



**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 dalla legge 24 giugno 2009, n. 77

# STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO COMUNE DI COPPARO – RELAZIONE ILLUSTRATIVA – Regione Emilia – Romagna Comune di Copparo



Regione Emilia – Romagna  
 Comune di Copparo (FE)



**Unione dei Comuni  
 Terre e Fiumi**

tra i Comuni di Copparo, Berro, Jolanda, Tresigallo, Formignano, Ra

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

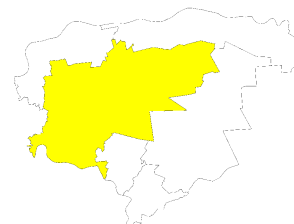
Collaboratori:

Dr.ssa Geol. Emma Biondani

Dr. Geol. Stefano Maggi

Dr. Massimiliano Stevanin

Data: 06/2017





## **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>9</b>
<b>2.3. Pericolosità sismica di base sito specifica</b>	<b>10</b>
<b>3. ASSETTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Assetto geologico e idrogeologico</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Assetto geomorfologico e sua evoluzione</b>	<b>16</b>
<b>4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI RILEVATI ED ANALIZZATI</b>	<b>22</b>
<b>4.1. Parametri geotecnici</b>	<b>23</b>
<b>4.2. Parametri geofisici – Velocità delle onde di taglio S (Vs) e frequenze di risonanza</b>	<b>23</b>
<b>5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO DI SINTESI</b>	<b>39</b>
<b>6. INTEPRETAZIONI ED INCERTEZZE</b>	<b>40</b>
<b>7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI</b>	<b>40</b>
<b>8. ELABORATI CARTOGRAFICI</b>	<b>41</b>
<b>8.1 Carta delle Indagini</b>	<b>41</b>
<b>8.2 Carta geologico-tecnica</b>	<b>42</b>
<b>8.2.1 SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE</b>	<b>43</b>
<b>8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni</b>	<b>50</b>
<b>8.4 Carta delle aree suscettibili di effetti locali (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - MOPS)</b>	<b>50</b>
<b>8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)</b>	<b>53</b>
<b>8.6 Carta dei fattori di amplificazione</b>	<b>54</b>
<b>9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI</b>	<b>55</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>56</b>
<b>11. ALLEGATI</b>	<b>56</b>

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 142/16-ES-REV00 DEL 06/2017
--	---	-------------------------------------

## 1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro, eseguito ai sensi della Delibera della Giunta Regionale DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna, ha come obiettivo quello di definire la componente *pericolosità* del rischio sismico, *distinta in pericolosità sismica di base e pericolosità sismica locale*, del territorio comunale di Copparo (FE) comprese le principali frazioni di Ambrogio, Brazzolo, Coccanile, Cesta, Fossalta, Gradizza, Sabbioncello San Pietro, Sabbioncello San Vittore, Saletta, Tamara.

La pericolosità sismica di base dipende dalle caratteristiche sismogenetiche dell'area, dalla frequenza e dall'intensità (magnitudo) dei terremoti; essa viene definita a priori dalla DGR 2193/2015 Regione E-R (Allegato n. 4). La pericolosità sismica locale invece, è strettamente connessa con le caratteristiche geologiche e morfologiche locali del territorio in esame. Infatti, depositi, corpi geologici sepolti e forme del paesaggio, in caso di sisma, possono dare origine a modificazioni del moto del suolo in termini di frequenza, ampiezza e durata, con possibili effetti di amplificazione stratigrafica e/o topografica, innesco di processi di mobilità ciclica a carico della frazione granulare, sciolta, satura (sabbie- sabbie limose e limi sabbiosi) con possibili liquefazioni, o infine l'innesco di processi di densificazione (cedimenti significativi) a carico della frazione fine soffice-molto soffice (argilla-torba).

Per individuare e definire gli scenari di pericolosità sismica locale, alla scala dell'intero territorio comunale di Copparo (FE) e sue principali frazioni, si è proceduto mediante due fasi principali di analisi:

- la prima fase volta a individuare le aree territoriali potenzialmente suscettibili di effetti locali intesi come amplificazione del moto sismico o instabilità dei terreni causata da liquefazioni o densificazioni;
- la seconda fase, eseguita mediante il *II° livello di approfondimento* come previsto dalla DGR 2193/2015, volta a restituire la microzonazione sismica del territorio individuando e distinguendo le aree *stabili* suscettibili di amplificazioni stratigrafiche e/o topografiche del moto del suolo e le aree *instabili* dove è necessario un approfondimento di III° livello (analisi approfondita) in quanto potenzialmente suscettibili di liquefazione o densificazione in caso di sisma. La microzonazione sismica è pertanto la suddivisione del territorio oggetto di studio in sottozone, al loro interno omogenee, a differente pericolosità sismica locale.

Come già accennato, lo studio della pericolosità sismica locale del comune di Copparo (FE), comprende anche le frazioni di Ambrogio, Brazzolo, Coccanile, Cesta, Fossalta, Gradizza, Sabbioncello San Pietro, Sabbioncello San Vittore, Saletta, Tamara. In figura1-1 è evidenziato il territorio comunale oggetto di studio.

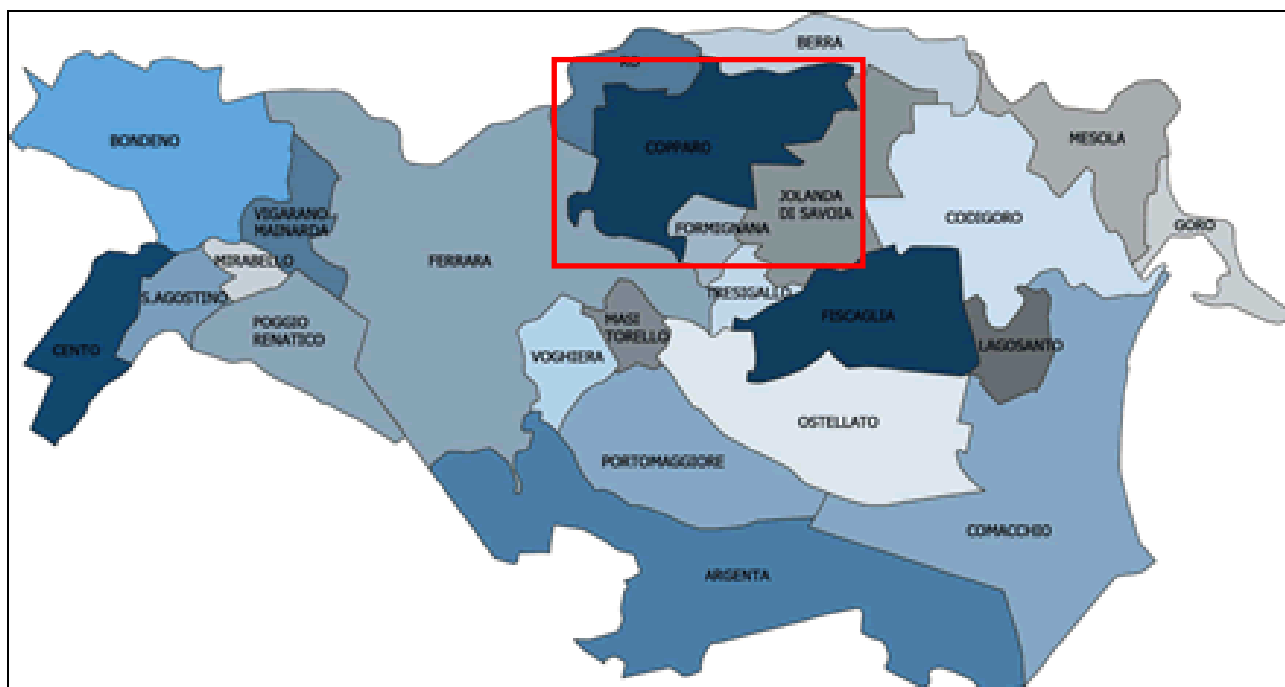
Il territorio comunale di Copparo è identificabile nella cartografia IGM alla scala 1:25.000 nei fogli:

186 I Berra  
186 III Copparo  
186 IV Polesella

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

186032-186033  
186042-186043  
186061-186062-186063-186064  
186071-186072-186073-186074  
186081-186082-186083-186084  
186092  
186101-186102-186103-186104  
186111-186112-186113-186114  
186124

186141-186144  
 186154



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

Di seguito si riportano gli step compiuti per portare a termine il presente lavoro, che nell'insieme, definiscono la metodologia di studio:

- inquadramento sismotettonico, storia sismica e definizione della *pericolosità sismica di base* del territorio comunale di Copparo secondo l'Allegato n. 4 DGR 2193/2015;
- inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico a scala generale del settore della pianura padana in cui si colloca il comune di Copparo;
- raccolta, analisi ed esecuzione di prove geognostiche, dirette e indirette (geofisiche), utilizzate per la ricostruzione dettagliata e specifica dell'assetto geologico-stratigrafico del sottosuolo dell'area di studio; le prove di archivio sono state selezionate dal database interno di Synthesis S.r.l. e dalla Banca Dati Geognostici della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico Sismico e dei Suoli);
- redazione di specifici elaborati cartografici allegati alla presente, contenenti tutte le informazioni richieste e previste dalla normativa di riferimento e ricavate dall'analisi dei dati e delle prove citate nello step precedente;
- risultati dello studio espressi in termini di fattori di amplificazione locale di natura stratigrafica e topografica ( $F.A._{P.G.A.} = PGA/PGA_0$ , rapporto di accelerazione massima orizzontale al sito;  $F.A. SI/SI_0$ , rapporto di intensità di Housner per prefissati intervalli di periodo), frequenze di risonanza dei terreni, localizzazione delle aree suscettibili di instabilità in termini di liquefazione (depositi granulari, sciolti, in falda) e densificazione (depositi coesivi, soffici e molto soffici);
- indicazione delle aree in cui sarà necessario eseguire il III° livello di approfondimento e indicazione della tipologia di indagini e analisi da effettuare a corredo dello stesso.

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

### 2.1. Caratteristiche sismotettoniche generali

Il territorio comunale di Copparo è caratterizzato, nel complesso, da una sismicità di grado basso. Dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna si evince che il territorio del Comune di Copparo è compreso all'interno di una zona con profondità delle isobate della base del *Sistema Emiliano-Romagnolo superiore* poste a 150 e 200 mt l.m.m. (depositi della Pianura Padana di età compresa tra 0.45-0.35 M.a. dell'Olocene). Questo significa che i depositi alluvionali posti a copertura del substrato sismico relativo alla categoria di sottosuolo "A", hanno spessori di almeno 200-300 metri. La categoria di riferimento "A" viene definita nella tabella 3.2. delle Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC (2008), come di seguito riportato:

*"Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m."*

Nel territorio comunale di Copparo si evidenzia, inoltre, la presenza di alcuni sovrascorrimenti sepolti con possibili riattivazioni, di età Pliocene – Pleistocene inferiore (4.5 – 1 M.a.), un sovrascorrimento attivo e recente (< 1 Ma) ed un fronte di accavallamento della successione carbonatica meso-cenozoica.

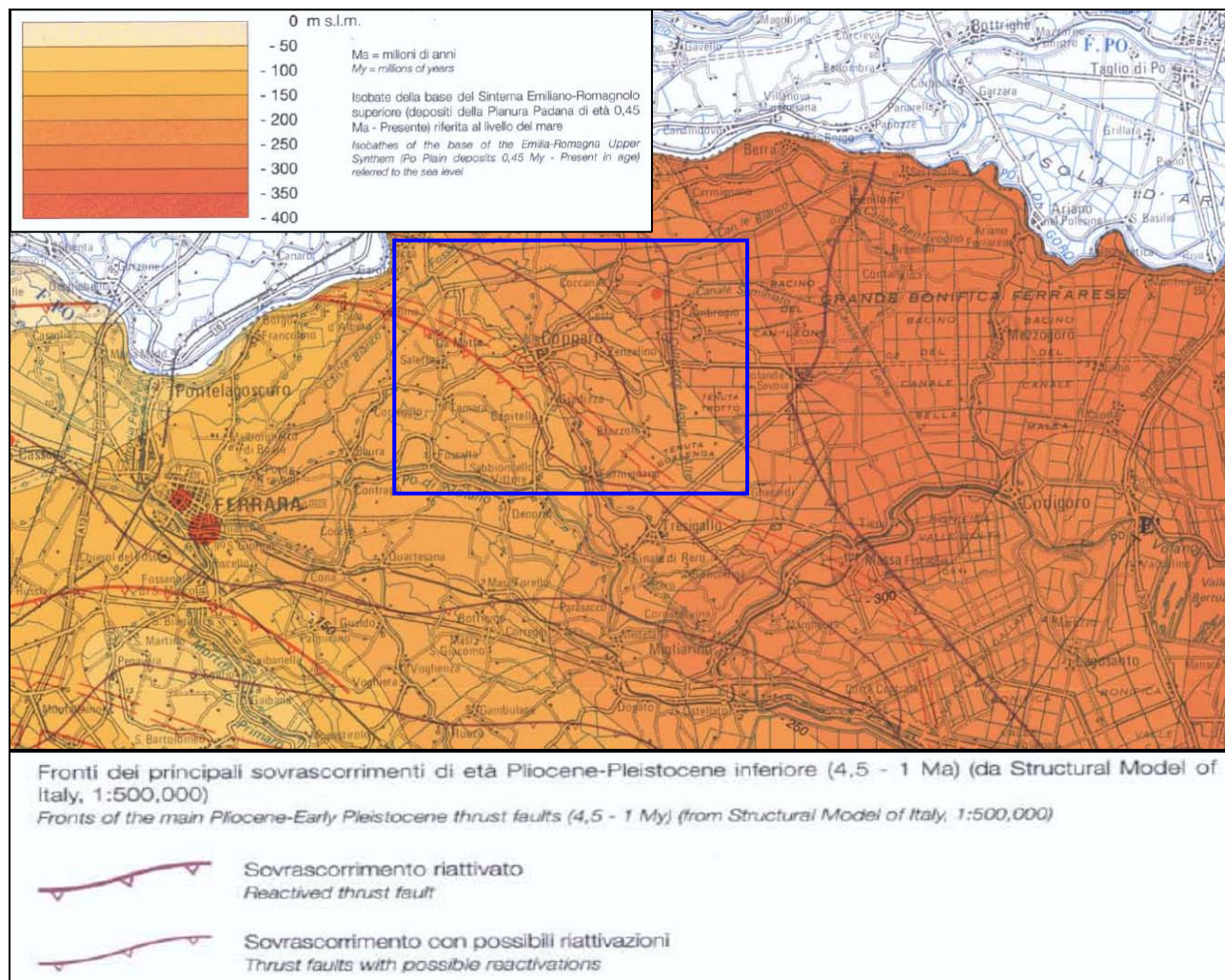
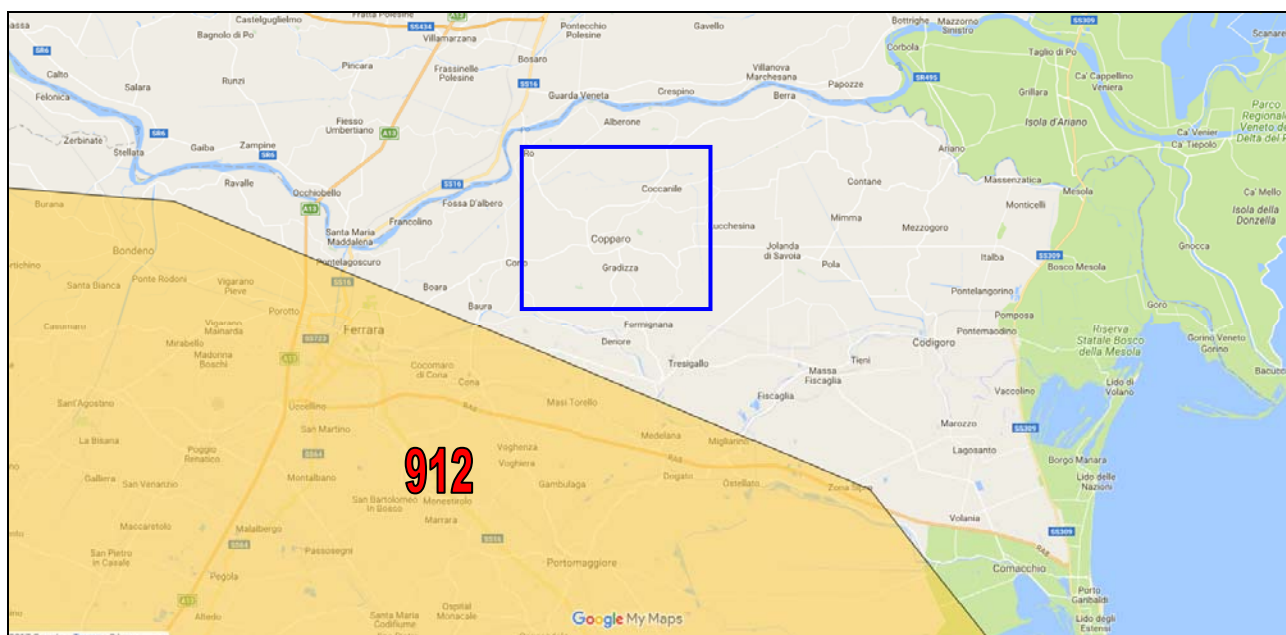


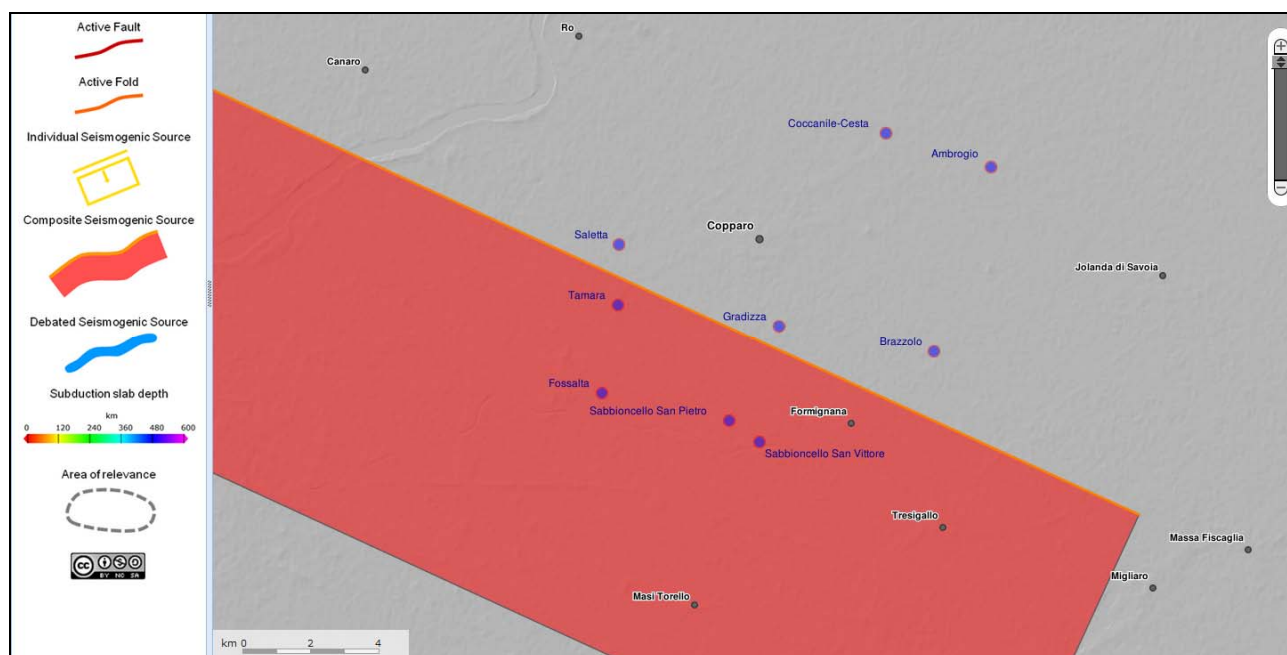
Figura 2.1-1: Estratto Carta Sismotettonica Regione Emilia-Romagna (nel riquadro l'area oggetto di studio).

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 Copparo, a testimonianza di una sismicità nel complesso bassa, non rientra in alcuna zona.



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



Rispetto al sistema di pieghe ferraresi, alcune frazioni del territorio in esame (Tamara, Fossalta, Sabbioncello San Pietro e Sabbioncello San Vittore) si collocano al margine di una fascia caratterizzata dalla presenza di un sorgente sismogenetica profonda, nello specifico la ITCS050 – Poggio Rusco – Migliarino, come mostrato dalle figure sotto riportate. La magnitudo massima associata a questa sorgente è stimata pari a  $M_w = 5.5$  e profondità compresa tra 1-8 Km.



**Figura 2.1-3: Individuazione delle strutture compressive e di fagliazione su DISS 3.2.0 (nel riquadro l'area oggetto di studio).**



## GENERAL INFORMATION

<b>DISS-ID</b>	ITCS050
<b>Name</b>	Poggio Rusco-Migliarino
<b>Compiler(s)</b>	Burrato P.(1)
<b>Contributor(s)</b>	Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(2), Toscani G.(3)
<b>Affiliation(s)</b>	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
<b>Created</b>	08-Jan-2005
<b>Updated</b>	16-Oct-2013
<b>Display map ...</b>	 
<b>Related sources</b>	<a href="#">ITIS090</a>

## PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
<b>Min depth [km]</b>	1.0	OD	Based on geological data from various authors.
<b>Max depth [km]</b>	8.0	OD	Based on geological data from various authors.
<b>Strike [deg] min... max</b>	85...115	OD	Based on geological data from various authors.
<b>Dip [deg] min... max</b>	25...55	OD	Based on geological data from various authors.
<b>Rake [deg] min... max</b>	80...100	OD	Based on geological data from various authors.
<b>Slip Rate [mm/y] min... max</b>	0.39...0.45	OD	Calculated using geologic subsurface data.
<b>Max Magnitude [Mw]</b>	5.5	OD	Based on the strongest earthquake occurred in the region.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

## ACTIVE FAULTS

## ACTIVE FOLDS

Figura 2.1-4: Sorgente sismogenetica ITSC050

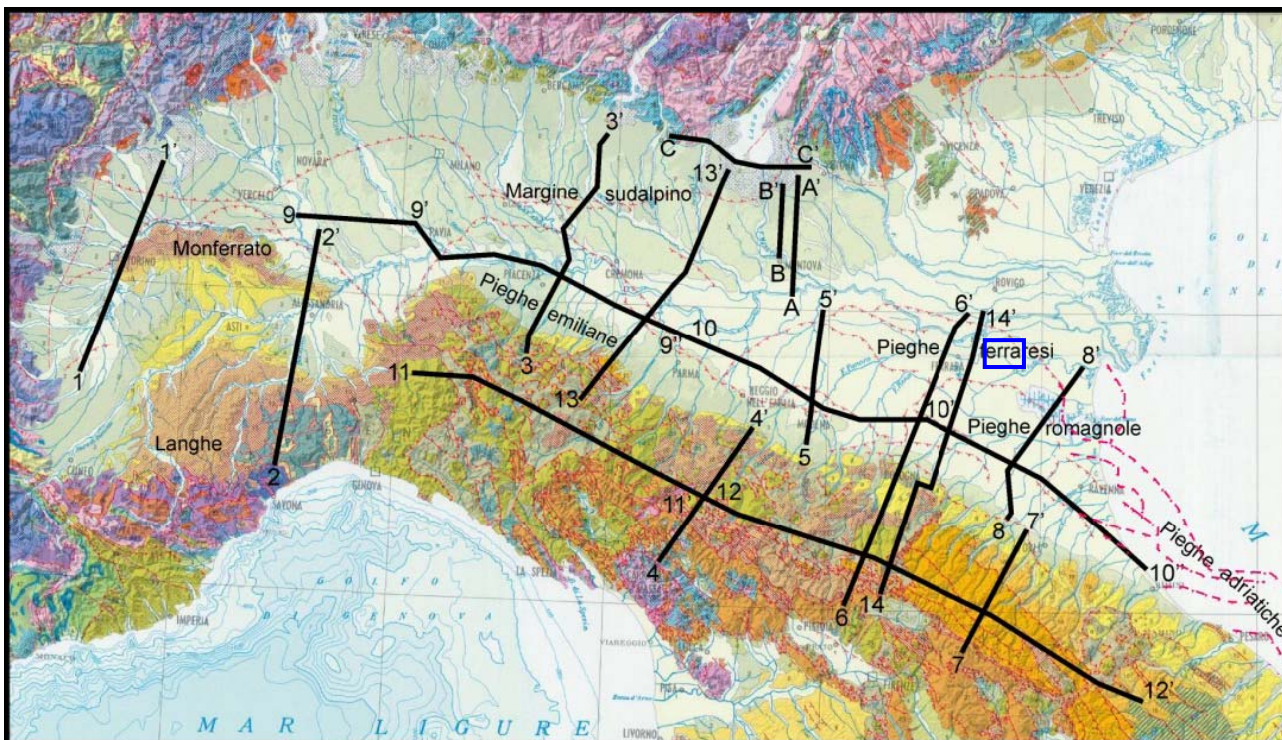


Figura 2.1-5: Traccia delle sezioni sismogeologiche, riportate sulla Carta geologica dell'Italia edita da Compagnoni e Galluzzo (2004). Le sezioni da 3-3' a 12-12' da Boccaletti et alii (2010). La sezione 14-14' è ripresa da Picotti e Pazzaglia (2008); nel riquadro l'area oggetto di studio.

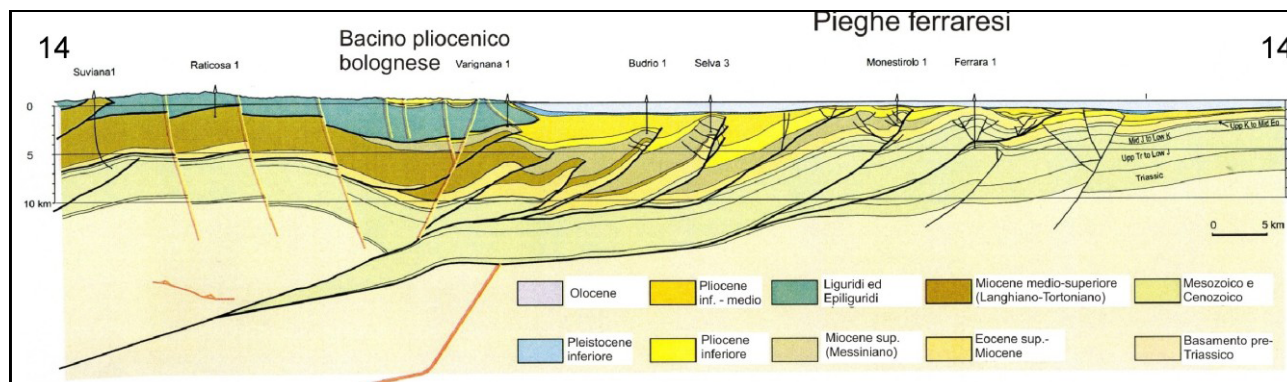


Figura 2.1-6: Sezione sismogeologica trasversale all'Appennino settentrionale (da Picotti et alii, 2009, modificata). La traccia della sezione è riportata in figura 2.1-5.

## 2.2. Storia sismica del territorio comunale

In questo paragrafo è descritta, sinteticamente, la storia sismica del comune di Copparo.

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 variabile da un massimo di IMCS pari a 6 ad un minimo di IMCS < 4.

L'evento principale, di intensità macrosismica IMCS = 7-8, percepito presso il comune di Copparo, è avvenuto nel 1624 e ha avuto epicentro ad Argenta (figura 2.2-2).

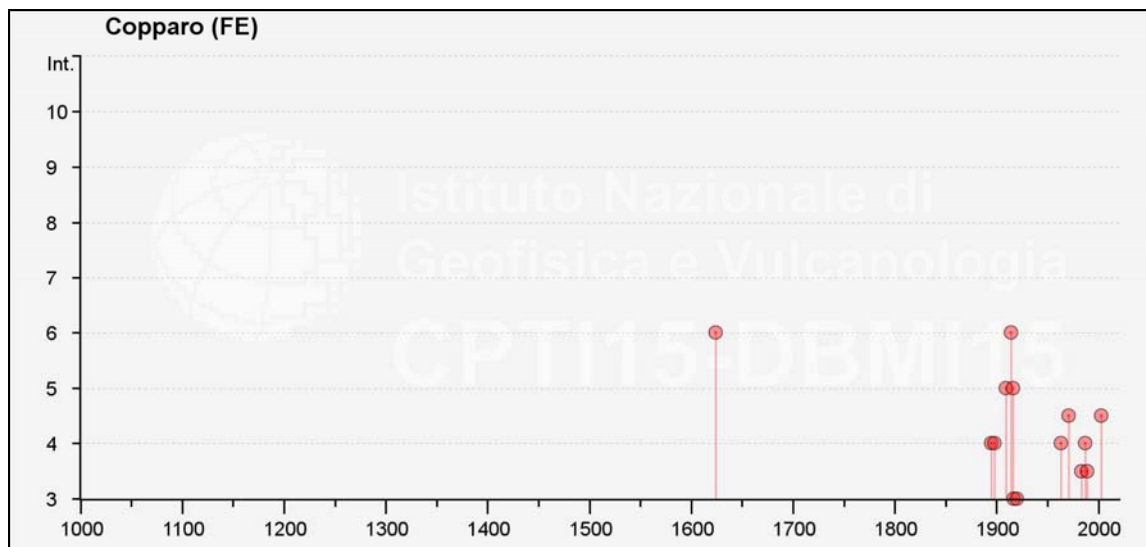


Figura 2.2-1: Eventi sismici Copparo (FE)

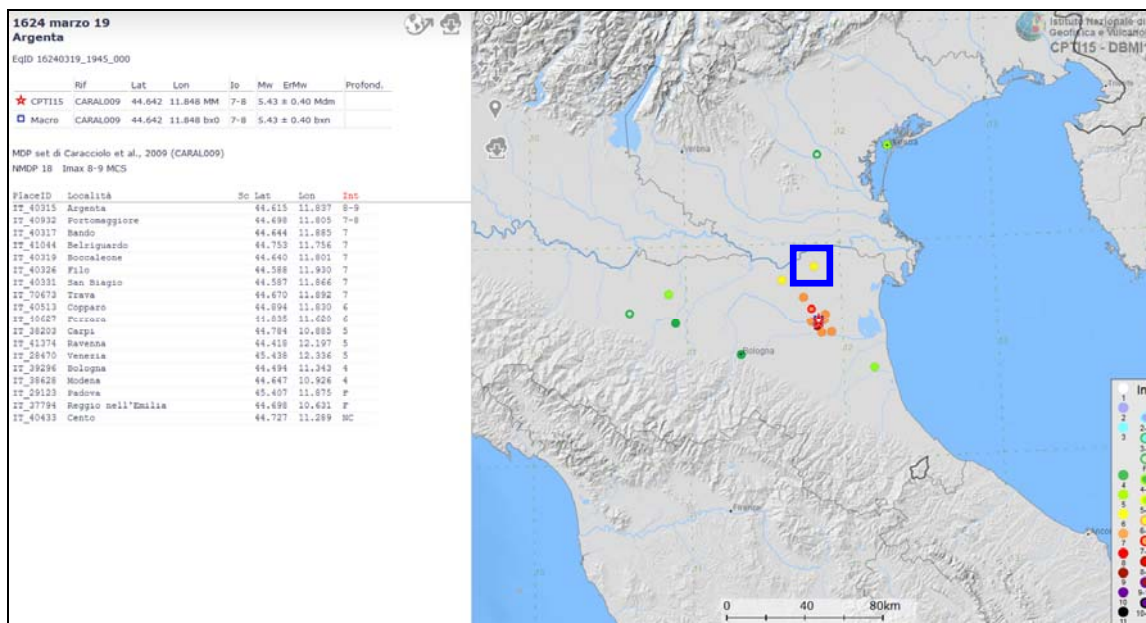


Figura 2.2-2: Localizzazione epicentro dell'evento principale (stella) che ha causato i maggiori effetti macrosismici sul comune di Copparo (FE). Nel riquadro l'area di interesse.

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORZONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 142/16-ES-REV00 DEL 06/2017
--	--	-------------------------------------

### 2.3. Pericolosità sismica di base sito specifica

Secondo quanto riportato sul sito: <https://ingvterremoti.wordpress.com/la-pericolosita-sismica/>, con *pericolosità sismica* si intende lo scuotimento del suolo atteso in un sito a causa di un terremoto. Essendo prevalentemente un'analisi di tipo probabilistico, si può definire un certo scuotimento solo associato alla probabilità di accadimento nel prossimo futuro. Non si tratta pertanto di previsione deterministica dei terremoti, obiettivo lungi dal poter essere raggiunto ancora in tutto il mondo, né del massimo terremoto possibile in un'area, in quanto il terremoto massimo ha comunque probabilità di verificarsi molto basse.

Nel 2004 è stata rilasciata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, la mappa della pericolosità sismica riportata in figura 2.3-1, la quale fornisce un quadro delle aree più pericolose in Italia. La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (GdL MPS, 2004; rif. Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519, All. 1b) è espressa in termini di accelerazione orizzontale del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005). L'Ordinanza PCM n. 3519/2006 ha reso tale mappa uno strumento ufficiale di riferimento per il territorio nazionale.

Il territorio comunale di Copparo ricade nella fascia a cui sono associati valori di accelerazione orizzontale di base  $A_g = 0.075-0.125$  g.

Nel 2008 sono state aggiornate le Norme Tecniche per le Costruzioni le quali prevedono che, per ogni luogo del territorio nazionale, l'azione sismica da considerare nella progettazione si basi sulla stima di pericolosità opportunamente corretta per tenere conto delle effettive caratteristiche del suolo a livello locale. I colori indicano i diversi valori di accelerazione del terreno che hanno una probabilità del 10% di essere superati in 50 anni. Indicativamente i colori associati ad accelerazioni più basse indicano zone meno pericolose, dove la frequenza di terremoti più forti è minore rispetto a quelle più pericolose, ma questo non significa che non possano verificarsi.

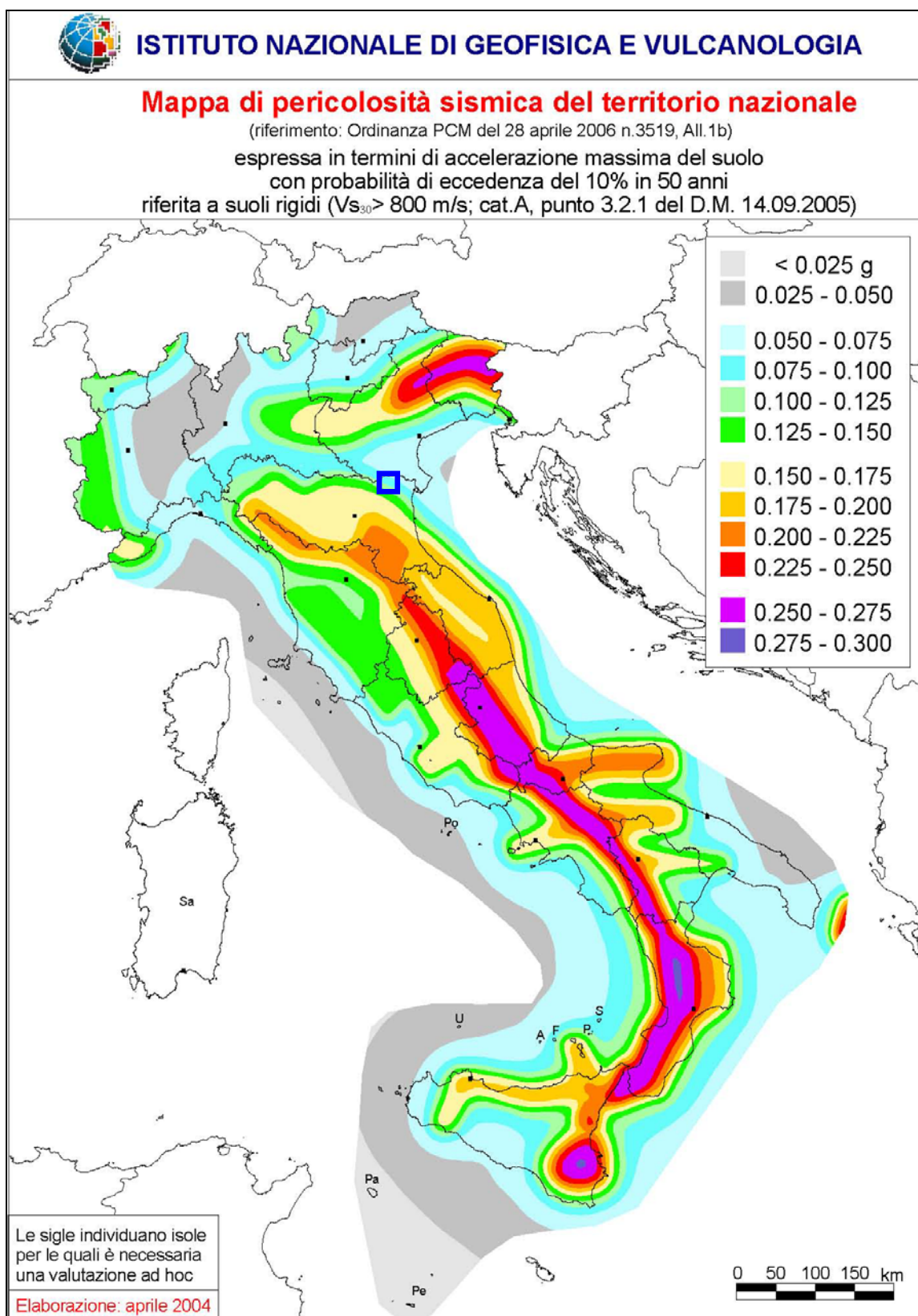
Nell'allegato 4 della DGR 2193/2015, la pericolosità sismica di base di ciascun punto del territorio regionale è definita sulla base di una griglia di nodi ai quali è associato un valore di  $a_{refg}$  determinato come l'accelerazione orizzontale di base espressa in frazioni percentuali dell'accelerazione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

In figura 2.3-2 è riportata un'immagine tratta da Google Earth, con tutti i nodi della griglia in cui è stato suddiviso il territorio regionale (allegato 4 - DGR 2193/2015). A ciascun nodo corrisponde uno specifico valore di  $a_{refg}$ . In figura 2.3-3 è riportato nel dettaglio il territorio comunale di Copparo 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.

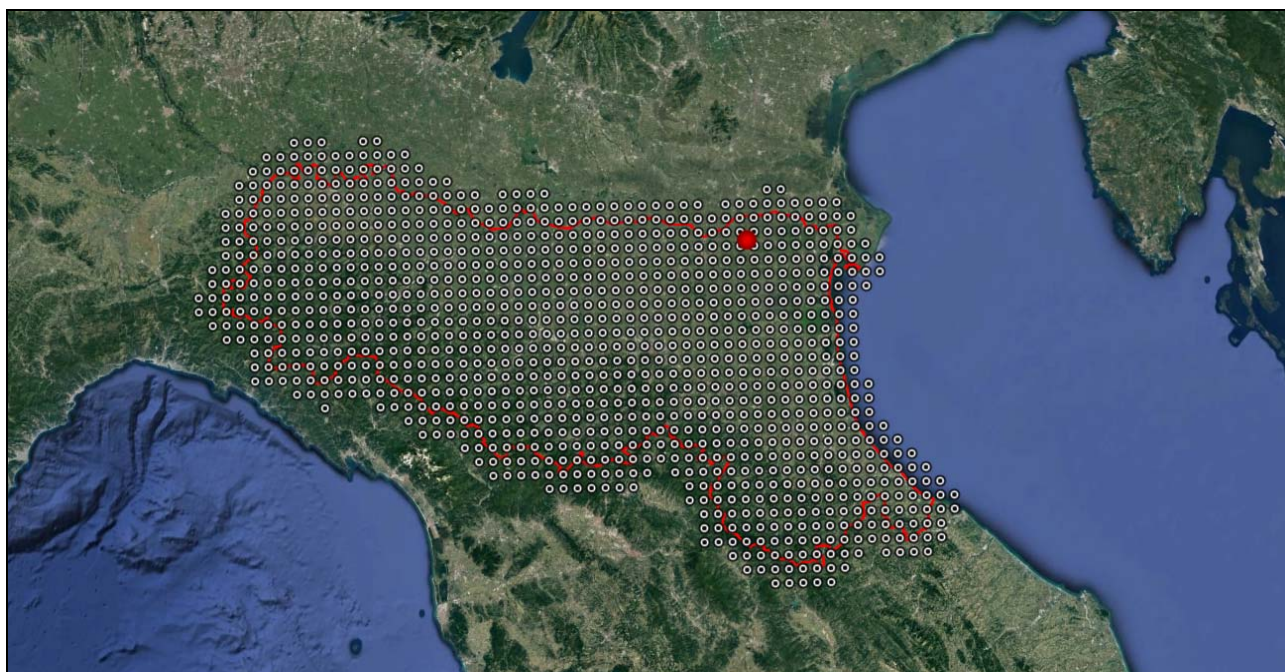
La pericolosità sismica di base secondo la DGR 2193/2015 è definita per un Periodo di Ritorno  $T_R$  pari a 475 anni con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Considerando i nodi più vicini, i valori di accelerazione orizzontale di base diminuiscono da ovest verso est; a nord del capoluogo  $a_{refg}$  varia tra 0.0871 g e 0.0751 g, mentre a sud  $a_{refg}$  varia tra 0.1007 g e 0.0879 g

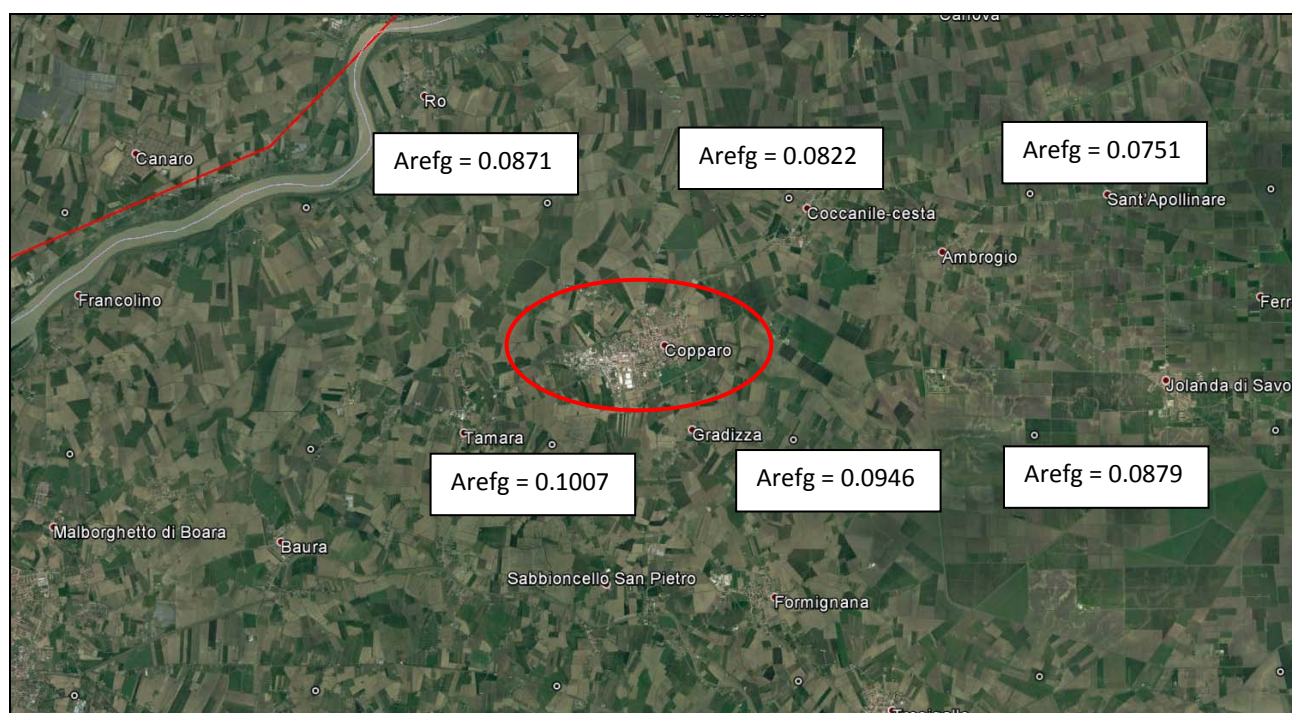
Questi valori confermano un grado di sismicità di base dell'area basso, in accordo con quanto definito a scala nazionale.



**Figura 2.3-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Nel riquadro l'area in studio.**



**Figura 2.3-2: Griglia dei nodi relativi alla pericolosità sismica di base  $a_{refg}$  dell'Emilia Romagna come da Allegato 4 DGR 2193/2015. Il pallino rosso indica la posizione di Copparo (FE)**



**Figura 2.3-3: Zoom della figura precedente alla scala del territorio comunale di Copparo (FE) e sue frazioni.**

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

#### 3.1 Assetto geologico e idrogeologico

Il territorio comunale di Copparo si colloca nel settore sud orientale della pianura padana, all'interno del comprensorio caratterizzato a ovest dalla città di Ferrara, a nord dal corso principale del Po, ad est dal Parco del Delta del Po e dalla costa, a sud dal Po di Volano. Il Comune di Copparo confina con Ferrara, Ro, Berra, Jolanda di Savoia e Formignana. Il paesaggio è prevalentemente piatto e uniforme. Il comune capoluogo e le frazioni principali di Ambrogio, Brazzolo, Coccabile, Cesta, Fossalta, Gradizza, Sabbioncello San Pietro, Sabbioncello San Vittore, Saletta, Tamara, si posizionano in un'area di piana deltizia caratterizzata da quote medie comprese tra circa 0 m e + 7 m s.l.m.

A grande scala la Pianura Padana rappresenta dal punto di vista geologico un grande bacino subsidente plio-quadernario di tipo sedimentario interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità.

La formazione della piana alluvionale e deltizia che oggi costituisce la Pianura Padana è relativamente recente; fino a circa 1 milione di anni fa l'area era completamente occupata dal mare e in particolare costituiva la propaggine occidentale del Mar Adriatico. L'alternanza di cicli deposizionali trasgressivo/regressivi e il recente graduale ritiro del mare dovuto alla progradazione dei sistemi deltizi, condizionato dalle oscillazioni eustatiche, ha fatto sì che alla fine del Pleistocene superiore, l'Adriatico venisse ad occupare la sua posizione attuale. La piana, lasciata libera dal mare, è stata colmata da depositi continentali che hanno ricoperto i depositi marini (prevalentemente pliocenici) mascherando così le strutture profonde che sono note solo grazie alle tecniche di ricerca di idrocarburi.

Dal punto di vista strutturale il fondo del bacino sedimentario della Pianura Padana non è regolare ma caratterizzato da numerose pieghe che ricalcano la struttura geologica della catena appenninica. I movimenti tettonici, soprattutto quelli ad andamento verticale, hanno rappresentato uno dei principali fattori di controllo dello sviluppo paleogeografico dell'area padana, influenzando direttamente la morfologia e la geometria dei corsi d'acqua, anche se non vanno dimenticati altri fattori determinanti dovuti alle oscillazioni climatiche, quali le variazioni del livello marino e del regime dei corsi d'acqua.

Le figure seguenti offrono una panoramica sintetica dell'assetto geologico-strutturale profondo e della geologia di superficie.

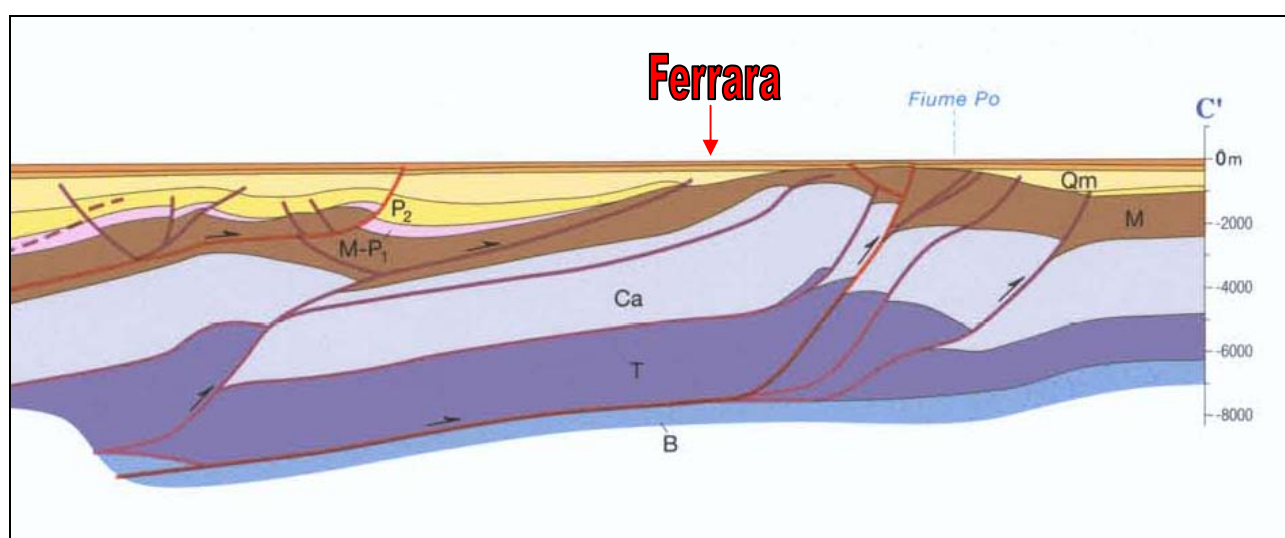
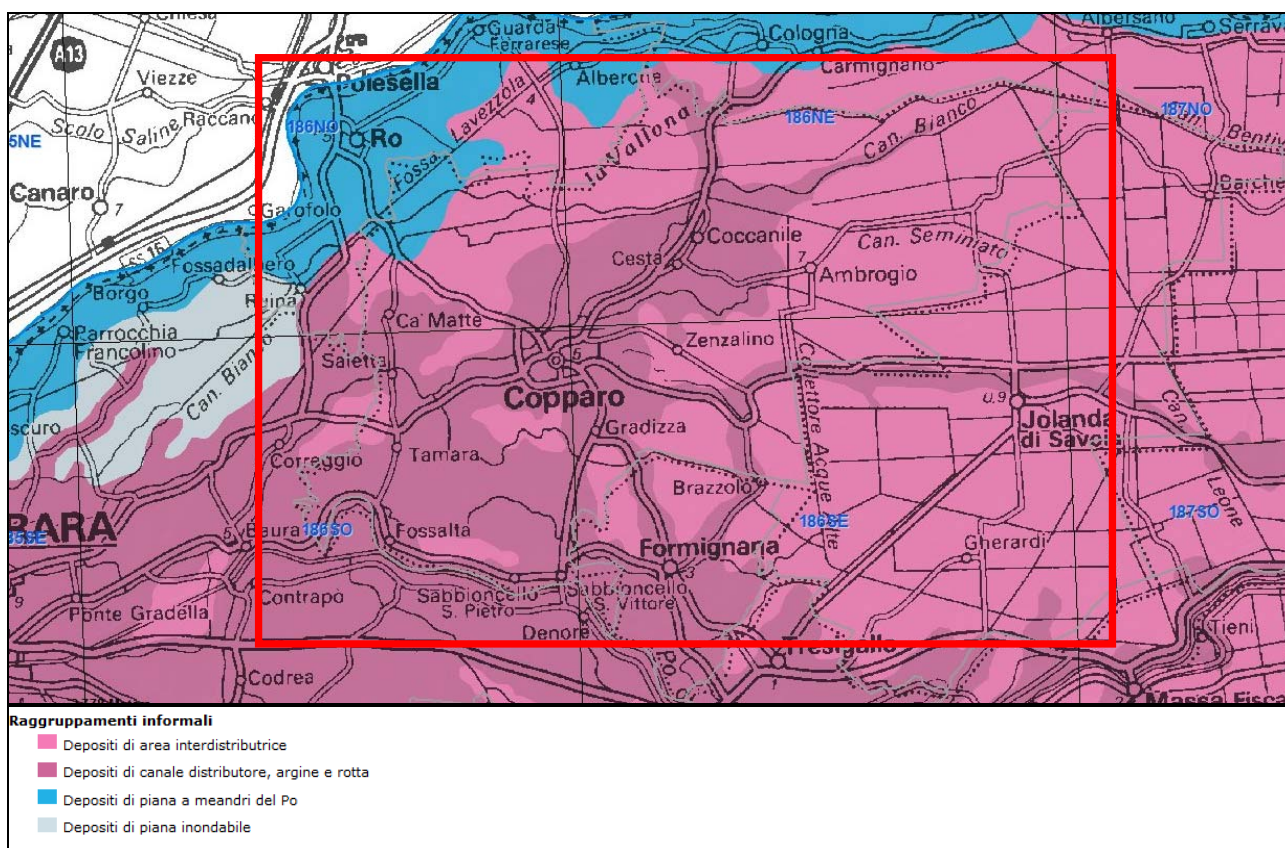


Figura 3.1-1: Dettaglio della sezione C-C' della Carta Sismotettonica della Regione E-R (assetto strutturale profondo della pianura padana sud-orientale)



**Figura 3.1-2: Geologia di superficie. Carta geologica della Regione Emilia-Romagna. Nel riquadro l'area in studio.**

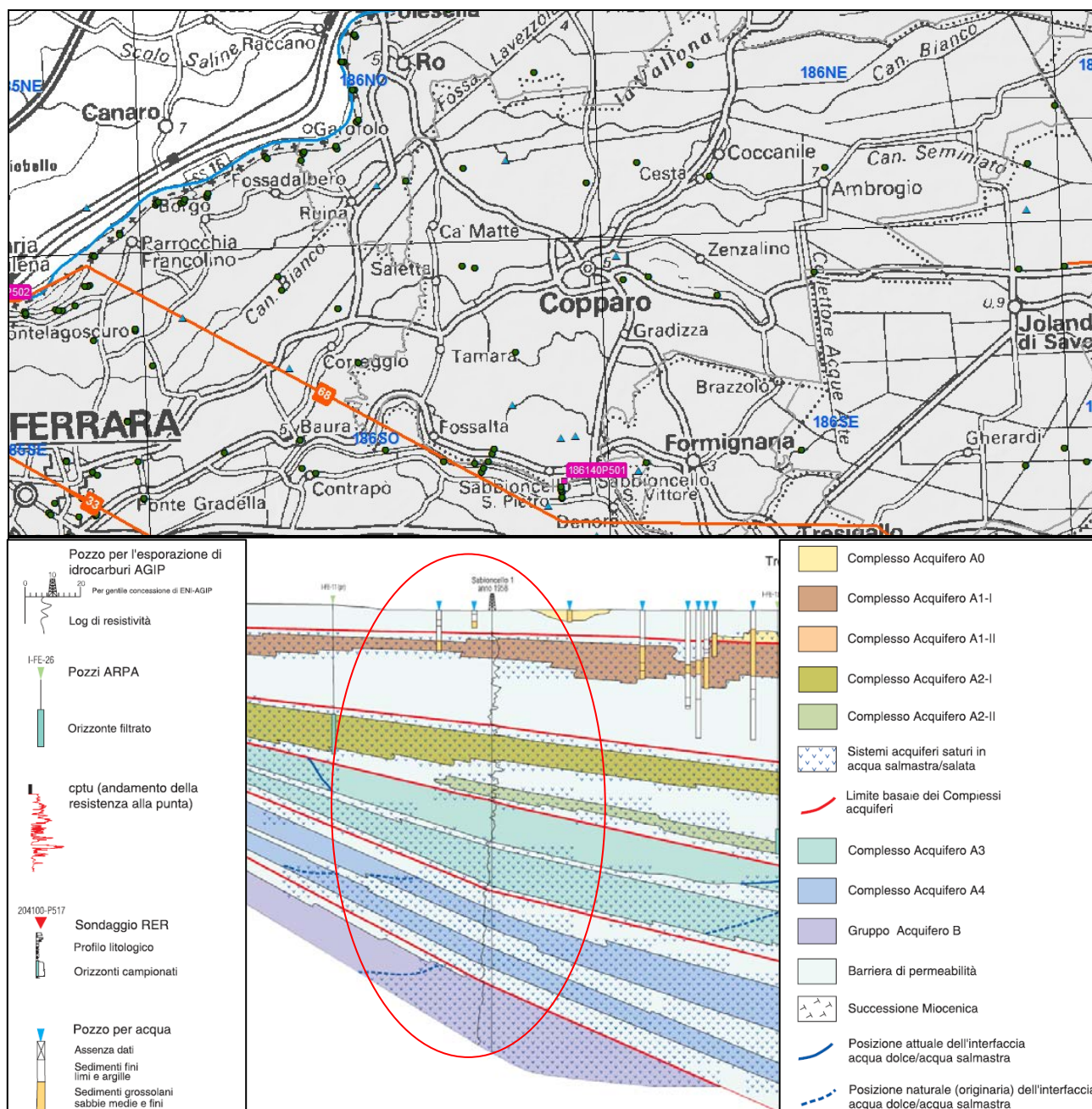
Passando ad una scala di maggior dettaglio, il settore di studio si identifica nei depositi di canale distributore, argine e rotta, costituiti in prevalenza da depositi sabbiosi e sabbioso-limosi e nei depositi di area interdistributrice (nell'insieme aree distributrici e interdistributrici formano la piana deltizia olocenica) caratterizzati prevalentemente da sedimenti fini (limi e argille). In profondità si passa alle sabbie di piana alluvionale pleistocenica del Fiume Po, presenti in strati amalgamati tra loro in modo tale da formare livelli molto spessi, anche diverse decine di metri, estesi per svariati chilometri. Questi corpi sabbiosi sono presenti a profondità in genere non inferiori a circa 20 m e sono di *età pleistocenica (piana alluvionale pleistocenica)*.

I sedimenti di piana deltizia di *età olocenica* sono costituiti in prevalenza da limi più o meno argillosi, argille e in misura minore da sabbie limose, limi sabbiosi e raramente da sabbie pulite. Gli orizzonti porosi granulari testimoniano antichi *canali distributori minori* o secondari, depositi di argine, tracimazione che solcavano la piana deltizia, mentre i depositi fini caratterizzano le aree cosiddette *interdistributrici*, ossia aree poste tra i diversi canali distributori che solcavano la piana deltizia. Le aree interdistributrici 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.

Dal punto di vista idrogeologico, i depositi di pianura alluvionale e deltizia del Fiume Po costituiscono degli acquiferi confinati molto permeabili e molto estesi. In superficie, a scala di tutta la pianura padana emiliano-romagnola, è presente l'acquifero freatico di pianura costituito da sedimenti fini e da miscele di limo, sabbia e argilla, che rappresentano depositi di canale, argine, tracimazione e piana inondabile. Il suo



spessore è assai modesto (< 10 m) e pertanto la sua importanza è trascurabile, data anche la litologia prevalentemente fine dei depositi. Questo acquifero, in diretto contatto con i corsi d'acqua superficiali oltre che con tutte le attività antropiche, è regimato principalmente per effetto dello scolo delle acque superficiali e, in genere, della regimazione delle acque meteoriche e irrigue. I corpi porosi più profondi ricevono la ricarica in parte dal Po e in parte dalle zone appenniniche poste più a sud.



**Figura 3.1-3: Stralcio della sezione geologica superficiale 068 – Regione Emilia-Romagna. Nel cerchio all'incirca il settore di studio.**



### 3.2 Assetto geomorfologico e sua evoluzione

La formazione dell'assetto geomorfologico dell'area di studio viene ben definita nella pubblicazione "L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici" di Marco Bondesan, di seguito in parte riportata.

*Come detto, durante il Pliocene, ultimo periodo dell'Era Terziaria, e nella prima parte del Quaternario, la pianura padana era occupata da un prolungamento dell'Adriatico, il golfo padano; nell'ultimo milione d'anni, la sedimentazione dei materiali detritici provenienti dagli adiacenti rilievi lo hanno colmato. Importanti sono stati anche i grandi mutamenti climatici dell'ultimo milione di anni, costituiti dall'alternarsi di periodi glaciali, accompagnati da notevoli abbassamenti del livello marino, a fasi interglaciali, nelle quali il mare tornava a risalire. Nell'Olocene, ultimi 10.000 anni, vi fu un'alternanza di intervalli di alcuni secoli di clima relativamente più freddo e piovoso, ad intervalli di clima più caldo; ai primi hanno in genere fatto riscontro le tendenze dei fiumi ad intasare di sedimenti i tratti inferiori dei loro alvei, e a straripare, più intense deposizioni nell'entroterra, maggiori estensioni del dominio palustre e talora anche rapidi processi di accrescimento degli apparati deltizi; i secondi sono stati invece spesso caratterizzati da una relativa maggior stabilità e semplicità della rete fluviale, nonché da parziali invasioni di acque marine nelle aree più depresse, prossime alla costa.*

*In tutta la Padania inferiore, per buona parte del Quaternario e soprattutto nell'Olocene, i fiumi si sono comunque mantenuti pressoché sempre in condizioni di prevalente sedimentazione.*

*Il seppellimento degli alvei fluviali più antichi con successive sedimentazioni alluvionali avvenne grazie ad effetti di crescita verticale (aggradazione) ed orizzontale (progradazione) sommati alla subsidenza. Con questa evoluzione si formarono numerose paludi.*

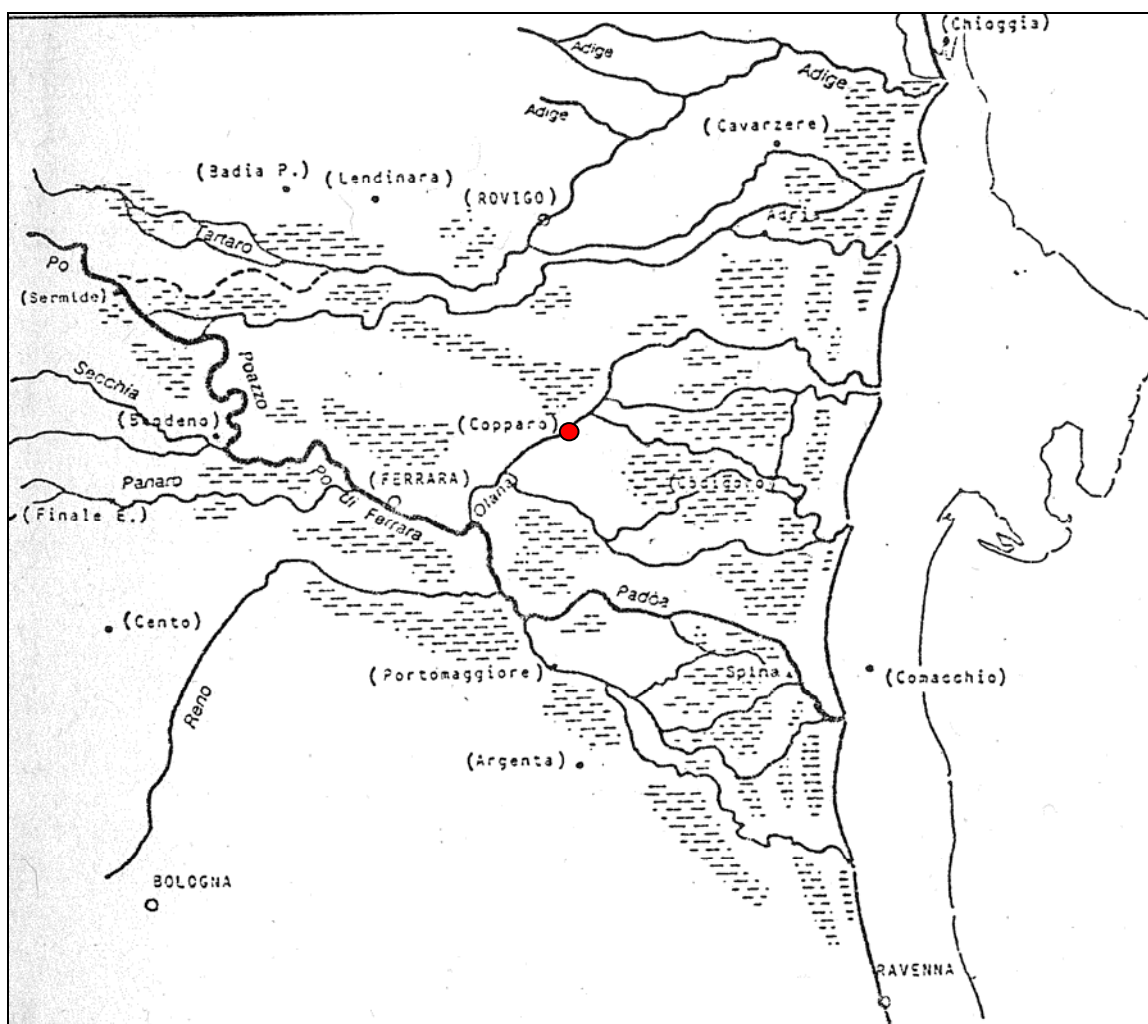
*Una tendenza evolutiva difficile da riconoscere è costituita dalla progressiva migrazione verso nord che ha subito l'asse medio dei deflussi padani.*

*Tra la fine dell'Età del Bronzo e l'inizio dell'Età del Ferro (Figura 3.2-1) le due principali linee lungo le quali le acque del Po defluivano in mare erano: il Po di Adria con foce presso Loreo, mentre a meridione una serie di alvei interessava il territorio tra Guastalla ed il bondenese. Oltre Bondeno, appartenevano a tale linea il primitivo Po di Ferrara, e le sue numerose diramazioni. È certa l'esistenza di bacini lagunari e di aree paludose in tutta la pianura.*



**Figura 3.2-1: Territorio alla fine dell'età del Bronzo (circa X secolo a.C.)**

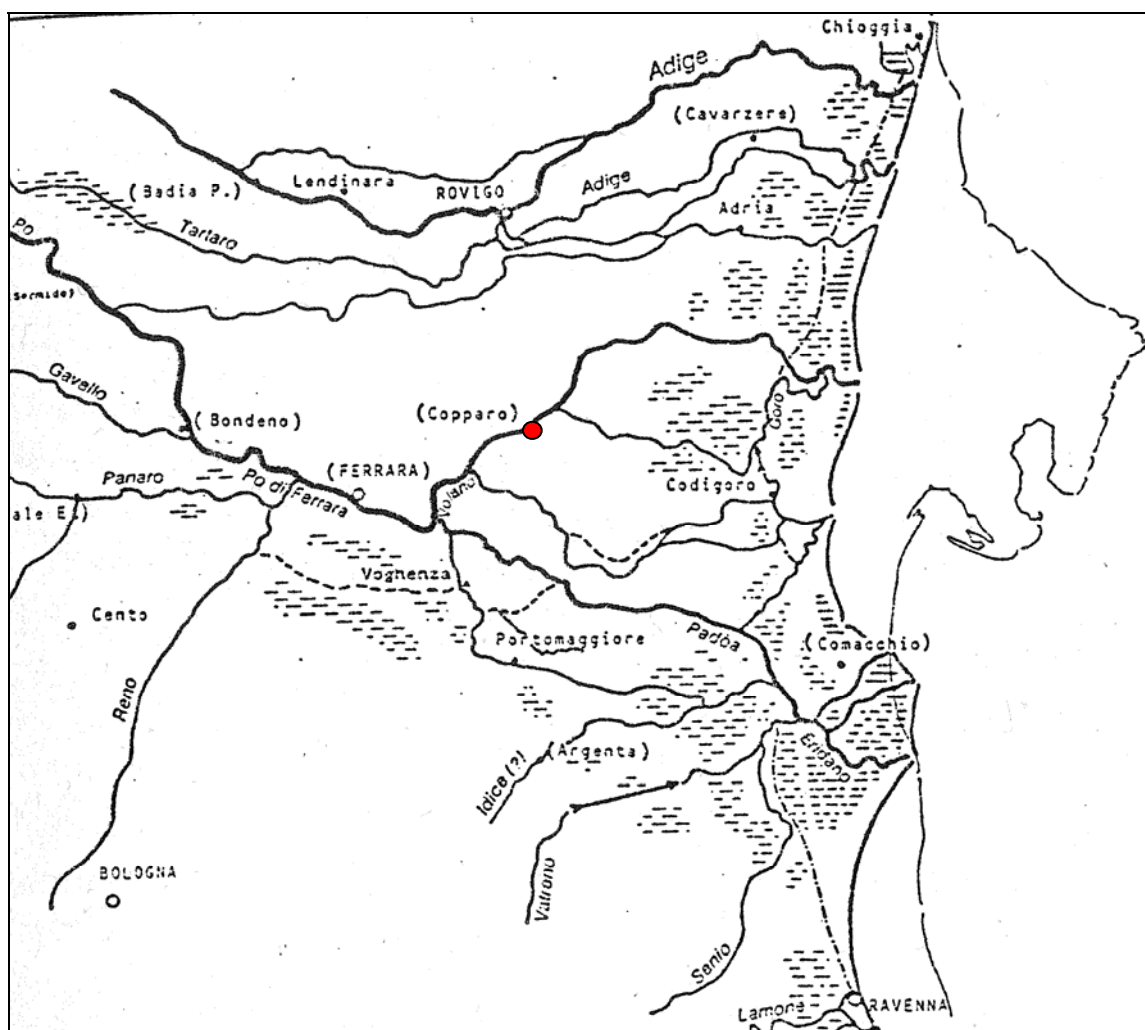
*Intorno all'VIII secolo a.C., in corrispondenza di una fase di peggioramento climatico, si sono verificati numerosi mutamenti idrografici, destinati a provocare la progressiva decadenza dei corsi padani nella'rea veneta ed il potenziamento di quelli ferraresi. Ad una rotta avvenuta presso Sermide può essere attribuito l'inizio della decadenza del Po di Adria e la nascita di un nuovo corso passante per Calto e Stellata, che confluiva nel Po di Ferrara presso Senetica. (Figura 3.2-2)*



**Figura 3.2-2: Territorio in età Etrusca (VI - IV secolo a.C.)**

*Un'importante diramazione di quest'ultimo, per Baura, Copparo e Berra è probabilmente responsabile della costruzione di una cuspidè deltizia, ancora oggi individuabile, poco a est di Massenzatica, nonché della costruzione di nuovi alvei nel ferrarese orientale.*

*Un netto miglioramento del clima e delle condizioni di abitabilità del territorio si produsse in Età Romana; il ramo principale del Po era a quel tempo lo stesso Po di Ferrara (Figura 3.2-3) che scendeva diretto fino a Cona, presso Codrea dava origine a più rami, fra cui i più importanti erano quello per Copparo, quelli che hanno dato origine al Volano e quello per Ostellato.*



**Figura 3.2-3: Territorio nella tarda età Romana (fine III secolo d.C.)**

*Dopo il III secolo d.C., in corrispondenza di un nuovo periodo di intensa piovosità caratterizzato da notevoli dissesti idrologici, si verificava un'ulteriore diffusione delle paludi.*

*I principali corsi del Po, alla fine dell'Alto Medioevo, erano costituiti dal Volano e del Primario; alla loro biforcazione nasceva la città di Ferrara.*

*Un relativo innalzamento del livello marino, accompagnato da fenomeni di ingressione di acque salmastre nei territori litoranei più ribassati dalla subsidenza, è attribuibile ad un intervallo climatico caldo fra il IX e il XII secolo.*

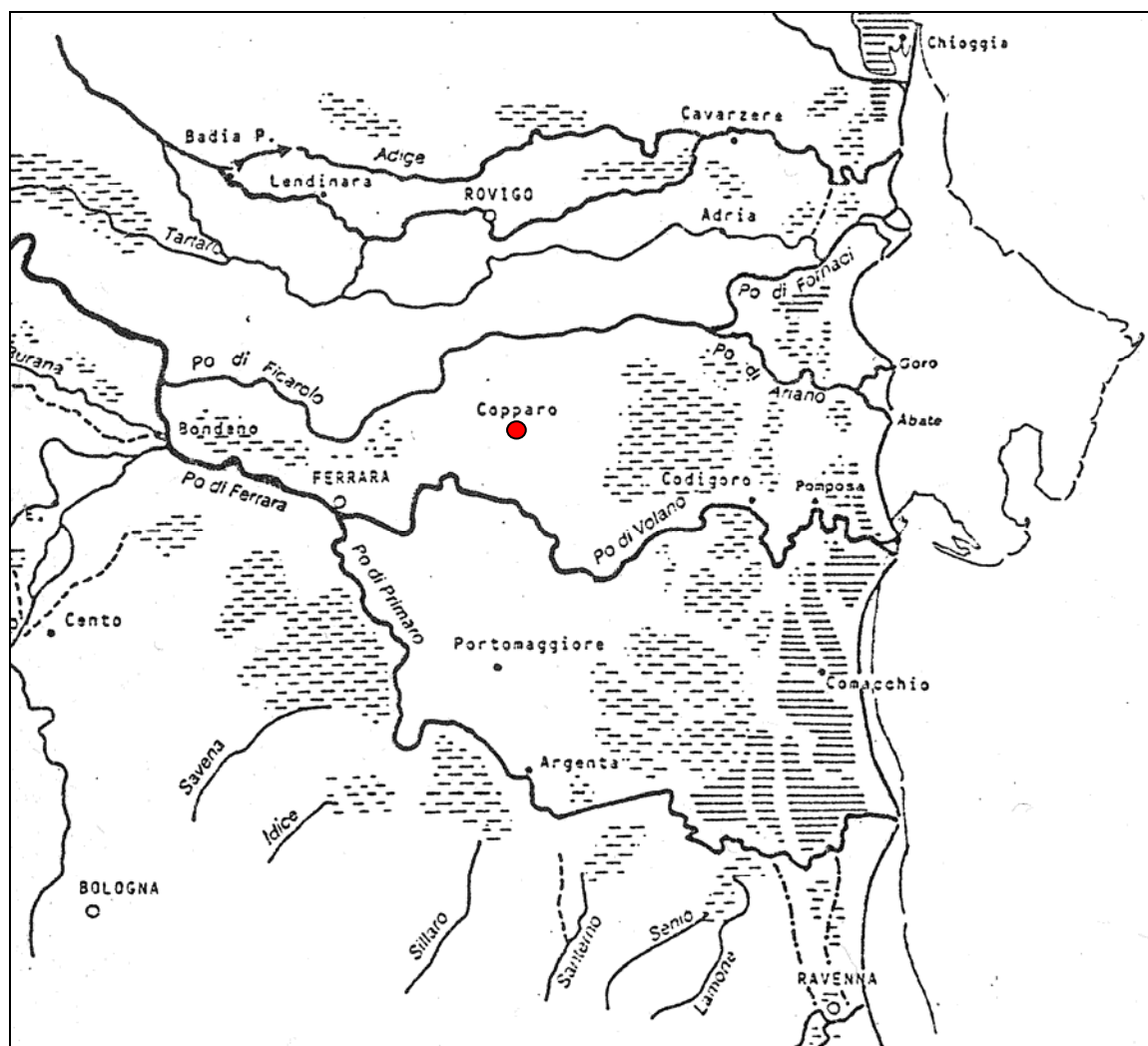
*Nel secolo XII, all'inizio di un nuovo ciclo piovoso, in seguito ad una serie di rotte avvenute presso Ficarolo, le acque del Po ripresero a versarsi a nord del Po di Ferrara, definendo un nuovo alveo (Figura 3.2-4). Attraverso una diramazione per Serravalle-Ariano venne fornito nuovo alimento al Po di Goro; il quale, presso Mesola, si divide in due rami di foce, quello propriamente detto di Goro, rivolto a nord-est, e quello dell'Abate, verso sud-est.*

*I successivi secoli furono caratterizzati dalla progressiva perdita di efficienza del Po di Ferrara e dei suoi rami di Volano e Primario.*

*Le numerose rotte, prodottesi con frequenza via via più intensa fra il XIV ed il XVI secolo in questi rami, portarono ad una sempre maggior diffusione delle paludi nel ferrarese sud-orientale.*

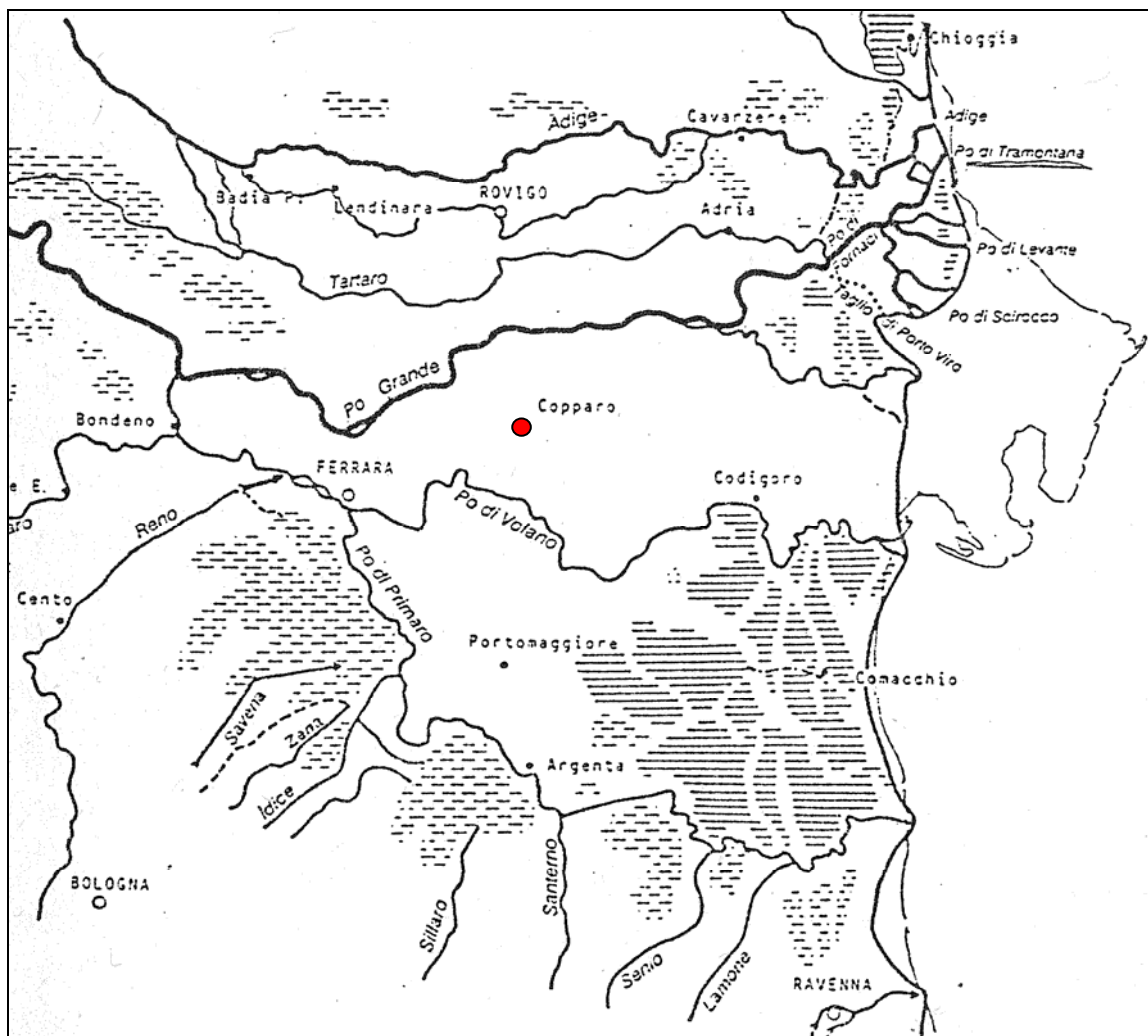
*Proseguiva nella bassa padana anche l'espansione del dominio salmastro, forse favorito da un lieve innalzamento marino che si registrò nei secoli XV e XVI.*

*Gli Estensi, con la Grande Bonificazione Estense, scavarono una complessa rete di canali in direzione ovest-est, per consentire il deflusso per gravità delle acque della grande palude compresa fra Copparo, Mesola e Pomposa, fino al mare.*



**Figura 3.2-4: Territorio alla metà del XIV secolo**

*La fine del XVI secolo segnò la definitiva crisi del Po di Ferrara; il Po di Fornaci aveva intanto dato origine ad una complessa piattaforma deltizia, che alla fine del periodo rinascimentale era molto sviluppata (Figura 3.2-5). Il governo della Repubblica di Venezia decise di realizzare la deviazione verso sud-est del corso terminale del Po. Questa importante opera detta "taglio di Porto Viro" attuata tra il 1599 ed il 1604 segnò l'inizio della costruzione del delta moderno. Negli anni a seguire si realizzò l'occlusione del Po di Tramontana e si condusse il Po ad adottare definitivamente il nuovo corso artificiale.*



**Figura 3.2-5: Territorio alla fine del XVI secolo**

*Nel XVII secolo vi furono problemi idraulici nell'area del ferrarese nord orientale: si disposero nuove sopraelevazioni degli argini dei fiumi e di vari canali di scolo per compensare gli effetti della subsidenza della fascia litoranea e l'allontanamento progressivo della costa.*

*Nella prima metà del XIX secolo la rete fluviale della bassa padana aveva ormai praticamente assunto la geometria attuale, essendo fallito il tentativo di riportare il Reno in Po con la costruzione del Cavo Napoleonico.*

*Le principali opere della moderna attività di bonifica furono legate all'introduzione delle macchine idrovore: nell'area a valle di Copparo, si prosciugò la grande palude<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> "L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici" di Marco Bondesan

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 142/16-ES-REV00 DEL 06/2017
--	---	-------------------------------------

#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI RILEVATI ED ANALIZZATI

Lo studio di microzonazione di II livello è stato realizzato analizzando n. 420 indagini distribuite sul territorio comunale e costituite da indagini di tipo geotecnico, geologico e geofisico (si veda nello specifico il paragrafo 8.1).

L'ubicazione delle prove geognostiche è riportata nella Carta delle Indagini allegata alla presente relazione illustrativa.

Nella fattispecie sono state analizzate:

- n. 336 prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT);
- n. 11 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- n. 4 prove penetrometriche con cono sismico (SCPTU);
- n. 39 pozzi per acqua;
- n. 4 pozzi per idrocarburi;
- n. 2 sondaggi a distruzione di nucleo;
- n. 5 sondaggi con piezometro;
- n. 8 indagini tipo *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW);
- n. 11 misurazioni dei microtremori ambientali *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

Alcune prove geognostiche dirette (CPT-CPTU-SCPTU) e alcuni pozzi per acqua hanno raggiunto una profondità d'indagine massima di oltre 30 m, consentendo una dettagliata ed esaustiva ricostruzione del assetto litostratigrafico del sottosuolo.

Delle n. 336 prove penetrometriche statiche (CPT) sopra elencate, quindici di queste, oltre ad una prova penetrometrica con cono sismico (SCPTU), vennero eseguite durante la stesura del P.S.C. con lo scopo di ottenere una maggior copertura territoriale dei dati e maggiori informazioni riguardanti le aree ad elevato interesse urbanistico. Infatti, sia il capoluogo comunale Copparo che le frazioni principali di Ambrogio, Coccanile, Cesta, Fossalta, Sabbioncello San Pietro, Sabbioncello San Vittore, Saletta e Tamara, risultano centri nei quali la pianificazione prevede aree di espansione di tipo urbano e produttivo oltre che aree di riqualifica urbana. Sui restanti agglomerati urbani non sono previsti interventi di tipo urbanistico.

Quattro prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU), due prove penetrometriche con cono sismico (SCPTU) e due misure di tipo HVSr sono state invece eseguite nel corso della campagna geognostica 2017.

Nello specifico:

- n. 2 CPTU e n. 1 SCPTU sono state effettuate a Copparo, n.1 CPTU nelle vicinanze del depuratore Berco, n. 1 CPTU a sud della Casa Protetta e n. 1 SCPTU nel cortile dell'ex Caserma dei Carabinieri;
- n. 1 CPTU è stata effettuata presso l'abitato di Saletta, lungo Via Caseggiato;
- n. 1 CPTU è stata effettuata presso l'abitato di Coccanile, lungo Via Copparo, nelle vicinanze del Canale Naviglio;
- n. 1 SCPTU è stata effettuata presso l'abitato di Fossalta, lungo Via Argine Volano;
- n. 1 HVSr è stata effettuata presso l'abitato di Sabbioncello San Pietro, lungo Via Marchesa;
- n. 1 HVSr è stata effettuata presso l'abitato di Sabbioncello San Vittore, nelle vicinanze della chiesa.



#### 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:

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

Le sabbie di canale distributore del Po, costituenti la piana alluvionale pleistocenica, sono generalmente caratterizzate da valori elevati di resistenza alla punta (in media  $R_p > 50 \text{ Kg/cm}^2$  e frequentemente  $R_p > 100 \text{ Kg/cm}^2$ ) e, presumibilmente, sono costituite da sabbie medio-grossolane addensate. Le sabbie pleistoceniche sono presenti con grande continuità alla scala dell'intero territorio comunale di Copparo. Le sabbie dei canali distributori minori, che si trovano e si intrecciano a vari livelli lungo la piana interdistributrice, sono invece caratterizzate da valori di  $R_p$  decisamente inferiori, che in media non superano i  $50 \text{ Kg/cm}^2$  o presentano valori di poco superiori e normalmente  $R_p < 100 \text{ Kg/cm}^2$ ; il loro grado di addensamento è generalmente medio-scarso. Si tratta probabilmente di sabbie molto sporche, limose o addirittura di limi sabbiosi. Questi depositi sono presenti con grande discontinuità e variabilità in termini di spessore, profondità ed estensione laterale.

I depositi argillosi e limoso-argillosi di area interdistributrice 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  $0.70 \text{ Kg/cm}^2$  (70 KPa). Questi depositi si rinvergono in modo omogeneo e continuo alla scala dell'intero territorio comunale e sono sicuramente caratterizzati da un'elevata compressibilità.

I depositi francamente torbosi o costituiti da argille organiche sono i più soffici in assoluto, con valori molto scarsi di  $R_p$  ( $R_p < 0.20 \text{ Kg/cm}^2$ ) ed elevata compressibilità. Sono presenti in modo discontinuo, spesso sottoforma di sottili (spessore decimetrico o pluridecimetrico) e ripetuti livelli di intercalazione.

#### 4.2. Parametri geofisici – Velocità delle onde di taglio S (Vs) e frequenze di risonanza

Al fine di caratterizzare l'intero territorio comunale di Copparo, con la campagna geognostica 2017, sono stati realizzate n. 2 prove penetrometriche con cono sismico (SCPTU) per definire il profilo delle velocità di propagazione delle onde di taglio S ( $V_s$ ) e n. 2 misure a stazione singola del microtremore ambientale mediante tecnica HVSR, per definire la frequenza fondamentale di risonanza di terreni e per l'individuazione delle superfici di contrasto di impedenza nel sottosuolo.

Sono state inoltre analizzate ulteriori n. 2 prove penetrometriche con cono sismico (SCPTU), nr. 8 profili sismici in array con tecnica MASW e n. 9 misure a stazione singola del microtremore ambientale mediante tecnica HVSR.

Le prove che sono state seguite nella campagna 2017 sono state così distribuite (si veda Carta delle Indagini in allegato):

- n. 1 prova penetrometrica con cono sismico (SCPTU) presso Copparo (capoluogo), nel cortile dell'ex Caserma dei Carabinieri;
- n. 1 prova penetrometrica con cono sismico (SCPTU) presso la frazione di Fossalta, lungo Via Argine Volano;

- n. 1 misura HVSR presso l'abitato di Sabbioncello San Pietro, lungo Via Marchesa;
- n. 1 misura HVSR l'abitato di Sabbioncello San Vittore, nelle vicinanze della chiesa.

Le figure sotto riportate mostrano i modelli di sottosuolo ricavati dalle misure di Vs e le misure dei microtremori HVSR con evidenza dei valori di Vs30 rilevati e delle principali frequenze di risonanza che caratterizzano specificatamente il sito investigato.

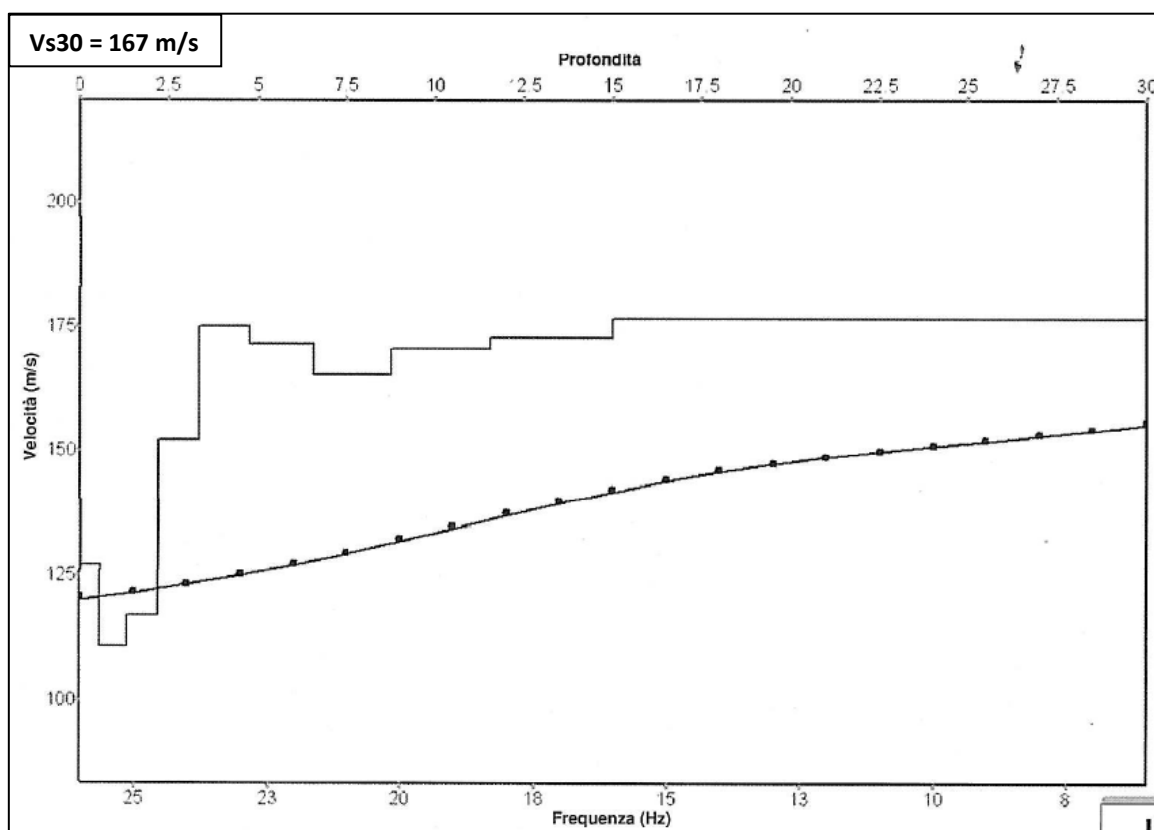


Figura 4.2-1: Modello di velocità delle onde di taglio S – Copparo - 038007L2MASW2

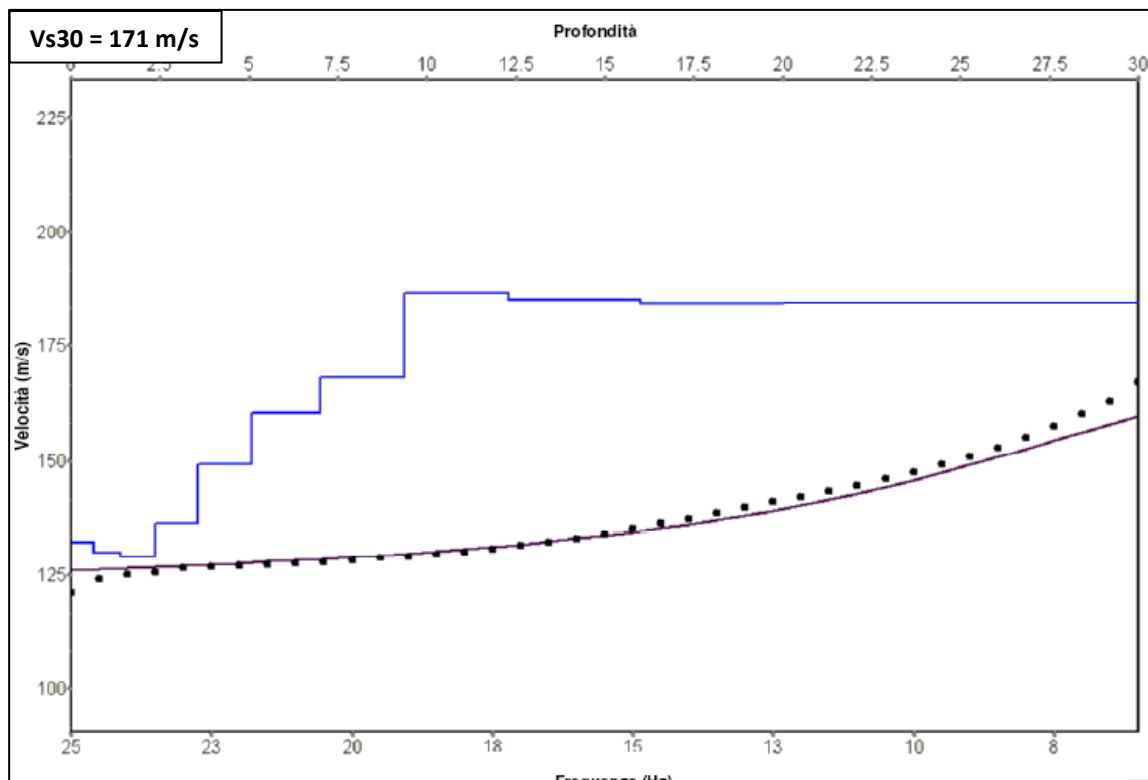


Figura 4.2-2: Modello di velocità delle onde di taglio S – Copparo – 038007L3MASW3

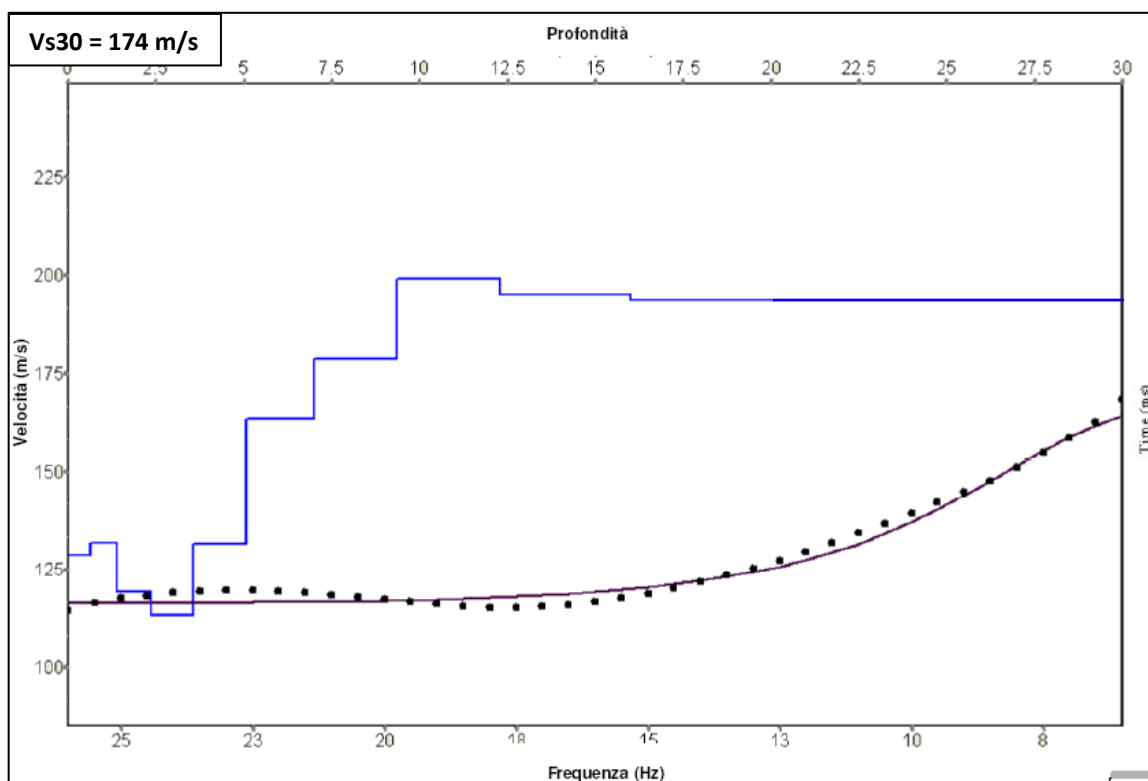


Figura 4.2-3: Modello di velocità delle onde di taglio S – Copparo – 038007L4MASW4

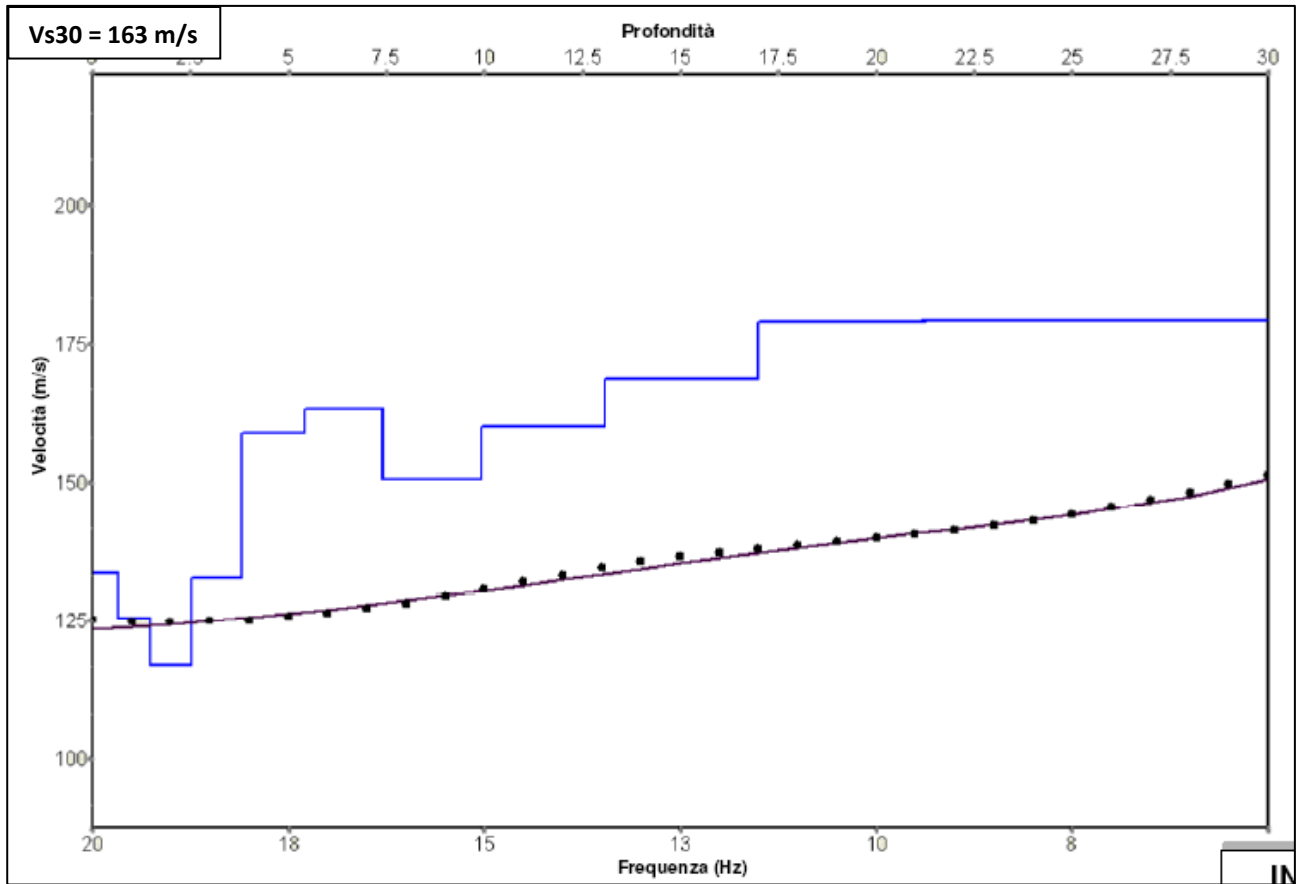


Figura 4.2-4: Modello di velocità delle onde di taglio S – Copparo - 038007L5MASW5

Depth(m)	S-velocity(m/s)	Gmax (Mpa)	$\rho$ (t/mc)
0.00	138	34	1.77
1.07	140	34	1.77
2.31	133	31	1.77
3.71	119	25	1.77
5.27	107	20	1.77
7.01	136	33	1.77
8.90	152	41	1.77
10.96	173	53	1.77
13.19	192	66	1.77
15.58	205	74	1.77
18.13	211	79	1.77
20.85	254	116	1.80
23.74	252	114	1.80
26.79	266	127	1.80
30.00	266	127	1.80

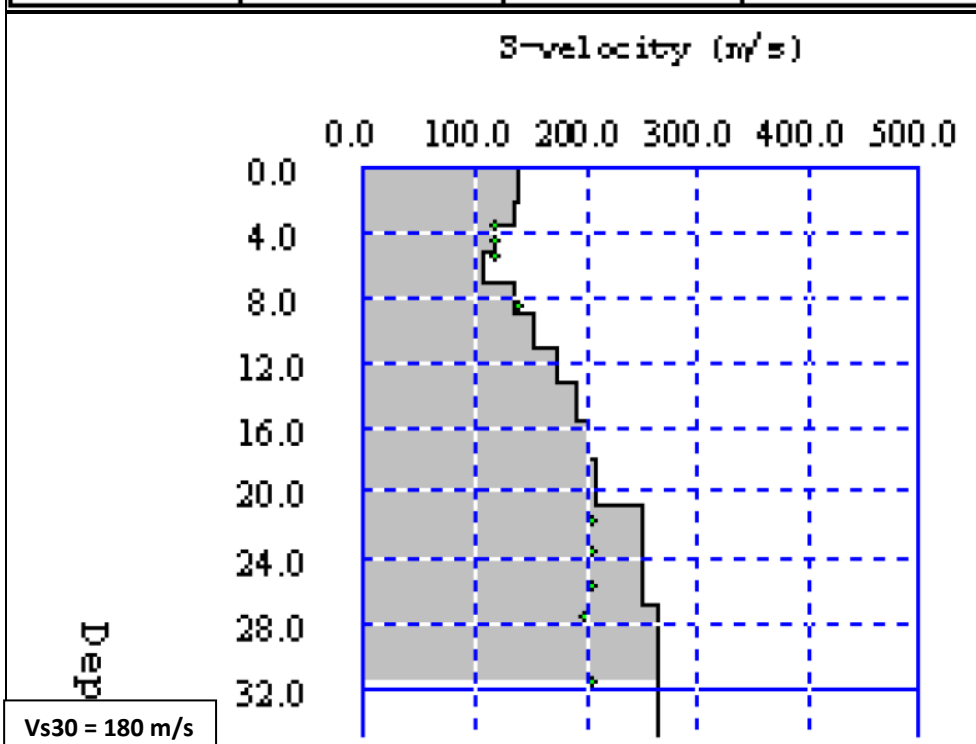


Figura 4.2-5: Modello di velocità delle onde di taglio S – Tamara - 038007L6MASW6

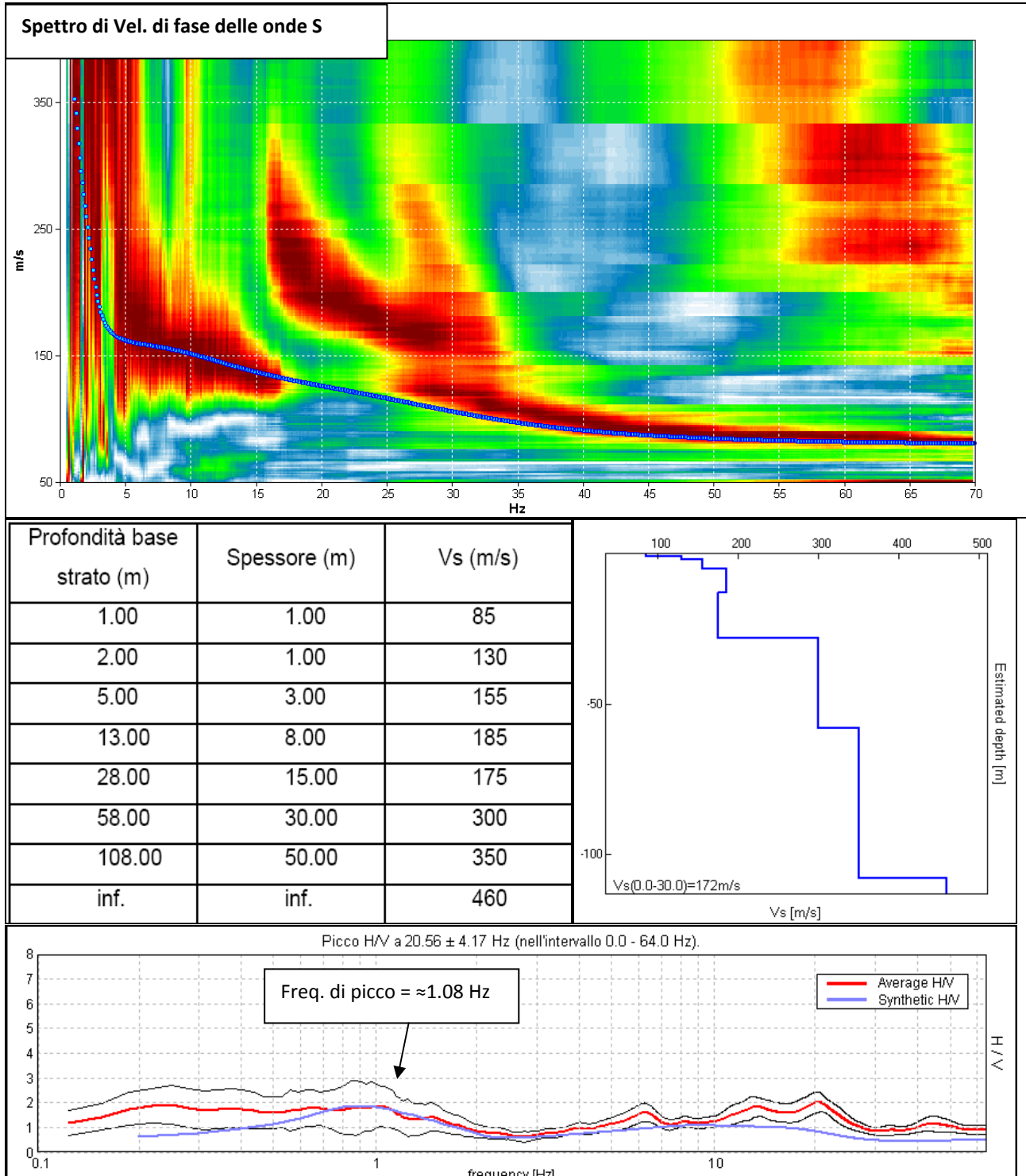
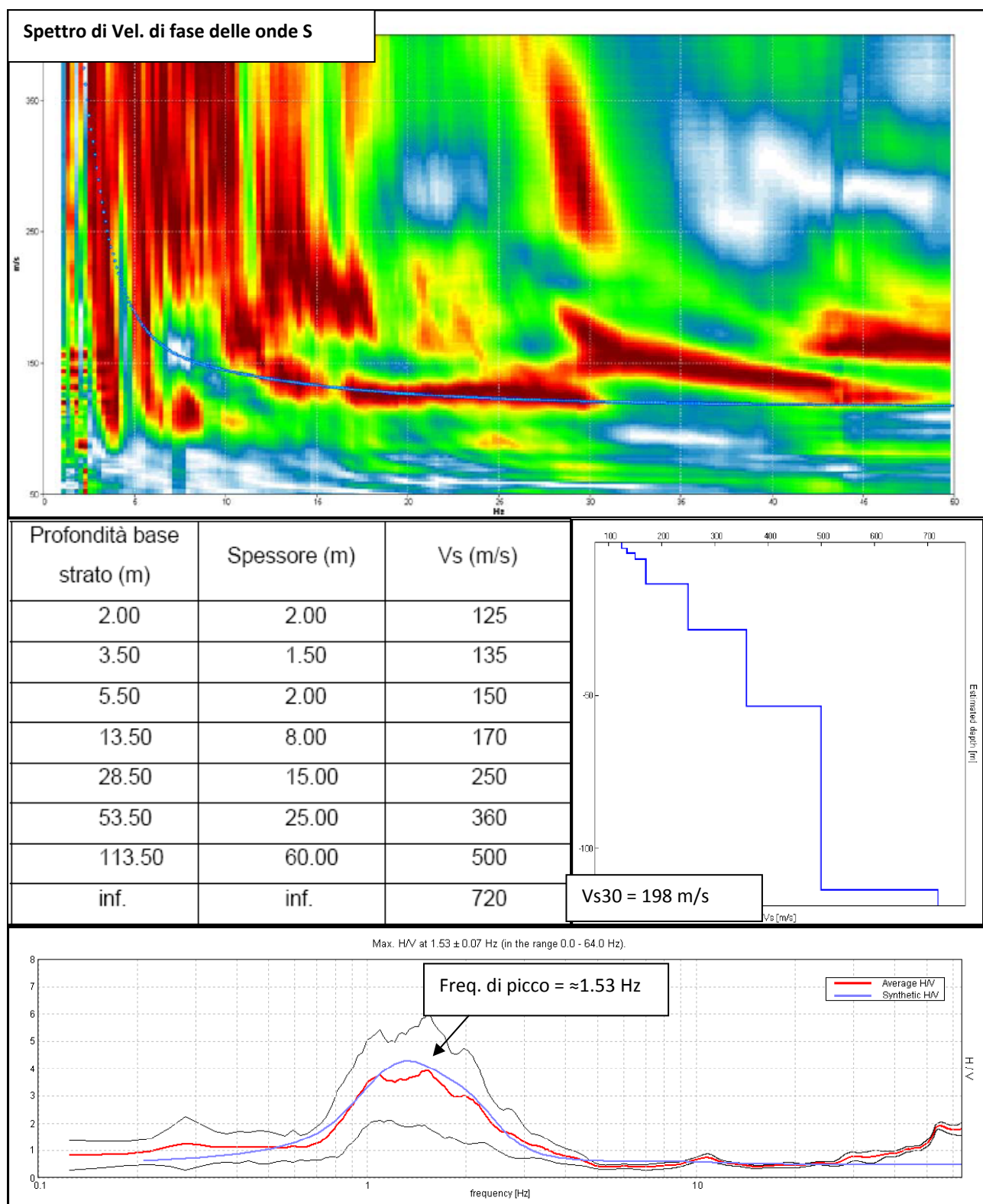


Figura 4.2-6: Modello di velocità delle onde di taglio S – Copparo - 038007L10MASW10 e 038007P517HVSRS21



**Figura 4.2-7: Modello di velocità delle onde di taglio S e confronto tra curva HVSR sperimentale registrata nel sito e curva teorica relativa al modello di sottosuolo proposto – Brazzolo - 038007L11MASW11 e 038007P519HVSRS23**

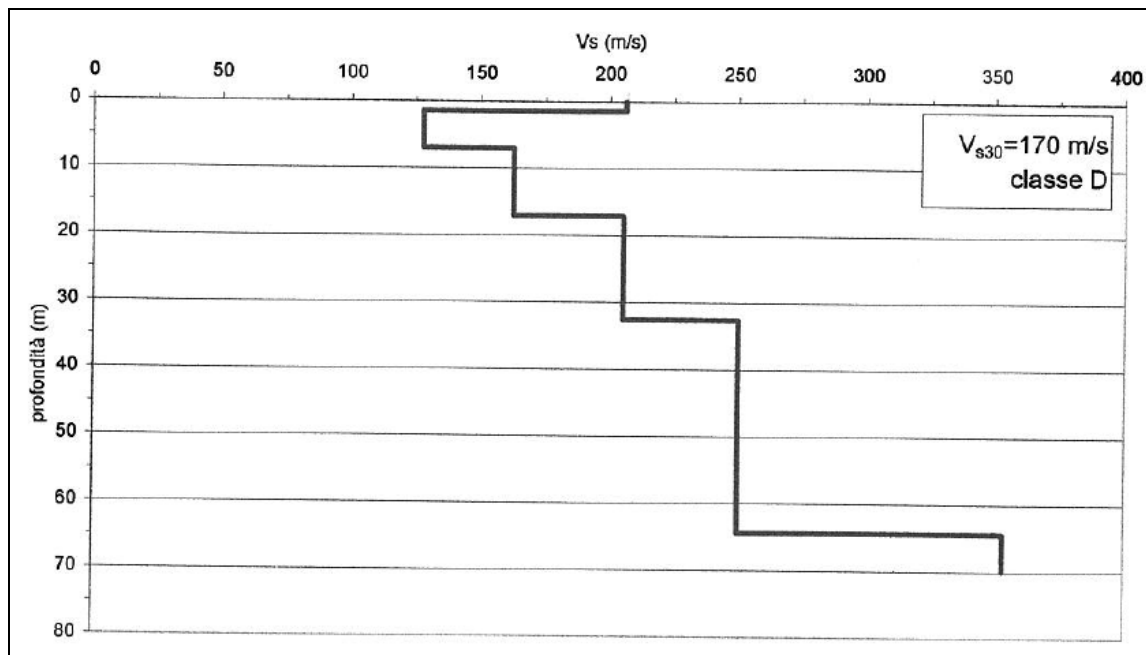
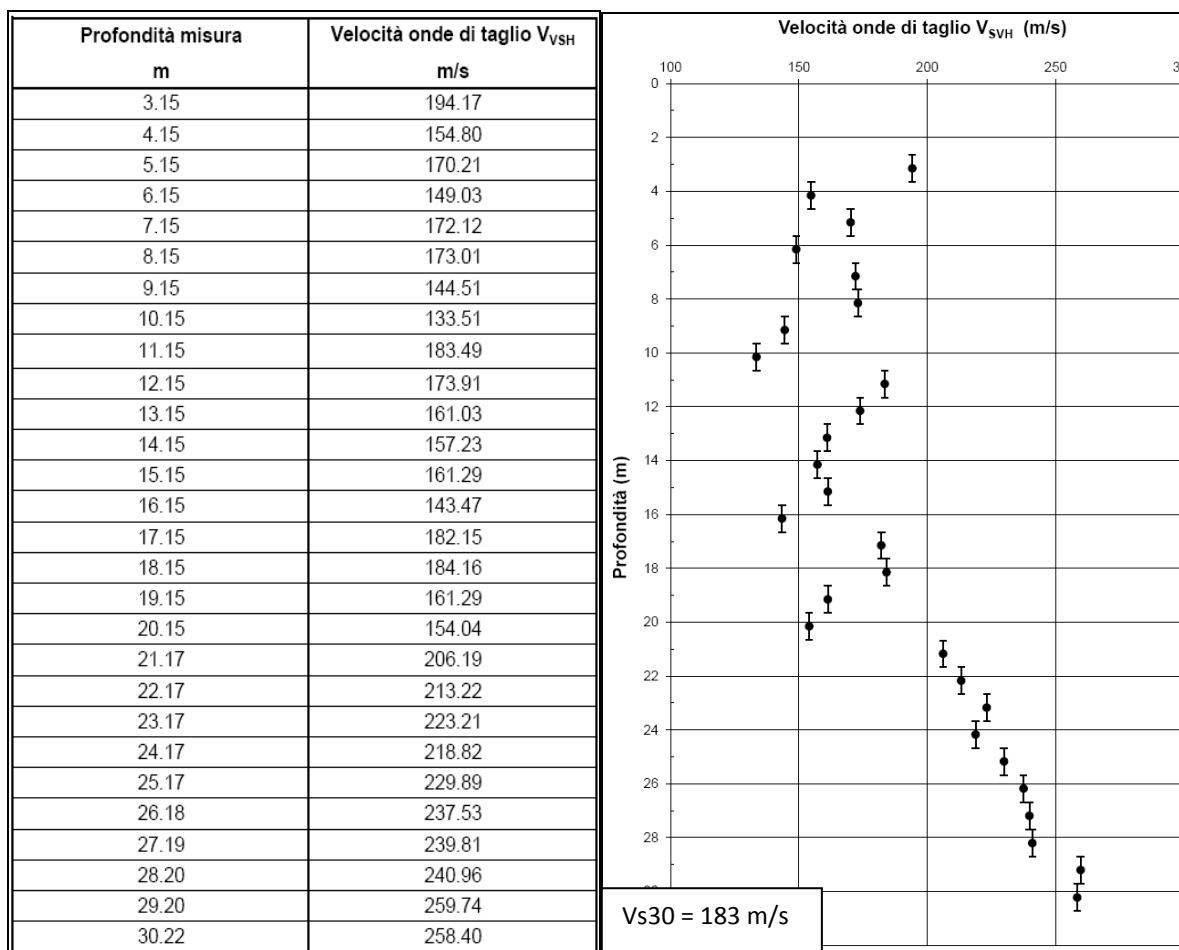
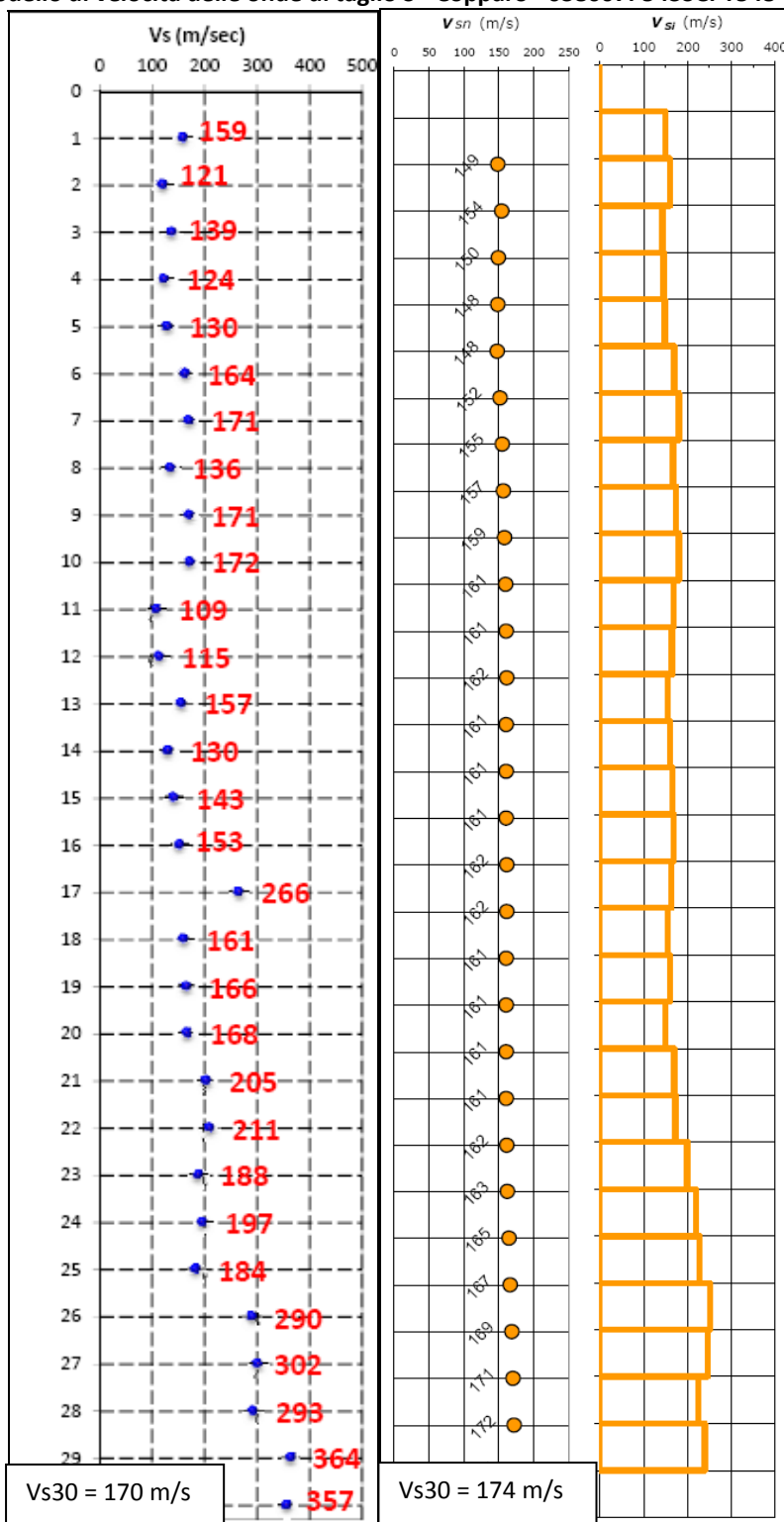


Figura 4.2-8: Modello di velocità delle onde di taglio S - Copparo – 038007L12MASW13





**Figura 4.2-9: Modello di velocità delle onde di taglio S - Copparo– 038007P543SCPT548**



**Figura 4.2-10: Modelli di velocità delle onde di taglio S – 038007P72SCPT72 a sinistra (Tamara) e 038007P118SCPT120 a destra (Copparo)**

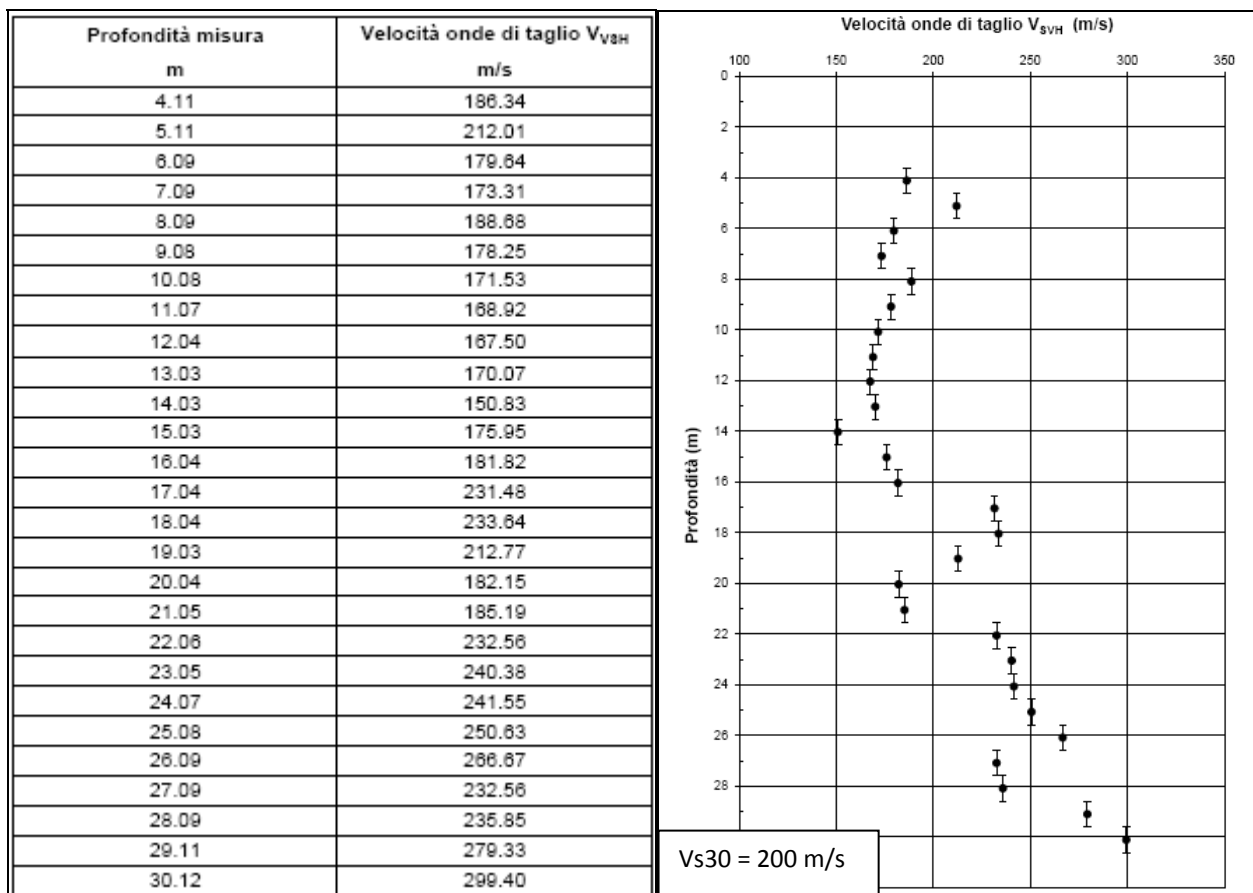
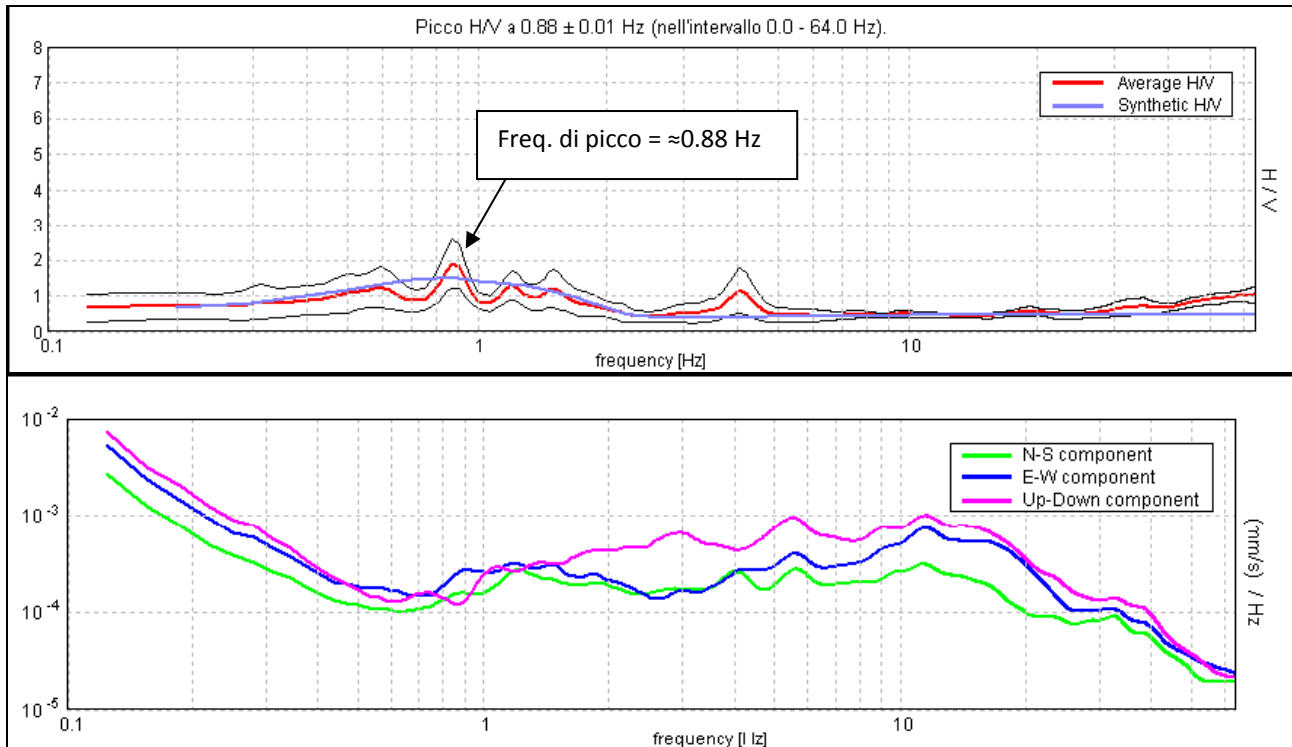
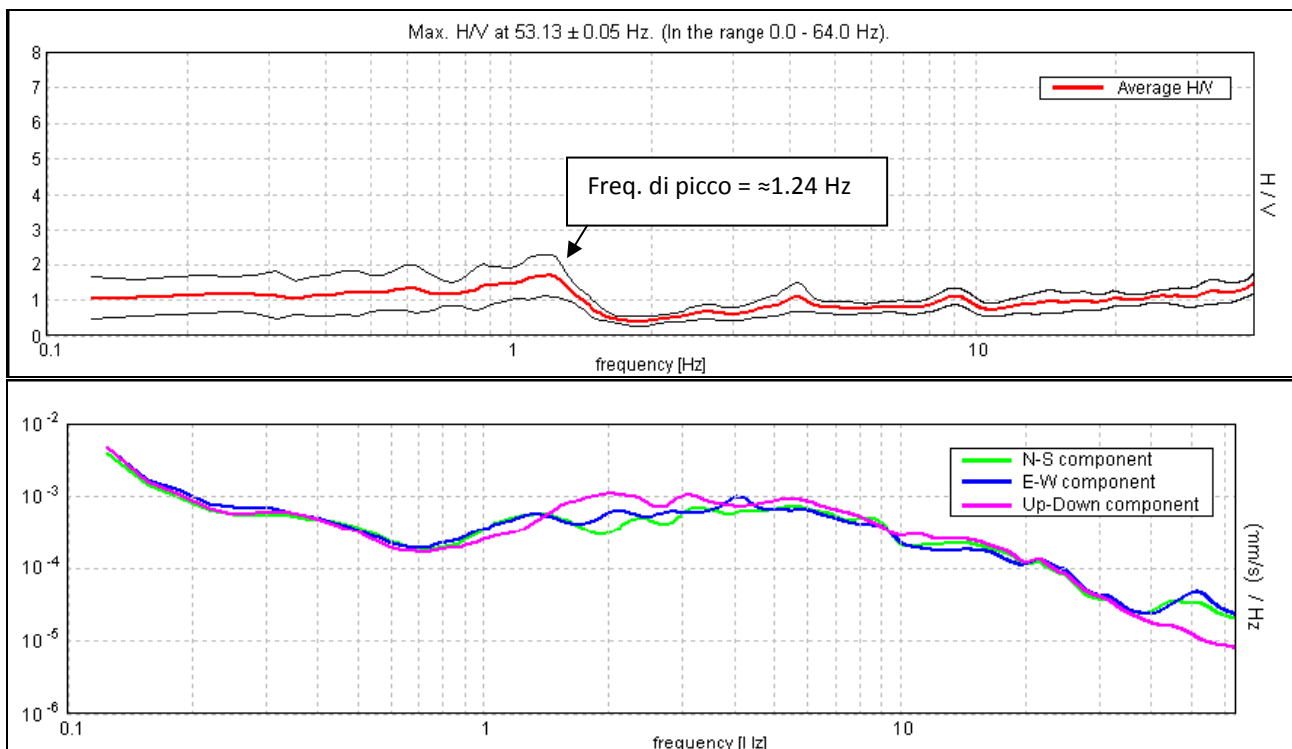


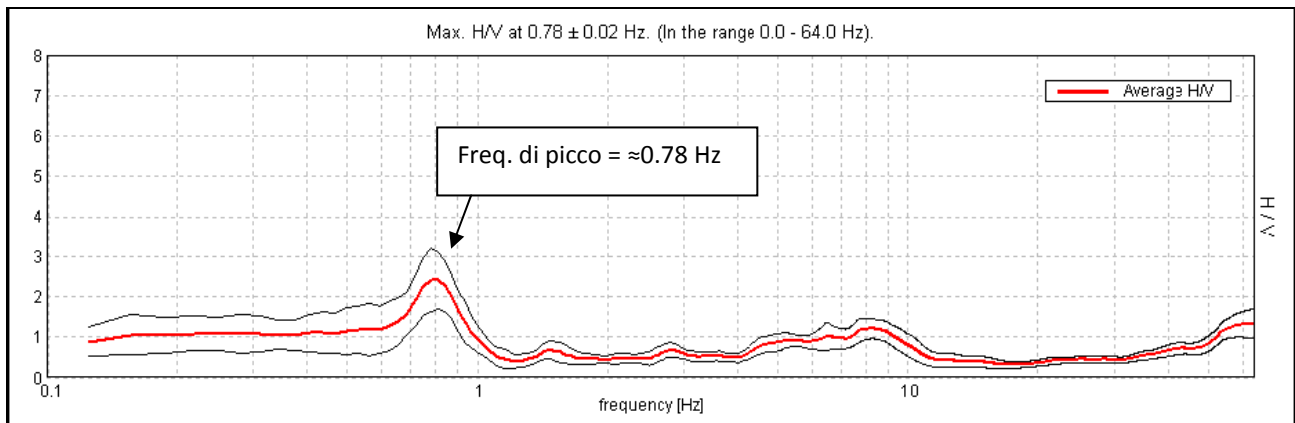
Figura 4.2-11: Modello di velocità delle onde di taglio S – Fossalta – 038007P544SPT549



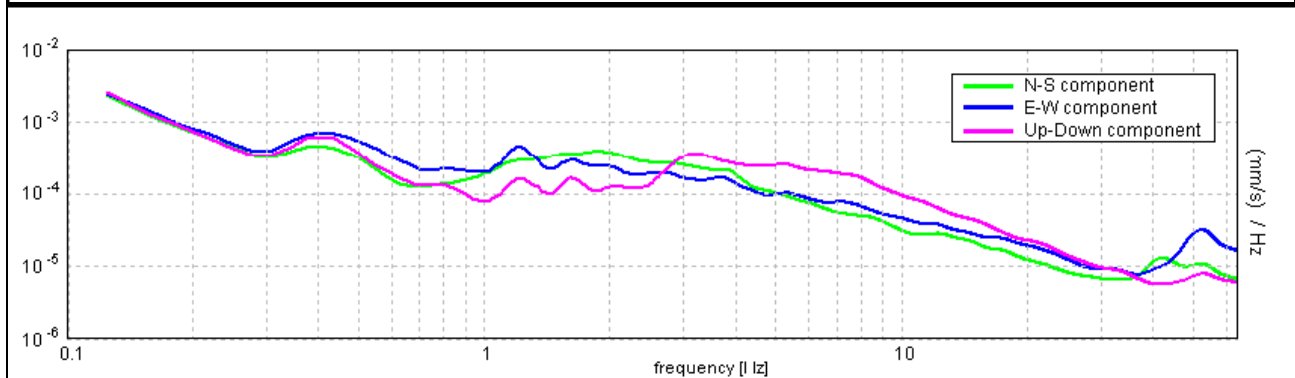
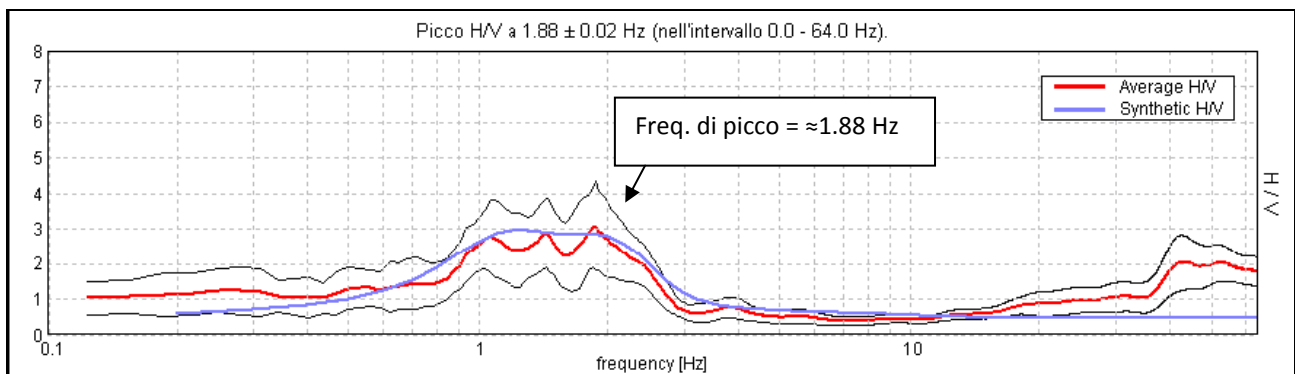
**Figura 4.2-12: Curva sperimentale e singole componenti - Gradizza – prova nr. 038007P160HVSR162**



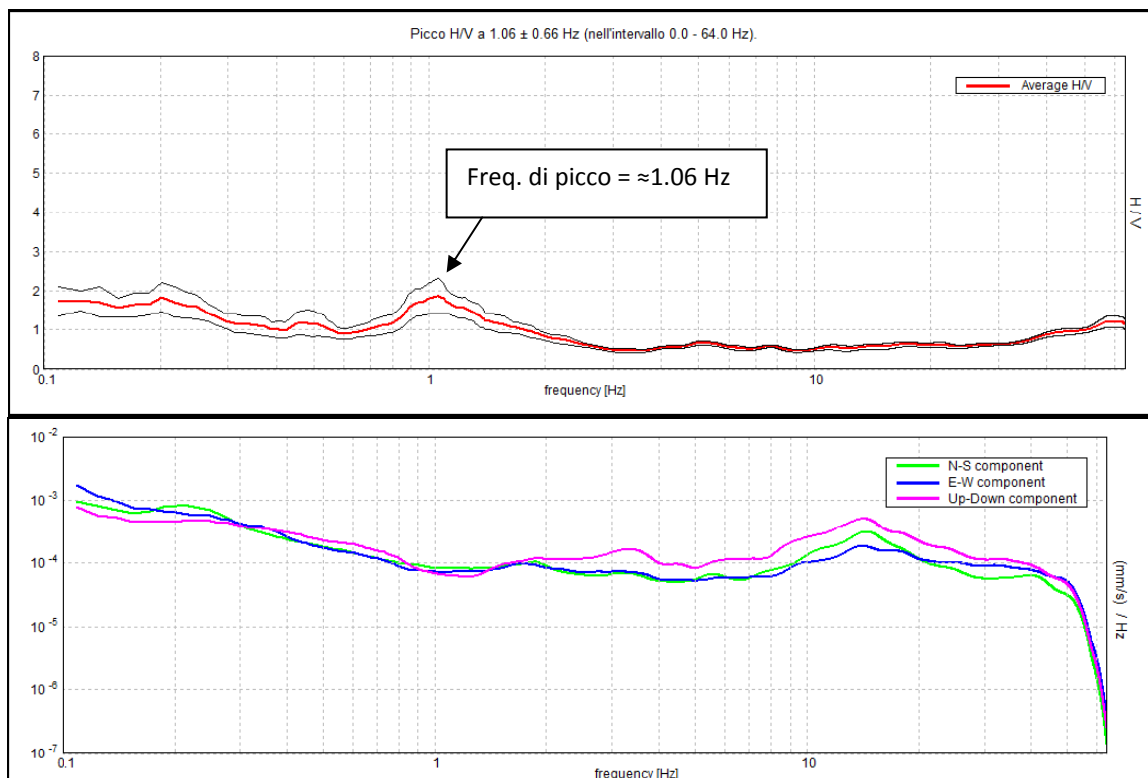
**Figura 4.2-13: Curva sperimentale e singole componenti – Copparo - prova nr. 038007P196HVSR200**



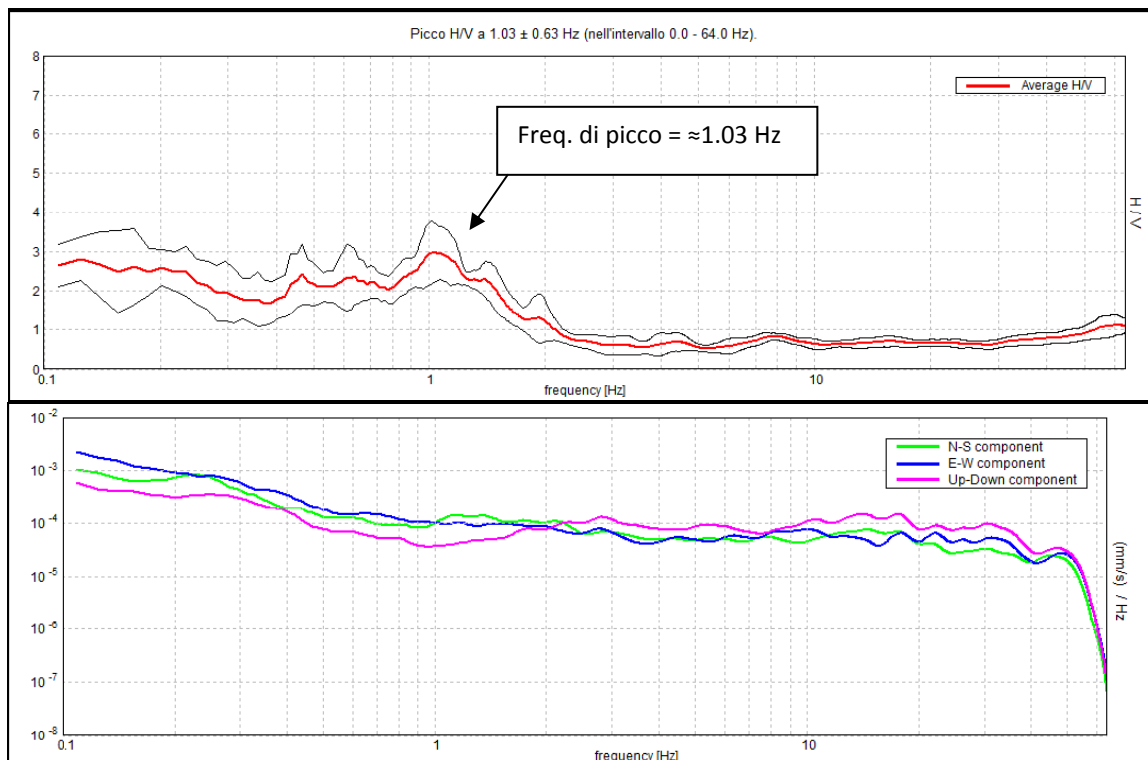
**Figura 4.2-14: Curva sperimentale – Copparo - prova nr. 038007P516HVSR520**



**Figura 4.2-15: Curva sperimentale e singole componenti - Brazzolo – prova nr. 038007P521HVSR525**



**Figura 4.2-16: Curva sperimentale e singole componenti – Sabbiocello San Vittore - prova nr. 038007P545HVSR550**



**Figura 4.2-17: Curva sperimentale e singole componenti – Sabbiocello San Pietro - prova nr. 038007P546HVSR551**

Come si evince dagli elaborati grafici sopra riportati, l'area dell'intero territorio comunale di Copparo è caratterizzata da valori di velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ) caratteristici di terreni da molto soffici (argille e torbe con  $V_s < 180$  m/s) a compatti/addensati (sabbie 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 superficie, posta a profondità di circa 20 m, le  $V_s$  subiscono un deciso innalzamento per poi tornare ad aumentare gradualmente con la profondità.

L'elaborazione delle curve HVSR, talora con fit congiunto allo spettro di velocità di fase in onde S derivante da profili MASW, ha permesso di estendere la modellazione delle  $V_s$  fino a profondità di circa 100 m o di poco superiori. Si rileva in genere la presenza di modeste amplificazioni locali del moto del suolo in bassa frequenza, in particolare nell'intervallo  $1 < F_0 < 2$  Hz. Talora la frequenza di picco è inferiore a 1 Hz e si attesta intorno a 0.8 Hz.

Le amplificazioni variano da basse (ampiezza picco  $1.5 \leq HVSR < 2$ ) a moderate (ampiezza picco  $2 \leq HVSR < 3$ ) e solo in una registrazione, n. 038007P519HVSR523, elevate (ampiezza picco  $HVSR \geq 3$ ).

Il fatto che l'intervallo di frequenze interessate da amplificazione sia sempre lo stesso (intervallo 1-2 Hz), ci indica che l'interfaccia rigida o semirigida che causa la risonanza dei sedimenti soprastanti (molto soffici) si trova sempre alla stessa profondità. Questa profondità copre un intervallo che va da circa 15-20 m da p.c. attuale (interfaccia che corrisponderebbe a circa 2 Hz con  $V_s$  intorno a 200/250 m/s) fino a circa 100-120 m di profondità da p.c. attuale (interfaccia che corrisponderebbe a circa 0.8-1 Hz e  $V_s$  di circa 400/500 m/s).

Il bedrock sismico con  $V_s = 800$  m/s è sicuramente profondo oltre i 250-300 m almeno. Osservando le velocità dell'ultimo sismostrato, secondo la stima fornita dagli scriventi, esse non superano mai i 400-500 m/s; questi valori di  $V_s$  sono tipici di mezzi semirigidi (bedrock-like) come sabbie molto addensate/debolmente cementate per diagenesi e non certo di rocce compatte cristalline.



**Figura 4.2-18: distribuzione areale delle principali frequenze di risonanza registrate nell'abitato di Copparo**



**Figura 4.2-19: distribuzione areale delle principali frequenze di risonanza (pallino rosso) e Vs30 (pallino giallo) registrate nelle frazioni di Tamara, Fossalta, Sabbioncello San Pietro, Sabbioncello San Vittore, Gradizza e Brazzolo**

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

**TABELLA 4.2-1: SINTESI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE**

SITO	VS30	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	MAX H/V	AMPIEZZA PICCO	COMMENTI
038007L2MASW2 (Copparo)	167 m/s	-	-	-	Terreni a rigidezza nel complesso soffice, localmente moderata, con modeste amplificazioni del moto del suolo nell'intervallo 1-2 Hz; localmente le amplificazioni riguardano frequenze < 1Hz e sporadicamente le ampiezze di picco sono elevate (HVSr > 3)
038007L3MASW3 (Copparo)	171 m/s	-	-	-	
038007L4MASW4 (Copparo)	174 m/s	-	-	-	
038007L5MASW5 (Copparo)	163 m/s	-	-	-	
038007L6MASW6 (Tamara)	180 m/s	-	-	-	



038007L10MASW10 038007P517HVSR521 (Copparo)	172 m/s	Intervallo 0.8-1 Hz	1.08 Hz	BASSA
038007L11MASW11 038007P519HVSR523 (Brazzolo)	198 m/s	Intervallo 1-2 Hz	1.53 Hz	ELEVATA
038007L12MASW13 (Copparo)	170 m/s	-	-	-
038007P543SCPT548 (Copparo)	183 m/s	-	-	-
038007P72SCPT72 (Tamara)	170 m/s	-	-	-
038007P118SCPT120 (Copparo)	174 m/s	-	-	-
038007P544SCPT549 (Fossalta)	200 m/s	-	-	-
038007P160HVSR162 (Gradizza)	-	Intervallo 0.8-1 Hz	0.88 Hz	BASSA
038007P196HVSR200 (Copparo)	-	Intervallo 1-2 Hz	1.24 Hz	BASSA
038007P516HVSR520 (Copparo)	-	Intervallo 0.8-1 Hz	0.78 Hz	MODERATA
038007P521HVSR525 (Brazzolo)	-	Intervallo 1-2 Hz	1.88 Hz	MODERATA



038007P545HVSR550 (Sabbioncello San Vittore)	-	Intervallo 1-2 Hz	1.06 Hz	BASSA	
038007P546HVSR551 (Sabbioncello San Pietro)	-	Intervallo 1-2 Hz	1.03 Hz	MODERATA	

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO DI SINTESI

Sulla base delle prove analizzate e dei risultati ottenuti, considerando tutte le informazioni e le conoscenze di carattere geologico e geomorfologico, è possibile fornire il seguente modello di sottosuolo di sintesi:

TABELLA 5-1: MODELLO SCHEMATICO DEL SOTTOSUOLO NELL'AREA COMUNALE DI COPPARO E SUE FRAZIONI

UNITA'	DESCRIZIONE	PERIODO	PROFONDITA'	COMPATTEZZA ADDENSAMENTO DEPOSITO	FREQ. RISONANZA PRINCIPALE	Vs MEDIA
<b>A</b>	Unità dei canali distributori e delle aree interdistributrici di piana deltizia	OLOCENE	0-20 m circa	soffice (frazione coesiva)  addensamento medio-scarso (frazione granulare)	0.8-2 Hz ampiezza in genere moderata $2 < F_0 < 3$	Vs < 180 m/s
<b>C</b>	Unità della pianura alluvionale pleistocenica del Fiume Po	PLEISTOCENE	> 20 m circa	addensamento medio-alto (granulare)		Vs > 200 m/s

L'**unità A** 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. La sabbie di canale distributore, argine, tracimazione localmente raggiungono qualche metro di spessore.

Frequentemente si incontrano sottili livelli torbosi e di argilla organica che testimoniano periodi di ristagno delle acque più lunghi e condizioni di energia molto bassa. Allontanandosi progressivamente dall'asse del canale distributore la tessitura dei depositi diminuisce progressivamente. La base dell'unità A è rappresentata dalle sabbie pleistoceniche del Fiume Po, che ovunque nel territorio comunale, sono presenti a circa 20 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.

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICRORONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 142/16-ES-REV00 DEL 06/2017
--	--	-------------------------------------

Tutti i depositi sopradescritti (Unità A e Unità C) sono suscettibili di amplificazione locale per risonanza stratigrafica; si trascurano gli effetti topografici in quanto l'area è pianeggiante. I depositi appartenenti all'Unità A 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 evidenzia come, alla scala dell'intera Unione dei Comuni Terre e Fiumi, è stata riconosciuta la presenza di un'ulteriore unità, denominata **Unità B**. Questa è stata inserita al fine di distinguere le porzioni di sottosuolo caratterizzate da una forte e importante presenza di terreni fini organici e torbosi. Si tratta di aree in passato depresse e pressoché sempre invase dalle acque di tracimazione che ristagnavano per tempi molto lunghi, consentendo la deposizione di potenti spessori di argille miste ad abbondante frazione organica e a significativi spessori di torba (sempre > 1 m). Tale unità non è presente nel territorio comunale di Copparo.

## 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;
- Prove geognostiche eseguite ex-novo al fine di integrare i dati in possesso laddove carenti.

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 Copparo.

## 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nel presente studio i fattori di amplificazione del moto sismico F.A. sono stati stimati mediante le tabelle e le formule riportate nell'Allegato A2, DGR 2193/2015, per le analisi di II° livello di approfondimento e per la valutazione degli effetti topografici.

La scelta è motivata per le seguenti ragioni:

- non sono presenti forme acclivi di superficie (aree non suscettibili di amplificazioni topografiche in quanto pianeggianti);
- non sono note forme articolate del substrato geologico sepolto per l'identificazione di possibili effetti amplificativi 2D;
- non sono presenti successioni stratigrafiche che prevedano l'esistenza di terreni rigidi sovrapposti a terreni soffici (marcate inversioni di velocità; depositi con rapporto  $V_{srig}/V_{ssof} > 2$  e  $V_s$  del terreno soffice > 500 m/s;
- nonostante siano presenti aree di attenzione per depositi soffici coesivi (densificazione) e granulari sciolti in falda (liquefazione) si ritiene possibile l'utilizzo delle tabelle come da allegato A2.



## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Il presente studio, come prescritto dalla DGR 2193/2015, è corredato da una serie di elaborati cartografici distinti a seconda del livello di approfondimento a cui si riferiscono.

### Primo livello di approfondimento:

- Carta delle indagini in scala 1:20.000 (carta unica) e distinta per la frazione di Ambrogio, Cesta-Coccanile, per l'abitato di Copparo Est, Copparo Ovest, per le frazioni di Fossalta, Gradizza-Brazzolo, Sabbioncello San Pietro-Sabbioncello San Vittore, Tamara-Saletta, tutte in scala 1:5.000;
- Carta geologico-tecnica in scala 1:20.000 (carta unica) e distinta per la frazione di Ambrogio, Cesta-Coccanile, per l'abitato di Copparo Est, Copparo Ovest, per le frazioni di Fossalta, Gradizza-Brazzolo, Sabbioncello San Pietro-Sabbioncello San Vittore, Tamara-Saletta, tutte in scala 1:5.000;
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:20.000 (carta unica) e distinta per l'abitato di Copparo Est, Copparo Ovest, per le frazioni di Gradizza-Brazzolo, Sabbioncello San Pietro-Sabbioncello San Vittore, tutte in scala 1:5.000;
- Carta delle aree suscettibili di effetti locali in scala 1:20.000 (carta unica) e distinta per la frazione di Ambrogio, Cesta-Coccanile, per l'abitato di Copparo Est, Copparo Ovest, per le frazioni di Fossalta, Gradizza-Brazzolo, Sabbioncello San Pietro-Sabbioncello San Vittore, Tamara-Saletta, tutte in scala 1:5.000;

### Secondo livello di approfondimento:

- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) in scala 1:20.000 (carta unica) e distinta per l'abitato di Copparo Est, Copparo Ovest, per le frazioni di Fossalta, Gradizza-Brazzolo, Tamara-Saletta, tutte in scala 1:5.000;
- Carte dei fattori di amplificazione in scala 1:20.000 (carta unica) e distinta per la frazione di Ambrogio, Cesta-Coccanice, per l'abitato di Copparo Est, Copparo Ovest, per le frazioni di Fossalta, Gradizza-Brazzolo, Sabbioncello San Pietro-Sabbioncello San Vittore, Tamara-Saletta, tutte in scala 1:5.000 ed espresse in termini di Accelerazione massima orizzontale (F.A. PGA/PGA<sub>0</sub>), di Intensità di Housner SI/SI<sub>0</sub> (F.A. 0.1-0.5 s) e di Intensità di Housner SI/SI<sub>0</sub> (F.A. 0.5-1.0 s).

### 8.1 Carta delle Indagini

E' la carta in cui sono riportate tutte le indagini geognostiche, pregresse e attuali, che sono state prese in considerazione, esaminate e confrontate, al fine di modellare il sottosuolo dell'area di studio sia dal punto di vista geologico-tecnico (litostratigrafia, consistenza dei terreni, spessore strati etc...) sia dal punto di vista geofisico (velocità delle onde di taglio S, frequenze di risonanza dei terreni). Nel complesso le indagini forniscono una buona copertura territoriale.

Per il comune di Copparo, comprese le frazioni, sono state analizzate:

- **n. 336** prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT);
- **n. 11** prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- **n. 4** prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (SCPTU);
- **n. 39** pozzi per acqua;
- **n. 2** sondaggi a distruzione di nucleo;
- **n. 5** sondaggi con piezometro (Regione Emilia – Romagna);
- **n. 4** pozzi per la ricerca di idrocarburi;
- **n. 8** indagini tipo *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW);
- **n. 11** misurazioni dei microtremiti ambientali *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICRORONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 142/16-ES-REV00 DEL 06/2017
--	--	-------------------------------------

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 20-30 m da piano campagna. Per quanto riguarda i sondaggi e pozzi per acqua la profondità va da un minimo di circa 10 m a un massimo di 120-130 m da p.c., mentre i pozzi per idrocarburi hanno raggiunto profondità di circa 1500 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).

In merito alle indagini geofisiche, nella campagna 2017, le prove eseguite sono state così distribuite (si veda Carta delle Indagini in allegato):

- n. 1 prova penetrometrica con cono sismico (SCPTU) presso Copparo (capoluogo), nel cortile dell'ex Caserma dei Carabinieri;
- n. 1 prova penetrometrica con cono sismico (SCPTU) presso la frazione di Fossalta, lungo Via Argine Volano;
- n. 1 misura HVSr presso l'abitato di Sabbioncello San Pietro, lungo Via Marchesa;
- n. 1 misura HVSr l'abitato di Sabbioncello San Vittore, nelle vicinanze della chiesa.

## 8.2 Carta geologico-tecnica

Questo elaborato cartografico contiene informazioni relative alle litologie prevalenti in superficie (primi 5 m circa da p.c.) e ai principali elementi geomorfologici direttamente affioranti o prossimi al piano campagna. Questi elementi, che riguardano il volume di terreno generalmente interessato dalle strutture fondali di manufatti e strutture in genere, sono particolarmente significativi ai fini dell'analisi della pericolosità sismica locale.

Per l'intero territorio comunale di Copparo comprese le diverse frazioni, nei primi 5 m circa da piano campagna, si rilevano prevalentemente depositi olocenici di piana deltizia in ambiente di area interdistributrice costituiti prevalentemente da argille e limi argillosi di bassa plasticità (CL e ML), con locali e discontinue intercalazioni di limo sabbioso e/o sabbia limosa. Le argille e i limi argillosi presentano mediamente un grado di consistenza soffice e molto soffice (coesione non drenata  $C_u < 70$  KPa in media). Frequentemente si rinvengono sottili orizzonti di torba e argilla organica (in genere lo spessore è  $< 1$  m).

Localmente e subordinatamente, con particolare riferimento all'area delle frazioni di Tamara-Saletta, Fossalta, e qualche settore del capoluogo Copparo, sono state individuate aree con depositi superficiali prevalenti di natura sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa. Si tratta di depositi di canale, argine, barra e tracimazione, sempre in ambiente di piana deltizia ma di area distributrice. Le sabbie contengono percentuali variabili di limo; esse sono prevalentemente medio fini e finissime e presentano uno scarso grado di addensamento e valori di resistenza alla punta  $R_p < 50$  Kg/cm<sup>2</sup> o di poco superiori (in genere sempre  $< 100$  Kg/cm<sup>2</sup>). Le aree caratterizzate da questi depositi rappresentano antichi assi di drenaggio (canali distributori) e, sulla carta, sono riportate le direzioni presumibili degli assi di paleoalveo. Naturalmente i paleocanali in questione si estendono ben al di fuori dei confini comunali di Copparo, ciò che è riportato in carta è solo una porzione degli stessi, significativa per lo studio di microzonazione sismica in oggetto.

Si valuti che, sebbene il numero di prove analizzato ai fini del presente studio sia cospicuo, la copertura del territorio non è stata certamente totale. Inoltre, se si considera l'estrema variabilità e complessità di un ambiente deposizionale come quello di piana deltizia del fiume Po, si può facilmente intuire come sia possibile la presenza di altri assi di drenaggio (quindi di zone a prevalenza sabbiosa che

solcano e interrompono la continuità dei depositi fini argilloso limosi), magari di dimensioni contenute, alla scala dell'intero territorio comunale.

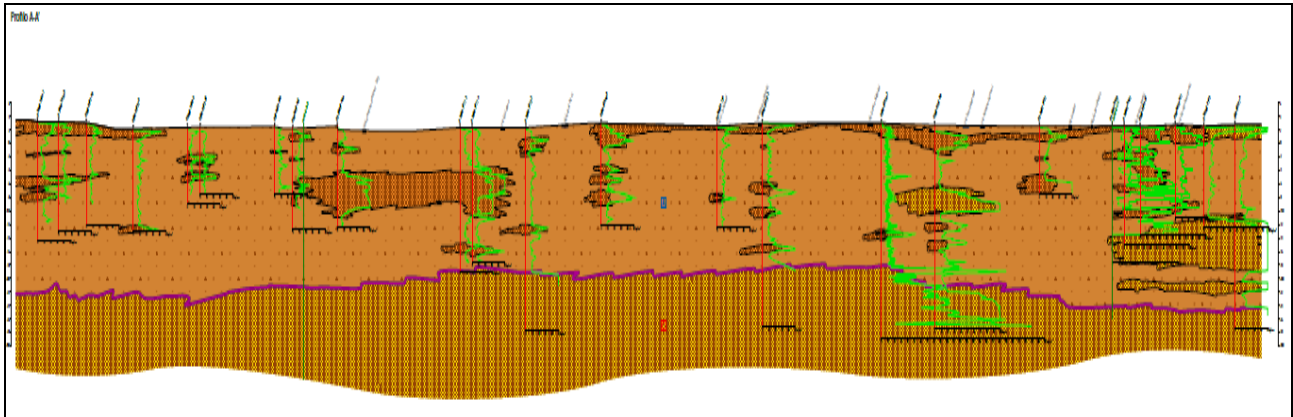
### 8.2.1 SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

Nella carta geologico-tecnica vi sono altri elementi di fondamentale importanza: **le tracce delle sezioni litostratigrafiche**. Sono profili, riportati anch'essi in allegato, mostrandone l'assetto litostratigrafico del sottosuolo fino alla massima profondità esplorata. Le sezioni sono state tracciate cercando di seguire direzioni particolarmente significative e rappresentative. Esse sono state ricostruite prevalentemente sulla base delle informazioni ottenute dalle numerosissime prove penetrometriche statiche e dei numerosi pozzi. Le prove penetrometriche in questione hanno raggiunto la profondità massima di circa 20-30 m e si sono arrestate in corrispondenza delle sabbie pleistoceniche del Po (Unità C, si veda capitolo 5). L'Unità C, dunque, rappresenta il limite basale delle sezioni senza alcuna eccezione. Le sabbie pleistoceniche del Po sono in genere medio-grossolane, si caratterizzano per valori medi di resistenza alla punta  $R_p \gg 50 \text{ Kg/cm}^2$  e normalmente  $> 100 \text{ Kg/cm}^2$ ; si identificano come depositi di riempimento canale in ambiente di piana alluvionale pleistocenica. I diversi corpi di alveo sono saldati lateralmente tra loro e per questo motivo possiedono una continuità areale di svariati chilometri.

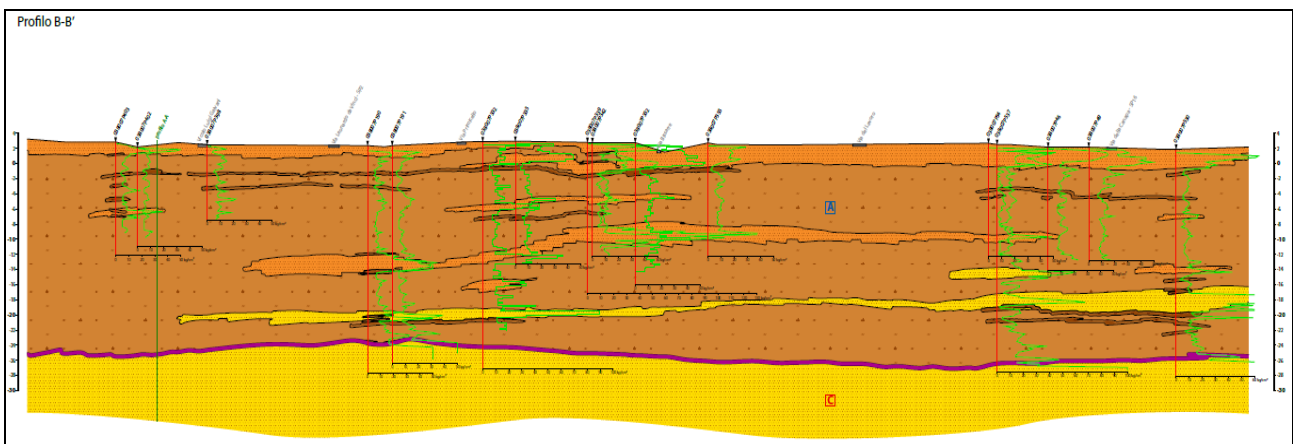
Rimandando agli elaborati cartografici in allegato per una consultazione di dettaglio delle sezioni litostratigrafiche, di seguito si riportano le immagini delle sezioni di Copparo, Ambrogio, Sabbioncello San Pietro – Sabbioncello San Vittore, Tamara-Saletta, Coccanile-Cesta.



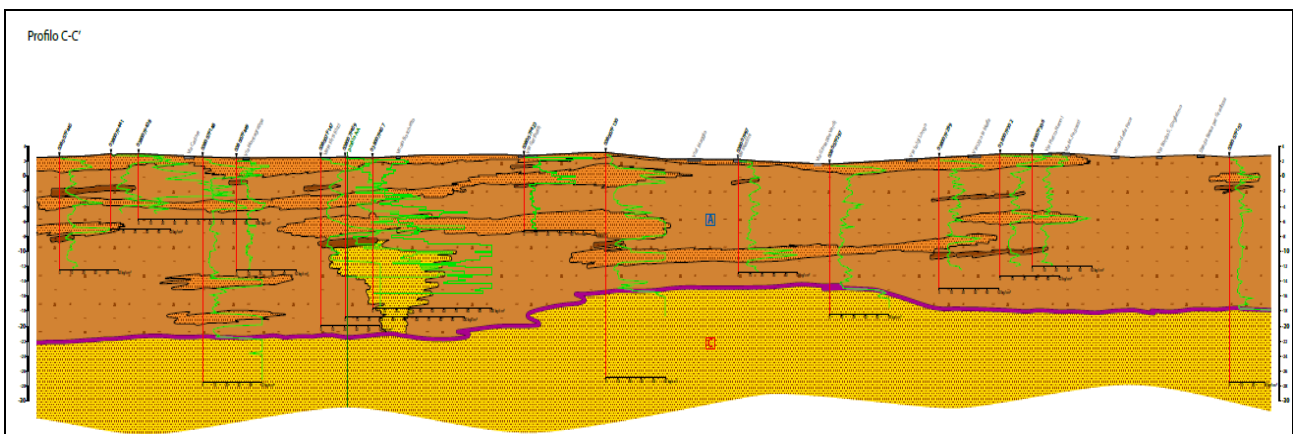
**Figura 8.2.1-1: Immagine aerea da Google Earth – ubicazione delle linee di profilo a Copparo**



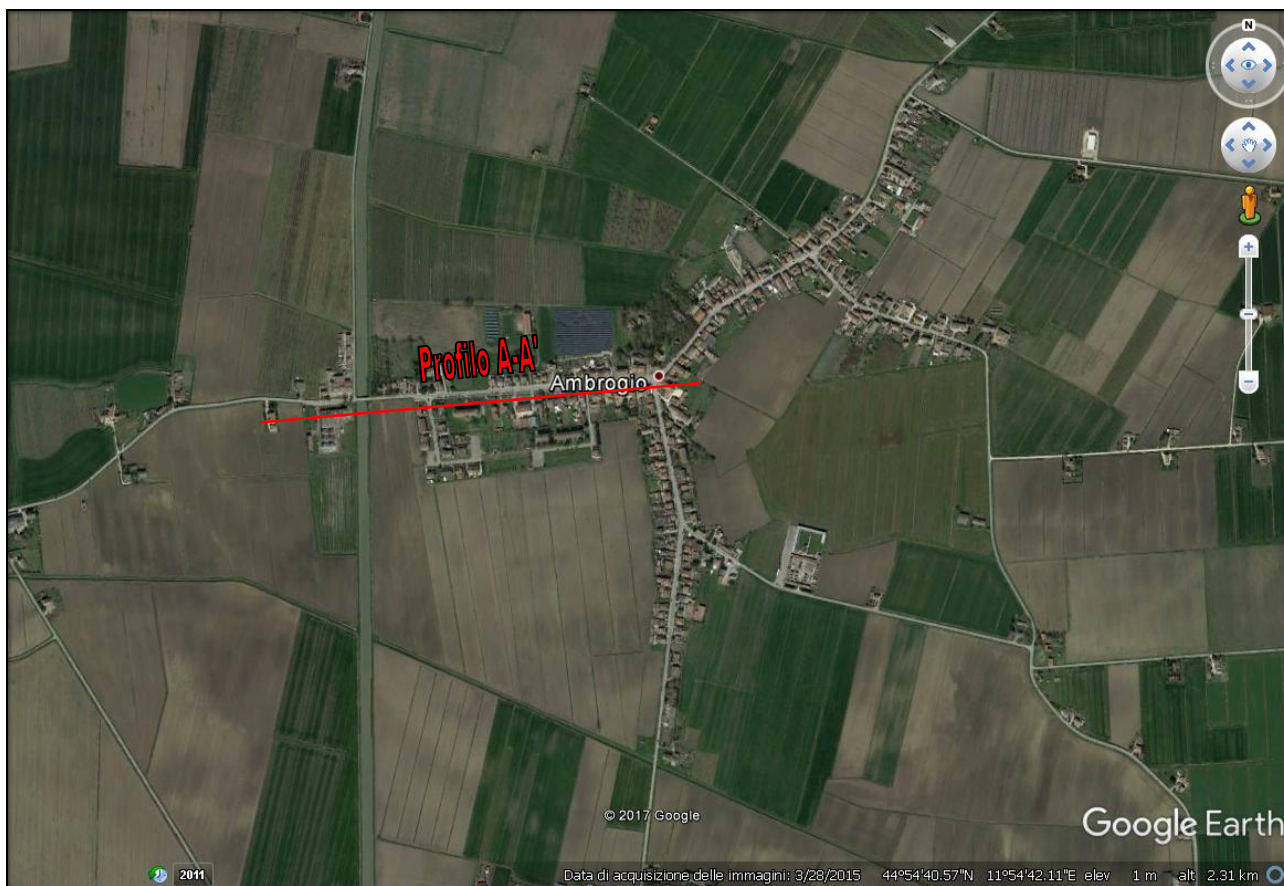
**Figura 8.2.1-2: Sezione litostратigrafica AA' - Copparo**



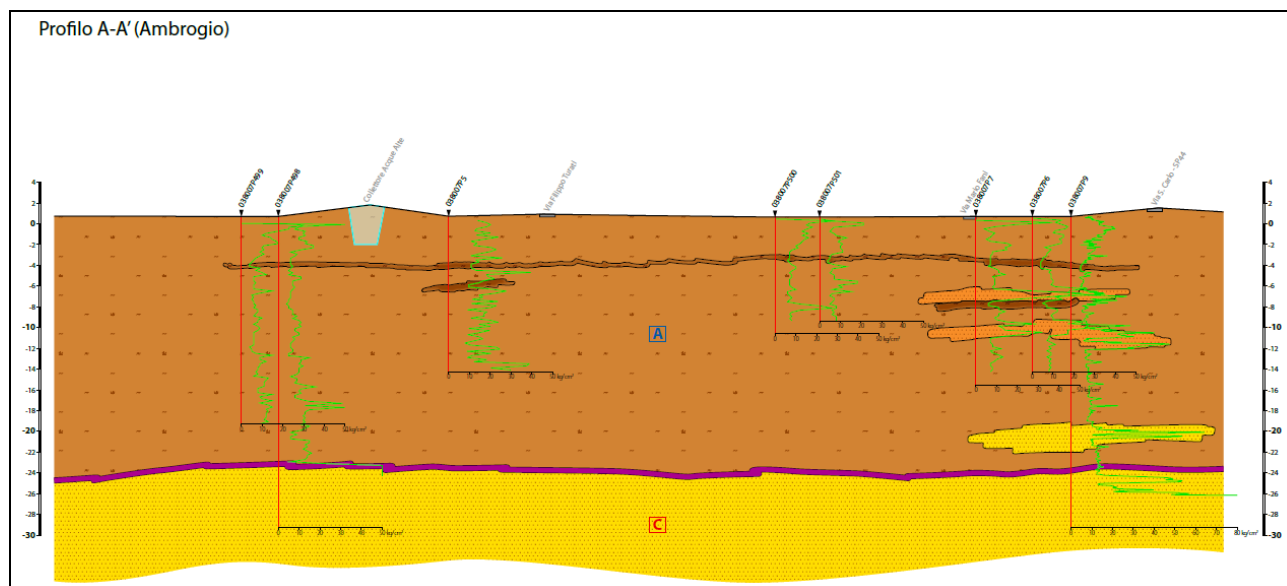
**Figura 8.2.1-3: Sezione litostратigrafica BB' – Copparo**



**Figura 8.2.1-4: Sezione litostратigrafica CC' – Copparo**



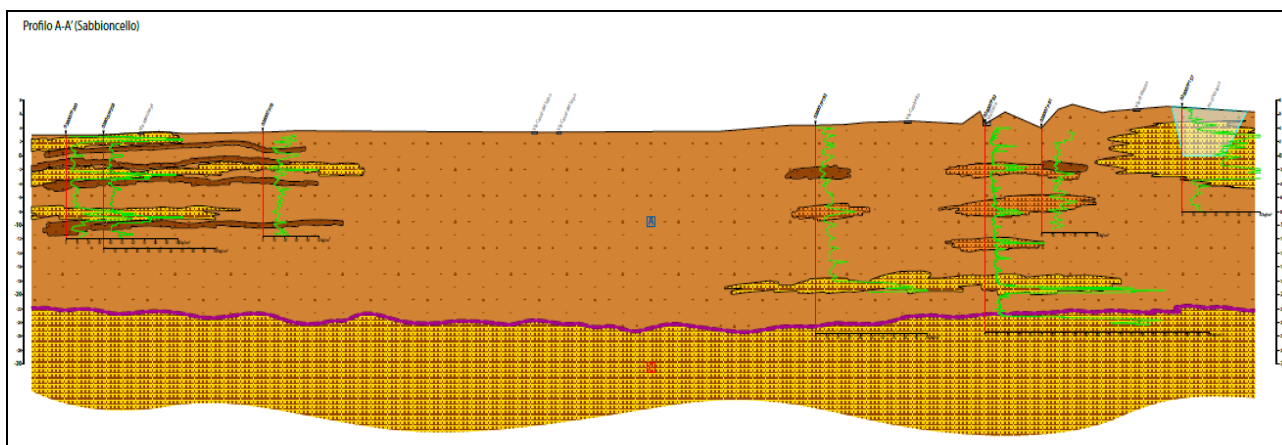
**Figura 8.2.1-5: Immagine aerea da Google Earth – ubicazione delle linee di profilo presso Ambrogio**



**Figura 8.2.1-6: Sezione litostратigrafica AA' – Ambrogio**

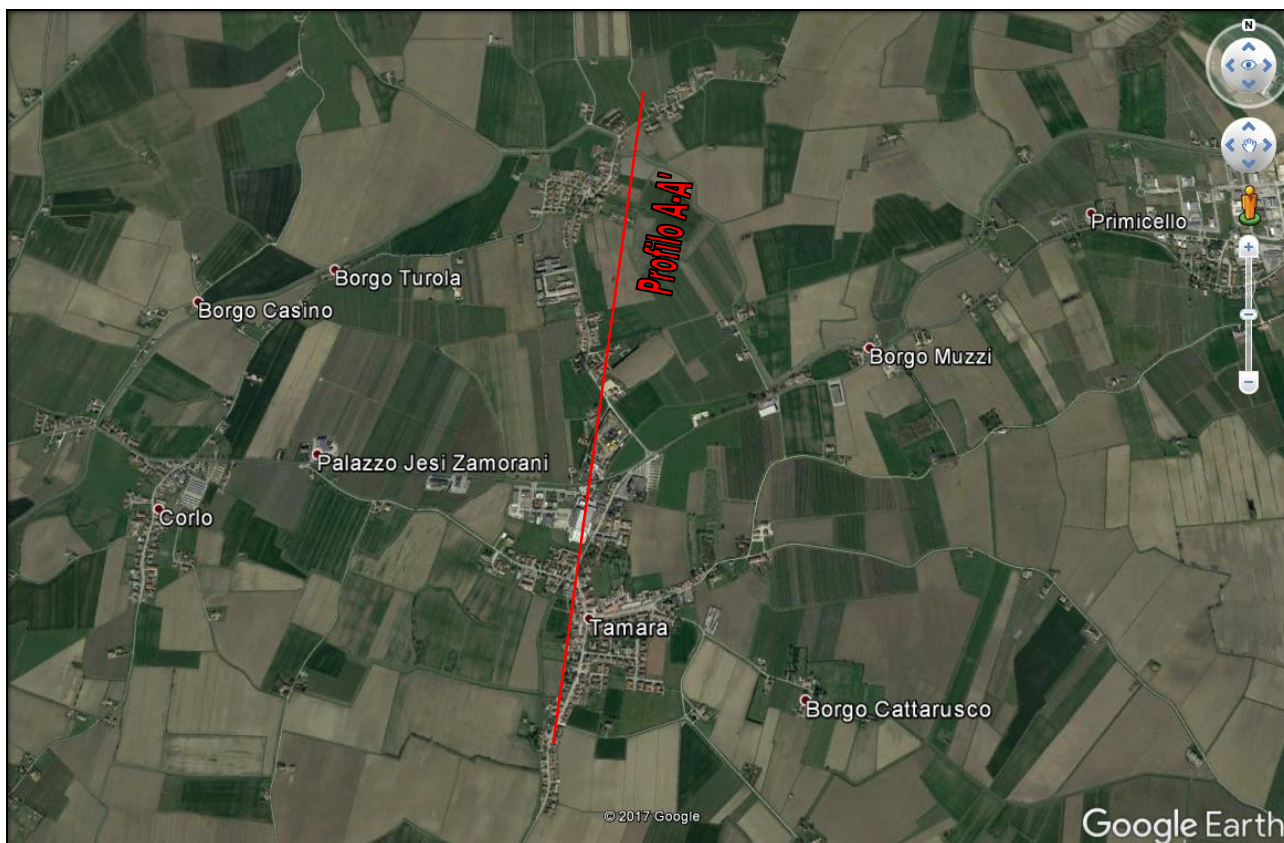


**Figura 8.2.1-7: Immagine aerea da Google Earth – ubicazione delle linee di profilo a Sabbioncello San Pietro – Sabbioncello San Vittore**

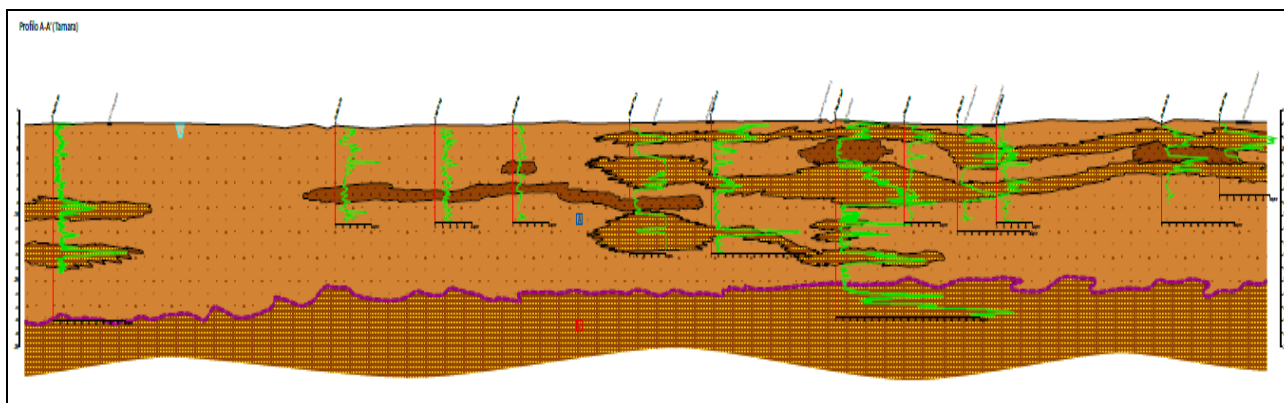


**Figura 8.2.1-8: Sezione litostratigrafica AA' – Sabbioncello**

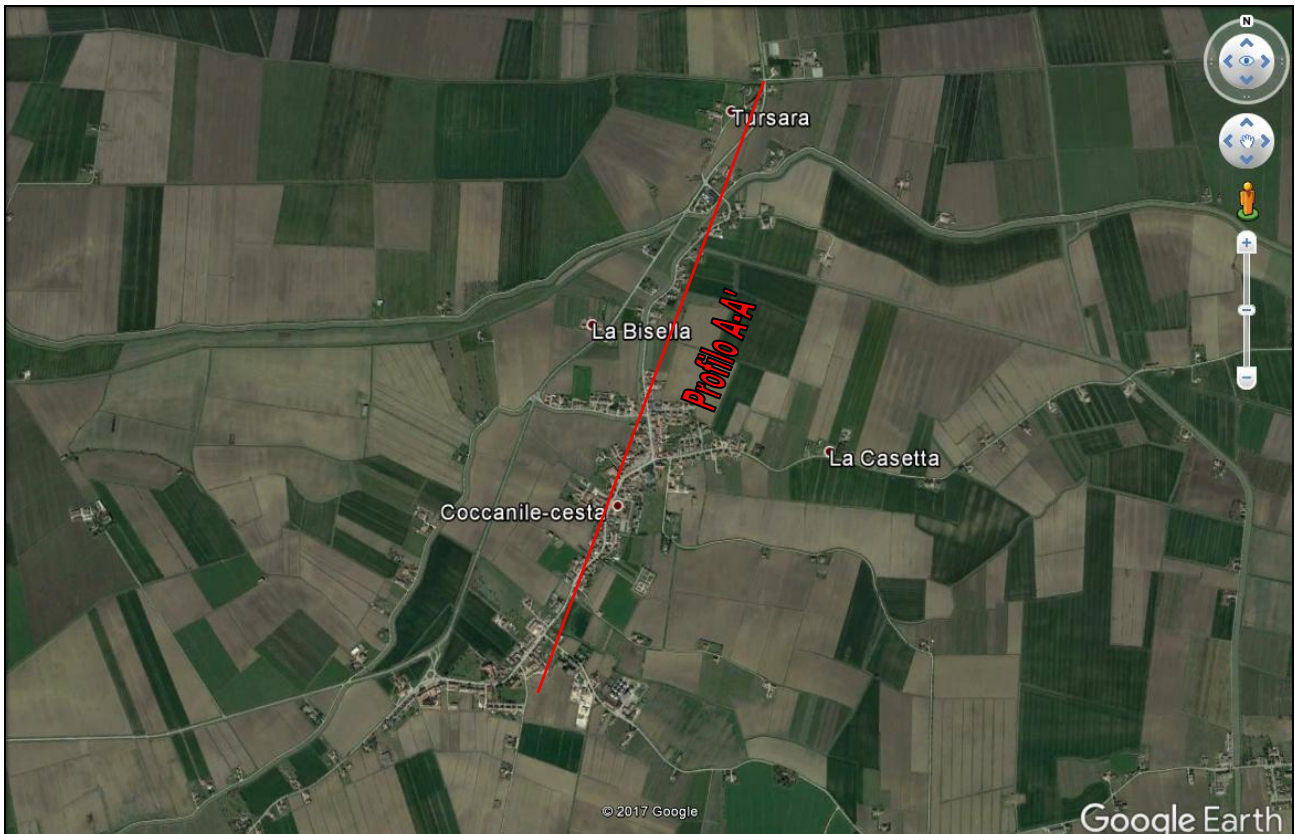




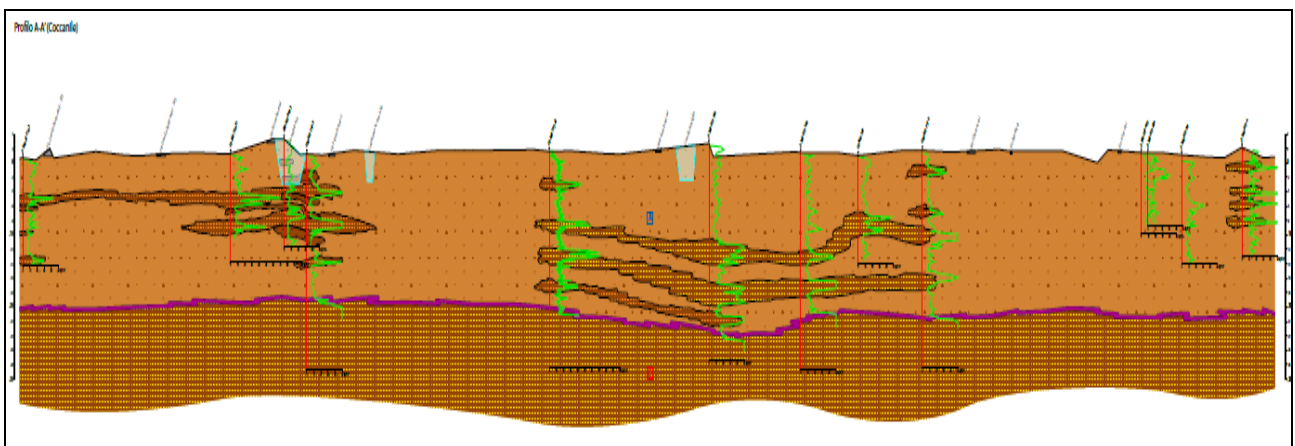
**Figura 8.2.1-9: Immagine aerea da Google Earth – ubicazione delle linee di profilo a Tamara - Saletta**



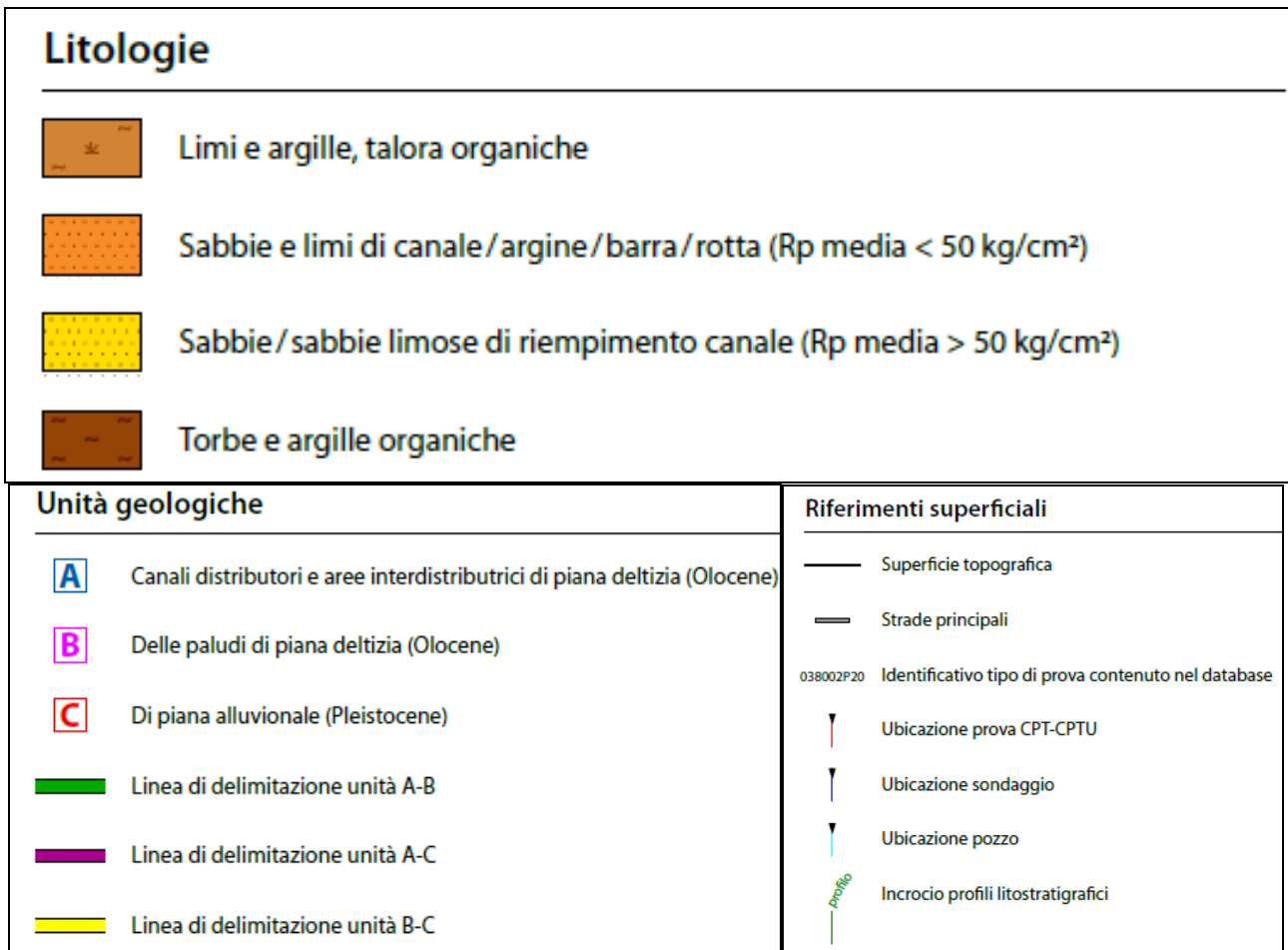
**Figura 8.2.1-10: Sezione litostatigrafica AA' – Tamara - Saletta**



**Figura 8.2.1-11: Immagine aerea da Google Earth – ubicazione delle linee di profilo a Coccanile**



**Figura 8.2.1-12: Sezione litostratigrafica AA' - Coccanile**



**Figura 8.2.1-13: Legenda di riferimento per le sezioni litostratigrafiche**

Dalle sezioni sopra riportate si evince che i depositi soprastanti le sabbie pleistoceniche (quest'ultime sono il limite basale del modello geologico locale) sono in prevalenza costituiti da argille e limi di bassa plasticità, soffici e molto soffici (coesione non drenata  $C_u < 70$  KPa in media), con locali intercalazioni di sottili livelli limoso-sabbiosi (aree interdistributrici di piana deltizia). I corpi sabbiosi che si intercalano all'interno delle argille hanno spessore in genere non superiore a 2-3 metri, rappresentano antichi assi di drenaggio, canali distributori minori in ambiente di piana deltizia; sono stati distinti sulla base del valore medio di resistenza alla punta (in arancione  $R_p < 50$  Kg/cm<sup>2</sup>; in giallo  $R_p > 50$  Kg/cm<sup>2</sup>). Si tenga presente che, anche laddove le resistenze medie di questi depositi siano risultate  $> 50$  Kg/cm<sup>2</sup>, si tratta comunque di sabbie più fini, meno addensate, più sporche e meno competenti rispetto alle sabbie "profonde", pleistoceniche del Po (i valori sono sempre da considerarsi indicativi). **(UNITA' A - Olocene)**

All'interno dell'Unità A sono localmente presenti livelli torbosi ed argillosi ad elevato contenuto organico che rappresentano livelli a minor grado di consistenza/rigidezza. Il loro spessore non supera in genere il metro. I depositi torbosi più potenti sono stati rilevati in corrispondenza della frazione di Tamara-Saletta. Testimoniano periodi più lunghi di ristagno delle acque all'interno di conche morfologiche. Durante questi intervalli di tempo, l'ambiente a bassissima energia ha favorito la sedimentazione e l'accumulo di particelle fini argillose frammiste ad abbondante sostanza organica vegetale. Questi depositi sono subordinati in termini di spessori e persistenza laterale.



Al disotto dell'Unità A, si individuano le sabbie pleistoceniche, ovunque presenti alla scala dell'intero territorio comunale, che rappresentano il limite inferiore del modello geologico di sottosuolo. Questo è un dato di importanza significativa dal punto di vista della risposta sismica locale sito-specifica. La profondità del tetto delle sabbie pleistoceniche è variabile tra circa -20 m s.l.m e circa -30 m s.l.m. Le sabbie pleistoceniche hanno medio-alto grado di addensamento, valori di resistenza alla punta in genere sopra i 50-100 Kg/cm<sup>2</sup> e grande continuità laterale (diversi chilometri).

L'interfaccia di contrasto tra i depositi soprastanti, relativamente più soffici e le sabbie pleistoceniche, è responsabile dell'amplificazione stratigrafica registrata ovunque a circa 2 Hz. Questo dato è confermato in tutte le misure e le prove geofisiche effettuate. **(UNITA' C – Pleistocene)**

### 8.3 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.

Come già ampiamente descritto nel capitolo 4, paragrafo 4.2, le frequenze a cui il moto sismico viene amplificato sono comprese tra circa 1-2 Hz in tutta l'area comunale. Localmente si rilevano frequenze inferiori a 1 Hz pari a circa 0.8 Hz. La risonanza a circa 2 Hz è associata all'interfaccia di contrasto posta in genere intorno ai 15-20 m da p.c. che segna il contatto tra i depositi soffici/molto soffici dell'Unità A con i depositi decisamente più rigidi appartenenti all'unità C.

Spostandosi verso frequenze più basse, intorno a 0.8-1 Hz, si passa ad analizzare superfici di contrasto molto più profonde, la cui quota è stimabile intorno ad almeno 100-120 m da p.c.

In generale, se si vuole attribuire un valore medio rappresentativo dell'area, il picco del rapporto H/V si attesta tra  $2 < HVSR < 3$  (MODERATO), localmente  $1.5 < HVSR < 2$  (BASSO) e solo in una misura  $HVSR > 3$  (038007P519HVSR523).

I risultati ottenuti e descritti saranno 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*.

### 8.4 Carta delle aree suscettibili di effetti locali (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - MOPS)

Si tratta del documento cartografico fondamentale per il lavoro di microzonazione sismica in oggetto. Sulla base delle sezioni litostratigrafiche precedentemente illustrate, e più in generale grazie alle informazioni estrapolate dalle numerose indagini, è stato possibile suddividere il sottosuolo in alcune *Zone*, al loro interno sostanzialmente omogenee in termini di spessore e tipologia dei depositi. Questo lavoro, svolto alla scala dell'intero territorio comunale di Copparo e fino alla massima profondità investigata pari a circa 30 m (limite inferiore del modello geologico proposto rappresentato dalle sabbie pleistoceniche dell'Unità C), ha permesso di distinguere tra loro diversi settori in grado di influenzare in modo differente il moto sismico in superficie.



Per il comune di Copparo e sue frazioni, si distinguono:

- **ZONA 1:** caratterizzata dalla presenza di argilla/limo argilloso (terreni instabili per densificazione) e sabbia (terreni instabili per liquefazione);
- **ZONA 3:** caratterizzata dalla presenza di argilla/limo argilloso (terreni instabili per potenziale densificazione), torba (terreni instabili per potenziale densificazione) e sabbia (terreni instabili per liquefazione);
- **ZONA 4:** caratterizzata dalla presenza 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).

Nel complesso le ZONE più rappresentate sono la ZONA 1 e ZONA 3; limitatamente a Tamara-Saletta e Ambrogio si riscontra la presenza significativa anche dei terreni appartenenti alla ZONA 5. La ZONA 4 è presente solo a livello locale presso il capoluogo Copparo.

Tutte le zone individuate e distinte sono da considerarsi suscettibili di amplificazione stratigrafica del moto sismico. Trascurando gli effetti topografici, trattandosi di aree pianeggianti, i terreni presenti nei primi 20-30 m, per le loro stesse caratteristiche di rigidità, natura litologica e assetto stratigrafico, sono in grado di modificare il moto sismico proveniente dal bedrock, in termini di frequenza, durata e ampiezza, amplificandone gli effetti di scuotimento in superficie. I fattori di amplificazione specifici per il comune di Copparo saranno illustrati nei paragrafi successivi.

Più in dettaglio, tutte le zone riconosciute e distinte (**ZONA 1-3-4-5**) 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.

Le zone indicate come *instabili per cedimenti differenziali (densificazione)*, dovranno essere 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 talora con orizzonti torbosi dell'unità A).

In particolare si raccomanda l'esecuzione di:

- prelievo di un numero adeguato e rappresentativo di campioni di terreno indisturbati, specie nei primi 5-10 m da p.c., con particolare riguardo alle zone caratterizzate dai sedimenti più fini, a maggiore contenuto argilloso e/o torboso e a minore consistenza;
- prove di laboratorio geotecnico da eseguire sui campioni prelevati, per determinare in via preliminare il grado di plasticità dei terreni e successivamente, qualora sia necessario (IP > 30%), per eseguire prove di compressibilità degli stessi al fine di ricavare i parametri necessari ad una stima plausibile del cedimento atteso; ai fini dell'analisi si sconsiglia l'utilizzo dei parametri di compressibilità derivati da prove penetrometriche.

Limitatamente alla **ZONA 1** 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. Sono zone soggette a instabilità per potenziale occorrenza della liquefazione. L'intero territorio comunale di Copparo, come già spiegato in dettaglio nel capitolo 2, paragrafo 2.3, presenta valori di accelerazione orizzontale di base  $a_{refg}$  che si attestano su valori compresi

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORZONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 142/16-ES-REV00 DEL 06/2017
--	--	-------------------------------------

tra 0.0751 g (a nord-est di Ambrogio) e 0.1007 g (Tamara). Questi valori di base, se moltiplicati per il fattore di amplificazione stratigrafica F.A. caratteristico del settore in esame (F.A. = 1.3 – ALLEGATO A2 – TABELLE A2.1.2 – AMBIENTE DI PIANURA 3 – DGR 2193/2015; si veda paragrafi successivi), superano, seppure di poco, il valore limite fissato a 0.1 g come indicato nella DGR2193/2015 al punto 2 del paragrafo 1 – Allegato A3.

Per tali depositi sabbiosi sono necessari studi con approfondimento di III° livello al fine di stimare a scala dell'intero territorio comunale, l'Indice del Potenziale Liquefazione  $I_L$  come prescritto dalla normativa di riferimento. Sempre in riferimento ai depositi sabbiosi saturi dei primi 20 m da p.c. sarà opportuno fornire anche una stima indicativa del cedimento indotto dall'azione sismica sui depositi granulari-incoerenti.

Per un'analisi ottimale mediante III° livello di approfondimento si raccomanda quanto segue:

- fornire stime dell'Indice del Potenziale Liquefazione sulla base esclusivamente di prove penetrometriche statiche a punta elettrica con piezocono (CPTU), spinte fino a 20 m da p.c.; laddove vi sia carenza di dati (poche indagini pregresse) sarà opportuno realizzare nuove verticali di esplorazione (in via preliminare, laddove possibile, si possono prelevare un numero significativo di campioni lungo ciascuna verticale d'indagine, all'interno degli orizzonti sabbiosi, al fine di eseguire analisi granulometriche per eventuale omissione della verifica a liquefazione come previsto nel paragrafo A1 – Allegato A3);
- lungo ciascuna verticale esplorata, fornire una stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica a carico della frazione sabbiosa, sulla base dei dati ottenuti da prove CPTU;
- valori di accelerazione massima orizzontale  $a_{max}$  dovranno essere stimati mediante analisi di risposta sismica locale con approccio non semplificato; il valore di  $a_{max}$  rappresentativo per l'area dovrà essere utilizzato per le verifiche a liquefazione e del cedimento indotto di cui ai punti precedenti; per una più accurata modellazione del sottosuolo in termini di  $V_s$  e spessore sismostrati, è consigliabile realizzare altri profili sismici in onde di superficie e/o prove sismiche in foro (es: SCPTU) e misure del microtremore ambientale (HVSR);
- al fine di condurre un'analisi di risposta sismica locale il più accurata possibile, si raccomanda l'esecuzione di prove di taglio ciclico per la determinazione delle curve degrado/smorzamento specifiche dei litotipi presenti nell'area; in particolare occorrerà almeno una prova ciclica sul litotipo argilloso/limoso-argilloso, una sul litotipo sabbioso e una sul litotipo francamente torboso (argilla organica).

Tutte le eventuali indagini di nuova realizzazione dovranno essere realizzate preferibilmente laddove sono presenti edifici sensibili (es: scuole, edifici pubblici e/o strategici ai fini della protezione civile) o dove sono previste nuove espansioni urbanistiche.

Infine, per quanto riguarda il substrato rigido di riferimento (bedrock sismico caratterizzato da  $V_s = 800$  m/s), è da considerarsi sicuramente molto profondo con quote ipotizzabili di almeno -200 m, -300 m riferite al livello del mare (si veda per maggiori dettagli il paragrafo 8.6).



## 8.5 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:

- n. 4 prove penetrometriche con cono sismico (SCPTU);
- n. 8 indagini tipo *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW).

La tabella sottostante riepiloga i risultati ottenuti.

TABELLA 8.5-1: VALORI DI VS30 STIMATI PER L'AREA COMUNALE DI COPPARO MEDIANTE PROFILI SISMICI IN ONDE DI SUPERFICIE

SITO	TIPOLOGIA DI INDAGINE	VS30 M/S	COMMENTI
Copparo	SCPTU	183	Vs caratteristiche di terreni da soffici a moderatamente consistenti
Fossalta	SCPTU	200	
Tamara	SCPTU	170	
Copparo	SCPTU	174	
Copparo	MASW	167	
Copparo	MASW	171	
Copparo	MASW	174	
Copparo	MASW	163	
Tamara	MASW	180	
Copparo	MASW	172	

Brazzolo	MASW	198	
Copparo	MASW	170	

Come già più volte descritto, anche i valori di velocità delle onde S delle prove analizzate testimoniano e confermano la presenza di terreni a rigidezza da soffici a moderatamente consistenti, caratterizzati da valori medi Vs di prossimi a 180 m/s in particolare nei primi 20 m di profondità da p.c. (UNITA' A). Al di sotto di tale quota, le sabbie pleistoceniche mostrano decisi innalzamenti dei valori di velocità Vs (UNITA' C).

### 8.6 Carta dei fattori di amplificazione

In questo elaborato cartografico si riportano i valori dei fattori di amplificazione F.A. del moto sismico espressi sia in termini di rapporto  $PGA/PGA_0$  (rapporto tra l'accelerazione massima orizzontale in superficie e al bedrock) sia in termini di rapporto di Intensità di Housner  $SI/SI_0$  per diversi periodi spettrali ( $SI1= 0.1-0.5$  s;  $SI2 = 0.5-1.0$  s). Si ricorda che l'accelerazione massima orizzontale (PGA) corrisponde all'ordinata spettrale a  $t=0$  dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali, mentre l'Intensità di Housner è misurata sullo spettro di risposta in pseudo velocità (integrale nel periodo di riferimento).

La scelta dei fattori di amplificazione si è basata sull'analisi del contesto geologico di grande scala e sulla base dei dati provenienti dalle indagini geotecniche e geofisiche nel loro complesso. Da un lato, il settore di pianura padana fluvio-deltizia in esame è caratterizzato da coperture sedimentarie molto potenti, con spessori dell'ordine di alcune centinaia di metri (non meno di 200-300 m) che ricoprono il substrato marino plio-pleistocenico. Ipotizzando che valori di  $Vs = 800$  m/s, indicativi di un substrato rigido orizzontale di base (suolo di tipo A come da NTC 2008) si rilevino a profondità non inferiori a 300 m, ne consegue che la tabella di riferimento per la stima dei fattori di amplificazione dell'area in esame sia quella relativa all'ambiente di **PIANURA 3** (ALLEGATO A2 – TABELLE A.2.1.2).

Di seguito si riporta la descrizione dell'ambiente in questione e i relativi fattori amplificativi.


**PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiori a 300 m da p.c.;**

$Vs_{30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.3	1.3	1.3			
F.A. SI1	1.5	1.5	1.5			
F.A. SI2	2.3	2.3	2.2			
F.A. SI3	2.6	2.6	2.4			

**Pianura 3. Tabella dei Fattori di Amplificazione PGA, SI1, SI2 e SI3.**

**Figura 8.6-1: fattori di amplificazione caratteristici del territorio comunale di Copparo**



 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICORZONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 142/16-ES-REV00 DEL 06/2017
--	--	-------------------------------------

Per il comune di Copparo, sulla base delle stime delle Vs30 (m/s) riportate e descritte nel paragrafo precedente, si deve considerare come rappresentativa la prima colonna di valori associati a  $150 < Vs30 < 200$  m/s.

Come si può vedere, il valore di F.A. PGA, che esprime l'amplificazione stratigrafica a partire dalla pericolosità sismica di base espressa in termini di  $A_{refg}$  (che si ricorda essere compresa tra 0.0708 g e 0.0626 g), presenta valori piuttosto contenuti (1.3) a testimonianza di una pericolosità sismica locale nel complesso modesta.

## 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

## 11. ALLEGATI

Carta delle indagini in scala 1:20.000 (intero territorio comunale)

- *Carta delle indagini dell'abitato di Ambrogio in scala 1:5.000*
- *Carta delle indagini dell'abitato di Cesta-Coccanile in scala 1:5.000*
- *Carta delle indagini dell'abitato di Copparo Est in scala 1:5.000*
- *Carta delle indagini dell'abitato di Copparo Ovest in scala 1:5.000*
- *Carta delle indagini dell'abitato di Fossalta in scala 1:5.000*
- *Carta delle indagini degli abitati di Gradizza e Brazzolo in scala 1:5.000*
- *Carta delle indagini degli abitati di Sabbioncello San Pietro e Sabbioncello San Vittore in scala 1:5.000*
- *Carta delle indagini degli abitati di Tamara-Saletta in scala 1:5.000*

Carta geologico-tecnica in scala 1:20.000 (intero territorio comunale)

- *Carta geologico-tecnica dell'abitato di Ambrogio in scala 1:5.000*
- *Carta geologico-tecnica dell'abitato di Cesta-Coccanile in scala 1:5.000*
- *Carta geologico-tecnica dell'abitato di Copparo Est in scala 1:5.000*
- *Carta geologico-tecnica dell'abitato di Copparo Ovest in scala 1:5.000*
- *Carta geologico-tecnica dell'abitato di Fossalta in scala 1:5.000*
- *Carta geologico-tecnica degli abitati di Gradizza e Brazzolo in scala 1:5.000*
- *Carta geologico-tecnica degli abitati di Sabbioncello San Pietro e Sabbioncello San Vittore in scala 1:5.000*
- *Carta geologico-tecnica degli abitati di Tamara e Saletta in scala 1:5.000*

Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:20.000 (intero territorio comunale)

- *Carta delle frequenze naturali dei terreni dell'abitato di Copparo Est in scala 1:5.000*
- *Carta delle frequenze naturali dei terreni dell'abitato di Copparo Ovest in scala 1:5.000*
- *Carta delle frequenze naturali dei terreni degli abitati di Gradizza e Brazzolo in scala 1:5.000*



- *Carta delle frequenze naturali dei terreni degli abitati di Sabbioncello San Pietro e Sabbioncello San Vittore in scala 1:5.000*

Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS) in scala 1:20.000 (intero territorio comunale)

- *Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS) dell'abitato di Ambrogio in scala 1:5000*
- *Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS) dell'abitato di Cesta-Coccanile in scala 1:5.000*
- *Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS) dell'abitato di Copparo Est in scala 1:5.000*
- *Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS) dell'abitato di Copparo Ovest in scala 1:5.000*
- *Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS) dell'abitato di Fossalta in scala 1:5.000*
- *Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS) degli abitati di Gradizza e Brazzolo in scala 1:5.000*
- *Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS) degli abitati di Sabbioncello San Pietro e Sabbioncello San Vittore in scala 1:5.000*
- *Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS) degli abitati di Tamara e Saletta in scala 1:5.000*

Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) in scala 1:20.000 (intero territorio comunale)

- *Carta delle frequenze naturali dei terreni dell'abitato di Copparo Est in scala 1:5000*
- *Carta delle frequenze naturali dei terreni dell'abitato di Copparo Ovest in scala 1:5000*
- *Carta delle frequenze naturali dei terreni degli abitati di Gradizza e Brazzolo in scala 1:5.000*
- *Carta delle frequenze naturali dei terreni degli abitati di Sabbioncello San Pietro e Sabbioncello San Vittore in scala 1:5.000*

Carta dei fattori di amplificazione "Accelerazione massima orizzontale PGA/PGA<sub>0</sub>" in scala 1:20.000 (intero territorio comunale)

- *Carta dei fattori di amplificazione "Accelerazione massima orizzontale PGA/PGA<sub>0</sub>" dell'abitato di Ambrogio in scala 1:5.000*
- *Carta dei fattori di amplificazione "Accelerazione massima orizzontale PGA/PGA<sub>0</sub>" dell'abitato di Cesta-Coccanile in scala 1:5.000*
- *Carta dei fattori di amplificazione "Accelerazione massima orizzontale PGA/PGA<sub>0</sub>" dell'abitato di Copparo Est in scala 1:5.000*
- *Carta dei fattori di amplificazione "Accelerazione massima orizzontale PGA/PGA<sub>0</sub>" dell'abitato di Copparo Ovest in scala 1:5.000*
- *Carta dei fattori di amplificazione "Accelerazione massima orizzontale PGA/PGA<sub>0</sub>" dell'abitato di Fossalta in scala 1:5.000*
- *Carta dei fattori di amplificazione "Accelerazione massima orizzontale PGA/PGA<sub>0</sub>" degli abitati di Gradizza e Brazzolo in scala 1:5.000*
- *Carta dei fattori di amplificazione "Accelerazione massima orizzontale PGA/PGA<sub>0</sub>" degli abitati di Sabbioncello San Pietro e Sabbioncello San Vittore in scala 1:5.000*
- *Carta dei fattori di amplificazione "Accelerazione massima orizzontale PGA/PGA<sub>0</sub>" degli abitati di Tamara e Saletta in scala 1:5.000*

- *Carta dei fattori di amplificazione "Intensità di Housner SI/SI<sub>0</sub> F.A. 0.1-0.5 s" in scala 1:20.000 (carta unica)*

- *Carta dei fattori di amplificazione "Intensità di Housner SI/SI<sub>0</sub> F.A. 0.1-0.5 s" dell'abitato di Ambrogio in scala 1:5.000*
- *Carta dei fattori di amplificazione "Intensità di Housner SI/SI<sub>0</sub> F.A. 0.1-0.5 s" dell'abitato di Cesta-Coccanile in scala 1:5000*

 <b>Synthesis s.r.l.</b> Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 www.synthesisr.com – info@synthesisr.com	STUDIO DI MICRORIZAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO <b>Relazione Illustrativa</b>	RIF. 142/16-ES-REV00 DEL 06/2017
--	--	-------------------------------------

- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.1-0.5 s” dell’abitato di Copparo Est in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.1-0.5 s” dell’abitato di Copparo Ovest in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.1-0.5 s” dell’abitato di Fossalta in scala 1:5000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.1-0.5 s” degli abitati di Gradizza e Brazzolo in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.1-0.5 s” degli abitati di Sabbioncello San Pietro e Sabbioncello San Vittore in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.1-0.5 s” degli abitati di Tamara e Saletta in scala 1:5.000
  
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.5-1.0 s” in scala 1:20.000 (carta unica)
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.5-1.0 s” dell’abitato di Ambrogio in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.5-1.0 s” dell’abitato di Cesta-Coccanile in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.5-1.0 s” dell’abitato di Copparo Est in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.5-1.0 s” dell’abitato di Copparo Ovest in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.5-1.0 s” dell’abitato di Fossalta in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.5-1.0 s” degli abitati di Gradizza e Brazzolo in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.5-1.0 s” degli abitati di Sabbioncello San Pietro e Sabbioncello San Vittore in scala 1:5.000
- Carta dei fattori di amplificazione “Intensità di Housner  $SI/SI_0$  F.A. 0.5-1.0 s” degli abitati di Tamara e Saletta in scala 1:5.000