



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



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
 DELLE PROVINCE AUTONOME

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

Regione Emilia – Romagna

Comune di Jolanda di Savoia

RELAZIONE ILLUSTRATIVA



Regione Emilia – Romagna  
 Comune di Jolanda di Savoia (FE)



**Unione dei Comuni  
 Terre e Fiumi**

Copparo - Berra - Jolanda di Savoia - Tresigallo - Formignano - Rio

Dir. area gestione del territorio:  
 Ing. Stefano Farina  
 Resp. del procedimento:  
 Geom. Silvia Trevisani

Soggetto realizzatore



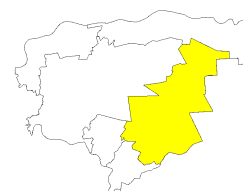
Synthesis s.r.l.  
 P.zza del Popolo 13 int. 5  
 44034 Copparo (FE)

Gruppo di lavoro

Responsabile del progetto:  
 Dr. Geol. Emanuele Stevanin

Collaboratori:  
 Dr.ssa Geol. Emma Biondani  
 Dr. Geol. Stefano Maggi

Data 06/2018



 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 091680 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORZONAZIONE SISMICA DI III° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 119/17-ES-REV00 DEL 29/06/2018
--	---	--

## **INDICE**

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>2</b>
<b>2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Caratteristiche sismotettoniche generali</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Storia sismica del territorio comunale</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Pericolosità sismica di base sito specifica</b>	<b>7</b>
<b>3. ASSETTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Assetto geologico e idrogeologico</b>	<b>9</b>
<b>4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI</b>	<b>10</b>
<b>4.1. Parametri geotecnici</b>	<b>12</b>
<b>4.2. Parametri geofisici</b>	<b>12</b>
<b>5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO</b>	<b>18</b>
<b>6. INTEPRETAZIONI ED INCERTEZZE</b>	<b>19</b>
<b>7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI</b>	<b>20</b>
<b>8. ELABORATI CARTOGRAFICI</b>	<b>21</b>
<b>8.1 Carta delle Indagini</b>	<b>21</b>
<b>8.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni</b>	<b>22</b>
<b>8.3 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)</b>	<b>22</b>
<b>8.4 Carta di Microzonazione Sismica</b>	<b>23</b>
<b>8.4.1 Analisi di Risposta Sismica Locale</b>	<b>25</b>
<b>8.4.2 Stima dell'indice di liquefazione IL terreni incoerenti</b>	<b>32</b>
<b>9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI</b>	<b>33</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>33</b>
<b>11. ALLEGATI</b>	<b>34</b>



## 1. INTRODUZIONE

La presente Relazione Illustrativa riferisce dei risultati ottenuti dalle analisi di *terzo Livello di approfondimento*, eseguite ai sensi della Delibera della Giunta Regionale DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna, relativamente al territorio di comunale di Jolanda di Savoia. Il presente documento accompagna gli elaborati cartografici specifici richiesti per il livello di studio in questione.

Lo studio con *terzo livello di approfondimento* per il territorio di Jolanda di Savoia, alla luce delle evidenze emerse durante le fasi di I e II livello di approfondimento, si è posto come obiettivo la valutazione dell'effettivo grado di pericolosità sismica locale dell'area mediante la stima degli indici di rischio nelle aree identificate come "instabili" e pertanto potenzialmente suscettibili di:

- liquefazione, limitatamente alle ZONE 1, 2 e 3 individuate nella fase di approfondimento precedente (presenza di terreni incoerenti, sciolti, in falda);
- densificazione, nella totalità delle ZONE individuate al precedente livello di analisi (terreni coesivi, soffici).

Si ricorda altresì che la totalità del territorio oggetto di studio è caratterizzata da terreni soggetti ad amplificazione del moto sismico del suolo per effetti stratigrafici. Nel presente lavoro è stata eseguita l'analisi della risposta sismica locale (RSL) mediante approccio numerico non semplificato al fine di stimare con maggiore dettaglio i valori di PGA (accelerazione orizzontale massima in superficie) utilizzati sia per la stima dell'Indice di Liquefazione a carico dei terreni granulari sia per la stima dei cedimenti post-sismici attesi nei terreni coesivi.

Il lavoro che ha portato alla redazione del presente documento è stato sviluppato nel seguente modo:

- sintesi e riepilogo delle principali informazioni desunte dai precedenti livelli di analisi;
- analisi di indagini pregresse di tipo diretto (CPT/CPTU) e indiretto (geofisico) ed esecuzione ex-novo di un profilo in array bidimensionale ESAC e misure a stazione singola del microtremore ambientale su una struttura per analisi speditiva del comportamento dinamico;
- costruzione di un modello sintetico di sottosuolo dalla superficie al "bedrock" sismico ( $V_s \approx 700-800$  m/s) in termini di spessore strati, litologia predominante all'interno del singolo strato, velocità media di propagazione delle onde S all'interno del singolo stato e curve degrado-smorzamento (comportamento dinamico dello strato);
- analisi di risposta sismica locale (RSL) sul modello sopraccitato con stima dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali per un periodo di ritorno  $TR = 475$  anni e smorzamento convenzionale pari al 5%, e mappe di amplificazione in termini di  $PGA/PGA_0$  e  $SI/SI_0$  (intensità di Housner sullo spettro in pseudo-velocità);
- stima dell'Indice di Liquefazione  $I_L$  sugli strati incoerenti entro i primi 20 m (laddove  $PGA > 0.1$  g da analisi RSL), e stima dei cedimenti post-sismici attesi a carico della frazione fine con particolare riferimento ai primi 5 m da p.c. (laddove verificate le condizioni di cui all'eggato B3 della DGR 2193/2015); in entrambi i casi come parametro di input per la sollecitazione ciclica sono stati utilizzati i valori di PGA in superficie ottenuti da analisi RSL.

Il territorio comunale di Jolanda di Savoia è identificabile nella cartografia IGM alla scala 1:25.000 nei fogli:

*186 Il Tresigallo*

Dal punto di vista cartografico il comune di Jolanda di Savoia è inoltre ricoperto dalla Carta Tecnica Regionale ricostruita alla scala 1:5.000. Gli elementi che interessano l'intero territorio sono i seguenti:

*186081-186082-186083*

*186111-186112*

*186121-186122-186123-186124*

186151  
186161-186162-186163-186164  
187013  
187051-187052-187053-187054  
187093-187094  
187134

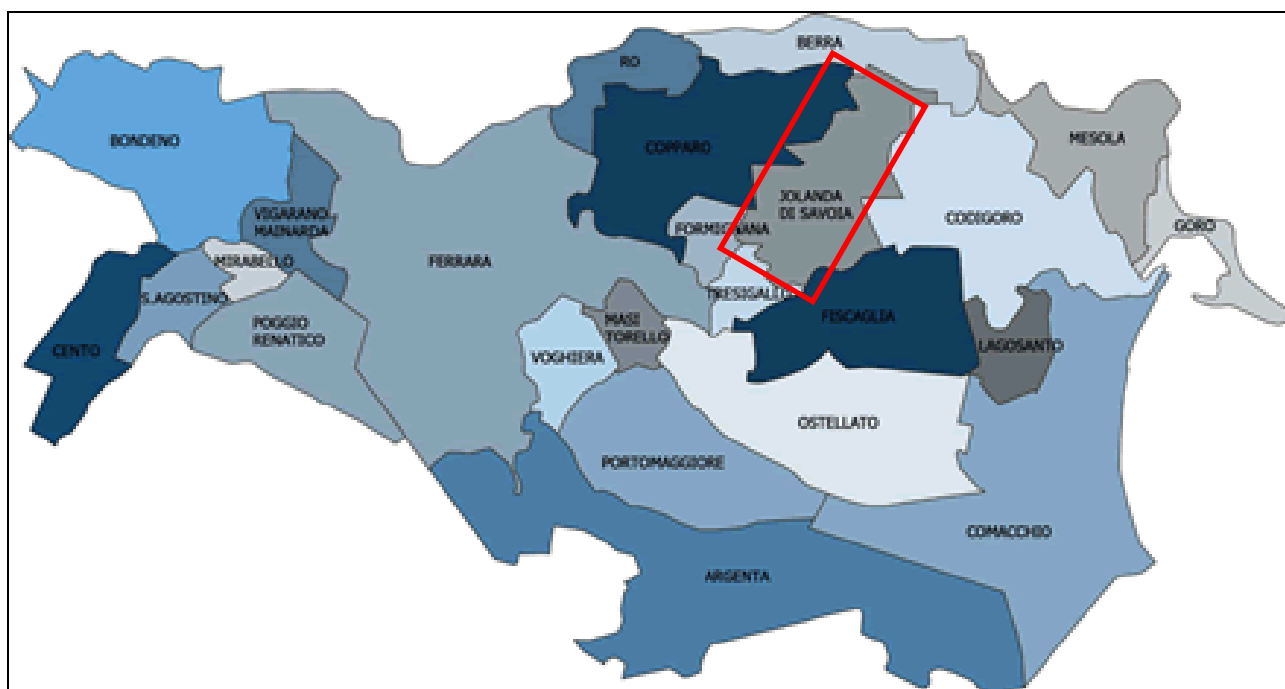


Figura 1-1: Suddivisione amministrativa della provincia di Ferrara; nel riquadro il territorio oggetto di studio

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

### 2.1. Caratteristiche sismotettoniche generali

Il territorio comunale di Jolanda di Savoia è caratterizzato nel complesso da una sismicità di grado basso-molto basso. Dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna si evince che il territorio del Comune di Jolanda di Savoia è compreso all'interno di una zona con profondità delle isobate della base *del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore* (depositi della Pianura Padana di età compresa tra 0.45-0.35 M.a. e l'Olocene) variabile tra -300 m e -350 m. Queste profondità verranno assunte come limite basale ("bedrock" sismico) del modello di sottosuolo ai fini della risposta sismica locale (RSL) come descritto in seguito.

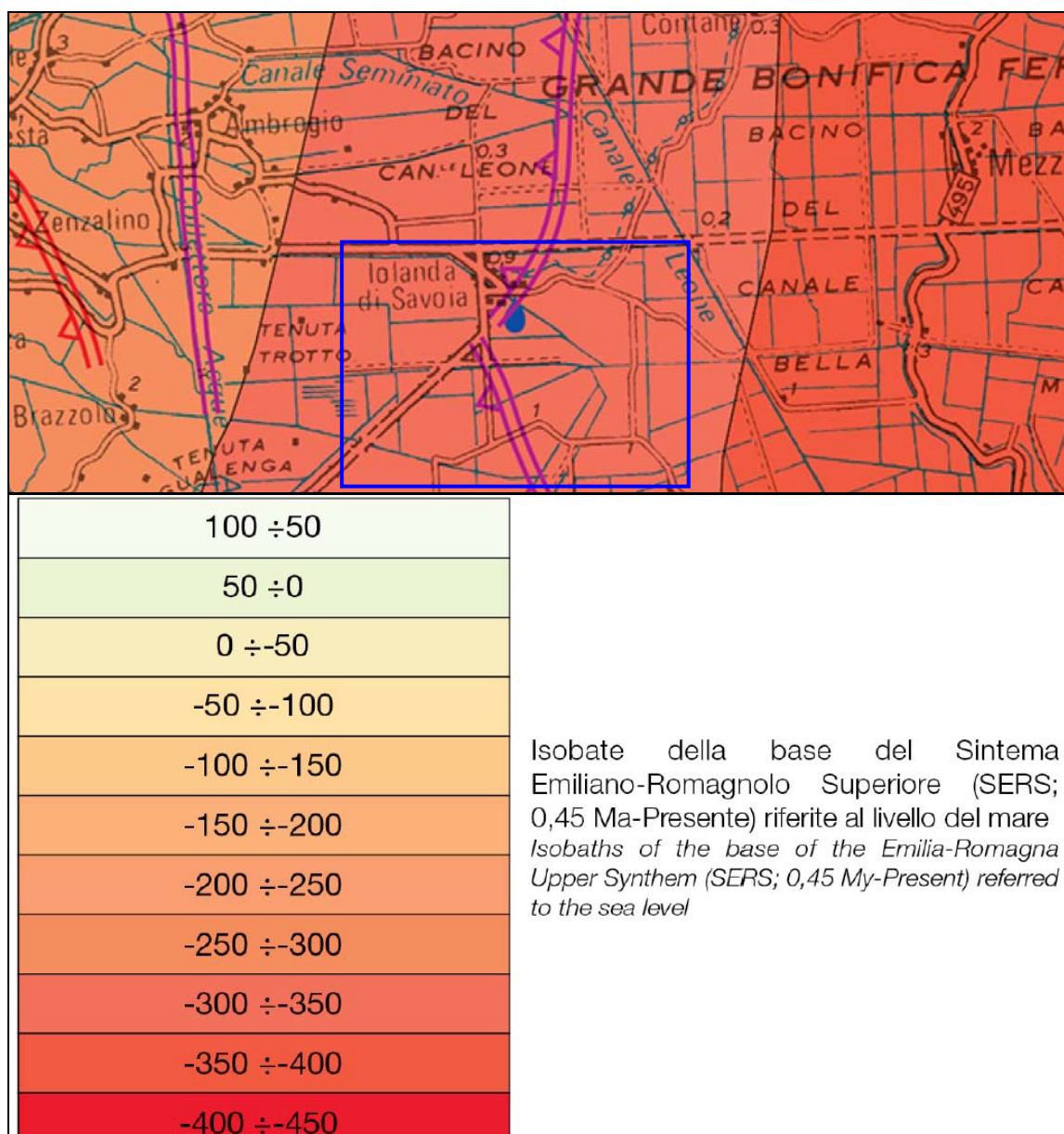
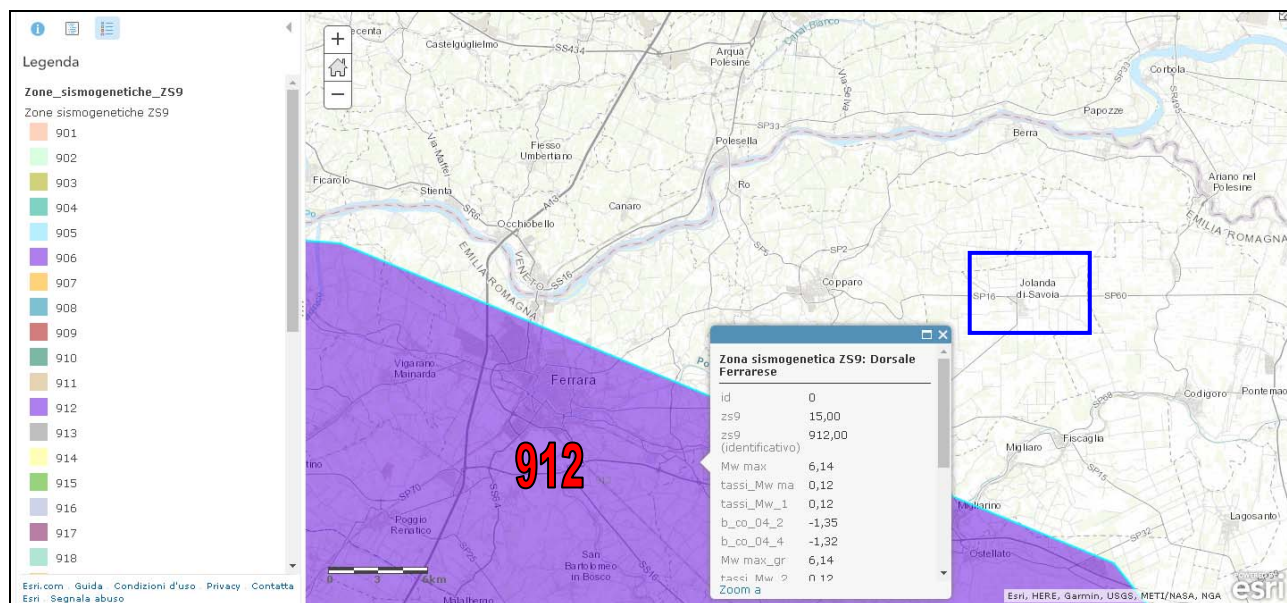


Figura 2.1-1: Estratto della Carta Sismotettonica Regione E-R (nel riquadro l'area in studio)

Secondo l'ultima zonazione sismogenetica pubblicata ZS9 (30/06/2012), nella quale vengono individuate per tutto il territorio italiano n. 36 zone – sorgente, denominate dal numero 901 al numero 936, i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc., il territorio comunale di Jolanda di Savoia, a testimonianza di una sismicità nel complesso bassa e trascurabile, non rientra in alcuna zona. Inoltre l'area in esame, si colloca in posizioni esterne rispetto al sistema sismogenetico delle "pieghe ferraresi".



**Figura 2.1-2: Carta Sismogenetica d'Italia - Zone Sismogenetiche ZS9 (nel riquadro l'area oggetto di studio).**

## 2.2. Storia sismica del territorio comunale

In questo paragrafo è descritta, sinteticamente, la storia sismica del comune di Jolanda di Savoia. In figura 2.2-1 sono evidenziati i principali eventi sismici verificatisi dall'anno 1000 a oggi. Dal grafico si evince che gli eventi sono di intensità piuttosto modesta (IMCS ≤ 5) e molto sporadici; questo, almeno in parte, è dovuto ad una mancanza di dati dato che queste zone erano disabitate e palustri fino a tempi moderni.

L'evento principale, di intensità macrosismica IMCS = 4 percepita presso il comune di Jolanda di Savoia, è avvenuto nel 1963 e ha avuto epicentro nel comune di Lugo di Ravenna (figura 2.2-2) distante oltre 50 Km dall'area in studio. La Magnitudo Momento Mw associata a questo sisma è pari a 5.23± 0.12 (INGV-CPTI15)

Altro dato è quello proveniente dal sisma del 20/05/2012, con epicentro nella zona di Finale Emilia (MO), con distanze dal sito in studio di circa 50 Km. Lo scuotimento registrato dalla stazione accelerometrica più vicina (circa 10 Km dal sito) è quella di Coccanile (sigla in codice "CPC" – da Italian Accelerometric Archive ITACA 2.3). Essa ha registrato valori massimi di PGA = 33.167 cm/s<sup>2</sup> (= 0.033 g) sulla componente orizzontale. Il sisma, di Magnitudo Momento Mw = 6.1, è avvenuto a una distanza epicentro-stazione di misura paria 48.4 Km.

Questi dati, con particolare riferimento a magnitudo momento e distanze epicentrali, sono stati utilizzati per la selezione degli accelerogrammi di input ai fini dell'analisi di risposta sismica locale come descritto in seguito.

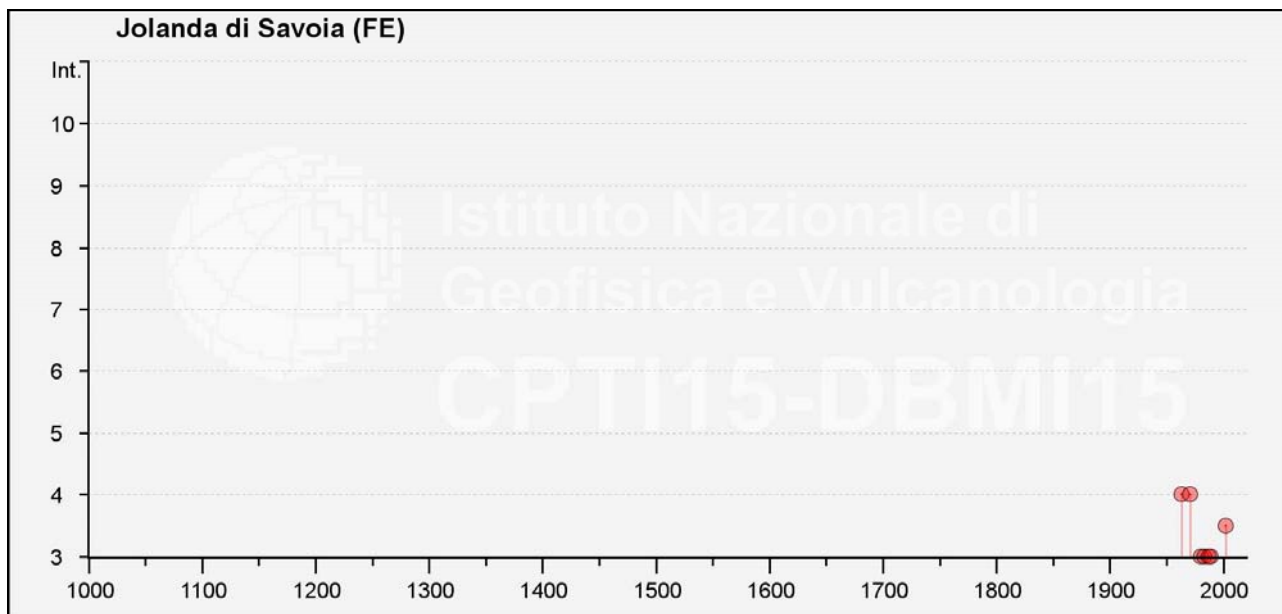


Figura 2.2-1: Eventi sismici Jolanda di Savoia (FE) da CPT115 E DBM15 - INGV

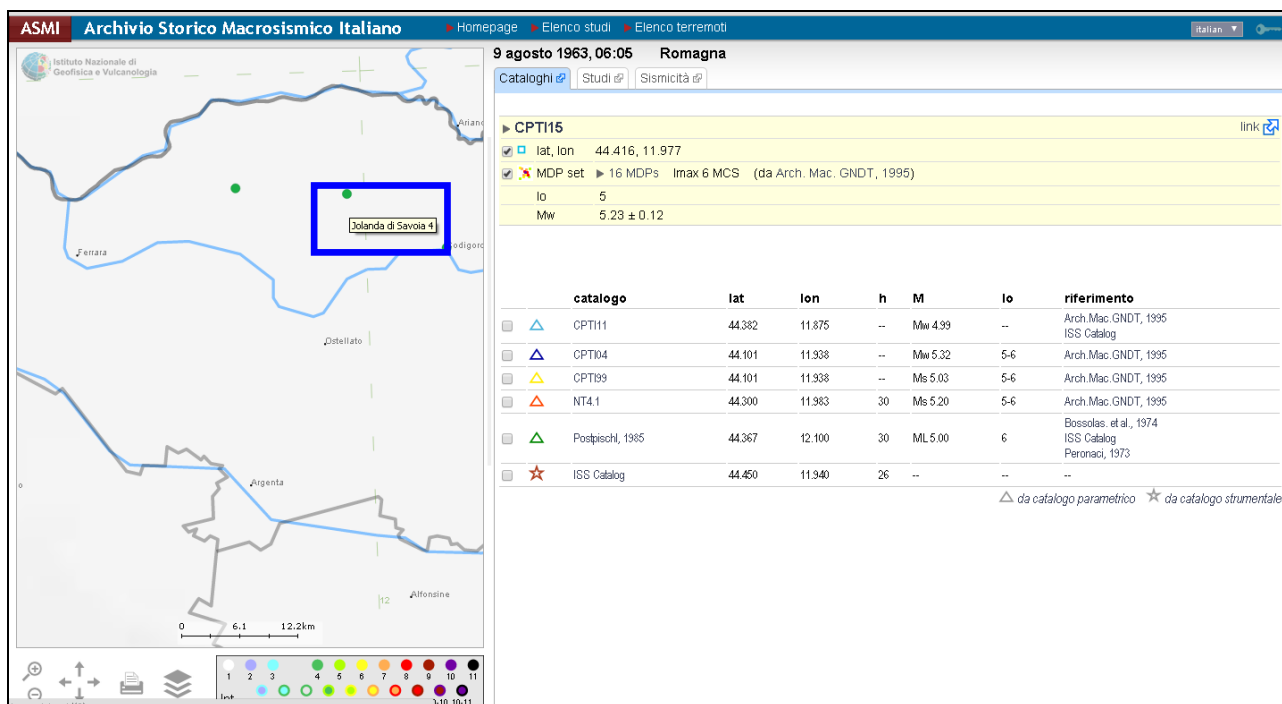


Figura 2.2-2: Localizzazione epicentro dell'evento principale che ha causato i maggiori effetti macrosismici sul comune di Jolanda di Savoia (FE) e valori di magnitudo associati. Nel riquadro l'area di interesse.

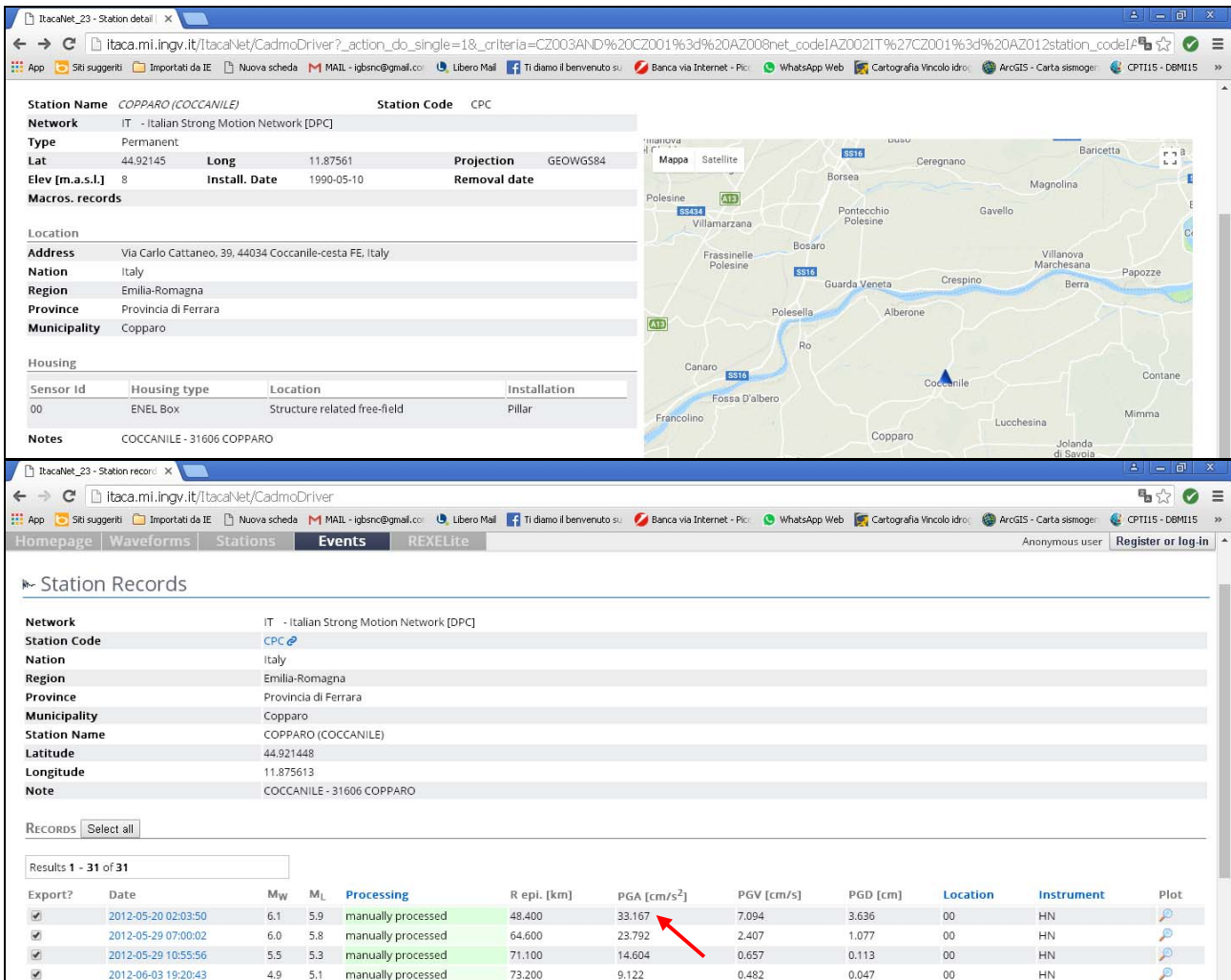


Figura 2-2-3 – Stazione di Coccanile “CPC” (Italian Accelerometric Archive) e dati provenienti dal sisma 2012 (il triangolo blu rappresenta la stazione accelometrica)

### 2.3. Pericolosità sismica di base sito specifica

Nell'allegato 4 della DGR 2193/2015, la pericolosità sismica di base di ciascun punto del territorio regionale è definita sulla base di una griglia di nodi ai quali è associato un valore di  $a_{refg}$  determinato come l'accelerazione orizzontale di base espressa in frazioni percentuali dell'accelerazione di gravità ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Il territorio regionale è suddiviso in una griglia di nodi (allegato 4 - DGR 2193/2015). A ciascun nodo corrisponde uno specifico valore di  $a_{refg}$ . In figura 2.3-1 è riportato nel dettaglio il territorio comunale di Jolanda di Savoia con i nodi ricadenti in corrispondenza dell'area di studio e nelle immediate vicinanze. I valori di riferimento di  $a_{refg}$ , selezionati nel presente studio, sono associati ai punti griglia più vicini al comune capoluogo o alla frazione considerata.

La pericolosità sismica di base secondo la DGR 2193/2015 è definita per un Periodo di Ritorno  $T_R$  pari a 475 anni con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Considerando i nodi più vicini, troviamo valori di  $a_{refg}$  **variabili tra 0.0703 (nord) e 0.0879 (sud)**

Questi valori confermano un grado di sismicità di base dell'area basso, in accordo con quanto definito a scala nazionale.



Questi valori sono stati utilizzati, come descritto in seguito, per scalare gli accelerogrammi di input utilizzati nell'analisi di risposta sismica locale.

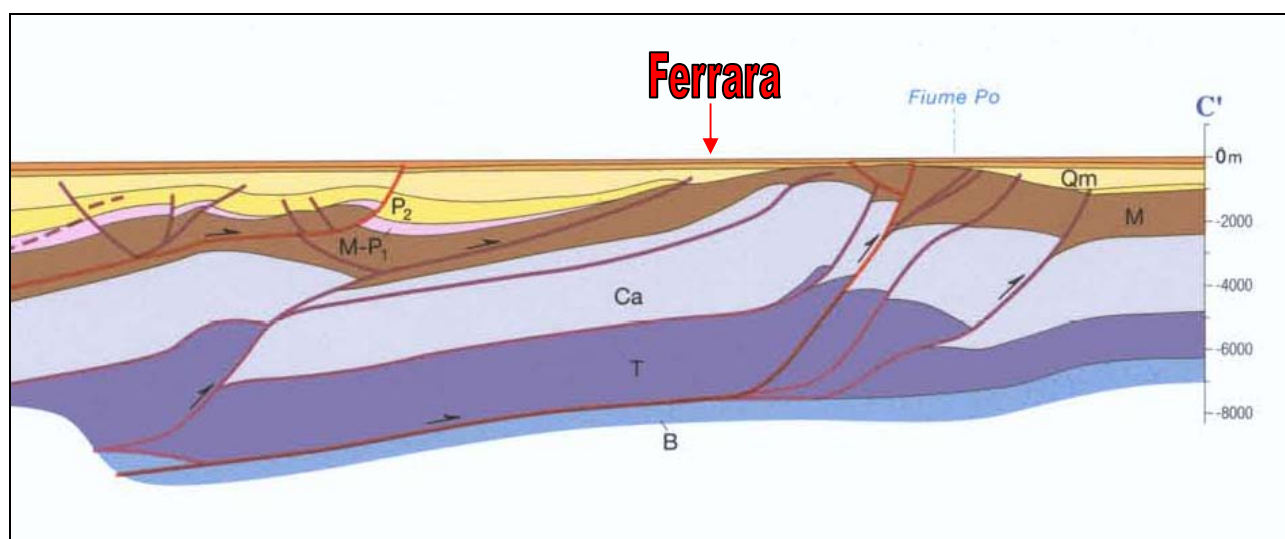


**Figura 2.3-1: nodi identificativi della pericolosità sismica di base (valori di  $a_{refg}$  o  $PGA_0$  riportati nel testo) per il territorio comunale di Jolanda di Savoia (FE).**

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

#### 3.1 Assetto geologico e idrogeologico

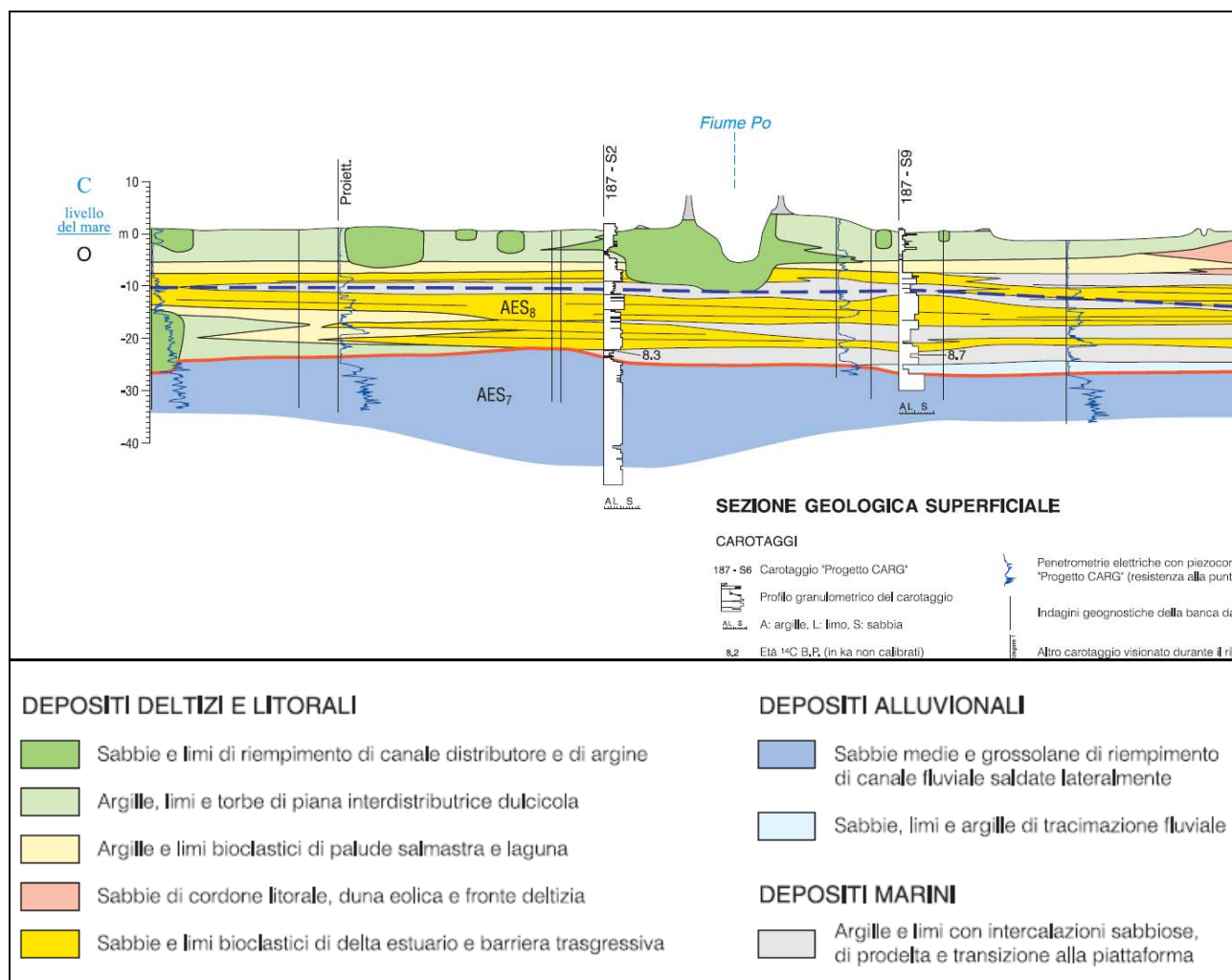
Il territorio comunale di Jolanda di Savoia si colloca nel settore sud orientale della pianura padana in destra idrografica del Fiume Po il cui corso scorre immediatamente a nord. Il paesaggio, piatto e uniforme, è interrotto e dominato dagli argini del Grande Fiume. Il comune capoluogo e la frazione di si collocano in un'area attualmente di piana fluvio-deltizia caratterizzata da quote medie comprese tra circa -2 m e + 2 m s.l.m.



**Figura 3.1-1: Dettaglio della sezione C-C' della Carta Sismotettonica della Regione E-R (assetto strutturale profondo della pianura padana sud-orientale)**

Nello specifico il settore di studio si identifica nella pianura fluvio-deltizia orientale del Fiume Po, caratterizzata in profondità dall'alternanza di potenti corpi sabbiosi molto estesi lateralmente e sedimenti fini (limi-argille). Le **sabbie** derivano dalla sedimentazione del **Fiume Po** e sono presenti in strati amalgamati tra loro in modo tale da formare livelli molto spessi, anche diverse decine di metri, ed estesi per svariati chilometri. Questi corpi sabbiosi sono presenti in genere a profondità variabili da circa 15 a circa 25 m e sono di **età pleistocenica** (*canali distributori principali – piana alluvionale pleistocenica*).

Procedendo verso la superficie, al di sopra delle sabbie pleistoceniche si trovano pacchi di sedimenti più fini di **età olocenica** costituiti prevalentemente da limi più o meno argillosi, argille e subordinatamente da sabbie limose e sabbie in strati di spessore contenuto. Si tratta di **depositi olocenici di piana deltizia** del fiume Po, dove i **sedimenti sabbiosi** identificano antichi **canali distributori minori** o secondari di piana deltizia, depositi di argine e tracimazione; i depositi più fini (**limi argillosi-argille e talora torbe**) rappresentano invece le **aree cosiddette interdistributrici**, ossia aree poste tra i diversi canali distributori che solcavano la piana deltizia. Queste aree venivano frequentemente interessate da allagamenti a seguito delle esondazioni dei canali distributori e pertanto erano interessate da sedimentazione relativamente più fine. Spesso sono presenti anche argille ricche in sostanza organica e livelli torbosi che fungono da livelli guida e testimoniano la presenza in passato di ampie zone palustri formatesi all'interno di conche morfologiche (valli) dove l'acqua ristagnava per tempi molto lunghi dopo le naturali esondazioni dei canali distributori.



**Figura 3.1-2: Stralcio della sezione geologica superficiale 073 – Regione Emilia-Romagna. Schema dell'assetto geologico del settore in studio.**

#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Lo studio di microzonazione sismica di III livello di approfondimento per il comune di Jolanda di Savoia, circa le indagini geognostiche di tipo diretto, si è interamente basato sui dati e sulle informazioni di carattere geologico-geotecnico e geofisico ricavate durante le fasi di approfondimento precedenti.

L'unica prova aggiuntiva è una prova penetrometrica statica a punta elettrica e piezocono sismico SCPTU messa a disposizione dall'Unione dei comuni Terre e Fiumi.

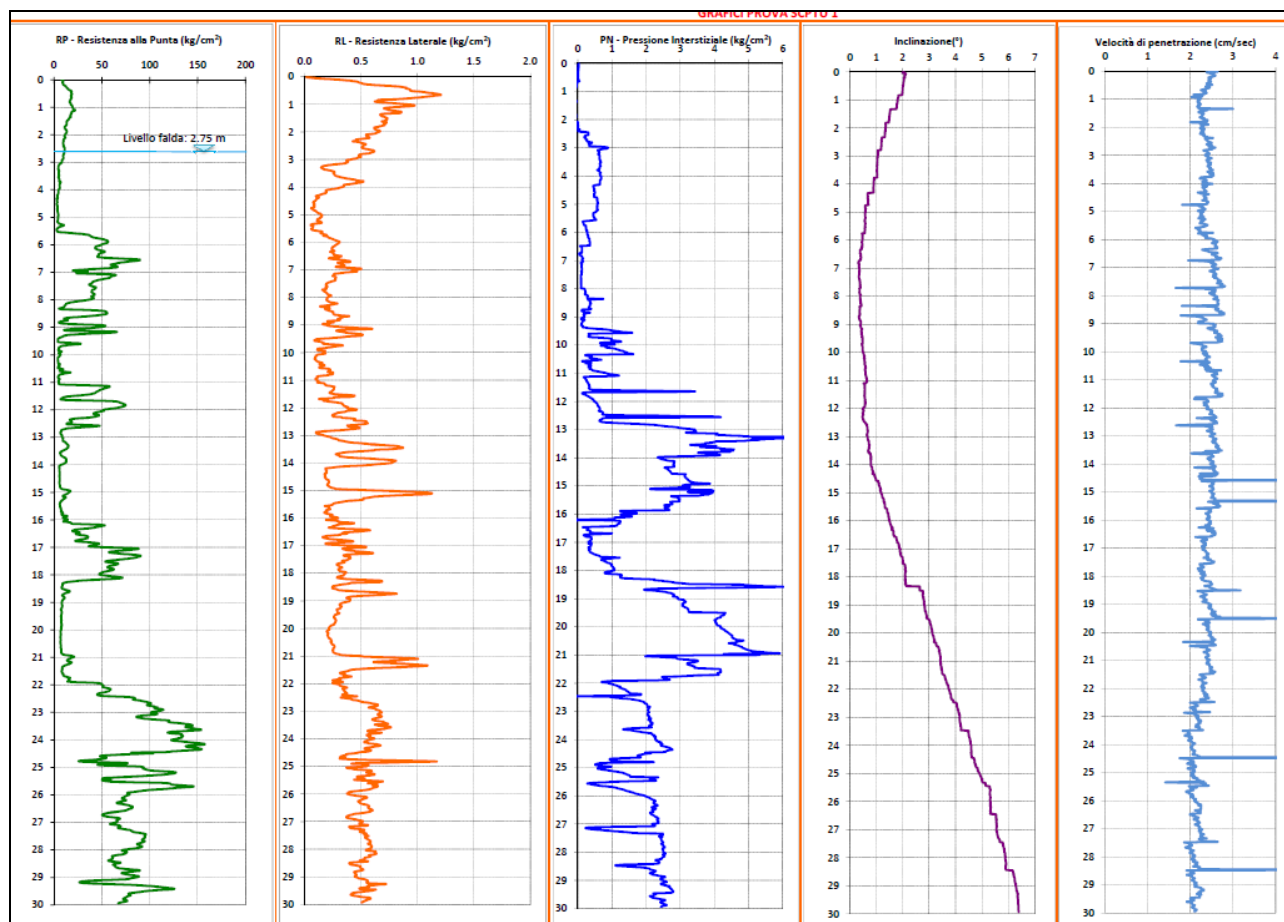
Le indagini dirette erano state volutamente realizzate nelle aree maggiormente interessate da paleocanali o tracce di percorsi fluviali (canali distributori minori e sabbie pleistoceniche del Po) con lo scopo di investigare terreni potenzialmente soggetti a liquefazione e fornire stime circa la pericolosità. Le stesse prove sono servite anche per il corretto studio dei depositi coesivi soffici di area interdistributrice e palude (cedimenti post-sismici attesi), sempre presenti alla scala dell'intero territorio nei primi 20 m di profondità.

Circa le indagini geofisiche indirette nella presente fase di studio è stato eseguito:

- N. 1 profilo in array bidimensionale di tipo ESAC;

- N. prova SCPTU (prova penetrometrica statica a punta elettrica e piezocono sismico) fornita dall'Unione Terre e Fiumi per il presente lavoro;
- N. 1 misura a stazione singola del microtremore ambientale (forzante) per l'analisi del comportamento dinamico di una struttura (scuola media A. Manzoni di Jolanda di Savoia); per il resto sono state utilizzate indagini pregresse.

Si ricorda che le indagini dei livelli di studio precedenti consistono in n. 91 indagini, in gran parte provenienti dall'archivio interno degli scriventi, distribuite sull'intero territorio comunale e costituite da indagini di tipo geotecnico, geologico e geofisico.



**Figura 4.1-1 prova penetrometrica SCPTU (Jolanda di Savoia)**



#### **4.1. Parametri geotecnici**

Le numerose prove analizzate hanno consentito di comprendere e sintetizzare l'assetto del sottosuolo alla scala dell'intero territorio comunale sia dal punto di vista litostratigrafico sia per quanto riguarda la consistenza e quindi la qualità dei terreni presenti.

Si distinguono in generale 3 tipologie di depositi:

- argille organiche e torbe prevalenti (paludi, zone depresse con ristagno prolungato delle acque di esondazione).
- limi argillosi e argille limose prevalenti con subordinate intercalazioni di limi sabbiosi (aree interdistributrici);
- sabbie e sabbie limose prevalenti (canali distributori, argini, tracimazioni);

I depositi francamente torbosi o costituiti da argille organiche sono molto diffusi a scala dell'intero territorio comunale con una discreta continuità orizzontale e spessori plurimetrici; si tratta dei terreni più soffici in assoluto, con valori molto scarsi di  $R_p$  ( $R_p < 0.2$  MPa) ed elevata compressibilità.

I depositi argillosi e limoso argillosi di area interdistributrice, anch'essi presenti in modo omogeneo su tutto il territorio comunale, sono nel complesso caratterizzati da valori di  $R_p$  piuttosto modesti, a testimonianza di un grado medio di compattezza da soffice a moderato. In generale, i valori di coesione non drenata ( $C_u$ ), ottenuti per correlazione con i valori di  $R_p$  misurati durante le numerose prove esaminate, sono mediamente inferiori a 70 KPa. Anche questi terreni sono sicuramente caratterizzati da un'elevata compressibilità.

Le sabbie dei canali distributori minori, nettamente subordinate in termini di distribuzione areale e spessori, si trovano in modo discontinuo lungo la piana interdistributrice e sono caratterizzate da valori di  $R_p$  che in media non superano i 50 Kg/cm<sup>2</sup> (o sono di poco superiori e in ogni caso <100 Kg/cm<sup>2</sup>); il loro grado di addensamento è generalmente medio-scarso. Si tratta probabilmente di sabbie molto sporche, limose o addirittura di limi sabbiosi.

Infine le sabbie di canale distributore del Po, costituenti la piana alluvionale pleistocenica, sono generalmente caratterizzate da valori elevati di resistenza alla punta (in media  $R_p > 50-100$  Kg/cm<sup>2</sup>) e presumibilmente sono costituite da sabbie medio-grossolane addensate. Le sabbie pleistoceniche sono presenti con grande continuità alla scala dell'intero territorio comunale di Jolanda di Savoia.

#### **4.2. Parametri geofisici**

##### **INDAGINI SUOLO**

Le prove che sono state seguite nella campagna geognostica 2018 per il III Livello di approfondimento sono elencate di seguito:

- N. 1 profilo in array bidimensionale di tipo ESAC;
- N. prova SCPTU (prova penetrometrica statica a punta elettrica e piezocono sismico) fornita dall'Unione Terre e Fiumi per il presente lavoro;

L'elaborazione ESAC associata alle misure HVSR pregresse ha permesso di estendere la modellazione delle  $V_s$  fino a profondità di oltre 100 m. L'area dell'intero territorio comunale di Jolanda di Savoia è caratterizzata da valori di velocità delle onde di taglio  $S$  ( $V_s$ ) caratteristici di terreni da molto soffici (argille e torbe con  $V_s \ll 180$  m/s) a compatti/addensati (livelli sabbiosi e sabbie pleistoceniche del Po con  $V_s > 200$  m/s). Le velocità delle onde  $S$ , nel complesso, tendono ad aumentare con la profondità in modo abbastanza graduale fino all'interfaccia tra i depositi di pianura deltizia di età olocenica e le sabbie medio-grossolane di riempimento canale (canale distributore) del fiume Po di età pleistocenica. In corrispondenza di tale

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 091680 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICRORAZIONE SISMICA DI III° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 119/17-ES-REV00 DEL 29/06/2018
--	---	--

superficie, posta a profondità variabile, che in media corrisponde all'intervallo 20-25 m circa, le Vs subiscono un deciso innalzamento per poi tornare ad aumentare gradualmente con la profondità.

Come evidenziato dagli studi precedenti, per tutta l'area di Jolanda nell'intervallo 1-2 Hz si registrano significative amplificazioni locali del moto del suolo per risonanza stratigrafica a contrasto d'impedenza in genere elevato (ampiezza picco HVSR  $\geq 3$ ), subordinatamente moderato (ampiezza picco  $2 < HVSR < 3$ ) e raramente basso (ampiezza picco  $1.5 \leq HVSR < 2$ ).

Il picco H/V in genere si concentra a circa 1.2-1.3 Hz; in generale si osserva che l'amplificazione e il suo picco tendono ad essere piuttosto costanti in quasi tutto il territorio comunale.

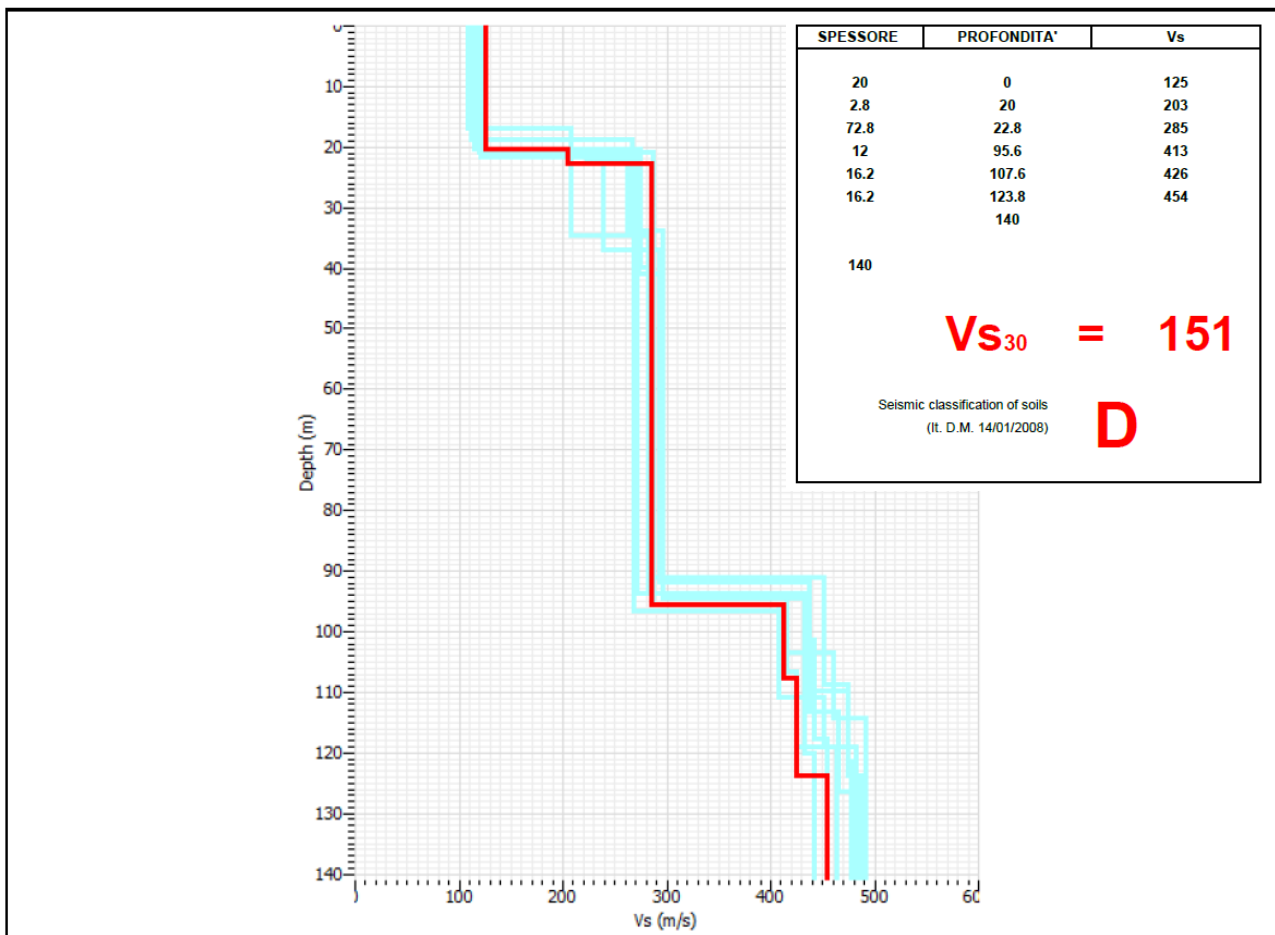
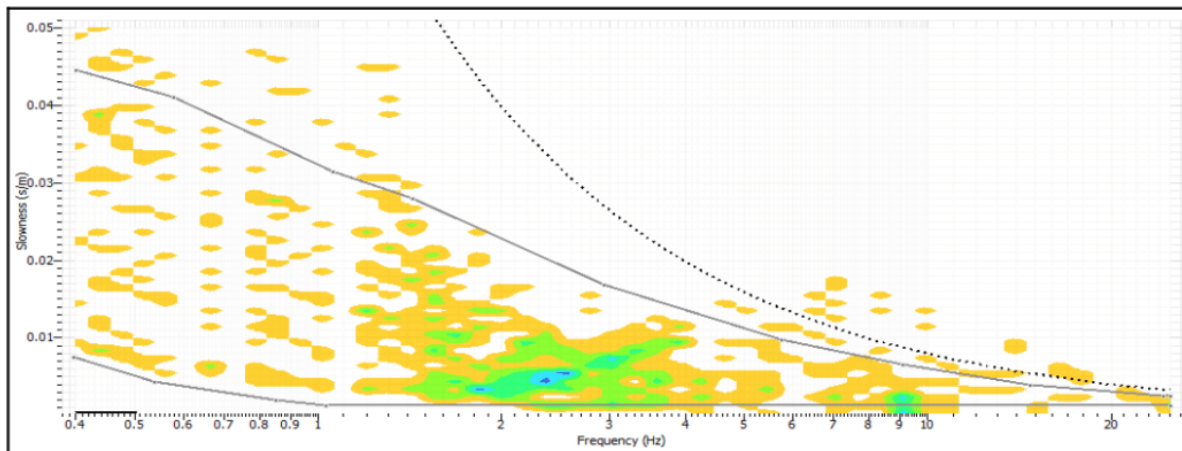
Il bedrock sismico con Vs = 800 m/s è sicuramente profondo oltre i 300-350 m almeno.

Il comportamento in campo dinamico del terreno, è stato definito mediante prove di laboratorio geotecnico in colonna risonante. I campioni analizzati sono rappresentativi rispettivamente della frazione coesiva argillosa (0-20 m) e di quella incoerente sabbiosa (20-30 m). I campioni sono stati prelevati nell'area di Ro mediante un sondaggio a carotaggio continuo a rotazione spinto fino a 30 m di profondità. I terreni carotati si ritengono assolutamente rappresentativi e del tutto simili a quelli presenti nel territorio di Jolanda di Savoia. Le curve di laboratorio (curve degrado modulo di taglio e smorzamento) sono state impiegate nell'analisi di risposta sismica locale come descritto in seguito.

Le figure seguenti mostrano i risultati sperimentali delle indagini geofisiche effettuate.



**CUMULATA DELLE CURVE DI DISPERSIONE DEI RINGS E RELATIVO PICKING PER INDIVIDUARNE LE FASI PIÙ SIGNIFICATIVE**



**Figura 4.2-1 – ESAC (Jolanda di Savoia capoluogo)**

prof. (p)	prof.(cs)	Dist (L)	Tempo (t)	VsP	L2-L1	t2-t1	VsL			<b>Vs30</b>
m	m	m	sec	m/sec	m	sec	m/sec			
0.00	0.00	0.00	0.0000							
1.00	0.70	1.66	0.0075	220	1.66	0.0075	220	0.70	0.00318	
2.00	1.70	2.27	0.0122	185	0.61	0.0047	129	1.00	0.00774	
3.00	2.70	3.09	0.0212	146	0.82	0.0090	92	1.00	0.01092	
4.00	3.70	3.99	0.0341	117	0.90	0.0128	70	1.00	0.01421	
5.00	4.70	4.93	0.0453	109	0.94	0.0113	84	1.00	0.01197	
6.00	5.70	5.89	0.0540	109	0.96	0.0087	111	1.00	0.00904	
7.00	6.70	6.87	0.0601	114	0.97	0.0061	159	1.00	0.00628	
8.00	7.70	7.84	0.0655	120	0.98	0.0054	182	1.00	0.00549	
9.00	8.70	8.83	0.0709	125	0.98	0.0054	183	1.00	0.00547	
10.00	9.70	9.82	0.0770	127	0.99	0.0061	161	1.00	0.00621	
11.00	10.70	10.80	0.0832	130	0.99	0.0062	159	1.00	0.00629	
12.00	11.70	11.80	0.0893	132	0.99	0.0061	163	1.00	0.00614	
13.00	12.70	12.79	0.0954	134	0.99	0.0061	162	1.00	0.00618	
14.00	13.70	13.78	0.1007	137	0.99	0.0052	191	1.00	0.00524	
15.00	14.70	14.78	0.1059	140	0.99	0.0052	191	1.00	0.00522	
16.00	15.70	15.77	0.1107	142	1.00	0.0048	205	1.00	0.00487	
17.00	16.70	16.77	0.1150	146	1.00	0.0043	231	1.00	0.00434	
18.00	17.70	17.76	0.1201	148	1.00	0.0051	197	1.00	0.00508	
19.00	18.70	18.76	0.1256	149	1.00	0.0055	182	1.00	0.00551	
20.00	19.70	19.76	0.1308	151	1.00	0.0053	190	1.00	0.00527	
21.00	20.70	20.75	0.1354	153	1.00	0.0045	220	1.00	0.00455	
22.00	21.70	21.75	0.1400	155	1.00	0.0047	213	1.00	0.00469	
23.00	22.70	22.75	0.1440	158	1.00	0.0040	249	1.00	0.00402	
24.00	23.70	23.75	0.1480	160	1.00	0.0040	251	1.00	0.00399	
25.00	24.70	24.75	0.1527	162	1.00	0.0047	213	1.00	0.00469	
26.00	25.70	25.74	0.1570	164	1.00	0.0043	233	1.00	0.00429	
27.00	26.70	26.74	0.1610	166	1.00	0.0040	248	1.00	0.00403	
28.00	27.70	27.74	0.1653	168	1.00	0.0043	234	1.00	0.00428	
29.00	28.70	28.74	0.1696	169	1.00	0.0043	234	1.00	0.00427	
30.00	29.70	29.74	0.1739	171	1.00	0.0044	228	1.00	0.00439	
								29.70	0.17786	
										<b>166.98</b>

prof.(cs): profondità cono sismico  
 prof. (p): profondità piezocono  
 D1: distanza fra la sorgente del rumore S - geofono triassiale (L)  
 Tempo (t): tempo d'arrivo dell'onda a S  
 VsP: velocità del suono nel percorso fra S ed L - Vs puntuale alla profondità  
 Vsi: velocità del suono nel percorso fra S ed L  
 VsL: Vs per ogni livello (L2 - L1)/(t2 - t1)

**Figura 4.2-2 – SCPTU (Jolanda di Savoia capoluogo)**

Nella tabella seguente si riepilogano i risultati ottenuti dalle prove analizzate:

TABELLA 4.2-1: SINTESI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE

SITO	TIPO DI PROVA	VS30	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	MAX H/V	AMPIEZZA PICCO	COMMENTI
JOLANDA DI SAVOIA CAPOLUOGO	ESAC	151 m/s	-	-	-	Terreni a rigidezza molto soffice
JOLANDA DI SAVOIA CAPOLUOGO	SCPTU	167 m/s	-	-	-	Terreni a rigidezza molto soffice



 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 091680 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORONAZIONE SISMICA DI III° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 119/17-ES-REV00 DEL 29/06/2018
--	--	--

## **INDAGINI STRUTTURA**

Come già accennato, in corrispondenza dell'edificio sede della scuola media Alessandro Manzoni di Jolanda di Savoia, è stata eseguita un'indagine a stazione singola con misura del microtremore ambientale (forzante) per analizzare sperimentalmente il comportamento dinamico della struttura. In particolare si è tentato, in modo speditivo, di individuare la frequenza del primo modo flessionale di vibrazione (ed eventualmente anche quella dei modi superiori) del fabbricato in oggetto. Lo scopo è stato quello di permettere un primo e indicativo confronto tra la frequenza di vibrazione di una struttura presente sul territorio e le frequenze di risonanza del suolo al fine di stabilire la possibilità di effetti di doppia risonanza terreno-struttura.

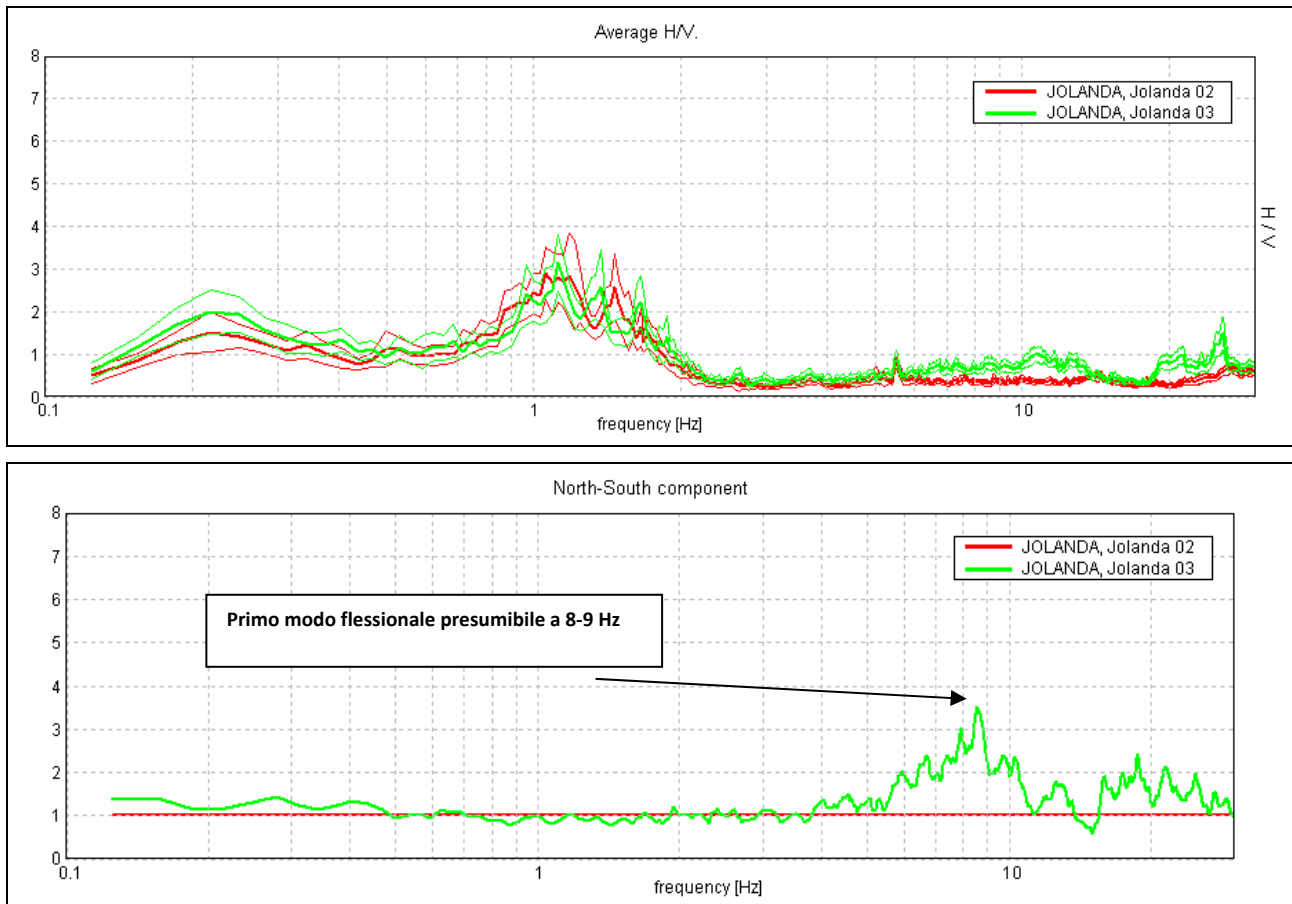
Le misure a stazione singola, eseguite con tomografo digitale (lo stesso impiegato per le registrazioni al suolo), prevedono la registrazione in seno alla struttura del microtremore ambientale (forzante) sempre presente e costituito da rumore antropico e rumore naturale (vento, perturbazioni atmosferiche etc.); pertanto non sono state utilizzate sorgenti energetiche esterne quali masse battenti, esplosivi o altro.

Sono state eseguite in totale n. 2 misure, al piano terra e al piano più alto lungo la stessa verticale. Lo strumento impiegato è dotato di n. 3 canali velocimetrici orientati nelle 3 direzioni dello spazio (due componenti Orizzontali: N-S;E-W e una componente Verticale: UP-DOWN) in grado di campionare e registrare il microtremore ambientale (0.1 – 0.0001 mm/s) proveniente in modo casuale da tutte le direzioni dello spazio.

Lo strumento di misura è stato posto a diretto contatto con il pavimento/solaio in modo che fosse solidale con la struttura. Gli assi strumentali denominati N-S e E-W, da non confondere con il nord-sud ed est-ovest geografici, sono stati sempre disposti parallelamente ai principali assi strutturali. In particolare l'asse strumentale N-S è stato posto perpendicolarmente al lato lungo dell'edificio.

La tecnica di indagine impiegata, denominata SSR (Standard Spectral Ratio) prevede la rimozione dell'effetto del sottosuolo (misura eseguita a piano terra) dalle registrazioni eseguite ai diversi piani della struttura (in questo caso il piano più alto). Nell'analisi sono considerati esclusivamente i rapporti tra le componenti di vibrazione orizzontali Nord-Sud (N-S) e Est-Ovest (E-W) mentre si trascura l'effetto sulla componente verticale UP-DOWN.

Di seguito si mostrano i risultati sperimentali ottenuti:



**Figura 4.1-3 – Frequenza di vibrazione dell'edificio analizzato (1° Modo flessionale)**



## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Sulla base delle prove analizzate e dei risultati ottenuti nel corso del III livello di approfondimento, considerando tutte le informazioni e le conoscenze di carattere geologico e geomorfologico, le indagini geognostiche consultate ed eseguite nel corso del II livello di analisi, è possibile fornire il seguente modello di sottosuolo di sintesi:

TABELLA 5-1: MODELLO SCHEMATICO DEL SOTTOSUOLO NELL'AREA COMUNALE DI JOLANDA DI SAVOIA

UNITA'	DESCRIZIONE	PERIODO	PROFONDITA'	COMPATTEZZA ADDENSAMENTO DEPOSITO	FREQ. RISONANZA PRINCIPALE	Vs MEDIA
<b>B</b>	Unità delle paludi (piana deltizia)	OLOCENE	0 – 20/25 m circa	Soffice/molto soffice (frazione coesiva prevalente) addensamento medio-scarso (frazione granulare subordinata)	1-2 Hz in genere, ampiezza del picco elevata (>3)	Vs << 180 m/s
<b>C</b>	Unità della pianura alluvionale pleistocenica del Fiume Po	PLEISTOCENE	> 20/25 m circa	addensamento medio-alto (granulare)		Vs > 200 m/s

L'unità **B** è costituita dalla presenza significativa di terreni argillosi organici e torbosi presenti come potenti spessori insieme a pacchi di argille inorganiche e limi argillosi. Questa unità testimonia la presenza in passato di aree depresse e pressoché sempre invase dalle acque di tracimazione che ristagnavano per tempi molto lunghi, consentendo la deposizione di argille miste ad abbondante frazione organica e a significativi spessori di torba. Nel territorio comunale di Jolanda, rispetto a tutti gli altri comuni dell'Unione Terre e Fiumi, l'Unità B è predominante nel sottosuolo già a partire dal piano campagna; gli spessori di torbe e argille organiche possono essere plurimetrici e fino a decametrici. Localmente sono presenti orizzonti sabbiosi, di spessore modesto (max 2-3 m) che rappresentano corpi di canali distributori che solcavano le paludi. Le sabbie hanno in genere addensamento medio-scarso con valori di  $R_p < 50 \text{ Kg/cm}^2$  o di poco superiori e comunque sempre al di sotto di  $100 \text{ Kg/cm}^2$  in media. Granulometricamente si tratta di sabbie medio fini e finissime con abbondante frazione limosa. La base dell'Unità B è rappresentata dalle sabbie pleistoceniche del Fiume Po, che ovunque nel territorio comunale, sono presenti a circa 20-25 m di profondità.

L'Unità **C** è rappresentata dalle sabbie pleistoceniche di pianura alluvionale del Po. Sono sabbie per lo più di riempimento canale (canale-barra-argine), medio grossolane con lamine di trazione, presenti in modo continuo ed omogeneo in quanto saldate lateralmente in modo da formare un livello continuo per diversi chilometri.

Tutti i depositi sopradescritti (Unità B e Unità C) sono suscettibili di amplificazione locale per risonanza stratigrafica; si trascurano gli effetti topografici in quanto l'area è pianeggiante. I depositi

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 091680 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORZONAZIONE SISMICA DI III° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 119/17-ES-REV00 DEL 29/06/2018
--	---	--

appartenenti all'Unità B sono, per le loro caratteristiche tessiturali, di consistenza e per le profondità a cui si trovano, suscettibili di instabilità per densificazione (frazione coesiva soffice) e liquefazione (frazione granulare incoerente satura). Si rimanda al capitolo 8 per le considerazioni di dettaglio.

Si consideri che, alla scala dell'intera Unione dei Comuni Terre e Fiumi, è stata riconosciuta la presenza di un'ulteriore unità, denominata Unità A. Questa unità è costituita da tutti quei depositi di età olocenica (10000 anni fa – attuale) depositi in ambiente di piana deltizia del fiume Po. E' costituita sia da depositi granulari incoerenti (sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi) di canale distributore minore, argine, rotta e tracimazioni, con densità relativa medio-scarso, sia da depositi fini coesivi soffici di natura argillosa e limosa che rappresentano depositi di area interdistributrice depositi durante le frequenti e ripetute esondazioni dei canali distributori. Tale unità non è presente nel territorio comunale di Jolanda di Savoia.

## 6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Come precedentemente descritto, ai fini del presente studio sono state utilizzate le seguenti banche dati:

- archivio prove e dati di Synthesis S.r.l.;
- banca dati del Servizio Geologico Sismico e de i Suoli Regione Emilia-Romagna;
- banca dati del Comune di Jolanda di Savoia;
- prove geofisiche eseguite ex-novo per il III Livello di approfondimento al fine di integrare i dati in possesso laddove carenti o confermare risultati precedentemente ottenuti.

Le unità litostratigrafiche descritte, i valori geotecnici associati e gli spessori riportati sono da considerarsi validi a scala generale; tuttavia, data la copertura non omogenea e totale del territorio dal punto di vista delle prove geognostiche, si ritengono possibili variazioni locali in termini di qualunque elemento considerato (spessore, resistenze, litologia, Vs etc...).

In fase di nuove edificazioni e di sviluppo urbanistico sono sempre necessarie specifiche e puntuali indagini a conferma o smentita dell'assetto geologico-sismico proposto per l'area comunale di Jolanda di Savoia.

## 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Le metodologie di elaborazione impiegate nel presente studio e i risultati di III livello di approfondimento sono i seguenti:

TABELLA 7-1: SCHEMA METODOLOGICO APPLICATO

EFFETTI LOCALI	Obiettivo	Metodologia	Risultato
AMPLIFICAZIONI STRATIGRAFICHE DEL MOTO SISMICO	<b>Stima fattori di amplificazione sismica e spettri di risposta per l'area comunale di Jolanda di Savoia e sue frazioni</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcolo numerico della risposta sismica locale mediante codice di calcolo STRATA (<i>Equivalent linear site response analysis</i>). Modello Vs-profondità basato su indagini SCPTU-MASW-HVSR-ESAC; Litologia strati desunta da prove CPT, CPTU, Sondaggi profondi, Database Servizio Geologico E-R; Comportamento dinamico terreni ottenuto da prove di laboratorio in Colonna Risonante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spettro di risposta elastico 1-sigma (spettro medio + deviazione standard);</li> <li>• Valori del rapporto <math>PGA/PGA_0</math> (fattore di amplificazione F.A.);</li> <li>• Valori del rapporto <math>SI/SI_0</math> (Housner);</li> </ul>
INSTABILITA' DEI SUOLI IN CASO DI SISMA	<b>Stima dell'Indice di liquefazione <math>I_L</math> e della relativa classe di pericolosità nei terreni incoerenti in falda (canali distributori, argini, rotte)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisi dei dati ottenuti dalle prove CPTU e CPT con metodo di Boulanger &amp; Idriss (2014) e stima di <math>I_L</math> con metodo di Somnez (2003);</li> <li>• Analisi delle curve granulometriche ottenute in laboratorio geotecnico e confronto con i fusi di riferimento indicati dalla normativa vigente (DGR 2193/2015).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Andamento del fattore di sicurezza alla liquefazione con la profondità fino a 20 m;</li> <li>• Stima del valore di <math>I_L</math> e attribuzione della classe di pericolosità alla liquefazione;</li> <li>• Considerazioni circa i fusi granulometrici.</li> </ul>
	<b>Stima dei cedimenti attesi post-sisma (aree interdistributrici e paludi)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisi dei dati ottenuti dalle prove CPTU e di laboratorio geotecnico con individuazione dei livelli dove: <math>Cu &lt; 70</math> KPa, <math>Vs &lt; 180</math> m/s e <math>IP &gt; 30\%</math>.</li> <li>• Prove edometriche per analisi della compressibilità dei livelli di terreno ove sono verificate le condizioni di cui al punto precedente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stima indicativa del cedimento permanente post-sismico a carico della frazione coesiva soffice (compattazione dinamica).</li> </ul>

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 091680 www.synthesissrl.com – info@synthesissrl.com	STUDIO DI MICORZONAZIONE SISMICA DI III° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 119/17-ES-REV00 DEL 29/06/2018
--	---	--

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Il presente studio, come prescritto dalla DGR 2193/2015, è corredato da una serie di elaborati cartografici di seguito elencati:

### Terzo livello di approfondimento:

- Carta delle indagini in scala 1:5.000 (carta unica)
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000 (carta unica)
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000 (carta unica)
- Carta dei fattori di amplificazione – Accelerazione Massima Orizzontale (F.A.  $PGA = PGA/PGA_0$ ) in scala 1:5.000 (carta unica)
- Carta dei fattori di amplificazione – Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ )(F.A. 0,1 – 0,5s) in scala 1:5.000 (carta unica)
- Carta dei fattori di amplificazione – Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ )(F.A. 0,5 – 1s) in scala 1:5.000 (carta unica)
- Carta dei fattori di amplificazione – Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ )(F.A. 0,5 – 1,5s) in scala 1:5.000 (carta unica)

### 8.1 Carta delle Indagini

E' la carta in cui sono riportate tutte le indagini geognostiche, sia quelle utilizzate per il I° e II° Livello di approfondimento sia quelle realizzate nel presente studio (III livello di approfondimento).

Per il comune di Jolanda di Savoia sono state nel complesso analizzate e/o realizzate:

#### I-II LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

- n. 55 prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT);
- n. 6 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- n. 2 prove penetrometriche con cono sismico (SCPTU);
- n. 12 pozzi per acqua;
- n. 4 indagini tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW);
- n. 12 misurazioni dei microtremori ambientali Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

#### III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

- n. 1 prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU) fornita dall'unione comuni Terre e Fiumi;
- n. 1 profilo sismico con array bidimensionale tipo **ESAC**;
- n. 1 misura sperimentale del comportamento dinamico di una struttura (metodo SSR e misura a stazione singola presso la scuola media Alessandro Manzoni di Jolanda di Savoia)

La maggior parte delle indagini che hanno consentito la modellazione del sottosuolo proviene dall'archivio interno di Synthesis S.r.l. Si tratta per lo più di prove penetrometriche statiche a punta meccanica e a punta elettrica con piezocono, eseguite nel corso di pregresse campagne geognostiche. Le penetrometrie in media hanno raggiunto profondità comprese tra 15-30. m da piano campagna. Per quanto riguarda i sondaggi e pozzi per acqua la profondità è in genere compresa tra 30-40 m da p.c.

La profondità raggiunta nel complesso dalle prove è ampiamente sufficiente per individuare e descrivere gli orizzonti potenzialmente suscettibili di instabilità, nello specifico terreni suscettibili di densificazione (terreni fini-coesivi) o liquefazione (terreni granulari-incoerenti).



Le prove invece che fanno riferimento al III livello di approfondimento (campagna 2018) sono state realizzate interamente nel corso del presente studio. Le indagini dirette hanno esplorato profondità paria a 30 m (SCPTU fornita da Unione).

La profondità raggiunta nel complesso dalle prove è ampiamente sufficiente per individuare e stimare gli indici di rischio degli orizzonti potenzialmente suscettibili di instabilità, nello specifico terreni suscettibili di densificazione (terreni fini-coesivi) o liquefazione (terreni granulari-incoerenti).

Circa le indagini geofisiche, nella presente campagna (2017) sono stati eseguiti n. 1 prova SCPTU e n.1 misure a stazione singola HVSR

Le indagini geofisiche eseguite per il III livello di approfondimento (campagna 2018), sono consistite in profili in un profilo in array bidimensionale di tipo ESAC, una prova SCPTU e in una misura a stazione singola del microtremore ambientale su una struttura (SSR-periodo di vibrazione della struttura); nel caso specifico la struttura esaminata è stato l'edificio sede del Municipio di Jolanda di Savoia.

## 8.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni

La carta contiene informazioni sulla frequenza e l'ampiezza dei picchi di amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica che caratterizzano l'area. E' una carta molto importante in quanto frutto di registrazioni dirette eseguite in sito. Le misure effettuate, i cui valori di picco sono riportati sulla carta, indicano a quali frequenze il moto del suolo subisce delle amplificazioni per effetto dell'assetto stratigrafico specifico del sottosuolo investigato e per effetto dei contrasti di rigidità relativi tra gli strati, o più in generale tra le unità, che lo compongono.

Per tutta l'area di Jolanda nell'intervallo 1-2 Hz si registrano significative amplificazioni locali del moto del suolo per risonanza stratigrafica a contrasto d'impedenza in genere elevato (ampiezza picco HVSR  $\geq 3$ ), subordinatamente moderato (ampiezza picco  $2 < HVSR < 3$ ) e raramente basso (ampiezza picco  $1.5 \leq HVSR < 2$ ). Il picco H/V in genere si concentra a circa 1.2-1.3 Hz; in generale si osserva che l'amplificazione e il suo picco tendono ad essere piuttosto costanti in quasi tutto il territorio comunale.

I risultati ottenuti e descritti sono da confrontare con specifiche misure del periodo di vibrazione delle strutture (analisi del comportamento dinamico delle strutture) al fine di consentire il confronto tra le frequenze di vibrazione del terreno e quelle delle strutture con l'obiettivo di evitare o contenere il fenomeno di *doppia risonanza terreno-struttura*. Nello studio in esame, a tal proposito, è stato analizzato il comportamento dinamico (modi di vibrazione e relativi periodi) dell'edificio sede della scuola media A. Manzoni di Jolanda di Savoia.

## 8.3 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

La carta illustra e riporta i valori stimati di Vs30, ovvero la media ponderata di velocità delle onde di taglio S nei primi 30 m da p.c. La stima è stata eseguita mediante:

### I-II LIVELLO DI APROFONDIMENTO (indagini pregresse)

- n. 4 profili in array con tecnica MASW;
- n.1 prova penetrometrica statica a punta elettrica e cono sismico (SCPTU);

### III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO (campagna attuale 2018)

- n. 1 prova SCPTU (fornita da Unione comuni Terre e Fiumi);
- n.1 profilo in array con tecnica ESAC (profilo bidimensionale)

La tabella sottostante riepiloga i risultati ottenuti.

TABELLA 8.3-1: VALORI DI  $V_{S30}$  STIMATI PER L'AREA COMUNALE DI JOLANDA DI SAVOIA

SITO	Tipologia di indagine	VS30 m/s	COMMENTI
Jolanda di Savoia	038010L1 MASW1 (2017)	120 m/s	Rigidezza dei terreni molto soffice
Jolanda di Savoia	038010L1 MASW2 (2017)	137 m/s	Rigidezza dei terreni molto soffice
Jolanda di Savoia	038010L3 MASW3 (2017)	162 m/s	Rigidezza dei terreni soffice
Jolanda di Savoia	038010L4MASW4 (2017)	132 m/s	Rigidezza dei terreni molto soffice
Jolanda di Savoia	038010P9SCPTU9 (2017)	160 m/s	Rigidezza dei terreni molto soffice
Jolanda di Savoia	038010P86SCPTU86 (2017)	130 m/s	Rigidezza dei terreni molto soffice
Jolanda di Savoia	SCPTU (2018)	151 m/s	Rigidezza dei terreni molto soffice
Jolanda di Savoia	ESAC (2018)	167 M/S	Rigidezza dei terreni soffice

Come già più volte descritto, anche i valori di velocità delle onde S testimoniano e confermano la presenza di terreni a scarsa rigidezza, soffici e molto soffici, caratterizzati da valori medi di  $V_s \ll 180$  m/s in particolare nei primi 15-20 m di profondità da p.c. (UNITA' B). Al di sotto di tale quota, le sabbie pleistoceniche mostrano decisi innalzamenti dei valori di velocità  $V_s$  (UNITA' C) con valori medi di circa 250 m/s.

#### 8.4 Carta di Microzonazione Sismica

Come riportato nelle carte delle aree suscettibili di effetti locali redatte nel corso della microzonazione di II livello di approfondimento per il comune di Jolanda di Savoia, si distinguono:

- ZONA 1: caratterizzata dalla presenza di argilla/limo argilloso (terreni potenzialmente instabili per densificazione) e sabbia (terreni potenzialmente suscettibili di liquefazione);
- ZONA 2: zona caratterizzata dalla presenza di torbe e argille organiche (terreni instabili per densificazione) e sabbia (terreni instabili per liquefazione);
- ZONA 3: caratterizzata dalla presenza di argilla/limo argilloso (terreni potenzialmente instabili per potenziale densificazione), torba (terreni instabili per potenziale densificazione) e sabbia (terreni potenzialmente suscettibili di liquefazione);
- ZONA 4: caratterizzata dalla presenza unicamente di argilla/limo argilloso (terreni instabili per potenziale densificazione);
- ZONA 5: caratterizzata dalla presenza di argilla/limo argilloso (terreni instabili per potenziale densificazione) e torba (terreni instabili per potenziale densificazione).

Tutte le zone individuate sono da considerarsi suscettibili di amplificazione stratigrafica del moto sismico. Trascurando gli effetti topografici, trattandosi di aree pianeggianti, le coperture sedimentarie poste sopra al bedrock sismico, per le loro stesse caratteristiche di rigidezza, natura litologica e assetto stratigrafico, sono in grado di modificare il moto sismico proveniente da basso in termini di frequenza, durata e ampiezza, amplificandone gli effetti di scuotimento in superficie. Nel presente studio si forniscono



 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 091680 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORZONAZIONE SISMICA DI III° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 119/17-ES-REV00 DEL 29/06/2018
--	---	--

le carte dei fattori di amplificazione in termini di rapporto  $PGA/PGA_0$  (F.A. fattore di amplificazione stratigrafica) e rapporto  $SI/SI_0$  (rapporto di intensità di Housner) per i periodi 0,1 – 0,5s, 0,5 - 1s e 0,5 – 1,5s.

Allo stesso modo tutte le zone riconosciute si caratterizzano per la presenza di terreni fini, coesivi, soffici e molto soffici caratterizzati da valori medi di resistenza a rottura in condizioni non drenate (breve termine) < 70 KPa. Resistenze medie inferiori a tale valore di soglia, come indicato nella DGR 2193/2015 nell'allegato A3 – Capitolo B – paragrafo B3, unitamente ai valori stimati di velocità delle onde di taglio S, in genere risultati < 180 m/s, indicano la predisposizione di tali depositi allo sviluppo di cedimenti potenzialmente rilevanti in caso di scuotimento indotto dall'azione ciclica e dinamica del sisma. Tale fenomeno, indicato con il termine di *densificazione* (abbassamento generalizzato del piano campagna), può causare effetti di danno rilevanti specie sulle costruzioni poggianti su fondazioni superficiali, poste a diretto contatto con gli strati superficiali e in genere più soffici, sollecitati dall'azione sismica. Pertanto, le zone sono state oggetto di analisi con III° livello di approfondimento al fine di stimare, a livello indicativo e di ordine di grandezza, il cedimento indotto dal sisma a carico della frazione coesiva fine (argilla e limi argillosi dell'unità A).

Limitatamente alla ZONA 1, ZONA 2 e ZONA 3, rilevate ovunque sul territorio comunale, si riscontra anche la presenza di depositi incoerenti-granulari nei primi 20 m da p.c., quali sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, con scarso grado di addensamento e sotto falda.

Alla luce di quanto detto, per i depositi sabbiosi individuati sono state eseguite analisi con III livello di approfondimento al fine di stimare a scala dell'intero territorio comunale, l'Indice di Liquefazione  $I_L$  come prescritto dalla normativa di riferimento. Le analisi sono state condotte sulla scorta dei risultati ottenuti da prove CPTU ed SCPTU, applicando come accelerazione massima in superficie quella ottenuta dall'analisi di risposta sismica locale per un Tempo di Ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5%. Il metodo utilizzato per il calcolo del fattore di sicurezza alla liquefazione è stato quello di Boulanger & Idriss (2014), mentre il valore dell'indice di Liquefazione  $I_L$  è stato determinato mediante Sonmez (2003).

Con l'approfondimento di III livello le zone sono divenute:

#### ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

- ZONA 7: zona caratterizzata dalla presenza di torbe e argille organiche e sabbia;
- ZONA 8: caratterizzata dalla presenza di argilla/limo argilloso, torba e sabbia;
- ZONA 9: caratterizzata dalla presenza unicamente di argilla/limo argilloso;
- ZONA 10: caratterizzata dalla presenza di argilla/limo argilloso e torba.



### 8.4.1 Analisi di Risposta Sismica Locale

La valutazione degli effetti sismici di sito (Risposta Sismica Locale) dell'intera area comunale di Jolanda di Savoia è stata condotta mediante approccio numerico non semplificato come previsto dalla DGR N. 2193/2015 della Regione Emilia Romagna per il III livello di approfondimento, utilizzando il **codice di calcolo STRATA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis; STRATA è distribuito con licenza GNU disponibile al sito <http://www.gnu.org/licenses/>)**.

#### PARAMETRI DI INPUT

TABELLA 8.4.1-1: PARAMETRI DI INPUT UTILIZZATI PER L'ANALISI RSL

SITO	Valori di $a_{refg}$ (g)	Scelta dei segnali di input	Banca dati di provenienza dei segnali di input	N. Accelerogrammi input impiegati	Profondità presunta bedrock sismico riferita al livello del mare
JOLANDA DI SAVOIA	0.0879	Storia sismica da DBMI15-CPTI15 (INGV) e Carta Sismogenetica d'Italia Zone ZS9 (si veda capitolo 2 nel presente documento)	European Strong Motion Database IESD (dati disponibili su Servizio Geologico Sismico e dei Suoli E-R: "Sismica-Microzonazione Sismica") come da DGR2193/2015; Italian Accelerometric Archive (ITACA 2.3) si veda scheda di seguito nel testo	10 (N. 3 da European Strong Motion Database e n. 7 da ITACA 2.3)	250-300 m

Dove:

- come valori di  $a_{refg}$  sono stati assunti quelli riferiti al nodo più vicino oppure, in caso di una certa equidistanza, si è fatto riferimento al nodo con valore più elevato (DGR2193/2015 file: *all\_4\_coord.kmz*);
- **DBMI** = Database Macrosismico Italiano 2015 (INGV);
- **CPTI** = Catalogo Parametrico Terremoti Italiani 2015 (INGV);
- la **profondità del bedrock sismico ( $V_s \approx 700/800$  m/s)** è stata stimata in base all'isobata del tetto del Sistema Emiliano Romagnolo superiore (da Carta Sismotettonica Regione E-R) e all'interpretazione delle indagini geofisiche (in particolare HVSR e ESAC);
- tutti gli accelerogrammi utilizzati come **segnali di input** sono stati scalati al valore di  $a_{refg}$  riportato in tabella e i relativi spettri di risposta in accelerazione fanno riferimento a un Tempo di Ritorno  $T_R = 475$  anni e a uno **smorzamento convenzionale del 5%**;

- i 3 segnali provenienti dalla banca dati europea (**ISESD**) e indicati sulla normativa di riferimento provengono dai seguenti files: 000046xa.xy; 000126xa.xy; 000354xa.xy
- i 7 segnali provenienti dal database **ITACA 2.3** sono stati selezionati come riportato di seguito (gli accelerogrammi con fattore di scala troppo elevato a giudizio dello scrivente non sono stati considerati nell'analisi):

```

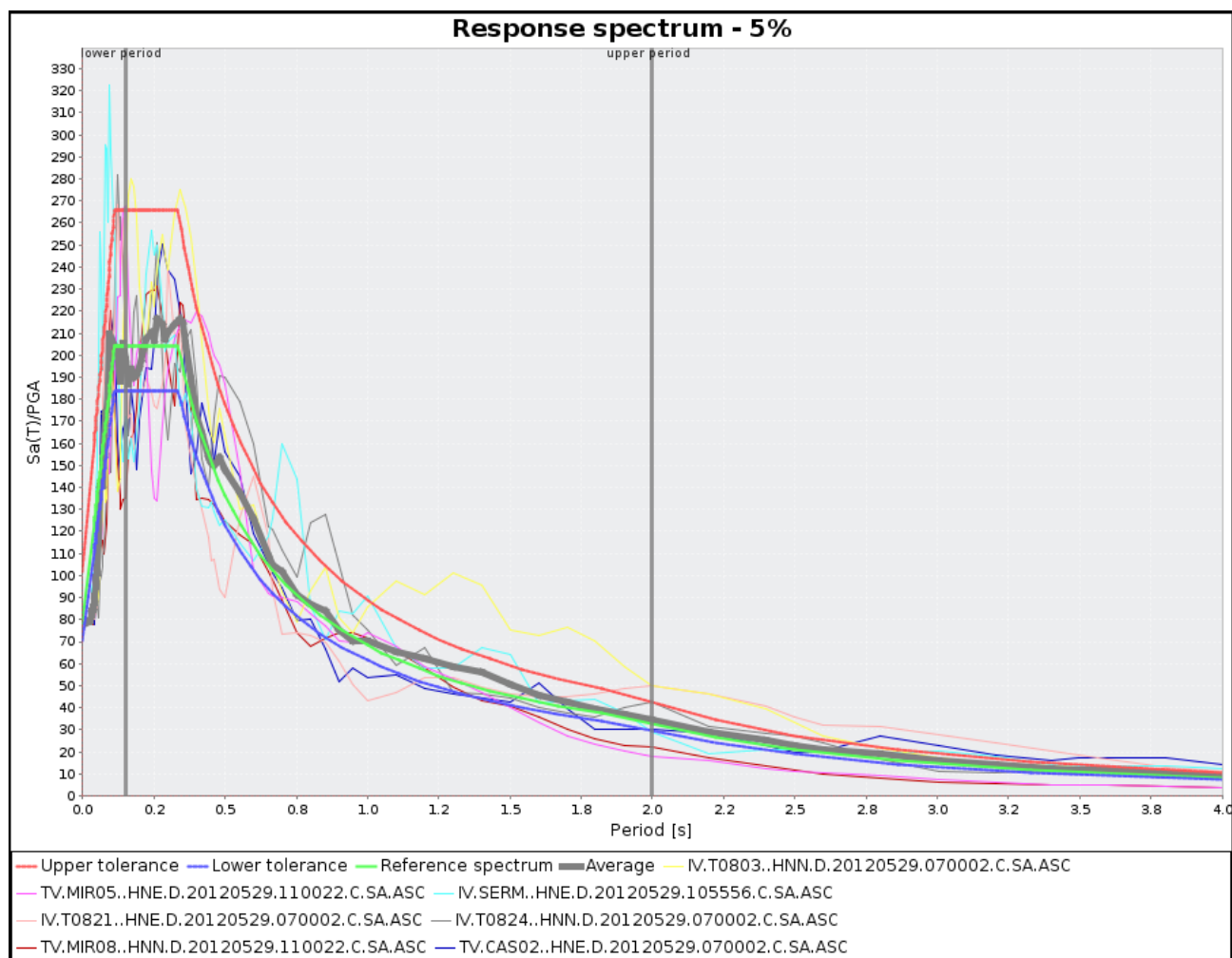
Target spectrum
=====
Latitude: 44.886903
Longitude: 11.978165
Site classification: A
Topography: 1
Nominal life [years]: 50
Building functional type (Cu): 1.0
Limit state probability : 0.1

Preliminary record search
=====
Station site classification: A,A*,B,B*,C,C*,D,D*,E,E*
Magnitude min: 5.0
Magnitude max: 6.0
Types of magnitude considered: w
Epicentral distance min [km]: 0.0
Epicentral distance max [km]: 50.0
Include late trigger events: no
Include analog recordings: yes

Spectrum matching parameters and analysis options
=====
Period range min [s]: 0.15
Period range max [s]: 2.0
Tolerance below average [%]: 10.0
Tolerance above average [%]: 30.0
Scaled records: yes

Scaled records and corresponding scale factors
=====
TV.CAS02..HNE.D.20120529.070002.C.SA.ASC 1.912
TV.MIR08..HNN.D.20120529.110022.C.SA.ASC 0.954
IV.T0824..HNN.D.20120529.070002.C.SA.ASC 0.551
IV.T0821..HNE.D.20120529.070002.C.SA.ASC 3.973
IV.SERM..HNE.D.20120529.105556.C.SA.ASC 20.396
TV.MIR05..HNE.D.20120529.110022.C.SA.ASC 1.050
IV.T0803..HNN.D.20120529.070002.C.SA.ASC 1.140

```



**Figura 8.4.1-1 – Spettri dei segnali di input provenienti da ITACA 2.3 (spettro compatibili in media con lo spettro del terremoto target)**

**MODELLO DI SOTTOSUOLO UTILIZZATO**

TABELLA 8.4.1-2: MODELLO DI SOTTOSUOLO UTILIZZATO PER L'ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE PER L'AREA DI JOLANDA DI SAVOIA

Prof. da p.c. tetto sismostrato (m)	Spessore sismostrato (m)	Litotipo prevalente nel sismostrato	Unità di riferimento (modello geologico da I-II-III livello)	Velocità media stimata onde S (m/s) nel sismostrato	Velocità minima stimata onde S (m/s) nel sismostrato	Velocità massima stimata onde S (m/s) nel sismostrato	Curve G-gamma; D-gamma (degrado modulo taglio/dumping)
0.00	25.00	limo argilloso organico con tracce di torba	B Paludi di piana deltizia olocenica Po	135.00	70.00	160.00	Colonna risonante su campione litologicamente analogo proveniente da RO (≈9 m)

							profondità)
25.00	70.0	sabbia medio fine grigia	C piana alluvionale pleistocenica Po	230.00	190.00	310.00	Colonna risonante su campione litologicamente analogo proveniente da RO (≈20 m profondità)
95.00	200.00	limo con sabbia "profondo"	Altri Depositi del Sintema E-R superiore	450.00	400.00	500.00	Colonna risonante su campione proveniente da alta pianura bolognese consolidato a 500 KPa
300-350 (variabile)	half-space	Bedrock	Tetto Sintema E-R inferiore	700.00	600.00	800.00	Da letteratura (Darendeli)

La profondità della falda è stata assunta mediamente a – 2 m di profondità da p.c.

Le curve degrado (g-gamma) e smorzamento (dumping D-gamma) utilizzate sono riportate nelle figure seguenti. A titolo di confronto nei grafici sono inserite anche le curve provenienti da ben noti studi di letteratura associate a litotipi analoghi a quelli presenti in sito (studi su argille e sabbie di Seed e Idriss).

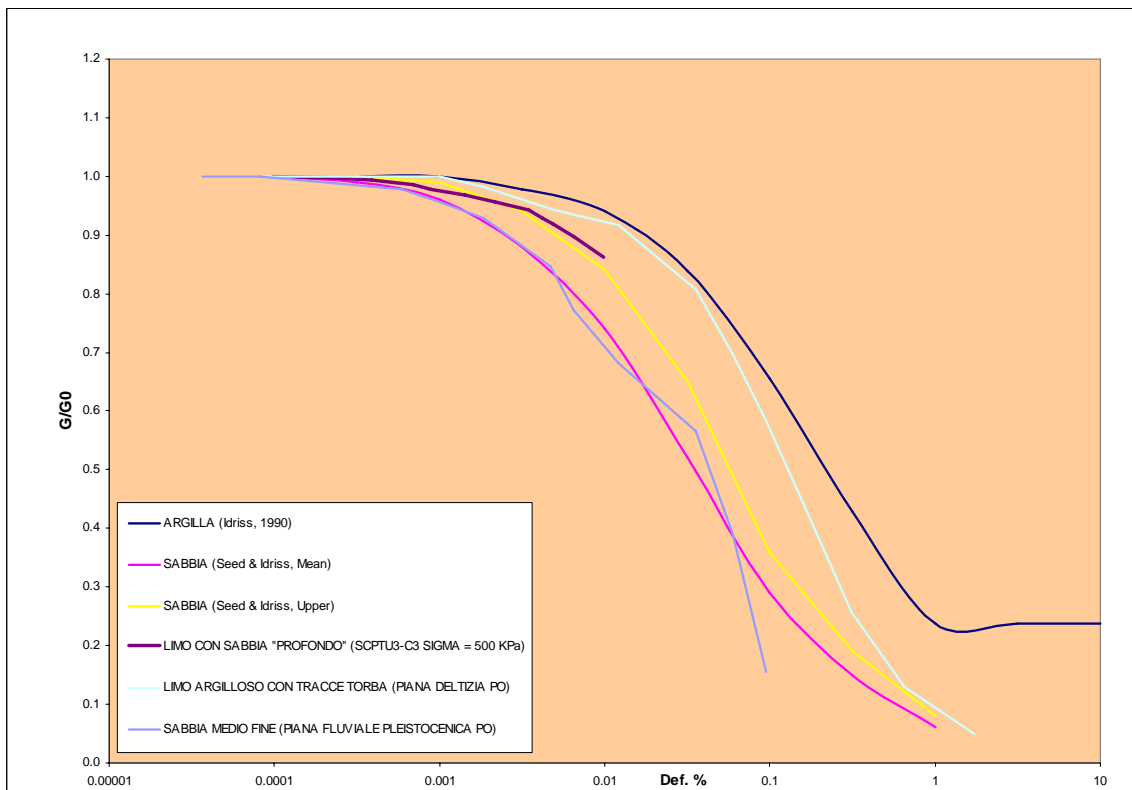


Figura 8.4.1-2 – Curve G-gamma materiali impiegati nell'analisi e confronto con curve note da letteratura

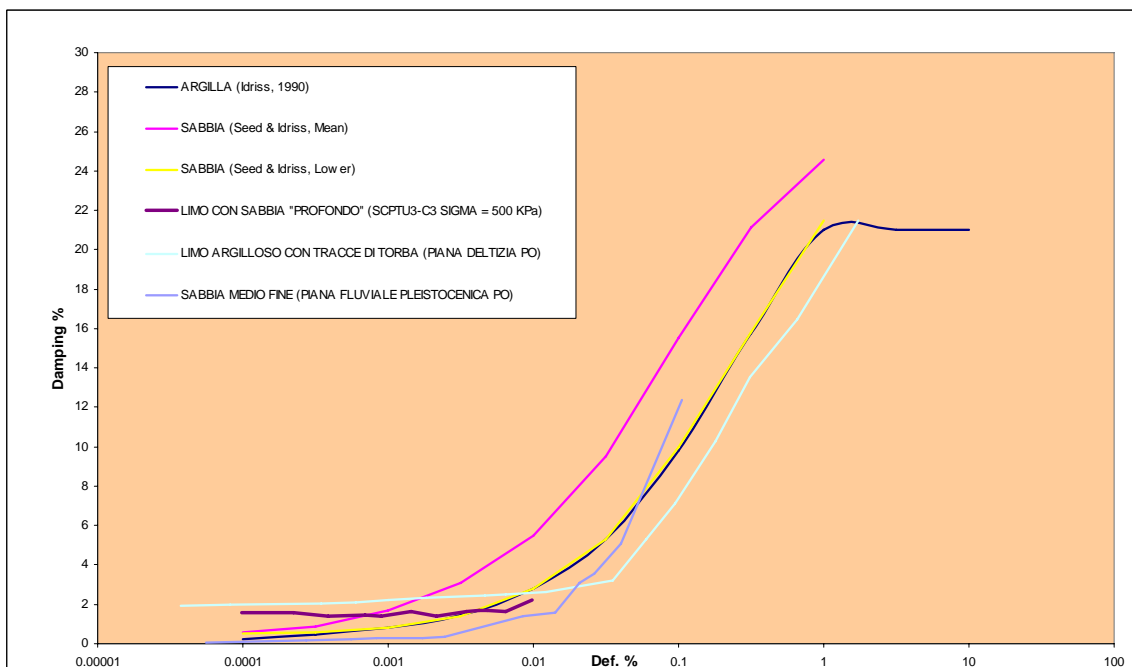
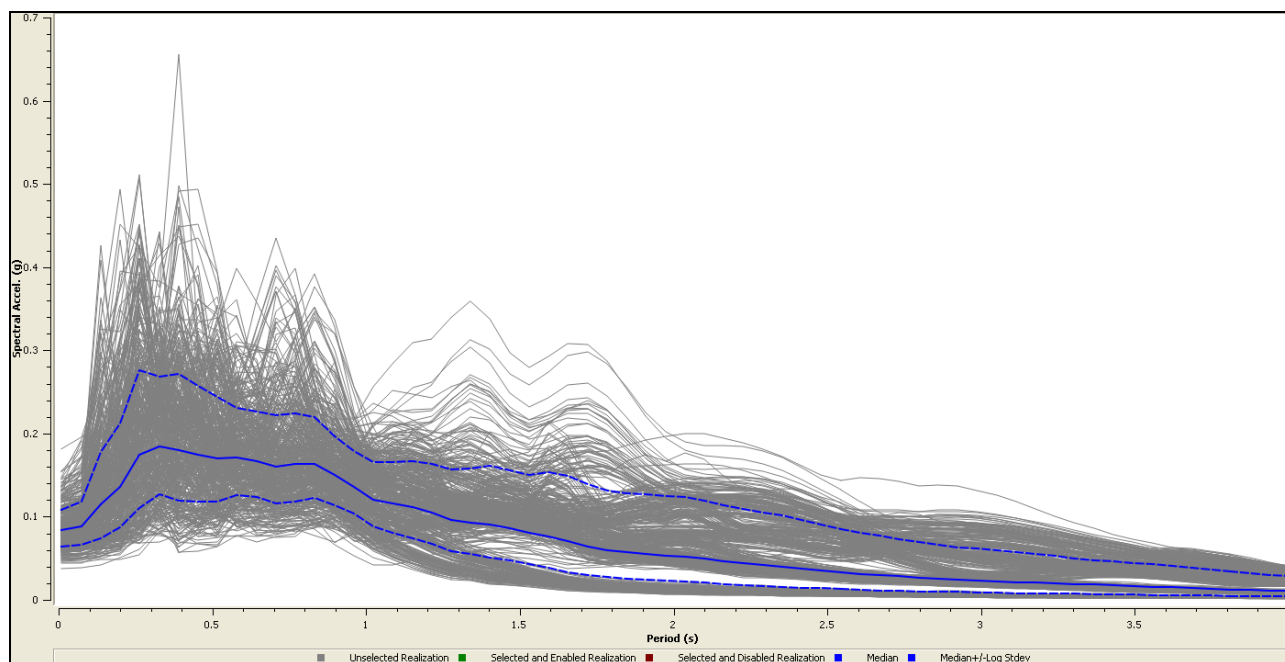


Figura 8.4.1-3 - Curve D-gamma materiali impiegati nell'analisi e confronto con curve note da letteratura

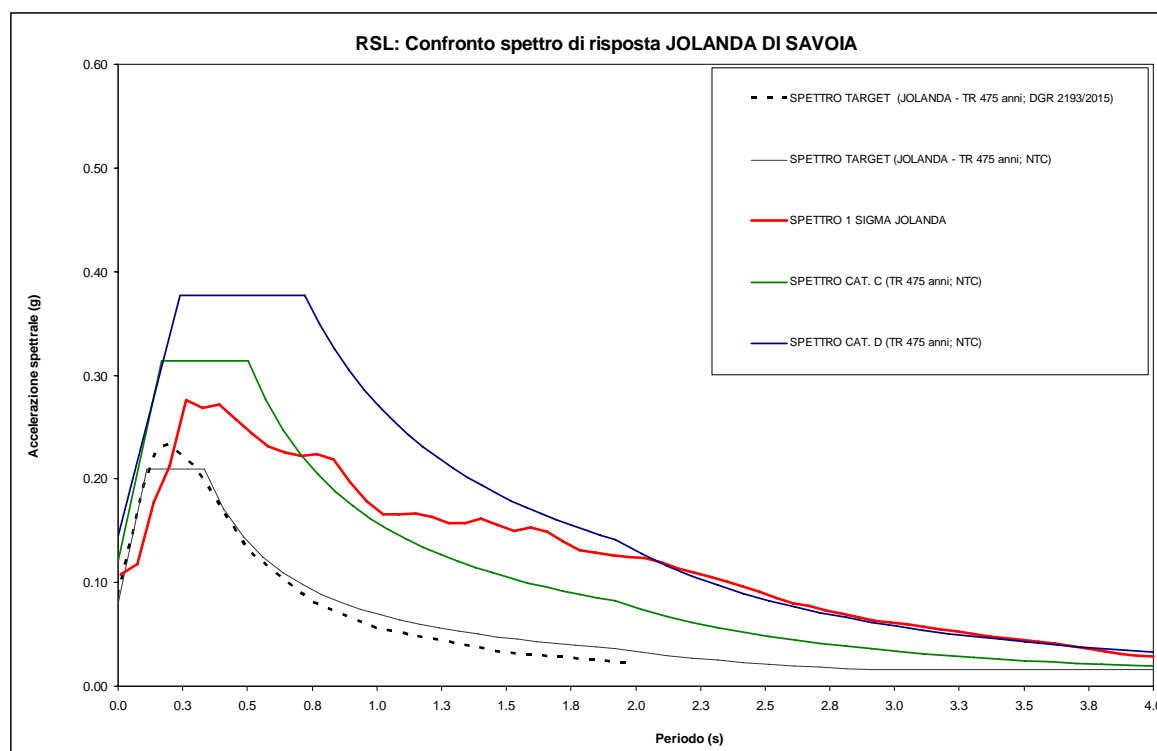
TABELLA 8.4.1-3: GESTIONE DELLE INCERTEZZE: VARIAZIONI CONSENTITE NELL'ANALISI CON SOFTWARE STRATA

SITO	Metodo utilizzato per variazione parametri	Variabili su cui è stato applicato il metodo <i>Monte Carlo</i>	NOTE
JOLANDA DI SAVOIA	Simulazioni con metodo <i>Monte Carlo</i> basate sulla generazione di una distribuzione statistica (in genere normale o log-normale) di una variabile prescelta a partire dalla sua media e dalla sua deviazione standard	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Velocità onde S nel sismostrato;</li> <li>✓ Spessore del sismostrato</li> <li>✓ Profondità bedrock sismico</li> <li>✓ Andamento curve G-gamma; D-gamma nel sismostrato</li> </ul>	<p>Circa la variazione delle Vs sono stati fissati dei limiti minimi e massimi per il singolo sismostrato sulla base dei risultati delle indagini geofisiche (modello empirico Toro, 1995 – distribuzione log-normale);</p> <p>Circa lo spessore degli strati (modello empirico Toro, 1995 – distribuzione log-normale) si è posta particolare attenzione all'interfaccia tra i depositi dell'Unità A (Limi e argille prevalenti di piana deltizia olocenica) e i depositi dell'Unità C (Sabbie pleistocenice Po). Si è cercato di tenere conto del fatto che alla scala dell'intero territorio comunale il limite tra queste 2 unità sia risultato variabile dell'ordine di qualche metro con una media fissata intorno a circa 20 m;</p> <p>Circa la profondità del bedrock questo è stato fatto variare con distribuzione log-normale all'interno del range indicato sulla Carta Sismotettonica della Regione E-R (isobate Sintema Emiliano-Romagnolo superiore);</p> <p>Circa le curve degrado/smorzamento, sono state fatte variare secondo il modello empirico di Darendeli (2001 – distribuzione normale).</p>

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN ACCELERAZIONE CALCOLATI ( $T_R = 475$  anni; smorzamento 5%)**



**Figura 8.4.1-4 – Involvement spettri finali calcolati per Jolanda di Savoia**



**Figura 8.4.1-5 Spettro 1-sigma prescelto come rappresentativo del sito in esame confronto con spettri di normativa**



Lo spettro prescelto è uno **spettro 1-sigma**, ovvero spettro medi + la deviazione standard associata alla media. Pertanto nella figura 8.5.1-5 è riportato lo spettro con linea blu tratteggiata rappresentato nella figura 8.5.1-4 (linea blu tratteggiata in alto).

Alla luce dei risultati ottenuti dall'analisi è possibile fornire le seguenti stime circa il rapporto  $PGA/PGA_0$  (fattore di amplificazione stratigrafica in superficie) e  $SI/SI_0$  (Intensità spettrale di Housner sullo spettro in pseudo-velocità) nei tre intervalli di periodo richiesti dalla normativa:

TABELLA 8.4.1-4: MAPPE DI AMPLIFICAZIONE PER JOLANDA DI SAVOIA E FRAZIONI

SITO	$a_{refg} = PGA_0$ (g)	PGA (accelerazione massima attesa in superficie)	$PGA/PGA_0$ (F.A.)	$SI/SI_0$ (0.1-0.5 s)	$SI/SI_0$ (0.5-1.0 s)	$SI/SI_0$ (0.5-1.5 s)
JOLANDA DI SAVOIA	0.0879	0.108	1.23	1.2	2.0	2.1

Si ricorda che il fattore di amplificazione topografica per l'area è posto = 1 (area pianeggiante)

#### 8.4.2 Stima dell'indice di liquefazione IL terreni incoerenti

Con le metodologie descritte nel capitolo 7, nella tabella sottostante si riportano i valori dell'Indice di Liquefazione per le ree investigate relativamente ai terreni incoerenti in falda rilevati:

TABELLA 8.4.2-1 INDICE DI LIQUEFAZIONE E CLASSE DI PERICOLOSITA' (SONMEZ, 2003)

SITO	Prova di riferimento	Prof. falda (m)	PGA Utilizzata (g)	Magnitudo di riferimento	$I_L$	Classe di pericolosità (Sonmez, 2003)
JOLANDA DI SAVOIA	SCPTU1-ANS-J-003	1.75	0.108	6.14	0.008	Nulla
JOLANDA DI SAVOIA	SCPTU3 ISMGEO	1.80	0.108	6.14	1.410	Basso
JOLANDA DI SAVOIA	SCPTU1 SCPT100	2.75	0.108	6.14	0.001	Nulla



**Dove:**

**$I_L = 0$  Non liquefacibile (Fattore di sicurezza  $\geq 1.2$ )**

**$0 < I_L \leq 2$  Potenziale basso**

**$2 < I_L \leq 5$  Potenziale moderato**

**$5 < I_L \leq 15$  Potenziale alto**

**$15 < I_L$  Potenziale molto alto**

Il metodo di analisi come già detto è stato quello di Boulanger & Idriss (2014)

Nel complesso l'area di Jolanda di Savoia e frazioni si caratterizza per **assenza di pericolosità alla liquefazione o al limite per una pericolosità di tipo basso.**

L'Indice di liquefazione è stato stimato utilizzando anche n. 6 prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPT), applicando il metodo di Boulanger & Idriss (2014) previa opportuna riduzione del valore di attrito laterale misurato. I valori ottenuti di  $I_L$  sono stati tutti pari a zero (rischio nullo).

## **9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI**

Non sono a disposizione dati relativi a danni per eventi passati.

## **10. BIBLIOGRAFIA**

Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica; DGR 2193/2015 ;Regione Emilia-Romagna

F. Brammerini, G. di Pasquale, G. Naso, M. Severino, 2008. Protezione Nazionale Civile. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica.

M. Bondesan. L'area deltizia Padana: caratteri geografici e geomorfologici.

Regione Emilia-Romagna, Provincia di Ferrara, Università degli studi di Ferrara 2007. Riserve idriche sotterranee della Provincia di Ferrara.

Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Database Macrosismico dei Terremoti Italiani (DBMI15) e Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Cartografia:

- Edizioni S.E.L.C.A. 1997, Carta Geomorfologica della Pianura Padana.
- Edizione 1999 – Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna
- Edizioni S.E.L.C.A. 2004. Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 091680 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORZONAZIONE SISMICA DI III° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 119/17-ES-REV00 DEL 29/06/2018
--	---	--

## 11. ALLEGATI

Carta delle indagini - scala 1:5.000 – Comune di Jolanda di Savoia

Carta delle frequenze naturali dei terreni - scala 1:5.000 – Comune di Jolanda di Savoia

Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) - scala 1:5.000 – Comune di Jolanda di Savoia

Carta dei fattori di amplificazione “Accelerazione massima orizzontale” (F.A. PGA = PGA/PGA<sub>0</sub>) - scala 1:5.000 – Comune di Jolanda di Savoia

Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner (SI/SI<sub>0</sub>)” (F.A. 0.1-0.5 s) - scala 1:5.000 – Comune di Jolanda di Savoia

Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner (SI/SI<sub>0</sub>)” ( F.A. 0.5-1.0 s) - scala 1:5.000 – Comune di Jolanda di Savoia

Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner (SI/SI<sub>0</sub>)” ( F.A. 0.5-1.5 s) - scala 1:5.000 – Comune di Jolanda di Savoia