







COMUNE DI CAMPEGINE

Provincia di REGGIO-EMILIA



STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA Livello 3

O.C.D.P.C. N° 171-2014; D.G.R. N° 1227-2015; D.G.R. N° 2193-2015

Incarico affidato con determina n° 180 del 30-06-2017	 	 
Marzo 2018 - Rev. Aprile 2019	Geol. Matteo Collareda	Geol. Claudia Tomassoli
A cura di		
Geol. Matteo Collareda via Lungo Giara 29 - 36033 Isola Vicentina tel./fax 0444 962532 - cell. 349 0567455 e-mail: info@studiosisma.com pec: studiosisma@epap.sicurezza postale.it		
Geol. Claudia Tomassoli via Renato Fava 8 - 61122 Pesaro (PU) tel. 0721 581082 - cell. 347 4631005 e-mail: claudia_tomassoli@hotmail.it pec: c.tomassoli@epap.sicurezza postale.it		
	  Con la collaborazione di Geol. Margherita Fingolo	

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. GENERALITÀ	4
3. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA	6
3.1. Inquadramento geologico strutturale.....	6
3.2. Inquadramento geomorfologico	10
3.3. Inquadramento idrogeologico.....	12
3.4. Caratteri geologico tecnici e zone MOPS Livello 1-2	14
3.5. Tetto del substrato a comportamento rigido.....	17
4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	19
4.1. Inquadramento sismo-tettonico regionale	19
4.2. Neotettonica e sismicità storica.....	21
4.3. Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche	23
4.4. Zonazione sismica nazionale	25
4.5. Pericolosità sismica di riferimento.....	27
5. MICROZONAZIONE SISMICA. PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITÀ	29
5.1. Introduzione	29
5.2. La natura del problema	29
5.3. Finalità e livelli di approfondimento	31
6. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI DA INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE	32
6.1. Indagini pregresse e di nuova realizzazione	32
6.2. Metodologie di elaborazione e risultati nuove indagini.....	32
7. APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3	68
7.1. Risposta sismica locale.....	70
7.2. Valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione.....	82
7.3. Stima dell'indice del potenziale di liquefazione	83
7.4. Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica	84
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	87
8.1. Carta delle indagini	87
8.2. Carta delle frequenze.....	88
8.3. Carta delle velocità delle onde di taglio (Vs)	89
8.4. Carte di Microzonazione Sismica - Livello 3	89
9. REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE.....	93
10. BIBLIOGRAFIA.....	95
11. ALLEGATI FUORI TESTO	96

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, significa quindi sviluppare una serie di norme, linee guida e/o comportamenti operativi e/o educativi finalizzati alla gestione dei rischi naturali, alla riduzione generale dei costi sociali e conseguentemente alla 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 in dipendenza degli spessori e delle qualità dei terreni posti a copertura del substrato roccioso, delle caratteristiche morfologiche del sito ed, inoltre, è 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; Amatrice-Accumuli, 2016), 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 ai siti su roccia e, inoltre, 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 ad 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 e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti fenomeni di deformazione permanente, 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.

A seguito del precedente studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 e 2, condotto nel dicembre 2016 dallo Studio geologico CENTROGEO, i sottoscritti **dr. Geol. Matteo Collareda** e **dr.ssa Geol. Claudia Tomassoli** in RTP sono stati incaricati di svolgere lo studio ad un **Livello 3 di approfondimento** (Determina Comunale n° 180 del 30-06-2017), secondo sia le modalità riportate negli “Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” (approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 13/11/2008 e s.m.) che quelle regionali approvate con D.G.R. 2193/2015.

Per quanto riguarda la rappresentazione cartografica e l’informatizzazione dei dati, sono state utilizzate le indicazioni previste dagli “Standard di rappresentazione e Archiviazione Informatica” - versione 4.0b.

Sono state effettuate sia misurazioni geofisiche sia geotecniche in corrispondenza delle aree da approfondire al Livello 3, individuate nel precedente studio di MS, allo scopo di ottenere informazioni più dettagliate sulla risposta sismica locale, necessaria per definire con maggior cura lo studio di MS.

Ad ogni modo, i risultati del presente studio 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

Nel presente capitolo vengono illustrate le principali caratteristiche geomorfologiche, litologiche, idrogeologiche, tettoniche e sismiche del territorio comunale, riprese dalla Relazione Illustrativa della Microzonazione Sismica di Livello 2 ai quali che si rimanda per un maggiore approfondimento.

Il Comune di Campegine ricade all'interno della tavoletta: CASTELNOVO SOTTO III NO, appartenente al Foglio REGGIO NELL'EMILIA N° 74 I.G.M., zona 32 T, quadrato PQ.

La morfologia della superficie comunale presenta un andamento pianeggiante con geometrie tendenzialmente convesse nella parte occidentale - sud occidentale, che si attenua procedendo in direttrice nord orientale con contestuale diminuzione in acclività fino a costruire ambiti a pendenza molto bassa, configuranti assetti vallivi di pianura nella fascia orientale del territorio comunale.

3.1. Inquadramento geologico strutturale

Il territorio del comune di Campegine appartiene al bacino della Pianura Padana, estendentesi su una superficie di circa 46.000 km², che costituisce la zona di saldatura tra Alpi ed Appennini ed è formata da un'ampia e profonda depressione nella quale si distinguono nettamente due complessi sedimentari. Di questi, quello più recente è suddiviso in due Supersintemi, il primo dei quali è il Supersintema Emiliano Romagnolo, da oggi a 0,65 Ma, è rappresentato da depositi alluvionali prevalentemente costituiti da sabbie, ghiaie, argille e limi di piana e da sedimentazioni di delta conoide e marini marginali, formate da sabbie ed arenarie poco cementate alternate ad argille e limi e talora ad orizzonti conglomeratici. Tale litozona è seguita dalle successioni sabbiose, arenacee, marnose argillose del Supersintema del Quaternario Marino da 0,65 Ma a 0,9 Ma (Pleistocene med.) alle quali soggiacciono le sequenze cicliche sabbiose talora ghiaiose e limoso sabbioso argillose del Pleistocene inf. da 0,9 Ma a 1,72 Ma. Tali sintemi coprono l'unità inferiore rappresentata dalle formazioni plioceniche - mioceniche - mesozoiche (da 1,8 a 24 - 247 Ma) costituite essenzialmente da depositi di ambiente marino sia costiero che di piattaforma e/o bacinale a faune pelagiche.

In detto complesso lo spessore dei depositi continentali formanti la prima unità è mediamente compreso tra 200-300 m e 500-600 m, localmente nell'alto strutturale di Novi di Modena - Mirandola è inferiore a 100 m, ed è seguito dalle formazioni pleistoceniche generalmente rinvenibili tra 100-200, 500-600 e 1000-1300 m di profondità. A queste succedono le sequenze litostratigrafiche quaternarie del Pleistocene medio inferiore comprese tra 1000-1300 e 1700-2000 m di profondità.

Ad esse soggiacciono le successioni dal Miocene al Mesozoico, individuate mediante indagini geofisiche, sino a 9.000-12.000 m dal piano campagna ad eccezione della Dorsale Ferrarese come sopra accennato per Novi di Modena - Mirandola e dell'area ferrarese tra Porotto/Casaglia ed Occhiobello (Veneto).

L'assetto strutturale del Bacino Padano, come evidenziano le analisi, indagini geofisiche e perforazioni eseguite da AGIP-ENI, è caratterizzato da una successione pliocenico - quaternaria accresciuta da ovest verso est, a carattere regressivo, costituita da sabbie e peliti torbiditiche di ambiente marino alla base, che verso l'alto sono seguite da complessi sedimentari fluvio deltizi progradanti, a loro volta coperti al tetto da depositi continentali messi in posto dalle alluvioni dei fiumi alpino - appenninici.

Questi ultimi a scala di bacino hanno generato un cuneo di accrescimento che nell'insieme tende ad aumentare in spessore, in direzione orientale ed in senso sud - nord. Il sottosuolo dell'area pianiziale delle province di Reggio Emilia e Parma appartiene alla Regione delle Pieghe Padane che

in detta zona formano il Fronte delle Pieghe Emiliane che assumono una larghezza variabile equivalente a più di 50 Km nell'Emilia orientale e a 25 Km nell'area parmense e l'arco delle Pieghe Ferraresi che si estende dapprima in direzione sud ovest - nord est da Reggio Emilia a Novi di Modena, con larghezze e comprese tra 10 e 15 km, e successivamente ovest - est assumendo larghezza di 8-10 km da Novi di Modena a Mirandola e che in direzione est aumentano a 15-30 km suddividendosi in un arco interno largo 8-15 km orientato ovest nord ovest - est sud est da Finale Emilia o Portomaggiore - Alfonsine ed un arco esterno con larghezza di 10-17 km in direzione ovest est da Mirandola/Poggiorusco a Ferrara - Tresigallo - Comacchio.

Dette pieghe rappresentano un elemento strutturale sensibilmente complesso caratterizzato da un'intensa tettonizzazione che ha determinato notevoli innalzamenti del substrato carbonatico mesozoico, che presso Novi (Mo) - Camurana si rinviene già da 220 m dal piano campagna ed a Casaglia Fe a 150 m p.c. locale.

Nel sottosuolo del territorio di Campegine le formazioni del substrato pre-pliocenico, attribuibili alla monoclinale alpina, si rinvencono a profondità di 7 km e quelle correlabili alle Pieghe Ferraresi ed Emiliane, al margine orientale e meridione dell'area comunale, si rinvencono a circa 3-4 km di profondità e sono a contatto con la suddetta monoclinale mediante sovrascorrimenti classificati attivi.

L'interazione tra l'ala sud occidentale della Dorsale Ferrarese, denominata Rampa Laterale di Bagnolo in Piano (G. Barbacini ed Altri), con il fronte delle Strutture Embricate del Margine Appenninico, tra il T. Enza e F. Secchia, ha determinato un sollevamento del territorio tra Campegine e Calerno relativamente più accentuato rispetto alle aree circostanti.

A ciò è conseguita una minore possibilità di sedimentazione dei depositi quaternari più recenti con la preservazione di morfologie e depositi più antichi rispetto alle adiacenti zone di Cadelbosco di Sopra e di Sotto e di Gattatico.

Quanto esposto trova riscontro nel dosso di Via della Razza - Campegine sede di insediamenti superficiali di età Neolitica indicanti una deposizione alluvionale praticamente nulla negli ultimi 8.000-12.000 anni.

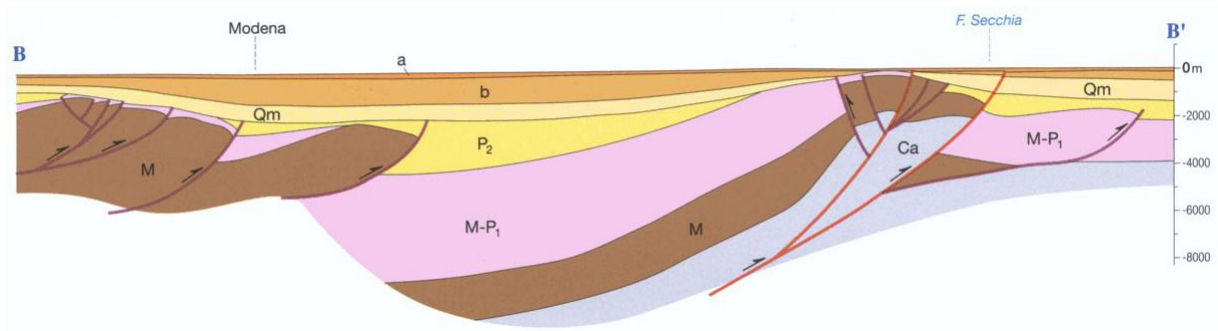
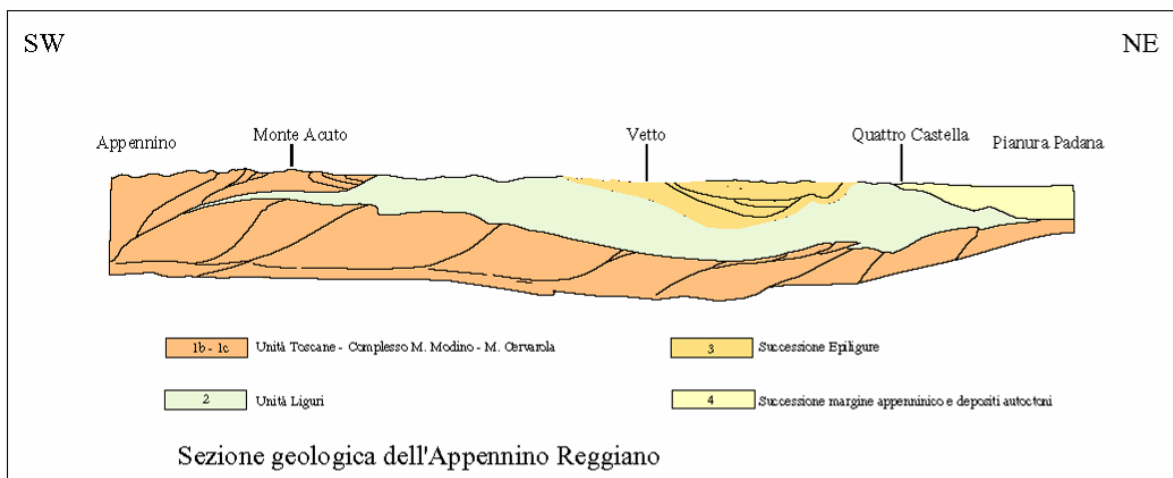
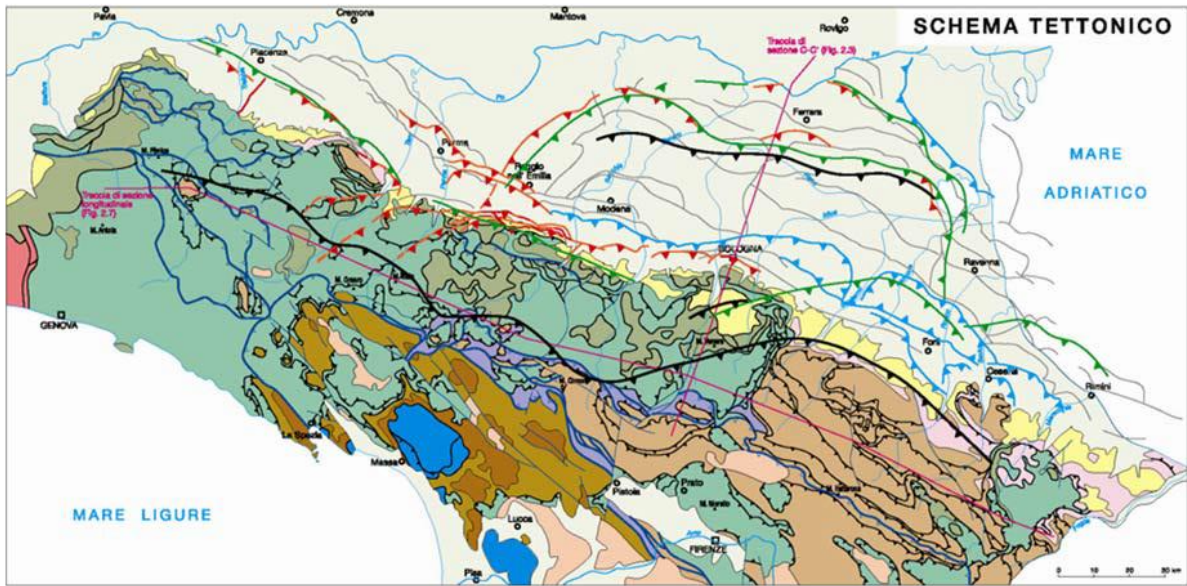
L'arco delle Pieghe Emiliane Sepolte, tra Reggio Emilia e Parma, costituisce una fascia anticlinale orientata in senso nord ovest - sud est e vergente verso nord che risulta dislocata trasversalmente da faglie a direttrice sud est - nord ovest. Tra queste, quella identificata come linea dell'Enza, costituita da più faglie ad andamento sub parallelo, ha determinato un avanzamento della parte orientale dell'arco, (in territorio reggiano), rispetto al settore occidentale (nel parmense) generando un disassamento del margine pede-appenninico.

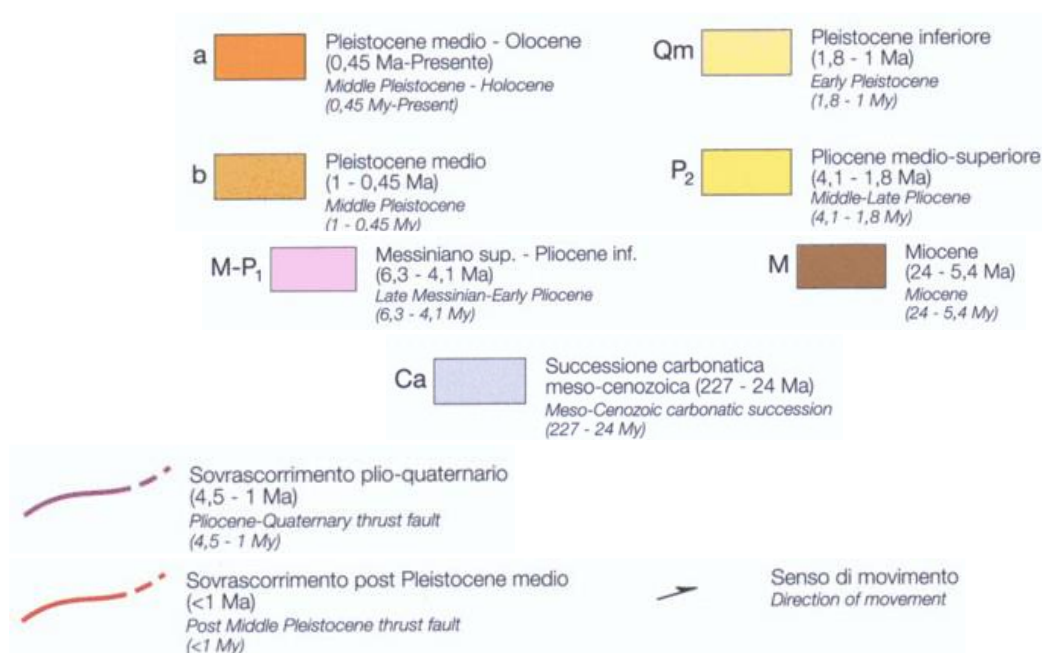
Nell'ambito del sistema plicativo che si sviluppa verso occidente la Dorsale Ferrarese, la cui ala occidentale è rinvenibile circa a 3-4 km ad est di Campegine, costituisce la parte più esterna dell'arco e presenta vergenza settentrionale.

Nella zona centro settentrionale del territorio di Reggio Emilia (Bagnolo in Piano - Correggio) il sottosuolo è caratterizzato nei primi 6.000 m dalla presenza di una formazione carbonatica di mare basso con età Giurassico sup. - Cretacico inf. che risulta essere assente nelle aree circostanti.

Nel sottosuolo di Campegine, in base ai dati RER, i sedimenti alluvionali olocenici e pleistocenici, presentano spessori di 150-160 m nelle zone meridionali che aumentano progressivamente a 280-320 m in direzione nord - nord ovest; a settentrione, in territorio di Castelnovo di Sotto la potenza aumenta a 400-450 m.

Detti depositi sono caratterizzati da livelli prevalentemente ghiaioso sabbiosi - sabbiosi, generalmente continui, e con struttura lentiforme, intercalati a sequenze argilloso limose di spessore subordinato nelle zone meridionali e che aumenta progressivamente in direzione settentrionale con incremento in potenza delle litozone argilloso limose.





I processi che hanno determinato i piegamenti del substrato, esplicitasi in fasi di sollevamento del fondo del bacino, si sono verificati principalmente in due periodi distinti collocabili tra il Miocene ed il Pliocene (25.2-5.2 Ma), manifestatisi con prevalenza nell'area piacentino - lombarda e nel Pliocene inferiore e medio (3.9-2.2 Ma) che hanno maggiormente coinvolto la zona emiliano - romagnola; in quest'ultima detti eventi sono rimarcati dalla superficie di erosione in ambiente subaereo della base del Supersistema del Quaternario Marino.

A tali eventi tettonici è seguita un'altra importante fase nel Pleistocene medio (0.8-0.45 Ma) che ha indotto il rapido spostamento della fascia di transizione tra la scarpata sottomarina e la piana bacinale verso nord est - est, alla quale è seguita una fase secondaria tra 0,26-0,22 Ma.

Tali processi hanno condizionato la conformazione dei depositi quaternari, alluvionali e marini costieri, che ricalca l'andamento del substrato pre-pliocenico attenuandone le geometrie, come evidenziano gli assetti blandamente antiformali della base delle unità alluvionali.

I conseguenti diversi spessori di materiale sedimentato sono stati oggetto di sensibile subsidenza. Detti abbassamenti, per processi di autoconsolidazione, non si sono verificati uniformemente ed hanno manifestato intensità maggiore nelle fasce centrali delle sinclinali e nelle zone della monoclinale alpina, minore nelle zone prossime ai settori di asse di anticlinale, condizionando il grado di possibilità di consolidazione dei terreni. Queste condizioni, in taluni casi, hanno indotto, in circoscritte aree, accentuazioni dei fenomeni subsidenti ai quali si è associato, localmente, lo svilupparsi di faglie distensive che non giungono in superficie e sono sigillate dall'unità AES7.

3.2. Inquadramento geomorfologico

Il territorio di Campegine appartiene alla fascia di transizione tra i depositi alluvionali dell'Alta e Bassa Pianura Padana Appenninica costituita dalle evoluzioni idrografiche del F. Po e dei suoi affluenti che hanno colmato il golfo padano delimitato dagli affioramenti appenninici a sud e da quelli alpini a nord.

La parte meridionale e centrale del territorio comunale appartiene al corpo deposizionale del cono alluvionale del T. Enza.

Il cono alluvionale d'Enza presenta forma sub-triangolare con apice rivolto verso Ciano - S. Polo e fronte ad assetto lobato che si estende secondo una fascia orientata in senso ovest - nord ovest est - sud est, individuato dai toponimi: Pantaro di Sotto - Corte Rainusso - Case Donelli - Cabassa - La Razza - Corte Valle Re.

Nell'area di Campegine la suddetta fascia si colloca circa 2 km a sud dell'Autosole in prossimità del confine comunale occidentale sino circa a Strada della Razza; circa 0,2 km ad ovest di quest'ultima il fronte di conoide forma un lobo in verso settentrionale approssimandosi a 0,5 km a sud dell'Autosole tra Strada della Razza e Corte Valle Re.

La fascia sopradescritta identifica il passaggio tra i depositi prevalentemente ghiaioso sabbiosi di cono, più permeabili nei primi 5-8 m del sottosuolo, ai sedimenti limo sabbioso argillosi della media pianura a grado di permeabilità più basso.

Detta zona di transizione è rimarcata dalla fascia dei fontanili, che si rinviene circa tra le località, Gattatico - Podere Pantaro di Sotto, nel territorio ad ovest di Campegine, e nella zona tra Laghi di Gruma - Case Negri, e nel settore Impianto di Sollevamento Bentivoglio - Corte Valle Re in comune di Campegine.

Dall'analisi della cartografia IGM di primo impianto, che visualizza l'assetto del territorio al 1884 e delle informazioni ottenute dalle elaborazioni delle indagini geognostiche, si evince che la fascia delle risorgive o dei fontanili precedentemente al 1900 risultava attiva circa 2,0-3,5 km più a settentrione di quella attuale e si estendeva grosso modo secondo i toponimi: Milanello - C. Gabbi - incrocio via F.lli Cervi/ via Bertona - La Torre - C. Casinetto -Case Cocconi - Immacolata - Massa - intersezione Canale Morana/ via Volontari della Libertà.

Detta caratteristica trova riscontro nell'assetto isopiezometrico che evidenzia condizioni di falda sub affiorante, con soggiacenza inferiore o equivalente a 0,5 m dal piano campagna locale nella fascia estesa da La Torre a Tagliavino, Case Cocconi, Casella, Pd.re Lora.

Ne consegue che la zona di terminazione frontale della conoide d'Enza in territorio di Campegine è correlabile all'allineamento delle ultime località sopracitate. L'incremento di richiesta idrica mediante emungimenti dal sottosuolo, progressivamente accentuatasi successivamente dall'inizio del secolo XX, ed in modo particolare nel dopoguerra, unitamente alle variate condizioni climatiche e pertanto di alimentazione dell'acquifero, all'utilizzo agricolo del territorio, hanno determinato l'esaurimento e praticamente scomparsa di tale fascia delle risorgive e l'accentuazione delle emergenze a sud nelle attuali zone site a 0,5-2 km a sud dell'Autosole.

Il cono d'Enza presenta una geometria cuneiforme con spessori minori nelle zone meridionali e progressivamente maggiori verso settentrione, analoga variazione in potenza è rilevabile anche in direzione ovest - est ed evidenzia spessori relativi massimi nel settore mediano e minimi ai bordi est ed ovest.

L'insieme descritto è contraddistinto da depositi alluvionali continentali di varia età che vanno dai sedimenti pluviali - fluvio-glaciali del Riss, terrazzi di Montecchio e struttura del Ghiardo, alle alluvioni medie wurmiane riscontrabili nel territorio in sponda orientale del T. Enza tra Calerno e la Razza, a quelle recenti riconoscibili ai bordi dell'attuale alveo dell'Enza e nelle zone centrali - settentrionali ed orientali del territorio di Campegine.

Il cono alluvionale d'Enza essendosi costituito in condizioni morfoclimatiche variabili ha formato un insieme contraddistinto da interdigitazioni di orizzonti multipli più o meno terrazzati.

Infatti ad est e ad ovest di Montecchio ed alla struttura del Ghiardo, si riscontrano depositi prewurmiani formanti il paleocono pleistocenico oggi rinvenibile secondo paleosuperfici terrazzate di 3-4 m rispetto alle alluvioni medio recenti e wurmiane. Queste ultime sono formate da ghiaie ben classate a grado di alterazione molto basso, non cementate e presentano a tratti un paleosuolo

giallo - bruno generalmente di modesto spessore a causa dei rimaneggiamenti naturali ed antropici che ha subito.

I depositi wurmiani si rinvenivano a meridione del territorio comunale ed in prossimità di Calerno e di La Razza.

L'evoluzione geomorfologica della conoide d'Enza e quella del Torrente Parma, sono state interessate anche da movimenti tettonici recenti che hanno portato all'innalzamento dell'anticlinale dell'altopiano del Ghiardo e dell'anticlinale di Montechiarugolo, come dimostrerebbero alcune scarpate di faglia (Cremaschi e Papani, 1975) a direttrice prevalente sud ovest - nord est. Analoghi eventi, anche se in modo meno accentuato, hanno interessato la zona centro meridionale del territorio di Campegine come indicano la presenza di insediamenti neolitici nell'area a cui appartiene il dosso Via Razza - Campegine Capoluogo (J. Tirabassi, 2005) e la evidente conservazione della centuriazione romana nel settore occidentale e settentrionale centrale dell'area comunale.

La preservazione dei suddetti elementi archeologici denota una deposizione molto modesta di materiali alluvionali negli ultimi 6.000-2.000 anni nell'ambito territoriale in oggetto, concordante con processi subsidenti molto meno accentuati di tale zona rispetto alle fasce sia ad oriente del territorio comunale (aree di Cadelbosco di Sopra, Castelnovo di Sotto, Cadelbosco di Sotto) che delle zone ad ovest di Campegine, territorio occidentale di Gattatico.

Gli agenti, fattori e condizioni sopradescritti hanno portato ad una conformazione dell'area comunale contraddistinta da un'inclinazione territoriale orientata in direttrice ovest sud ovest - est nord est, caratterizzata da quote mediamente comprese tra 40-42 e 26-27 m s.l.m., declinati in senso sud ovest - nord est, con pendenze medie del 0,1 % e 0,6 %.

La superficie dell'area comunale presenta una morfologia convessa movimentata da ampie ondulazioni in senso ovest - est conseguenti alle modalità di accrescimento alluvionale del cono del T. Enza e concordante con i movimenti tettonici recenti che hanno interessato la zona in oggetto.

I corsi d'acqua che hanno transitato nella parte meridionale e centrale del territorio comunale tendevano ad alluvionare le aree ad essi circostanti, svolgendo un'azione sedimentante che si è prevalentemente sviluppata nelle zone ad oriente e ad occidente, del territorio di Campegine, rispettivamente aree di Cadelbosco Sopra - Castelnovo Sotto e di S. Ilario d'Enza - Gattatico.

Dette azioni hanno generato una successione litostratigrafica nei primi 50 - 100 m del sottosuolo nelle zone settentrionali del comune ed aree al confine orientale, in cui predominano sequenze argilloso limose - limose (60/65%), alle quali si intercalano in subordine orizzonti prevalentemente sabbiosi - sabbioso ghiaiosi - ghiaioso sabbiosi, con spessori mediamente compresi tra 6-8 e 15 m, ad assetto lentiforme.

D'altra parte nella fascia a meridione della A1 ed in quella da Calerno a la Razza si denota la prevalenza delle unità ghiaioso sabbiose (65-85%). Queste ultime tendono ad aumentare sempre più sia in percentuale che in spessore procedendo in direttrice sud e costituiscono i termini litologici maggiormente presenti nel sottosuolo a sud ed in prossimità della via Emilia.

Le successioni litostratigrafiche evidenziano la presenza di una litozona prevalentemente argilloso limosa continua lateralmente riscontrabile tra 30-40 m e 50-60 m dal p.c. nei settori meridionali e tra 40 e 60-70 m in quelli centrali e settentrionali, che suddivise sulla verticale la conoide d'Enza in due unità delle quali la più profonda è correlabile alle deposizioni del periodo rissiano (AES3) e wurmiano medio inferiore (AES7b/a) e quella più superficiale attribuibile al periodo wurmiano medio superiore (AES7a) che generalmente è coperta per spessori di 12-18 m dai depositi olocenici post wurmiani - attuali AES8.

Nel contesto di quanto esposto si evidenzia inoltre che la parte più profonda della conoide, unità sottostante 30-40 m dal p.c. locale, tende a svilupparsi in direttrice nord - est mentre quella più superficiale, rinvenibile ad est di Campegine in territorio di S. Ilario d'Enza si amplia in verso nord - ovest (PRG Gattatico e di S. Ilario d'Enza, 2000 Centrogeo; Enza the alluvional cone model trough geoelectric prospection, Mazzetti G.P. Nasser A.Z. Gilli S.; 2003).

L'evoluzione con spostamenti successivi verso occidente è tipica dei fiumi appenninici ed è correlabile a movimenti tettonici che hanno coinvolto il bacino padano negli ultimi 0,2-0,6 Ma.

Il modello di accrescimento generale e graduale della Pianura Padana, caratterizzato da condizioni di equilibrio dinamico, è stato fortemente influenzato dall'uomo. Quest'ultimo, per cautelarsi dalle esondazioni, ha costretto i corsi d'acqua a scorrere sempre negli stessi alvei elevando gli argini di pari passo all'innalzamento dei letti fluviali. Tale irrigidimento della rete idrografica naturale ha accentuato i dislivelli tra i fiumi ed i territori che li fiancheggiano sia per un mancato apporto di materiali che per un incremento di subsidenza differenziale.

Le tracce della distribuzione della Centuriazione Tanetana ed il paleoalveo ad ampia convessità che si sviluppa sub parallelamente a Strada della Razza - Casetto di Sotto - zona ad est del Capoluogo, denotano che la fascia centro meridionale dell'area comunale non è stata soggetta a pronunciate modifiche morfologiche in periodi medio recenti - attuali, indicando stabilità idraulica negli ultimi 2.000-3.000 anni.

3.3. Inquadramento idrogeologico

I litotipi che caratterizzano il territorio meridionale di Campegine costituiscono una successione di orizzonti prevalentemente ghiaiosi alternati a sequenze prevalentemente argilloso limose - limoso argillose. Dette unità litologiche formano acquiferi inclinati in senso sud - nord ed i termini limoso argilloso sabbiosi tendono a costituire bancate che aumentano gradualmente in spessore e frequenza procedendo in direzione settentrionale; d'altra parte si evidenzia la convergenza dei livelli ghiaiosi procedendo in verso meridionale ed una più definita separazione degli stessi in direttrice nord. In senso est ovest si riscontra un assetto geometrico analogo a quello precedentemente descritto con la presenza di inclinazioni sia in verso nord ovest e che nord est.

Nelle aree centro settentrionali e settentrionali i livelli ghiaiosi tendono ad arricchirsi in materiali a granulometria sabbiosa che formano propaggini allungate ed inclinate verso nord. In detto settore gli orizzonti acquiferi appaiono nettamente differenziati e presentano minori spessori con una percentuale in litotipi nettamente a favore delle granulometrie fini argilloso limose.

La zona di transizione tra l'Unità del cono alluvionale e l'Unità della media pianura, individuata dalla antica "linea delle risorgive", si estende in pratica secondo una fascia sita circa 2-3 km a nord dell'Autosole e presenta una propaggine estendentesi verso nord in corrispondenza dell'apparato fluviale estinto La Razza - Campegine.

Gli orizzonti litostratigrafici di seguito descritti sono da considerarsi come unità nelle quali prevalgono nettamente le componenti granulometrico litologiche descritte ma non assimilabile a livelli omogenei. Ne consegue che gli orizzonti permeabili o acquiferi, sono livelli nei quali prevalgono le componenti grossolane ma contestualmente possono presentare sensibili variabilità in spessore degli strati ghiaioso sabbiosi, con marcate variazioni anche nelle percentuali in sabbie, ai quali si possono intercalare strati argilloso limosi di spessore subordinato e percentualmente meno rappresentati rispetto ai materiali ghiaioso sabbiosi.

Analogamente per quanto riguarda le unità impermeabili risulta che esse costituiscono orizzonti continui lateralmente prevalentemente formate da materiali fini quali argille e limi che possono inglobare strati sabbioso ghiaiosi, più o meno lentiformi, percentualmente meno rappresenta e meno potenti rispetto alle componenti argilloso - limose.

Soggiacenza Acquifero freatico

L'assetto della profondità dal piano campagna a cui si rinviene la falda idrica sotterranea evidenzia una suddivisione in due ambiti nettamente distinti come caratteristiche.

Il primo di questi identificato dalla parte sud occidentale del territorio comunale, circa compreso tra la SP n° 39 Taneto - Castelnuovo di Sotto, l'Autosole e la SP n° 67 Poviglio - Nocetolo, è contraddistinto da valori di soggiacenza mediamente compresi:

$$\delta_{H_2O} = -2,5 \div -5 \text{ m p.c.}$$

con quote di profondità relativa maggiore, $-3,5 \div -5,5$ m p.c. nel settore a meridione dell'allineamento Braglia - Case del Lago e minori a nord est di detto allineamento, $-2,5 \div -3$ m p.c., che si approssimano ai -2 m nelle fasce territoriali circa adiacenti l'Autosole e nel settore immediatamente ad ovest della SP n° 67.

La sopra descritta zona con soggiacenza $-2,5 \div -5,5$ m p.c. appartiene ad un ambito di fascia frontale della conoide del T. Enza.

Nella zona orientale centrale dell'area comunale, circa tra via F.lli Cervi, SP n° 67 Poviglio - Montecchio, Autosole, la profondità dell'acqua nel sottosuolo è mediamente rinvenibile tra:

$$\delta_{H_2O} = -1 \div -2 \text{ m p.c.}$$

e con detta diminuzione di soggiacenza si evidenzia l'approssimarsi alla fascia di terminazione frontale della conoide alluvionale d'Enza corrispondente all'antica fascia delle risorgive, attiva agli inizi del 1900.

Condizioni di soggiacenza simili con:

$$\delta_{H_2O} = -1 \div -1,5 \text{ m p.c.}$$

si rilevano nel settore a sud di via Razza Lago, e nella fascia larga circa 0,5 km che si estende con andamento sub parallelo a via Razza circa da La Zerbaglia a C. Tagliavini - via Casetta.

In tale ambito la soggiacenza, è correlata alle caratteristiche granulometriche dei materiali che costituiscono il corpo di antico percorso fluviale estinto che si estende con andamento circa sub parallelo a Strada della Razza.

Profondità dell'acqua nel sottosuolo analoghe con:

$$\delta_{H_2O} = -1 \div -1,5 \text{ m p.c.}$$

si osservano nel settore centrale orientale del territorio comunale nell'area circa compresa tra Cn.le Morane, Div.vo Monsignore, Cavo Cava, nel quale detta soggiacenza è correlabile all'approfondimento dell'acquitarzo di base.

Nelle rimanenti parti del territorio comunale la profondità della tavola d'acqua nel sottosuolo è molto prossima al piano campagna e corrisponde generalmente a:

$$\delta_{H_2O} = -0,5 \text{ m p.c.}$$

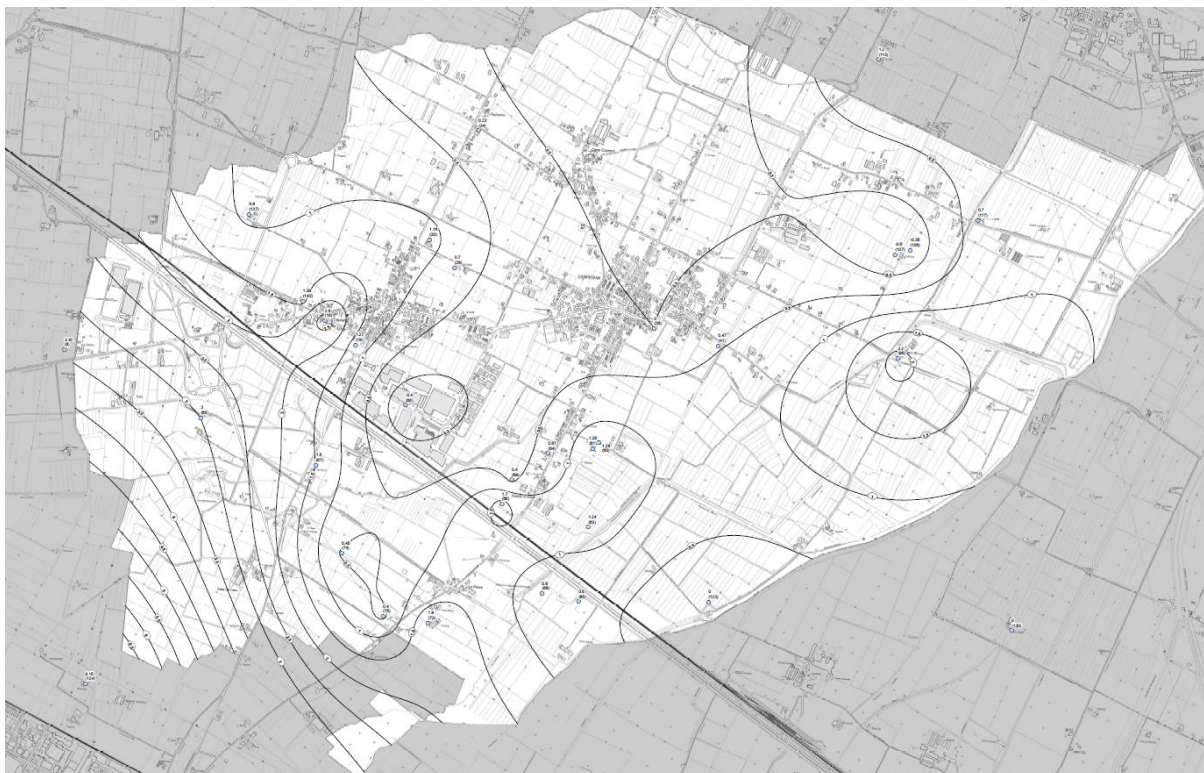
ed assume anche condizioni di sub affioramento posizionandosi tra profondità $-0,3$ e $-0,5$ m p.c. nella fascia territoriale a settentrione del capoluogo circa compresa tra C. Tagliavino, Borgotorto, incrocio via Matteotti - via Amendola, il Cantone, Ca dei Tre Buchi, Lora, intersezione Cavo Busetto - via Pescatoria, incrocio strada Mezzanella - Div.vo Diola, via Marconi. L'ambito sopra descritto, con falda molto prossima al piano campagna, corrisponde alla fascia di terminazione frontale della conoide d'Enza correlata all'antica fascia delle risorgive attiva a fine 1800 inizi del 1900.

Altre zone con condizioni di ridotta profondità dell'acqua rispetto al piano campagna sono osservabili nell'area compresa tra via Razza Lago, Strada Razza, Cn.le di Bonifica Bentivoglio e Lago di Gruma e nel settore tra Corte Valle Re ed incrocio Autosole - Div.vo Antonia, che si collocano circa in corrispondenza della fascia delle risorgive attuale estendentesi circa dai Laghi di Gruma a C. Negri, Fondo Razza, Corte Valle Re.

Le profondità della falda in oggetto sono mediamente rappresentative per i periodi invernali o primaverili, poiché nella stagione estiva l'acquifero del cono d'Enza, in particolare nelle zone a sud del territorio comunale di Campegine, è soggetto a forti emungimenti per irrigazione, con sensibile abbassamento dei livelli piezometrici.

Fanno eccezione a ciò le parti di territorio interessate dalla presenza di pozzi acquedottistici dove la depressione piezometrica, anche se suscettibile di modificazioni, è relativamente costante durante l'anno.

La carta della soggiacenza dell'acquifero, redatta per lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1-2 e di seguito riportata, assume una rilevante importanza per la valutazione di pericolosità di liquefazione dei litotipi sabbiosi saturi.



Estratto della Carta della soggiacenza della falda (da MS1_Comune di Campegine)

3.4. Caratteri geologico tecnici e zone MOPS Livello 1-2

Il territorio in oggetto, appartiene alla fascia dell'alta pianura, costituita dai depositi di conoide alluvionale, interconoide, piana inondabile, conseguiti alle evoluzioni idrografiche dei T. Enza e T. Parma, condizionati dalle evoluzioni idrografiche del F. Po che ha governato le possibilità al suo afflusso dei corsi d'acqua appenninici ed alpini.

Le azioni principali di deposizione in tali ambiti si sviluppano prevalentemente in corrispondenza delle fasce degli assi fluviali che costituiscono corpi sedimentari più rilevati rispetto ai settori ad essi latitanti. In concomitanza delle variazioni climatiche che comportano onde di piena si generano rotte e/o tracimazioni alle quali conseguono cambiamenti della sede di scorrimento dell'alveo.

I tratti dei corpi fluviali abbandonati così originati costituiscono ostacoli alle successive impostazioni del nuovo reticolo idrografico che influiscono sulle direzioni degli alvei e determinano presenza di zone a difficoltoso drenaggio superficiale con insediamento di ambienti vallivi/palustri.

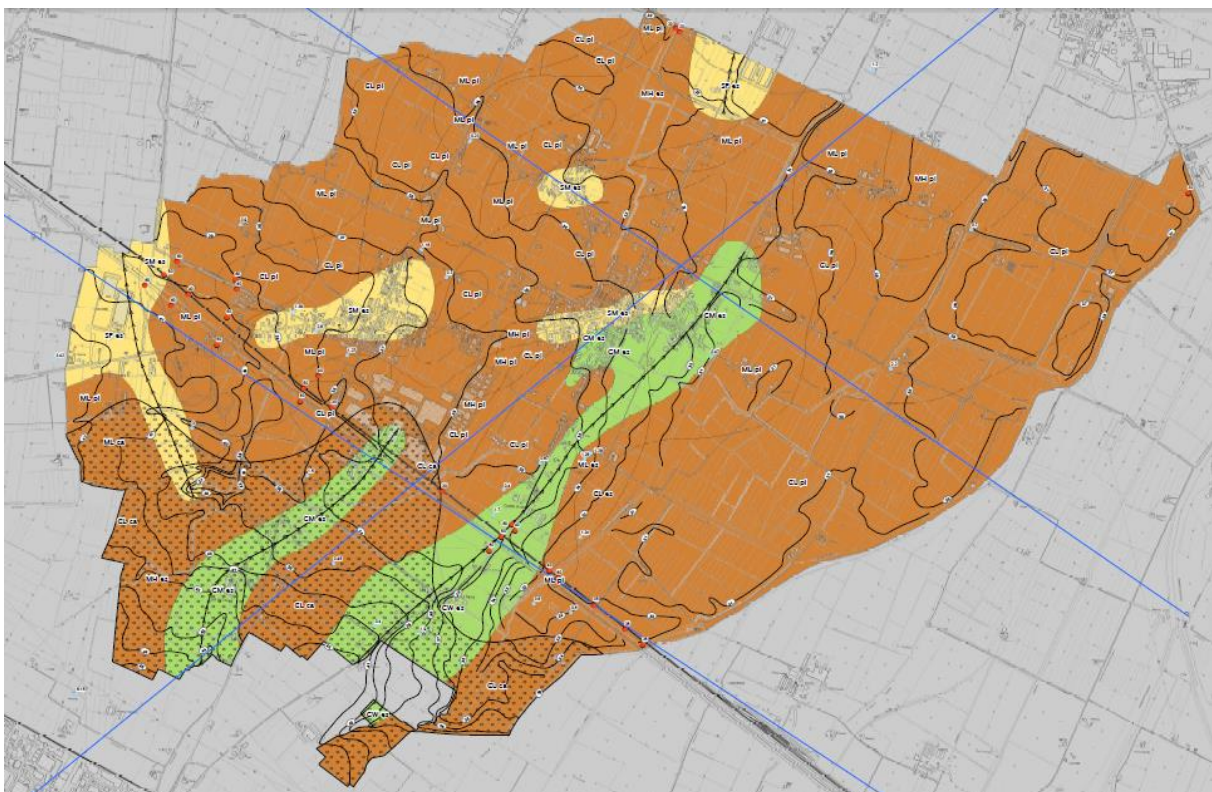
A tali sistemi deposizionali è attribuibile la zona settentrionale del territorio comunale dove a sud di un dosso debolmente pronunciato ed in brevi tratti discontinuo, esteso in direzione ovest sud ovest - est nord est con andamento assecondante via P. Nenni - Via G. Rossa - Via A. Moro: da Caprara al Capoluogo, si evidenzia un orientamento degli antichi percorsi degli alvei fluviali provenienti dalle zone meridionali che tende a flettere in direzione nord est. Dette caratteristiche di difficoltà di defluire in verso settentrionale concordano con le discontinuità laterali dei corpi ghiaiosi sabbiosi nei primi 10-12 m del sottosuolo e con la tendenziale maggior continuità laterale delle unità prevalentemente ghiaiose sabbiose da 10-12 a 30-35 m p.c. locale.

Nel settore orientale del territorio si rinviene un ambito vallivo di pianura conseguito alla presenza di un antico apparato fluviale ad est del confine comunale che ha ostacolato le possibilità di deflusso in direzione nord est degli antichi corsi d'acqua; sulle condizioni che hanno influenzato l'instaurarsi dell'ambiente di tipo palustre con tutta probabilità hanno influito anche fattori tettonici.

Un'analoga zona si è imposta nelle aree nord occidentali al confine comunale con Gattatico nelle quali un antico percorso fluviale del T. Enza, che a settentrione di Nocetolo fletteva in direzione nord est, ha condizionato le direttrici degli assi idrici superficiali verso nord inducendo condizioni di ambienti vallivi planiziali nelle zone nord orientali del territorio di Gattatico ed occidentali di quello di Castelnovo di Sotto.

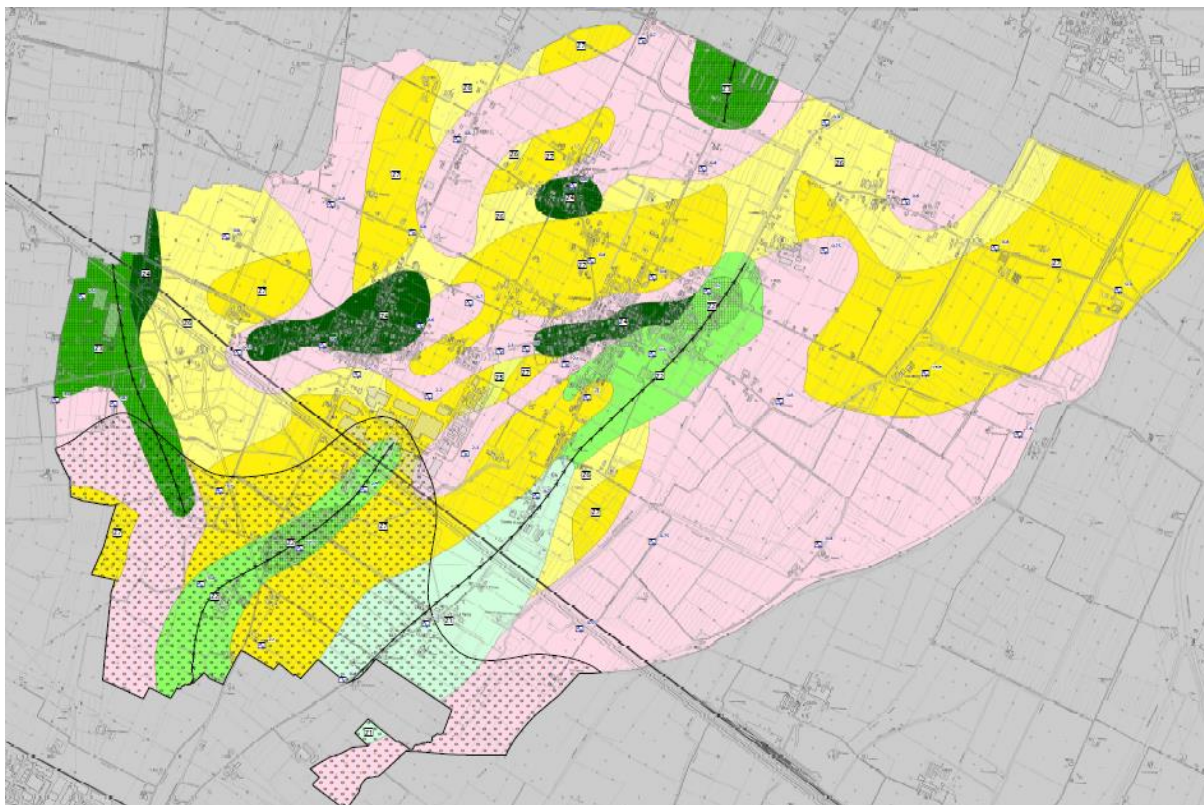
Le azioni deposizionali hanno generato una morfologia pianeggiante con ondulazioni principali, ad ampio raggio, allungate in senso sud ovest - nord est, nei quali sono tuttora riconoscibili i corpi arginali e le depressioni del corpo dell'alveo, la subordinata presenza di forme e dossi minori debolmente pronunciati dei quali sono individuabili gli avvallamenti residuali dei preesistenti assi fluviali.

Gli interventi antropici principali sul territorio sono rappresentati dall'intensa urbanizzazione nell'areale sede del capoluogo, nella zona industriale e nell'area di Caprara, nei quali sono state modificate le caratteristiche dei suoli mediante riporti e scavi che hanno coinvolto i primi 1-2 m del sottosuolo.



Estratto della Carta Geologico Tecnica della MS di Livello 1-2 del Comune di Campegine

Le zone sopra descritte sono schematicamente suddivisibili nelle zone litotecniche di seguito descritte: la denominazione delle aree corrisponde alle zone visualizzate nella carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica di Livello 1-2.



Estratto della Carta MOPS del Comune di Campegine

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- | | |
|-----------|---|
| Z1 | <p>ZONA 1 Depositi di conoide alluvionale e di canale fluviale prevalentemente costituiti nei primi 30 m del sottosuolo da alternanze di strati ghiaioso sabbiosi a granulometria ben assortita/poco assortita, addensati: $V_s=300/500$ m/sec, $NSPT>40$, con intercalati orizzonti limoso argillosi - argilloso limosi moderatamente consistenti: $V_s=200/250/300$ m/sec, $q_c>15$ kgf/cmq.
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
Approfondimenti di II° livello</p> |
| Z2 | <p>ZONA 2 Depositi di canale fluviale di conoide alluvionale e di piana inondabile, prevalentemente costituiti nei primi 40 m del sottosuolo da alternanze ghiaioso sabbiose - ghiaioso sabbioso limose a granulometria da ben assortita a poco assortita moderatamente addensate: $V_s=250/400$ m/sec, $NSPT>30$, con lenti sabbioso limose poco addensate: $V_s=160/200$ m/sec, $q_c<16$ kgf/cmq nei primi 10/12 m del sottosuolo, seguiti da ghiaie addensate ed argille limose consistenti: $V_s=400/550$ m/sec, $NSPT >40$, $cu>1,2$ kgf/cmq.
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
Approfondimenti di II° livello</p> |
| Z3 | <p>ZONA 3 Depositi di canale fluviale di piana inondabile e di conoide alluvionale costituiti nei primi 8/15 m del sottosuolo da alternanze sabbiose pulite a granulometria poco assortita e limi sabbiosi - limi argillosi; le sabbie e limi sabbiosi nei primi 8 m dal pc sono moderatamente o poco addensati; rispettivamente $V_s=200/220$ m/sec $q_c>30$ kgf/cmq e $V_s=150/200$ m/sec, $q_c<14$ kgf/cmq, con intercalati od in sostituzione laterale di limi argillosi - argille limose da moderatamente a poco consistenti nei primi 5 m del sottosuolo e da -7 a -15 m pc: $V_s=150/200$ m/sec, $q_c<10$ kgf/cmq; presenza di ghiaie sabbiose addensate: $V_s=250/350$ m/sec, $NSPT>40$ a profondità sottostanti -15/-18 m p.c., seguite da alternanze di orizzonti argilloso limosi consistenti e ghiaie sabbiose addensate: $V_s=400/450$ m/sec.
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
Approfondimenti di II° livello</p> |

Z4

ZONA 4 Depositi di canale fluviale di piana inondabile costituiti da alternanze prevalentemente sabbioso ghiaiose - sabbiose e limoso argillose con lenti sabbiose nei primi 15 m del sottosuolo; le sabbie ghiaiose e sabbie sono moderatamente o poco addensate, rispettivamente: $V_s=220/250$ m/sec, $q_c > 20$ kgf/cm² e $V_s=160/200$ m/sec, $q_c < 14$ kgf/cm² dove prevalgono le componenti sabbiose, per i limi argillosi: $V_s=160/200$ m/sec, $q_c > 12$ kgf/cm² e $V_s=150/200$ m/sec, $q_c < 8$ kgf/cm² per i terreni poco consistenti; presenza di ghiaie sabbiose addensate: $V_s=300/400$ m/sec, NSPT > 40 da -15 m a -25 m dal piano campagna, seguite da alternanze di orizzonti argilloso limosi consistenti e ghiaioso sabbiosi addensati: $V_s=400/600$ m/sec, NSPT > 40, $c_u > 1.2$ kgf/cm².

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
Approfondimenti di II° livello

Z5

ZONA 5 Depositi di canale fluviale di conoide alluvionale e di piana inondabile costituiti nei primi 15 m del sottosuolo da alternanze prevalentemente limoso sabbiose con intercalate lenti sabbioso limose - sabbioso ghiaiose da moderatamente a poco consistenti/addensate, rispettivamente $V_s=200/250$ m/sec, $q_c > 14$ kgf/cm² e $q_c > 30$ kgf/cm² per le sabbie ghiaiose, $V_s=150/200$ m/sec, $q_c < 10$ kgf/cm² - $q_c < 16$ kgf/cm² nei limi argillosi e nelle sabbie limose, poco addensati/consistenti; presenza di ghiaie e sabbie addensate: $V_s=300/450$ m/sec, NSPT > 30 a profondità sottostanti -15 m pc, seguite da alternanze di orizzonti argilloso limosi consistenti: $V_s=350/600$ m/sec, $c_u > 1.2$ kgf/cm² e ghiaioso sabbiosi addensati: $V_s=350/600$ m/sec, NSPT > 40.

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
Approfondimenti di II° livello

Z6

ZONA 6 Depositi di piana inondabile e conoide alluvionale distale, in alternanze prevalentemente limose - limoso argillose con lenti sabbioso limose da moderatamente consistenti: $V_s=200/250$ m/sec, $q_c > 10$ kgf/cm², a poco consistenti/addensati: $V_s=150/200$ m/sec, $q_c < 7 - < 15$ kgf/cm² per le sabbie limose; presenza di orizzonti ghiaioso sabbiosi a granulometria da ben assortita a poco assortita, addensati: $V_s=300/450$ m/sec, NSPT > 30, a profondità sottostanti -15/-18 m dal piano campagna; seguiti da alternanze di orizzonti argilloso limosi e ghiaioso sabbiosi addensati: $V_s=400/600$ m/sec, NSPT > 40, $c_u > 1.2$ kgf/cm² con prevalenza delle unità argilloso limose.

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
Approfondimenti di II° livello

Z7

ZONA 7 Depositi di piana inondabile e di conoide alluvionale distale in alternanze prevalentemente argilloso limose - limoso argillose con lenti sabbiose limose moderatamente consistenti: $V_s=160/250$ m/sec, $q_c > 12$ kgf/cm², a poco consistente: $V_s=150/200$ m/sec, $q_c < 8$ kgf/cm² - < 16 kgf/cm² per le sabbie limose; presenza di sequenze ghiaioso sabbiose addensate: $V_s=350/400$ m/sec, NSPT > 30/40 a profondità da -10 a -25 m pc, seguite da alternanze di orizzonti argilloso limosi consistenti e ghiaioso sabbiosi addensati: $V_s=450/550$ m/sec, NSPT > 40, $c_u > 1.2$ kgf/cm².

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
Approfondimenti di II° livello

17

Zone di attenzione per instabilità



ZALQ1 - Zona di attenzione per liquefazione tipo 1

Sabbie pulite e sabbie limose

Effetti attesi: potenziale liquefazione

Approfondimenti di III° livello per stima della pericolosità di liquefazione



POTENZIALI CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Limi - limi sabbiosi - limi argillosi poco consistenti (MH/ML - 25) contenenti corpi sabbiosi limosi lentiformi, con spessori di 1/2 m poco addensati (SM - 13), nei primi 5/6 del sottosuolo e da -7 a -15 m pc; argille limose - limi argillosi poco consistenti (CL/ML - 25) con intercalati copri lentiformi sabbioso limosi, con spessori di 1/2 m da moderatamente a poco addensati (SM 12/13) nei primi 10/12 m del sottosuolo.

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, cedimenti differenziali, addensamenti.

Approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti differenziali.

3.5. Tetto del substrato a comportamento rigido

Al primo livello di approfondimento, grazie all'analisi approfondita dell'assetto stratigrafico comunale è stata redatta la "Carta del tetto delle ghiaie e del substrato a comportamento rigido", di particolare importanza nelle analisi di Livello 3.

In particolare le profondità dal piano campagna e l'assetto spaziale, dell'unità litotecnica che localmente indica comportamento relativo più rigido con caratteristiche assimilabili al *bedrock like*, sono state individuate in funzione dei valori di frequenza principale ottenuti dalle prospezioni H.V.S.R. e dalle velocità delle onde sismiche di taglio stimate tramite le lineari array Re.Mi./M.A.S.W.

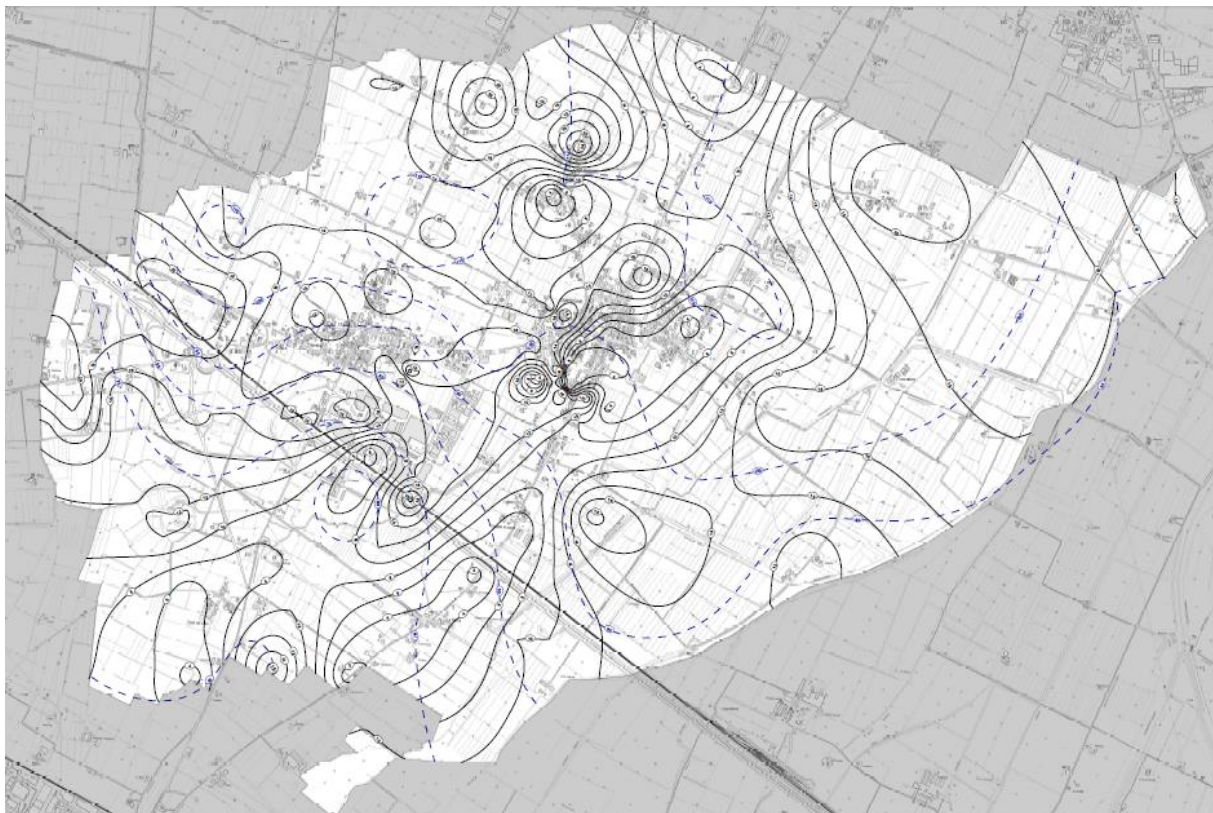
L'andamento spaziale denota una generale tendenza ad assecondare l'assetto della base dei depositi continentali del Sintema Emiliano Romagnolo superiore ed in particolare dell'unità stratigrafica AES3. L'assetto del tetto dell'unità assimilabile al *bedrock like* evidenzia geometrie del gradiente di incremento della profondità meno accentuate nel sottosuolo delle zone centromeridionali e meridionali del territorio comunale: settori a sud della SP n° 39 e che aumenta a settentrione di queste ultime indicando un assetto a blanda flessura in tale zona.

Nelle fasce settentrionali dell'area comunale l'assetto denota una graduale preferenziale inclinazione dell'approfondimento in direzione nord - ovest con il progressivo allontanamento dell'ala meridionale occidentale della Dorsale Ferrarese presente nel sottosuolo del territorio 1-1,5 km ad oriente del confine comunale est del comune di Campegine.

Le profondità minori del substrato assimilabile al *bedrock like* si rilevano nel sottosuolo della parte meridionale dell'area comunale a sud dell'Autosole ad ovest di Strada Della Razza dove è generalmente rinvenibile tra 70-80 m dal p.c. locale e presenta le profondità minori tra Case Del Lago e Le Fontane dove si attesta da 60 m dal p.c. locale.

A nord di detta Autostrada si approfondisce gradualmente a 90 m sino circa a via J. F. Kennedyn° 39 e successivamente a quest'ultima con un'accentuazione del gradiente di incremento delle profondità raggiunge 100-110 m dal p.c. locale con i valori maggiori nelle zone settentrionali occidentali tra Strada Pescatora e la SP n° 111.

Il tetto dell'unità litostratigrafica assimilabile al *bedrock like* è tendenzialmente correlabile alla parte mediana basale del Sintema AES circa corrispondente alla base dell'unità AES3 nei settori meridionali del sottosuolo dell'area comunale (sud A1) ed alla parte medio superiore di detta unità nelle zone a settentrione di detta autostrada.

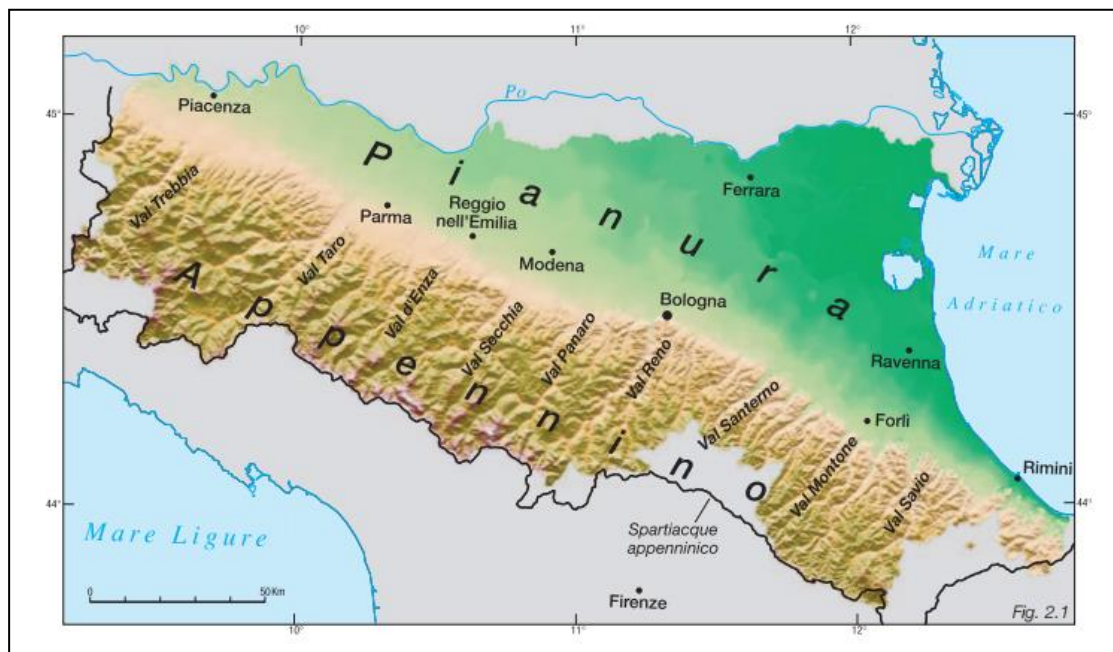


Estratto della Carta del tetto delle ghiaie e del substrato a comportamento rigido

4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

4.1. Inquadramento sismo-tettonico regionale

Il territorio dell'Emilia-Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale infatti coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord. Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinguibili, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati, in quanto la loro evoluzione coincide con l'evoluzione della catena nord-appenninica.



Limiti geologici dell'Emilia-Romagna

L'Appennino settentrionale è una catena a *thrust* facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica prospiciente l'oceano Ligure-Piemontese per l'interazione fra le placche Africana ed Euroasiatica.

Procedendo lungo una trasversale dell'Appennino, dall'interno verso l'esterno della catena (da ovest verso est), vengono distinti i seguenti domini paleogeografici:

- il **Dominio Ligure** è rappresentato da varie Unità tettoniche i cui depositi comprendono relitti di basamento oceanico e la relativa copertura sedimentaria. Queste unità possono essere divise in Ligure interno e Ligure esterno. Le prime hanno un carattere tipicamente oceanico (ofioliti alla base), mentre le seconde passano da caratteri di transizione oceano-continente (ad occidente) a carattere puramente continentali (ad oriente);
- il **Dominio Subligure** è una successione sedimentaria profondamente tettonizzata che sembrerebbe essere sedimentata in una zona di transizione tra la crosta oceanica ligure e il margine passivo adriatico;
- il **Dominio Toscano** è rappresentato da tre successioni differentemente deformate: il Dominio Toscano Interno (Falda Toscana non metamorfica) con depositi di età variabile dal Trias superiore all'Oligocene superiore; il Dominio Toscano Esterno (Complesso Metamorfico Toscano) con metamorfismo in *facies* scisti verdi, che comprende formazioni paleozoiche del suo basamento

Durante quest'ultimo stadio si verificano anche importantissime riattivazioni di parti già strutturate della catena interna che possono sia coinvolgere strutture preesistenti, sia generare nuove strutture con *trend* anche diversi da quelle precedentemente costituite (Boccaletti et alii, 1995; Boccaletti & Sani, 1998). La deformazione si manifesta pertanto in maniera più diffusa e complessa, ed ai fenomeni di sovrascorrimento si accompagnano sempre più frequentemente fenomeni di trascorrenza lungo l'asse della catena (stadio post-collisionale). I bacini che si sviluppano all'interno della catena a partire dal Tortoniano medio sono del tipo *thrust-top basin* e sono connessi ad attivazioni dei sovrascorrimenti del basamento e/o a riattivazioni di sovrascorrimenti preesistenti della copertura (Boccaletti et alii, 1995, 1997; Boccaletti & Sani, 1998; Bonini et alii, 1999). In questo quadro, le faglie normali che interessano il settore interno della catena e che delimitano alcuni bacini sono considerate strutture di secondo ordine, rispetto ai sovrascorrimenti, che accomodano il sollevamento delle culminazioni del basamento generate da *thrust* litosferici attivi.

Il settore appenninico può essere pertanto suddiviso in due zone principali: la zona assiale, che rappresenta la parte morfologicamente più elevata della catena esterna costituente l'edificio le cui strutture principali arrivano fino al Pliocene inferiore e le cui unità tettoniche che sono corrispondenti al Dominio Ligure, Subligure e Umbro-Marchigiano; la zona del margine appennino-padano, che rappresenta la zona a cavallo del limite morfologico Appennino-Pianura Padana in cui affiorano terreni appartenenti alla successione post-evaporitica costituiti prevalentemente da peliti deposte sul margine interno dell'avanfossa padano-adriatica.

4.2. Neotettonica e sismicità storica

L'Emilia-Romagna è attualmente una regione attiva dal punto di vista sismico. La presenza di eventi sismici recenti di rilevante intensità non sorprende e conferma che la regione è tettonicamente attiva. Evidenze di movimenti molto recenti sono stati individuate nel riempimento sedimentario Plio-Pleistocenico: in particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e di Ferrara. A tali strutture (in particolare alla dorsale Ferrarese) possono essere associati i fenomeni di fagliazione superficiale osservati in alcune aree di Pianura Padana, nelle province di Reggio Emilia e Modena.

Nell'ambito della stesura della "Carta sismotettonica" dell'Emilia-Romagna, è stato effettuato uno studio approfondito della sismicità della regione, facendo riferimento all'area compresa tra gli estremi di coordinate 45.3333° di latitudine nord, 43.6667° di latitudine sud, 9° di longitudine ovest e 12.8° di longitudine est. Nell'area in oggetto sono stati riportati gli epicentri relativi ai terremoti strumentali, storici ed i dati concernenti i meccanismi focali presenti in letteratura.

Per i terremoti storici sono stati utilizzati i dati provenienti da una versione aggiornata ed estesa al 2015 del "Catalogo Parametrico dei terremoti Italiani" (CPTI; Gruppo di lavoro CPTI, 2016) e per i meccanismi focali i dati presenti nella letteratura specialistica revisionati ed inseriti in un catalogo di recente pubblicazione: "Earthquake Mechanisms of Mediterranean Area" (EMMA; Vannucci & Gasperini, 2003).

La provincia di Reggio Emilia è soggetta ad un'attività sismica medio-bassa indotta da frequenti terremoti all'interno dell'area d'esame; sono stati estratti 359 terremoti storici dal catalogo CPTI, con magnitudo maggiore o uguale a 4, avvenuti tra il 1168 e il 2002, che sono stati suddivisi nella tabella seguente in base alla soglia di intensità epicentrale e magnitudo.

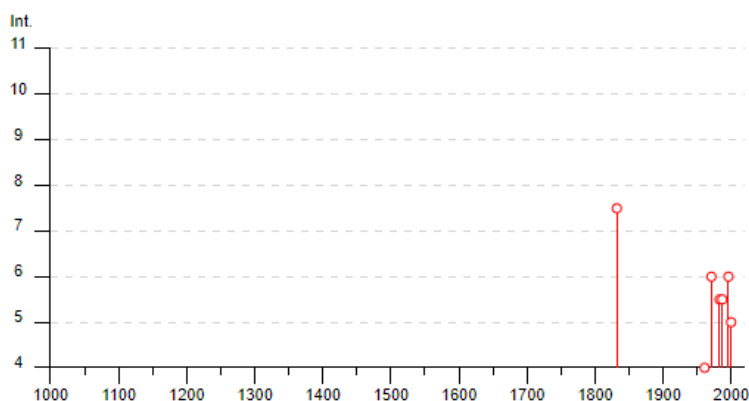
Terremoti storici presenti sul CPTI localizzati all'interno del confine della Regione Emilia-Romagna			
Soglia Intensità epicentrale	Numero terremoti per soglia di Intensità	Soglia Magnitudo M_w	Numero terremoti per soglia di Magnitudo
≥ VI	283	≥ 4	347
≥ VII	115	≥ 4,5	173
≥ VIII	35	≥ 5	71
≥ XI	11	≥ 5,5	24
≥ X	2	≥ 6	4

Tra i terremoti storici più rilevanti con epicentro in Emilia-Romagna si possono ricordare quelli nella tabella sotto riportata, ottenuti dal catalogo CPT11.

Data	Area Epicentrale	I MSC Mw	Latitudine	Longitudine
5/6/1501	Appennino modenese	IX Mw=6.0	44.519	10.844
10/9/1584	Appennino tosc-emiliano	IX Mw=5.8	43.862	11.992
22/3/1661	Appennino romagnolo	IX Mw=6.1	44.021	11.898
11/4/1688	Romagna	VIII - IX Mw=5.8	44.390	11.942
19/10/1768	Appennino romagnolo	IX Mw=5.9	43.939	11.901
4/4/1781	Romagna	IX - X Mw=5.9	44.251	11.798
17/3/1875	Romagna sud-orientale	VIII Mx=5.9	44.210	12.572
17/5/1916	Alto Adriatico	VIII Mw=6.02	44.141	12.725
16/8/1916	Alto Adriatico	VIII Mw=6.1	44.034	12.779
10/11/1918	Appennino romagnolo	IX Mw=5.8	43.917	11.933
15/7/1971	Parmense	VIII Mw=5.6	44.781	10.291
15/10/1996	Correggio	VII Mw=5.4	44.798	10.678
14/9/2003	Appennino Bolognese	VII Mw=5.3	44.255	11.380
29/05/2012	Pianura emiliana	VII-VIII Mw=5.9	44.841	11.065

Nello specifico, il comune di Campegine, appare 7 volte con intensità registrata superiore o uguale a 4. Nella tabella a seguire 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).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7-8	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
3	1937	09	17	12	19	0	Parmense	34	7	4.77
4	1961	08	13	22	34	1	Parmense	22	5-6	4.37
6	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
5-6	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
5-6	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
NF	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
6	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
3	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
2-3	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
5	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciaorta	768	5	4.21



Il grafico a fianco riportato ricostruisce la storia sismica di Campegine (per terremoti con intensità al sito superiore a 4) tra gli anni 1000 e fino al 2014

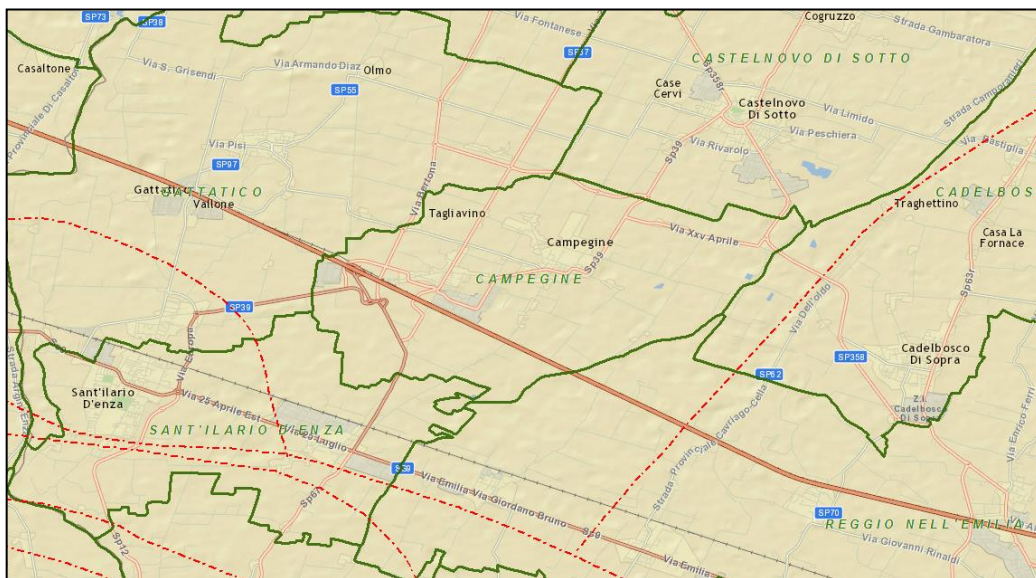
Attualmente il DBMI15 (Data Base Macrosismico Italiano 2015), da cui è stata estrapolata la sismicità storica di Campegine risulta aggiornato fino al 2014

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 Campegine, si è fatto riferimento agli studi condotti dagli esperti scientifici e riportate nei cataloghi ITHACA e DISS 3.2. 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 escludere, nella zona di studio, la presenza di faglie attive e capaci come è possibile osservare nella figura sotto riportata (immagini estratte dal sito dell'ISPRA).

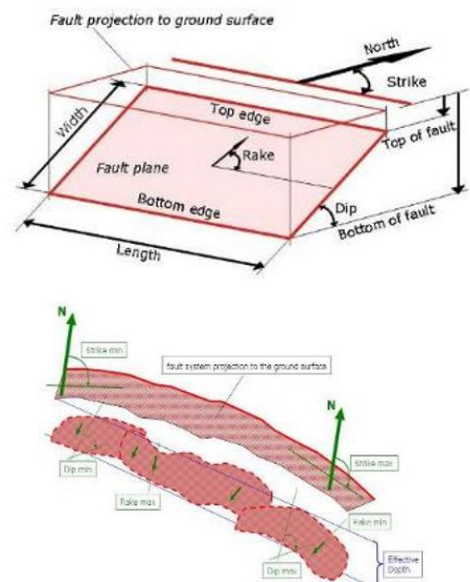


La mappa dell'INGV riportata di seguito, denominata DISS 3.2 (*Database of Individual Seismogenic Sources - DISS Version 3*), mostra tre tipologie di sorgenti sismogenetiche.

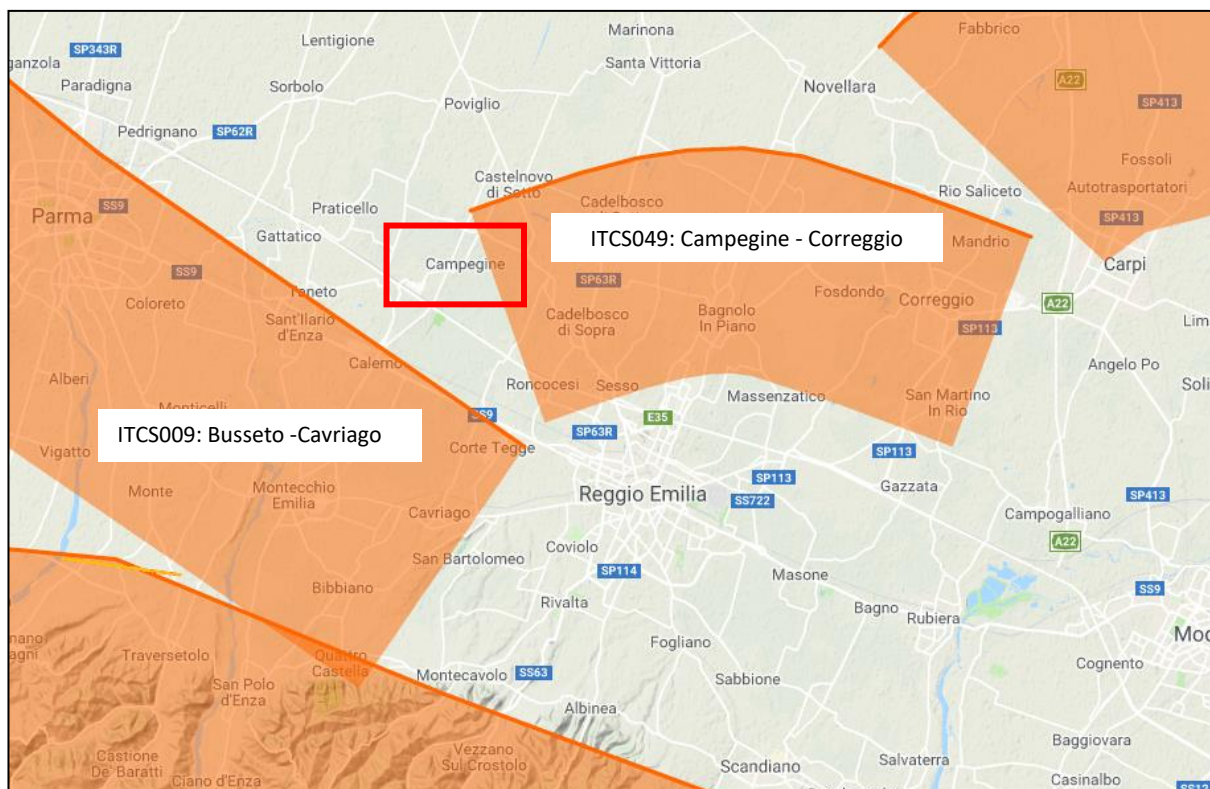
Sorgenti individuali (IS): per le quali viene proposta una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia. Questo tipo di sorgente esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudo attesa.

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 - est del comune di Campegine nella zona ITCS 049 “Campegine - Correggio” mentre a sud del confine comunale è presente la zona ITCS 009 “Busseto - Cavriago”.



La zona ITCS046 “Campegine -Correggio” attraversa l’area compresa tra la parte nord est della città di Reggio Emilia ed il fronte dl *thrust* dell’arco di Ferrara. Questo sistema di faglie è orientato verso nord - ovest e rappresenta il *thrust* più esterno alla catena Appenninica nella porzione nordorientale con potenza sismogenetica.

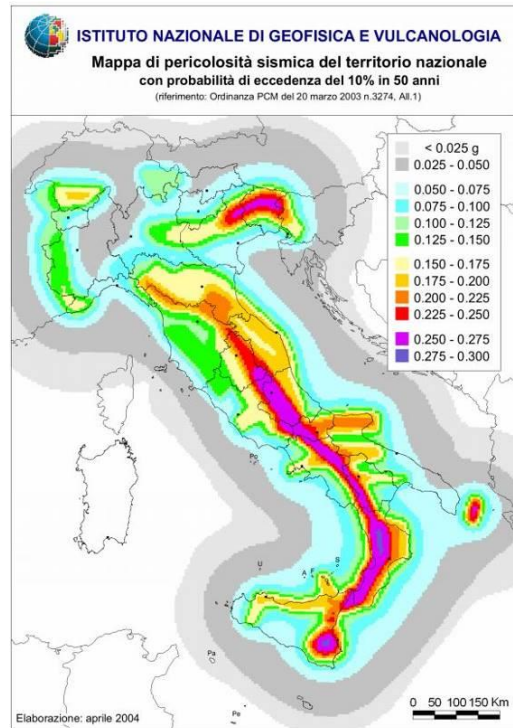
Minima profondità (km)	3
Massima profondità (km)	10
Direzione (°)	70 - 110
Inclinazione (°)	30 - 50
Rake (°)	80 -100
Velocità di movimento (mm/anno)	0.04 - 0.16
Magnitudo massima	5.5

Per quanto riguarda invece la zona ITCS009 “Busseto - Cavriago”, questa sorgente composta comprende l’area che da Reggio Emilia si estende verso Parma e continua verso nord - ovest, fino al limite degli Appennini settentrionali. Questa sorgente rappresenta l’arco lungo il quale il fronte alpino e quello appenninico si chiusero progressivamente.

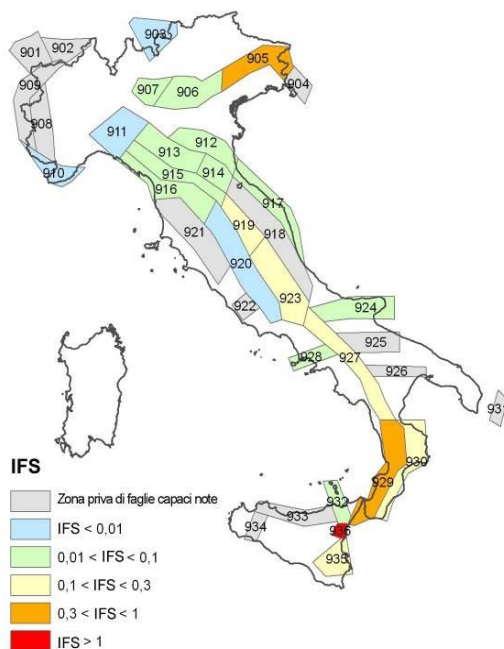
Minima profondità (km)	2
Massima profondità (km)	8
Direzione (°)	120 - 140
Inclinazione (°)	20 - 40
Rake (°)	90 -120
Velocità di movimento (mm/anno)	0.16 - 0.53
Magnitudo massima	5.6

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 a lato).



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 CPT12, ora arrivato alla versione CPT115). 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.

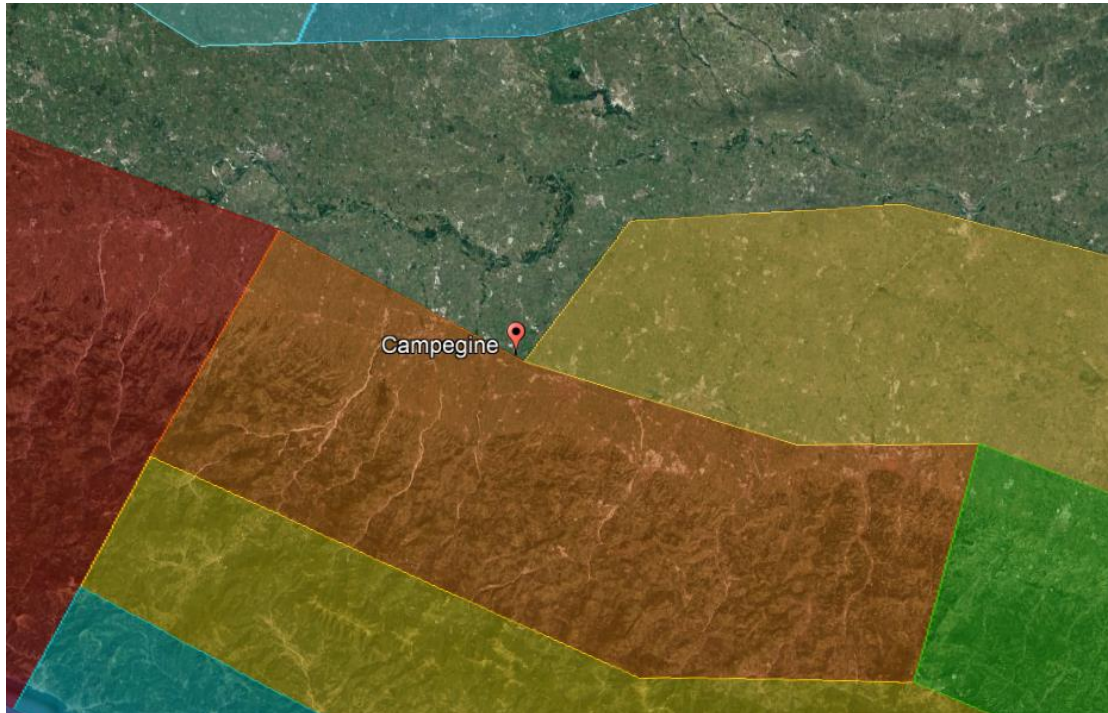


Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo. Secondo la zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), il comune di Campegine si inserisce a cavallo tra le zone sismogenetiche n° 912 e la n° 913:

- Zona Sismogenetica 912. Zona legata allo sprofondamento passivo della litosfera adriatica sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale. Si osserva un regime tettonico debolmente compressivo originato dalle strutture *thrust* e *strike-slip* aventi assi SW-NE; i terremoti storici raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo; la massima magnitudo rilevata è $M_d = 4,6$; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità

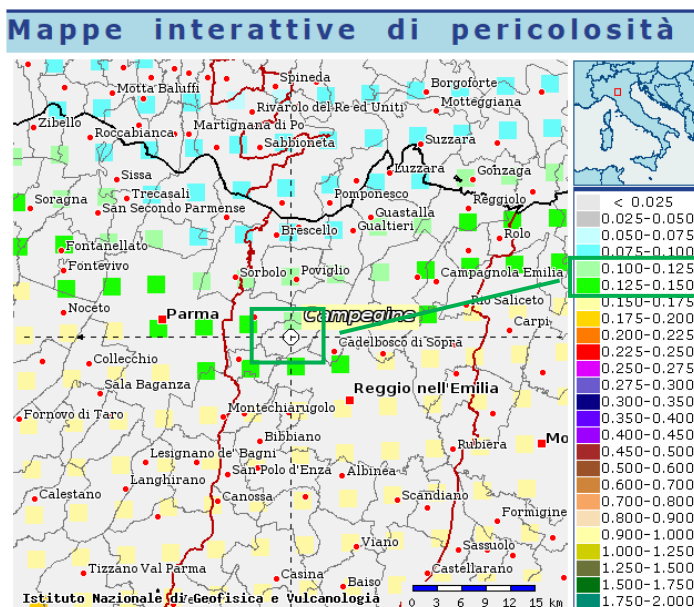
comprese tra 5 e 8 Km con profondità efficace di 7 km; nella Zona Sismogenetica 912 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{wmax} = 6,14$;

- Zona Sismogenetica 913. In questa zona si verificano terremoti originati da movimenti prevalentemente compressivi nord-ovest con meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture; i terremoti storici raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo; la massima magnitudo rilevata è $M_d = 4,8$; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 12 e 20 Km con profondità efficace di 13 km; nella Zona Sismogenetica 913 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{wmax} = 6,14$.



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 Campegine, 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.

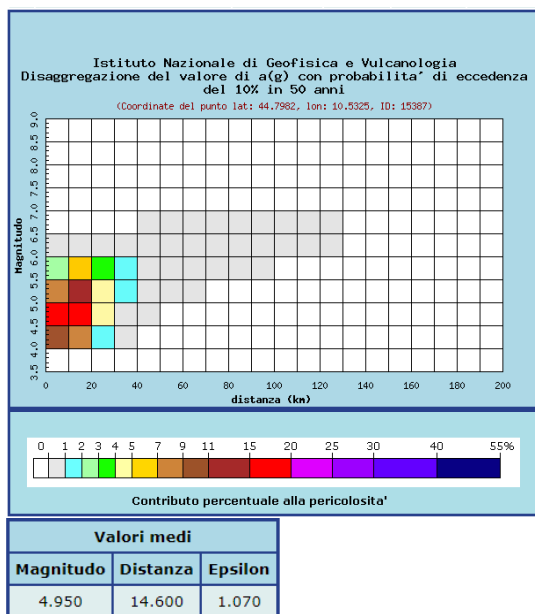


*Carta di pericolosità sismica
espressa in termini di
accelerazione massima del suolo
 a_g
con probabilità di eccedenza del
10% in 50 anni riferita a suoli di
Categoria A ($V_{s,30} > 800$ m/s)
subpianeggianti (categoria
topografica T1 da N.T.C. 2018)*

Pertanto, secondo l'O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006 e considerata l'emanazione del D.M. 17/01/2018, 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 sub-pianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra 0,100g e 0,150 g (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni - mappa 50° percentile).

Per quanto riguarda invece l'allegato A4 della Delibera della giunta Regionale Emilia Romagna n° 2193/2015, alle zone sismogenetiche del territorio comunale di Campegine compete un valore di picco massimo dell'accelerazione orizzontale, corrispondente ad a_g 0,128 g.

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 probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.7982, lon: 10.5325, ID: 15387)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	10.100	16.500	7.620	2.650	0.139	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	8.280	17.700	11.700	5.380	0.284	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	1.180	4.450	4.710	3.030	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.015	0.642	1.590	1.390	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.019	0.407	0.597	0.058	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.053	0.265	0.188	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.005	0.114	0.191	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.104	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.040	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Si fa comunque presente che, come tutte le zone sismogenetiche del territorio italiano, anche quelle contrassegnate al n 912 e al n 913 e precedentemente descritte vengono considerate omogenee ai fini della probabilit  di accadimento degli eventi sismici, ovvero si ritiene che tutti i punti in esse contenuti abbiano la stessa probabilit  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 entrambe le zone in cui ricade il territorio di Campesine 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.

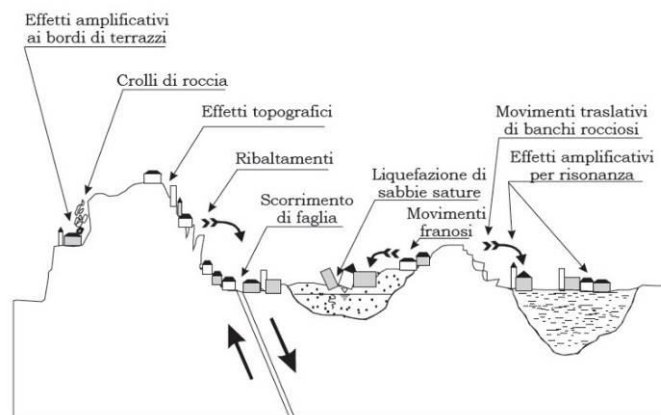
Da tali osservazioni è nata la necessità di iniziare degli studi per ipotizzare il comportamento del territorio in caso di terremoto e, di conseguenza, per valutare la *pericolosità sismica locale* e realizzare la MS, precedentemente definita.

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.);
- **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 Campegine, 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) e le Linee Guida Regionali, 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. Si ritiene che, soprattutto nei piccoli centri abitati o nelle fasi preliminari di stesura dei piani urbanistici, anche il Livello 1 si possa rivelare di grande efficacia ai fini della prevenzione sismica.

Nel caso in esame, è possibile affermare che lo studio di MS eseguito soddisfa il Livello 3 di approfondimento, come previsto dalla D.G.R. 2193 del 2015 e dalle Linee Guida Nazionali per la microzonazione sismica, poiché **sono stati condotti approfondimenti specifici per la stima degli indici di rischio nelle aree indicate come “zone di attenzione per liquefazione - $Z_{A_{LQ}}$ ” e “zone di attenzione per cedimenti differenziali - $Z_{A_{CD}}$ ” nel precedente studio di MS.**

Sono state condotte, inoltre, misure sperimentali geognostiche per quantificare correttamente il grado di rigidità del sottosuolo, per stimare le frequenze di risonanza del sito e per determinare le proprietà geotecniche dei terreni.

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

6.1. Indagini pregresse e di nuova realizzazione

Durante lo studio di MS di Livello 2 condotto nell'anno 2016, sono state effettuate ricerche, finalizzate alla raccolta di indagini pregresse, attraverso la consultazione del catalogo ISPRA, degli archivi dell'ufficio tecnico comunale e del database personale degli scriventi.

In questa fase, al fine di caratterizzare approfonditamente dal punto di vista sismico e geotecnico i terreni del comune di Campegine, tali indagini sono state integrate da una serie di nuove misure geognostiche condotte in prossimità delle zone ritenute più significative per lo studio di approfondimento di Livello 3 ed, in particolare, coinvolgendo tutte le Zone MOPS definite "instabili" nel precedente lavoro di MS.

Tutte le indagini, pregresse e di nuova realizzazione, sono state schedate, informatizzate e inserite nel DVD allegato allo studio.

Nel dettaglio, sono state realizzate *ex-novo*:

- n°75 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°75 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;
- n°8 prove penetrometriche statiche (CPT) spinte fino alla profondità massima di 20 m dal p.c. locale per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo;
- n°3 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) spinte fino alla profondità massima di 15 m dal p.c. locale per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo;
- n°2 sondaggi a distruzione di nucleo spinti fino ad una profondità massima di 7,8 m dal p.c. locale per il prelievo di campioni indisturbati per la parametrizzazione geotecnica dei terreni;
- n°4 prove di laboratorio geotecnico per la determinazione dei limiti di consistenza di Atterberg e della porosità % e indice dei vuoti e_0 .

6.2. Metodologie di elaborazione e risultati nuove indagini

Indagini 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 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.

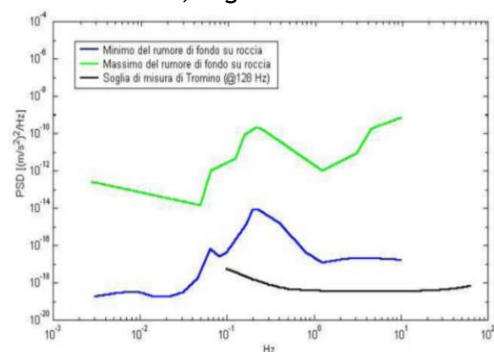
Le basi teoriche della tecnica H.V.S.R. si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

- 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.

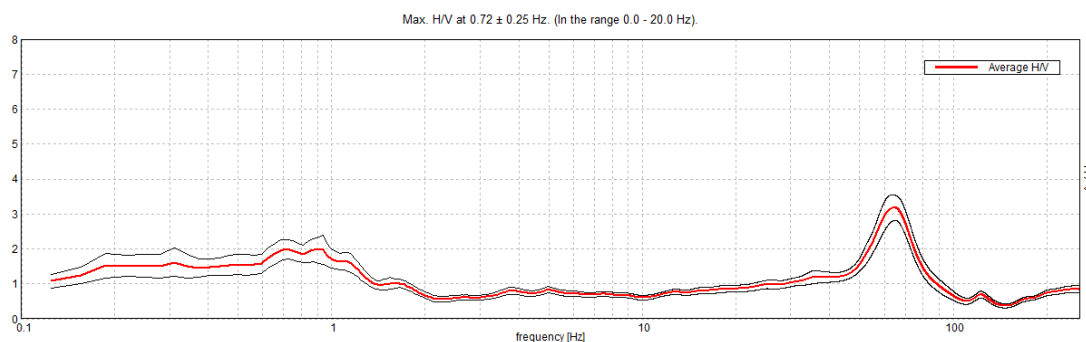


Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o semplicemente H.V.S.R., che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta MoHo s.r.l. 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. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di *Tromino®* a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

SINTESI DEI RISULTATI

Le frequenze 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 indagini” successivamente descritta, si vede come sia stato indagato integralmente il territorio previsto dall'incarico e come le n° 75 misure H.V.S.R. eseguite siano state distribuite in modo da interessare completamente le aree instabili suscettibili a liquefazione del comune di Campegine: la distribuzione delle prove è stata ottimizzata per vedere il “modo” di rispondere dei vari depositi 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, ..., T75), mentre in allegato fuori testo sono riportate le schede riassuntive dei risultati di tali prove con indicata la frequenza “fondamentale” (valore di frequenza più basso). 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. A seguire un esempio di misura H.V.S.R. condotta per il presente studio.



Il sito indagato (misura H.V.S.R. n° 38) presenta una frequenza fondamentale di risonanza a circa 0,72 Hz

CODICE PROVA	F ₀ “FONDAMENTALE” [Hz] (INTERVALLO 0,1 - 20 Hz)	CONDIZIONE DI AMPLIFICAZIONE (INTERVALLO 0,1-20 Hz)	PRESENZA DI ARTEFATTI
T1	0.9	SI	NO
T2	0.9	SI	NO
T3	0.8	SI	NO
T4	0.9	NO	SI
T5	0.9	SI	NO
T6	0.59	SI	NO
T7	0.63	SI	NO
T8	0.56	SI	NO
T9	0.69	SI	NO
T10	0.78	SI	NO
T11	0.75	SI	NO
T12	0.69	SI	NO
T13	0.78	SI	NO
T14	0.9	SI	SI

T15	0.63	SI	SI
T16	0.83	SI	SI
T17	0.63	SI	NO
T18	0.84	SI	NO
T19	0.63	SI	NO
T20	<i>Misura disturbata / incerta</i>		
T21	0.8	SI	NO
T22	0.85	SI	SI
T23	0.63	SI	NO
T24	0.82	SI	SI
T25	<i>Misura disturbata / incerta</i>		
T26	1.03	SI	NO
T27	0.88	SI	NO
T28	0.75	SI	NO
T29	0.81	SI	NO
T30	<i>Misura disturbata / incerta</i>		
T31	0.53	SI	SI
T32	1.0	SI	NO
T33	0.8	SI	NO
T34	0.81	SI	NO
T35	0.73	SI	SI
T36	1.03	SI	NO
T37	0.63	SI	NO
T38	0.72	SI	NO
T39	0.94	SI	NO
T40	0.94	SI	NO
T41	0.84	SI	NO
T42	0.81	SI	NO
T43	0.69	SI	NO
T44	<i>Misura disturbata / incerta</i>		
T45	0.94	SI	NO
T46	0.45	NO	NO
T47	0.9	SI	NO
T48	0.4	SI	NO
T49	0.84	SI	NO
T50	0.63	SI	NO
T51	0.87	SI	NO
T52	0.70	SI	NO
T53	0.94	SI	NO
T54	0.63	SI	NO
T55	0.87	SI	NO
T56	<i>Misura disturbata / incerta</i>		
T57	0.87	SI	NO
T58	<i>Misura disturbata / incerta</i>		
T59	0.62	SI	NO
T60	0.72	SI	NO
T61	<i>Misura disturbata / incerta</i>		
T62	<i>Misura disturbata / incerta</i>		
T63	0.8	SI	SI
T64	0.78	SI	SI
T65	0.72	SI	NO
T66	0.92	SI	MO
T67	0.65	SI	NO
T68	0.6	SI	SI
T69	0.78	SI	NO
T70	0.75	SI	SI
T71	0.9	SI	SI
T72	0.91	SI	NO
T73	0.85	SI	SI
T74	0.8	SI	NO
T75	0.56	SI	NO

Indagini 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.7.0 - 2017.

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n° 16 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in *array* lineari totalmente



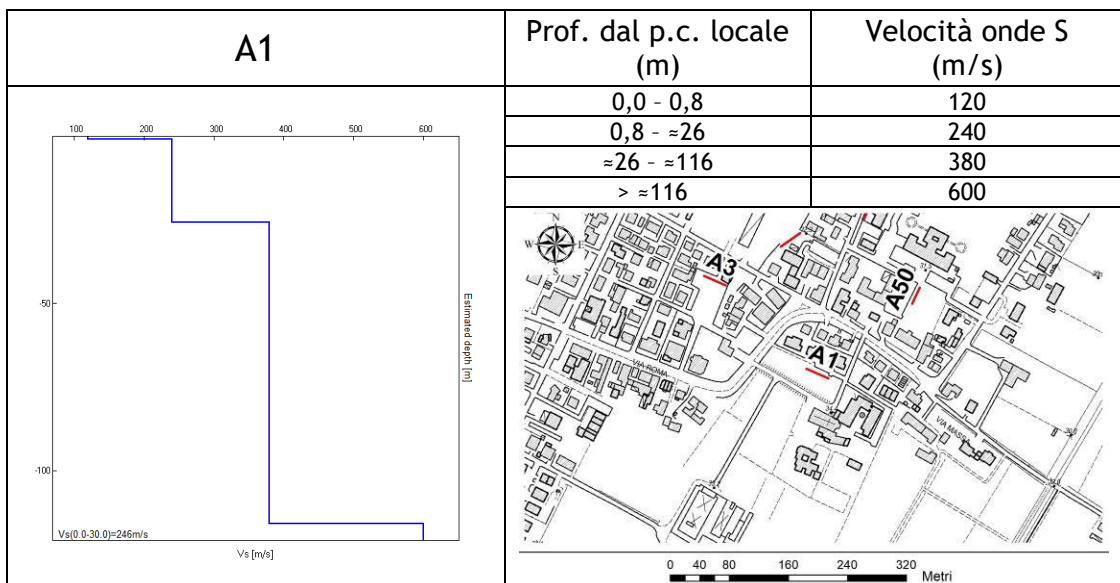
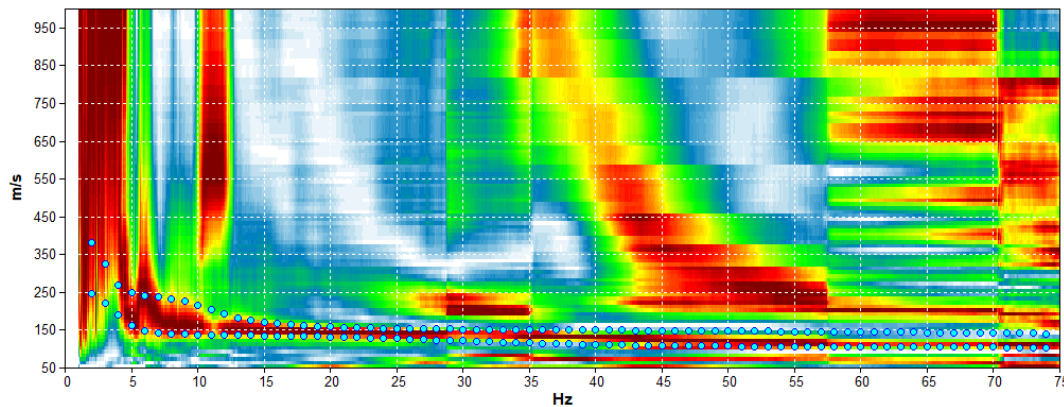
digitali (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza; la spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 2 m o 3 m. Tutti gli stendimenti eseguiti non presentavano sostanziali variazioni di quota e, quindi, i siti indagati sono stati considerati a sviluppo orizzontale.

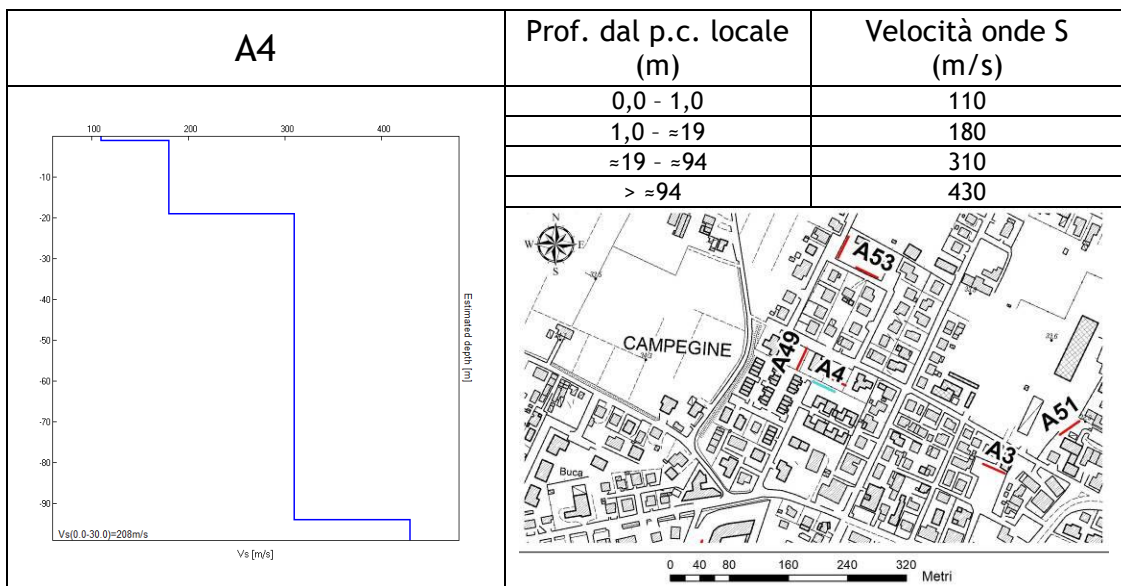
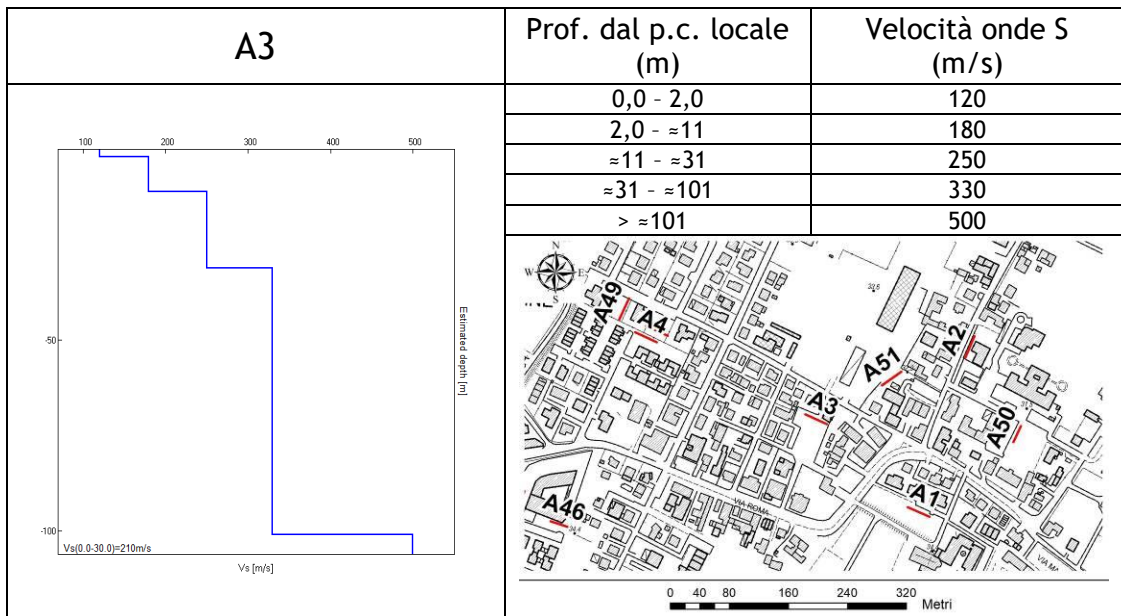
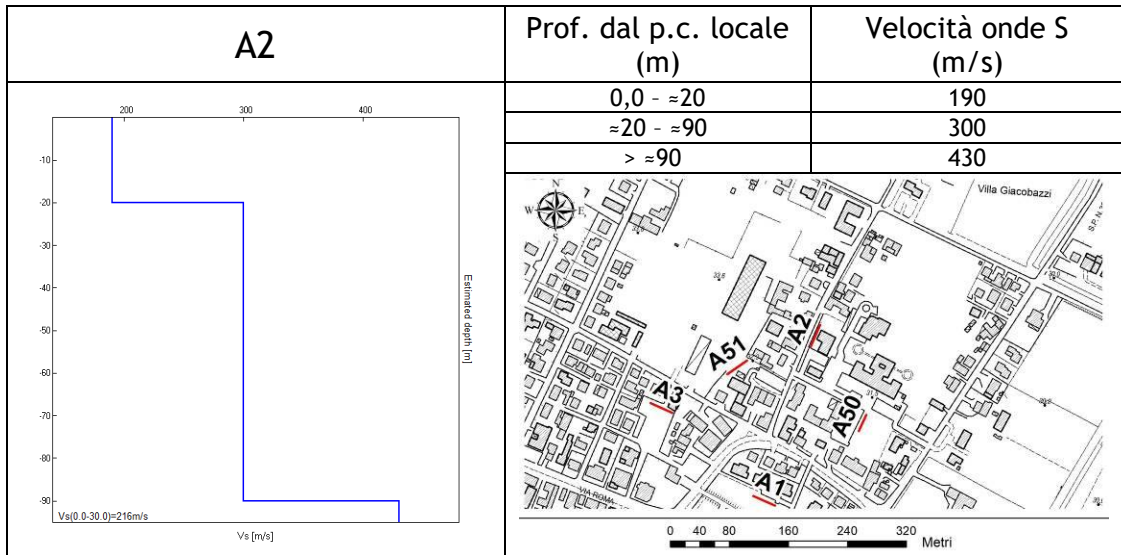
SINTESI DEI RISULTATI

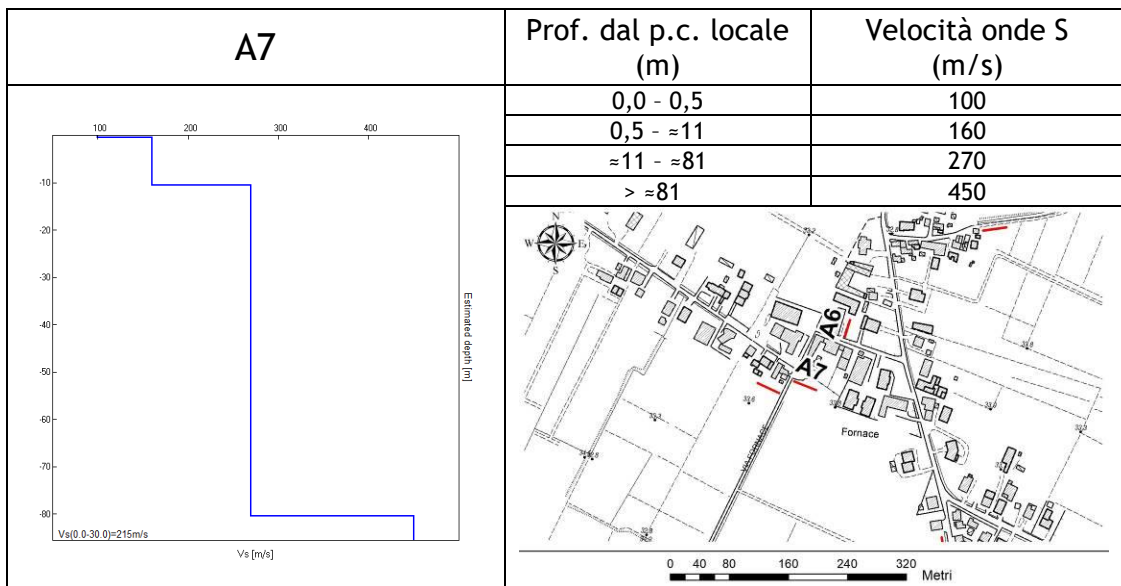
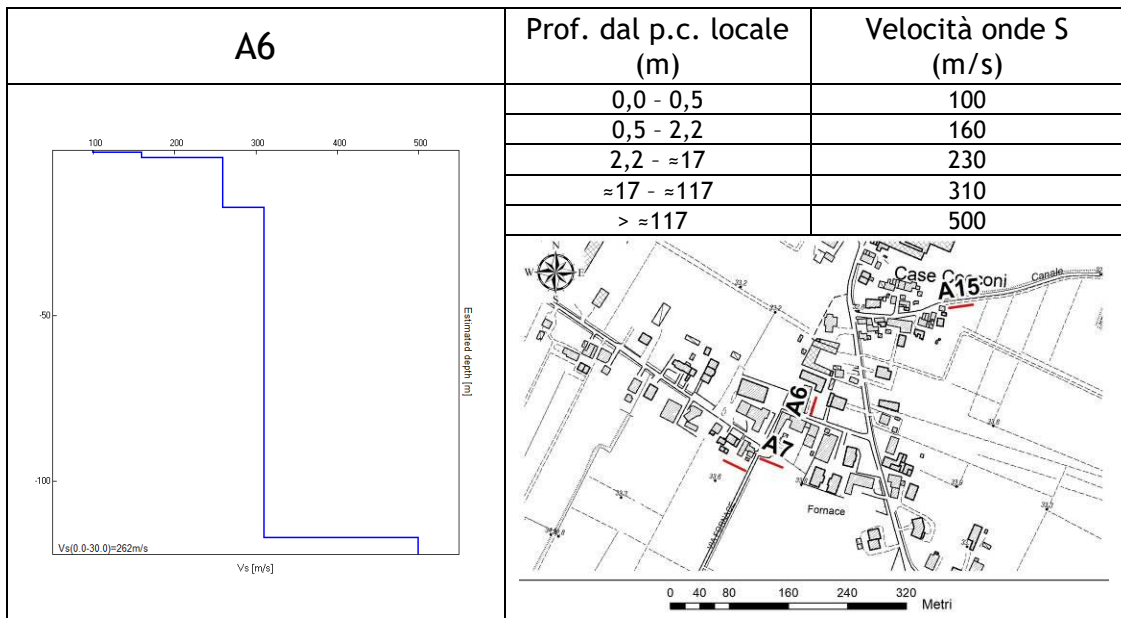
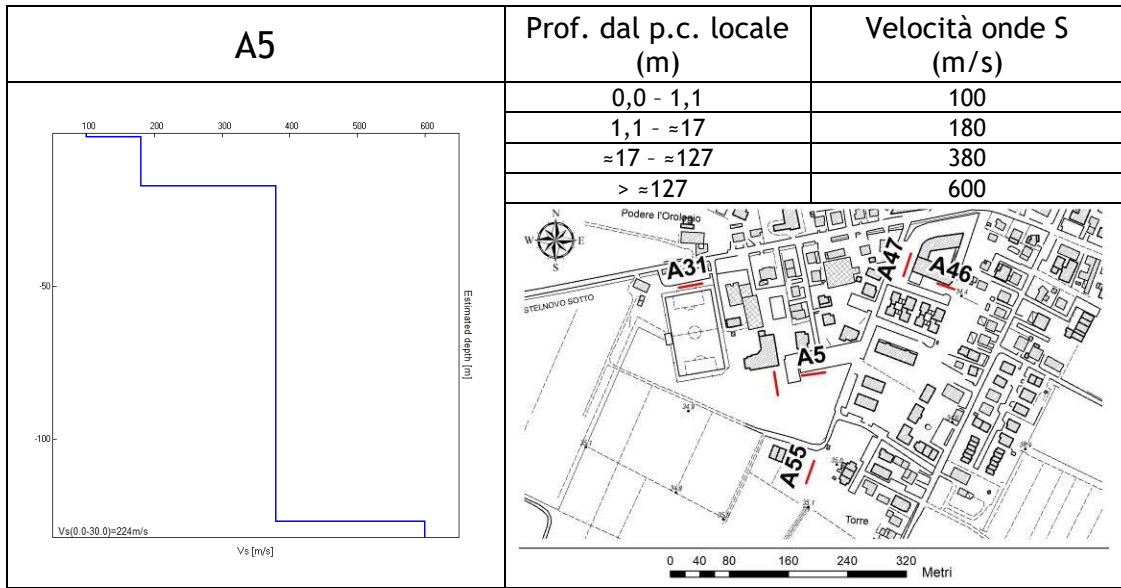
Come detto in precedenza, nel territorio comunale sono state fatte una serie di misure sismiche di superficie (*array* sismici Re.Mi.) per approfondire le conoscenze sulle caratteristiche “sismiche” dei litotipi costituenti il territorio in esame: in particolare, esse sono state utilizzate per determinare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

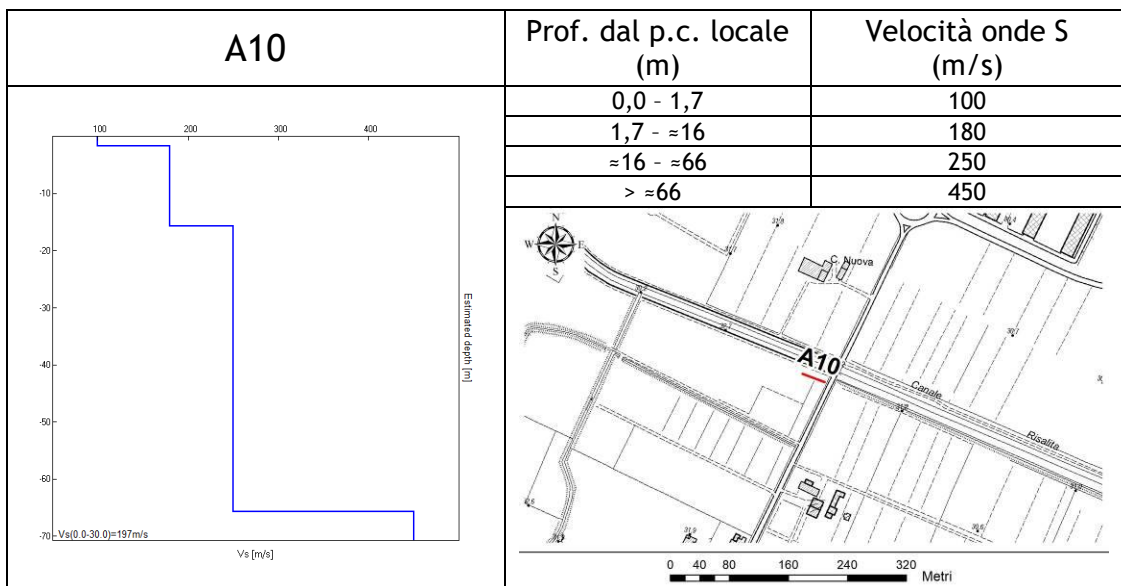
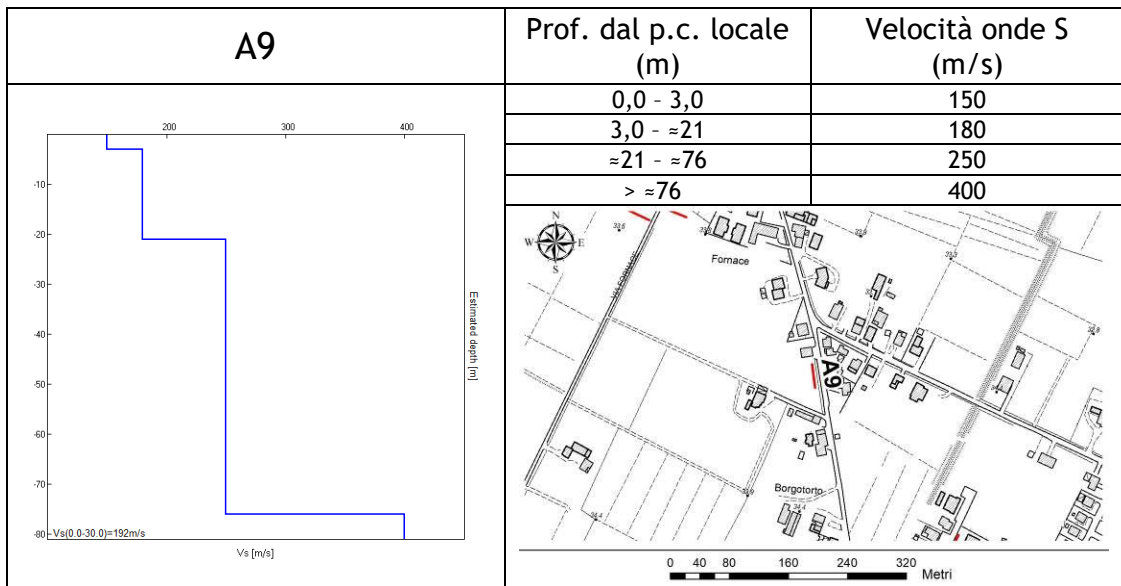
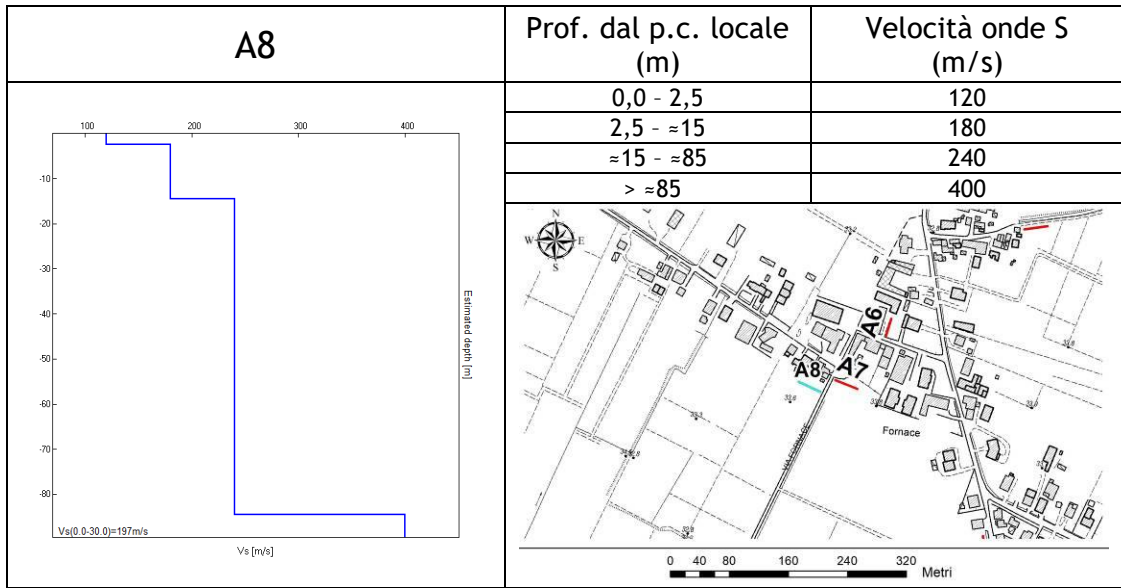
In questo paragrafo è riportata esclusivamente la sintesi dei risultati ottenuti dall'analisi congiunta degli *array* sismici e delle H.V.S.R. accoppiate ad essi (cfr. Schede A1, ..., A75 - T1, ..., T75). Nelle tabelle seguenti sono riportate l'ubicazione degli *array* e il profilo verticale delle onde di taglio S (V_s). Si rimanda all'allegato fuori testo per la lettura completa delle schede con i risultati di tali prove.

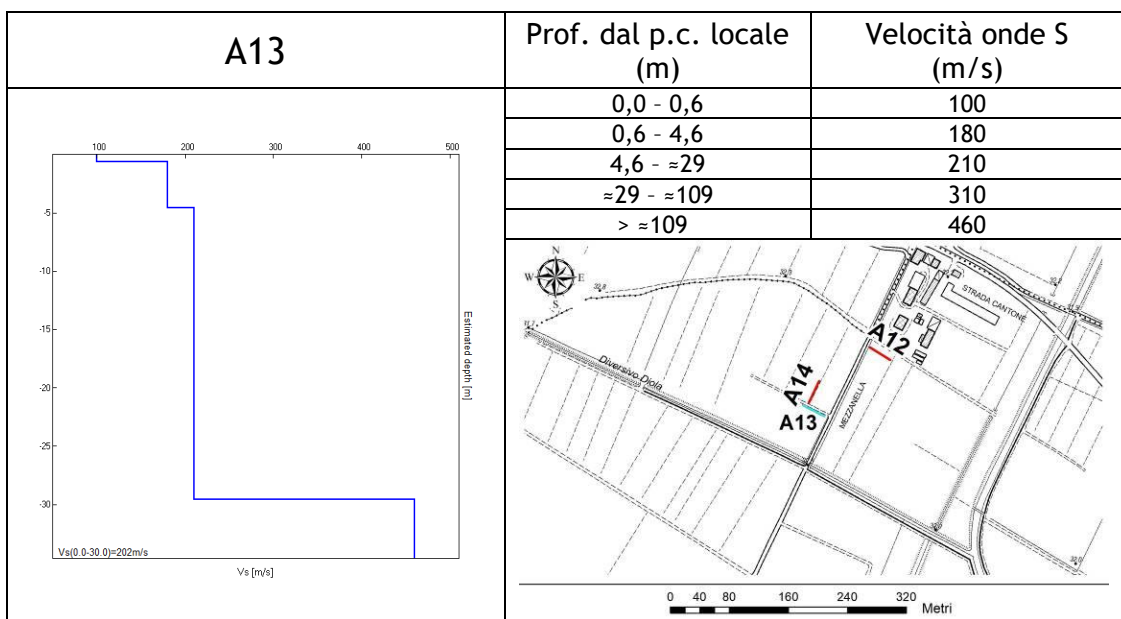
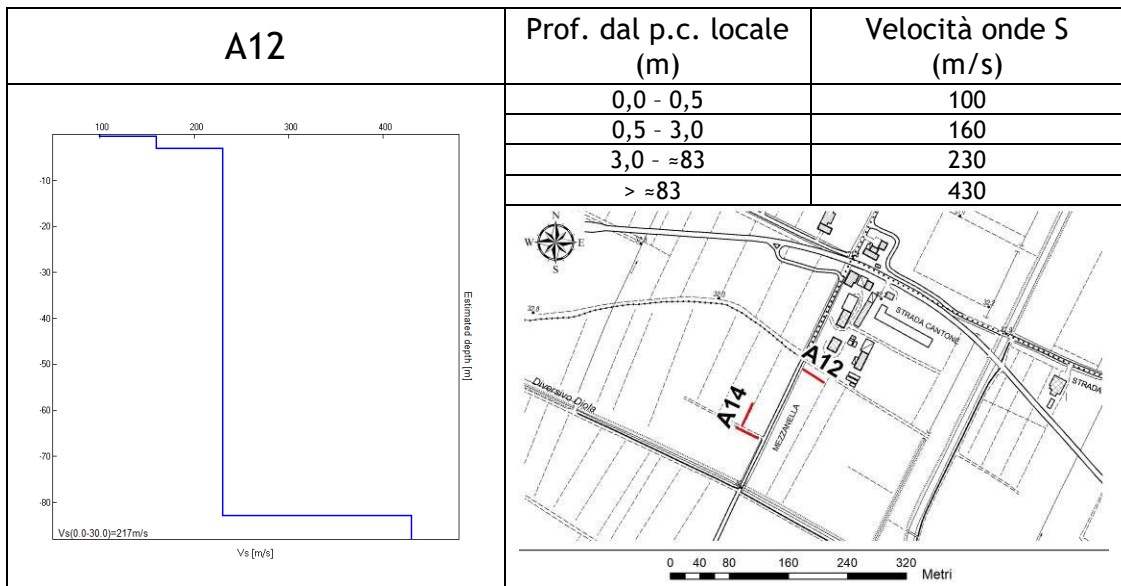
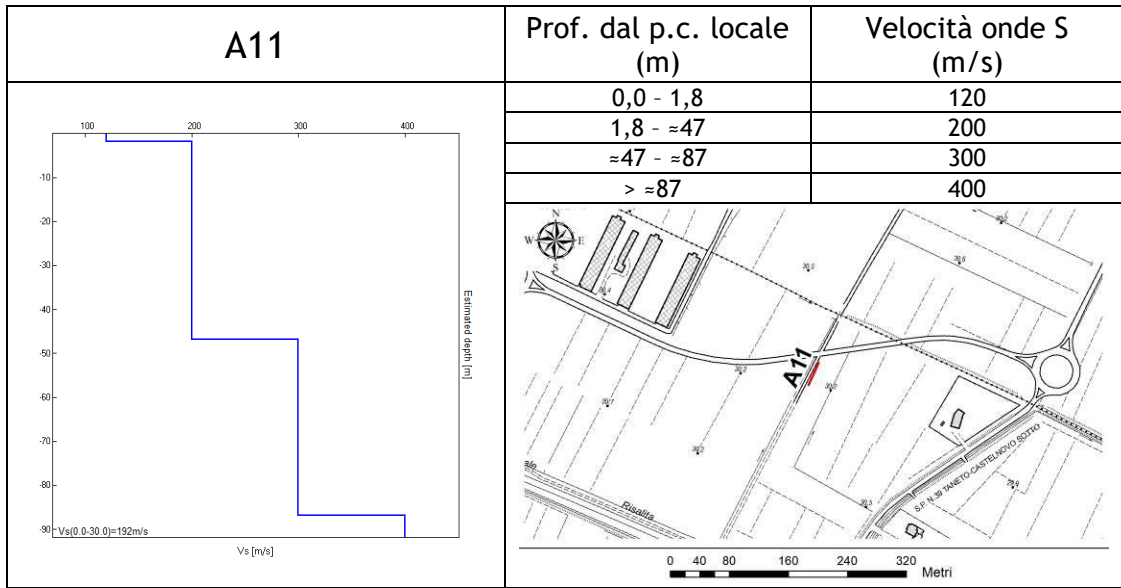
A seguire un esempio di curva di dispersione da misura Re.Mi. (A17) condotta per il presente lavoro. Si può osservare la buona coerenza del segnale e l'elevata profondità d'indagine data dai valori di frequenza registrati.

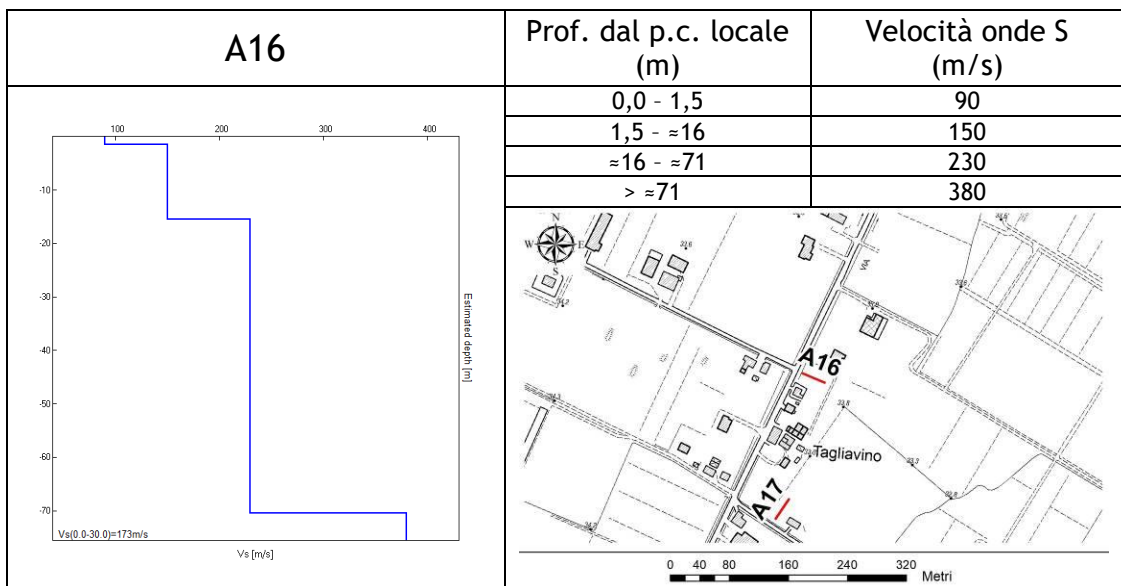
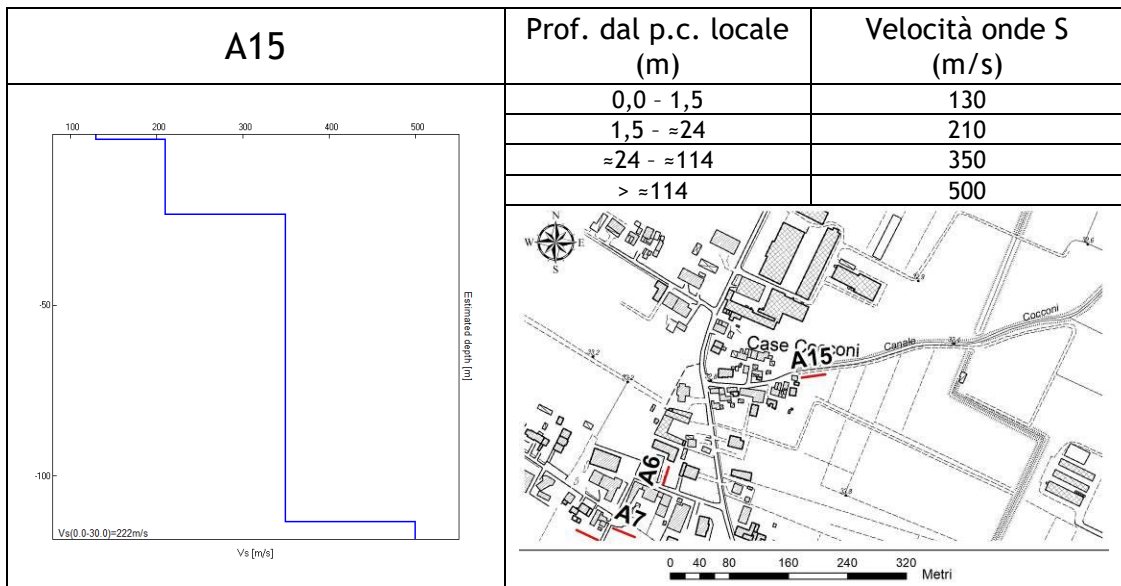
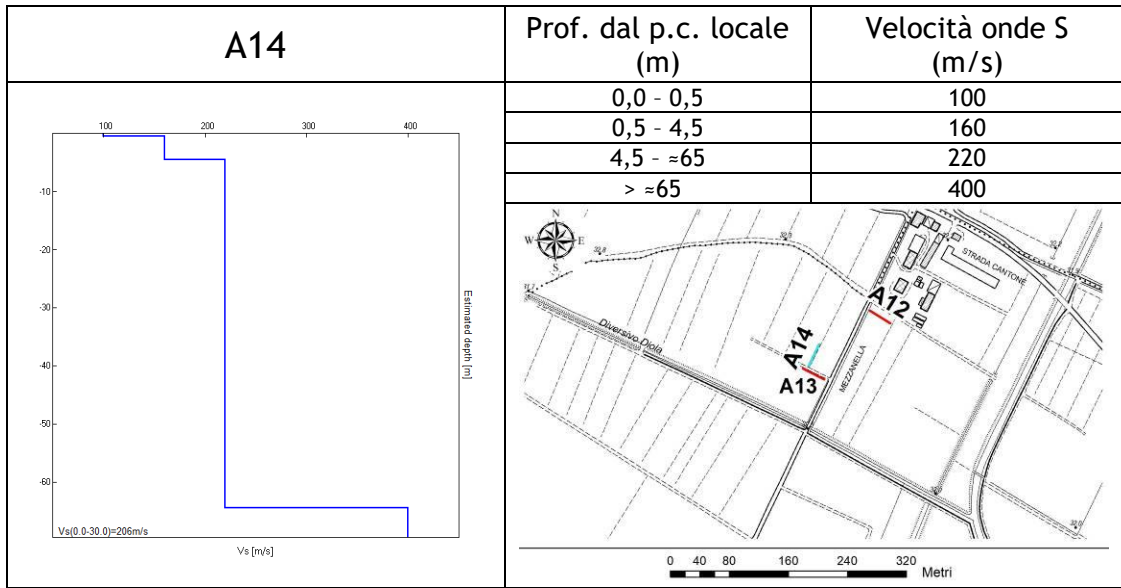


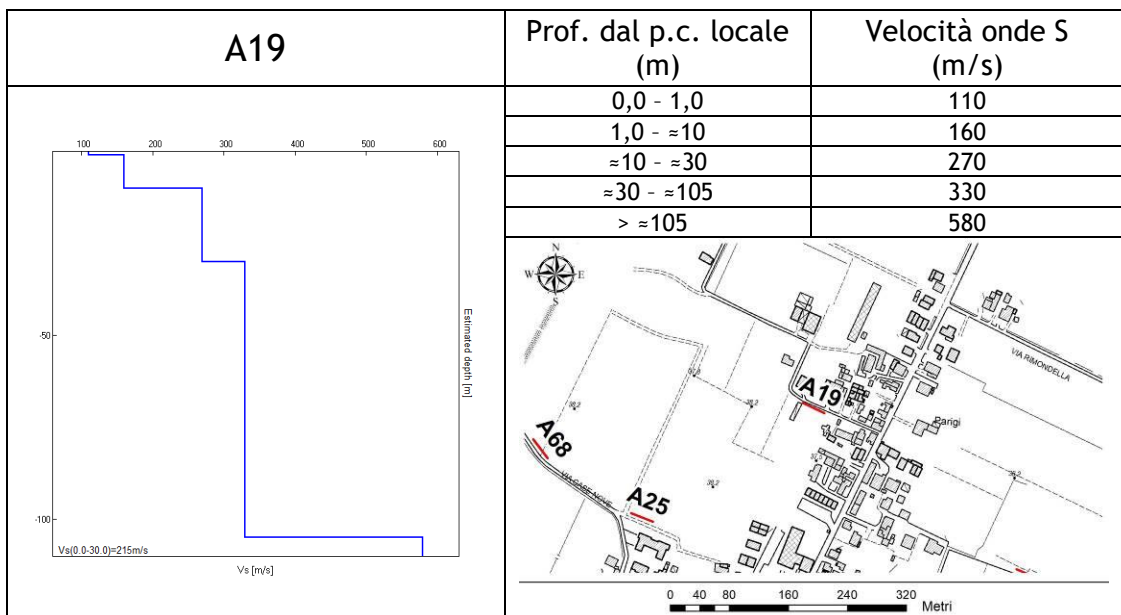
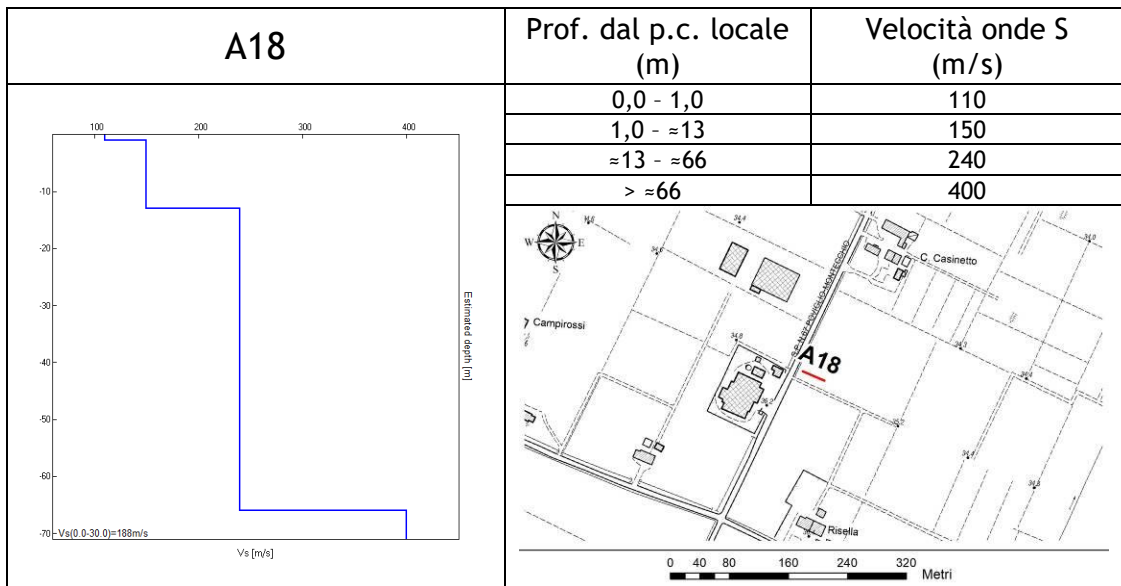
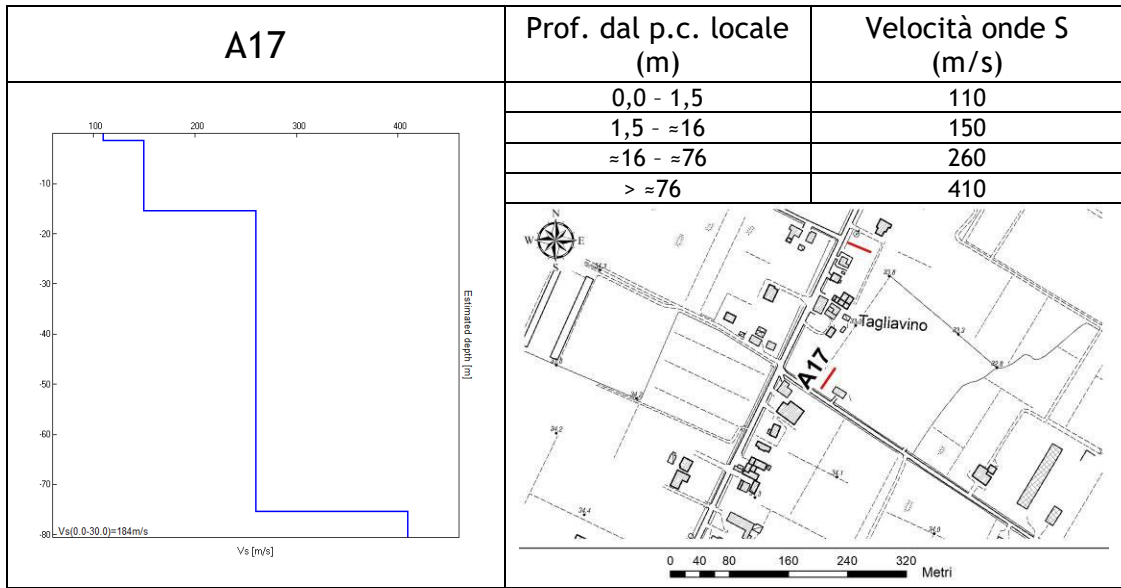


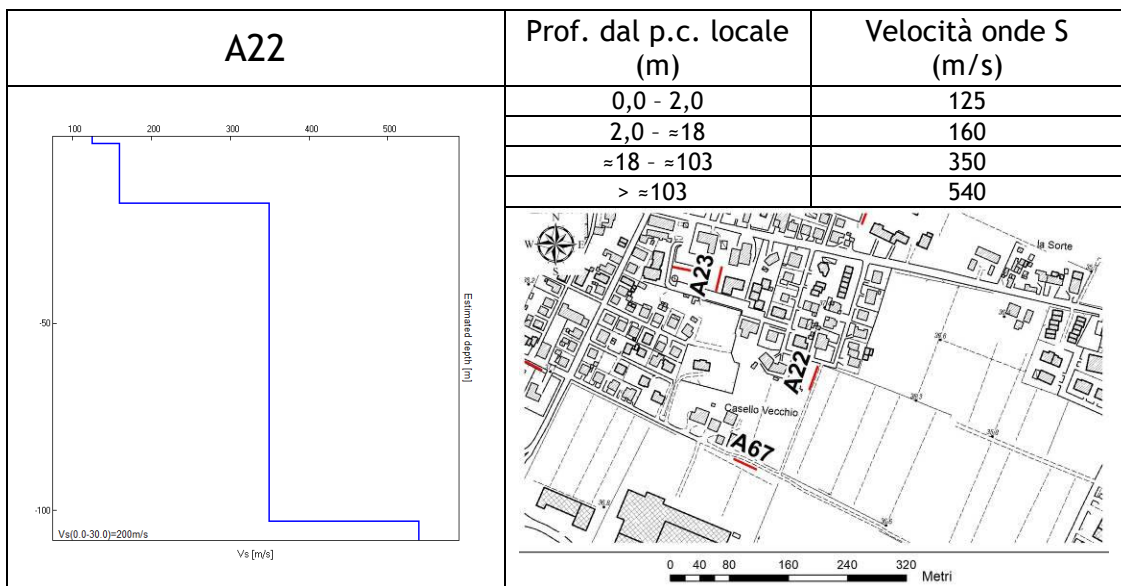
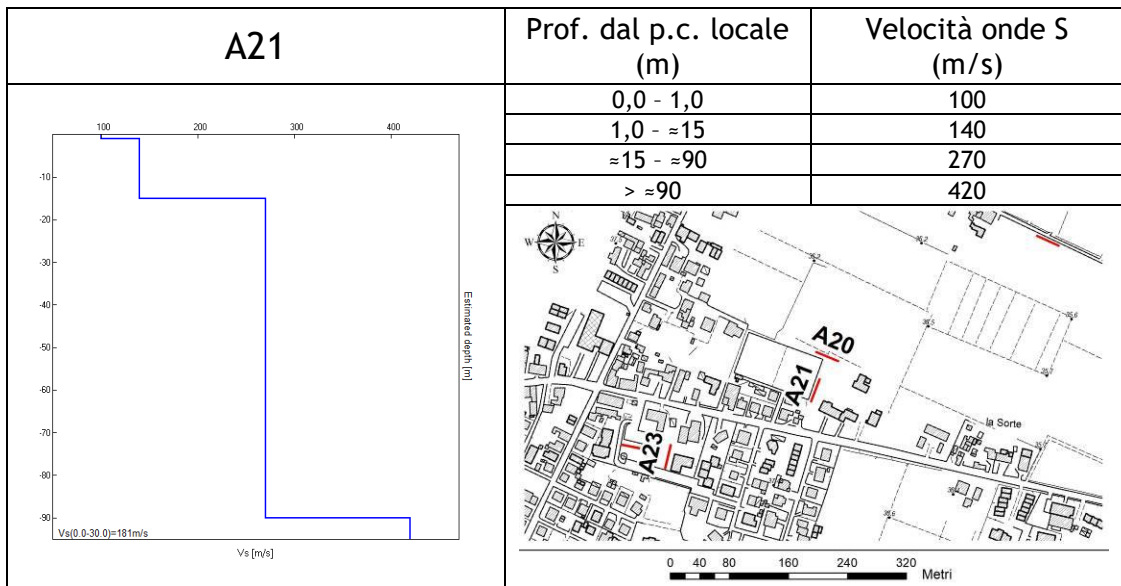
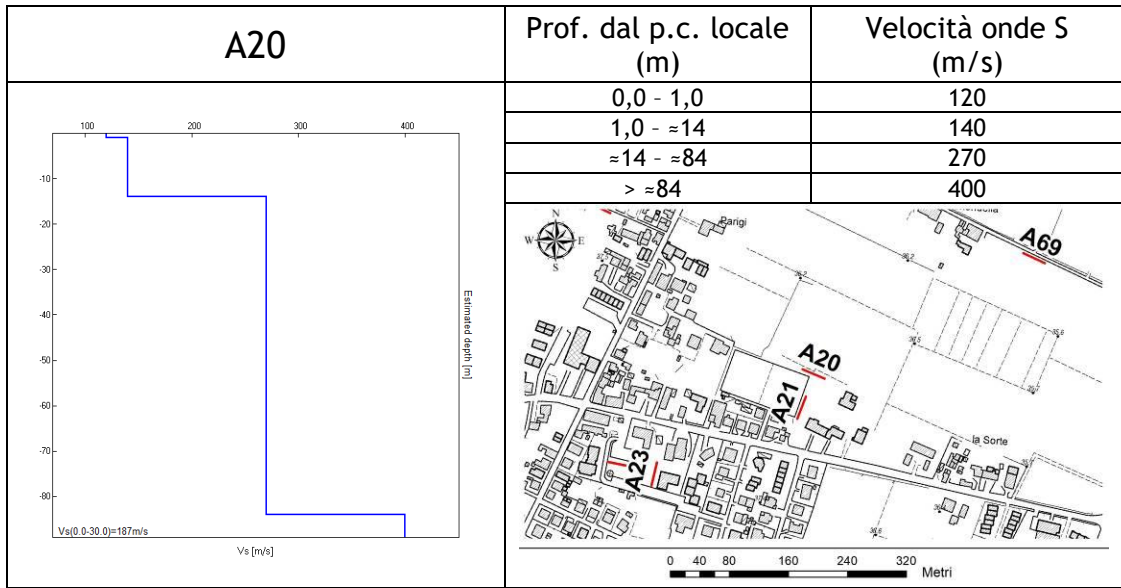


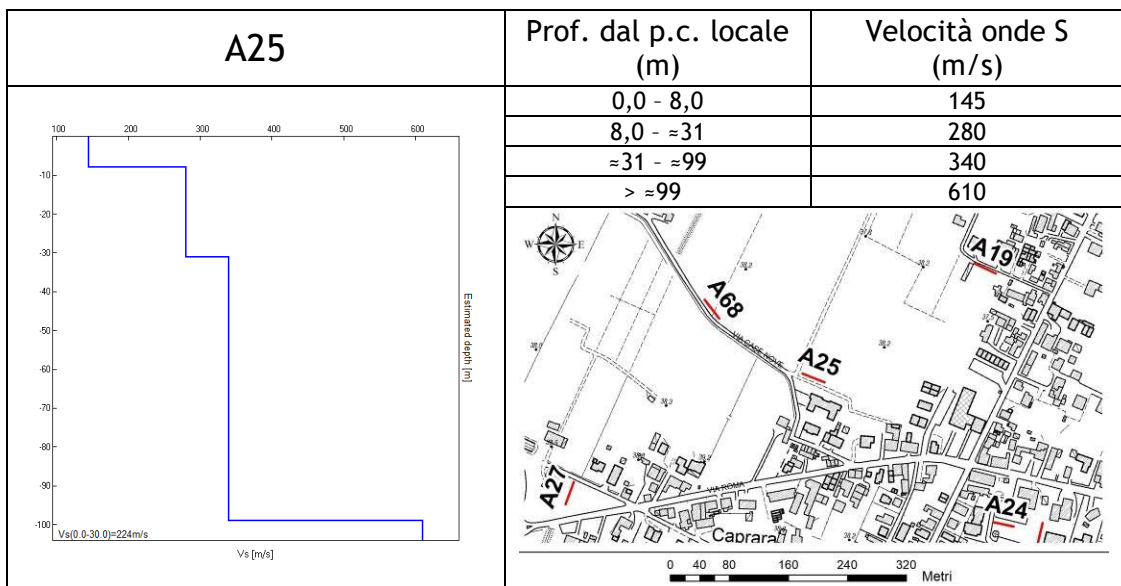
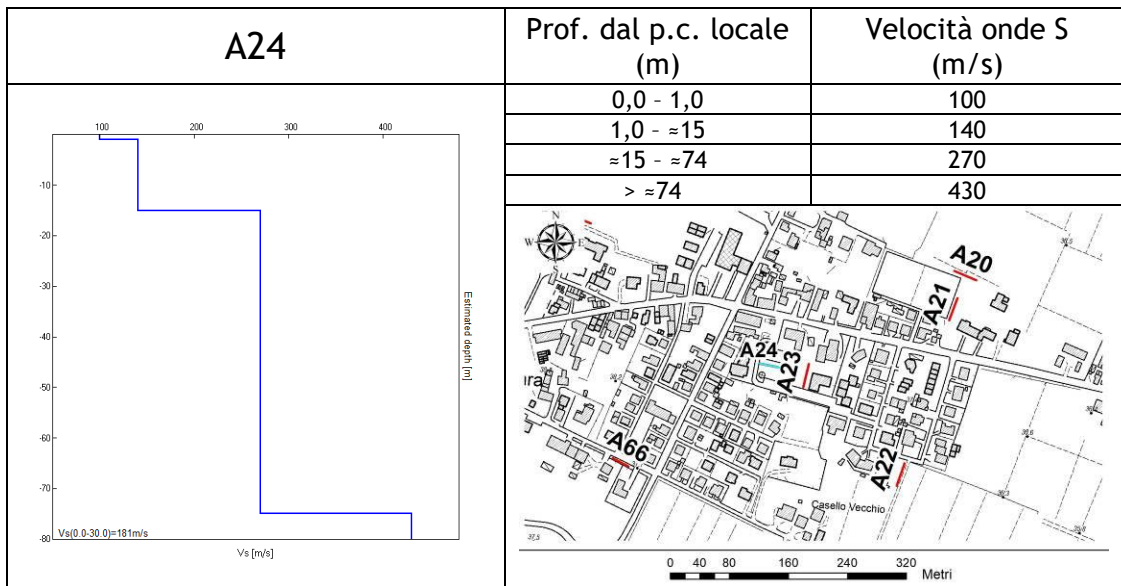
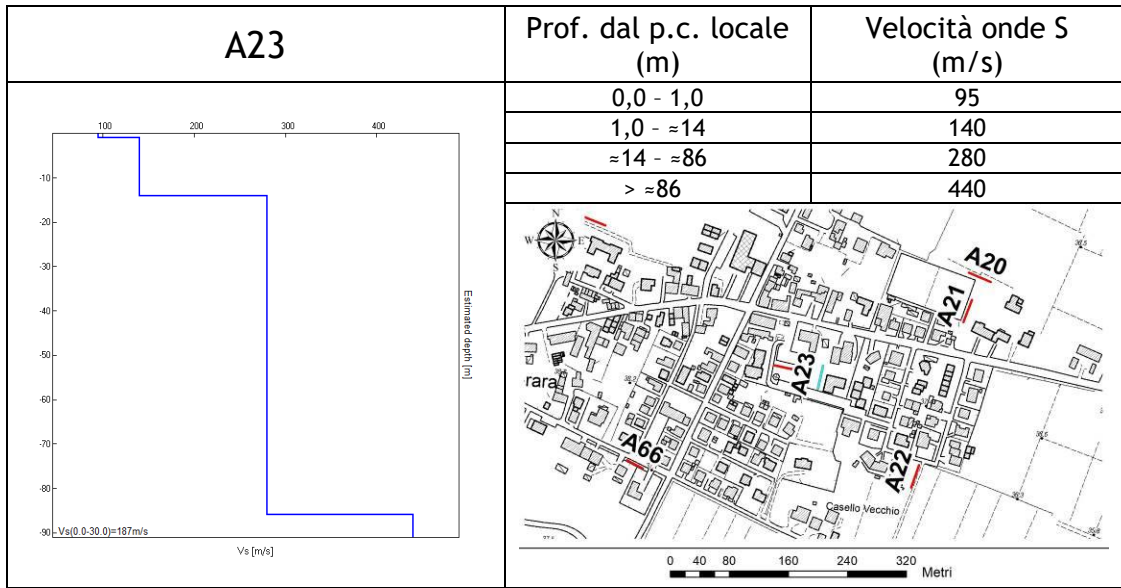


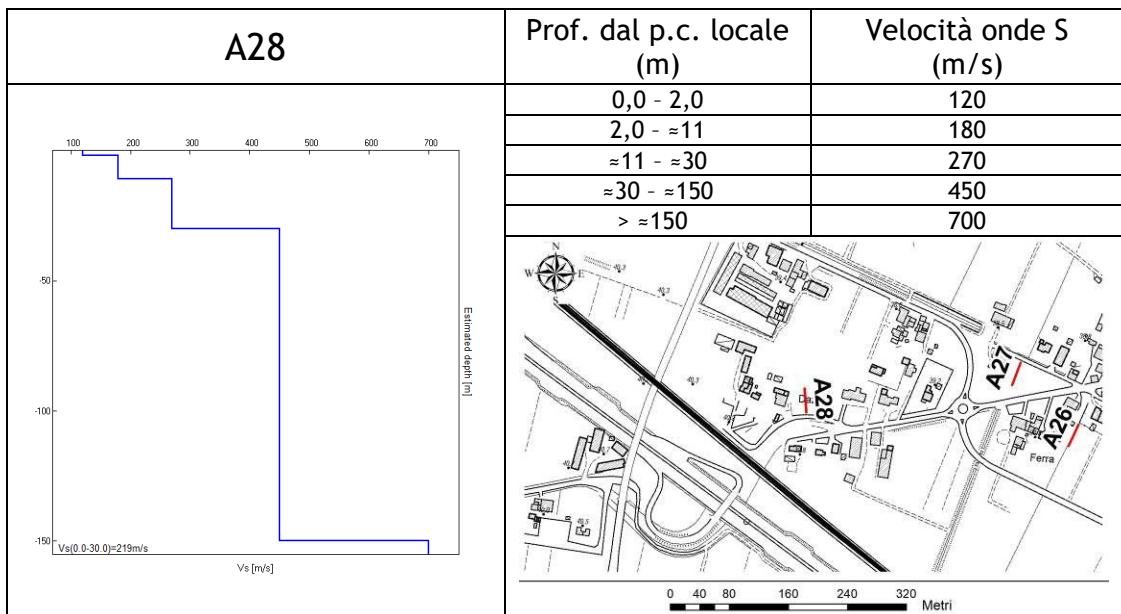
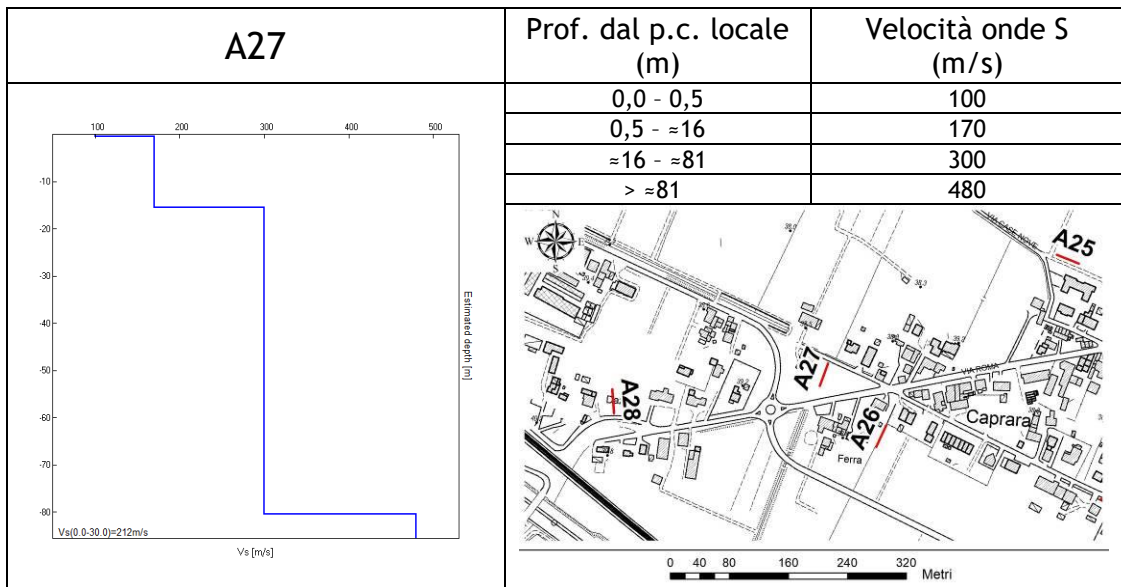
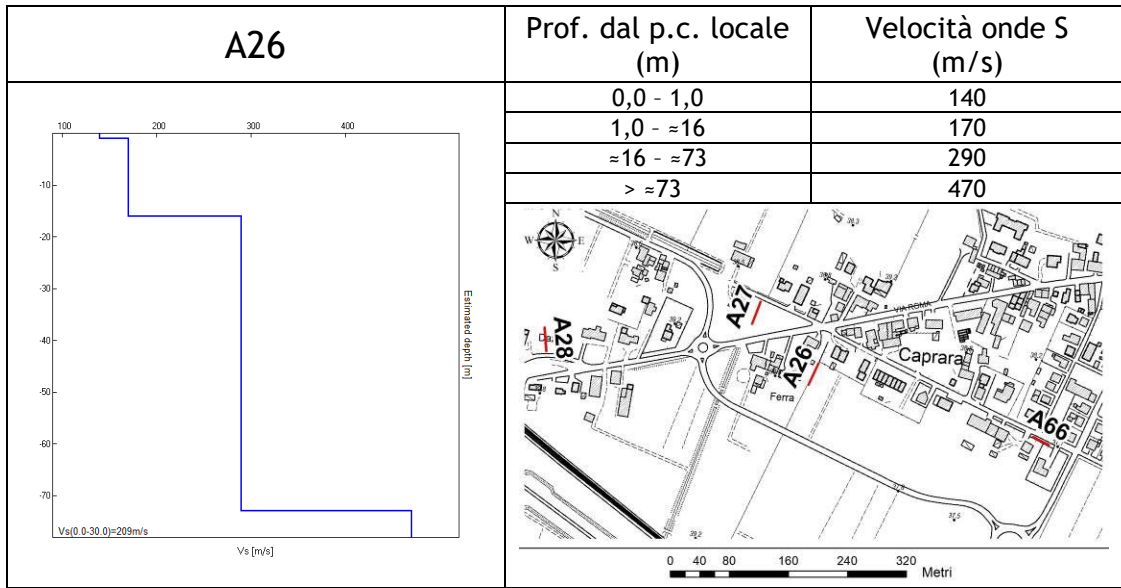


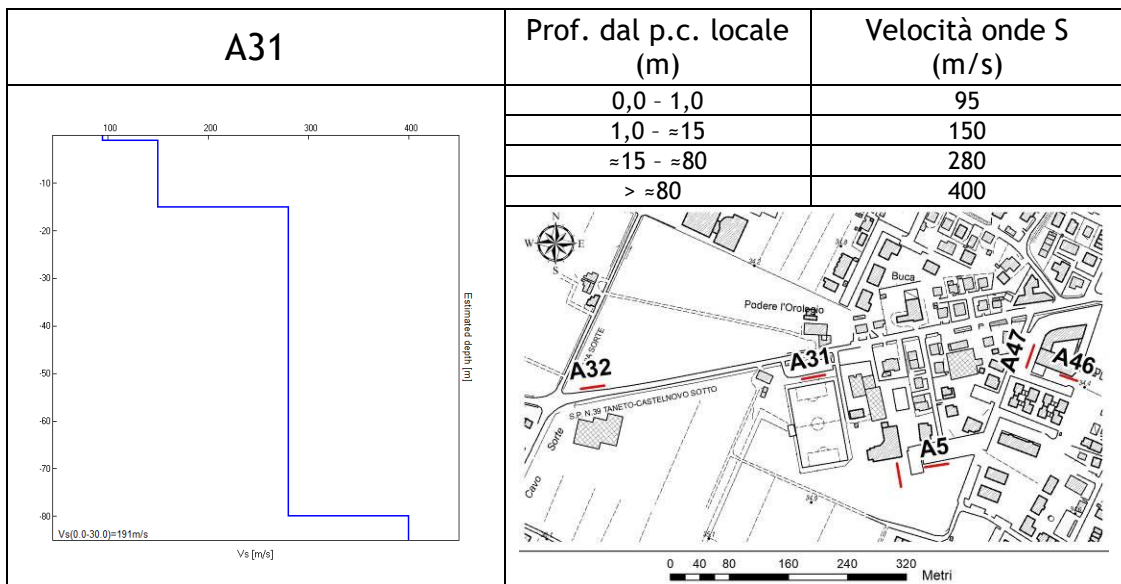
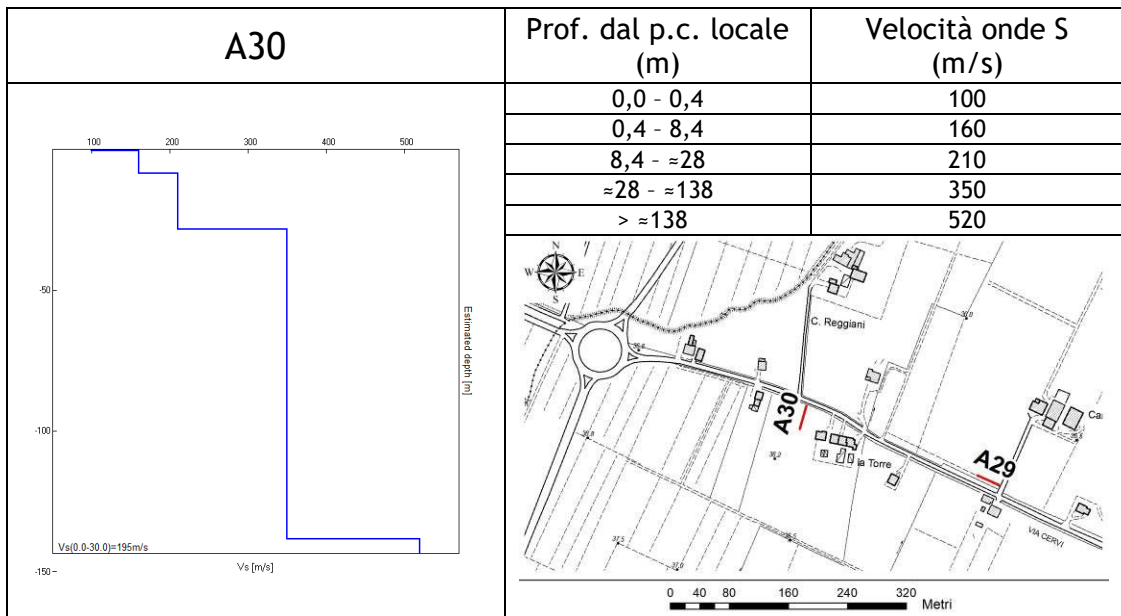
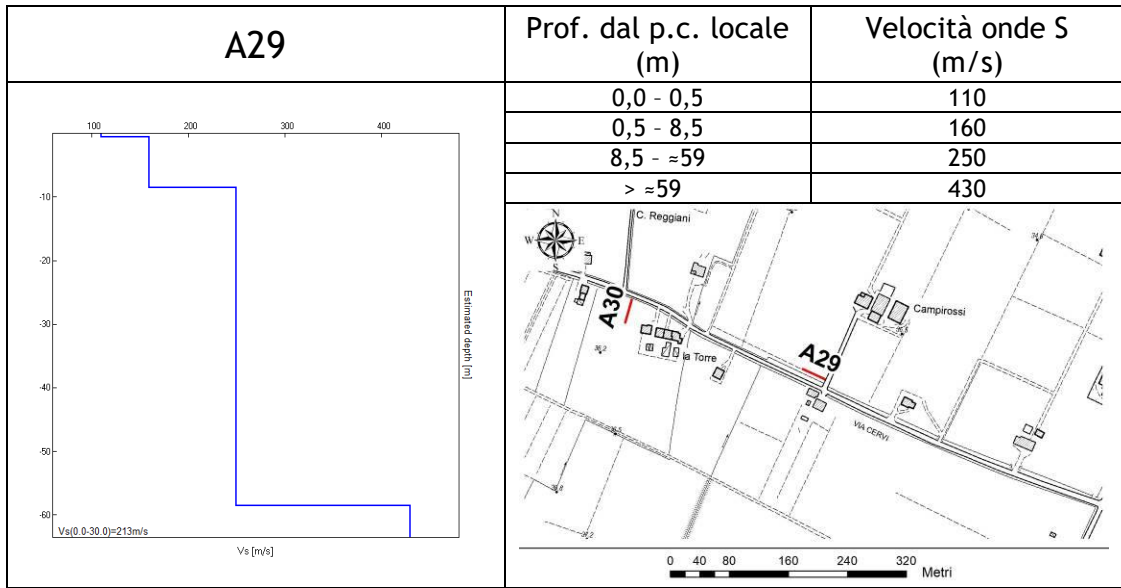


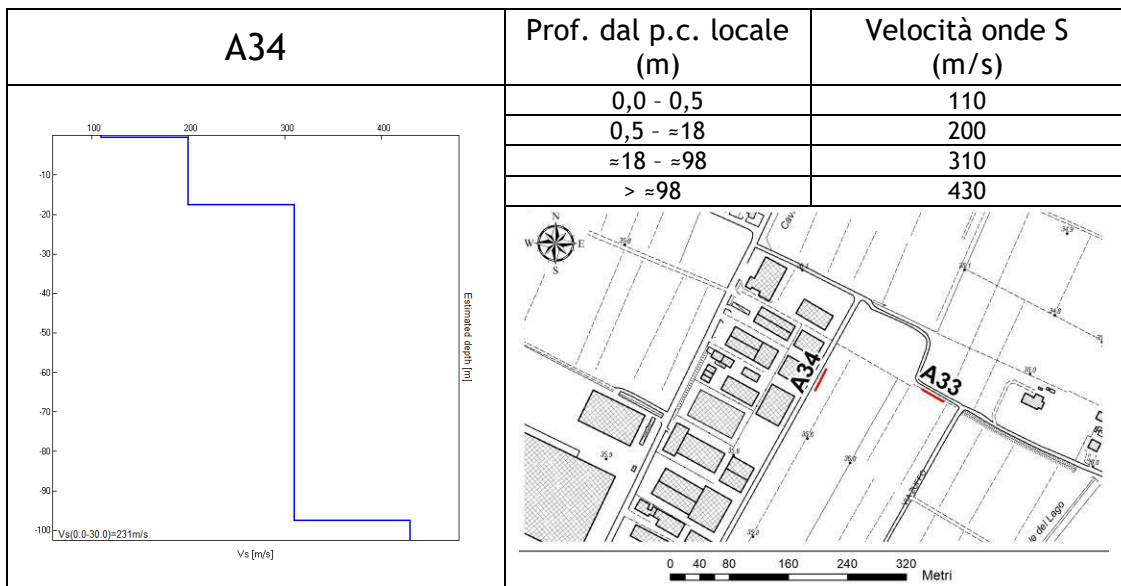
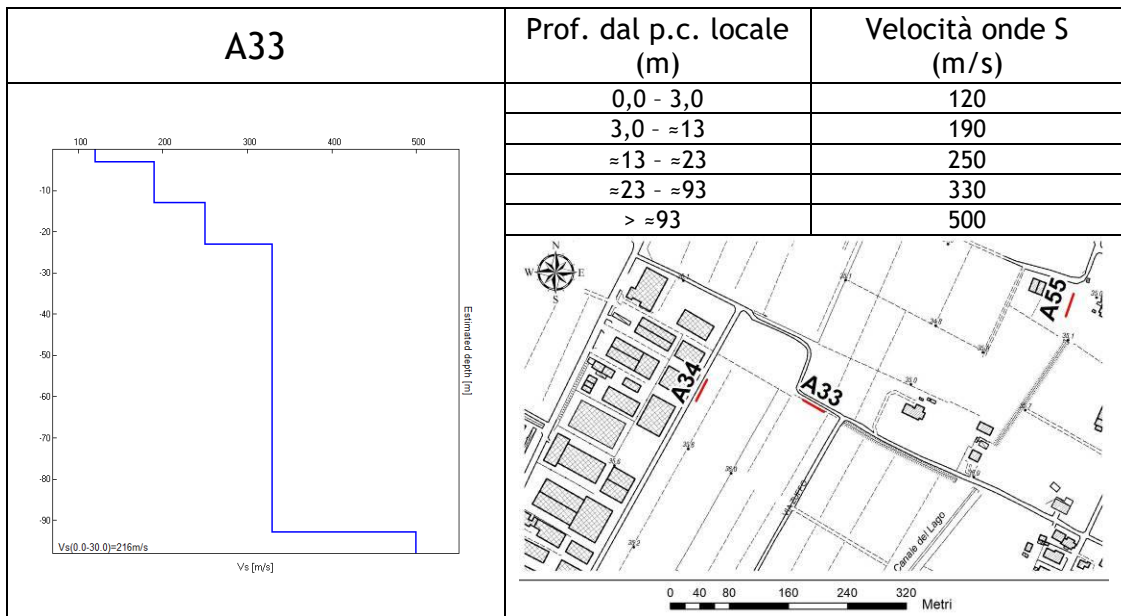
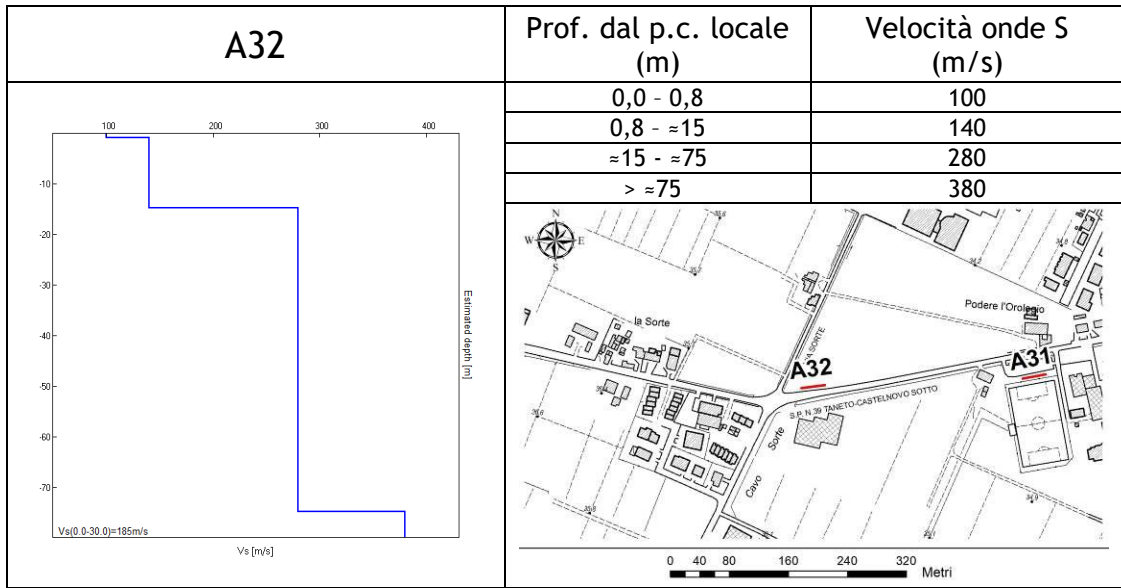


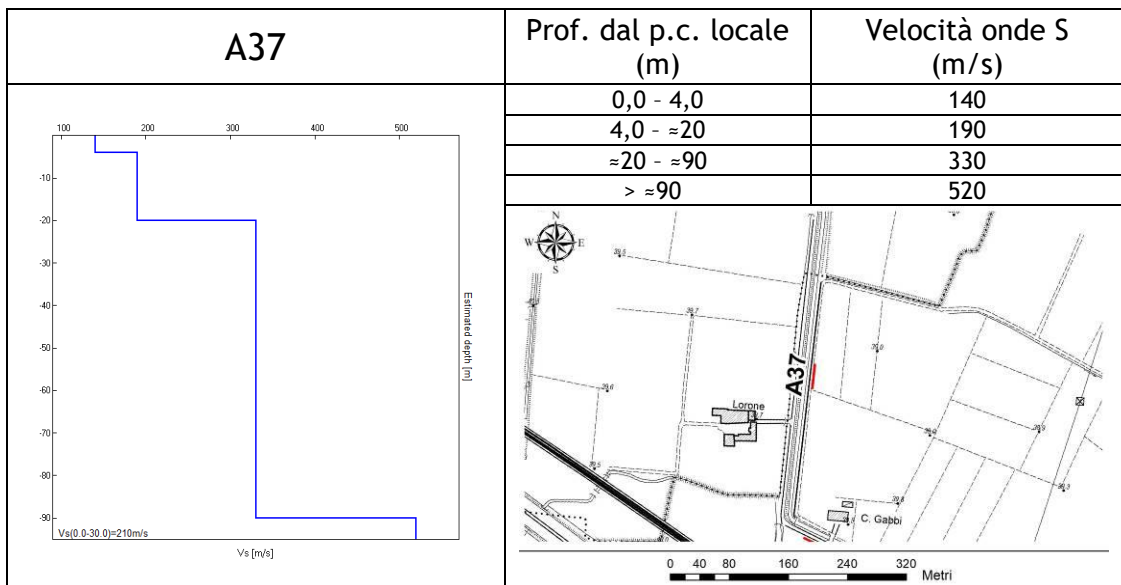
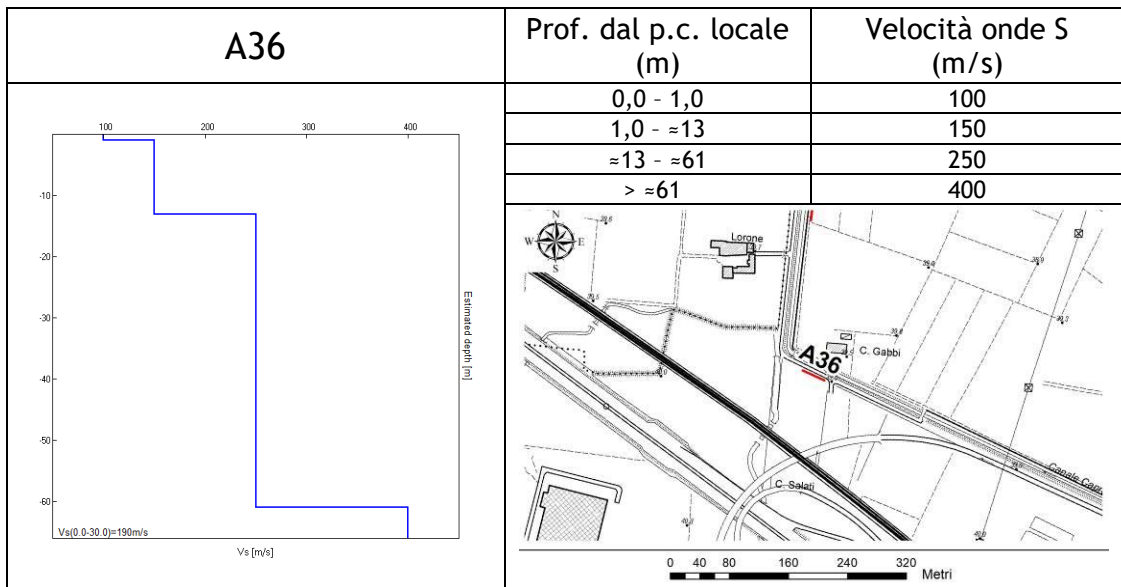
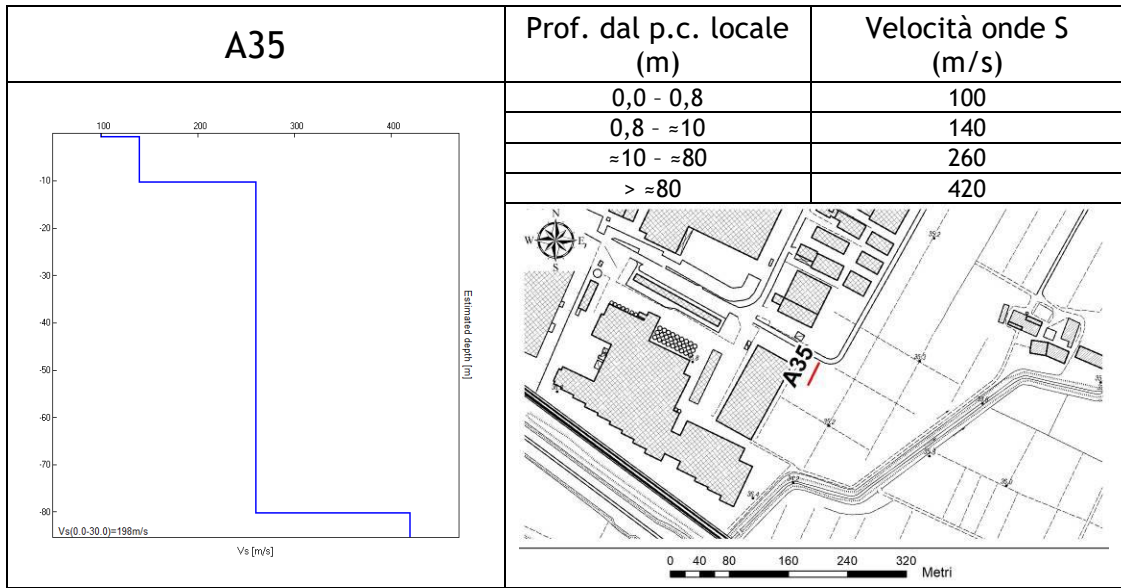


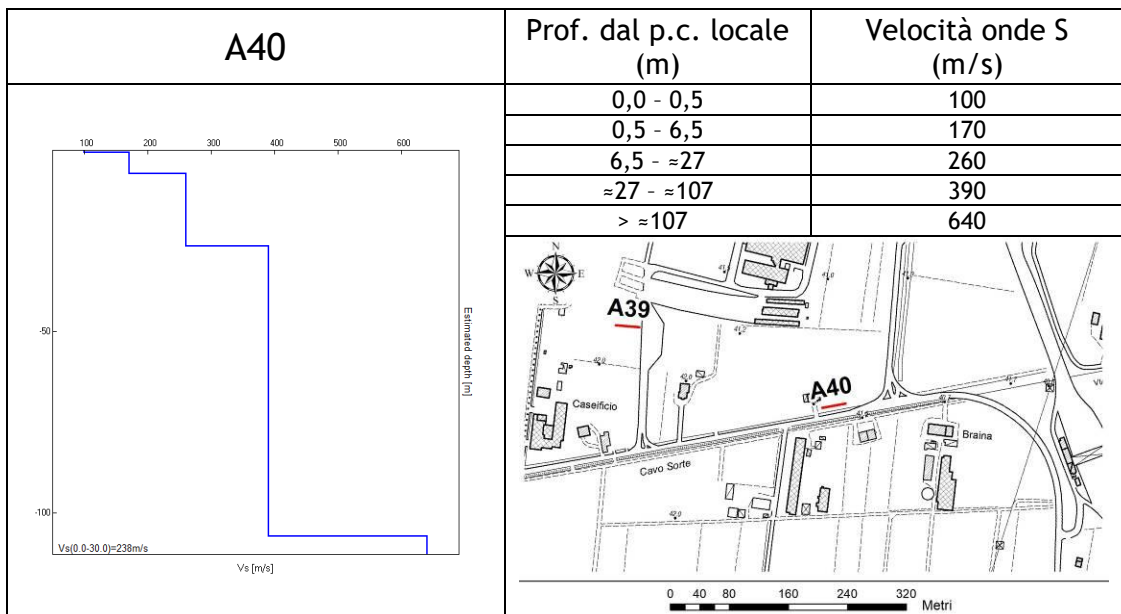
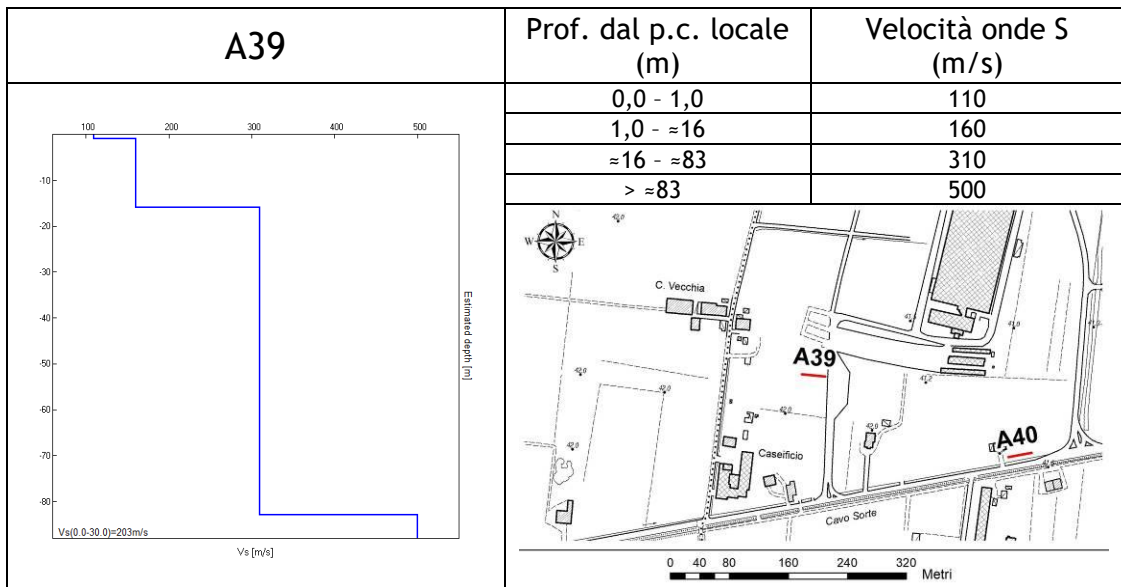
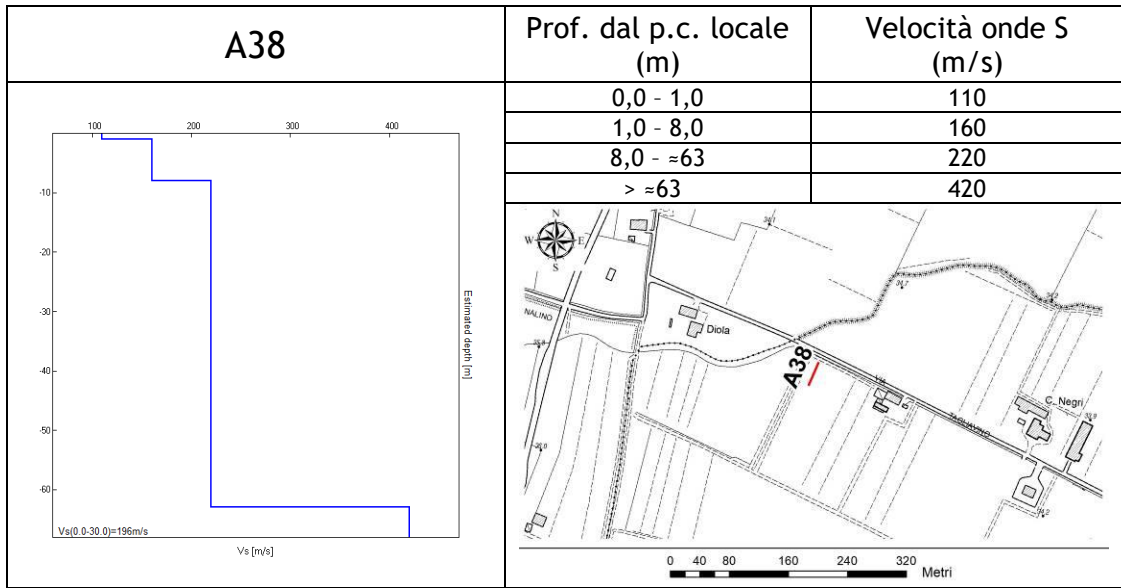


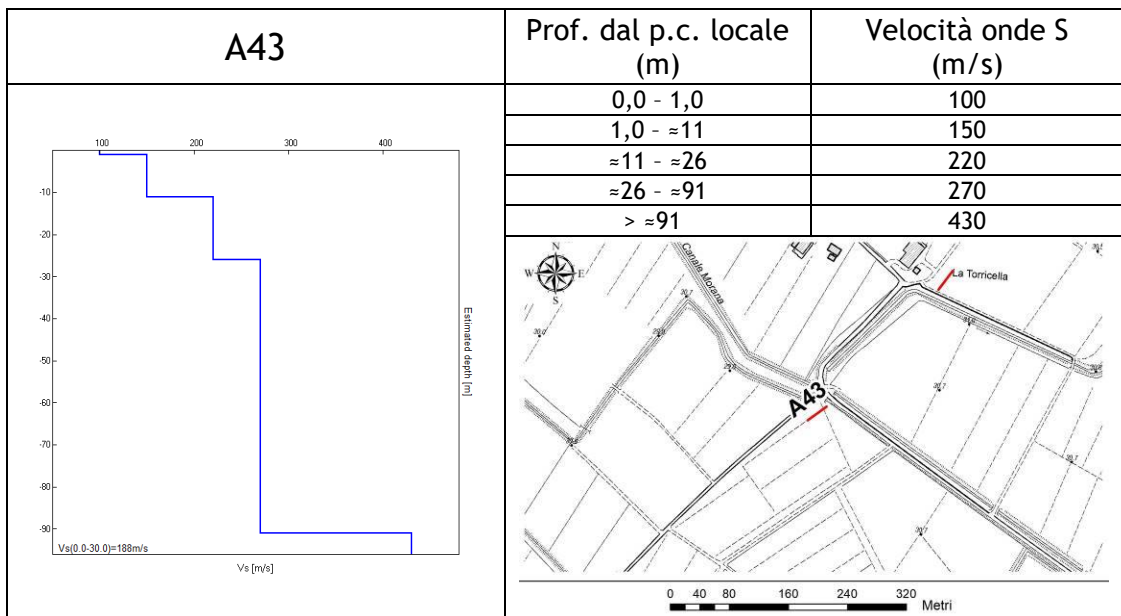
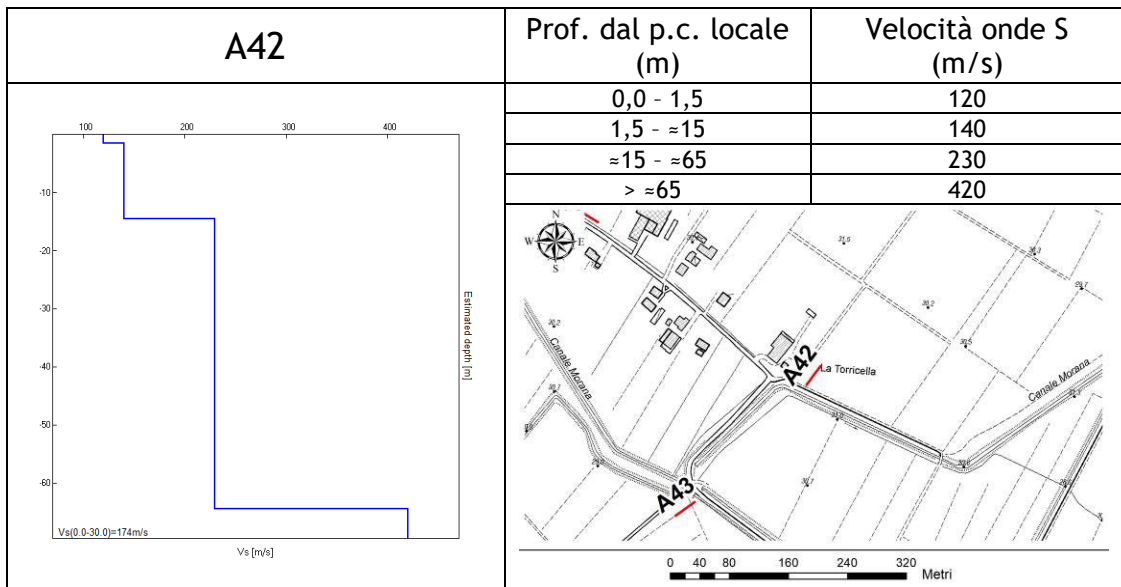
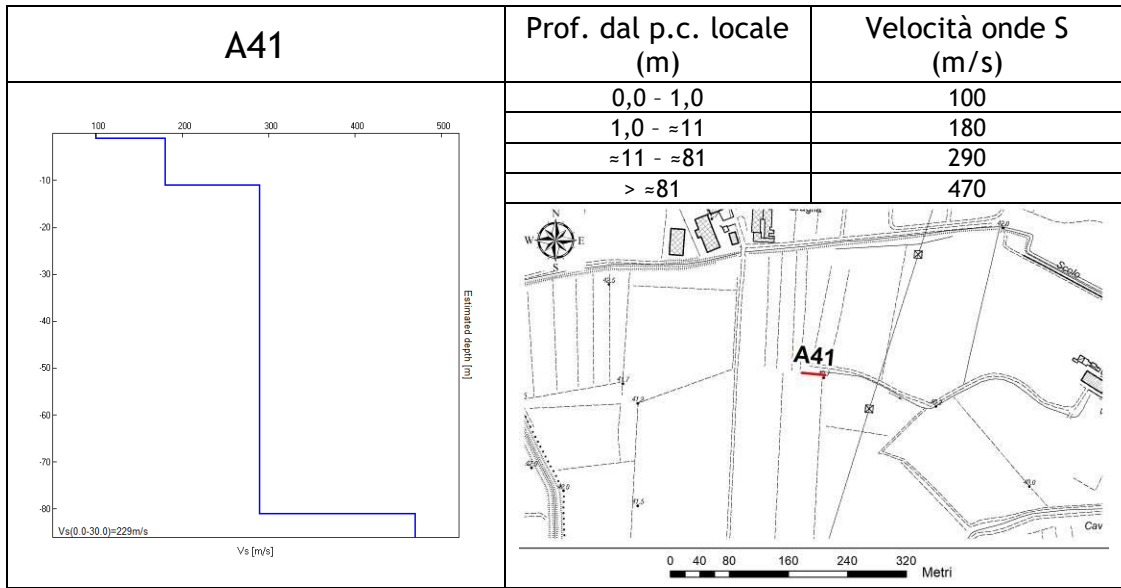


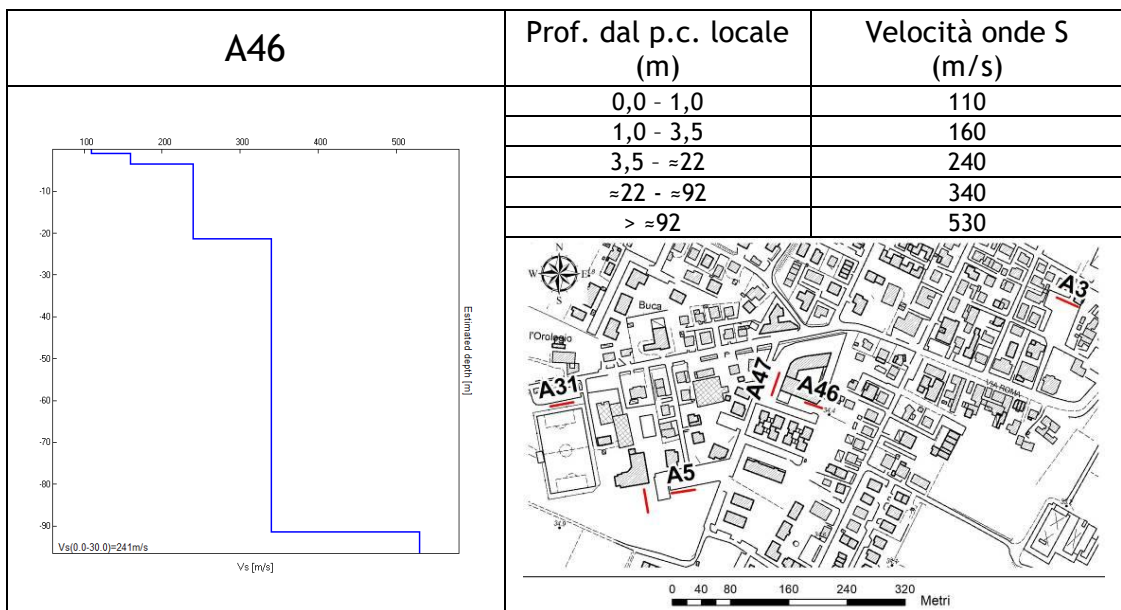
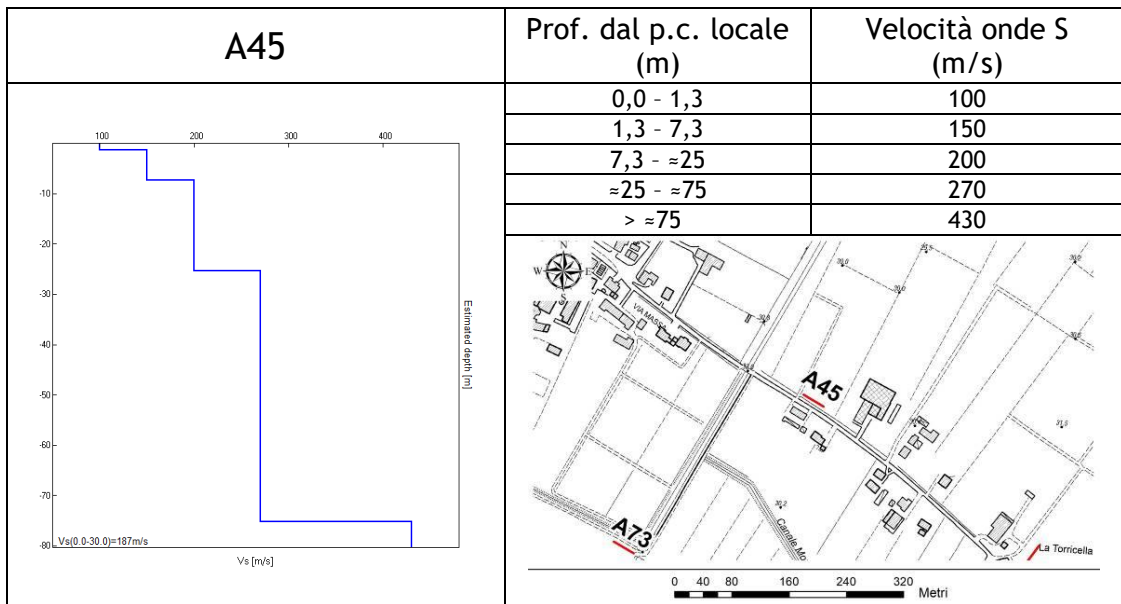
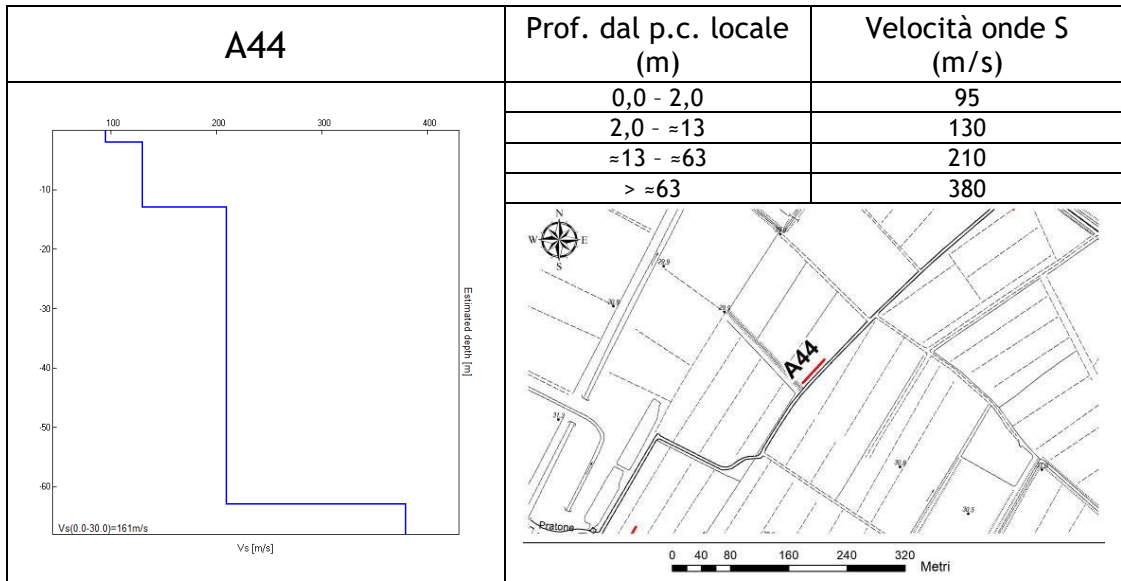


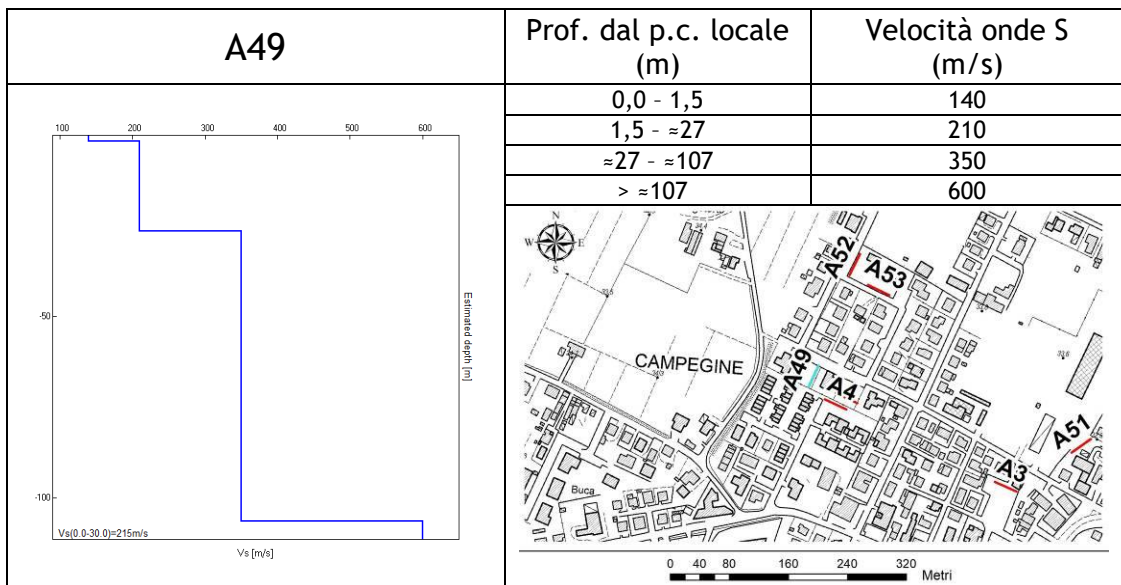
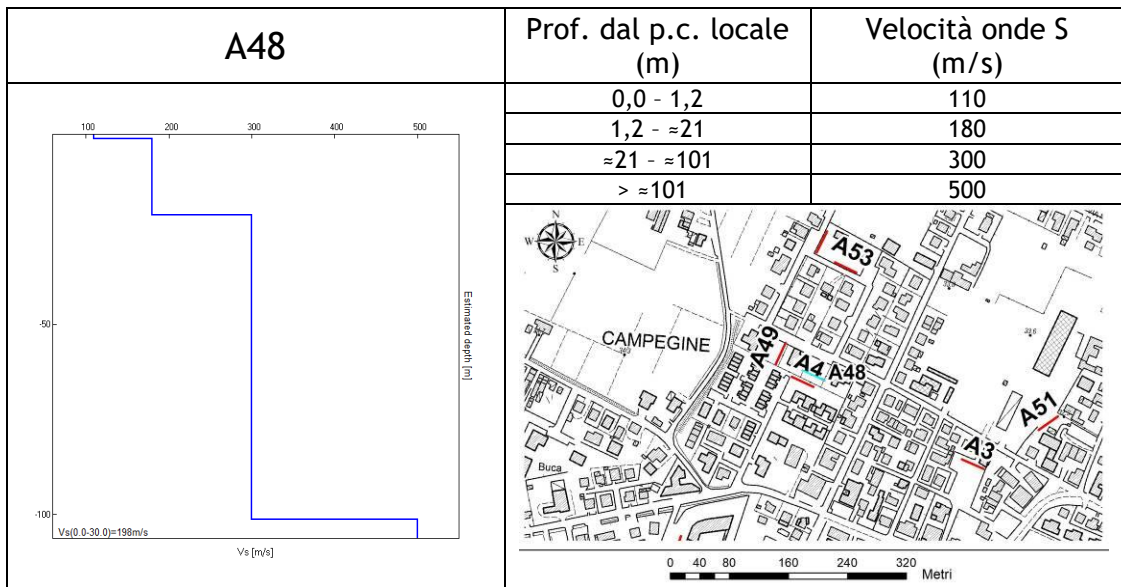
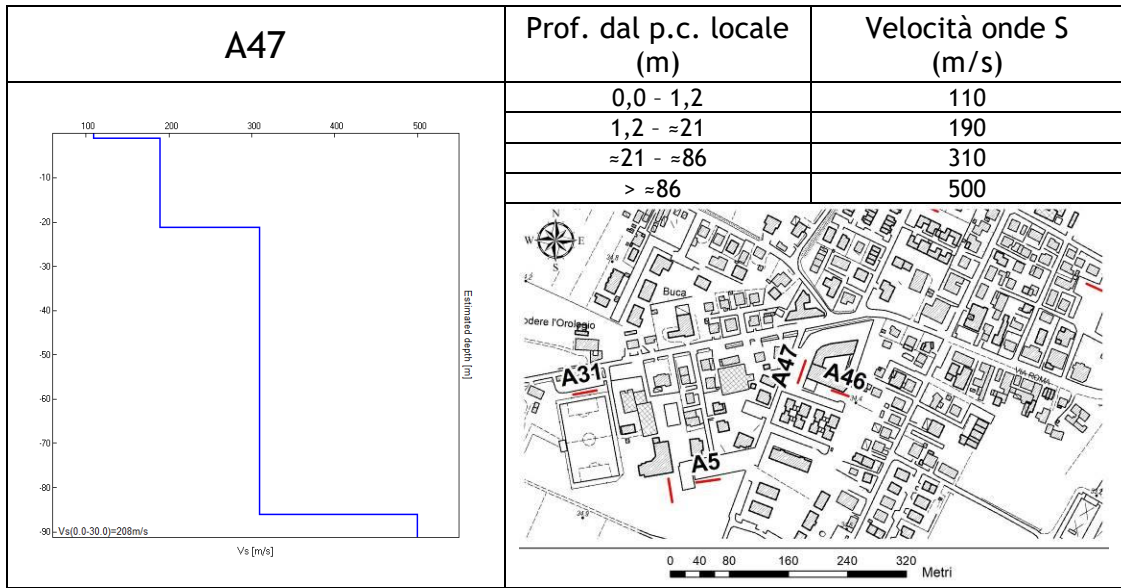


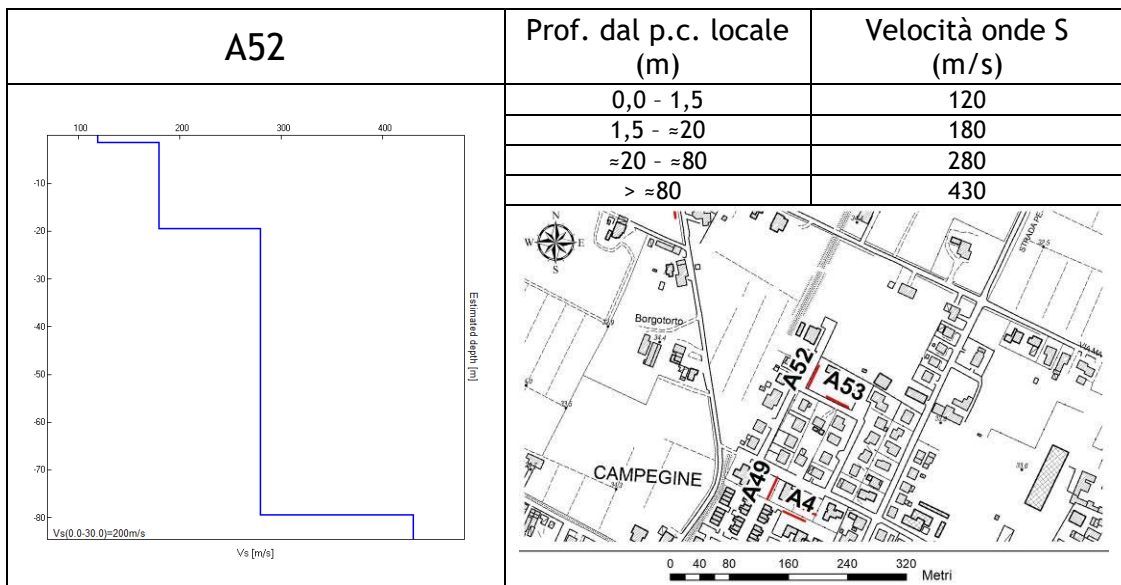
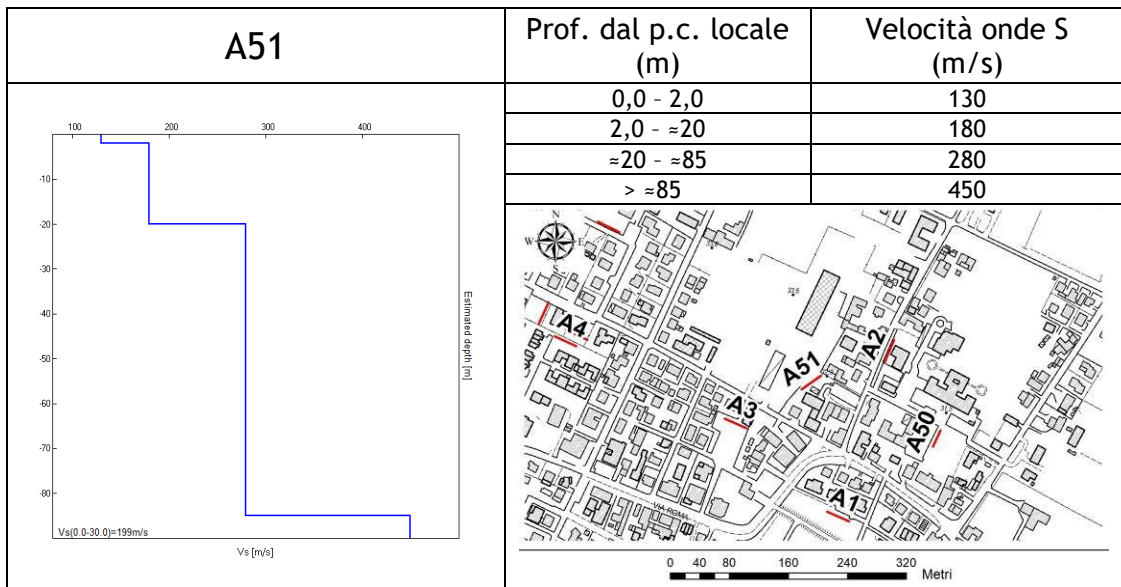
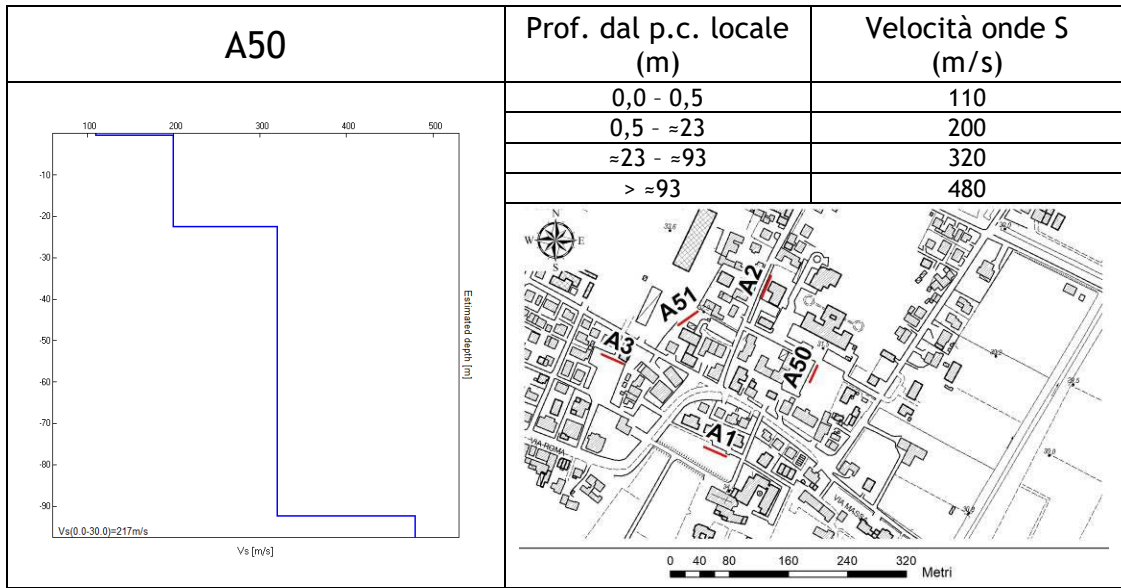


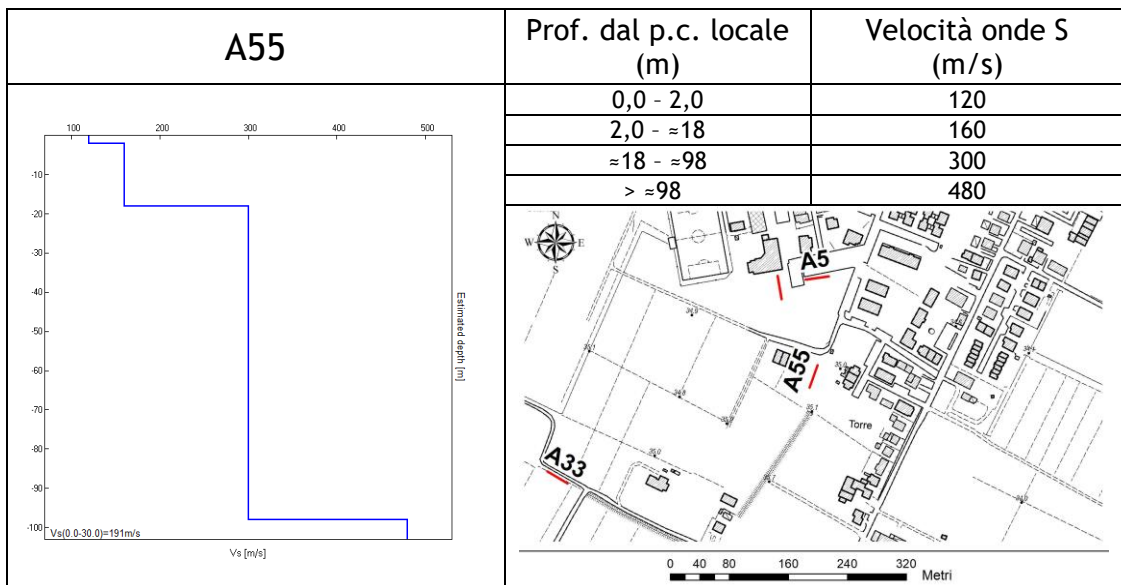
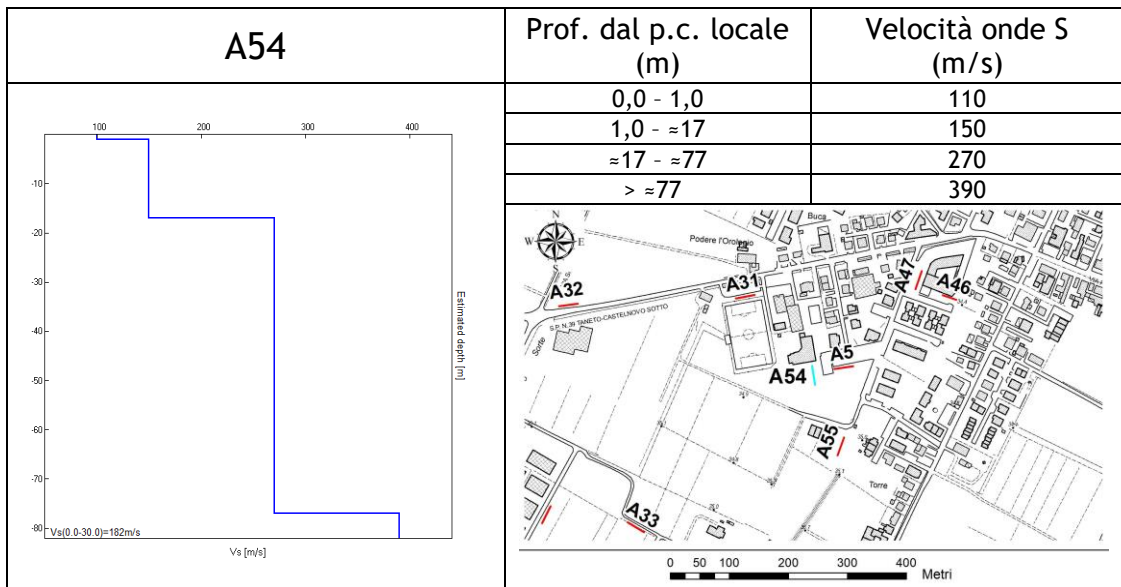
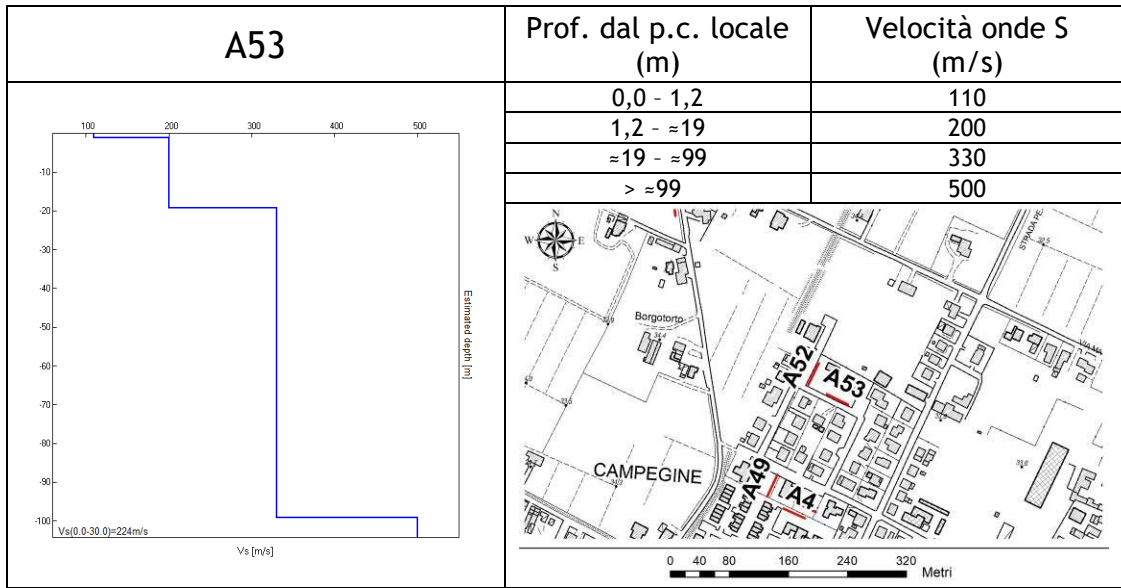


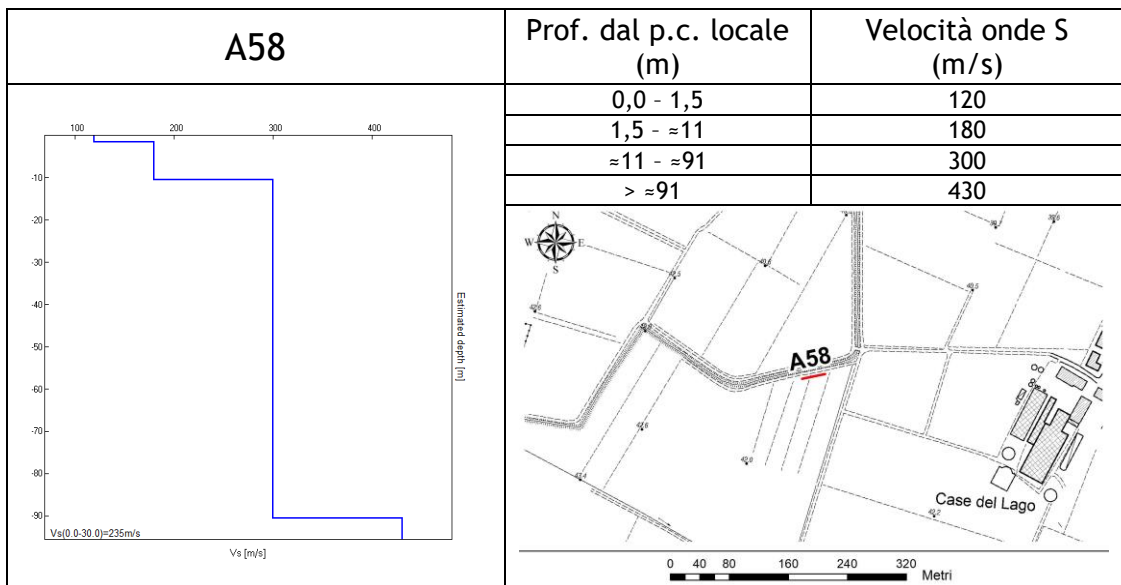
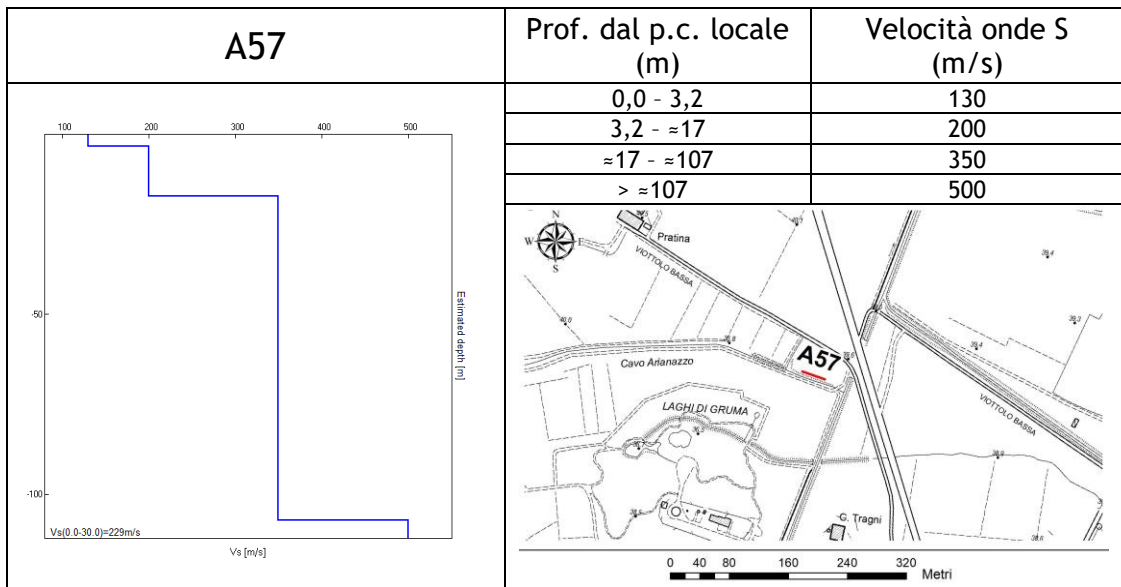
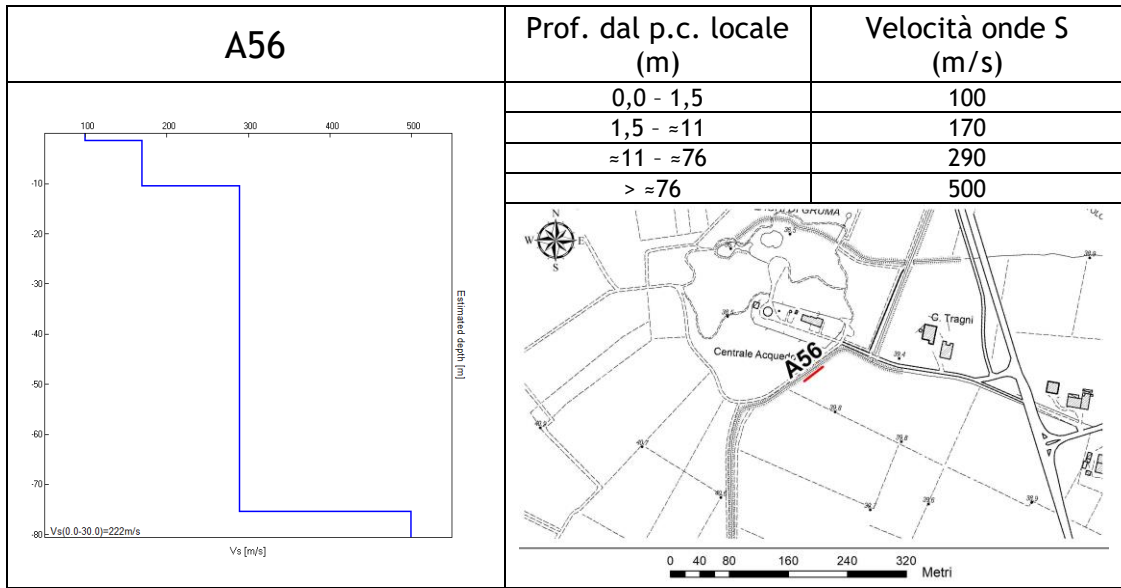


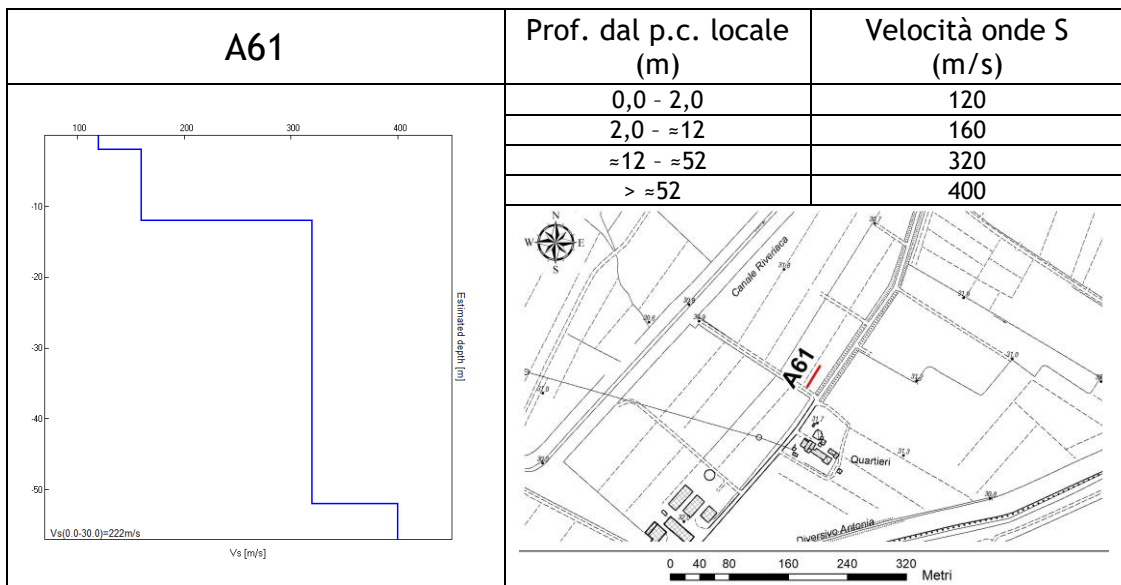
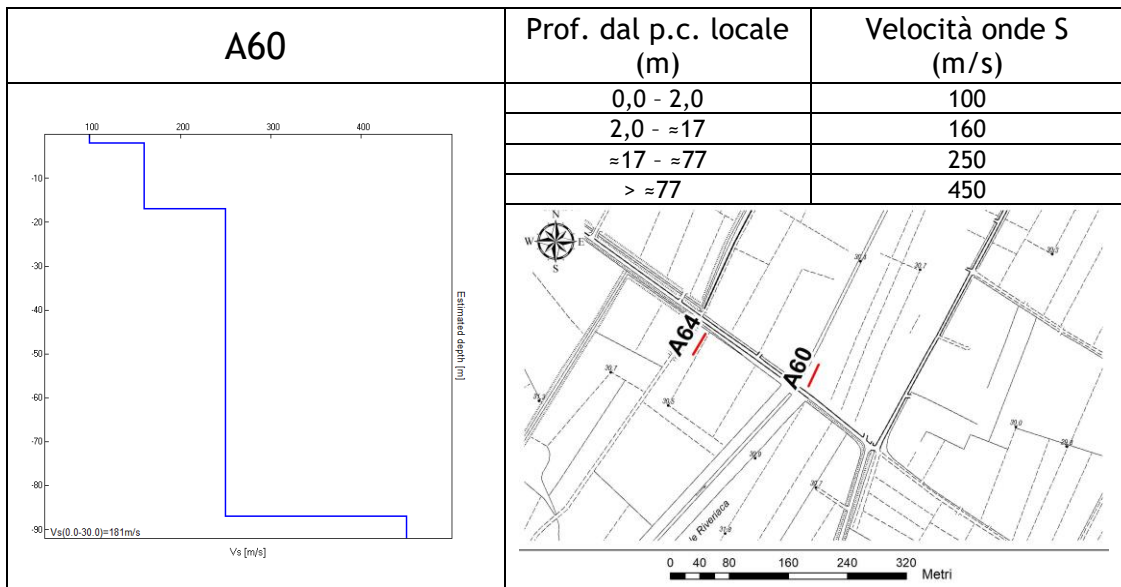
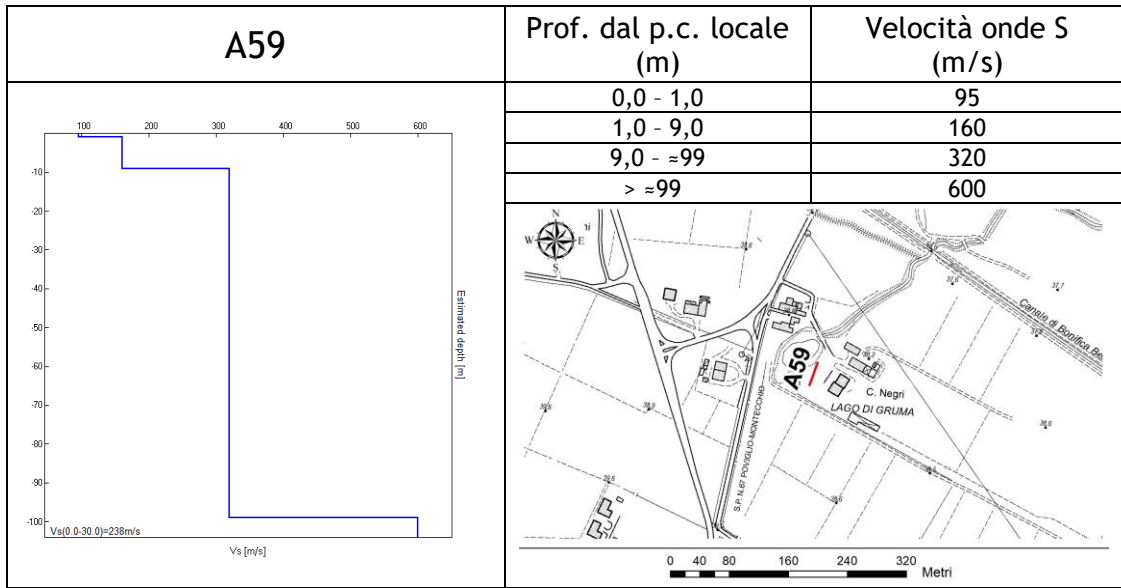


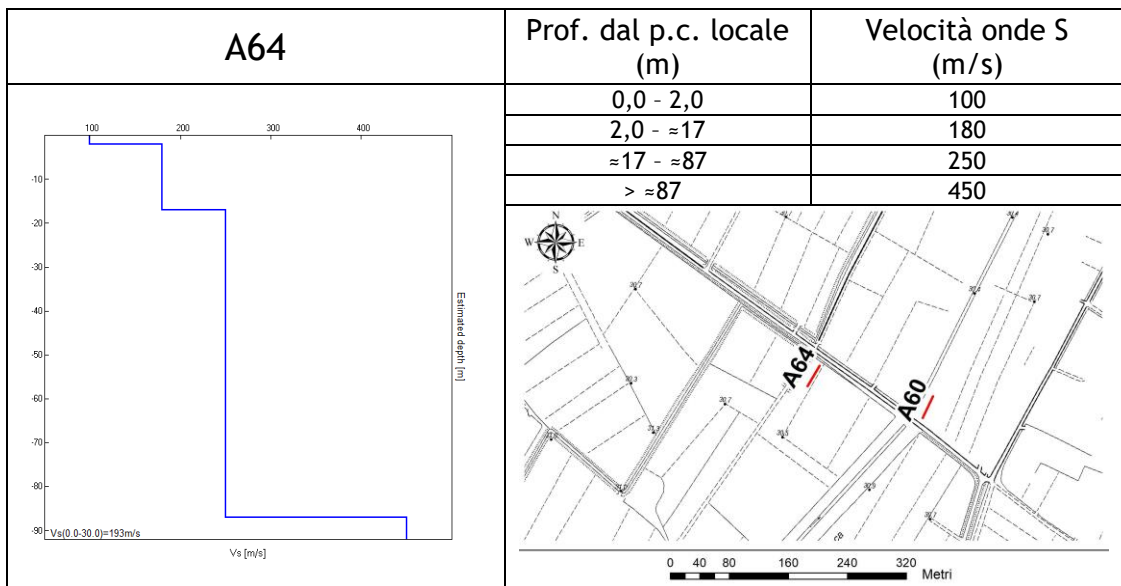
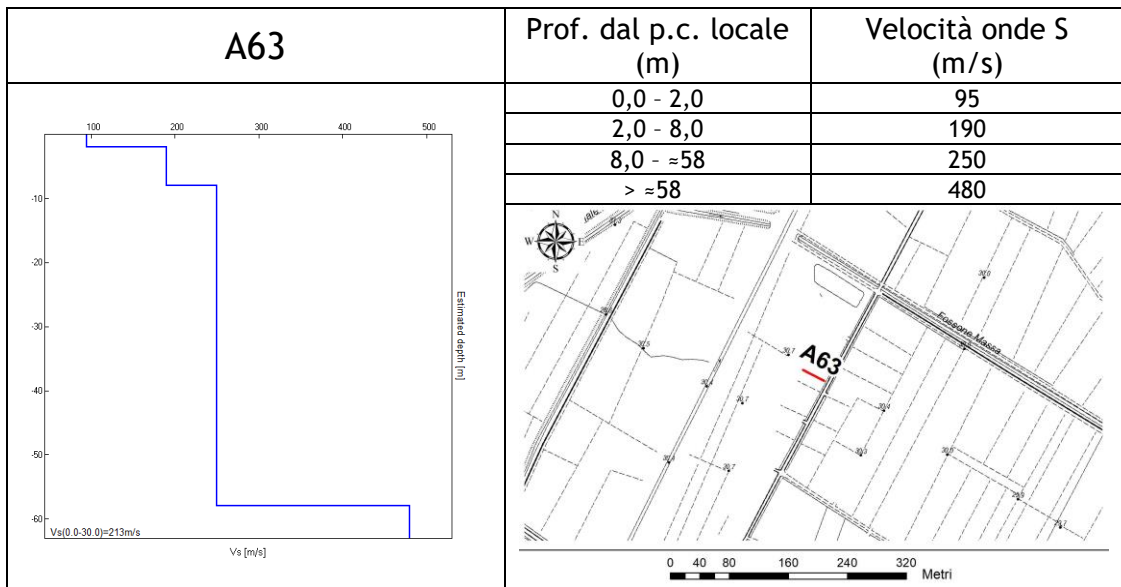
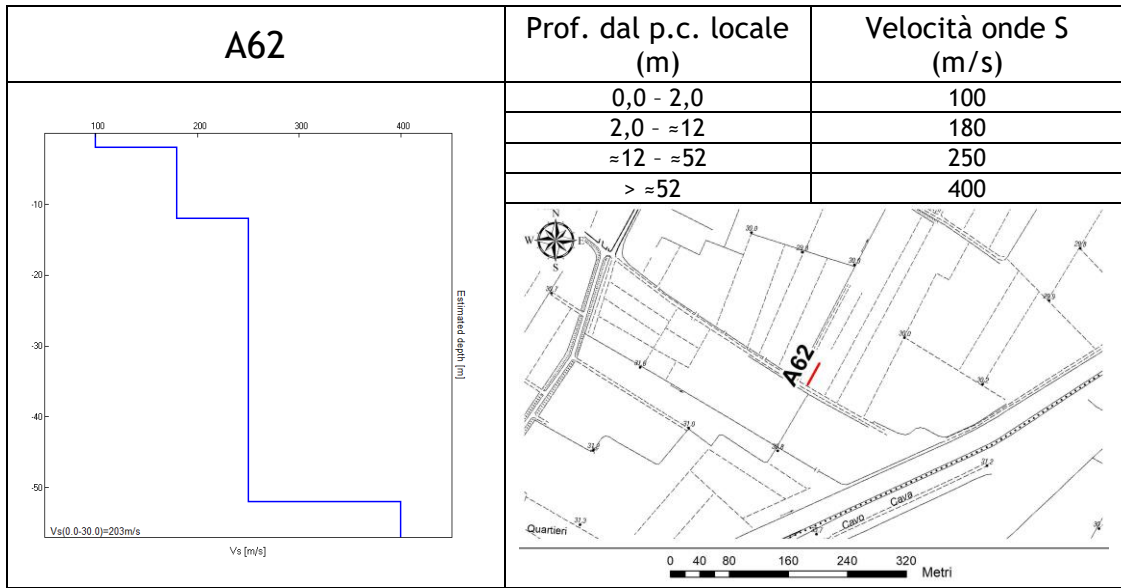


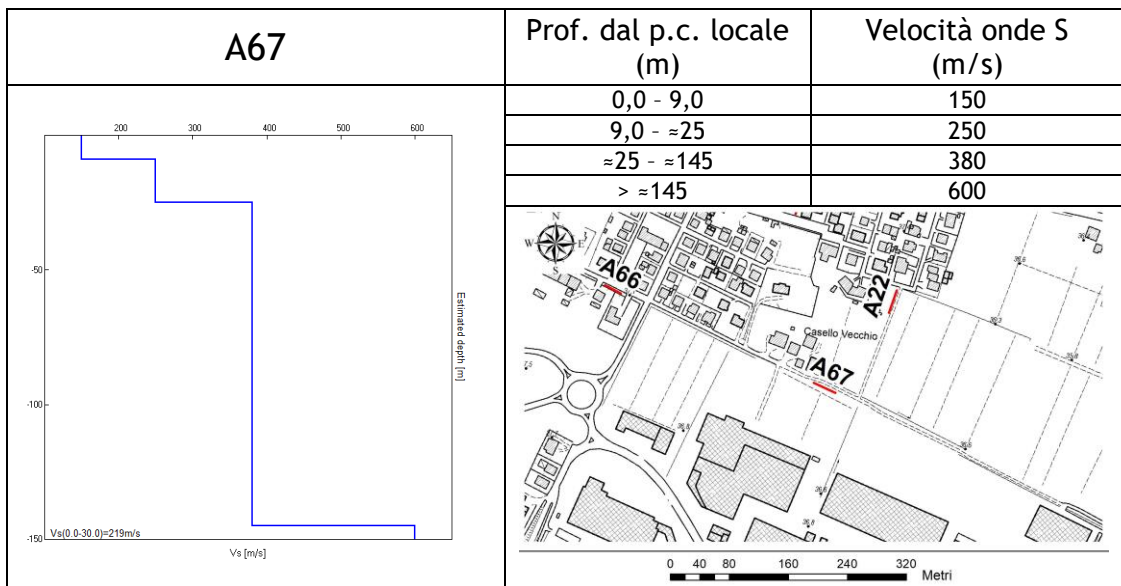
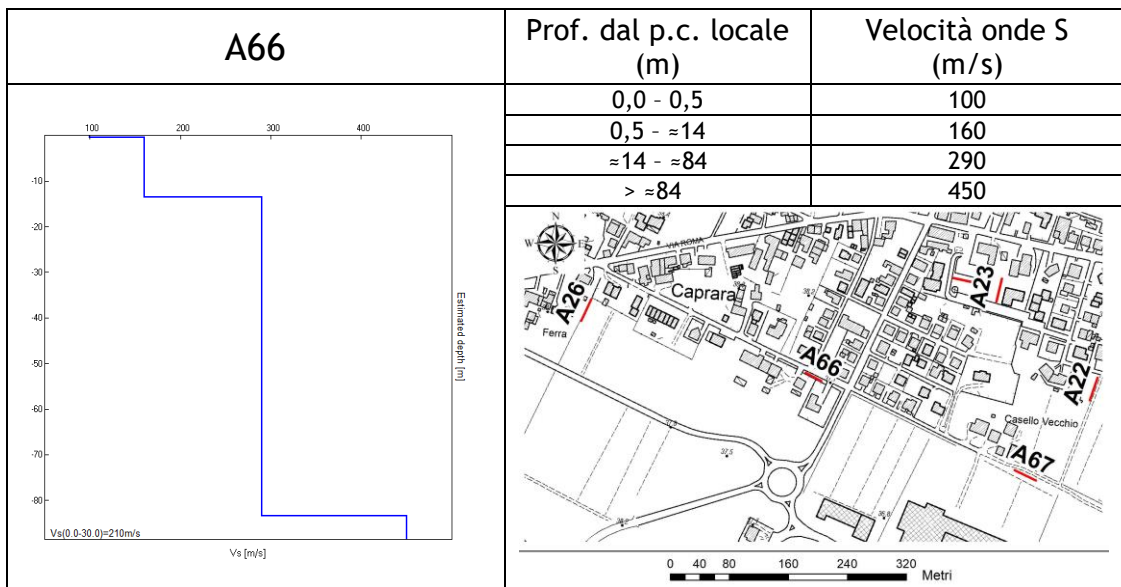
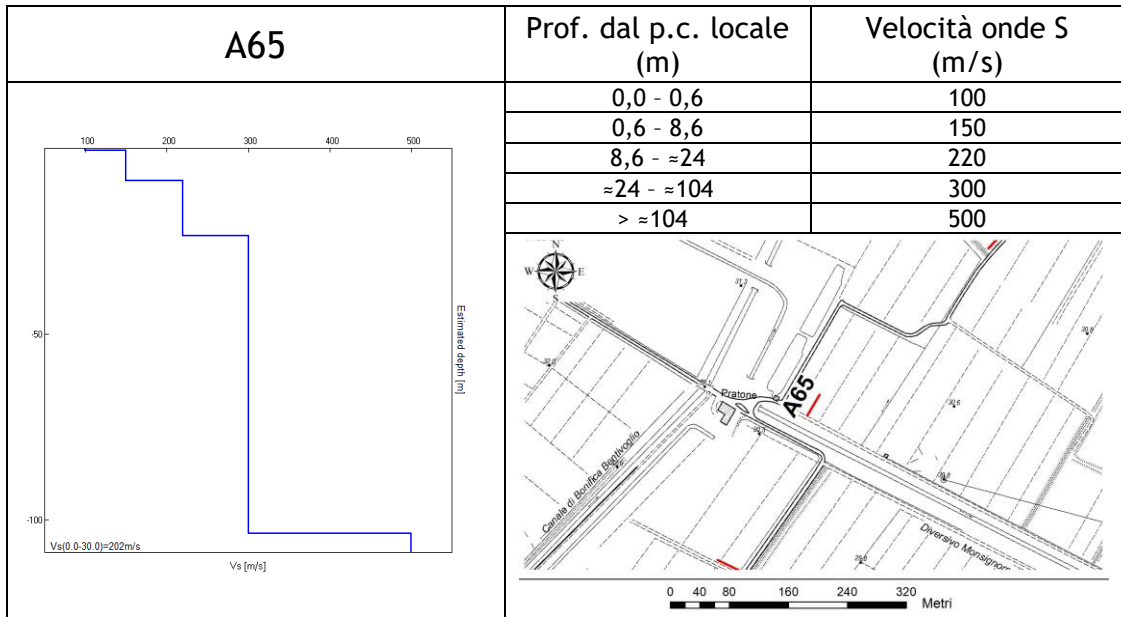


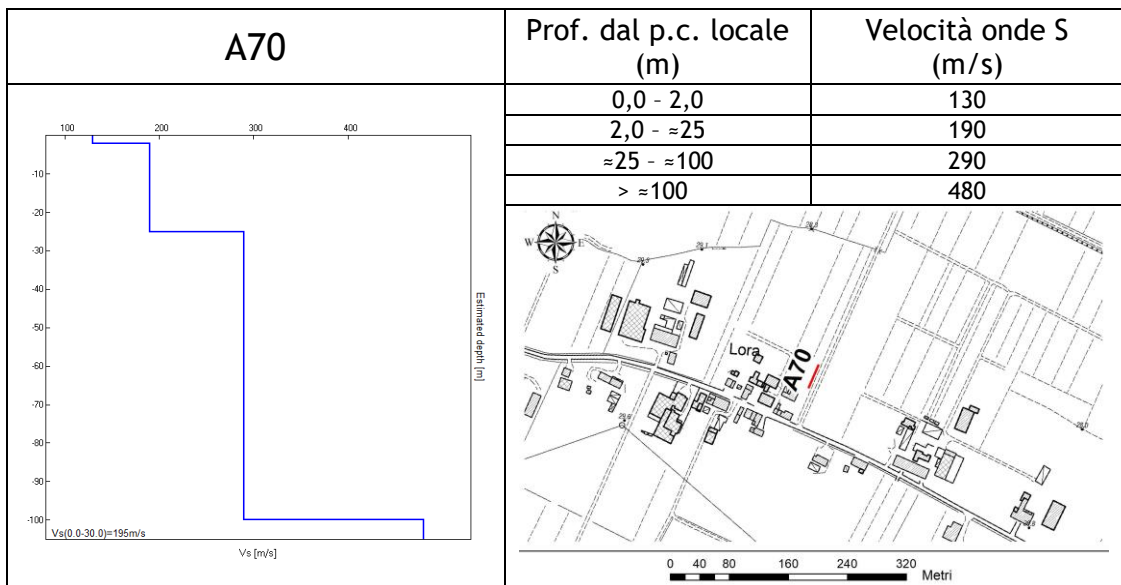
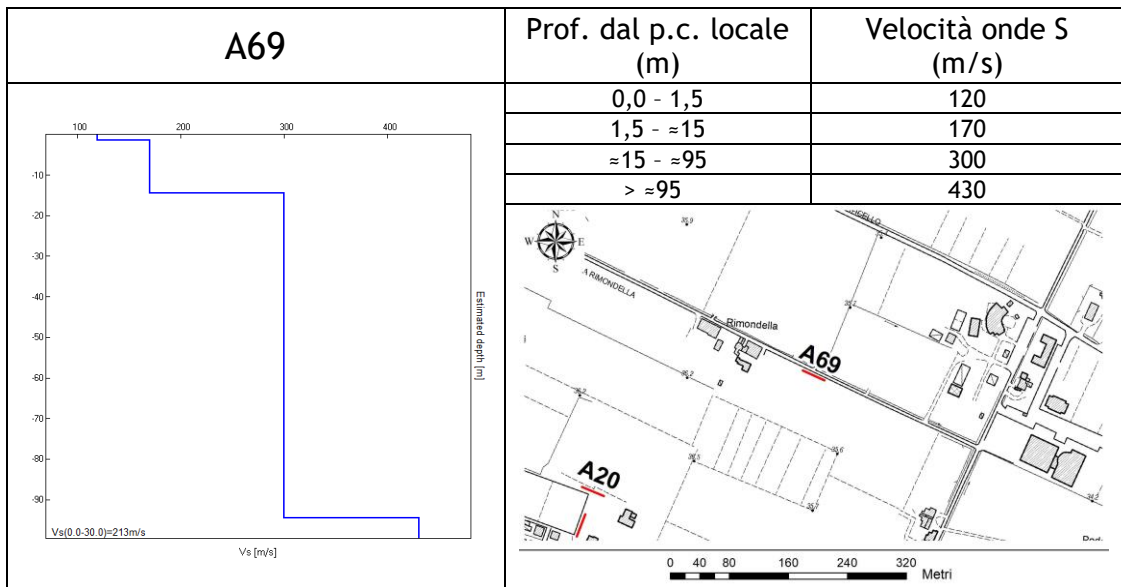
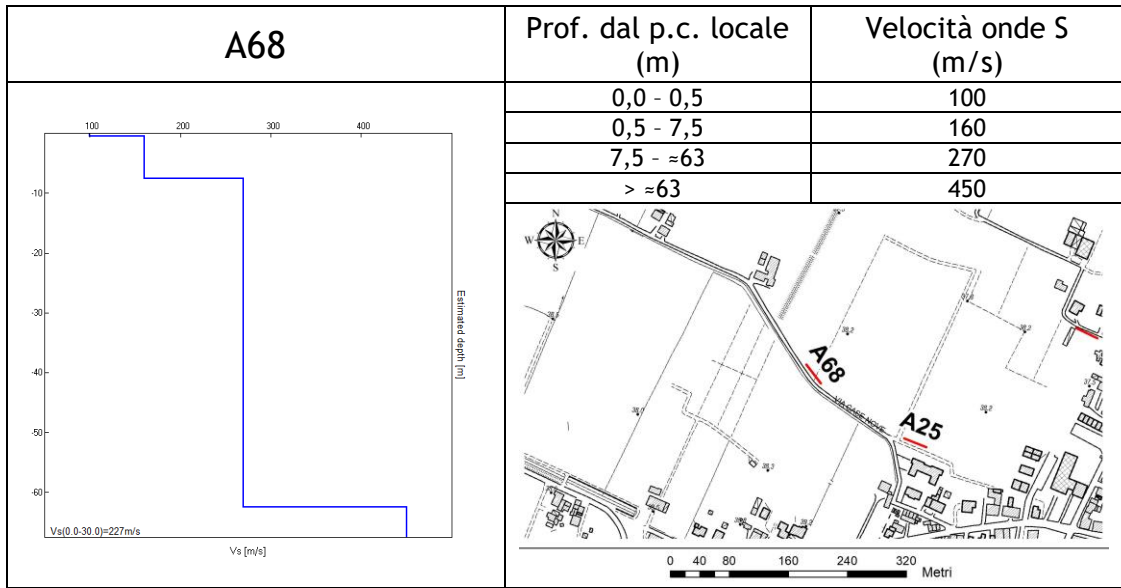


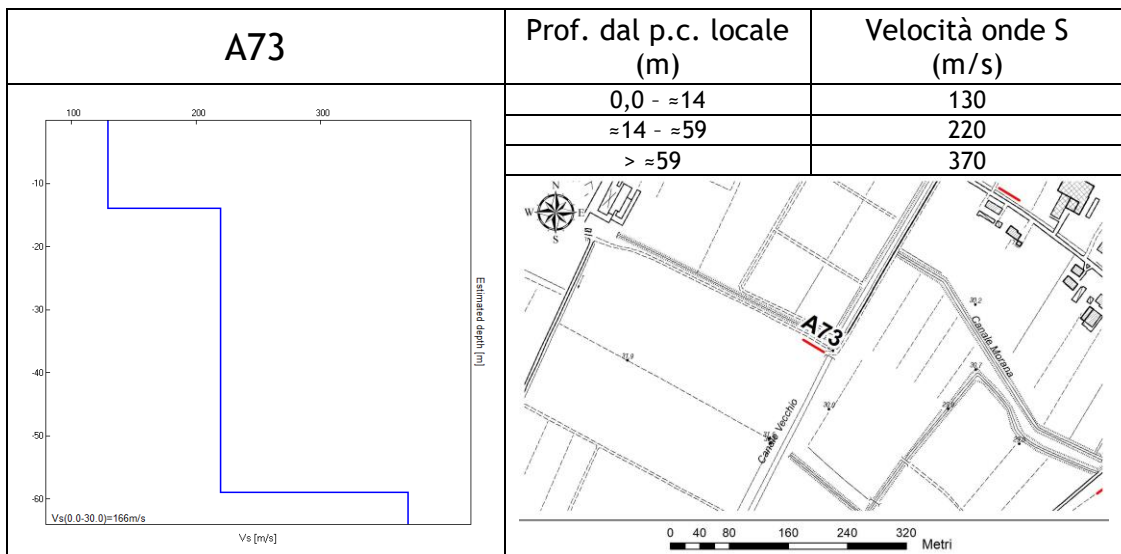
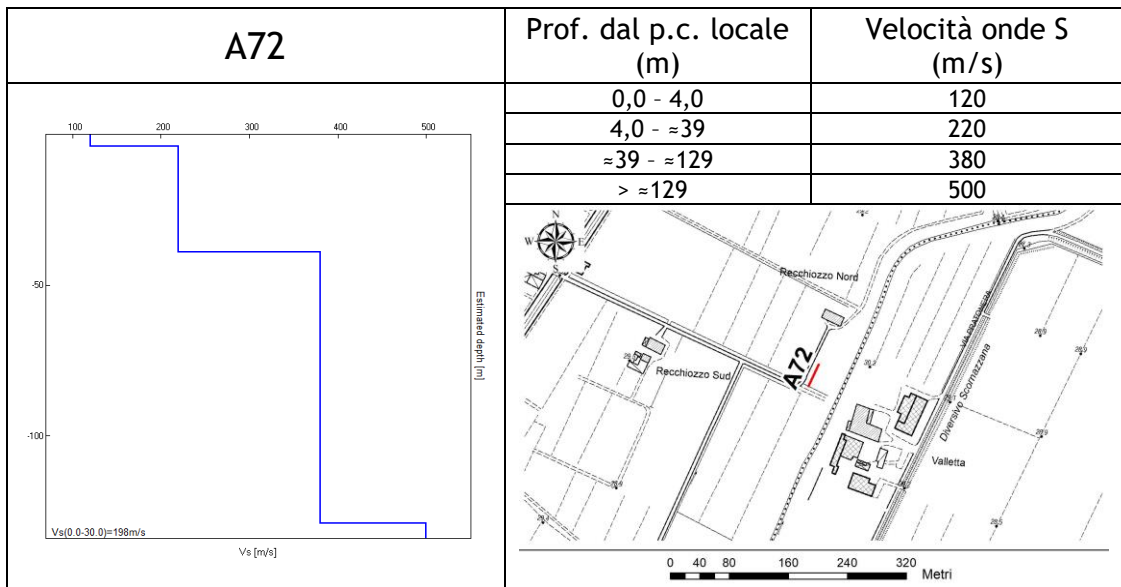
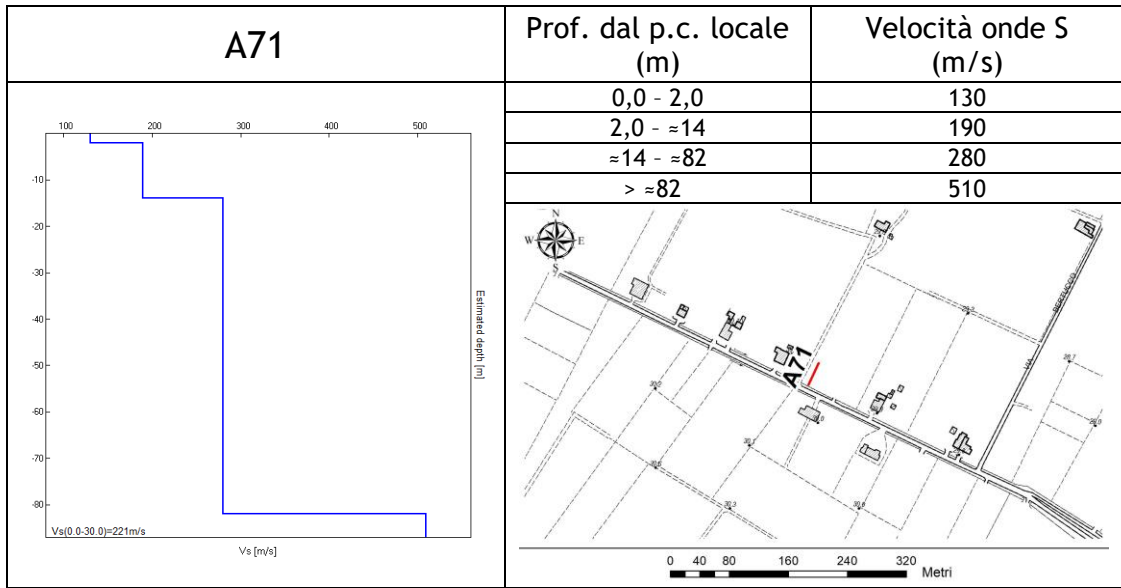


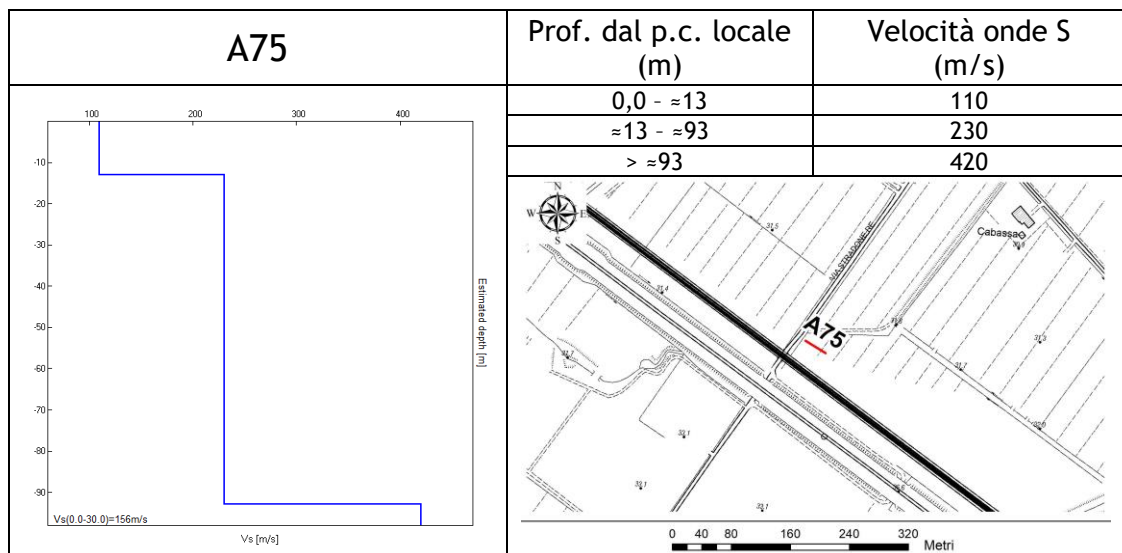
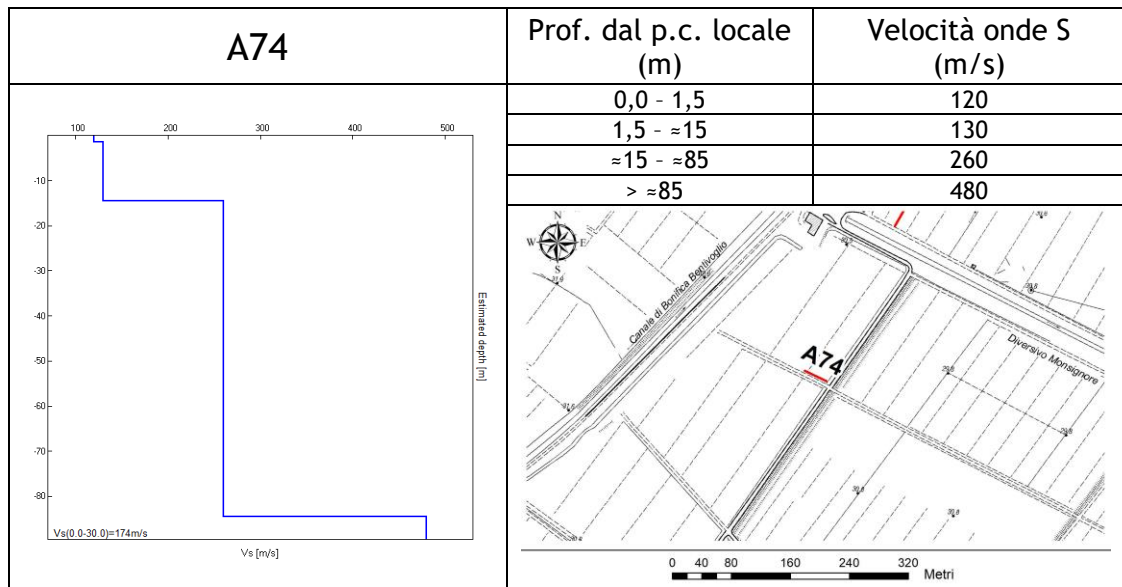












Indagini penetrometriche di tipo statico (CPT)

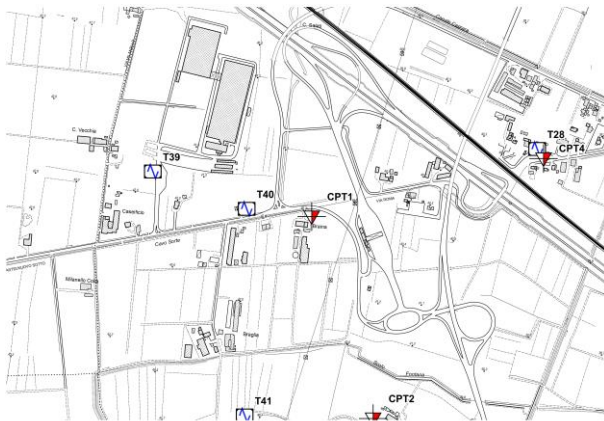
Le prove penetrometriche statiche sono state eseguite mediante l'utilizzo di un penetrometro Deep Drill con le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diam. Punta conica meccanica (mm)	35,7
Angolo di apertura punta (°)	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Peso letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	20

A seguire vengono riportate le ubicazioni di ogni prova condotta mentre in allegato il *report* completo di registrazioni, interpretazione stratigrafica e stima dei parametri geotecnici.

CPT 1 (4968186, 143205 WGS84 UTM Zona 33N)

Falda: stima non eseguita



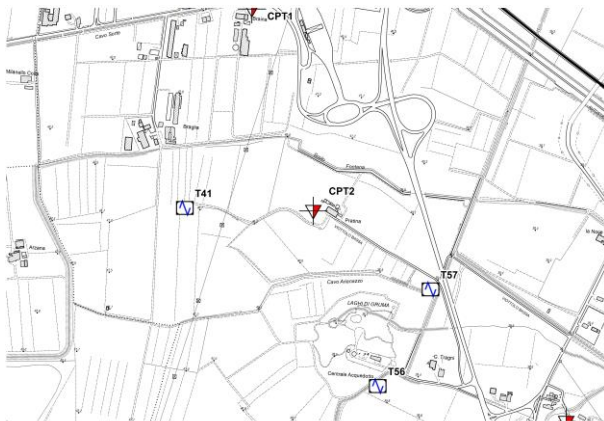
Ubicazione in CTR



Foto sito

CPT 2 (4967626, 143376 WGS84 UTM Zona 33N)

Falda: -4.03 m da p.c.



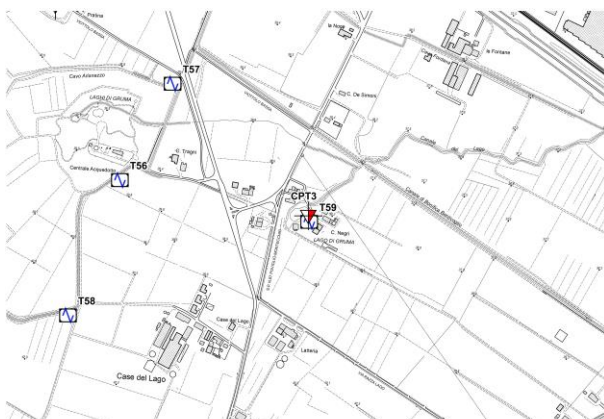
Ubicazione in CTR



Foto sito

CPT 3 (4967040, 144079 WGS84 UTM Zona 33N)

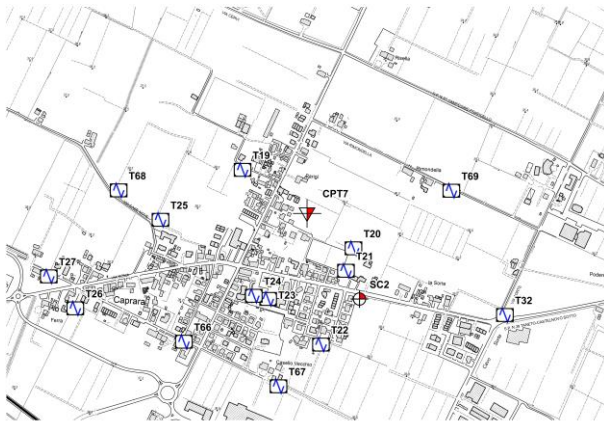
Falda: -3.40 m da p.c.



Ubicazione in CTR



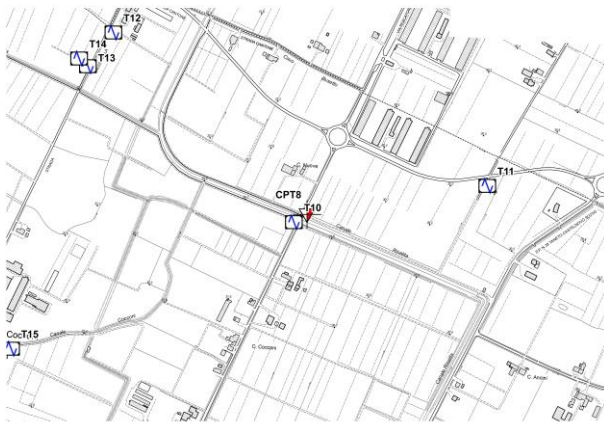
Foto sito



Ubicazione in CTR



Foto sito



Ubicazione in CTR



Foto sito

Indagini penetrometriche di tipo statico con piezocono (CPTU)

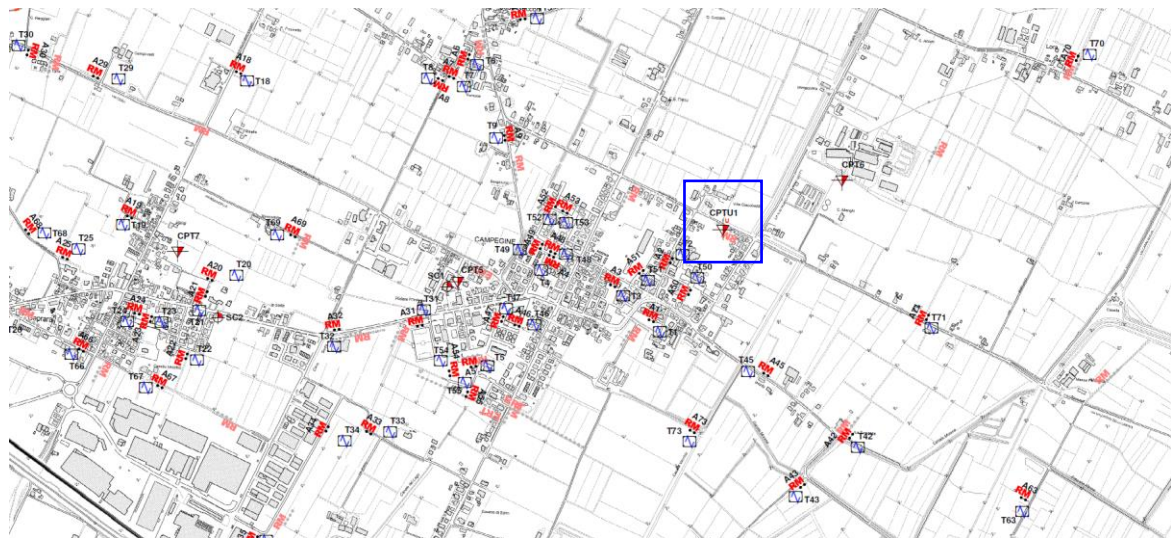
Le prove penetrometriche statiche sono state eseguite mediante l'utilizzo di un penetrometro Pagani 200kN (CPTU) con le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diam. Punta conica meccanica (mm)	35,7
Angolo di apertura punta (°)	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Peso letture (cm)	2
Costante di trasformazione Ct	10
Pressione neutrale rilevata	U2 attorno al cono

A seguire vengono riportate le ubicazioni di ogni prova condotta mentre in allegato il *report* completo di registrazioni, interpretazione stratigrafica e stima dei parametri geotecnici.

CPTU 1 (4968677, 146839 WGS84 UTM Zona 33N)

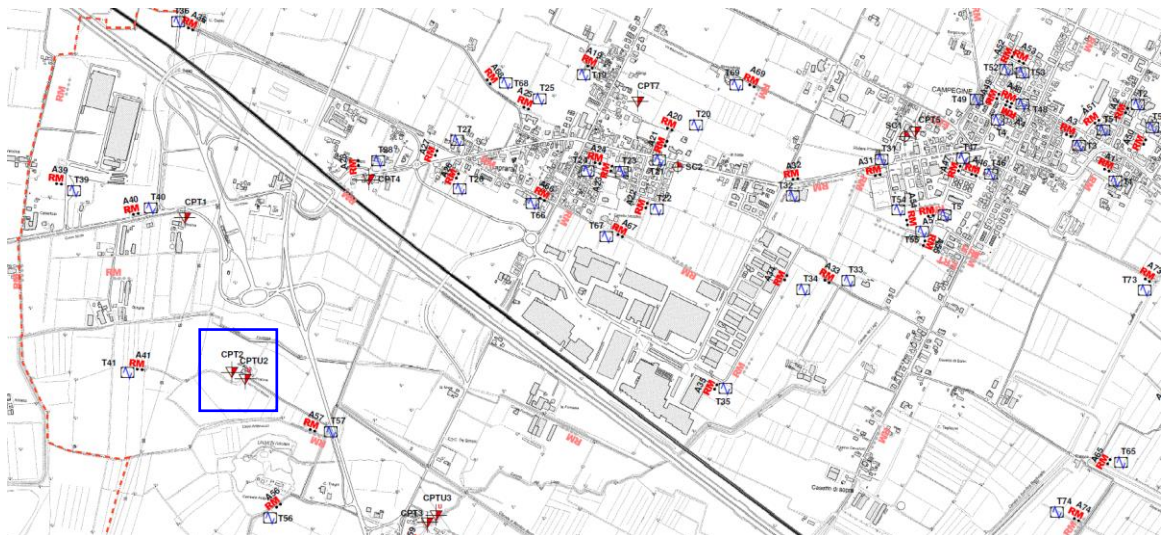
Falda: stima non eseguita



Ubicazione in CTR

CPTU 2 (4968347, 143849 WGS84 UTM Zona 33N)

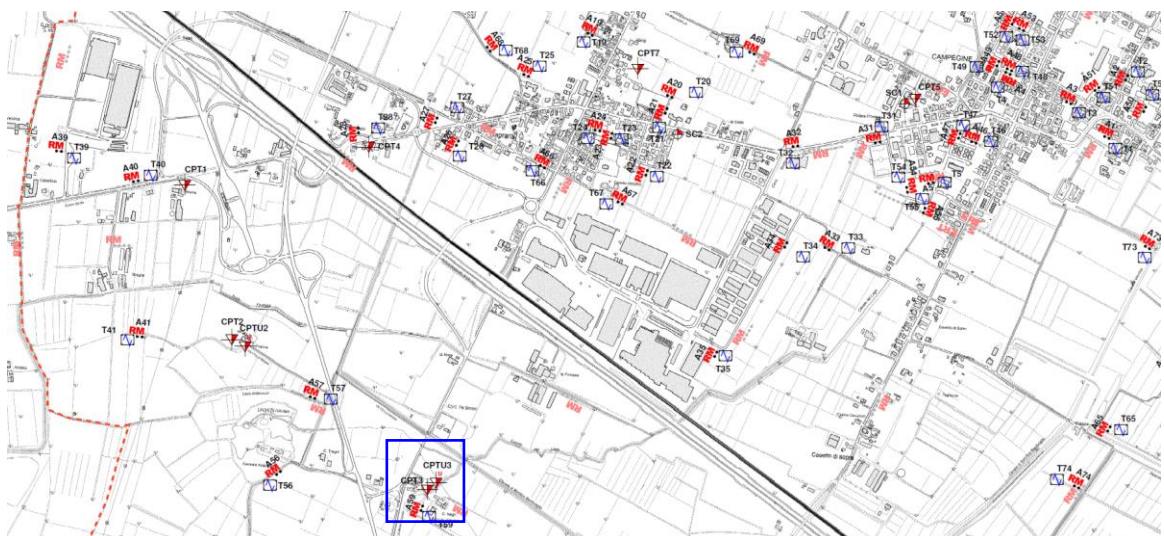
Falda: stima non eseguita



Ubicazione in CTR

CPTU 3 (4968606, 144854 WGS84 UTM Zona 33N)

Falda: stima non eseguita



Ubicazione in CTR

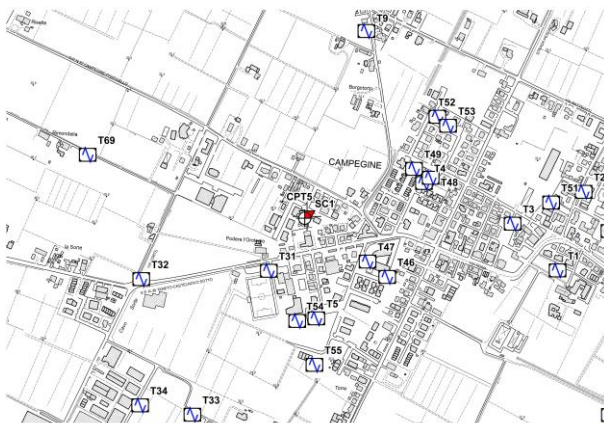
Sondaggi geognostici a distruzione di nucleo

Per l'esecuzione delle perforazioni è stata impiegata un'attrezzatura da perforazione montata su autocarro 4X4, da 1.200 kgm di coppia.

Il sondaggio è stato eseguito con carotiere semplice di diametro 101 mm avente all'estremità inferiore una corona con taglienti in widia.

La perforazione è stata eseguita a distruzione di nucleo in quanto finalizzata al prelievo di n° 4 campioni indisturbati con campionatore aperto a parete singola di tipo Shelby, sui quali sono state condotte n° 4 prove di laboratorio per la determinazione dei Limiti di Atterberg e della Porosità e indice dei vuoti (risultati delle analisi in allegato).

SC1 (4968493, 145858 WGS84 UTM Zona 33N)



Ubicazione in CTR



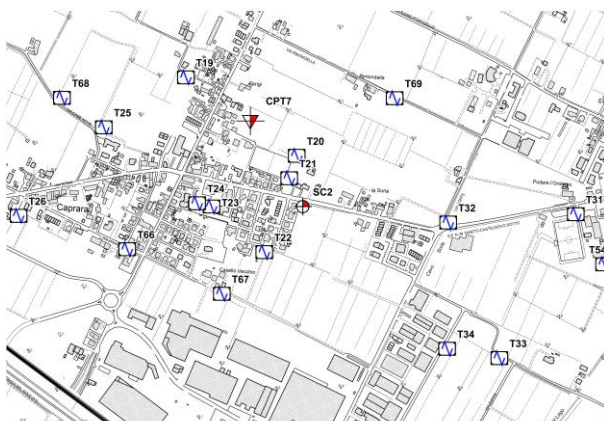
Foto sito

Campioni:

- S1 - C1 Campegine da -3.00 a -3.70 m da p.c. - Limo Argilloso
- S1 - C2 Campegine da -7.10 a -7.80 m da p.c. - Argilla

67

SC2 (4968368, 145000 WGS84 UTM Zona 33N)



Ubicazione in CTR



Foto sito

Campioni:

- S1 - C1 Campegine da -2.10 a -2.70 m da p.c. - Limo Argilloso
- S1 - C2 Campegine da -6.10 a -6.70 m da p.c. - Limo Argilloso

7. APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3

Nel territorio comunale di Campegine, è stato eseguito, in data dicembre 2016, uno studio di MS di Livello 1 e 2.

Nel presente capitolo vengono illustrate le principali caratteristiche e criticità del territorio comunale dedotte dallo studio di MS2, rimandando alla Relazione Illustrativa e alle tavole dello stesso per un maggiore approfondimento.

Le caratteristiche litotecniche relative ai primi 10-20 m di sottosuolo sono state determinate in fase di redazione della Carta Geologico Tecnica. In particolare sono stati identificati gli orizzonti litologici presenti nel sottosuolo che principalmente influenzano il tipo di risentimento sismico in occasione di sollecitazione dinamica.

In funzione di quanto esposto sono state individuate come aree prevalentemente sabbiose - sabbioso limose anche le fasce di territorio dove detti litotipi non affiorano in superficie ma sono presenti con spessori significativi, maggiori di 2-3 m, nei primi 5-10-15 m del sottosuolo (paleovalvi). Le classificazioni delle unità prevalentemente limoso argillose - argilloso limose - argillose, esprimono la netta prevalenza di detti litotipi nei primi 5-10 m dal piano campagna.

Sono state mappate inoltre la soggiacenza della falda freatica che varia da un massimo di 5 m ad un minimo di 0.5 m di profondità dal p.c. locale assumendo anche condizioni di subaffioramento in taluni casi, e la profondità del tetto del substrato a comportamento rigido (bedrock sismico) che varia da 70-80 m da p.c. nel sottosuolo della parte meridionale del comune, fino a 100-110 m da p.c. nelle zone nord-occidentali del territorio.

In funzione della caratterizzazione geotecnica locale, nella carta MOPS di Livello 1, erano state individuate **nr.7 microzone omogenee in prospettiva sismica definite come stabili suscettibili di amplificazioni locali e nr.2 tipologie di zone suscettibili di instabilità**, in particolare le zone di attenzione per liquefazione - Z_{ALQ} e le zone di attenzione per cedimenti differenziali Z_{ACD} .

Appartengono a tali categorie di instabilità:

- le aree nelle quali le caratteristiche litostratigrafiche evidenziano la presenza di alternanze di strati sabbiosi - sabbioso limosi che nei primi 3-5-15 m del sottosuolo presentano spessori compresi tra 2-3 ÷ 4-5 m (zone 2002, 2003 e 2004): **potenzialmente suscettibili di liquefazione (zona LQ1)**;
- le zone a sequenze prevalentemente limose - limoso argilloso sabbiose che contengono corpi lentiformi sabbioso limosi con spessori inferiori o uguali a 1 m, moderatamente addensati: **potenzialmente suscettibili di cedimenti differenziali**;
- le successioni argilloso limose - limoso argillose poco consistenti nei primi 5-8 m del sottosuolo: **potenzialmente suscettibili di cedimenti differenziali**;
- le sequenze prevalentemente limoso sabbiose - sabbioso limose poco addensate nei primi 6-8 m del sottosuolo: **potenzialmente suscettibili di cedimenti differenziali**.

Le indagini geofisiche effettuate hanno permesso di sviluppare alcune considerazioni qualitative di seguito riportate.

Secondo quanto riportato nello studio di MS2: i valori delle frequenze principali nel territorio di Campegine presentano significativo campo di variabilità prevalentemente compreso tra 0.7-1.0 Hz e 2-5 Hz, con locali massimi di 7-11 Hz correlati alla presenza di sequenze sabbioso ghiaiose nei primi 3-10 m dal p.c. locale nelle zone nord est e di successione ghiaioso - sabbiose.

Tali parametri concordano con il modello litostratigrafico del sottosuolo dell'area in esame che nelle zone meridionali - meridionali orientali, prevalentemente contraddistinte dai valori medi relativi maggiori (2-4 Hz), è caratterizzata sino a 70-100 m dal piano campagna da sequenze prevalentemente ghiaiose addensate a comportamento sismico relativamente più rigido.

D'altra parte i valori relativi inferiori (0.7-1.0 Hz) generalmente si riscontrano nelle zone settentrionali occidentali settentrionali nelle quali prevalgono nei primi 70/100 m del sottosuolo gli orizzonti argilloso limosi - limoso argillosi rispetto a quelli ghiaioso sabbiosi che in tali settori si approfondiscono maggiormente rispetto al piano campagna.

Infine, nello studio di MS2, è stata effettuata la quantificazione del fattore di amplificazione in tutte le zone del territorio comunale di Campegine.

La microzonazione sismica di secondo livello di approfondimento, effettuata per le aree di interesse dell'urbanizzato, che praticamente ricopre tutto il territorio comunale, individua le zone a comportamento sismico equivalente attribuendo alle stesse indici quantitativi che definiscono in base alle condizioni stratigrafiche e topografiche l'amplificazione sismica attesa ($T_r = 475$ anni; $\xi = 5\%$).

Ad ognuna delle microzone individuate sono assegnati i valori dei Fattori di Amplificazione (F.A.) determinati in base alla **tab. Pianura 1 A 2.1.2 DGR 2193/2015**.

In funzione di tali elaborazioni sono stati visualizzati nelle tavole i valori dei fattori di amplificazione dell'accelerazione in superficie in condizioni di *free field*: FA. PGA e dell'intensità spettrale: FA.IS. Questi ultimi, attinenti alle microzone individuate, sono stati riferiti agli intervalli **0.1 - 0.5 sec, e 0.5 - 1.0 sec.** come previsto dai testi di indirizzo e **DGR 1919/2013**.

Da quanto emerso dallo studio di microzonazione sismica di Livello 2 condotto, è possibile affermare che circa la metà del territorio comunale è da considerarsi potenzialmente instabile, in quanto definito come suscettibile di instabilità per Liquefazione e per Cedimenti Differenziali.

Pertanto, gli obiettivi principali del presente studio di MS3 sviluppati nei seguenti capitoli, sono:

1. Il calcolo dei fattori di amplificazione (FA) relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico: l'accelerazione di picco orizzontale (PGA) e l'intensità spettrale entro tre intervalli di periodo T_0 (SI1 0.1-0.5s, SI2 0.5 - 1.0s, SI3 0.5 - 1.5s), tramite uno **studio di risposta sismica locale** condotto per quantificare correttamente la risposta sismica di sito in ciascuna area indagata.
2. La stima dell'indice del potenziale di liquefazione (I_L) dei depositi nelle zone MOPS caratterizzate da tale instabilità.
3. La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica dei depositi caratterizzati da tale instabilità.
4. L'aggiornamento e adeguamento delle cartografie preesistenti sulla scorta dei risultati ottenuti nello studio di MS3.

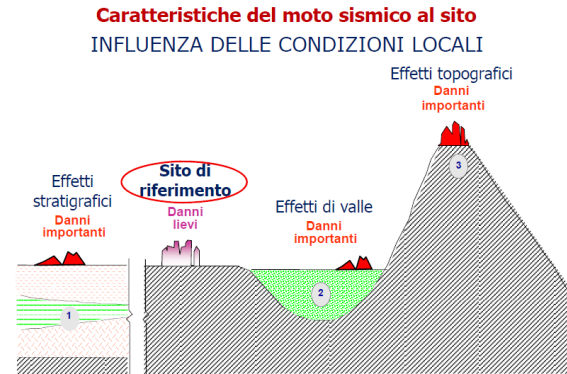
Riguardo la stima del potenziale di liquefazione, la procedura, utilizzata negli ultimi anni, per l'analisi dinamica dei terreni si basa sul metodo lineare-equivalente e tramite correlazioni semplificate tra parametri geotecnici (q_c , q_l , ecc.) e resistenze offerte dai depositi, durante un evento sismico di magnitudo rilevante. In conformità con tale procedura, sono state condotte delle verifiche alla liquefazione dei suoli sui livelli potenzialmente liquefacibili, utilizzando indagini geognostiche (CPT, granulometrie e altro) secondo il **metodo di Idriss e Boulanger (2014)**, come previsto all'Allegato A3 "*Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento*" punto A) *Valutazione delle possibilità di occorrenza alla liquefazione della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna*.

In riferimento, invece alla stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica, va precisato fin da ora che tale analisi è affetta da notevoli incertezze e che i valori che si ottengono applicando le procedure descritte e previste all' A3 "*Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento*" punto B) *Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna* devono intendersi solo orientativi.

7.1. Risposta sismica locale

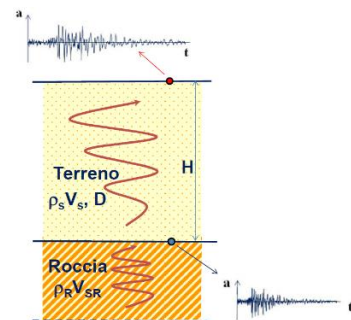
Le caratteristiche del moto sismico in superficie (*free-field*) sono il risultato di un insieme di fenomeni legati in generale al meccanismo di sorgente e al cammino di propagazione, tuttavia numerose osservazioni dirette hanno evidenziato che ciò che maggiormente influenza il moto sono le cosiddette “condizioni locali” del sito, ovvero le caratteristiche geologiche, morfologiche e geotecniche dei depositi e degli ammassi rocciosi superficiali.

Gli “Effetti di Sito” o “Risposta Sismica Locale” che si possono riassumere nelle modifiche in termini di ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il moto sismico subisce rispetto al moto di riferimento su affioramento rigido pianeggiante, sono legati a tre tipi principali di effetti: effetti stratigrafici monodimensionali (1D), effetti di valle (2D - 3D) ed effetti topografici (2D - 3D).



Nel sito oggetto di indagine, data la conformazione topografica superficiale nonché le condizioni stratigrafiche e morfologiche del sottosuolo è possibile stimare che la Risposta Sismica Locale sia legata sostanzialmente ad effetti stratigrafici monodimensionali (1D).

Gli effetti stratigrafici 1D sono legati alla interazione tra onde sismiche e caratteristiche geotecniche dei terreni (in particolare al rapporto di impedenza sismica $I = \rho_R V_{SR} / \rho_S V_S$ e al rapporto di smorzamento del terreno D), nonché ai fenomeni di risonanza tra moto sismico e deposito che si verificano quando il periodo fondamentale del deposito coincide con quello del moto sismico.



Ipotesi, generalmente assunte, nella modellazione della RSL, sono inoltre le seguenti: gli effetti indotti dalle onde P sono trascurabili, il moto sismico orizzontale è indotto da onde S che si propagano in direzione verticale e il moto sismico è rappresentabile mediante un accelerogramma (dominio del tempo) o uno spettro di Fourier (dominio delle frequenze).

L'analisi della RSL, avviene attraverso il calcolo della funzione di trasferimento, che descrive la trasformazione, nel dominio delle frequenze, del moto in superficie rispetto a quello della formazione rocciosa di base o affiorante; mentre al variare della scala di indagine variano i metodi di valutazione degli effetti amplificativi utilizzati.

I metodi numerici, che in base alla dimensionalità del problema si dividono in 1D, 2D e 3D, consentono di analizzare in maniera accurata la RSL ma richiedono la definizione e la conoscenza di tutti gli elementi che intervengono nella RSL, ovvero:

- il moto sismico di riferimento (accelerogramma) in corrispondenza della formazione rocciosa (alla base o affiorante);
- modello geometrico del sottosuolo (stratigrafia e morfologia sepolta);
- caratteristiche geotecniche dei terreni.

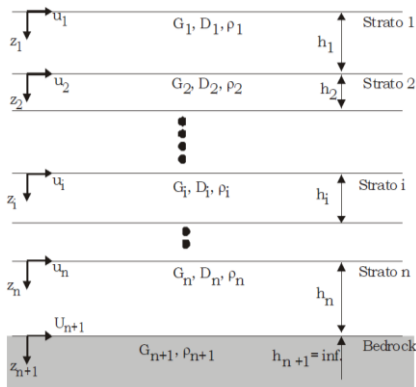
Per il sito in esame, sono stati realizzati modelli di rigidità del sottosuolo utilizzando le sismostratigrafie e i valori di rigidità ottenuti dalle indagini sismiche. Tali modelli sono stati successivamente utilizzati per effettuare modellazioni numeriche monodimensionali (1D) finalizzate alla quantificazione dell'azione sismica in superficie.

Codice di calcolo numerico STRATA (Rathje & Kottke, 2008) v.0.5.9.

Nel caso in esame, lo strumento di modellazione numerica utilizzato è stato il codice di calcolo numerico STRATA (Rathje & Kottke, 2008) v.0.5.9.

La tecnica di risoluzione numerica adoperata dal software è il modello lineare equivalente 1D in termini di tensioni totali, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- successione di strati omogenei a comportamento visco-elastico;
- substrato orizzontale deformabile;
- strati e substrato infinitamente estesi orizzontalmente;
- direzione verticale di propagazione delle onde di taglio.



Dal punto di vista operativo, il deposito è schematizzato come una colonna di terreno multistrato continua e ad ogni strato, considerato omogeneo a comportamento visco-elastico lineare, è applicata l'equazione della trave a taglio, riportata a seguire:

$$\rho_i \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = G_i \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} + \eta_i \cdot \frac{\partial^3 u_i}{\partial z^2 \partial t} \quad \text{con } \eta_i = \frac{2G_i D_i}{\omega_i}$$

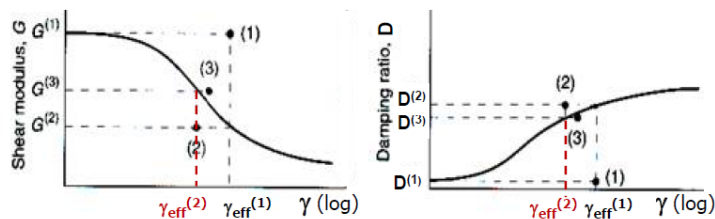
L'analisi viene condotta nel dominio delle frequenze (modello a strati continui), imponendo la congruenza degli spostamenti a contatto tra strati successivi. I dati necessari richiesti dal programma per risolvere il problema sono:

- accelerogramma su *bedrock* geofisico affiorante;
- velocità delle onde di taglio;
- numero di strati e per ogni strato: spessore, densità, modulo di taglio iniziale G_0 e curva $G_i(\gamma)$ normalizzata;
- curva del rapporto di smorzamento $D_i(\gamma)$.

Per poter utilizzare la Trasformata di Fourier e applicare il principio di sovrapposizione, è necessaria l'ipotesi di linearità del terreno (in realtà G e D variano con γ) e pertanto viene impiegato un approccio lineare equivalente, che consiste in una sequenza di analisi lineari in cui G e D vengono continuamente aggiornati, fino a convergenza, mediante una procedura iterativa:

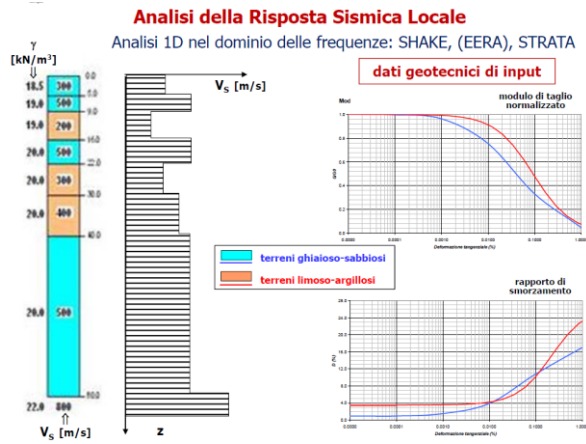
- con i valori iniziali G_0 e D_0 ($G^{(1)}$ e $D^{(1)}$) è eseguita un'analisi lineare, determinando l'andamento della deformazione di taglio nel tempo $\gamma(t)^{(1)}$ e quindi $\gamma_{eff}^{(1)}$
- sulle curve $G(\gamma)$ e $D(\gamma)$ in corrispondenza di $\gamma_{eff}^{(1)}$ vengono ricavati i nuovi valori $G^{(2)}$ e $D^{(2)}$ e ripetuta una nuova analisi lineare, determinando nuovamente $\gamma(t)^{(2)}$ e quindi $\gamma_{eff}^{(2)}$
- l'analisi è ripetuta fino a convergenza
($|\gamma_{eff}^{(n)} - \gamma_{eff}^{(n-1)}| < \varepsilon$)

$$\gamma_{eff} = \beta \cdot \gamma_{max} \quad \text{in genere } \beta = 0.65$$



Di seguito si riporta in termini puramente schematici un sunto dei dati geotecnici di input necessari ad una analisi 1D nel dominio delle frequenze e dei risultati in uscita:

Dati geotecnici di input:



Risultati in uscita:

Analisi della Risposta Sismica Locale
Analisi 1D nel dominio delle frequenze: SHAKE, EERA, STRATA

- Risultati in uscita**
- storie temporali di accelerazione, velocità, spostamento, deformazione e tensione di taglio per ciascuno strato, incluso il bedrock
 - spettri di Fourier e spettri di risposta elastici in termini di accelerazione, velocità e spostamento per ciascuno strato, incluso il bedrock
 - andamento con la profondità dei valori massimi di accelerazione, velocità, spostamento, deformazione e tensione di taglio
 - funzione di trasferimento

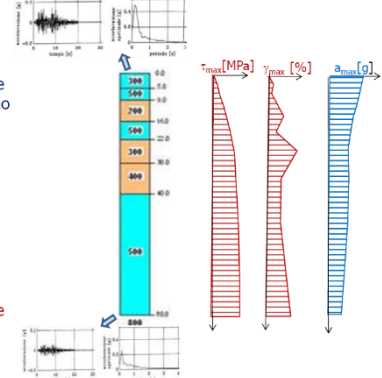
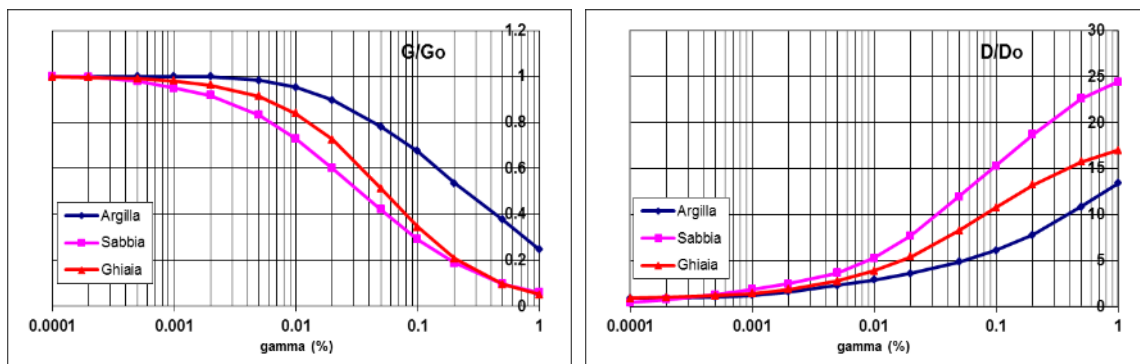


Immagine tratta da: Risposta Sismica Locale - Prof. Ing. C. Madiati - Università di Firenze, Dip. Di Ing. Civile e Ambientale

Risultati ottenuti dall'analisi condotta

Per quantificare l'azione sismica in superficie in corrispondenza di ciascuna area (Zona LIQ_1 - Zona LIQ_6) sono stati realizzati nr.6 modelli monodimensionali sui quali sono state successivamente condotte le simulazioni numeriche.

Le sismostratigrafie e i valori di rigidità utilizzati sono quelli ottenuti dalle indagini sismiche eseguite appositamente e precedentemente descritte, mentre per i materiali di copertura è stato utilizzato lo smorzamento isteretico tramite le curve G/G_0 e D/D_0 indicate negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica e sotto riportate.



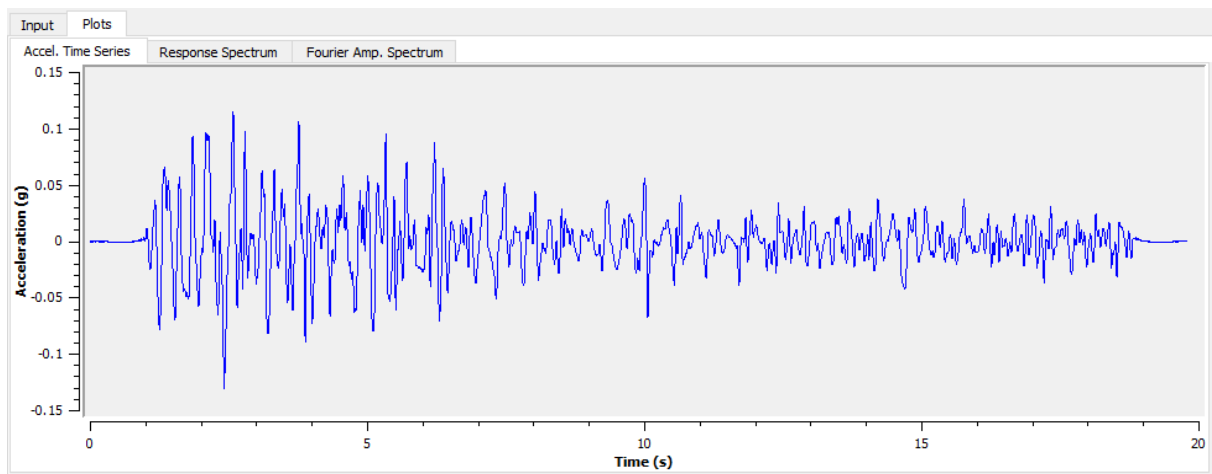
Nel rispetto della normativa vigente - D.M. 14/01/2008 - è stata assunta una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento (P) e con il periodo di ritorno (T_r) relativi allo stato limite considerato. In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione (V_n) di 50 anni, un coefficiente d'uso (C_u) pari a II e quindi una vita di riferimento $V_r = 50$ anni. A partire da queste indicazioni, si è determinato un periodo di ritorno dell'azione sismica di 475 anni corrispondente ad una probabilità di superamento del 10% allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

L'input sismico utilizzato è rappresentato da una terna di storie accelerometriche applicate alla base del modello e riferite agli spettri di normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia sub - orizzontale (T1) e correttamente.

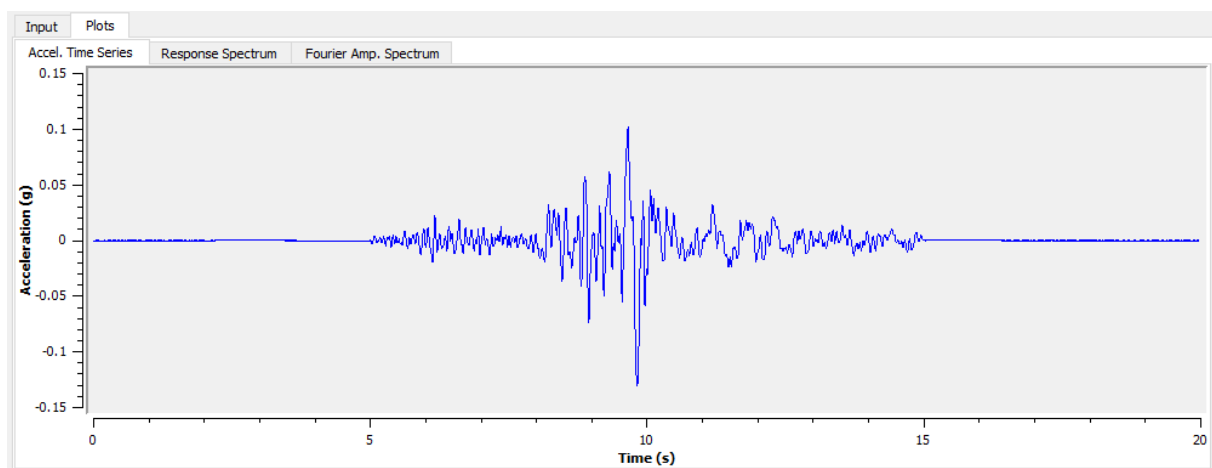
In particolare sono stati utilizzati i tre segnali di riferimento forniti dalla Regione Emilia Romagna ai sensi dell'All. A4 "Spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello" della DGR 2193/2015, già scalati per il comune di Campegine in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di a_{refg} del comune.

Nel dettaglio sono stati utilizzati i tre segnali elencati e rappresentati di seguito:

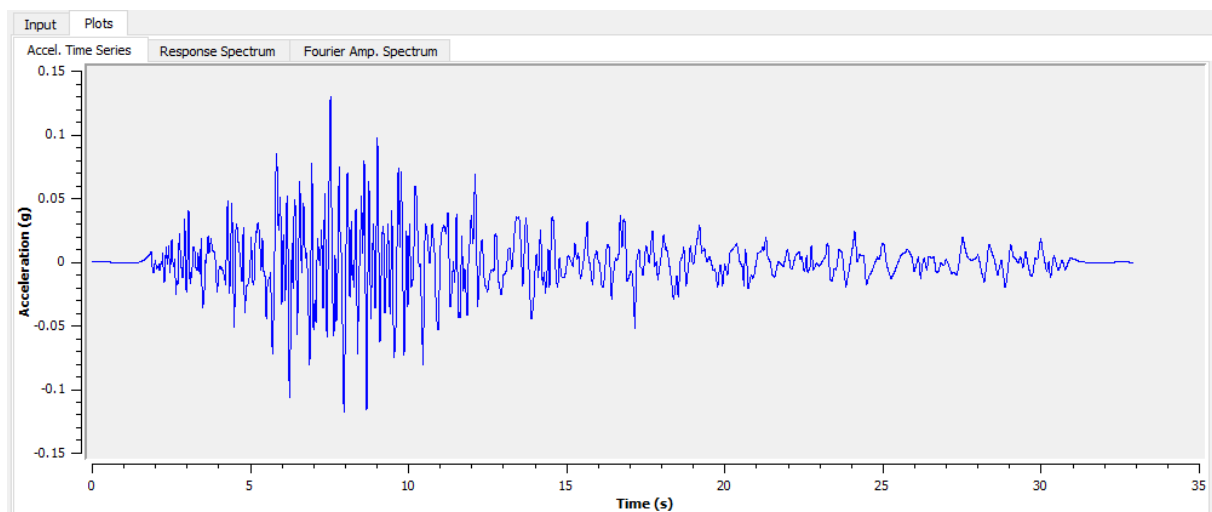
- 000046xa_035010Campegine.xy
- 000126xa_035010Campegine.xy
- 000354xa_035010Campegine.xy



Segnale 000046xa_035010Campegine.xy



Segnale 000126xa_035010Campegine.xy



Segnale 000354xa_035010Campegine.xy

La history (storia temporale) ricavata al tetto del modello (per ogni input sismico applicato) rappresenta la storia accelerometrica orizzontale attesa nel sito d'indagine: ogni history è stata

successivamente plottata in uno spettro di risposta elastico e mediata in una curva rappresentativa (accelerogramma medio).

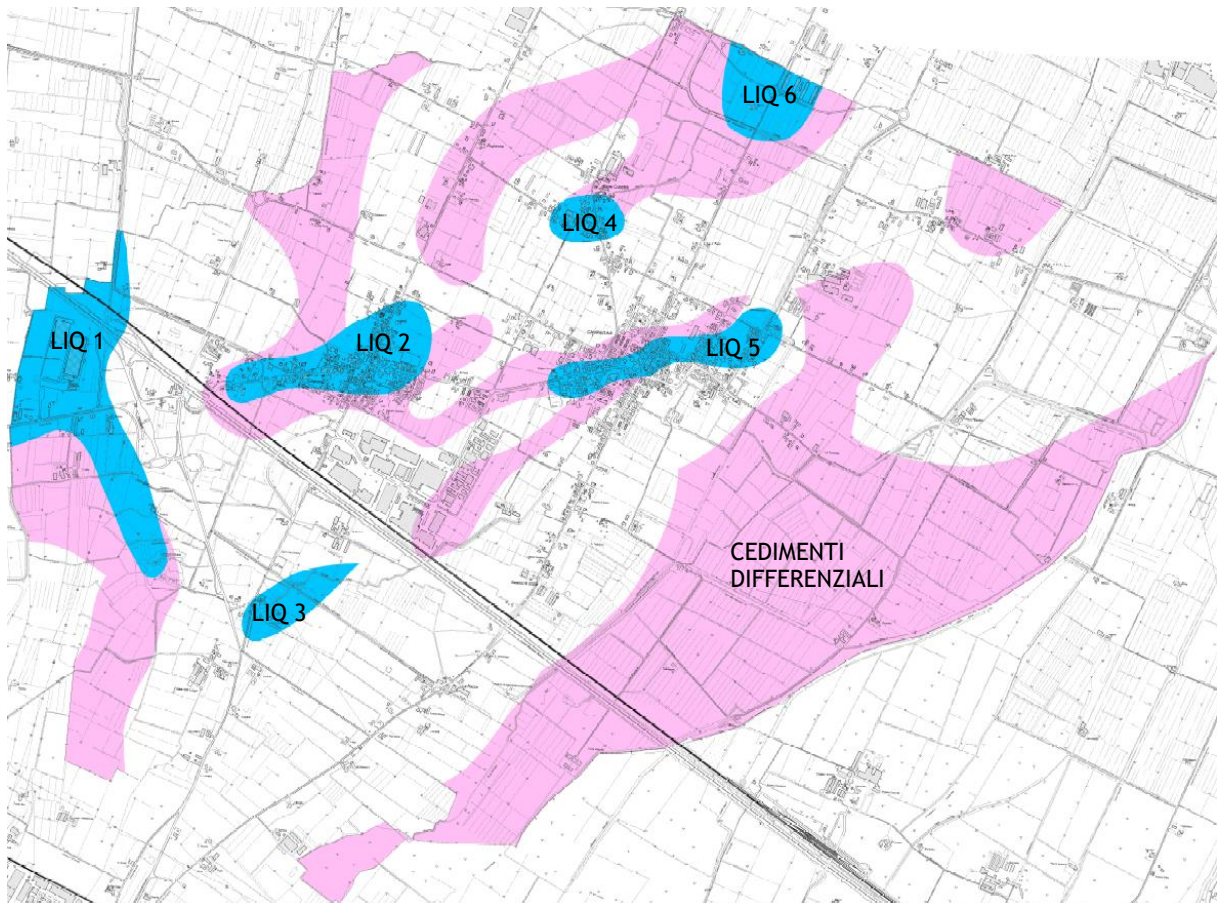
Infine si sono calcolati i Fattori di Amplificazione (FA) che rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo A (NTC 2018).

I FA sono relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico. Il primo è l'accelerazione di picco orizzontale (PGA) e il secondo è l'intensità spettrale:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0$$

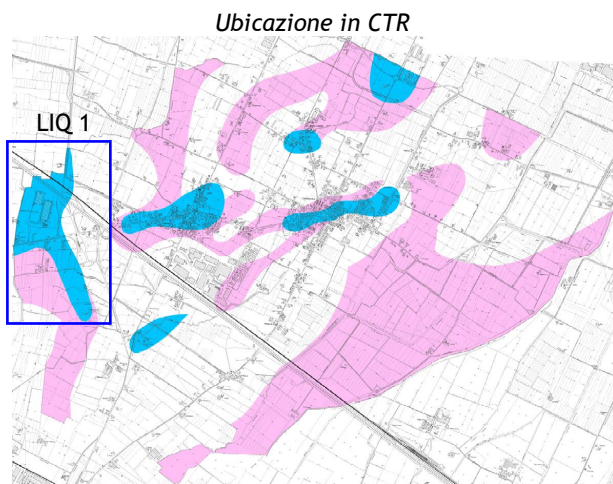
Dove PSV è il pseudospettro di risposta in velocità, T_0 è il periodo proprio e ξ è lo smorzamento. E' stato considerato uno smorzamento pari a 5% e tre intervalli di periodo proprio T_0 ottenendo tre valori di intensità spettrale: SI1 (T_0 compreso tra 0.1 e 0.5s), SI2 (T_0 compreso tra 0.5 e 1.5s) e SI3 (T_0 compreso tra 0.5 e 1.5s).

Per quantificare l'azione sismica in superficie in corrispondenza delle aree interessate dagli approfondimenti di livello 3 (Zone LIQ_1 - LIQ_6 e Zona CEDIMENTI DIFFERENZIALI) sono stati realizzati nr.7 modelli monodimensionali rappresentativi sui quali sono state successivamente condotte le simulazioni numeriche.



Aree oggetto di modellazione di Livello 3

Zona LIQ 1



Profilo di sottosuolo

Profondità (m)	Spessore (m)	Tipo di suolo	Vs (m/s)
0.00	1.00	Argille	110.00
1.00	14.00	Argille	170.00
15.00	35.00	Argille	300.00
50.00	30.00	Ghiaie	300.00
80.00	Half-Space	Bedrock	500.00

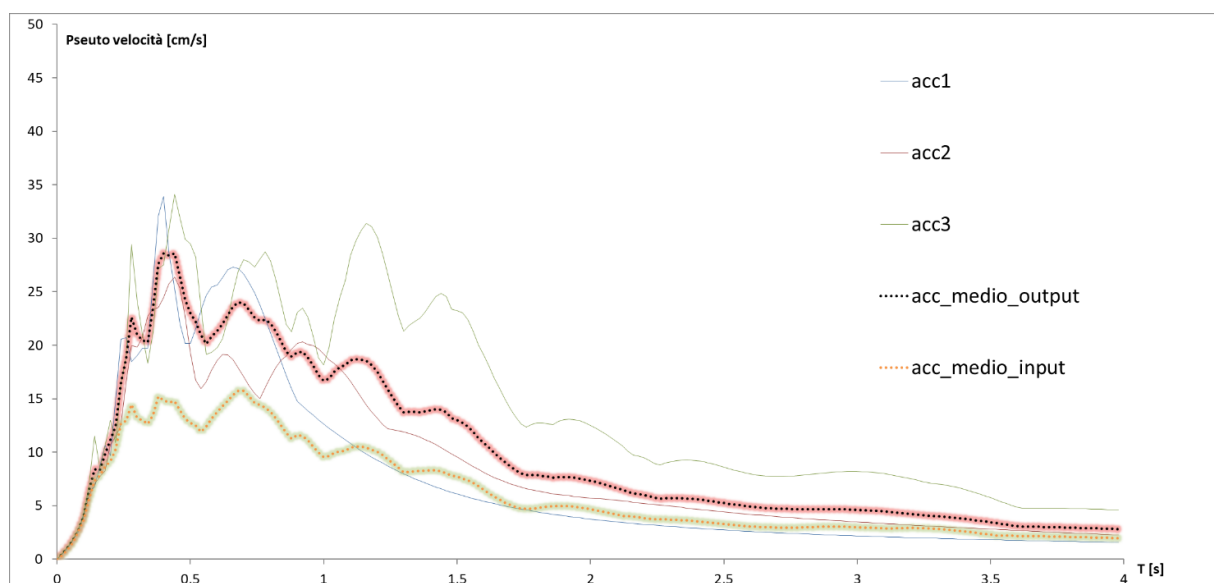
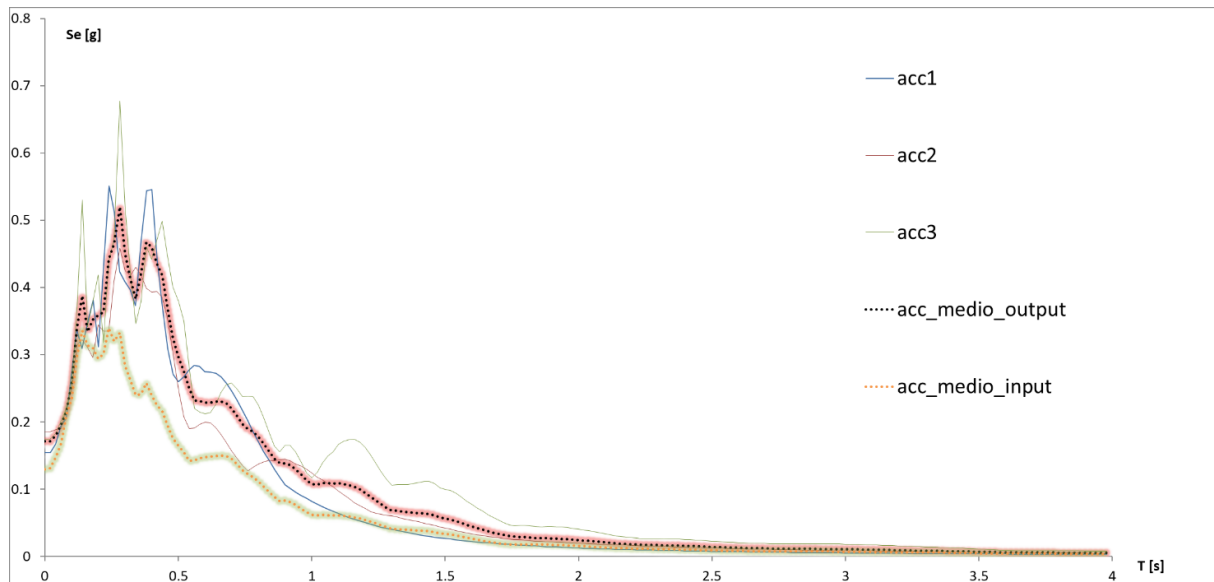
PGA media = **0.18g**

FA PGA = **1.4**

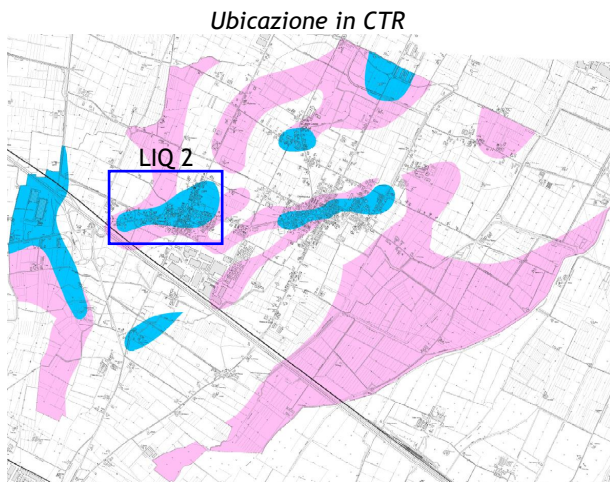
SI1 = **1.6**

SI2 = **1.6**

SI3 = **1.7**



Zona LIQ 2



Profilo di sottosuolo

Profondità (m)	Spessore (m)	Tipo di suolo	Vs (m/s)
0.00	1.00	Argille	110.00
1.00	14.00	Argille	150.00
15.00	35.00	Argille	280.00
50.00	30.00	Ghiaie	280.00
85.00	Half-Space	Bedrock	450.00

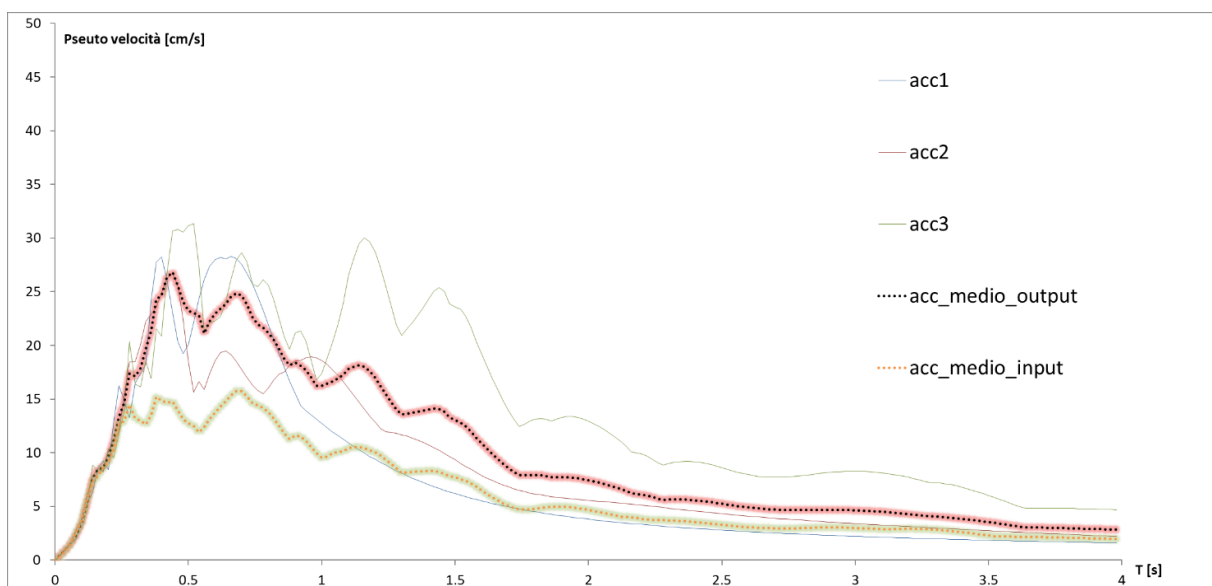
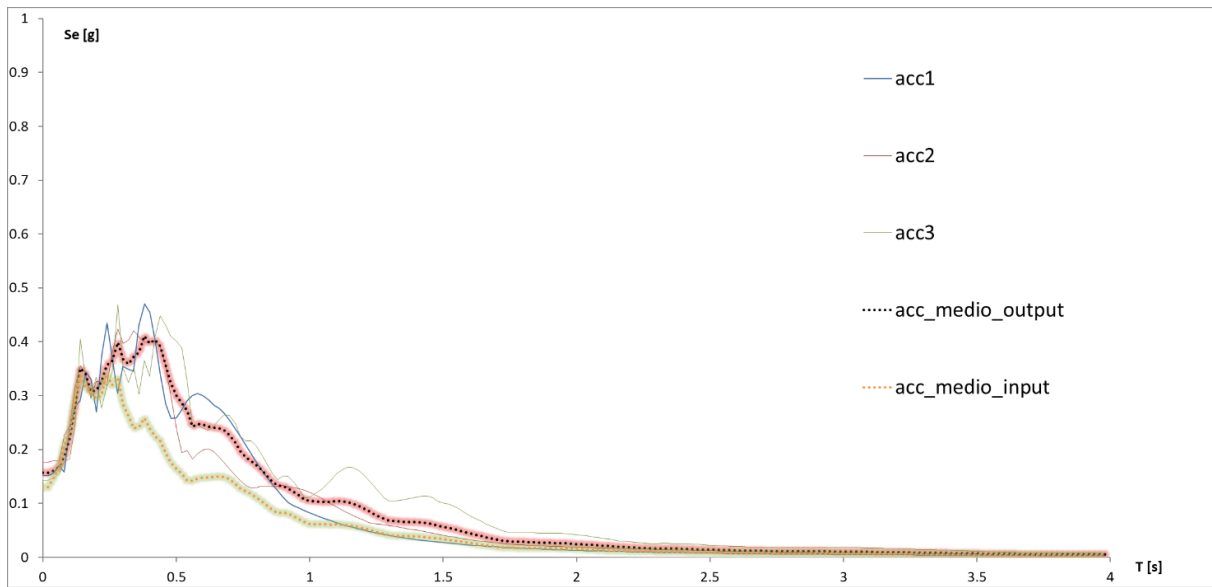
PGA media = **0.16g**

FA PGA = **1.2**

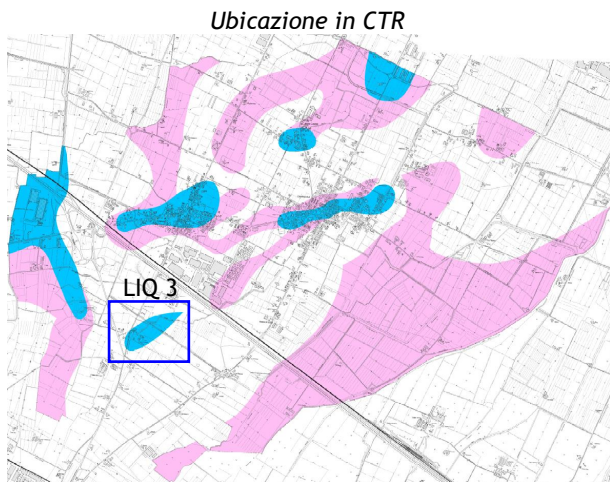
SI1 = **1.4**

SI2 = **1.6**

SI3 = **1.6**



Zona LIQ 3



Profilo di sottosuolo

Profondità (m)	Spessore (m)	Tipo di suolo	Vs (m/s)
0.00	1.00	Argille	95.00
1.00	8.00	Argille	160.00
9.00	90.00	Ghiaie	320.00
99.00	Half-Space	Bedrock	600.00

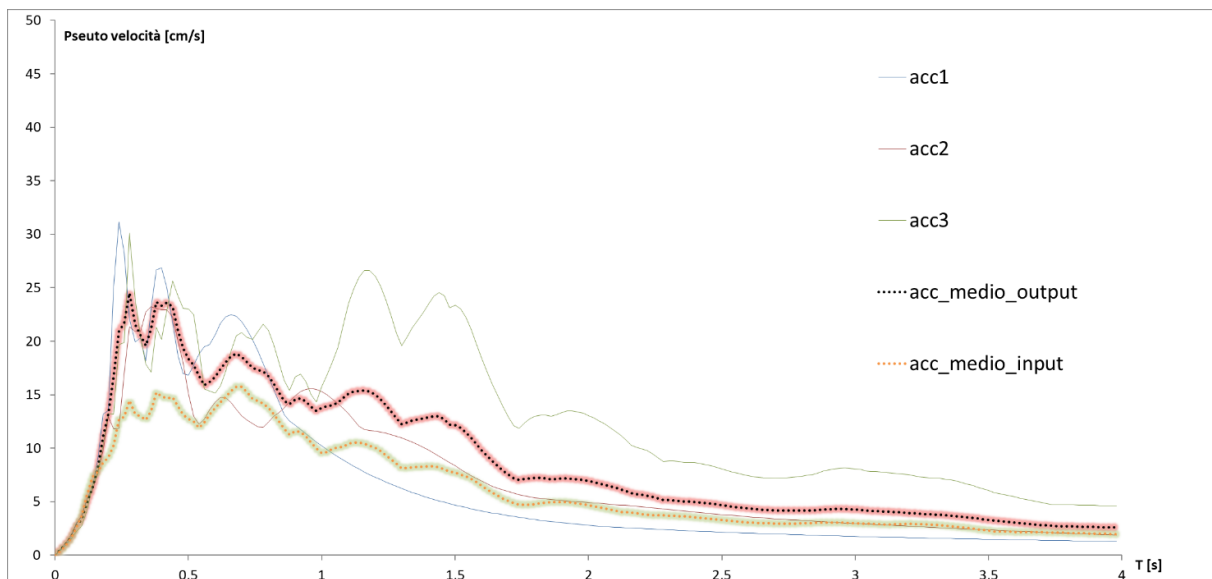
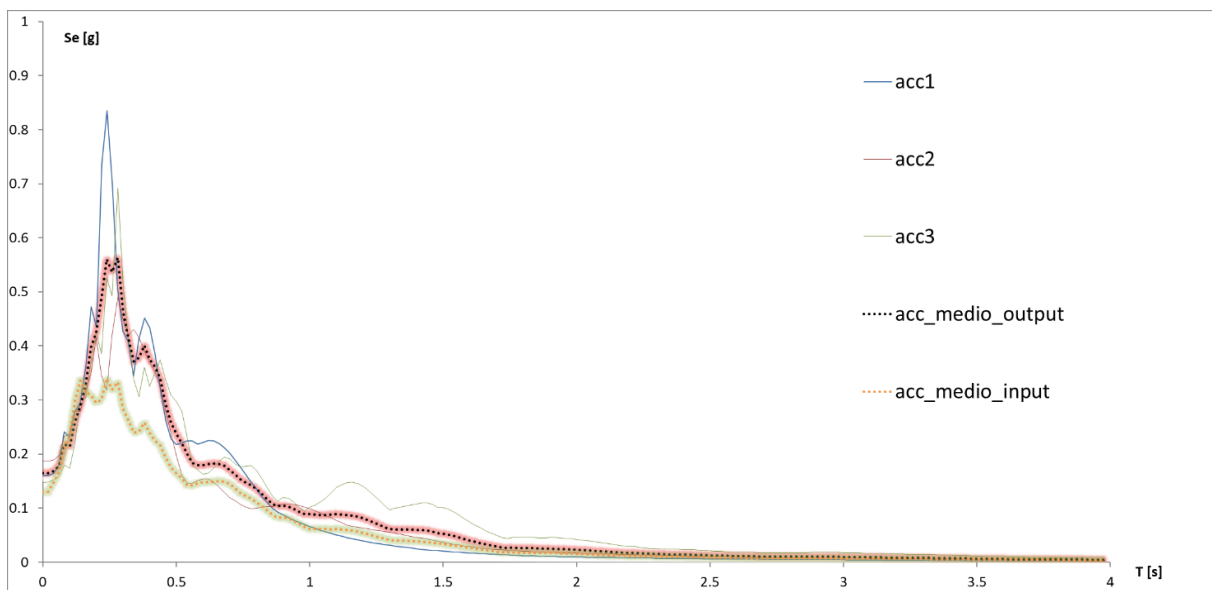
PGA media = **0.18g**

FA PGA = **1.4**

SI1 = **1.5**

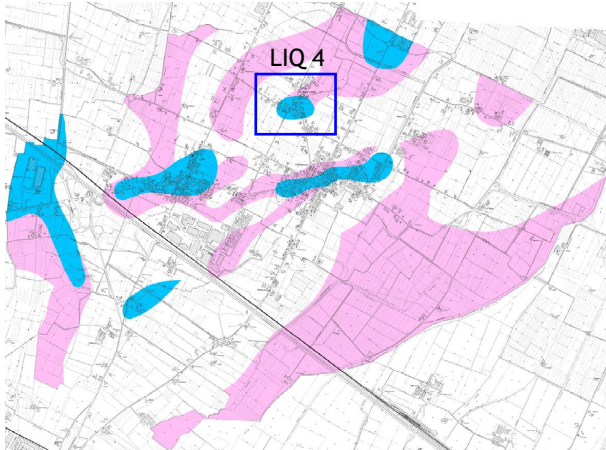
SI2 = **1.3**

SI3 = **1.4**



Zona LIQ 4

Ubicazione in CTR



Profilo di sottosuolo

Profondità (m)	Spessore (m)	Tipo di suolo	Vs (m/s)
0.00	1.30	Argille	113.00
1.30	15.00	Argille	193.00
16.30	40.00	Argille	293.00
56.30	43.00	Ghiaie	293.00
99.30	Half-Space	Bedrock	470.00

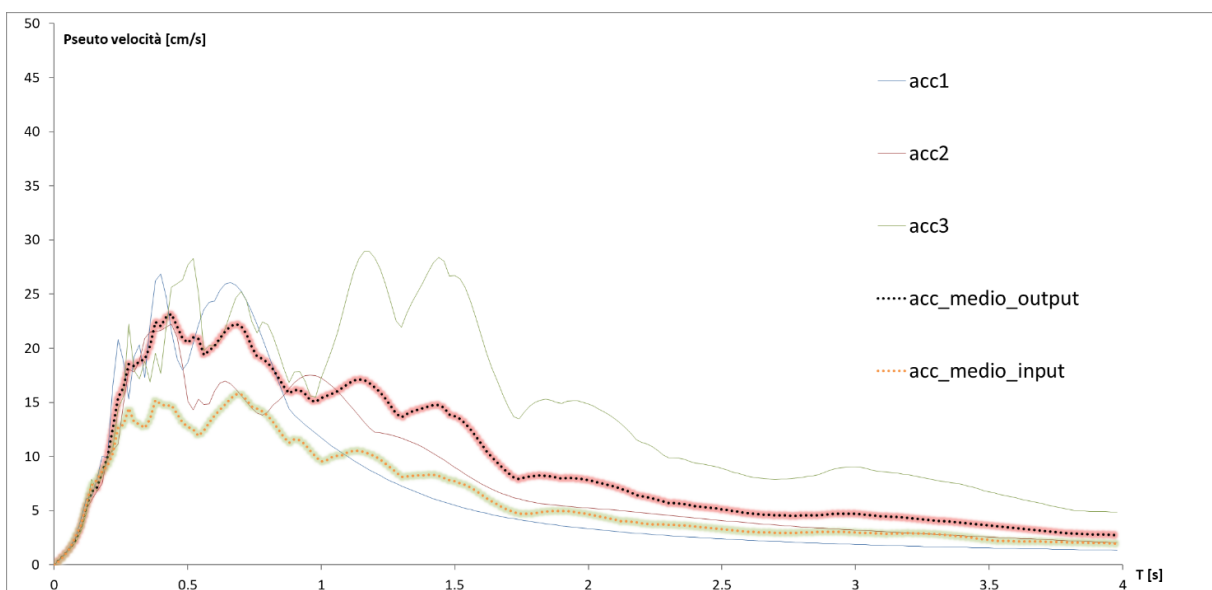
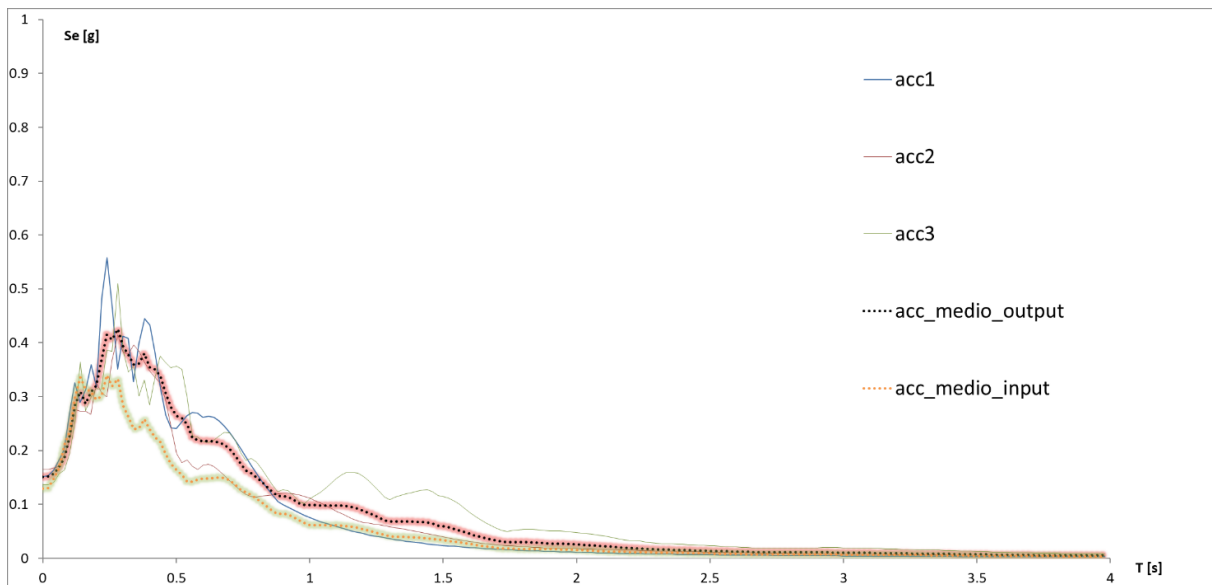
PGA media = **0.16g**

FA PGA = **1.2**

SI1 = **1.4**

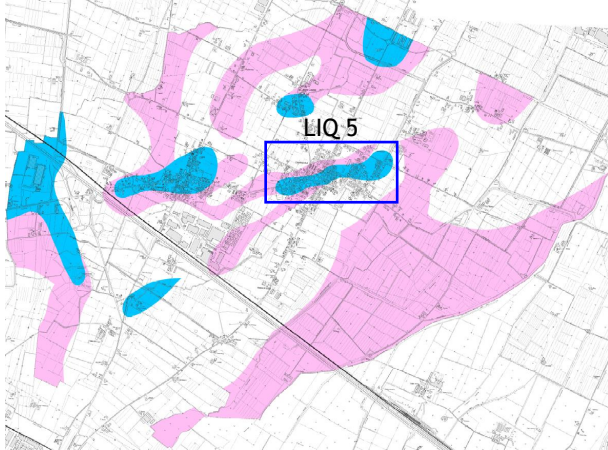
SI2 = **1.4**

SI3 = **1.5**



Zona LIQ 5

Ubicazione in CTR



Profilo di sottosuolo

Profondità (m)	Spessore (m)	Tipo di suolo	Vs (m/s)
0.00	1.20	Argille	110.00
1.20	18.50	Argille	180.00
19.70	35.00	Ghiaie	300.00
54.70	30.00	Argille	300.00
84.70	Half-Space	Bedrock	500.00

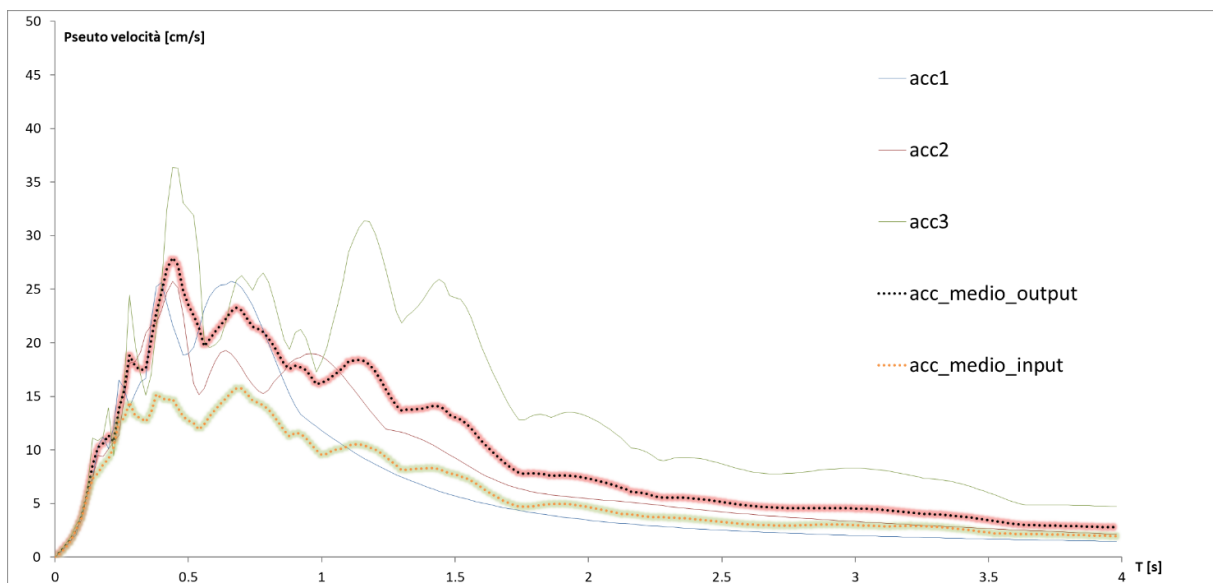
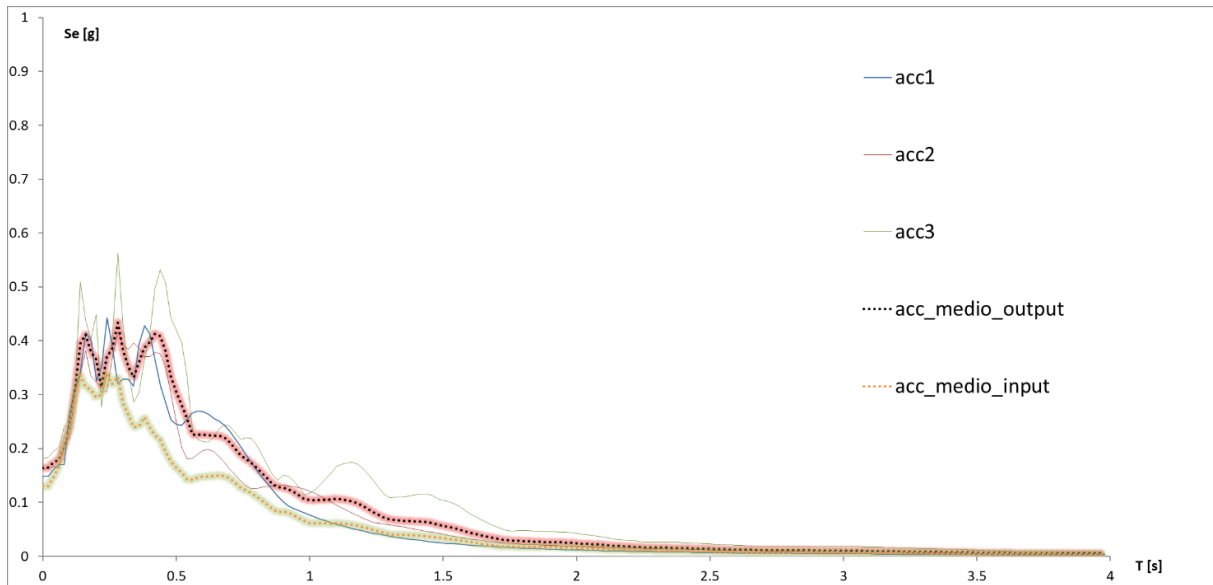
PGA media = **0.15g**

FA PGA = **1.2**

SI1 = **1.5**

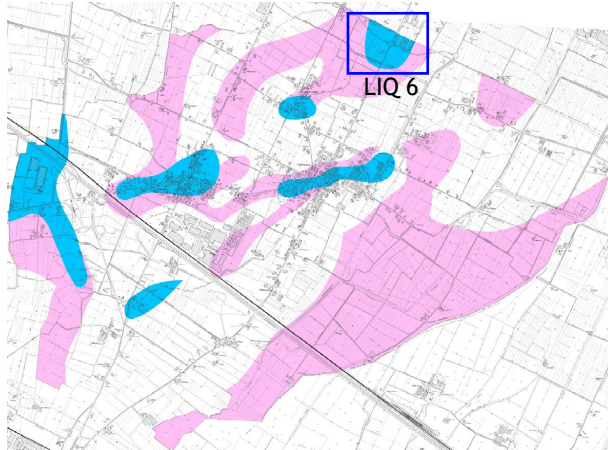
SI2 = **1.5**

SI3 = **1.6**



Zona LIQ 6

Ubicazione in CTR



Profilo di sottosuolo

Profondità (m)	Spessore (m)	Tipo di suolo	Vs (m/s)
0.00	1.30	Argille	100.00
1.30	15.00	Argille	180.00
16.30	40.00	Argille	250.00
56.30	40.00	Ghiaie	250.00
96.30	Half-Space	Bedrock	450.00

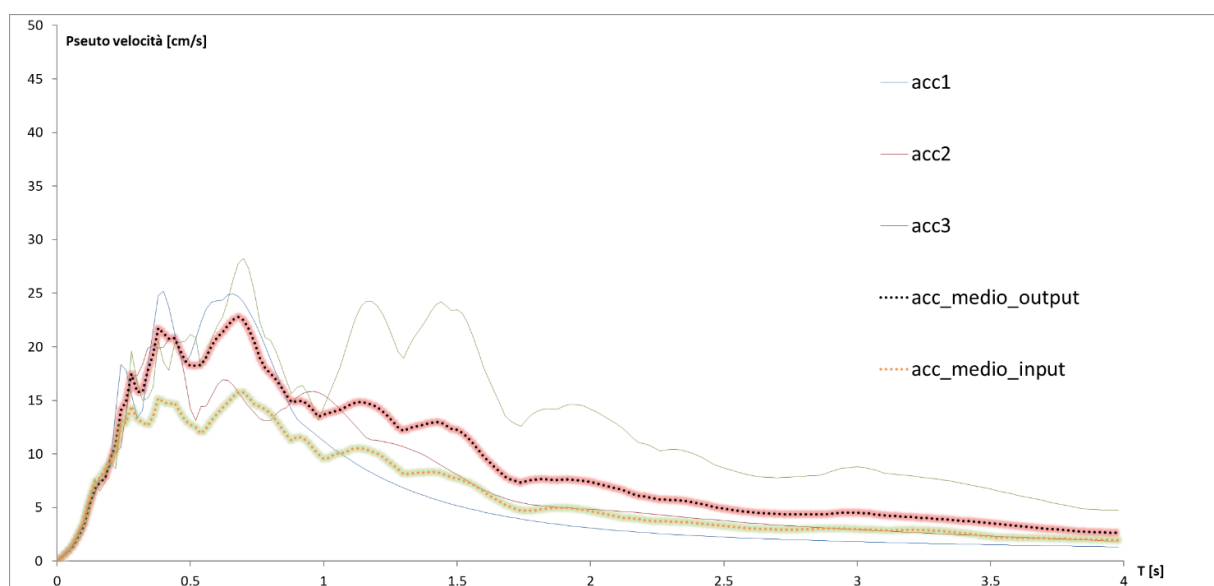
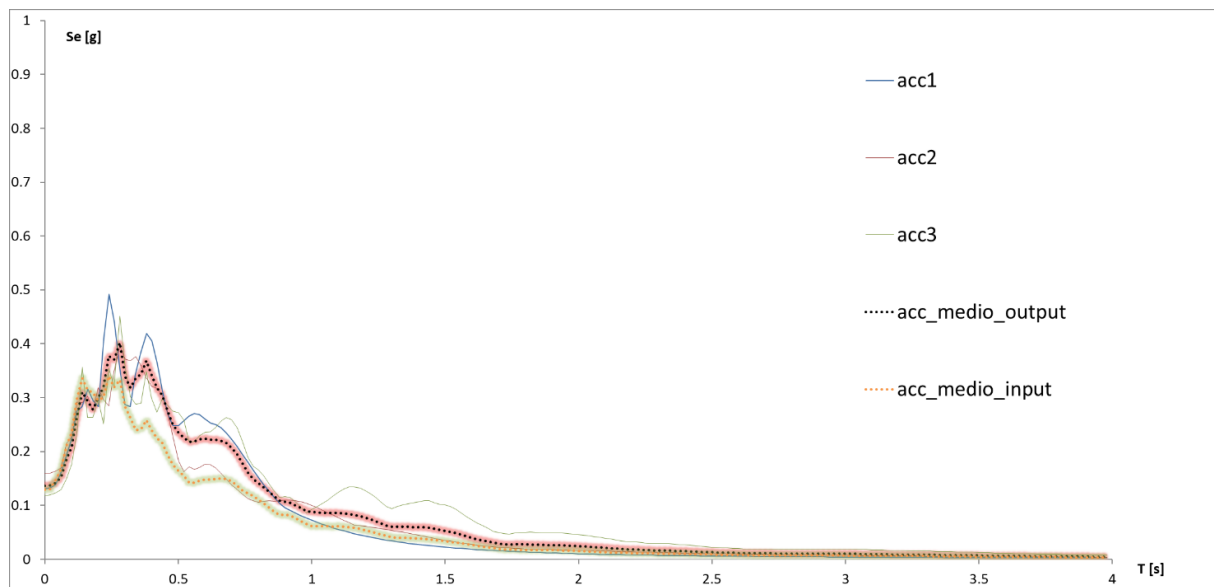
PGA media = **0.14g**

FA PGA = **1.1**

SI1 = **1.3**

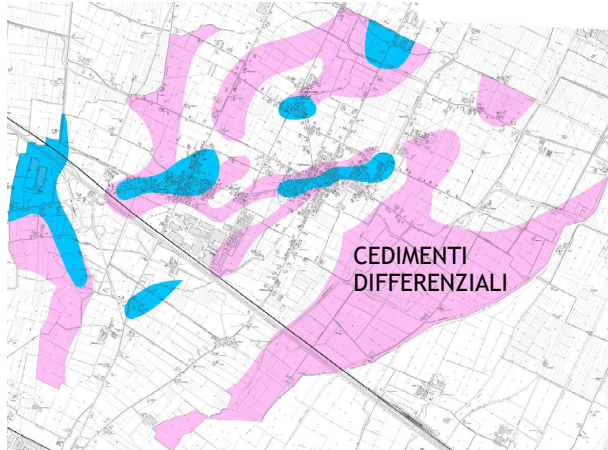
SI2 = **1.4**

SI3 = **1.4**



Zona CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Ubicazione in CTR



Profilo di sottosuolo

Profondità (m)	Spessore (m)	Tipo di suolo	Vs (m/s)
0.00	1.00	Argille	110.00
1.00	10.00	Argille	140.00
11.00	15.00	Argille	210.00
26.00	35.00	Argille	290.00
61.00	30.00	Ghiaie	290.00
91.00	Half-Space	Bedrock	480.00

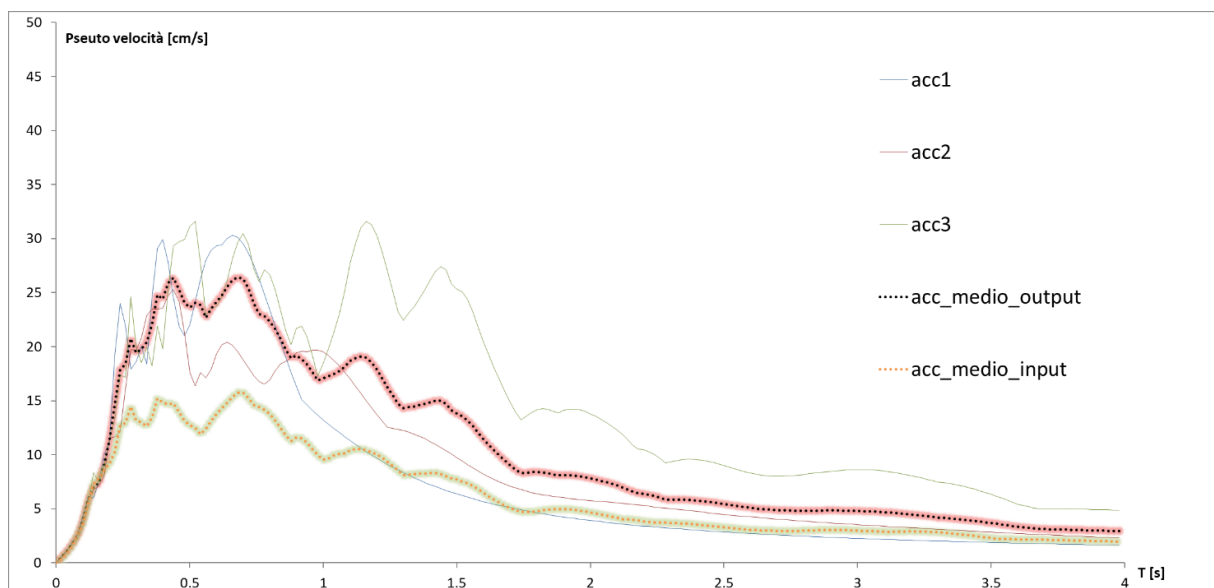
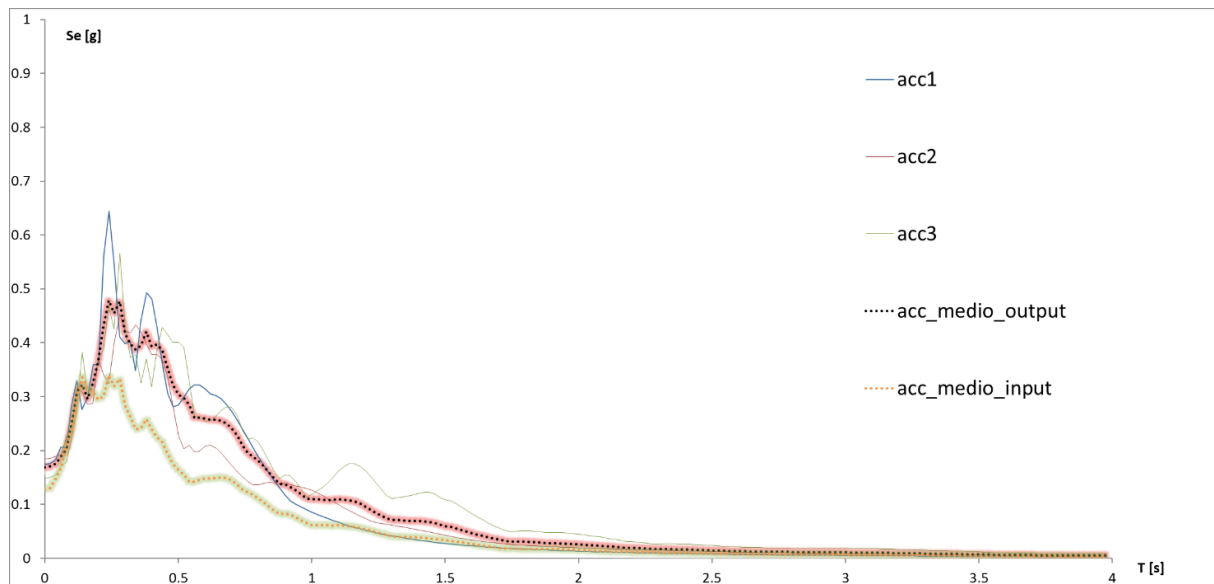
PGA media = **0.18g**

FA PGA = **1.4**

SI1 = **1.5**

SI2 = **1.7**

SI3 = **1.7**



7.2. Valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione

Il pericolo di liquefazione è stato ampiamente indagato valutando la contemporanea presenza sia dei fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) sia predisponenti (susceptibilità dei terreni). Per questo, nella Carta delle MOPS redatta nello studio di Livello 1 e 2, alcune aree del comune di Campegine sono state inserite tra le zone Z_{ALQ} (Zona di attenzione per liquefazione).

A questo punto, per approfondire la reale susceptibilità dei terreni alla liquefazione e stimare quantitativamente il potenziale di liquefazione, è stata condotta una valutazione quantitativa del fenomeno sulla base di alcune prove penetrometriche di tipo CPT pregresse e prove CPT di nuova realizzazione redatte per il presente lavoro.

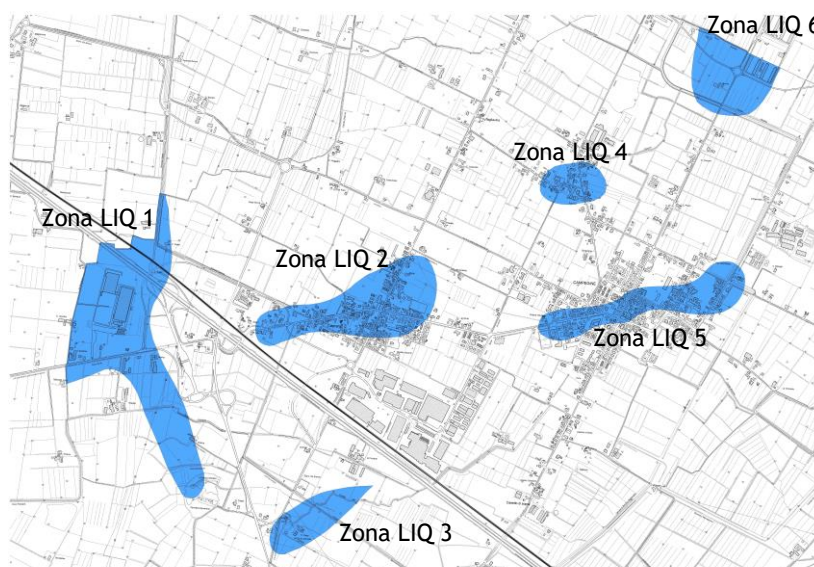
Per quanto riguarda le indagini pregresse, si specifica che tra tutte quelle raccolte nello studio di MS di livello 1 e 2, sono state selezionate n°44 CPT considerando come criteri di scelta una buona qualità del dato, una distribuzione spaziale quanto più possibile omogenea nelle aree instabili per liquefazione e la possibilità di reperire i valori numerici della resistenza di punta e laterale necessari per le verifiche di liquefazione.

La verifica di liquefazione dei suoli è stata eseguita sui livelli potenzialmente liquefacibili, secondo il metodo di Idriss e Boulanger (2014), come consigliato dalla Determinazione Reg. 1105/14 della Regione Emilia-Romagna in base a numerosi studi condotti a seguito del terremoto del 2012. È noto che nei sedimenti granulari la presenza di percentuali di argilla riduce in maniera rilevante la susceptibilità alla liquefazione dei depositi. Anche la presenza di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3 metri può ulteriormente contrastare la liquefazione degli strati sottostanti.

Con le indagini geognostiche analizzate sono state evidenziate le disomogeneità stratigrafiche verticali. Il calcolo del coefficiente di sicurezza F_s individua con $F_s < 1,0$ la possibilità che avvenga la liquefazione, mentre $F_s > 1,0$ esclude la possibilità del fenomeno.

Nel caso specifico la verifica alla liquefazione è stata effettuata sui livelli totalmente o parzialmente incoerenti intercettati fino ad un massimo di 15 m (solitamente più susceptibili a fenomeni di liquefazione), considerando un livello di falda, durante l'evento sismico, prossimo a quello misurato.

Per quanto riguarda i dati sismici di *input*, oltre al valore della magnitudo massima attesa propria della zona sismogenetica in cui ricade il comune di Campegine (M_w paria 6,14), è stato assegnato il valore di a_g (PGA) calcolato tramite lo studio di risposta sismica locale condotto per quantificare correttamente la risposta sismica di sito in ciascuna area indagata.



Zone di attenzione per liquefazione definite nella MS di livello 1 e 2

7.3. Stima dell'indice del potenziale di liquefazione

Per ogni verticale indagata è stato riportato l'indice del potenziale di liquefazione I_L come di seguito definito nelle linee guida regionali:

Potenziale di liquefazione	Classi di pericolosità
$I_L = 0$	Non liquefacibile ($F_L \geq 1.2$)
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$15 < I_L$	Potenziale molto alto

In aggiunta, i terreni incoerenti (saturi e non), se sottoposti a forze dinamiche temporanee, quali intense vibrazioni o eventi tellurici, subiscono un riordino delle particelle, che si traduce in una compattazione dello strato interessato, e quindi in un cedimento, denominato post-sismico.

L'entità della deformazione verticale è funzione della densità iniziale del deposito (per le sabbie), del grado di sovraconsolidazione (per le argille), del suo spessore e della massima resistenza che si sviluppa nello strato. In depositi incoerenti asciutti il cedimento post-sismico avviene pressoché immediatamente, mentre nei depositi incoerenti e coesivi saturi si completa quando le sovrappressioni interstiziali, generate dalle forze dinamiche, vengono interamente dissipate. Per questo, è stata condotta la valutazione dei cedimenti post-sismici per i terreni incoerenti; effettivamente il riordino dei granuli in uno strato a seguito della dissipazione delle sovrappressioni è spesso legata al fenomeno della liquefazione, che interessa i soli depositi sabbiosi. Tuttavia anche depositi coesivi soffici e/o plastici, sotto carichi dinamici particolarmente intensi, possono subire un riassetto delle particelle.

Si precisa che nel caso in esame i cedimenti post-sismici sono stati calcolati nei livelli sabbiosi critici intercettati dalle prove eseguite. Le informazioni sull'ubicazione delle prove utilizzate per le verifiche alla liquefazione sono riportate nella "Carta delle indagini".

In allegato sono stati riportati i *report* completi delle prove in cui è possibile consultare il valore del Fattore di Sicurezza nei confronti della Liquefazione (F_L), dell'Indice del potenziale di liquefazione I_L e del cedimento indotto.

A seguire, invece, si riporta una tabella riassuntiva nella quale sono indicati gli indici di liquefazione e il cedimento per ogni prova CPT e CPTU pregresse e di nuova realizzazione. Inoltre, al colore grigio è associata la bassa o nulla liquefacibilità dei terreni ($0 < I_L \leq 2$), al colore verde corrisponde un pericolo di liquefazione MODERATO ($2 < I_L \leq 5$), al giallo un rischio ALTO ($5 < I_L \leq 15$). Non sono preseti indici con rischio MOLTO ALTO ($I_L \leq 15$).

INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE						
CPT	I_L	Cedimento		CPT	I_L	Cedimento
Liquefazione zona 1						
1	2.32	8.32		257	3.98	8.52
101	2.62	6.05		258	1.97	3.86
102	0.80	1.61		259	1.54	5.15
103	0.70	2.18		260	5.30	15.35
104	2.77	6.27		261	2.30	5.81
105	6.89	17.26		262	4.60	12.53
106	12.33	26.55		263	3.03	9.24
2	0	0.32		264	2.76	6.27
252	5.18	9.85		265	2.82	7.03
253	0.40	1.61		266	6.15	13.72
254	0.12	0.90		267	4.25	13.31

255	2.30	5.81		268	5.22	12.44
256	0.14	0.70		269	3.73	8.91
Liquefazione zona 2						
4	0.37	3.68		181	1.86	8.47
7	0	0		182	0	0
158	0.54	1.45		183	0	0
159	0	0		CPTU 2	0.65	3.34
CPTU 3	0.79	2.67				
Liquefazione zona 3						
3	0.70	1.71				
Liquefazione zona 4						
168	2.20	10.50				
Liquefazione zona 5						
214	0.50	5.15		219	1.34	5.05
215	0.21	1.82		220	0.27	1.66
216	0.13	1.84		221	1.18	4.89
217	0.60	4.37		222	0	0
218	0.28	2.07		CPTU 1	1.17	5.07
Liquefazione Zona 6						
274	0.12	2.32		277	0.14	2.56
275	0.04	1.91		278	0.12	2.54
276	0.30	3.56		8	0.71	4.84

7.4. Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica

La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica è affetta da notevoli incertezze. I valori che si ottengono applicando le procedure nel seguito descritte devono intendersi solo orientativi.

Per cedimento si intende l'abbassamento del piano campagna, ovvero l'integrale della deformazione del terreno in direzione verticale, o anche la sommatoria dei prodotti della deformazione verticale media per lo spessore di ciascuno degli strati deformati. In condizioni edometriche, ovvero in presenza di strati di terreno orizzontali ed omogenei, e con tensione costante in direzione orizzontale, le deformazioni laterali sono nulle e pertanto la deformazione verticale coincide con la deformazione volumetrica. Per semplicità e con approssimazione accettabile, salvo casi di morfologia con forti pendenze e stratigrafie molto variabili in direzione orizzontale, per la stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica si può fare riferimento alle condizioni edometriche. Il cedimento permanente indotto dall'azione sismica in corrispondenza di una verticale di esplorazione si ottiene dalla somma dei contributi al cedimento stimati per i diversi strati del sottosuolo, fino alla profondità alla quale tali contributi non sono più significativi.

Il cedimento permanente post-sismico può dunque essere stimato con l'equazione: $S = \sum \varepsilon_{vi} \times \Delta z_i$; "ε_{vi}" è la deformazione volumetrica (e verticale) dello strato i-esimo e Δz_i il suo spessore.

I cedimenti permanenti indotti dall'azione sismica possono essere dovuti alle deformazioni volumetriche di:

- B1. Terreni granulari saturi,
- B2. Terreni granulari insaturi,
- B3. Terreni coesivi soffici.

I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore ad un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi molli possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche.

La stima dei cedimenti differenziali si è basata sui risultati di prove in sito (CPT e Sondaggi geognostici) e di laboratorio per la determinazione dei parametri stratigrafici e geotecnici.

Nel dettaglio la stima è stata eseguita in nr. 16 siti denominati (CD1 - CD16) in corrispondenza di prove penetrometriche che garantissero una buona caratterizzazione del sottosuolo in termini stratigrafici e di valori di Q_c (KN/m²), e nei pressi di indagini sismiche per la stima dei valori di V_s (m/s) e quindi del calcolo dei valori di G_0 (KN/m²) per ciascun strato analizzato.

Sono stati eseguiti inoltre nr. 2 sondaggi a distruzioni di nucleo (SC1 e SC2) finalizzati al prelievo di nr. 4 campioni geotecnici indisturbati per la determinazione dei Limiti di Atterberg e dell'indice dei vuoti a diverse profondità.

I calcoli sono stati effettuati mediante il software LOADCAP 2016 (Geostru) le cui procedure di calcolo sono state sviluppate facendo riferimento agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica dell'Emilia Romagna.

In particolare LOADCAP 2016 consente di calcolare i cedimenti post sismici per “**terreni coesivi soffici**” per i quali l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto può essere stimata con l'equazione *Yasuhara e Andersen, 1991* mentre per la stima del rapporto di sovrappressione interstiziale è stata utilizzata la relazione empirica *Matsui et al., 1980*.

Sono disponibili poi altri due modelli di calcolo, ed in particolare:

- I cedimenti indotti dall'azione sismica nei “**terreni granulari saturi**” (deformazione volumetrica, ϵ_v stimata mediante *Idriss e Boulanger, 2008*),
- I cedimenti indotti dall'azione sismica nei “**terreni granulari insaturi**” (deformazione volumetrica ϵ_v stimata mediante *Pradel, 1998*).

Per ciascuna verticale indagata si è proceduto alla definizione del modello stratigrafico, geotecnico e sismico e all'applicazione dei diversi codici di calcolo specifici per ciascuna tipologia di terreno analizzato.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i cedimenti totali ottenuti ed il valore di ciascuno dei tre contributi (terreni coesivi, granulari saturi e insaturi).

In allegato si riportano i report riassuntivi con i modelli sviluppati per ciascun sito ed una carta di microzonazione dei cedimenti indotti dall'azione sismica ove, oltre alla perimetrazione delle zone dell'area di studio sono localizzate le verticali esplorate con associato il valore del cedimento totale stimato. Qualora il cedimento totale sia dovuto a più di uno dei meccanismi in precedenza elencati, viene specificato anche il valore di ciascuno dei tre contributi.

Nome Sito	Verticale esplorata	Cedimento totale stimato (mm)	Contributo B1 Terreni granulari saturi (mm) (Idriss e Boulanger, 2008)	Contributo B3 Terreni coesivi soffici (mm) (Yasuhara e Andersen, 1991)
C.D.1	CPT205	65.6127	0	65.6127
C.D.2	CPT184	24.814	0.0029	24.8111
C.D.3	CPT160	30.5553	0	30.5553
C.D.4	CPT197	49.4417	0	49.4417
C.D.5	CPT152	70.604	0	70.604

C.D.6	CPT170	15.4155	0	15.4155
C.D.7	CPT6 - Nuova realizzazione	30.0175	0	30.0175
C.D.8	CPT 285	30.7735	0	30.7735
C.D.9	CPT 272	21.3217	0	21.3217
C.D.10	CPT139 (+SM121)	57.7845	0.0003	57.7842
C.D.11	CPTU 113	32.5258	0.0004	32.5254
C.D.12	CPT137	26.2367	0	26.2367
C.D.13	CPTU 108	33.6369	0.0041	33.6328
C.D.14	CPT 5 nuova realizzazione	54.6496	0	54.6496
C.D.15	CPTU 104	53.2097	0.0009	53.2088
C.D.16	CPT209	7.2622	0.0002	7.262

Il cedimento totale stimato è risultato vincolato alla profondità della verticale indagata (in quanto valore incrementale con lo spessore), ai parametri geotecnici ed anche ai valori di Vs misurati, che pesano notevolmente nel calcolo di G_0 ($G=\rho*Vs^2$).

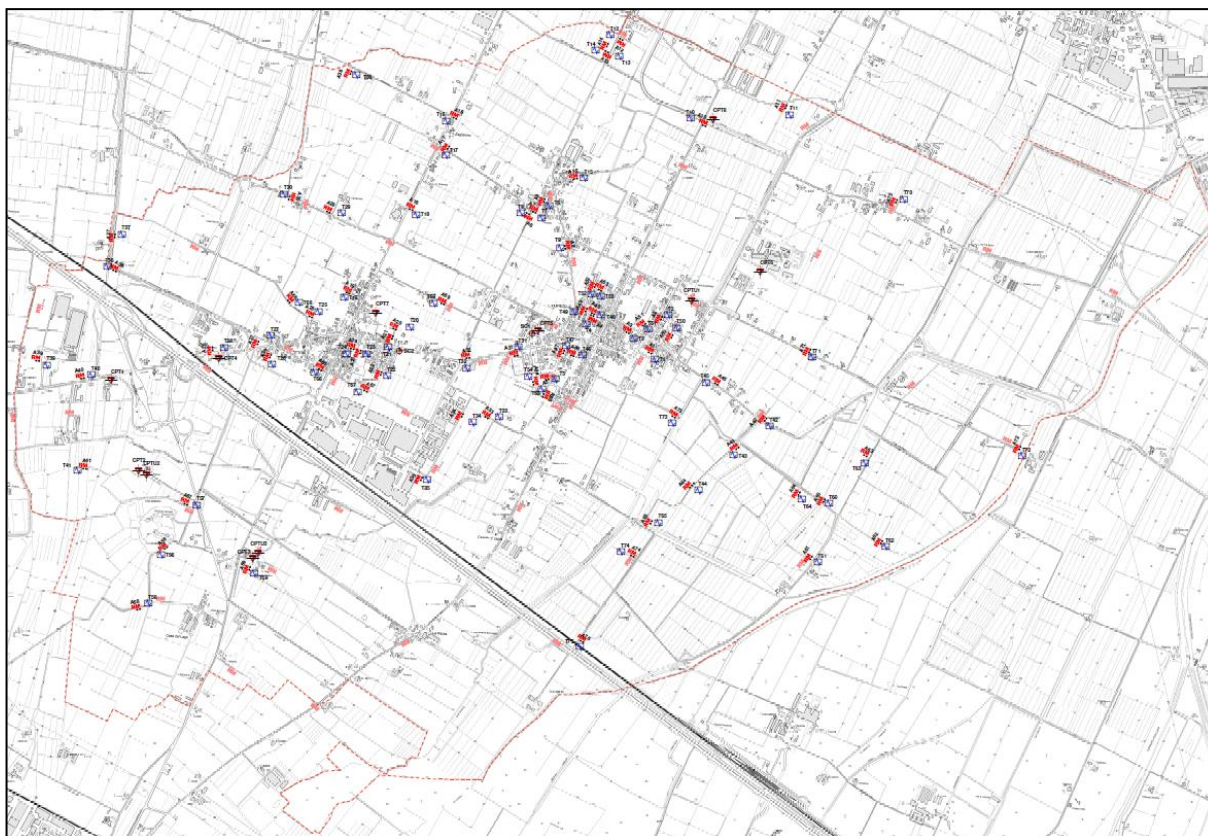
Per tale motivo si è cercato di omogeneizzare al meglio le profondità indagate (variabili dai 10 ai 20 m) ed anche a valutare attentamente i valori di Vs inseriti.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1. Carta delle indagini

Si tratta della cartografia elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, con ubicate le indagini *ex-novo* eseguite in questa fase e quelle desunte da studi pregressi (Microzonazione Sismica di Livello 1 e 2) che hanno consentito di ricostruire l'assetto tettonico e sismo-stratigrafico locale. Le indagini di nuova realizzazione sono state schedate, informatizzate e allegare fuori testo mentre quelle pregresse inserite nel supporto informatico allegato. Riassumendo, le indagini utilizzate per il presente studio possono essere così suddivise:

Tipo di prova	N° di misure pregresse	N° di misure di nuova realizzazione
Prove penetrometriche (CPTU + CPTE)	19	3
Prove penetrometriche (CPT)	197	8
Sondaggi a carotaggio continuo (S)	26	2
Pozzi per acqua (PA)	22	-
Trincee (TR)	5	-
Misure sismiche a stazione singola (HVSr)	44	75
Misure sismiche in array (REMI)	44	75
Misure geoelettriche (ERT)	3	-
TOTALE	239	163



Estratto della Carta delle Indagini

8.2. Carta delle frequenze

La campagna di indagini geofisiche eseguite nel comune di Campegine unitamente a quelle già precedentemente effettuate ha permesso di confermare le caratteristiche in termini di frequenza proprie dei terreni indagati.

In particolare i valori di frequenza fondamentale (F_0) e di ampiezza del picco HVSR sono stati associati nelle seguenti classi:

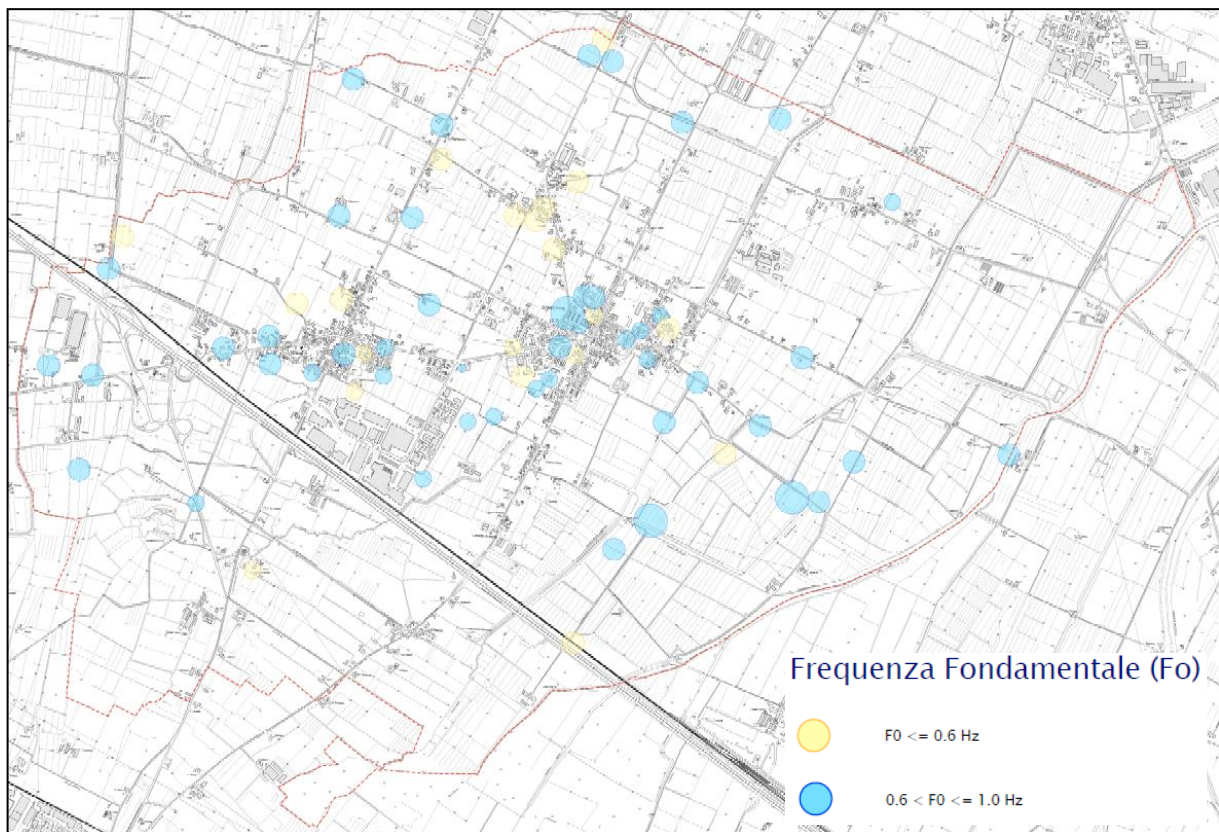
- Frequenze (Hz): $F_0 \leq 0.6$ Hz, $0.6 < F_0 \leq 1.0$ Hz.
- Ampiezze: $H/V < 1.5$, $1.5 \leq H/V < 2.0$, $2.0 \leq H/V < 3.0$, $H/V \geq 3.0$.

Nonostante le frequenze fondamentali risultino tutte comprese tra 0.56 e 1.03 Hz, i valori delle frequenze principali nel territorio di Campegine presentano significativo campo di variabilità prevalentemente compreso tra 0.6-1.0 Hz e 2-4 Hz, correlati alla presenza di sequenze sabbioso ghiaiose nei primi 3/10 m pc nelle zone nord est e di successione ghiaioso - sabbiose nelle 10/30 m pc aree sud ovest.

Tali parametri concordano con il modello litostratigrafico del sottosuolo dell'area in esame che nelle zone meridionali - meridionali orientali, prevalentemente contraddistinte dai valori medi relativi maggiori (2/3÷4 Hz), è caratterizzata sino a -70/-100 m dal piano campagna da sequenze prevalentemente ghiaiose addensate a comportamento sismico relativamente più rigido.

D'altra parte i valori relativi inferiori (0.6/1.0 Hz) generalmente si riscontrano nelle zone settentrionali occidentali settentrionali nelle quali prevalgono nei primi 70/100 m del sottosuolo gli orizzonti argilloso limosi - limoso argillosi rispetto a quelli ghiaioso sabbiosi che in tali settori si approfondiscono maggiormente rispetto al piano campagna.

Sebbene presente in molte misure, non è stato indicato nella carta delle frequenze un modesto picco registrato alle bassissime frequenze (0.2 Hz), in quanto di difficile determinazione e spesso mascherato da artefatti e disturbi antropici.



Estratto della Carta delle Frequenze

8.3. Carta delle velocità delle onde di taglio (Vs)

La campagna di indagini geofisiche Re.Mi. e HVSR oltre a permettere la ricostruzione dell'assetto sismostratigrafico locale ha consentito di calcolare, in ogni sito indagato, anche la velocità delle onde di taglio (Vs).

Dall'analisi dei valori di Vs è emerso che l'intero territorio comunale è caratterizzato da valori di Vs medio bassi, compresi tra circa 160 e 240 m/s.

I valori più alti si registrano nelle aree sud occidentali del comune, mentre le aree caratterizzate da valori più bassi ($V_s < 190$ m/s) sono state evidenziate in verde nell'estratto di mappa riportato a seguire; in rosso sono stati indicati i siti in cui sono stati ricavati valori di Vs inferiori a 180 m/s.



Estratto della Carta delle Vs

8.4. Carte di Microzonazione Sismica - Livello 3

Secondo quanto previsto negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" per la Microzonazione Sismica ed in accordo con la DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna, nel Livello 3 di approfondimento, sono state prodotte le seguenti cartografie:

- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - (FA PGA)
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - SI1 (FA 0.1 - 0.5 s)
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - SI2 (FA 0.5 - 1.0 s)
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - SI3 (FA 0.5 - 1.5 s)

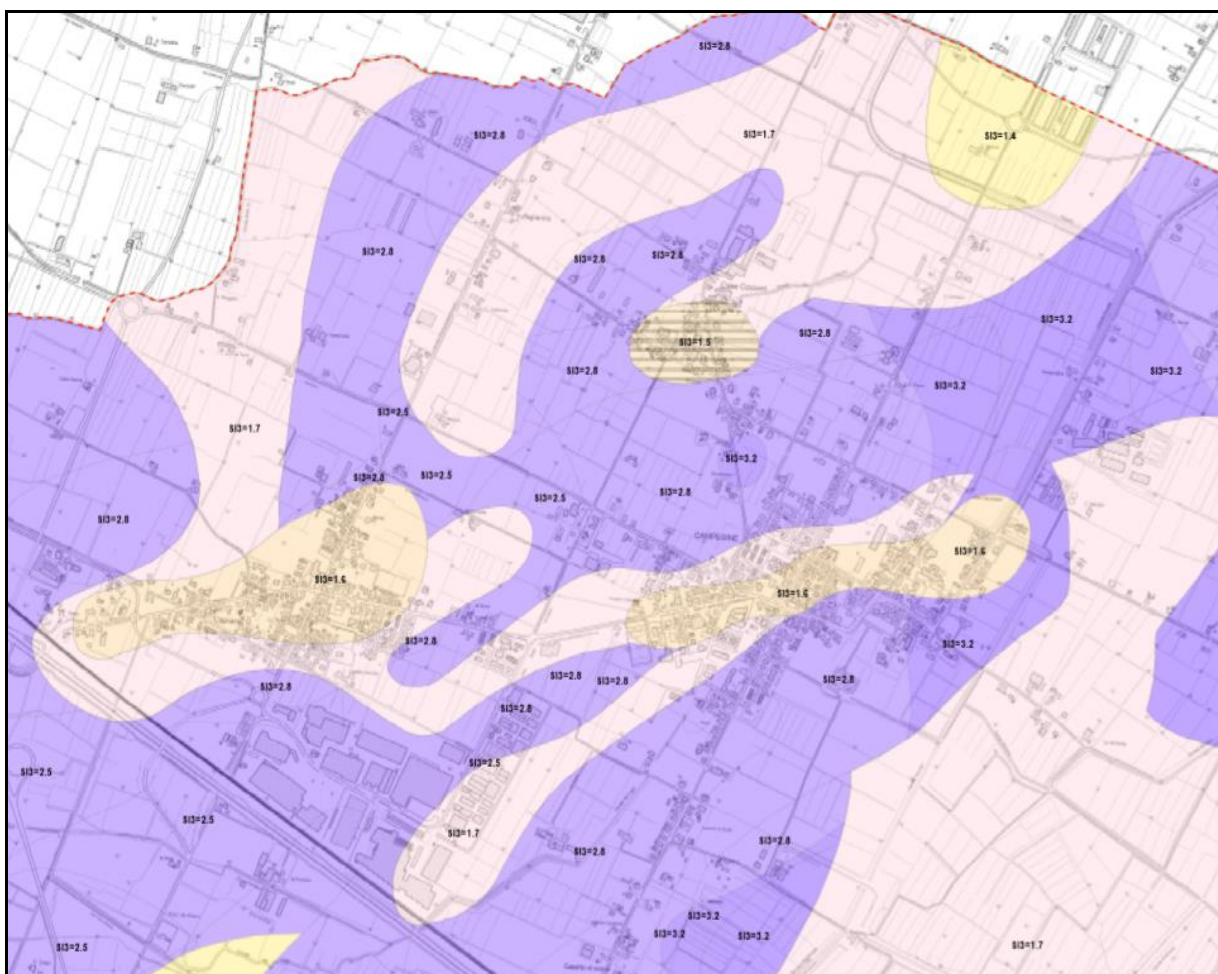
in cui sono stati sovrapposti i valori dei F.A. calcolati mediante analisi di risposta sismica locale, con la perimetrazione delle aree in cui le verifiche alla liquefazione hanno mostrato valori dell'indice di liquefazione I_l maggiore di 2, nonché le aree caratterizzate da presenza di cedimenti differenziali.

Queste cartografie sono state successivamente completate con le aree indagate nel precedente studio di Livello 2, ovvero non oggetto di approfondimento di terzo livello.

Per quest'ultime aree sono stati riportati i valori precedente attribuiti, ovvero i valori dei Fattori di Amplificazione (F.A.) determinati in base alla tab. Pianura 1 A 2.1.2 DGR 2019/2015.

Nello specifico erano stati calcolati i valori sia di FA. PGA sia dell'intensità spettrale FA.IS, ma questi ultimi erano riferiti solamente agli intervalli 0.1 - 0.5 sec e 0.5 - 1.0 sec. come previsto dal DGR 1919/2013.

Per completare in modo omogeneo e nel rispetto della Normativa Vigente (DGR 2019/2015), i valori sono stati integrati con i Fattori di amplificazione nell'intervallo FA.IS 0.5 - 1.5 sec, determinati dalla stessa tabella utilizzata nel precedente lavoro, ovvero tab. Pianura 1 A.



Estratto della Carta delle FA.IS 0.5 1.5 sec

Per quanto concerne le zone di attenzione per cedimenti differenziali, esse mantengono la stessa rappresentazione della Carta di Microzonazione di Livello 2 e a livello nazionale non è prevista la quantificazione e stima di alcun parametro numerico.

In aggiunta, in conformità agli standard regionali dell'Emilia Romagna, sono state predisposte le seguenti cartografie:

- **Carta di microzonazione del rischio di liquefazione**, in cui sono state riportate le verticali esplorate durante le verifiche alla liquefazione e, a ciascuna di esse, è stato associato il valore calcolato dell'indice di potenziale di liquefazione I_L ;
- **Carta di microzonazione dei cedimenti indotti dall'azione sismica**, in cui sono state localizzate le verticali esplorate ed a ciascuna di esse è stato associato il valore del cedimento totale stimato.

Osservando i risultati ottenuti dalla stima degli indici del potenziale di liquefazione è possibile constatare che:

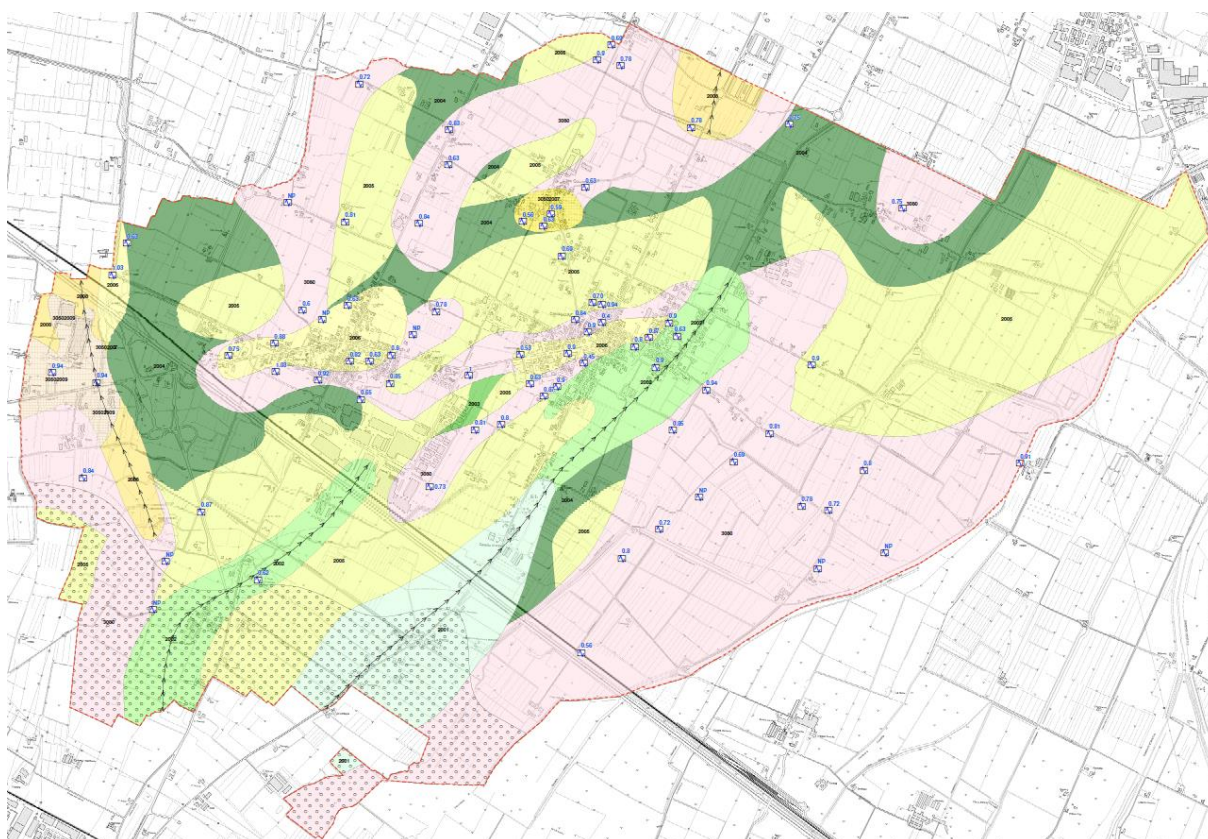
- nella maggior parte delle verticali indagate il rischio alla liquefazione si presenta da basso a nullo ($0 < I_L < 2$);
- solo in due aree si è ottenuto un valore di I_L maggiore di 2 e localmente maggiore di 5, ubicate nei pressi di loc. "Case Cocconi" e loc. "Milanello";
- in conclusione, i risultati ottenuti hanno evidenziato una "modesta" propensione del comune di Campegine all'instabilità per liquefazione, con un rischio prevalentemente basso o nullo; tuttavia, dato che la liquefazione risulta fortemente condizionata sia dalla granulometria sia dal grado di rigidità dei depositi, si consiglia, in fase di progettazione, di eseguire indagini geognostiche finalizzate alla quantificazione dell'instabilità, con maggiore dettaglio.

Osservando i valori ottenuti dalla stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica è possibile constatare che:

- i cedimenti calcolati variano da un minimo di c.a. 7 mm nel sito CD16 "C. Cocconi- Via J. B. Tito" ad un massimo di 70 mm nel sito CD5 "Via Livatino";
- i cedimenti calcolati risultano compatibili con i materiali limoso argillosi maggiormente presenti nel sottosuolo di Campegine e caratterizzati da valori di CC di circa 0.14-0.15 e di indice dei vuoti variabili tra 28 e 35%;
- la quasi totalità dei contributi deriva dai terreni di natura coesiva ed in particolare dallo strato argilloso presente in molte verticali entro i primi 10 m di profondità, in quanto dotato di V_s medie relativamente basse ($150 < V_s < 180$ m/s) che ne determinano un basso valore di modulo di taglio statico (G_0).
- cedimenti relativamente più bassi si registrano non appena il sottosuolo vede la presenza di terreni sabbiosi/granulari.
- in conclusione i risultati hanno evidenziato cedimenti compatibili con la natura stratigrafica dei terreni modellati, fortemente vincolati ai parametri sismici considerati oltre che geotecnici, nonché alle profondità delle verticali indagate.

Infine, si precisa che, in virtù dei risultati ottenuti, si è ritenuto opportuno aggiornare la Carta MOPS eliminando l'instabilità per liquefazione nelle aree dove le verifiche alla liquefazione condotte nel presente lavoro hanno restituito un indice di liquefazione minore di 2.

Dal momento che le zone MOPS sono definite come aree omogenee dal punto di vista sismico, l'assenza della condizione di instabilità per liquefazione ha reso necessario inserire una differenziazione tra le MOPS associate alle aree stabili suscettibili di amplificazioni locali e le zone di attenzione per instabilità. A seguire si riporta un estratto della nuova Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) redatta nel presente studio, completa della Legenda con la descrizione completa delle nuove Zone.



Legenda

Zone Stabili suscettibili di amplificazioni locali

- ZONA 1
Depositi di conoide alluvionale e di canale fluviale prevalentemente costituiti nei primi 30 m del sottosuolo da alternanze di strati ghiaioso sabbiosi a granulometria ben assortita/poco assortita, addensati
- ZONA 2
Depositi di canale fluviale di conoide alluvionale e di piana inondabile, prevalentemente costituiti nei primi 40 m del sottosuolo da alternanze ghiaioso sabbiose - ghiaioso sabbioso limose a granulometria da ben assortita a poco assortita moderatamente addensate
- ZONA 3
Depositi di canale fluviale di conoide alluvionale e di piana inondabile costituiti nei primi 15 m del sottosuolo da alternanze prevalentemente limoso sabbiose con intercalate lenti sabbioso limose - sabbioso ghiaiose da moderatamente a poco consistenti/addensate
- ZONA 4
Depositi di piana inondabile e conoide alluvionale distale, in alternanze prevalentemente limose - limoso argillose con lenti sabbioso limose da moderatamente consistenti a poco consistenti/addensate
- ZONA 5
Depositi di piana inondabile e di conoide alluvionale distale in alternanze prevalentemente argilloso limose - limoso argillose con lenti sabbiose limose moderatamente consistenti
- ZONA 6
Depositi di canale fluviale di piana inondabile costituiti da alternanze prevalentemente sabbioso ghiaiose - sabbiose e limoso argillose con lenti sabbiose nei primi 15 m del sottosuolo; le sabbie ghiaiose e sabbie sono moderatamente o poco addensate

Zone di attenzione per instabilità

- ZA_CD - Zona di attenzione per Cedimenti Differenziali
- ZA_LQ - Zona di attenzione per Liquefazione Zona 7
- ZA_LQ - Zona di attenzione per Liquefazione Zona 9

Forme di superficie e sepolte

- Conoide alluvionale
- Asse di paleoalveo

Punti di misura di rumore ambientale

- 4.5
- Punto di misura ambientale con indicazione del valore F0
- Confine comunale

- 2007
ZONA 7 Depositi di canale fluviale di piana inondabile costituiti da alternanze prevalentemente sabbioso ghiaiose - sabbiose e limoso argillose con lenti sabbiose nei primi 15 m del sottosuolo; le sabbie ghiaiose e sabbie sono moderatamente o poco addensate
 Zona suscettibile per la Liquefazione
- 2008
ZONA 8 Depositi di canale fluviale di piana inondabile e di conoide alluvionale costituiti nei primi 8/15 m del sottosuolo da alternanze sabbiose pulite a granulometria poco assortita e limi sabbiosi - limi argillosi; le sabbie e limi sabbiosi nei primi 8 m dal pc sono moderatamente o poco addensati
- 2009
ZONA 9 Depositi di canale fluviale di piana inondabile e di conoide alluvionale costituiti nei primi 8/15 m del sottosuolo da alternanze sabbiose pulite a granulometria poco assortita e limi sabbiosi - limi argillosi; le sabbie e limi sabbiosi nei primi 8 m dal pc sono moderatamente o poco addensati
 Zona suscettibile per la Liquefazione

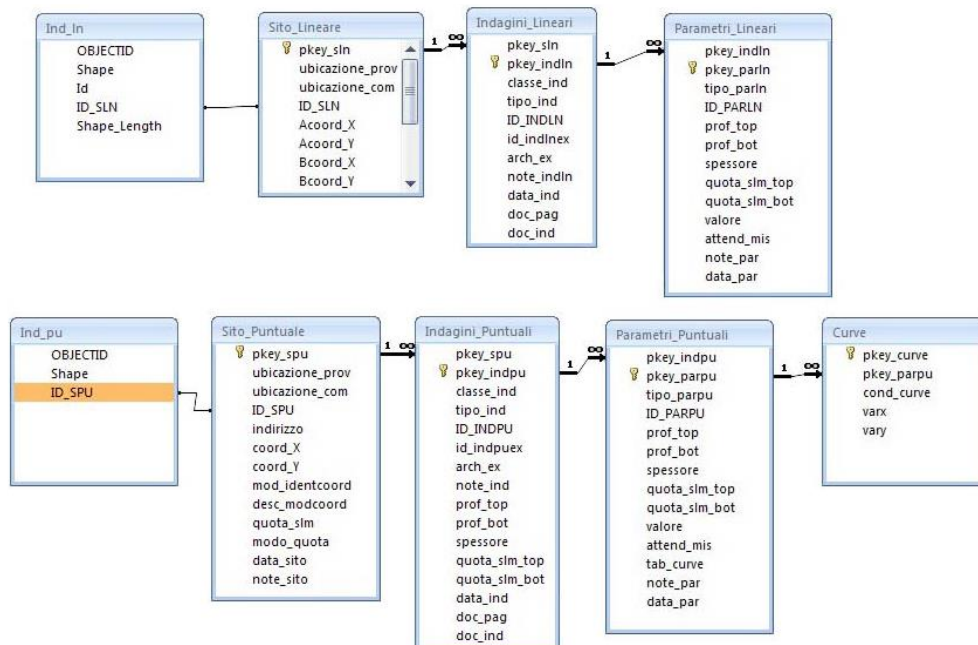
Estratto della Carta MOPS aggiornata e della relativa legenda

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 4.0), emanati dalla Commissione tecnica per il monitoraggio degli studi di MS. Gli Standard sopraccitati definiscono le specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della MS.

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 4.0b)*

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**.

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

La “Carta di microzonazione sismica di Livello 3” contiene i seguenti *layers* informativi, inseriti all'interno della cartella che definisce i parametri di MS di Livello 3 (**MS23**).

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

La “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” aggiornata sulla scorta delle analisi di Livello 3 contiene i seguenti *layers* informativi, inseriti all'interno della cartella che definisce i parametri di MS di Livello 1 (**MS1**).

Nome file	Tipo <i>shapefile</i>	Descrizione
Stab	Poligonale	Zone stabili
Instab	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. Beaty M. H, Perlea V. G. (2011). Several observations on advanced analyses with liquefiable materials. 31st Annual USSD Conference, San Diego, California, April 11-15, 2011, pp. 1369-1397.
3. 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
4. Byrne P. (1991). A Cyclic Shear-Volume Coupling and Pore-Pressure Model for Sand. Proceedings Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Missouri, March 1991, Paper No. 1.24, 47-55.
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. Finn W.D.L., Wightman A. (2007). Logical evaluation of liquefaction potential using NBCC 2005 probabilistic ground accelerations. Ninth Canadian Conf. on Earth. Eng., Ottawa, Ontario, Canada, 26-29 June 2007.
11. Finn W.D.L. (2008). The impact of low probability ground motions on Canadian geotechnical engineering practice. 6th Int. Conf. on Case Histories in Geotech. Engineering, Arlington, VA, August 11-16, 2008.
12. FLAC - ITASCA (2016)- Dynamic Analysis
13. 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
14. 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
15. Kuhlmeier R. L.; Lysmer J. (1969). Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems. J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 99(5), 421-427
16. 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
17. Lanzo G., Pagliaroli A., D'Elia B. (2004a). Influenza della modellazione di Rayleigh dello smorzamento viscoso nelle analisi di risposta sismica locale. Atti XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Genova, Italia, 25 - 29 Gennaio
18. Lanzo G., Silvestri F. (1999) - Risposta Sismica Locale. Hevelius Ed.
19. Lanzo G., Pagliaroli A., Scasserra G., Capozucca F. (2014). Studi di geotecnica sismica relativi alla progettazione della SS 79 direttrice Terni-Rieti. Conference: Conference: XXV Convegno Nazionale di Geotecnica, At Stresa, Volume: vol. 2, pagg. 193-202
20. Louie, J. N. (2001). Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, Bull. Seism. Soc. Am., 91, 347-364
21. 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
22. Mucciarelli M. e Gallipoli M.R. (2006) - Comparison between V_{s30} and other estimates of site amplification in Italy - Conf. Earthq. Eng. And Seismol., Ginevra, 3 - 8 Sept. no 270
23. Mucciarelli M (2011) - Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici - Progetto ricerca 2007PTRC4C - Aracne editrice
24. 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
25. SESAME Project (2005) - "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations"
26. Spallarossa D. e Barani S. (2007) - Report, Disaggregazione della Pericolosità Sismica in Termini di M - R - ϵ - 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 delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica | Scala 1:10.000 |
| 3. Carta delle Vs | Scala 1:10.000 |
| 4. Carta delle frequenze naturali dei depositi | Scala 1:10.000 |
| 5. Carta di microzonazione sismica Livello 3 - (FA PGA) | Scala 1:10.000 |
| 6. Carta di microzonazione sismica Livello 3 - SI1 (FA 0.1-0.5 s) | Scala 1:10.000 |
| 7. Carta di microzonazione sismica Livello 3 - SI2 (FA 0.5-1.0 s) | Scala 1:10.000 |
| 8. Carta di microzonazione sismica Livello 3 - SI3 (FA 0.5-1.5 s) | Scala 1:10.000 |
| 9. Carta di microzonazione sismica Livello 3 - Indice di Liquefazione | Scala 1:10.000 |
| 10. Carta di microzonazione sismica Livello 3 - Cedimenti indotti
dall'azione sismica | Scala 1:10.000 |
| 11. Indagini geofisiche di nuova realizzazione | |
| 12. Grafici e parametri delle CPT di nuova realizzazione | |
| 13. Report delle analisi di laboratorio | |
| 14. Report dei calcoli dei cedimenti differenziali post-sismici | |
| 15. Report delle verifiche per la liquefazione (su supporto informatico) | |
| 16. Grafici delle prove CPTU di nuova realizzazione e verifiche per la liquefazione (su
supporto informatico) | |
| 17. DVD contenente i file pdf dello studio e le basi informative | |