



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



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
 DELLE PROVINCE AUTONOME

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Regione Emilia – Romagna  
 Comune di Castelfranco Emilia

PIANO STRUTTURALE COMUNALE

AGGIORNAMENTO DEL  
 QUADRO CONOSCITIVO

Settembre 2016

**Elaborato 1.7**

<p>Regione</p> <p>Emilia Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore</p> <p><small>RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI:</small></p> <p><b>Mandataria:</b></p>  <p><b>Direttori tecnici:</b>          Dr. Geol. Carlo Caleffi          Dr. Geol. Francesco Cerutti</p> <p><b>Mandanti:</b>          Dr. Geol. Marco Baldi          Dr. Geol. Domenico Bianco          Dr. Geol. Stefano Castagnetti          Dr. Geol. Alessandro Ferrari          Dr. Geol. Massimiliano Trauzzi</p>	<p>Data</p> <p>Marzo 2015</p>
--------------------------------------	---	-------------------------------

## INDICE

1.	Introduzione .....	2
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento .....	5
2.1	Inquadramento tettonico .....	5
2.2	Caratteristiche sismotettoniche.....	6
2.3	Storia sismica .....	8
2.4	Classificazione sismica comunale .....	14
2.5	Studio sismico contenuto nel PSC Vigente .....	17
2.5.1	Indagine geognostica.....	17
2.5.2	Carta delle aree suscettibili di effetti locali .....	17
2.5.3	Carta dei fattori di amplificazione.....	18
2.5.4	Carta degli effetti attesi / zonazione sismica.....	20
2.5.5	Prime valutazioni sull'occorrenza del fenomeno della liquefazione.....	21
3.	Assetto geologico e geomorfologico dell'area .....	23
3.1	Geologia .....	23
3.1.1	Inquadramento geologico .....	23
3.1.2	Quadro stratigrafico dei depositi quaternari .....	24
3.2	Geomorfologia.....	26
4.	Dati geotecnici e geofisici .....	29
5.	Modello del sottosuolo .....	30
6.	Interpretazioni e incertezze .....	32
7.	Metodologie di elaborazione e risultati.....	35
8.	Elaborati cartografici.....	37
8.1	Carte delle indagini .....	37
8.2	Carte geologico-tecniche per la microzonazione sismica.....	39
8.3	Carte delle frequenze naturali dei terreni .....	47
8.4	Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	52
8.5	Carte delle velocità delle onde di taglio S .....	54
8.6	Carte di microzonazione sismica .....	58
8.7	Commenti finali e criticità .....	62
9.	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati.....	64
10.	Bibliografia .....	66
11.	Allegati .....	68

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

## 1. INTRODUZIONE

Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello *Studio di microzonazione sismica di II livello del Comune di Castelfranco Emilia*, effettuato su incarico dell'Amministrazione Comunale (cfr. Contatto Rep. N. 11541, stipulato in data 16/09/2014) e finanziato con Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri 20 febbraio 2013 n. 52 "Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'annualità 2012" (G.U. n° 50 del 20.2.2013).

La microzonazione sismica (MS), cioè la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento, è uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e applicato già in fase di pianificazione urbanistica.


Costituisce, quindi, un supporto fondamentale ai pianificatori per indirizzare le scelte verso quelle aree a minore pericolosità sismica.

Il Comune di Castelfranco Emilia è già dotato di una valutazione della pericolosità sismica locale con approfondimenti di primo e secondo livello, a firma del dott. geol. Valeriano Franchi, contenuto all'interno del Quadro Conoscitivo del PSC vigente.

Il nuovo studio, partendo da tale base informativa, ha comportato l'acquisizione di ulteriori dati pregressi e l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini, costituita da 42 prove tomografiche.

Tutte le attività svolte e, in particolare, l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti, sono state effettuate nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- Allegato C "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 15 aprile 2013" della deliberazione di Giunta regionale n. 1919 del 16.12.2013 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli Enti Locali" (da qui in avanti "Allegato C della delibera regionale")
- Allegato D "Indicazioni per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e decreto del 15 aprile 2013 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile" della deliberazione di Giunta regionale n. 1919 del 16.12.2013 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'Ordinanza del Capo

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	2 di 69

Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli Enti Locali" (da qui in avanti "Allegato D della delibera regionale")

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 3.0, Roma, ottobre 2013 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (da qui in avanti "SRAI")
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- Allegato A della deliberazione dell' Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2.5.2007: Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" (da qui in avanti "indirizzi regionali")

Nel rispetto dei riferimenti tecnici sopramenzionati, lo studio è stato articolato in due differenti fasi di approfondimento:


*PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, avente le seguenti finalità:*

- Definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica (litologia, stratigrafia, tettonica e loro rapporti geometrici).
- Individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica.
- Definire il tipo di effetti attesi.
- Indicare, per ogni area, il livello di approfondimento necessario.

*SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, avente le seguenti finalità:*

- Conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento ed eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la microzonazione sismica.
- Suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità sismica.
- Conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello e indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

Quali aree oggetto di studio sono state considerate quelle definite, in conformità con quanto indicato dall'Allegato C della delibera regionale ("la microzonazione sismica è richiesta nelle aree urbanizzate e in quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche e

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	3 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

*lungo le fasce a cavallo delle reti infrastrutturali*”) nell’Allegato 2 alla lettera d’invito per l’affidamento del servizio mediante procedura negoziata. Esse una superficie di quasi 1.700 Ha, corrispondente a circa il 17% dell’intero territorio comunale.


Nel corso dello studio sono stati redatti, oltre alla presente relazione, gli elaborati elencati nel capitolo 11.

Essi sono stati predisposti in versione cartacea e in versione digitale (*pdf*, con risoluzione 300 *dp*).

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

Per l’archiviazione dei dati e l’editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall’Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica).

L’inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall’utilizzo dell’apposito software: “MS – SoftMS” nella versione 1.0.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	4 di 69

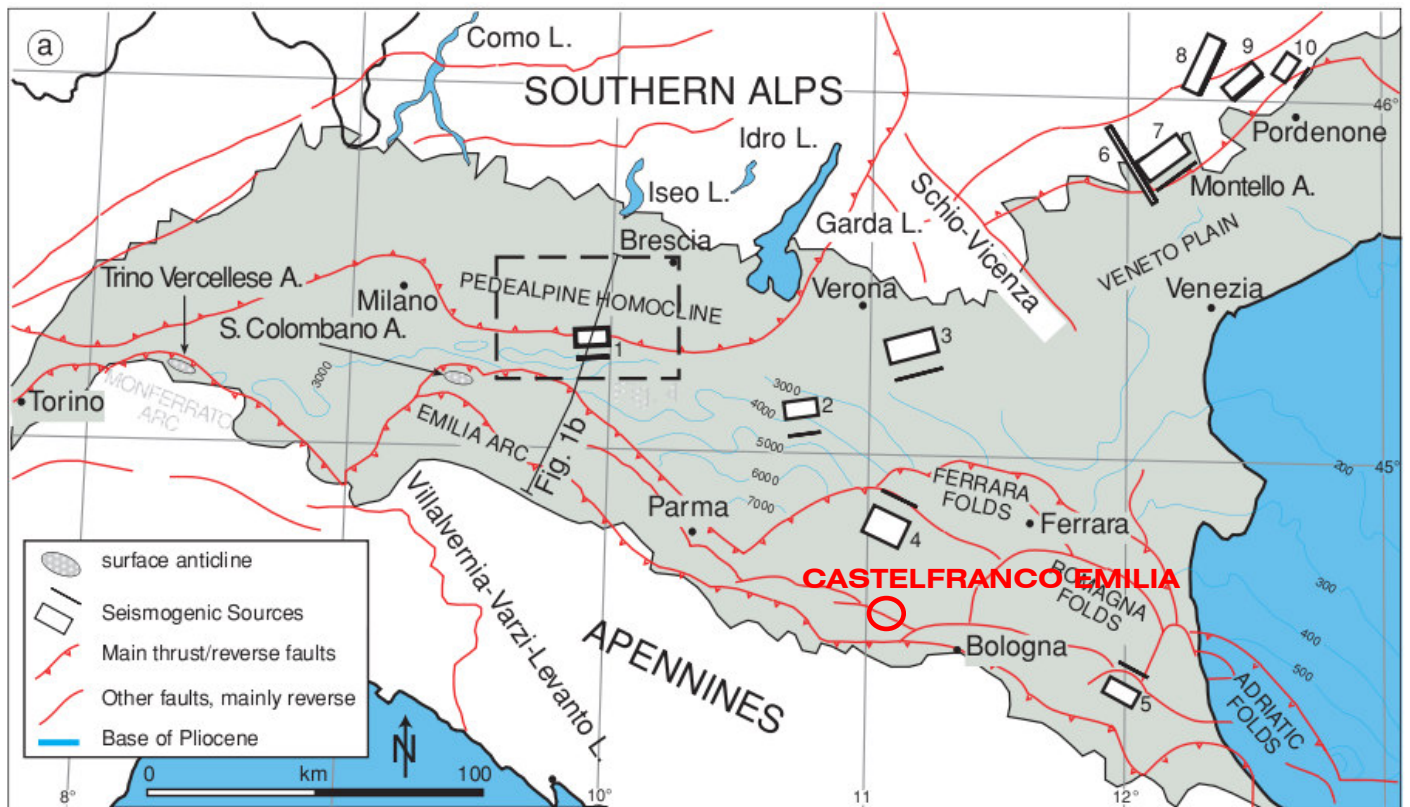
**2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO**

**2.1 Inquadramento tettonico**

Il territorio comunale di Castelfranco Emilia appartiene al settore orientale della Pianura Padana cui evoluzione geologica risulta connessa allo sviluppo della catena alpina prima e di quella appenninica nella fase successiva, costituendo l'avanfossa di entrambi i sistemi.


Dal Pliocene ad oggi tale depressione, dal profilo asimmetrico, con minore inclinazione del lato settentrionale, è stata progressivamente colmata da sedimenti, dapprima marino-transizionali e quindi strettamente continentali.

Strutturalmente l'area in esame ricade tra il fronte di accavallamento esterno e quello interno dell'Appennino sepolto in un settore centrale contraddistinto dalla presenza della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia (cfr. Fig. 1).



**Fig. 1 - Schema tettonico strutturale della pianura padana (da Pieri e Groppi, 1981) (isobate del tetto del Pliocene in migliaia di metri)**

A causa del suo comportamento prevalentemente rigido la monoclinale padana non sembra essere stata interessata dalle deformazioni legate alla fase parossistica terziaria sebbene alcuni ricercatori abbiano riconosciuto blandi fenomeni di compressione esercitati dal Fronte Appenninico.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	5 di 69

L'evoluzione del bacino padano vede, a partire dal Messiniano, la quasi completa cessazione dei movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo si registra un sensibile spostamento verso Nord-Est del fronte dell'Appennino settentrionale. Da questo momento le geometrie deposizionali del bacino padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde Nord Appenniniche e dai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini. Il margine meridionale del bacino padano, a ridosso del fronte appenninico risente in modo consistente di tali movimenti. Il margine settentrionale risente invece in modo più blando di quanto succede nel bacino. I movimenti sono registrati da superfici di erosione arealmente anche molto estese, dalla riattivazione di strutture mioceniche sepolte e dalla deposizione di livelli detritici fini legati a movimenti eustatici.

## 2.2 Caratteristiche sismotettoniche

Un passo fondamentale nella valutazione del rischio sismico di un'area è l'identificazione delle faglie attive.


Sebbene esistano, infatti, strutture a scorrimento lento asismico (*fault creep o tectonic creep*), molte delle faglie attive sono considerate sorgenti sismiche in quanto lo scorrimento istantaneo dei due lati delle stesse, che avviene allorché lo stress supera la resistenza delle rocce, genera il rilascio di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni. A tali faglie sismogenetiche è associato il maggior rischio.

Per la definizione di faglia attiva si fa normalmente riferimento alla possibilità che una faglia può attivarsi in un intervallo di tempo futuro che interessa la nostra società. D'altra parte le faglie che hanno la maggiore probabilità di muoversi in un futuro prossimo sono da ricercarsi tra quelle che si sono mosse nelle fasi più recenti della storia geologica. Così una delle definizioni più comunemente accettata è quella della *U.S Nuclear Regulatory Commission* (1982), che definisce attive le faglie che presentano un'attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due negli ultimi 500.000 anni.

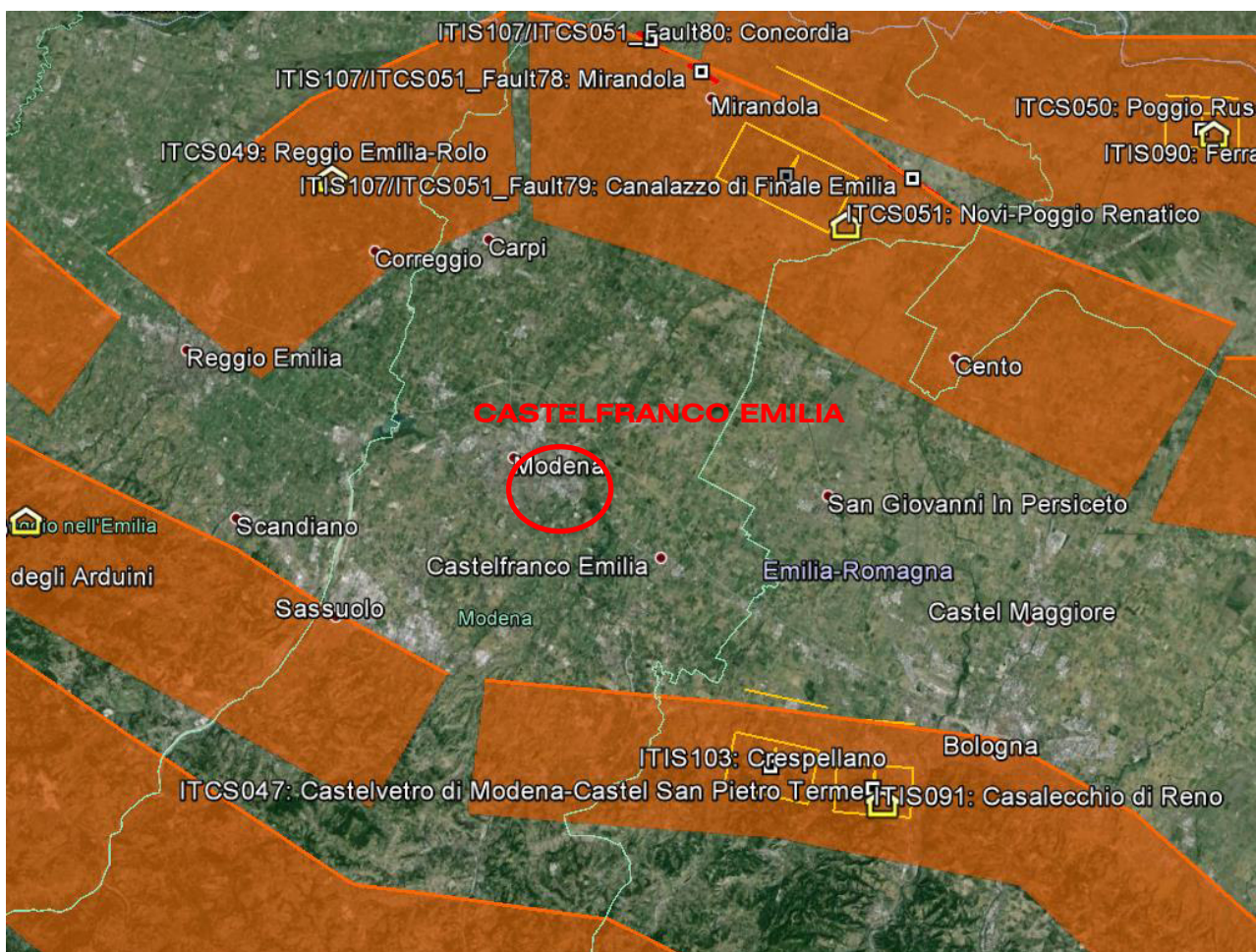
Un elenco delle sorgenti sismogenetiche e delle faglie potenzialmente attive e capaci è contenuto nel DISS 3.1.1, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana<sup>1</sup>.

Con riferimento all'immagine di Fig. 2, le sorgenti sismogenetiche più significative al contorno dell'area in studio sono:


<sup>1</sup> Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics*.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	6 di 69

- ITCS047 – Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme, con magnitudo massima attesa  $M_w=5.6$ , a cui sono associate le faglie:
  - ITIS103 – Crespellano;
  - ITIS091 – Casalecchio di Reno;
- ITCS049 – Reggio Emilia-Rolo, con una magnitudo massima attesa  $M_w=5.5$ ;
- ITCS051 – Novi-Poggio Renatico, con una magnitudo massima attesa  $M_w=5.9$ , a cui è associata la faglia:
  - ITIS – Mirandola;
- ITCS046 – Langhirano-Sassuolo, con una magnitudo massima attesa  $M_w=5.9$ ;



**Fig. 2 - Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS 3.1.1**

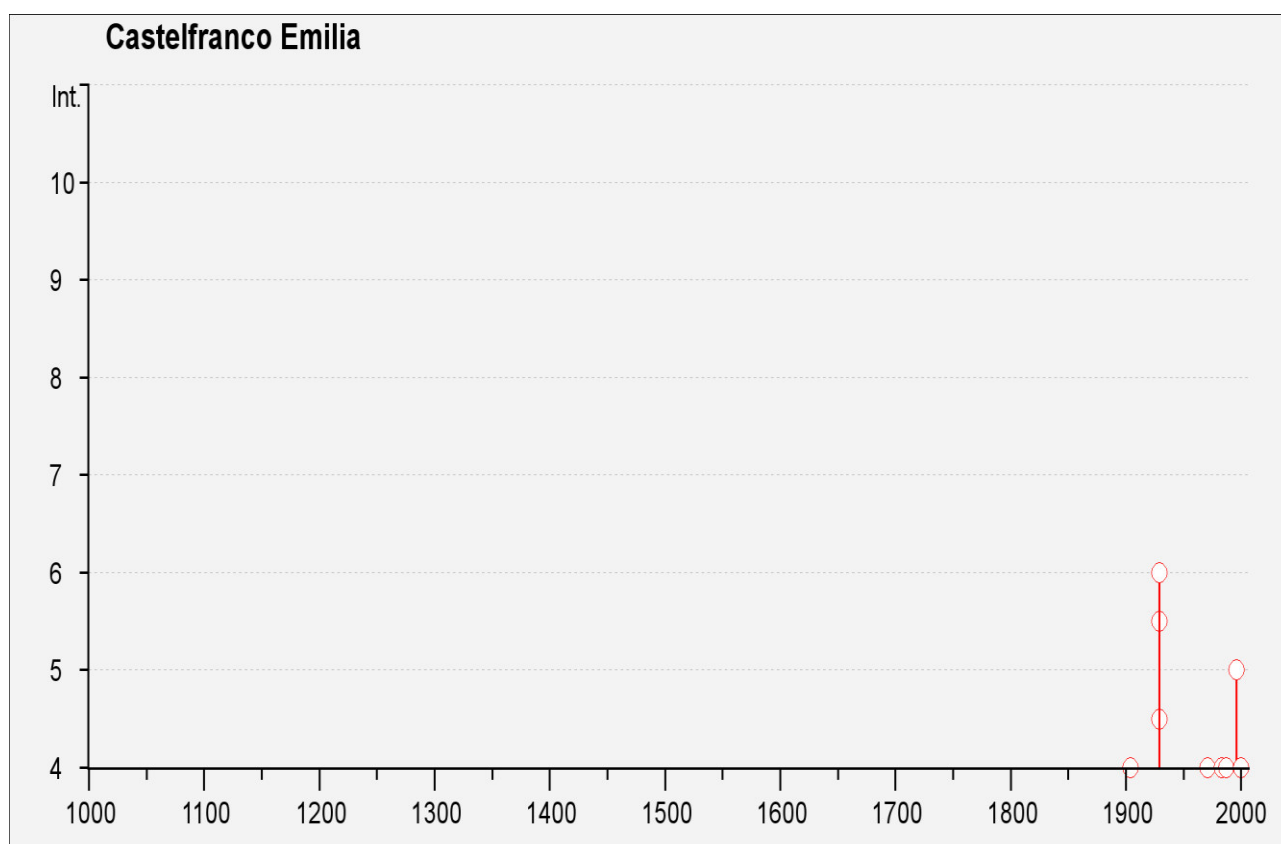
 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	7 di 69



### 2.3 Storia sismica


La storia sismica del Comune di Castelfranco Emilia è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI11<sup>2</sup>, che contiene informazioni relative a 58.146 osservazioni macrosismiche dal 217 A.C. al 2002, e in cui sono presenti 6806 località con almeno 3 osservazioni.

Secondo quanto indicato in DBMI11, la storia sismica di Castelfranco Emilia è riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. 3, mentre in Tab. 1 sono elencati gli eventi di maggiore intensità, indicando per ciascuna di esse, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come I(MCS), quando si è verificato, il numero di località coinvolte (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io), e la magnitudo momento (Mw).



**Fig. 3 - Eventi sismici di maggior interesse registrati nel comune di Castelfranco Emilia**

<sup>2</sup> M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	8 di 69

Numero di eventi: 26

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
F	1885 02 26 20:48	SCANDIANO	78	6 5.19 ±0.15
3-4	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8 6.23 ±0.08
3	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09
4	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6 5.05 ±0.18
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14
NF	1913 11 25 20:55	Val di Taro	73	4-5 4.84 ±0.20
2	1922 05 24 21:17	Ferrarese	7	4 4.34 ±0.25
3	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6 4.88 ±0.24
4-5	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
5-6	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
6	1929 04 22 08:25	Bolognese	41	
6	1929 04 29 18:35	Bolognese	45	
2	1931 06 10 17:01	Modenese	14	4 4.42 ±0.22
3	1934 09 18 09:37	VIGNOLA	6	4 4.57 ±0.30
2	1967 04 03 16:36	Reggiano	47	5-6 4.69 ±0.19
4	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
NF	1971 09 11 23:18	Correggio	15	5 4.23 ±0.31
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
3-4	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
4	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
NF	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
NF	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5 4.32 ±0.18
5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
NF	1998 02 21 02:21	Reggiano	104	5 4.34 ±0.17
3-4	1999 07 07 17:16	Frignano	32	5 4.70 ±0.09
4	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09

**Tab. 1 - Massimi eventi sismici i cui effetti si sono fatti risentire a Castelfranco Emilia**

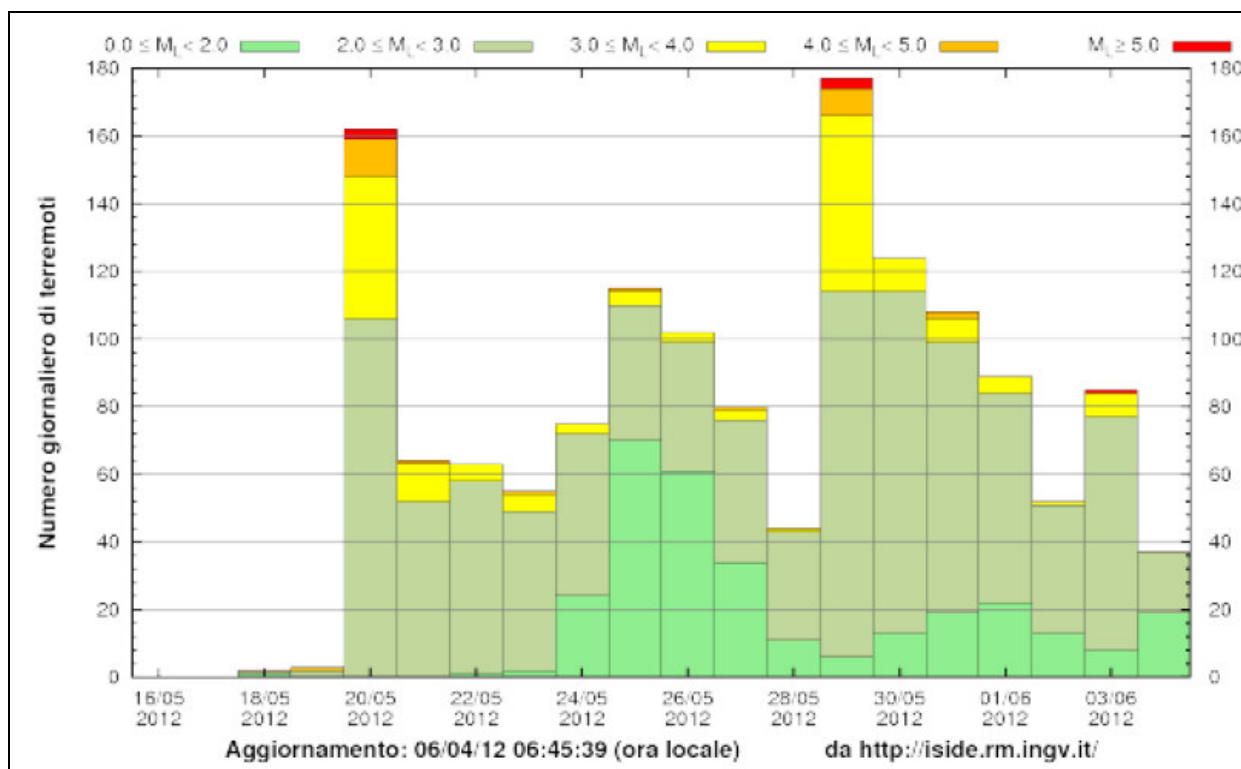
Dalla lettura di Fig. 3 e di Tab. 1 si deduce che, tra quelli censiti nel DBMI11, sono 2 gli eventi sismici che maggiormente si sono fatti risentire a Castelfranco Emilia, sempre con un'intensità tra il V e il VI grado della scala MCS:

 <b>EN GEO S.r.l.</b> <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	9 di 69

- il primo è in realtà costituito da più eventi distribuiti tra il 19 e il 29 Aprile 1929, con epicentro nel bolognese e caratterizzati da una magnitudo massima calcolata sulle onde di superficie ( $M_s$ ) pari a 5.34
- il secondo verificatosi il 15/10/1996, con epicentro a Correggio e caratterizzato da una magnitudo calcolata sulle onde di superficie ( $M_s$ ) pari a 5.41

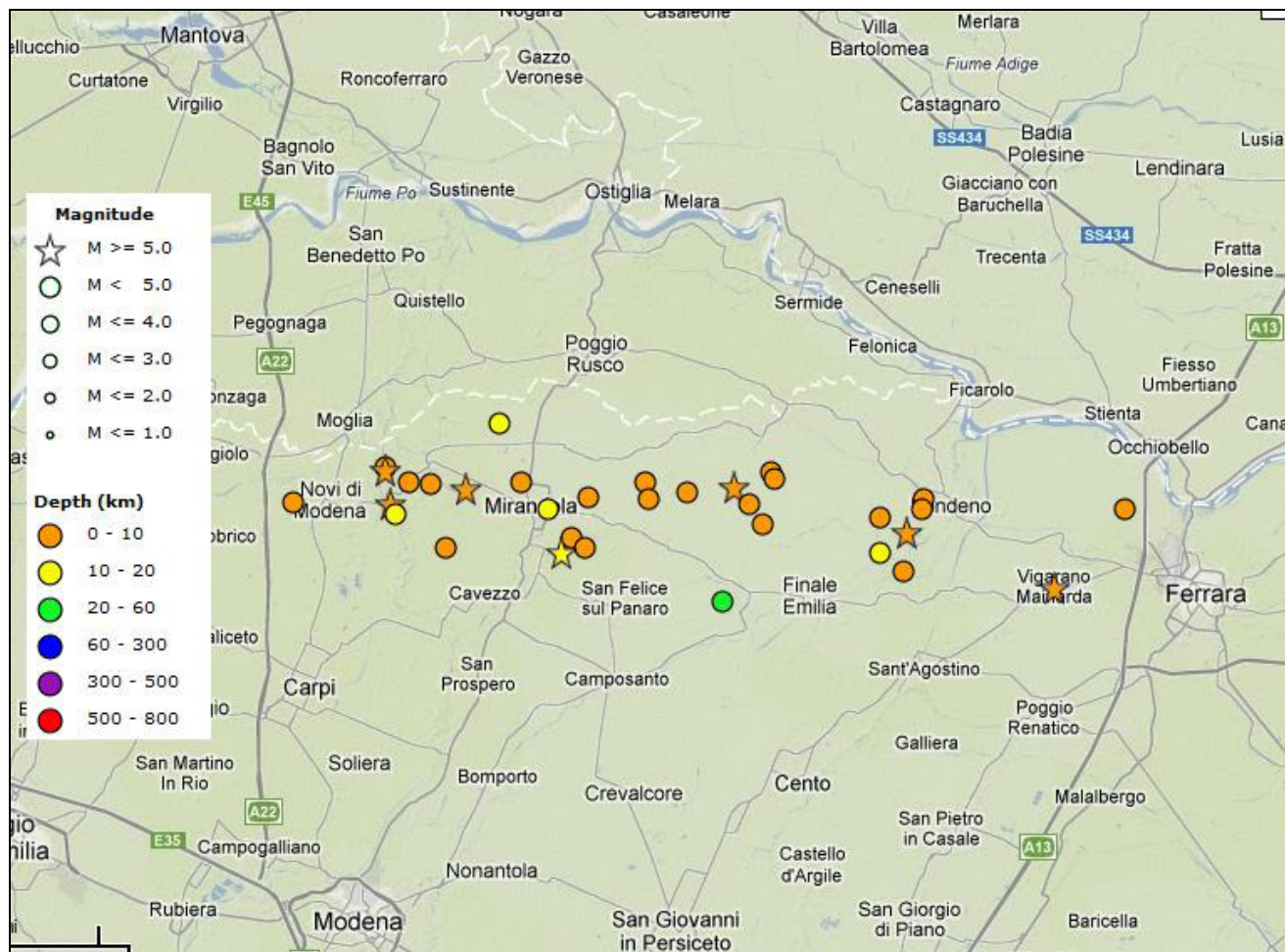
Si tratta sempre di sismi d'intensità inferiore rispetto a quello, più recente e non registrato nel DBMI11, verificatosi il 20 maggio 2012 alle ore 4.03, con epicentro Mirandola (MO), in occasione del quale è stata registrata una magnitudo pari a 5.9 della scala Richter.

Tale sisma è stato seguito da numerosissime altre scosse, (1437 fino al 4 giugno - Fonte INGV) di cui 6 di magnitudo superiore a 5. In Fig. 4 è riportata la distribuzione temporale delle scosse sismiche nel periodo compreso tra il 20 maggio ed il 4 giugno 2012 e la relativa intensità.



**Fig. 4 - Sequenza sismica dal 20 maggio al 4 giugno 2012**

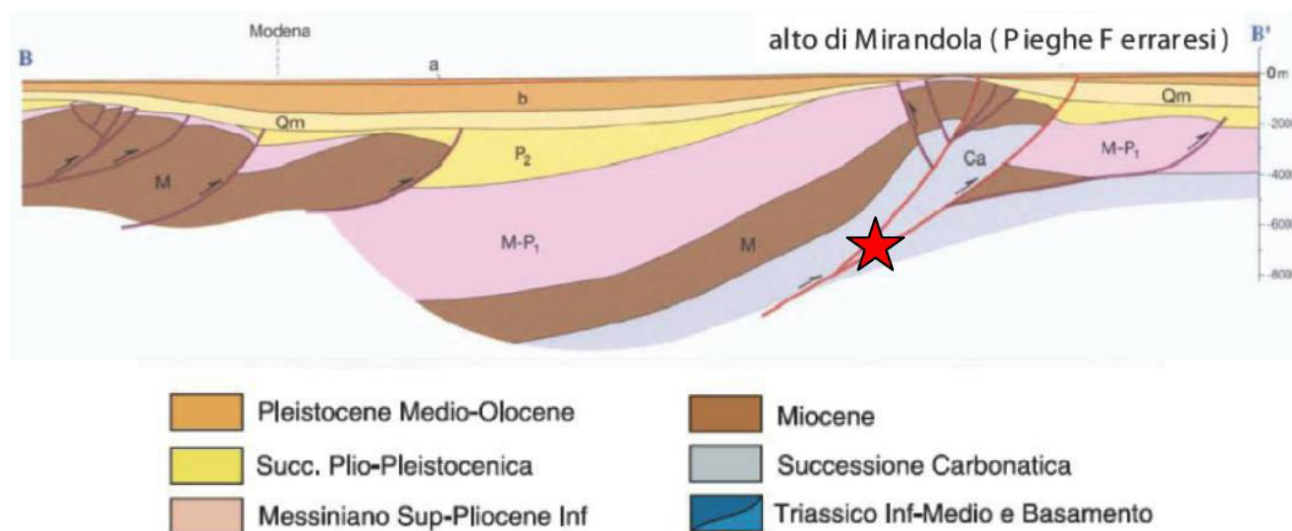
In Fig. 5 è riportata la distribuzione spaziale dei sismi con magnitudo maggiore di 4. Come si può notare dalla figura la profondità degli ipocentri è quasi sempre superficiale (5-10 Km).



**Fig. 5 - Distribuzione degli epicentri dei sismi con magnitudo > 4**  
(da <http://iside.rm.ingv.it>)

L'elaborazione dei dati della rete sismica nazionale ha consentito ad INGV di verificare che il sisma è legato ad un meccanismo di tipo compressivo, con direzione di massima compressione nord-sud. Tale meccanismo è compatibile con la "struttura di Mirandola", faglia già valutata come potenziale sorgente sismogenetica, con magnitudo massima attesa pari a 5.9 della scala Richter.

In Fig. 6 è rappresentata una sezione schematica delle strutture sismogenetiche che hanno generato il terremoto.




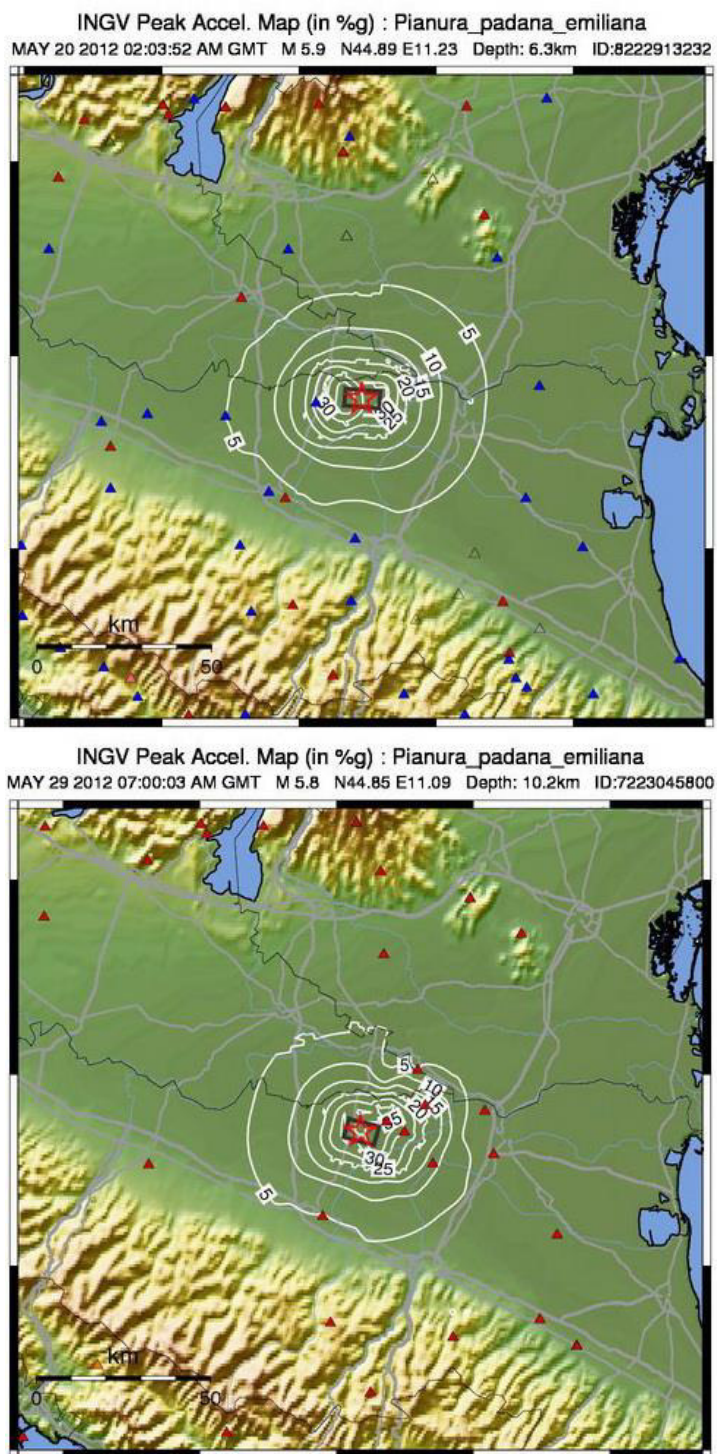
**Fig. 6 - Schema delle strutture sismogenetiche (la stella indica la probabile ubicazione dell'ipocentro) - da INGV - Relazione sul terremoto del 20 maggio 2012**

L'evento di magnitudo  $M_w=5.9$  del 20/5/2012 è stato risentito in tutto il nord-Italia e le *shakemap* calcolate subito dopo l'evento confermano queste osservazioni. In particolare, nella zona epicentrale le accelerazioni massime (PGA) sono state stimate fino a 0.3g, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità. Analoga accelerazione è stata calcolata per il sisma del 29/5/2012, che ha presentato una magnitudo pari a 5.8 della scala Richter.


Questi valori sono tuttavia stimati in quanto non vi sono dati da stazioni sismiche poste all'epicentro stesso o negli immediati paraggi per cui sono da ritenersi solo indicativi.

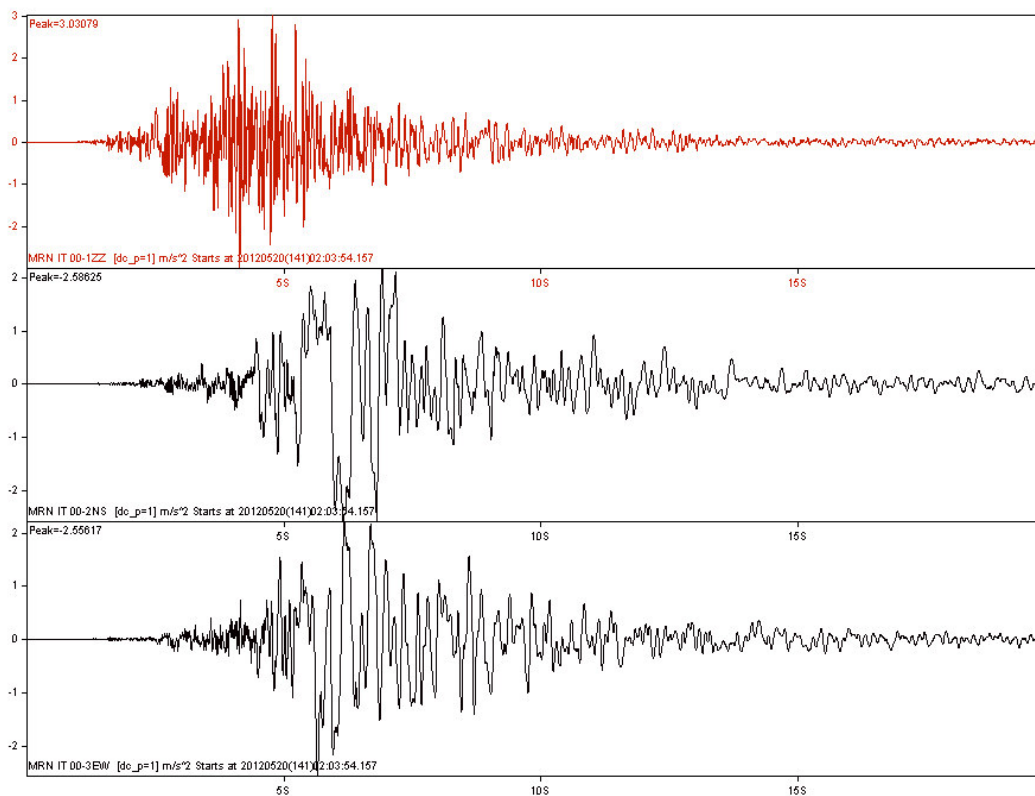
La stazione di registrazione più vicina (appartenente alla Rete Accelerometrica Nazionale), ubicata a Mirandola (MRN), si trova ad una distanza di 13.3 km dall'epicentro dell'evento più significativo (20 maggio). Il picco massimo d'accelerazione registrato, in occasione dell'evento più forte (IA) è di 0.309 g, e, come mostrato in Fig. 8, corrisponde alla componente verticale (UP-DOWN). Inferiori risultano i picchi corrispondenti alle due componenti orizzontali (0.264 in direzione SUD-NORD e 0.261 in direzione OVEST-EST).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	12 di 69



**Fig. 7 - Mappe di accelerazione massima stimata al suolo (in % g) per i sismi del 20 e 29 maggio 2012**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	13 di 69



**Fig. 8 - Sisma del 20/5/2012. Accelerogramma delle componenti (dall'alto in basso) Verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest (acc. m/s/s, tempo s) registrate dalla stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale ([www.protezionecivile.gov.it](http://www.protezionecivile.gov.it))**


La sequenza sismica ha prodotto gravi danni in una vasta area delle province di Modena, Ferrara, Mantova e Bologna. In particolare appaiono gravemente danneggiate, in prossimità delle aree epicentrali, le strutture storiche in mattoni ed i capannoni industriali prefabbricati in c.a.

**2.4 Classificazione sismica comunale**

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

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

Ciascuna zona è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Tab. 2), eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche: in

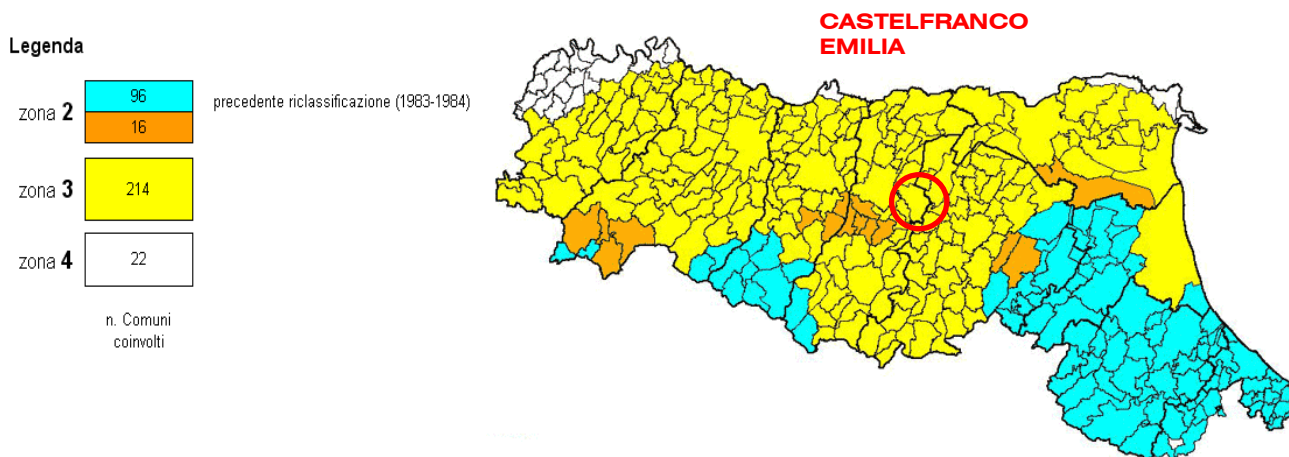
 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	14 di 69

questo modo, ad ogni area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di pericolosità sismica.

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

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

La classificazione vigente, identifica il Comune di Castelfranco Emilia in zona 3 (Fig. 9), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra  $0,05 \cdot g$  e  $0,15 \cdot g$  (dove  $g$  è l'accelerazione di gravità).



**Fig. 9 - Nuova classificazione sismica regionale dei Comuni dell'Emilia Romagna**

Successivamente, con l'Ordinanza n° 3519 del 28 aprile 2006 sono stati approvati i criteri generali e la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale, riportata nell'allegato 1b dell'Ordinanza stessa e la normativa tecnica associata alla nuova classificazione sismica, ovvero, il d.m. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G. U. n. 29 del 4 febbraio 2008, che sostituisce il precedente d.m. 14 settembre 2005.

Alle NTC 2008 è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), in quanto l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.



<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

In base a quanto disposto nel sopraccitato Allegato A, l'accelerazione sismica massima del terreno ( $a_g$ ) è definita in corrispondenza dei punti di un reticolo, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 2475 anni).

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

Con l'obiettivo di ridurre il rischio sismico in adempimento agli obblighi della normativa nazionale, la Regione Emilia-Romagna, con Deliberazione dell'Assemblea legislativa n. 112 del 2 maggio 2007, ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".


Scopo di tale documento è quello di fornire i criteri per la per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio in modo da orientare le scelte della pianificazione verso aree caratterizzate da minore pericolosità sismica.

In esso si afferma che la componente pericolosità del rischio sismico dipende sia dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti (aspetti comunemente indicati come "pericolosità sismica di base") sia dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, in quanto alcuni depositi e forme del paesaggio possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire aspetti predisponenti al verificarsi di effetti locali quali fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni (aspetti comunemente indicati come "pericolosità sismica locale").

Conseguentemente gli studi della pericolosità sismica hanno come obiettivo:

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

Detti studi vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	16 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

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

L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta - soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili - in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

## **2.5 Studio sismico contenuto nel PSC Vigente**

Come già indicato nell'introduzione, tra i documenti del Quadro Conoscitivo del PSC vigente, è presente una valutazione della pericolosità sismica locale con approfondimenti di primo e secondo livello, a firma del dott. geol. Valeriano Franchi.

Nei successivi paragrafi vengono sinteticamente descritti i principali contenuti di detto studio:


### **2.5.1 Indagine geognostica**

In riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale: D.M. 14/01/2008 e della Delibera dell'Assemblea Legislativa R.E.R. n° 112 del 02-03-2007, per determinare i parametri fondamentali per la caratterizzazione sismica degli ambiti comunali soggetti alle analisi di microzonazione sismica, sono state eseguite:

- 16 prospezioni geofisiche con metodo sismico passivo *Refraction Microtremor* (Re.Mi.), per la rilevazione della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.
- 10 acquisizioni di microtremori ambientali con metodo HVSR do di *Nakamura*.
- 16 prove penetrometriche statiche CPT, Rm.

### **2.5.2 Carta delle aree suscettibili di effetti locali**

Nella Tavola 1S "Carta delle aree suscettibili ad effetti locali" sono riportati i principali elementi e caratteristiche del territorio che concorrono a definire la pericolosità sismica locale nel comune di Castelfranco Emilia, facendo riferimento all'analoga carta ricompresa nel PTCP, approfondita sulla base di quanto elaborato per lo studio geologico a supporto del Quadro Conoscitivo e del Documento Preliminare e tramite l'acquisizione di nuove informazioni.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	17 di 69

PROGETTO	LIVELLO
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

Si è così stabilito che gli elementi che possono dare luogo ad effetti locali riportati nella Tavola 1.S sono:

1. Aree individuate come suscettibili di cedimenti in base all'elaborazione dei dati penetrometrici. Depositi (spessore > 5 m) di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti caratterizzati da valori di  $R_p < 8 \text{ Kg/cm}^2$ ;
2. Aree potenzialmente soggette ad amplificazione litologica;
3. Aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a possibili cedimenti;
4. Aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione e cedimenti.


Come indicato nella relazione a firma del dott. geol. Valeriano Franchi "*La classe n. 1 prima riportata corrisponde a quelle aree in cui l'analisi sulla resistenza meccanica dei terreni eseguita in occasione della costruzione del QC ha evidenziato la presenza nel primo sottosuolo di livelli dello spessore minimo di 3 m (molto spesso anche superiore a 5 m) caratterizzati da scarsi e/o scarsissimi valori dei resistenza meccanica, che possono dare origine, in caso di sisma, a cedimenti ben maggiori di quelli attesi in condizioni statiche. La classe n. 2 corrisponde alla aree di conoide recente del F. Panaro e T. Samoggia in cui le litologie presenti, essenzialmente grossolane, possono produrre amplificazione del moto sismico, senza però generare rilevanti cedimenti; La classe n. 3 rappresenta le parti del territorio in cui si presume vi sia la sola possibilità di amplificazione del segnale sismico a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e la possibilità di cedimenti indotti dal sisma. La classe n. 4 raccoglie le zone del territorio in cui l'analisi geomorfologica e litologica ha evidenziato la presenza di dossi/paleodossi e paleoalvei, in cui si presume vi siano consistenti orizzonti sabbiosi che, se immersi in acqua, in caso di sisma possono dare origine al fenomeno della liquefazione e/o cedimenti*".

### **2.5.3 Carta dei fattori di amplificazione**

Come richiesto dalla direttiva regionale, si è operato al fine di discretizzare il territorio comunale in ambiti caratterizzati da uguale amplificazione del moto sismico.

Allo scopo sono stati calcolati i valori puntuali dei Fattori di Amplificazione (F.A.), in corrispondenza delle 16 prospezioni geofisiche con metodo sismico passivo *Refraction Microtremor* (Re.Mi.), calcolati mediante le tabelle relative alle situazioni litostratigrafiche, denominate Pianura 1 e Pianura , 2 contenute nell'Atto di indirizzi della RER, utilizzando i valori di  $V_{s30}$  e di profondità del *bedrock* (H) desunti dalle stesse prove (cfr. Tab. 3).

Siccome la rappresentazione cartografica risultava difficoltosa per le poche prove disponibili e per la complessa distribuzione territoriale dei risultati, si è deciso di accorpare alcune classi riportate nella tabella, riducendone così il numero complessivo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	18 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

Di fatto l'accorpamento, ovvero la nuova definizione delle classi è stato fatta prendendo a riferimento il solo FA di PGA.

	Profondità bedrock sismico*	V <sub>s30</sub> da indagine Re.Mi.	Valori di F.A.da Allegato A2.1.2.s	Valori di F.A.da Allegato A2.1.2.s	Valori di F.A.da Allegato A2.1.2.s
n	m	m/s	F.A. PGA	F.A. IS 0.1>t0<0.5	F.A. IS 0.5>t0<1
1	<100	265	1,6	1,8	2,4
2	>100	280	1,5	1,7	2,3
3	<100	479	1,4	1,5	1,6
4	<100	492	1,4	1,5	1,6
5	<100	258	1,6	1,8	2,4
6	>100	269	1,5	1,7	2,3
7	>100	235	1,5	1,8	2,3
8	<100	305	1,6	1,8	2,1
9	<100	324	1,6	1,8	2,1
10	<100	233	1,7	1,9	2,5
11	<100	244	1,7	1,9	2,5
12	<100	221	1,7	1,9	2,5
13	<100	256	1,6	1,8	2,4
14	<100	236	1,7	1,9	2,5
15	<100	332	1,6	1,8	2,1
16	<100	347	1,6	1,8	2,1

**Tab. 3 - Tabella riepilogativa dei fattori di amplificazione determinati con le prove Re.Mi effettuate nel corso delle Studio sismico contenuto Quadro Conoscitivo del PSC vigente**


Di fatto, nella carta 2S "Fattori di amplificazione" è stata riportata l'individuazione territoriale delle classi dei fattori di amplificazione così definite:

1° classe

- PGA = 1,4
- IS 0,1<T0<0,5 = 1,5
- IS 0,5<T0<1 =1,6

2° classe

- PGA = 1,5
- IS 0,1<T0<0,5 = 1,7-1,8
- IS 0,5<T0<1 =2,6

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	19 di 69

3° classe

- $PGA = 1,6$
- $IS\ 0,1 < T_0 < 0,5 = 1,8$
- $IS\ 0,5 < T_0 < 1 = 2,1-2,4$

4° classe

- $PGA = 1,7$
- $IS\ 0,1 < T_0 < 0,5 = 1,9$
- $IS\ 0,5 < T_0 < 1 = 2,5$


Come spiegato in relazione; *“..quest’ultima classe è stata estesa, evidenziandone la distribuzione con apposita simbologia, in un areale più vasto di quello che avrebbe consentito la sola valutazione delle indagini geofisiche eseguite. Tale valutazione è stata fatta avendo a riferimento il modello strutturale della pianura che in questa zona evidenzia una zona depressa del substrato marino, compresa tra due sistemi di trust posti a monte e a valle. In sintesi, ed in modo molto sommario, il territorio di Castelfranco può essere suddiviso in fasce ad andamento grossomodo est-ovest con valori di FA crescenti procedendo da monte a valle.”*

**2.5.4 Carta degli effetti attesi / zonazione sismica**

Nella tavola 3S “Carta degli effetti attesi / zonazione sismica” territorio di Castelfranco è suddiviso in ambiti caratterizzati da uguali effetti attesi in caso di sisma, indicando per ognuno di essi gli studi necessari nelle successive fasi pianificatorie.

In particolare sono state individuate 4 classi

1. Area individuata come suscettibile di cedimenti in base all’elaborazione dei dati penetrometrici. Depositi (spessore > 5 m) di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti caratterizzati da valori di  $R_p < 8\text{ Kg/cm}^2$ ;
  - STUDI RICHIESTI: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi
  - APPROFONDIMENTI: III livello per la stima degli eventuali cedimenti post sismici.
2. • Area potenzialmente soggetta ad amplificazione litologica;
  - STUDI RICHIESTI: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico
  - APPROFONDIMENTI: II livello
3. Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a possibili cedimenti;
  - STUDI RICHIESTI: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei coefficienti attesi

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	20 di 69

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

- APPROFONDIMENTI: sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti post sismici in presenza di terreni con scadenti caratteristiche meccaniche.

4. Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione e cedimenti;

- STUDI RICHIESTI: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi;
- APPROFONDIMENTI: III livello

Come spiegato in relazione; “..la pericolosità sismica del territorio di Castelfranco E., può essere letta, in prima istanza, incrociando la carta di cui sopra con quella dei fattori di amplificazione sismica. Facendo questo incrocio appare subito evidente che numerosi degli ambiti edificabili individuati dal PSC a nord della via Emilia, si collocano in corrispondenza di aree a maggiore pericolosità sismica, ricadendo su aree di dosso/paleoalveo, quindi con possibile presenza di terreni liquefacibili, e caratterizzate da alti, relativi, fattori di amplificazione. Per contro, volendo urbanizzare il territorio in continuità con l’edificato esistente è di fatto naturale che i nuovi insediamenti si collochino sui dossi, da sempre utilizzati dall’uomo per costruire i propri insediamenti al riparo dalle alluvioni. Circa l’insistenza di ambiti di nuovo insediamento individuati dal PSC su aree caratterizzate da pericolosità sismica legata alla presenza di strutture di paleodosso/paleoalveo, leggermente superiore ad altre aree del territorio, v’è ricordato che in queste porzioni di territorio la segnalata maggiore pericolosità è legata al possibile fenomeno della liquefazione dei terreni in caso di sisma...”.

### **2.5.5 Prime valutazioni sull’occorrenza del fenomeno della liquefazione**


Nel corso dello studio, per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione sul territorio comunale di Castelfranco Emilia è stato impiegato il metodo semplificato di *Robertson e Wride* (1998), basato su prove CPT.

La suscettibilità di un terreno al fenomeno della liquefazione è espressa dal fattore di sicurezza a liquefazione FL nel seguente modo:

FL > 1 la liquefazione è da escludere

FL < 1 la liquefazione è possibile.


Sulle prove individuate, caratterizzate dalla presenza di livelli granulari fini dello spessore minimo >0,4 m, sono state eseguite le verifiche a liquefazione utilizzando il

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	21 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

software “Liquef” della “Program Geo”. Per tutte le CPT considerate, dalle verifiche eseguite è risultato sempre un fattore di sicurezza a liquefazione  $FL > 1$ .

In particolare, si sottolinea che dall’analisi dei risultati ottenuti sono state individuate delle zone nei pressi delle località di Panzano, Manzolino e Gaggio nelle quali i valori di FL, seppur maggiori di 1, sono prossimi all’unità. Per queste aree sarà opportuno, nelle fasi di progettazione successive, procedere a degli approfondimenti geognostici mirati a definire con esattezza le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche del sottosuolo per i primi 20 m di profondità, come previsto dalla vigente normativa, e prevedere verifiche specifiche.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	22 di 69

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

#### 3.1 Geologia

##### 3.1.1 Inquadramento geologico

Sotto l'aspetto geologico, il territorio in esame appartiene alla Pianura Padana, edificio sedimentario, costituito da sedimenti di origine alluvionale, olocenici e tardo-pleistocenici, poggiante su un substrato marino.

La situazione stratigrafica, esplorata dell'AGIP Mineraria in oltre mezzo secolo di attività, si può così schematizzare: alle sequenze mesozoiche, incontrate solo in alcune esplorazioni al nucleo delle pieghe ferraresi, segue una successione clastica terziaria divisibile in due cicli sedimentari principali. Quello inferiore termina con le evaporiti del Messiniano mentre quello superiore inizia con le fasi salmastre messiniane e termina nel Pleistocene.


Nell'ambito del secondo ciclo si può distinguere un ciclo di secondo ordine che termina con la deposizione delle Argille azzurre di mare profondo (Argille di Lugagnano), localmente ricoperte da sabbie gialle di *facies* litorale datate su basi paleontologiche e palinologiche al Pleistocene medio-inferiore.

L'assetto geostrutturale delle formazioni prequaternarie è caratterizzato da una successione plicativa ad anticlinali e sinclinali spesso fagliate e sovrascorse, con assi a vergenze appenniniche.

In tale schema, come già indicato nel paragrafo 2.1, la porzione di pianura esame è ricade in corrispondenza della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia, compresa nell'arco delle pieghe emiliane caratterizzate da due distinti fasci di *thrust*: il primo, più meridionale, detto fronte di accavallamento appenninico (P.T.F.), definisce il limite della catena appenninica affiorante; il secondo, detto fronte di accavallamento esterno (E.T.F), definisce il limite dell'appennino sepolto.

L'andamento strutturale dell'Appennino sepolto può essere interpretato come effetto di una compressione e di un raccorciamento crostale che, secondo i moderni schemi geodinamici, risulta legato ad un doppio fenomeno di subduzione e/o ispessimento della crosta. In tale quadro d'insieme si giustifica lo sviluppo della rete idrografica maggiore che risulta conforme ai principali assi di sinclinali sepolte.

Con l'attenuazione dell'attività tettonica a partire dal Pleistocene superiore, inizia un'intensa fase sedimentaria continentale prodotta dal fiume Po e dai suoi affluenti legata principalmente alle variazioni climatiche.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	23 di 69



Il sistema alluvionale della pianura parmense può essere suddiviso, da nord a sud, in base alla modalità di deposizione, in tre unità fondamentali:

1. unità del fiume Po;
2. unità di media pianura;
3. unità delle conoidi alluvionali.

L'unità del fiume Po caratterizza una fascia di territorio avente un'estensione di circa 20 Km dall'attuale tracciato, ed è costituita da corpi prevalentemente sabbiosi di forma tabulare.

L'unità di media pianura si presenta come termine di passaggio tra l'unità del Fiume Po e l'unità delle conoidi alluvionali.

Quest'ultima, interessa l'area dell'alta pianura modenese ed è costituita da corpi sedimentari, che, in pianta, presentano una tipica forma a ventaglio.

I depositi sono organizzati in strutture nastriformi e lentiformi interdigitate a differente granulometria, con direzione di allungamento nord-sud.

La loro dimensione decresce verso settentrione, in accordo con la direzione di scorrimento dei corsi d'acqua.

In senso verticale, normalmente, si rinvengono depositi più grossolani a profondità maggiori, come conseguenza di condizioni climatiche passate che conferivano maggiore energia alle correnti.

I sedimenti affioranti diventano progressivamente più antichi allontanandosi dalle attuali aste fluviali.


### **3.1.2 Quadro stratigrafico dei depositi quaternari**

Secondo i più recenti studi, realizzati dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna, la metodologia di suddivisione dei depositi quaternari della pianura è stata basata sull'utilizzo di un'unità geologica di riferimento denominata Sequenza Deposizionale (SD).

Essa è definita come: "unità stratigrafica composta da una successione relativamente continua e concordante di strati geneticamente correlati, limitati alla base e al tetto da superfici di discontinuità o dalle superfici concordanti correlabili con esse".

Le Sequenze Deposizionali, a loro volta, possono essere gerarchicamente suddivise in:

- Principali, corrispondenti ai Supersintemi e ai Cicli Sedimentari di Ricci Lucchi et alii (1982);
- Minori, corrispondenti ai Sintemi;
- Climatico-Eustatiche di rango superiore, corrispondenti ai Subsintemi.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	24 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

Nel Comune di Castelfranco Emilia, come nel resto della pianura modenese, si riconoscono depositi quaternari riconducibili alla sequenza deposizionale principale, denominata Supersistema Emiliano – Romagnolo.

Attraverso lo studio dei profili sismici, delle analisi di facies dettagliata di sezioni affioranti e pozzi per la ricerca di idrocarburi, il supersistema è stato suddiviso in SD minori denominate, Sistema Emiliano – Romagnolo Inferiore, contraddistinto da sedimenti di origine marina alla base e continentale al tetto, Sistema Emiliano - Romagnolo Superiore, quest'ultimo comprende esclusivamente depositi di origine continentale che affiorano all'interno nel Comune di Castelfranco Emilia.


Tali depositi, formati a partire dal Pleistocene medio fino all'Olocene, sono costituiti da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali (depositi di conoide e depositi intravallivi terrazzati), passanti a limi e argille prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia nelle aree di interconoide.

Ad un livello gerarchico ancora inferiore si trovano le SD Climatico – Eustatiche di rango superiore (subsistemi), distinguibili sulla base dell'analisi di facies, dei rilevamenti morfo-pedostratigrafici, e dalle colonne stratigrafiche ricavate da pozzi.

Gli stadi sedimentari di questi subsistemi risultano principalmente legati al succedersi delle oscillazioni climatiche avvenute nel quaternario e in misura minore alla modesta attività tettonica rilevata.

Per i corsi d'acqua che hanno edificato questa porzione di ebbero grande significato soprattutto le fasi iniziali delle glaciazioni, durante le quali il progredire dei climi freschi e piovosi favoriva fasi di abbondante sedimentazione lungo i corsi d'acqua. In questo periodo i torrenti appenninici crearono ai piedi dei rilievi estese conoidi e pianure alluvionali. I periodi glaciali furono caratterizzati dall'abbassamento del livello marino e questo produsse un aumento della capacità erosiva dei torrenti quaternari, che incisero i depositi delle precedenti fasi iniziali delle glaciazioni. In questo modo le antiche pianure alluvionali e le estese conoidi furono successivamente incise dai corsi d'acqua e rimasero come superfici relitte sospese sui fondovalle formando i pianori che vengono detti terrazzi. Infine, tra una glaciazione e l'altra, si registra il minimo dell'attività fluviale e conseguente retrogradazione della conoide alluvionale.

Ciascun subsistema è stato deposto per un arco temporale di 125.000-128.000 anni, corrispondente alla durata di un ciclo glaciale. Al suo interno, ad una fase iniziale di intensa sedimentazione di materiale per lo più grossolano, segue un periodo contraddistinto da prevalente erosione e minore deposizione di materiale più fine (argilla e limo).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	25 di 69

Con riferimento al Comune di Castelfranco Emilia, i depositi superficiali appartengono al più recente dei subsistemi dell'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore: il Subsistema di Ravenna (Pleistocene superiore-Olocene).

Trattasi di ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, depositi di conoide ghiaiosa, oltre a limi e limi sabbiosi, depositi del reticolo idrografico secondario. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 metri. Il contatto di base è erosivo con i subsistemi più antichi, mentre il limite di tetto è una superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente alla superficie topografica. Il profilo di alterazione, di moderato spessore, varia da qualche decina di centimetri fino ad 1 metro.

### 3.2 Geomorfologia

Gli eventi morfogenetici, responsabili dell'attuale assetto del territorio del Comune di Castelfranco Emilia, sono riconducibili essenzialmente alla dinamica fluviale del periodo pleistocenico ed olocenico, alla quale, nel periodo storico, si è sovrapposta l'attività antropica mirata alla stabilizzazione e alla modellazione delle superfici del suolo compatibilmente alle esigenze economiche, produttive ed insediative.

Le interazioni tra i vari fattori morfogenetici hanno dato luogo ad un paesaggio relativamente omogeneo, contraddistinto da superfici pressoché piane debolmente degradanti verso nord/nord-est con gradiente topografico molto basso.

Le aree di pertinenza dei corsi d'acqua (in particolare il fiume Panaro) sono rimaste le uniche in cui si osserva una evoluzione morfologica dipendente da fattori naturali.


Al contrario, la pianura circostante esprime il congelamento di una situazione originatasi antecedentemente alla limitazione degli alvei fluviali entro percorsi prefissati, in cui le opere di bonifica agraria, infrastrutturazione ed insediamento hanno conferito alla superficie topografica un assetto costante ed uniforme livellando tutte le asperità del terreno.

Le superfici del suolo conservano tuttavia, anche se in forma relittuale, ancora le tipiche geometrie dell'ambiente fluviale, quali i dossi/e le altre tracce di alvei abbandonati.

Elementi morfologici altrettanto importanti sono quelli dovuti ad attività antropica quali gli argini, i rilevati stradali, autostradali e ferroviari, le aree urbanizzate.


Per l'individuazione ed il riconoscimento degli elementi morfologici presenti all'interno del territorio comunale, si è fatto riferimento alla carta della "Geomorfologia" (tavola 1.2 - Sistema Ambientale), contenuta nel Quadro Conoscitivo del P.S.C. vigente a sua volta ripresa dallo "Studio Geologico-Ambientale del Territorio Comunale di Castelfranco Emilia (Provincia di Modena)" redatto dal Dott. Geol. Guido Bollettinari.

Come indicato nella Relazione a firma del dott. geol Valeriano Franchi, ..."*nel suo complesso il territorio comunale, ancorché pianeggiante, presenta un andamento plano-*

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	26 di 69


PROGETTO	LIVELLO
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

*altimetrico movimentato, in cui risulta possibile distinguere diverse forme del paesaggio. L'elemento morfogenetico principale di tipo naturale è ovviamente rappresentato dal Fiume Panaro, che caratterizza ed ha caratterizzato in passato, l'intero territorio comunale con il suo alveo e con le forme morfologiche ad esso direttamente collegate: l'area golenale, le imponenti arginature, i meandri abbandonati, i dossi ed i paleoalvei. All'ingresso nel territorio comunale di Castelfranco Emilia il corso d'acqua subisce un netto cambiamento morfologico, con notevoli implicazioni di carattere idraulico: al fronte della conoide, per una brusca diminuzione di pendenza, l'alveo a canali anastomizzati, si restringe e si trasforma in un alveo a meandri con limitato raggio di curvatura; in questo tratto l'alveo diviene progressivamente pensile ed è pertanto delimitato da imponenti arginature, nettamente sopraelevate rispetto al piano campagna. Dall'altezza della via Emilia e proseguendo verso nord, l'alveo del Panaro assume quindi l'aspetto di un tipico alveo delle pianure alluvionali soggette ad inondazioni durante le piene maggiori, caratterizzato dalla presenza di meandri, pensile sia per cause naturali (sopralluvionamenti) che per la presenza di arginature, che l'accompagnano da poco a monte della Via Emilia fino allo sbocco in Po. Lungo tutto il corso del fiume Panaro, all'interno del territorio comunale, s'individua un'area morfologicamente rilevata, coincidente con la zona golenale del fiume stesso, caratterizzata da terreni essenzialmente sabbiosi; particolare significato, oltre che da un punto di vista morfologico anche da un punto di vista idraulico, assumono le aree coincidenti con antichi meandri, attualmente abbandonati a seguito dell'intervento antropico, ancora allagabili in occasione di piene ordinarie del fiume. Tra il Ponte di S. Ambrogio ed il ponte della FF.SS. (linea Milano-Bologna), nel 1969 è stata realizzato un raddrizzamento dell'alveo (drizzagno), per impedire tracimazioni che con notevole frequenza si erano manifestate negli anni precedenti, soprattutto in sponda sinistra (territorio comunale di Modena). L'analisi dell'assetto altimetrico ha inoltre permesso di evidenziare strutture di origine naturale, riconducibili a processi erosivi e deposizionali, che nel contesto territoriale sono ascrivibili ad una morfogenesi essenzialmente legata alla dinamica fluviale e torrentizia. Particolarmente evidenti appaiono, in questo contesto, le strutture nastriformi a forma convessa, altimetricamente più rilevate rispetto alle aree circostanti (dossi), da ricollegarsi ad episodi alluvionali del Panaro e del T. Samoggia o paleoalvei degli stessi ed aree depresse, concave, caratterizzate da un gradiente altimetrico (valli o catini), costituenti un avvallamento chiuso, in cui il drenaggio delle acque risulta sostanzialmente più difficoltoso. Con riferimento alla Carta della "Geomorfologia" (Tav. 2 -Sistema Ambientale) s'individuano, sul territorio comunale, varie strutture di dosso, aventi generalmente orientazione ESE-ONO, dalle quali sono stati distinti i paleoalvei a livello della pianura, aventi orientazione prevalente SO-NE; mentre le prime sono riconducibili a rotte di*

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	27 di 69

PROGETTO	LIVELLO
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

*esonazione, i secondi sono correlabili con gli andamenti di antichi tracciati fluviali. Il loro riconoscimento e la loro interpretazione è stata effettuata partendo da dati bibliografici, attraverso l'analisi del microrilievo e dei caratteri litologici del territorio (dossi) e attraverso la fotointerpretazione. Le morfostrutture presenti nella parte centro-occidentale del territorio sono riconducibili alla paleoidrografia del fiume Panaro, mentre quelle che si sviluppano nella parte più orientale, sono ascrivibili all'azione del T. Samoggia, che scorre, per un breve tratto del proprio corso, all'interno del territorio comunale. Per quanto riguarda il F. Panaro, sono almeno quattro le strutture di dosso significative presenti entro il confine comunale: il dosso di Gaggio, il dosso di Panzano, il dosso di Castelfranco ed il sistema di dossi Piumazzo-Manzolino; tra questi il dosso di Gaggio è certamente quello di maggior significato, oltre che da un punto di vista morfologico, anche da un punto di vista idraulico. Nel caso del T. Samoggia, si hanno invece due strutture significative, il dosso posto a cavallo del limite comunale orientale, al confine con il territorio comunale di Crespellano, che presenta andamento sub-parallelo a quello dell'alveo attuale del corso d'acqua ed il dosso della Cavazzona, che partendo dall'attuale corso fluviale, si sviluppa dapprima verso NO, poi verso NE, sino a giungere a lambire a sud, l'abitato della Cavazzona.”*

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	28 di 69

#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di esaminare numerose relazioni geologiche, prodotte a corredo di progetti edilizi e di opere pubbliche e di acquisire copia delle indagini geognostiche eseguite.

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS.

A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto dell'Allegato D della delibera regionale.

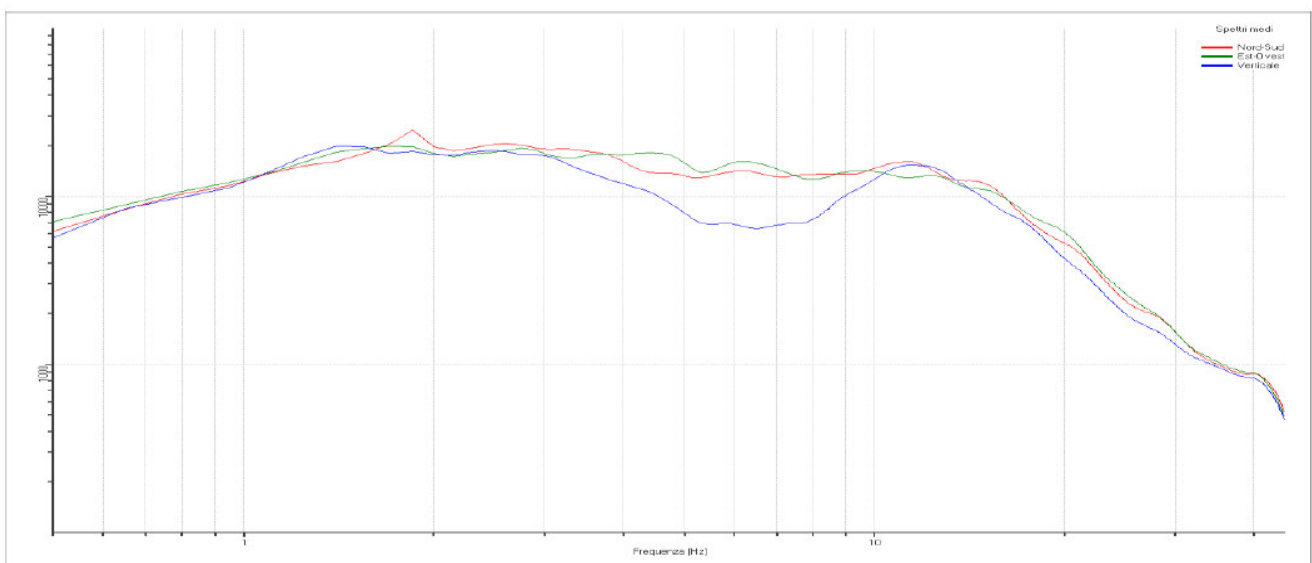
Tali indagini, unitamente alle informazioni presenti in letteratura e ai sopralluoghi in sito, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica.

Ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine.


Più in particolare sono state effettuate n° 42 indagini di sismica passiva mediante misure di ascolto delle vibrazioni ambientali secondo la tecnica HVSR a stazione singola.

Le misure HVSR sono state condotte utilizzando due sismometri a stazione singola (tromografo digitale) di proprietà dello scrivente soggetto attuatore. In grado di registrare, attraverso dei velocimetri, i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (20 minuti).

Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri delle singole componenti (componente del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni).



**Fig. 10 - Esempio di spettro delle singole componenti**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	29 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

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

A tale scopo, per il Comune di Castelfranco Emilia, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Rimandando al paragrafo 8.2 la descrizione specifica delle caratteristiche delle porzioni di territorio comunale oggetto del presente studio, di seguito, ci si limita a proporre alcune considerazioni su come il complesso assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

A riguardo, va considerato che i depositi presenti nel sottosuolo del territorio comunale di Castelfranco Emilia, sia appartenenti al Supersistema Emiliano-Romagnolo che alle sottostanti unità del Supersistema Quaternario Marino, presentano una forte variabilità sia di tessitura che dello stato di addensamento.


Ne consegue che significative variazioni si hanno anche nei profili delle Vs che, di norma, risultano maggiori all'aumentare della densità e della dimensione dei granuli, mentre, ad una diminuzione di tessitura consegue un'inversione di velocità.

A fronte di tale assetto litostratimetrico, le indagini tomografiche effettuate restituiscono curve H/V in cui sono quasi sempre presenti almeno 2 picchi (spesso 3): generalmente, quelli che presentano contrasti d'impedenza maggiori hanno frequenze associabili a superfici di discontinuità, coincidenti con il tetto dei primi banchi, di spessore significativo, di depositi granulari al di sotto della copertura prevalentemente limoso-argillosa.


Per i picchi a frequenza minore, connessi a discontinuità più profonde, invece, si hanno spesso difficoltà interpretative; ciò è tanto più evidente se si considerano i fenomeni d'inversione sopraccitati.

Va inoltre osservato che, in presenza di terreni sciolti, risulta complicato associare delle velocità delle onde di taglio ai vari orizzonti, soprattutto a quelli posti alle profondità maggiori,

In tale contesto. (come spiegato nel paragrafo 8.2, nel presente studio), si è ritenuto corretto ragionare con 2 approcci differenti, rispettivamente validi: uno, per quei territori in cui varie indagini geofisiche e stratigrafiche permettono di individuare importanti discontinuità delle Vs con soggiacenze tra 5 e 30 m, l'altro, dove la successione

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	30 di 69

stratigrafica, fino ad almeno 40 m da p.c., è costituita da depositi omogenei (prevalentemente ghiaiosi nell'estremità meridionale del Comune e fini in quella nord-occidentale); zone in cui il substrato viene assunto a maggiori profondità, anche se, cautelativamente, inferiori a 100 m da p.c.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	31 di 69



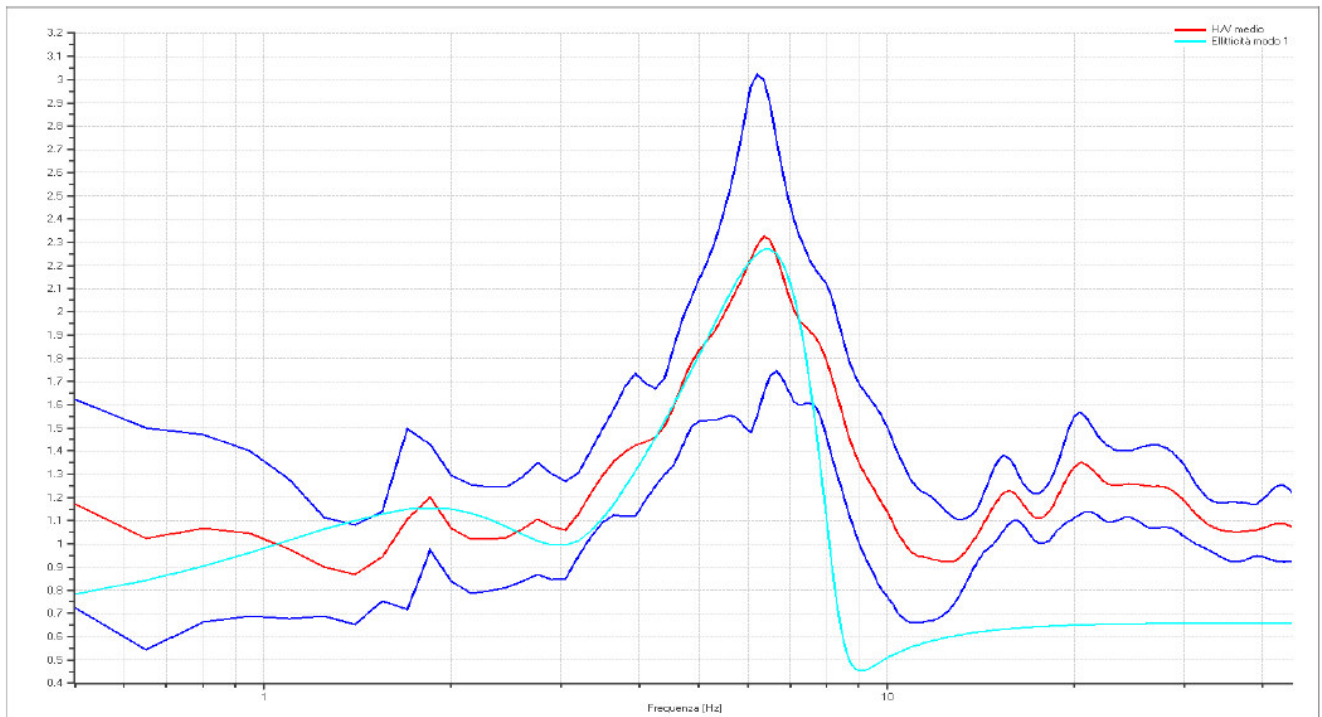
## 6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una grande quantità di dati progressi, ha previsto l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini sismiche.

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

I risultati ottenuti per ciascuna prova, riportati nel documento "Elaborazione prove tromografiche (HVSR)" sono:

1. il grafico rapporto spettrale H/V naturale con curva H/V sintetica, in cui si possono osservare picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze




**Fig. 11 - Esempio di curva H/V naturale con curva H/V sintetica**

2. La velocità media delle onde di taglio  $V_s$

Per determinare la velocità delle onde di taglio  $V_s$  viene utilizzata l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavato attraverso il rilievo tromografico.

La relazione seguente lega la frequenza di risonanza del terreno ( $f$ ) alla velocità delle onde S ( $V_s$ ) e alla profondità della base dello strato ( $H$ ):

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	32 di 69

$$f(Hz) = \frac{V_s}{4H}$$

Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata, per poi ricavare la Vs media per ogni singolo strato.

Sulla base di tali elaborazioni viene ottenuta la curva della Vs con la profondità.

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


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

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


Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla "chiarezza" del picco di possibile risonanza, essi, in alcuni casi, risultano non soddisfatti per i motivi già anticipati nel capitolo 5 (le caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che, nelle curve H/V, siano generalmente presenti più picchi).

Ciononostante, a prescindere da tali verifiche, le prove allegate al presente studio si sono ugualmente potute utilizzare in quanto la loro interpretazione, nel rispetto di quanto stabilito dallo stesso progetto SESAME, è stata supportata dal confronto e dalla relativa taratura con profili stratigrafici derivanti dai dati geognostici disponibili.

Fa eccezione la prova 036006P436 che, è servita per determinare le frequenze naturali del terreno, ma, risultando in inversione in un ampio *range*, corrispondente al primo sottosuolo, non ha consentito di correlare i picchi presenti con le superfici di discontinuità litologica noti.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	33 di 69

Inoltre, va segnalato che la prova 036006P432 è stata ritenuta completamente inutilizzabile, in quanto l'intera registrazione risulta soggetta a evidenti disturbi di natura antropica.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	34 di 69

## 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, relativamente agli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica, ovvero l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, come definito nell'Allegato 2 alla lettera d'invito per l'affidamento del servizio, sono stati acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile .

Successivamente è stata eseguita una campagna di indagini di sismica passiva (misure di ascolto dei microtremori con tromografi digitali portatili) ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.


Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

- **Carte delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia;
- **Carte geologico-tecniche:** tali carte sono state derivate dalla revisione a scala dettagliata dei rilievi disponibili. In questa cartografia sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;
- **Carte delle frequenze naturali dei terreni:** tali carte riportano i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); in particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ );
- **Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità, ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello, e zone suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello, all'interno delle quali sono state operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratimetriche.

Successivamente e in diretta continuità con la prima, è stata svolta la seconda fase di lavoro, che ha quale obiettivo la Microzonazione Sismica del territorio indagato.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- **Carte delle velocità delle onde di taglio S:** carte in sono ubicati tutti i punti di misura di  $V_s$  con indicazione, per ogni punto misura, del valore di  $V_{s30}$ .


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	35 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

- **Carte di microzonazione sismica:** carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame. quantificata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ ) sia di rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ), per prefissati intervalli di periodi

Le elaborazioni sono state rappresentate nelle varie cartografie, ciascuna delle quali costituita dalle seguenti 5 tavole:

- Ambito A\_1 Castelfranco Emilia: relativa al settore centro-occidentale del Comune
- Ambito A\_2 Gaggio: relativa al settore nord-occidentale del Comune
- Ambito A\_3 Manzolino: relativa al settore centro-orientale del Comune
- Ambito A\_4 Rastellino: relativa al settore nord-orientale del Comune
- Ambito A\_5 Piumazzo: relativa al settore sud-occidentale del Comune

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	36 di 69












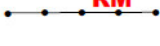



## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 8.1 Carte delle indagini


Nelle Carte delle indagini, alla scala 1:10.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione (per i cui report si faccia riferimento al documento *“Elaborazione prove tromografiche (HVSR)”* e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o sismiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l’Ufficio Tecnico Comunale, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale.

Esse sono state distinte (come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 12) in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo
- sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
- sondaggio a distruzione di nucleo
- sondaggio con piezometro
- pozzo per acqua
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica statica con punta elettrica
- prova penetrometrica statica con piezocono
- prova penetrometrica dinamica pesante
- trincea o pozzetto esplorativo

	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)		Trincea o pozzetto esplorativo
	Prova penetrometrica statica con punta elettrica		Pozzo per acqua
	Prova penetrometrica statica con piezocono		Sondaggio elettrico verticale
	Prova penetrometrica dinamica pesante		Profilo sismico a rifrazione
	Sondaggio a carotaggio continuo		Prova REfractionMicrotremors
	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni		MASW
	Sondaggio a distruzione di nucleo		Stazione microtremore a stazione singola
	Sondaggio con piezometro		

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	37 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento


- sondaggio elettrico verticale
- profilo sismico a rifrazione
- prova REfractionMicrotremors
- MASW
- stazione microtremore a stazione singola

Nelle carte sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definire le sue caratteristiche litostratigrafiche.

In Tab. 4 vengono riportati il numero e la tipologia di indagini presenti sul territorio studiato, acquisite mediante la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale o contenute nel database del Servizio Geologico regionale.

<b>ARCHIVIO INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>			
<b>TIPO PROVA</b>	<b>PROVENIENTE DA ARCHIVIO REGIONALE</b>	<b>PROVENIENTE DA ARCHIVIO COMUNALE</b>	<b>TOTALE</b>
Sondaggio a carotaggio continuo	79	4	<b>83</b>
Sondaggio a distruzione di nucleo	1	\	<b>1</b>
Trincea o pozzetto	9	\	<b>9</b>
Pozzo per acqua	156	\	<b>156</b>
Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)	131	342	<b>473</b>
Prova penetrometrica dinamica pesante	18	26	<b>44</b>
Prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTE)	20	5	<b>25</b>
Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)	49	\	<b>49</b>
MASW	\	24	<b>24</b>
REMI	\	24	<b>24</b>
Sismica a rifrazione	\	2	<b>2</b>
Sondaggio elettrico verticale (SEV)	1	\	<b>1</b>
Stazione microtremore a stazione singola	\	31	<b>31</b>

**Tab. 4 - Riepilogo delle indagini geognostiche presenti sul territorio comunale**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	38 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

Ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da n° 42 misure di ascolto di microtremiti a stazione singola (HVSR), tutte eseguite internamente al perimetro del territorio urbanizzato e urbanizzabile.

## 8.2 Carte geologico-tecniche per la microzonazione sismica


Nelle Carte geologico tecniche per la microzonazione sismica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse.

Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione delle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1), che saranno descritte nel successivo paragrafo 8.4.

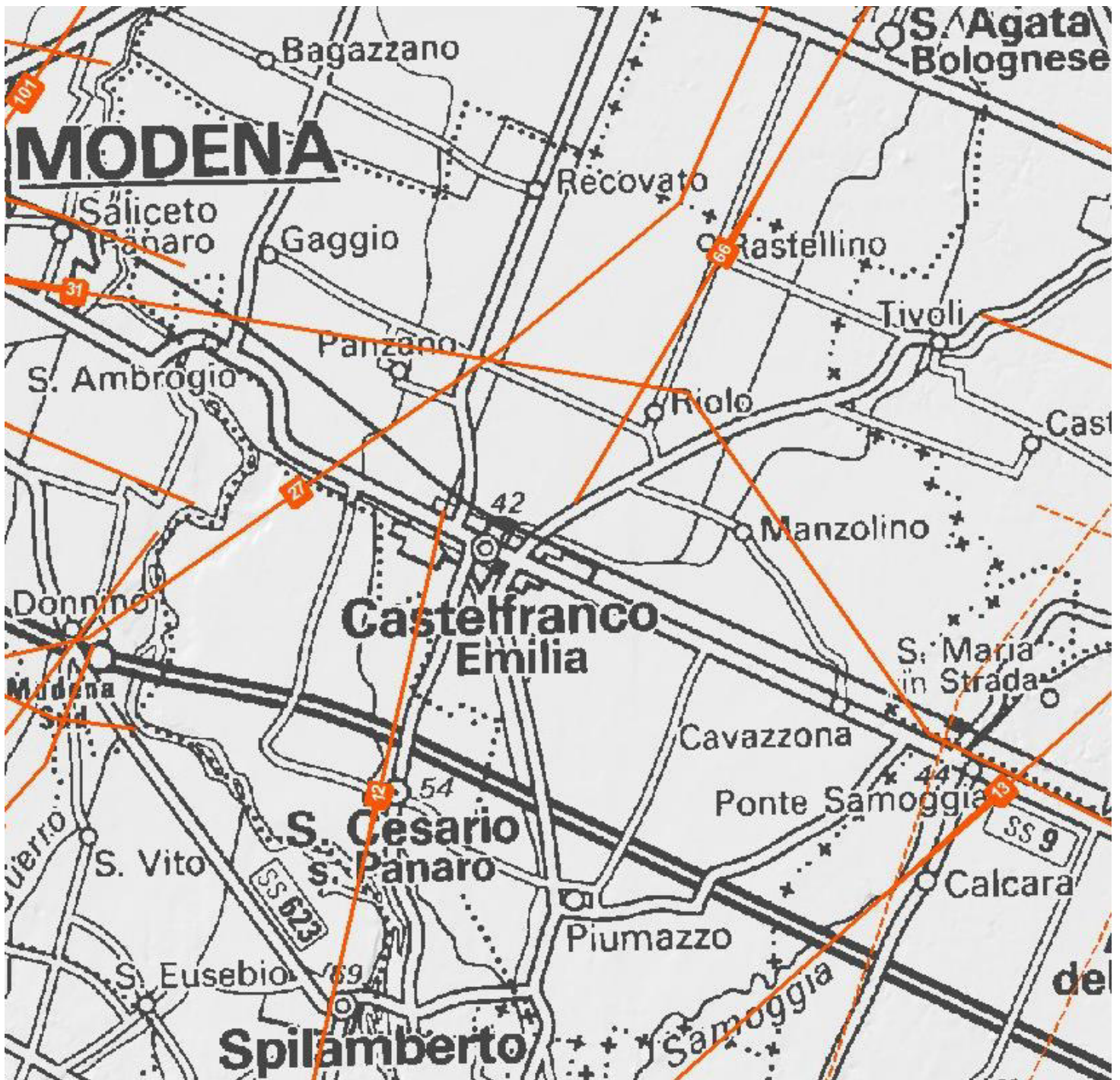
Nel presente studio, per la stesura delle Carte geologico tecniche, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- elaborati del Quadro Conoscitivo – Sistema naturale ed ambientale del vigente Piano Strutturale Comunale di Castelfranco Emilia
- “Carta Geologica d’Italia”, alla scala 1: 50.000, Fogli 201-“Modena”, 202-“San Giovanni in Persiceto” e 220-“Casalecchio di Reno”
- “Carta Geologica d’Italia”, alla scala 1: 50.000, Fogli 201-“Modena”, 202-“San Giovanni in Persiceto” e 220-“Casalecchio di Reno” realizzati secondo le normative del Progetto CARG
- Carta Geologica di Pianura dell’Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Regione Emilia-Romagna. Servizio Geologico, Sismico dei Suoli
- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (8.1)


Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale in Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16 e Fig. 17 sono proposte delle sezioni geologiche orientate sia trasversalmente che longitudinalmente ai principali elementi strutturali (cfr. rappresentazione planimetrica delle tracce riportata in Fig. 13), scaricate dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna .

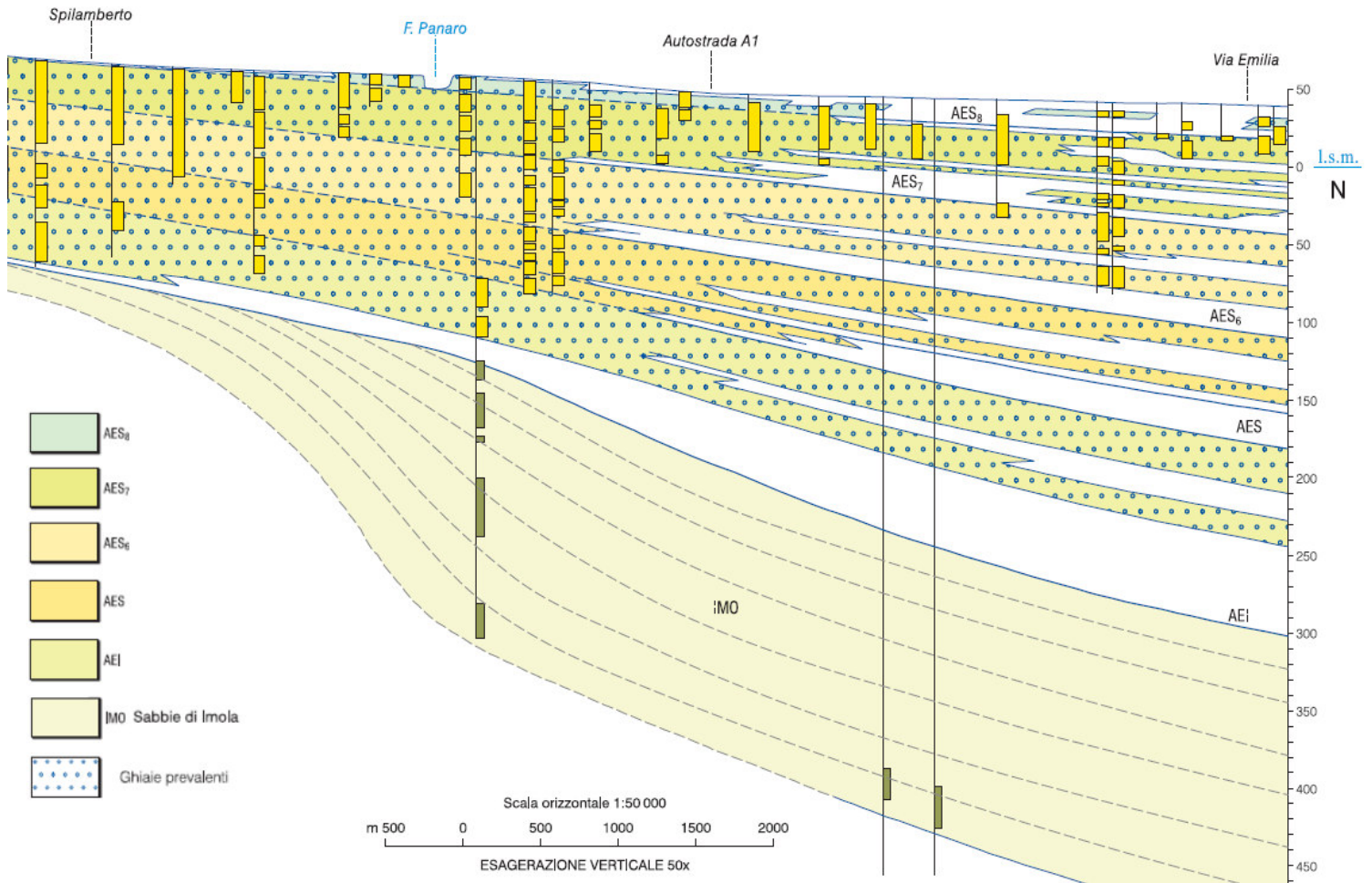
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	39 di 69



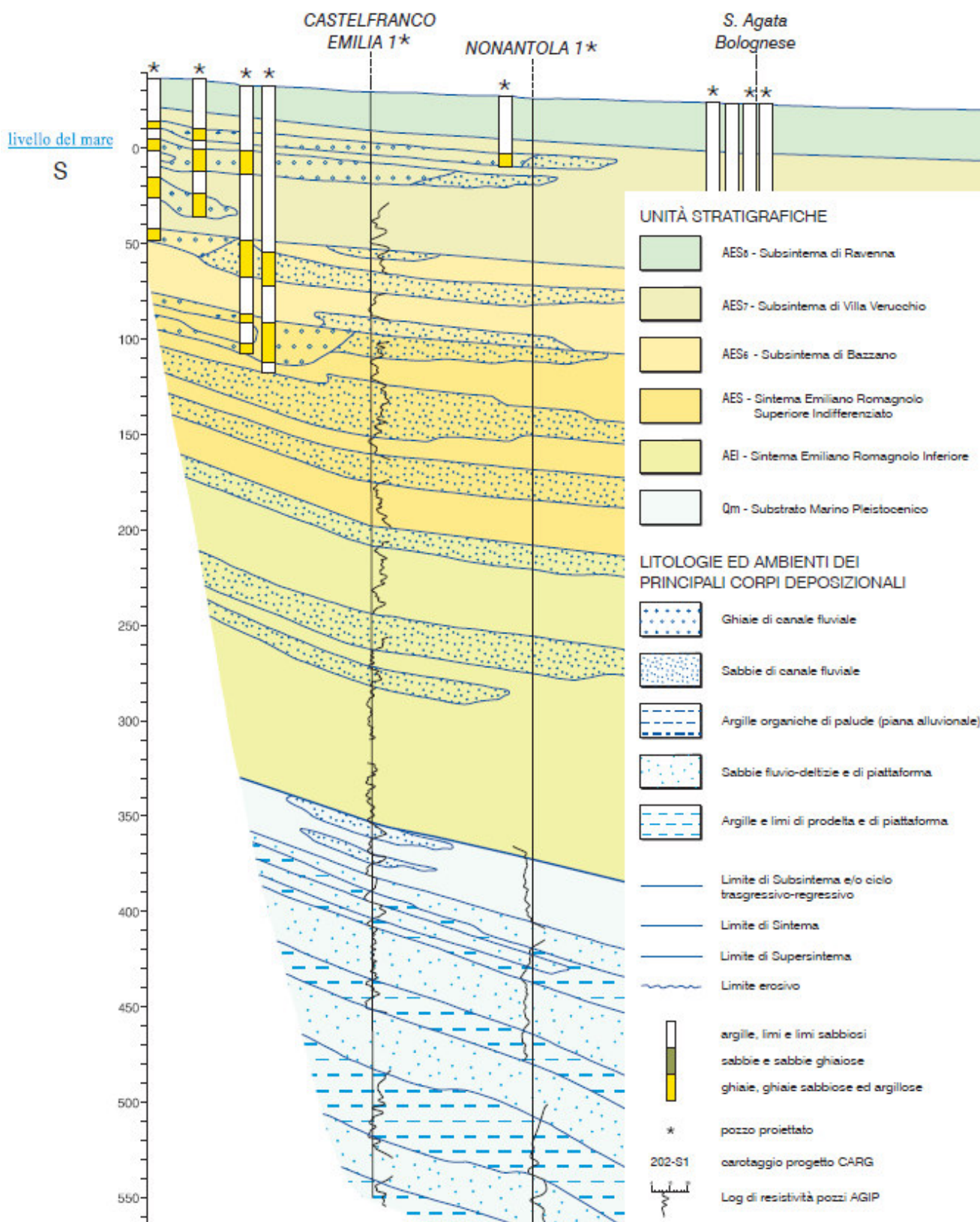


**Fig. 13 - Rappresentazione planimetrica delle tracce delle sezioni riportate in Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16 e Fig. 17**


 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	40 di 69

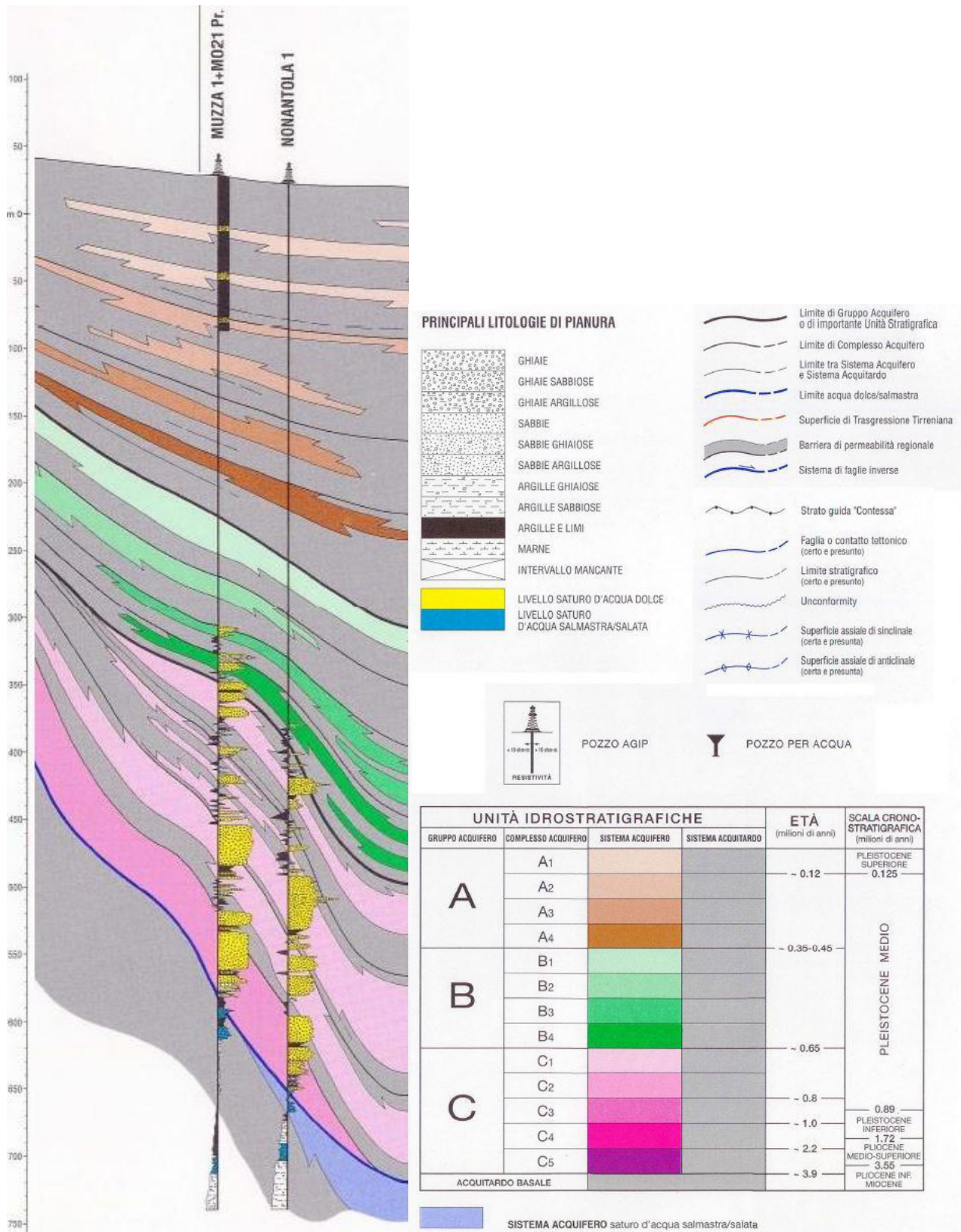


**Fig. 14 - Stralcio della Sezione 12 consultabile sul sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna**

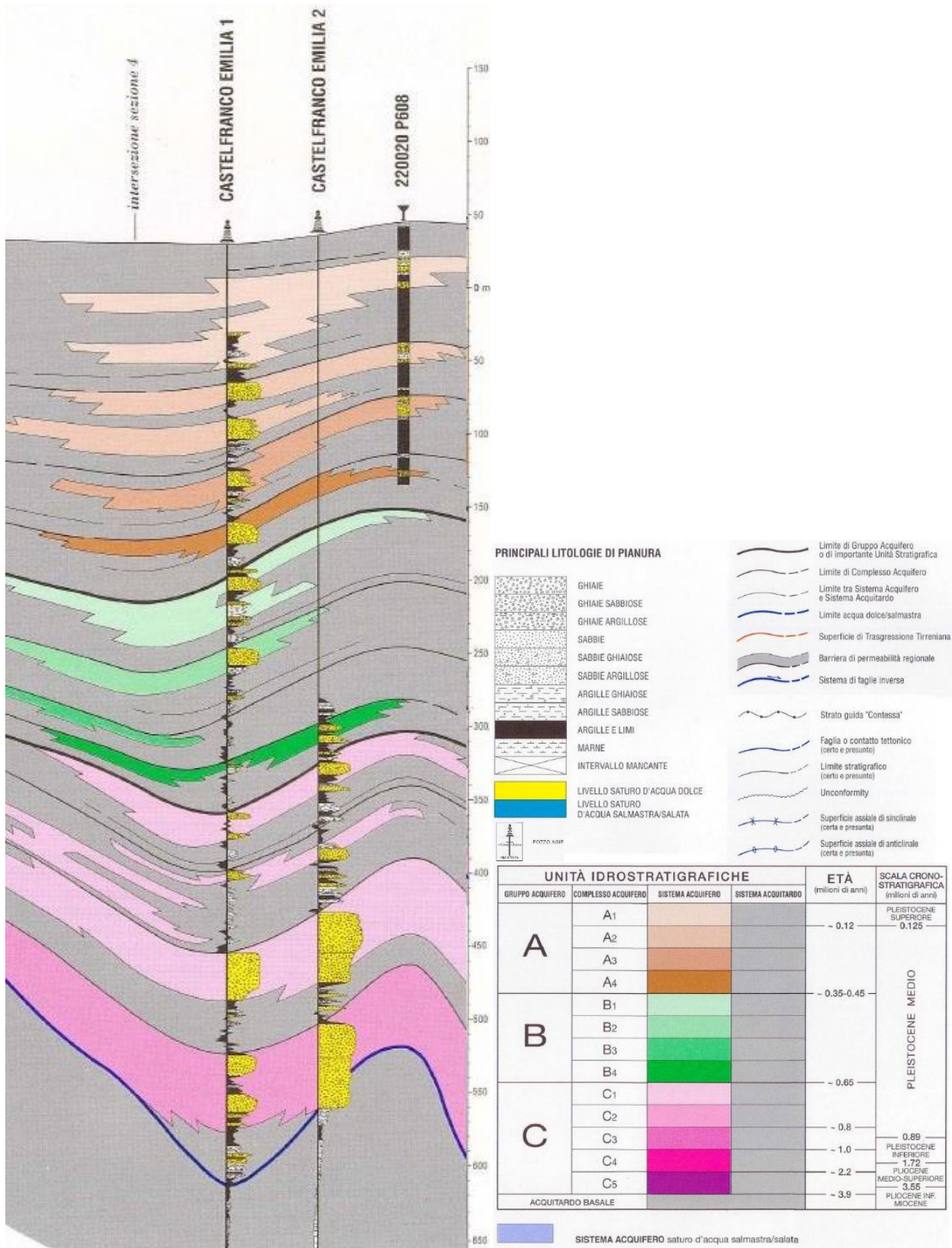


**Fig. 15 - Stralcio della Sezione 66 consultabile sul sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	42 di 69



**Fig. 16 - Stralcio della Sezione 27 consultabile sul sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna**




**Fig. 17 - Stralcio della Sezione 31 consultabile sul sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna**

Dall'esame di tali sezioni si osserva che il sottosuolo del territorio comunale, in estrema sintesi, presenta le seguenti caratteristiche:

- La base del primo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - AES) si approfondisce significativamente spostandosi verso nord, passando da quasi 100 m a circa 250 m da p.c.
- Approfondimento ancora più elevato si ha per la base del secondo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore- AEI) che, tra l'estremità meridionale e quella settentrionale del Comune, varia da meno di 150 m a oltre 400 m da p.c.
- In senso est-ovest, si osserva un aumento degli spessori di entrambi i cicli sopramenzionati in corrispondenza del Capoluogo anche se le variazioni sono molto meno evidenti (al massimo una cinquantina di metri) che in senso nord-sud.
- Sotto il potente pacco di depositi alluvionali il substrato marino pleistocenico è sempre costituito dalla formazione delle Sabbie di Imola, costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di ambiente costiero e, subordinatamente, da peliti di piana alluvionale o laguna.
- I depositi dei due cicli quaternari continentali, nel settore meridionale del Comune, sono quasi esclusivamente ghiaiosi, mentre, verso nord, i corpi costituiti da litologie grossolane diventano sabbiosi e vanno riducendosi di spessore, alternandosi a livelli sempre più potenti di argille e limi.
- Il primo sottosuolo è sempre costituito da depositi argillosi e/o limosi, con possibile presenza di sabbie e sabbie limose, in corrispondenza degli antichi tracciati fluviali; in analogia a quanto descritto al punto precedente, la copertura fine presenta spessori estremamente ridotti (1 ÷ 3 m) all'estremità meridionale del Comune e via via maggiori spostandosi verso nord; inoltre, si osserva un approfondimento del tetto delle prime ghiaie, in senso est-ovest, tanto che, nel settore nord-occidentale del Comune, si ha un assetto stratigrafico con oltre 100 m di depositi privi di livelli significativi a tessitura grossolana.

Considerato quanto sopradescritto, è facile comprendere come in un territorio quale quello del Comune di Castelfranco Emilia non sia facile ipotizzare quale orizzonte possa rappresentare il substrato rigido.

Certamente, più si va in profondità più si rinvengono depositi addensati con relativo aumento delle Vs; tuttavia, è evidente che i profili di Vs, in ciascuna verticale, risentono fortemente anche del tipo di litologie attraversate, con significativi incrementi al passaggio tra un orizzonte fine ad uno prevalentemente ghiaioso, mentre ad una diminuzione di tessitura consegue un'inversione di velocità.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	45 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

Le indagini, normalmente, consentono di individuare la prima superficie di discontinuità, dove la copertura prevalentemente limoso-argillosa poggia sul livello granulare più superficiale; quanto alle discontinuità più profonde, si hanno informazioni molto meno attendibili.

Inoltre, trattandosi sempre di terreni sciolti risulta complicato associare delle velocità delle onde di taglio ai vari orizzonti, soprattutto a quelli posti alle profondità maggiori.


In un tale contesto il *bedrock* potrebbe coincidere con il substrato marino pleistocenico costituito dalla formazione delle Sabbie di Imola, ma potrebbe anche essere identificato con uno dei potenti livelli ghiaiosi, raffigurati nelle sezioni geologiche all'interno del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore o inferiore.

Alla luce di queste caratteristiche territoriali (come spiegato nel capitolo 5, nel presente studio), si è ritenuto corretto ragionare con 2 approcci differenti: uno, valido per quei di territori in cui varie prove geofisiche e stratigrafiche permettono di individuare importanti discontinuità delle Vs con soggiacenze comprese tra 5 e 30 m; l'altro, dove non si osservano tali discontinuità e il substrato viene assunto a maggiori profondità, anche se, cautelativamente, inferiori a 100 m (limite fissato nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, per distinguere tra un profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 e un profilo stratigrafico tipo PIANURA 2).

Nelle Carte geologico tecniche, dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti tre unità di terreni di copertura:

- **GMca** - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di conoide alluvionale*: cartografata solo nel settore più occidentale dell'abitato di Piumazzo, caratterizzato dalla presenza di depositi ghiaiosi nel primo sottosuolo.
- **SMes** - *Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di argine/barre/canali*: unità nella quale sono stati accorpati i principali paleoalvei a tessitura prevalentemente limosa, ma con possibile presenza di lenti sabbiose e sabbio-limose.
- **CLpi** - *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile*: unità nella quale sono state inserite tutte le aree di intercanale dove, il primo sottosuolo, è costituito da depositi prevalentemente fini .

Altri elementi rappresentati su questa carta tematica sono gli assi dei numerosissimi paleoalvei che attraversano il territorio comunale, in corrispondenza delle porzioni di territorio appartenenti all'unità "SMes" sopra definita.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	46 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

Nelle Carte geologico tecniche sono stati indicati anche i sondaggi a carotaggio continuo (con indicazione della loro profondità) e la soggiacenza della prima falda, nei pozzi oggetto di una campagna di misure effettuata nel corso degli studi per il definire il Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale, durante un periodo di alto piezometrico.

La scala di rilevamento e di rappresentazione è sempre 1:10.000.

### 8.3 Carte delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti nell'Archivio Comunale, sia di nuova acquisizione, sono state redatte le Carte delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:10.000.

In queste carte sono stati riportati tutti i punti di misura (70), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ).


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

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

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

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un alto contrasto di impedenza ( $H/V > 3$ ) o da un basso contrasto di impedenza (ampiezza  $H/V \leq 3$ ).

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tomografiche, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali e secondari, oltre all'ubicazione e l'unità di appartenenza nelle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica che saranno descritte nel successivo paragrafo 8.4:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	47 di 69




PROVA	MOPS	Picco principale F0		Picco secondario F1	
		Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V	Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V
036006P438	2001	1,55	1,25		
036006P437	2001	1,2	1,17	0,8	1,1
036006P350	2001	0,15	3	0,65	2,8
036006P436	2001	0,95	1,18	1,07	1,14
036006P435	2001	1,1	1,25	2,9	1,15
036006P434	2001	5,75	1,34	4,4	1,29
036006P452	2002	2,9	1,91	3,65	1,33
036006P451	2002	3,05	1,77	1,85	1,53
036006P334	2002	19,41	2,3	3,6	1,4
036006P360	2002	0,6	2,4		
036006P157	2002	1,78	2,2	11	1,5
036006P450	2002	3,2	1,84	2,6	1,72
036006P426	2002	3,34	2,7	2,16	2,1
036006P358	2002	1,75	2,4	0,13	2,2
036006P347	2002	0,55	4,8	0,15	3,2
036006P424	2002	2,13	3,2		
036006P448	2002	2	1,82	18,2	1,31
036006P419	2002	1,19	1,8		
036006P449	2002	2,6	2,2	1,85	1,75
036006P422	2002	4,03	3,6		
036006P172	2002	1,25	2,3	2	1,5
036006P416	2002	2,19	3,5	7,3	2,1
036006P363	2002	0,14	2,5		
036006P168	2002	1,09	2	2	1,7
036006P415	2002	1,78	3,5		
036006P127	2002	2,5	2,3		
036006P89	2002	20	2,3	2	1,6
036006P237	2002	3,1	3,3	2,25	2,8
036006P447	2002	1,85	1,51	1,3	1,41
036006P129	2002	2,5	1,4		
036006P420	2002	1,1	2,1	1,6	2
036006P414	2002	1,75	6		
036006P446	2002	2,3	2,35	3,05	1,55
036006P421	2002	1,79	2,5		

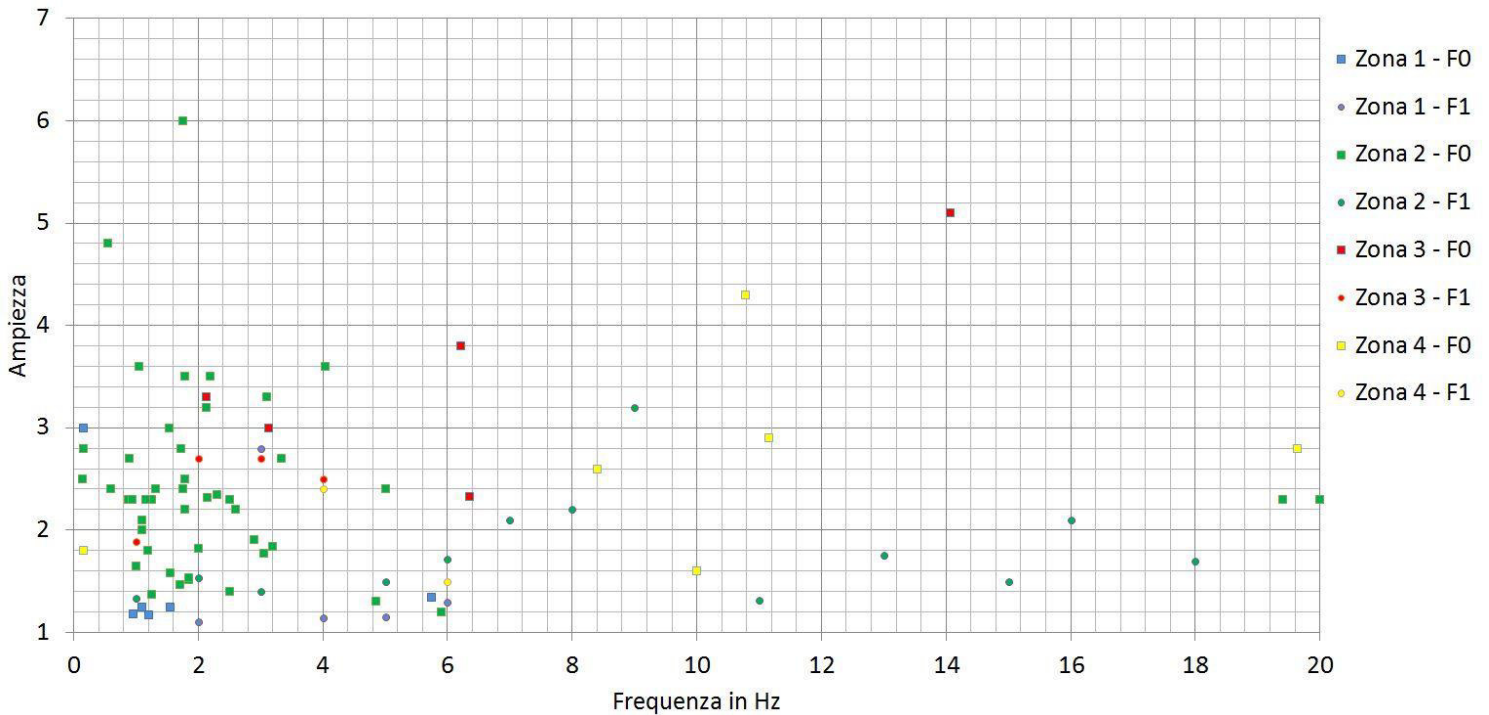
PROVA	MOPS	Picco principale F0		Picco secondario F1	
		Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V	Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V
036006P245	2002	1,72	2,8	6,1	2,2
036006P119	2002	5	2,4	2	2
036006P345	2002	1,05	3,6	0,14	2,8
036006P445	2002	1,85	1,53	17,6	1,45
036006P133	2002	1,16	2,3	3	1,2
036006P444	2002	2,15	2,32	2,6	1,89
036006P443	2002	1,55	1,58		
036006P205	2002	1,31	2,4	9,9	1,4
036006P354	2002	0,9	2,7		
036006P150	2002	1,53	3	4,5	1,1
036006P217	2002	0,88	2,3	2,2	1,7
036006P160	2002	0,94	2,3		
036006P352	2002	0,15	2,8		
036006P442	2002	1,7	1,47		
036006P441	2002	1,25	1,37	1,85	1,34
036006P355	2002	0,16	2,8		
036006P439	2002	4,85	1,3	4,1	1,28
036006P440	2002	5,9	1,2	1,25	1,16
036006P197	2002	1	1,65		
036006P453	2003	6,35	2,33	7,7	1,89
036006P425	2003	6,22	3,8	4,7	2,7
036006P417	2003	2,13	3,3	12,5	2,7
036006P418	2003	14,07	5,1	2,05	2,5
036006P423	2003	3,13	3		
036006P430	2004	8,41	2,6		
036006P342	2004	0,16	1,8		
036006P427	2004	19,63	2,8		
036006P429	2004	11,16	2,9	8,43	2,4
036006P367	2004	10	1,6		
036006P62	2004	10,78	4,3	0,2	1,5

**Tab. 5 – Riepilogo dei risultati delle prove tomografiche a Castelfranco Emilia**

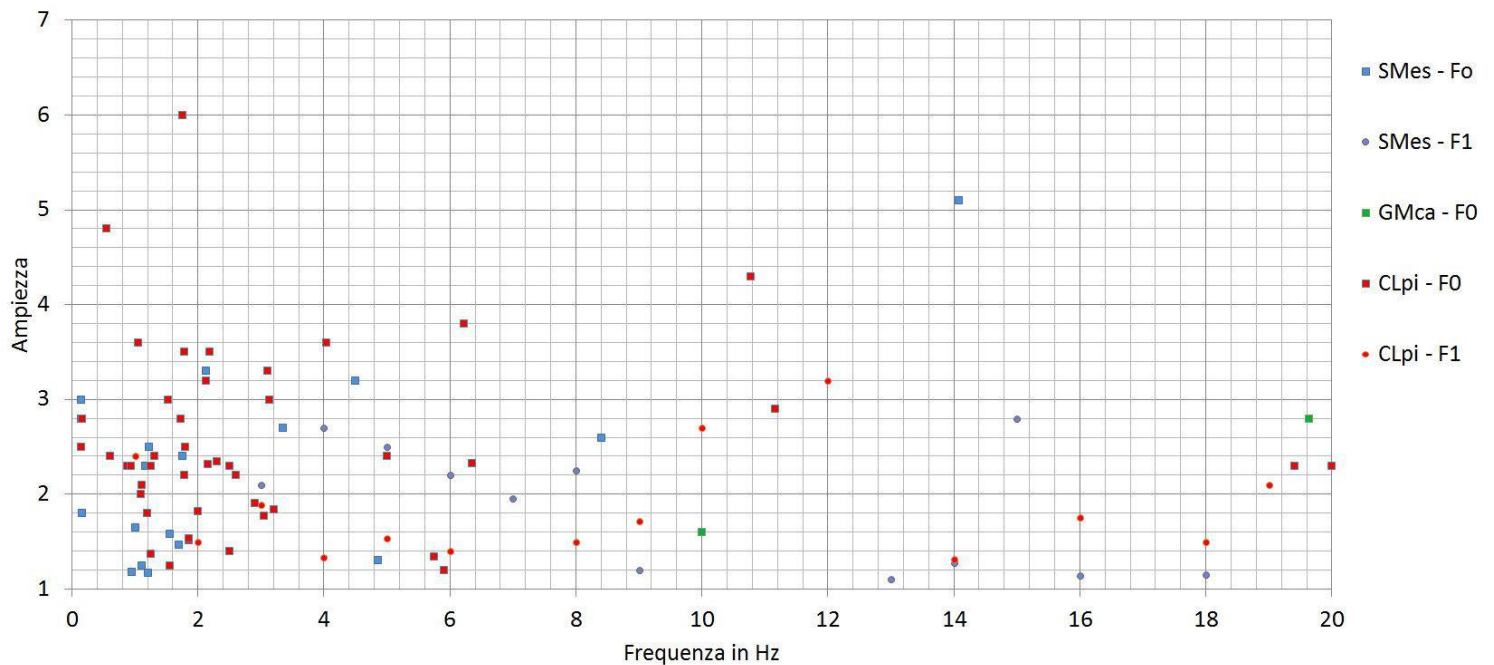
Gli stessi dati sono stati utilizzati per ricostruire i grafici di Fig. 18 e di Fig. 19, con, in ascisse, le frequenze e, in ordinate, le ampiezze. In tali grafici i picchi sono stati disegnati con forma differente a seconda che si tratti di principali ( $F_0$ ) o di secondari ( $F_1$ ), e con colorazioni differenti a seconda dell'appartenenza alle diverse unità definite nelle Carte

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	49 di 69

delle MOPS (per il grafico di Fig. 18) e in quelle geologico-tecniche di (per il grafico Fig. 19).



**Fig. 18 - Picchi principali ( $F_0$ ) e secondari ( $F_1$ ) per prove ricadenti alle diverse unità definite nelle Carte delle MOPS**




**Fig. 19 - Picchi principali ( $F_0$ ) e secondari ( $F_1$ ) per prove ricadenti alle diverse unità definite nelle Carte geologico-tecniche**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

Sulla base dell'esame di Tab. 5 e di Fig. 18, si possono formulare le seguenti osservazioni:

- complessivamente, prendendo in considerazione l'intero territorio comunale, solo 13 picchi presentano alti contrasti di impedenza ( $H/V > 3$ ), mentre i valori di frequenza presentano una certa variabilità, pur mantenendosi, quasi sempre, nel capo inferiore ai 4 Hz;
- delle prove realizzate all'interno della Zona1 solo la prova 036006P350 evidenzia picchi di ampiezza significativa (quello principale pari a 3, alla frequenza di 0,15 Hz e quello secondario pari a 2,8 , alla frequenza di 0,15 Hz), fatto che si può spiegare con un assetto litostratimetrico che, normalmente, non evidenzia particolari superfici di discontinuità, in quanto, per varie decine di metri, sono presenti sedimenti con caratteristiche tessiturali simili, in cui è lecito attendersi solo un aumento graduale di  $V_s$  con la profondità;
- le prove realizzate all'interno della Zona2 evidenziano una concentrazione di picchi, compresi tra 1 e 3 Hz, correlabili con superfici di discontinuità di media profondità (20÷50 m da p.c.), che sembrerebbero coincidere con i primi banchi di depositi a tessitura prevalentemente ghiaiosa; quanto all'interpretazione degli altri picchi a più basse frequenze, essa risulta problematica, in quanto dette frequenze sono correlabili con superfici di discontinuità profonde di individuazione non sempre chiara, con le informazioni litostratimetriche disponibili;
- analogamente a quanto indicato al punto precedente, tra le prove realizzate all'interno della Zona3, si nota che i due picchi di ampiezza maggiore, pari a 5,1 e 3,8, presentano frequenze rispettivamente uguali a 14,07 Hz e 6,22 Hz, anch'esse correlabili con il passaggio tra i terreni fini di copertura e i primi depositi ghiaiosi che, in questa unità, si rinvengono a partire da minore profondità (5÷10 m da p.c);
- sempre all'interno della Zona3, si osservano altri picchi di ampiezza significativa con frequenze di 2,13 e 3,13 Hz, che potrebbero essere anch'essi associati ad un passaggio litologico tra depositi più fini e più grossolani ma che avviene a media profondità, in corrispondenza delle stesse superfici di discontinuità indicate per la Zona2;
- nella Zona4 si osserva un solo picco significativo, con ampiezza 4,3 e frequenza di 10,78 Hz, associabile a una discontinuità con profondità analoga a quelle della Zona3, ma va considerato che, nel presente studio, sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, che normalmente si

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	51 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

registrano quando il passaggio tra i terreni fini di copertura e il primo banco di depositi a tessitura prevalentemente ghiaiosa avviene nei primi metri di sottosuolo.

- non si osserva nessuna corrispondenza tra la distribuzione dei picchi, sia in termini di frequenza che di ampiezza, e le ubicazioni delle prove, cioè, le unità di appartenenza nella Carta geologico-tecnica (a testimoniare che tale zonazione può essere rappresentativa per l'analisi del fenomeno della liquefazione, ma non per l'amplificazione stratigrafica)

#### **8.4 Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica**


Le Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresentano il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

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

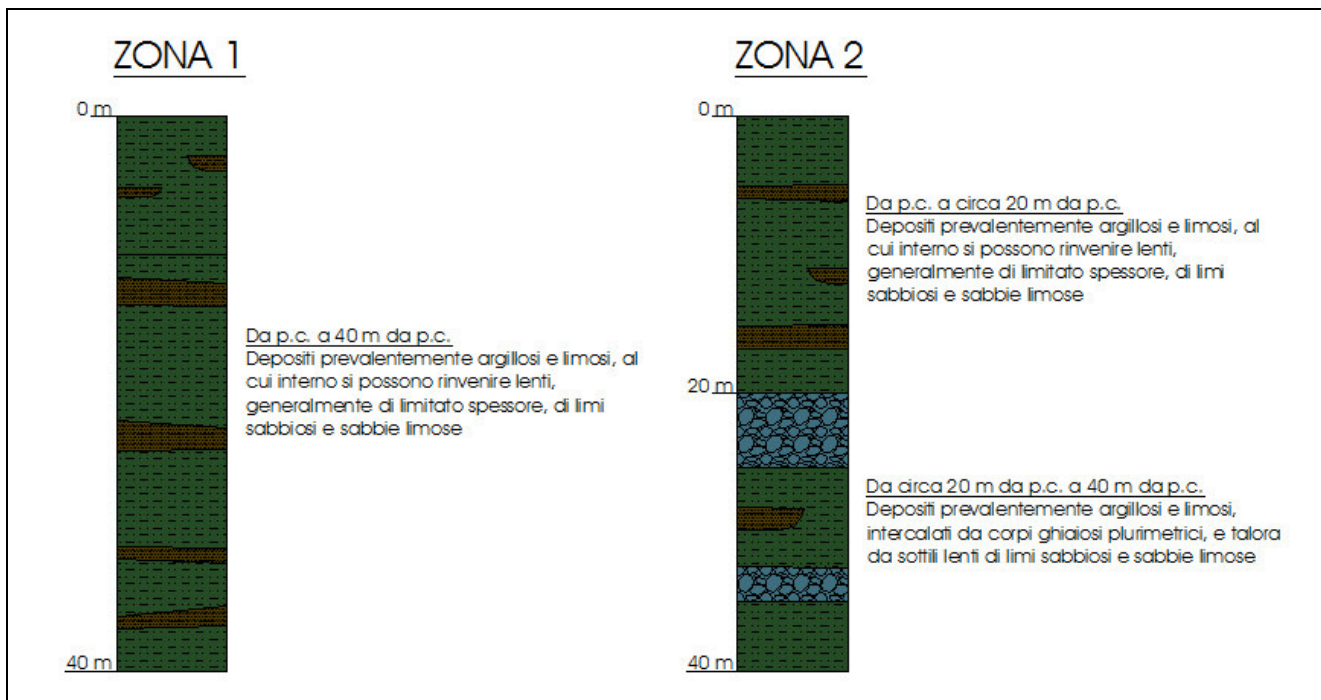
- 1. zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
- 2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.
- 3. zone suscettibili di instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Dalla lettura delle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Castelfranco Emilia, non è mai presente la *categoria 1 - zone stabili*.

Tutte le aree urbanizzate e urbanizzabili risultano appartenenti alla *categoria 2 - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*, all'interno della quale sono state operate ulteriori distinzioni. Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono state identificate le seguenti 4 microzone omogenee, ognuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 40 m di sottosuolo (cfr. Fig. 21):


 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	52 di 69

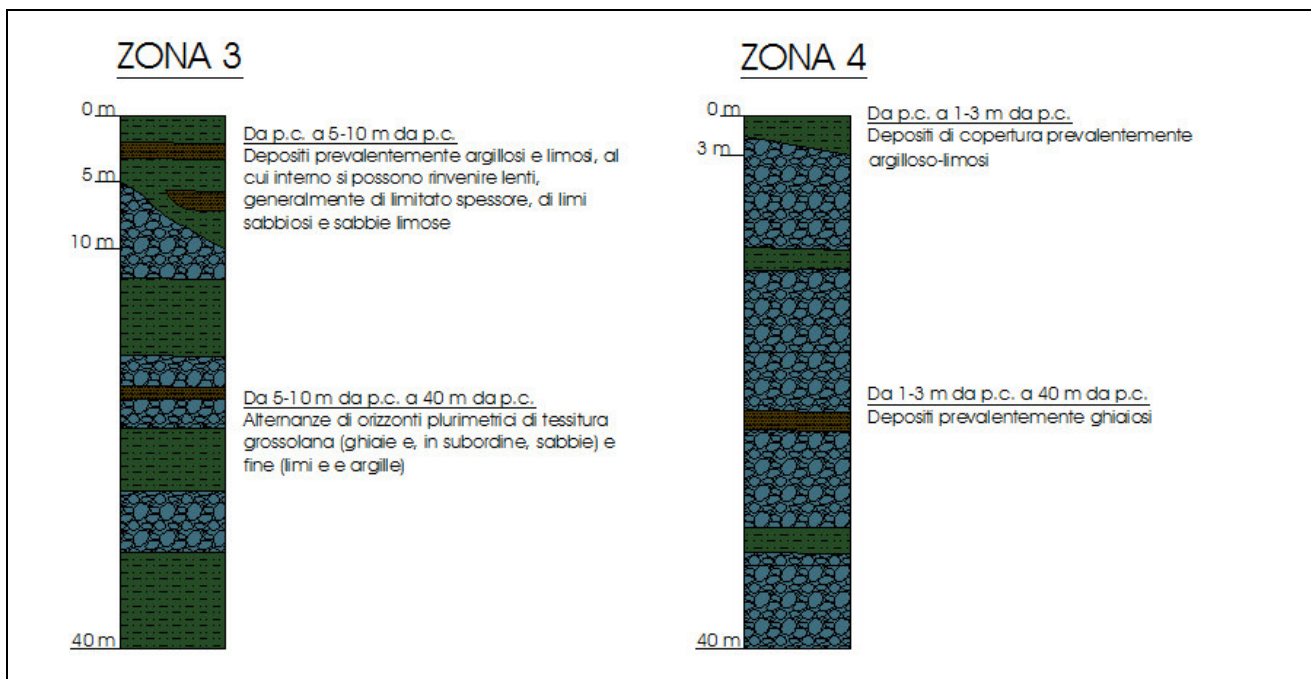
- **Zona 1** – con *successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente fini (limi e argille), talora intercalati da sottili lenti sabbiose e sabbioso-limose*, tipica del settore nord-occidentale del territorio comunale
- **Zona 2** – con *successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente fini (limi e argille), intercalati da corpi ghiaiosi plurimetrici, a partire da una profondità di circa 20 m da p.c., e talora da sottili lenti sabbiose e sabbioso-limose*, tipica e di tutto il settore nord-orientale del territorio comunale



**Fig. 20 – Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone Zona 1 e Zona 2 presenti in Comune di Castelfranco Emilia**

- **Zona 3** – con *successione stratigrafica costituita da una copertura di depositi prevalentemente limoso-argillosi, al cui interno si possono rinvenire sottili lenti sabbiose e sabbioso-limose, sotto la quale, a partire da circa 5÷10 m da p.c., sono presenti alternanze di orizzonti plurimetrici a tessitura grossolana (ghiaie e, in subordine, sabbie) e fine (limi e argille)*, tipica del settore più a sud del Capoluogo
- **Zona 4** – con *successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente ghiaiosi subaffioranti*, tipica dell'estremità meridionale del territorio comunale

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	53 di 69



**Fig. 21 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone Zona 3 e Zona 4 presenti in Comune di Castelfranco Emilia**

Inoltre, recependo quanto indicato nella valutazione della pericolosità sismica contenuta nel Quadro Conoscitivo del PSC Vigente sono state indicate come “*zone di attenzione per instabilità*” (più precisamente, *ZALQ1 - Zone di Attenzione per liquefazioni tipo 1*) le zone del territorio in cui l'analisi geomorfologica e litologica, a firma del dott. geol. Valeriano Franchi, “*ha evidenziato la presenza di dossi/paleodossi e paleoalvei, in cui si presume vi siano consistenti orizzonti sabbiosi*”.

### 8.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, sono state redatte per tutte le aree oggetto di studio delle Carte delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ).


In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tromografica o MASW) e indicando il corrispondente valore di  $V_{sH}$  (in m/s), dove:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$H$  = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato *i*-esimo (fino al *bedrock*)

$V_{s_i}$  = velocità (in m/s) dello strato *i*-esimo (fino al *bedrock*);

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	54 di 69

o di  $V_{s30}$  (sempre in m/s), dove:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m);  
 $V_{s_i}$  = velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m).

A riguardo, in coerenza con quanto già anticipato nel paragrafo 8.2, si sono indicate le  $V_{sH}$  in quei settori di territorio (rappresentati come zona 2 e zona 3 nelle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica), in cui varie prove geofisiche e stratigrafiche permettono di individuare importanti discontinuità delle  $V_s$  con soggiacenze comprese tra 5 e 30 m; mentre, nel resto del territorio comunale, sia che sia presente un potente banco di ghiaie subaffiorante (zona 4) sia dove la successione stratigrafica è costituita da depositi prevalentemente fini (zona 1), sono stati riportati i valori di  $V_{s30}$ .

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa delle misure di velocità delle onde di taglio S a Castelfranco Emilia, indicando, oltre al valore di  $V_{s30}$  e di  $V_{sH}$ , con relativa profondità  $H$ , il tipo di prova effettuata e la sua ubicazione nella Carta delle microzone omogenea in prospettiva sismica:

PROVA	TIPO	MOPS	$V_{s30}$ (m/s)	H (m)	$V_{sH}$ (m/s)
<b>036006P438</b>	HVSR	2001	225		
<b>036006P437</b>	HVSR	2001	188		
<b>036006P435</b>	HVSR	2001	264		
<b>036006P434</b>	HVSR	2001	255		
<b>036006P433</b>	HVSR	2001	274		
<b>036006L29</b>	REMI	2001	203		
<b>036006L30</b>	MASW	2001	202		
<b>036006L37</b>	REMI	2001	214		
<b>036006P452</b>	HVSR	2002	227	11,6	157
<b>036006P451</b>	HVSR	2002	227	14,6	155
<b>036006P334</b>	HVSR	2002	356	19,8	318
<b>036006P157</b>	HVSR	2002	263	21	223
<b>036006P450</b>	HVSR	2002	242	16,3	174
<b>036006P426</b>	HVSR	2002	263	15,6	186
<b>036006P424</b>	HVSR	2002	248	20,4	208
<b>036006P448</b>	HVSR	2002	237	4,3	154
<b>036006P419</b>	HVSR	2002	265	20,2	231
<b>036006P449</b>	HVSR	2002	217	24	192
<b>036006P422</b>	HVSR	2002	267	25,4	246



PROVA	TIPO	MOPS	Vs30 (m/s)	H (m)	VsH (m/s)
036006P172	HVSR	2002	246	19	201
036006P416	HVSR	2002	254	18,3	205
036006P168	HVSR	2002	204	22	175
036006P415	HVSR	2002	213	13,3	157
036006P127	HVSR	2002	325	7,5	217
036006P89	HVSR	2002	231	6	150
036006P413	HVSR	2002	259	9	159
036006P447	HVSR	2002	181	11,2	128
036006P129	HVSR	2002	251	25	231
036006P420	HVSR	2002	271	20,4	237
036006P414	HVSR	2002	222	23,3	195
036006P446	HVSR	2002	205	22	17
036006P421	HVSR	2002	292	22,5	260
036006P245	HVSR	2002	242	25,8	222
036006P412	HVSR	2002	210	25	190
036006P445	HVSR	2002	190	22	160
036006P133	HVSR	2002	251	21	223
036006P444	HVSR	2002	220	31	220
036006P443	HVSR	2002	243	7,8	258
036006P205	HVSR	2002	262	25	241
036006P150	HVSR	2002	272	12	197
036006P217	HVSR	2002	217	25	200
036006P160	HVSR	2002	230	17	180
036006P442	HVSR	2002	202	32,7	202
036006P441	HVSR	2002	222	30	222
036006P439	HVSR	2002	229	6,5	130
036006P440	HVSR	2002	240	5	135
036006P197	HVSR	2002	240	8,8	170
036006L1	MASW	2002	223	12,7	164
036006L3	MASW	2002	259	6,8	154
036006L4	MASW	2002	311	13	173
036006L6	MASW	2002	252	21,4	209
036006L10	MASW	2002	301		
036006L11	MASW	2002	264	17	184
036006L14	MASW	2002	237	14,9	145
036006L15	REMI	2002	290	13,8	161
036006L16	MASW	2002	224	16,2	169
036006L21	MASW	2002	219	9,7	168

PROVA	TIPO	MOPS	Vs30 (m/s)	H (m)	VsH (m/s)
036006L22	MASW	2002	219	7,9	124
036006L23	MASW	2002	196	19,9	174
036006L26	MASW	2002	238	6,9	122
036006L27	MASW	2002	222	10,4	139
036006L31	MASW	2002	272	17,1	188
036006L33	REMI	2002	284	7,5	151
036006L35	REMI	2002	247	12,8	168
036006L38	REMI	2002	213	39	242
036006L39	REMI	2002	222	16,5	140
036006L40	REMI	2002	244	13,4	200
036006L41	REMI	2002	239		
036006L42	REMI	2002	262	14	167
036006L43	REMI	2002	234	7,4	138
036006L44	REMI	2002	288	7	117
036006L45	REMI	2002	309	8,5	110
036006L46	REMI	2002	228	24	258
036006L49	REMI	2002	241	11,5	142
036006L50	REMI	2002	222	13	149
036006P453	HVSR	2003	340	8,5	185
036006P425	HVSR	2003	320	8,4	187
036006P417	HVSR	2003	295	18	233
036006P418	HVSR	2003	320	3,7	161
036006P423	HVSR	2003	277	7,55	168
036006L7	MASW	2003	345	14,6	252
036006L9	REMI	2003	448	7,5	217
036006L12	REMI	2003	272		
036006L13	REMI	2003	272		
036006L17	MASW	2003	316	19	259
036006L18	MASW	2003	254	4,1	118
036006L32	MASW	2003	269	6,9	184
036006L34	REMI	2003	258	20,9	159
036006L36	REMI	2003	299	8	185
036006P428	HVSR	2004	476		
036006P430	HVSR	2004	400		
036006P342	HVSR	2004	390		
036006P427	HVSR	2004	447		
036006P429	HVSR	2004	417		
036006P62	HVSR	2004	567		

PROVA	TIPO	MOPS	Vs30 (m/s)	H (m)	VsH (m/s)
036006L2	MASW	2004	480		
036006L5	REMI	2004	411		
036006L19	MASW	2004	434		
036006L24	MASW	2004	238		
036006L25	MASW	2004	349		
036006L47	REMI	2004	457		
036006L48	REMI	2004	459		

**Tab. 6 - Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S a Castelfranco Emilia**

Dall'esame di Tab. 6, si osserva come, nelle zone in cui si è ragionato in termini di  $V_{sH}$ , accettando un certo margine d'indeterminatezza, sia possibile attribuire i seguenti valori di H e  $V_{sH}$ , necessari per determinare i relativi fattori di amplificazione (come sarà descritto nel successivo paragrafo 8.6):

- Zona 2                      H=20 m               $V_{sH} = 200$  m/s
- Zona 3                      H=10 m               $V_{sH} = 200$  m/s

Per quanto le altre 2 MOPS, nella seguente Tab. 7, sono indicati i valori massimi, minimi e i *range* di Vs30 assunti come rappresentativi e che, anche in questo caso, hanno consentito di determinare i fattori di amplificazione delle rispettive zone.

MOPS	Valori di Vs <sub>30</sub>		
	massimo	minimo	range adottato per determinare il Fa
Zona1	274	188	<275
Zona4	567	238	475-550

**Tab. 7 - Tabella riepilogativa dei valori di Vs<sub>30</sub> relativi alle singole MOPS**

## 8.6 Carte di microzonazione sismica

Gli ultimi elaborati grafici in cui sono riportati i risultati del presente studio sono le Carte dei fattori di amplificazione. In esse viene raffigurata la stima dell'amplificazione effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

PROGETTO	LIVELLO
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

L'amplificazione è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ ) sia di rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ) per prefissati intervalli di periodi. Dove  $PGA_0$  e  $SI_0$  sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento, e  $PGA$  e  $SI$  sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

La scelta dell'abaco per la stima è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo. Considerato quanto indicato nel capitolo 5 e nel paragrafo 8.2, in Comune di Castelfranco Emilia, si sono usate le seguenti tabelle, proposte nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali,

- Tabelle riportate in Tab. 8, relative ad un profilo stratigrafico tipo PIANURA 1, per le porzioni di territorio urbanizzato e urbanizzabile ricadenti in Zona 1 e Zona 4, descritte nel paragrafo 8.4;
- Tabelle riportate in Tab. 9 per le porzioni di territorio urbanizzato e urbanizzabile ricadenti in Zona 2 e Zona 3, descritte nel paragrafo 8.4.

#### F.A. P.G.A.

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0


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

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

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

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.6	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0

**Tab. 8 - Tabelle da utilizzare per la stima di F.A., per PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA in caso caso di profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	59 di 69

## F.A. P.G.A.

$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0
10	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.5	2.2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.3	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
35	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
40	1.7	1.9	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

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


$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.6	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	2.2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.1	1.0
35	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

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


$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0
15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0
20	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
25	2.4	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0
30	2.8	2.8	2.4	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.0
35	3.0	2.9	2.7	2.1	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.0
40	3.1	3.0	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.0

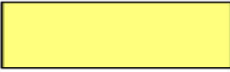







**Tab. 9 - Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO in caso DI substrato non affiorante caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)**

Per quanto riguarda i valori di  $V_{s30}$ ,  $V_{sH}$  e H considerati per il calcolo, tenuto conto di quanto prescritto dagli SRAI, che indicano di redigere, per le Carte di microzonazione sismica, una legenda come quella riportata in Fig. 22, e di quanto emerso dalle indagini e illustrato nel paragrafo 8.5, si sono distinte, le aree oggetto di studio, in 4 tipologie:

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	60 di 69

- Aree con  $V_{s30}$  generalmente minori di 275 m/s (sono quelle che ricadono nella zona 1 raffigurate sulle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica) cui corrisponde l'appartenenza alle seguenti classi di fattori di amplificazione:
  - $F_{a_{PGA}} = 1.7 - 1.8$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 1.9 - 2.0$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} > 2.5$
  
- Aree in cui si possono assumere valori di H e  $V_{sH}$ , rispettivamente pari a 20 m e 200 m/s (sono quelle che ricadono nella zona 2 raffigurata sulle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica) cui corrisponde l'appartenenza alle seguenti classi di fattori di amplificazione:
  - $F_{a_{PGA}} = 2.3 - 2.4$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} > 2.5$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 2.1 - 2.2$
  
- Aree in cui si possono assumere valori di H e  $V_{sH}$ , rispettivamente pari a 10 m e 200 m/s (sono quelle che ricadono nella zona 3 raffigurata sulle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica) cui corrisponde l'appartenenza alle seguenti classi di fattori di amplificazione:
  - $F_{a_{PGA}} = 2.3 - 2.4$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 2.1 - 2.2$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 1.5 - 1.6$
  
- Aree con  $V_{s30}$  generalmente compresi tra 475 e 550 m/s (sono quelle che ricadono nella zona 4 raffigurata sulle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica) cui corrisponde l'appartenenza alle seguenti classi di fattori di amplificazione:
  - $F_{a_{PGA}} = 1.3 - 1.4$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 1.5 - 1.6$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 1.5 - 1.6$

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	61 di 69

<b>Fa</b>	<b>Simbolo</b>
1.1 – 1.2	
1.3 – 1.4	
1.5 – 1.6	
1.7 – 1.8	
1.9 – 2.0	
2.1 – 2.2	
2.3 – 2.4	
≥2.5	

**Fig. 22 – Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

In tutte le tavole di microzonazione sismica di livello 2 sono riportati anche i settori di territorio classificati come *ZALQ1 - Zone di Attenzione per liquefazioni tipo 1* che dovranno essere sottoposte ad approfondimenti di terzo livello.

### 8.7 Commenti finali e criticità

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

Del resto, nei capitoli precedenti, è stato ampiamente evidenziato come l'assetto geologico delle aree indagate sia tale per cui la risposta sismica locale risulti condizionata da vari fattori, spesso di non facile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche, sia già disponibili che reperibili a costi sostenibili.

Pure l'interpretazione delle indagini tomografiche effettuate - che restituiscono curve H/V in cui sono generalmente presenti più picchi, a frequenze associabili a differenti profondità, anche tali da non trovare un riscontro stratigrafico attendibile - non è sempre facile.

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

Ciononostante, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stato possibile effettuare, tramite procedure semplificate, una microzonazione del territorio con attribuzione di differenti fattori di amplificazione.

Considerate le peculiari caratteristiche litostratimetriche rilevate, per tale analisi sono stati utilizzati due diversi approcci: dove la successione stratigrafica, fino ad almeno 40 m da p.c., è costituita da depositi omogenei (prevalentemente ghiaiosi, nell'estremità meridionale del Comune, e fini, in quella nord-occidentale) si è considerata la velocità delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo ( $V_{s30}$ ); nella restante parte del territorio comunale, invece, si è ragionato in termini di profondità (H) e velocità delle onde di taglio ( $V_{sH}$ ) nello strato soprastante quello che "potrebbe" rappresentare un *bedrock* sismico.


Si è così evidenziato, come aspetto più significativo, che quest'ultime zone, all'interno delle quali ricade anche il Capoluogo, presentano fattori di amplificazione molto elevati, in particolare, in termini  $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}}$ , coerenti con il fatto che, nelle stesse aree, le indagini effettuate, spesso, mostrano un'importante discontinuità delle Vs a profondità comprese tra 5 e 30 m da p.c.

Valori particolarmente alti, ma più in termini di  $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}}$ , si hanno anche all'estremità nord-occidentale del territorio comunale, conseguenza della presenza di depositi fini cui corrispondono  $V_{s30}$  generalmente minori di 275 m/s. Essi, invece, risultano minimi in corrispondenza dell'abitato di Piumazzo, dove la presenza di un potente banco di ghiaie subaffiorante comporta il fatto che le  $V_{s30}$  siano normalmente comprese tra 475 e 550 m/s.

A fronte delle sopradescritte criticità, si raccomanda che, in fase progettuale, si tenga conto delle indicazioni di pericolosità fornite, e, nello specifico, per quanto riguarda le aree in cui sono stati calcolati  $F_a$  maggiori 2.3, sia valutato con attenzione se possa essere ritenuto sufficiente un approccio di tipo semplificato (probabilmente con utilizzo del profilo E) o sia preferibile effettuare un'analisi della risposta sismica locale.

Inoltre, si auspica che nelle stesse aree possa essere effettuato un approfondimento di terzo livello, di iniziativa pubblica, che, tra le altre cose, contribuirebbe a dare più chiarezza circa la vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio esistente e a verificare la validità del modello interpretativo applicato.

Quanto al rischio di liquefazione recependo quanto indicato nella valutazione della pericolosità sismica contenuta nel Quadro Conoscitivo del PSC Vigente, sono state indicate come "*zone di attenzione per instabilità*" (più precisamente, *ZALQ1 - Zone di Attenzione per liquefazioni tipo 1*) le zone del territorio in cui l'analisi geomorfologica e litologica, a firma del dott. geol. Valeriano Franchi, "*ha evidenziato la presenza di dossi/paleodossi e paleoalvei, in cui si presume vi siano consistenti orizzonti sabbiosi*" in cui andranno effettuati approfondimenti di terzo livello.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	63 di 69

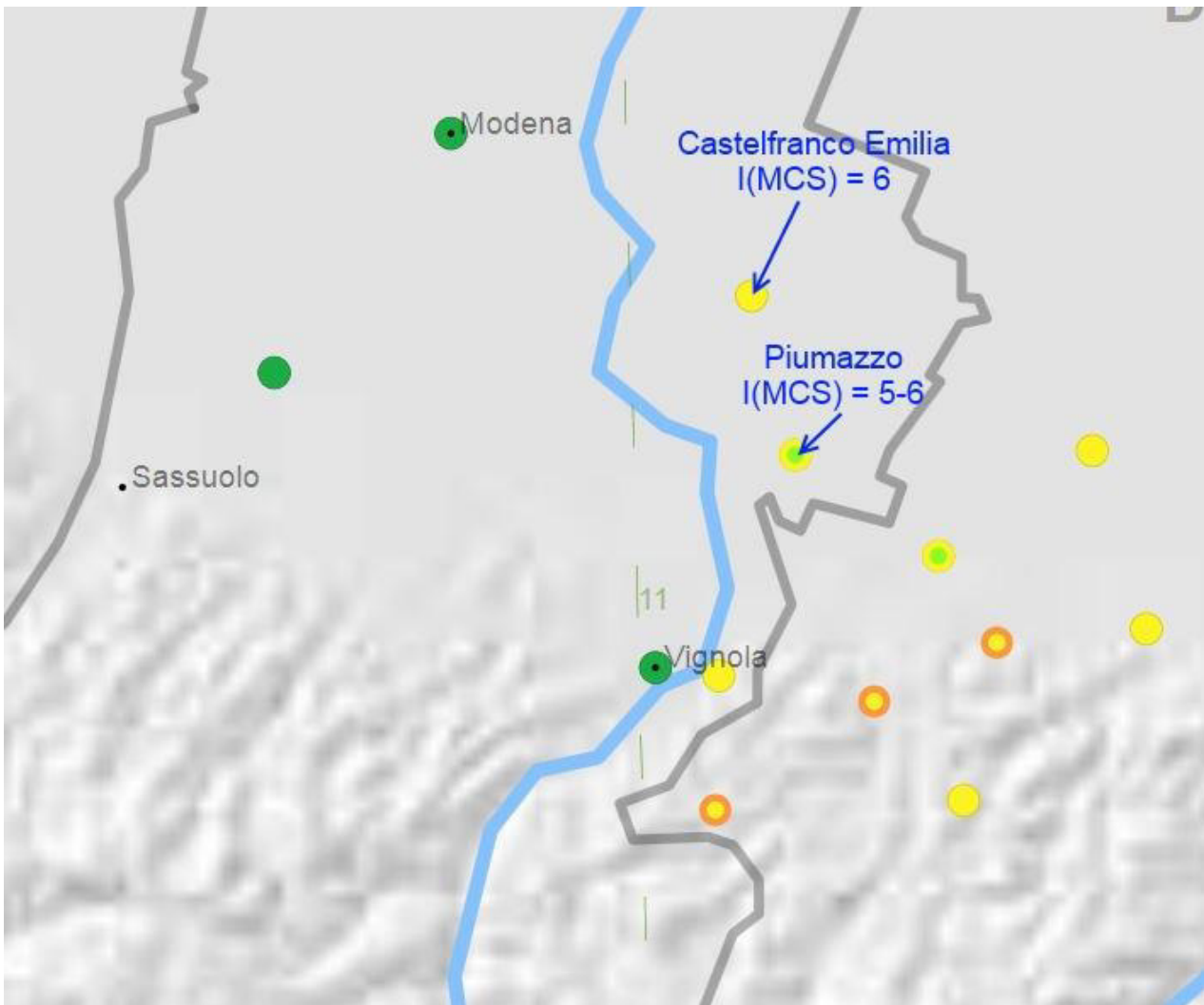


**9. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**


In Comune di Castelfranco Emilia, non è stato possibile effettuare un’analisi della distribuzione dei danni degli eventi sismici avvenuti in passato, in quanto, relativamente a tale tematica, non sono stati trovati documenti specifici.

A riguardo, le uniche informazioni interessanti possono essere desunta dalla consultazione di DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano, nel quale sono considerate 2 località ricadenti all’interno del territorio comunale: Castelfranco Emilia e Piumazzo.


In particolare, osservando gli effetti prodotti dai terremoti in queste due siti si deve notare come essi, in occasione del terremoto del 22 aprile 1929, con epicentro nel bolognese, siano stati maggiori nel Capoluogo, dove si è registrata un’intensità I(MCS) pari a 6, contro i 5-6 di Piumazzo (cfr Fig. 23).



**Fig. 23 - Distribuzione degli effetti, espressi in I(MCS), del sisma del 22/4/1929**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	64 di 69


Tale diversità potrebbe essere dovuta al fatto che, nel settore centrale e settentrionale del territorio comunale, in coerenza con quanto emerso nel presente studio, vi sia stata, per motivi stratigrafici, una maggiore amplificazione rispetto a quanto avvenuto all'estremità meridionale.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	65 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento


## 10. BIBLIOGRAFIA

- Albarelo D., Castellaro S. (2011): TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 - 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- Baldi M., Baldini U., Bevivino R., Castagnetti S., Daminelli R., Gianferrari C., Marcellini A., Martelli L. e Tinto A. (2010): UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato
- Crespellani T., Facciorusso J., Ghinelli A., Madiati C., Renzi S., Vannucchi G. (2012): RAPPORTO PRELIMINARE SUI DIFFUSI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE VERIFICATISI DURANTE IL TERREMOTO IN PIANURA PADANA EMILIANA DEL MAGGIO 2012. Rapporto 31 maggio 2012. <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro>
- Facciorusso J., Madiati C., Vannucchi G. (2012): RISPOSTA SISMICA LOCALE E PERICOLOSITÀ DI LIQUEFAZIONE A S. CARLO E MIRABELLO. Rapporto 3 ottobre 2012. <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro>
- Fioravante V. e Giretti D. (2012): IL CASO DI SANT'AGOSTINO-SAN CARLO. <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/speciale-terremoto>
- Franchi V. e Asti S. (2003): RELAZIONE GEOLOGICA E AMBIENTALE, Piano Strutturale Comunale di Castelfranco Emilia (MO), Quadro Conoscitivo Preliminare - Sistema Naturale ed Ambientale
- Franchi V. (2003): VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALEE ATTESTAZIONE DI IDONEITÀ ALL'EDIFICAZIONE Quadro Conoscitivo Preliminare - Sistema Naturale ed Ambientale
- Gruppo di lavoro MS (2008): INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd [http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)
- Locati M., Camassi, R. e Stucchi M. (a cura di) (2011): DBMI11, LA VERSIONE 2011 DEL DATABASE MICROSISMICO ITALIANO. Milano, Bologna <http://Emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- Marcellini A., Martelli L, Tinto A., Daminelli R. (2009): L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA"

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	66 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento


- Martelli L. (2011): Quadro sismotettonico dell'Appennino emiliano-romagnolo e della Pianura Padana centrale. Atti del 30° convegno nazionale GNGTS, Trieste 14-17 novembre 2011, sessione 1.2, 152-156
- Meletti C. e Valensise G., (2004): ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004).Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici
- Pieri M. e Groppi G. (1981). SUBSURFACE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE PO PLAIN. Pubbl.414, PF Geodinamica. C.N.R. pp. 23
- RER (2013): MICROZONAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA DELLE AREE EPICENTRALI DEI TERREMOTI DELLA PIANURA EMILIANA DI MAGGIO-GIUGNO 2012 (ORDINANZA DEL COMMISSARIO DELEGATO – PRESIDENTE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA n. 70/2012). A cura di Luca Martelli e Maria Romani, con contributi di Vincenzo Fioravante, Daniela Giretti, Giovanna Laurenzano, Claudia Madaia, Antonella Manicardi, Marco Mucciarelli, Enrico Priolo e Giovanni Vannucchi
- RER & ENI-Agip (1998): RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. A cura di G. M. Di Dio. Regione Emilia-Romagna, ufficio geologico – ENI-Agip, Divisione Esplorazione & Produzione. S.EL.CA., Firenze, pp 120
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000 (2004) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Firenze
- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
- MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) – Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 – FOGLI 201-“Modena”, 202-“San Giovanni in Persiceto” e 220-“Casalecchio di Reno”

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	67 di 69

## 11. ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici (tutti alla scala 1:10.000):


- *Tav. 1.1 - Carta delle indagini - Ambito A\_1 Castelfranco Emilia*
- *Tav. 1.2 - Carta delle indagini - Ambito A\_2 Gaggio*
- *Tav. 1.3 - Carta delle indagini - Ambito A\_3 Manzolino*
- *Tav. 1.4 - Carta delle indagini - Ambito A\_4 Rastellino*
- *Tav. 1.5 - Carta delle indagini - Ambito A\_5 Piumazzo*
- *Tav. 2.1 - Carta geologico tecnica - Ambito A\_1 Castelfranco Emilia*
- *Tav. 2.2 - Carta geologico tecnica - Ambito A\_2 Gaggio*
- *Tav. 2.3 - Carta geologico tecnica - Ambito A\_3 Manzolino*
- *Tav. 2.4 - Carta geologico tecnica - Ambito A\_4 Rastellino*
- *Tav. 2.5 - Carta geologico tecnica - Ambito A\_5 Piumazzo*
- *Tav. 3.1 - Carta delle frequenze naturali dei terreni - Ambito A\_1 Castelfranco Emilia*
- *Tav. 3.2 - Carta delle frequenze naturali dei terreni - Ambito A\_2 Gaggio*
- *Tav. 3.3 - Carta delle frequenze naturali dei terreni - Ambito A\_3 Manzolino*
- *Tav. 3.4 - Carta delle frequenze naturali dei terreni - Ambito A\_4 Rastellino*
- *Tav. 3.5 - Carta delle frequenze naturali dei terreni - Ambito A\_5 Piumazzo*
- *Tav. 4.1 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica - Ambito A\_1 Castelfranco Emilia*
- *Tav. 4.2 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica - Ambito A\_2 Gaggio*
- *Tav. 4.3 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica - Ambito A\_3 Manzolino*
- *Tav. 4.4 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica - Ambito A\_4 Rastellino*
- *Tav. 4.5 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica - Ambito A\_5 Piumazzo*
- *Tav. 5.1 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) - Ambito A\_1 Castelfranco Emilia*
- *Tav. 5.2 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) - Ambito A\_2 Gaggio*
- *Tav. 5.3 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) - Ambito A\_3 Manzolino*
- *Tav. 5.4 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) - Ambito A\_4 Rastellino*
- *Tav. 5.5 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) - Ambito A\_5 Piumazzo*
- *Tav. 6.1 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{PGA}$  - Ambito A\_1 Castelfranco Emilia*
- *Tav. 6.2 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{PGA}$  - Ambito A\_2 Gaggio*
- *Tav. 6.3 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{PGA}$  - Ambito A\_3 Manzolino*
- *Tav. 6.4 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{PGA}$  - Ambito A\_4 Rastellino*
- *Tav. 6.5 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{PGA}$  - Ambito A\_5 Piumazzo*
- *Tav. 7.1 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{IS 0,1 - 0,5 s}$  - Ambito A\_1 Castelfranco Emilia*
- *Tav. 7.2 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{IS 0,1 - 0,5 s}$  - Ambito A\_2 Gaggio*

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	68 di 69

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA</b> Studio di microzonazione sismica	Secondo livello di approfondimento

- *Tav. 7.3 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$  - Ambito A\_3 Manzolino*
- *Tav. 7.4 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$  - Ambito A\_4 Rastellino*
- *Tav. 7.5 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$  - Ambito A\_5 Piumazzo*
- *Tav. 8.1 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$  - Ambito A\_1 Castelfranco Emilia*
- *Tav. 8.2 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$  - Ambito A\_2 Gaggio*
- *Tav. 8.3 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 -  $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$  - Ambito A\_3 Manzolino*
- *Tav. 8.4 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 - -  $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$  - Ambito A\_4 Rastellino*
- *Tav. 8.5 - Carta di microzonazione sismica Livello 2 - -  $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$  - Ambito A\_5 Piumazzo*

Inoltre, alla presente relazione, è allegato il documento “*Elaborazione prove tromografiche (HVSR)*”, in cui sono riportati tutti i report delle nuove indagini sismiche effettuate.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Marzo 2015	0	69 di 69