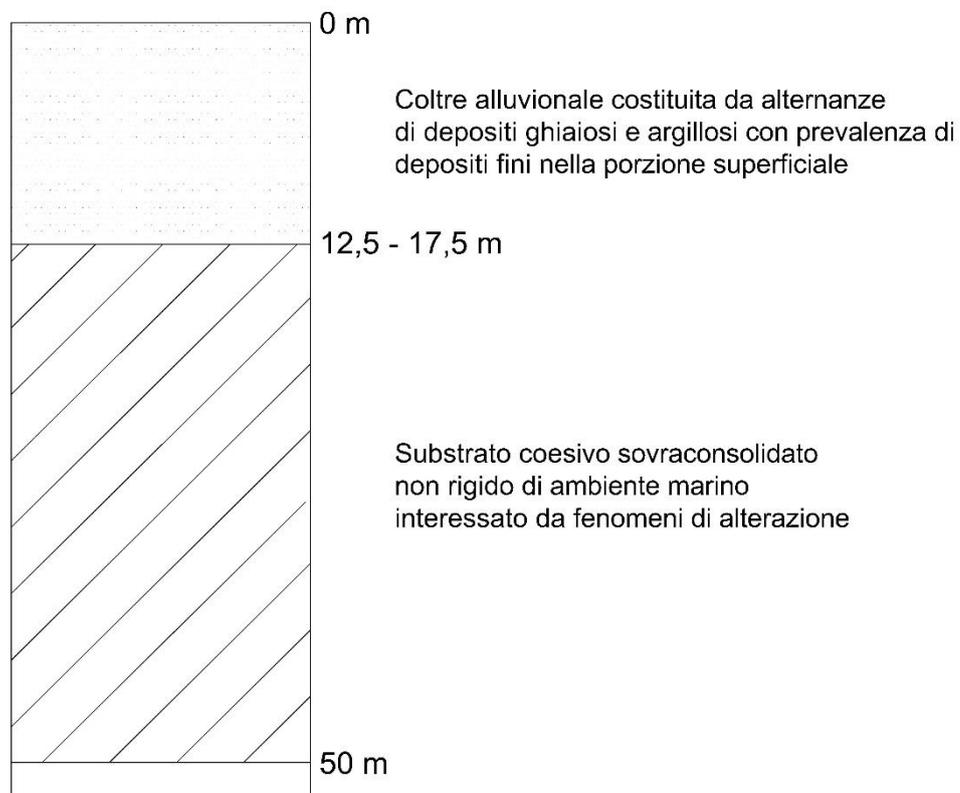


Figura n. 20 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 4 Cod. 2004

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	34 di 71

MOPS - ZONA 5 - Codice 2005

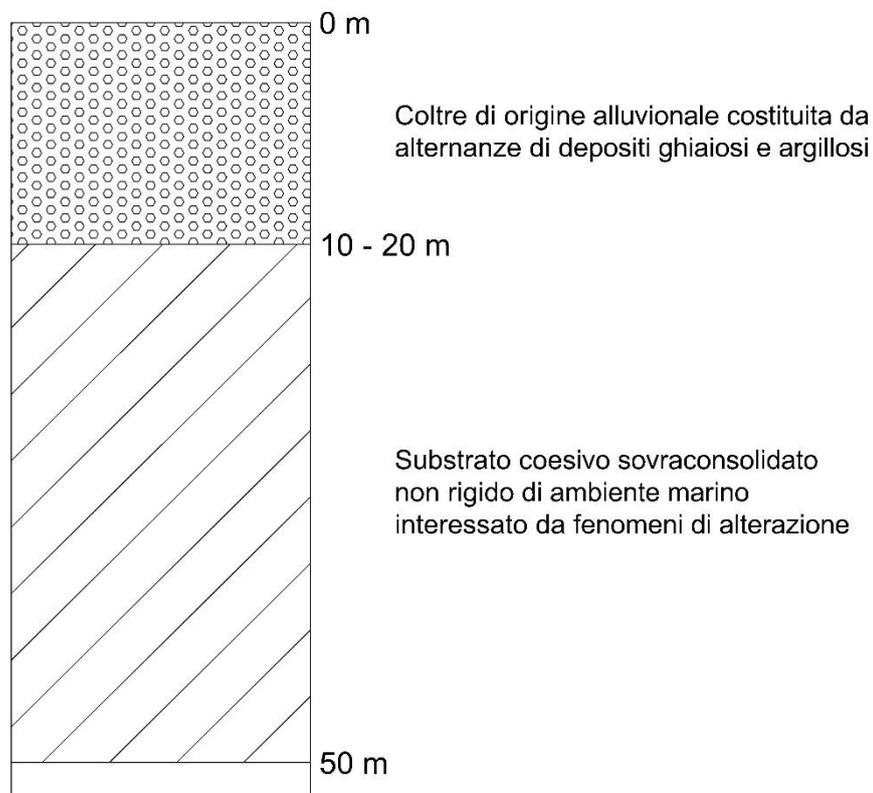


Figura n. 21 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 5 Cod. 2005

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	35 di 71

MOPS - ZONA 6 - Codice 2006

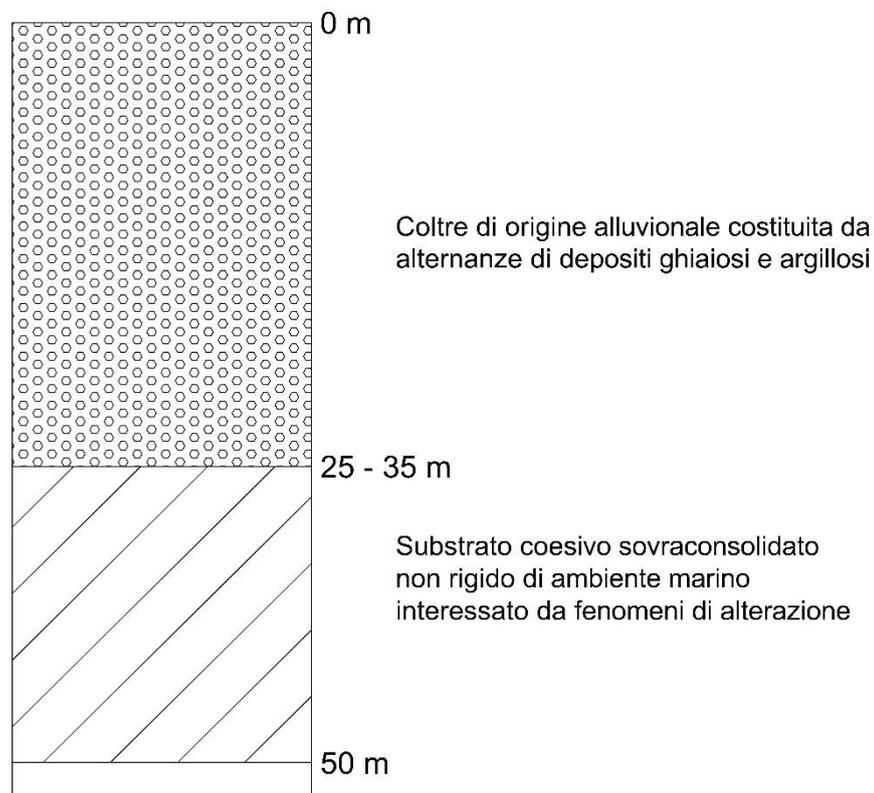


Figura n. 22 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 6 Cod. 2006

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	36 di 71

MOPS - ZONA 7 - Codice 2007

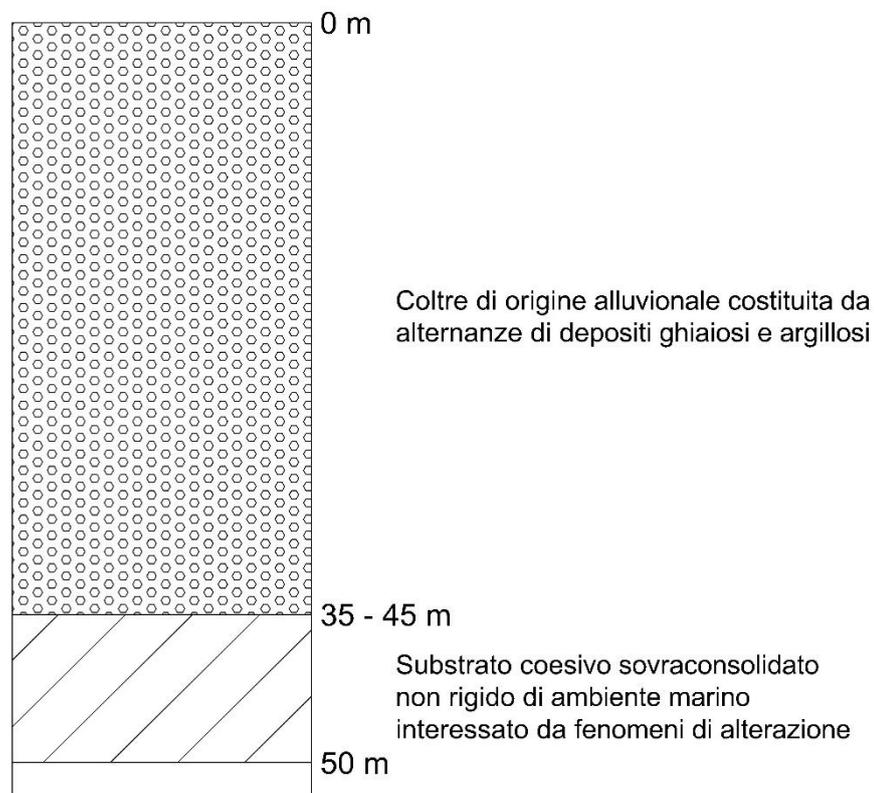


Figura n. 23 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 7 Cod. 2007

MOPS - ZONA 8 - Codice 2008 - ZALQ

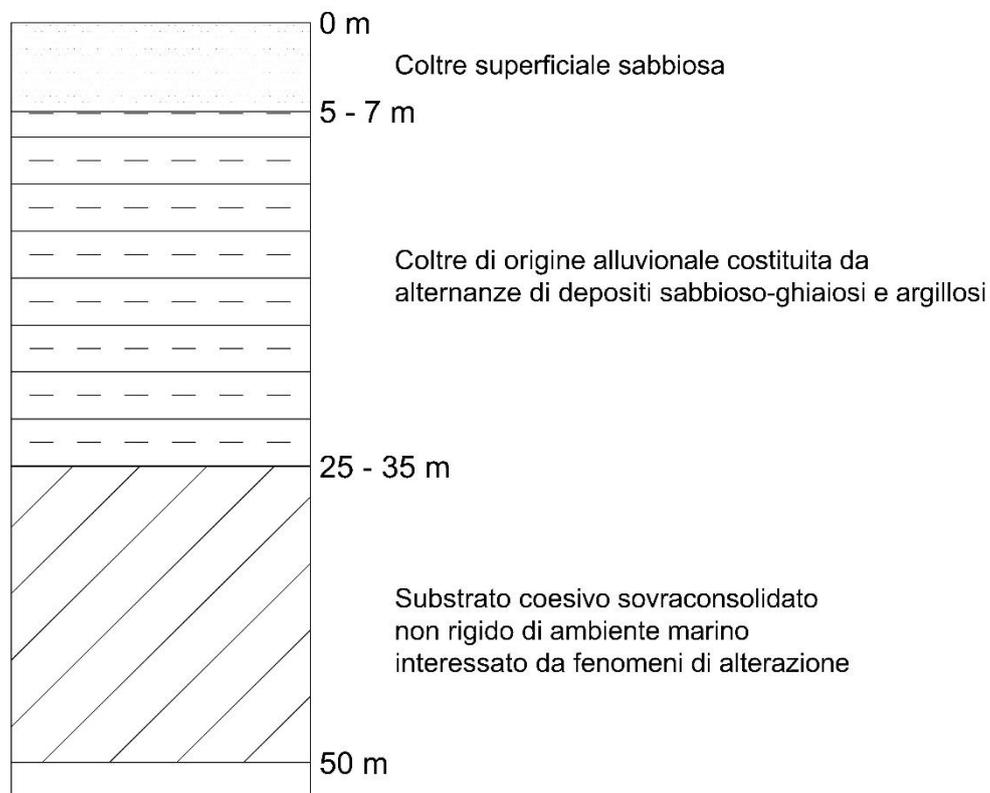


Figura n. 24 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 8 Cod. 2008

MOPS - ZONA 9 - Codice 2009 - ZALQ

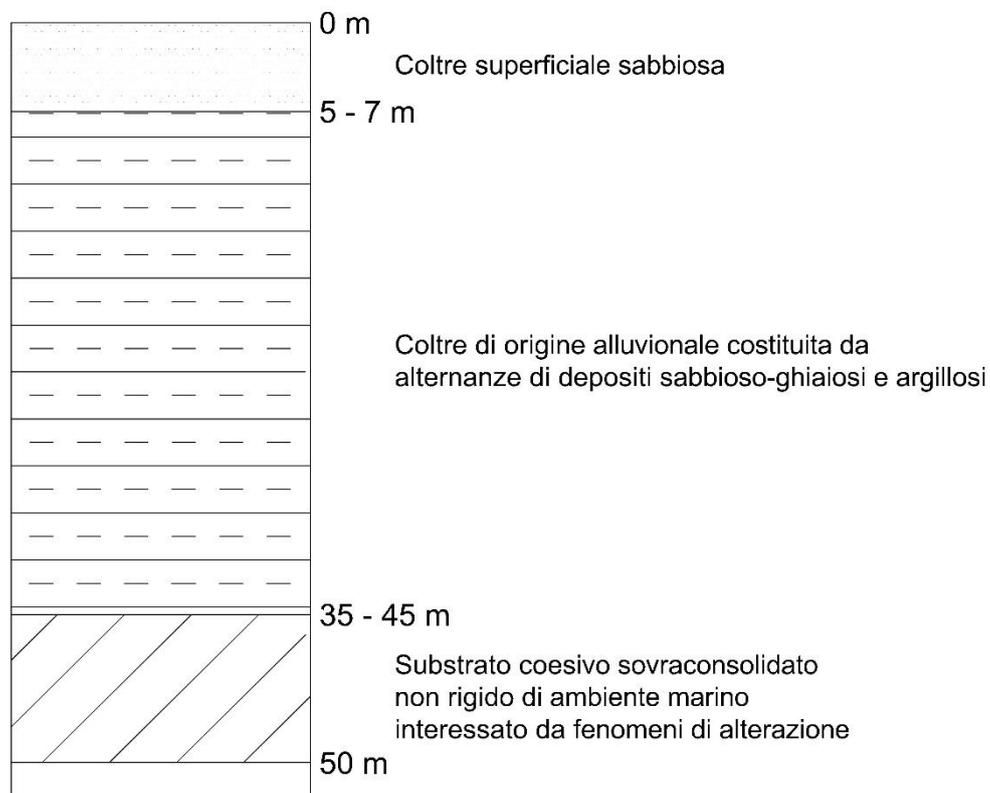


Figura n. 25 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 9 Cod. 2009

MOPS - Zona 10 - Codice 2010 - ZAFR

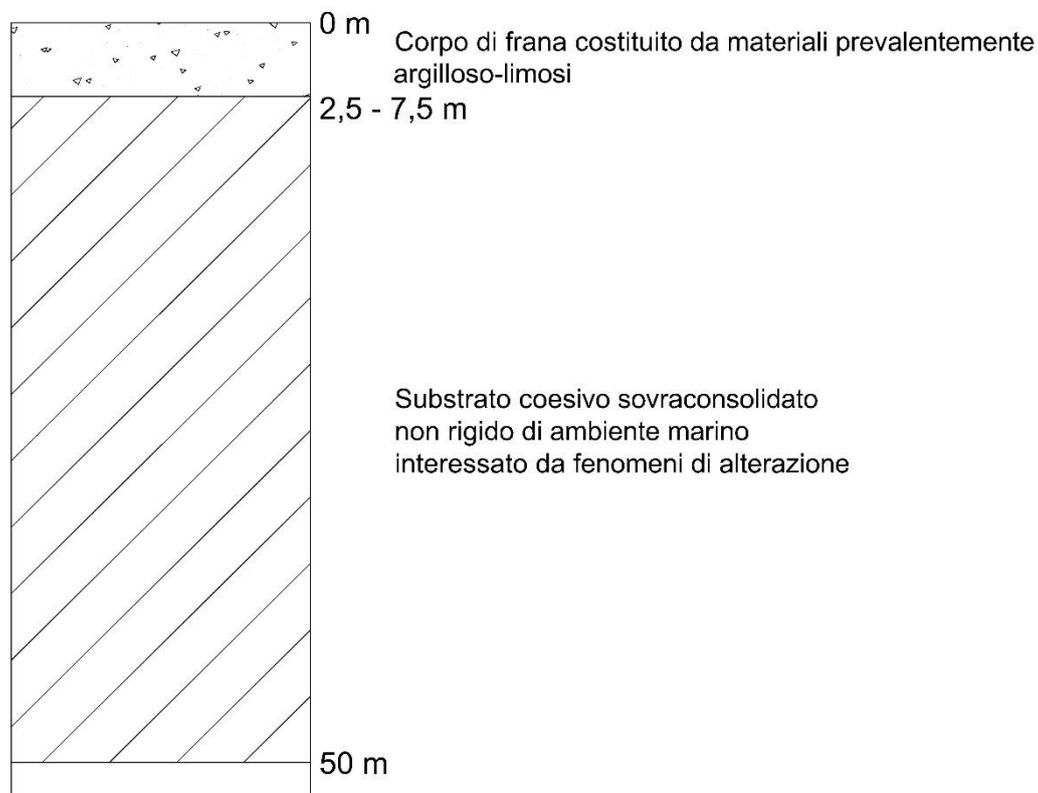


Figura n. 26 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 10 Cod. 2010

7.5. CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S

Nella **Carta delle velocità delle onde di taglio S** in scala 1:10.000 del territorio del Comune di Misano Adriatico sono indicate:

- MASW o Re.Mi., con indicato il valore di V_{s30} e/o V_{SH} in m/s;
- Down Hole, con indicato il valore di V_{s30} e/o V_{SH} in m/s;
- ESAC, con indicato il valore di V_{s30} e/o V_{SH} in m/s;
- Interpretazioni misure dei microtremori a stazione singola, con indicato il valore di V_{s30} e/o V_{SH} in m/s;
- Confine comunale;
- Aree oggetto di microzonazione.

7.6. CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA

Nelle seguenti tavole, conclusive del presente studio:

- Carta di microzonazione sismica - FA PGA in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,1 - 0,5 s in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,4 - 0,8 s in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,7 - 1,1 s in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,5 - 1,5 s in scala 1:10.000

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	40 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

- Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,1 - 0,5 s in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,5 - 1,0 s in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,5 - 1,5 s in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - HSM in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - H 0,4 - 0,8 s in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - H 0,7 - 1,1 s in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica - H 0,5 - 1,5 s in scala 1:10.000

sono riportati i seguenti elementi:

- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;
- Zone di attenzione per instabilità (zona 10, instabilità di versante, livello 2);
- Zone di attenzione per instabilità (zone 8 e 9, liquefazioni, livello 3);
- Verticale di verifica alla liquefazione (Boulanger & Idriss - 2014) con indicato in viola il valore di IL e in blu LSN;
- Confine comunale;
- Aree oggetto di microzonazione.

Nelle zone stabili e nelle zone di attenzione per instabilità (livello 2) viene raffigurata la stima dell'amplificazione effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

L'amplificazione è stata quantificata in termini di:

- $F_{PGA} = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;
- $FA = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T : SA_1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SA_2 per $0,4s \leq T \leq 0,8s$, SA_3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$, SA_4 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;
- $FH = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T : SI_1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SI_2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$, SI_3 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

I valori dei fattori di Amplificazione sono stati ricavati dalle tabelle allegate alla DGR n. 630 del 29 aprile 2019 della Regione Emilia-Romagna, in cui vengono distinti due ambienti geo-litologici omogenei principali relativi:

- 1) all'Appennino;
- 2) alla Pianura Padana e Costa Adriatica.

La scelta dell'abaco per la stima è stata effettuata sulla base delle caratteristiche sismo stratigrafiche del sottosuolo, in particolare della profondità del substrato di riferimento che, nel Comune di Misano Adriatico, è sempre stata assunta inferiore a 50 metri. In figura 27 sono evidenti le Zone oggetto di studio, distinte sulla base delle tabelle utilizzate per l'attribuzione dei fattori di amplificazione.

Per quanto riguarda la Zona 1, caratterizzata dall'affioramento del substrato geologico costituito dalle Argille Azzurre, sono state impiegate le tabelle "Appennino" degli indirizzi regionali riferite alla presenza di substrato marino non rigido con $V_s \ll 800$ m/s affiorante o subaffiorante (tabella n. 4).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	41 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

TABELLA N. 4 - TABELLA DA UTILIZZARE PER LA STIMA DI F.A., IN TERMINI DI PGA, SA E SI, NEL CASO DI SUBSTRATO MARINO NON RIGIDO CON $V_S \ll 800$ M/S AFFIORANTE O SUBAFFIORANTE (DA ALLEGATO 2 DEGLI INDIRIZZI REGIONALI)

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
PGA					1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SA1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
SA2					1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
SA3					1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$)

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SI1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
SI2					1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$)

TABELLA N. 5 - TABELLE DA UTILIZZARE PER LA STIMA DI F.A., IN TERMINI DI PGA, SA E SI, NEL CASO DI SUBSTRATO MARINO NON RIGIDO ($V_S \ll 800$ M/S) CON SOVRASTANTI DEPOSITI DI COPERTURA MAGGIORI DI 2,5 METRI (DA ALLEGATO 2 DEGLI INDIRIZZI REGIONALI)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
25	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
30		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
35		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
10	2,3	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	
30		3,3	2,9	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	
35		3,3	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		3,2	3,1	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2
50		3,0	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
15	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
20	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
25	3,4	2,5	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
30		3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	
35		3,3	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1
40		3,6	3,1	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
50		3,6	3,4	2,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$)

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	
35		3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
40		3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$)

La tabella n. 6 riporta i Fattori di Amplificazione determinati secondo la DGR n. 630 del 29 aprile 2019 e la Risposta Sismica Locale

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	44 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

TABELLA N. 6 - FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DETERMINATI NEL III LIVELLO

MOPS	ZONA	TABELLA F.A.	VS	FORMAZIONE GEOLOGICA	FATTORI DI AMPLIFICAZIONE								NOTE
					PGA	SA 0,1-0,5S	SA 0,4-0,8S	SA 0,7-1,1S	SA 0,5-1,5S	SI 0,1-0,5 S	SI 0,5-1,0 S	SI 0,5-1,5 S	
STAB	2001	Appennino - Substrato affiorante con Vs <<800 m/s	Vs30 = 350	Argille Azzurre	1,9	1,9	1,7	1,4		1,9	1,5		
	2002	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs5 = 200	Depositi versante	2	1,8	1,4	1,3		1,7	1,4		
	2003	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs10 = 250	AES7	2	1,9	1,5	1,4		1,9	1,4		
	2004	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs15 = 250	AES7	2,1	2,2	1,9	1,5		2,3	1,6		
	2005	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs15= 200	AES8	2,2	2,5	2,3	1,7		2,6	1,9		
	2006	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs30 = 250	AES8	2,1	2,3	2,9	2,3		2,4	2,7		
	2007	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs40 = 250	AES8	2	2,1	3,1	3,1		2,2	3,2		
INSTAB	2008	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs30 = 250	AES8	1,82	1,95	2,9	3,19	2,95	1,97	2,96	2,8	Liquefazione
	2009	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs40 = 250	AES8	1,98	2	2,48	3,09	2,77	2,05	2,65	2,68	Liquefazione
	2010	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs5 = 200	Depositi di frana	2	1,8	1,4	1,3		1,7	1,4		Instabilità di versante

Lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2) è stato espresso attraverso il parametro H, dato dal prodotto dell'Acceleration Spectrum Intensity (ASI), integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per determinati intervallo di periodi, diviso per ΔT e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H = \frac{ASI}{\Delta T} \times FA$$

I valori di ASI sono stati determinati attraverso gli spettri di risposta a pericolosità uniforme in pseudo-accelerazione con T_r pari a 475 anni, riferiti al baricentro di ogni MOPS.

I periodi considerati per la determinazione dello scuotimento atteso sono i seguenti:

- $0,1s \leq T \leq 0,5s \rightarrow H_{sm}$
- $0,4s \leq T \leq 0,8s \rightarrow H_{0,4-0,8s}$
- $0,7s \leq T \leq 1,1s \rightarrow H_{0,7-1,1s}$
- $0,5s \leq T \leq 1,5s \rightarrow H_{0,5-1,5s}$

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	45 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

8. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO

8.1. AREA CONSIDERATA

Gli approfondimenti di terzo livello sono stati eseguiti sull'area interessata dalle sabbie di cordone litorale di pertinenza dell'Unità di Modena (AES8a), estese a fascia lungo la linea di costa del Comune di Misano Adriatico. Si tratta dell'area che, nel primo e secondo livello di approfondimento è risultata soggetta a potenziale instabilità per fenomeni di liquefazione. Sono state, in particolare, definite le successioni sismostratigrafiche tipo (Zone 8 e 9), coerenti con i risultati delle indagini specificatamente condotte su tali aree, che risultano globalmente omogenee dal punto di vista della risposta sismostratigrafica. Questo consente d'interpretare l'intero sottosuolo considerato, ai fini delle specifiche verifiche, secondo un modello 1D.

8.2. ANALISI DI DISAGGREGAZIONE

Lo studio di disaggregazione di a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, permette di individuare per l'area in esame, il *range* della coppia magnitudo-distanza che incide maggiormente sulla sismicità dell'area.

Tra i differenti metodi da utilizzare, si è optato per l'impiego delle mappe interattive di pericolosità sismica, presenti sul sito dell'*Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano* (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

Nella figura n. 28 è riportato lo stralcio della Mappa di pericolosità sismica del territorio di Misano, mentre nella figura n. 29 vengono riprodotti i risultati del procedimento di disaggregazione di a_g e le coppie magnitudo/distanza dei terremoti che apportano i maggiori danni nell'area, in funzione della percentuale della pericolosità.

Tale elaborazione indica che gli eventi che contribuiscono alla sismicità dell'area sono contraddistinti da una magnitudo compresa tra 4,5 e 5,0, con valori medi di circa 5,10 e distanze epicentrali inferiori a 30 chilometri, con valori medi di 9,25 km. Si tratta pertanto di un'area contraddistinta da una sismicità media, confermata anche dall'attribuzione del territorio comunale alla zona sismica 2, secondo l'aggiornamento effettuato con riferimento al DGR n.1164/18.

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	46 di 71

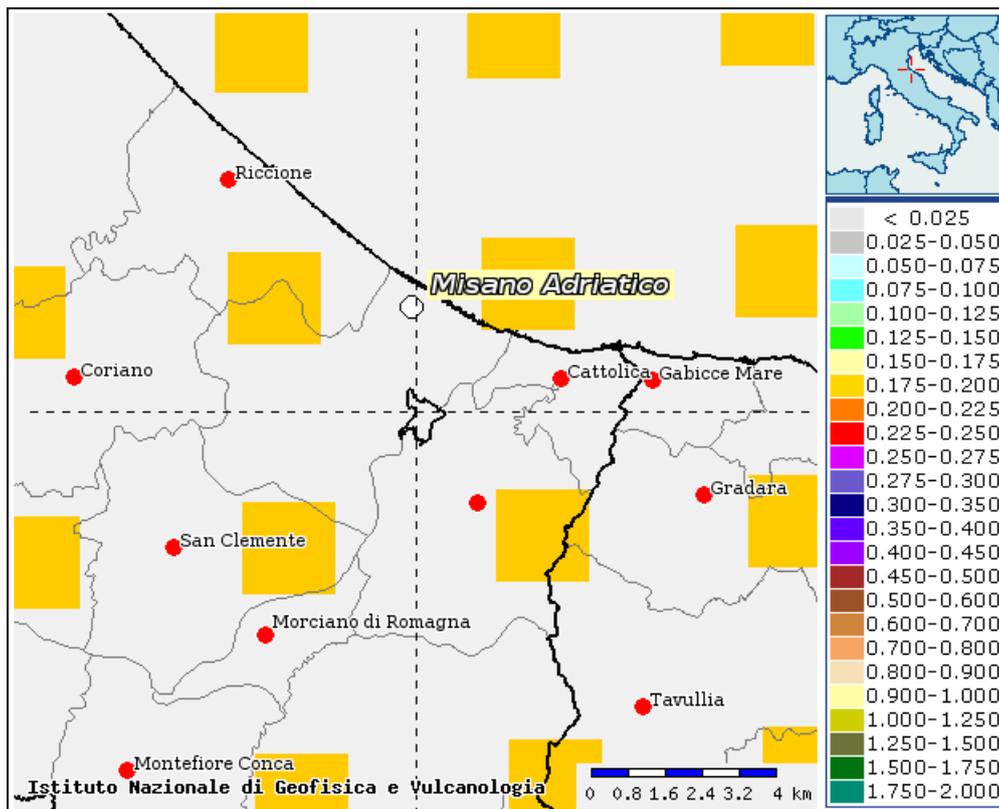
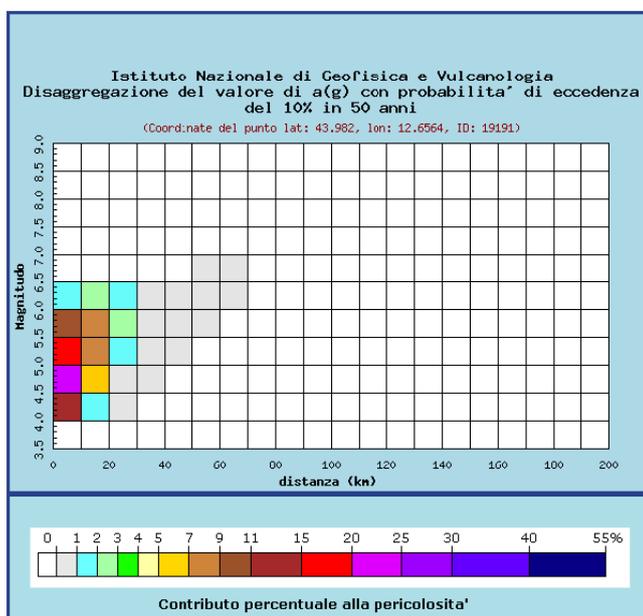


Figura n. 28 - Stralcio della Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.982, lon: 12.6564, ID: 19191)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	11.100	24.200	17.500	10.700	1.480	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.770	6.560	8.440	8.410	2.320	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.009	0.471	1.670	2.720	1.220	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.139	0.627	0.431	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.001	0.099	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.027	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.140	9.250	0.782

Figura n. 29 - Valori delle coppie magnitudo distanza e relativa probabilita'.

Il valore di magnitudo ottenuto dalla disaggregazione è stato confrontato con quello attribuito dalla zonazione sismogenetica ZS9 all'areale oggetto di microzonazione sismica ricadente nella zona 917 (tabella n. 7), che risulta essere pari a 6,14.

Tabella n. 7 - Valori di magnitudo per le zone sismogenetiche ZS9

Nome ZS	Numero ZS	Mwmax
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

Adottando un approccio di tipo cautelativo, per gli approfondimenti di terzo livello si è assunto come valore di riferimento della magnitudo quello massimo previsto dalla zonazione sismogenetica ZS9.

8.3. SPETTRO DI RISPOSTA RAPPRESENTATIVO

La valutazione della pericolosità sismica di base è stata definita attraverso i dati pubblicati dalla Regione Emilia-Romagna (Cfr. *Allegato 4 - DGR n.630/2019*), che indica le modalità di calcolo degli spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento per le modellazioni di risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello di approfondimento, con valore di accelerazione di riferimento locale determinato attraverso la relativa griglia di selezione. Il valore di a_{ref} per il Comune di Misano Adriatico è pari a **0,184 g**, con indicazione al punto 19191, a cui si riferiscono le seguenti caratteristiche di sismicità locale (figura n. 30).

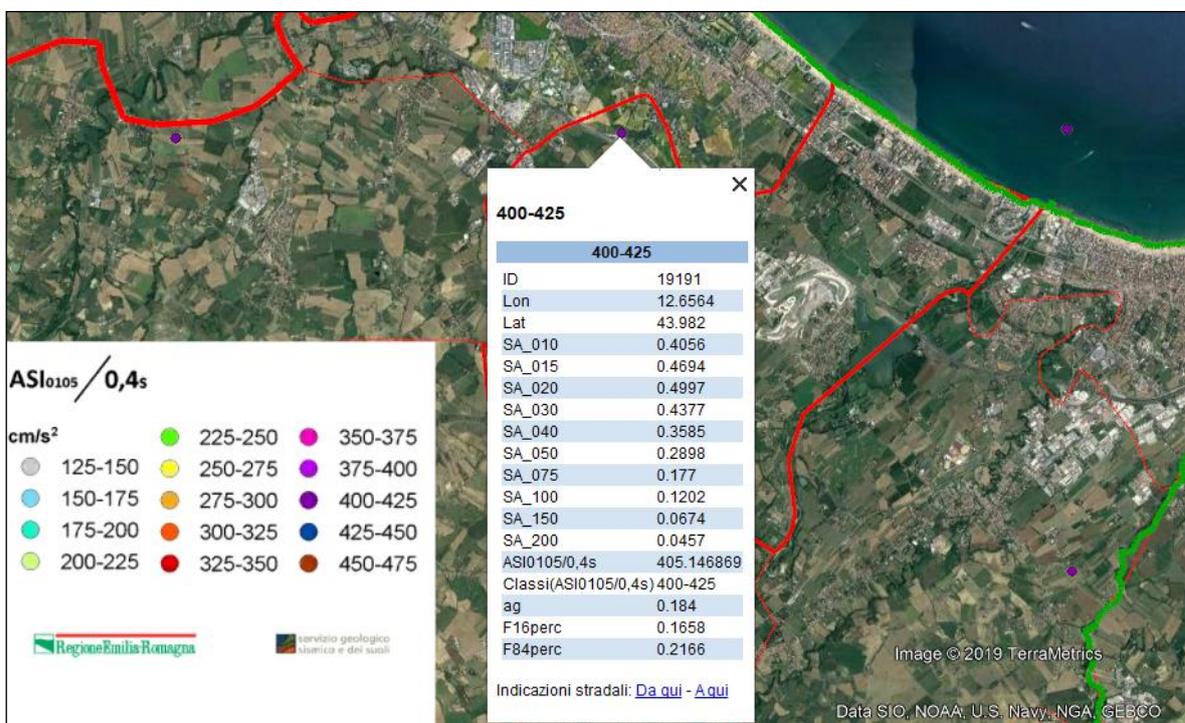


Figura n. 30 - Comune di Misano Adriatico: a_{ref} pari a 0,184g (*Allegato 4 - DGR n.630/2019*)

Lo spettro di risposta a probabilità uniforme, che descrive le caratteristiche del moto sismico nel territorio del Comune di Misano Adriatico, è stato ottenuto dallo spettro normalizzato fornito dalla *DGR n.630/2019* rapportato al valore di a_{ref} del territorio comunale in esame.

Lo spettro di risposta a probabilità uniforme, riportato nella figura n. 31, è stato sovrapposto a quello ricavato dal D.M. 17/01/2018 per un suolo di tipo A, attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (figura n. 32).

Il grafico mostra un buon grado di correlazione tra i due spettri.

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	49 di 71

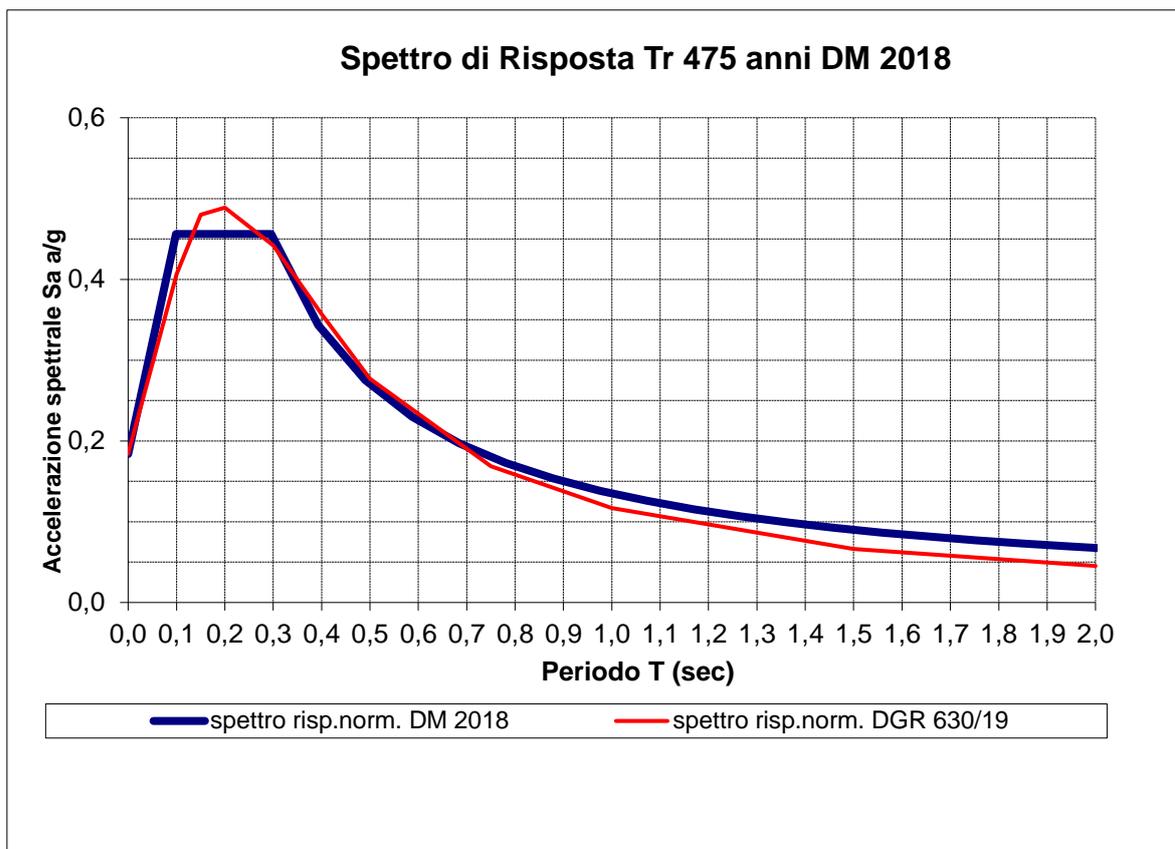


Figura n. 31 - Confronto tra spettro a probabilità uniforme e spettro di risposta elastico da NTC2018

Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: **SLV**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.184 g
F_0	2.487
T_C	0.298 s
S_S	1.000
C_C	1.000
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.000
η	1.000
T_B	0.099 s
T_C	0.298 s
T_D	2.337 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.184
T_B ←	0.099	0.458
T_C ←	0.298	0.458
	0.395	0.346
	0.492	0.277
	0.589	0.232
	0.686	0.199
	0.783	0.174
	0.881	0.155
	0.978	0.140
	1.075	0.127
	1.172	0.117
	1.269	0.108
	1.366	0.100
	1.463	0.093
	1.560	0.088
	1.657	0.082
	1.754	0.078
	1.851	0.074
	1.948	0.070
	2.045	0.067
	2.142	0.064
	2.240	0.061
T_D ←	2.337	0.058
	2.416	0.055
	2.495	0.051
	2.574	0.048
	2.653	0.045
	2.733	0.043
	2.812	0.040
	2.891	0.038
	2.970	0.037
	3.050	0.037
	3.129	0.037
	3.208	0.037
	3.287	0.037
	3.366	0.037
	3.446	0.037
	3.525	0.037
	3.604	0.037
	3.683	0.037
	3.762	0.037
	3.842	0.037
	3.921	0.037
	4.000	0.037

Fig.32 - Dati dello spettro di risposta elastico delle NTC2018

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

8.4. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Un aspetto fondamentale da affrontare nell'ambito della Microzonazione Sismica di Livello 3, è rappresentato dall'analisi di risposta sismica locale, descrivibile come "quell'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (coperture) fino alla superficie". Tali studi sono circoscritti alle sole aree urbanizzate e suscettibili di trasformazioni urbanistiche, in cui è stata individuata la necessità di ulteriori approfondimenti nel corso della redazione del secondo livello di microzonazione sismica.

Considerando un'analisi della risposta sismica locale in modalità free-field, in cui viene considerato il sito privo di ogni tipo di struttura, i dati in ingresso e in uscita dal modello risultano i seguenti:

- Dati di input:
 - Moto sismico atteso alla base del deposito o su roccia affiorante (roccia o terreno duro di riferimento) con assegnato tempo di ritorno;
 - Geometria del deposito (spessori ed estensione);
 - Stratigrafia (natura, alternanza e spessore degli strati);
 - Caratteristiche fisiche e geotecniche (densità, velocità delle onde di taglio S, rapporto di smorzamento, leggi di variazione della deformazione, ecc.);
- Dati di output:
 - Andamento del moto sismico sulla superficie espresso sotto forma di parametri sismici di ampiezza, frequenza e durata oppure interamente espressi in termini di tempo (time-history) o di contenuto in frequenza (spettri di risposta).

In sintesi il percorso metodologico prevede la preventiva estrazione dei segnali sismici naturali compatibili con il sito d'interesse.

Successivamente, sulla base della ricostruzione della sismo-stratigrafia caratteristica del sottosuolo per ciascuna microzona omogenea si ottengono, utilizzando *software* specifici, spettri e accelerogrammi "*amplificati*" in superficie, per effetto del passaggio delle onde sismiche attraverso terreni con differenti caratteristiche geomeccaniche rispetto al *bedrock*.

8.5. SELEZIONE DEI SEGNALI SISMICI DI RIFERIMENTO

Il primo passo per una corretta valutazione della Risposta Sismica Locale, consiste nella selezione dei segnali accelerometrici di input che meglio approssimano le condizioni di sismicità dell'area.

In relazione della funzione pianificatoria assunta dal presente studio e, in ragione delle raccomandazioni contenute all'interno dell'Allegato 4 del DGR 630/2019, si è ritenuto sufficiente utilizzare, quali segnali di input, i 3 accelerogrammi forniti dalla Regione Emilia Romagna per ogni Comune, ancorati al *bedrock* e opportunamente scalati all'accelerazione massima attesa per il Comune considerato ($a_g = 0,184 g$).

Essi sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "*European Strong Motion Database*" attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	52 di 71

Sono stati adottati gli accelerogrammi (raccolti nella figura n. 33) denominati **000046xa**, **000126xa** e **000354xa**, corrispondenti rispettivamente ad un sisma di tipo impulsivo, di tipo ad ampio contenuto in frequenze e di tipo con componente predominante alle alte frequenze.

Nella figura n. 34, riferita al Comune di Misano Adriatico, sono riportati gli spettri di risposta elastici con periodo di ritorno 475 anni e smorzamento pari a 5%, relativamente ai 3 segnali di riferimento, raffrontati con quello desunto in base alle direttive regionali.

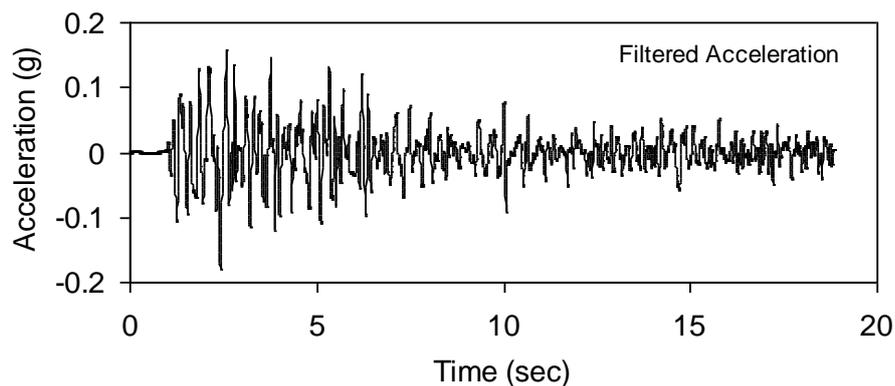


Figura n. 33a - Segnali di riferimento. Accelerogramma segnale 000046xa

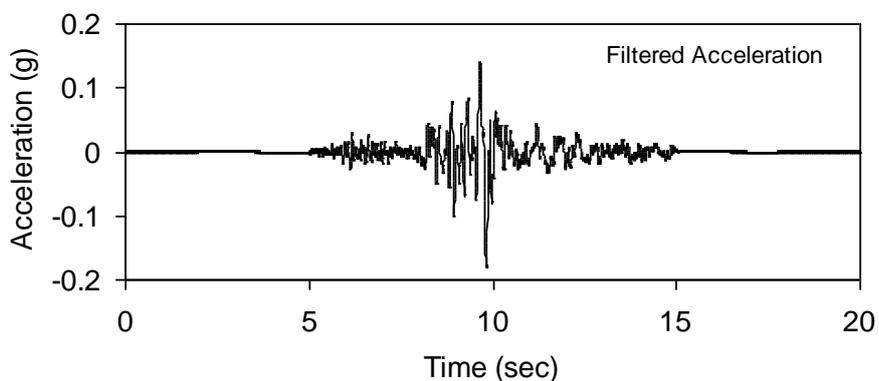


Figura n. 33b - Segnali di riferimento. Accelerogramma segnale 000126xa

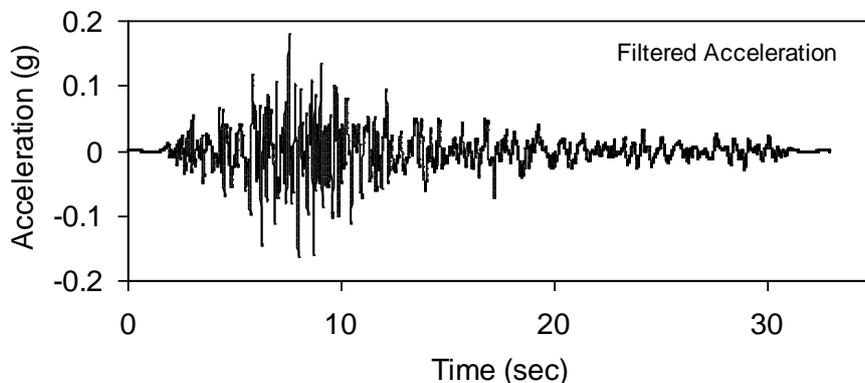


Figura n. 33c - Segnali di riferimento. Accelerogramma segnale 000354xa

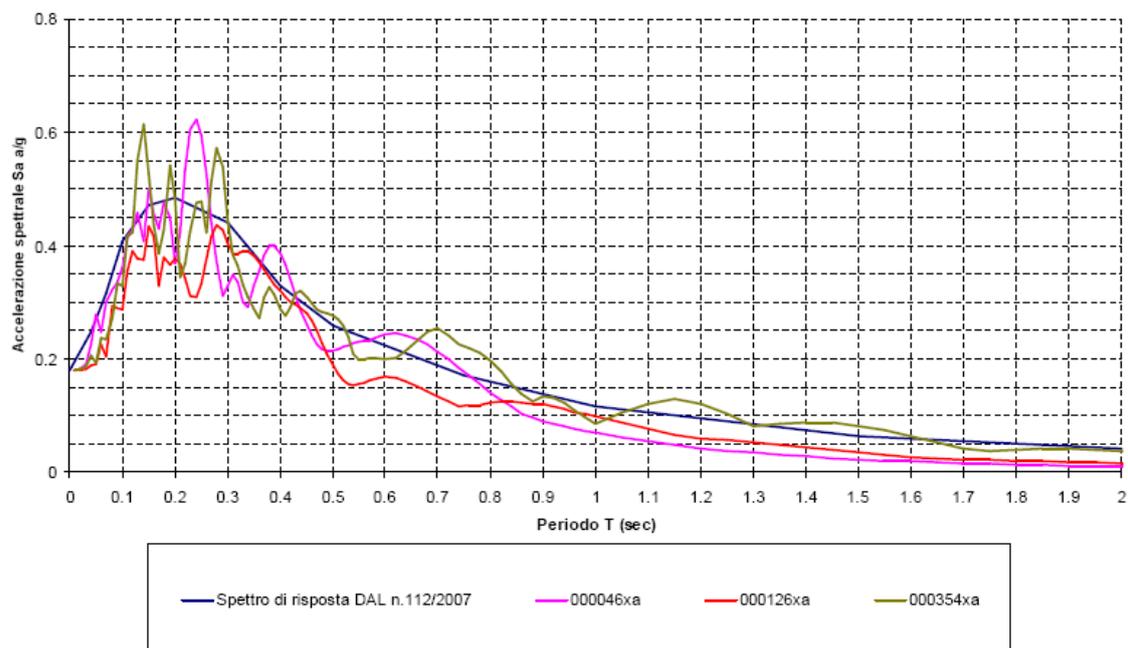


Figura n. 34 - Confronto tra spettro a probabilità uniforme (DGR 630/2019) e spettri dei segnali di input

8.6. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il modello del sottosuolo è stato definito attraverso i dati disponibili relativi a indagini geognostiche pregresse, misure di rumore sismico effettuate a supporto dello studio di terzo livello e delle prospezioni MASW condotte specificatamente alla caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo delle aree di analisi di dettaglio.

In particolare le indagini utilizzate sono state:

- prove penetrometriche di tipo statico;
- sondaggi a carotaggio continuo;
- perforazioni per la realizzazione di pozzi idrici;
- indagini MASW;
- misure di microtremori a stazione singola.

Le indagini di approfondimento evidenziano, ai fini della microzonazione, condizioni sismo-stratigrafiche arealmente omogenee, che pongono in evidenza, al di sotto dei terreni potenzialmente liquefacibili sabbiosi superficiali, la presenza di una spessa coltre di depositi fini di natura argilloso-limosa con intercalazioni di sedimenti limo-sabbiosi e sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, in rapporto nettamente subordinato, che insistono su un substrato coesivo sovraconsolidato a più elevata rigidità, che si colloca a diverse decine di metri sotto il piano campagna. Le misure di microtremori a stazione singola evidenziano un chiaro picco significativo del rapporto H/V a frequenze comprese tra 1.3 Hz e 2.1 Hz.

La ricorrenza della massima ampiezza del rapporto delle componenti vibrazionali del suolo a valori compresi tra 1.3 Hz e 2.1 Hz (figura n. 35), viene relazionata alla presenza di un substrato rigido alla base della sedimentazione argilloso-sabbiosa delle "coperture" localizzato alla profondità dell'ordine di m 40-60 dal piano di campagna.

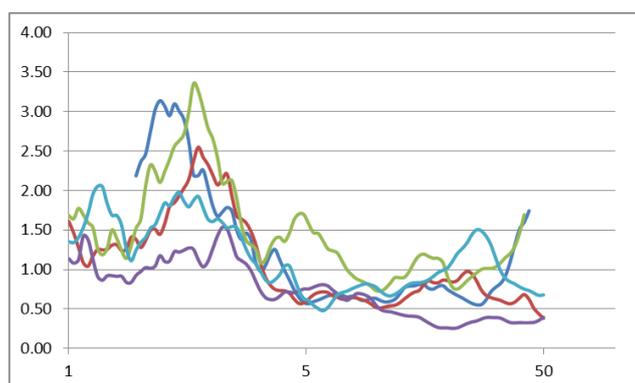


Fig. 35 - Rapporto spettrale delle componenti vibrazionali del suolo delle 42 misure a stazione singola effettuate nell'ambito del territorio comunale

Tale profondità è determinata dalla relazione semplificata:

$$H = \frac{V_s T_1}{4} \quad V_s = \frac{4H}{T_1}$$

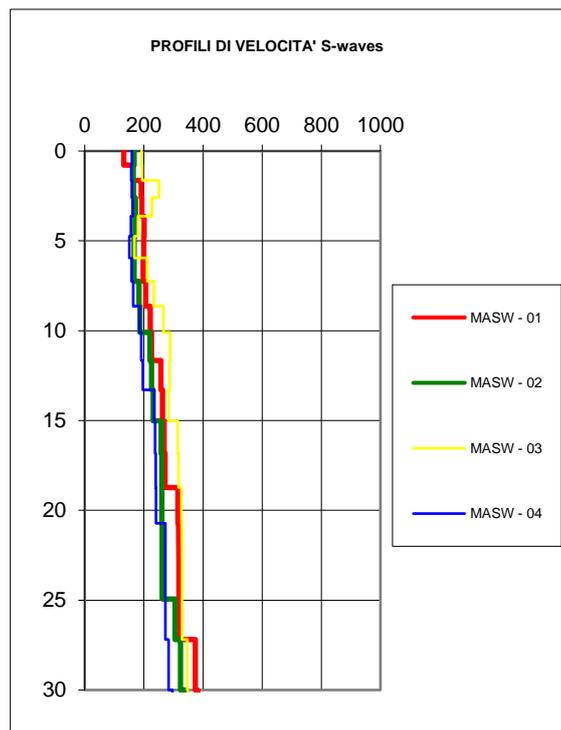
Dove:

- **H** è lo spessore delle locali “coperture” ovvero la profondità di soggiacenza della soluzione di rigidità con il maggiore contrasto di impedenza;
- **V_s** è la velocità media delle onde S misurata per i sedimenti delle coperture stimata per ordine di grandezza o acquisita mediante differenti indagini;
- **T₁** è il periodo (reciproco della frequenza di sito) relativo al valore di picco del rapporto delle componenti spettrali del moto del suolo H/V.

Il valore della V_s delle “coperture” viene preventivamente stimato dell’ordine di 250 m/sec, sulla base dei dati e rilievi MASW eseguiti nell’ambito di investigazione, e determina profondità coerenti con quelle di diretto riscontro, derivanti da indagini di ricerca petrolifera, che nell’ambito del territorio comunale hanno raggiunto il locale substrato lapideo.

A frequenze maggiori di 1 Hz non si sono evidenziati picchi significativi o per i quali siano stati verificati i criteri di qualità, chiarezza e significatività “SESAME”, data la spessa copertura di materiali fini privi di contrasti di impedenza significativi.

I valori di V_{s30} delle “coperture” al substrato, risultano comprese tra 180 m/sec e poco più di 360 m/sec (figura n. 36), con un valore medio di 250 m/sec, cui corrisponde un sottosuolo di categoria C secondo la classificazione delle NTC2018, non avendo intercettato nella profondità di m 30 sismostrati con valori di velocità coerenti con il bedrock geofisico di riferimento, caratterizzato da velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/sec.

Figura n. 36 - Valori di V_{s30}

Come bedrock geofisico per le modellazioni del caso si è tenuto conto della situazione sismostratigrafica locale, come definita dalle MOPS di riferimento, con un substrato geologico caratterizzato da velocità superficiali delle onde di taglio di 550-600 m/sec e gradiente di 50 m/sec / m 25, crescente con la profondità.

Il bedrock geofisico di riferimento, caratterizzato da velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/sec, sul quale viene applicato l'accelerogramma di riferimento resta quindi individuato tra le profondità di m 175 e m 185 dal piano di prova.

8.7. FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DETERMINATI CON MODELLAZIONE NUMERICA

Per l'elaborazione dei dati di input e per l'ottenimento degli spettri in superficie, si è utilizzato un *software* di calcolo monodimensionale (1D), in ragione della regolarità dello spessore e della geometria della coltre detritica. Valutate inoltre le modeste accelerazioni massime mostrate dal suolo di tipo A (**0,184g**), che evidenziano basse deformazioni di taglio, si è ritenuto di impiegare un modello lineare equivalente che effettua analisi in termini di tensioni totali e, quindi non considera le sovrappressioni interstiziali originate dall'input sismico, che possono influenzare le caratteristiche di rigidezza dei terreni attraversati.

Per tenere in conto il comportamento non lineare dei terreni, che varia al variare della deformazione, il codice utilizza curve di degradazione del modulo di taglio G/G_0 e curve del rapporto di smorzamento D in funzione della deformazione di taglio. Non essendo disponibili specifici dati di laboratorio relativi alle proprietà dinamiche dei terreni degli areali in studio, sono state utilizzate curve specifiche dei vari materiali, ricavate dalla bibliografia o da studi accademici condotti su medesimi terreni in aree geologicamente omologhe a quelle in esame.

Entrando nel dettaglio dei risultati ottenuti attraverso le elaborazioni con il codice di calcolo LRS2D impiegato, per ogni MOPS oggetto di analisi sono stati determinati i

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	56 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

seguenti parametri di riferimento della risposta sismica sito dipendente in accordo alle specifiche di cui al DGR n.630/2019 e ICMS ver 4.1 (figura n.37).

Parametro	Descrizione
FA	Valore del fattore di amplificazione FA a bassi periodi come definito in ICMS (2008)
FV	Valore del fattore di amplificazione FV ad alti periodi come definito in ICMS (2008)
Ft	Valore del fattore di amplificazione topografica come definito in ICMS (2008)
FH0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FH0510	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s
FH0515	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.5 s
FPGA	Valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA
FA0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s.
FA0408	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.4-0.8 s.
FA0711	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.7-1.1 s.

Figura n. 37 - Parametri di riferimento della risposta sismica

I parametri come sopra descritti sono sintetizzati nella seguente tabella n. 8.

Tabella n. 8 - Fattori di Amplificazione determinati con la Risposta Sismica Locale

MOPS	FA	FV	Ft	FH _{0,1-0,5}	FH _{0,5-1,0}	FH _{0,5-1,5}	F _{PGA}	FA _{0,1-0,5}	FA _{0,4-0,8}	FA _{0,7-1,1}	FA _{0,5-1,5}
2008	1,91	2,80	1	1,97	2,96	2,80	1,82	1,95	2,90	3,19	2,95
2009	2,01	2,57	1	2,05	2,65	2,68	1,98	2,00	2,48	3,09	2,77

Gli spettri in accelerazione e velocità risultanti dalle analisi di risposta locale, confrontati tra il valore medio di input con il valore di output medio degli accelerogrammi risultanti dalla modellazione, per le diverse MOPS distinte nell'ambito dell'area di studio, disponibili al progetto in formato numerico, sono rappresentate graficamente come schematizzato nelle figure n. 38, 39, 40 e 41.

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	57 di 71

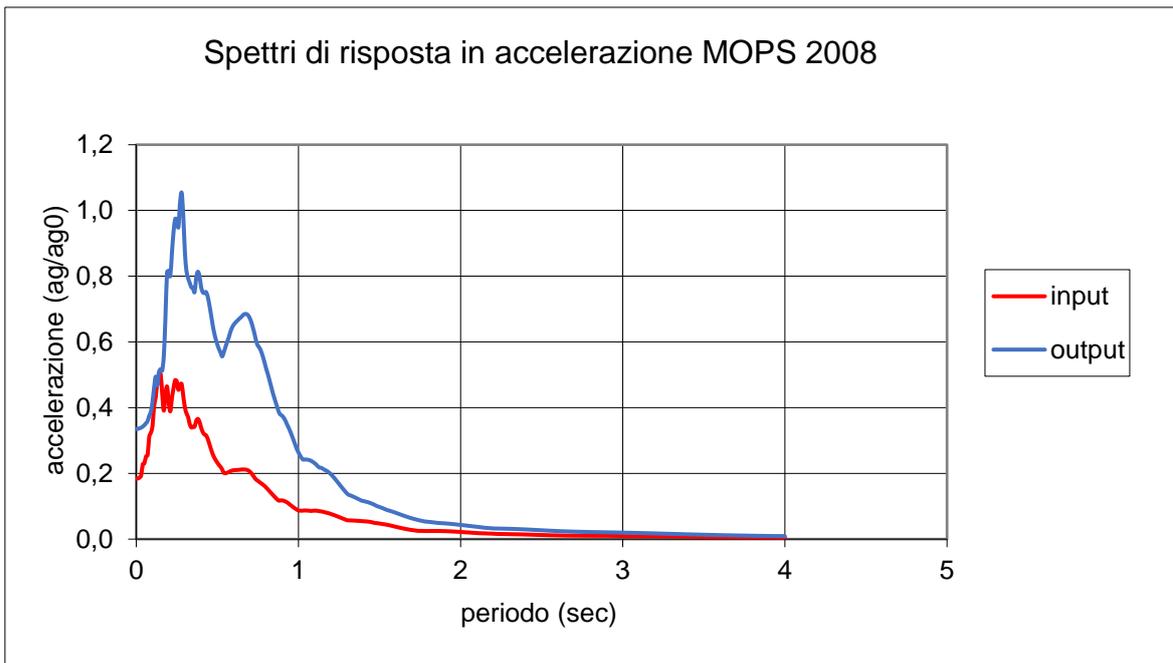


Figura n. 38 - MOPS 2008, spettro di risposta in accelerazione

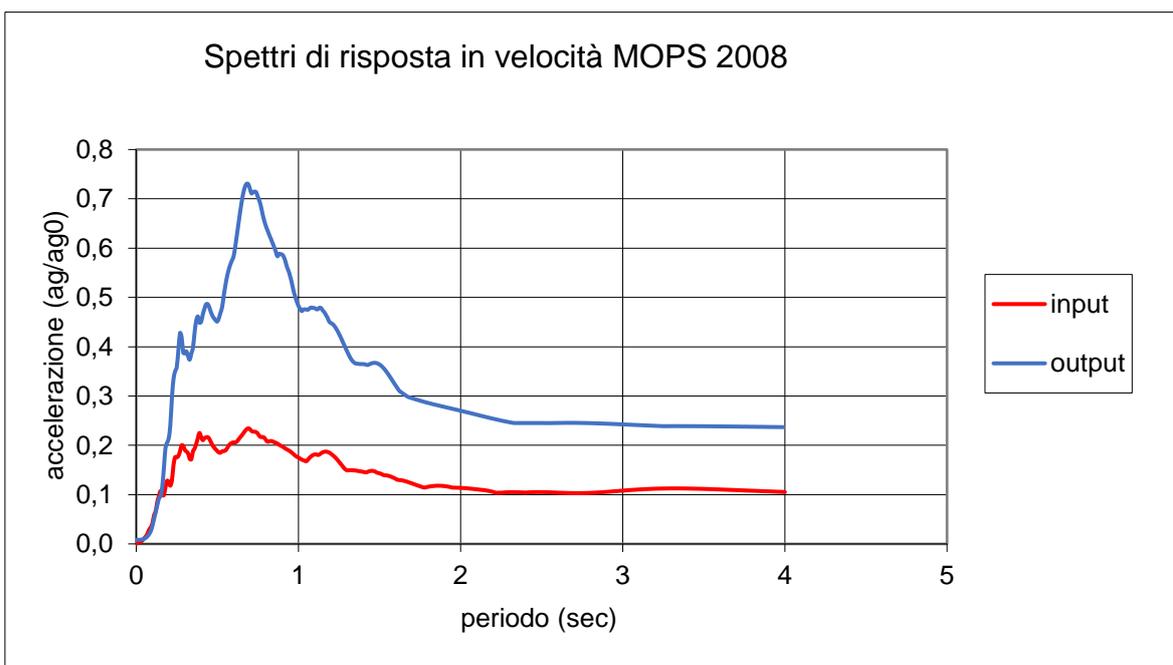


Figura n. 39 - MOPS 2008, spettro di risposta in velocità

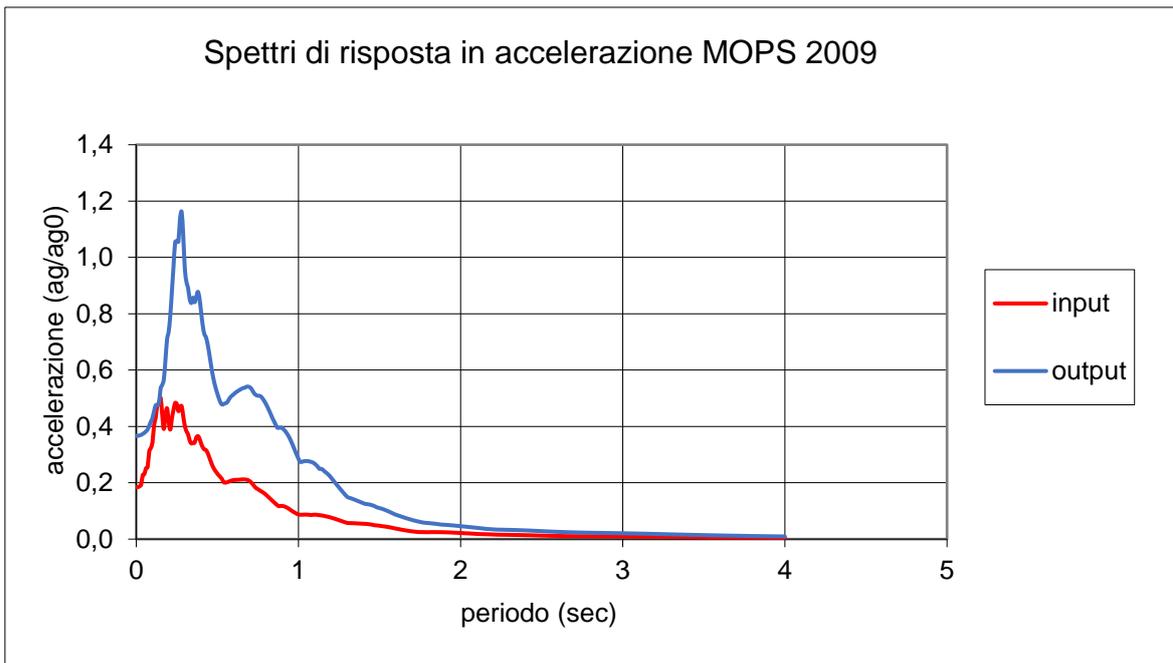


Figura n. 40 - MOPS 2009, spettro di risposta in accelerazione

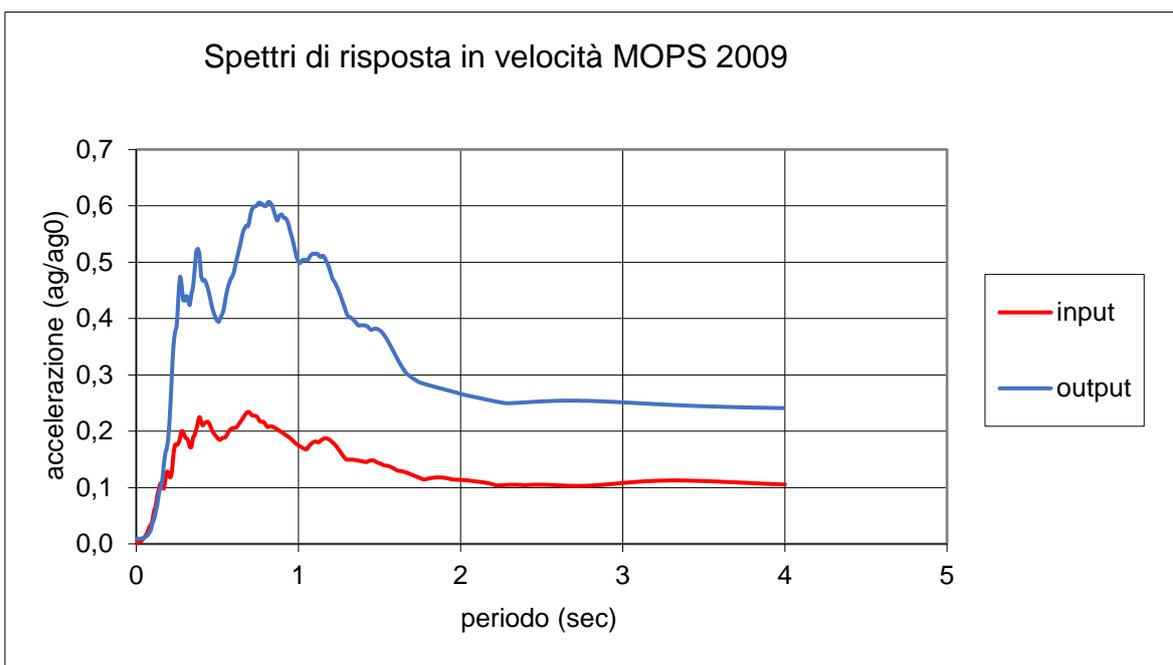


Figura n. 41 - MOPS 2009, spettro di risposta in velocità

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

9. VERIFICA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI LIQUEFAZIONE

Le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche stabiliscono che se nel sottosuolo delle opere in progetto e nelle loro adiacenze, entro una profondità massima di 15/20 metri circa dal piano di campagna, sono presenti strati importanti di sabbie o sabbie limose sotto falda, dovranno essere eseguite indagini specifiche, con relative verifiche, per valutare il pericolo di liquefazione. Questo fenomeno si verifica nei sedimenti sabbiosi saturi, che, durante o dopo una sollecitazione di tipo ciclico, subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio.

Poiché nella successione stratigrafica dell'area, oggetto degli approfondimenti di terzo livello, sono presenti livelli sabbiosi sotto falda, è stata eseguita, come sarà esposto in seguito, una specifica analisi di dettaglio della suscettività alla liquefazione. Il relativo calcolo è stato effettuato per ciascuna delle verticali di indagine disponibili. In totale sono state verificate 20 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU).

La valutazione della pericolosità sismica di liquefazione della zona in esame è stata effettuata considerando una magnitudo del sisma pari a 6,14 (Zonazione sismogenetica ZS9). I calcoli effettuati, esposti dettagliatamente nello specifico rapporto allegato, sono stati eseguiti, per ciascuna penetrometria considerata col metodo di Boulanger & Idriss (2014), utilizzando il programma Cliq, v. 2.2.0.37 della GeoLogismiki, Geotechnical Engineering Software.

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati e quindi deve essere $FS \leq 1,25$.

Le analisi sono state eseguite, considerando: i dati sul sottosuolo forniti dalle penetrometrie, spinte fino a 15/20 metri di profondità, il livello della falda a un metro di profondità dal piano di campagna, un'accelerazione di progetto pari a 0,35g [prodotto dell'accelerazione massima al bedrock attesa ($a_g = 0,184g$) e la media dei fattori di amplificazione (PGA), determinati dalla Risposta Sismica Locale nelle MOPS 2008 e 2009 pari a 1,9].

La resistenza del deposito alla liquefazione è stata valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione (FS_L) con la seguente relazione:

$$FS_L = \frac{CRR}{CSR}$$

Dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma. La metodologia utilizzata è riportata in appendice alla presente relazione.

Una volta determinato il fattore di resistenza alla liquefazione (F_s), è stato calcolato l'indice del potenziale di liquefazione (I_L) per ciascuna delle verticali considerate, mediante il quale è possibile definire il pericolo di liquefazione dei depositi considerati.

L'indice del potenziale di liquefazione è stato definito con la seguente relazione proposta da Iwasaki et al. (1982):

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	60 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

$$I_L = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) \cdot dx$$

Dove:

F(z) è una funzione del fattore di sicurezza che per

$$FS_L > 1 \rightarrow F(z) = 0$$

$$FS_L \leq 1 \rightarrow F(z) = 1 - FS_L$$

w(z) = 10 - 0,5 · z (con z profondità in metri)

I risultati delle verifiche alla liquefazione effettuate sono riportate nella seguente tabella 9.

Tabella n. 9 - Indice di liquefazione globale dei terreni in esame

CPTU	ID indagine	LPI B&I (2014)
CPTU 1/17	099005P402CPTU412	20,88
CPTU 2/17	099005P403CPTU413	5,73
CPTU 3/17	099005P404CPTU414	18,41
CPTU 4/17	099005P405CPTU415	15,65
CPTU 1/19	099005P445CPTU457	17,14
CPTU 2/19	099005P446CPTU458	17,58
CPTU 3/19	099005P447CPTU459	20,75
CPTU 4/19	099005P448CPTU460	25,75
CPTU 5/19	099005P449CPTU461	14,90
CPTU 6/19	099005P450CPTU462	15,88
CPTU 7/19	099005P451CPTU463	19,06
CPTU 8/19	099005P452CPTU464	18,73
CPTU 9/19	099005P460CPTU472	22,64
CPTU 10/19	099005P453CPTU465	12,61
CPTU 11/19	099005P454CPTU466	18,44
CPTU 12/19	099005P455CPTU467	24,20
CPTU 13/19	099005P456CPTU468	23,59
CPTU 14/19	099005P457CPTU469	20,81
CPTU 15/19	099005P458CPTU470	14,88
CPTU 16/19	099005P459CPTU471	18,35

La valutazione del pericolo di liquefazione, effettuata con riferimento all'indice di liquefazione (IL), come precisato nella tabella n. 10, porta a definire questo fenomeno probabile per 4 verticali considerate ed invece certo per le altre 16.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	61 di 71

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

TABELLA N. 10 - VALUTAZIONE DEL PERICOLO DI LIQUEFAZIONE

VALORI DI I_L	PERICOLO DI LIQUEFAZIONE
$I_L = 0$	Assente
$0 < I_L \leq 5$	Non probabile
$5 < I_L \leq 15$	Probabile
$15 < I_L$	Certo

Utilizzando le recenti classi di pericolosità di liquefazione secondo Sonmez (2003), indicate nella tabella 11, la pericolosità risulta da alta a molto alta.

TABELLA N. 11 - VALUTAZIONE DEL PERICOLO DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ (2003)

VALORI DI I_L	PERICOLO DI LIQUEFAZIONE
$I_L = 0$	Nulla
$0 < I_L \leq 2$	Bassa
$2 < I_L \leq 5$	Moderata
$5 < I_L \leq 15$	Alta
$15 < I_L$	Molto alta

Nella figura n. 42 sono evidenti gli indici di liquefazione calcolati unitamente alla valutazione del relativo rischio di liquefazione.

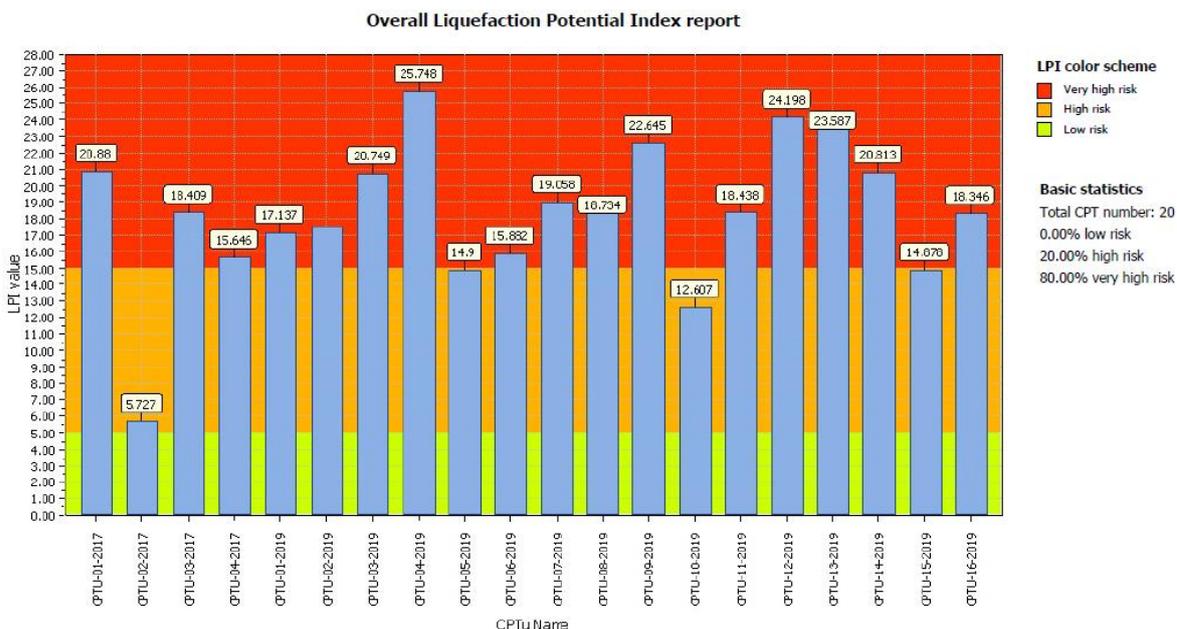


Figura n. 42 - Indici di liquefazione calcolati congiuntamente alla valutazione del relativo rischio di liquefazione

Nella figura n. 43 è evidente la distribuzione planimetrica degli indici di liquefazione calcolati.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	62 di 71

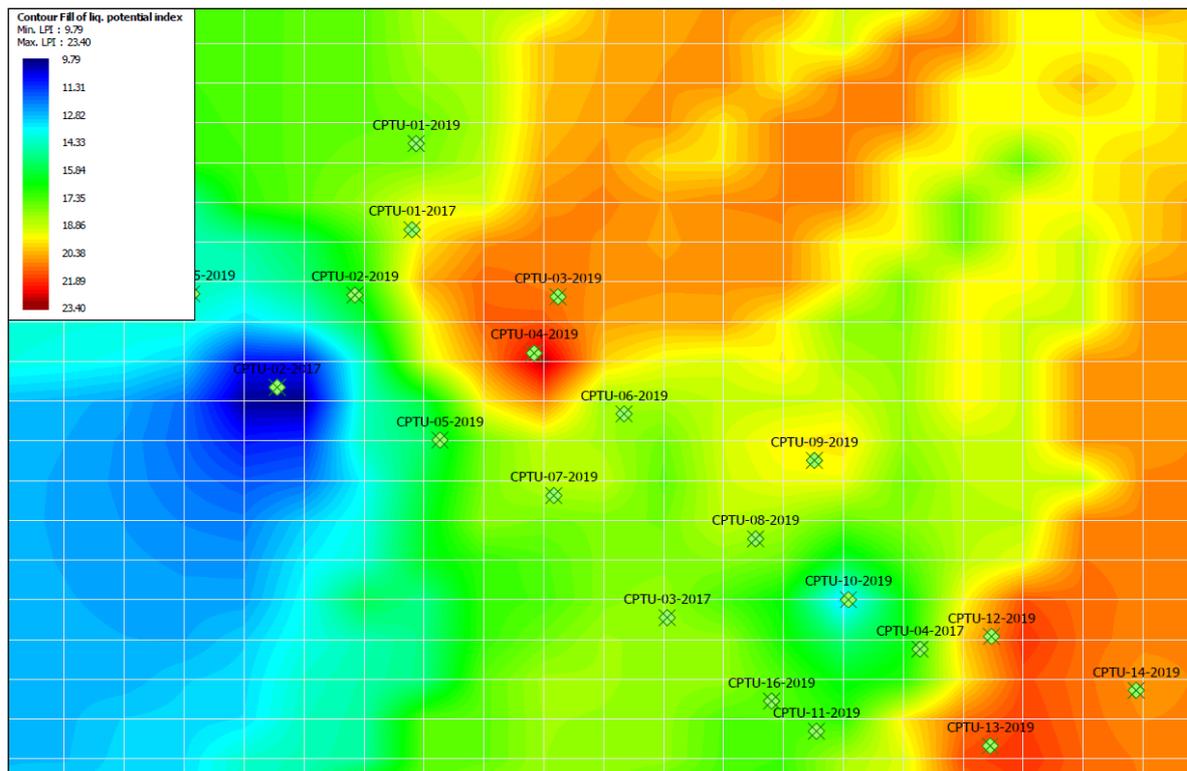


Figura n. 43 - Distribuzione planimetrica degli indici di liquefazione calcolati

La figura n. 44 mostra il raffronto fra gli indici di liquefazione calcolati con il metodo di Boulanger & Idriss (2014) e quelli calcolati con il metodo di Robertson (2009) unitamente alla valutazione del relativo rischio di liquefazione. Si può notare che i due metodi forniscono, in termini relativi, le stesse indicazioni.

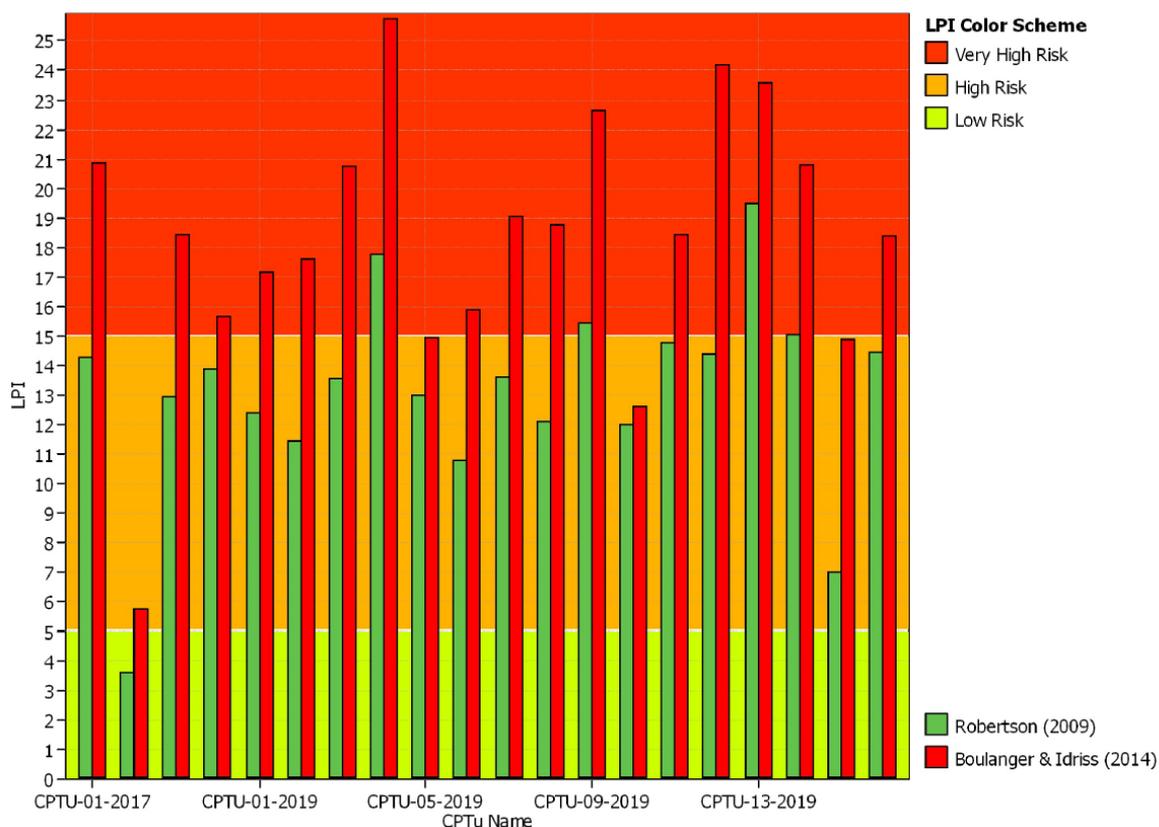


Figura n. 44 - Raffronto fra gli indici di liquefazione calcolati con il metodo di Boulanger & Idriss (2014) e quelli calcolati con il metodo di Robertson (2009) unitamente alla valutazione del relativo rischio di liquefazione

La stima dei cedimenti permanenti post-sismici nei terreni granulari saturi liquefacibili dell'area in esame è stata effettuata, a titolo puramente orientativo, utilizzando il programma Cliq, v. 2.2.0.37 della GeoLogismiki, Geotechnical Engineering Software.

I risultati ottenuti, con riferimento a ciascuna penetrometria considerata, sono riportanti nella tabella n. 12.

TABELLA N. 12 - CEDIMENTI PERMANENTI POST-SISMICI

CPTU	ID indagine	Cedimento (cm)
CPTU 1/17	099005P402CPTU412	17,46
CPTU 2/17	099005P403CPTU413	4,59
CPTU 3/17	099005P404CPTU414	13,77
CPTU 4/17	099005P405CPTU415	12,66
CPTU 1/19	099005P445CPTU457	12,53
CPTU 2/19	099005P446CPTU458	13,83
CPTU 3/19	099005P447CPTU459	15,28
CPTU 4/19	099005P448CPTU460	18,28
CPTU 5/19	099005P449CPTU461	12,34

CPTU 6/19	099005P450CPTU462	11,99
CPTU 7/19	099005P451CPTU463	14,06
CPTU 8/19	099005P452CPTU464	16,09
CPTU 9/19	099005P460CPTU472	19,03
CPTU 10/19	099005P453CPTU465	10,92
CPTU 11/19	099005P454CPTU466	13,55
CPTU 12/19	099005P455CPTU467	19,38
CPTU 13/19	099005P456CPTU468	16,93
CPTU 14/19	099005P457CPTU469	16,08
CPTU 15/19	099005P458CPTU470	11,06
CPTU 16/19	099005P459CPTU471	13,15

Nella figura n. 45 sono evidenziati i cedimenti verticali calcolati.

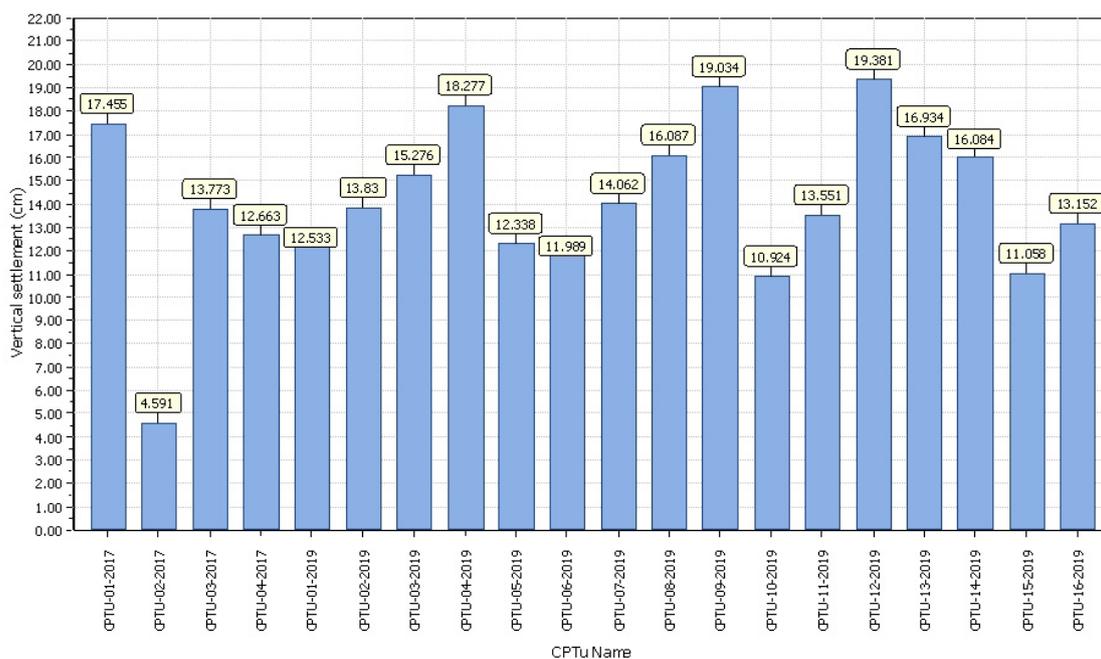


Figura n. 45 - Cedimenti verticali calcolati

Nella figura n. 46 è evidente la distribuzione planimetrica dei cedimenti verticali calcolati.

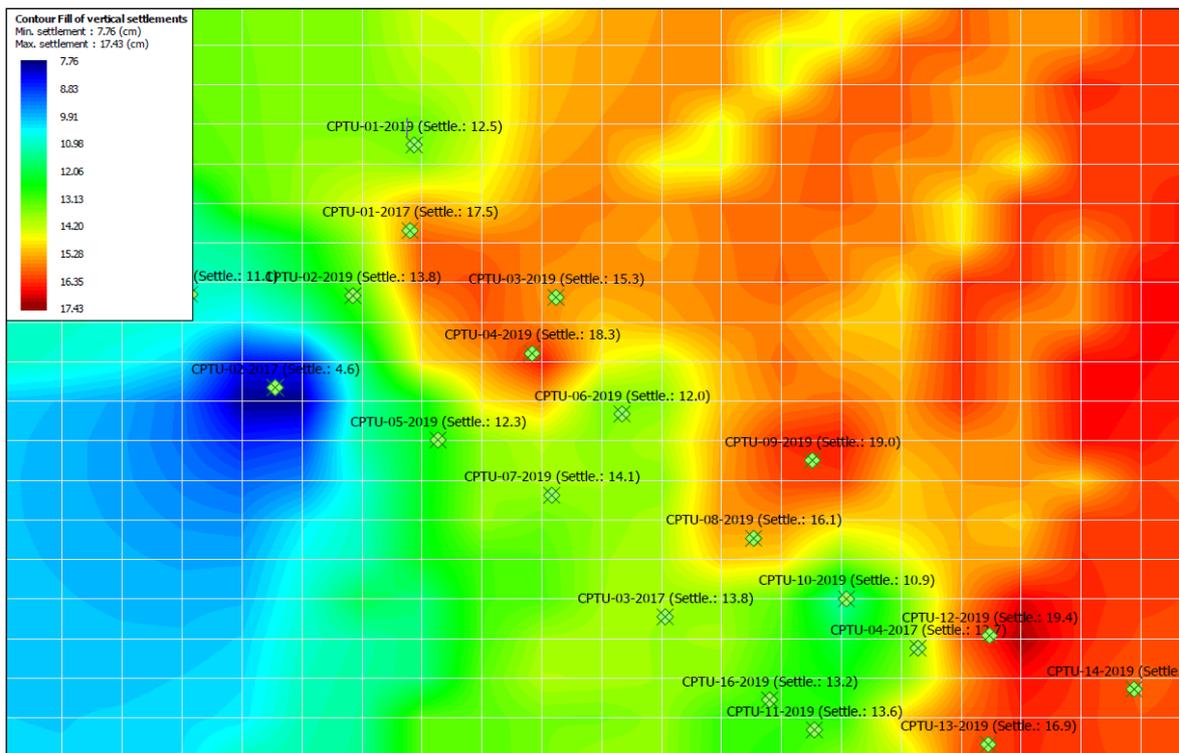


Figura n. 46 - Distribuzione planimetrica dei cedimenti verticali calcolati

La figura n. 47 mostra il raffronto fra i cedimenti verticali calcolati con il metodo di Boulanger & Idriss (2014) e quelli calcolati con il metodo di Robertson (2009). I due metodi forniscono, in termini relativi, le stesse indicazioni.

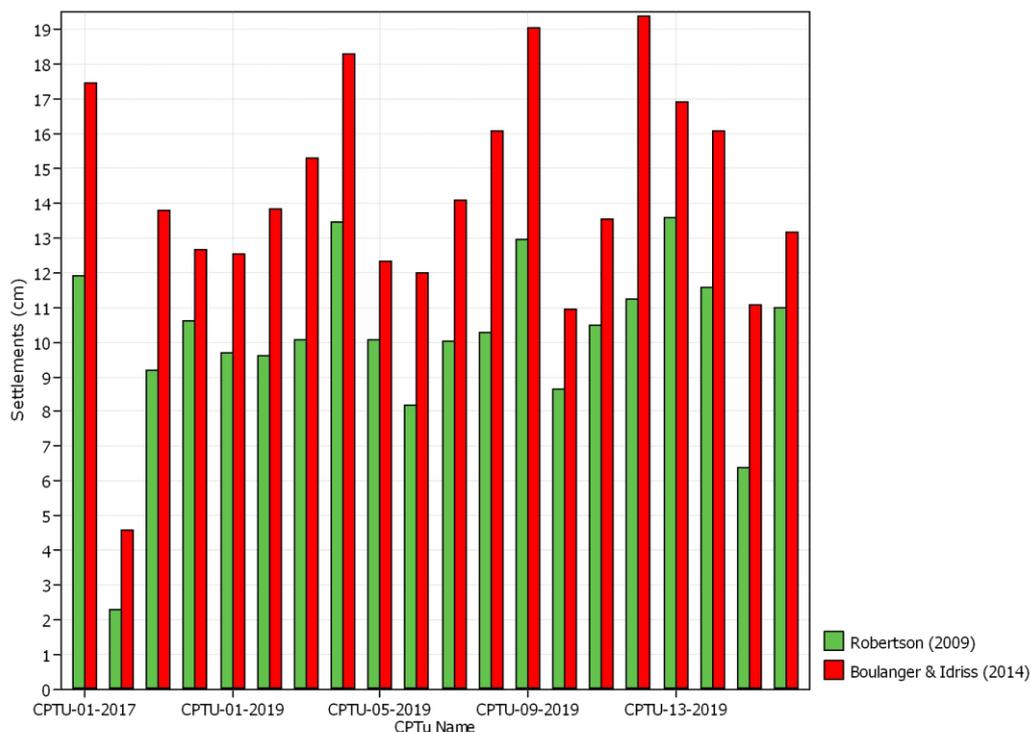


Figura n. 47 - Raffronto fra i cedimenti verticali calcolati con il metodo di Boulanger & Idriss (2014) e quelli calcolati con il metodo di Robertson (2009)

La figura n. 48 mostra la probabilità, espressa in percentuale, che la liquefazione dei terreni in esame si verifichi. I terreni rappresentati indicano probabilità di liquefazione da alta a molto alta.

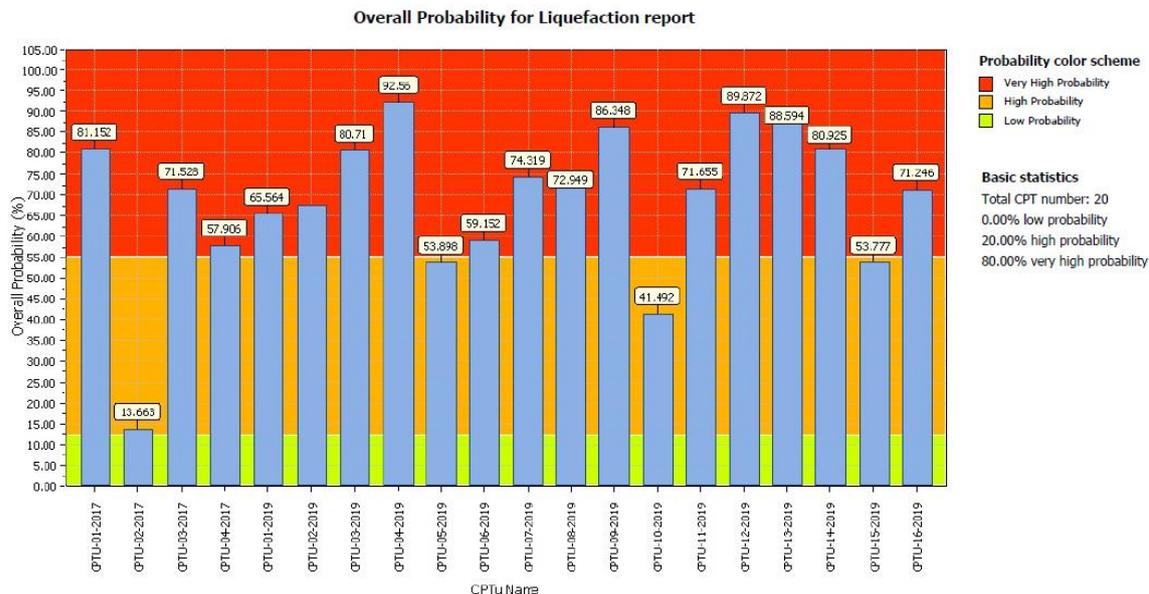


Figura n. 48 - Probabilità di liquefazione

Nella figura n. 49 è evidente la distribuzione planimetrica della probabilità di liquefazione.

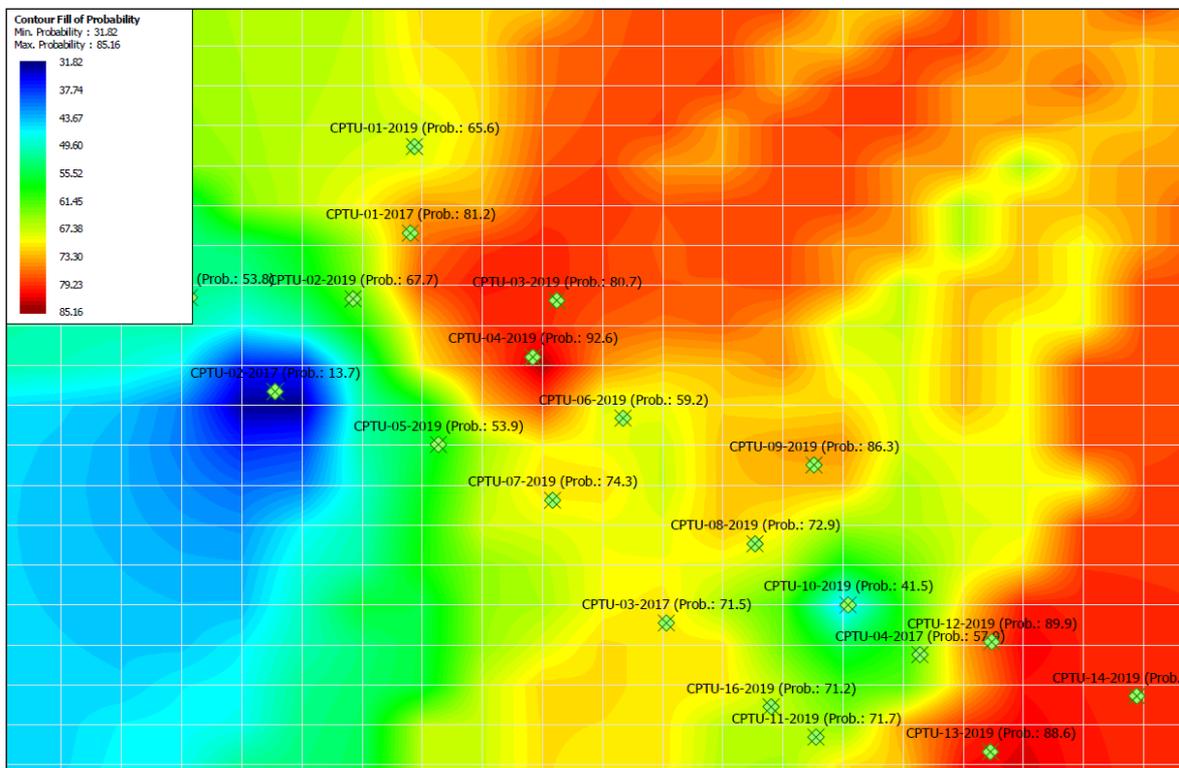


Figura n. 49 - Distribuzione planimetrica della probabilità di liquefazione

La figura n. 50 mostra il raffronto fra la probabilità di liquefazione calcolata con il metodo di Boulanger & Idriss (2014) e quella calcolata con il metodo di Robertson (2009). I due metodi forniscono, in termini relativi, le stesse indicazioni.

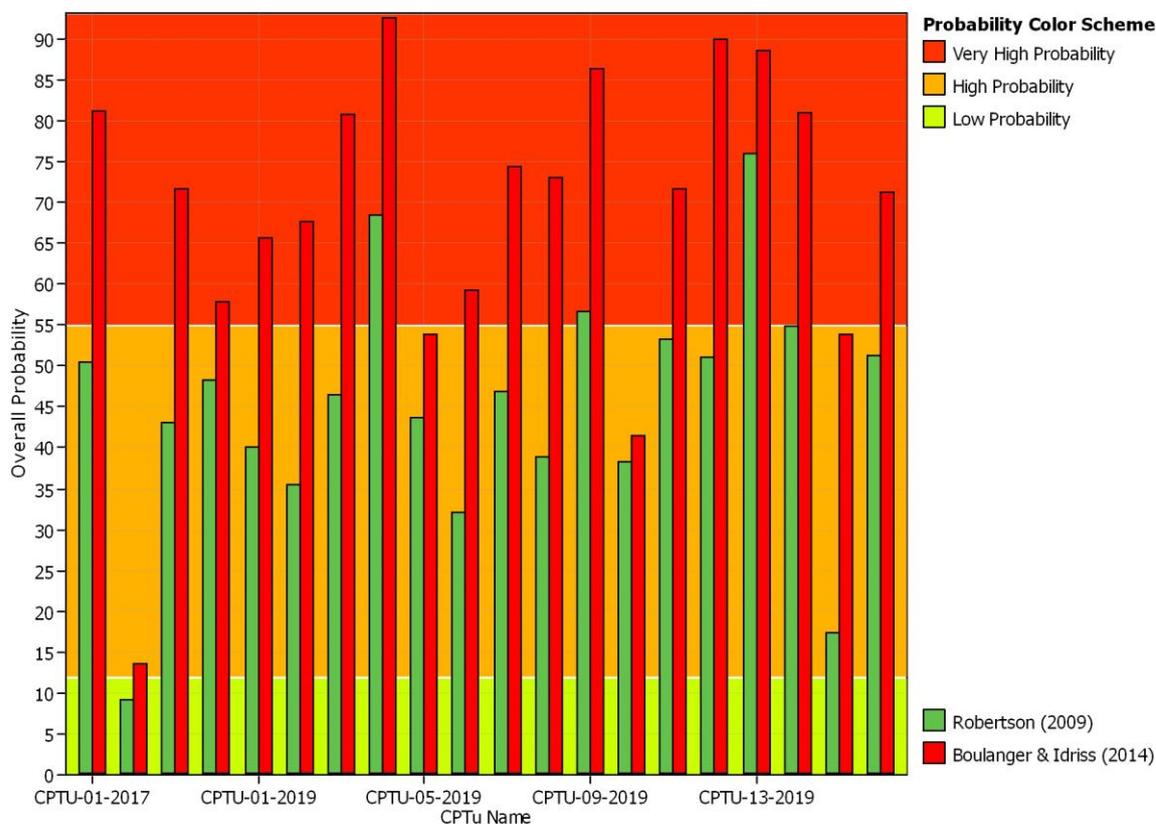


Figura n. 50 - Raffronto fra la probabilità di liquefazione calcolata con il metodo di Boulanger & Idriss (2014) e quella calcolata con il metodo di Robertson (2009)

Come ulteriore indice globale del rischio di liquefazione è stato recentemente introdotto (ed è stato utilizzato anche in questo studio) dai ricercatori Neo-Zelandesi il Liquefaction Severity Number (LSN; Tonkin and Taylor, 2013, Van Ballegooy et al., 2014) messo a punto a seguito dei cospicui fenomeni di liquefazione verificatisi nella regione di Canterbury in Nuova Zelanda durante la sequenza sismica 2010-2011.

Il Liquefaction Severity Number (LSN) è definito dalla seguente relazione:

$$LSN = 1000 \cdot \int \frac{\varepsilon_v}{z} \cdot dz$$

dove ε_v rappresenta la deformazione volumetrica post-liquefazione (Zhang et al., 2002, figura n. 51) e z è la profondità dal piano campagna espressa in metri.

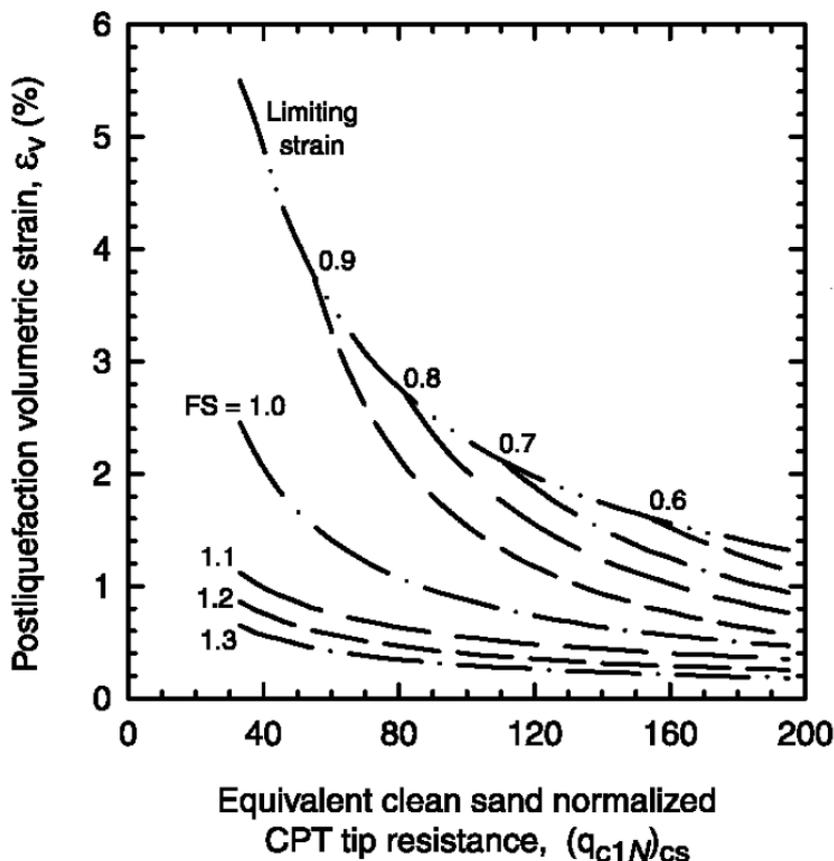


Figura n. 51 - Grafico per la valutazione della deformazione volumetrica post-liquefazione (Zhang et al., 2002)

Nella figura n. 52 sono evidenti i valori dell'indice globale LSN calcolati nel presente studio con il programma Cliq, v. 2.2.0.37 della GeoLogismiki, Geotechnical Engineering Software utilizzando il metodo di Boulanger & Idriss (2014).

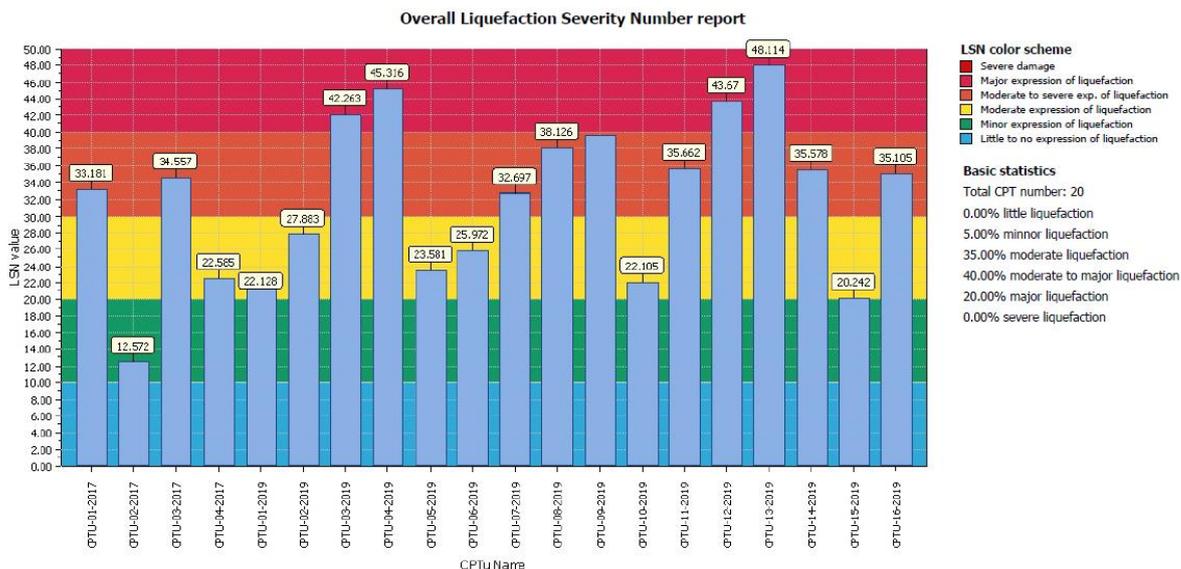


Figura n. 52 - Valori dell'indice globale LSN calcolati nel presente studio

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

La valutazione del pericolo di liquefazione, effettuata con riferimento all'indice di liquefazione (LSN), come precisato nella tabella n. 13, porta a definire i potenziali effetti indotti dalla liquefazione come modesti per n. 1 verticali, moderati per 7, da moderati a severi per 8 ed evidenti per 4.

TABELLA 13: SCALA DEI POTENZIALI EFFETTI INDOTTI DALLA LIQUEFAZIONE IN ACCORDO CON L'INDICE GLOBALE LSN (TONKIN E TAYLOR, 2013)

LSN	Potenziali effetti indotti dalla liquefazione
$0 < LSN \leq 10$	Manifestazioni del fenomeno della liquefazione da nulle a lievi. Effetti trascurabili
$10 < LSN \leq 20$	Manifestazioni del fenomeno della liquefazione modeste. Pochi vulcanelli di sabbia
$20 < LSN \leq 30$	Manifestazioni del fenomeno della liquefazione moderate. Qualche vulcanello di sabbia e qualche danno strutturale
$30 < LSN \leq 40$	Manifestazioni del fenomeno della liquefazione da moderate a severe. I cedimenti indotti possono causare danni strutturali
$40 < LSN \leq 50$	Evidenti manifestazioni del fenomeno della liquefazione. Ondulazioni e fratture in superficie. Significativi cedimenti assolute differenziali delle strutture
> 50	Danni notevoli, estese manifestazioni del fenomeno in superficie. Notevoli cedimenti assoluti e differenziali delle strutture. Danni ai sottoservizi

La figura n. 53 mostra il raffronto fra gli indici di liquefazione (LSN) calcolati con il metodo di Boulanger & Idriss (2014) e quelli calcolati con il metodo di Robertson (2009) Si può notare che i due metodi forniscono, in termini relativi, le stesse indicazioni.

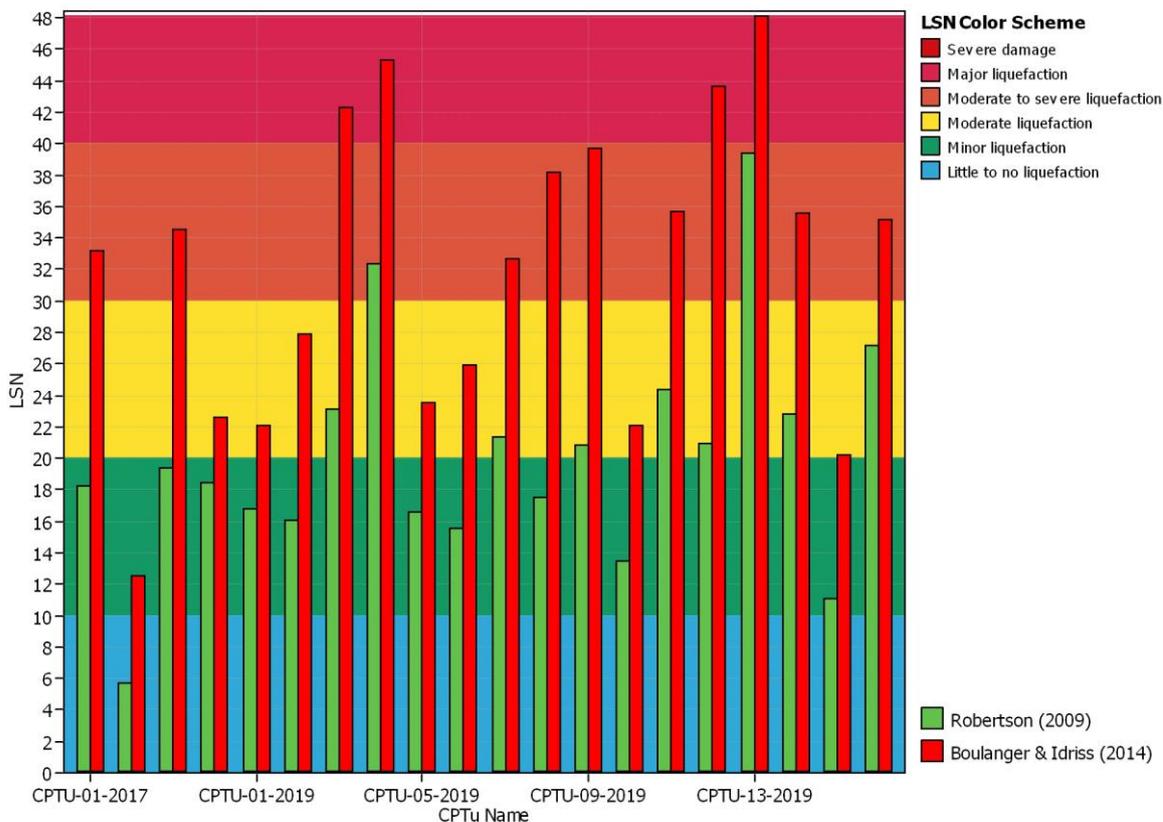


Figura n. 53 - Raffronto fra gli indici di liquefazione (LSN) calcolati con il metodo di Boulanger & Idriss (2014) e quelli calcolati con il metodo di Robertson (2009)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	70 di 71

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MISANO ADRIATICO (RN) Studio di microzonazione sismica	Terzo

10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nel presente studio di Microzonazione Sismica di III livello, concernente il Comune di Misano Adriatico, sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e di archivio disponibili, sono stati condotti puntuali rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica fruibile. Nelle zone di attenzione per instabilità per liquefazione del terreno in condizioni sismiche, individuate dallo studio di II livello, è stata, pertanto, predisposta ed eseguita un'attenta campagna di rilievi integrativi e di controllo con l'esecuzione di nuove prove in sito.

L'insieme di tutti i dati acquisiti ha consentito un approfondito studio del fenomeno della liquefazione dei terreni nella zona considerata.

La microzonazione sismica delle aree potenzialmente liquefacibili è stata definita col metodo di Boulanger & Idriss 2014, considerando sia le elaborazioni LPI (liquefaction potential index) sia LSN (Liquefaction Severity Number).

Le elaborazioni in termini di LPI e LSN forniscono indicazioni sovrapponibili, in termini relativi, in merito alla maggiore o minore pericolosità dell'area in studio.

In sintesi, visti i valori che si ottengono con i diversi approcci e la situazione evidenziata dal loro confronto, si può affermare che la classificazione del territorio in esame secondo lo studio del pericolo di liquefazione si presenta decisamente fondata.

Nelle seguenti tavole allegate sono riportate le zone di attenzione per instabilità per liquefazioni, unitamente alle verticali di verifica, con indicato in viola il valore di IL e in blu il valore di LSN(Boulanger & Idriss - 2014):

- Carta di microzonazione sismica - FA PGA in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,1 - 0,5 s in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,4 - 0,8 s in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,7 - 1,1 s in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,5 - 1,5 s in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,1 - 0,5 s in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,5 - 1,0 s in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,5 - 1,5 s in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - HSM in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - H 0,4 - 0,8 s in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - H 0,7 - 1,1 s in scala 1:10.000;
- Carta di microzonazione sismica - H 0,5 - 1,5 s in scala 1:10.000.

Il presente studio evidenzia l'importanza della messa a punto del database geognostico, su cui basare le analisi di pericolosità, che contemplino anche il fenomeno della liquefazione sismica. Infatti, in seguito al processamento delle 20 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU) disponibili, è stato possibile caratterizzare la suscettibilità dell'area, calcolare diversi indicatori di pericolosità da liquefazione e studiarne la distribuzione spaziale descritta attraverso mappe, realizzate su piattaforma GIS mediante interpolazione geostatistica di risultati puntuali.

Forlì, 9 gennaio 2020

 Geologo Dott. Aldo Antoniazzi <small>STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	71 di 71