

Comune di Cesenatico

Provincia di Forlì-Cesena

Settore Sviluppo del Territorio



Il Sindaco **Dott. Matteo Gozzoli**

Il Dirigente del Settore **Ing. Simona Savini**

PIANO URBANISTICO GENERALE

Microzonazione sismica Relazione illustrativa

Soggetto realizzatore

Antoniazzi - Studio associato



Assunto con delibera di G.C. n. del

Adottato con delibera di C.C. n. del

Approvato con delibera di C.C. n. del

PUG

Elaborato

Lt6.Ms12

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

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	7
2.1. Inquadramento geografico	7
2.2. Inquadramento geologico	8
2.3. Inquadramento tettonico	11
2.4. Caratteristiche sismotettoniche	12
2.5. Storia sismica	15
2.6. Classificazione sismica	19
3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	22
3.1. Acquisizione ed elaborazione dati	22
3.2. Pozzi, sondaggi e penetrometrie	22
3.3. Prove geofisiche	23
4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	24
5. DETERMINAZIONI ED INCERTEZZE	27
6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	30
6.1. Prima fase del lavoro	30
6.2. Seconda fase del lavoro	30
6.3. Terza fase del lavoro	31
7. ELABORATI CARTOGRAFICI	32
7.1. Carta delle indagini	32
7.2. Carta geologico-tecnica per microzonazione sismica	33
7.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni	41
7.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	46
7.5. Carta delle velocità delle onde di taglio S	48
7.6. Carte di microzonazione sismica di Livello 2	50
7.7. Carta di microzonazione sismica di Livello 3	53
8. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO	54
8.1. Area considerata	54
8.2. Analisi di disaggregazione	54
8.3. Spettro di risposta rappresentativo	57
8.4. Analisi della risposta sismica locale	59
8.5. Selezione dei segnali sismici di riferimento	59
8.6. Modello del sottosuolo	61
8.7. Fattori di amplificazione determinati con modellazione numerica	64
8.8. Verifica della pericolosità sismica di liquefazione	67
9. COMMENTI FINALI E CRITICITÀ	72

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	1 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Arch. Vittorio Foschi
 Dirigente del Settore Sviluppo del Territorio del Comune di Cesenatico

GRUPPO DI LAVORO

Soggetto Incaricato

ANTONIAZZI STUDIO ASSOCIATO
 di Geologia Tecnica e Ambientale



Professionisti	Professione	Principali competenze
Dott. Alberto Domenico Antoniazzi	Geologo	Pianificazione territoriale, geopedologia ed evoluzione costiera
Dott. Aldo Antoniazzi (Coordinatore)	Geologo	Pianificazione territoriale, idrogeologia, meccanica delle terre e rocce e Protezione Civile
Dott. Stefano Castagnetti	Geologo	Pianificazione territoriale, Microzonazione Sismica, Protezione Civile e CLE
Dott. Barbara Corsale	Geologo	Geomorfologia applicata, morfodinamica dei sistemi
Dott. Oberdan Drapelli	Geologo	Esplorazione del sottosuolo e geotecnica
Dott. Giuseppe Sgrò	Ingegnere	CLE, analisi strutturali e Protezione Civile
Dott. Francesco Stragapede	Geologo	Geofisica applicata alla pianificazione territoriale e progettazione ed analisi Microzonazione Sismica

Collaboratori e specialisti

Dott. Geol. Marco Baldi
 Dott. Geol. Giovanni Leonasi

Esecuzione indagini

Dott. Geol. Oberdan Drapelli (indagini geognostiche)
 Dott. Geol. Francesco Stragapede (indagini geofisiche)

Fonte dati

Uffici Tecnici Comunali - Comune di Cesenatico
 Provincia di Forlì-Cesena
 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	Dicembre 2014	0	2 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

ELABORATI

- Relazione illustrativa
 - Metodologia per la verifica del rischio di liquefazione
 - Verifiche del rischio di liquefazione
- 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 Livello 2 - FA_{PGA} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - FA_{IS 0,1 - 0,5 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - FA_{IS 0,5 - 1,0 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{PGA} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{IS 0,1 - 0,5 s} in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{IS 0,5 - 1,0 s} in scala 1:10.000

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	3 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa sono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nell'ambito dello Studio di Microzonazione Sismica di secondo livello con analisi CLE e locali approfondimenti di terzo livello del Comune di Cesenatico (FC), realizzato su incarico dell'Amministrazione Comunale (Contratto Reg. n. 928, stipulato il 29 maggio 2014). Questo studio è stato finanziato come stabilito dall'Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri 20 febbraio 2013 n. 52 "Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'annualità 2012" (G.U. n° 50 del 20.2.2013).

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 la protezione civile.

Gli studi di Microzonazione Sismica suddividono dettagliatamente il territorio considerato 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 Cesenatico è già dotato di una valutazione della pericolosità sismica locale con approfondimenti di primo e secondo livello, realizzata dalla Provincia di Forlì-Cesena, nell'ambito della Variante specifica al P.T.C.P. ai sensi dell'art. 27 bis della L.R. 20/2000 e ss.mm.ii. che su richiesta ed intesa con l'Amministrazione Comunale di Cesenatico, ai sensi dell'art. 21, primo comma, della L.R. n. 20/00, ha assunto valore ed effetti di Variante specifica al Piano Strutturale Comunale (P.S.C.).

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

- ♦ "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 15 aprile 2013" 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 C della delibera regionale).
- ♦ "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

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	4 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> approfondimenti di terzo

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 3.0, Roma, ottobre 2013 - Elaborato e approvato nell’ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (SRAI).
- ◆ “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).
- ◆ Allegato A della deliberazione dell’ Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2.5.2007: Approvazione dell’Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” (Indirizzi regionali).

Il presente studio di Microzonazione Sismica, attuato in conformità a quanto stabilito dai riferimenti tecnici menzionati, è stato articolato 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.
- **CONDIZIONI LIMITE D'EMERGENZA (CLE), con:**
 - l'individuazione degli edifici e delle aree che garantiscono le funzioni strategiche per l'emergenza;
 - l'individuazione delle infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale, degli edifici e delle aree di cui al punto precedente e gli eventuali elementi critici;

 ANTONIAZZI <small>GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	5 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

- l'individuazione degli aggregati strutturali e delle singole unità strutturali che possono interferire con le infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale.

In merito alle aree considerate, conformi a quanto previsto in sede d'incarico, si rimanda a quanto precisato 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 delibera regionale 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 3.0.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	6 di 72

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

2.1. Inquadramento geografico

Il Comune di Cesenatico appartiene alla Regione Emilia-Romagna, ricade nella Provincia di Forlì-Cesena (FC) ed è adiacente ad un tratto della costa adriatica romagnola, interposto tra Ravenna e Rimini (Fig. 1). Si estende per circa 7,4 chilometri dalla località Tagliata, fino al torrente Rigossa.

Il territorio di Cesenatico è di bassa pianura, raggiunge infatti la quota massima di 20 metri sul livello marino nei pressi di Bagnarola. La sua superficie, pari a 45,13 chilometri quadrati, si estende nell'entroterra fino alla distanza massima di 6,8 chilometri dalla linea di spiaggia.

Il Comune di Cesenatico confina a nord ovest con il Comune di Cervia (Provincia di Ravenna), a sud ovest col Comune di Cesena, a sud col Comune di Gambettola, a sud est col Comune di Gatteo ed, infine, a nord-est col Mare Adriatico.



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

Nella figura n. 2 è rappresentata la posizione del Comune di Cesenatico nell'ambito della Provincia di Forlì-Cesena.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	7 di 72

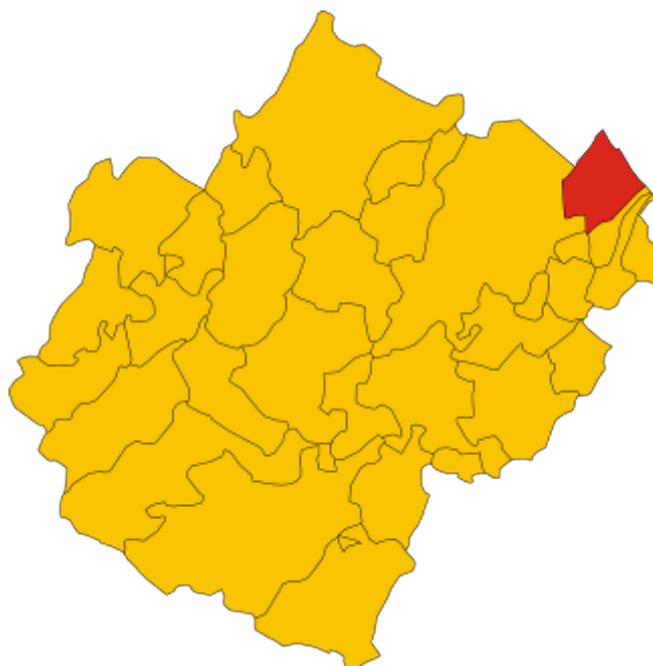


Figura n. 2 - Inquadramento del Comune di Cesenatico (area in rosso) nell'ambito della Provincia di Forlì-Cesena.

2.2. Inquadramento geologico

Il territorio del Comune di Cesenatico è situato nel margine sud orientale della Pianura Padana (Pianura romagnola): una vasta area pianeggiante, dovuta essenzialmente al deposito di sedimenti alluvionali, più o meno rimaneggiati dai flutti marini nei settori costieri.

I terreni affioranti nel territorio in esame (figura n. 3), di età pleistocenico superiore-olocenica, sono schematicamente riconducibili:

- ♦ alle sabbie di cordone litorale di pertinenza dell'Unità di Modena (AES_{8a}) estese a fascia lungo la costa,
- ♦ ai depositi alluvionali del Subsistema di Ravenna (AES₈) o dell'Unità di Modena (AES_{8a}) concernenti il restante territorio comunale.

Nel sottosuolo di Cesenatico la base dei depositi quaternari è situata ad una profondità dell'ordine di 1.500 metri rispetto al piano di campagna. La carta dell'imbasamento del Quaternario nella valle padana¹ mostra, infatti, che tale base scende progressivamente fino ad oltre 2.000 metri, procedendo dal riminese verso la foce del fiume Savio (figura n. 4).

I sedimenti alluvionali rappresentano solo la parte superiore di questa potente coltre sedimentaria. I pozzi, che l'hanno esplorata alla ricerca di falde acquifere artesiane con risorse idropotabili, hanno rinvenuto acque dolci fino a profondità dell'ordine di 180 metri al di sotto del piano di campagna.

¹ LUCCHETTI L.: *Tettonica padana*, in "I giacimenti gassiferi dell'Europa Occidentale. Atti del Convegno di Milano 30 settembre - 5 ottobre 1957, indetto dall'Accademia Nazionale dei Lincei e dall'Ente Nazionale Idrocarburi, Volume II, Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 1959, p. 20.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	8 di 72

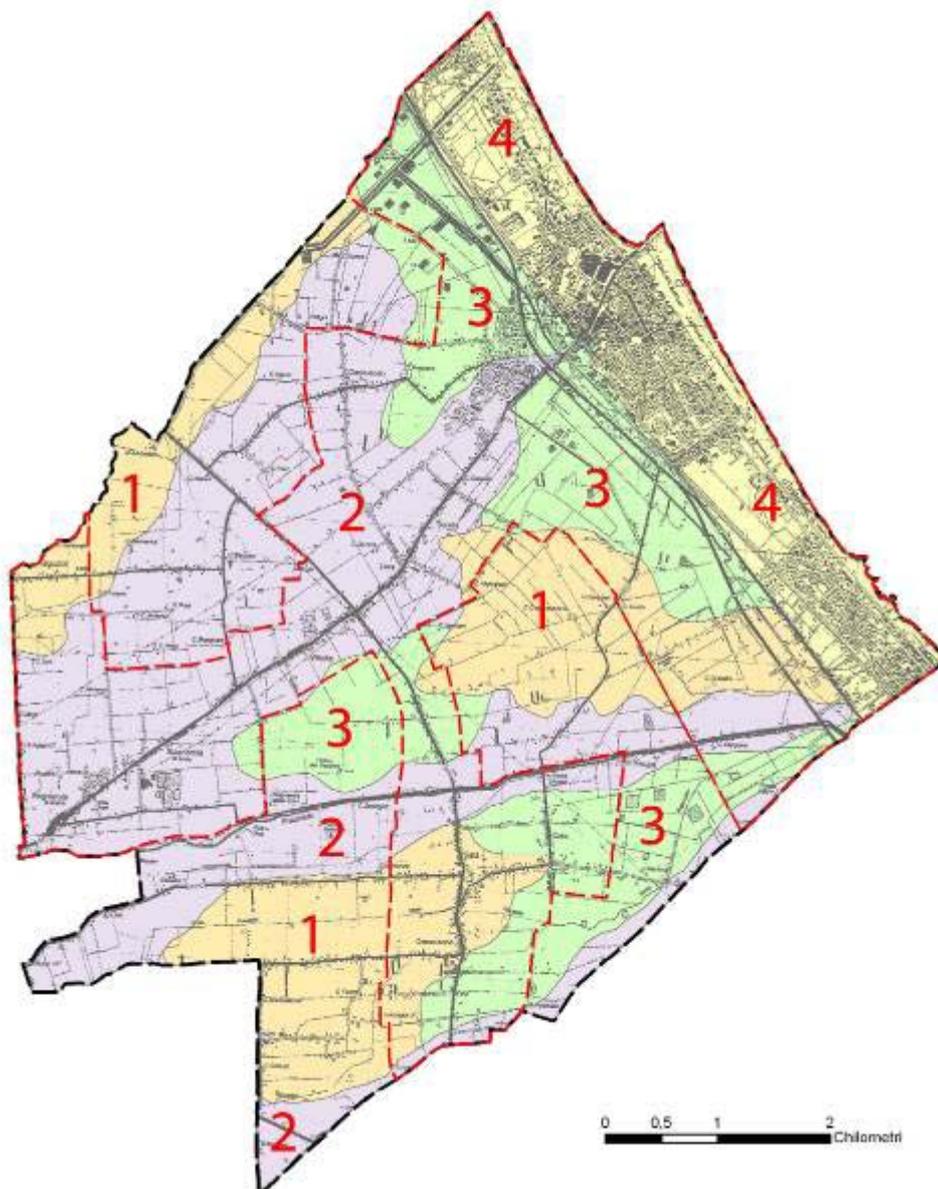


Figura n. 3 - Lineamenti geologici del Comune di Cesenatico. Legenda: 1) Subsistema di Ravenna - Sintema emiliano-romagnolo superiore (AES8). Deposito di tracimazioni fluviali indifferenziate. Piana alluvionale - Pleistocene superiore - Olocene. 2) Subsistema di Ravenna - Unità di Modena - Sintema emiliano-romagnolo superiore (AES8a). Deposito di canale, argine e rotta fluviale. Piana alluvionale. Olocene. 3) Subsistema di Ravenna - Unità di Modena - Sintema emiliano-romagnolo superiore (AES8a). Deposito di piana inondabile in area interfluviale. Piana alluvionale. Olocene. 4) Subsistema di Ravenna - Unità di Modena - Sintema emiliano-romagnolo superiore (AES8a). Deposito di cordone litorale. Piana costiera, fronte deltizia e piana di sabbia. Olocene. L'area tratteggiata in rosso è oggetto di microzonazione sismica.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	9 di 72

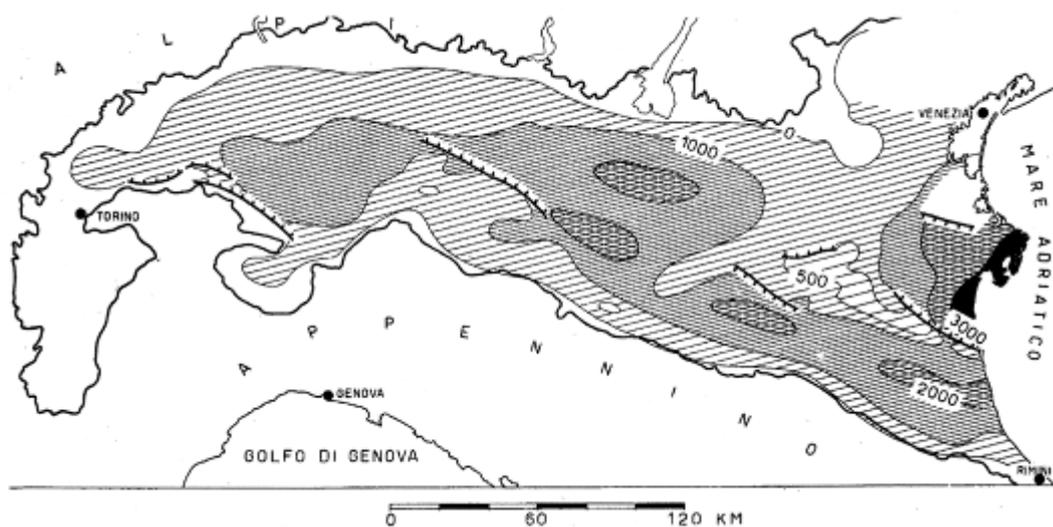


Figura n. 4 - Carta della base del Quaternario nella Valle Padana (Da Lucchetti L., 1959).

I depositi alluvionali e, talvolta costieri, hanno un andamento generalmente suborizzontale, variamente lentiforme, ma indisturbato, e poggiano su rocce interessate da pieghe e faglie, sviluppatesi dal Pliocene al Quaternario inferiore. Le principali strutture sepolte nel sottosuolo padano, quindi anche nella zona in esame, sono evidenti nello schema tettonico (figura n. 5), redatto dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna.

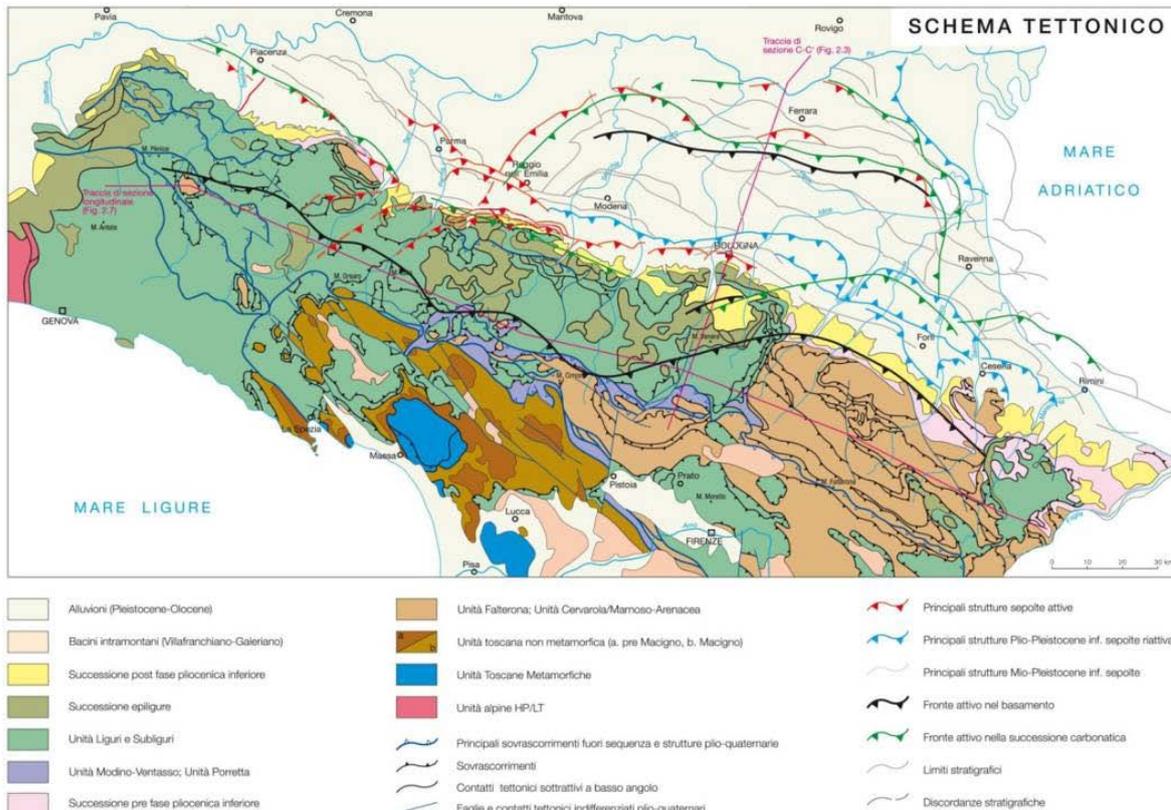


Figura n. 5 - Schema tettonico dell'Emilia-Romagna.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	10 di 72

Una sintesi schematica della situazione del sottosuolo, indicativamente valida anche per quanto concerne il territorio del Comune di Cesenatico, 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.

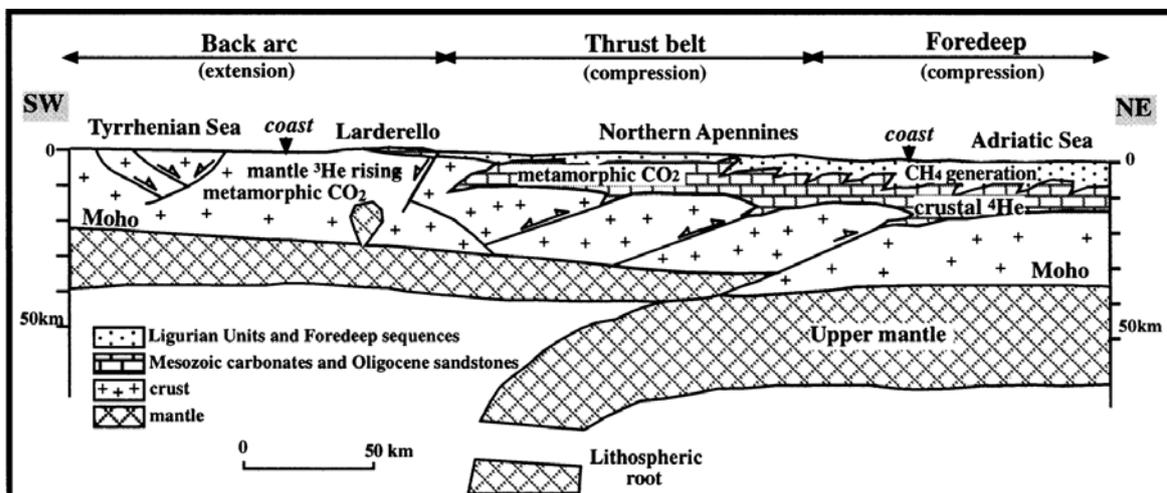


Figura n. 6 - Sezione geologica schematica attraverso l'Appennino Settentrionale, estesa dal Tirreno all'Adriatico e dalla superficie al Mantello superiore (da A. MINISSALE E ALTRI, 2.000).

2.3. Inquadramento tettonico

Il territorio del Comune di Cesenatico, appartiene strutturalmente all'Appennino Settentrionale³, la cui tettonica è contraddistinta da ampi fronti di scorrimento, che individuano alcune unità tettoniche fondamentali, e da importanti accavallamenti (figura n. 5). Le ricerche compiute dall'Agip hanno evidenziato che la struttura tettonica dell'Appennino settentrionale prosegue, sepolta sotto le alluvioni della pianura fino a nord di Ferrara ed anche sotto l'Adriatico, come evidente nella figura n. 7, tratta dalle Note illustrative del foglio Forlì-Cervia della Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2005).

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.

³ 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 sviluppatasi 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	Dicembre 2014	0	11 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

Figura n. 7 - Schema tettonico particolareggiato del territorio ove ricade il Comune di Cesenatico.

Risulta pertanto che il territorio comunale in esame è situato in un settore contraddistinto da un complesso sistema di fronti di accavallamento, sepolti sotto le alluvioni della pianura ed i limitrofi depositi marini litoranei da un cospicuo affossamento strutturale.

2.4. 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. 8), a cura dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna.

 ANTONIAZZI <small>GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small> <small>GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	12 di 72

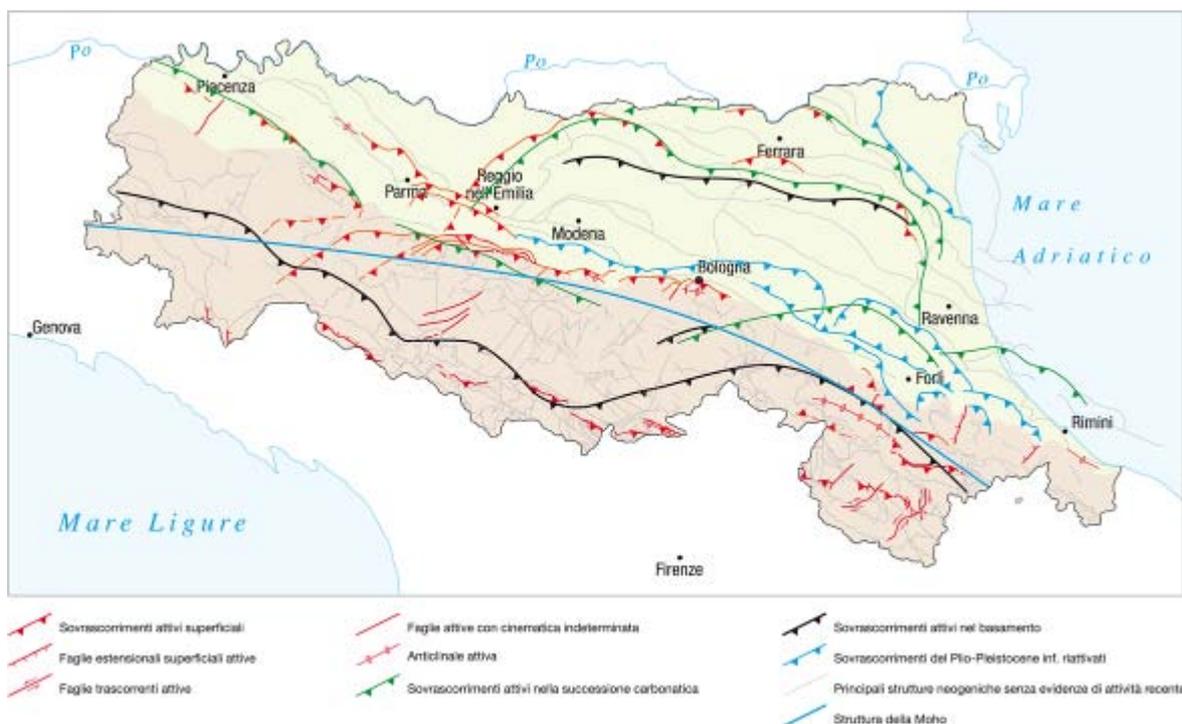


Figura n. 8 - Principali strutture attive in Emilia-Romagna.

Le sorgenti sismogenetiche e le faglie potenzialmente attive e capaci, interessanti specificatamente il territorio comunale di Cesenatico, sono state ricavate dal *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)* dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Version 3.1.1., ossia dal database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana⁴. La loro distribuzione geografica è evidente nella figura n. 9.

Nel territorio di pertinenza di Cesenatico figurano le seguenti sorgenti sismogenetiche composite:

- ◆ ITCS039: Riminese onshore con Mw max (magnitudo momento massima) 5,7;
- ◆ ITCS030: Riminese offshore con Mw max (magnitudo momento massima) 5,9;
- ◆ ITCS011: Mordano-Guarniera con Mw max (magnitudo momento massima) 5,9;
- ◆ ITCS001: Castel San Pietro Terme-Meldola con Mw max (magnitudo momento massima) 5,8.

⁴ 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*.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	13 di 72



Figura n. 9 - Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS nella zona di pertinenza del Comune di Cesenatico.

Nella Zonazione sismogenetica ZS9 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia⁵, il territorio comunale di Cesenatico (figura n. 10) ricade nella zona "Rimini-Ancona 917" con Mw max (magnitudo momento massima) di 6,14.

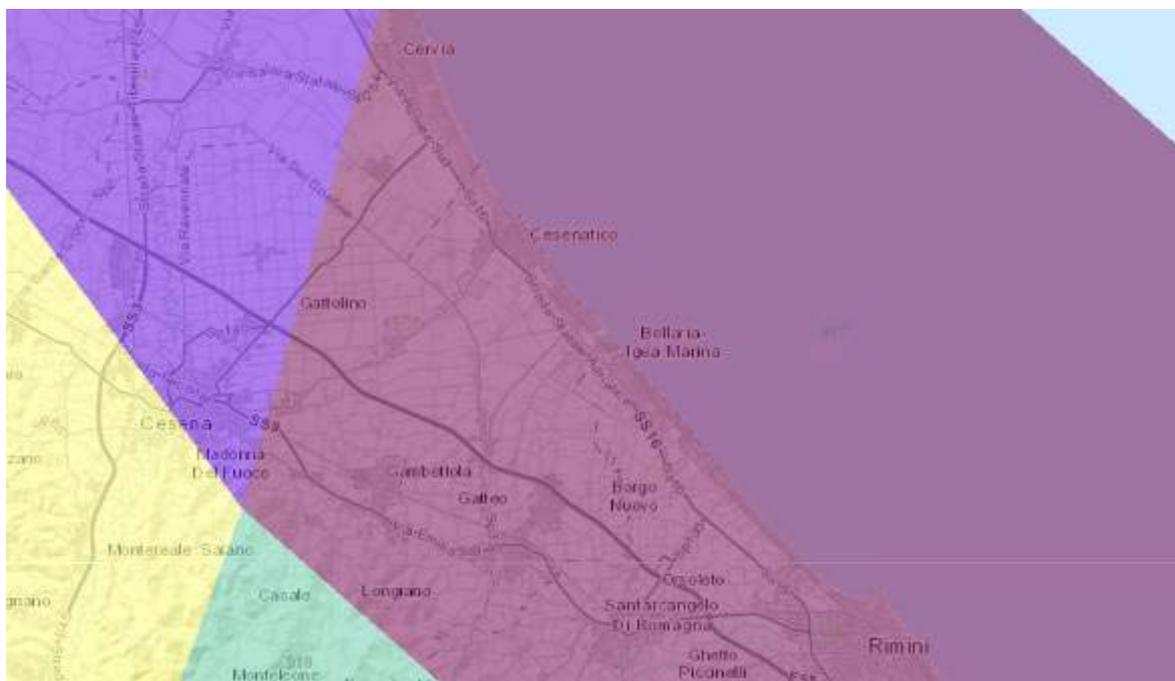


Figura n. 10 - Zonazione sismogenetica ZS9 del Comune di Cesenatico (zona "Rimini-Ancona 917").

⁵ MELETTI C. E VALENSISE G. (a cura) del 2004, Zonizzazione sismogenetica ZS9 - App. 2 al Rapporto conclusivo.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	14 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con locali approfondimenti di terzo

2.5. Storia sismica

La storia sismica del Comune di Cesenatico è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI11⁶. Nella tabella n. 1 sono riportati gli eventi di maggiore intensità verificatisi a Cesenatico, indicando per ciascuna di esse, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come I(MCS), quando si è verificato, il numero di località coinvolte (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io), e la magnitudo momento (Mw).

TABELLA N. 1 - MAGGIORE SISMICITÀ STORICA DEL COMUNE DI CESENATICO

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
7	1672 04 14 15:45	Riminese	92	8	5.61 ±0.21
8	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale	144		5.93 ±0.16
NF	1895 03 23	COMACCHIO	37	6	4.74 ±0.31
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
5	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7	5.28 ±0.11
2-3	1913 07 21 22:35	VALLE DEL LAMONE	43	5-6	4.78 ±0.19
3	1914 10 27 09:2	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
3-4	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
6	1916 05 17 12:4	Alto Adriatico	132		5.95 ±0.14
5	1916 06 16 01:27	Alto Adriatico	17		
5	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257		6.14 ±0.14
4	1918 11 10 15:1	Appennino romagnolo	187	9	5.88 ±0.11
4	1919 06 29 15:0	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
3	1929 04 10 05:4	Bolognese	87	7	5.03 ±0.13
3	1930 10 30 07:1	SENIGALLIA	263	8	5.81 ±0.09
3	1952 07 04 20:3	Appennino romagnolo	64	7	4.99 ±0.18
2	1956 05 26 18:3	Appennino romagnolo	79	7	4.99 ±0.15
2	1956 06 03 01:4	Appennino romagnolo	62		
2	1984 04 29 05:0	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 ±0.09
2	1986 12 06 17:0	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
NF	1987 07 05 13:1	VALMARECCHIA	90	6	4.47 ±0.09
5	1997 09 26 09:4	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	6.01 ±0.09
2-3	2000 05 06 22:0	Emilia Romagna	84	5	4.17 ±0.09
4-5	2000 05 08 12:2	Emilia Romagna	126	5	4.66 ±0.09
2	2000 05 10 16:5	Emilia Romagna	151	5-6	4.86 ±0.09
2-3	2001 11 26 00:5	Casentino	213	5-6	4.72 ±0.09
3	2003 09 14 21:4	Appennino bolognese	133	6	5.29 ±0.09

⁶ LOCATI M., CAMASSI R. E STUCCHI M. (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	15 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali approfondimenti di terzo</i>

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
Np	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
Io	Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI11, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg [dettagli]
Mw	Magnitudo momento, da CPTI11

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

I maggiori terremoti locali, com'è evidente nella figura n. 11, si sono verificati nel 1672 e nel 1875.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	16 di 72

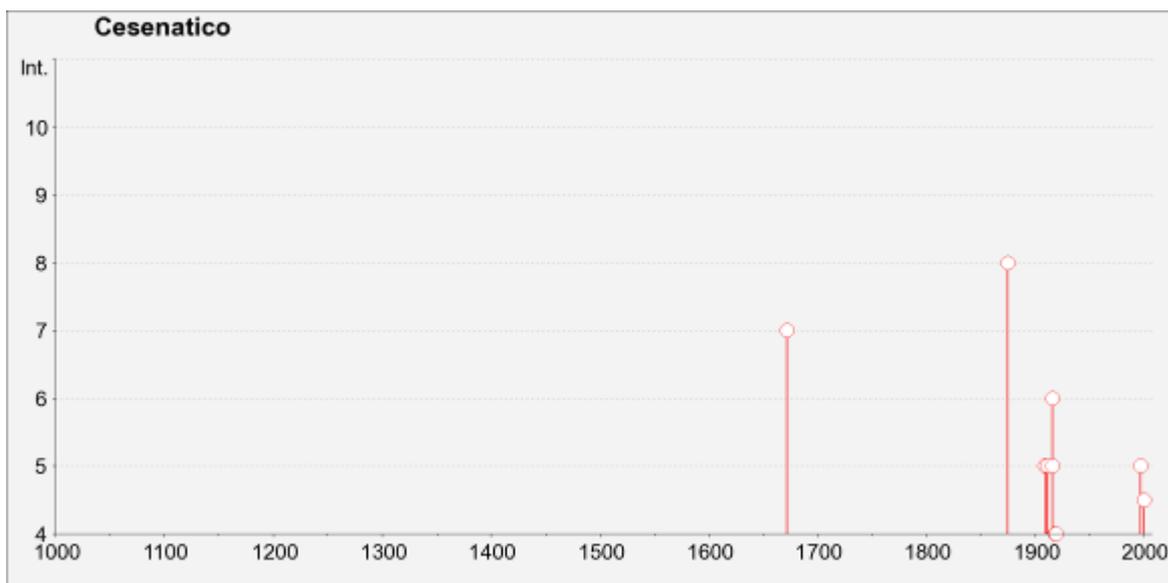


Figura n. 11 - I maggiori terremoti storici che hanno colpito Cesenatico. Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11

Il terremoto del 17 marzo 1875, con epicentro a nord di Rimini, provocò gravi danni a Cervia, Cesenatico e Rimini dove venne danneggiato seriamente il Tempio Malatestiano e causando una vittima. Avvertito da Belluno a Roma provocò lesioni negli edifici lungo la costa da Pesaro a Ravenna. Si verificarono fenomeni di liquefazione. Venne seguito da un leggero tsunami che invase le spiagge di Rimini, Cervia e Cesenatico. Nel porto di Ancona furono riscontrate sensibili oscillazioni del mare.

Mario Baratta afferma che, in seguito a questo terremoto, a Cesenatico, a Cervia e a Rimini caddero moltissimi comignoli, precipitarono delle volte ed alcuni muri, si aprirono delle fenditure nelle case ecc. I maggiori danni avvennero nelle prime due località⁷.

Nel già citato DISS dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è menzionato anche il terremoto di Rimini del 25 dicembre 1786, risentito anche da Cesenatico, com'è evidente nella relativa carta delle isosisme (figura n. 12), in cui le diverse parti colorate dal rosso al verde, corrispondono a parti del territorio colpite da effetti di severità decrescente. Di questo sisma è caratteristica la distribuzione dei maggiori effetti secondo una direzione parallela alla costa.

⁷ BARATTA M.: *I terremoti d'Italia*, Forni, ristampa anastatica dell'edizione di Torino, 1901, Sala Bolognese, 1979, p. 466.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	17 di 72

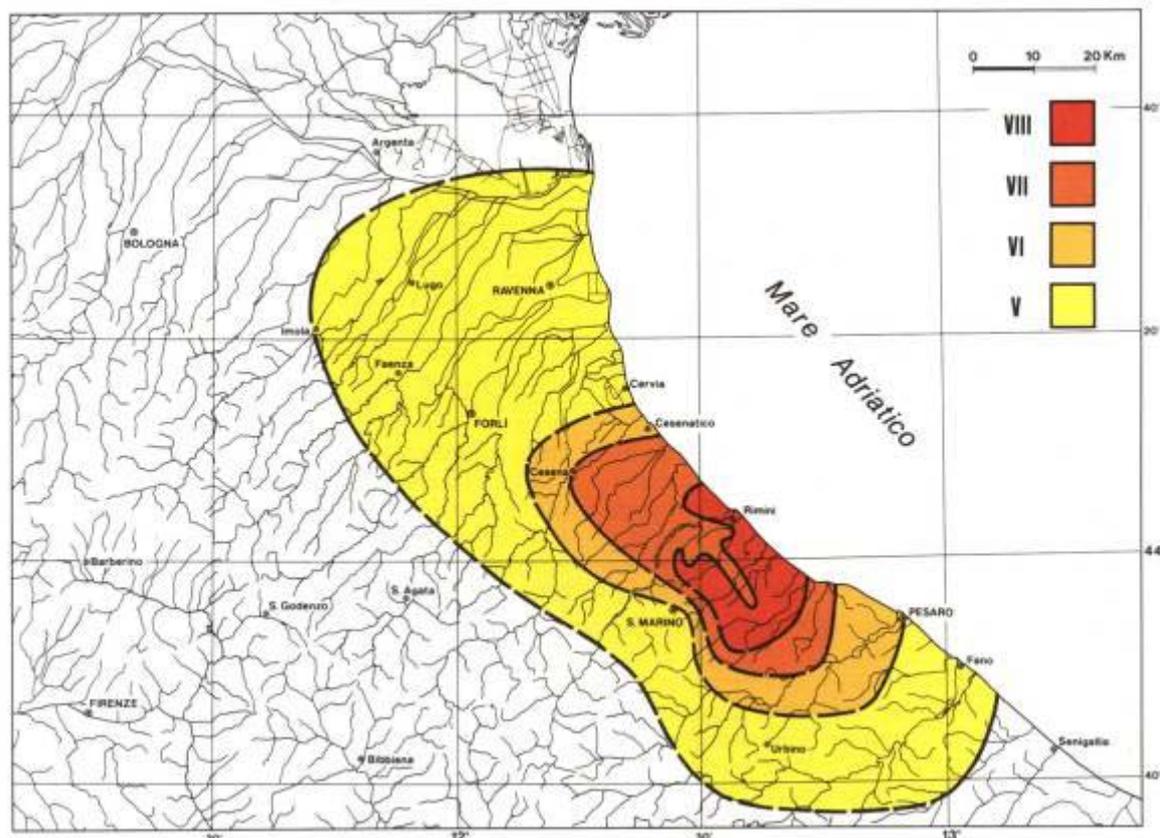


Figura n. 12 - Carta delle isosisme del terremoto di Rimini del 25 dicembre 1786.

Nella figura n. 13, è riportata la magnitudo e la profondità dei terremoti verificatisi nella zona di pertinenza di Cesenatico dall'inizio del 1900 ad oggi, entro il raggio di 20 chilometri⁸. Come si può notare dalla figura la profondità degli ipocentri è quasi sempre superficiale.

⁸ ISIDe Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>

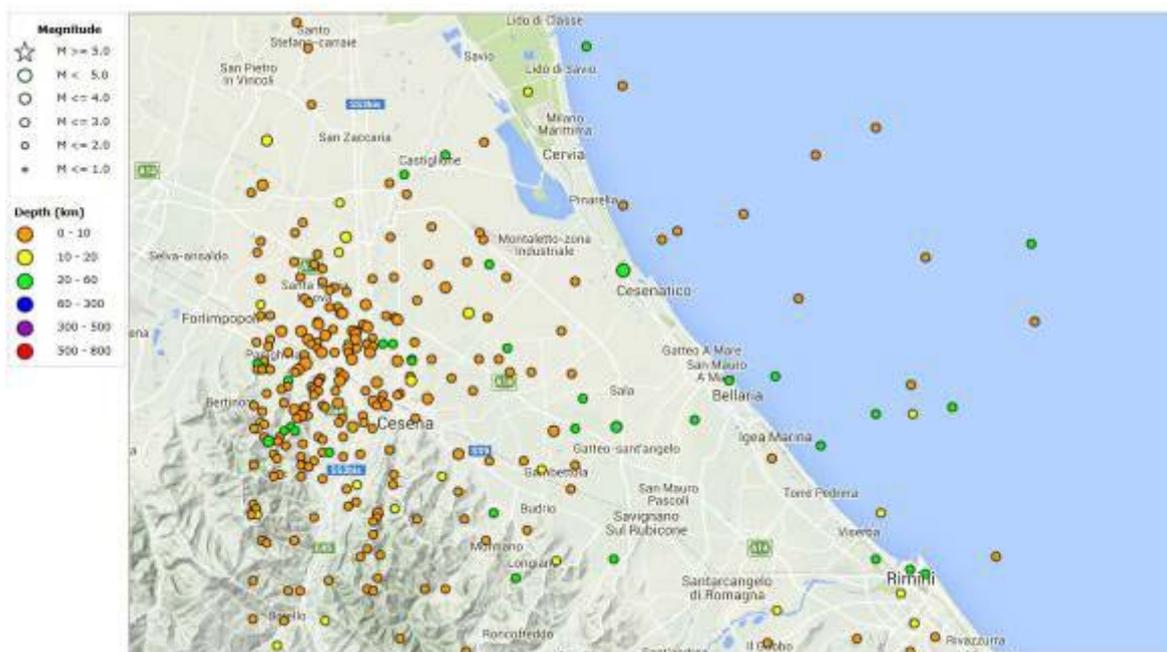


Figura n. 13 - Magnitudo e profondità dei sismi verificatisi nella zona di pertinenza di Cesenatico dall'inizio del 1900 ad oggi.

2.6. Classificazione sismica

Il territorio del Comune di Cesenatico è classificato sismico di seconda categoria (S=9) dal 1983, in base alla classificazione nazionale dei Comuni italiani stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, che ha confermato quella precedente proposta nel 1998.

I Comuni sismici italiani sono pertanto distinti in 4 zone. Le prime 3 [zone con sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6)] erano già state definite dalla Legge 64/74. La zona 4 è invece di nuova introduzione. A ciascuna di queste zone è stato assegnato uno specifico valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Ad ogni area del territorio nazionale è stato assegnato un proprio livello di pericolosità sismica.

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

ZONA	VALORI MASSIMI DI ag
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. 14, il territorio comunale di Cesenatico appartiene alla zona 2.

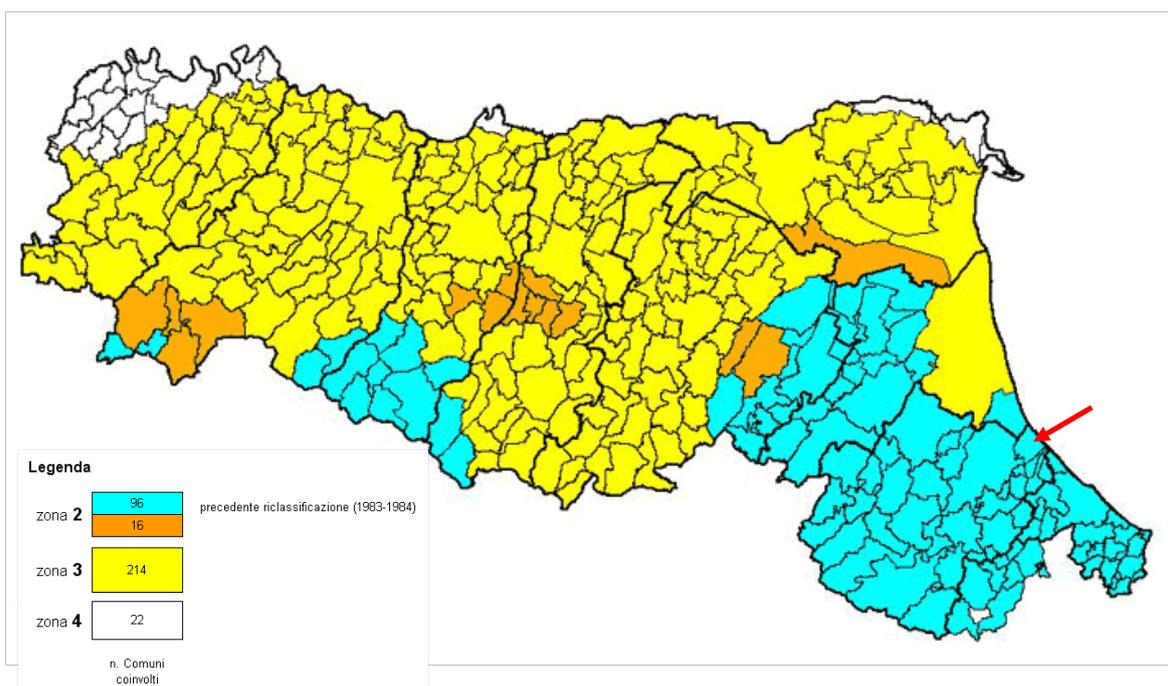


Figura n. 14 - Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna,

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.

Il decreto ministeriale del 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G. U. n. 29 del 4 febbraio 2008, ha sostituito il precedente decreto ministeriale del 14 settembre 2005.

Alle N.T.C. 2008 citate 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 della 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

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". Tale 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 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 dei Piani Strutturali Comunali (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** concerne appunto l'attuazione degli approfondimenti nei luoghi e con le modalità indicate di massima nella seconda fase.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	21 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

3.1. *Acquisizione ed elaborazione dati*

I dati elaborati in questa sede derivano:

- dalla raccolta ed elaborazione di quanto disponibile presso gli Uffici Tecnici del Comune di Cesenatico, la Provincia di Forlì-Cesena, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.);
- da un'apposita campagna d'indagini, attuata allo scopo di completare ed arricchire adeguatamente la conoscenza della specifica situazione locale.

Dei 1.040 dati geotecnici e geofisici acquisiti (sondaggi, pozzi per acqua ed idrocarburi, penetrometrie e prove geofisiche), 928 provengono dagli archivi degli Enti. In particolare 618 del Comune di Cesenatico, 278 dalla Regione Emilia-Romagna e 32 dalla Provincia di Forlì-Cesena. I restanti 112 sono stati da prove in sito effettuate nell'ambito della presente indagine.

Particolarmente fruttuosa, anche se impegnativa, si è rivelata la ricerca effettuata presso l'archivio del Comune di Cesenatico ove è stato possibile esaminare numerosissime relazioni geologiche, prodotte a corredo di progetti edilizi e di opere pubbliche, e trarre copia, con l'autorizzazione comunale, delle indagini geognostiche eseguite.

L'insieme degli elementi geologici e geofisici così acquisiti, unitamente alle informazioni presenti nella letteratura ed ai risultati dei numerosi sopralluoghi effettuati nel territorio di Cesenatico, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica.

Tutti i dati acquisiti sono stati inoltre trasformati 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 vettoriale (*shapefile*) nel rispetto di quanto precisato nell'Allegato D della delibera regionale.

3.2. *Pozzi, sondaggi e penetrometrie*

L'insieme delle prove in sito acquisite o realizzate in questa sede sono ascrivibili ai seguenti tipi:

- sondaggi a carotaggio continuo
- sondaggi a distruzione di nucleo
- sondaggi con piezometro
- pozzi per idrocarburi
- pozzi per acqua
- prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)
- prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)
- prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
- prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTE)
- prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)

Le stratigrafie dei pozzi hanno fornito informazioni sul sottosuolo fino a profondità dell'ordine di 500 metri. I sondaggi e le penetrometrie hanno invece raggiunto rispettivamente profondità massime dell'ordine di 60 metri e di 35 metri.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	22 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

3.3. Prove geofisiche

L'insieme delle prove geofisiche acquisite o appositamente realizzate sono ascrivibili ai seguenti tipi:

- Microtremori (HVSr), prove complessive 209, di cui appositamente eseguite in questa sede 86.
- Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), prove complessive 40, di cui appositamente eseguite in questa sede 16.
- Refractor Microtremor (REMI) prove complessive 3, di cui nessuna eseguita in questa sede.
- Sismica a rifrazione prove complessive 3, di cui nessuna eseguita in questa sede.

I **rilievi dei microtremori** per analisi dei rapporti spettrali delle componenti orizzontale e verticale del moto (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), effettuati nell'ambito del presente studio, sono stati effettuati con velocimetri orientati, con frequenza di 0,5 Hz, operando con una frequenza di campionamento di 400 Hz (specifiche degli indirizzi e criteri della microzonazione sismica) e impiegando un digitalizzatore SR04 a 24 bit, prodotti dalla SARA Electronic Instruments S.r.l.

Le **indagini microsismiche MASW**, attuate nell'ambito del presente studio, sono state realizzate con un sismografo "DOREMI" della SARA Electronic Instruments S.r.l., secondo una direttrice geofonica della lunghezza di 50 metri ed utilizzando una frequenza di campionamento di 5.000 Hz e una registrazione magnetica degli eventi per un intervallo di 2000 ms.

I dati registrati sono stati poi elaborati e restituiti graficamente con le usuali procedure.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	23 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

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 delle varie parti del Comune di Cesenatico, distinte dall'elaborazione dell'insieme dei dati acquisiti nell'ambito della presente ricerca, è bene soffermarsi, a questo punto, sull'assetto generale del sottosuolo locale, che può modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

Com'è evidente nella figura n. 15 i depositi quaternari, presenti nel sottosuolo del Comune di Cesenatico, appartengono al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), che comprende unità stratigrafiche a limiti inconformi (Subsintemi) ossia a corpi sedimentari compresi tra superfici di discontinuità, spesso riconducibili ad erosioni oppure a lacune stratigrafiche. Ciascuna di queste unità stratigrafiche comprende, al suo interno, anche sedimenti di differenti ambienti deposizionali e di varia litologia.

Nel Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) figurano:

- ♦ in superficie depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini;
- ♦ nel sottosuolo una sequenza di cicli trasgressivo-regressivi, costituiti da argille, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale e, limitatamente al settore costiero, da sabbie litorali.

Nel territorio del Comune di Cesenatico (figura n. 3) affiora il Subsintema di Ravenna (AES₈) del Pleistocene superiore - Olocene, che rappresenta la parte sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore e comprende terreni di pertinenza del:

- 1) Subsintema di Ravenna (AES₈). Depositi di tracimazioni fluviali indifferenziate e di piana alluvionale del Pleistocene superiore - Olocene;
- 2) Subsintema di Ravenna - Unità di Modena (AES_{8a}). Depositi di canale, argine e rotta fluviale. Piana alluvionale dell'Olocene;
- 3) Subsintema di Ravenna - Unità di Modena (AES_{8a}). Deposito di piana inondabile in area interfluviale e di piana alluvionale dell' Olocene;
- 4) Subsintema di Ravenna - Unità di Modena (AES_{8a}). Depositi di cordone litorale, di piana costiera, fronte deltizia e piana di sabbia dell' Olocene.

Il sottosuolo della pianura in oggetto AES è caratterizzato dalla sovrapposizione di vari cicli deposizionali, di norma contraddistinti dall'alternanza irregolare e lentiforme di sedimenti fini, ove predominano le facies di tracimazione fluviale, e di depositi grossolani, ove prevalgono le facies di riempimento di canale fluviale. Alla base di ciascun ciclo dei depositi di tracimazione fluviale si presentano sedimenti deltizi e litorali. La figura n. 15 mostra che, al di sotto del Subsintema di Ravenna (AES₈), figurano, procedendo verso il basso, con evidenziati i reciproci spessori e discontinuità, il Subsintema di Villa Verucchio (AES₇), il Subsintema di Brazzano (AES₆) ecc.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	24 di 72

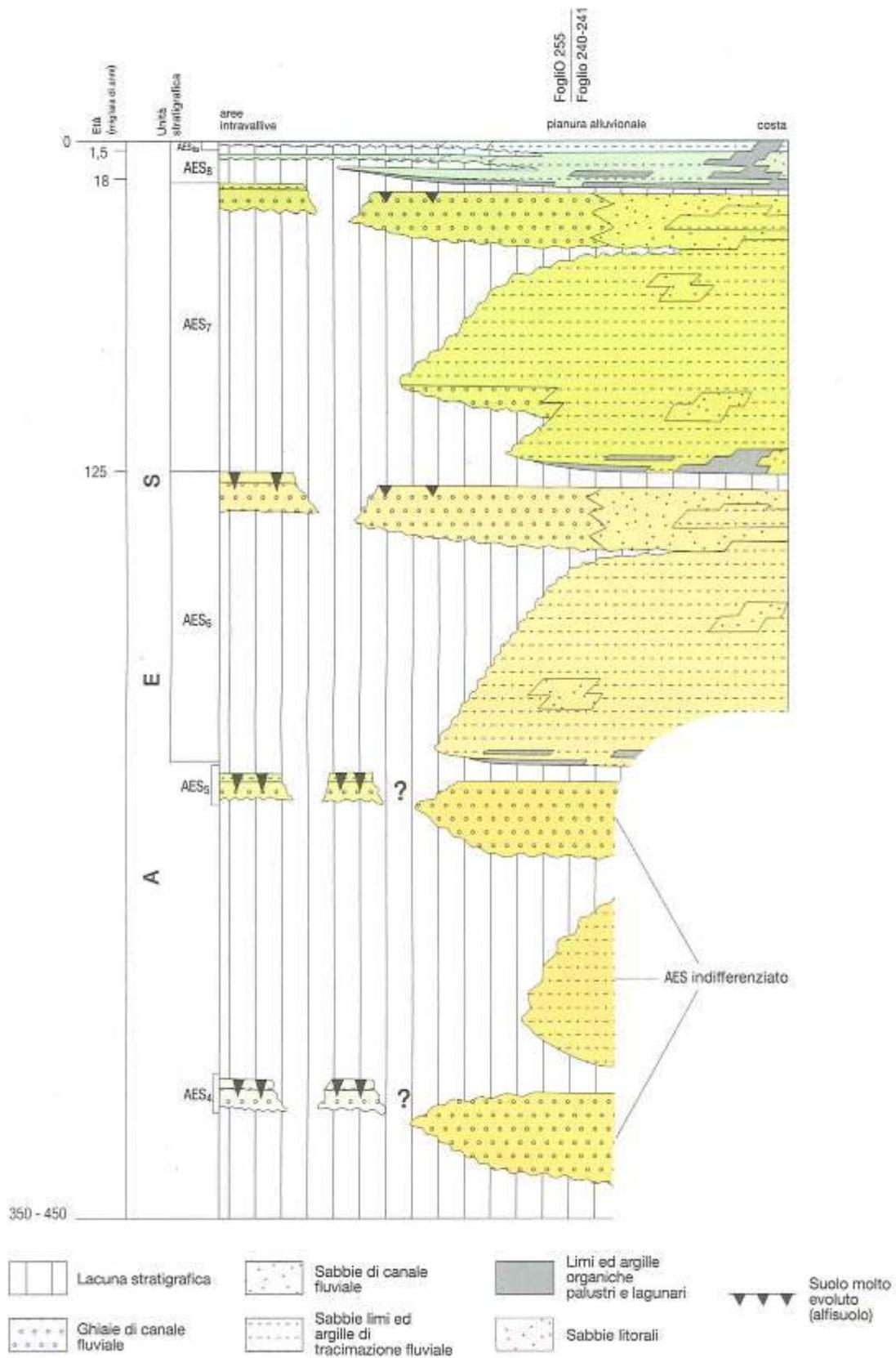


Figura n. 15 - Schema cronostratigrafico del sistema emiliano-romagnolo superiore (AES).

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

I rilievi dei microtremori, effettuati in questa sede, mostrano che nel sottosuolo del Comune di Cesenatico è generalmente presente un solo picco rappresentativo caratterizzato da una frequenza piuttosto bassa connessa a una discontinuità profonda.

Nell'assetto litostratigrafico locale il *bedrock* sismico risulta pertanto posizionabile ad una profondità dal piano di campagna decisamente superiore a 100 metri.

 ANTONIAZZI <small>GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE</small> <small>GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	26 di 72

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 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, riportata in dettaglio nel documento "Indagini penetrometriche e geofisiche realizzate in questo studio", 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 (figura n. 16).

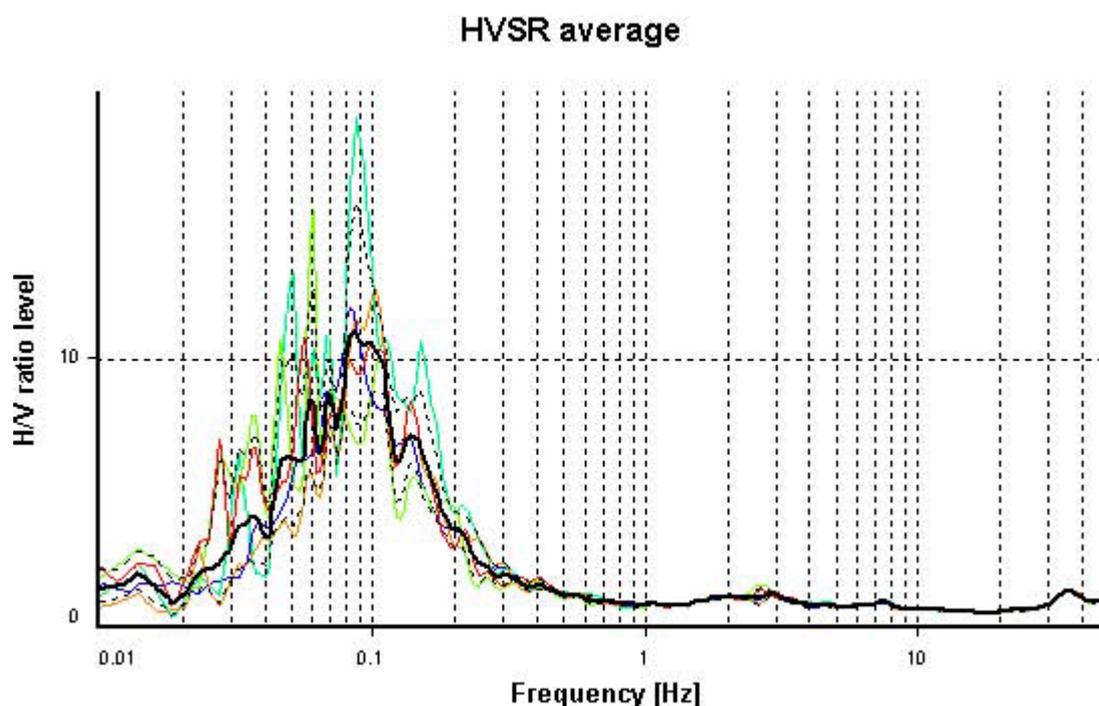


Figura n. 16 - Esempio di diagramma ottenuto da una prova HVSR eseguita a Cesenatico.

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. In genere le misure soddisfano i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Solo le misure 040008P964HVSR965, 040008P952HVSR953,

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	27 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

040008P950HVSR951, 040008P923HVSR924 e 040008P917HVSR918 non rispettano il secondo criterio.

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 azimuthali 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 due casi (040008P932HVSR933 e 040008P920HVSR921) 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 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 di 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

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	28 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

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:

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

dove: **Vs_{30}** è la velocità sismica ponderata su 30 metri delle onde trasversali, **h_i** è lo spessore dell'orizzonte iesimo nei 30 metri di riferimento, **V_i** e' la velocità delle onde S dell'orizzonte iesimo di spessore h.

I valori ottenuti sono riportati nella specifica documentazione allegata "Indagini penetrometriche e geofisiche realizzate in questo studio".

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	29 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

6.1. Prima fase del lavoro

Nella prima fase di lavoro, considerando l'intero territorio del Comune di Cesenatico, ma con particolare riferimento alle aree 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.

Nella prima fase di lavoro sono stati realizzati 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 nell'ambito della presente ricerca, distinte in base alla specifica tipologia (sondaggi, penetrometrie, pozzi, prove geofisiche ecc.);
- **Carta geologico-tecnica (scala 1:10.000)** - Nella realizzazione di questa carta è stata particolarmente curata l'evidenziazione degli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie. Nella sua redazione, oltre ai dati acquisiti durante i sopralluoghi effettuati, sono stati tenuti presenti sia i rilievi ufficiali disponibili [cartografia geologica ufficiale nazionale (Servizio Geologico d'Italia) e regionale (Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna)], sia i documenti geologici predisposti in sede di pianificazione urbanistica comunale e sovra comunale, sia altre valide indagini su specifiche caratteristiche (geologiche, geomorfologiche, litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) del territorio considerato;
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:10.000)** - La carta presenta l'ubicazione dei punti ove sono state eseguite le indagini di sismica passiva (misure HVSR) con l'indicazione del valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (*frequenza principale*). A fianco di ciascuno di questi simboli 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*);
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:10.000)** - In questa carta sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone di attenzione per l'instabilità, ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello, e zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello, all'interno delle quali sono state operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

6.2. Seconda fase del lavoro

La seconda fase del presente lavoro, la cui esecuzione ha seguito in continuità l'esecuzione della prima, ha portato alla Microzonazione Sismica del territorio comunale di Cesenatico.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	30 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

- **Carta delle Vs (scala 1:10.000)** - In questa carta è precisata l'ubicazione degli stendimenti per determinazioni MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), concernenti il territorio in esame, con precisato il rispettivo valore di V_{s30} .
- **Carte di microzonazione sismica di livello 2 (scala 1:10.000)** - In queste carte sono raffigurate le amplificazioni stimate, mediante procedure semplificate, del territorio in esame. Tali amplificazioni sono state quantificate sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0). Sono stati, in particolare, predisposti i seguenti elaborati cartografici:
 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 - FA_{PGA} (scala 1:10.000);
 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 - $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$ (scala 1:10.000);
 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 - $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$ (scala 1:10.000).

6.3. Terza fase del lavoro

La terza fase del lavoro è stata sviluppata su alcuni settori delle Zone di attenzione per liquefazione tipo 1, ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

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:

- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 (scala 1:10.000)** - In questa carta sono riportate le zone suscettibili di instabilità per liquefazione ove 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 Livello 3 - FA_{PGA} (scala 1:10.000);
 - Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$ (scala 1:10.000);
 - Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$ (scala 1:10.000).
- **Verifiche del potenziale di liquefazione** - In questo elaborato, allegato alla presente relazione, sono raccolte le verifiche del potenziale di liquefazione realizzate.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	31 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

7. ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1. Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini in scala 1:10:000, concernente il territorio comunale di Cesenatico è riportata l'ubicazione di tutte indagini in sito acquisite o realizzate nell'ambito della presente ricerca. Nella relativa legenda esse sono così distinte:

- Sondaggio a carotaggio continuo
- Sondaggio a distruzione di nucleo
- Sondaggio con piezometro
- Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- Prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPE)
- Prova penetrometrica statica con piezocono (CPU)
- Prova penetrometrica dinamica pesante (DP)
- Prova penetrometrica dinamica leggera (DL)
- Pozzo per acqua
- Pozzo per idrocarburi
- Stazione microtremore a stazione singola (HVSR)
- MASW
- Prova REfraction Microtremors
- Profilo sismico a rifrazione

Nella carta sono inoltre indicati i confini del Comune e i limiti delle aree oggetto di microzonazione sismica.

TABELLA N. 3 - PROVE IN SITO ACQUISITE O REALIZZATE

PROVA IN SITO	ARCHIVIO			PROVE REALIZZATE IN QUESTA SEDE	TOTALE
	RER	PROVINCIA	COMUNE		
Sondaggi a carotaggio continuo	14	2	36		52
Sondaggi a distruzione di nucleo			2		2
Sondaggi con piezometro			4		4
Pozzi per idrocarburi	1				1
Pozzi per acqua	97		31		128
Microtremori (HVSR)	110	13		86	209
Prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)			4		4
Prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)		6	52		58
Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)	16		14	10	40
Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTE)			4		4
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)	40	11	441		492
MASW			24	16	40
REMI			3		3
Sismica a rifrazione			3		3
Totale	278	32	618	112	1040

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	32 di 72

7.2. Carta geologico-tecnica per microzonazione sismica

Nella realizzazione della Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica in scala 1:10.000 sono state utilizzate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate, com'è già stato fatto rilevare, da un apposito rilievo di superficie e dall'acquisizione della relativa documentazione nazionale, regionale, provinciale e comunale disponibile.

Il lavoro effettuato ha consentito di definire il modello del sottosuolo di Cesenatico, già descritto, ed è stato funzionale anche alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:10.000).

Nelle figure n. 17, 18, 19, 20 e 21 sono riportate alcune sezioni geologiche, idonee a precisare ulteriormente il modello geologico locale, ricavate dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. La loro individuazione è evidente nella carta geologico-tecnica in scala 1:10.000.

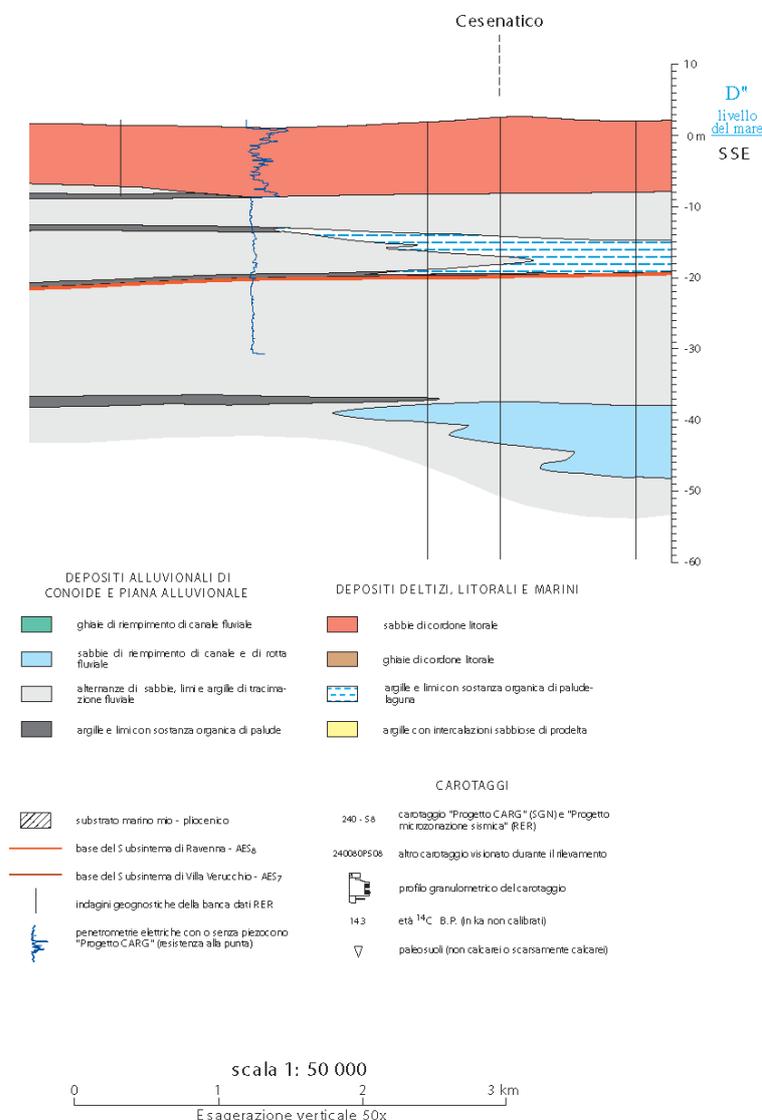


Figura n. 17 - Sezione 020 sviluppata parallelamente alla costa da Cesenatico verso Cervia (ID_el = 5).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	33 di 72

SEZIONE COSTIERA

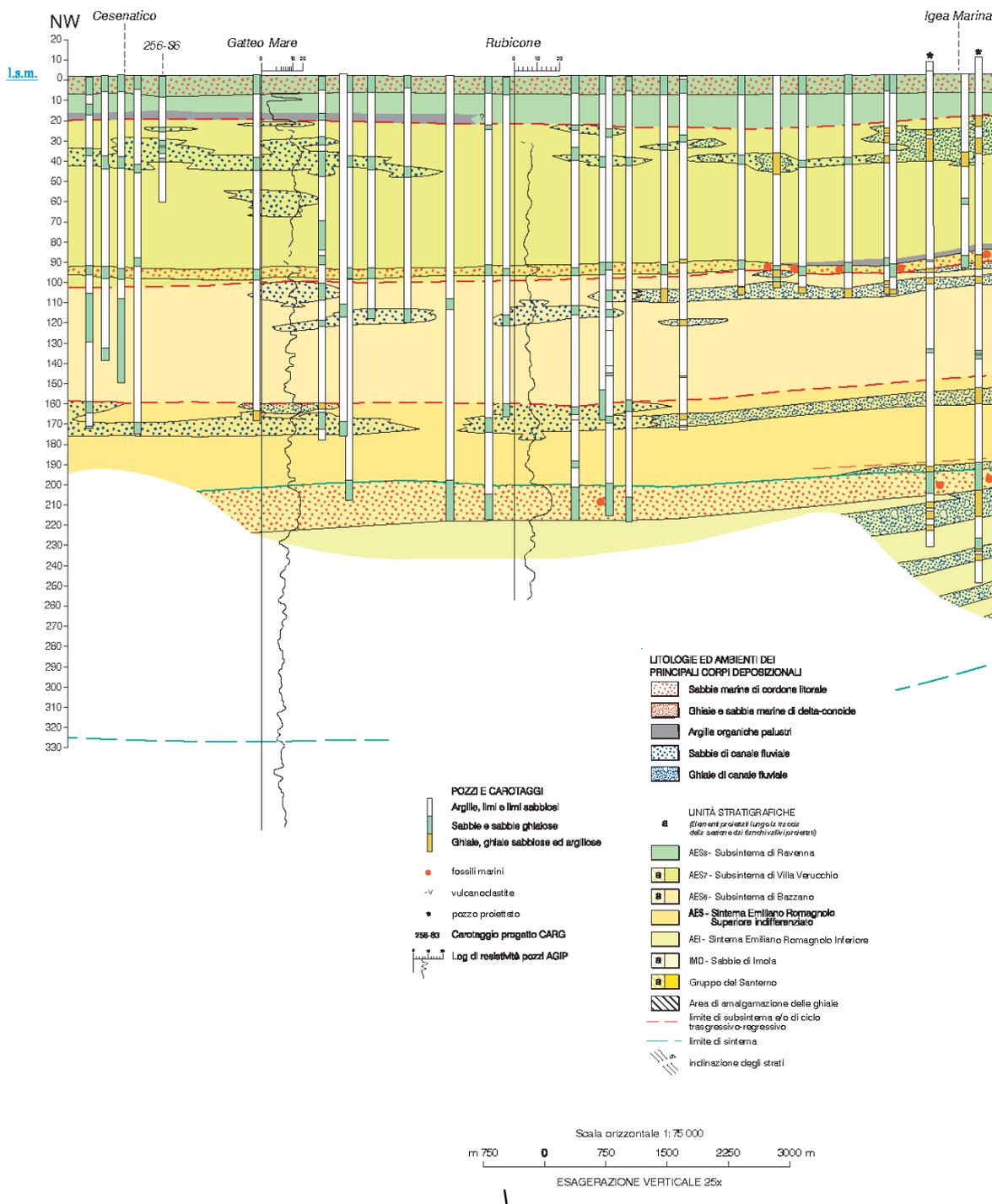


Figura n. 18 - Sezione 059 sviluppata parallelamente alla costa da Cesenatico verso Rimini Cervia (ID_el = 3).

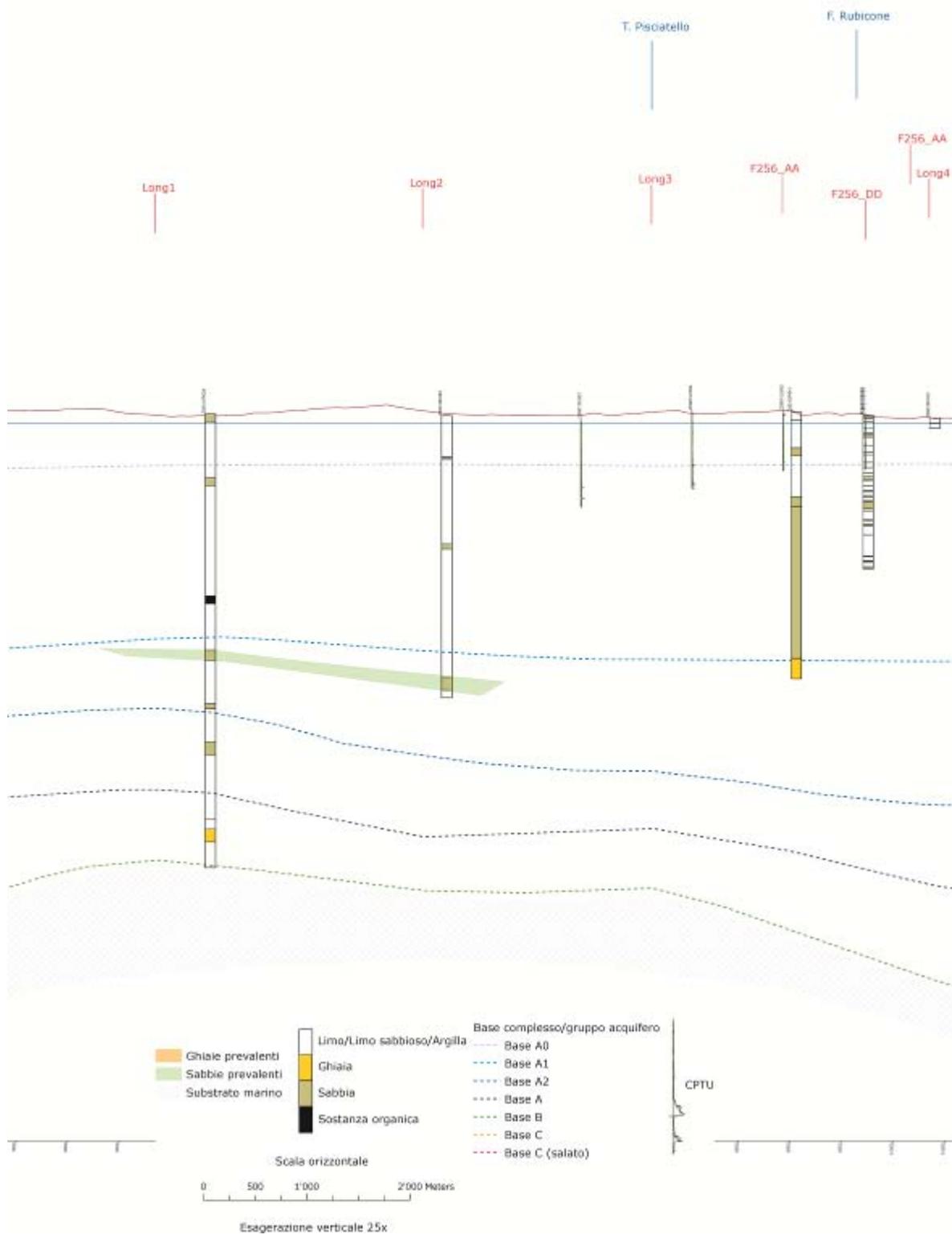


Figura n. 19 - Sezione 145 sviluppata parallelamente alla costa passante nei pressi di Borella Cervia (ID_el = 2).

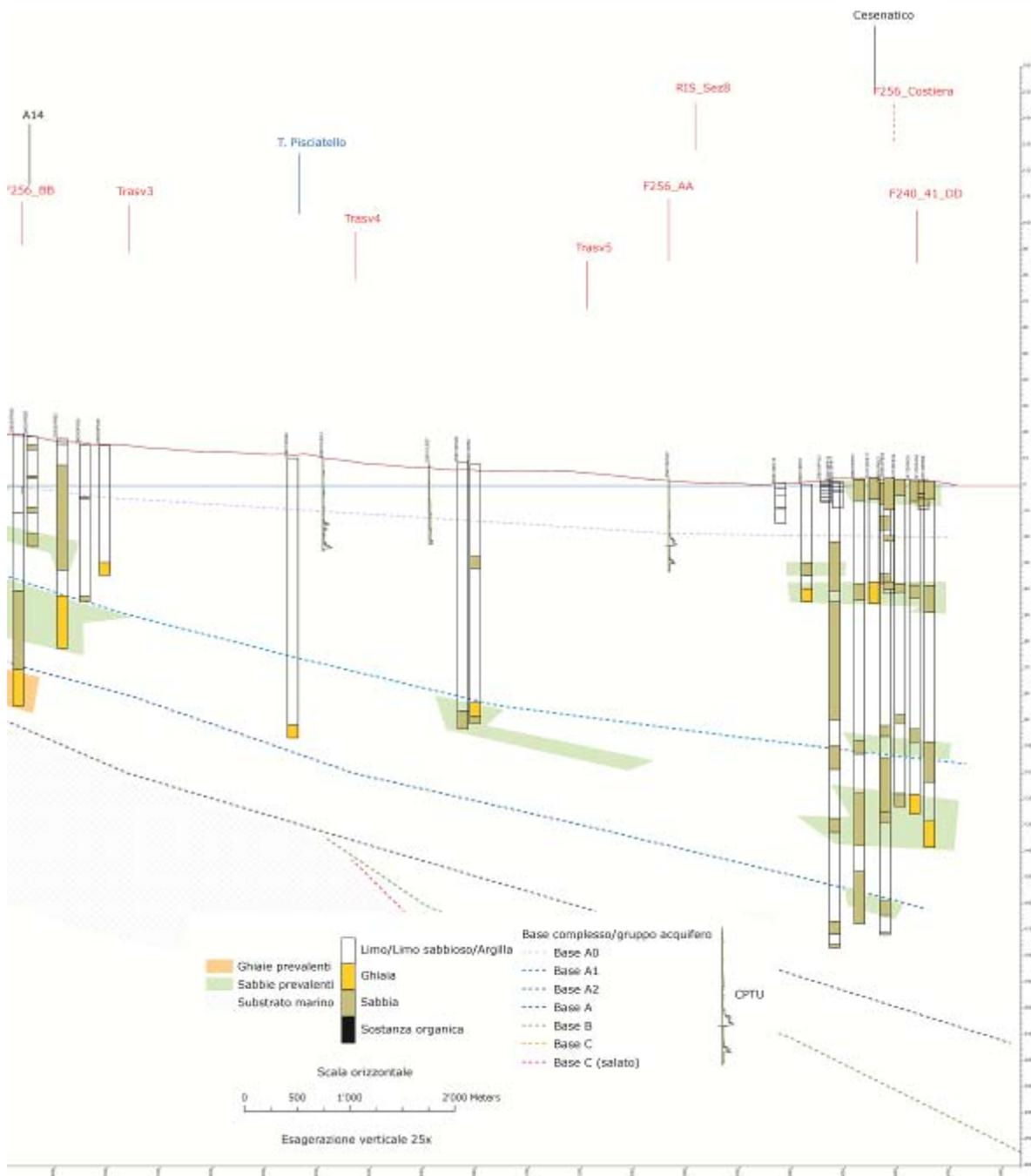


Figura n. 20 - Sezione 137 sviluppata perpendicolarmente alla costa passante da Cesenatico Cervia (ID_el = 1).

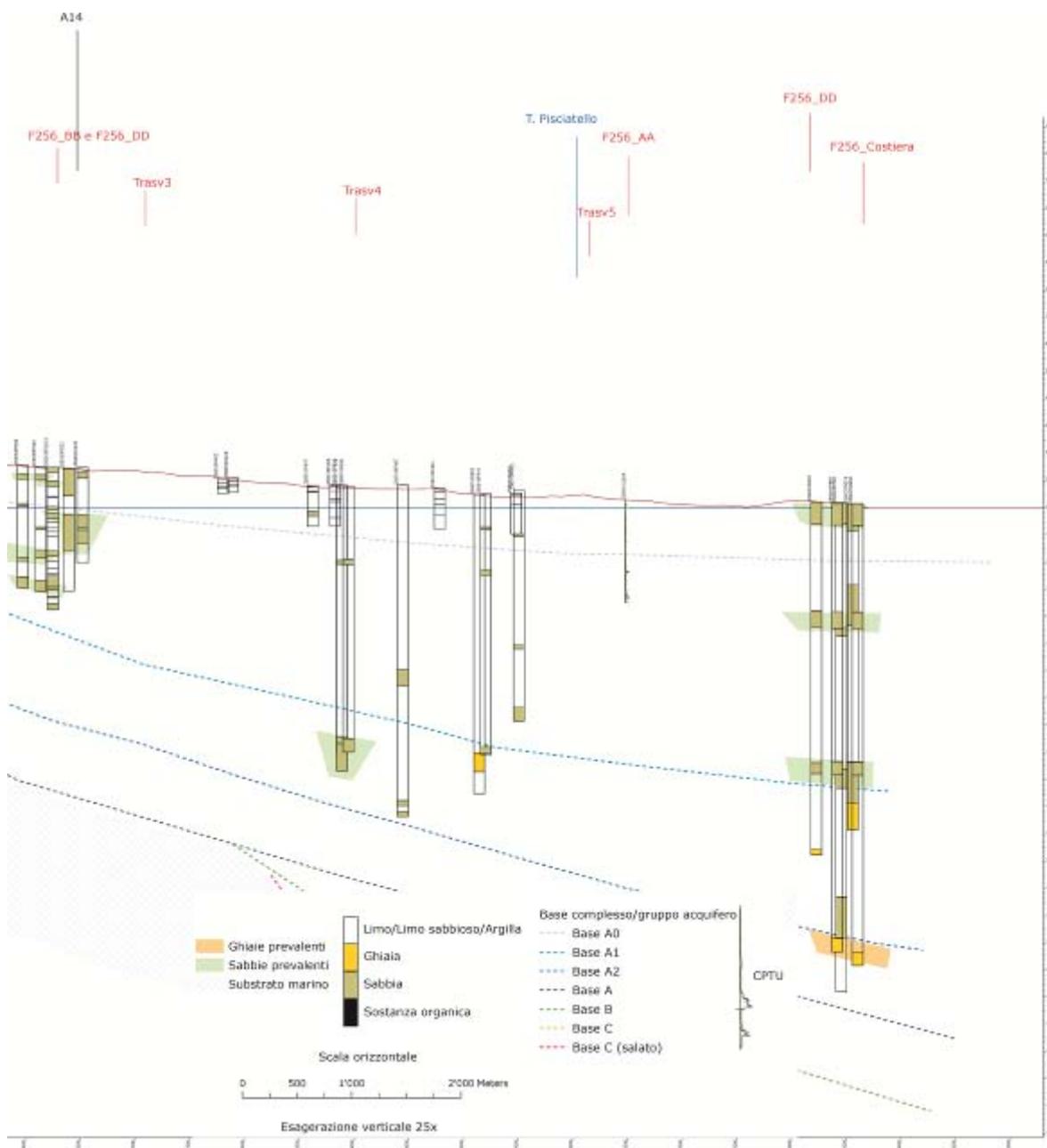


Figura n. 21 - Sezione 138 sviluppata perpendicolarmente alla costa passante da Valverde Cervia (ID_el = 4).

Dall'esame delle sezioni, riportate nelle figure n. 17, 18, 19, 20 e 21 risulta che nel sottosuolo del Comune di Cesenatico, com'è evidente in particolare nella sezione riportata nella figura n. 18, è presente una successione stratigrafica costituita, procedendo dalla superficie verso il basso, da:

- sedimenti di varia litologia di pertinenza del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES), contraddistinto, all'aumentare della profondità, dalla sequenza costituita dal Subsintema di Ravenna (AES8), dal Subsintema di Villa Verucchio (AES7) e dal Subsintema di Bazzano (AES6) ed infine da AES indifferenziato;

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	37 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

- sedimenti di varia litologia di pertinenza del Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (AEI);
- sedimenti di pertinenza delle Sabbie di Imola (IMO), evidenziati da sondaggi eseguiti nella zona di Rimini.

I depositi del Subsintema di Ravenna (AES₈) raggiungono profondità massime di 18-20 metri rispetto al piano di campagna. La base del Subsintema di Villa Verucchio (AES₇), a seconda delle posizioni, si trova ad una profondità variabile tra i 50 e i 100 metri, che si accentua procedendo dal riminese verso Cesenatico. La base del Subsintema di Bazzano (AES₆), presenta un andamento analogo a quella di AES₇ e profondità massime variabili tra 80 e 160 metri. La base dell'intero AES locale è situata, al di sotto della superficie, a profondità dell'ordine di 180-200 metri. A loro volta, per i sedimenti di varia litologia di pertinenza del Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (AEI) si è ipotizzato che raggiungano nella zona di Cesenatico profondità dell'ordine di 320-330 metri rispetto alla superficie. Nella zona in esame sono però meno note che nel riminese le distinzioni litologiche. Inoltre nel riminese è certo il loro appoggio sulle Sabbie di Imola (IMO).

Con simili caratteristiche del sottosuolo, è facile comprendere come nel territorio del Comune di Cesenatico non sia facile ipotizzare quale orizzonte corrisponda al substrato rigido.

Certamente, con l'incremento della profondità, aumentano i depositi addensati e il relativo aumento delle Vs. Va però tenuto presente che i profili di Vs, in ciascuna verticale, risentono in modo significativo anche delle caratteristiche dei tipi litologici attraversati, con evidenti incrementi al passaggio da un orizzonte fine ad uno prevalentemente ghiaioso e un corrispondente decremento nella situazione opposta.

Nell'assetto litostratigrafico locale il *bedrock* sismico risulta pertanto posizionabile ad una profondità dal piano di campagna decisamente superiore a 100 metri e potrebbe coincidere con le Sabbie di Imola (IMO) o con il sottostante Gruppo del Santerno.

Alla luce di queste valutazioni, nel presente studio la profondità del substrato sismico è sempre stata assunta superiore a 100 metri, limite fissato nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, per distinguere tra un profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 e PIANURA 2 e un profilo stratigrafico tipo COSTA 1/2 e COSTA 3.

Nella Carta geologico-tecnica, con riferimento allo Standard di Rappresentazione e archiviazione informatica (SRAI) Microzonazione sismica, versione 3, sono state distinte, in base alle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

- **SMcl** – *Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di cordone litoraneo*: unità cartografata nel settore costiero, caratterizzato dalla presenza di depositi sabbiosi nel primo sottosuolo.
- **SCcl** – *Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla di cordone litoraneo*: unità cartografata nel settore costiero, caratterizzato dalla presenza di depositi sabbiosi nel primo sottosuolo più sottili rispetto alla precedente.
- **CLpi** – *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile*: unità nella quale sono state inserite tutte le aree dove, il primo sottosuolo, è costituito da depositi prevalentemente fini.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	38 di 72

Le seguenti figure (22, 23 e 24) mostrano le stratigrafie tipo delle unità indicate in precedenza:

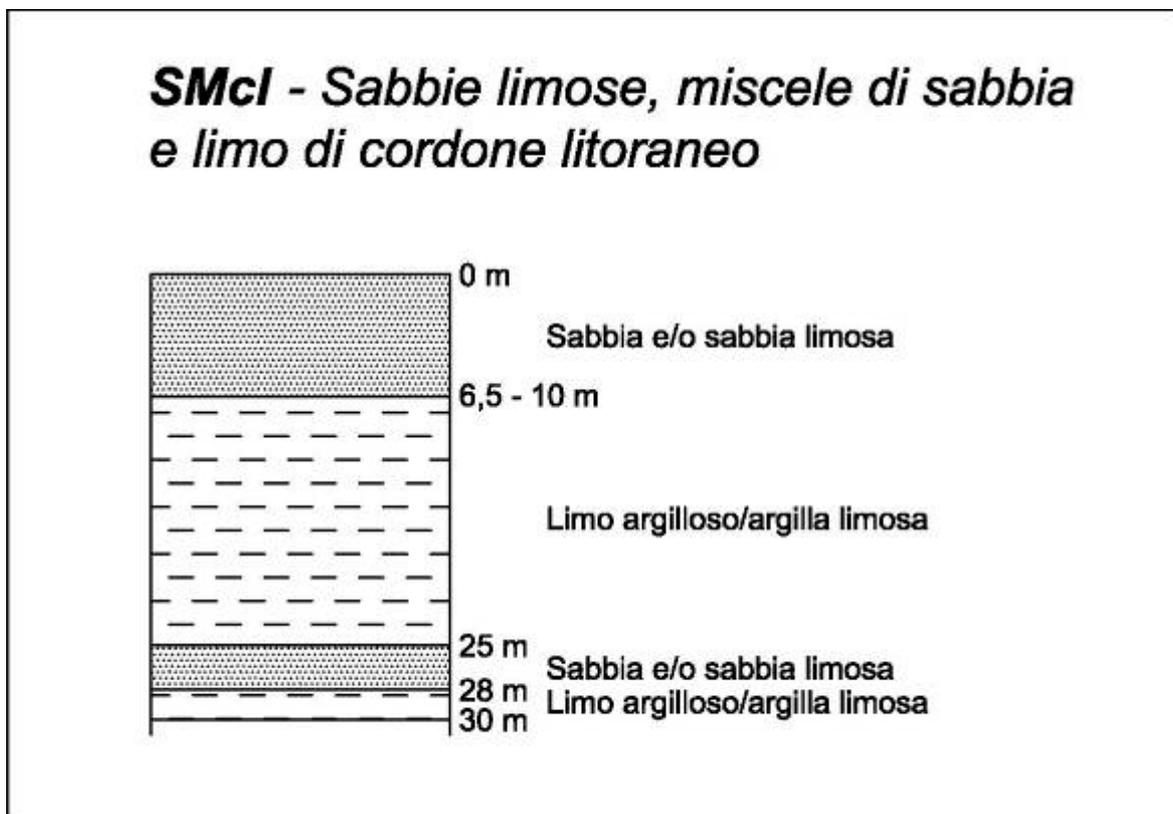


Figura n. 22 - Stratigrafia Tipo **SMcl**.

SCcl - Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla di cordone litoraneo

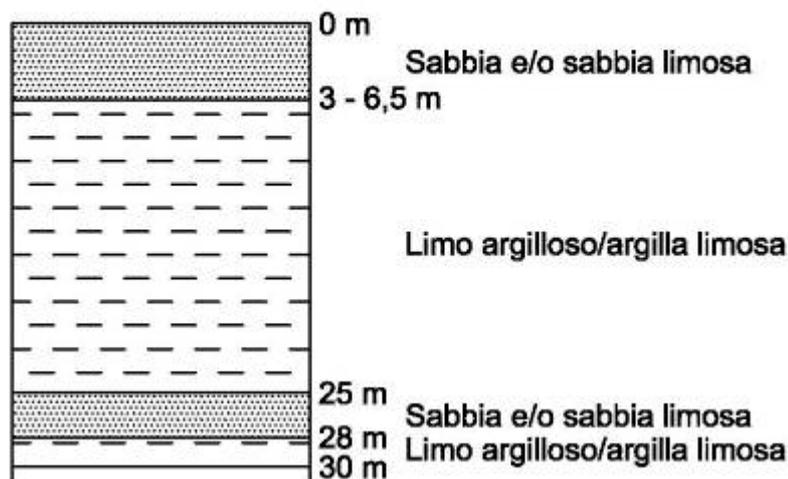


Figura n. 23 - Stratigrafia Tipo SCcl.

CLpi - Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile

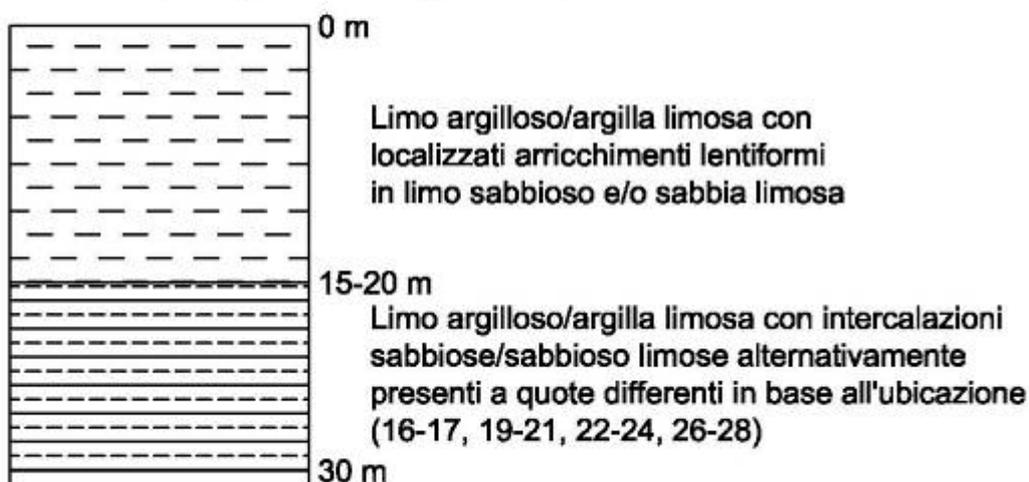


Figura n. 24 - Stratigrafia Tipo CLp.

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

Nella Carta geologico-tecnica sono indicati anche i sondaggi a carotaggio continuo che hanno raggiunto il substrato geologico (con indicazione della profondità del substrato), i sondaggi che non hanno raggiunto il substrato geologico (con indicazione della loro profondità) e, nelle aree con sabbia e/o ghiaia, il livello della prima falda desunto dalle prove in sito disponibili.

7.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni

Nella Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:10.000, realizzata utilizzando i dati dei microtremori disponibili (di provenienza archivistica o acquisiti nell'ambito del presente studio), sono stati ubicati i 209 punti ove sono state effettuate le misure HVSR. Accanto all'indicazione di ciascuna prova è stato indicato il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (*frequenza principale*) e, quando presente, il valore di un secondo picco significativo (*frequenza secondaria*), meno evidente del primo.

Per rendere graficamente più evidenti le variazioni di questi valori in relazione alla reciproca posizione, conformemente a quanto prescrivono gli indirizzi tecnici, sono stati utilizzati colori diversi per distinguere le prove a seconda della frequenza principale. A tale scopo sono state definite le seguenti classi:

- $F_0 \leq 1$ Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$ Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$ Hz
- $F_0 > 8$ Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un alto contrasto di impedenza ($H/V > 3$) o da un basso contrasto di impedenza (ampiezza $H/V \leq 3$). Un particolare simbolo indica anche l'assenza di picchi significativi.

Poiché le 86 prove HVSR, eseguite nell'ambito di questo lavoro, coprono esaurientemente l'intero territorio in esame, com'è evidente nella figura n. 25, sono state realizzate con la stessa strumentazione e sono state elaborate con la stessa metodologia, è parso opportuno riferirsi ad esse per definire la specifica situazione del Comune di Cesenatico.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	41 di 72

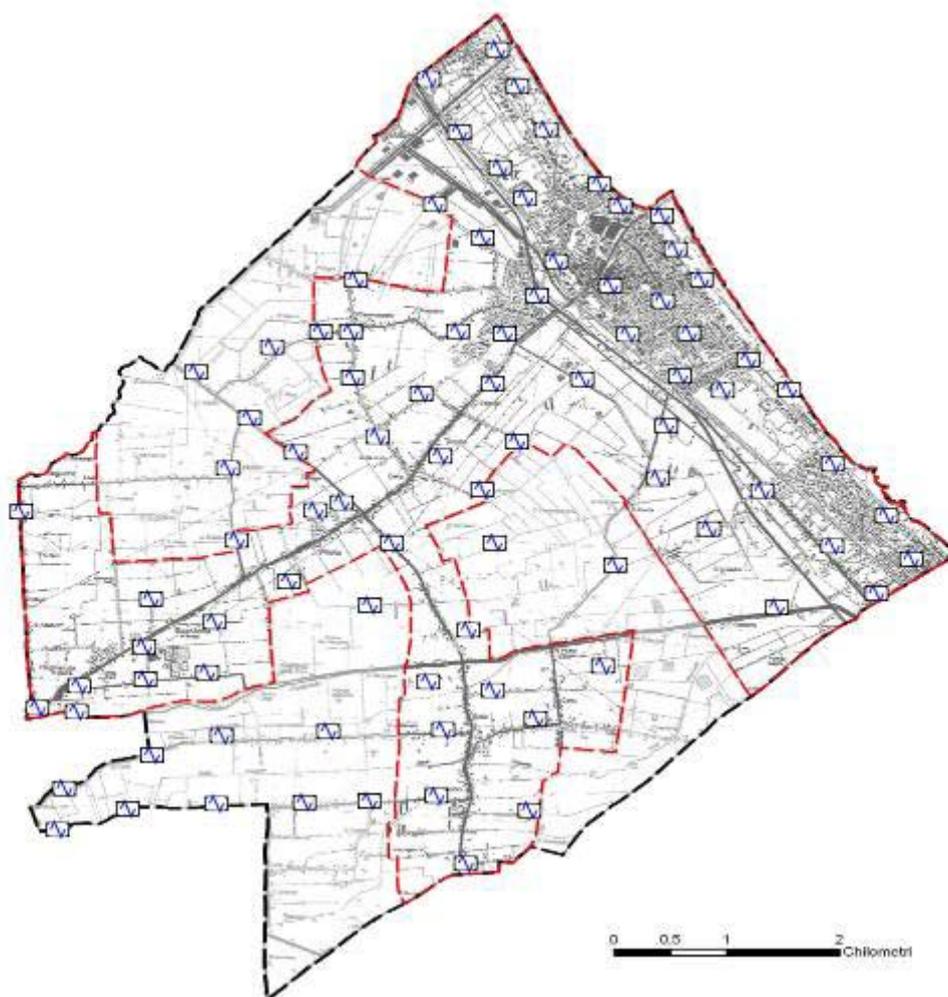


Figura n. 25 - Ubicazione delle 86 prove HVSR eseguite nel territorio del Comune di Cesenatico durante l'attuazione del presente studio.

La tabella n. 4 fornisce il quadro riepilogativo dei risultati delle prove tromografiche, effettuate nel territorio del Comune di Cesenatico durante l'attuazione del presente studio, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza del picco principale, oltre all'ubicazione e all'unità di appartenenza.

TABELLA N. 4 - QUADRO D'ASSIEME DELLE PROVE DEI MICROTREMORI, APPPOSITAMENTE REALIZZATE NEL COMUNE DI CESENATICO NELL'AMBITO DEL PRESENTE STUDIO.

Prova	MOPS	Unità di appartenenza	Picco principale (F0)	
			Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V maggiore di 3
040008P897	2001	Deposito alluvionale	0,090	s
040008P898	2001	Deposito alluvionale	0,154	s
040008P899	2001	Deposito alluvionale	0,141	s
040008P900	2001	Deposito alluvionale	0,123	s
040008P901	2001	Deposito alluvionale	0,134	s
040008P902	2001	Deposito alluvionale	0,126	s
040008P903	2001	Deposito alluvionale	0,146	s

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> approfondimenti di terzo

040008P904	2001	Deposito alluvionale	0,123	s
040008P905	2001	Deposito alluvionale	0,126	s
040008P906	2001	Deposito alluvionale	0,146	s
040008P907	2001	Deposito alluvionale	0,119	s
040008P908	2001	Deposito alluvionale	0,130	s
040008P909	2001	Deposito alluvionale	0,158	s
040008P910	2001	Deposito alluvionale	0,137	s
040008P911	2001	Deposito alluvionale	0,134	s
040008P912	2001	Deposito alluvionale	0,123	s
040008P913	2001	Deposito alluvionale	0,137	s
040008P914	2001	Deposito alluvionale	0,141	s
040008P915	2001	Deposito alluvionale	0,158	s
040008P916	2001	Deposito alluvionale	0,123	s
040008P917	2001	Deposito alluvionale	0,109	s
040008P918	2001	Deposito alluvionale	0,146	s
040008P919	2001	Deposito alluvionale	0,092	s
040008P920	2001	Deposito alluvionale	0,123	n
040008P921	2001	Deposito alluvionale	0,116	s
040008P922	2001	Deposito alluvionale	0,154	s
040008P923	2001	Deposito alluvionale	0,109	s
040008P924	2001	Deposito alluvionale	0,193	n
040008P925	2001	Deposito alluvionale	0,146	n
040008P926	2001	Deposito alluvionale	0,150	s
040008P927	2001	Deposito alluvionale	0,134	s
040008P928	2001	Deposito alluvionale	0,193	n
040008P929	2001	Deposito alluvionale	0,154	s
040008P934	2001	Deposito alluvionale	0,137	s
040008P935	2001	Deposito alluvionale	0,154	s
040008P936	2001	Deposito alluvionale	0,098	s
040008P937	2001	Deposito alluvionale	0,116	s
040008P938	2001	Deposito alluvionale	0,137	n
040008P939	2001	Deposito alluvionale	0,150	s
040008P953	2001	Deposito alluvionale	0,150	s
040008P954	2001	Deposito alluvionale	0,130	s
040008P955	2001	Deposito alluvionale	0,109	s
040008P956	2001	Deposito alluvionale	0,137	n
040008P959	2001	Deposito alluvionale	0,173	s
040008P960	2001	Deposito alluvionale	0,123	s
040008P962	2001	Deposito alluvionale	0,146	s
040008P967	2001	Deposito alluvionale	0,098	s
040008P968	2001	Deposito alluvionale	0,082	s
040008P969	2001	Deposito alluvionale	0,098	s

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	43 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

040008P970	2001	Deposito alluvionale	0,126	s
040008P971	2001	Deposito alluvionale	0,158	s
040008P972	2001	Deposito alluvionale	0,146	n
040008P973	2001	Deposito alluvionale	0,060	n
040008P974	2001	Deposito alluvionale	0,103	s
040008P975	2001	Deposito alluvionale	0,146	n
040008P976	2001	Deposito alluvionale	0,150	s
040008P977	2001	Deposito alluvionale	0,130	s
040008P978	2001	Deposito alluvionale	0,109	s
040008P979	2001	Deposito alluvionale	0,137	s
040008P980	2001	Deposito alluvionale	0,130	s
040008P981	2001	Deposito alluvionale	0,146	n
040008P982	2001	Deposito alluvionale	0,173	n
040008P930	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,178	n
040008P931	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,154	s
040008P932	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,178	s
040008P933	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,297	n
040008P940	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,098	s
040008P941	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,098	s
040008P942	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,158	s
040008P943	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,119	s
040008P944	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,098	s
040008P945	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,082	s
040008P946	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,098	s
040008P947	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,126	s
040008P948	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,158	n
040008P949	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,146	s
040008P950	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,060	s
040008P951	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,103	s
040008P952	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,146	s
040008P957	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,130	s
040008P958	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,146	s
040008P961	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,095	s
040008P963	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,130	s
040008P964	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,134	s
040008P965	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,158	s
040008P966	3050	Cordone Sabbioso del litorale	0,119	s

I dati indicati nella tabella precedente sono stati utilizzati per ottenere il grafico riportato nella figura n. 26.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	44 di 72

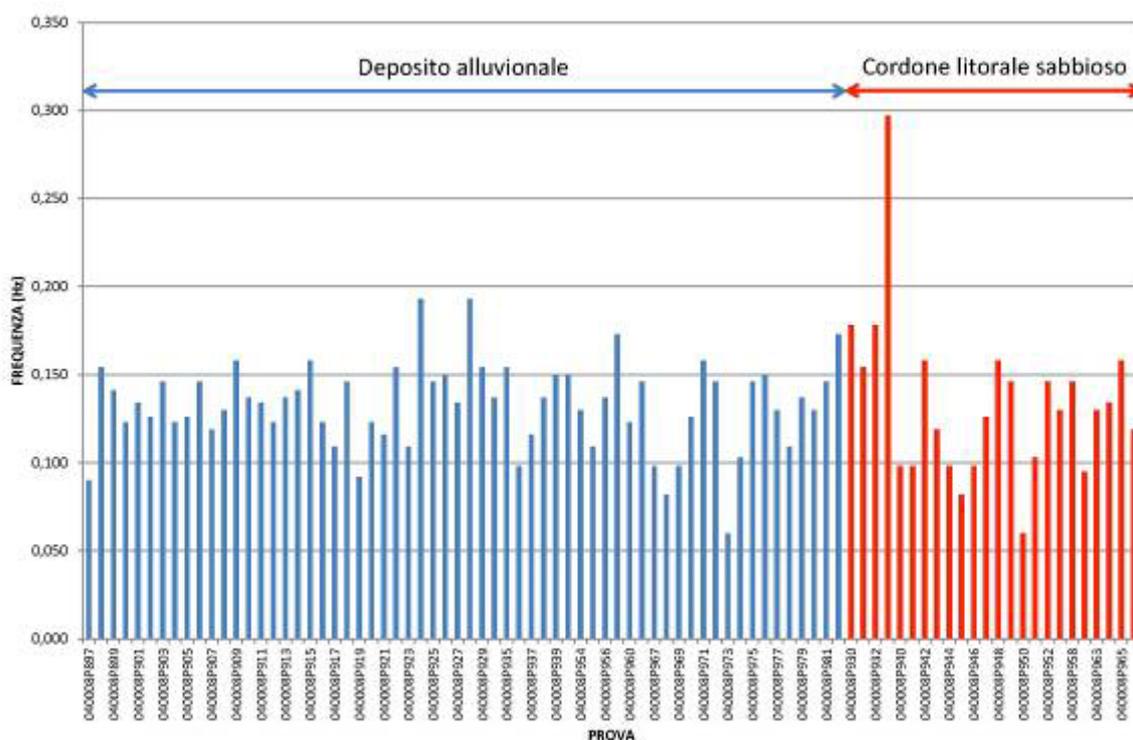


Figura n. 26 - Picchi principali (F_0) dei microtremori rilevati nel presente studio.

I risultati dell'elaborazione statistica dei valori dei picchi principali (F_0) rilevati nel presente studio nel territorio comunale di Cesenatico sono compendati nella tabella n. 5. Ne deriva che i terreni locali presentano una significativa omogeneità dei valori di frequenza nei picchi principali (F_0) rilevati.

TABELLA N. 5 - DATI STATISTICI RELATIVI AI PICCHI PRINCIPALI (F_0) DEI MICROTREMORI RILEVATI

Frequenza (Hz)	Tutti i dati rilevati	Cordone sabbioso del litorale (zona 3050)	Deposito alluvionale (zona 2001)
Media	0,13	0,13	0,13
Minima	0,06	0,06	0,06
Massima	0,30	0,30	0,19
Deviazione Standard	0,03	0,05	0,02

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

7.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in scala 1:10.000 del Comune di Cesenatico è il documento fondamentale del primo livello di approfondimento ed è stata costruita sulla base degli elementi predisponenti alle amplificazioni e alle instabilità sismiche, definiti nell'ambito del presente studio. In funzione delle informazioni acquisite, il territorio viene generalmente suddiviso con riferimento alle seguenti categorie:

- 1) **zone stabili** - Aree con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
- 2) **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** - Aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.
- 3) **zone di attenzione per l'instabilità**. Aree nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre ai fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione. In particolare le Zone di Attenzione per liquefazione sono le zone nelle quali gli studi di Livello 1 hanno verificato che esistono 4 condizioni predisponenti:
 1. terreni sabbiosi;
 2. falda a profondità inferiore a 15 metri;
 3. Mw attesa al sito >5;
 4. accelerazioni massime in superficie (PGA) >0.1g.

Tuttavia è necessario precisare che tali zone hanno un livello di approfondimento comparabile con le altre zone di questo livello e, pertanto, non possono essere ancora classificate come zone effettivamente instabili, fintanto che non vengano esperiti i necessari approfondimenti propri del Livello 3. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Nel territorio di Cesenatico, come si può osservare nella relativa Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, non è presente la categoria 1 - zone stabili. Figurano invece le categorie 2 e 3.

Appartengono alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali le aree identificate come *ZONA 1 - successione stratigrafica costituita da prevalenti depositi fini costituiti da miscele di limi e argille, con subordinate intercalazioni di livelli sabbiosi e sabbioso limosi*. Questa microzona omogenea è dotata di un proprio profilo stratigrafico tipo, riferito ai primi 30 metri di sottosuolo (figura n. 27).

Alle zone di attenzione per l'instabilità, corrispondenti all'area interessata dal Cordone sabbioso del litorale, è stato attribuito il codice 3050, *ZALQ1 - zona di attenzione per liquefazione tipo 1*. È una successione stratigrafica costituita da depositi sabbiosi, presenti fino a profondità variabili da -3,00 a -10,00 metri dal piano di campagna, sovrastanti depositi fini costituiti da miscele di limi e argille, con subordinate intercalazioni di livelli sabbiosi e sabbioso limosi. Questa microzona omogenea è dotata di un proprio profilo stratigrafico tipo, riferito ai primi 30 metri di sottosuolo (figura n. 28).

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	46 di 72

Nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica sono rappresentati anche i punti di misura del rumore ambientale, con l'indicazione del valore F_0 e l'asse di paleoalveo.

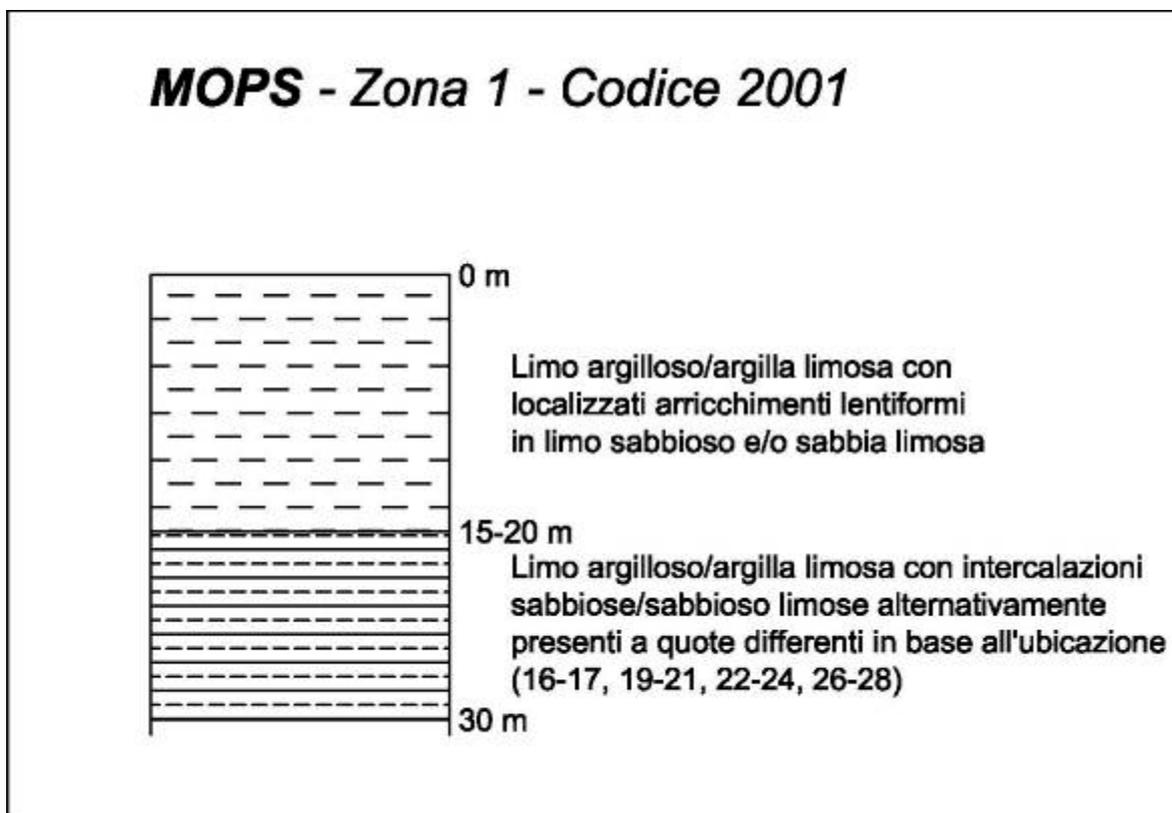


Figura n. 27 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 1 Cod. 2001.

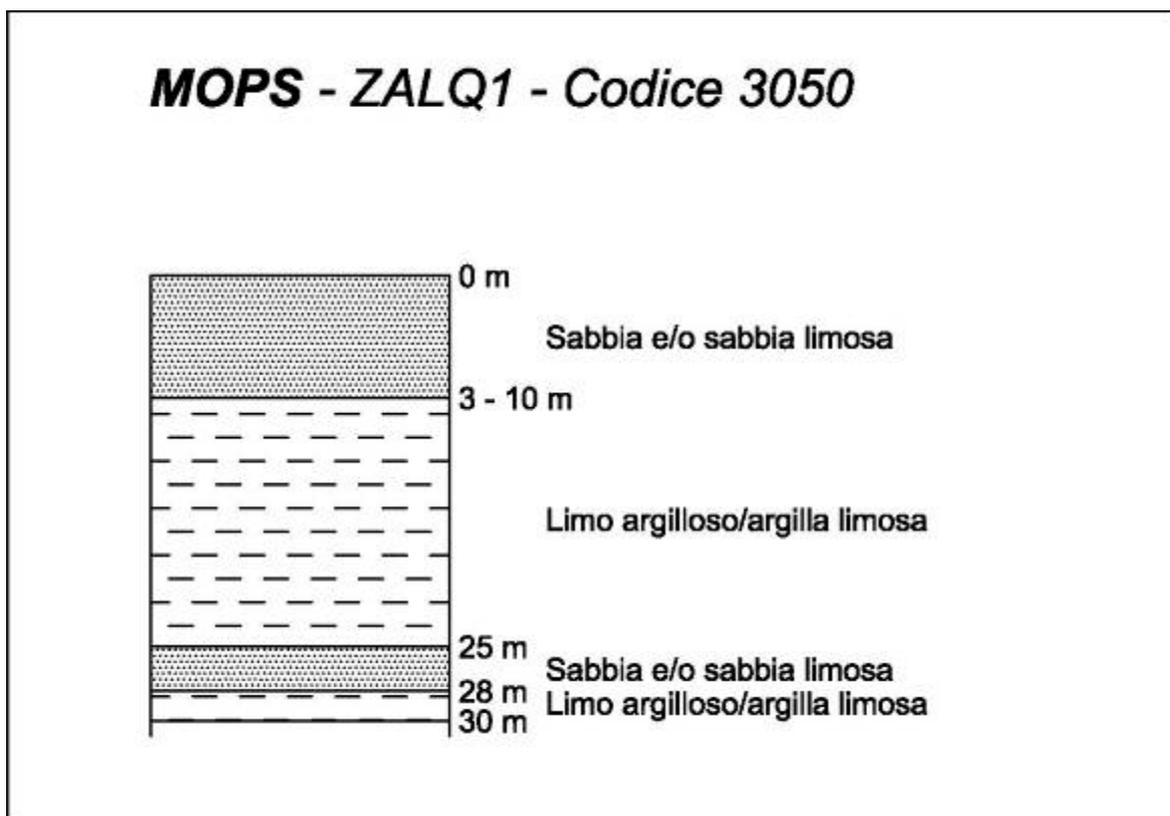


Figura n. 28 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZALQ1 Cod. 3050.

7.5. Carta delle velocità delle onde di taglio S

Nella Carta delle Vs in scala 1:10.000 del Comune di Cesenatico è precisata l'ubicazione degli stendimenti per determinazioni MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) disponibili presso l'archivio comunale (n. 24) o appositamente eseguite nell'ambito della presente ricerca (n. 16). Queste ultime sono state concentrate nella zona litoranea suscettibile di instabilità.

Accanto a ciascun stendimento è stato precisato il corrispondente valore di Vs₃₀ (in m/s). In tutte le misure effettuate, la profondità del substrato sismico (H) è risultata essere superiore a 30 metri (se fosse stata inferiore si sarebbe dovuto considerare Vs_H al posto di Vs₃₀).

La tabella n. 6 fornisce il quadro riepilogativo delle misure di velocità delle onde di taglio S a Cesenatico, indicando, oltre al valore di Vs₃₀, la loro ubicazione e unità di appartenenza.

TABELLA N. 6 - QUADRO D'ASSIEME DEI VALORI Vs₃₀ RISCONTRATI NEL COMUNE DI CESENATICO

Prova	MOPS	Unità di appartenenza	Vs30 (m/s)
040008L1MASW1VS1	3050	Cordone Sabbioso del litorale	195,0
040008L2MASW2VS2	3050	Cordone Sabbioso del litorale	279,0
040008L3MASW3VS3	3050	Cordone Sabbioso del litorale	342,0
040008L4MASW6VS4	2001	Deposito alluvionale	173,0
040008L5MASW8VS5	3050	Cordone Sabbioso del litorale	250,0
040008L6MASW9VS6	3050	Cordone Sabbioso del litorale	202,0
040008L7MASW10VS7	3050	Cordone Sabbioso del litorale	202,0

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> approfondimenti di terzo

040008L8MASW11VS8	3050	Cordone Sabbioso del litorale	263,0
040008L9MASW12VS9	3050	Cordone Sabbioso del litorale	272,0
040008L10MASW13VS10	2001	Deposito alluvionale	211,5
040008L11MASW14VS11	2001	Deposito alluvionale	180,0
040008L12MASW15VS12	2001	Deposito alluvionale	174,5
040008L13MASW16VS13	3050	Cordone Sabbioso del litorale	188,5
040008L14MASW17VS14	3050	Cordone Sabbioso del litorale	182,5
040008L15MASW18VS15	3050	Cordone Sabbioso del litorale	191,5
040008L16MASW19VS16	3050	Cordone Sabbioso del litorale	188,0
040008L17MASW20VS17	3050	Cordone Sabbioso del litorale	189,0
040008L18MASW21VS18	3050	Cordone Sabbioso del litorale	184,0
040008L19MASW22VS19	3050	Cordone Sabbioso del litorale	190,0
040008L20MASW23VS20	3050	Cordone Sabbioso del litorale	194,5
040008L21MASW24VS21	3050	Cordone Sabbioso del litorale	190,0
040008L22MASW25VS22	3050	Cordone Sabbioso del litorale	188,5
040008L23MASW26VS23	3050	Cordone Sabbioso del litorale	192,5
040008L24MASW27VS24	3050	Cordone Sabbioso del litorale	219,0
040008L15REMI28VS25	3050	Cordone Sabbioso del litorale	184,0
040008L17REMI30VS26	3050	Cordone Sabbioso del litorale	192,0
040008L16REMI29VS27	3050	Cordone Sabbioso del litorale	183,0
040008L25MASW31VS28	3050	Cordone Sabbioso del litorale	171,0
040008L26MASW32VS29	3050	Cordone Sabbioso del litorale	201,0
040008L27MASW33VS30	3050	Cordone Sabbioso del litorale	178,0
040008L28MASW34VS31	3050	Cordone Sabbioso del litorale	181,0
040008L29MASW35VS32	3050	Cordone Sabbioso del litorale	207,0
040008L30MASW36VS33	3050	Cordone Sabbioso del litorale	199,0
040008L31MASW37VS34	3050	Cordone Sabbioso del litorale	176,0
040008L32MASW38VS35	3050	Cordone Sabbioso del litorale	190,0
040008L33MASW39VS36	3050	Cordone Sabbioso del litorale	175,0
040008L34MASW40VS37	2001	Deposito alluvionale	186,0
040008L35MASW41VS38	3050	Cordone Sabbioso del litorale	194,0
040008L36MASW42VS39	3050	Cordone Sabbioso del litorale	205,0
040008L37MASW43VS40	3050	Cordone Sabbioso del litorale	236,0
040008L38MASW44VS41	3050	Cordone Sabbioso del litorale	211,0
040008L39MASW45VS42	3050	Cordone Sabbioso del litorale	187,0
040008L40MASW46VS43	3050	Cordone Sabbioso del litorale	192,0

L'andamento di questi dati è ulteriormente evidenziato dalla figura n. 29.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	49 di 72

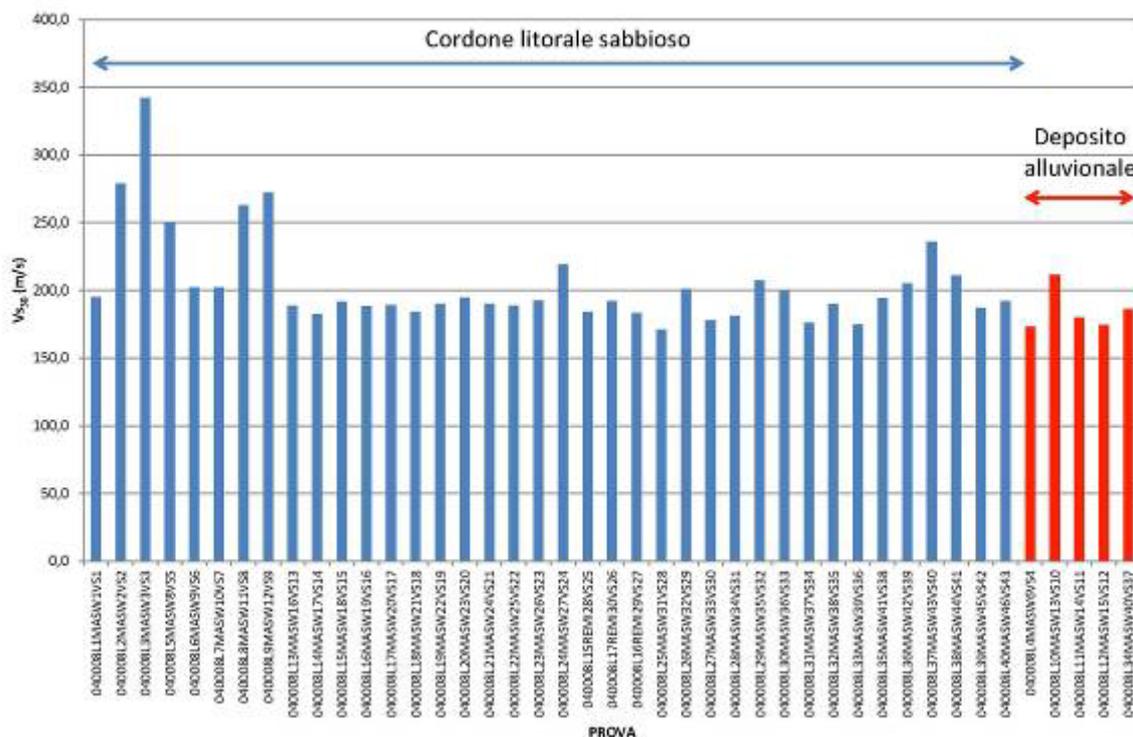


Figura n. 29 - Grafico dei valori V_{s30} riscontrati a Cesenatico.

I risultati dell'elaborazione statistica dei valori di V_{s30} disponibili nel territorio comunale di Cesenatico sono compendati nella tabella n. 7. Ne deriva che i terreni locali presentano una significativa omogeneità dei valori delle velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità.

TABELLA N. 7 - DATI STATISTICI RELATIVI AI VALORI V_{s30} RISCOINTRATI NEL COMUNE DI CESENATICO

V_{s30} (m/s)	Tutti i dati comunali	Cordone sabbioso del litorale (3050)	Deposito alluvionale (2001)
Media	202,09	204,34	185,00
Minima	171,00	171,00	173,00
Massima	342,00	342,00	211,50
Deviazione Standard	33,52	34,70	15,67

7.6. Carte di microzonazione sismica di Livello 2

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 2 in scala 1:10.000 del Comune di Cesenatico allegate costituiscono parte degli elaborati grafici conclusivi del presente studio. In esse sono raffigurate le stime delle amplificazioni, relative ai settori del Comune di Cesenatico considerati, effettuate con procedure semplificate (utilizzando abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

L'amplificazione è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di Housner (S_i/S_{i0}) per prefissati intervalli di periodi. Dove PGA_0 e S_{i0} sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento,

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con locali approfondimenti di terzo

e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

La scelta dell'abaco per la stima è stata effettuata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, in particolare della profondità del substrato rigido che, nel Comune di Cesenatico, per i motivi già indicati è sempre stata assunta superiore a 100 metri, limite fissato nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, per distinguere tra un profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 e PIANURA 2 e un profilo stratigrafico tipo COSTA 1/2 e COSTA 3. (Figure n. 30 e n. 31):

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (≥ 100 m da p.c.) (PIANURA 2) si devono usare le seguenti tabelle.

F.A. P.G.A.

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

Figura n. 30 - Tabella tratta dall'Allegato 2 dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" riferita al profilo stratigrafico tipo PIANURA 2.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	51 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> approfondimenti di terzo

In ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze, potenti anche decine di metri, di sabbie e peliti con intercalazioni di lenti e orizzonti di ghiaia (spessori metrici, fino a circa 20 m), sabbie costiere superficiali (con spessore fino a 10 m) e substrato profondo (>100 m da p.c.) (COSTA 3) si devono usare le seguenti tabelle

F.A. P.G.A.

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.5	2.3	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.2	1.0

Figura n. 31 - Tabella tratta dall'Allegato 2 dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" riferita al profilo stratigrafico tipo COSTA 3.

Si è scelto di utilizzare per le stime di F.A. il profilo stratigrafico tipo:

- PIANURA 2 per la ZONA 1 (2001) della Carta delle MOPS,
- COSTA 3 per la ZALQ1 (3050) della Carta delle MOPS.

La seguente tabella n. 8 esprime i fattori di amplificazione individuati utilizzando un valore di V_{S30} di 200 m/s.

Tabella n. 8 - Fattori di amplificazione.

	ZONA 1 (2001) PIANURA 2	ZALQ1 (3050) COSTA 3
FA_{PGA}	1,5	1,8
$FA_{IS(0,1s < T_0 < 0,5)}$	1,8	2,2
$FA_{IS(0,5s < T_0 < 1,0)}$	2,5	2,5

La cartografia realizzata in merito alla Microzonazione sismica di livello 2 del Comune di Cesenatico, è costituita dai seguenti elaborati:

- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - FA_{PGA} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - $FA_{IS 0,1 - 0,5s}$ (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - $FA_{IS 0,5 - 1,0s}$ (scala 1:10.000).

In queste carte, oltre all'indicazione delle Zone stabili suscettibili di amplificazione locale, è indicata la Zona di attenzione per l'instabilità, alla quale è

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	52 di 72

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

stato attribuito il codice 3050, ZALQ1 - zona di attenzione per liquefazione tipo 1. E' tuttavia necessario precisare che in quest'ultima zona sono previsti approfondimenti di Livello 3 e, pertanto, i fattori di amplificazione saranno determinati con specifica modellazione numerica della risposta sismica locale.

7.7. Carta di microzonazione sismica di Livello 3

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3 in scala 1:10.000 del Comune di Cesenatico allegate fanno parte degli elaborati grafici conclusivi del presente studio. In esse sono evidenti i locali approfondimenti di terzo livello, realizzati nelle Zone di attenzione per l'instabilità per liquefazione tipo 1, individuati dall'analisi di secondo livello.

L'amplificazione è stata calcolata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi attraverso l'analisi approfondita, descritta nel capitolo 8 (Approfondimenti di terzo livello) della presente relazione. In particolare il fattore di amplificazione FA_{PGA} risultante è pari a 1,26.

Mediante quest'ultimo dato, utilizzando i dati delle verticali fornite dalle prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU), unitamente ai parametri precisati nel capitolo 8.8 (Verifica della pericolosità sismica di liquefazione), è stato possibile mappare le zone di suscettibilità per liquefazione nel seguente modo:

- ZSLQ - Zone di suscettibilità per liquefazione, $FA_{PGA} = 2 < IL \leq 5$;
- ZSLQ - Zone di suscettibilità per liquefazione, $FA_{PGA} = IL > 5$.

Il locale approfondimento di terzo livello, effettuato nella zona di ponente (sinistra del porto canale), mostra una diminuzione dell'indice di liquefazione procedendo dalla costa verso l'interno. Anche l'elemento puntuale, posto più a nord e cerchiato con un raggio di 100 metri nella figura n. 43, conferma tale tendenza.

Nella zona di levante (destra del porto canale) i dati puntuali, cerchiati con un raggio di 100 metri nella figura n. 43, mostrano una situazione diversa. Tutte le analisi effettuate sulle CPTU locali, tranne quella posta più a nord, presentano viceversa un indice di liquefazione compreso tra 2 e 5. Trattandosi di pochi dati puntuali, piuttosto distanti tra loro, sarebbe opportuno un approfondimento dello studio.

La cartografia realizzata in merito alla Microzonazione sismica di livello 3 del Comune di Cesenatico, è costituita dai seguenti elaborati:

- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{PGA} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{IS\ 0,1 - 0,5s}$ (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{IS\ 0,5 - 1,0s}$ (scala 1:10.000).

In queste carte, oltre all'indicazione delle Zone stabili suscettibili di amplificazione locale, sono indicate le Zone suscettibili di instabilità (ZSLQ).

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	53 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

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 Cesenatico. Si tratta dell'area che, nel primo e secondo livello di approfondimento è risultata soggetta a potenziale instabilità per fenomeni di liquefazione. È stata, in particolare, definita una successione sismostratigrafica tipo, coerente con i risultati delle indagini specificatamente condotte su tale area, risultata globalmente omogenea 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. 32 è riportato lo stralcio della Mappa di pericolosità sismica del territorio di Cesenatico, mentre nella figura n. 33 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 5,5, con valori medi di circa 5,10 e distanze epicentrali inferiori a 30 chilometri, con valori medi di 9,09 km. Si tratta pertanto di un'area contraddistinta da una sismicità media, confermata anche dall'attribuzione del territorio comunale alla zona sismica 2.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	54 di 72

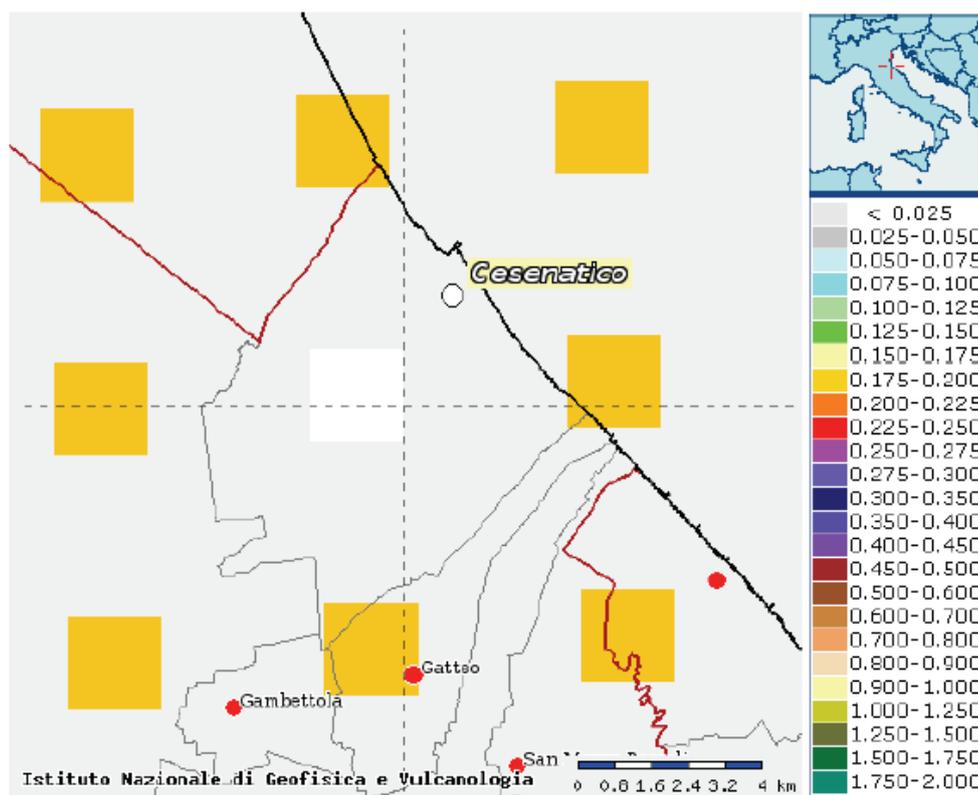
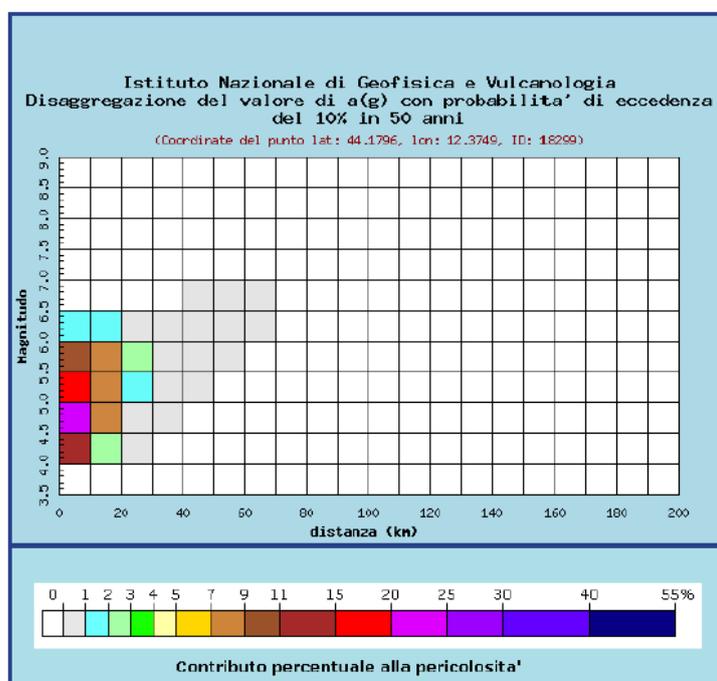


Figura n. 32 - Stralcio della Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni.



PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con locali approfondimenti di terzo

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.1796, lon: 12.3749, ID: 18299)										
	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	11.500	24.700	17.300	10.300	1.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	2.180	7.620	8.970	7.900	1.520	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.013	0.563	1.840	2.430	0.654	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.001	0.155	0.570	0.233	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.002	0.100	0.089	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.028	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	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
5.100	9.090	0.783

Figura n. 33 - 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. 9), che risulta essere pari a 6,14.

Tabella n. 9 - Valori di magnitudo per le zone sismogenetiche ZS9

Nome ZS	Numero ZS	M _{max}
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

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	56 di 72

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 - DAL 112/2007*), che attribuisce a ciascun ambito comunale un valore di accelerazione orizzontale massima di picco attesa su suolo rigido di riferimento, per terremoti con tempo di ritorno di 475 anni (equivalenti al 10% di probabilità di superamento in 50 anni). Tale valore per il Comune di Cesenatico è pari a **0,179 g**.

Lo spettro di risposta a probabilità uniforme, che descrive le caratteristiche del moto sismico nel territorio del Comune di Cesenatico, è stato ottenuto dallo spettro normalizzato fornito dalla DAL 112/2007 rapportato al valore di a_g del territorio comunale in esame.

Lo spettro di risposta a probabilità uniforme, riportato nella figura n. 34, è stato sovrapposto a quello ricavato dal D.M. 14/01/2008 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. 35).

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

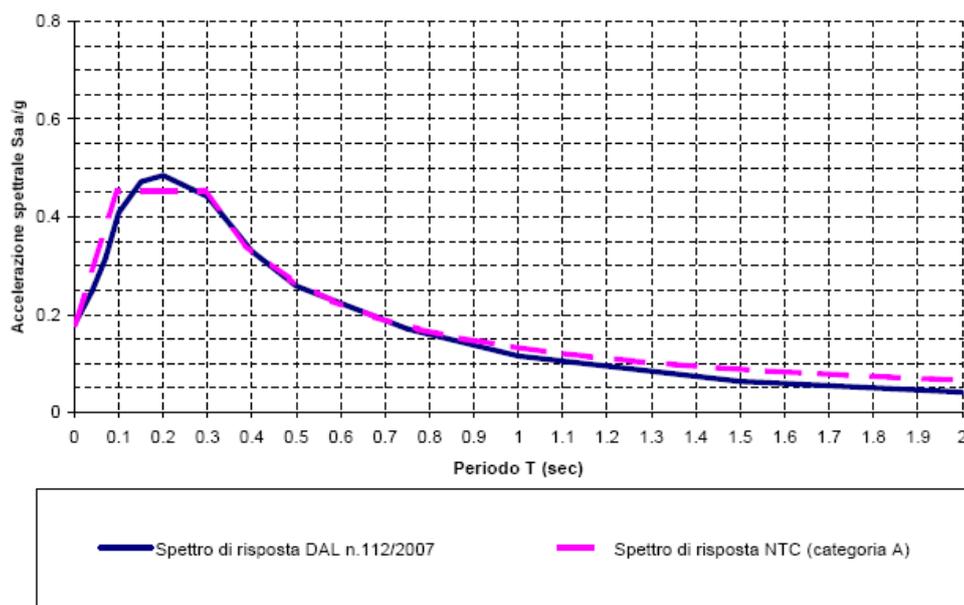


Figura n. 34 - Confronto tra spettro a probabilità uniforme e spettro di risposta elastico da NTC2008.

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	0.180 g
F_0	2.527
T_C	0.291 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	0.097 s
T_C	0.291 s
T_D	2.318 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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	0.180
$T_B \leftarrow$	0.097	0.454
$T_C \leftarrow$	0.291	0.454
	0.388	0.341
	0.484	0.273
	0.581	0.228
	0.677	0.195
	0.774	0.171
	0.870	0.152
	0.967	0.137
	1.064	0.124
	1.160	0.114
	1.257	0.105
	1.353	0.098
	1.450	0.091
	1.546	0.086
	1.643	0.081
	1.739	0.076
	1.836	0.072
	1.932	0.068
	2.029	0.065
	2.125	0.062
	2.222	0.060
$T_D \leftarrow$	2.318	0.057
	2.398	0.053
	2.478	0.050
	2.558	0.047
	2.638	0.044
	2.718	0.041
	2.799	0.039
	2.879	0.037
	2.959	0.036
	3.039	0.036
	3.119	0.036
	3.199	0.036
	3.279	0.036
	3.359	0.036
	3.439	0.036
	3.519	0.036
	3.600	0.036
	3.680	0.036
	3.760	0.036
	3.840	0.036
	3.920	0.036
	4.000	0.036

Fig.35 - Dati dello spettro di risposta elastico delle NTC2008.

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

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 della DAL 112/2007, 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 ($a_g = 0,179 g$).

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.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	59 di 72

Sono stati adottati gli accelerogrammi (raccolti nella figura n. 36) 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. 37, riferita al Comune di Cesenatico, 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.

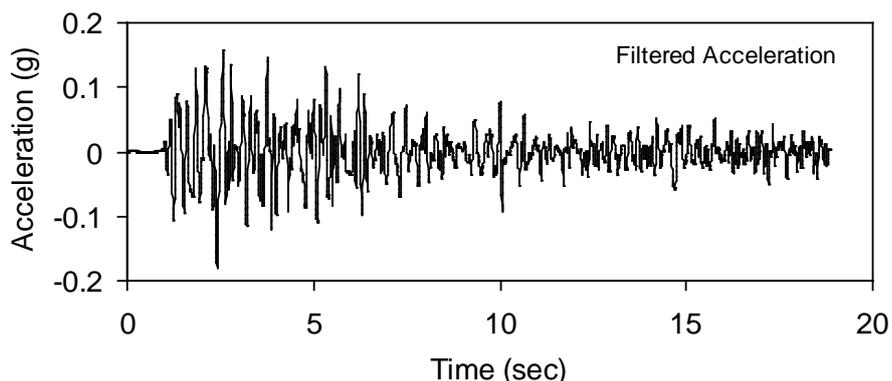


Figura n. 36a - Segnali di riferimento. Accelerogramma segnale 000046xa

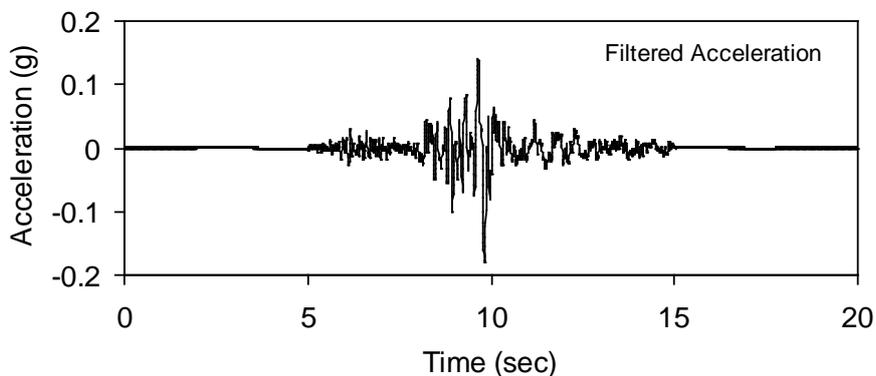


Figura n. 36b - Segnali di riferimento. Accelerogramma segnale 000126xa

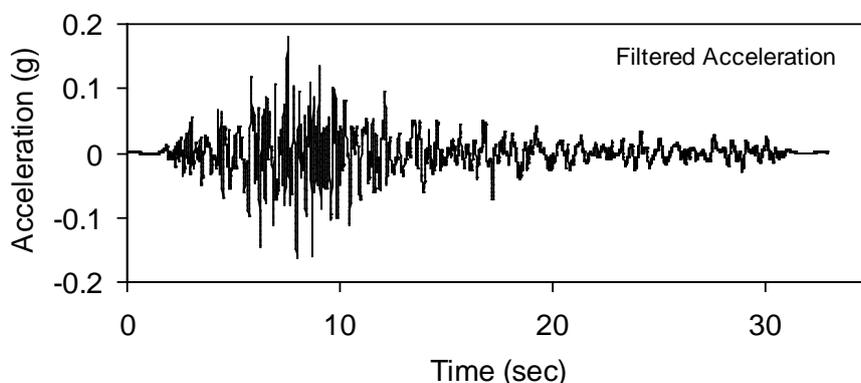


Figura n. 36c - Segnali di riferimento. Accelerogramma segnale 000354xa

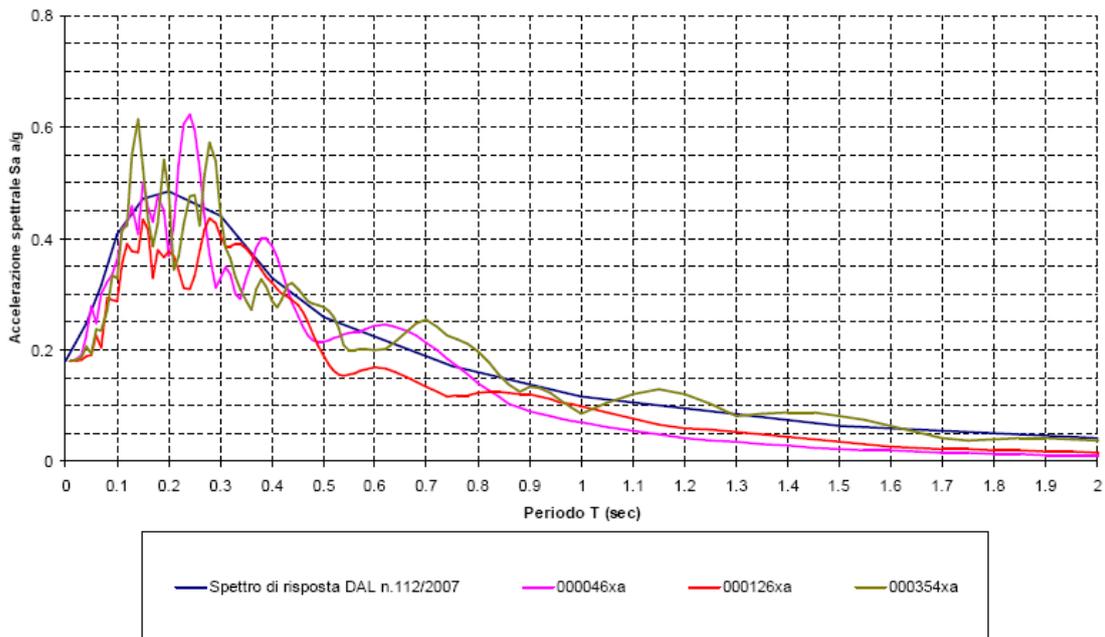


Figura n. 37 - Confronto tra spettro a probabilità uniforme (DAL 112/2007) e spettri dei segnali di input

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 lapideo 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 unico chiaro picco significativo del rapporto H/V a frequenze comprese tra 0,075 Hz e 0,250 Hz.

In relazione alla ricorrenza areale della frequenza alla quale compete la massima ampiezza del rapporto delle componenti vibrazionali del suolo, è possibile inoltre discriminare postazioni nelle quali ricorrono principalmente

rapporti massimi per frequenze comprese tra 0,075 Hz e 0,090 Hz, postazioni in cui la frequenza di sito è piuttosto qualificata da valori compresi tra 0,120 Hz e 0,150 Hz, e postazioni dove il valore massimo dell'ampiezza del rapporto spettrale ricade in frequenze comprese tra 0,200 Hz e 0,250 Hz.

La ricorrenza della massima ampiezza del rapporto delle componenti vibrazionali del suolo a valori compresi tra 0.075 Hz e 0.250 Hz (figura n. 38), viene relazionata alla presenza di un substrato rigido alla base della sedimentazione argilloso-sabbiosa delle "coperture" localizzato alla profondità determinata di m 400-450 dal piano di campagna.

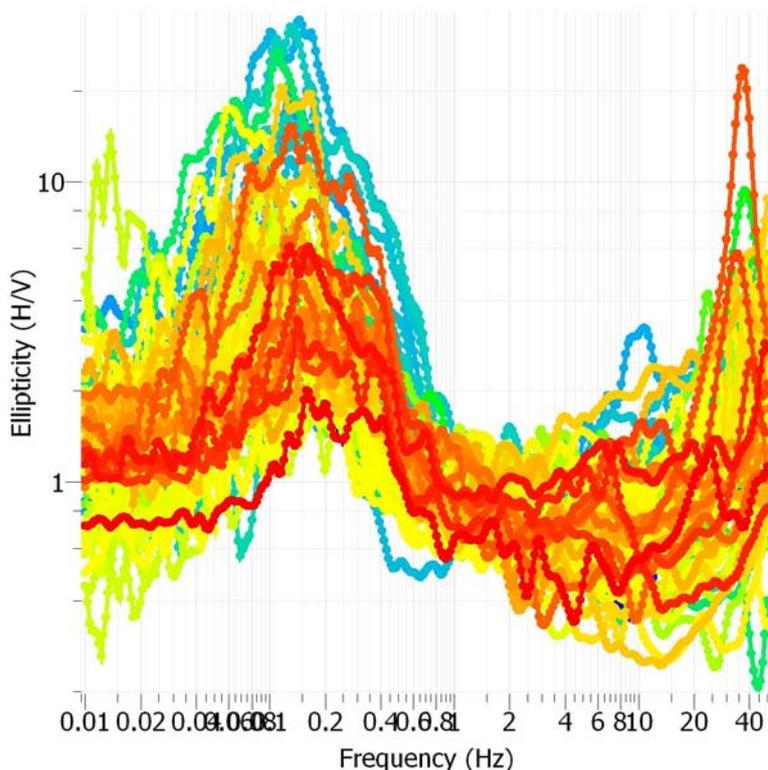


Fig. 38 - Rapporto spettrale delle componenti vibrazionali del suolo delle n.86 misure a stazione singola effettuate nell'ambito del territorio comunale.

Tale profondità è determinata dalla relazione semplificata:

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

Dove:

- **H** è lo spessore delle locali "coperture" / la profondità di soggiacenza della soluzione di rigidità con il maggiore contrasto di impedenza;
- **Vs** 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 Vs delle “coperture” viene preventivamente stimato dell’ordine di 200 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 Vs₃₀ delle “coperture” al substrato, risultano comprese tra 170 m/sec e poco più di 230 m/sec (figura n. 39), con un valore medio di 200 m/sec, cui corrisponde un sottosuolo di categoria C secondo la classificazione delle NTC2008.

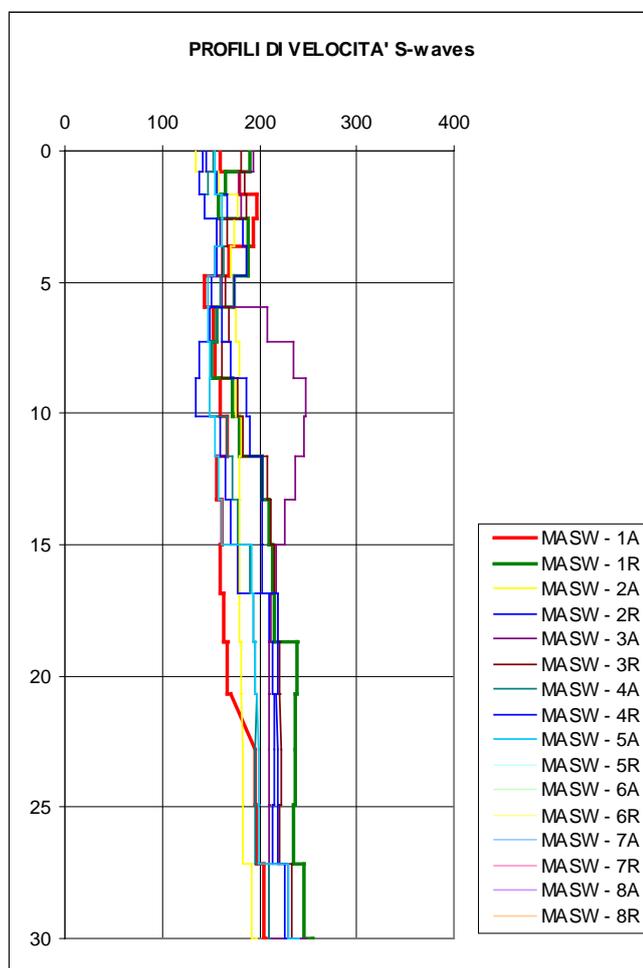


Figura n. 39 - Valori di Vs₃₀.

Come bedrock è stato assunto l’orizzonte che genera il picco significativo alle frequenze di 0.075-0.250 Hz.

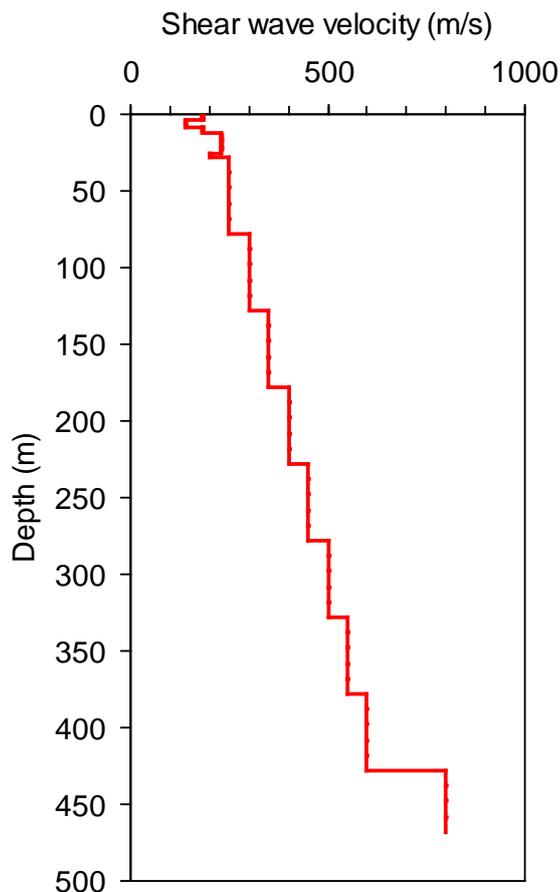


Figura n. 40 - Profilo di Vs di riferimento per le analisi di risposta sismica locale.

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 (0,179g), che evidenziano basse deformazioni di taglio, si è ritenuto di impiegare un modello lineare equivalente (EERA), 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 rigidità 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/Go 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, occorre precisare che, l'amplificazione sismica è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	64 di 72

(PGA/PGA_0) e di rapporto di Intensità di *Housner* (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodo ($0,10 \div 0,50$ s e $0,50 \div 1,00$ s), considerando tempi di ritorno di 475 anni e smorzamento del 5%. PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di *Housner* al suolo di riferimento, e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di *Housner*, calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Nella figura n. 41 sono rappresentati gli spettri di risposta in superficie per ciascun segnale sismico, nonché lo spettro ricavato dai valori medi al bedrock e in superficie.

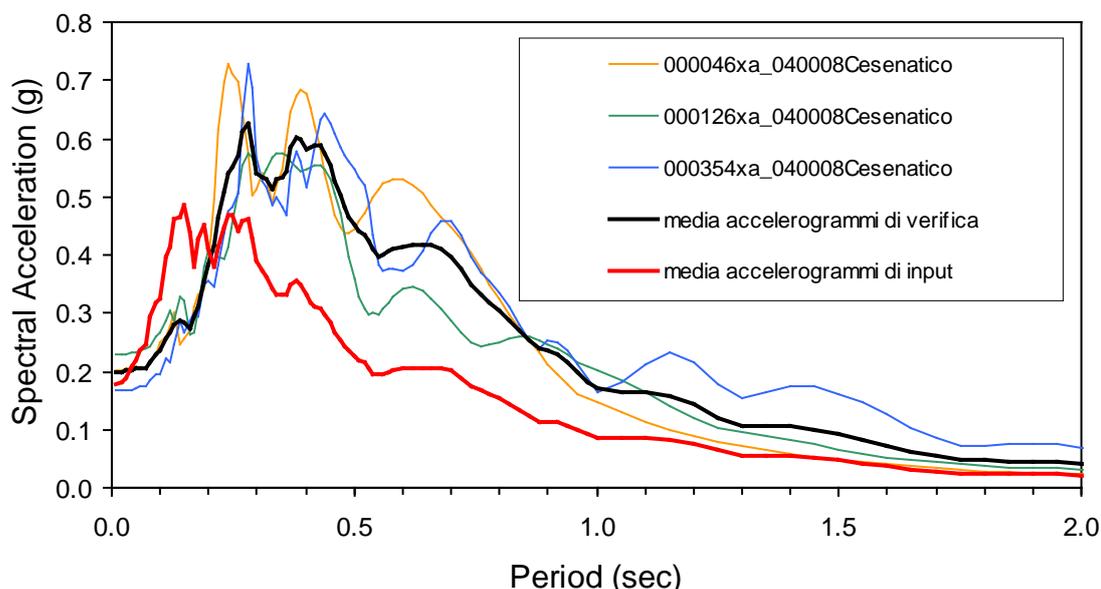


Figura n. 41 - Spettro di risposta in superficie.

Inoltre, sono stati inseriti gli spettri di risposta medi in pseudo-velocità, necessari per ottenere l'Intensità di *Housner*.

Il fattore di amplificazione della PGA è ottenuto dal rapporto tra l'ordinata dello spettro elastico in accelerazione a periodo $T=0$, che rappresenta l'accelerazione orizzontale massima in superficie (PGA), e il corrispondente valore dello spettro di input al bedrock (PGA_0). Tale rapporto è evidente nella seguente relazione.

$$FA_{PGA} = \frac{PGA}{PGA_0}$$

L'Intensità di *Housner* (figura n. 42) è stata ottenuta dalla risoluzione dell'integrale:

$$IS = \int_{T_1}^{T_2} PSVdt$$

dove PSV è lo spettro di risposta in pseudo-velocità determinato in superficie, PSV_0 quello al suolo rigido e T_1 e T_2 rappresentano i periodi presi a riferimento per il calcolo del rapporto di *Intensità di Housner*, pari a $0,1 \div 0,5s$ e $0,5 \div 1,0s$.

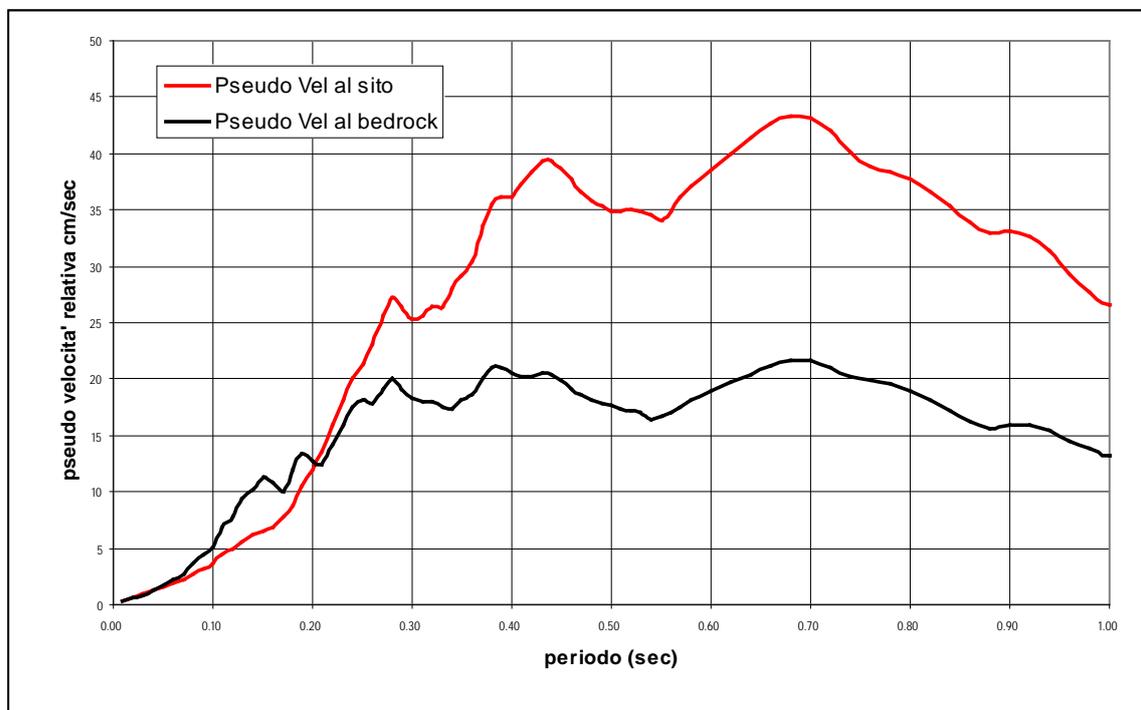


Fig. 42 - Spettri in pseudo-velocità.

Nella seguente tabella n. 10 sono stati riportati i fattori di amplificazione della PGA e dell'Intensità di Housner (IS), con indicati anche quelli ricavabili dalle tabelle dell'Allegato A2 degli Indirizzi per la Microzonazione Sismica della Regione Emilia Romagna (DAL 112/2007).

Tabella n. 10 - Fattori di amplificazione.

	Elaborazione con codice EERA				F.A	F.A
	000046xa	000126xa	000354xa	Valore medio	112/2007 Costa 3	112/2007 Pianura 2
FA_{PGA}	1,16	1,44	1,19	1,26	1,8	1,5
$FA_{IS}(0,1s < T_0 < 0,5)$	1,49	1,47	1,44	1,47	2,2	1,8
$FA_{IS}(0,5s < T_0 < 1,0)$	2,19	2,04	1,87	2,03	2,5	2,5

I valori dei fattori di amplificazione della PGA, determinati attraverso modellazione numerica con il codice di calcolo *EERA*, sono risultati inferiori a quelli desunti tramite stima speditiva dalle tabelle dell'Allegato A2 degli indirizzi per la Microzonazione Sismica in Emilia Romagna; il valore al piano campagna dell'accelerazione al sito, per la specifica situazione sismo-stratigrafica di analisi, risulta determinato in 0,225 g.

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

8.8. Verifica della pericolosità sismica di liquefazione

Le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche suggeriscono che se nel sottosuolo dell'opera e nelle sue 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 calcolo della pericolosità sismica di liquefazione è stato effettuato per ciascuna delle verticali di indagine disponibili. In totale sono state verificate 58 penetrometrie (13 CPTU, 3 CPTe e 42 CPT).

La valutazione della pericolosità sismica di liquefazione durante i terremoti per la zona in esame è stata effettuata considerando una magnitudo del sisma pari a 6,14 (zona sismogenetica 917).

I calcoli della suscettività alla liquefazione effettuati, esposti dettagliatamente nello specifico rapporto allegato, sono stati eseguiti, con riferimento a ciascuna penetrometria considerata col metodo di Robertson (1998), utilizzando il programma Cliq, v. 1.7 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 fatte, considerando i dati sul sottosuolo forniti dalle penetrometrie fino a 15/20 metri di profondità, il livello della falda a un metro di profondità dal piano di campagna e un'accelerazione di progetto pari a 0,23g (analisi di terzo livello).

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.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	67 di 72

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> approfondimenti di terzo

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

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

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 11.

TABELLA N. 11 - INDICE DI LIQUEFAZIONE GLOBALE DEI TERRENI IN ESAME

PENETROMETRIA CPTU	INDICE DI LIQUEFAZIONE (I_L)
040008P195CPTU195	12,56
040008P226CPTU226	21,76
040008P240CPTU240	3,86
040008P983CPTU984	18,49
040008P984CPTU985	16,15
040008P985CPTU986	17,15
040008P986CPTU987	15,02
040008P987CPTU988	13,7
040008P988CPTU989	3,44
040008P991CPTU992	2,8
040008P992CPTU993	3
040008P989CPTU990	2,76
040008P990CPTU991	3,71
PENETROMETRIA CPTE	INDICE DI LIQUEFAZIONE (I_L)
040008P459CPTE459	0,24
040008P460CPTE460	2,67
040008P461CPTE461	0,54
PENETROMETRIA CPT	INDICE DI LIQUEFAZIONE (I_L)
040008P196CPT196	2,19
040008P197CPT197	3,34
040008P198CPT198	3,34
040008P256CPT256	6,14
040008P257CPT257	3,33
040008P258CPT258	4,69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> approfondimenti di terzo

040008P259CPT259	4,2
040008P260CPT260	4,46
040008P261CPT261	5,17
040008P262CPT262	5,09
040008P263CPT263	5,02
040008P264CPT264	3,21
040008P265CPT265	7,97
040008P266CPT266	4,59
040008P267CPT267	1,55
040008P268CPT268	2,15
040008P269CPT269	3
040008P270CPT270	3,58
040008P271CPT271	0,66
040008P272CPT272	2,98
040008P430CPT430	6,53
040008P431CPT431	7,64
040008P432CPT432	4,6
040008P433CPT433	4,59
040008P434CPT434	0,93
040008P435CPT435	5,03
040008P436CPT436	2,63
040008P437CPT437	3,97
040008P438CPT438	2,92
040008P439CPT439	0,41
040008P440CPT440	4,09
040008P441CPT441	1,95
040008P442CPT442	1,99
040008P443CPT443	8,18
040008P444CPT444	1,06
040008P447CPT447	4,24
040008P448CPT448	2,09
040008P449CPT449	1,29
040008P450CPT450	5,17
040008P451CPT451	4,24
040008P458CPT458	0
040008P462CPT462	0

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

La valutazione del pericolo di liquefazione, effettuata con riferimento all'indice di liquefazione (I_L), come precisato nella tabella n. 12, e considerando solo i dati forniti dalle CPTU, porta a definire questo fenomeno non probabile per 6 verticali e da probabile a certo per le altre 7.

TABELLA N. 12 - 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 13 si è portati a ritenere, sempre con riferimento alle CPTU, che questa pericolosità sia da moderata a molto alta.

TABELLA N. 13 - 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

Gli indici di liquefazione ottenuti dalle analisi effettuate attraverso i dati desunti dalle CPT e CPTU hanno sempre dei valori molto più bassi rispetto a quelli desunti dalle CPTU realizzate nelle loro vicinanze. Tali valori possono essere quindi comparati in modo relativo tra loro, ma non possono essere confrontati direttamente con le prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU).

Nella seguente figura n. 43 sono evidenti le zone di attenzione per liquefazione tipo 1 (riferite ai Livelli 1 e 2 dello studio), le zone suscettibili d'instabilità definite nelle immediate pertinenze delle verticali analizzate, l'ubicazione delle prove penetrometriche (CPTU, CPT e CPT) con l'indicazione del relativo indice di liquefazione, ottenuto dalle analisi effettuate.

Il modello geologico definito dal presente studio e le verifiche alla liquefazione effettuate hanno consentito di estendere nella cartografia di microzonazione sismica di livello 3 in scala 1:10.000 le Zone suscettibili di instabilità (ZSLQ) su tutta l'area di attenzione per liquefazione tipo 1 e di mapparle nel seguente modo:

- ZSLQ - Zone di suscettibilità per liquefazione, $FA_{PGA} = 2 < I_L \leq 5$;
- ZSLQ - Zone di suscettibilità per liquefazione, $FA_{PGA} = I_L > 5$.

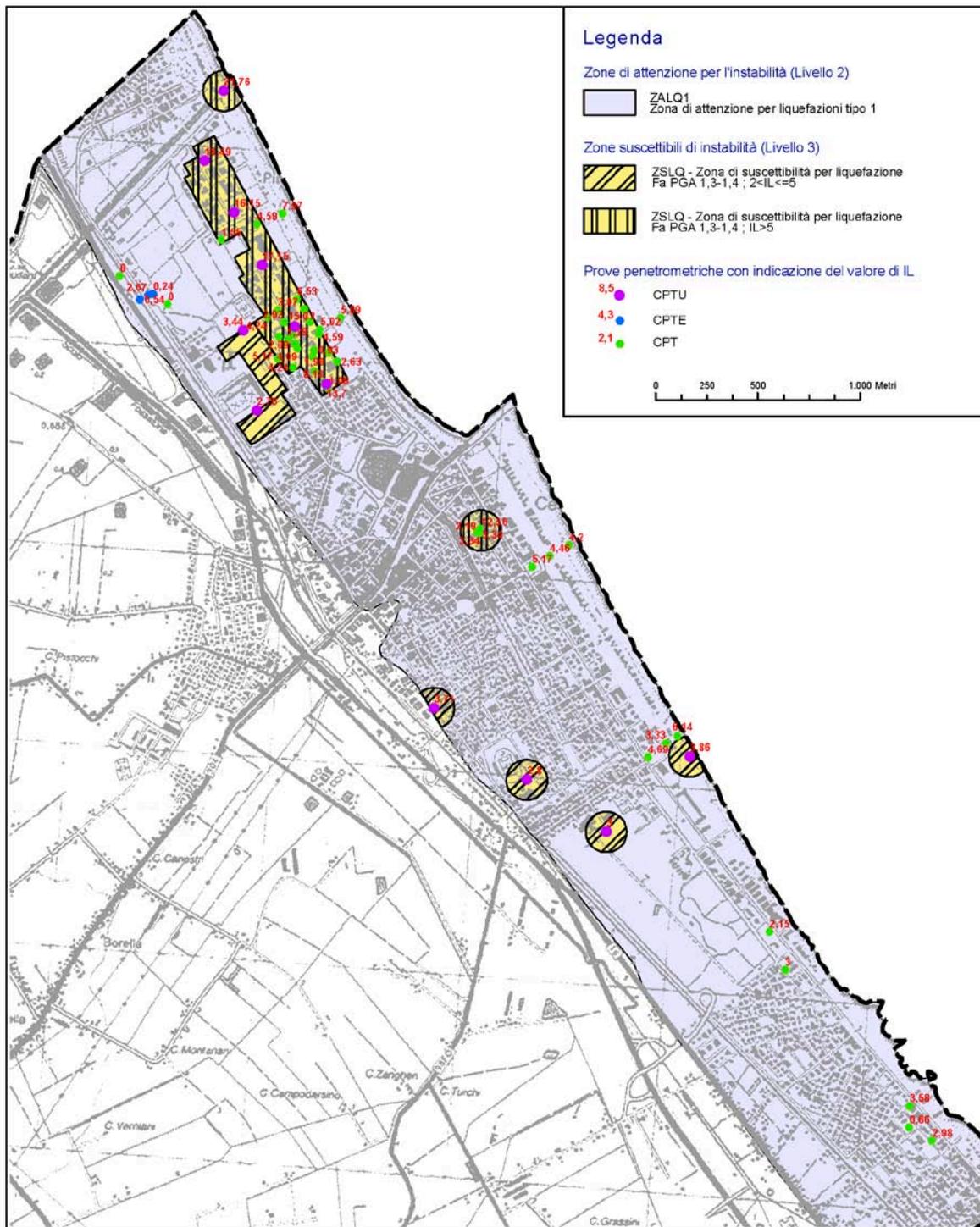


Fig. 43 - Microzonazione sismica di terzo livello con l'indicazione di tutte le prove penetrometriche analizzate e i relativi indici di liquefazione.

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CESENATICO (FC) Studio di microzonazione sismica	Secondo con <i>locali</i> <i>approfondimenti di terzo</i>

9. COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Innanzitutto, va precisato che il presente studio presenta carattere sperimentale, trattandosi ancora di una delle prime applicazioni, in un contesto territoriale quale quello indagato, di microzonazione sismica mediante l'applicazione dei criteri contenuti negli ICMS e negli indirizzi regionali.

Del resto, nei capitoli precedenti, è stato ampiamente evidenziato come l'assetto geologico delle aree indagate sia tale per cui la risposta sismica locale risulti condizionata da vari fattori, spesso di non facile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche, sia già disponibili che reperibili a costi sostenibili, primo fra tutti la definizione della profondità del *bedrock sismico* (sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio V_s maggiore o uguale a 800 m/s).

Ciononostante, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, individuato dal secondo livello d'approfondimento, è stato possibile effettuare, tramite procedure semplificate, una microzonazione territoriale con attribuzione dei fattori di amplificazione.

Nelle aree interessate dai locali approfondimenti di terzo livello, in quanto suscettibili di instabilità per liquefazione, le relative valutazioni, effettuate con riferimento all'indice di liquefazione (I_L), come precisato nella tabella n. 12, e considerando solo i dati forniti dalle CPTU, porta a definire questo fenomeno non probabile per 6 verticali e da probabile a certo per le altre 7. Viceversa utilizzando le recenti classi di pericolosità di liquefazione secondo Sonmez (2003), indicate nella tabella 13, si è portati a ritenere, sempre con riferimento alle CPTU, che questa pericolosità sia da moderata a molto alta.

La mappatura delle Zone suscettibili di instabilità (ZSLQ) nella zona di ponente (sinistra del porto canale) appare di buon livello poiché sono state realizzate un numero soddisfacente di analisi alla liquefazione. Nella zona di levante (destra del porto canale) i dati puntuali significativi sono numericamente inferiori e piuttosto distanti tra loro. In questo settore sarebbe opportuno un approfondimento dello studio.

 ANTONIAZZI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE GEOLOGI ALBERTO E ALDO ANTONIAZZI	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Dicembre 2014	0	72 di 72