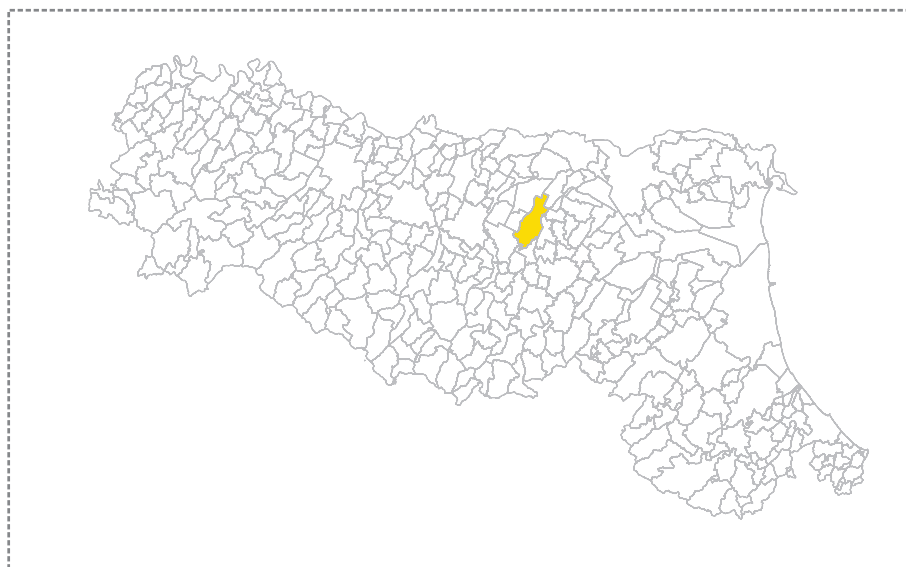


Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009. n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia Romagna
Comune di San Giovanni in Persiceto



<p>Regione REGIONE EMILIA ROMAGNA</p>	<p>Soggetto realizzatore COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO</p> <p>Progettista: Dr. Geol. Matteo Collareda Dr. Geol. Giovanni Ronzani</p> <p>Collaboratore: Dr.ssa Geol. Claudia Tomassoli</p>	<p>Data Agosto 2014</p> <p>INTEGRAZIONI: Luglio 2015</p>
---	---	--

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	GENERALITÀ	3
3	ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA	5
3.1	Inquadramento geologico.....	5
3.2	Inquadramento geomorfologico	9
3.3	Inquadramento idrografico	11
3.4	Inquadramento idrogeologico.....	12
4	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO 15	
4.1	Inquadramento sismotettonico generale	15
4.2	Neotettonica e sismicità storica.....	17
4.3	Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche	23
4.4	Zonazione sismica nazionale	29
4.5	Pericolosità sismica di riferimento	31
5	MICROZONAZIONE SISMICA. PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITÀ	33
5.1	Introduzione	33
5.2	La natura del problema.....	33
5.3	Finalità e livelli di approfondimento.....	35
6	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI DA INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE	36
6.1	Indagini pregresse e di nuova realizzazione	36
6.2	Dati pregressi di interesse stratigrafico e relativa elaborazione	36
6.3	Metodologia di elaborazione delle nuove indagini	36
6.3.1	Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	36
6.3.2	Indagine sismica di tipo passivo in <i>array</i> (Re.Mi.)	39
6.4	Modello geosismico del sottosuolo. Interpretazione e incertezze.....	49
7	ELABORATI CARTOGRAFICI	52
7.1	Carta delle indagini.....	52
7.2	Carta geologico-tecnica.....	52
7.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1).....	54
7.4	Carta di microzonazione sismica di Livello 2.....	58
7.5	Carta delle frequenze	59
7.6	Microzonazione Sismica - Carta delle Vs.....	61
8	COMMENTI FINALI E CRITICITÀ	62
9	REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE	63
10	BIBLIOGRAFIA	65
11	ALLEGATI FUORI TESTO	65

1 INTRODUZIONE

Tra i principali compiti che la Regione Emilia Romagna svolge in materia ambientale e di governo del territorio vi è quello di pianificare e programmare strumenti diretti alla mitigazione dei rischi naturali e antropici con l'obiettivo di favorire trasformazioni positive nella vita delle persone e una migliore sostenibilità ambientale.

I rischi naturali possono essere mitigati attraverso azioni preventive, come la corretta gestione del territorio da parte delle amministrazioni competenti: attendere un evento sismico per intervenire in fase di emergenza, aumenta esponenzialmente il costo di gestione degli interventi e delle successive ricostruzioni. Al contrario, agire in modo preventivo ridurrebbe i costi di gestione delle fasi successive all'evento.

Procedere in modo preventivo, quindi, significa sviluppare una serie di norme, linee guida e comportamenti operativi/educativi finalizzati alla gestione dei rischi naturali, alla riduzione generale dei costi sociali e della loro ricaduta sulla popolazione.

La Regione Emilia Romagna, da diversi anni, ha attivato una serie di iniziative di tipo normativo e tecnico-operativo per conseguire efficaci progressi sulla conoscenza dei fenomeni naturali del proprio territorio legati alla geologia, con l'obiettivo di attivare azioni efficaci in materia di riduzione dei rischi naturali, con particolare riguardo al rischio sismico.

Gli studi preventivi in campo sismico permettono di identificare aree in cui la pericolosità sismica raggiunge livelli che possono pregiudicare la sostenibilità del territorio, sia in termini di vite umane, sia economici e sia di degrado ambientale.

Per Microzonazione Sismica (di seguito definita MS) si intende la valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo.

In sostanza, la MS individua e caratterizza le Zone stabili, le Zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le Zone suscettibili di instabilità. È ormai noto che lo stesso evento sismico può provocare scuotimenti decisamente differenti a seconda degli spessori e delle qualità dei terreni posti a copertura del *bedrock* e delle caratteristiche morfologiche del sito. È, inoltre, riconosciuto che gli effetti di un terremoto variano col variare delle condizioni geologiche in cui esso si sviluppa.

Le caratteristiche geologiche del territorio possono alterare localmente e in maniera evidente l'azione sismica. Recentemente, anche in Italia (ad esempio Umbria-Marche, 1997 - Salò, 2004 - L'Aquila, 2010 - Modenese, 2012), sono stati evidenziati livelli di danneggiamento estremamente diversi in edifici ubicati a breve distanza tra loro e aventi all'incirca le stesse caratteristiche strutturali. In alcune di queste località (ad esempio Umbria-Marche, 1997) sono state effettuate registrazioni accelerometriche durante un *aftershock*, che hanno mostrato come i livelli di scuotimento su siti in pianura su terreni sciolti siano stati amplificati di oltre il doppio rispetto a siti su roccia e abbiano avuto una durata molto più lunga.

Gli studi di MS hanno l'obiettivo di razionalizzare la conoscenza di questi fenomeni restituendo informazioni utili per chi deve pianificare o realizzare interventi sul territorio.

2 GENERALITÀ

La MS è uno strumento molto utile ai fini della prevenzione sismica e della valutazione del rischio sismico, per il governo del territorio, per la progettazione e per la pianificazione per l'emergenza. La MS ha lo scopo di riconoscere a una scala sufficientemente grande (scala comunale o subcomunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

In sostanza, lo studio di MS viene sintetizzato in una carta del territorio nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti fenomeni di deformazione permanente del territorio, attivi o potenzialmente inducibili/attivabili in caso di sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi, gli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità e impegno crescenti, passando dal Livello 1 fino al Livello 3:

- il **Livello 1** è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle zone sopra descritte;
- il **Livello 2** si propone di quantificare l'effetto sismico proprio di ogni zona omogenea individuata nel Livello 1, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessario, e definisce la Carta di Microzonazione Sismica;
- il **Livello 3** restituisce una Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Tali studi sono di fondamentale importanza nella pianificazione al fine di:

- orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti;
- definire gli interventi ammissibili in una data area;
- programmare le indagini e i livelli di approfondimento;
- stabilire gli orientamenti e le modalità di intervento nelle aree urbanizzate;
- definire le priorità di intervento.

Nella pianificazione d'emergenza, sia di livello comunale che provinciale, gli studi di MS consentono una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di un piano di emergenza e, in generale, delle risorse di protezione civile.

La conoscenza dei possibili effetti locali indotti da un evento sismico su un territorio contribuisce a:

- scegliere opportunamente le aree in cui si dovranno posizionare le strutture di emergenza e gli edifici strategici;
- individuare le strutture e le infrastrutture che necessitano di specifiche analisi, per definirne il grado di adeguamento necessario ad evitarne il collasso in caso di sisma e, quindi, per non compromettere le loro funzioni di pubblica utilità.

Il presente studio, affidato con Determina d'incarico n°71 del 28/01/2014 dal Comune di San Giovanni in Persiceto, è stato svolto a un Livello 2 di approfondimento, secondo:

- gli Indirizzi e criteri per la MS approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 13/11/2008 e s.m.i.;
- la D.G.R. della Regione Emilia Romagna n°1919 del 2013;
- gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Protezione Civile versione 3.0 dell'ottobre 2013.

A tal riguardo, sono state effettuate delle **misurazioni geofisiche su tutto il territorio comunale**, in modo da ottenere informazioni dettagliate sulla risposta sismica locale, necessaria per definire con maggior cura lo studio di MS.

Infine, è stata condotta l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) che è parte integrante dello studio di MS richiesto dal Comune di San Giovanni in Persiceto.

I risultati del Livello 2 possono offrire elementi conoscitivi utili per l'adeguamento o il miglioramento di opere esistenti, e per la realizzazione di quelle nuove, orientando il progettista nella scelta degli approfondimenti specifici da eseguire.

3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico

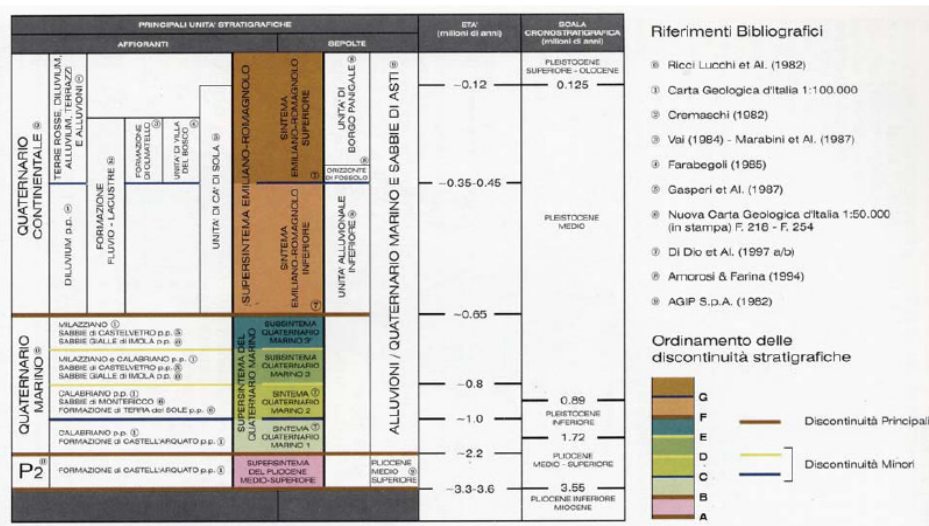
Il territorio del comune di San Giovanni in Persiceto ricade nell'area di media e bassa pianura bolognese, in un settore deposizionalmente influenzato in prevalenza dalle alluvioni del fiume Reno e dei suoi affluenti Samoggia e Lavino, e presenta una morfologia estremamente regolare, con quote che variano da sud verso nord da circa 35 m a circa 15 m s.l.m..

Nell'area sono presenti pochi rilievi, con elevazioni modeste di alcuni metri rispetto alle aree di piana circostante. In parte sono di origine antropica, argini dei corsi d'acqua, ponti, rilevati stradali e ferroviari mentre quelli di origine naturale corrispondono a dossi di sistemi argine-canale. Quest'ultimi sono, in parte, sede di strade e centri abitati in quanto sono le aree a minor rischio di alluvionamento.

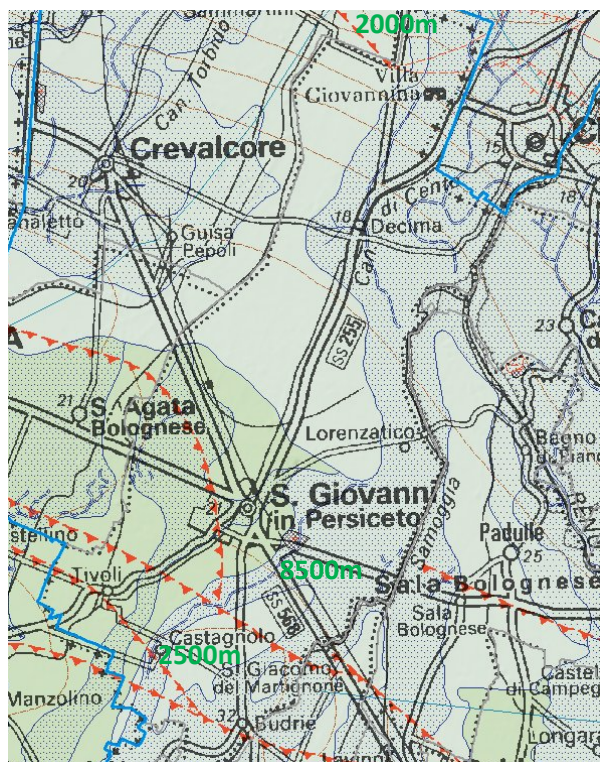
Il sottosuolo nell'area del perimetro comunale è costituito da alternanze di sabbie, limi e argille di origine alluvionale di età Pleistocene medio-Olocene. Si distinguono due cicli deposizionali di ordine maggiore: il sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI), di età tra 700.000/650.000 anni e 450.000/400.000 anni, e il sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) di età compresa tra 450.000/400.000 anni e l'attuale (RER&ENI-Agip, 1998).

La successione continentale poggia generalmente su un substrato costituito da depositi marini e transizionali del Pleistocene inferiore e medio, riferibili alle sabbie gialle o sabbie di Imola del margine appenninico-padano (RER&ENI-Agip, 1998).

A profondità maggiori è presente la sottostante successione pliocenica; a seguire è riportato lo schema stratigrafico descritto, tratto dalla relazione "QC.6/R Suolo-sottosuolo e acque" allegata al PSC Terre d'acqua (approvato in data 07/04/2011) ove sono riportati anche i riferimenti bibliografici delle singole unità.



La profondità della base del Pliocene è dedotta dalla carta geologica di scala 1:50.000 (regione Emilia-Romagna) ove sono riportate le isolinee relative alla base dello stesso. Questi spessori variano da un massimo di circa 8.500-7.500 m nella parte centrale, tra il capoluogo e San Matteo della Decima (zona di una estesa depressione), e sino a minimi di circa 2.000-2500 m nelle porzioni a sud e sud-ovest del capoluogo e presso il limite nord. Le riduzioni degli spessori sono legate alla presenza di sovrascorrimenti profondi di età post-tortoniano, riferibili alla catena appenninica (pieghe ferraresi e pieghe romagnole). I valori limite sopra esposti sono sovrassegnati in verde sullo stralcio della Carta Geologica riportata a seguire.



Sulla base della Carta Geologica in scala 1:10.000, della carta Geologica in scala 1:50.000 e delle relative note illustrative sopra indicate, per l'area in esame risulta la seguente successione geologica e litologica di dettaglio della porzione più superficiale:

- Sintema Emiliano Romagnolo Superiore, subsintema di Ravenna; sigla: AES8. La totalità dei depositi affioranti nell'area in esame appartengono a questo sintema. Questa unità si sviluppa in condizioni di piana alluvionale e rappresenta l'intero spessore dei sedimenti depositi nell'ultimo postglaciale. Questi sedimenti sono riferibili a depositi di argine, rotta e di piana inondabile e sono prevalentemente fini, con fuso granulometrico dalla sabbia media all'argilla. In ampie porzioni affioranti sono stati ritrovati insediamenti romani e dell'età del Ferro e del Bronzo, e tracce della centuriazione romana (assenti in AES8a). Età: 14.000 anni - attuale.
- Unità di Modena; sigla: AES8a. Si tratta di una unità entro il sopracitato subsintema di Ravenna, di rango gerarchico inferiore. Questa contiene i depositi più superficiali e più recenti presenti nell'area in esame, compresi quelli attualmente in evoluzione. Questa unità appoggia, in discontinuità, sul suolo di epoca romana. Gli spessori risultano variare da circa 8-12 metri di massimo in prossimità del fiume Reno, e diminuiscono verso ovest. Età: post IV sec. d.C. - attuale (attribuzione archeologica).

Dal punto di vista litologico i depositi presenti nell'area sono così distinti:

- Depositi di piana inondabile di area interfluviale (ambiente di piana alluvionale). Tessitura prevalente: argille limose (AL) e limi argillosi (LA).
- Depositi di canale, argine o rotta fluviale (ambiente di piana alluvionale). Tessitura prevalente: limi sabbiosi (LS) e limi argilloso-sabbiosi (LAS).

Sulla scorta di quanto descritto nella relazione “Suolo-sottosuolo e acque” del quadro conoscitivo del PSC Terre d’acqua (QC.6/R) e rappresentato nelle tavole “Litologia di Superficie” (QC.6/t1) è possibile distinguere e delineare, nell’intero territorio comunale, lo sviluppo della *litologia di superficie*, ovvero la litologia che caratterizza il terreno alla profondità di circa un metro dal piano campagna, con esclusione del suolo e del terreno vegetale superficiale.

Per la redazione dei documenti sopracitati sono state utilizzate:

- Carta geomorfologica della pianura padana 9, in scala 1:250.000 realizzata a partire da un grande numero di elaborati precedenti, appartenenti a vari autori, riferibili all’area in esame;
- Carta della litologia superficiale, ad opera di Pellegrini et al., 1980, interessante il territorio della pianura emiliana, utile soprattutto nella distinzione tra terreni limosi ed argillosi, altrimenti impossibile in alcune delle aree studiate per mancanza di altri dati;
- Tavole delle litologie superficiali, redatte nel contesto del Piano Strutturale Comunale dell’associazione comunale Terre di Pianura;
- Carta della litologia e dei paleoalvei, allegata al P.R.G. comunale vigente (1986) in scala 1:25.000.

All’interno del territorio comunale sono state riconosciute tre differenti classi granulometriche:

- sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi;
- limi e terreni prevalentemente limosi;
- argille e terreni prevalentemente argillosi.

I litotipi presenti sono costituiti da un insieme di orizzonti lentiformi che sfumano più o meno gradualmente tra loro e che evidenziano una distribuzione non omogenea, ma legata alle passate evoluzioni idrografiche dei fiumi e corsi d’acqua che hanno generato il territorio.

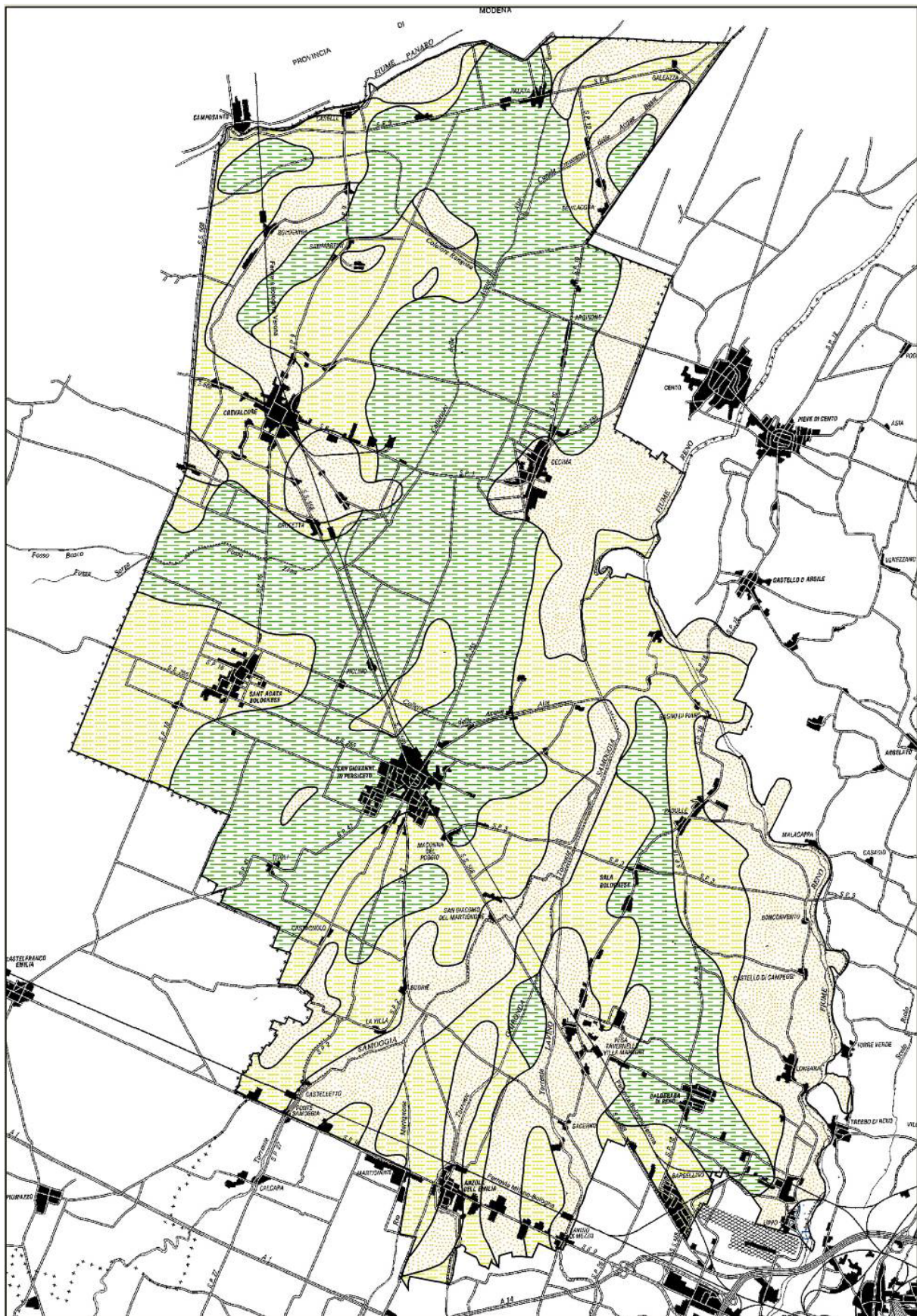
Osservando l’area nel suo insieme, si riscontra che i litotipi maggiormente rappresentati sono quelli a granulometria medio-fine, argillosi e limosi.

Lungo le aste dei corsi d’acqua, compresi gli alvei relitti, sono presenti litologie più grossolane, generalmente sabbiose; i materiali ghiaiosi sono molto rari, e si concentrano al margine meridionale del territorio dell’associazione, in una modestissima area appartenente all’alveo del fiume Reno. Allontanandosi dalle aste dei corsi d’acqua principali, prevalgono litologie fini, sia argillose che limose.

In pratica, la gran parte del territorio indagato occupa un’area di media e bassa pianura a litologia fine, nella quale si inseriscono i modesti rilievi costituiti da alvei e paleoalvei dei corsi d’acqua locali, caratterizzati dalla presenza di depositi superficiali sabbiosi; questa situazione deve considerarsi normale in un’area di bassa media e pianura caratterizzata dalla divagazione laterale di corsi d’acqua aventi alvei poco acclivi.

Si riporta, di seguito, un estratto su base semplificata della Carta della litologia di superficie (QC.6/t1) del quadro conoscitivo del PSC Terre d’acqua (QC.6/R).

In allegato, è inoltre riportata la carta propedeutica alla redazione della carta geologico-tecnica dell’area in esame con i relativi riferimenti cartografici ed elaborazioni di indagini geognostiche eseguite sul territorio.



3.2 Inquadramento geomorfologico

Con riferimento a quanto descritto nella relazione “Suolo-sottosuolo e acque” del quadro conoscitivo del PSC Terre d’acqua (QC.6/R) e rappresentato nelle tavole “Geomorfologia” QC.6/t2, è possibile osservare come gli elementi principali che caratterizzano la morfologia del territorio sono rappresentati dalle forme e depositi fluviali e, in epoca più recente, dall’intervento dell’uomo.

Per la redazione della carta “Geomorfologia” (Tavole QC.6/t2) sono state utilizzati i seguenti documenti:

- Geomorfologia ed evoluzione recente della pianura padana 10;
- Carta geomorfologica della pianura padana, AAVV;
- Carta geomorfologica, Bergonzoni A. e Elmi C;
- Geologia del territorio di pianura del comune di Bologna.

L’area in esame è caratterizzata dalla presenza di strisce rilevate, dette *dossi*, corrispondenti ad alvei antichi o attuali pensili sulla pianura circostante e da zone morfologicamente depresse, dette *valli*, all’interno delle quali l’acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica. I dossi e i paleodossi sono di forma generalmente allungata e sinuosa, poco rilevanti e dolcemente raccordanti alle superfici adiacenti.

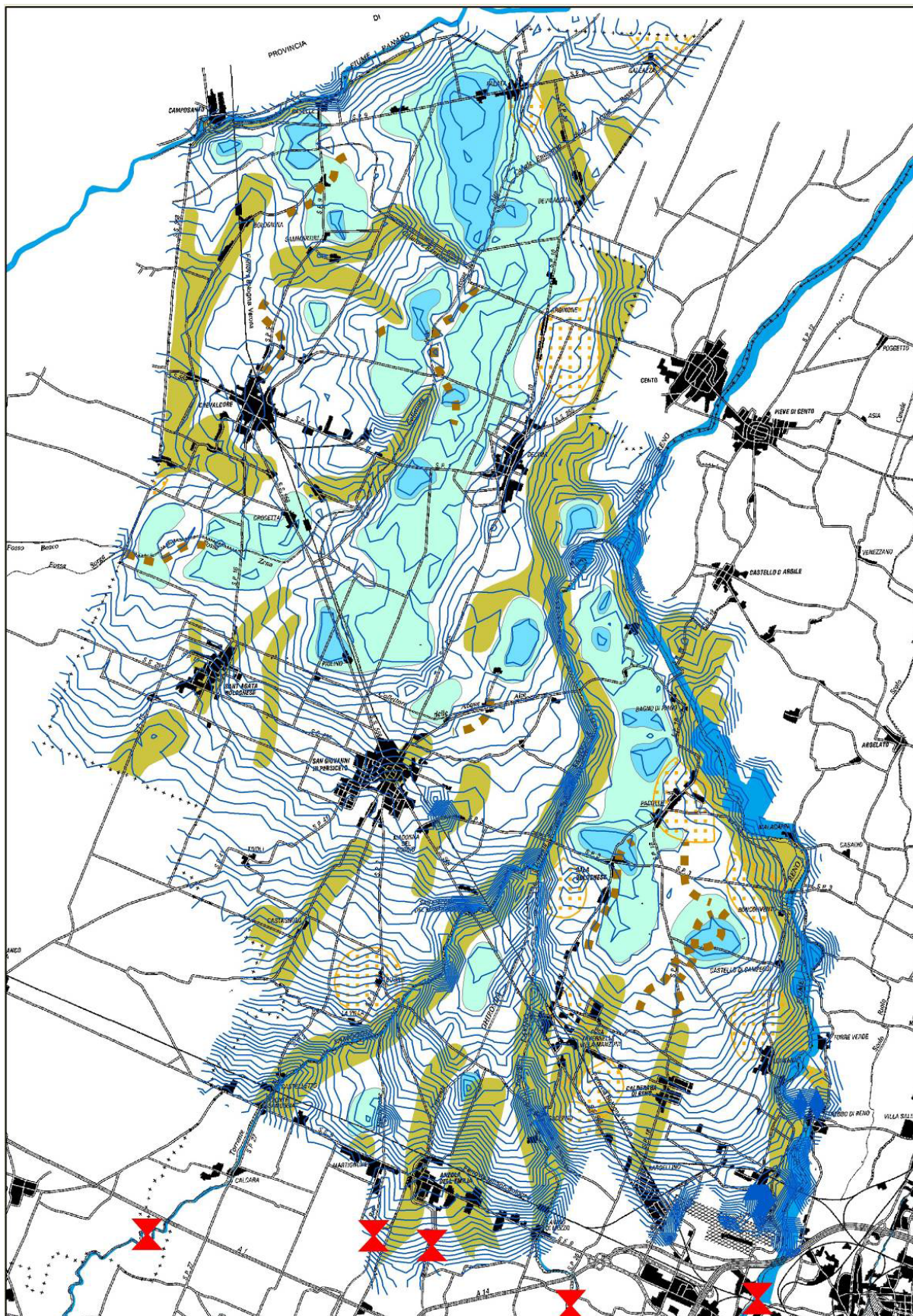
I dossi fluviali di maggiori dimensioni si riconoscono a nord, nel territorio di Crevalcore, con sviluppo nord-sud parallelamente al confine comunale, e a sud lungo il corso del fiume Reno e dei torrenti Samoggia e Lavino.

La distribuzione dei *dossi* e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato e condiziona tuttora sia l’assetto idraulico di superficie che la distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici. Le strutture rilevate (*dossi*), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni. Al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi e acquitrini fino alla avvenuta bonifica.

Si segnala anche la presenza di alcuni alvei relitti riportati, non chiaramente marcati da dossi evidenziabili a livello altimetrico, ma comunque segnalati in letteratura o ben visibili dalla fotografia aerea.

Inoltre, sono presenti anche le conoidi di rotta fluviale, ascrivibili a episodi di esondazione dei principali corsi d’acqua e concentrate principalmente lungo il corso del Reno e del Samoggia.

Si riporta, di seguito, un estratto su base semplificata della Carta geomorfologica (QC.6/t2) del quadro conoscitivo del PSC Terre d’acqua (QC.6/R).



3.3 Inquadramento idrografico

Il territorio comunale di San Giovanni Persiceto appartiene al bacino idrografico del fiume Po - sottobacino del fiume Panaro.

La competenza territoriale è dell'Autorità di Bacino del fiume Po.

Da un punto di vista gestionale, la maggior parte dei corsi d'acqua presenti sul territorio di interesse del PSC Terre d'acqua sono gestiti dal Consorzio della bonifica Reno-Palata; sono esclusi il fiume Panaro, il fiume Reno, il torrente Samoggia e il torrente Lavino (di competenza delle Autorità di Bacino regionali). Dalla gestione del Consorzio di bonifica Reno-Palata restano escluse anche alcune aree limitrofe al corso del fiume Reno, comprese nei territori comunali di Calderara di Reno (55 ha) e Sala Bolognese (377 ha) di competenza del Consorzio della bonifica renana e un'area, in comune di San Giovanni in Persiceto, nella frazione di San Matteo della Decima (924 ha), gestita dal Consorzio di bonifica Valli di Vecchio Reno.

Il fiume Panaro

Il fiume Panaro definisce il confine nord-occidentale tra il comune di Camposanto e il comune di Crevalcore per un tratto di 4,7 km.

Il corso d'acqua, che nasce dal monte Cimone (2.165 m s.l.m.) e confluisce nel Po presso Bondeno, scorre nel tratto di pianura all'interno di arginature continue con lunghi tratti rettilinei intervallati da tratti a meandri.

Dall'altezza della via Emilia e proseguendo verso nord, l'alveo del Panaro assume l'aspetto di un tipico alveo delle pianure alluvionali soggette a inondazioni durante le piene maggiori. Risulta caratterizzato dalla presenza di meandri, sia per cause naturali (sopralluvionamenti) che per la presenza di arginature artificiali, che l'accompagnano da poco a monte di via Emilia fino allo sbocco in Po.

Il fiume Panaro risulta connesso idraulicamente al fiume Reno attraverso il Cavo napoleonico o Scolmatore del Reno (che non interessa il territorio in esame), un importantissimo canale artificiale multifunzione della pianura emiliana lungo soltanto 18 Km, che partendo dal Reno poco a valle di Cento, arriva nel Po presso Salvatonica (poco a valle della confluenza del Panaro).

Il fiume Reno

Il Reno (esattamente 211,8 km di lunghezza dalla sorgente più lontana alla foce) è il decimo fiume italiano per lunghezza e per superficie di bacino, ma sesto sia per lunghezza sia per estensione del bacino fra quelli che sfociano direttamente in mare. Se considerato per l'intera lunghezza è di gran lunga il più importante corso d'acqua dell'Emilia-Romagna, nonché l'unico rilevante della regione che non sia un affluente del Po.

Per il territorio dell'associazione Terre d'acqua, il Reno costituisce senza dubbio l'elemento idrografico di maggior rilievo, interessando i territori comunali di Calderara di Reno, Sala Bolognese e San Giovanni in Persiceto per una lunghezza complessiva di circa 23 Km. Lungo il proprio tracciato si presenta completamente arginato con alveo incassato che si allarga a tratti a formare casse di espansione.

Il fiume Reno, infine, si presenta a carattere torrentizio, il suo bacino, infatti, è impostato quasi interamente su rocce e terreni impermeabili (tranne qualche porzione montana dell'alto corso del fiume, delle due Limentra e del Santerno) che ne caratterizzano notevoli escursioni del regime idraulico.

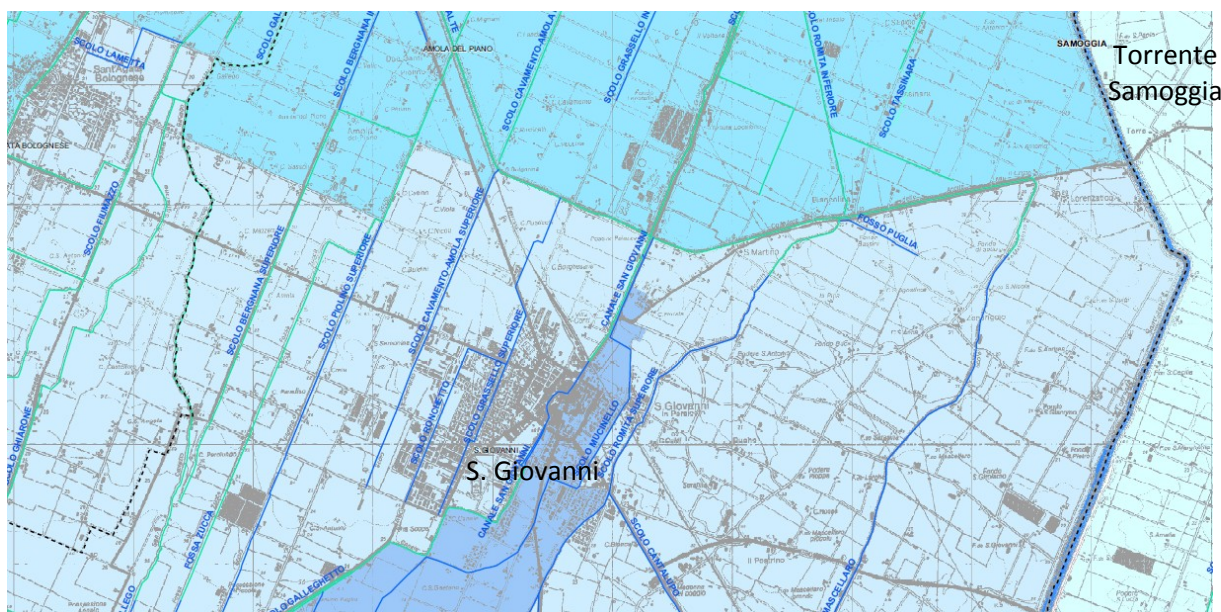
Il torrente Samoggia

Il torrente Samoggia nasce presso Montetortore, frazione di Zocca, in provincia di Modena, ma entra quasi subito nella provincia di Bologna nella quale sviluppa il restante corso, tranne un breve tratto di pianura ancora in provincia di Modena. Presenta un regime fortemente torrentizio ed è il più lungo affluente di sinistra del Reno (44 Km).

Nel tratto di pianura, a partire da Calcara di Crespellano, scorre incassato fra possenti arginature che si sviluppano verso valle per una lunghezza di circa 31 Km. Nei pressi della località Forcelli, fra San Giovanni in Persiceto e Sala Bolognese, riceve da destra il suo maggior affluente, il torrente Lavino, che gli reca circa 1/3 della portata d'acqua complessiva.

Termina nel Reno fra Castello d'Argile e la frazione San Matteo della Decima di San Giovanni in Persiceto.

All'interno dei territori dell'associazione Terre d'acqua si sviluppa complessivamente per una lunghezza di circa 21,5 Km. Segna il confine comunale tra San Giovanni in Persiceto a ovest (che rientra per altro nel territorio di pianura scolante nel fiume Panaro) e i comuni di Anzola dell'Emilia prima e Sala Bolognese più a valle.



3.4 Inquadramento idrogeologico

Il settore emiliano della pianura padana vede la presenza di sedimenti ghiaiosi indifferenziati in matrice sabbiosa e/o limosa, nella zona di alta pianura, a cui si intercalano, verso nord, strati di materiali fini di dominio appenninico. Nella media pianura sono presenti sedimenti pelitici con intercalazioni sabbiose e sabbioso-limose, a estensione complessivamente ridotta, intercalate in sequenze prevalenti limo-argillose con trasmissività molto bassa.

A nord della direttrice Busseto-Novellara-Concordia-Mirandola prevalgono i sedimenti sabbiosi depositi dal fiume Po, con un acquifero a sabbie prevalenti, idrogeologicamente connesso con il fiume stesso.

Secondo le recenti ricerche condotte negli ultimi anni dall'ufficio geologico della Regione Emilia Romagna, nel sottosuolo si riconoscono tre acquiferi separati da barriere di permeabilità a estensione regionale, denominati Gruppo Acquifero A, B, e C.

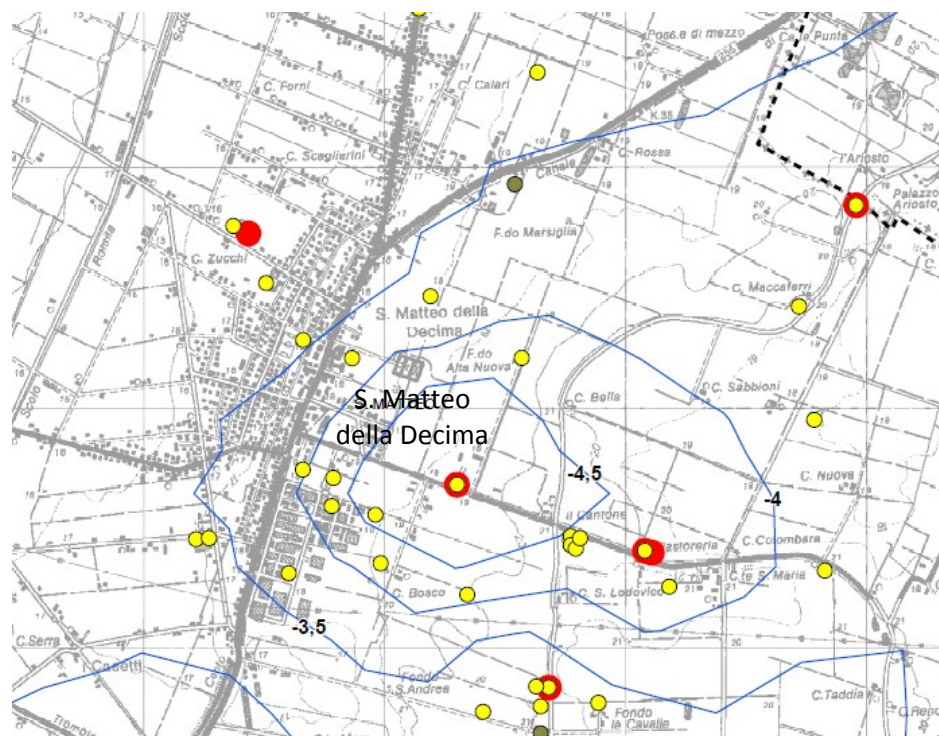
Gli scambi idrici tra i tre gruppi acquiferi sono contenuti salvo che nella stretta fascia collinare, sede delle aree di ricarica.

I tre gruppi acquiferi sono suddivisi in tredici unità idrostratigrafiche inferiori, denominate complessi acquiferi. La distinzione tra *gruppo acquifero* e *complesso acquifero* è effettuata sulla base del volume immagazzinato (maggiore nel primo), oltre che sullo spessore e sulla continuità areale dei livelli impermeabili delle diverse unità.

- Il Gruppo Acquifero A, attualmente sfruttato in modo intensivo, è costituito da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoide alluvionale organizzati in strati lenticolari di spessore estremamente variabile da alcune decine di centimetri a svariati metri. In genere sono costituiti da un letto di conglomerati eterometrici ed eterogenei, con matrice sabbiosa, talora disorganizzati, talora embriciati, generalmente poco cementati, e da un tetto sabbioso-limoso. La base degli strati è fortemente erosiva e sono presenti paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto con le unità idrogeologiche sottostanti B e C e le unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. L'età di questo Gruppo Acquifero A è Pleistocene medio-Olocene.
- Il Gruppo Acquifero B, sfruttato solo localmente, è costituito da prevalenti argille limose di pianura alluvionale con talora intercalati livelli discontinui di ghiaie e conglomerati eterometrici ed eterogenei e sabbie; sono anche presenti alcuni paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pleistocene medio.
- Il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato ed è formato da depositi di delta-conoide e marino marginali costituiti da prevalenti sabbie e areniti, generalmente poco cementate o con cementazione disomogenea, ben selezionate con granulometria media e fine, talora grossolana, in genere ben stratificate e con evidente laminazione incrociata. Spesso sono massive e ricche in bioclasti, con frequenti intercalazioni, da sottili a molto spesse, di conglomerati eterogenei ed eterometrici e di peliti. La potenza dell'unità in affioramento raramente è maggiore di cento metri. Il contatto, sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è generalmente netto, di tipo erosivo e in discordanza angolare. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pliocene inferiore - Pleistocene medio.

Con riferimento a quanto descritto nella relazione “Suolo-sottosuolo e acque” del quadro conoscitivo del PSC Terre d'acqua (QC.6/R) e rappresentato nelle tavole della “Piezometria della falda acquifera superficiale” (tav. QC6/t8) e della “Soggiacenza della falda acquifera superficiale” (tav. QC6/t9), di cui di seguito si riportano due estratti, l'andamento della piezometria e della soggiacenza è stato rappresentato tramite curve isopiezometriche principali, aventi equidistanza di 0,5 m.

Nel territorio comunale la falda acquifera presenta soggiacenza abbastanza regolare, con valori mediamente compresi tra 2,00 m e 4,50 m di profondità dal piano campagna locale.



Per quanto riguarda l’acquifero profondo è stato rilevato che il livello statico si attesta a una profondità variabile mediamente compresa tra i 15,00 m e i 30,00 m dal piano campagna locale.

Le curve isopiezometriche presentano andamento decrescente da sud verso nord, con valori massimi nella zona di Anzola Emilia (40,0 m s.l.m.) e valori minimi nella zona nord del territorio comunale di Crevalcore (11,0 m s.l.m.).

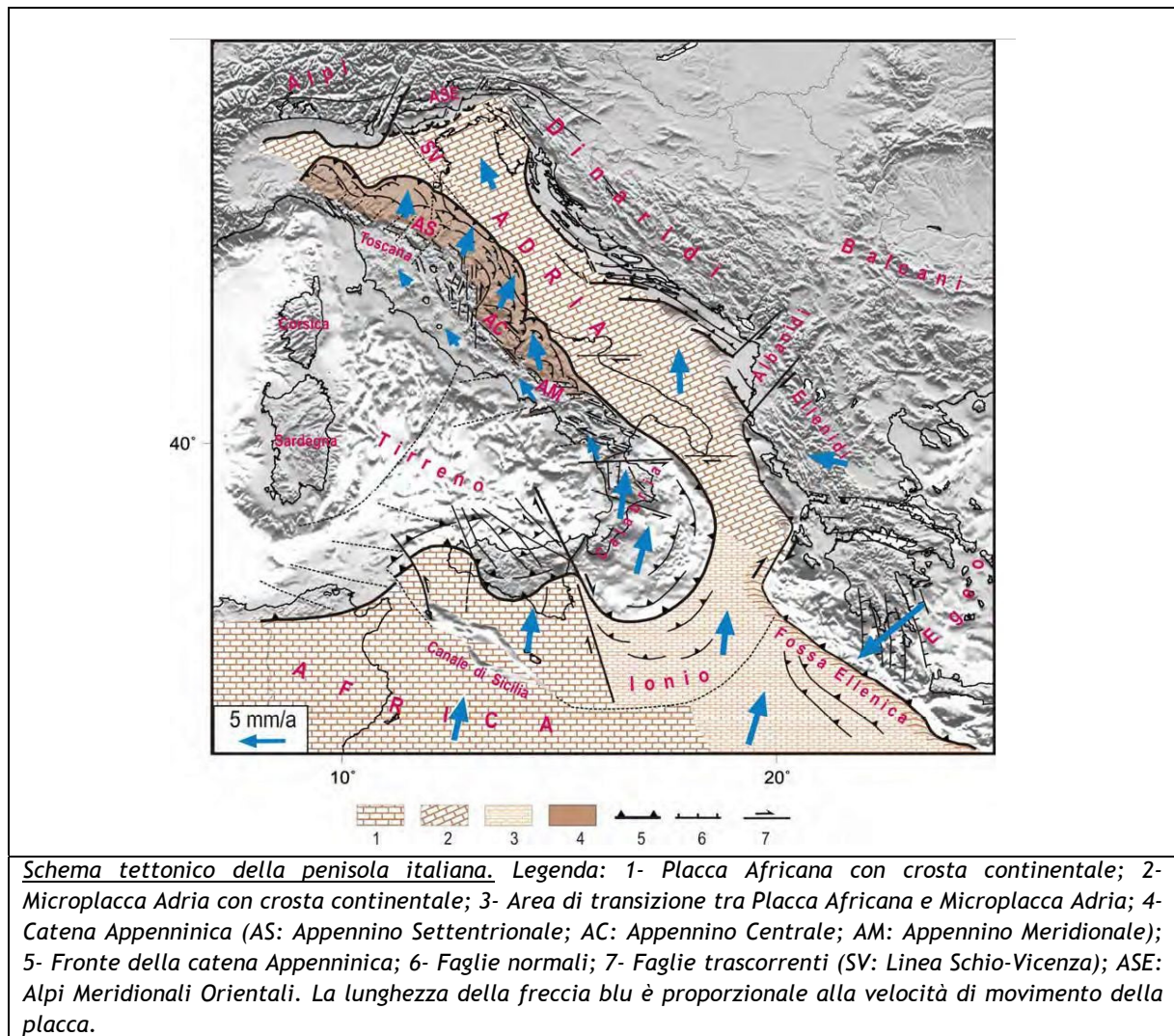
4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Inquadramento sismotettonico generale

Dal punto di vista strutturale, il territorio italiano risulta caratterizzato dalla presenza di due orogeni principali, le Alpi a nord e gli Appennini lungo la penisola.

Le Alpi derivano a seguito del raccorciamento e sovrascorrimento verso ovest e nord-ovest della placca adriatica sulla placca europea, mentre gli Appennini si sono generati in seguito alla subduzione della zolla adriatica in movimento verso ovest.

La placca Adria, che tettonicamente rappresenta un promontorio della placca africana (Channell, 1996) collocata lungo la pianura padana veneta e lungo il mare Adriatico, interagisce attivamente con la placca europea determinando il corrugamento alpino e appenninico e, conseguentemente, lo stress tettonico attuale.

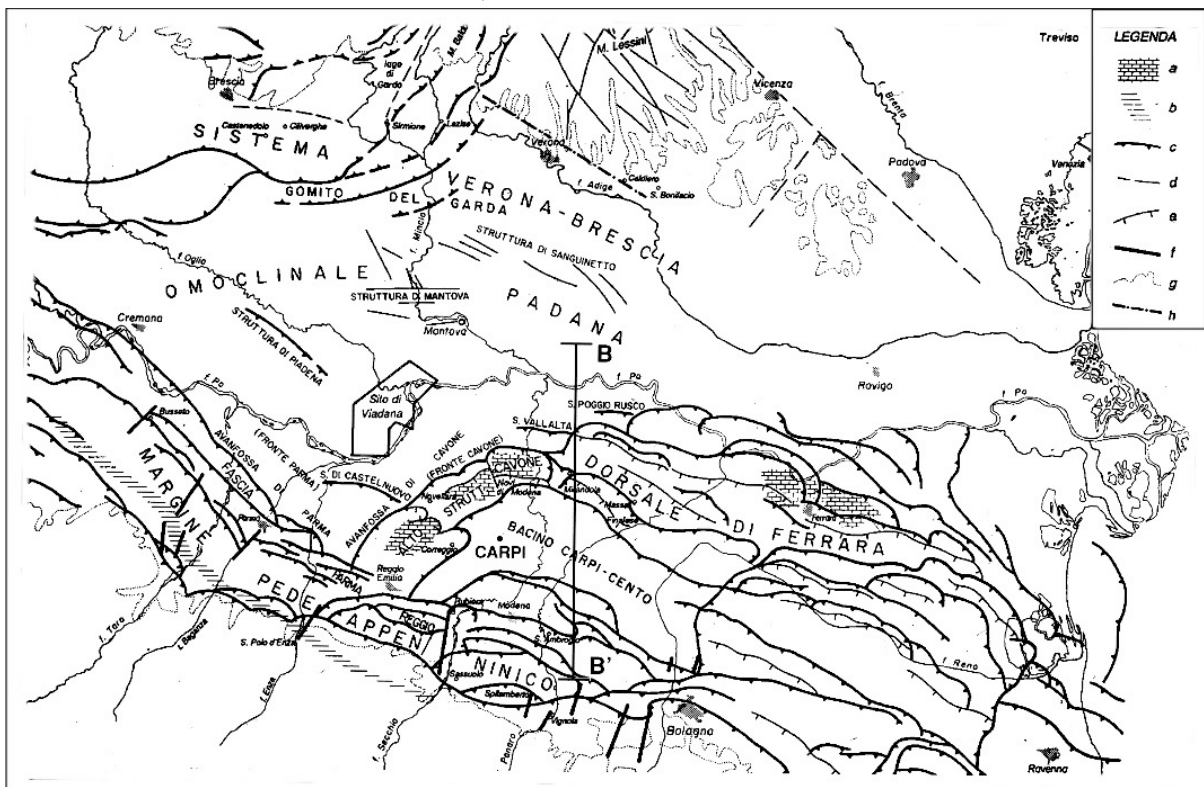


Appennini e Alpi sono caratterizzati da differenti stili tettonici: le Alpi meridionali si sono formate in seguito al sollevamento verticale, mentre negli Appennini l'accrezione si sviluppò in un'area subsidente. Nelle Alpi meridionali le rocce di basamento sono coinvolte nella deformazione fino a notevole profondità mentre negli Appennini le rocce di basamento sono soltanto relitti dalle prime fasi alpine, manca, infine, nella catena alpina una fase di distensione e la formazione di un bacino che invece è presente nel sistema tirreno-appenninico.

Il territorio in esame si sviluppa nell'area di media e bassa pianura bolognese nella parte centro-meridionale della Pianura Padana che costituisce, dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quadernario di tipo sedimentario che ha cominciato a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità. Più in particolare, l'area ricade nel suo settore appenninico in diretta influenza del Po e dei suoi affluenti di destra.

Dal punto di vista strutturale la pianura padana non costituisce una unità omogenea. Fanno infatti parte del suo sottosuolo le pieghe più esterne dell'Appennino settentrionale e delle Alpi meridionali lombarde, l'avampaese comune alle due catene e, nel Veneto, l'avampaese delle Alpi meridionali orientali e della catena dinarica; su questi elementi è impostata l'avanfossa piocenico-quadernaria dell'Appennino.

Nella figura che segue è riportato un estratto della Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale, che mette in evidenza la presenza di un ampio bacino fortemente subsidente e attivo sin dal Plio-Pleistocene. Tale bacino si estende tra Carpi e Cento di Ferrara, denominato *Bacino di Carpi* o meglio noto come *Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia*, collocato tra due grandi archi di pieghe costituite, a sud, dalla porzione più esterna dell'Appennino settentrionale e, a nord, dalla *Dorsale di Ferrara*. Quest'ultima è caratterizzata da un'ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata che corre da Massa Finalese a Mirandola con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso sud, con andamento SE-NW.



Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) accavallamento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona".

Immagine tratta dalla relazione Suolo-sottosuolo e acque (QC.6/R) del PSC Terre d'acqua (tratta da L. Serva - 1990)

Lungo tali allineamenti, lo spessore dei depositi quadernari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m).

In termini generali e in modo schematico possiamo individuare nella zona indagata tre zone principali:

- Zona delle pieghe pedeappenniniche, presente dal margine collinare alla via Emilia e costituita da una successione di sinclinali e anticlinali, con asse a vergenza appenninica, spesso fagliate e sovrascorse sul fianco nord;
- Zona della sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia, dove i depositi quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura padana;
- Zona della dorsale ferrarese, che rappresenta un alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie dove, in talune culminazioni, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri.

Questo andamento ad archi di pieghe del fronte sepolto dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano si procede verso le aree più esterne, è da correlarsi con il movimento di rotazione della catena in senso antiorario che genera raccorciamenti crostali di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali.

4.2 Neotettonica e sismicità storica

Il territorio della provincia di Bologna in esame si sviluppa sostanzialmente a cavallo di una zona in sollevamento, rappresentata dalla catena appenninica (margine pedeappenninico poco a sud di Anzola Emilia), e di una zona in subsidenza, quella della pianura, corrispondente alla pianura padana. Entrambe costituiscono settori che sono stati interessati da movimenti tettonici nel passato e tuttora in atto, come testimoniano le ricostruzioni stratigrafiche strutturali del Quaternario, la deposizione granulometrica dei depositi superficiali, l'andamento morfologico e l'evoluzione della rete idrografica.

Tali zone risultano infine separate da una fascia pedecollinare, sede di movimenti alterni. Uno dei margini maggiormente attivi è sicuramente rappresentato dal margine pedeappenninico, che presenta un'evoluzione geodinamica inquadrabile in un unico regime tettonico, soprattutto quello a sud di Modena, dove le faglie trasversali, con componente trascorrente, si mostrano con maggior risalto.

L'attività sismogenetica maggiore è collegata con meccanismi tettonici di accorciamento nella zona del fronte di accavallamento delle Liguridi, delle Epiliguridi e delle Unità Toscane. Tale fronte, in parte sepolto, ma anche a tratti emerso, presenta anche in campagna segni di tettonica attiva e recente, deformante anche i depositi quaternari. La fascia di montagna si può dividere in due subaree: una corrispondente alla collina e alla media montagna, che presenta scarsa attività sismica, e l'altra corrispondente alla zona di alta montagna con attività sismica di magnitudo anche elevata. Gli eventi sismici di tale zona hanno carattere tensionale e costituiscono il propagarsi dell'attività tettonica distensiva del sistema del versante tirrenico con faglie immergenti sia verso il Tirreno che verso la pianura padana.

Probabili dislocazioni recenti sono segnalabili anche nella bassa pianura (Pellegrini M., 1976), in comune di Correggio, in corrispondenza del centro abitato; le cause di tale fenomeno non sono però ancora del tutto chiare e inoltre non si hanno segni evidenti di una frattura del terreno. Risulta però chiaramente la presenza di una ridotta striscia di territorio caratterizzata da sensibili variazioni del gradiente della subsidenza (A. Gubellini-P. Russo, Controllo di una faglia nell'abitato di Correggio).

Altre manifestazioni tettoniche recenti sarebbero state evidenziate nelle aree di Massa Finalese e Mirandola, poco distanti dal territorio in esame.

Le aree descritte rappresentano quindi le zone con il maggior potenziale sismo-genetico; a tale proposito si rileva che nel margine appenninico, a sud-ovest di Bologna, si sono verificati sismi con intensità massima, in tempi storici, del VIII grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg).

Anche per quanto riguarda la zona della dorsale ferrarese tra Reggio Emilia e Poggio Rusco, le massime intensità riscontrate risultano del VII grado della scala MCS e sono in gran parte collegate a eventi con epicentri prossimi ai bordi nord-ovest e sud-est dell'alto strutturale.

Secondo quanto descritto nella relazione QC.6/R del PSC Terre d'acqua, sulla base dei dati bibliografici a disposizione, l'area di studio sembrerebbe ricadere in una zona discretamente sismica, anche se la scarsità di dati anteriori al 1900 rende poco significativa la casistica considerata; quello che emerge è comunque un territorio tettonicamente attivo, potenzialmente sismico, con sismicità media.

Per quanto riguarda, in particolare, la storia sismica della provincia di Bologna, nel Catalogo dei Terremoti del CNR, che raccoglie informazioni sui terremoti verificatisi dall'anno 1.000 a oggi, vengono riportati diversi sismi, di cui solo uno (quello del 20/04/1929) è classificato con un'intensità pari al VIII grado della scala Mercalli.

Nelle tabelle seguenti sono riportati gli elenchi degli eventi sismici più significativi per l'area dell'associazione Terre d'acqua rispettivamente in un raggio di 40 Km (tutti) e in un raggio di 60 Km (quelli superiori al VI grado della scala Mercalli).

Anno	Mese	Giorno	Area massimi effetti	Intensità massima (MCS)	Intensità epicentrale (MCS)	Latitudine epicentrale	Longitudine epicentrale
1323	2	25	Bologna	65	55	44.5	11.33
1365	7	25	Bologna	75	65	44.5	11.33
1399	7	20	Modenese	70	70	44.47	11.07
1433	5	4	Bologna	70	60	44.5	11.33
1455	2	6	Bolognese		75	44.4	11.25
1455	12	20	Media valle del Reno	75	70	44.42	11.27
1505	1	3	Bologna	70	70	44.48	11.25
1505	5	15	Bolognese	55	55	44.498	11.34
1574	3	17	Finale Emilia	70	70	44.833	11.294
1666	4	14	Bologna		60	44.5	11.333
1780	2	6	Bolognese	65	55	44.62	11.32
1801	10	8	Bologna	55	55	44.498	11.34
1834	10	4	Bologna	60	55	44.6	11.37
1889	3	8	Bologna	60	60	44.518	11.237
1908	6	28	Finale Emilia sud		60	44.8	11.3
1929	4	20	Bolognese	80	70	44.47	11.13
1966	5	26	Montevoglio		60	44.5	11.2
1986	12	6	Bondeno	60	60	44.879	11.334

Anno	Mese	Giorno	Area massimi effetti	Intensità massima (MCS)	Intensità epicentrale (MCS)	Latitudine epicentrale	Longitudine epicentrale
1346	2	22	Ferrara	75	75	44.92	11.02
1365	7	25	Bologna	75	65	44.5	11.33
1399	7	20	Modenese	70	70	44.47	11.07
1433	5	4	Bologna	70	60	44.5	11.33
1455	2	6	Bolognese		75	44.4	11.25
1455	12	20	Media valle del Reno	75	70	44.42	11.27
1505	1	3	Bologna	70	70	44.48	11.25
1574	3	17	Finale Emilia	70	70	44.833	11.294
1586	1	12	Spilamberto		60	44.583	11
1666	4	14	Bologna		60	44.5	11.333
1850	9	18	Modena	60	60	44.614	10.965
1864	3	15	Zocca	65	65	44.337	11.059
1869	6	25	Vergato	75	75	44.314	11.116
1881	1	24	Bolognese	70	65	44.32	11.35
1889	3	8	Bologna	60	60	44.518	11.237
1901	1	20	Poggio Rusco		60	45	11.1
1908	6	28	Finale Emilia sud		60	44.8	11.3
1929	4	20	Bolognese	80	70	44.47	11.13
1951	10	29	Valle del Panaro	50	50	44.458	10.989
1957	8	27	Zocca	60	60	44.394	10.994
1966	5	26	Monteveglia		60	44.5	11.2
1967	10	1	Formigine		50	44.567	10.95
1986	12	6	Bondeno	60	60	44.879	11.334
1999	7	7	Frignano	55	50	44.308	10.944

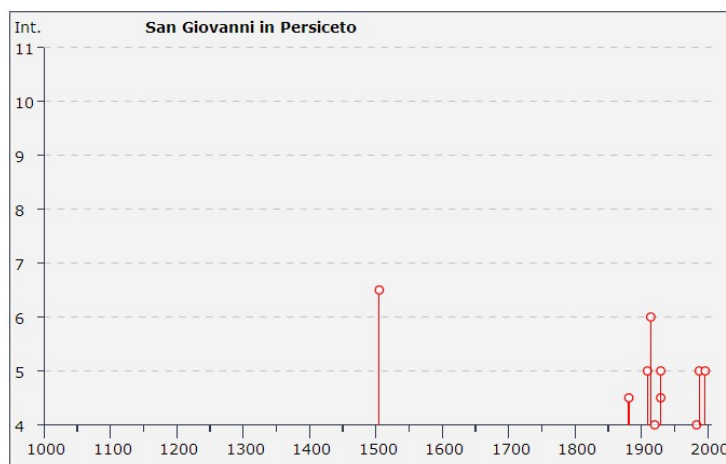
Nello specifico, il comune di San Giovanni in Persiceto, appare dieci volte con intensità registrata superiore o uguale a 4. Nella tabella seguente sono stati elencati i vari eventi registrati, con indicati, oltre all'intensità in scala MCS al sito in esame (I), la data (anno, mese, giorno, ora, minuto) in cui si è verificato l'evento Ax, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Storia sismica di San Giovanni in Persiceto
[44.638, 11.187]

Numero di eventi: 23

Effetti	Data	Ax	Np	Io Mw
6-7	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8 5.57 ±0.25
F	1570 11 17 19:10	Ferrara	60	7-8 5.46 ±0.25
4-5	1881 01 24 16:14	Bolognese	38	7 5.16 ±0.30
NF	1908 06 28 03:19	Finale Emilia	15	5 4.27 ±0.53
NF	1908 07 10 02:13	Carnia	120	7-8 5.38 ±0.13
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
3	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7 5.28 ±0.11
6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
4	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
4-5	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7 5.03 ±0.13
5	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
3	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
3	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
NF	1984 04 29 05:02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7 5.65 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
5	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
3	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
3	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 03 26 16:26	Appennino umbro-marchigiano	408	6 5.29 ±0.09
3-4	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09
3-4	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09

Il grafico seguente ricostruisce la storia sismica di San Giovanni in Persiceto (per terremoti con intensità al sito superiore a 4) tra gli anni 1000 e fino al 2006 mentre la tabella successiva riporta l'elenco dei comuni limitrofi con numero di eventi sismici registrati in ognuno di essi.



Località vicine (within 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
Castello d'Argile	IT	7	10km
Crevalcore	IT	26	10km
Sala Bolognese	IT	3	6km
Sant'Agata Bolognese	IT	8	5km

Attualmente il DBMI11 (Data Base Macrosismico Italiano 2011), da cui è stata estrapolata la sismicità storica di San Giovanni in Persiceto risulta aggiornato fino al 2006; si ritiene, tuttavia, di evidenziare nella tabella sottostante la sequenza emiliana relativa alla crisi sismica del 2012.

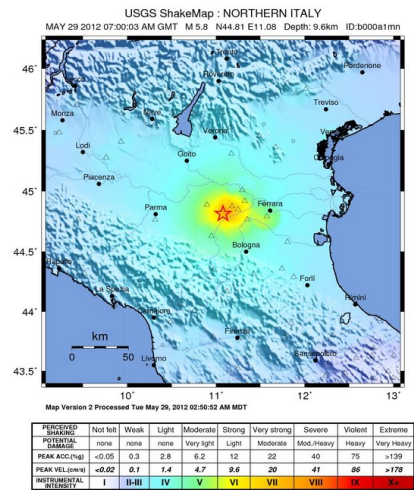
Anno	Mese	Giorno	Zona epicentrale	Latitudine (°N)	Longitudine (°E)	Magnitudo (Maw)	Intensità lo (Imax)
2012	1	27	Parmense	10.03	44.48	5.4	6
2012	5	20	Finale Emilia	11.23	44.89	5.9	7.5
2012	5	20	Bondeno	11.37	44.86	5.1	-
2012	5	20	Vigarano	11.49	44.83	5.1	-
2012	5	29	Medolla	11.09	44.85	5.8	7.5
2012	5	29	San Possidonio	11.01	44.89	5.3	-
2012	5	29	Novi di Modena	10.95	44.88	5.2	-
2012	6	3	Novi di Modena	10.94	44.90	5.1	-

Terremoto dell'Emilia del 2012

Il terremoto dell'Emilia, Lombardia e Veneto del 2012 è un evento sismico costituito da una serie di scosse localizzate nel distretto sismico della pianura padana, prevalentemente nelle province di Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia, Bologna e Rovigo, ma avvertiti anche in un'area molto vasta comprendente tutta l'Italia centro-settentrionale e parte della Svizzera, della Slovenia, della Croazia, dell'Austria, della Francia sud-orientale e della Germania meridionale. Già tra il 25 e il 27 gennaio 2012 si ebbero in zona fenomeni significativi, ma le due scosse più forti (alla fine riunite in una sola), rispettivamente di magnitudo $M_l 5,9$ e $M_w 5,86$ sono state registrate nello stesso istante il 20 maggio 2012 alle ore 04:03:52 ora italiana (02:03:52 UTC), con epicentro nel territorio comunale di Finale Emilia (MO), con ipocentro a una profondità di 6,3 km.

Il 29 maggio 2012 alle ore 09:00:03 ora italiana (07:00:03 UTC), una nuova scossa molto forte di magnitudo $M_5,8$ e $M_w5,66$ è stata avvertita in tutta l'Italia settentrionale, creando panico e disagi in molte città come Ferrara, Modena, Reggio Emilia, Bologna, Mantova e Rovigo; l'epicentro è situato nella zona compresa fra Mirandola, Medolla e San Felice sul Panaro. A quella delle 9:00 sono seguite altre tre scosse rilevanti: una alle 12:55 di magnitudo 5,4, una alle 13:00 di magnitudo 4,9 e un'ulteriore scossa alla stessa ora di magnitudo 5,2.

Il 31 maggio 2012 alle 16:58 una scossa di magnitudo 4,0 con epicentro a Rolo e Novi di Modena, ha colpito la zona della bassa reggiana e dell'oltrepò mantovano, già molto provate dalle scosse dei giorni precedenti che avevano avuto come epicentro la vicina area della bassa modenese. Sempre la sera del 31 maggio alle ore 21:04 si è verificata una scossa di magnitudo 4,2 con epicentro a San Possidonio.



Queste scosse sono state seguite da uno sciame sismico con scosse di magnitudo variabile di minore entità. Un'altra scossa di magnitudo 5,1 è stata avvertita in tutto il Nord Italia il 3 giugno 2012 alle ore 21:20:43 ora italiana (19:20:43 UTC), con epicentro in Novi di Modena.

Le accelerazioni di picco registrate dall'accelerometro di Mirandola durante le scosse più forti del 20 maggio e del 29 maggio sono state rispettivamente di 0,31g e di 0,29g, valori che in base alla carte vigenti di pericolosità sismica renderebbero stimabile in circa 2500 anni il tempo di ritorno di ciascun evento nella medesima area.

I due eventi sismici principali hanno causato un totale di 27 vittime (22 nei crolli, tre per infarto o malore e due per le ferite riportate), in maggioranza dipendenti di aziende distrutte. Il 4 giugno 2012 è stato proclamato giornata di lutto nazionale per le vittime del terremoto.

L'intensità massima dei terremoti, stimata come cumulo degli effetti della sequenza, è stata pari a 8, secondo la Scala Macrosismica Europea (EMS-98).

Le scosse del 20 maggio

Alle 04:03:52 un forte sisma della durata di venti secondi di magnitudo del momento sismico pari a 5.9, preceduto qualche ora prima (esattamente alle 01:13 e alle 01:42) da due scosse di M_1 4,1 (M_w 3,98) e 2,2, si è fatto sentire in tutto il Nord e parte del Centro Italia, facendo risvegliare la maggior parte delle persone, con epicentro a Finale Emilia a 6,3 km di profondità (distretto sismico: pianura padana emiliana). Il terremoto è stato avvertito dai sismografi di tutta Italia, ma le regioni in cui è stato avvertito dalla popolazione sono: Emilia-Romagna, Veneto, Lombardia, Liguria, Piemonte, Valle d'Aosta, Trentino-Alto Adige, Friuli-Venezia Giulia, Toscana, Marche, Umbria.

Il sisma ha provocato 7 morti accertati, circa 50 feriti, 5000 sfollati e ingenti danni al patrimonio culturale a causa dei molti crolli di palazzi storici, aziende agricole e fabbriche. Il sisma ha provocato fenomeni diffusi di liquefazione delle sabbie, che hanno interessato ampie aree a San Carlo di Sant'Agostino, Mirabello, Finale Emilia e San Felice sul Panaro. Tali fenomeni si sono verificati anche a seguito delle scosse del 29 maggio nelle aree di Cavezzo e Moglia, causando il crollo di alcuni edifici anche di recente costruzione.

Successivamente ci sono state nuove scosse: di 4,8 (alle 04:06, epicentro: Finale Emilia), di 5.1 (alle 04:07, epicentro: Bondeno), di 4,3 (alle 04:11 e alle 04:12, epicentri: Bondeno e Finale Emilia) e di 4,0 (alle 04:35 e alle 04:39, epicentri: Vigarano Mainarda e Finale Emilia). Una nuova forte scossa

tellurica di 4,9 è stata avvertita a partire da San Felice sul Panaro alle ore 05:02 (ora italiana). Altre scosse di notevole intensità si sono avvertite alle ore 11:13, 15:18 e 15:21 rispettivamente di 4,2, 5,1 e 4,1 a Finale Emilia, Vigarano Mainarda e Bondeno. Alle 19:37 dello stesso giorno si è verificata inoltre una nuova scossa di magnitudo 4,5 con epicentro nei pressi di Bondeno. Un'altra scossa di 4,1 si è fatta sentire il 21 maggio alle 16:37 con epicentro in Finale Emilia. Il 23 maggio alle 23:41 un'altra scossa moderata di magnitudo 4,3 fa tornare il panico tra la gente. Il 25 maggio alle 15:14 un'altra scossa più debole, di 4,0 gradi della scala Richter è stata avvertita dalla popolazione.

Le scosse del 29 maggio

Una forte scossa della durata di 18 secondi, di magnitudo 5,8 e definita superficiale (profondità ipocentro: 9,6 km) è stata registrata alle 09:00:03 del 29 maggio 2012. L'epicentro è nella zona di Medolla e Cavezzo in provincia di Modena. Un primo bilancio provvisorio riporta crolli in edifici anche di interesse storico-artistico, tra quelli già danneggiati dall'evento sismico del 20 maggio, 20 vittime (due decessi avvenuti in data 5 giugno ed uno il 12 giugno) e almeno 350 feriti. Gli sfollati salgono a circa 15.000. Successivamente alla scossa delle 09:00 si sono verificate altre due scosse di entità rilevante: alle 12:55 di intensità 5,3 e alle 13:00 di intensità 5,2 con la durata di 30 secondi. Queste due scosse hanno provocato i danni più ingenti nelle zone comprese tra Carpi, Rovereto sul Secchia, Novi di Modena e Moglia. A Mantova è stato chiuso il Palazzo Ducale e a Pisa è stato chiuso per inagibilità il Palazzo della Sapienza. Successivamente, una sessantina di scosse si sono registrate nella notte fra il 29 e il 30 maggio. Il terremoto è stato avvertito in quasi tutta la Slovenia, in particolare nelle regioni occidentali del Paese, in Svizzera nel Canton Ticino e nell'Istria, in Croazia, ma senza provocare né feriti, né danni, come riferito dai media sloveni.

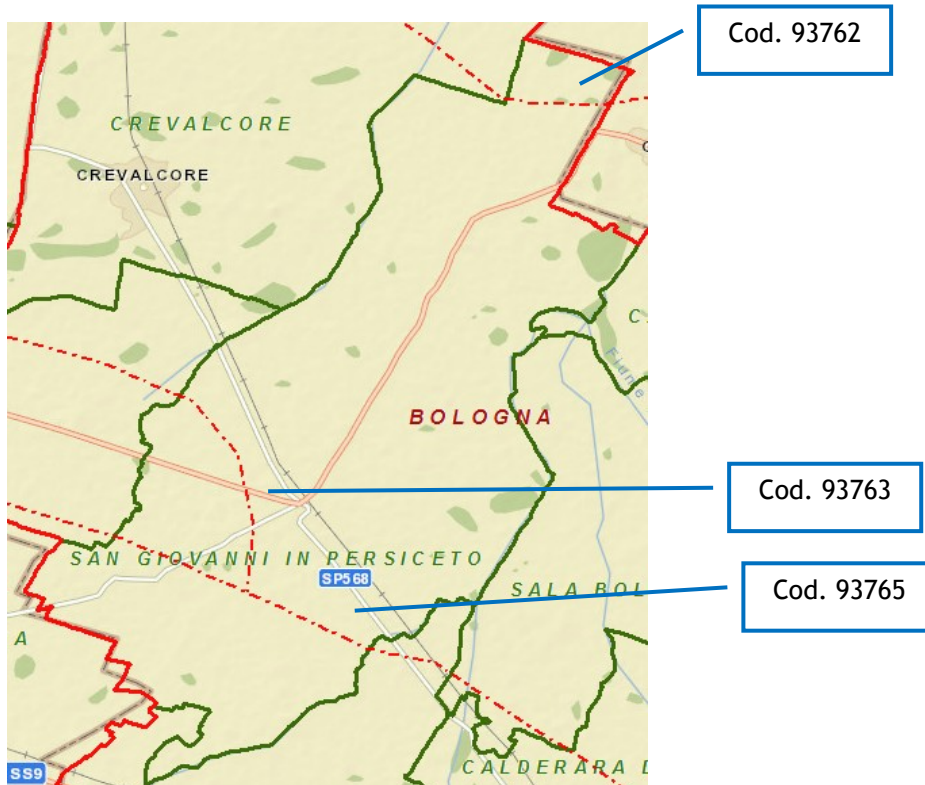
4.3 Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche

Per quanto riguarda il tema delle faglie capaci (faglie che si sono rotte almeno una volta negli ultimi 40.000 anni, raggiungendo la superficie e producendo una rottura del terreno) e l'inquadramento delle sorgenti sismogenetiche più prossime all'area di San Giovanni in Persiceto, si è fatto riferimento agli studi condotti dagli esperti scientifici e riportate nei cataloghi ITHACA e DISS 3.1.1.

Le sorgenti sismogenetiche rappresentano le zone che sono state riconosciute come origine dei terremoti grazie allo studio della sismicità storica e delle indagini geologiche.

ITHACA è un database creato per la raccolta e la consultazione di tutte le informazioni disponibili sulle strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie: dalla sua consultazione è stato possibile individuare, nella zona di studio, una serie di faglie inverse con direzione prevalente WNW-ESE, ubicabili indicativamente come nelle figure sotto riportate (immagini estratte dal sito dell'ISPRA).



Le figure appena riportate evidenziano, altresì, che la zona settentrionale e la zona sud-occidentale del territorio comunale di San Giovanni in Persiceto sono interessate da tre faglie (Cod. 93762, 93763, 93765); nella tabella sottostante, sono riportate le informazioni desunte dalle schede specifiche ITHACA per ciascun lineamento.

Nome faglia	Panaro - Ferrara
Tipo Faglia	Inversa
Codice faglia	93762
Macrozona	3
Regione	Emilia Romagna
Sistema	Modena arc
Ordine	Subordinata
Direzione media	310
Immersione	
Lunghezza (km)	14
Profondità (km)	0
Ultima attività (anni)	Early Pleistocene
Affidabilità dato sull'attività	Bassa
Intervallo ricorrente (anni)	0
Velocità di slittamento (mm/anno)	0
Massima lunghezza attesa di rottura	14
Massimo scivolamento atteso (m)	0
Massima magnitudine attesa (MW)	6.4
Qualità dello studio	Bassa

Nome faglia	San Giovanni in Persiceto - Modena
Tipo Faglia	Inversa
Codice faglia	93763
Macrozona	3
Regione	Emilia Romagna
Sistema	Modena arc
Ordine	Primaria
Direzione media	125
Immersione	
Lunghezza (km)	17
Profondità (km)	0
Ultima attività (anni)	Early Pleistocene
Affidabilità dato sull'attività	Bassa
Intervallo ricorrente (anni)	0
Velocità di slittamento (mm/anno)	0
Massima lunghezza attesa di rottura	17
Massimo scivolamento atteso (m)	0
Massima magnitudine attesa (MW)	6.5
Qualità dello studio	Bassa

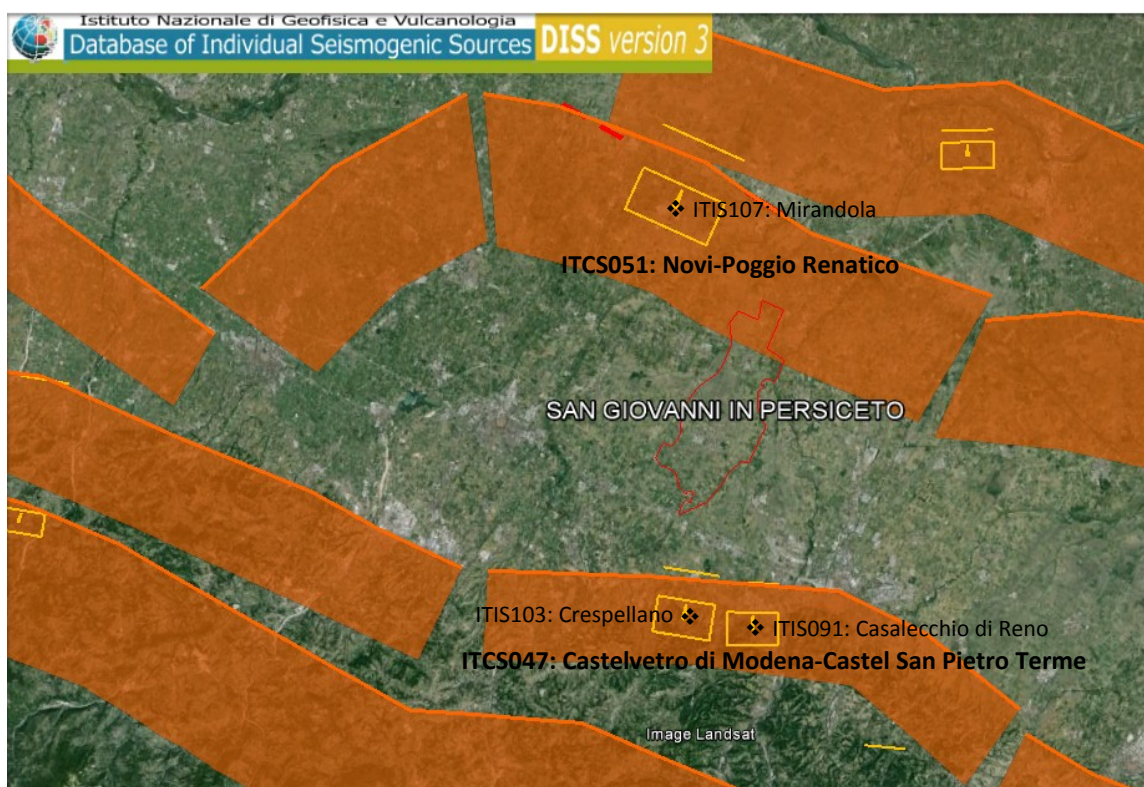
Nome faglia	Nonantola - Modena
Tipo Faglia	Inversa
Codice faglia	93765
Macrozona	3
Regione	Emilia Romagna
Sistema	Modena arc
Ordine	Primaria
Direzione media	120
Immersione	
Lunghezza (km)	14
Profondità (km)	0
Ultima attività (anni)	Early Pleistocene
Affidabilità dato sull'attività	Bassa
Intervallo ricorrente (anni)	0
Velocità di slittamento (mm/anno)	0
Massima lunghezza attesa di rottura	14
Massimo scivolamento atteso (m)	0
Massima magnitudine attesa (MW)	6.4
Qualità dello studio	Bassa

La mappa dell'INGV riportata di seguito, denominata DISS 3.1.1 (*Database of Individual Seismogenic Sources - DISS Version 3*), mostra tre tipologie di sorgenti sismogenetiche.

- **Sorgenti individuali (IS):** per le quali viene proposta una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia. Questo tipo di sorgente esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudo attesa.
- **Sorgenti composite (CS):** sono regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti minori allineate che non è ancora conosciuto singolarmente. Le sorgenti composite non sono associate a uno specifico gruppo di terremoti storici.
- **Sorgenti dibattute (DS):** sono zone proposte in letteratura come potenziali sorgenti, ma considerate ancora non sufficientemente attendibili per entrare nel database.

La mappa del DISS inserisce la porzione più a nord del comune di San Giovanni in Persiceto nella zona ITCS 051 "Novi-Poggio Renatico" mentre a sud del confine comunale è presente la zona ITCS 047 "Castelvetro di Modena - Castel San Pietro Terme".





Le zone ITCS051 “Novi-Poggio Renatico” e ITCS047 “Castelvetro di Modena - Castel San Pietro Terme”, sintetizzate nella tabella che segue, schematizzano un’area estesa contenente un numero non specificato di sorgenti minori allineate, che non sono ancora conosciute singolarmente e non sono associate a uno specifico gruppo di terremoti storici.

Zona ITCS051 “Novi-Poggio Renatico”

Questa Sorgente Composita attraversa le valli del basso Reno e del Secchia e appartiene al *Ferrara Arc Thrust*. Questo sistema di faglie è l’arco esterno NE-vergente della catena appenninica settentrionale e rappresenta il *thrust* nordorientale più avanzato.

Minima profondità (km)	3
Massima profondità (km)	10
Direzione (°)	95 - 125
Inclinazione (°)	25 - 45
Rake (°)	80 -100
Velocità di movimento (mm/anno)	0.25 - 0.50
Magnitudo massima	5.9

Entro la zona ITCS051 “Novi-Poggio Renatico” viene individuata la sorgente sismogenetica individuale ITIS107 “Mirandola”.

Per la sorgente individuale ITIS107 “Mirandola”, le cui caratteristiche sono riportate a seguire, viene proposta una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia. Questo tipo di sorgente esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudo attesa.

ITIS107 “Mirandola”	
Localizzazione	44.8396 / 11.1351
Lunghezza (km)	8.7
Larghezza (km)	5.8
Profondità minima (km)	3.9
Profondità massima (km)	7.6
Strike (deg)	113
Dip (deg)	40
Rake (deg)	90
Slip per Event (mm)	0.45
Slip Rate (mm/y)	0.25 - 0.50
Tempi di ritorno (anni)	900 - 1800
MAGNITUDO ATTESA (Mw)	5.9

Zona ITCS047 “Castelvetro di Modena - Castel San Pietro Terme”

Questa sorgente composta attraversa la valle superiore del Reno, nell’intorno della città di Bologna, e appartiene al *Pedeapenninic Thrust Front*. Si tratta di un sistema di faglie NE-vergenti, in parte costituito da piccoli archi ai piedi della catena appenninica settentrionale.

Minima profondità (km)	2
Massima profondità (km)	8
Direzione (°)	85 - 135
Inclinazione (°)	20 - 40
Rake (°)	80 - 100
Velocità di movimento (mm/anno)	0.10 - 0.50
Magnitudo massima	5.6

Entro la zona ITCS047 “Castelvetro di Modena - Castel San Pietro Terme” vengono individuate la sorgenti sismogenetiche individuali ITIS103 “Crespellano” e ITIS091 “Casalecchio di Reno”.

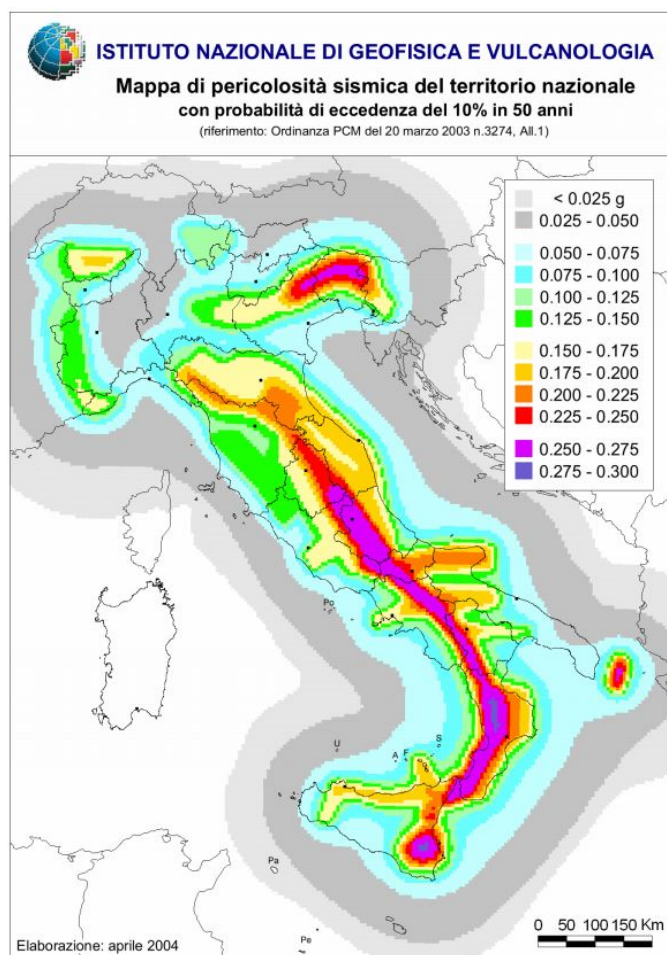
Per le sorgenti individuali ITIS 103 “Crespellano” e ITIS 091 “Casalecchio di Reno” viene proposta una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia. Questo tipo di sorgente esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudo attesa.

ITIS103 “Crespellano”	
Localizzazione	44.4775 / 11.1575
Lunghezza (km)	5.6
Larghezza (km)	4.3
Profondità minima (km)	2
Profondità massima (km)	4.5
Strike (deg)	98
Dip (deg)	35
Rake (deg)	90
Slip per Event (mm)	0.4
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5
Tempi di ritorno (anni)	800 - 4000
MAGNITUDO ATTESA (Mw)	5.6

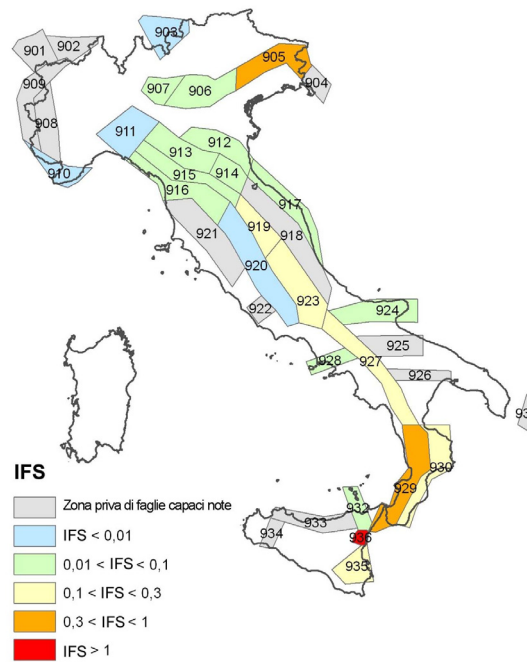
ITIS091 "Casalecchio di Reno"	
Localizzazione	44.4695 / 11.2425
Lunghezza (km)	5
Larghezza (km)	3.9
Profondità minima (km)	2
Profondità massima (km)	4.2
Strike (deg)	90
Dip (deg)	35
Rake (deg)	90
Slip per Event (mm)	0.4
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5
Tempi di ritorno (anni)	800 - 4000
MAGNITUDO ATTESA (Mw)	5.5

4.4 Zonazione sismica nazionale

In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20/03/2003, n° 3274, in cui si manifestava l'esigenza di una mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche sul territorio nazionale, è stato redatto a cura dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) un documento denominato "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'O.P.C.M. 20/03/2003, n° 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile" (INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici), che rappresenta il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica su tutto il territorio nazionale (figura seguente).

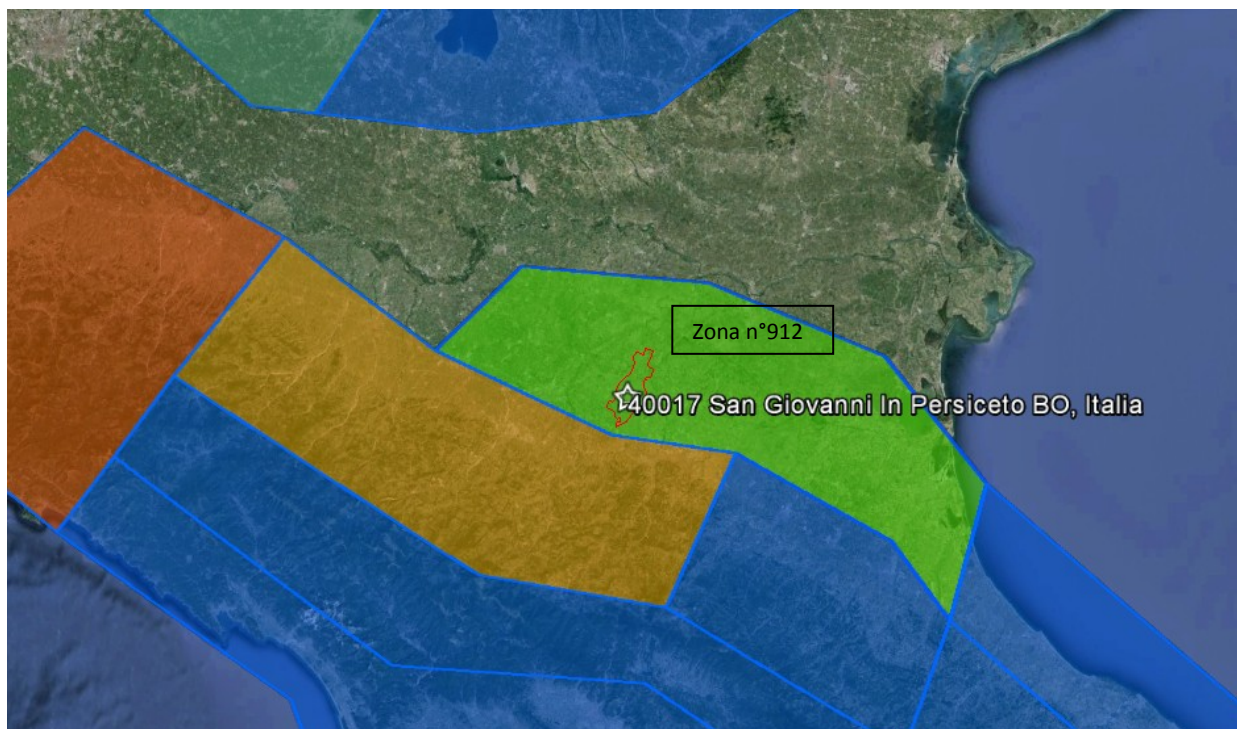


All'interno della ricerca eseguita per tale redazione, è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9 che divide tutto il territorio italiano in 36 zone. Tale zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici (cenozoici e quaternari) coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale; essa, pur basandosi ampiamente sull'impianto generale e sul *background* informativo della precedente zonazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 1996), rappresenta un suo sostanziale ripensamento, alla luce delle evidenze di tettonica attiva, delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite nei primi anni del decennio (con i fondamentali contributi del *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS), che, combinando dati geologici, storici e strumentali, censisce le sorgenti in grado di produrre terremoti di magnitudo 5.5 e superiore) e del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (all'epoca della redazione della mappa CPTI2, ora arrivato alla versione CPTI11). Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la Carta delle Zone Sismogenetiche del territorio nazionale.



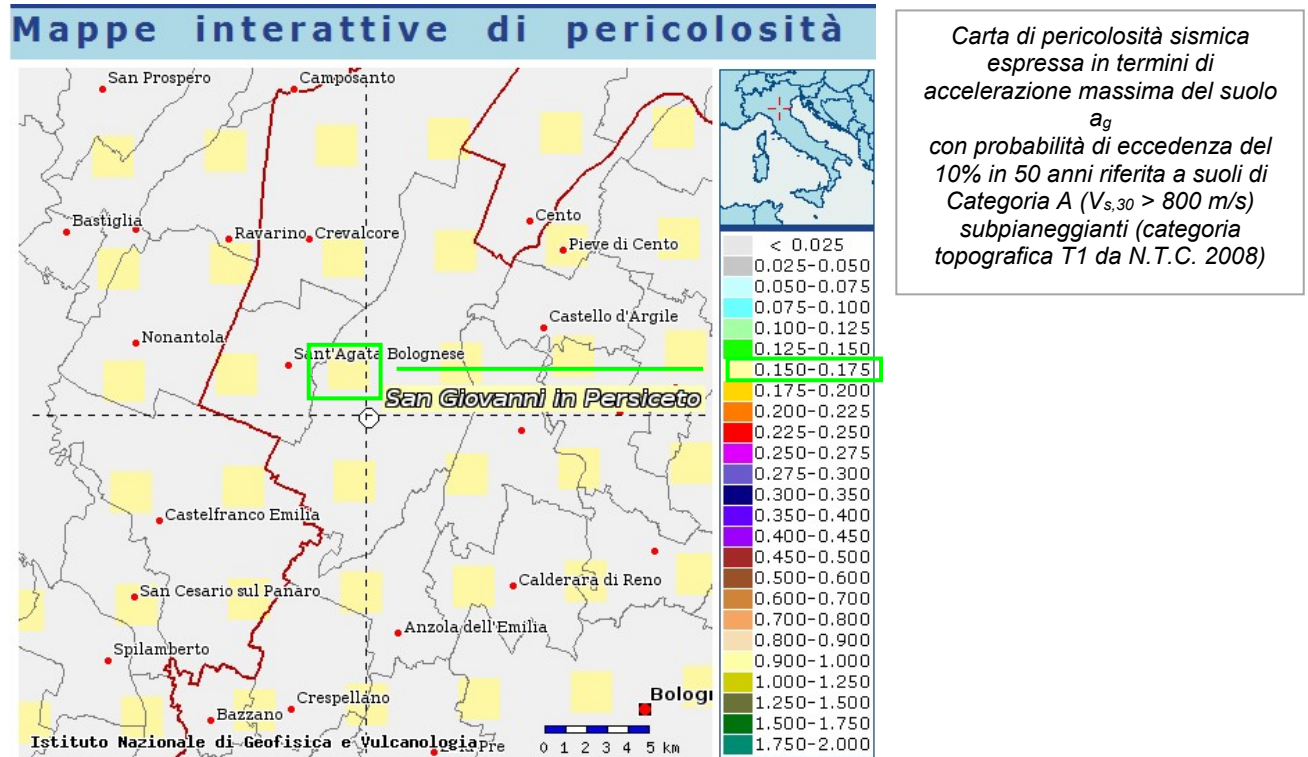
Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo.

Secondo la zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), il comune di San Giovanni in Persiceto si inserisce nella zona sismogenetica n°912 della figura seguente, e si sviluppa lungo il margine pedeappenninico, che presenta un'evoluzione geodinamica inquadrabile in un unico regime tettonico, soprattutto quello a sud di Modena, dove le faglie trasversali, con componente trascorrente, dei fiumi Secchia e Panaro, si mostrano con maggior risalto.



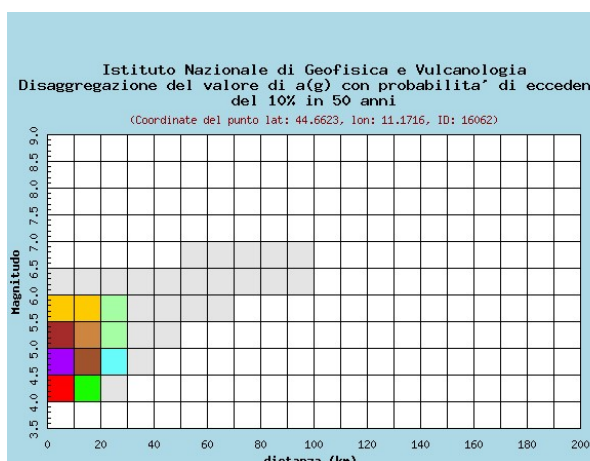
4.5 Pericolosità sismica di riferimento

La distribuzione e la caratterizzazione delle zone sismogenetiche finora riconosciute e descritte in precedenza è stata tradotta in una Carta di Pericolosità Sismica, valida su tutto il territorio nazionale ed entrata in vigore con l'O.P.C.M. n°3519 del 28/04/2006. Nella Carta, della quale la figura seguente rappresenta l'estratto per il comune di San Giovanni in Persiceto, sono riportati i valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi subpianeggianti di Categoria A.



Pertanto, secondo l'O.P.C.M. n°3519 del 28/04/2006 e considerata nell'emanazione del D.M. 14/01/2008, il territorio oggetto dello studio di MS è inseribile interamente nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra 0,150g e 0,175g (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni - mappa 50° percentile).

In ultima, si riporta il calcolo della disaggregazione della pericolosità: questa ha lo scopo di individuare il maggior contributo alla pericolosità del sito in termini di magnitudo-distanza di un evento. I grafici riportati sotto sono stati desunti dalle Mappe Interattive di Pericolosità Sismica dell'INGV e sono relativi al punto della griglia definito nella figura precedente (Carta di Pericolosità Sismica dell'INGV).



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.6623, lon: 11.1716, ID: 16062)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5
0-10	0.000	15.100	26.500	13.900	6.270	0.709	0.000	0.000	0.000	0.000	0
10-20	0.000	3.760	10.100	8.830	5.890	0.760	0.000	0.000	0.000	0.000	0
20-30	0.000	0.147	1.400	2.460	2.320	0.320	0.000	0.000	0.000	0.000	0
30-40	0.000	0.000	0.033	0.425	0.699	0.104	0.000	0.000	0.000	0.000	0
40-50	0.000	0.000	0.000	0.024	0.168	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.010	0.001	0.000	0.000	0.000	0
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.980	9.580	0.743

Si fa comunque presente che, come tutte le zone sismogenetiche del territorio italiano, anche quella contrassegnata al n°912 e precedentemente descritta viene considerata omogenea ai fini della probabilità di accadimento degli eventi sismici, ovvero si ritiene che tutti i punti in essa contenuti abbiano la stessa probabilità di essere sede di eventi sismici e, in rapporto agli epicentri noti, non esisterebbe quindi l'effetto distanza.

Secondo il paragrafo 2.8 degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, per alcune tipologie di verifiche si potrebbe assumere come valore di magnitudo attesa quella massima della zona sismogenetica di appartenenza, che per la Zona n°912 in cui ricade il territorio di San Giovanni in Persiceto vale $M_{wmax} = 6,14$.

Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

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

5 MICROZONAZIONE SISMICA. PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITÀ

5.1 Introduzione

I recenti terremoti che hanno interessato il nostro paese hanno ampiamente dimostrato che la variabilità spaziale del danno rilevato trova molto spesso la sua causa principale nei cosiddetti effetti locali o *effetti di sito*, ossia nelle differenti risposte del sito alle azioni sismiche, a causa delle diverse condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche.

Una efficace cultura di difesa dai terremoti non può che presupporre una valutazione della pericolosità locale a scala urbana, più ampia di quella della singola costruzione, e deve potersi basare su un'operazione tecnico-scientifica che sia autorizzata a rientrare a pieno titolo nelle valutazioni urbanistiche di riduzione del rischio e nelle politiche di pianificazione del territorio.

Tale operazione è, appunto, la Microzonazione Sismica: la MS è l'operazione di suddivisione di un dato territorio in zone omogenee sotto il profilo della risposta a un terremoto di riferimento, valutata tenendo conto delle interazioni tra le onde sismiche e le condizioni proprie di ogni zona individuata (*pericolosità sismica locale*).

5.2 La natura del problema

Durante lo scuotimento sismico e immediatamente dopo il terremoto, si verificano degli effetti molto appariscenti e, spesso, più devastanti dell'onda sismica, che sono tra le cause più importanti di vittime e danni: questi sono gli *effetti di sito*, che sono ormai ben conosciuti e possono amplificare notevolmente le sollecitazioni nelle strutture (di entità tale da portarle fino al collasso) o essere rappresentati da rotture del terreno, movimenti franosi, elevati cedimenti nei terreni soffici, liquefazione dei terreni incoerenti saturi. Le figure sottostanti sono un esempio di tali effetti.



Le osservazioni condotte nei secoli hanno dimostrato come possono verificarsi situazioni completamente differenti all'interno dello stesso territorio, anche a breve distanza; fin dagli anni Settanta, le ricerche scientifiche hanno evidenziato che la causa maggiore di variabilità spaziale del moto sismico sono i fenomeni legati alla propagazione delle onde S nei depositi di terreno, lungo la direzione verticale.

Da tali osservazioni è nata la necessità di iniziare degli studi per ipotizzare il comportamento del territorio in caso di terremoto e, di conseguenza, per valutare la *pericolosità sismica locale* e realizzare la MS, precedentemente definita.

La MS può assumere forme molto diverse a seconda delle condizioni territoriali in cui si realizza ed è difficile da standardizzare anche se, grazie ad alcune procedure ormai consolidate, è possibile sintetizzare lo studio di MS in una cartografia del territorio nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante (Categoria A di sottosuolo secondo Eurocodice 8) e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazione, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

In sostanza, dal punto di vista della pericolosità, la MS distingue le seguenti aree:

- **aree sismicamente stabili**, dove possono verificarsi o meno *effetti di sito* (stratigrafici, di valle, topografici, ecc.);

EFFETTI DI SITO

➤ Qualunque sia l'effetto locale analizzato è necessario valutare preliminarmente gli 'Effetti di sito' ('Risposta Sismica Locale'), ovvero le **modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza** del moto sismico rispetto al *moto di riferimento su affioramento rigido pianeggiante*

- Si distinguono 3 tipi principali di effetti:
1. **effetti stratigrafici** (monodimensionali, 1D)
 2. **effetti di valle** (bi-tridimensionali, 2D-3D)
 3. **effetti topografici** (bi-tridimensionali, 2D-3D)



- **aree sismicamente instabili**, dove possono verificarsi anche fenomeni di instabilità quali movimenti franosi, crolli di roccia, liquefazione, densificazione, subsidenza, spostamenti di faglia, crolli legati a cavità, ecc.

A tal proposito, per la mitigazione del rischio sismico a scala locale, la finalità di uno studio di MS è, pertanto, quello di pervenire alla stesura di una mappa, dove:

- siano identificati i confini delle zone con analoga risposta al terremoto di riferimento;
- vengano indicati i livelli di pericolosità delle diverse zone attraverso opportuni indicatori.

La mappa di MS diventa, quindi, una cartografia di sintesi che identifica il tipo di problemi e le gerarchie di pericolosità tra le diverse aree; nel caso di San Giovanni in Persiceto, tali informazioni serviranno a fornire all'amministrazione comunale uno strumento utile per la futura programmazione territoriale, la pianificazione urbanistica e la gestione delle emergenze, nonché per un eventuale ricostruzione post-sismica.

Si fa presente che la MS è legata alla gestione del territorio e alla pianificazione urbanistica e non al progetto delle strutture.

5.3 Finalità e livelli di approfondimento

La MS ha lo scopo di riconoscere a una scala sufficientemente grande (comunale o subcomunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso in termini di ampiezza, durata e frequenza o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture. Essa si colloca a un livello intermedio tra la classificazione sismica a scala nazionale, che fa riferimento a un terreno ideale rigido e pianeggiante per il quale fornisce dei parametri indicativi della pericolosità di base, e la progettazione antisismica, che opera invece a scala di singolo manufatto.

L'obiettivo principale è quello di distinguere le zone il cui comportamento può essere instabile (aree critiche) dalle zone dove possono aversi o meno fenomeni di amplificazione del moto sismico (aree stabili suscettibili o non suscettibili), mentre il secondo obiettivo è quello di valutarne la risposta.

Le principali linee guida internazionali, tra cui gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile (2008), prevedono tre Livelli di approfondimento.

In sintesi:

- il **Livello 1**, propedeutico ai veri e propri studi di MS, si basa prevalentemente sulla raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee in prospettiva sismica;
- il **Livello 2** associa alle zone omogenee dei parametri quantitativi di interesse ingegneristico-strutturale, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce la Carta di Microzonazione Sismica;
- il **Livello 3** quantifica numericamente l'amplificazione del moto sismico atteso in superficie tramite un'analisi monodimensionale o bidimensionale, a seconda delle condizioni geologiche/topografiche presenti nel sito d'indagine, e restituisce una Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Va sottolineato che l'adozione di tre livelli consente una grande flessibilità nelle applicazioni, in quanto permette di adeguare il livello di approfondimento alle risorse e ai tempi disponibili, nonché al tipo di utilizzo.

Nel caso in esame, è possibile affermare che lo studio di MS eseguito soddisfa il Livello 2 previsto dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile e dalla D.G.R. n° 1919 del 2013 della Regione Emilia Romagna.

6 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI DA INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE

6.1 Indagini pregresse e di nuova realizzazione

Le ricerche, finalizzate alla raccolta di indagini pregresse, sono state condotte attraverso la consultazione del catalogo ISPRA, degli archivi dell'ufficio tecnico comunale e del *database* personale degli scriventi. Tutte le indagini raccolte sono state schedate, informatizzate e inserite nella cartella specifica presente nel DVD allegato.

Inoltre, al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni del comune di San Giovanni in Persiceto, sono state condotte alcune misure geofisiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi; le indagini condotte sono state schedate e riportate in allegato.

In particolare, sono state effettuate:

- n°25 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) per individuare le frequenze di risonanza dei depositi;
- n°25 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (*Refraction Microtremor*) sviluppate in *array* lineari con geofoni ad asse verticale per la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo tramite la misura della velocità di propagazione delle onde S.

6.2 Dati pregressi di interesse stratigrafico e relativa elaborazione

Il criterio utilizzato per la scelta delle indagini pregresse è stato quello di avvalersi di dati certi, evitando la commistione di dati di differente recepimento.

Per le elaborazioni si sono utilizzate le seguenti indagini geognostiche in sito:

- prove di tipo CPT (prove penetrometriche statiche con punta meccanica di tipo Begemann) fatte eseguire dallo studio GEO3 con penetrometri rigorosamente da 20t a partire dal 2005 sino a oggi;
- prove di tipo CPTU e CPTe (prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPTe, prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU) fatte eseguire sia dallo studio GEO3 sia da altri studi e disponibili per la consultazione;
- sondaggi (S) eseguiti e messi a disposizione sia della Regione Emilia Romagna sia dallo studio GEO3.

6.3 Metodologia di elaborazione delle nuove indagini

6.3.1 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

La tecnica di sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né stendimento di cavi, né energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura già esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito**, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di *doppia risonanza*, estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi;

- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito, sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se, in caso di sisma, la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s** , calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,30}$ e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14/01/2008;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0,5 m e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 m. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica H.V.S.R. si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi, poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o semplicemente H.V.S.R., che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Micromed Spa modello *Tromino*[®] *ENGY-Plus* che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0,1 Hz e 256 Hz.

6.3.1.1 Sintesi dei risultati

Le frequenze fondamentali di risonanza del terreno fanno parte degli *effetti di sito* che, assieme all'instabilità per azione sismica, caratterizzano la vulnerabilità del territorio quale elemento indispensabile per la stima del rischio sismico. In linea di principio, visto che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, è possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione in ogni punto: infatti, le frequenze sono determinate dalle proprietà meccaniche e, in maniera secondaria, dalla morfologia attorno al punto di misura.

Analizzando la Carta delle frequenze e la Carta delle indagini successivamente descritte, si vede come sia stato indagato integralmente il territorio previsto dall'incarico e come le n°25 misure H.V.S.R. eseguite siano state distribuite in modo da interessare completamente il comune di San Giovanni in Persiceto: questo è stato fatto per vedere le modalità di risposta dei vari ambienti geomorfologici alle sollecitazioni sismiche.

Nella tabella seguente è riportata esclusivamente la sintesi dei risultati delle misure H.V.S.R. eseguite in questa fase mediante Tromino® (T1, ..., T25), mentre in allegato fuori testo sono riportate le schede riassuntive dei risultati di tali prove. Le valutazioni sulle condizioni di amplificazione di sito sono state effettuate considerando la finestra frequenziale di 0,1-20 Hz, che risulta essere quella di normale interesse ingegneristico-strutturale.

CODICE PROVA	LITOTIPO PRESENTE	FREQUENZA DI RISONANZA (Hz) (INTERVALLO 0,1 – 20 Hz)	CONDIZIONE DI AMPLIFICAZIONE (INTERVALLO 0,1–20 Hz)
T1	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,81	Si
T2	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,63	Si
T3	Argille inorganiche di media – bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre	0,94	Si
T4	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,75	Si
T5	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,63	Si
T6	Argille inorganiche di media – bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre	0,53	Si
T7	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,78	Si
T8	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,63	Si
T9	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,94	Si
T10	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,94	Si
T11	Argille inorganiche di media – bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre	0,84	Si
T12	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,63	Si
T13	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,84	Si
T14	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,63	Si
T15	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,75	Si
T16	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,78	Si
T17	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,63	Si
T18	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,78	Si
T19	Argille inorganiche di media – bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre	0,81	Si
T20	Argille inorganiche di media – bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre	0,28	Si
T21	Argille inorganiche di media – bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre	0,63	Si
T22	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,28	Si
T23	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,31	Si
T24	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,78	Si
T25	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo	0,91	Si

6.3.2 Indagine sismica di tipo passivo in *array* (Re.Mi.)

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità, ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste lunghezze d'onda interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche che sono variabili, appunto, con la profondità. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie.

Ovviamente, le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come *metodo passivo* in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi derivanti da questo metodo sono molteplici poiché è veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma, soprattutto, permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati. La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da adottare in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale-rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, rappresenta nel caso Re.Mi. la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh dai modi superiori e dall'*aliasing* spaziale: risulta quindi necessario soddisfare la condizione di *omnidirezionalità* delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione viene analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi. Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx , che agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza; supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa: se la frequenza è più bassa, aumenta la profondità d'indagine.

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r), che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$). Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio $x-t$ (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo di localizzare attraverso lo spettro la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale.

La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame. Per ottenere un elevato dettaglio del segnale, il *sampling rate* utilizzato

è stato di 512 Hz. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato per ogni misura è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è Grilla v.6.4 - 2013.

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n°9 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in *array* lineari totalmente digitali (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB.

Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 5 m quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 40 m. Tutti gli stendimenti eseguiti non presentavano sostanziali variazioni di quota e, quindi, i siti indagati sono stati considerati a sviluppo orizzontale.

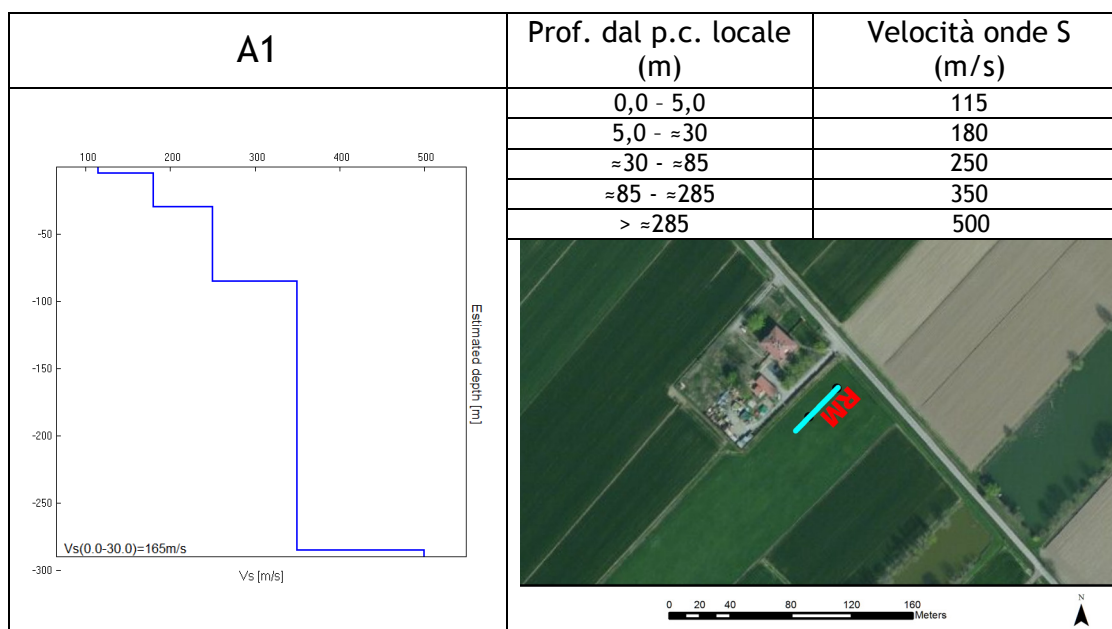
6.3.2.1 Determinazione delle velocità delle onde di taglio S (V_s)

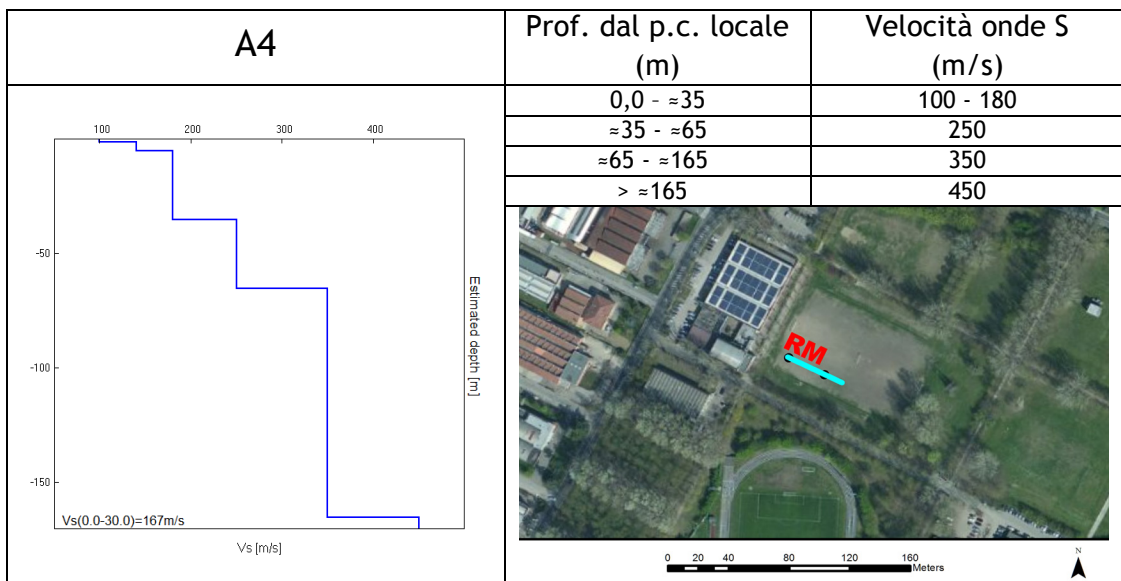
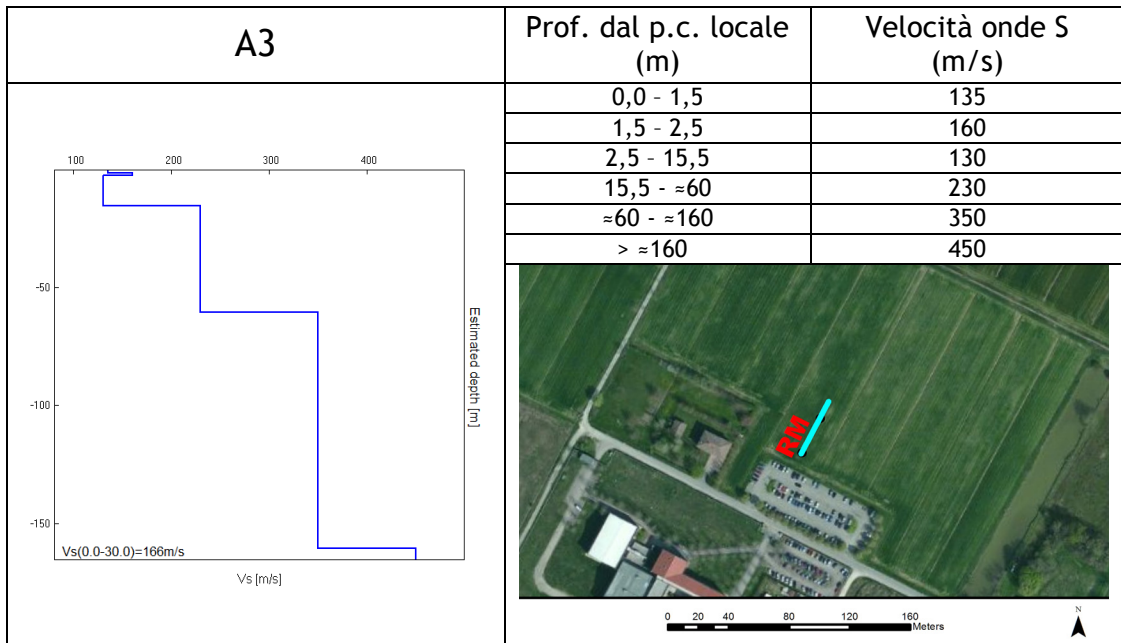
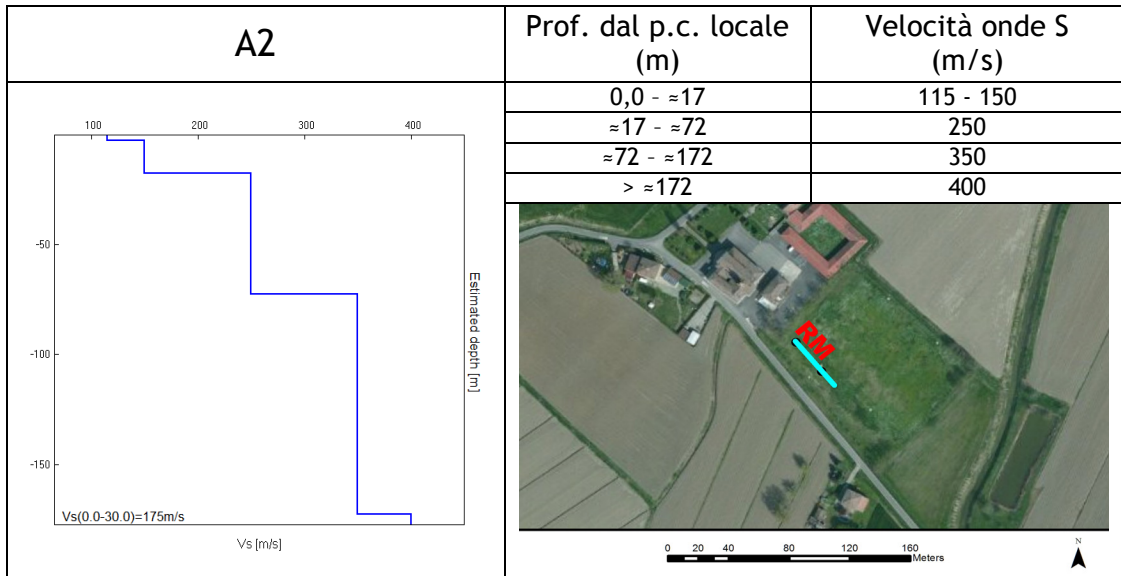
Come detto in precedenza, nel territorio comunale sono state fatte una serie di misure sismiche di superficie (*array* sismici) per approfondire le conoscenze sulle caratteristiche sismiche dei litotipi costituenti il territorio in esame: in particolare, esse sono state utilizzate per determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio S (V_s) dei terreni testati.

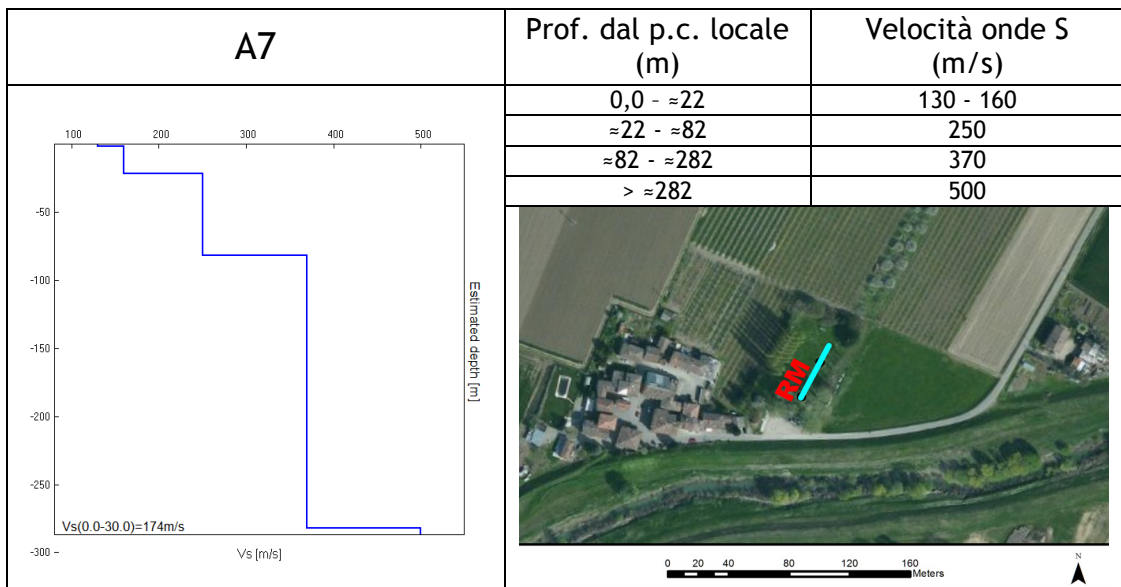
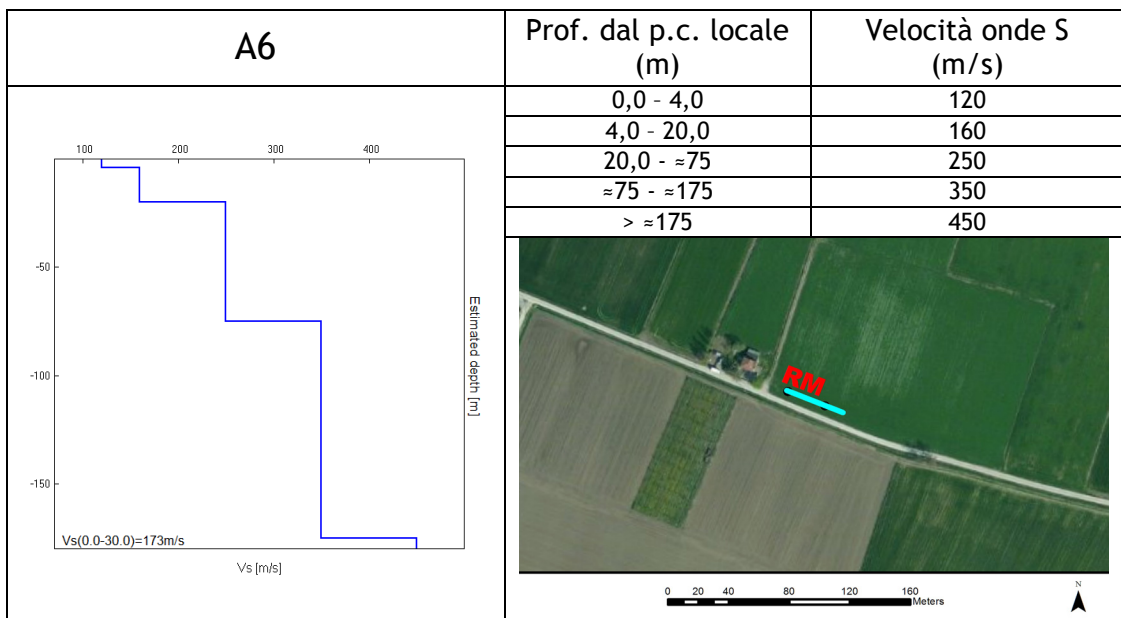
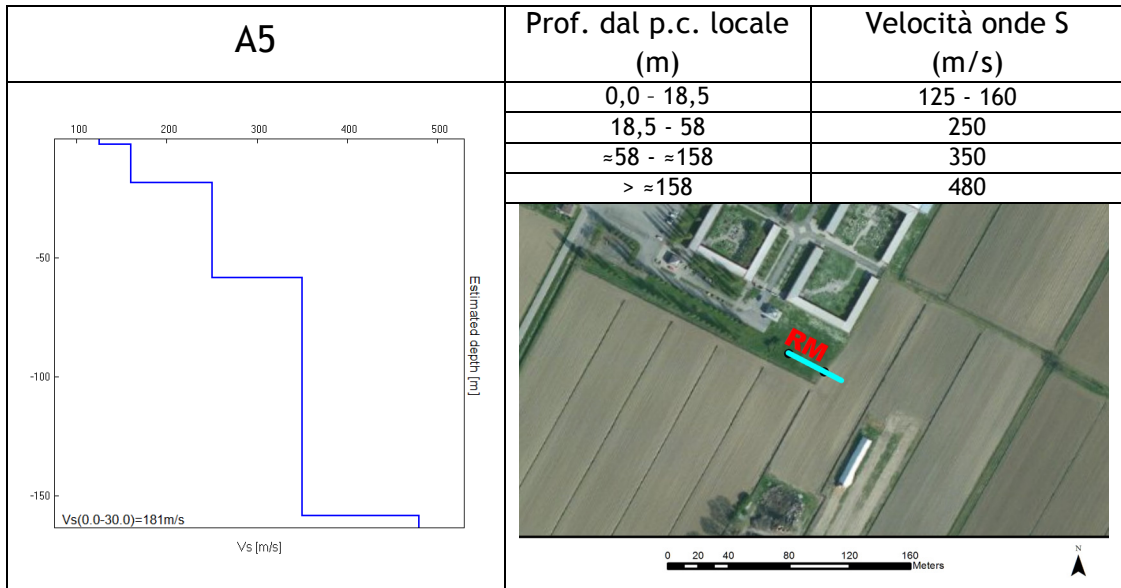
6.3.2.2 Risultati delle misure

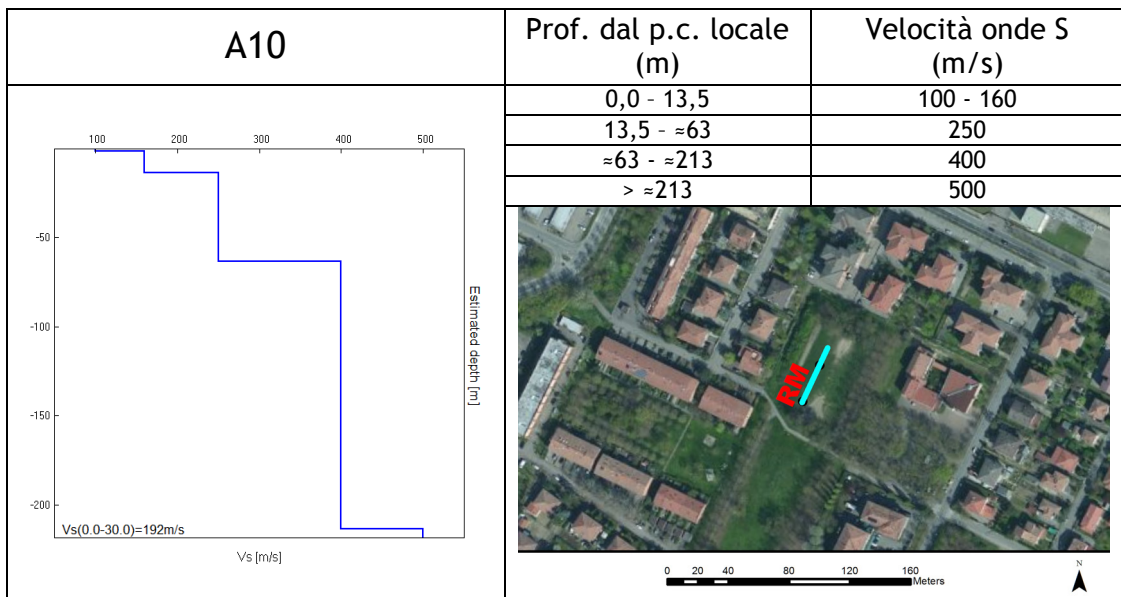
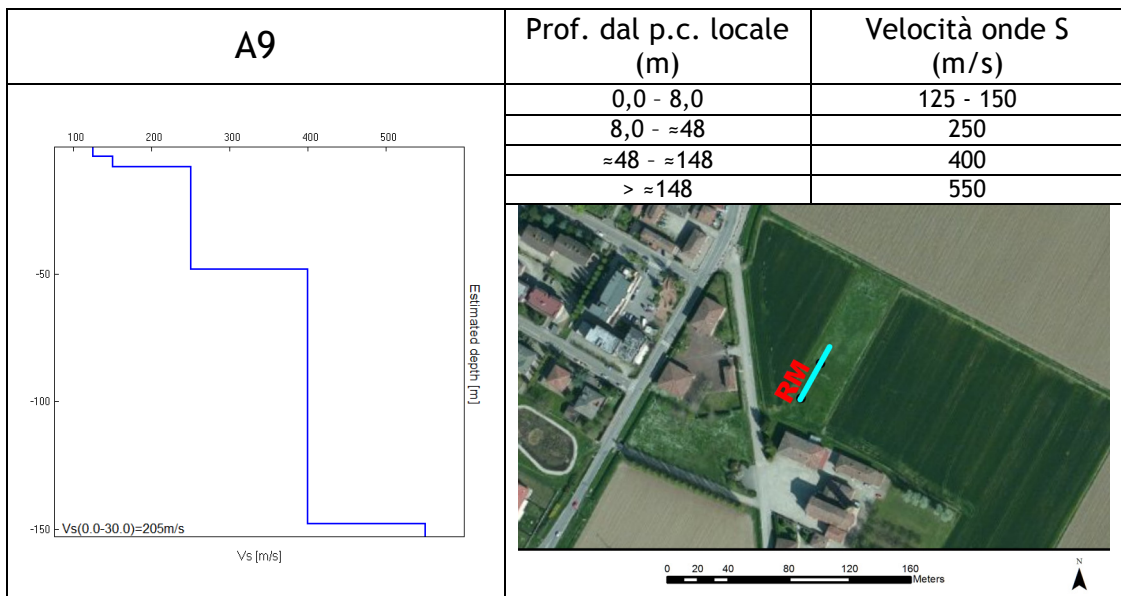
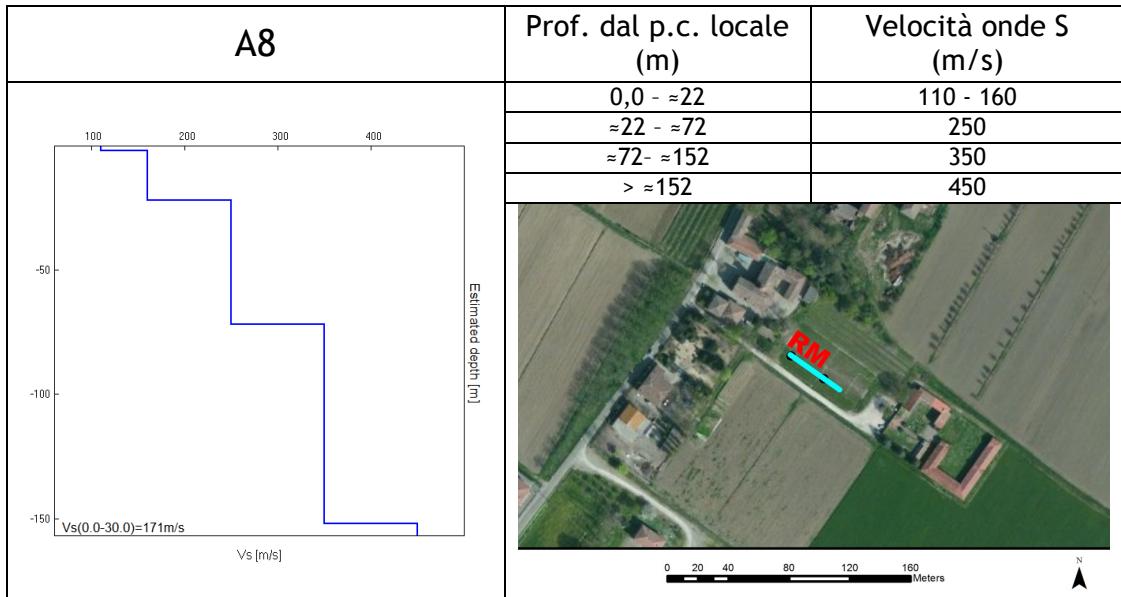
In questo paragrafo è riportata esclusivamente la sintesi dei risultati ottenuti dall'analisi congiunta degli *array* sismici e degli H.V.S.R. accoppiati ad essi.

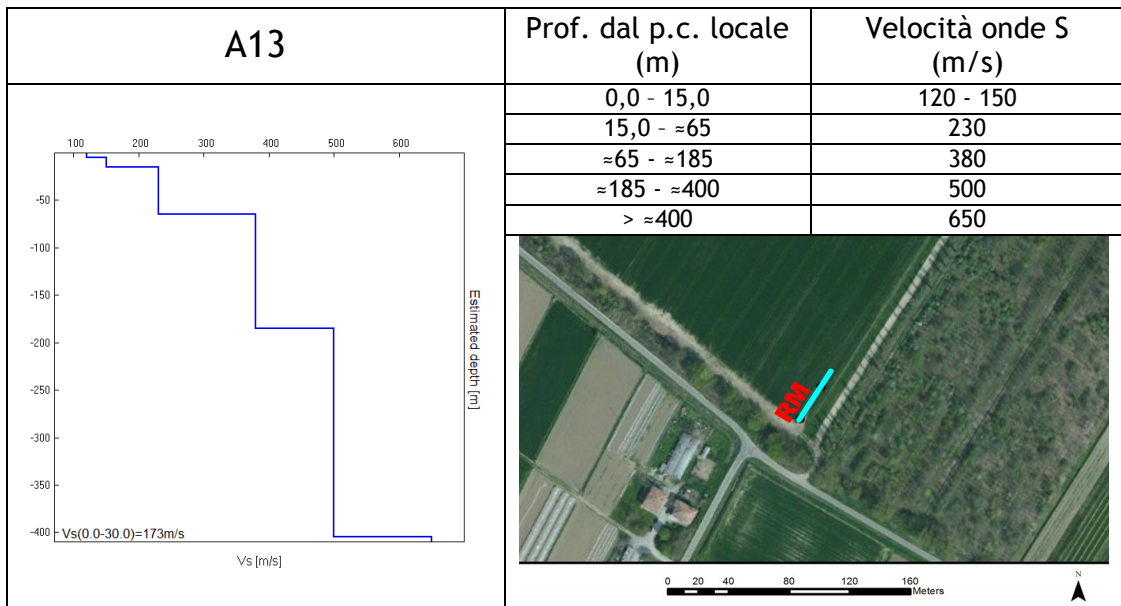
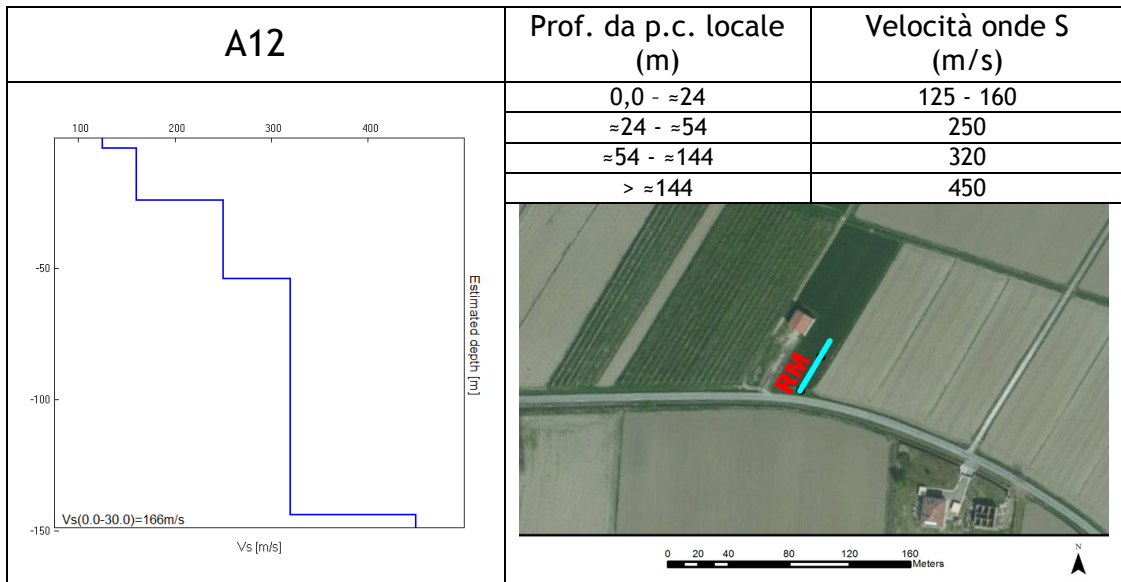
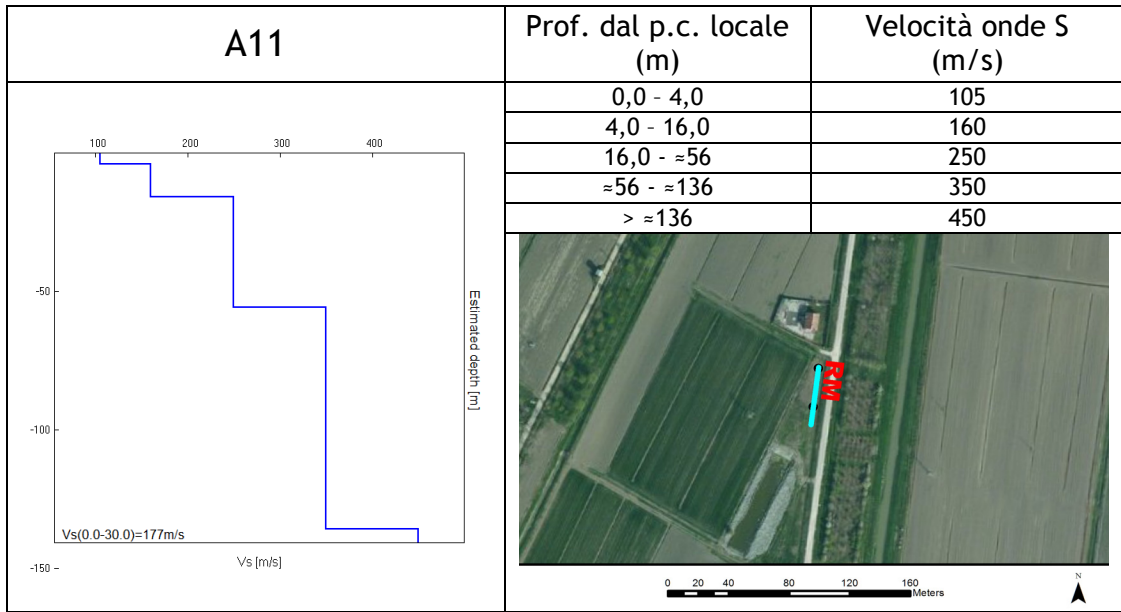
Nelle tabelle seguenti sono riportate l'ubicazione degli *array* e il profilo verticale delle onde di taglio (V_s). Si rimanda all'allegato fuori testo per la lettura completa delle schede con i risultati di tali prove.

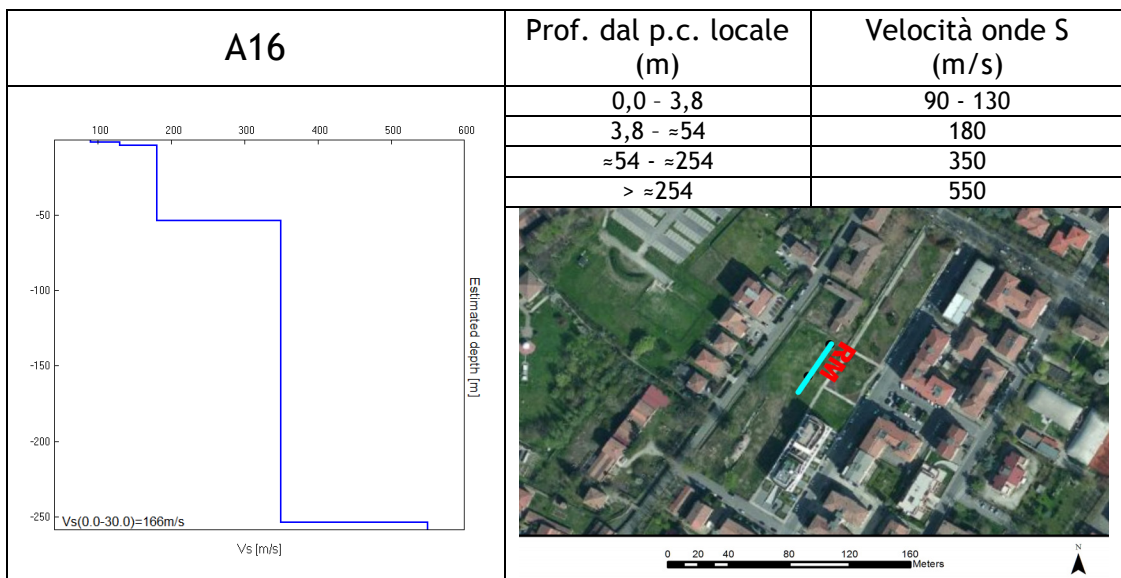
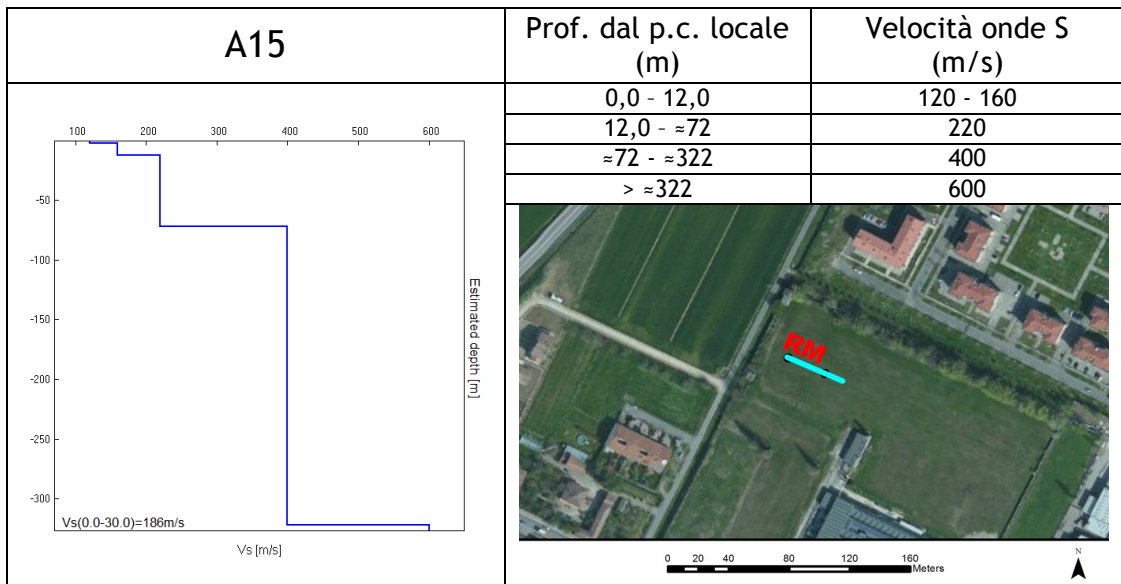
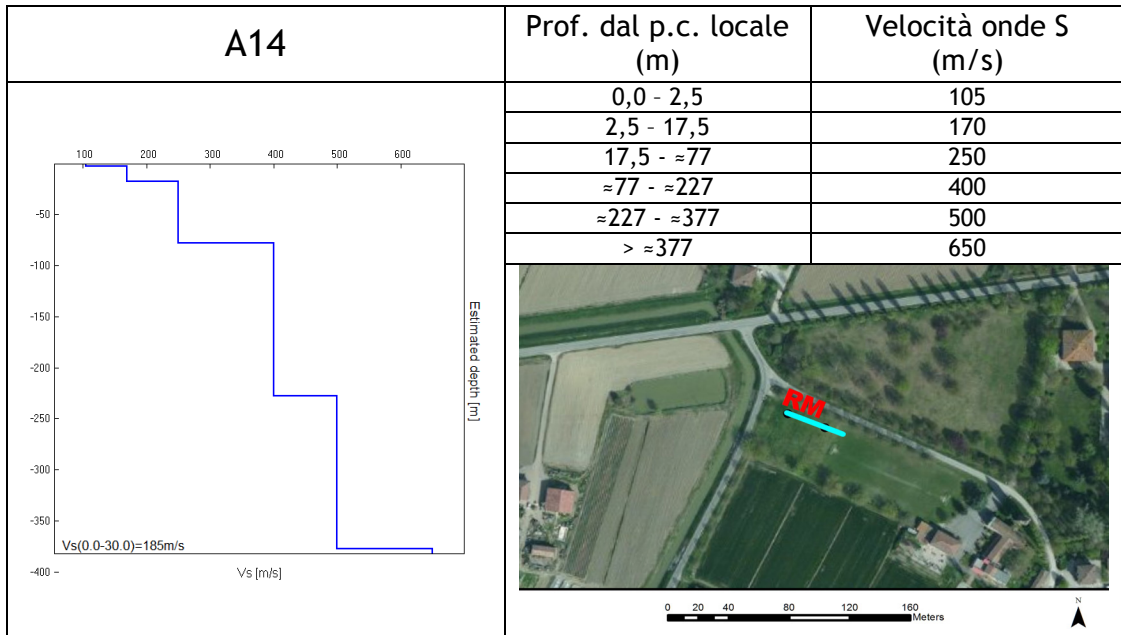


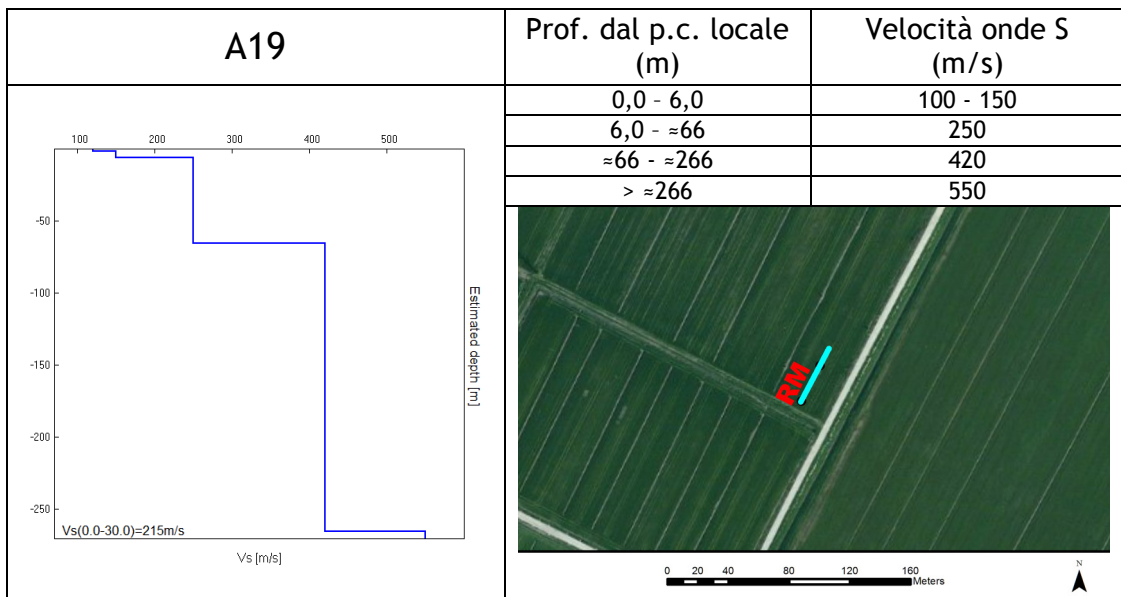
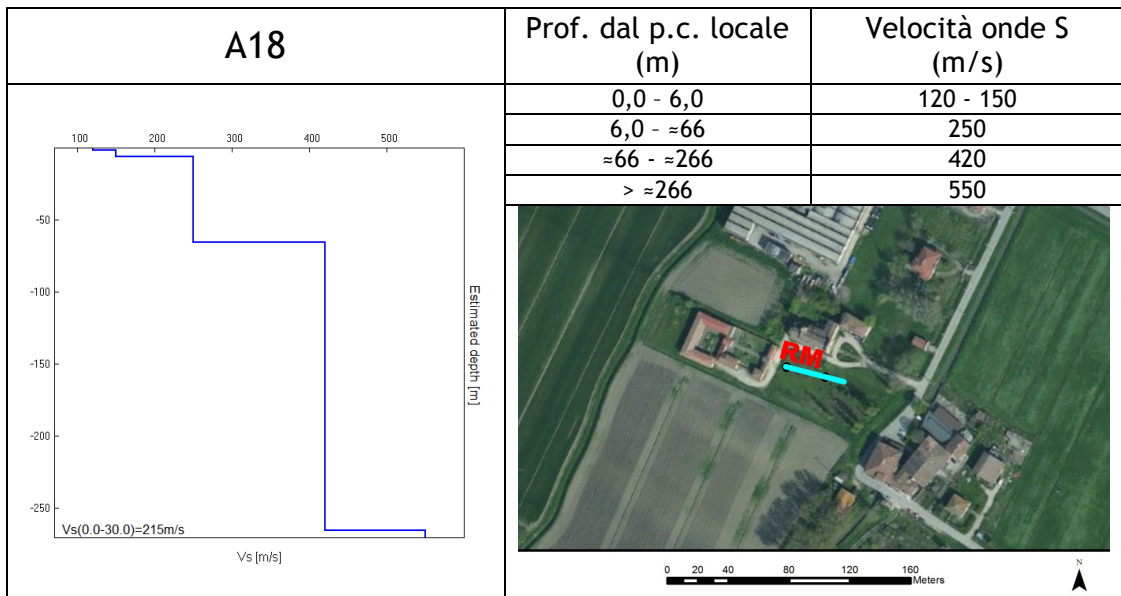
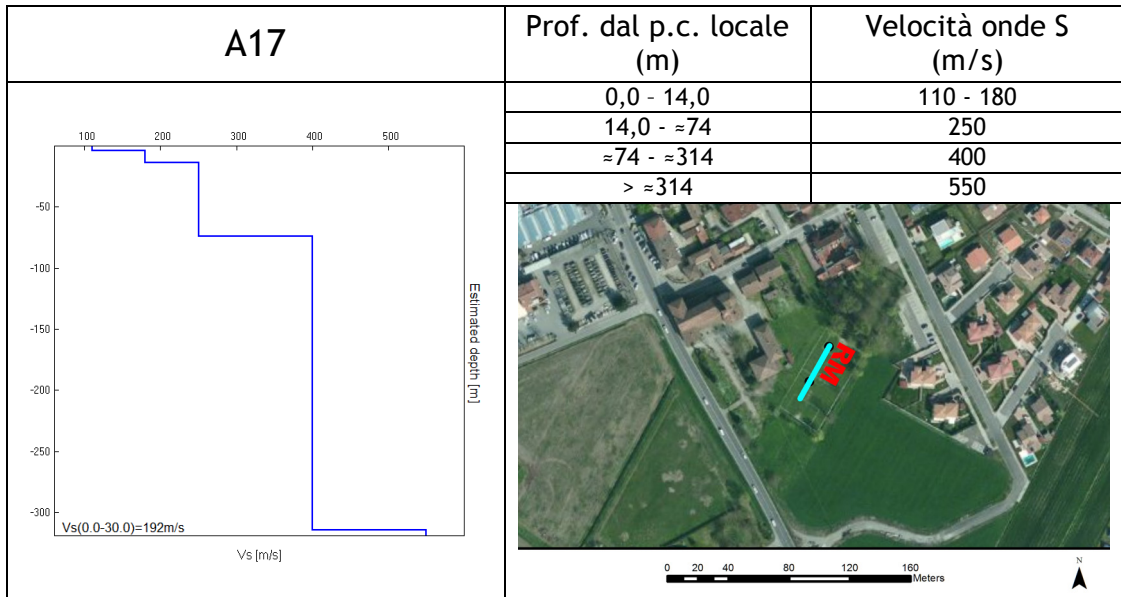


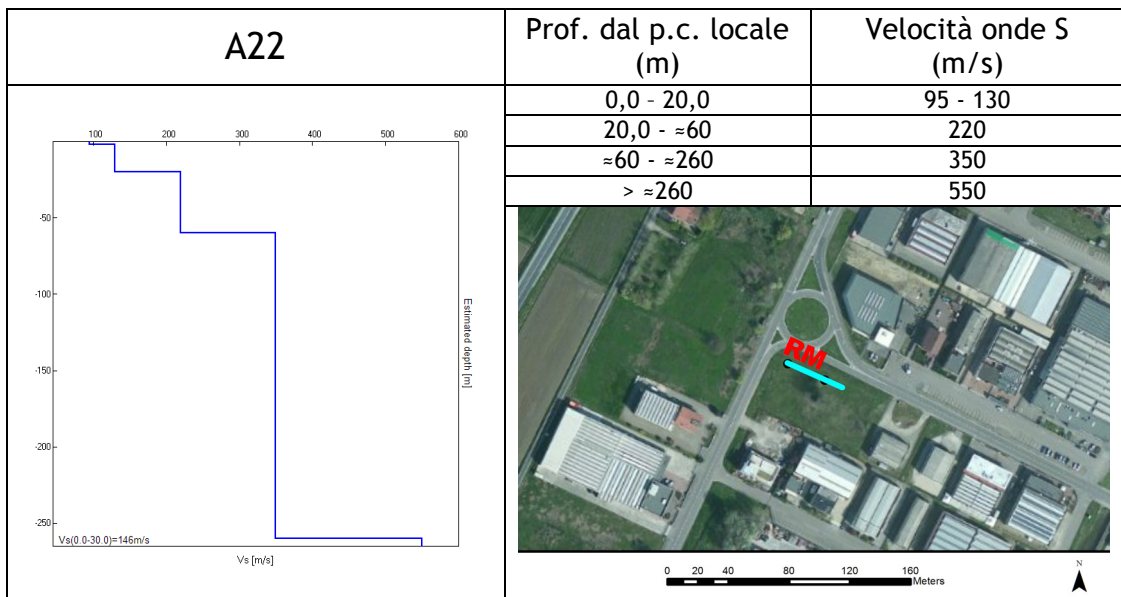
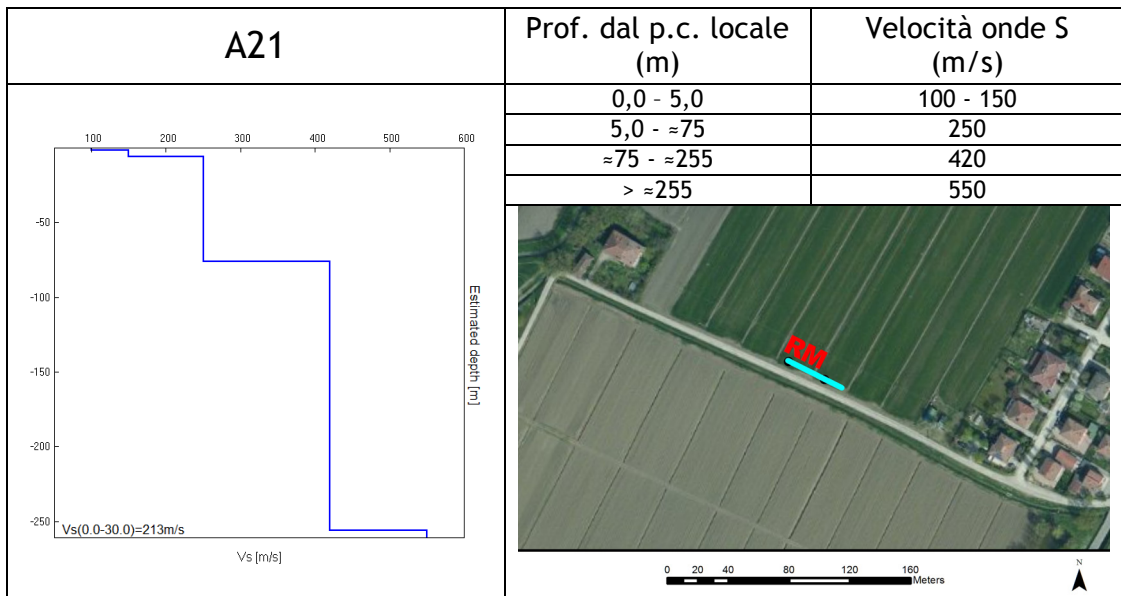
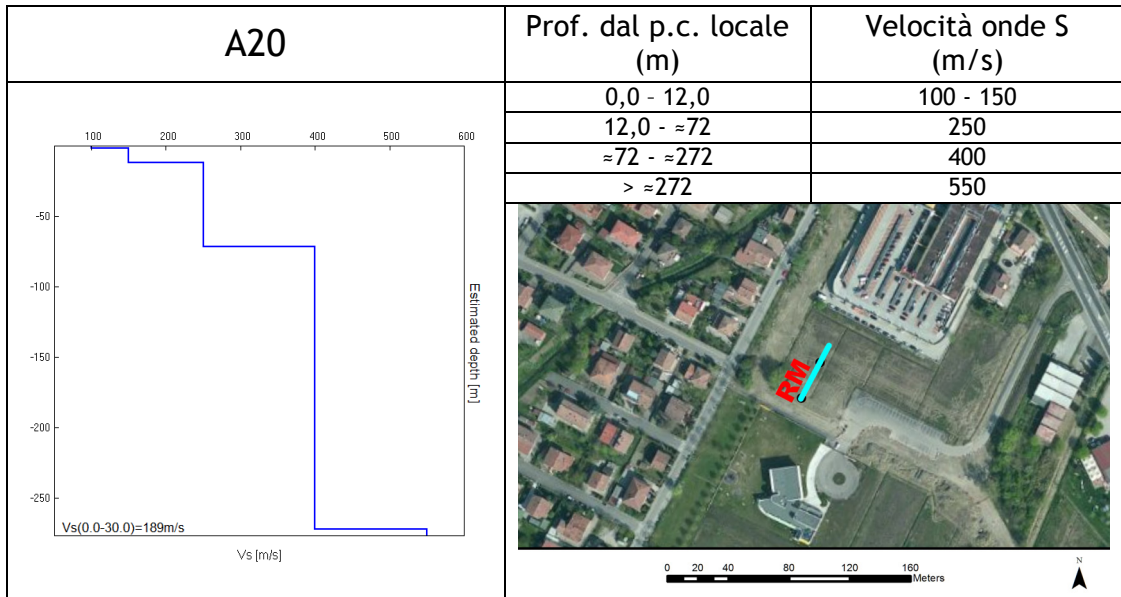


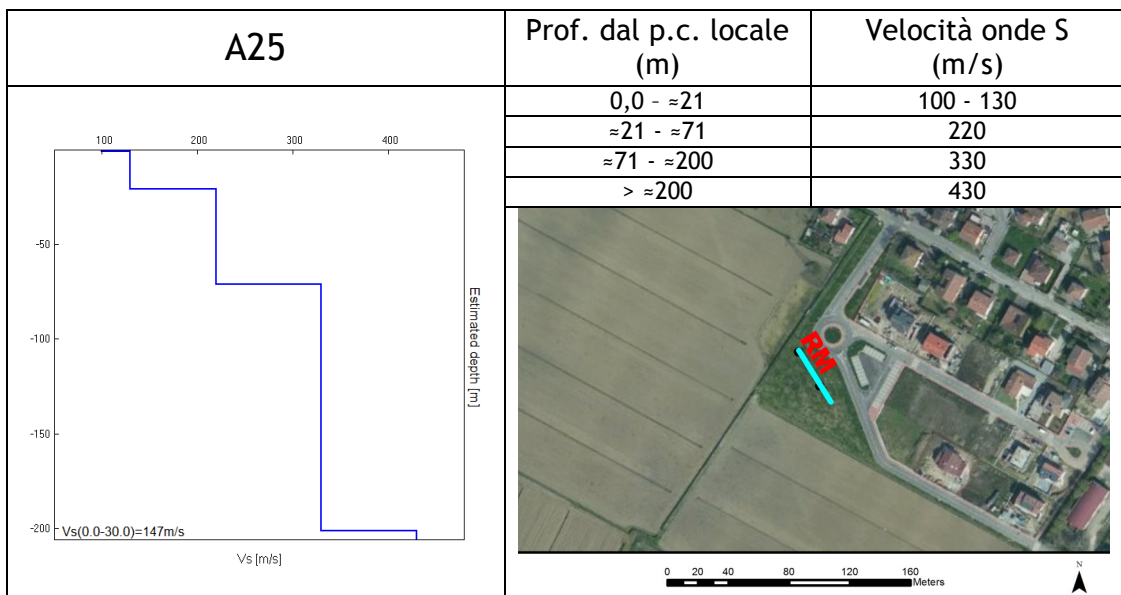
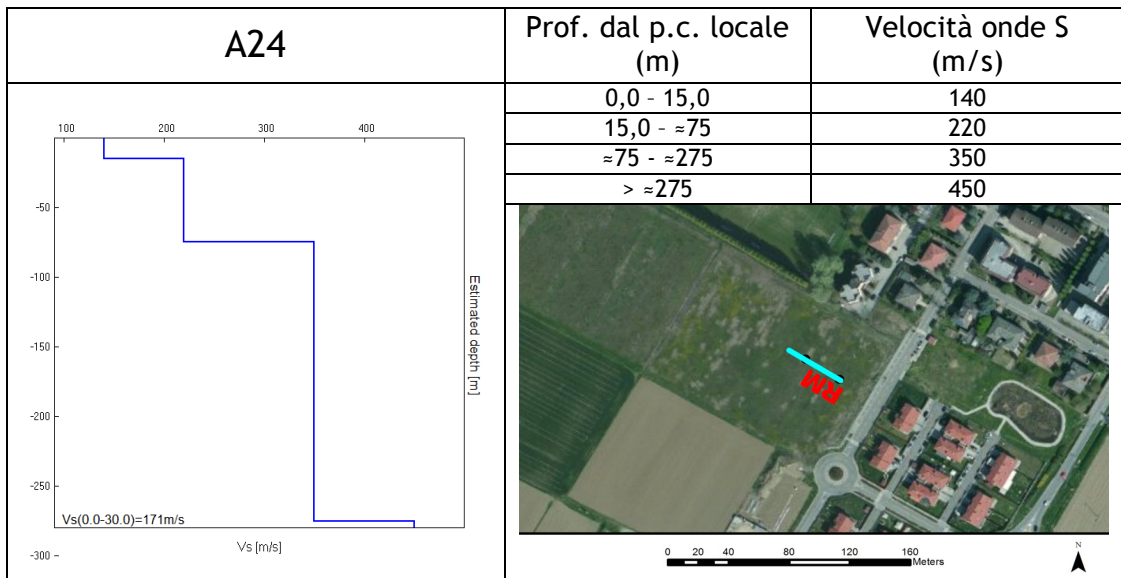
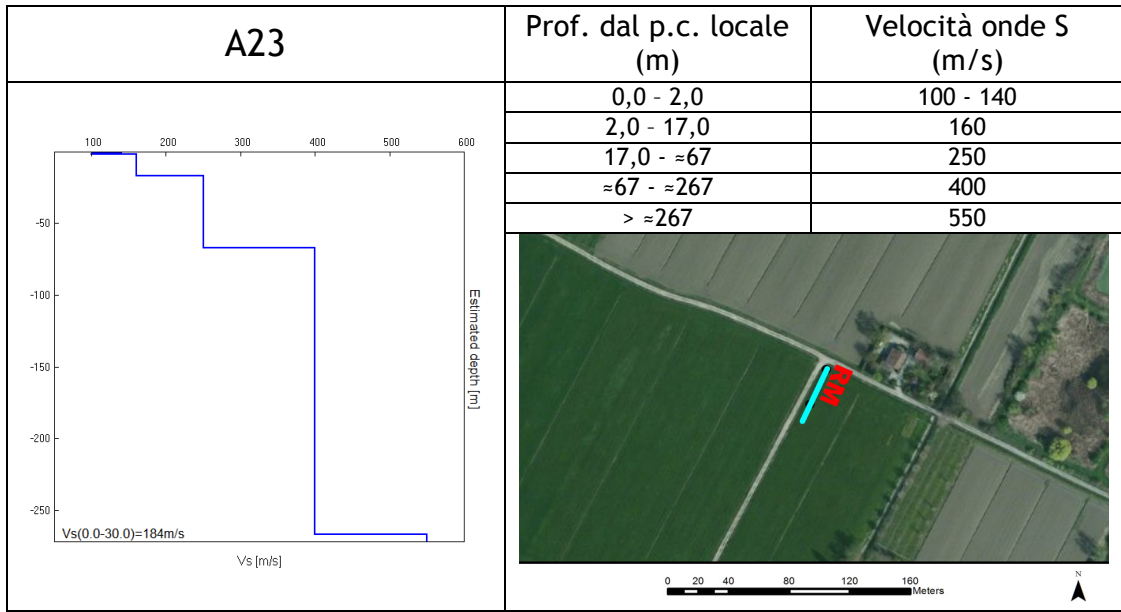












6.4 Modello geosismico del sottosuolo. Interpretazione e incertezze

La valutazione della risposta sismica locale, sia con approccio semplificato sia con modellazioni avanzate, non può prescindere da un'accurata ricostruzione del modello geosismico del sottosuolo tramite l'utilizzo di indagini geofisiche specifiche.

Le misurazioni effettuate hanno permesso di ricostruire modelli sismo-stratigrafici accurati e precisi, in quanto i segnali si presentano privi di artefatti e con una elevata coerenza. Inoltre, la presenza di un rumore di fondo caratterizzato da un ricco spettro alle medio-basse frequenze ha permesso di ottenere un'elevata profondità d'investigazione, per quanto riguarda le misure di tipo Re.Mi. e H.V.S.R..

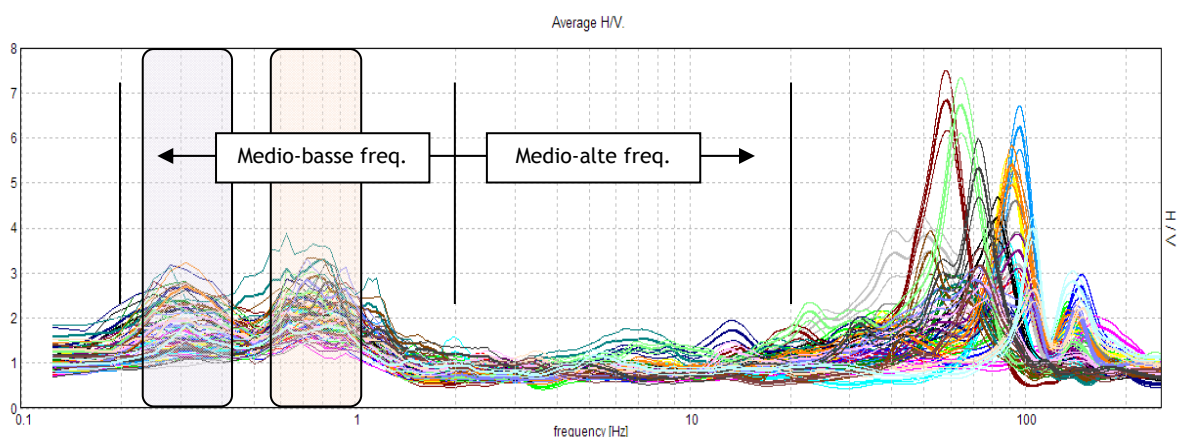
I risultati hanno evidenziato un modello geologico del sottosuolo abbastanza regolare, soprattutto per quanto riguarda la copertura più superficiale che, come ben noto, contribuisce in maniera determinante nella valutazione della risposta sismica locale, amplificando gli effetti in modo considerevole. Tali amplificazioni saranno tanto più marcate quanto più elevati sono i contrasti di rigidità tra i vari sismostrati.

In sostanza, la ricostruzione sismo-stratigrafica locale ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 10-20 m dal p.c. locale mentre per valori di profondità maggiore si riscontra un graduale aumento della velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_s \approx 250-350$ m/s).

Alcune misure hanno permesso di investigare il sottosuolo a elevate profondità rilevando un ulteriore aumento di rigidità ($V_s \approx 450-650$ m/s) a qualche centinaio di metri dal p.c. locale.

Le registrazioni HVSr hanno quindi restituito curve H/V caratterizzate da basse frequenze di risonanza e con un andamento pressoché piatto alle medio-alte frequenze.

Quindi, un evento sismico che verrà registrato nel territorio di San Giovanni in Persiceto, con buona probabilità, sarà caratterizzato da una frequenza predominante compresa tra 0,3 Hz e 1,0 Hz e con periodi di oscillazione secondari alle medio-alte frequenze.



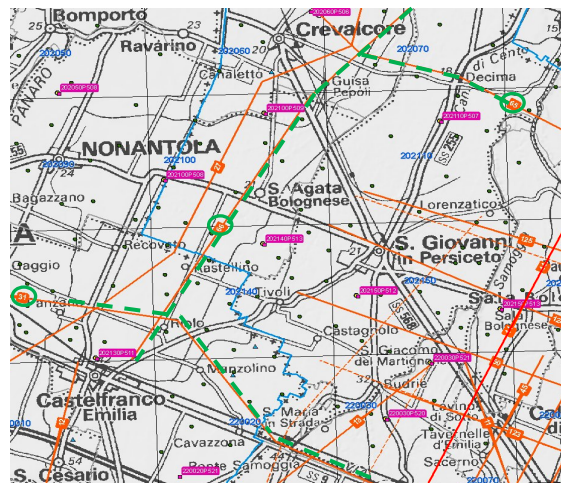
Ai fini della MS e per valutazioni relative alle possibili amplificazioni stratigrafiche risulta di forte interesse la valutazione della profondità del primo significativo contrasto di impedenza.

Per la valutazione di questa superficie, oltre alle indagini condotte, ci si è avvalsi delle considerazioni esposte nella relazione per la Microzonazione Sismica e Analisi della Condizione Limite per le Emergenze delle aree epicentrali dei terremoti della Pianura Emiliana di Maggio-Giugno 2012 (Ordinanza del Commisario delegato - Presidente della Regione

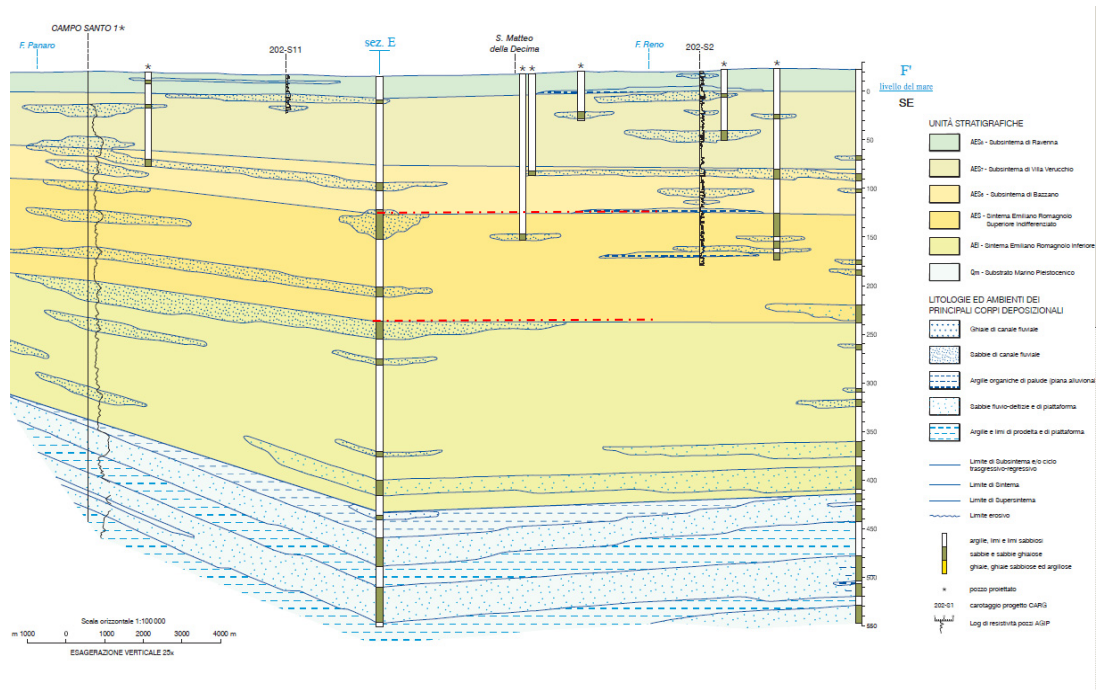
Emilia-Romagna n. 70/2012 - Pubblicazione 14/10/2013). In questa si afferma: “... è stato possibile riconoscere che il maggiore contrasto di impedenza si ha in genere tra la base del sistema emiliano-romagnolo superiore (AES), datata 400.000-450.000 anni, e la base del subsistema AES6, datata 230.000-250.000 anni, tali superfici sono spesso molto vicine ...”.

Per analogia, in quanto la relazione di sopra è relativa a territori comunali limitrofi e del tutto simili all'area in studio, si è ipotizzato che anche per il comune di San Giovanni in Persiceto possano essere i limiti sopra citati le profondità alle quali è presente il primo significativo contrasto di impedenza.

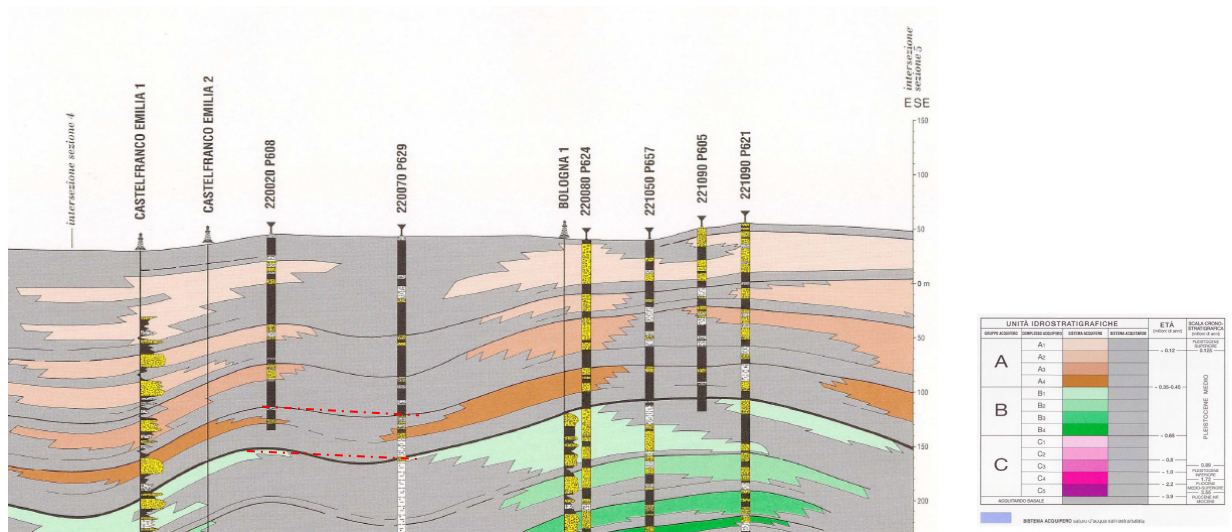
E' stata quindi effettuata la stima della profondità di questa attraverso la consultazione di sezioni geologiche e stratigrafiche redatte e/o messe a disposizione dalla Regione Emilia Romagna. A seguire è riportata la localizzazione delle sezioni e più in basso le relative tracce di particolare interesse (indicate nella planimetria a seguire con sovrasegno in tratteggio verde).



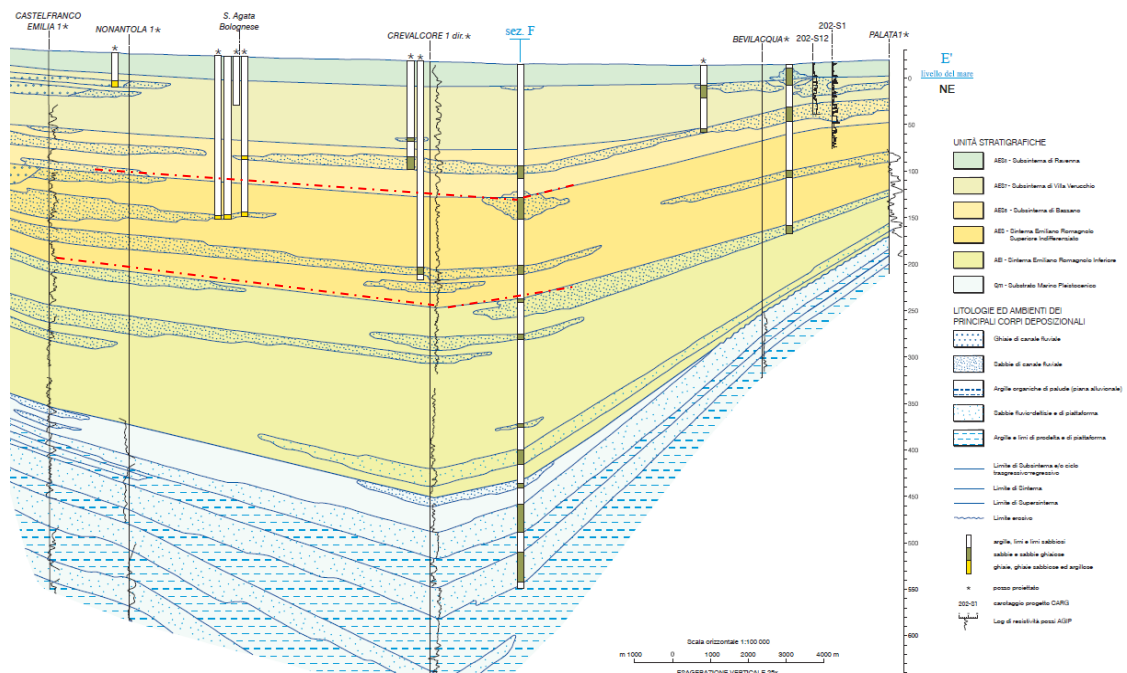
Sezione 65 (Nord):



Sezione 31 (Sud):



Sezione 66 (Ovest):



Nelle sezioni sopra riportate si sono indicate in tratteggio rosso le superfici ipotizzate dalla Regione Emilia Romagna come base del subsistema AES6 e del sistema AES, ovvero i presumibili primi contrasti di impedenza, relativi alle aree in esame.

Quindi, è possibile ipotizzare che nel territorio comunale di San Giovanni in Persiceto il primo significativo contrasto di impedenza si trovi a una profondità superiore a 110-120 m dal piano campagna locale. Tali valori trovano conferma nei risultati ottenuti dalle prove geofisiche condotte per il presente lavoro.

7 ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1 Carta delle indagini

Si tratta della cartografia elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, con ubicate le indagini eseguite in questa fase e quelle desunte da studi pregressi. Non essendo disponibili particolari studi specifici, sono state ubicate alcune stratigrafie reperite presso l'ufficio tecnico comunale, quelle ricavate dalla consultazione del catalogo ISPRA e alcune stratigrafie in possesso degli scriventi. Inoltre, sono stati consultati e archiviati alcuni studi di carattere geologico eseguiti per la progettazione di opere civili. Le indagini di nuova realizzazione sono state schedate e allegate fuori testo mentre quelle pregresse sono state digitalizzate e riportate nell'apposita cartella, all'interno del DVD allegato.

7.2 Carta geologico-tecnica

Questa carta, elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, riguarda l'integrazione e la rivisitazione in chiave sismologica dei contenuti geolitologici, geomorfologici e idrogeologici contenuti negli studi di seguito riportati (cartografie in parte riportate nella carta propedeutica allegata al termine del testo).

- Relazione QC.6/R Suolo-sottosuolo e acque, allegata al PSC Terre d'acqua, approvata in data 07/04/2011. Tra i vari autori si cita per gli aspetti geologici, geomorfologici, sismici ed idraulici il dott. geol. Valeriano Franchi, dott. geol. Stefania Asti, dott. Fausto Melotti e l'ing. Adelio Pagotto;
- Carta Geomorfologica QC.6/t2a e QC.6/t2b Suolo-sottosuolo e acque, allegate al PSC Terre d'acqua, approvata in data 07/04/2011. Tra i vari autori si cita per gli aspetti geologici, geomorfologici, sismici ed idraulici il dott. geol. Valeriano Franchi, dott. geol. Stefania Asti, dott. Fausto Melotti e l'ing. Adelio Pagotto;
- Carta Geologica in scala 1:50.000 della Regione Emilia Romagna derivante dal Progetto CARG (per l'area in esame: Foglio 202- San Giovanni in Persiceto, 2009);
- Carta Geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia Romagna;
- Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 202 - San Giovanni in Persiceto (Molinari-Pizziolo, pubblicazione anno 2009)
- Microzonazione Sismica delle aree epicentrali dei terremoti della Pianura Emiliana di maggio-giugno 2012 (Ordinanza del Commissario delegato - Presidente della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012) e relativa cartografia (pubblicazione 14/10/2013). Si sono inoltre analizzate le relative cartografie, in particolare quelle delle aree limitrofe ovvero dei comuni di Crevalcore e di Cento.

La Carta geologico-tecnica (CGT) serve per individuare gli elementi geologici che, in prospettiva sismica, potrebbero assumere un ruolo rilevante nell'esaltazione degli effetti di uno scuotimento. Per riconoscere in via preliminare le aree soggette o non soggette ad amplificazione sismica, in questa carta sono state indicate le seguenti situazioni:

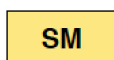
- delimitazione dei diversi terreni di copertura. Le unità litologiche individuate sono state riviste per uniformarle alle indicazioni delle Linee Guida della Protezione Civile;
- contatto di terreni a differente risposta sismica;
- Elementi tettonico-strutturali attivi, ricavati dai cataloghi nazionali e precedentemente descritti;
- informazioni sulla falda e sui sondaggi che non hanno intercettato il substrato geologico.

Per l'elaborazione della CGT, in primo luogo sono state analizzate le informazioni di carattere litologico derivanti dalle cartografie consultate e, sulla base delle caratteristiche meccaniche e degli ambienti genetico-deposizionali dei terreni, le varie unità litologiche sono state accorpate secondo classi distinte e rappresentative dei depositi costituenti il sottosuolo di San Giovanni in Persiceto.

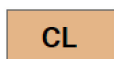
Per evidenziare i possibili effetti di amplificazione stratigrafica (contrasto di impedenza tra mezzi geologici differenti, ovvero effetti litologico-stratigrafici), sulla base delle carte litologiche e dai risultati ottenuti dalla consultazione delle prove pregresse e di nuova realizzazione, sono stati individuati i contatti tra litologie che possono rispondere in modo differente alla sollecitazione sismica e, in particolare, sono stati separati i depositi prevalentemente limo-sabbiosi da quelli argilloso-limosi

Le unità litologiche principali sono le seguenti:

Terreni di copertura



Sabbie limose, miscela di sabbie e limo
(es = argine/barre/canali)



Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose,
argille limose, argille magre (pi = piana inondabile)

Facendo riferimento alle litologie presenti nel territorio, le unità riportate nella tabella precedente individuano e accorpano i seguenti terreni:

<i>Carta geologico-tecnica per la Microzonazione Sismica</i>	<i>Litologia correlata</i>
SMes	Depositi di piana inondabile di area interfluviale Materiale a tessitura limo-sabbiosa (LS-LAS)
CLpi	Depositi di canale, argine o rotta fluviale Materiale a tessitura argilloso-limosa, limo-argillosa (AL-LA)

In tutto il territorio indagato non risultano presenti forme di superficie e/o sepolte che potrebbero produrre particolari amplificazioni sismiche se non nei pressi degli assi di paleoalveo individuati. In linea generale sono stati quindi esclusi i fenomeni di amplificazione sismica dovuti a *effetti topografici*.

Gli elementi tettonico strutturali sono stati inseriti come “potenzialmente attivi” in virtù dell’assetto stratigrafico locale (centinaia di metri di copertura) che non consente di determinare con certezza la propria attività in superficie in caso di evento sismico di magnitudo rilevante.

In ultima, è stata rilevata, tramite la consultazione di alcune cartografie e l’analisi delle prove pregresse, la falda acquifera a una profondità di qualche metro dal piano campagna locale.

Elementi geologici e idrogeologici



Profondità (m) del sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato geologico



Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie

7.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) ha come finalità la suddivisione del territorio comunale nelle seguenti aree:

- Zone stabili
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
- Zone di attenzione per instabilità

La MOPS è stata ricostruita alla scala 1:10.000 a partire dalla Carta geologico-tecnica precedentemente esposta, integrandone e rivedendone i contenuti.

In sostanza, si noti che buona parte del territorio indagato è da considerarsi potenzialmente instabile e localmente stabile suscettibile di amplificazione. Infatti, è stato verificato che il moto sismico è modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante in tutto il territorio comunale, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche locali, ed è risultato potenzialmente liquefacibile nelle aree in cui si sono verificate tutte le condizioni predisponenti.

1) ZONE STABILI

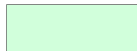
Nel comune di San Giovanni in Persiceto **non** sono state individuate zone “stabili”. In sostanza, si noti che l’intero territorio è considerabile come stabile suscettibile di amplificazione sismica e soggetto, in buona parte del territorio, a potenziale liquefazione.

2) ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

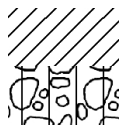
Il comune San Giovanni in Persiceto risulterebbe “stabile suscettibile di amplificazioni locali” per il seguente motivo:

- A. Stratigrafia e caratteristiche dei litotipi. Come evidenziato nella “Carta geologico - tecnica” e nelle considerazioni fin qui esposte, è stato accertato che le differenti risposte sismiche risultano correlate ai diversi ambienti geomorfologici ed in particolare alle differenze di rigidità presenti all’interno della copertura sedimentaria.

Come detto in precedenza, a San Giovanni in Persiceto non si sono verificate le condizioni per ipotizzare la perimetrazione di “zone stabili” dove lo scuotimento sismico sia associabile solamente all’energia ed alla distanza dall’evento. Pertanto, sulla base di quanto finora esposto, la “zona stabile suscettibile di amplificazione” è stata rilevata nella parte meridionale e centro-settentrionale del territorio comunale, in corrispondenza dei depositi prevalentemente coesivi.

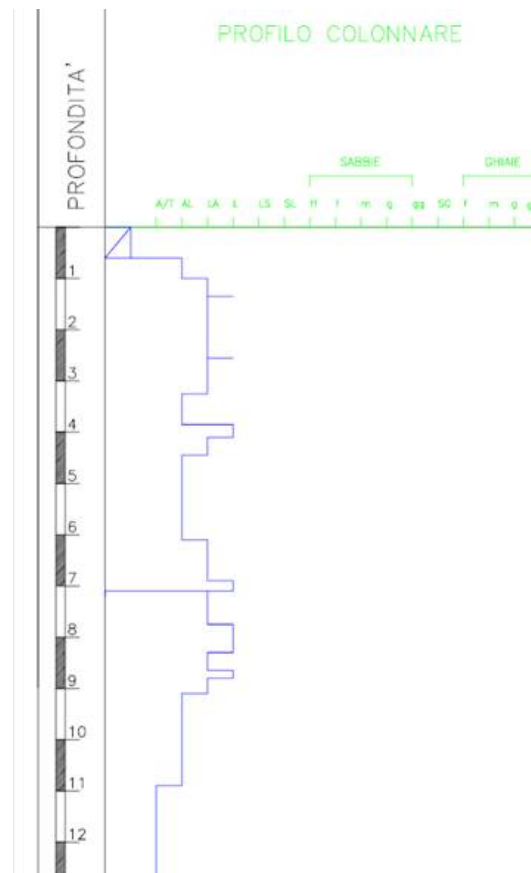
Zona 1	CLpi	
--------	------	---

La colonnina stratigrafica rappresentativa dei primi 100 m della zona individuata è la seguente:

<p>Zona 1. CLpi, costituita da depositi fini più o meno addensati di origine fluviale a tessitura prevalentemente argilloso-limosa e limo-argillosa, per uno spessore indicativo di 100 m. Poggia su un materiale prevalentemente granulare.</p>	
---	---

Questa zona è caratterizzata dalla presenza di depositi di piana inondabile in area interfluviale con tessitura prevalente da argille limose (AL) a limi argillosi (LA). Entro questa zona le intercalazioni di livelli sabbiosi e sabbioso limosi nei primi metri di profondità dal piano campagna sono rare o

assenti. A seguire si riporta una stratigrafia tipo per questa litologia, sondaggio (RER 202-S13 la cascina) localizzato alle seguenti coordinate geografiche UTM zona 32 - 675844m; 4950363m



Zone di attenzione per instabilità

Buona parte del territorio rientra nelle Zone di attenzione per instabilità in quanto potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione.

Il fenomeno della *liquefazione* dei terreni durante i terremoti, interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi sciolti sotto falda, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

La liquefazione rientra tra gli *effetti di sito* dei terremoti, ovvero tra quel tipo di effetti dovuti all'interazione tra le onde sismiche e le condizioni geologiche locali. Le principali manifestazioni della liquefazione sono: oscillazioni, rotture, abbassamenti, sollevamenti e movimenti orizzontali del terreno, spostamento di masse fluide/collasso in pendii naturali o artificiali, perdita di capacità portante delle fondazioni, collasso di opere di sostegno e banchine.

Esistono delle condizioni (fattori predisponenti) che rendono alcuni terreni suscettibili di liquefazione ma, affinché questo avvenga, l'azione sismica (fattore scatenante) deve essere tale che, durante lo scuotimento sismico, le sollecitazioni indotte nel terreno determinino un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la pressione litostatica e la tensione di confinamento, annullando la resistenza al taglio e inducendo fenomeni di fluidificazione.

Secondo le Linee Guida per la Microzonazione Sismica v.3.0 e la bozza relativa alla gestione del territorio in aree interessate da liquefazione, redatte dalla Protezione Civile, le zone di attenzione per liquefazione $Z_{A_{LQ1}}$ sono le aree nelle quali si verificano le seguenti condizioni predisponenti:

- presenza di limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose;

- falda acquifera a una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal p.c. locale;
- eventi sismici attesi di magnitudo M_w uguale o superiore a 5;
- accelerazione massima attesa di riferimento (ag) su ammassi rocciosi o terreni molto rigidi, pianeggianti e in *free field* uguale o superiore a 0.10 g, con periodo di ritorno di 475 anni (valore di ag utilizzato nella pericolosità di base).

La rappresentazione delle Zone di attenzione per liquefazione (Z_{ALQ}) prevede la sovrapposizione al colore della Zona stabile suscettibile di amplificazione di un retino grigio. Questa rappresentazione conserva le informazioni sulla litostratigrafia della microzona, permettendo, se gli approfondimenti del Livello 3 non confermano l'instabilità per liquefazione, di trattare la stessa microzona come Stabile suscettibile di amplificazione e caratterizzarla secondo i parametri propri di questa zona.

Per tale motivo si sono individuate le zone che possono rispondere in modo analogo durante una sollecitazione sismica. Tali zone sono state create considerando le caratteristiche litologiche e genetiche dei terreni della Carta geologico-tecnica CGT e le potenziali risposte sismiche locali dal punto di vista stratigrafico. In particolare, si è ritenuto opportuno suddividere i terreni limoso-sabbiosi in due zone corrispondenti ai depositi recenti (Zona di attenzione per liquefazione 1 - depositi recenti a maggiore pericolosità; presenza dell'unità di Modena, sigla AES8a, di età post IV sec. d.C.) e a quelli pre-romani.

Per le delimitazioni si è inoltre fatto uso dei dati di svariate indagini geognostiche eseguite sul territorio comunale utilizzando solo quelle di elevata affidabilità come carotaggi e prove penetrometriche.

In particolare per le valutazioni litologiche dalle prove penetrometriche a disposizione (CPT, CPTU, CPTe) si è valutata la presenza di terreni limoso sabbiosi e sabbiosi attraverso il rapporto F (qc/fs) da Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977. Il criterio speditivo utilizzato è stato il seguente: presumibile presenza di terreni limosi, limoso sabbiosi e/o sabbiosi, ovvero potenzialmente liquefacibili se:

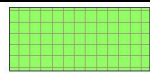

$$qc/fs > 40 - Fr\% < 2,5$$

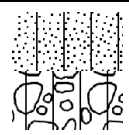
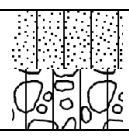
Al fine di consentire un confronto con le cartografie dei comuni presenti al confine nord si è utilizzato un criterio simile a quello ivi utilizzato dalla Regione.

Le prove sono infatti state suddivise sulla base del criterio utilizzato dalla Regione Emilia Romagna in "Microzonazione Sismica e analisi della Condizione Limite per le Emergenze delle aree epicentrali dei terremoti della Pianura Emiliana di Maggio-Giugno 2012 (Ordinanza del Commisario Delegato - Presidente della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012) e relativa cartografia (Pubblicazione 14.10.2013)", modificato come riportato a seguire, al fine di fornire ulteriori informazioni aggiuntive di significativa importanza:

■ L1(+)	presenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili spessi almeno <u>70-80cm</u> , sotto falda, nei primi 5m;
■ L1(+),L2	come sopra e ulteriore presenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili spessi almeno 1m, tra 5 e 10m;
■ L1(-)	presenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili spessi almeno <u>30-40cm</u> , sotto falda, nei primi 5m;
■ L1(-),L2	come sopra e ulteriore presenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili spessi almeno 1m, tra 5 e 10m;
■ L2	presenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili spessi almeno 1m, tra 5 e 10m;
■ L3	presenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili spessi almeno 2m, tra 10 e 15m;
■ N10	assenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili importanti sino alla profondità investigata: 10m
■ N15	assenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili importanti sino alla profondità investigata: 15m
● N20	assenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili importanti sino alla profondità investigata: 20m

Pertanto, sulla base di quanto finora esposto, le possibili Zone stabili suscettibili di amplificazione (in caso di esclusione della liquefazione, ad un Livello 3 di approfondimento) sono state così suddivise.

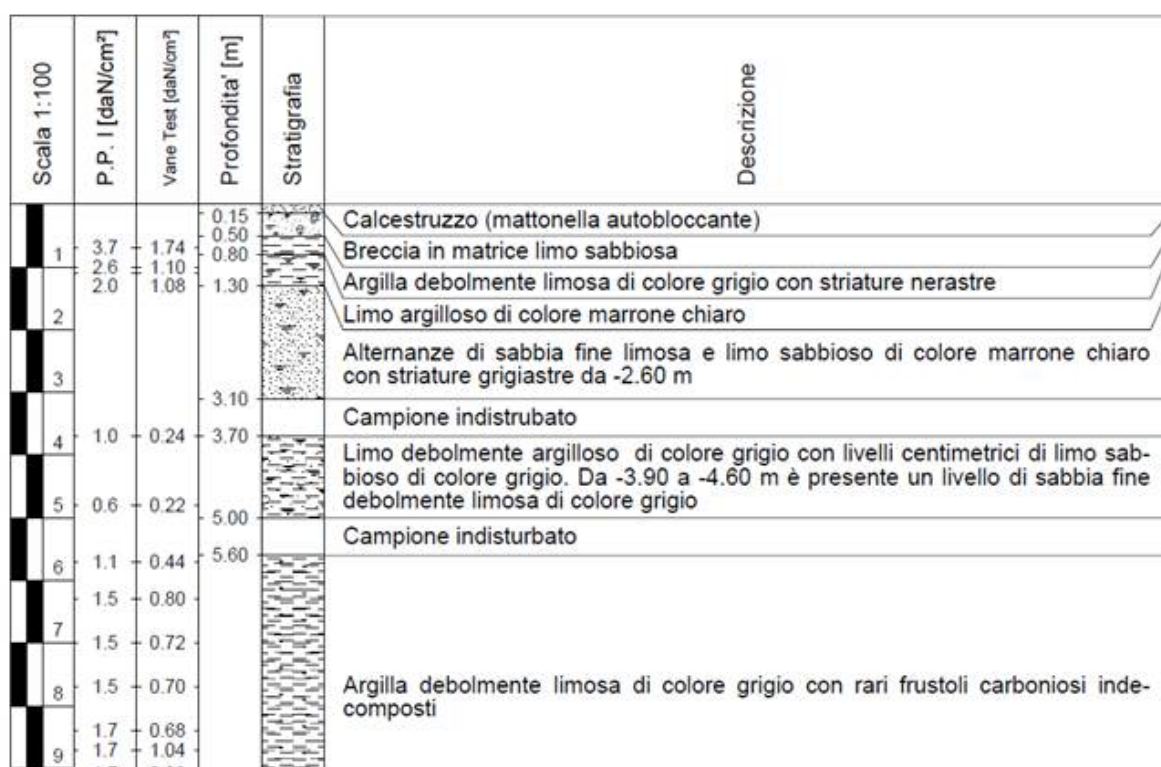
Zona 2	SMes - depositi recenti	
Zona 3	SMes - depositi preromani	

Zona 2. SMes recenti, costituita da depositi granulari recenti più o meno addensati di origine fluviale a tessitura prevalentemente limo-sabbiosa, per uno spessore indicativo di 100 m. Poggia su un materiale prevalentemente granulare.	
Zona 3. SMes preromani, costituita da depositi granulari di età pre-romana più o meno addensati di origine fluviale a tessitura prevalentemente limo-sabbiosa, per uno spessore indicativo di 100 m. Poggia su un materiale prevalentemente granulare.	

Queste due zone sono caratterizzate dalla presenza, anche solo parziale, di depositi di canale, argine o rotta fluviale con tessitura prevalente da limi sabbiosi (LS) a limi argilloso-sabbiosi (LAS). La zona 2 si differenzia dalla zona 3 solamente per l'età del deposito, la prima presenta infatti in superficie depositi metrici di età post IV sec. d.C.

Questi depositi sono spesso intercalati da depositi argillosi e argilloso limosi (tipici per la zona 1).

A seguire si riporta una stratigrafia tipo per questa litologia, sondaggio localizzato alle seguenti coordinate geografiche UTM zona 32 - 676465m; 4952310m



7.4 Carta di microzonazione sismica di Livello 2

La Carta di microzonazione sismica di Livello 2 riporta i risultati delle analisi per la quantificazione numerica dell'amplificazione sismica locale nelle zone individuate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) del Livello 1. La Carta è stata costruita sulla base dei valori di amplificazione ottenuti per ciascuna zona attraverso l'uso degli abachi nazionali riportati negli ICMS (2008) e regionali presenti nell'Allegato A2.




In particolare, tale carta è stata realizzata secondo la D.G.R. della Regione Emila Romagna n° 1919 del 2013 e gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Protezione Civile versione 3.0 dell'ottobre 2013. Inoltre, la regione Emilia Romagna nella figura del Dr. Martelli, responsabile regionale per le ms, ha richiesto la quantificazione del fattore di amplificazione anche nelle zone potenzialmente instabili per liquefazione.

Gli ICMS (2008) definiscono, nell'ambito degli studi di Livello 2, una serie di abachi finalizzati all'individuazione di un valore che caratterizzi le microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali in termini di fattori di amplificazione. Le amplificazioni, dovute ad effetti litostratigrafici, sono state espresse con un fattore numerico (FA e FV) da applicare alle ordinate spettrali a basso e alto periodo.

I fattori di amplificazione sono stati ottenuti utilizzando le tabelle relative ad un valore di $a_g=0,18$, e una litologia argillosa e sabbiosa. Infine, le profondità H del *bedrock geofisico* (tetto delle ghiaie e $V_s = 400 - 500$ m/s) e le V_s equivalenti della copertura (V_{sH}), sono state estrapolate dai risultati ottenuti dalle prove geofisiche realizzate *ex-novo*.

Fattore di amplificazione		Tipo di terreno		a_g (g)		Profilo di velocità					
FA		Sabbia		0.18g		Lineare pendenza massima					
		V_{sp} (m/s)									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	2.40	1.94	1.44	1.21	1.10	1.06	1.03	1.02	1.01
	10	-	3.09	2.74	2.20	1.79	1.52	1.34	1.21	1.08	1.03
	15	-	3.08	3.13	2.60	2.06	1.71	1.48	1.31	1.14	1.05
	20	-	2.73	3.20	2.80	2.26	1.90	1.64	1.44	1.21	1.08
	25	-	2.45	3.01	2.84	2.33	1.97	1.70	1.51	1.25	1.11
	30	-	-	2.76	2.77	2.33	2.00	1.73	1.55	1.28	1.12
	35	-	-	2.50	2.53	2.29	1.96	1.75	1.55	1.28	1.11
	40	-	-	2.28	2.47	2.13	1.95	1.72	1.55	1.28	1.11
	50	-	-	2.03	2.12	2.02	1.78	1.65	1.50	1.25	1.09
	60	-	-	1.80	1.95	1.87	1.69	1.54	1.44	1.22	1.06
	70	-	-	1.60	1.79	1.72	1.62	1.47	1.36	1.18	1.03
	80	-	-	1.38	1.64	1.61	1.54	1.43	1.32	1.15	1.01
	90	-	-	1.21	1.51	1.50	1.45	1.38	1.29	1.12	0.99
	100	-	-	1.08	1.39	1.40	1.38	1.32	1.25	1.10	0.98
	110	-	-	0.99	1.26	1.33	1.31	1.27	1.21	1.08	0.96
120	-	-	0.90	1.15	1.26	1.25	1.22	1.17	1.06	0.95	
130	-	-	0.82	1.07	1.18	1.19	1.17	1.13	1.03	0.93	
140	-	-	0.75	0.99	1.12	1.13	1.12	1.10	1.00	0.91	
150	-	-	0.70	0.92	1.06	1.09	1.08	1.07	0.98	0.90	

In particolare, il territorio comunale è stato suddiviso in due aree per l'FA e uno all'FV alle quali è stato assegnato un *range* di amplificazione, come di seguito riportato:

	FA = 1.1 - 1.2		FV = 2.3 - 2.4
	FA = 1.3 - 1.4		

Mentre, per quanto riguarda le cartografie regionali si sono utilizzati gli abachi corrispondenti all'ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decimetrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaia (di spessore anche di decine di metri), con substrato profondo (> 100 m dal p.c.) - PIANURA 2 - e il relativo valore $V_{s,30}$ calcolato in corrispondenza delle indagini sismiche condotte.

F.A. P.G.A.

$V_{s,30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0




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

$V_{s,30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

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

$V_{s,30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

Per questo, sono state realizzate tre cartografie corrispondenti ai fattori di amplificazione: FA-pga, FA-0.1;0.5 e FA-0.5:1.0 con l'individuazione dei seguenti *range* di amplificazione:

	FPGA = 1.5 - 1.6		FH0510 => 2.5		FH0105 = 1.7 - 1.8
---	------------------	---	---------------	---	--------------------

7.5 Carta delle frequenze

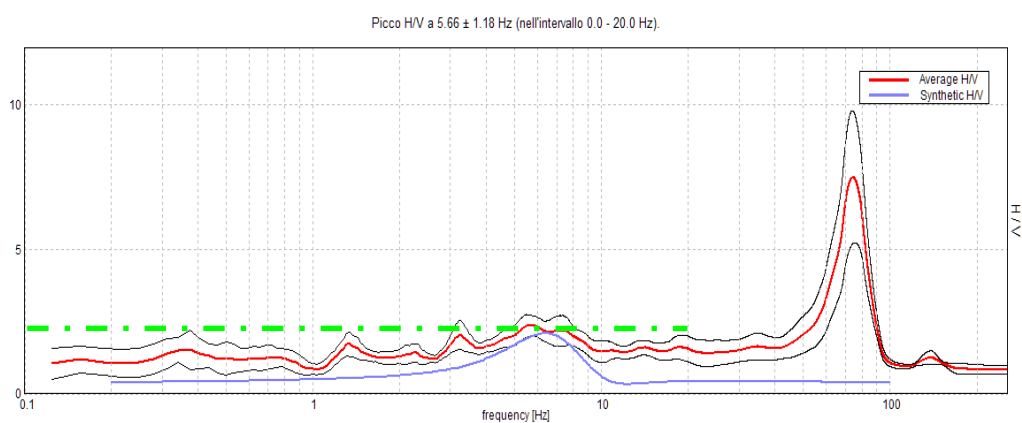
La misura delle vibrazioni ambientali (note anche come rumore sismico ambientale o microtremori) o della sismicità di fondo (*weak motion*) consente di analizzare la variazione della risposta sismica di un sito al variare delle condizioni litostratigrafiche.

Durante le indagini di MS dell'area aquilana dopo il terremoto del 6 aprile 2009, i risultati di tali analisi si sono rilevati estremamente utili sin dalle prime fasi di elaborazione delle carte di Livello 1.

L'analisi dei microtremori attraverso la tecnica *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (H.V.S.R.) consente di mettere in luce fenomeni di risonanza sismica e di stimare le frequenze alle quali il moto del terreno può essere amplificato (frequenza fondamentale di risonanza del terreno, F_0). Il metodo consente inoltre di valutare qualitativamente l'entità dell'amplificazione (ampiezza del picco H.V.S.R. alla frequenza F_0) - anche se l'ampiezza del picco H.V.S.R. è una grandezza da interpretare con cautela - e di fornire una stima indicativa sulla profondità del contrasto di impedenza che causa la risonanza sismica. I risultati delle indagini H.V.S.R. da microtremori hanno consentito di realizzare la Carta delle frequenze e hanno fornito informazioni utili a definire e delineare la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), hanno dato informazioni su locali criticità e sono stati utili nella pianificazione delle indagini lineari.

I siti selezionati per le indagini sismologiche sono stati distribuiti in corrispondenza delle differenti unità litologiche affioranti nell'area, al fine di verificare e valutare l'influenza dei litotipi e delle loro geometrie, sulla risposta sismica locale. In allegato fuori testo sono riportate le schede di sintesi dei risultati di tali prove. Dal punto di vista ingegneristico-strutturale il valore di risonanza del sottosuolo rappresenta un parametro fondamentale per una corretta progettazione sismica delle strutture. È ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscano le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio. Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi gli stessi periodi di vibrazione del terreno.

Tutte le valutazioni sulle condizioni di amplificazione di sito sono state effettuate considerando la finestra frequenziale di 0,1-20 Hz, in quanto tali frequenze risultano essere quelle di normale interesse ingegneristico-strutturale. Inoltre, le amplificazioni sismiche considerate nella curva H/V sono state quelle con un rapporto superiore a 2: infatti, in base al progetto **SESAME**, che di fatto fornisce le linee guida per misure sismiche H.V.S.R., il rapporto sotto il quale non si devono considerare le amplificazioni sismiche dovute ad effetti locali è fissato a 2 (linea tratteggiata nella figura sottostante).



Sono attribuite condizioni di amplificazione stratigrafica per quei siti in cui la curva mediana di interpolazione del grafico presenta picchi con ampiezza H/V superiore a 2 (criterio SESAME, 2004; Albarello e Castellaro, 2011) all'interno del campo di frequenze compreso tra 0,1 e 20 Hz

Nell'ambito del presente studio, le frequenze di risonanza sono state ottenute utilizzando il software applicativo Grilla in dotazione a Tromino®, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005) e Albarello e Castellaro (2011), che prevede quanto segue:

- larghezza delle finestre di analisi pari a 20 s;
- lisciamento secondo una finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore a 2;
- rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti;
- verifica dell'affidabilità delle curve H/V secondo i criteri di qualità SESAME (2004).

In sostanza, questa carta, elaborata sulla base della C.T.R. alla scala 1:10.000, evidenzia come la frequenza caratteristica di risonanza di un sito sia molto variabile e condizionata dai rapporti litostratigrafici che si sviluppano con la profondità.

Osservando la Carta delle frequenze, realizzata per la maggior parte tramite le misure di rumore ambientale a stazione singola eseguite per il presente studio, è possibile formulare alcune interessanti osservazioni.

- Il comune di San Giovanni in Persiceto presenta delle frequenze fondamentali di risonanza alle medio-basse frequenze con valori H/V, in generale, non molto elevati.
- I contrasti di rigidità sono localizzati a elevate profondità in quanto le frequenze di risonanza sono quasi sempre inferiori a 1 Hz.
- Alle medie-alte frequenze non si sono registrati significativi contrasti di rigidità.

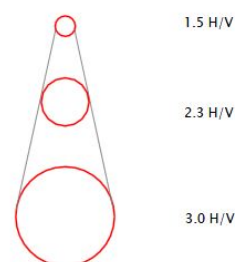
Si fa presente che le misure H.V.S.R. quantificano l'amplificazione sismica locale in termini di frequenza e ampiezza in base al solo contributo stratigrafico. Non viene considerata l'amplificazione dovuta agli effetti topografici e alle morfologie complesse sepolte.

In conclusione, i risultati delle analisi sono stati cartografati tramite dei cerchi di diverso colore in base ai valori di frequenza F_0 (4 classi) e con un diametro proporzionale all'ampiezza del picco.

Frequenza Fondamentale (F_0)



Ampiezza del picco (A_0)



7.6 Microzonazione Sismica - Carta delle Vs

Come richiesto dalla D.G.R. dell'Emilia Romagna n°1919 del 2013, è stata prodotta la carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s), alla scala 1:10.000, in cui sono stati ubicati tutti i punti di misura di V_s con indicazione, per ogni punto analizzato, del valore della $V_{s,30}$ (in m/s).

Inoltre, la rappresentazione grafica è stata condotta individuando n°5 classi come di seguito riportato:

V_{s30}



8 COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

I capitoli precedenti hanno evidenziato chiaramente l'assetto geologico-geomorfologico del comune di San Giovanni in Persiceto che denota sia una risposta sismica locale variabile sia la presenza di una vasta area potenzialmente instabile per liquefazione.

In tal senso, visto che le indagini hanno coperto gran parte del territorio comunale coinvolgendo tutte le litologie riscontrate, si ritiene che i livelli successivi di approfondimento debbano essere concentrati solo nelle aree ritenute importanti per la comunità.

Inoltre, la Zona di attenzione per possibile liquefazione dovrà essere valutata in modo da quantificare il fenomeno e se non confermata l'instabilità si dovrà trattare la stessa microzona come Zona stabile suscettibile di amplificazione e caratterizzarla secondo i parametri propri di questo tipo di zona. In caso contrario, l'area dovrà essere trattata come Zona di suscettibilità (ZS) o Zona di rispetto (ZR). Concettualmente il significato dei due tipi di zone è il seguente:

- **Zone di suscettibilità (ZS):** sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifici per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche semplificati, è possibile definire la pericolosità in termini quantitativi;
- **Zone di rispetto (ZR):** sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche avanzati, è possibile quantificare con maggior accuratezza la pericolosità. Tale quantificazione è finalizzata all'analisi dettagliata di aree limitate sulle quali possono essere presenti opere vulnerabili.

Del resto, l'adeguamento del livello di approfondimento va commisurato alle risorse e ai tempi disponibili, nonché alla destinazione d'uso del territorio.

Perciò, lo studio di MS eseguito si presta a essere aggiornato e integrato per rendere sempre più basso il rischio sismico. Per ottimizzare i costi degli eventuali approfondimenti successivi e, quindi, per inquadrare al meglio le zone individuate, si propone di realizzare gli studi futuri come segue:

1. individuare e perimetrare le aree più abitate, i centri di futura urbanizzazione e le zone che comprendono gli edifici ritenuti strategici o importanti ai fini della Protezione Civile;
2. eseguire un'analisi geologica-geomorfologica di dettaglio per ogni area individuata, prendendo in considerazione le caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche e geotecniche delle diverse zone, integrandole con i dati pregressi già raccolti e interpretandoli appositamente;
3. definire eventuali indagini dirette per determinare le caratteristiche geotecniche locali e verificare la necessità di integrare le indagini geofisiche già eseguite;
4. dovrà essere posta particolare attenzione circa la potenziale suscettibilità di liquefazione dei terreni: tale considerazione potrà essere sviluppata solo dopo aver raccolto ulteriori informazioni derivabili esclusivamente da indagini dirette, per cui si rimanda al successivo Livello 3 di approfondimento.

In generale, gli studi di MS hanno lo scopo di razionalizzare la conoscenza del territorio per chi deve pianificare gli interventi: invece, per la progettazione delle opere è importante eseguire indagini specifiche, come del resto previsto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008).

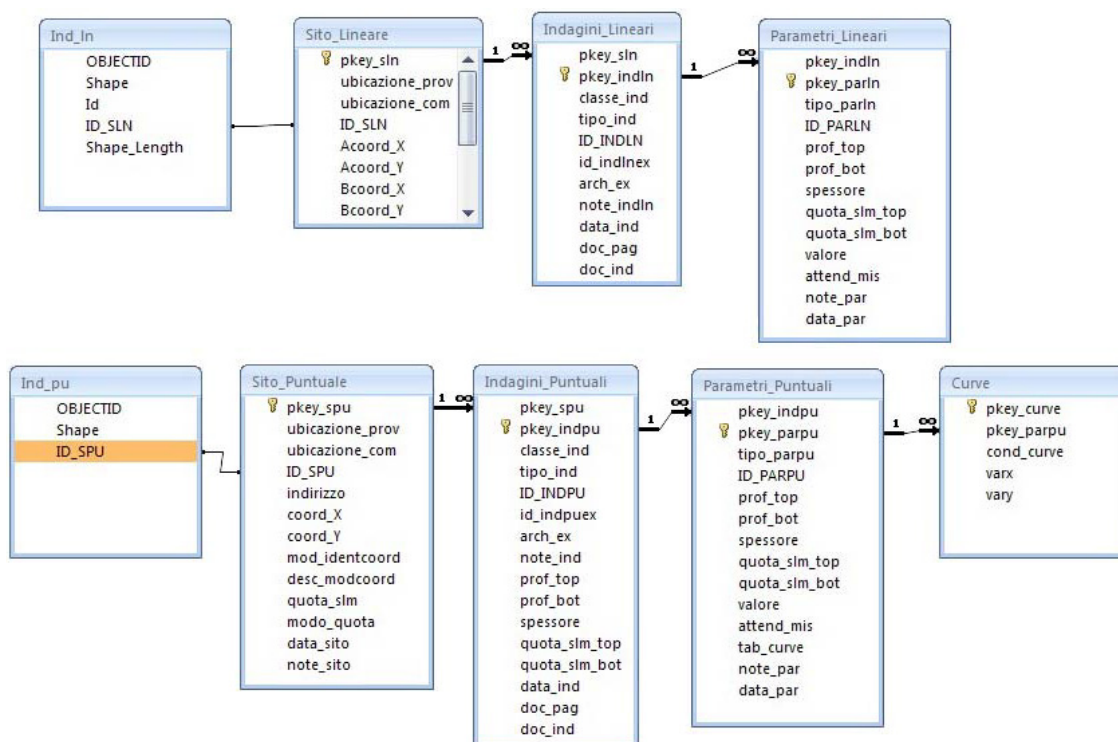
9 REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE

L'analisi di Microzonazione Sismica ha prodotto informazioni che sono state cartografate secondo le indicazioni previste dalle Linee Guida emanate dalla Protezione Civile Nazionale.

I *layers* informativi prodotti sono stati organizzati secondo la banca dati geografica definita dagli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica (versione 3.0), emanati dalla Commissione tecnica per il monitoraggio degli studi di MS nell'ottobre 2013. Gli Standard sopraccitati definiscono le specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della MS.

Per quanto riguarda la rappresentazione cartografica, anch'essa è stata realizzata utilizzando le vestiture previste dagli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica (versione 3.0).

Il contenuto informativo della Carta delle indagini si esplica attraverso la relazione tra gli *shapefiles* (**Ind_pu** e **Ind_In**) e le tabelle ad essi collegate, appositamente strutturate per archiviare i dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini.



Relazione fra tabelle e shapefiles
(Figura 2.1-1 "Standard di Rappresentazione e archiviazione informatica" - versione 3.0)

Lo *shapefile* **Ind_pu** rappresenta la primitiva puntuale che posiziona spazialmente il relativo punto d'indagine, identificato univocamente nel campo ID_SPU; quest'ultimo costituisce la chiave di collegamento (*join*) alla tabella **Sito_Puntuale**, destinata all'archiviazione dei parametri di georeferenziazione dei punti d'indagine. La tabella **Indagini_Puntuali** descrive le tipologie d'indagine eseguite e le informazioni necessarie alla tracciabilità, mediante collegamento esterno con la relativa documentazione in formato pdf. Infine, nella tabella **Parametri_Puntuali** sono archiviati i parametri associati alle prove descritte nella tabella **Indagini_Puntuali**. Lo *shapefile* **Ind_In** costituisce la primitiva lineare che posiziona spazialmente le indagini lineari, identificate univocamente nel campo ID_SLN; quest'ultimo rappresenta la chiave di collegamento alla tabella **Sito_Lineare**, nella quale vengono archiviate le codifiche del tracciato. La tabella **Indagini_Lineari**

definisce la tipologia d'indagine eseguita e le informazioni necessarie alla sua tracciabilità, tramite un collegamento esterno con documentazione corrispondente, in formato pdf. Infine, la tabella **Parametri_Lineari** contiene i parametri definiti dalle prove descritte nella tabella **Indagini_Lineari**.

Il contenuto informativo riportato nella Carta delle frequenze è definito dal campo VALORE della tabella **Parametri_Puntuali**, dove viene specificato il valore della frequenza di risonanza espresso in Hertz (Hz) nell'intervallo compreso tra 0,1 Hz e 20,0 Hz. La restituzione grafica dei valori di frequenza si riferisce a quanto proposto per la Carta delle frequenze di risonanza negli "Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica. Specifiche tecniche per la redazione degli elaborati cartografici e informatici relativi al Primo livello delle attività di Microzonazione sismica - Versione 1.2" (2012) della Regione Abruzzo.

Le suddette tabelle sono state compilate e archiviate nel database di Access **Cdl_tabelle.mdb**.

La Carta geologico-tecnica è stata realizzata in formato vettoriale e contiene i seguenti *layers* informativi, inseriti all'interno della cartella **GeoTec**.

Nome file	Tipo <i>shapefile</i>	Descrizione
<i>Elineari</i>	Lineare	Elementi lineari (escluse le isobate)
<i>Geoidr</i>	Puntuale	Elementi puntuali geologici e idrogeologici
<i>Geotec</i>	Poligonale	Unità geologico tecniche

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica e la Carta di microzonazione sismica di Livello 2 contiene i seguenti *layers* informativi, inseriti all'interno della cartella che definisce i parametri di MS di Livello 1 e 2 (**MS1 - MS2**).

Nome file	Tipo <i>shapefile</i>	Descrizione
<i>Instab</i>	Poligonale	Zone instabili

La cartografia di base utilizzata per l'elaborazione dello studio è la C.T.R. dell'Emilia Romagna, le cui coordinate piane espresse in Gauss-Boaga sono state convertite in WGS84 UTM33N.

All'interno della cartella BasiDati è stata inserita una sezione *raster* georeferenziata ricavata dalle C.T.R. scala 1:10.000 prodotte dalla Regione Emilia Romagna.

Le coordinate delle tabelle (.mdb) e gli *shapefiles* allegati al progetto sono nel formato **WGS84 UTM33N**.

10 BIBLIOGRAFIA

1. A. Viganò, G. Bressan, G. Ranalli, S. Martin (2008) - Focal mechanism inversion in the Giudicarie - Lessini seismotectonic region (Southern Alps, Italy): Insight on tectonic stress and strain
2. Brammerini F., Di Pasquale G., Naso G., Severino M. (2008) - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica - Parti I e II - Gruppo di lavoro "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" del Dipartimento della Protezione Civile
3. Carta Geologica in scala 1:50.000 della Regione Emilia Romagna derivante dal Progetto CARG (Foglio 202- San Giovanni in Persiceto, 2009)
4. Carta Geologica in scala 1:10.000 (Regione Emilia Romagna)
5. Castellaro S., Albarello D. (2011). Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. *Ingegneria sismica*, pp. 32 - 62
6. Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L. (2005). Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. *Geologia tecnica e ambiente*, pp. 77 - 102
7. CERI Centro di ricerca "Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici" (2004) - La microzonazione sismica. Metodi, esperienze e normativa
8. Chopra L. (1995). *Dynamic of Structures: theory and applications to earthquake engineering*. Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics. Prentice - Hall
9. Facciorusso J. et al. (2012) - Microzonazione Sismica - Uno strumento consolidato per la riduzione del rischio - L'esperienza della Regione Emilia - Romagna - a cura del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia - Romagna
10. Ghosh B.; Madabhushi S. P. G. (2003). A numerical investigation into effects of single and multiple frequency earthquake input motion. *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 23(8), 691-704
11. Gruppo di lavoro MPS (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma
12. Loke M.H., Barker R.D. (1996) - Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method., *Geophysical Prospecting*, 44, pp. 131-152
13. Lanzo G., Pagliaroli A., D'Elia B. (2003). Numerical study on the frequency-dependent viscous damping in dynamic response analyses of ground. In Latini e Brebbia (eds), *Earthquake Resistant Engineering Structures*, WIT Press, Southampton, Boston, pp. 315-324
14. Lanzo G., Silvestri F. (1999) - *Risposta Sismica Locale*. Hevelius Ed.
15. Louie, J. N. (2001). Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 347-364
16. M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
17. Microzonazione Sismica e analisi della Condizione Limite per le Emergenze delle aree epicentrali dei terremoti della Pianura Emiliana di Maggio-Giugno 2012 (Ordinanza del Commisario Delegato - Presidente della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012) e relativa cartografia (Pubblicazione 14.10.2013)
18. Mucciarelli M. e Gallipoli M.R. (2001) - A critical review of 10 Years of microtremor H.V.S.R. technique - *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 - 266
19. Mucciarelli M. e Gallipoli M.R. (2006) - Comparison between V_{s30} and other estimates of site amplification in Italy - *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3 - 8 Sept. no 270
20. Mucciarelli M (2011) - Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici - Progetto ricerca 2007PTRC4C - Aracne editrice
21. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 202 - San Giovanni in Persiceto (Molinari, Pizzolo, pubblicazione anno 2009)
22. Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. (2012) - "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", in stampa sul *Bulletin of Earthquake Engineering*
23. SESAME Project (2005) - "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations"
24. Spallarossa D. e Barani S. (2007) - Report, Disaggregazione della Pericolosità Sismica in Termini di $M - R - \epsilon$ - Progetto DPC-INGV S1, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>

11 ALLEGATI FUORI TESTO

- | | |
|--|----------------|
| 1. Carta delle indagini | scala 1:10.000 |
| 2. Carta geologico-tecnica | scala 1:10.000 |
| 3. Carta delle frequenze | scala 1:10.000 |
| 4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica | scala 1:10.000 |
| 5. Carta di microzonazione sismica di Livello 2 | scala 1:10.000 |
| 6. Microzonazione Sismica - Carta delle V_s | scala 1:10.000 |
| 7. Carta propedeutica alla redazione della CGT e alla definizione delle zone di attenzione alla liquefazione | scala 1:26.000 |
| 8. Schede delle indagini | |
| 9. DVD contenente i file pdf dello studio e le basi informative | |