

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Veneto

Comune di Cappella Maggiore



Regione	Soggetto realizzatore	Data
REGIONE VENETO	COMUNE DI CAPPELLA MAGGIORE	Maggio 2013
Segreteria Regionale per l'Ambiente	Gruppo di progettazione: Dott. Geol. Matteo COLLAREDA Dott. Geol. Davide DAL DEGAN Dott. Geol. Luca BERSANI	



COMUNE DI CAPPELLA MAGGIORE

Provincia di Treviso



STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA E CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA CLE

(O.P.C.M. n°4007 del 29/02/2012 - D.G.R. n°655 del
17/04/2012 - D.G.R. n°1575 del 31/07/2012)

A cura di:	Con la collaborazione di:	
Dr. Geol. Collareda Matteo	Dr. Geol. Davide Dal Degan	Dr. Geol. Luca Bersani
Incarico affidato con Determina Comunale n°723 del 7 - 11 - 2012		Maggio 2013
 Dr. Geol. Collareda Matteo Via Lungo Giara 29 - 36033 Isola Vicentina (Vicenza) Tel. / Fax. 0444 962532 - Cell. 349 0567455 e-mail: info@studiosisma.com pec: studiosisma@epap.sicurezzapostale.it		

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	2
2	GENERALITA'	3
3	ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA.....	4
3.1	Inquadramento geologico generale.....	4
4	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	10
4.1	Inquadramento sismotettonico generale	10
4.2	Caratterizzazione sismogenetica del Comune	13
4.3	Sismicità storica	13
4.4	Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche	16
4.5	Pericolosità sismica di riferimento	20
5	MICROZONAZIONE SISMICA. PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITA'	23
5.1	Introduzione.....	23
5.2	La natura del problema	23
5.3	Finalità e livelli di approfondimento.....	25
6	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI DA INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE	26
6.1	Indagini pregresse	26
6.2	Metodologia di elaborazione delle nuove indagini	26
6.2.1	Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.).....	26
6.2.2	Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	38
6.3	Modello geosismico del sottosuolo. Interpretazione e incertezze.....	41
7	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	42
7.1	Carta delle indagini	42
7.2	Carta geologico - tecnica	42
7.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello I).....	44
7.4	Carta delle frequenze	50
8	METODO GEOFISICO - STRUMENTALE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEGLI INDICATORI DI VULNERABILITA' SISMICA DEGLI EDIFICI.....	53
9	MODELLIZZAZIONI NUMERICHE BIDIMENSIONALI - LIVELLO III DI APPROFONDIMENTO	56
9.1	Descrizione del metodo	56
9.2	Casi applicativi nel Comune di Cappella Maggiore.....	63
9.3	Commenti finali e criticità.....	67
10	REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE	68
11	ANALISI PER LA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA (C.L.E.)	70
12	BIBLIOGRAFIA	73
13	ALLEGATI FUORI TESTO.....	73

1 INTRODUZIONE

Tra i principali compiti che la Regione Veneto 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 ed 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 riduce i costi di gestione in fase di emergenza, poiché intervenire sulla mitigazione del rischio riduce alla fonte il loro "peso" economico e sociale sull'ambiente e sulla popolazione.

Procedere in modo preventivo, quindi, significa 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 della loro ricaduta sulla popolazione.

La Regione Veneto, 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 (MS) si intende la "valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo".

2

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 da tempo noto che le condizioni locali dei terreni di fondazione condizionano in modo importante gli effetti del terremoto: lo stesso evento sismico può provocare scuotimenti decisamente differenti in dipendenza degli spessori e delle caratteristiche dei terreni più soffici presenti negli strati più superficiali o delle caratteristiche morfologiche del sito.

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

La Microzonazione Sismica (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 del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti fenomeni di deformazione permanente del territorio, attivi o potenzialmente inducibili / attivabili in caso di sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

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

- il Livello I 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 II si propone di quantificare l'effetto sismico proprio di ogni zona omogenea individuata nel Livello I, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessario, e definisce la *Carta di microzonazione sismica*;
- il Livello III restituisce una *Carta di microzonazione sismica* con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

3

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 ed 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.

La normativa di riferimento, per lo svolgimento del presente studio, è rappresentata dalla **D.G.R. n°655 del 17.04.2012** che recepisce pienamente l'O.P.C.M. 4007/2012, concedendo i contributi a favore degli enti locali. **Lo studio è stato svolto ad un Livello I** di approfondimento, secondo le modalità riportate negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 13.11.2008.

A tal riguardo, anche se non previsto nel Livello I, sono state effettuate delle **misurazioni sismiche su tutto il territorio comunale**, in modo da restituire, oltre a quelle richieste, carte tematiche importanti per lo sviluppo urbanistico del territorio e per gli adeguamenti sismici delle strutture.

In determinate aree individuate dall'Amministrazione Comunale, **lo studio è stato approfondito ad un Livello III**, per stimare quantitativamente la pericolosità sismica che sarà utilizzabile nelle fasi di progettazione futura. Inoltre, **lo studio di vulnerabilità effettuato presso la Sede Comunale ne ha valutato il grado di sicurezza**.

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

3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico generale

Per l'inquadramento geologico dell'area si è fatto riferimento ai contenuti del P.A.T., all'analisi di alcune pubblicazioni specifiche ed alle osservazioni condotte durante i sopralluoghi eseguiti; **si fa presente comunque che, confrontando i risultati delle indagini geofisiche eseguite in questa fase con le informazioni della Carta Geologica d'Italia e del P.A.T., sono state modificate alcune informazioni del P.A.T. stesso, particolarmente nel settore orientale del Comune. Invece, per quanto riguarda le forme di superficie, mancando i dati circa la costituzione e la genesi delle conoidi, esse sono state omesse dalla cartografia della MS.**

4

Dal punto di vista **geomorfologico**, il Comune di Cappella Maggiore si sviluppa nella porzione Nord occidentale del versante di raccordo tra l'Altipiano del Cansiglio e l'Alta Pianura Trevigiana, ad Est di Vittorio Veneto. Il territorio comunale può essere distinto in tre differenti ambiti geomorfologici: la porzione collinare a Nord Est, la piana alluvionale del Fiume Meschio, ad Ovest, e la piana alluvionale dei torrenti Friga e Carron, a Sud Est.

Il settore Nord orientale presenta una successione di colline di modesta altezza con quote comprese tra circa 200 m e 250 m s.l.m., disposte con assi prevalentemente diretti da NW verso SE, formate generalmente da termini argillosi ed arenacei; in alcune zone di cresta e, particolarmente, in quella posta immediatamente ad Ovest del capluogo comunale, sono evidenti depositi morenici appartenenti alle cerchie principali del Würm. I rilievi collinari sono associabili alla Sinclinale di Fregona, che costituisce la propaggine orientale, al di là del solco vallivo del Fiume Meschio, dei rilievi strutturali dell'Unità di Tarzo: essi risultano incisi da profondi solchi dei corsi d'acqua, che interrompono la continuità delle loro forme.

La morfologia della Sinclinale di Fregona è caratterizzata generalmente dalla presenza di tipici hogback interrotti da water gap ed è complicata per la giacitura degli strati, che formano una piega sinclinale ad asse inclinato. Le dorsali collinari sono costituite da rocce sedimentarie appartenenti all'era cenozoica, derivate dalla litificazione di depositi marini, lagunari e continentali. Gli attuali litotipi sono rappresentati da una successione di strati diversi a disposizione monoclinale costituiti da calcareniti, arenarie, calcari marnosi, marne, argille siltose e conglomerati. Le varietà litologiche, caratterizzate dall'alternarsi di strati di rocce dure e resistenti (Calcareniti, arenarie e conglomerati) e di livelli teneri e, quindi, facilmente erodibili (marne ed argille) ha decisamente condizionato la generale evoluzione morfologica delle colline poste ad Est di Vittorio Veneto: in particolare, alla successione di strati rocciosi duri e teneri, variamente resistenti all'azione erosiva, ha corrisposto l'alternanza di linee di rilievi ad hogback e di vallette marcatamente incise.

Nel dettaglio, i rilievi collinari di Cappella Maggiore sono posti al centro della Sinclinale di Fregona, in corrispondenza dei termini argillosi della successione terziaria, ivi costituiti da rocce tenere prevalenti, con subordinate bancate resistenti: per tale motivo, le suddette forme legate all'erosione selettiva risultano meno evidenti.

Nel settore occidentale del territorio comunale si sviluppa la porzione orientale della pianura alluvionale del Fiume Meschio, che si presenta inclinata verso Sud Ovest, con pendenze limitate e quote altimetriche comprese tra i 90 m ed i 125 m s.l.m. I depositi sono prevalentemente sabbioso - limosi in superficie e ghiaiosi più in profondità; localmente sono presenti dossi fluviali che rendono un pò più articolato l'ambiente deposizionale di pianura in esame.

Secondo lo "Schema sintetico delle unità geomorfologiche della Provincia di Treviso" a cura di A. Bondesan, M. Meneghel e C. Levorato, tale zona ricade entro l'anfiteatro morenico di Vittorio Veneto, deposto dal ramo sinistro del ghiacciaio del Piave che, dopo aver percorso la Valle Lapisina, ha formato un piede espanso affacciato sull'Alta Pianura. Tale unità comprende, infatti, anche porzioni pianeggianti costituite da sedimenti fluviali depositi dagli scaricatori glaciali e la stessa la piana di sedimentazione fluviale situata all'interno della cerchia morenica, deposta in posizione più arretrata in seguito al ritiro del ghiacciaio.

La porzione Sud orientale del Comune è invece occupata dalla piana alluvionale dei Torrenti Friga e Carron, si presenta inclinata verso Sud Est con pendenze variabili e quote altimetriche comprese tra 90 m e 120 m s.l.m.; i depositi sono del tutto simili a quelli della pianura del Fiume Meschio, prevalentemente sabbioso - limosi superficialmente e ghiaiosi più in profondità; tra le forme geomorfologiche più importanti si ricordano dossi ed argini fluviali.

Dal punto di vista **litologico**, nell'area studiata affiorano formazioni rocciose e materiali sciolti di copertura. I litotipi del substrato derivano da processi sedimentari e vengono classificati in base alle loro caratteristiche strutturali e meccaniche (compattezza, stratificazione, presenza di alternanze di litotipi a diverso grado di resistenza, grado di cementazione e di alterazione), mentre i terreni della copertura vengono distinti sulla base dei processi che li hanno generati, del loro grado di addensamento, della loro granulometria.

5

I terreni costituenti il sottosuolo del territorio comunale sono, quindi, descrivibili come di seguito esposto.

Litologia del substrato

• *Rocce tenere prevalenti con interstrati o bancate resistenti subordinate, rappresentate da rocce arenacee e argillose, marne, argille siltose e siltiti a stratificazione poco distinta debolmente cementate e facilmente erodibili e degradabili*: si tratta di un insieme di rocce costituite da vari termini, alternanti in maniera a volte non regolare. Si passa da argille marnose, a siltiti ed arenarie marnose, ad argille; localmente compaiono lenti conglomeratiche di limitata estensione. La loro giacitura generale non è facilmente rilevabile in campagna e, spesso, risultano in larga parte mascherate sotto i terreni della copertura quaternaria. Localmente appaiono stratificate in grossi banchi, di colore grigio, variamente cementate in quelli arenacei. Danno luogo ad evidenti processi di alterazione superficiale ed a fenomeni di deformazione plastica gravitativa.

Anche se appartenenti ad un'unica formazione, gli ammassi rocciosi locali si possono suddividere secondo due differenti ambiti:

- ✓ le rocce poste nella porzione Ovest del settore collinare del Comune, con prevalente composizione argilloso - marnosa;
- ✓ le rocce poste nella porzione Est del settore collinare del Comune, con prevalente composizione arenacea. Si evidenziano poi argille marnose e ridotte lenti conglomeratiche.

Dal punto di vista sismico, sulla base delle loro caratteristiche e dalle prove eseguite (anche nel territorio comunale di Fregona), esse possono essere generalmente inserite tra quelle con $V_s < 800$ m/s e, più precisamente, in un *range* compreso tra circa 250 m/s e 750 m/s.

Materiali sciolti di copertura

I materiali sciolti di copertura possono essere suddivisi in materiali morenici, materiali della copertura detritica colluviale ed eluviale, materiali fluvioglaciali ed alluvionali, materiali di riporto, come di seguito descritto.

• *Materiali di accumulo morenico grossolani formati da ghiaie e ciottoli con blocchi in matrice sabbiosa e limosa, stabilizzati*: sono presenti in una fascia del Comune, sulla sommità delle porzioni centrale e meridionale della dorsale che procede da Anzano a Cappella Maggiore, ove si riscontra uno stretto deposito morenico ghiaioso - sabbioso - limoso, con una potenza di pochi metri. Questi depositi rappresentano le cerchie moreniche laterali dell'anfiteatro morenico di Vittorio Veneto, formatosi ad opera del ramo sinistro del ghiacciaio del Piave, che scendeva dalla Valle Lapisina.

Dal punto di vista sismico, sulla base delle loro caratteristiche e dalle prove eseguite, essi possono essere inserite in un *range* compreso tra circa 150 m/s e 350 m/s.

• *Materiali della copertura detritica colluviale ed eluviale poco addensati e costituiti da limi argillosi con ciottoli sabbia fine e limo e con subordinate inclusioni sabbioso - ghiaiose*: sono i depositi posti a ridosso del bordo meridionale delle colline, costituiti dai materiali argilloso - ghiaiosi di alterazione del substrato roccioso argilloso - marnoso - arenaceo, probabilmente a maggior componente ghiaiosa nel settore orientale dell'area. Questi depositi sembrano mescolarsi con le alluvioni delle piccole conoidi in prossimità del piede collinare. Di composizione eterogenea e variabile, essi divengono progressivamente più argillosi avvicinandosi al rilievo.

Dal punto di vista sismico, sulla base delle loro caratteristiche e dalle prove eseguite, essi possono essere inseriti in un *range* compreso tra circa 100 m/s e 250 m/s.

• *Materiali dei terrazzi fluviali e/o fluvioglaciali antichi e di conoide a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa con cappello superficiale di alterazione in modestissimo spessore più o meno ferrettizzato*: questi si ritrovano principalmente nella porzione Ovest del Comune. Sono costituiti da ghiaie deposte durante la glaciazione würmiana con limitato cappello superficiale di alterazione di colore tipicamente rosso - marron - bruno; il processo di ferrettizzazione non è molto avanzato, i ciottoli e la ghiaia si presentano debolmente alterati, lo spessore del suolo agrario è di circa $0,4 \div 0,5$ m e risulta limitata la presenza di scheletro, valutabile in una percentuale del $10 \div 30$ %; per quanto riguarda la matrice, la componente sabbiosa è sempre rilevante, limitato il limo, modesto il contenuto in argilla. Ad Est, al passaggio con i depositi fini della zona a ridosso delle colline, si nota un aumento della copertura recente e, in profondità, si riscontrano alternanze con lenti o livelli a granulometria fine. Procedendo ancora più in profondità, si evidenziano locali livelli di conglomerato, legati a processi di cementazione delle ghiaie quaternarie.

Dal punto di vista sismico, sulla base delle loro caratteristiche e dalle prove eseguite, esse possono essere inseriti in un *range* compreso tra circa 200 m/s e 650 m/s.

• *Materiali alluvionali e fluvioglaciali a tessitura prevalentemente sabbiosa in spessore di pochi metri su ghiaie variamente sabbiose*: lateralmente ed in continuità con i materiali fluvioglaciali finora descritti si riscontrano materiali sabbiosi, sabbioso limosi e limoso argillosi con spessore variabile.

La copertura è generalmente fine ed è legata agli apporti alluvionali verificatisi dal postglaciale ad oggi grazie alle acque provenienti dalle colline, che progressivamente e con la riduzione della pendenza, abbandonavano la parte solida. La copertura presenta uno spessore variabile che aumenta da circa $0,5 \div 1$ m, fino a pochi metri in direzione delle colline. Localmente, accanto alla sabbia più o meno limosa, sono presenti superficialmente elementi ghiaiosi. Ove lo spessore della copertura è maggiore, si riscontrano lenti e letti argillosi, in genere di limitato spessore e, a profondità variabile, si rinvenivano le ghiaie.

Dal punto di vista sismico, sulla base delle loro caratteristiche e dalle prove eseguite, esse possono essere inseriti in un *range* compreso tra circa 150 m/s e 300 m/s.

• *Materiali sciolti di alveo fluviale recente, stabilizzati dalla vegetazione, di natura prevalentemente ghiaioso - sabbiosa*: entro il greto dei torrenti Friga e Carron e nelle fasce immediatamente adiacenti si riscontrano superficialmente ghiaie e ciottoli con sabbia o ghiaie e ciottoli sabbiose. I materiali grossolani sono arrotondati, freschi o poco alterati, a prevalente composizione arenacea e calcarea, da sciolti a variamente addensati. Il substrato argilloso - marnoso che sovrastano, si pone a profondità variabili, comunque dell'ordine di alcuni metri. Essi sono stati interpretati come sabbie ghiaiose ben assortite, presumendo una copertura prevalentemente ciottolosa di scarso spessore.

Dal punto di vista sismico, sulla base delle loro caratteristiche e dalle prove eseguite, esse possono essere inseriti in un *range* compreso tra circa 150 m/s e 350 m/s.

• *Materiali di riporto di spessore significativo*: sono materiali inerti di varia provenienza disposti in due discariche, nella zona di Borgo Gobbi e di Borgo Campagnole, non caratterizzabili univocamente dal punto di vista sismico per la loro genesi e le loro caratteristiche di eterogeneità.

7

Dal punto di vista **idrografico**, le manifestazioni idriche superficiali differiscono a seconda dei diversi ambiti geomorfologici e litologici presenti nel territorio comunale. Nel settore collinare, formato da alternanze di termini litologici poco o per nulla permeabili, si riscontra una rete idrografica ramificata, estesa ed attiva per gran parte dell'anno; tale rete si riduce progressivamente nel settore centrale del Comune, ossia nella zona di transizione tra le colline e la pianura, a causa del progressivo mutare dei caratteri di permeabilità dei terreni superficiali. Infine, nei settori di Alta Pianura fluvioglaciale, i piccoli torrenti provenienti dalle colline inaridiscono progressivamente e spesso scompaiono a causa della buona permeabilità dei terreni alluvionali. Tra i principali corsi d'acqua permanenti si ricordano il Torrente Carron ed il Torrente Friga, che attraversano il settore orientale del territorio comunale con direzione NW - SE, ed il Ruio Calalta che, con la stessa direzione, scorre nel settore Sud occidentale del Comune. Tali corsi d'acqua presentano spesso alvei pensili o semipensili.

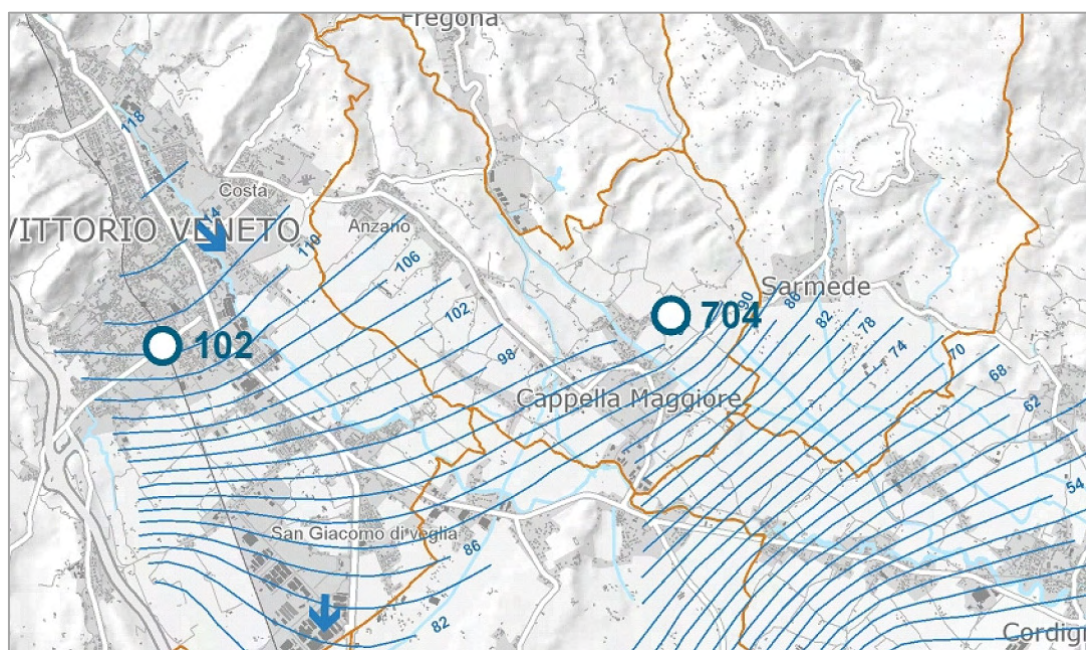
Dal punto di vista **idrogeologico**, in relazione alla situazione litologica ed idrografica finora descritta, il territorio può essere considerato suddiviso nei seguenti settori principali:

1) la zona collinare, a Nord, formata da alternanze di argille, anche variamente marnose, siltiti ed arenarie, caratterizzata da abbondante idrografia superficiale, piccole sorgenti e substrato impermeabile o poco permeabile (per le porzioni arenacee) e circolazione profonda praticamente assente, a causa della bassissima o nulla permeabilità delle rocce presenti; possono rilevarsi solamente locali e limitate sorgenti temporanee, legate con ogni probabilità a circuiti superficiali che si instaurano nella copertura, caratterizzata anch'essa da debole permeabilità;

2) la zona di transizione, rappresentata dalla fascia centrale di raccordo tra le colline e la pianura, dove la situazione litologica superficiale è variabile e, più in profondità, si può intercettare direttamente il contatto con le rocce impermeabili o rilevare anche la presenza di ghiaie dotate di buona permeabilità. In tale zona si riscontrano limitate e discontinue falde superficiali, presenti entro intercalazioni lentiformi di natura sabbiosa e/o ghiaiosa; è stata rilevata la presenza di un pozzo che intercetta tale condizione presso Borgo Santa Apollonia, che dimostra la superficie piezometrica a 2,85 m dal p.c. e permette di correlarla ad una falda di dimensioni limitate;

3) le zone di pianura dei settori Sud orientale e Sud occidentale del territorio comunale dove, al di sotto di una copertura di spessore limitato, si incontrano depositi ghiaioso sabbiosi / sabbioso ghiaiosi che ospitano una falda freatica con carattere di continuità; in aggiunta alla falda freatica principale, si rinvenivano anche falde sospese poggianti su lenti impermeabili presenti a limitata profondità dal piano campagna. L'assenza di una rete di misura attendibile, associata alla presenza di falde sospese, non ha permesso di ricostruire lo sviluppo e l'andamento della falda principale.

Ad ogni modo, dall'analisi della Carta freaticometrica provinciale riportata sotto (deflussi di magra del 2002 - a cura dell'Amministrazione Provinciale di Treviso), si evince che nel settore di Alta Pianura del territorio di Cappella Maggiore è presente una falda freatica che mostra una direzione di deflusso principale da Nord Ovest a Sud Est e che si attesta a quote variabili da un massimo di 108 m s.l.m. in corrispondenza della Località Anzano (settore Ovest Nord Ovest del Comune) ad un minimo di 80 ÷ 82 m presso il settore Sud Est del Comune.



Carta freaticometrica provinciale

deflussi di magra del 2002

Pozzi di monitoraggio delle acque sotterranee
(Rete SISMAS - prima campagna 2005)

AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI TREVISO

SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE INTEGRATO

Legenda

-  Isolinea con quota s.l.m.
-  RETE OPERATIVA 2005 - Prima campagna
-  Area urbana
-  Corso d'acqua principale
-  Direzione di deflusso
-  Confine comunale

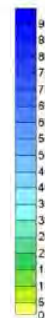
L'immagine sottostante (Carta della soggiacenza della falda del 2002 - a cura dell'Amministrazione Provinciale di Treviso) riporta che nel materasso alluvionale di Cappella Maggiore, posto ad occidente della dorsale marnoso / morenica, e nella porzione Sud Est del territorio comunale, la soggiacenza sia mediamente compresa entro i 10 m dal p.c. anche se, localmente, risulta inferiore e compresa entro i 5 m. La soggiacenza della falda tende ad aumentare avvicinandosi alla zona infracollinare di Cappella Maggiore (in direzione di Fregona) dove, peraltro, non viene più segnalata la sua presenza.



LEGENDA

Soggiacenza (m da pc)

-  345 Stazione di misura con numero identificativo
-  Limite superiore della fascia delle risorgive
-  Limite amministrativo
-  Corso d'acqua principale
-  Area urbana



4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Inquadramento sismotettonico generale

Gli elementi strutturali e tettonici principali, che ricadono nell'intorno del territorio comunale di Cappella Maggiore e che sono considerati attivi in tempi geologicamente recenti, sono i seguenti:

a Nord, la Flessura Bassano – Valdobbiadene – Col Visentin è l'elemento tettonico più significativo dell'area. Tale lineamento ha iniziato a prendere forma dal Pliocene superiore ed ha continuato la sua attività successivamente. Ad esso segue, subito a Nord Est, un sistema anticlinalico (anticlinale Col Visentin – Cugnan) che si origina dal gomito superiore della flessura. Alla Linea Bassano Valdobbiadene sono associate le seguenti strutture: la Faglia di Longhere, a Nord, data da una zona di laminazione in seno a formazioni di scarsa competenza (Flysch e Scaglia Rossa), facenti parte del fianco di raccordo della flessura stessa, che presenta direzione WSW - ENE ed è ad elevato angolo; la Sinclinale di Fregona, a Nord Ovest, corrispondente al gomito inferiore della flessura Bassano Valdobbiadene, con l'asse che curva a Nord nella zona di Vittorio Veneto, a causa dell'interferenza della Linea Bassano – Valdobbiadene con la Linea di Montaner e della rotazione oraria del massiccio del Cansiglio; infine, l'area in corrispondenza del gomito superiore della struttura Bassano – Valdobbiadene – Col Visentin, in fase di ulteriore deformazione. Si segnala poi la presenza di una grande zona in fase di sollevamento, posta in corrispondenza dell'Altipiano del Cansiglio – Cavallo.

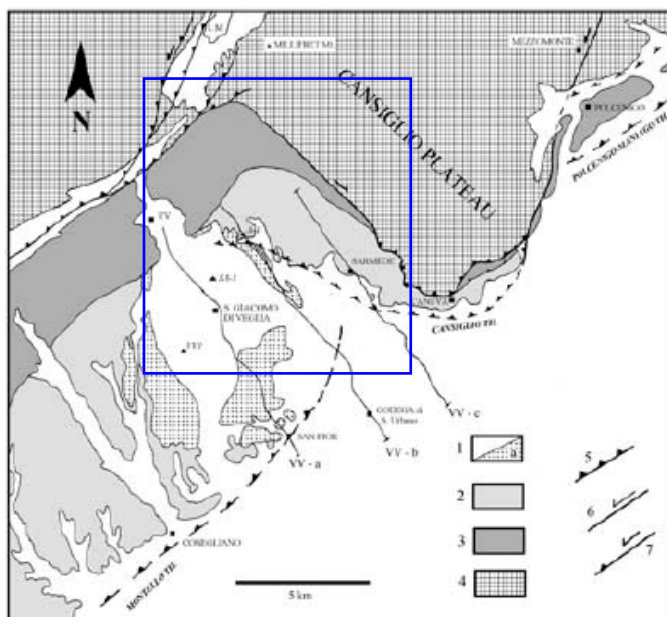
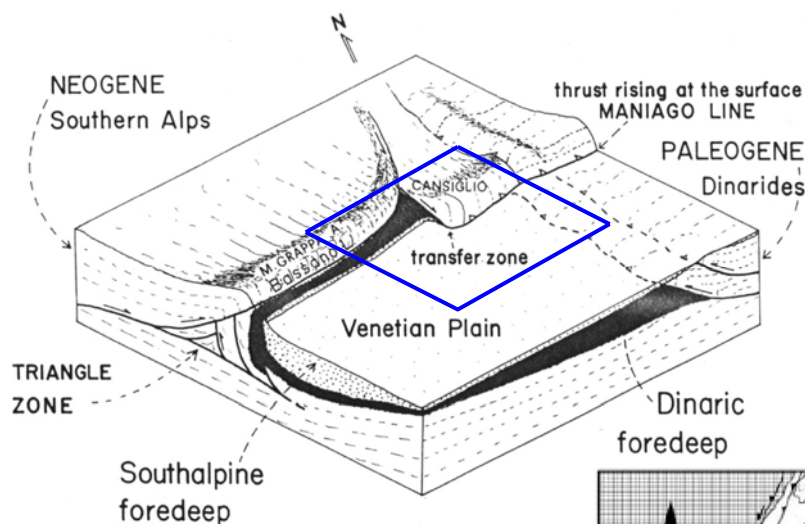
Dal punto di vista strutturale, questo territorio fa parte della grande unità litologica delle Alpi meridionali, che è stata interessata dal *rifting* giurassico con l'individuazione di una piattaforma carbonatica bordata dal Bacino Carnico, Bacino Bellunese, Bacino di Tolmino e dal *plateau* Carnico – Giulio. Tale situazione ne ha successivamente condizionato l'evoluzione strutturale.

Infatti, a seguito della tettonogenesi alpina, i termini più plastici rappresentati da unità bacinali terrigene terziarie, hanno reagito alle tensioni deformandosi maggiormente rispetto alle unità rigide della piattaforma carbonatica di età Giurassico - Cretacica. Ne risulta, quindi, che il Massiccio del Cansiglio - Cavallo si sia comportato come un solido rigido, che sotto la spinta delle forze orogenetiche è stato spostato verso la pianura veneto - friulana. La caratteristica tettonica dell'area è data da una serie di pieghe ad asse diretto in genere SW - NE più o meno asimmetriche, tanto da apparire talora completamente rovesciate verso Sud e da presentare uno dei fianchi fortemente stirato o addirittura in struttura di faglia. Gli strati rocciosi, suborizzontali nelle zone periferiche più elevate, si inflettono verso il centro, cosicché l'altipiano può essere suddiviso secondo i seguenti elementi tettonici:

- o Anticlinale del Cansiglio Nord: è una piega ad ampio raggio che, a partire da Ovest, ha l'asse dapprima orientato in direzione NE - SW e successivamente sterza verso Est; il fianco NW dell'anticlinale immerge, con inclinazione gradualmente crescente, verso il Lago di Santa Croce, mentre il fianco opposto immerge verso l'altipiano.
- o Anticlinale del Cansiglio Meridionale: l'asse di questa piega ha un andamento con direzione NE - SW lungo la dorsale Candaglia - Cornier e di direzione NW - SE sulla dorsale Crosetta - Pizzoc; si tratta di una piega che manifesta la tendenza a rovesciarsi verso Sud, tanto da avere il fianco meridionale interessato da profondi disturbi tettonici.
- o Brachisinclinale del Cansiglio: è un'ampia piega con asse orientato NNE - SSW, che corrisponde allo stesso Pian del Cansiglio. Infatti, si può notare una notevole coincidenza tra morfologia e tettonica, perché la topografia segue spesso l'inclinazione degli strati: i fianchi della Conca coincidono con i fianchi della sinclinale, mentre la parte centrale coincide col nucleo della piega, dove gli strati di scaglia sono suborizzontali; la sinclinale è però asimmetrica, in quanto sul lato WNW è presente una flessura caratterizzata da strati subverticali, detta flessura di Vallorch, mentre verso NNW l'asse della piega viene bruscamente tagliato dalla Linea di Pian Osteria.

Nel complesso, il Massiccio del Cansiglio - Cavallo può essere considerato come un'unità tettonica omogenea compresa tra le seguenti dislocazioni di carattere regionale, che lo delimitano:

- o il sovrascorrimento Barcis - Staro Selo (a Nord): è un sovrascorrimento di importanza regionale, denominato anche "sovrascorrimento periadriatico"; si sviluppa per oltre 100 Km da Barcis (PN) a Staro Selo (Slovenia), portando la dolomia principale a contatto tettonico con terreni di età compresa tra Triassico superiore e Miocene; il piano presenta una direzione generale Est - Ovest con immersione verso Nord ed inclinazione variabile tra 20° e 60°.
- o Linea di Caneva - Maniago: borda il margine Sud orientale del Massiccio del Cansiglio - Cavallo e mette a contatto lungo un piano orientato NE - SW, immerso a Nord, i calcari di piattaforma con la successione terziaria.
- o Linea del Cansiglio: faglia inversa ad alto angolo tra il Calcare del Cellina ed il Calcare di Monte Cavallo, che si propaga nella parte orientale del massiccio lungo una direzione NNE - SSW, fino ad incontrare a Nord il sovrascorrimento Barcis - Staro Selo e a Sud la Linea di Caneva - Maniago.
- o Linea di Montaner: è una dislocazione molto complessa che ha subito una evoluzione nel tempo; si sviluppa dalle pendici del M. Pizzoc fino a Caneva, con orientazione NW - SE, e pone a contatto i calcari di piattaforma con unità terrigene terziarie via via più recenti.
- o Linea di Sacile: è una faglia inversa ad alto angolo, che assieme alle altre determina un sollevamento crescente verso NW; disloca fortemente i depositi quaternari.
- o Linea di Santa Croce e di Lastra: sono due elementi che bordano il Cansiglio sul lato Nord occidentale; hanno una direzione N - S con un piano di dislocazione verticale ed hanno determinato la piccola fossa tettonica del Fadalto.



- 1 - Depositi Quaternari, 1 a - Morenico.
- 2 - Successione di Conegliano (Marne, Arenarie, Conglomerati).
- 3 - Successione terrigeno - carbonatica (Oligocene - Miocene).
- 4 - Successione Carbonatica (Giurassico - Cretaceo), Scaglia Rossa (Eocene inf. - Cretaceo sup.), Flysch marnoso arenaceo (Eocene).
- 5 - Thrust. 6 - Strike - slip fault. 7 - Transpressional fault

Le formazioni geologiche che riguardano il Massiccio del Cansiglio - Cavallo hanno un'età compresa tra il Norico (Triassico superiore) e la fine del Miocene (Terziario). Nella sola zona del Cansiglio, le rocce interessate sono la Scaglia (Grigia e Rossa) e la Formazione del Calcare di Monte Cavallo.

Per quanto riguarda la causa delle deformazioni sopra elencate si fa principalmente riferimento al "continuo movimento della zolla adriatica verso Nord nel Neogene e nel quaternario", che "ha determinato il sollevamento dei settori del Sudalpino via via più esterni, con la formazione di pieghe e accavallamenti vergenti verso la pianura; tale movimento continua a tutt'oggi, come denunciato dall'intensa attività sismica della fascia pedemontana" (AA.VV. "Evoluzione neotettonica dell'Italia Nordorientale" Mem. Sc. Geol. Padova, 1982).

La genesi e l'evoluzione delle suddette strutture tettoniche hanno condizionato la nascita di dislocazioni a livello locale riconoscibili nell'area del Pian Cansiglio, che può essere considerato un'ampia brachianticlinale, inflessa a bacino nella parte centrale.

Anche se esterne al territorio comunale, per completezza della trattazione si ritiene di riportarle come di seguito esposto:

- o Linea di Pian Osteria: è una dislocazione complessa di direzione WSW - ENE (giacitura del piano $70^{\circ}/55^{\circ}$), che passa per Pian Osteria e si dirige verso Val Menera. Nel primo tratto piega la Scaglia Grigia o Rossa, mentre da Pian Osteria a Casera Costalta mette a contatto il rosso di Col Indes col Calcare di Monte Cavallo;
- o Linea di Vallorch: nei pressi di Vallorch è visibile una flessura che si dirige verso Pian Osteria con orientamento NNE - SSW. Essa corrisponde alla dorsale Ovest che borda il Pian Cansiglio. È una anticlinale che viene intercettata dalla Linea di Pian Osteria, con evidenti fenomeni deformativi a carattere plastico della Scaglia (sia Rossa che Grigia): le pieghe sono del tipo a *chevron* e talvolta coricate con asse SSW - NNE;
- o Faglia di Candaglia: è una linea strutturale orientata WSW-ENE che delimita il fianco Sud Est del Pian Cansiglio. È possibile seguire il suo sviluppo lungo tutta la strada forestale che dal Passo de la Crosetta conduce al Monte Candaglia, ma non è facilmente rilevabile a causa della fitta copertura vegetale. Infatti, solo localmente è possibile osservare specchi di faglia con striature inclinate di 25° - 30° verso WSW, in prossimità di Candaglia;
- o Faglia presso il Col della Rizza: è una faglia orientata NNW - SSE, che passa ad Est del Col de la Rizza. Si sviluppa nel Calcare di Monte Cavallo ed è riconoscibile localmente da specchi di faglia con striature inclinate di 20° , immergenti a NNW, e dal carattere cataclasato del calcare. Tale struttura è purtroppo coperta dalla vegetazione, pertanto la sua presenza è testimoniata dall'impostazione di alcune forme carsiche (solchi, doline, crepacci, grotte) lungo direzioni preferenziali.

Si rimandano ai paragrafi seguenti le considerazioni circa l'esistenza di eventuali faglie capaci, ovvero di lineamenti che presentano caratteri sismogenici non collegabili esclusivamente a deformazioni tettoniche crostali inattive.

4.2 Caratterizzazione sismogenetica del Comune

Secondo il modello di zonazione sismotettonica del C.N.R. del 1987, il Comune di Cappella Maggiore si colloca nell' "Area Bellunese".

Lo stile tettonico che contraddistingue tale area è stato descritto nei capitoli precedenti: nel Modello sismotettonico del 1987, viene evidenziato come il territorio in esame si comporti strutturalmente da passaggio fra il Sistema Valsuganese e quello Tivarentino, complicato da strutture trasversali ad andamento dinarico. Dal punto di vista neotettonico, esso denuncia quindi una deformazione articolata legata all'evoluzione differenziata di questi sistemi. La sismicità, elevata e concentrata soprattutto nella zona Alpi - Cansiglio ed in quella di Belluno, si manifesta con meccanismi focali riconducibili all'attività trascorrente di faglie trasversali che possono anche interferire con l'attività dei sovrascorrimenti Sud - alpini (Linea Bassano - Valdobbiadene, Linea di Belluno). Tale studio evidenzia come anche la recente sismicità del Cadore, di carattere superficiale, si è prevalentemente manifestata con meccanismi trascorrenti i cui assi di massima compressione hanno direzione NNW - SSE, coerente con quella degli altri meccanismi disponibili per quest'area, riferibili però a fuochi più profondi.

4.3 Sismicità storica

Il Veneto è attualmente una regione "silente" dal punto di vista sismico. L'assenza di grossi eventi sismici recenti sorprende, ma non deve far pensare che il Veneto sia una regione tettonicamente inattiva. Evidenze di movimenti recenti (neotettonica) sono osservabili soprattutto nella fascia pedemontana (in particolare al confine tra le province di Belluno e Treviso) lungo la quale sono allineati i principali eventi storici.

La pericolosità sismica del Veneto è in parte legata all'attività dei distretti sismici del Friuli centrale e, in minor misura, dell'Alpi e del Garda. Allo stato attuale, il territorio regionale è interessato da una certa sismicità di magnitudo medio - bassa, messa in luce negli ultimi decenni dal monitoraggio strumentale dell'attività sismica.

13

Tra i terremoti storici più rilevanti con epicentro **in Veneto** si possono ricordare:

- Treviso, 778 d.C.
- Verona, 1117 d.C.
- Asolo, 25 febbraio 1695
- Bellunese, 29 giugno 1873
- Bosco Cansiglio, 18 ottobre 1936

Nel dettaglio, i principali terremoti verificatisi in prossimità dell'area in studio, sono i seguenti.

Terremoto di Asolo

anno	Data (gg.mm.)	Località epicentrale	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo stimata
1695	25.02	Asolo	9,5	n.d.
✓ I morti furono circa 69 ✓ Le massime distruzioni si ebbero lungo l'allineamento Castelvies - Costalunga - Castelvico (Valcavasia centrale)				

Terremoto del Bellunese

anno	Data (gg.mm.)	Località epicentrale	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo stimata
1873	29.06	Bellunese	10	6,3
✓ Le vittime furono 30 nell'Alpi e complessivamente una quarantina in provincia di Belluno ✓ Le zone maggiormente colpite furono l'Alpi (basso Bellunese), la Val Lapisina e la fascia collinare che procede da Vittorio Veneto a Montebelluna				

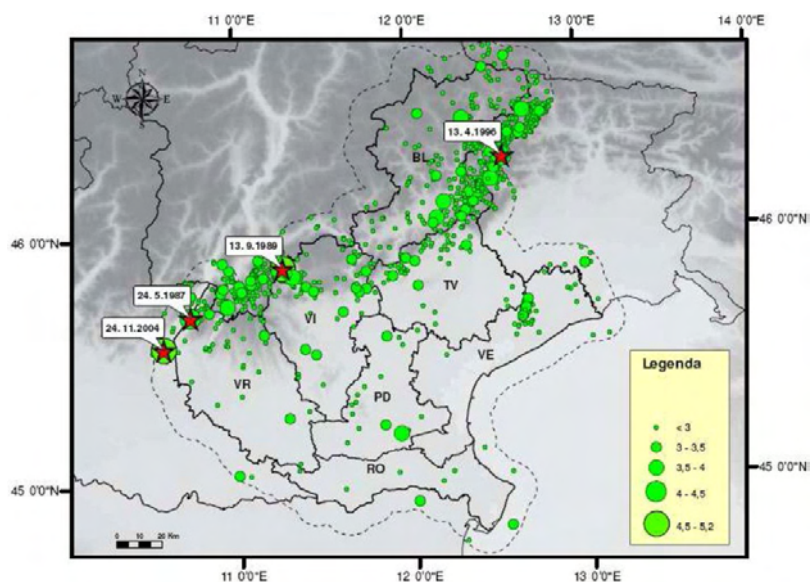
Terremoto del Bosco del Cansiglio

anno	Data (gg.mm.)	Località epicentrale	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo stimata
1936	18.10	Bosco Cansiglio	9	6,1
✓ Non vennero registrate vittime ✓ Le zone maggiormente colpite furono i borghi al piede del Cansiglio da Ceneda (Vittorio Veneto) a Stevenà				

Nel periodo 1977 – 2006, la rete gestita dall'OGS - Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste ha registrato in Veneto quasi 1200 eventi sismici con magnitudo compresa tra 2,0 e 3,0.

La maggior parte di questi eventi è localizzata lungo la fascia prealpina che unisce l'Alpago al Monte Baldo. La profondità epicentrale più frequente è compresa tra i 7 ed i 15 km di profondità. Solo l'11% degli eventi si colloca a profondità maggiore (fino a 22 km).

Nella figura seguente è riportata la distribuzione di tutti i terremoti registrati da OGS distinti per classi di magnitudo di durata M_D ¹. Gli eventi con $M_D > 4$, i cui epicentri ricadono nel territorio regionale o in prossimità di esso, sono identificati con una stella rossa.



Distribuzione di tutti i terremoti recenti registrati dalla rete sismometrica gestita da OGS in Veneto nel periodo 1977 – 2006 (Priolo, 2008)

I terremoti identificati con la stella rossa sono così sintetizzabili:

- 24/05/1987 - Garda - $M_D = 4,2$
- 13/09/1989 - Pasubio - $M_D = 4,8$
- 13/04/1996 - Claut - $M_D = 4,2$
- 24/11/2004 - Salò - $M_D = 5,2$

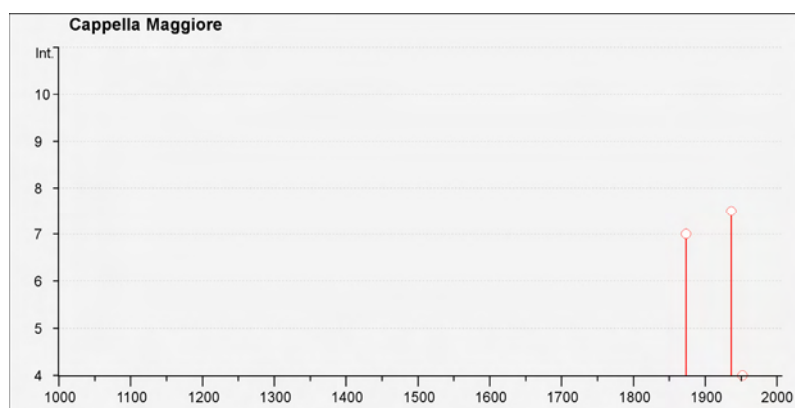
La ricostruzione storica degli eventi sismici che hanno caratterizzato il territorio comunale di Cappella Maggiore è stata fatta utilizzando il database macrosismico italiano DBMI11 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (a cura di *M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011*): rispetto al precedente DBMI04 raccomandato nelle linee guida della Regione Veneto per la realizzazione dello studio della compatibilità sismica, il DBMI11 ne rappresenta l'integrazione e l'aggiornamento, per cui è stato consultato per estrarre le seguenti informazioni.

¹ La magnitudo di durata M_D è il tipo di magnitudo che si utilizza per registrare piccoli terremoti, come quelli registrati in zona vulcanica che, vicini agli strumenti, li saturano. Si basa sul logaritmo della durata dell'evento sismico

Nello specifico, il Comune di Cappella Maggiore appare **cinque volte**, con particolari intensità registrate nei terremoti del 1873 (Bellunese) e del 1936 (Bosco Cansiglio). Nella tabella seguente sono stati elencati i vari eventi registrati, con indicati, oltre all'intensità in scala MCS al sito in esame (I), la data (Anno, Mese, Giorno, Ora, Minuto) in cui si è verificato l'evento Ax, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Storia sismica di Cappella Maggiore [45.969, 12.362]		In occasione del terremoto del:			
Effetti	I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
7		1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11
7-8		1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09
4		1952 01 18 01:36	POLCENIGO	108	5 4.57 ±0.18
NF		1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
3-4		2004 07 12 13:04	Alpi Giulie	366	5.19 ±0.09

Il grafico seguente ricostruisce la storia sismica di Cappella Maggiore (per terremoti con intensità al sito superiore a 4) tra gli anni 1000 e fino al 2006.



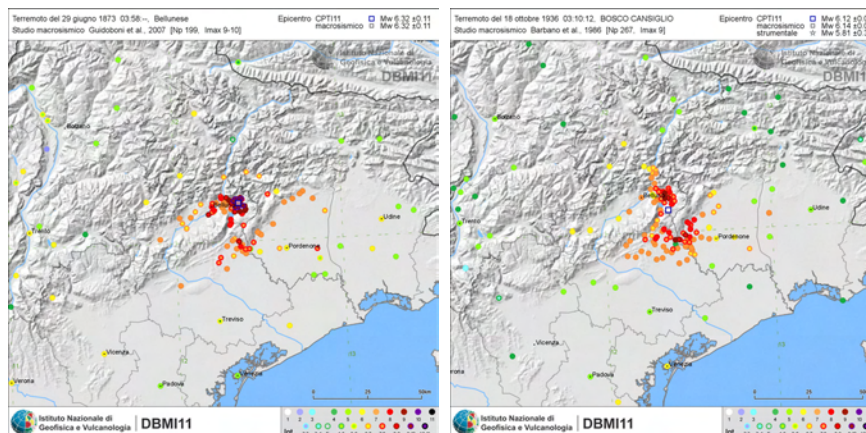
15

Tra le località vicine poste entro i 10 km di distanza, si noti come Vittorio Veneto, confinante ad Ovest, sia il Comune in cui sono stati registrati più terremoti (NMO) nello stesso arco temporale di cui sopra.

Località vicine (within 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
Caneva	IT	12	6km
Ceneda	IT	3	5km
Colle Umberto	IT	9	4km
Cordignano	IT	11	5km
Fregona	IT	11	4km
Godega di Sant'Urbano	IT	8	5km
Montaner	IT	4	3km
Orsago	IT	8	7km
San Fior (di Sopra)	IT	6	5km
San Vendemiano	IT	6	9km
Sarmede	IT	17	2km
Sarone	IT	3	8km
Stevenà	IT	3	6km
Tarzo	IT	5	10km
Vittorio Veneto [Vittorio]	IT	29	5km

Si noti come l'evento del Friuli registrato il giorno 06 maggio dell'anno 1976, nonostante risulti essere tra i più forti eventi riportati nei cataloghi della sismicità storica italiana, non venga segnalato nel Comune di Cappella Maggiore, dove probabilmente non ha causato alcun danno od è stato avvertito in modo molto inferiore rispetto ai terremoti del 1936 e del 1873, avvenuti nelle vicinanze dell'area.

Secondo i cataloghi oggi disponibili (CPTI11, Guidoboni et al., 2007) la magnitudo M_w dell'evento del 1873 (Bellunese) sarebbe stata pari a 6,32 e, a Cappella Maggiore, si sarebbe avvertito con un'intensità I (MCS) pari a 7, mentre l'evento del 1936 (Bosco Cansiglio), con magnitudo M_w pari a 6,12 è stato segnalato con una intensità I (MCS) pari a 7-8.



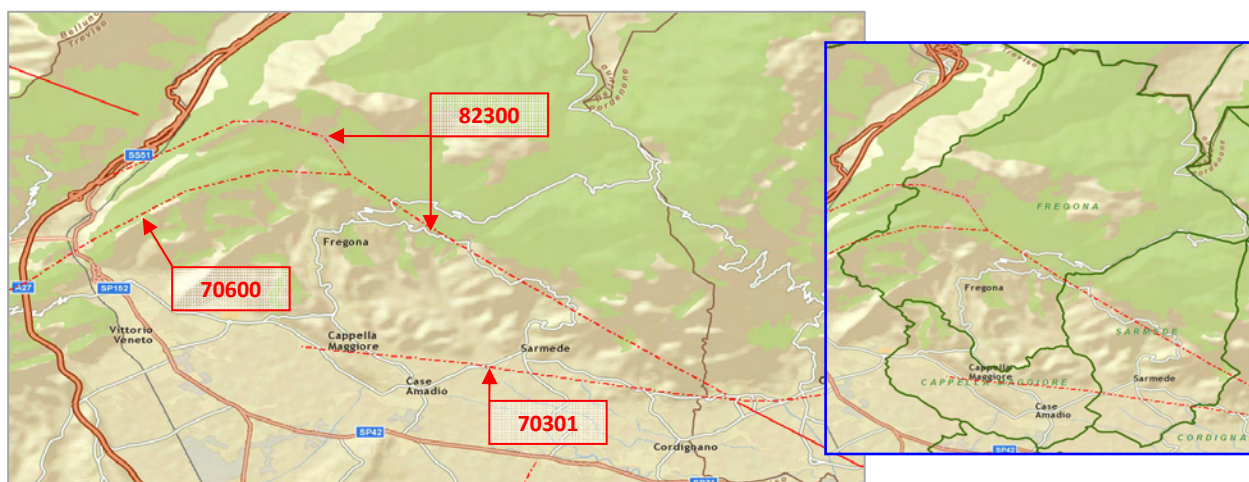
4.4 Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche

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 Cappella Maggiore, si è fatto riferimento agli studi condotti dagli esperti scientifici e riportate nei cataloghi **ITHACA** e **DISS 3.1.1**.

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

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

Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie: dalla sua consultazione è stato possibile individuare, nel territorio in esame, una serie di faglie dirette ed inverse, ubicabili indicativamente come nelle figure sotto riportate (immagini estratte dal sito dell'ISPRA).



Il riquadro a destra evidenzia che il Comune di Cappella Maggiore è interessato da una faglia inversa con direzione Ovest - Est (Cod. 70301) e, nella tabella seguente, sono state riportate le informazioni desunte dalla scheda specifica ITHACA di tale lineamento.

Nome faglia	Cansiglio
Tipo Faglia	Inversa
Codice faglia	70301
Macrozona	0
Regione	Veneto
Sistema	Linea di Aviano
Ordine	-
Direzione media	240
Immersione	NW
Lunghezza (km)	-
Profondità (km)	-
Ultima attività (anni)	-
Affidabilità dato sull'attività	-
Intervallo ricorrente (anni)	-
Velocità di slittamento (mm/anno)	-
Massima lunghezza attesa di rottura	-
Massimo scivolamento atteso (m)	-
Qualità dello studio	-
Studio	Galadini et al. (2005)

Le figure appena riportate evidenziano, altresì, che la zona immediatamente a Nord del territorio comunale di Cappella Maggiore è interessata da altre n°2 faglie inverse (Cod. 82300 e Cod. 70600); nella tabella sottostante, sono state riportate le informazioni desunte dalle schede specifiche ITHACA anche per tali lineamenti.

Nome faglia	Montaner	Longhere
Tipo Faglia	Inversa	Inversa
Codice faglia	82300	70600
Macrozona	2	2
Regione	Veneto	Veneto
Sistema	Montaner	Longhere
Ordine		Subordinata
Direzione media	120	60
Immersione	0	0
Lunghezza (km)	10	25
Profondità (km)	0	0
Ultima attività (anni)	Storica (< 3.000)	Ultima glaciazione (< 9.000 ÷ 15.000)
Affidabilità dato sull'attività	Bassa	Bassa
Intervallo ricorrente (anni)	0	0
Velocità di slittamento (mm/anno)	0	0
Massima lunghezza attesa di rottura	0	0
Massimo scivolamento atteso (m)	0	0
Qualità dello studio	Bassa	Bassa

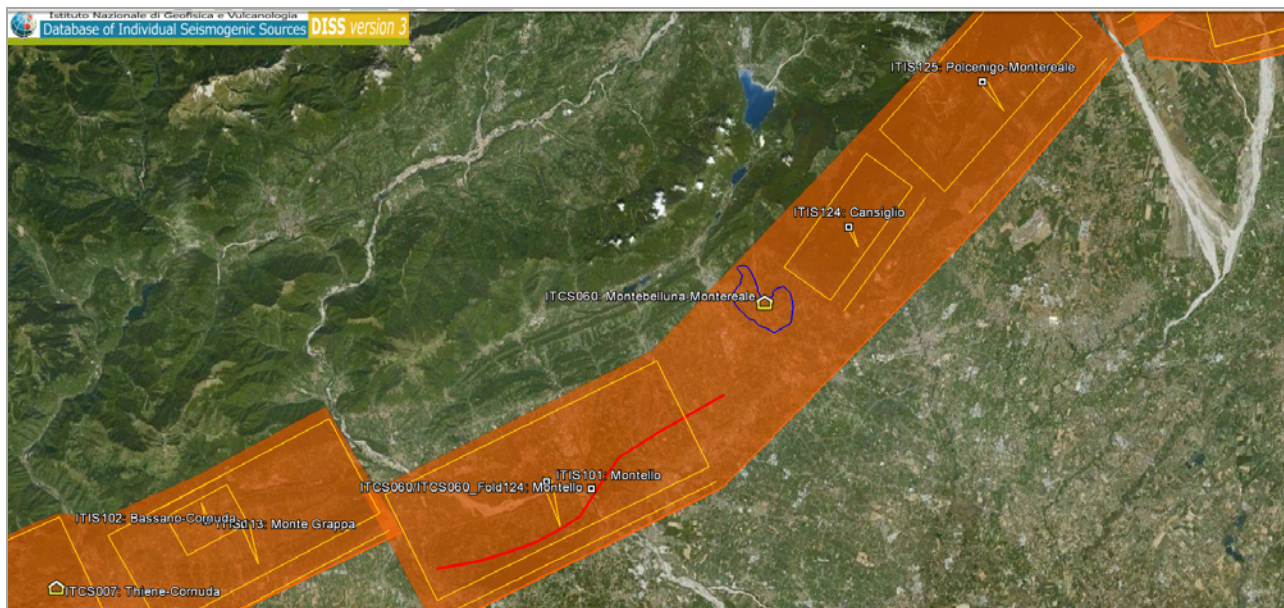
La mappa dell'INGV riportata di seguito, denominata **DISS 3.1.1 (Database of Individual Seismogenic Sources - DISS Version 3)**, mostra tre tipologie di sorgenti sismogenetiche.

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

Sorgenti composite (CS): sono regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti minori allineate che non è ancora conosciuto singolarmente. Le sorgenti composite non sono associate ad 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 il Comune di Cappella Maggiore entro la zona ITCS 060 “Montebelluna – Montereale” e immediatamente a Sud della zona ITIS 124 “Cansiglio”.



La Zona ITCS 060 “Montebelluna – Montereale”, sintetizzata nella tabella che segue, schematizza un’area estesa contenente un numero non specificato di sorgenti minori allineate, che non sono ancora conosciute singolarmente e non sono associate ad uno specifico gruppo di terremoti storici.

Questa fascia si sviluppa lungo la pedemontana veneto - friulana, a metà strada tra le Città di Belluno e Pordenone ed appartiene al sistema di *thrust* della catena sudalpina orientale; si tratta di un sistema di faglie vergente verso SE, associato alla convergenza tra il continente africano (microplacca adriatica) e quello europeo. I cataloghi storici mostrano una **sismicità media** associata a questa zona con eventi distruttivi concentrati nel settore orientale della fascia; tra questi si ricordano il terremoto di Pordenone del 1812 (magnitudo 5,7), quello del Bosco del Cansiglio del 1936 (Magnitudo 6,1) e quello dell’area Bellunese del 1873 (magnitudo 6,3). Il settore sudoccidentale è caratterizzato dalla presenza del *thrust* di Montello – Conegliano, la più importante struttura della catena sudalpina orientale; i dati strutturali e le evidenze geologiche di superficie mostrano che il *thrust* del Montello – Conegliano continua ad Est con il *thrust* del Cansiglio. La direzione della faglia è circa parallela all’asse delle anticlinali del Montello e del Cansiglio e la magnitudo massima associata (6,5) è quella relativa al massimo evento rilevato.

Minima profondità (km)	1
Massima profondità (km)	9
Direzione (°)	210 - 245
Inclinazione (°)	30 - 50
Rake (°)	60 -100
Velocità di movimento (mm/anno)	0,31 – 1,56
Magnitudo massima	6,5

Invece, la zona ITIS 124 “Cansiglio” propone una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia ed esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudo attesa.

La geometria della Faglia del Cansiglio è stata ricavata dall'analisi di diversi lavori relativi al terremoto del Cansiglio del 1936 ed ai dati sismici della sequenza del Friuli del 1976, opportunamente mediati in relazione alla magnitudo ed all'area di rottura e così sintetizzabili:

Lunghezza (km)	10
Larghezza (km)	6,4
Minima profondità (km)	1,5
Massima profondità (km)	6,4
Direzione (°)	214
Inclinazione (°)	50
Rake (°)	60
Velocità di movimento (mm/anno)	0,52 - 0,65
Tempo di ritorno (anni)	1154 - 1442
Magnitudo massima	6,1

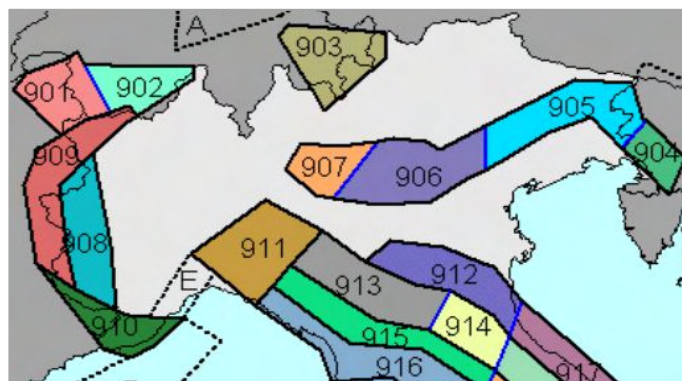
Il terremoto del 18 ottobre 1936 è l'unico evento riportato nei cataloghi che può essere associato alla Faglia del Cansiglio, sulla base della distribuzione dei danni.

Le aree maggiormente colpite furono quella a Sud del Cansiglio e la Valle dell'Alpago, le stesse zone in cui si sono registrati gli effetti più forti durante il terremoto del Bellunese del 1873. Altri dati inerenti la sismicità della Faglia del Cansiglio si possono ottenere dall'analisi di lavori riguardanti l'evoluzione neotettonica del Friuli e, in particolare:

- Peruzza et Al. (1989) studiano le ipotesi relative alla sismogenesi dell'area Alpago - Cansiglio, focalizzandosi sull'evento del 1936 e associandolo con una struttura appartenente al sistema di faglie del Monte Cornetto.
- Sirovich e Pettenati (2004), sempre in relazione al terremoto del 1936, descrivono alcuni lineamenti morfotettonici che confermano la recente attività del *thrust* del Cansiglio e associano l'evento del 1936 al movimento di un segmento del thrust di Aviano.
- Galadini et Al. (2005) associando le faglie di quest'area con i principali terremoti, con particolare riferimento alla distribuzione dei punti di maggiore intensità, evidenziano che il *thrust* del Cansiglio è un segmento della più lunga Linea di Aviano. Tale studio è stato successivamente implementato da Poli et Al. (2008) che nel trattamento dei dati fanno riferimento alla sequenza del terremoto del Friuli del 1976 e analizzano anche la sismicità storica intermedia (eventi con magnitudo compresa tra 5,5 e 6,0).
- Burrato et Al. (2008) confrontando una serie di faglie sismogenetiche nell'Italia Nord orientale e della Slovenia occidentale, confermano che i terremoti più distruttivi della regione del Veneto - Friuli sono generati da una serie di faglie della catena sudalpina orientale, immergenti a Nord.

Nella definizione della pericolosità sismica nazionale, i terremoti storici dell'area in esame sono stati considerati con l'introduzione della **zona sismogenetica n°905**. Infatti, secondo la Zonazione Sismogenetica ZS 9 (Meletti e Valensise, 2004), nel Veneto ricadono le zone sismogenetiche **n°905 "Friuli - Veneto Orientale"** e **n°906 "Garda - Veronese"**, che interessano rispettivamente la fascia pedemontana tra Bassano del Grappa ed il confine con il Friuli Venezia Giulia e la fascia pedemontana che, da Bassano, prosegue fino al Lago di Garda. Il meccanismo di fagliazione responsabile dei terremoti che si sono verificati in entrambe le zone è di tipo faglia inversa, con una profondità ipocentrale media stimata di 8 km.

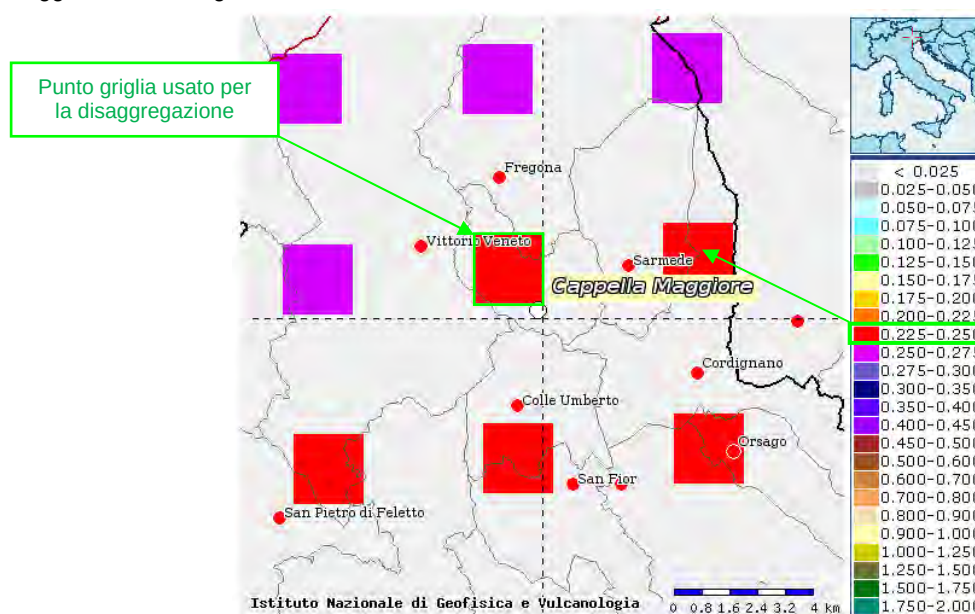
Il Comune di Cappella Maggiore si inserisce nella zona sismogenetica n°905 della figura seguente, per cui si sviluppa all'interno di un'area sismicamente interessante, come del resto denota l'elevata pericolosità sismica definita per il territorio in esame.



Carta delle zone sismogenetiche ZS 9
(Meletti e Valensise, marzo 2004)
con indicata in verde la posizione di
Cappella Maggiore nella **Zona n° 905**

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 Aprile 2006. Nella carta, della quale la figura seguente ne rappresenta l'estratto per il Comune di Cappella Maggiore, 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. 2008)

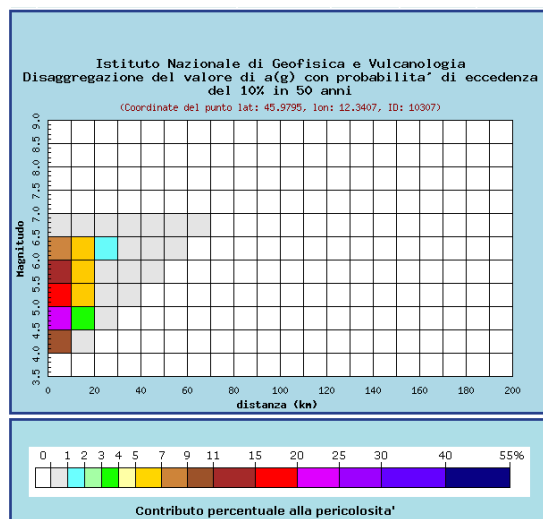
Pertanto, secondo l'O.P.C.M. n°3519 del 28 Aprile 2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n°71 del 22 Gennaio 2008 e considerata nell'emanazione del D.M. 14 Gennaio 2008, il territorio oggetto dello studio di Microzonazione Sismica è inseribile interamente nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra **0,225g** e **0,250g** (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni - mappa 50° percentile), ovvero in Zona 2, ma al limite con la fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra **0,250g** e **0,275g** (Zona 1), come classifica la tabella riportata sotto, estratta dall'O.P.C.M. n°3519 stessa.

a) Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s, secondo lo schema seguente:

zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni $[a_g]$	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico $[a_g]$
1	$0,25 < a_g \leq 0,35 g$	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25 g$	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15 g$	0,15 g
4	$\leq 0,05 g$	0,05 g

Per quanto riguarda gli aspetti amministrativi, Cappella Maggiore rientra nella Zona 2, come classificato nell'elenco (allegato I) della Delibera di Consiglio Regionale n°67/03 (cfr. D.G.R.V. n°71 del 22 Gennaio 2008).

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

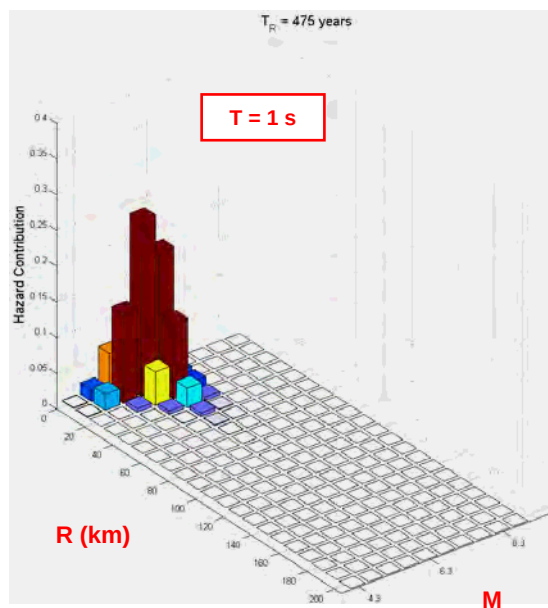
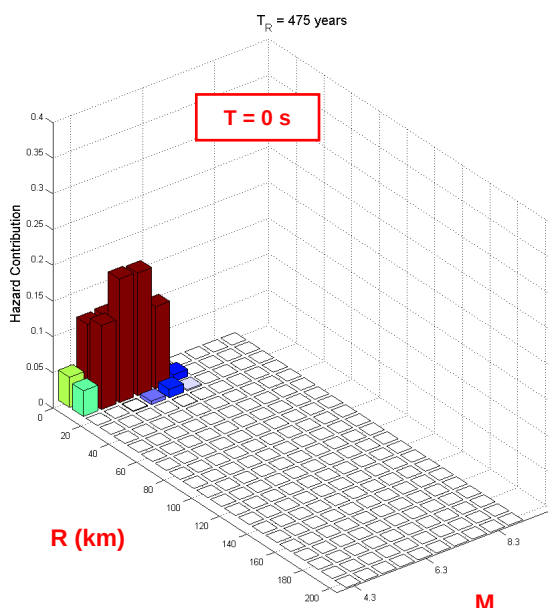


Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità* di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.9795, lon: 12.3407, ID: 10307)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	10.400	24.500	19.500	13.000	7.450	0.981	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.558	3.000	5.020	5.830	5.290	0.903	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.010	0.350	0.992	1.430	0.307	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.001	0.089	0.279	0.074	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.044	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	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

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.290	7.440	0.878

La stessa verifica è stata eseguita per le stesse coordinate di riferimento utilizzando Rexel v 3.4 (Beta) che ha permesso di disaggregare la pericolosità per due ordinate spettrali in termini di PGA ($T = 0$ s) e di S_a ($T = 1$ s), come nelle immagini seguenti.

Analogamente alla ricostruzione dell'INGV riportata sopra, considerando lo stesso tempo di ritorno ($T_r = 475$ anni) ed una Categoria A di sottosuolo in condizioni subpianeggianti, si evidenzia che il maggior contributo alla pericolosità sismica locale è dato da eventi di entità M_w compresa tra 4,0 ÷ 4,5 e 6,5 e relativamente vicini ($R =$ entro 10 - 15 km).



Si fa comunque presente che, come tutte le zone sismogenetiche del territorio italiano, anche quella contrassegnata al n°905 e precedentemente descritta viene considerata omogenea ai fini della probabilità di accadimento degli eventi sismici, ovvero si ritiene che tutti i punti in essa contenuti abbiano la stessa probabilità di essere sede di eventi sismici e, in rapporto agli epicentri noti, non esisterebbe quindi l'effetto distanza.

Secondo il Par. 2.8 degli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”, per alcune tipologie di verifiche si potrebbe assumere come valore di magnitudo attesa quella massima della zona sismogenetica di appartenenza, che per la Zona n°905 in cui ricade il territorio di Cappella Maggiore vale $M_{wmax} = 6,60$.

22

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 FINALITA'

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*”, 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 ad 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 ed 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*”, sono ormai ben conosciuti e possono amplificare notevolmente le sollecitazioni nelle strutture (di entità tale da portarle fino al collasso) od 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.



Turchia, agosto 1999



Emilia, maggio 2012



Aquila, aprile 2009



Tatsuoka, 2006

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 '70, 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 *Microzonazione Sismica (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 di sottosuolo A 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 aversi solo “effetti di sito” (stratigrafici, di valle, topografici);

EFFETTI DI SITO

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

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



24

- **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 Cappella Maggiore, 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 ed alla pianificazione urbanistica e non al progetto delle strutture.

5.3 Finalità e livelli di approfondimento

La MS ha lo scopo di riconoscere ad 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 ad un livello intermedio tra la classificazione sismica a scala nazionale, che fa riferimento ad 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, in primo luogo, quello di distinguere le zone il cui comportamento può essere instabile (*aree critiche*) dalle zone dove possono aversi o meno "fenomeni di amplificazione del moto sismico" (*aree stabili suscettibili o non suscettibili*), mentre il secondo obiettivo è quello di valutarne la risposta.

Le principali linee guida internazionali, tra cui gli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" del Dipartimento della Protezione Civile (2008), prevedono tre livelli di approfondimento (I, II, III).

In sintesi:

il Livello I, 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 II associa alle zone omogenee dei parametri **quantitativi** di interesse ingegneristico, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce la *Carta di microzonazione sismica*;

il Livello III 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 ed 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 I 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 I previsto dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" del Dipartimento della Protezione Civile.

In aggiunta agli standard del Livello I, è stato eseguito un approfondimento quantitativo della risposta sismica locale, misurando le frequenze di vibrazione del sottosuolo **sull'intero territorio comunale** e valutando localmente le velocità di propagazione delle onde di taglio V_s nei litotipi più rappresentativi; inoltre, in alcune aree individuate dall'Amministrazione Comunale, l'amplificazione caratteristica del sito è stata quantificata tramite modellizzazioni numeriche avanzate bidimensionali in campo dinamico, proprie del Livello III.

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

6.1 Indagini pregresse

Le ricerche condotte presso gli archivi dell'Ufficio Tecnico Comunale non hanno prodotto particolari indagini geotecniche e /o geofisiche significative per il presente lavoro, se non per quanto riguarda alcuni studi di carattere geologico eseguiti per la progettazione di opere civili: tali indagini sono state opportunamente schedate ed allegate a fine testo.

Per questo motivo, al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni del comunale di Cappella Maggiore, sono state condotte alcune misure geofisiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi.

In particolare, sono state effettuate:

- **n°31 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppate in *array lineari* con n°16 geofoni ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo tramite la misura della velocità di propagazione delle onde S;
- **n°38 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;

6.2 Metodologia di elaborazione delle nuove indagini

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

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità, ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste lunghezze d'onda interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche che sono variabili, appunto, con la profondità. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente, le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico - matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

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

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

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

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

La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.

Per ottenere un elevato dettaglio del segnale, il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato per ogni misura è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è *Grilla v.6.2 - 2012*.

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 ed una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 2 m o 3 m, quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere rispettivamente di 30 m o di 45 m. Tutti gli stendimenti eseguiti non presentavano sostanziali variazioni di quota e, quindi, i siti indagati sono stati considerati a sviluppo orizzontale.



27

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

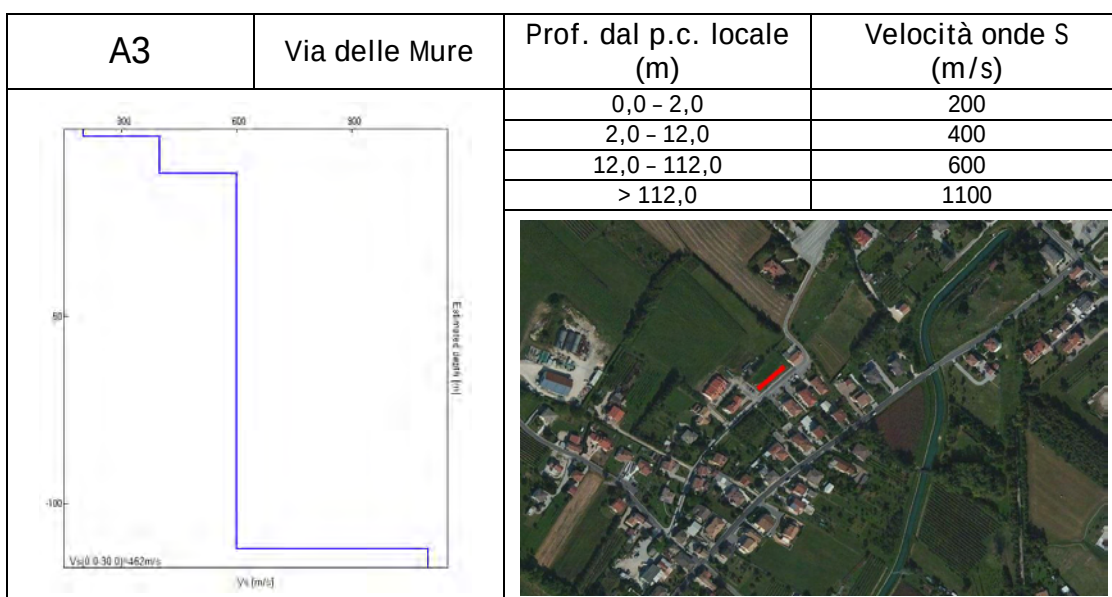
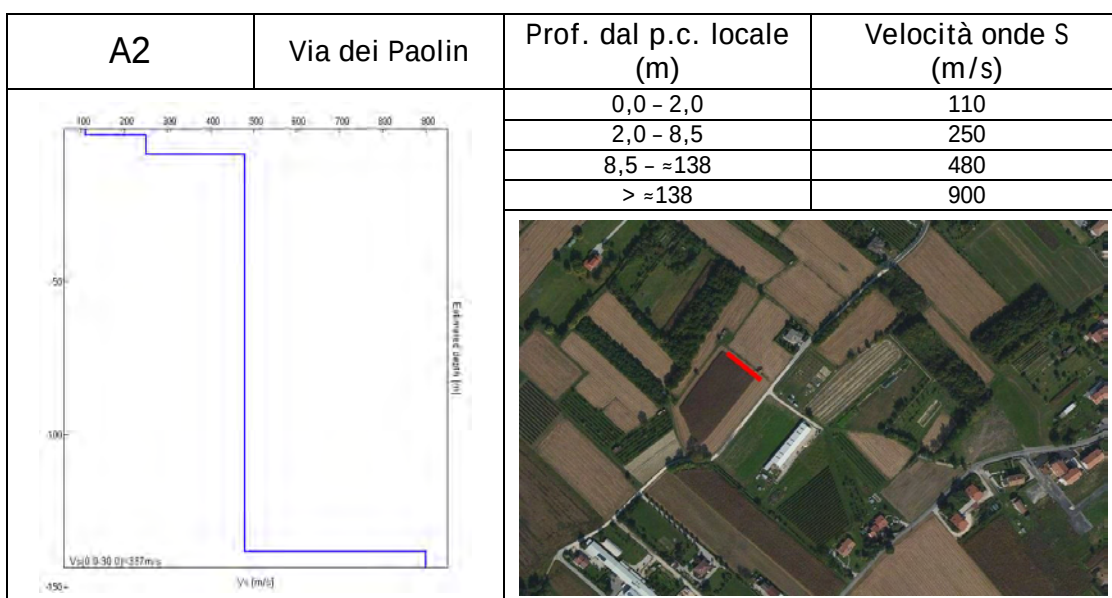
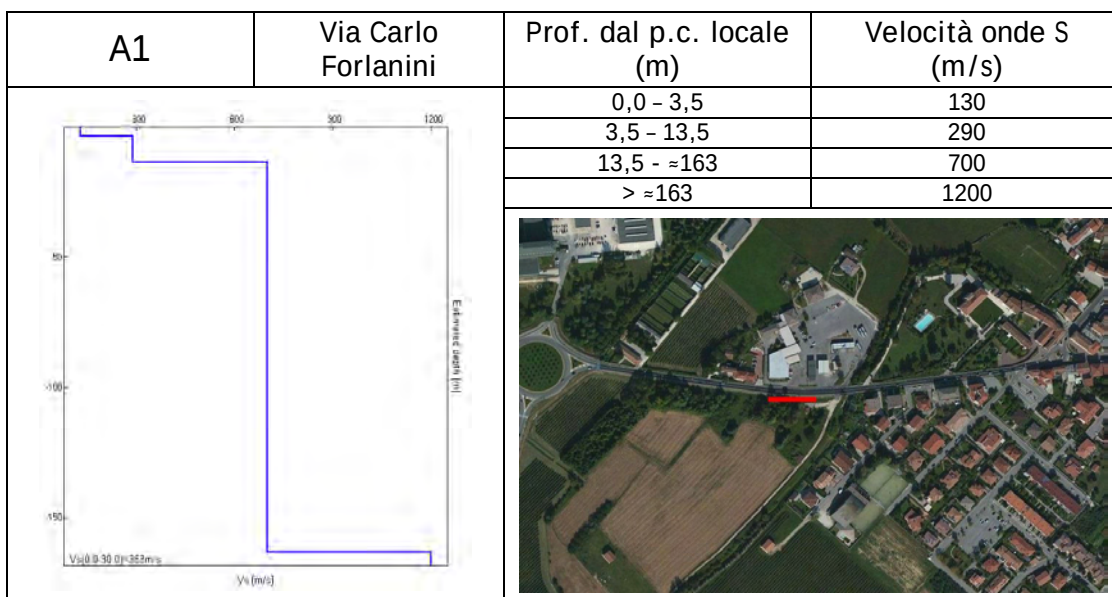
Come detto in precedenza, nel territorio comunale sono state fatte una serie di misure sismiche di superficie (*array* sismici) per approfondire le conoscenze sulle caratteristiche "sismiche" dei litotipi costituenti il territorio in esame: in particolare, esse sono state utilizzate per determinare la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

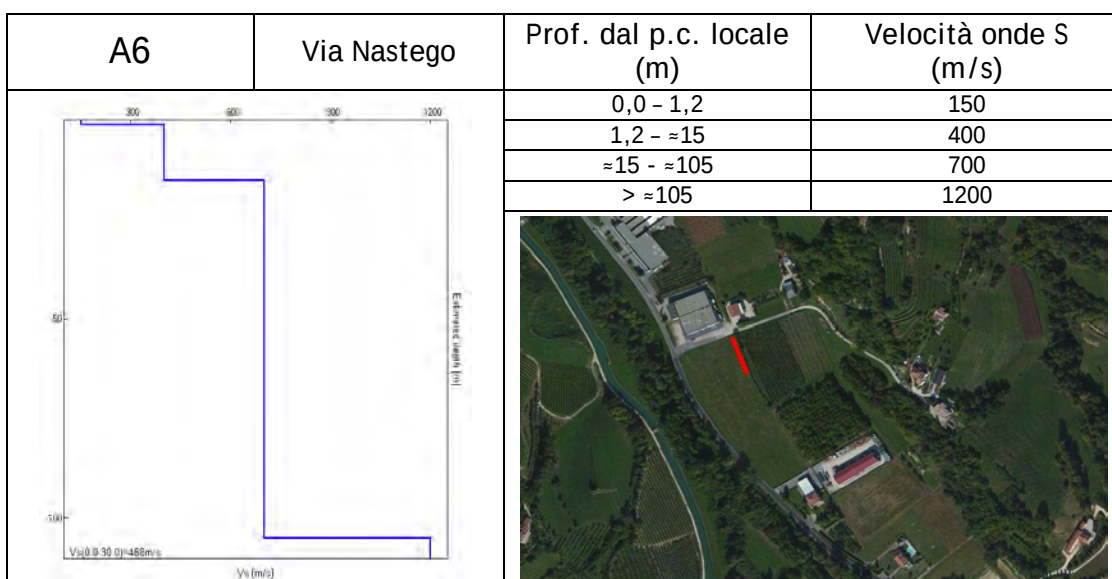
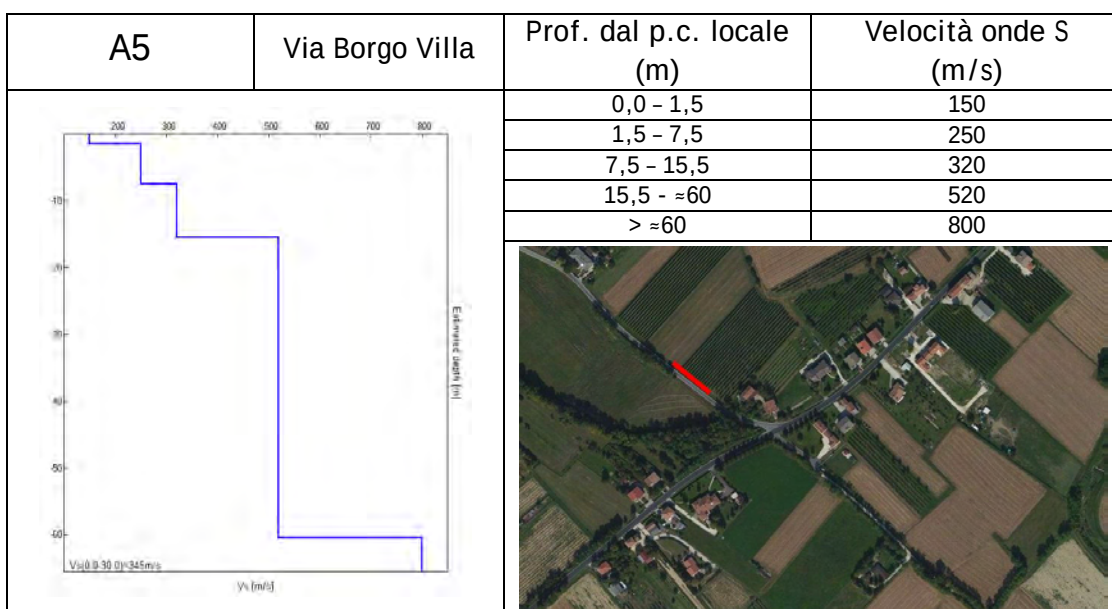
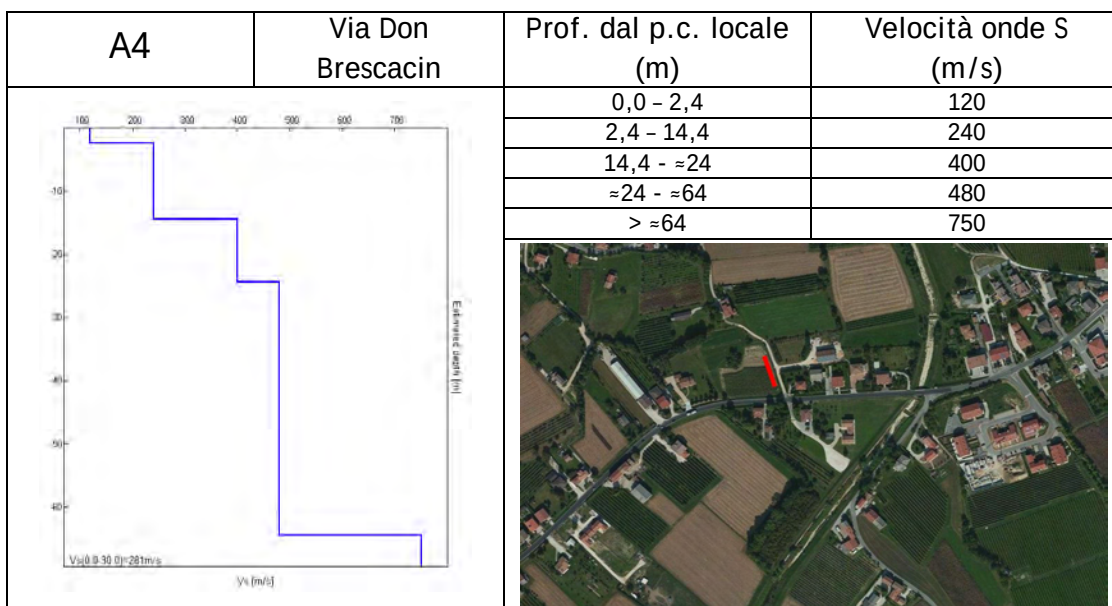
In allegato fuori testo sono state riportate le schede di sintesi dei risultati di tali prove.

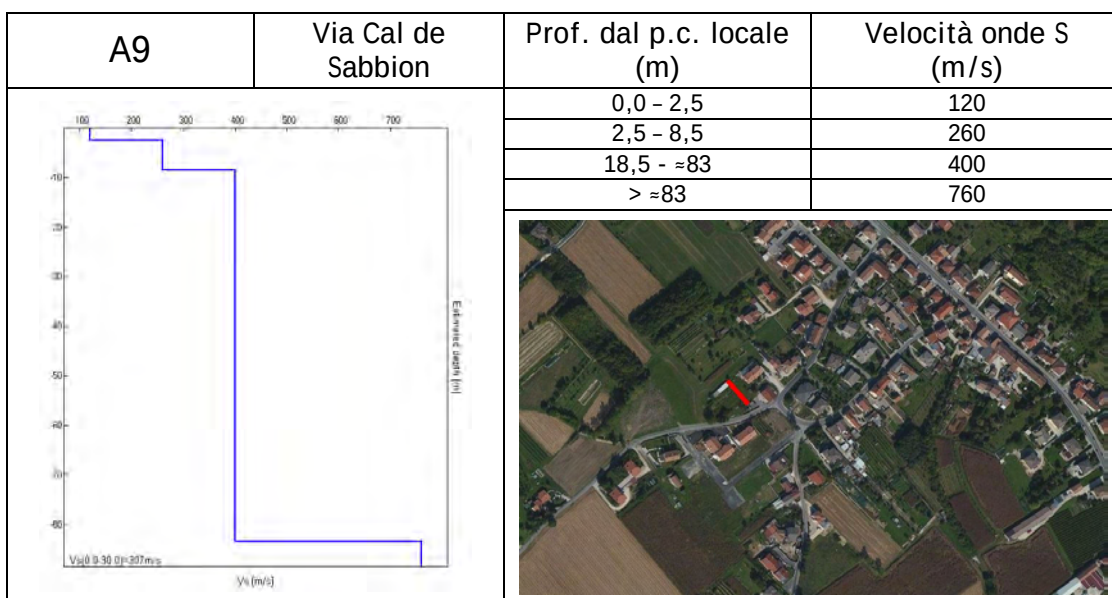
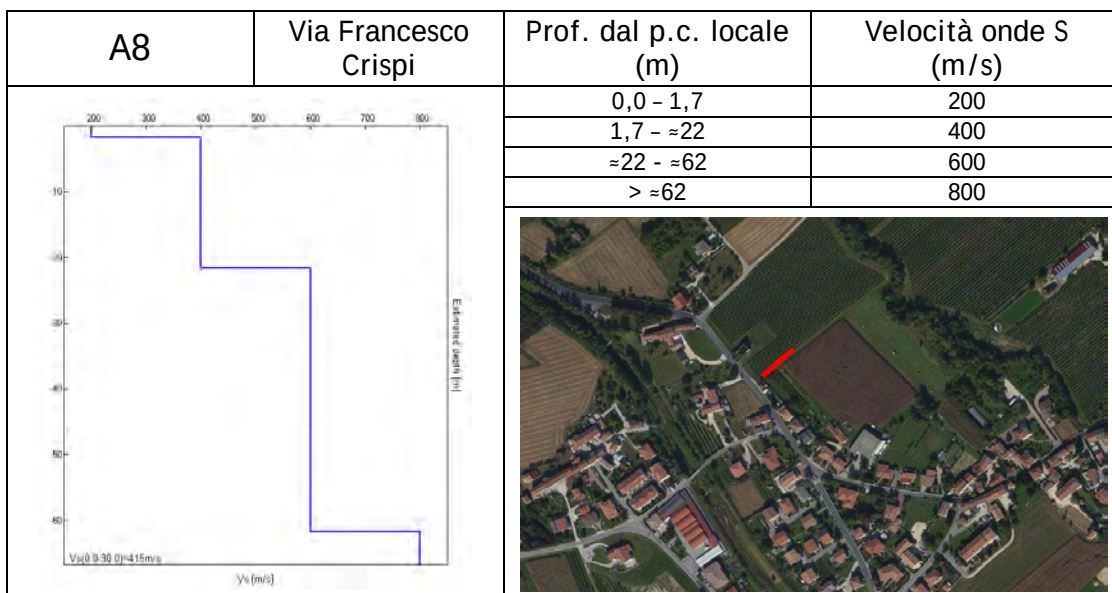
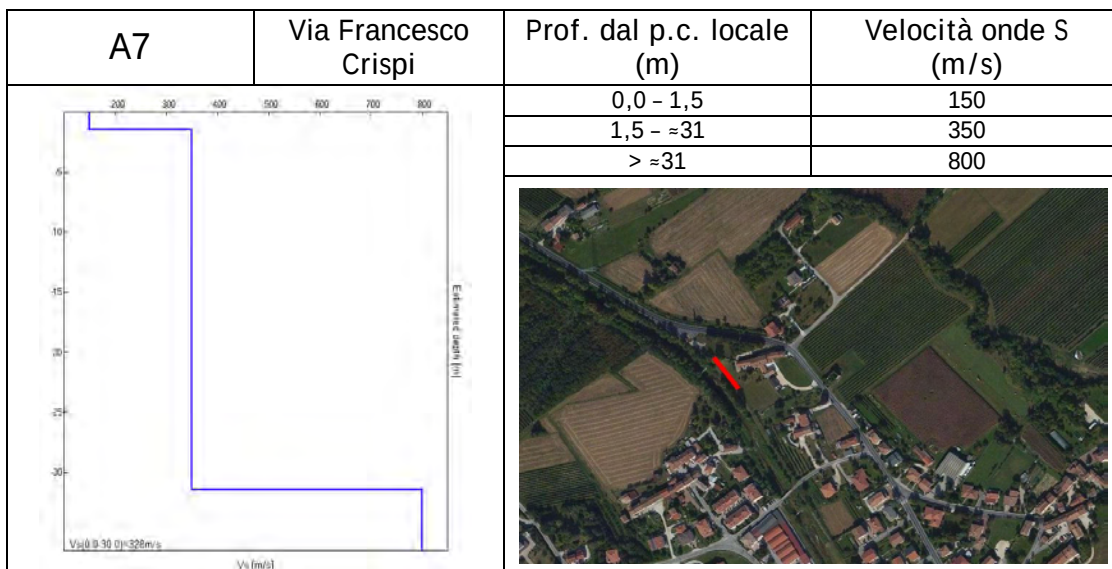
6.2.1.2 Risultati delle misure

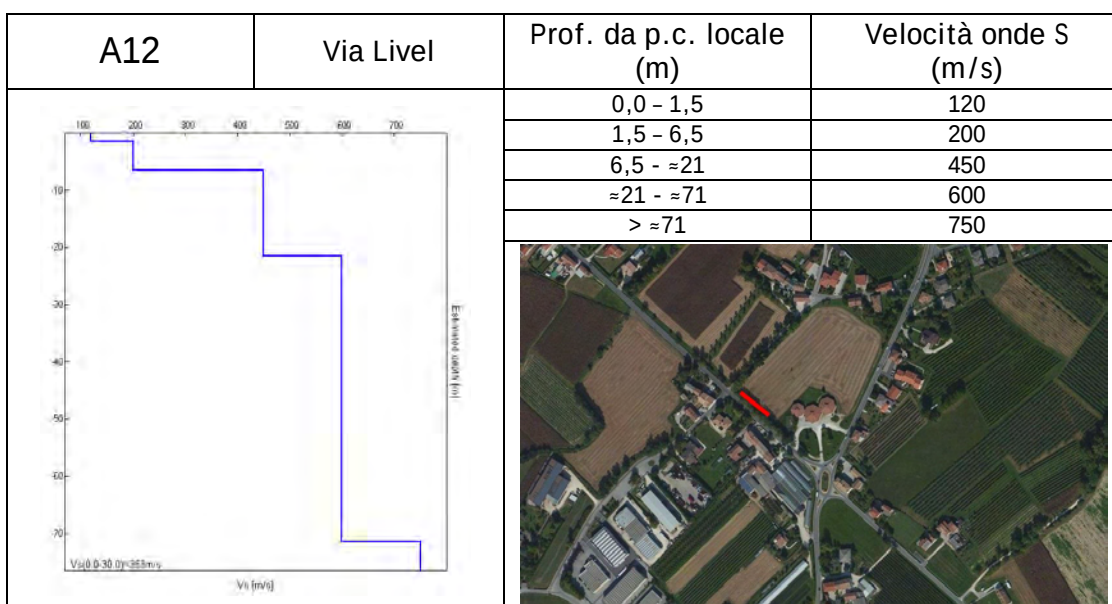
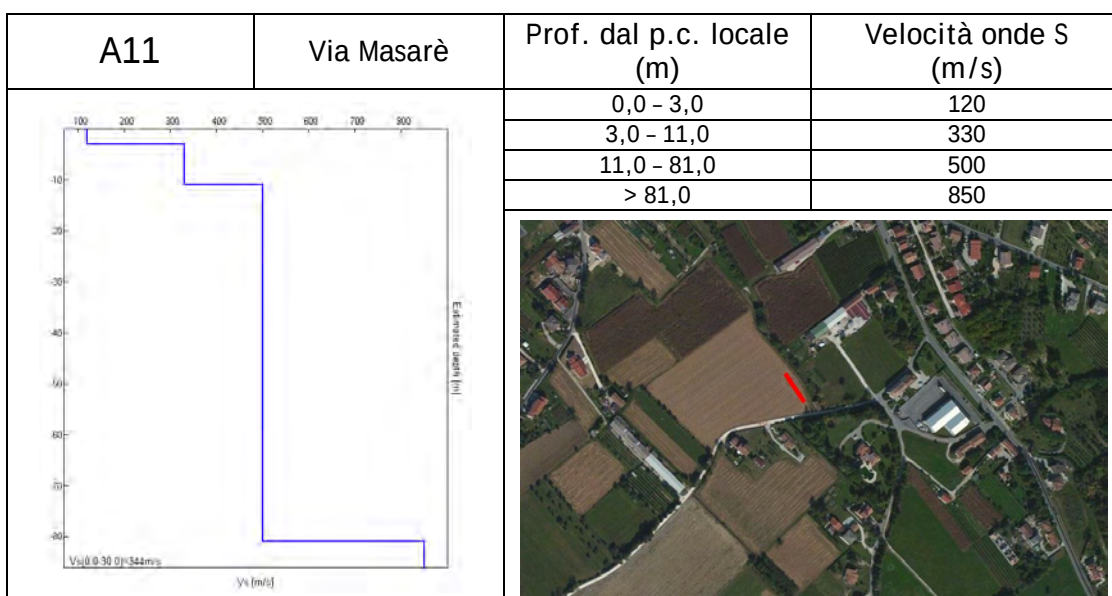
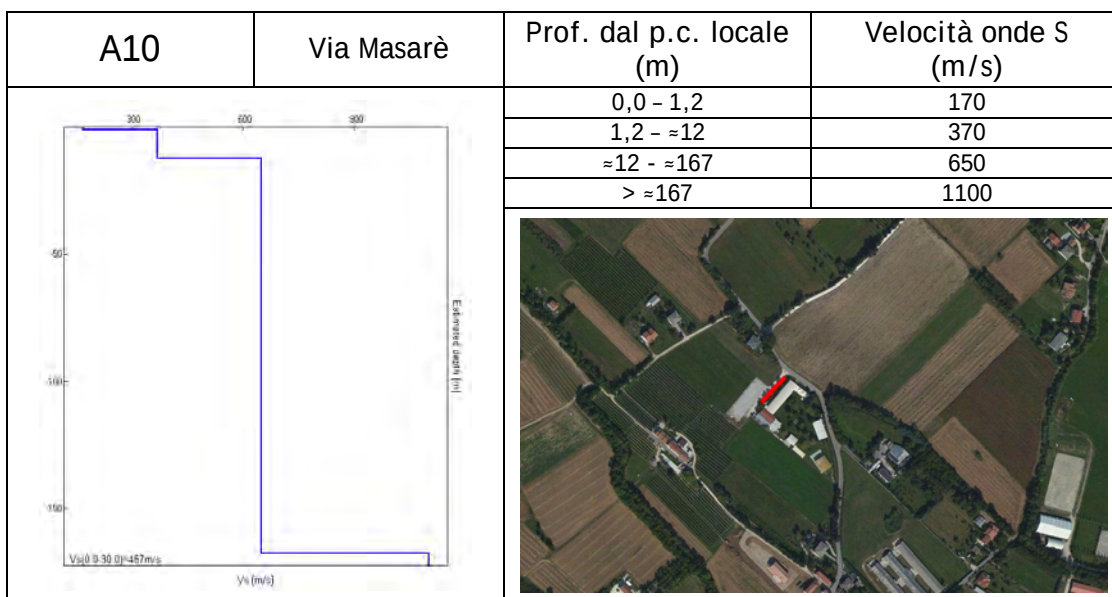
In questo paragrafo è stata riportata esclusivamente la sintesi dei risultati degli *array* sismici eseguiti in questa fase (cfr. Schede A1, ..., A31), dei quali è stata esposta l'ubicazione ed il profilo verticale delle onde di taglio S (V_s).

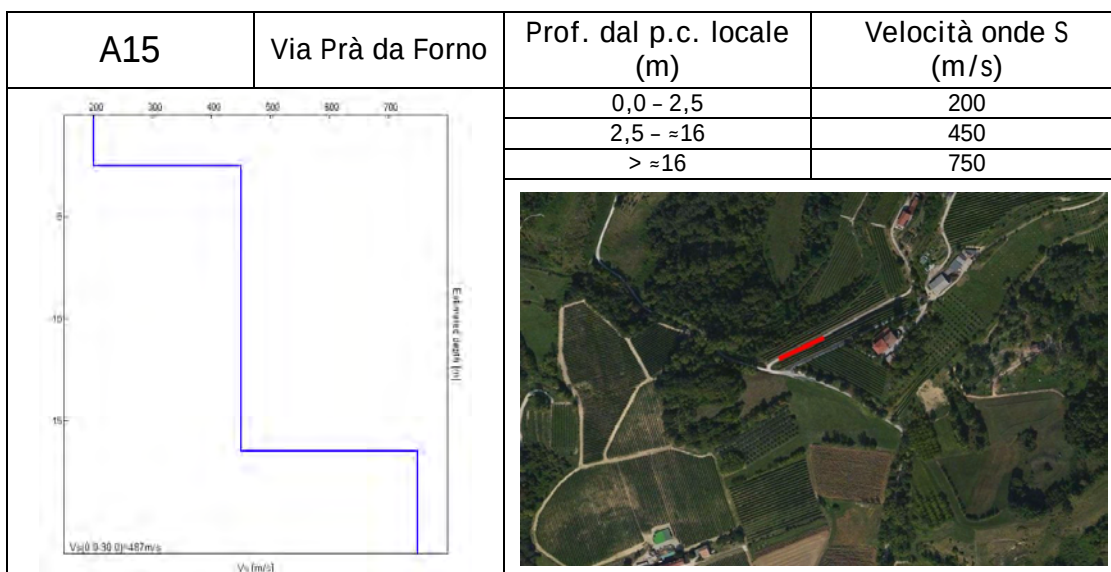
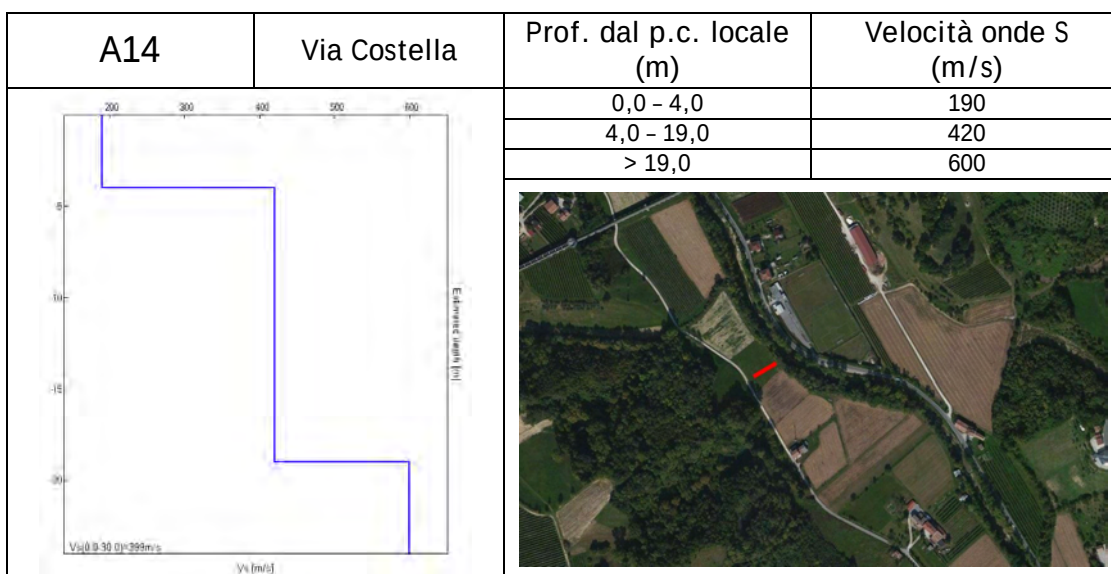
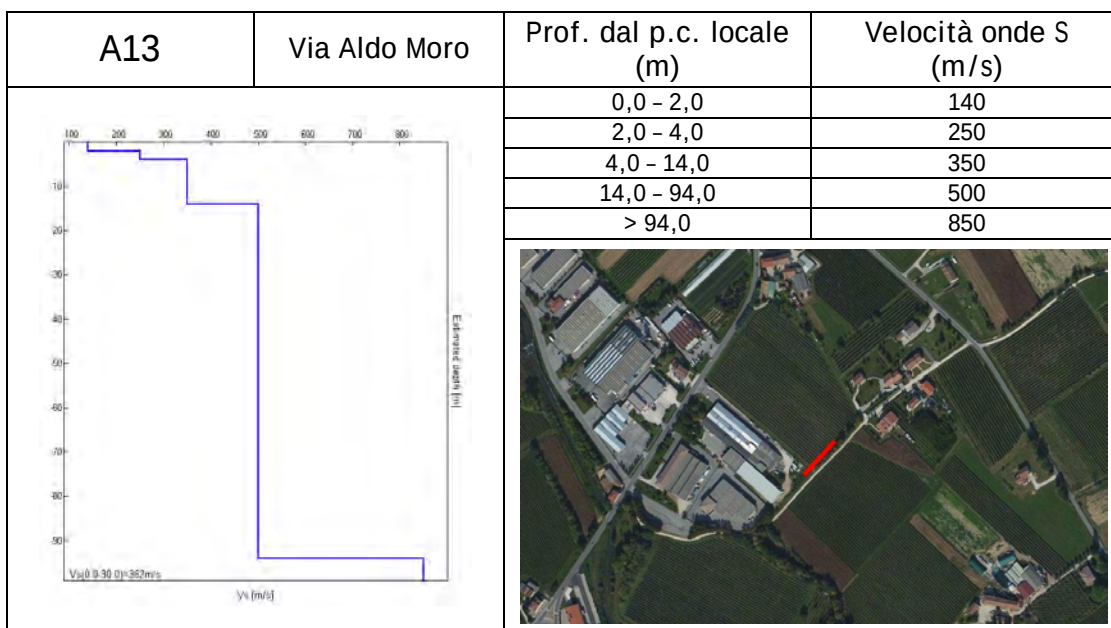
Si rimanda all'allegato fuori testo per la lettura delle schede con i risultati di tali prove.

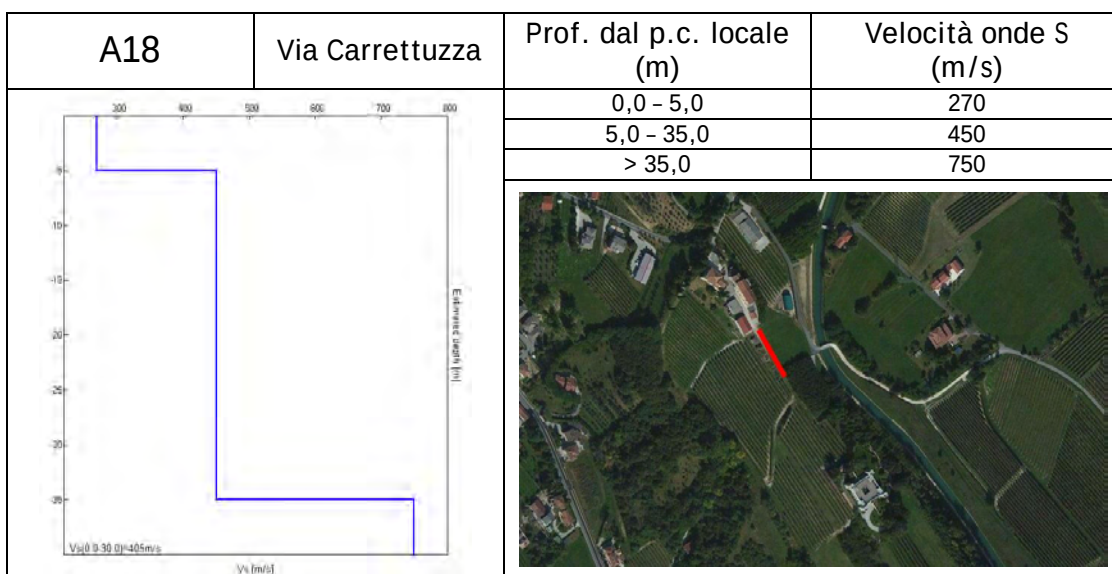
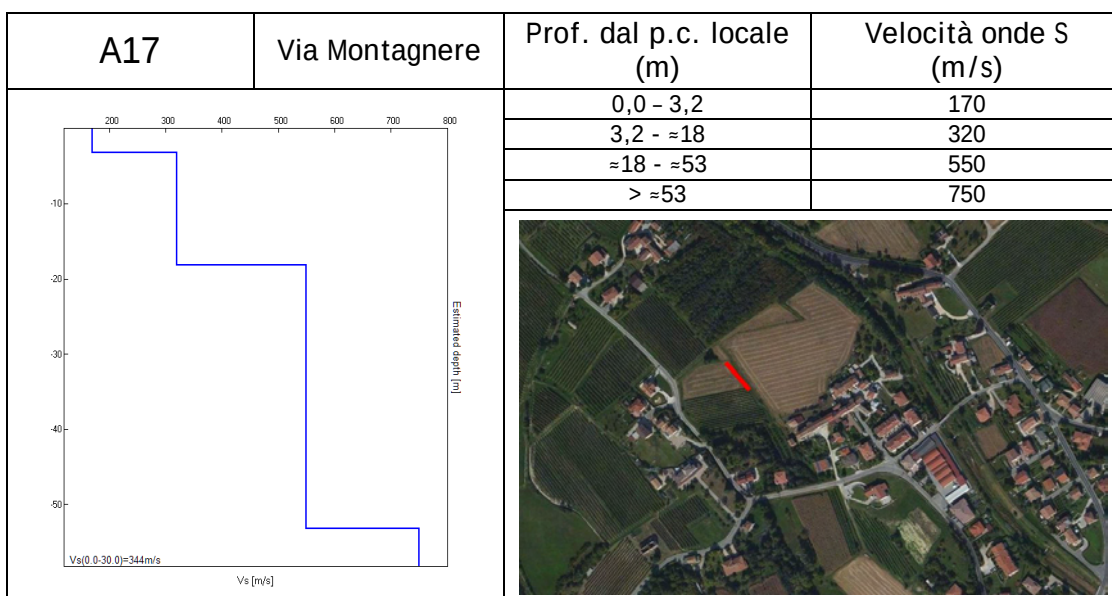
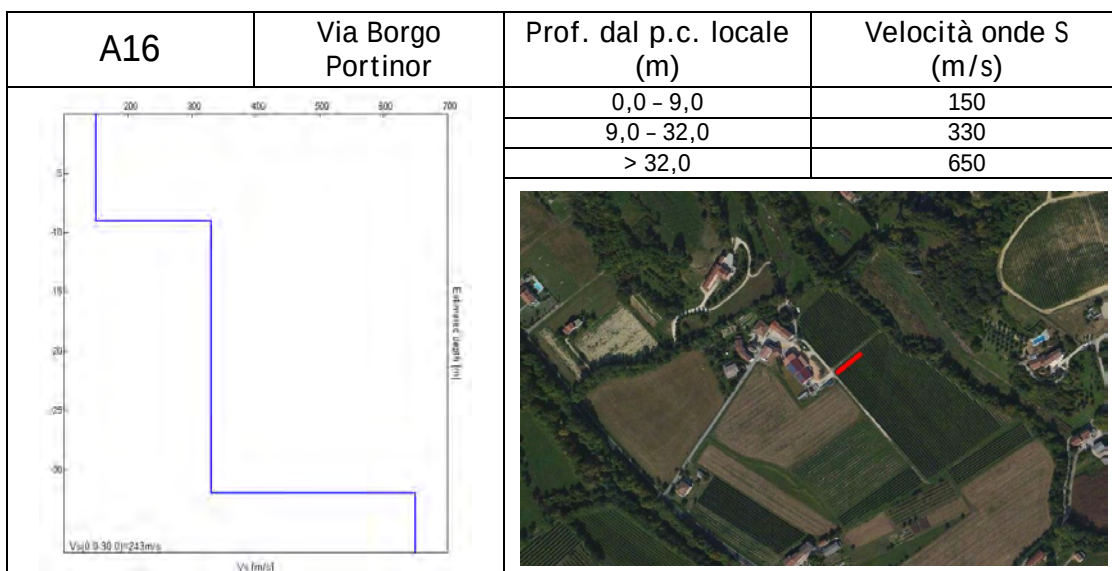


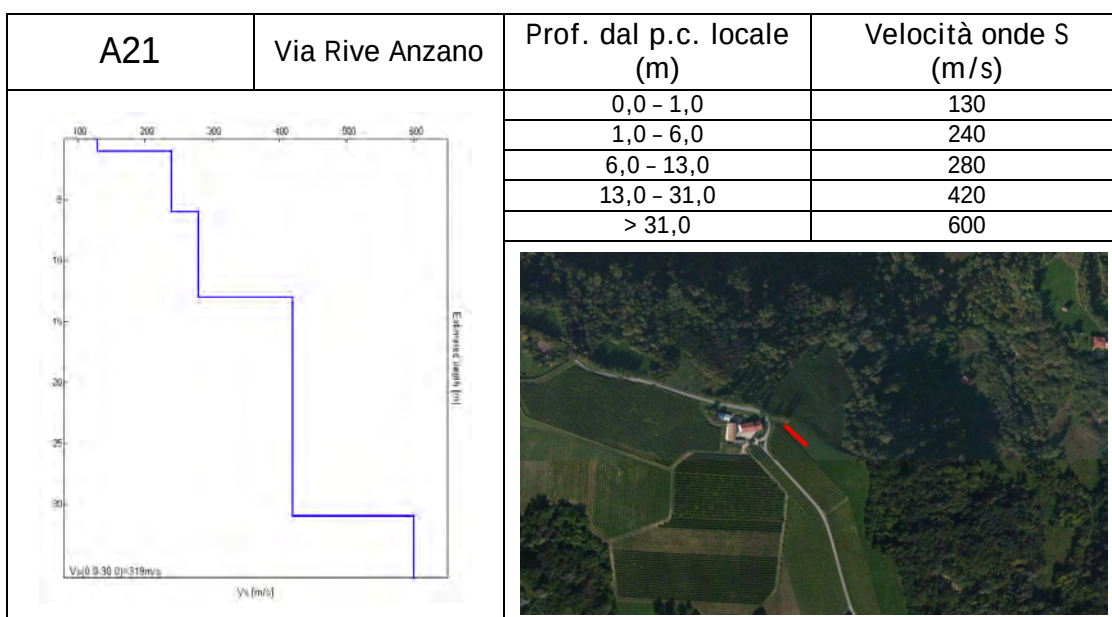
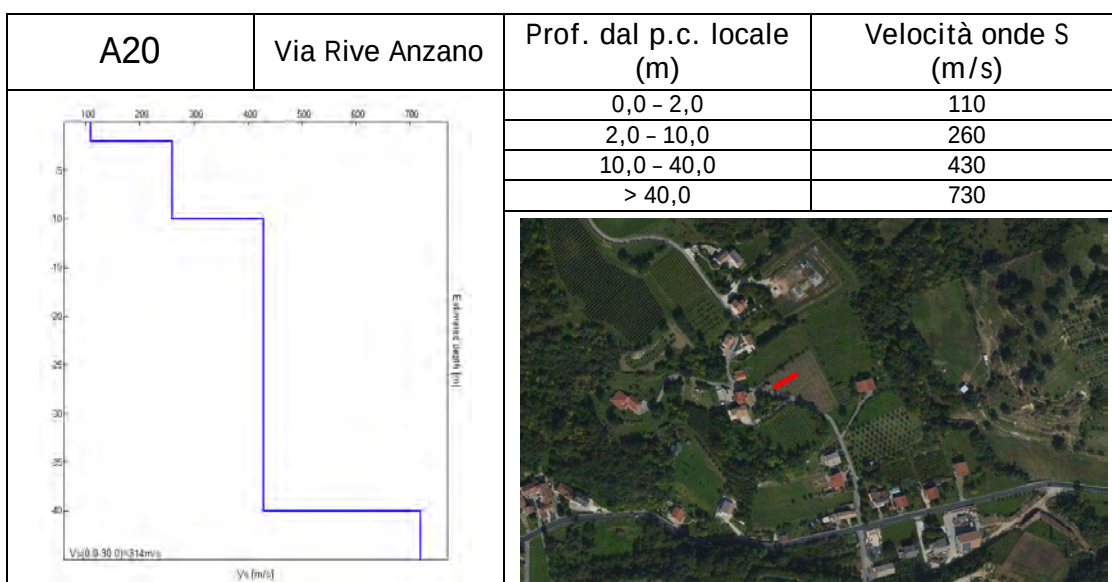
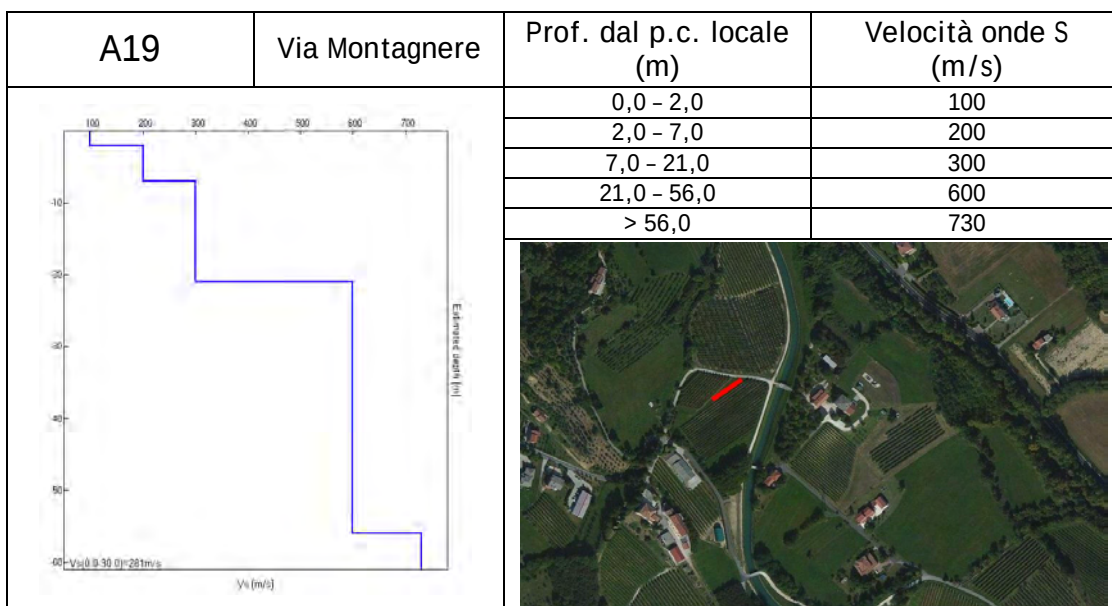


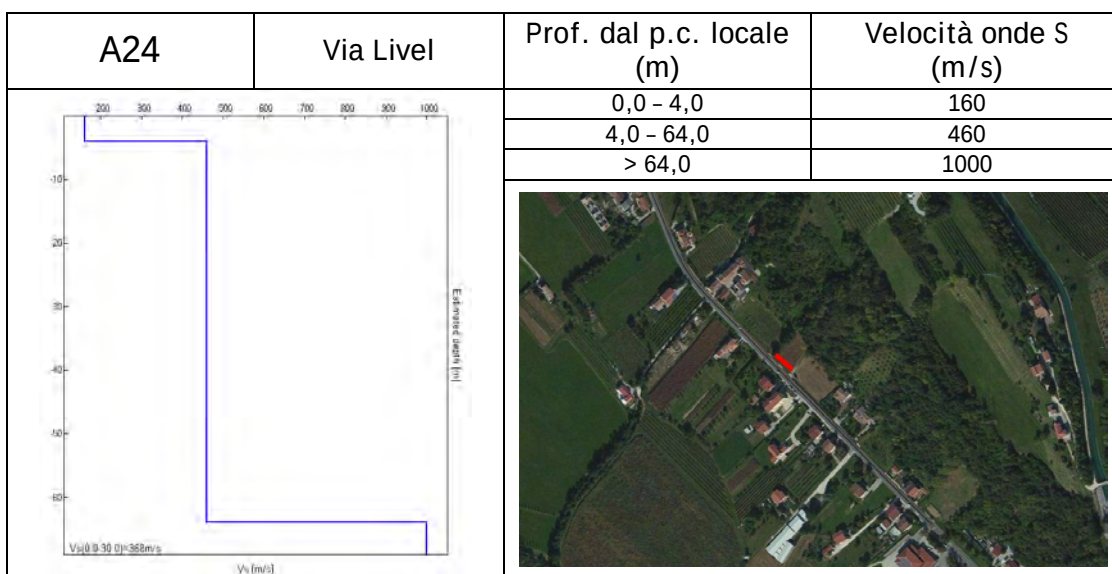
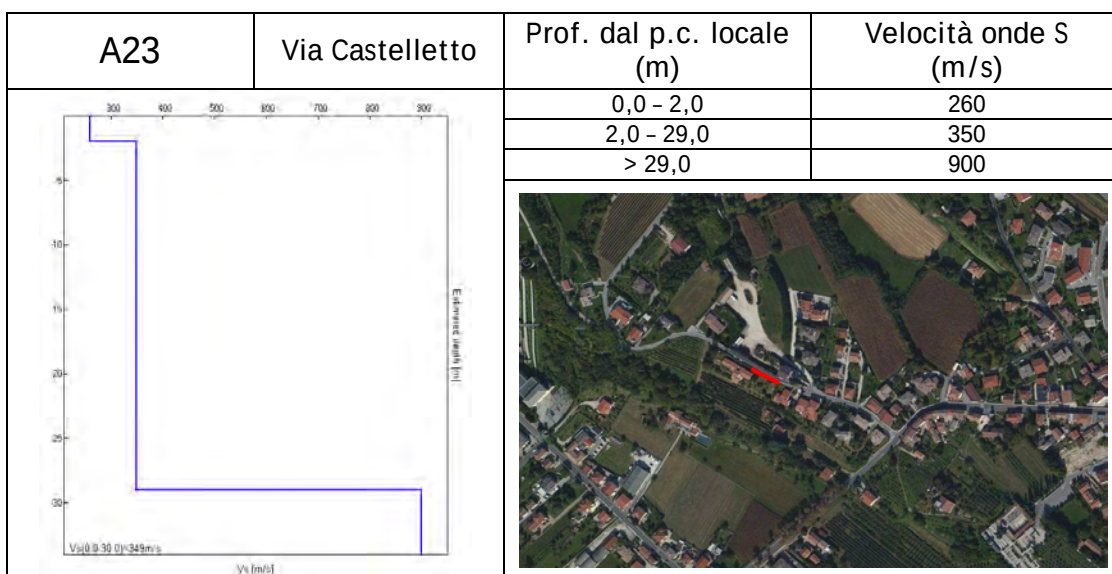
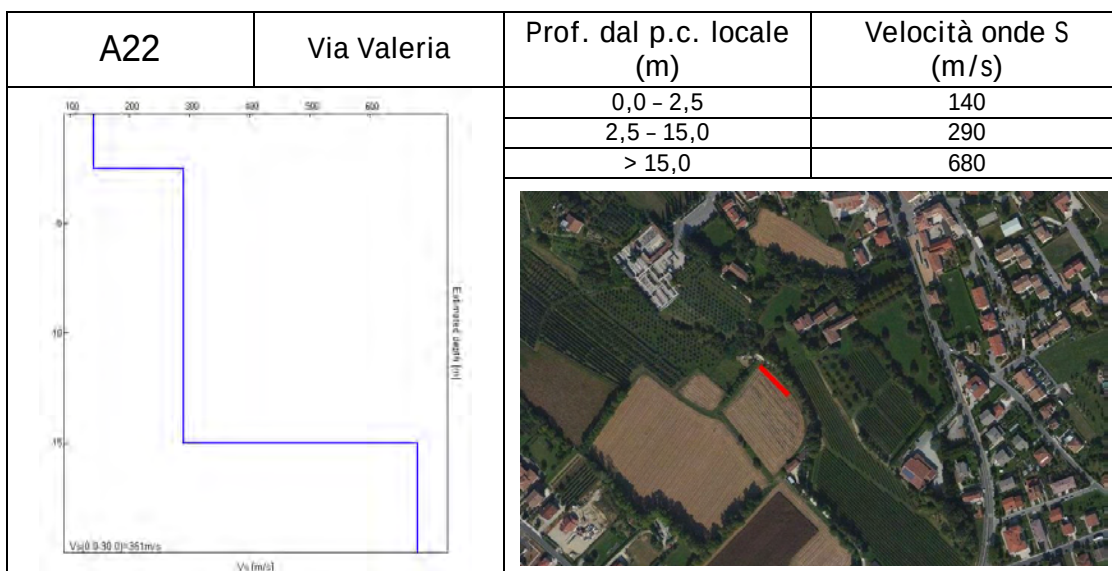


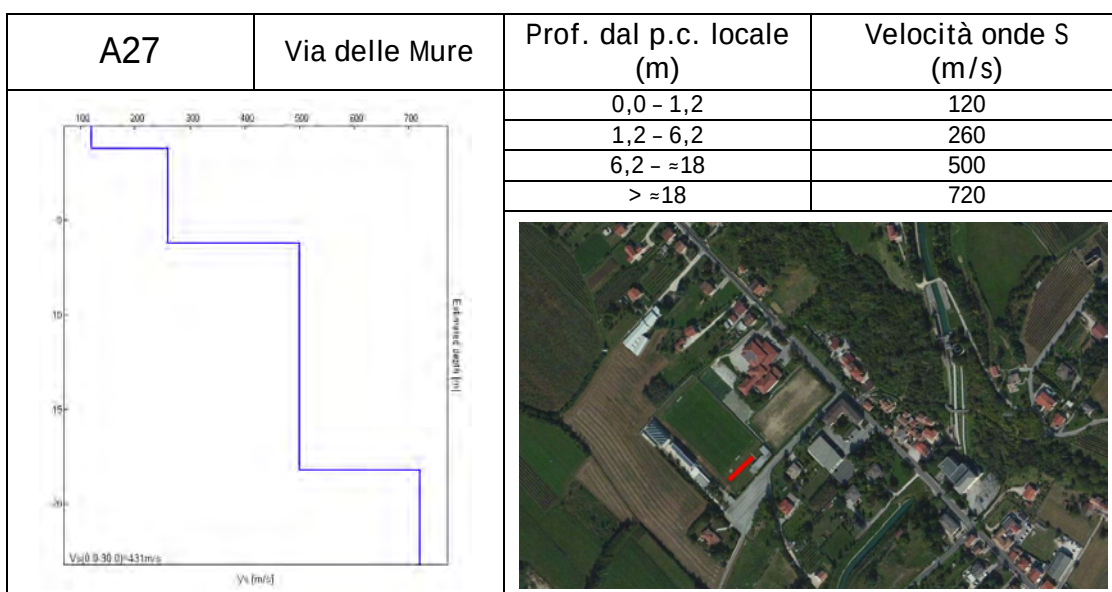
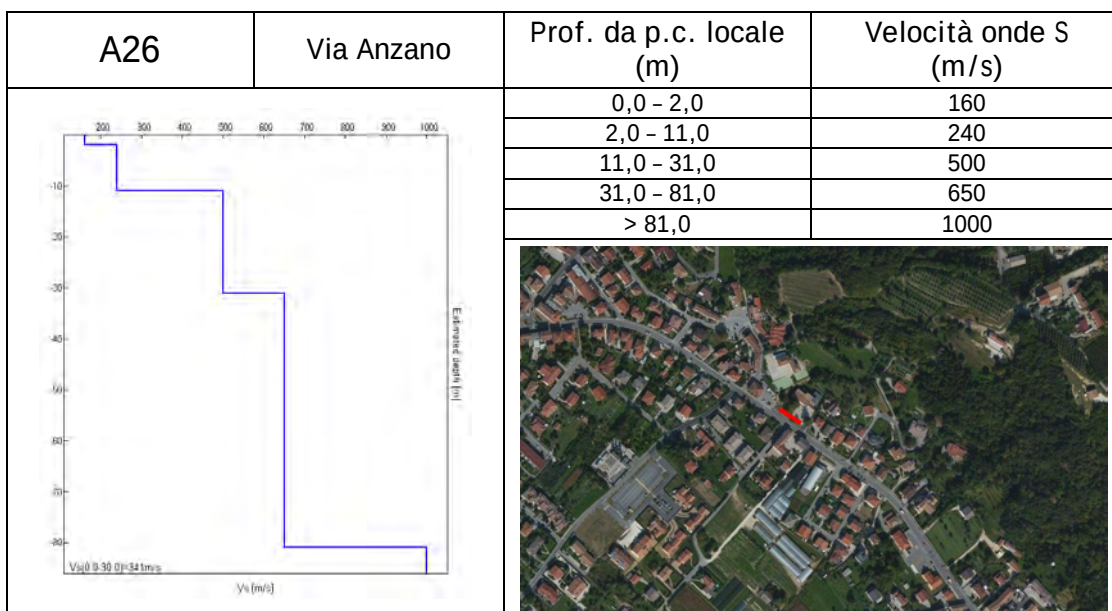
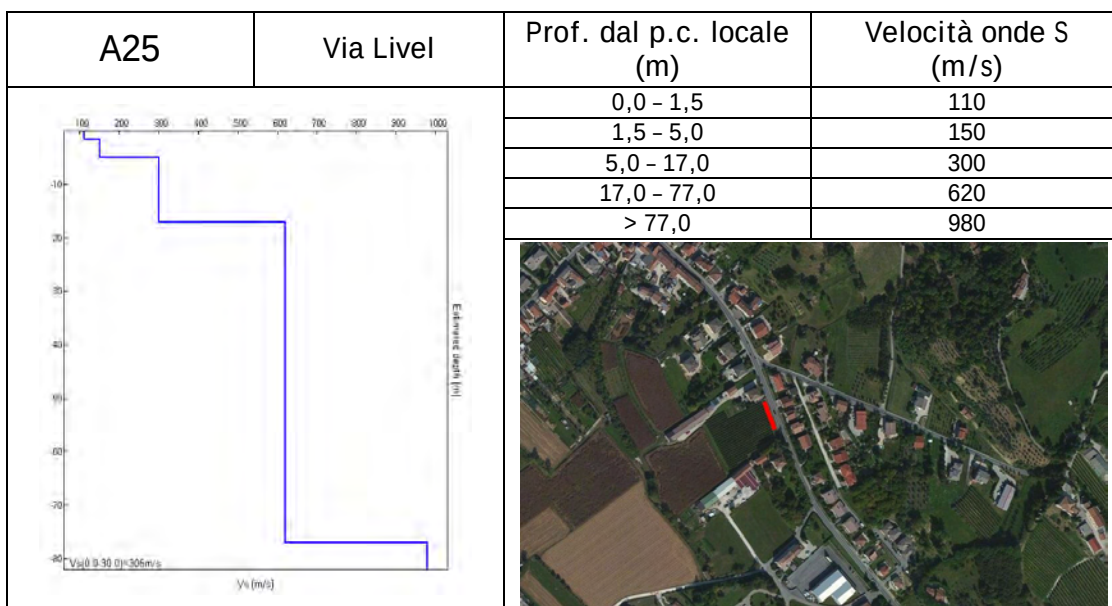


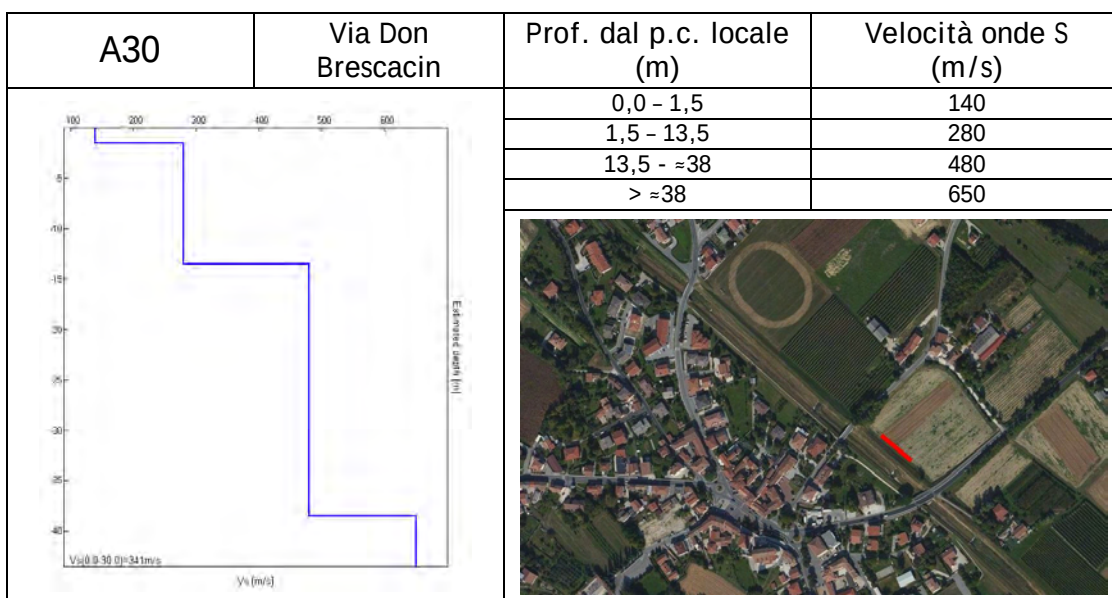
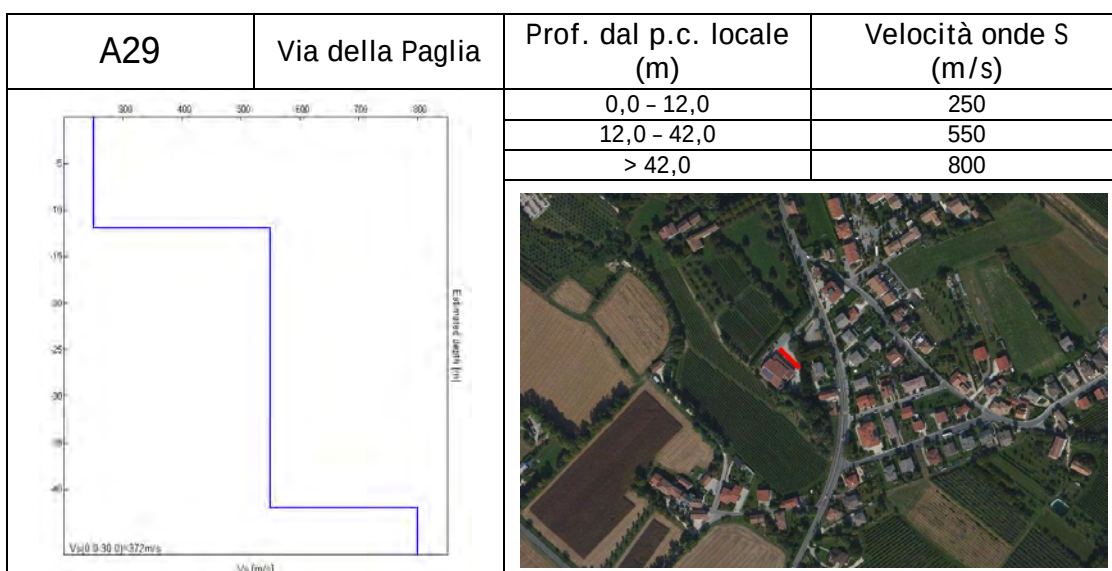
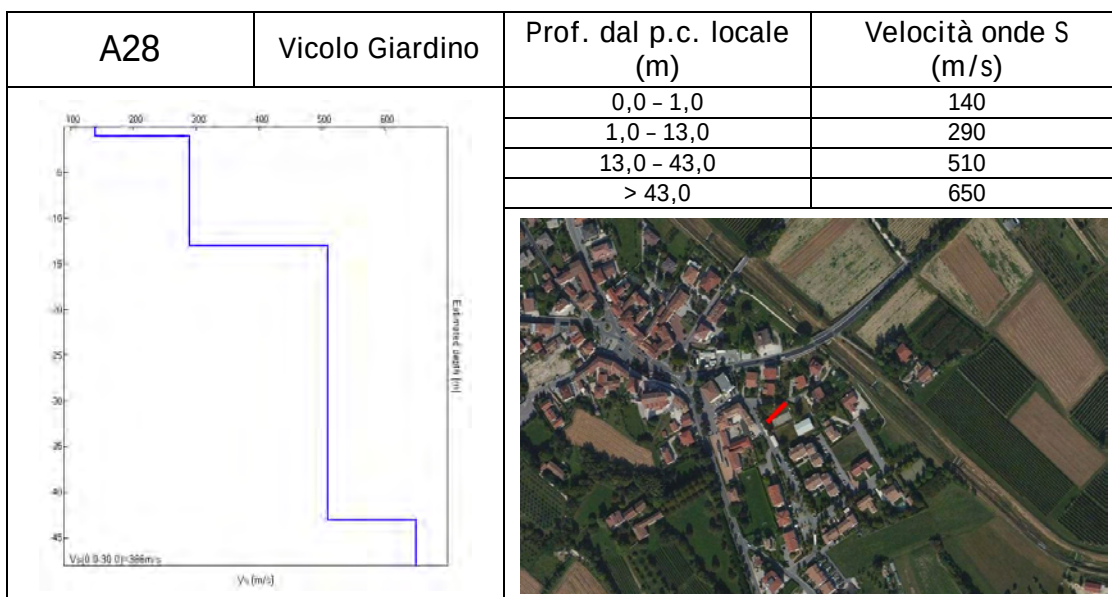


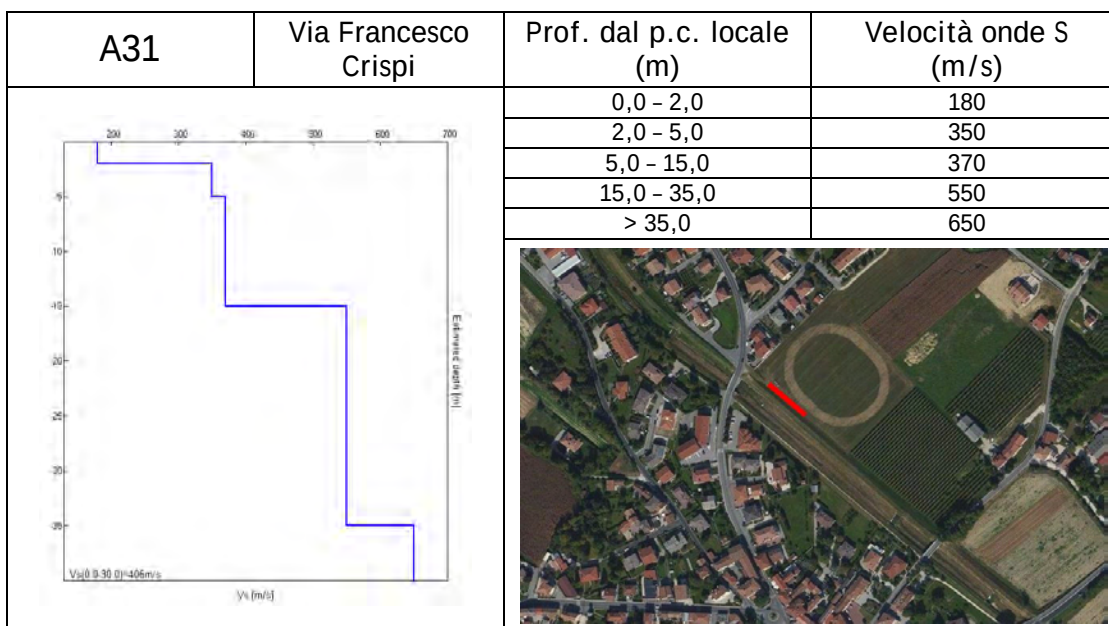












6.2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

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

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito**, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "doppia risonanza", estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito, sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se, in caso di sisma, la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,30}$ e la relativa Categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 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 microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

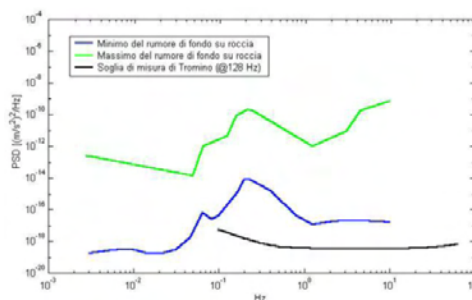
- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

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

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Micromed S.p.a. modello "Tromino ENG - Plus" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri ed 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.



39

6.2.2.1 Sintesi dei risultati

Le frequenze fondamentali di risonanza del terreno fanno parte degli effetti di sito che, assieme all'instabilità per azione sismica, caratterizzano la vulnerabilità del territorio quale elemento indispensabile per la stima del rischio sismico.

In linea di principio, visto che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, è possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione in ogni punto: infatti, le frequenze sono determinate dalle proprietà meccaniche e, in maniera secondaria, dalla morfologia attorno al punto di misura.

Analizzando la "Carta delle Frequenze" successivamente descritta, si vede come sia stato indagato integralmente il territorio previsto dall'incarico e come i n°38 Tromini® eseguiti abbiano interessato i vari terreni che costituiscono Cappella Maggiore: questo è stato fatto per vedere il "modo" di rispondere dei vari ambienti geomorfologici alle sollecitazioni sismiche.

Nella tabella seguente è stata riportata esclusivamente la sintesi dei risultati delle H.V.S.R. eseguite in questa fase mediante Tromino® (T1, ..., T38), mentre in allegato fuori testo sono state riportate le schede di sintesi dei risultati di tali prove. Le valutazioni sulle condizioni di amplificazione di sito sono state effettuate considerando la finestra frequenziale di 0,1 - 20 Hz, in quanto risultano essere quelle di normale interesse ingegneristico - strutturale; le amplificazioni sismiche considerate nella curva *H / V* sono state quelle con un rapporto superiore a 2 (per ulteriori dettagli cfr. par. 7.4).

LOCALITÀ	CODICE PROVA	LITOTIPO SUPERFICIALE	FREQUENZA DI RISONANZA (Hz) (INTERVALLO 0,1 – 20 Hz)	CONDIZIONE DI AMPLIFICAZIONE (INTERVALLO 0,1 – 20 Hz)
Via Livel	T1	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	7,03	Si
Via Aldo Moro	T2	Depositi fluviali e/o fluvioglaciali di conoide, antichi	17,34	Si
Via Francesco Crispi	T3	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	19,97	No
Via Borgo Villa	T4	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	3,53	No
Via Don Brescacin	T5	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	3,50	Si
Via Borgo Cava	T6	Terreni sciolti di alveo fluviale recente	2,47	Si
Via Masarè	T7	Depositi fluviali e/o fluvioglaciali di conoide, antichi	7,80	Si
Via Carlo Forlanini	T8	Depositi fluviali e/o fluvioglaciali di conoide, antichi	6,38	Si
Via dei Campi	T9	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	5,91	Si
Via dei Paolin	T10	Depositi fluviali e/o fluvioglaciali di conoide, antichi	19,97	Si
Via Livel	T11	Copertura detritica colluviale ed eluviale	10,63	Si
Via delle Mure	T12	Depositi fluviali e/o fluvioglaciali di conoide, antichi	19,97	Si
Via Castelletto	T13	Rocce tenere prevalenti - Marne	5,50	Non Attendibile
Via Carrettuzza	T14	Deposito morenico	1,56	Si
Piazza Vittorio Veneto	T15	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	19,97	Si
Piazza Vittorio Veneto	T16	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	3,75	Si
Via Cal de Sabbion	T17	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	9,63	Si
Via Masarè	T18	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	7,69	Si
Via Costella	T19	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	17,44	Si
Via Prà da Forno	T20	Rocce tenere prevalenti - Marne	7,19	Si
Via Borgo Portinor	T21	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	3,19	Si
Via Montagnere	T22	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	3,41	Si
Via Carrettuzza	T23	Deposito morenico	2,69	Si
Via Montagnere	T24	Rocce tenere prevalenti - Marne	3,34	Si
Via Rive Anzano	T25	Rocce tenere prevalenti - Marne	13,44	Si
Via Rive Anzano	T26	Rocce tenere prevalenti - Marne	3,70	Si
Via Nastego	T27	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	1,13	Si
Via Francesco Crispi	T28	Terreni sciolti di alveo fluviale recente	3,00	Si
Via Valeria	T29	Deposito morenico	4,80	Si
Via Castelletto	T30	Deposito morenico	3,13	Si
Via Livel	T31	Copertura detritica colluviale ed eluviale	5,00	Si
Via dei Paolin	T32	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	8,66	Si
Via Anzano	T33	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	5,31	Si
Via delle Mure	T34	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	9,80	Si
Vicolo Giardino	T35	Materiale alluvionale e fluvioglaciale	3,25	No
Via della Paglia	T36	Deposito morenico	3,34	Si
Via Don Brescacin	T37	Terreni sciolti di alveo fluviale recente	19,97	Si
Via Francesco Crispi	T38	Terreni sciolti di alveo fluviale recente	19,97	Si

6.3 Modello geosismico del sottosuolo. Interpretazione e incertezze

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

Le misurazioni effettuate in array (Re.Mi) ed a stazione singola (H.V.S.R.) hanno permesso di ricostruire modelli sismo – stratigrafici accurati e precisi, in quanto i segnali si presentano quasi sempre privi di artefatti e con una elevata coerenza sia nel modo fondamentale che in quelli superiori. Inoltre, la presenza di un rumore di fondo caratterizzato da un ricco spettro alle medie – basse frequenze ha permesso di ottenere un'elevata profondità d'investigazione, anche per quanto riguarda le misure in array.

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

Le misure effettuate sulle rocce tenere, nella **zona collinare**, hanno evidenziato la loro modesta rigidità ma, soprattutto, la presenza di contrasti sismici all'interno dell'ammasso roccioso tali da poter generare, in occasione di eventi sismici, delle amplificazioni considerevoli del moto sismico in superficie. Ancora una volta si ribadisce l'importanza di "quantificare" i contrasti di rigidità tramite misure dirette, poiché qualsiasi litologia è in grado di generare amplificazione qualora ci sia un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità o un passaggio ad un litotipo più massivo.

Nella **zona di pianura**, il graduale aumento di rigidità con la profondità rende, in genere, difficoltosa l'individuazione del contatto tra la copertura e la sottostante formazione rocciosa. In svariate occasioni, le misure hanno evidenziato contrasti sismici all'interno della copertura tali da determinare sia la principale frequenza di vibrazione sia la massima amplificazione di sito. Confrontando tutte le prospezioni eseguite a Cappella Maggiore, si è osservato che i maggiori contrasti di rigidità sono localizzati nella zona occidentale del territorio, a ridosso delle colline, a causa dei materiali prevalentemente ghiaiosi posti al di sotto dei depositi poco addensati a prevalente frazione fine; sebbene appartenente alla stessa litologia secondo le indicazioni riportate nel P.A.T. comunale, risulta decisamente diversa la sismostratigrafia dei terreni presenti nella parte Sud orientale del territorio, dove non si sono rilevati contrasti sismici tali da generare importanti amplificazioni del moto sismico in superficie, sia alle medie che basse frequenze.

7 ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1 Carta delle indagini

Si tratta della cartografia elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, con ubicate le indagini eseguite in questa fase e quelle desunte da studi pregressi. Non essendo disponibili particolari studi specifici, sono state ubicate alcune stratigrafie reperite presso l'Ufficio Tecnico Comunale: sia le indagini che le stratigrafie sono state schedate ed allegate fuori testo.

7.2 Carta geologico - tecnica

Questa carta, elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, riguarda l'integrazione e la rivisitazione in chiave sismologica dei contenuti geolitologici, geomorfologici ed idrogeologici allegati al P.A.T. Infatti, non sono stati eseguiti rilievi geologici di superficie e, come da incarico, sono state utilizzate e mantenute le informazioni del P.A.T. anche se, talora, ne sono stati integrati e modificati i contenuti, come precedentemente esposto.

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

- delimitazione del substrato rigido dai terreni di copertura. Le unità litologiche individuate dal P.A.T. sono state riviste per uniformarle alle indicazioni delle linee guida della Protezione Civile;
- contatto di terreni a differente risposta sismica;
- zone di versante potenzialmente instabili;
- elementi tettonico - strutturali attivi (certi e presunti), ricavati dai cataloghi nazionali e precedentemente descritti;
- irregolarità morfologiche legate alla presenza di netti cambi di pendenza (naturali ed antropici) in cui sono ritenuti possibili effetti di amplificazione topografica;
- informazioni sulla falda;
- morfologie di superficie e morfologie sepolte.

42

Per l'elaborazione della CGT, in primo luogo sono state analizzate le informazioni di carattere litologico derivanti dal P.A.T. e, sulla base delle caratteristiche meccaniche e degli ambienti genetico - deposizionali dei terreni, le varie unità litologiche sono state accorpate secondo classi distinte e rappresentative dei depositi costituenti il sottosuolo di Cappella Maggiore.

Visto che le definizioni previste dagli "standard di rappresentazione e archiviazione informatica" non riportano l'ambiente "fluviale" in senso stretto, le litologie riferibili a tale ambiente deposizionale sono state inserite tra quelle di origine "fluvioglaciale".

Per evidenziare i possibili effetti di amplificazione stratigrafica (contrasto di impedenza tra mezzi geologici differenti, ovvero effetti litologico - stratigrafici), sulla base delle carte litologiche del P.A.T. associate alla consultazione della cartografia geologica generale, sono stati individuati i contatti tra litologie che possono rispondere in modo differente alla sollecitazione sismica e, in particolare, sono stati separati gli ammassi rocciosi dalle alluvioni e dalle coperture detritiche.

In sostanza, sono state create due unità principali ("Terreni di copertura" e "Substrato geologico rigido o non rigido") che contengono una serie di unità litologiche derivate dalla selezione e, talora, dall'accorpamento delle litologie locali.

Le unità litologiche principali sono le seguenti:

Terreni di copertura		Substrato geologico rigido o non rigido	
	Terreni contenenti resti di attività antropica		Substrato geologico non rigido stratificato
	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie (fg=deposito fluvio glaciale)		
	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbie e limo (mr=morena, ec=eluvi/colluvi)		
	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose (fg=deposito fluvio glaciale)		
	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (fg=deposito fluvio glaciale)		
	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose e argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ec=colluvi)		

Facendo riferimento alle descrizioni litologiche del Paragrafo 3.1, le unità riportate nella tabella precedente individuano ed accorpano i seguenti terreni.

<i>Carta geologico - tecnica per la Microzonazione Sismica</i>	<i>Carta Geolitologica del P.A.T. (localmente modificata)</i>
RI	Riporto di spessore significativo
GW fg	Depositi fluviali e/o fluvioglaciali di conoide, antichi
GM mr, GM ec	Morenico (mr) e coperture detritiche colluviali ed eluviali delle colline ad Est (ec)
SW fg	Depositi fluvioglaciali dei terrazzi e degli alvei recenti
SM fg	Materiale alluvionale e fluvioglaciale
ML ec	Coperture detritiche colluviali ed eluviali delle colline Ovest
NRS	Rocce tenere prevalenti, con subordinate bancate resistenti, stratificate

Per quanto riguarda le zone di versante potenzialmente instabili, sono state inserite tutte le aree soggette a fenomeni gravitativi (attive ed inattive) individuate e descritte nella cartografia pianificatoria comunale (P.A.T.), coincidenti con gli studi pianificatori di livello superiore (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Livenza); non sono state inserite le frane puntuali, ovvero le segnalazioni di dissesto non perimetrate.

Invece, i lineamenti sismicamente attivi (rottture in superficie per riattivazione di faglia capace) possono essere evidenziati solo da studi sismogenetici di livello superiore, per cui nella carta è stata ubicata la faglia "capace" riportata nel Data Base ITHACA, confrontato con il Data Base DISS 3.1.1. **Alcune pubblicazioni riporterebbero tale faglia maggiormente ruotata in senso orario (cfr. figura a pag. 11) ma è stato scelto di seguire le indicazioni del catalogo di riferimento nazionale.**

La focalizzazione delle onde sismiche in corrispondenza di creste, cime o cigli di scarpata è il fenomeno che sta alla base dell'amplificazione topografica. Nella carta prodotta sono state evidenziate le irregolarità più marcate dei rilievi che potrebbero produrre particolari amplificazioni sismiche: sono state quindi inserite le informazioni derivanti dal P.A.T. e sono state messe in evidenza le linee di cresta e gli orli di terrazzo che possono indurre effetti sismici, di carattere bidimensionale e tridimensionale, definibili come "Effetti topografici".

Vista la morfologia delle valli locali, nei siti infravallivi posti sui terreni di riempimento è possibile riscontrare, oltre a quelle stratigrafiche, la presenza di amplificazioni dovute agli "Effetti di valle" legati alle riflessioni multiple causate dall'intrappolamento delle onde sismiche (P ed S) all'interno dei depositi di riempimento stessi. La CGT indica due valli in cui si ritiene che possano verificarsi tali fenomeni, posizionate nella terminazione meridionale del territorio comunale (Valle sepolta stretta $C \geq 0,25$ che si evolve in Valle sepolta larga $C < 0,25$).

Le conoidi del P.A.T., peraltro di dimensioni modeste, sono state omesse dalla cartografia di MS poiché, mancando i dati circa la loro costituzione litologica e la loro genesi, risulterebbe difficile interpretarle correttamente.

In ultima, considerato che la porzione di Alta Pianura compresa nel territorio comunale presenta la falda a profondità inferiori a 15 m dal piano campagna, sono state riportate le informazioni derivanti dai pozzi dell'ISPRA (di cui n°1 pozzo completo di stratigrafia) e dalle indagini e pozzi del P.A.T. che indicano la quota della falda.

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

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

1. ZONE STABILI
2. ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI
3. ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

Inoltre, in essa sono state inserite le seguenti informazioni:

- faglie attive e capaci;
- morfologie di superficie e morfologie sepolte;
- tracce di sezione topografica.

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

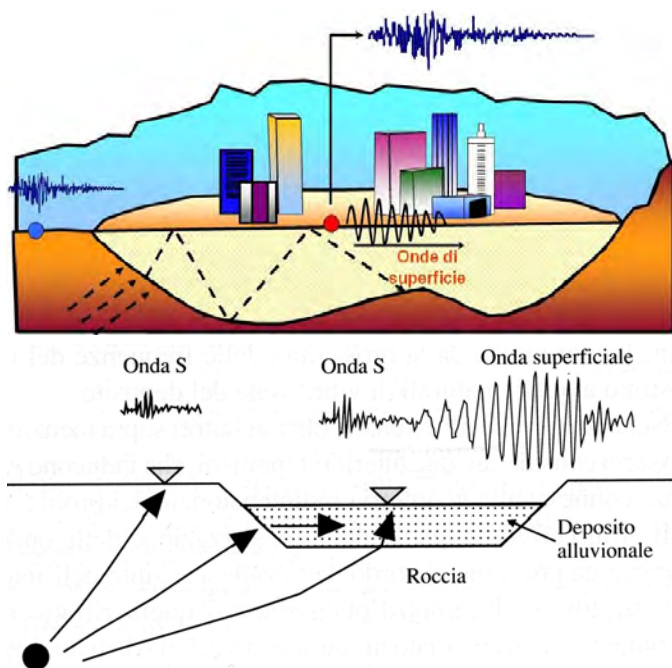
In sostanza, si noti che l'intero territorio è considerabile come stabile suscettibile di amplificazione sismica e, potenzialmente, risulta localmente instabile. Infatti, è stato verificato che il moto sismico è modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche locali.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Escludendo le aree instabili, il Comune di Cappella Maggiore si sviluppa quasi interamente in una zona “stabile suscettibile di amplificazioni locali” per i seguenti motivi:

- nei fondivalle sono possibili sia “effetti di valle” associati alle riflessioni multiple causate dall'intrappolamento delle onde sismiche (P ed S) all'interno dei depositi che riempiono le valli, sia amplificazioni stratigrafiche causate dal contrasto di impedenza tra mezzi geologici diversi (per la presenza di alluvioni poggianti su substrato roccioso);

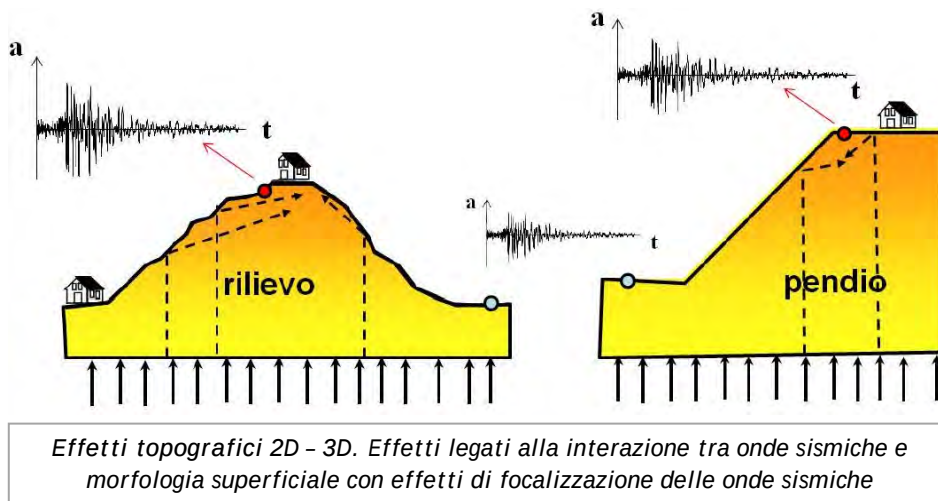
44



Effetti di bordo (2D o 3D)

Effetti legati alla interazione tra onde sismiche e morfologia sepolta con effetti di focalizzazione delle onde sismiche e generazione di onde di superficie in prossimità dei bordi

- anche nell'ambito collinare - montuoso l'amplificazione sismica può essere legata a diversi fattori; oltre alle condizioni topografiche dei luoghi, sono infatti possibili anche amplificazioni di tipo stratigrafico (detrito su roccia, roccia meno competente / molto fratturata su roccia compatta) e, spesso, tali "effetti di sito" sono associabili tra loro. Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, è stato qualitativamente coinvolto l'intero territorio collinare, senza fare particolari distinzioni, anche perché la normativa vigente in materia di costruzioni (D.M. 14.01.2008 - NTC) permetterebbe di suddividere omogeneamente le aree in condizioni geometriche ben ricostruibili: l'area in esame presenta invece una morfologia complessa e non facilmente modellizzabile (la norma dice che per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre analisi specifiche di risposta sismica locale), per cui si ritiene che tale aspetto debba essere approfondito nei livelli successivi di analisi, dopo aver perimetrato con attenzione le aree da indagare.

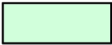
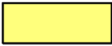


Si ritiene comunque che tutto il territorio di Cappella Maggiore sia assoggettabile ad amplificazione sismica per effetto topografico, fatto salvo per le zone di pianura infravallive.

45

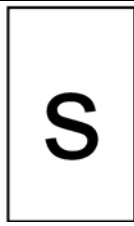
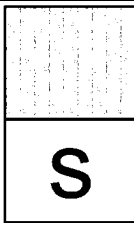
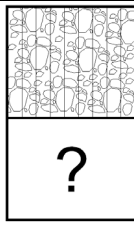
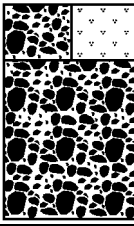
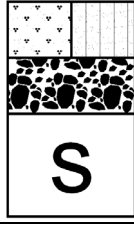
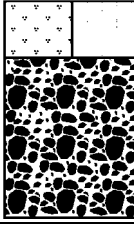
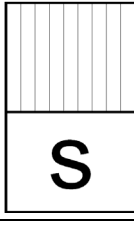
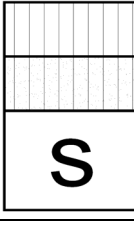
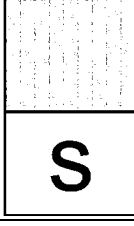
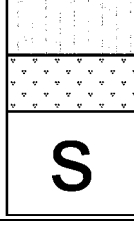
Infatti, l'analisi topografica locale ha evidenziato come le inclinazioni delle dorsali che costituiscono l'ambito collinare di Cappella Maggiore, strette ed allungate in direzione NW - SE, siano caratterizzate da pendenze quasi sempre superiori a 15° rispetto all'orizzontale e, molto spesso, superiore ai 30° (dato ricavato dalla "Carta della clivometria" del P.A.T.). Per tale motivo, facendo riferimento sia alla normativa vigente in materia di costruzioni (NTC) sia alle esperienze condotte dagli scriventi all'interno dell'area in esame e nei territori contermini (mediante modellazioni numeriche avanzate per la verifica dell'amplificazione topografica), si ritiene che tutto l'ambiente collinare di Cappella Maggiore sia assoggettabile ad effetti legati alla interazione tra le onde sismiche e la morfologia superficiale.

Pertanto, sulla base di quanto finora esposto ed escludendo la presenza di "zone stabili", le "zone stabili suscettibili di amplificazione" sono state così suddivise.

Zona 1	NRS		Zona 1
Zona 2	GM mr		Zona 2
Zona 3	GW fg - SW fg		Zona 3
Zona 4	SM fg - SW fg		Zona 4
Zona 5	ML ec		Zona 5
Zona 6	GM ec		Zona 6

Le zone sono state create ed ordinate dalla Zona 1 alla Zona 6 considerando le caratteristiche litologiche e genetiche dei terreni della Carta geologico - tecnica CGT e le potenziali risposte sismiche locali dal punto di vista stratigrafico. **Non sono state inserite due piccole aree con materiale di riporto, poco significative ai fini dello studio di MS.**

La Zona 1 è relativa al substrato roccioso subaffiorante: come detto in precedenza, nel territorio comunale di Cappella Maggiore non si sono verificate le condizioni per ipotizzare la perimetrazione di "zone stabili" dove lo scuotimento sismico sia associabile solamente all'energia ed alla distanza dall'evento. Si fa presente che una stessa zona può accorpate differenti colonnine stratigrafiche in virtù di un analogo comportamento rilevato durante le indagini sismiche.

Zona 1. NRS , caratterizzata da un'alternanza di marne ed argille con subordinati livelli calcarenici, sabbie cementate e puddinghe. Sono stratificate (S) ed occupano quasi tutta la porzione collinare di Cappella Maggiore.		
Zona 2. GM mr , costituita dai depositi morenici che poggiano prevalentemente sulle rocce della Zona 1 di cui sopra, anche se nella porzione Sud Est del Comune non è chiaro il contatto con le litologie sottostanti.		
Zona 3. GW fg - SW fg , costituita dai terreni fluviali e/o fluvioglaciali prevalentemente ghiaiosi che possono sovrastare il substrato roccioso della Zona 1 o svilupparsi per spessori pluridecametrici.		
Zona 4. SM fg - SW fg , costituita dai terreni fluviali e/o fluvioglaciali prevalentemente sabbiosi in superficie, che possono sovrastare il substrato roccioso della Zona 1 o svilupparsi per spessori pluridecametrici.		
Zona 5. ML ec , costituita da terreni detritici eluviali e colluviali limoso argillosi poco consolidati, segnalati alla base occidentale della dorsale principale e sovrastanti gli ammassi rocciosi della Zona 1 o le alluvioni SM fg .		
Zona 6. GM ec , costituita da terreni detritici eluviali e colluviali con prevalenza granulare, che sovrastano le rocce della Zona 1 o le alluvioni di fondovalle SW fg .		

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ

Per quanto riguarda le “aree instabili per azione sismica”, esse sono state così individuate:

- aree di frana;
- elementi topografici naturali ed antropici, elementi sepolti;
- prossimità di lineamenti sismogenetici riconosciuti attivi;
- aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione.

Le aree di frana (desunte dal P.A.I. e dal P.A.T.) e gli elementi topografici (desunti dal P.A.T.) riportati coincidono con quelli cartografati nella “Carta geologico - tecnica”.

Per quanto riguarda gli elementi sepolti, nei siti infravallivi posti sui terreni di riempimento, è possibile riscontrare la presenza di amplificazioni stratigrafiche e di amplificazioni dovute agli “Effetti di valle”, ovvero alle riflessioni multiple causate dall'intrappolamento delle onde sismiche (P ed S) all'interno dei depositi di riempimento stessi. Nella MOPS sono state reimportate le due valli in cui si ritiene che possano verificarsi tali fenomeni, posizionate nella terminazione meridionale del territorio comunale.

I lineamenti simicamente attivi (rottture in superficie per riattivazione di faglia capace) possono essere evidenziati solo da studi sismogenetici di livello superiore, per cui nella carta è stata ubicata la faglia “capace” riportata nel Data Base ITHACA, confrontato con il Data Base DISS 3.1.1. La faglia è stata riportata esclusivamente per completare le informazioni ritenute più importanti e, vista anche l'approssimazione della sua ubicazione, si deve rimandare agli enti scientifici per eventuali “fasce di vincolo” o “microzone specifiche” da inserire negli strumenti pianificatori: infatti, **alcune pubblicazioni riporterebbero tale faglia maggiormente ruotata in senso orario (cfr. figura a pag. 11) ma è stato scelto di seguire le indicazioni del catalogo di riferimento nazionale.**

Tra le aree potenzialmente instabili per fenomeni di liquefazione, visto che parte del territorio comunale è teoricamente assoggettabile a tale effetto cosismico, è stata fatta una prima analisi di approfondimento per verificare se, con i dati disponibili, è possibile escludere qualche ambito geomorfologico di Cappella Maggiore da tali zone.

47

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

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

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

Secondo le NTC, un deposito NON è liquefacibile (nel senso che permette di omettere la verifica alla liquefazione) quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1n} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove S.P.T. normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1n} è il valore della resistenza determinata in prove CPT e normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Fig. 7.11.1(b) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

In generale, le circostanze 1 e 2 non sono soddisfatte per l'intero territorio comunale, mentre la condizione 3 non è soddisfatta per gran parte del settore di pianura. Inoltre, non conoscendo le caratteristiche geotecniche profonde e la granulometria dei depositi costituenti il sottosuolo potenzialmente liquefacibile (circostanze 4 e 5), si ritiene che certe porzioni di Cappella Maggiore NON soddisfino alcuna di queste caratteristiche per cui, almeno localmente, risulterebbero potenzialmente soggette alla liquefazione dei terreni in caso di terremoto di magnitudo e durata importanti; viste le caratteristiche geologiche locali, si ritiene che in questa fase (Livello I) sia necessario considerare tutta l'area di pianura come potenzialmente liquefacibile, rimandando ai successivi livelli di approfondimento per la verifica di tale condizione.

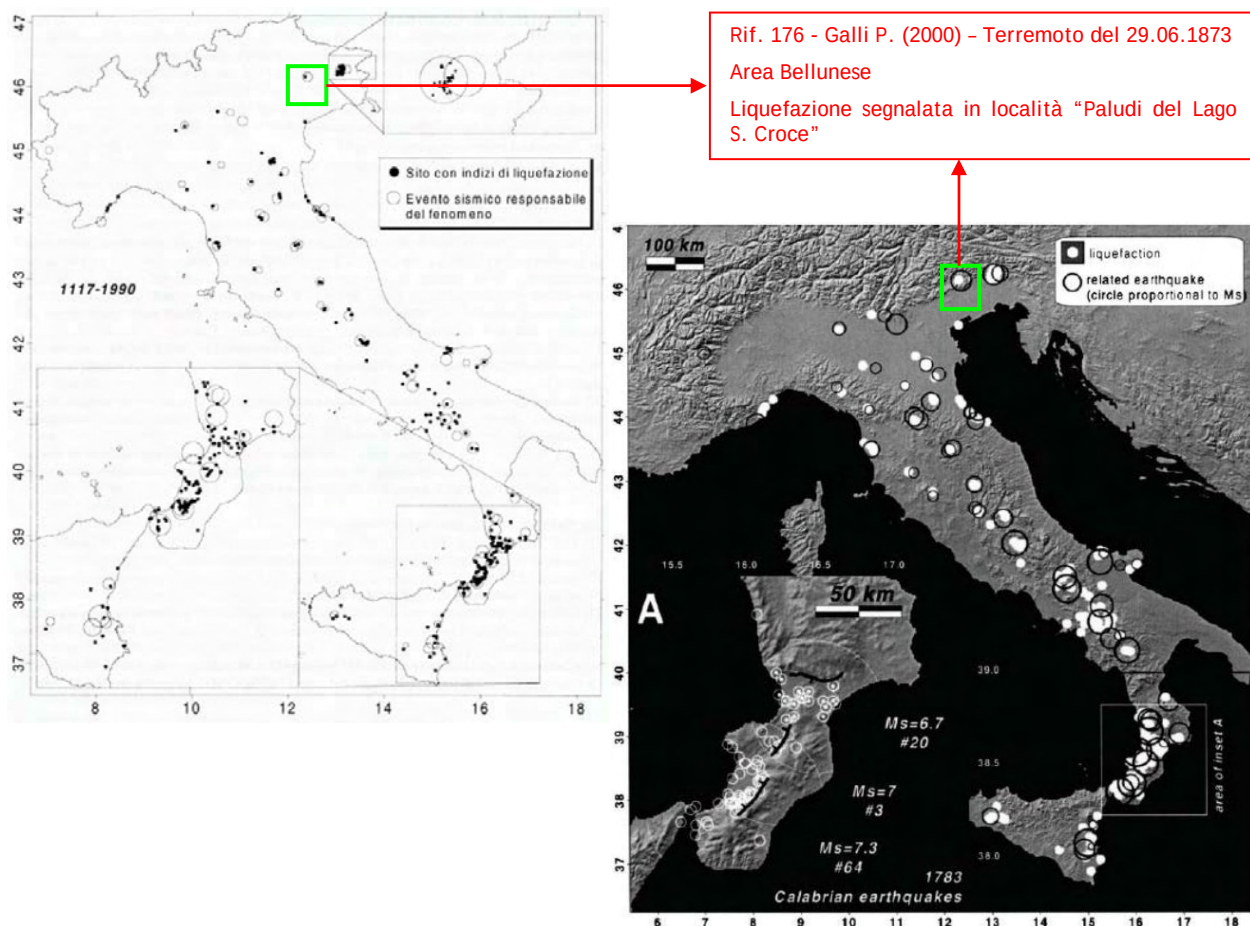
Ad ogni modo, per tentare di delimitare, in questo primo livello di approfondimento, le aree suscettibili di liquefazione (e di densificazione, conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali durante e dopo l'evento sismico atteso) sono state utilizzate le informazioni geologiche riportate nella "Carta geologico - tecnica" associandole ad una prima analisi "qualitativa" della stima del rischio di liquefazione.

Ci sono diversi criteri per valutare qualitativamente la suscettibilità alla liquefazione di un terreno, tra cui il "Criterio storico", il "Criterio geologico", il "Criterio di composizione" ed il "Criterio di stato fisico".

Criterio storico, che considera il fatto che suoli liquefatti in passato possono liquefare ancora durante terremoti futuri: non si hanno informazioni particolari in merito al Comune in esame e, a tal proposito, si riporta la seguente figura, dove vengono evidenziati i siti con indizi di liquefazione in seguito ai terremoti segnalati dal 1117 al 1990 che, sostanzialmente, comprenderebbero anche gli eventi sismici più importanti per il territorio di Cappella Maggiore.

I siti più vicini con indizi di liquefazione, indicati in verde nella figura sotto, sono esterni all'area in esame ed ubicati in prossimità del Lago di Santa Croce e, più precisamente, in località "Paludi del Lago S. Croce": la foto a sinistra è stata estratta da alcuni corsi di aggiornamento che non citavano la fonte mentre, quella a destra, che sostanzialmente riproduce le stesse informazioni, è tratta da "New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction - Galli P. (2000)", dove è stato possibile anche individuare l'ubicazione delle aree riportate nella cartografia.

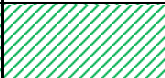
48



Criterio geologico, che tiene conto dell'età e dell'origine del deposito, della profondità della falda, della morfologia e dell'eventuale spessore degli strati sovrastanti non liquefacibili. A tal proposito, si riportano le seguenti tabelle.

Probabilità di liquefazione			
Età del deposito	Profondità della falda		
	< 9 m	9 m ÷ 15 m	> 15 m
Olocene recente	Elevata	Bassa	Molto Bassa
Alto Olocene	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Pleistocene recente	Bassa	Bassa	Molto Bassa
Pleistocene antico e depositi anteriori	Molto Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa

Criterio di Iwasaky et al. (1982)		
Classe	Unità geomorfologica	Potenziale di liquefazione
A	Letti di fiumi recenti, paleovalvei, paludi, zone bonificate, zone interdunari	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune di sabbia, pianure di esondazione, spiagge, altre pianure	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Non Probabile

Tabella ricostruita dalla Figura 2.4 del testo “La liquefazione dei terreni” – Giulio Riga (2007)						
Pre - Pleistocene						
Pleistocene						
Olocene						
Tardo Olocene						
< 500 anni						
Prof. falda dal p.c. (m)		3	6	10	15	20

Rischio di liquefazione					
Nulla	Basso	Moderato	Alto	Molto alto	

Quindi, nell'ipotesi cautelativa **della presenza esclusiva di terreni potenzialmente liquefacibili**, in riferimento alla suddivisione della "Carta geologico - tecnica", alle età riportate nella Carta Geologica d'Italia ed alle informazioni di carattere idrogeologico, le Zone della MOPS sono state così caratterizzate:

Zona MOPS	Età	Profondità della falda (dove presente)	Classe	Probabilità di liquefazione	Potenziale di liquefazione	Rischio di liquefazione
1	Miocene	-	C	Nulla	Nulla	Nulla
2	Pleistocene	-	C	Nulla	Nulla	Nulla
3	Pleistocene – Alto Olocene	loc. < 10 m – loc. 10 ÷ 15 m	B - C	Bassa – Moderata	Possibile – Non probabile	Basso – Moderato
4	Pleistocene – Alto Olocene	loc. < 10 m – loc. 10 ÷ 15 m	B - C	Bassa – Moderata	Possibile – Non probabile	Basso – Moderato
5	Olocene	-	C	Nulla	Nulla	Nulla
6	Olocene	-	C	Nulla	Nulla	Nulla

Confrontando queste conclusioni con la tabella finale di cui sopra e non disponendo di altre informazioni specifiche, per non vincolare inopportuno alcune parti del territorio si rimanda agli studi di microzonazione futuri (Livello II e Livello III) ed alle fasi successive di approfondimento per l'analisi del **"Criterio di composizione"** e del **"Criterio di stato fisico"**, nonché per l'analisi quantitativa del potenziale di liquefazione (con metodi semplificati e/o dinamici), che necessitano di dati granulometrici e di prove specifiche per la loro applicazione.

7.4 Carta delle frequenze

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

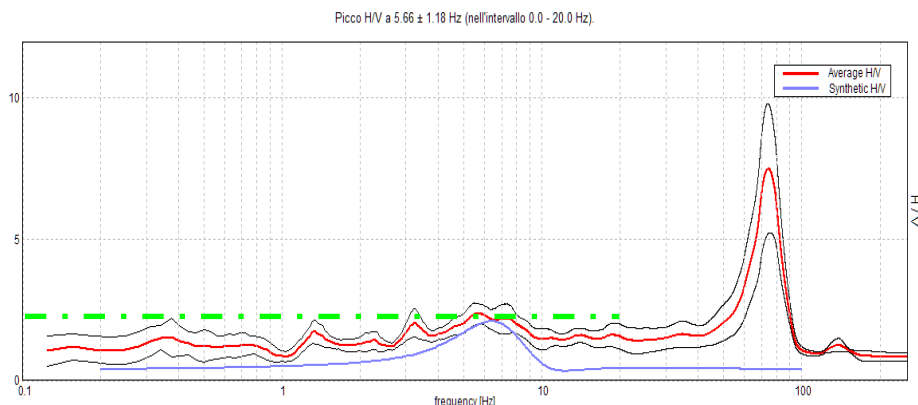
Durante le indagini di MS dell'area aquilana dopo il terremoto del 6 aprile 2009, i risultati di tali analisi si sono rilevati estremamente utili sin dalle prime fasi di elaborazione delle carte di Livello I.

L'analisi dei microtremori attraverso la tecnica *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (H.V.S.R.) consente di mettere in luce fenomeni di risonanza sismica e di stimare le frequenze alle quali il moto del terreno può essere amplificato (frequenza fondamentale di risonanza del terreno, f_0). Il metodo consente inoltre di valutare qualitativamente l'entità dell'amplificazione (ampiezza del picco H.V.S.R. alla frequenza f_0), anche se l'ampiezza del picco H.V.S.R. è una grandezza da interpretare con cautela, e di fornire una stima indicativa sulla profondità del contrasto di impedenza che causa la risonanza sismica. I risultati delle indagini H.V.S.R. da microtremori hanno consentito di realizzare la carta delle frequenze ed hanno fornito informazioni utili a definire e delineare la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (MOPS), hanno dato informazioni su locali criticità e sono risultati utili nella pianificazione delle indagini lineari.

I siti selezionati per le indagini sismologiche sono stati distribuiti in corrispondenza delle differenti unità litologiche affioranti nell'area, al fine di verificare e valutare l'influenza dei litotipi e delle loro geometrie, sulla risposta sismica locale. In allegato fuori testo sono state riportate le schede di sintesi dei risultati di tali prove.

Dal punto di vista ingegneristico - strutturale il valore di risonanza del sottosuolo rappresenta un parametro fondamentale per una corretta progettazione sismica delle strutture. E' ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio. Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi gli stessi periodi di vibrazione del terreno.

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



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

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

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

In sostanza, questa carta, elaborata sulla base della C.T.R. alla scala 1:10.000, evidenzia come la frequenza caratteristica di risonanza di un sito sia molto variabile e condizionata dai rapporti litostratigrafici che si sviluppano con la profondità: inoltre, essa illustra che le variazioni di rigidità lungo la verticale di sviluppo non sono esclusivamente collegate ai classici ambiti geomorfologici che mettono in contatto terreni a risposta sismica differente (alluvioni su roccia, detrito su roccia, ecc.), ma indica che tali interfacce, più o meno importanti, possono trovarsi anche all'interno dell'ammasso roccioso stesso.

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

1. Il comune di Cappella Maggiore presenta un ampio *range* di frequenze di risonanza con valori H/V, in generale, abbastanza elevati, per cui risulta possibile ipotizzare importanti amplificazione del moto sismico in superficie.
2. L'area caratterizzata dai rapporti spettrali (A_0) più elevati è quella della pianura localizzata nella porzione occidentale del territorio comunale. I valori di frequenza, generalmente medio - alti, indicano che il contrasto sismico più elevato è localizzato all'interno della copertura.
3. La zona collinare e l'area della pianura Sud orientale presentano indicativamente la stessa risposta sismica, sia in termini di frequenza che di ampiezza spettrale. I valori H/V non sono molto elevati e le frequenze risultano molto basse o molto alte, poichè la discontinuità che genera l'amplificazione maggiore è collocata rispettivamente ad elevate profondità od è prossima alla superficie.

51

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

In conclusione, visto che la complessità geologico - geomorfologica dell'area non ha permesso di suddividere il territorio comunale in principali classi di frequenza e/o di definire una carta delle isofrequenze, i risultati delle analisi sono stati cartografati tramite dei cerchi di diverso colore in base ai valori di frequenza f_0 (6 classi) e con un diametro proporzionale all'ampiezza del picco (6 classi).

Per quanto riguarda l'intervallo frequenziale, ad ogni *range* di frequenza fondamentale F_0 è stato assegnato un cerchio colorato, così suddiviso:

	1,00 – 3,00
	3,01 – 5,00
	5,01 – 7,00
	7,01 – 9,00
	9,01 – 11,00
	11,01 – 20,00

Invece, l'ampiezza del picco H/V è stata rappresentata sulla base del diametro dei cerchi colorati, secondo il seguente *range*:

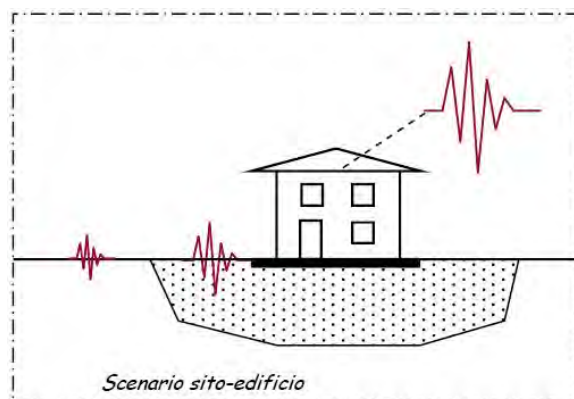
	1,50 - 2,00
	2,01 - 2,50
	2,51 - 3,00
	3,01 - 4,00
	4,01 - 5,00
	5,01 - 15,00

8 METODO GEOFISICO - STRUMENTALE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEGLI INDICATORI DI VULNERABILITA' SISMICA DEGLI EDIFICI

Il metodo geofisico - strumentale mira ad identificare la presenza, in un edificio, di comportamenti ritenuti critici in termini di risposta sismica, attraverso l'interpretazione di misure dirette di tremore ambientale effettuate all'interno dell'edificio e nel sito che lo ospita.

Per interpretare il comportamento del sito in termini di frequenze principali di oscillazione, viene applicata la tecnica H.V.S.R. (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali e verticale), mentre per poter meglio individuare il comportamento dell'edificio è preferibile usare la tecnica S.S.R. (Standard Spectral Ratio). Quest'ultima procedura consiste nel calcolare il rapporto tra gli spettri misurati all'interno dell'edificio ai vari piani, in modo tale da riconoscere al meglio le frequenze proprie dei modi di vibrare dell'edificio stesso.

Il metodo parte dall'assunto che, per un'adeguata valutazione della propensione al danneggiamento di una struttura, si deve tenere conto sia del comportamento sismico dell'edificio, sia del comportamento del sito su cui esso è ubicato (figura seguente).



53

Le misure di tremore sono utilizzate, in particolare, per riconoscere strumentalmente alcuni indicatori di vulnerabilità del sistema unitario sito - edificio.

Nello specifico, le misure di tremore sul sito consentono di:

- definire la presenza di un significativo contrasto di impedenza che può causare l'incremento dell'azione sismica in superficie (tecnica H.V.S.R.);
- valutare la frequenza naturale del sito (tecnica H.V.S.R.);
- identificare la presenza di variabilità laterale della geometria del *bedrock* (rotazione delle componenti spettrali).

Le misure di tremore effettuate all'interno di un edificio consentono invece di:

- risalire alle frequenze naturali delle strutture (tecnica S.S.R.);
- stimare e individuare la propensione a subire effetti torsionali (tecnica S.S.R.).

Conoscendo le frequenze naturali del sito e dell'edificio è possibile, quindi, valutare la propensione alla doppia risonanza tra sito e struttura.

La frequenza naturale di un edificio è considerata il parametro fondamentale per valutare l'azione sismica a partire dallo spettro di progetto; generalmente, essa viene stimata attraverso formule empiriche, anche se molteplici studi hanno dimostrato che i valori così ottenuti non sono sempre in buon accordo con quelli rilevabili con misure dirette (si veda ad esempio Gallipoli et al. 2009). La frequenza naturale può essere direttamente stimata individuando i picchi presenti nei rapporti tra gli spettri dell'edificio e quelli del sito.

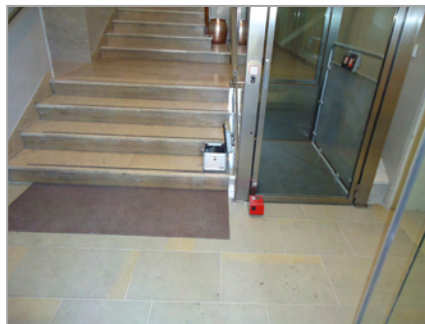
La verifica dell'eventuale effetto della "doppia risonanza" tra sito ed edificio è altrettanto importante, nonostante non sia espressamente contemplata nelle norme tecniche, poiché può causare un incremento dell'azione sismica sulla struttura.

Tale possibile "sincronizzazione" si valuta semplicemente comparando la frequenza naturale del sito con quella dell'edificio. Le misure geofisiche di tremore sull'edificio consentono anche di individuare la propensione a subire effetti torsionali; la loro eventuale presenza può incrementare le sollecitazioni su alcuni elementi strutturali, aumentando, di conseguenza, la vulnerabilità dell'edificio.

Esempio di applicazione del metodo. Sede comunale di Cappella Maggiore

Si riporta di seguito un esempio sull'applicazione del metodo geofisico - strumentale per la caratterizzazione diretta degli indicatori di vulnerabilità sismica:

- Sede comunale di Cappella Maggiore. Struttura in muratura con n°3 piani fuori terra che presenta una pianta regolare di forma rettangolare con rapporto tra i lati di circa 1,5:1. Sono state effettuate n°3 misure, due all'interno dell'edificio (ultimo piano e primo piano) ed una all'esterno dello stesso (giardino adiacente). Le immagini sottostanti riportano i punti in cui sono state eseguite tali misure.



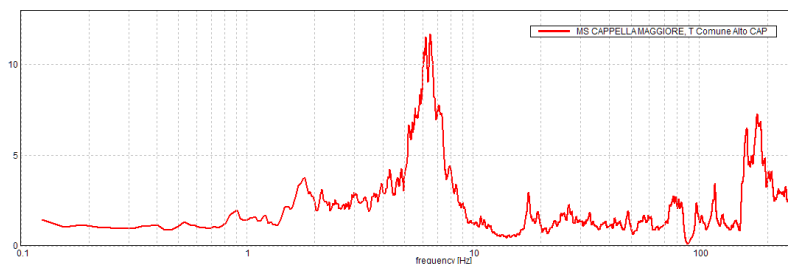
I risultati ottenuti e riportati nella pagina seguente, evidenziano che la metodologia proposta consente una valutazione rapida ed economica degli indicatori collegati alla danneggiabilità degli edifici ed è adatta a definire delle strategie di mitigazione di rischio sismico, anche su vasti territori. A differenza di altre metodologie di stima indiretta, quali ad esempio formulazioni empiriche o modellazioni FEM, il metodo consente di ottenere degli indicatori di vulnerabilità misurati direttamente sulla struttura che, pertanto, sono soggetti al solo errore di misura e non a tutte le incertezze che caratterizzano i metodi indiretti.

Si deve tuttavia sottolineare che il metodo geofisico - strumentale non può e non deve sostituirsi a valutazioni e calcoli strutturali o a prove dinamiche attive, né tanto meno è in grado di identificare direttamente quali siano le eventuali carenze strutturali di un edificio in termini di risposta sismica.

Alla luce di quanto appena esposto, si auspica che tale metodologia venga utilizzata su altre strutture e infrastrutture presenti nel territorio Comunale di Cappella Maggiore, per valutarne la loro predisposizione a subire danni in caso di terremoto.

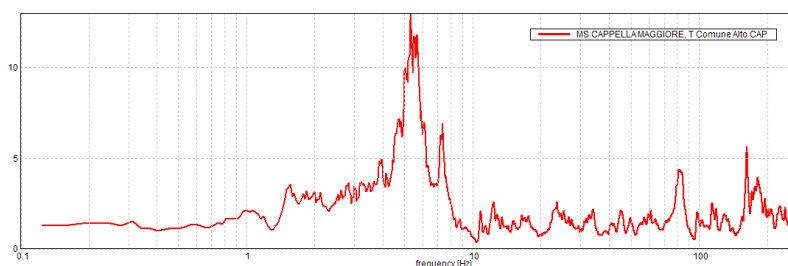


Sede Comunale di
Cappella Maggiore



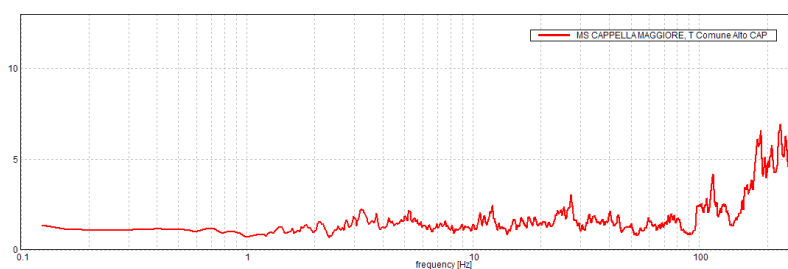
Componente Nord - Sud
del moto sismico.

Frequenza del primo modo di
vibrazione della struttura:
6,3 Hz.



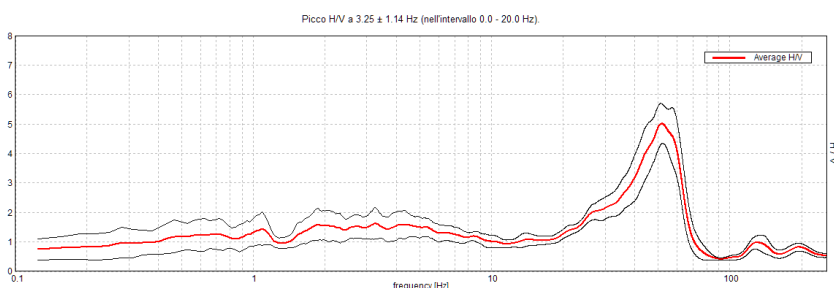
Componente Est - Ovest
del moto sismico.

Frequenza del primo modo di
vibrazione della struttura:
5,2 Hz.



Componente verticale
del moto sismico.

Non si rilevano sostanziali
amplificazioni della
componente verticale.



Andamento H.V.S.R. registrato
all'esterno della struttura.

Assenza di contrasti sismici nel
sottosuolo tali da generare
amplificazioni del moto alle
frequenze della struttura
analizzata.

9 MODELLIZZAZIONI NUMERICHE BIDIMENSIONALI - LIVELLO III DI APPROFONDIMENTO

Per quantificare correttamente la risposta sismica di sito sono state effettuate alcune modellazioni bidimensionali lungo tre sezioni rappresentative del territorio Comunale di Cappella Maggiore ed una di struttura monodimensionale nei pressi del palazzo comunale.

Le simulazioni bidimensionali NON hanno considerato solo gli effetti amplificativi del moto sismico dovuti alla topografia ed alla stratigrafia, ma anche quelli derivanti da morfologie sepolte come i raccordi tra la pianura e le zone montuose.

La tecnica di risoluzione numerica adoperata è stata quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo **FLAC 7.0** (ITASCA, 2011), operante nel dominio del tempo. Il codice effettua un'analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

Il risultato finale è stato rappresentato in una storia accelerometrica orizzontale attesa nel sito d'indagine e plottata in uno spettro di risposta elastico confrontabile con quelli di normativa provenienti dall'approccio semplificato (NTC - 2008).

9.1 Descrizione del metodo

Il codice di calcolo **FLAC 2D v.7.0** (*Fast Lagrangian Analysis of Continua*) della Itasca (2011) è basato sul metodo delle differenze finite con un procedimento di tipo esplicito. La flessibilità nella modellazione della geometria del problema, la disponibilità di elementi strutturali, l'elevato numero di modelli costitutivi implementati e la possibilità di svilupparne anche di nuovi, rendono FLAC idoneo allo studio di tutti i problemi riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce, ecc.) e di strutture interagenti. Sviluppato inizialmente per le applicazioni di ingegneria geotecnica e ingegneria mineraria in campo statico, esso ha trovato successivamente, con l'introduzione del modulo dinamico, largo impiego anche per la soluzione di problemi di risposta sismica locale. Il codice di calcolo FLAC, anche per i problemi in campo statico, risolve le equazioni di equilibrio dinamico di un mezzo continuo:

$$\rho \cdot \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \sum_j \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (9.1)$$

dove:

- ρ è la densità
- x_j la componente i - esima del vettore posizione
- $\dot{u}_i$ la componente i - esima del vettore velocità
- g_i la componente dell'accelerazione di gravità (forze di volume) lungo la direzione i
- τ_{ji} la generica componente del tensore degli sforzi.

Il comportamento meccanico dei materiali è espresso dalla legge costitutiva:

$$\tau_{ji} = M(\tau_{ji} ; \dot{\epsilon}_{ij} ; k) \quad (9.2)$$

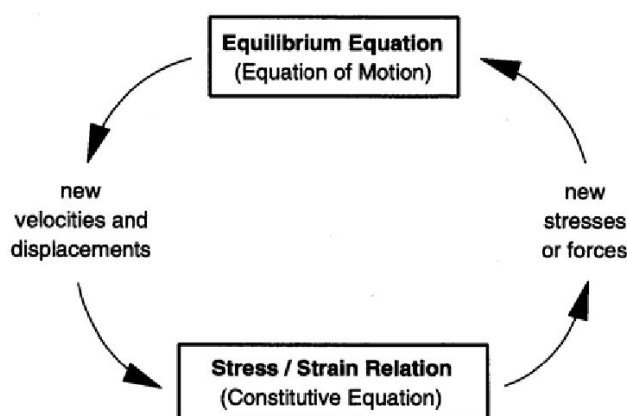
dove k è un parametro che tiene conto della storia di carico, M un funzionale ed $\dot{\epsilon}_{ij}$ il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \dot{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (9.3)$$

I materiali vengono rappresentati da elementi quadrilateri, o zone, che formano una griglia (*mesh*) che può essere configurata dall'utente in modo da modellare contatti stratigrafici e morfologie superficiali, anche complesse ed irregolari. A ciascuna zona si assegnano le proprietà fisiche e meccaniche che ne caratterizzano il comportamento nell'analisi. I vertici di ogni zona costituiscono i nodi della griglia.

I metodi alle differenze finite come quelli agli elementi finiti traducono un sistema di equazioni differenziali come la (9.1) in un sistema di equazioni algebriche. Se i metodi agli elementi finiti hanno come punto centrale la definizione delle funzioni di forma, che descrivono la variazione delle grandezze che interessano il problema (tensioni, deformazioni) attraverso ciascun elemento, nei metodi alle differenze finite si prescinde da questa definizione della funzione di forma, e le equazioni algebriche vengono scritte direttamente in termini di variabili di campo (tensioni, spostamenti) definite nei nodi della *mesh*.

In sintesi, l'algoritmo risolutivo dell'approccio esplicito si articola secondo il ciclo indicato nella seguente figura.

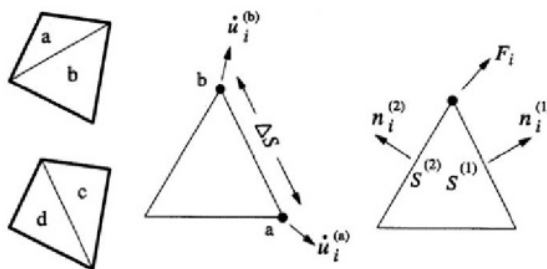


57

Ad ogni nuovo passo di calcolo (*step*), vengono risolte le equazioni di equilibrio dinamico, per cui dalle tensioni e dalle forze si ottengono i valori corrispondenti delle velocità di deformazione e degli spostamenti; successivamente, dalle velocità di deformazione ed attraverso le equazioni dei legami costitutivi, si giunge a valori aggiornati delle tensioni. L'ipotesi base dell'approccio esplicito consiste nel fatto che, durante ciascuna fase, le grandezze vengono ricavate da altre grandezze i cui valori sono assunti costanti durante l'operazione. Ad esempio, attraverso le leggi costitutive, i valori delle velocità di deformazione sono considerati fissi durante l'operazione di calcolo delle tensioni: in altre parole, i nuovi valori calcolati delle tensioni non influenzano le velocità. Questo può apparire poco accettabile dal punto di vista fisico, poiché se c'è una variazione di tensione in un punto, questa necessariamente influenza i punti vicini alterandone le velocità di deformazione. Tuttavia, se l'intervallo di tempo Δt (*timestep*) corrispondente al singolo ciclo di calcolo è sufficientemente piccolo, tale alterazione non può propagarsi da un elemento all'altro in tale intervallo.

Tale approccio si è dimostrato particolarmente efficiente nella modellazione di problemi non lineari in presenza di grandi deformazioni. Per contro, essendo il Δt richiesto generalmente molto piccolo, sono necessari un gran numero di passi di integrazione cui corrispondono tempi di calcolo molto elevati.

Gli elementi quadrangolari della griglia vengono automaticamente suddivisi dal programma in due set sovrapposti di triangoli a deformazioni costanti.



Le equazioni alle differenze finite per ogni triangolo si ottengono dalla forma generalizzata del teorema della divergenza di Gauss:

$$\int_S \mathbf{f} \cdot \hat{\mathbf{n}} \cdot d\mathbf{s} = \int_A \text{div } \mathbf{f} \cdot dA \quad (9.4)$$

in cui:

- $\mathbf{n}$ è il versore normale al contorno S del dominio triangolare
- $\mathbf{f}$ la funzione generica (scalare, vettore o tensore)
- A la superficie del dominio triangolare di contorno S
- d_s la lunghezza incrementale lungo il contorno S .

Sostituendo ad $\mathbf{f}$ un valore medio del vettore velocità, la relazione precedente consente di scrivere:

$$\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_i} \cong \frac{1}{2A} \sum_s (\dot{u}_i^{(a)} + \dot{u}_i^{(b)}) n_j \Delta s \quad (9.5)$$

dove (a) e (b) sono due nodi consecutivi sul generico lato del triangolo. Attraverso la (9.3) e la (9.5) è, quindi, possibile calcolare tutte le componenti del tensore velocità di deformazione. La legge costitutiva è poi utilizzata per calcolare un nuovo valore del tensore delle tensioni. Calcolate le tensioni vengono calcolate le forze equivalenti applicate ai nodi. Le tensioni agiscono in ciascun triangolo come trazioni sui lati del triangolo stesso; ogni trazione è considerata equivalente a due forze agenti sui due nodi all'estremità del lato. Su ogni nodo del triangolo agiscono, quindi, due forze relative ai due lati convergenti nel nodo stesso:

58

$$\mathbf{F}_i = \frac{1}{2} \tau_{ji} \left(n_i^{(1)} S^{(1)} + n_i^{(2)} S^{(2)} \right) \quad (9.6)$$

Infine, per ciascun nodo vengono sommate tutte le forze dovute ai triangoli convergenti nel nodo stesso, le forze dovute a eventuali carichi esterni applicati e le forze di volume dovute alla gravità. In tal modo viene determinata la forza nodale netta $\Sigma \mathbf{F}_i$; se $\Sigma \mathbf{F}_i = 0$, il nodo è in equilibrio, altrimenti subirà un'accelerazione espressa dalla seconda legge di Newton, nient'altro che la (9.1) espressa in termini incrementali:

$$\dot{u}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} = \dot{u}_i^{(t-\frac{\Delta t}{2})} + \left[\sum \mathbf{F}_i^{(t)} \right] \frac{\Delta t}{m} \quad (9.7)$$

dove l'apice indica il tempo in corrispondenza del quale è valutata la variabile ed m è la massa associata a ciascun nodo pari alla somma di un terzo delle masse dei triangoli convergenti nel nodo. Dalla relazione precedente si determinano nuovi valori della velocità e, quindi, del tensore velocità di deformazione per un nuovo ciclo.

Come detto, condizione essenziale dell'algoritmo descritto è che il *time step* Δt corrispondente al singolo ciclo di calcolo, sia sufficientemente piccolo da rendere accettabile l'approssimazione di tensioni e velocità costanti sul singolo *step* di calcolo. In particolare, Δt deve essere inferiore ad un *time step* critico Δt_{cr} definito dalla:

$$\Delta t_{cr} = \min \left\{ \frac{A}{V_p \Delta x_{max}} \right\} \quad (9.8)$$

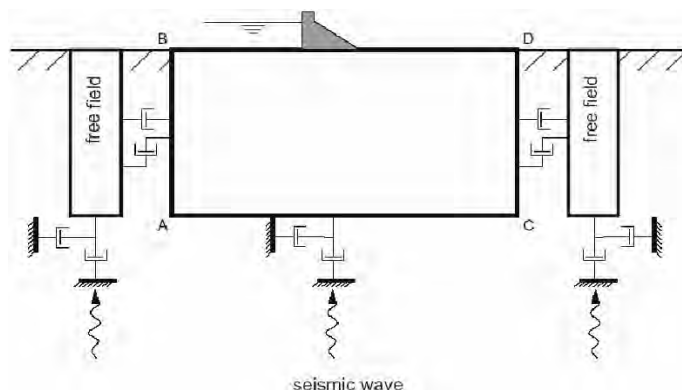
dove A è la superficie del subelemento triangolare, Δx_{max} la dimensione massima della zona (in genere la diagonale) e V_p la velocità delle onde di compressione. La funzione minimo è presa su tutte le zone. Il *timestep* critico è tanto più piccolo (e i tempi di calcolo quindi tanto più elevati) quanto più la rigidità del materiale è elevata e quanto più piccolo è l'elemento. Il Δt di calcolo viene determinato internamente da FLAC, applicando un coefficiente di sicurezza pari a 2 al valore fornito dalla (9.8).

Particolare attenzione va posta nella scelta delle dimensioni degli elementi della *mesh*, in quanto queste condizionano in maniera fondamentale l'accuratezza numerica della trasmissione delle onde. In particolare, per un'accurata modellazione viene consigliato di scegliere una altezza degli elementi h almeno pari ad un valore compreso tra un decimo ed un ottavo della minima lunghezza d'onda di interesse λ_{min} :

$$h \leq \frac{\lambda_{min}}{10} \quad (9.9)$$

La λ_{min} è la lunghezza d'onda che corrisponde alla massima frequenza di interesse ed è legata ad essa dalla velocità di propagazione delle onde di taglio. I metodi alle differenze finite, così come quelli agli elementi finiti, si basano sulla discretizzazione, tramite una *mesh* di nodi, di una porzione finita dello spazio, per cui appropriate condizioni al contorno vanno imposte ai confini artificiali di tale regione. In ogni problema di propagazione di onde sismiche, parte dell'energia si allontana indefinitamente dalla regione di interesse verso il semispazio circostante per fenomeni di diffrazione e riflessione, dando luogo ad una "perdita" di energia indicata come *smorzamento di radiazione*. Al fine di modellare correttamente questo fenomeno, FLAC consente di minimizzare la riflessione delle onde sui contorni della *mesh*, imponendo su questi condizioni di campo libero (*free field boundaries*) o viscose (*quiet boundaries*). La definizione delle condizioni al contorno è strettamente correlata all'applicazione della sollecitazione dinamica, come discusso in seguito.

I contorni *free - field* consistono sostanzialmente in colonne monodimensionali di larghezza unitaria, situate ai lati del modello, che simulano il comportamento di un mezzo infinitamente esteso (figura seguente).



In pratica, essi riproducono il moto libero del terreno che si avrebbe in assenza della configurazione bidimensionale ed allo stesso tempo impediscono la riflessione ai bordi della *mesh* delle onde diffratte verso l'esterno. Come illustrato, i singoli nodi dei contorni laterali della griglia principale vengono accoppiati alla griglia *free - field* attraverso smorzatori viscosi che materialmente assorbono l'energia delle onde incidenti sui contorni, applicando delle forze viscosi proporzionali alla differenza tra il campo di velocità esistente al bordo e quello in condizioni *free - field*. Prima dell'applicazione delle condizioni *free - field* durante l'analisi dinamica, il modello deve essere in condizioni di equilibrio statico, per cui è necessario eseguire una analisi statica preliminare per determinare lo stato tensionale e deformativo all'interno del modello. All'atto dell'applicazione delle condizioni *free - field*, tutte le variabili di stato determinate dall'equilibrio statico vengono quindi applicate alle colonne monodimensionali ai bordi del modello.

I contorni *free - field* sono di notevole utilità, in quanto consentono di evitare l'allontanamento dei confini laterali, altrimenti necessario in assenza di confini assorbenti, per la minimizzazione delle onde riflesse dai contorni.

I contorni *quiet* sono invece costituiti, secondo la formulazione di *Lysmer e Kuhlemeyer* (1969), da smorzatori viscosi attaccati alla griglia ed agenti in direzione normale e tangenziale al contorno stesso; essi consentono un pressoché completo assorbimento delle onde di volume che incidono sul contorno. I contorni *quiet* possono essere applicati su contorni verticali, orizzontali o inclinati. Essi vanno applicati al confine inferiore della *mesh* per simulare la base elastica, mentre ai bordi del modello, come detto, è preferibile l'utilizzo dei contorni *free - field*.

Le sollecitazioni dinamiche possono essere applicate sia ai bordi della *mesh* sia ai suoi nodi interni in una delle seguenti forme:

- storia temporale di accelerazioni;
- storia temporale di velocità;
- storia temporale di tensioni;
- storia temporale di forze.

60

Nell'applicare la sollecitazione dinamica, bisogna però tenere conto di alcune limitazioni che derivano da particolari incompatibilità tra forme di applicazione dell'input e delle condizioni al contorno. Se, ad esempio, queste sono rappresentate da *quiet boundaries* (come avviene solitamente per il bordo inferiore della *mesh*), il loro effetto viene annullato se si applica un accelerogramma o una storia di velocità.

Quindi, in questo caso, la base è modellata come rigida, cioè perfettamente riflettente, dando luogo a irrealistiche sovrastime del moto sismico. Per simulare correttamente una base elastica occorre applicare ai *quiet boundaries*, alla base della *mesh*, una storia temporale di tensioni. A tal fine, un accelerogramma di input deve essere integrato per ottenere una storia temporale di velocità e questa viene infine convertita in tensioni tramite le seguenti relazioni:

$$\sigma_n = 2(\rho V_p) v_n \quad \sigma_s = 2(\rho V_s) v_s \quad (9.10)$$

dove:

- ρ è la densità;
- σ_n , σ_s rispettivamente tensione applicata in direzione normale e tangenziale al contorno;
- V_p , V_s rispettivamente velocità delle onde di compressione e di taglio del materiale che viene simulato al di sotto del contorno inferiore (costituente la base elastica);
- v_n , v_s rispettivamente la velocità di input normale e tangente al contorno.

In definitiva, un input costituito da onde S sarà quindi applicato come una storia temporale di tensioni tangenziali, mentre le onde P tramite una storia temporale di tensioni normali al contorno. Entrambe le sollecitazioni sono applicate con incidenza verticale.

La non linearità e le proprietà dissipative dei terreni possono essere modellate in FLAC secondo differenti modalità: attraverso l'adozione di un legame costitutivo propriamente non lineare o, a partire dalla versione 5.0 (Itasca, 2005), tramite semplici modelli di *smorzamento isteretico*. Le proprietà dissipative possono altresì essere modellate attraverso la formulazione di Rayleigh.

L'adozione di una legge sforzi - deformazione non lineare rappresenta, teoricamente, il modo più efficace per tenere conto della degradazione di rigidità al procedere della deformazione e della dissipazione di energia per isteresi. Questi modelli possono essere accoppiati con modelli di filtrazione per simulare la generazione e dissipazione di eccessi di pressioni neutre e/o fenomeni di liquefazione e consentono, inoltre, la valutazione delle deformazioni permanenti. Però, dal punto di vista pratico, i modelli non lineari sono spesso complessi e richiedono la definizione di molti parametri e lunghi processi di calibrazione.

La complessità dei modelli non lineari e la comodità di un utilizzo diretto delle curve di tipo $G / G_0 - \gamma$ e $D - \gamma$, generalmente fornite dalle prove di laboratorio e dalle correlazioni empiriche, ha portato all'introduzione di semplici modelli di *smorzamento isteretico* (*hysteretic damping*) nella recente versione 5.0 del codice.

Durante ciascun *step* di calcolo, in funzione del valore medio del tensore di velocità di deformazione, viene restituito un fattore moltiplicativo da usarsi nel legame costitutivo, in modo da correggere il valore del modulo tangente di taglio associato a ciascun elemento. Il modello isteretico implementato utilizza solo curve continue che esprimono la variazione del modulo di taglio con la deformazione tangenziale; pertanto, i parametri da fornire in input che definiscono la forma di tali curve, vanno ricavati attraverso regressione dei dati sperimentali. Analisi di calibrazione dello smorzamento isteretico sono necessarie prima di un suo uso nella pratica corrente.

61

Nel caso di analisi lineari, o per modellare comunque lo smorzamento a basse deformazioni che spesso i legami costitutivi non lineari non riescono a cogliere, si può utilizzare la formulazione di *Rayleigh*. Essa conduce ad uno smorzamento dipendente dalla frequenza, in contrasto con le evidenze sperimentali sul comportamento dei terreni. Il suo impiego richiede, pertanto, una oculata scelta dei parametri che lo definiscono, per limitare la variazione dello smorzamento con la frequenza (*Lanzo et al., 2003 e 2004*). Lo smorzamento di *Rayleigh* è stato originariamente formulato per le analisi strutturali ed è espresso in forma matriciale attraverso la definizione di una matrice di smorzamento $\mathbf{C}$ proporzionale alla matrice di massa $\mathbf{M}$ e a quella di rigidità $\mathbf{K}$:

$$\mathbf{C} = \alpha_R \mathbf{M} + \beta_R \mathbf{K} \quad (9.11)$$

dove α_R e β_R sono i coefficienti di *Rayleigh* che hanno dimensione rispettivamente di s^{-1} e s . E' possibile dimostrare (*Chopra, 1995*) che lo smorzamento ξ_j associato al j - esimo modo di vibrazione del deposito è espresso dalla:

$$\xi_j = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_R}{\omega_j} + \beta_R \omega_j \right) \quad (9.12)$$

dove ω_j è la frequenza circolare relativa al modo j .

I coefficienti di *Rayleigh* vengono comunemente determinati attraverso due procedure, a seconda che si fissi il valore dello smorzamento modale in corrispondenza di una o due frequenze naturali opportunamente selezionate (dette frequenze di controllo). Il codice FLAC adotta la prima procedura in accordo alla quale i coefficienti di *Rayleigh* sono espressi dalle:

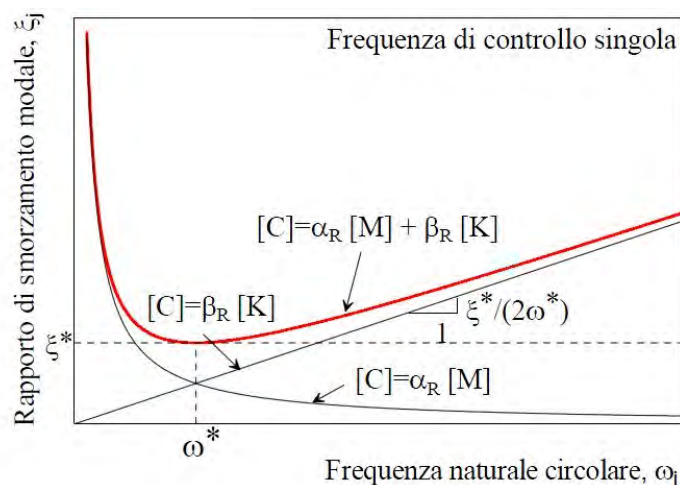
$$\alpha_R = \xi^* \omega^* \quad , \quad \beta_R = \frac{\xi^*}{\omega^*} \quad (9.13)$$

avendo fissato lo smorzamento modale al valore ξ in corrispondenza della singola frequenza ω .

Per ciascun elemento della *mesh* occorre specificare il rapporto di smorzamento ξ^* del materiale e la frequenza ω^* . A titolo di esempio, nel caso di smorzamento ξ^* e frequenza ω^* costante per tutto il deposito, è possibile dimostrare che un'analisi lineare eseguita con FLAC fornisce gli stessi risultati di un'analisi modale, con rapporto di smorzamento modale dell'intero sistema variabile con la frequenza circolare naturale ω_j secondo la:

$$\xi_j = \frac{\xi^*}{2} \left(\frac{\omega^*}{\omega_j} + \frac{\omega_j}{\omega^*} \right) \quad (9.14)$$

riportata nella figura seguente, nella quale si nota come ξ_j assuma un minimo (pari al valore imposto ξ^*) in corrispondenza della frequenza di controllo ω^* , mentre sia sovrastimato nel campo dei valori maggiori e minori di ω^* .



La formulazione di *Rayleigh* viene applicata a livello del singolo elemento della *mesh* per cui, tra i dati di input, occorre specificare per ciascun elemento il valore del rapporto di smorzamento del materiale che lo costituisce ξ^* e la frequenza di controllo ω^* (o meglio il valore f^*). La scelta di f^* è cruciale per fissare il campo di frequenza in corrispondenza del quale lo smorzamento mostra variazioni contenute rispetto a ξ^* .

In generale, f^* deve essere scelta nel campo di frequenza significativo per il problema in esame sia in termini di frequenze naturali del sistema che di frequenze predominanti dell'input. In prima approssimazione, si può collocare f^* tra la frequenza fondamentale del sistema e la frequenza predominante dell'input (frequenza corrispondente al massimo dello spettro di Fourier o di risposta). Se questi valori sono distanti è comunque opportuno esaminare con analisi parametriche l'influenza sui risultati delle diverse scelte di f^* .

In definitiva, per ciascun materiale occorre fornire i seguenti parametri di input:

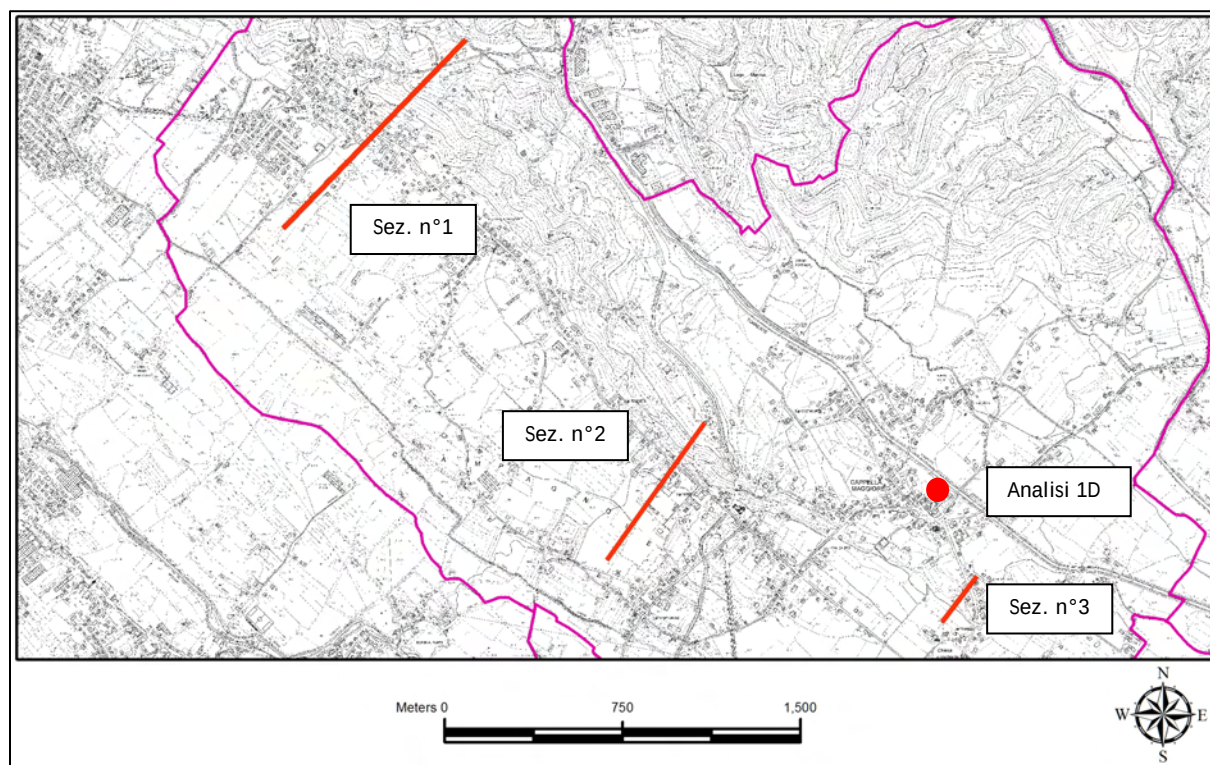
- peso dell'unità di volume;
- nel caso di analisi lineari modulo di taglio (G_0) e di elasticità volumetrico (k), o, in alternativa modulo di Young (E) e coefficiente di Poisson (ν);
- nel caso di analisi non lineari occorre fornire i parametri caratteristici del modello adottato;
- rapporto di smorzamento (ξ^*) e frequenza di controllo (f^*) se si adotta la formulazione di *Rayleigh*.

Il codice offre notevoli potenzialità di dati in output, potendo restituire la storia temporale di tutte le grandezze di interesse: spostamenti, velocità, accelerazioni, deformazioni e tensioni. L'interfaccia grafica consente, inoltre, di costruire ed esportare i grafici delle sopracitate grandezze, in funzione della profondità o lungo un generico profilo.

9.2 Casi applicativi nel Comune di Cappella Maggiore

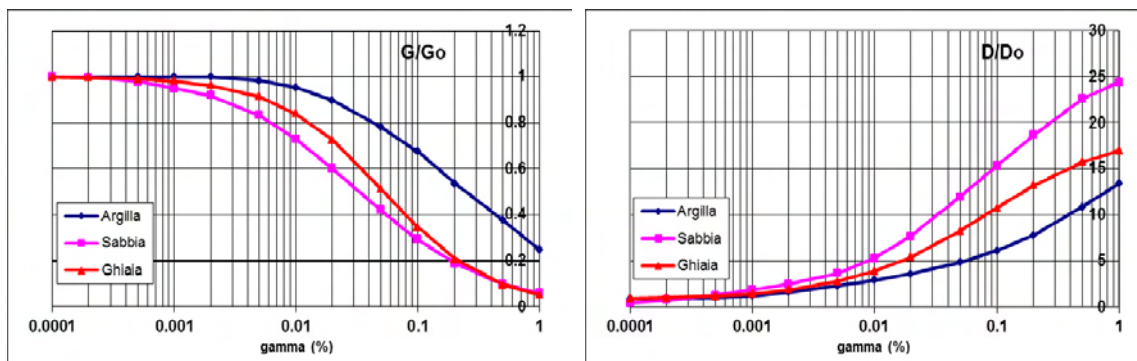
Per quantificare l'azione sismica in superficie e valutare l'attendibilità dell'approccio semplificato della normativa vigente (NTC - 2008) sono state realizzate n°3 sezioni ed un modello monodimensionale sui quali sono state successivamente condotte le modellazioni numeriche. In particolare, le sezioni sono state ubicate nei pressi di Anzano, Borgo Gobbi e Località Mattarella, eseguite tutte lungo la direzione Nord Est - Sud Ovest e con lunghezze variabili da 245 m a 1100 m.

Vista la spiccata monodimensionalità dei terreni costituenti il sottosuolo nei pressi della sede comunale si è deciso, in questo caso, di condurre un'analisi 1D. I risultati ottenuti possono ritenersi sostanzialmente validi anche per le zone dei ponti di Via Crovera e di Via Francesco Crispi, in quanto le prove effettuate hanno rilevato lo stesso assetto sismostratigrafico.



Le sismostratigrafie ed i valori di rigidità utilizzati sono quelli ottenuti dalle indagini sismiche eseguite appositamente e precedentemente descritte. Lungo le frontiere laterali dei modelli sono stati introdotti particolari elementi assorbenti (*free - field* boundaries) che, oltre ad evitare la riflessione delle onde in maniera analoga agli smorzatori viscosi introdotti da Lysmer & Kuhlemeyer (1969), forzano i nodi delle frontiere laterali a riprodurre il moto di *free - field*, essenziale per le analisi di risposta sismica locale bidimensionali 2D.

Per limitare la riflessione delle onde in corrispondenza della frontiera inferiore del modello, sono stati utilizzati degli smorzatori viscosi (*quiet boundaries*), mentre le proprietà dissipative dei materiali sono state ottenute attraverso la formulazione di Rayleigh per quanto riguarda il *bedrock geofisico* (smorzamento 0,02 %); 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 gennaio 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 $V_r = 100$ 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 settupla 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 orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della ITASCA, 2011).

64

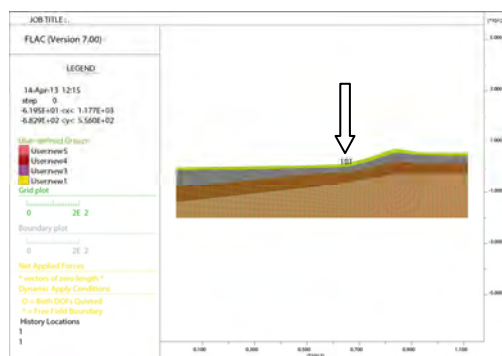
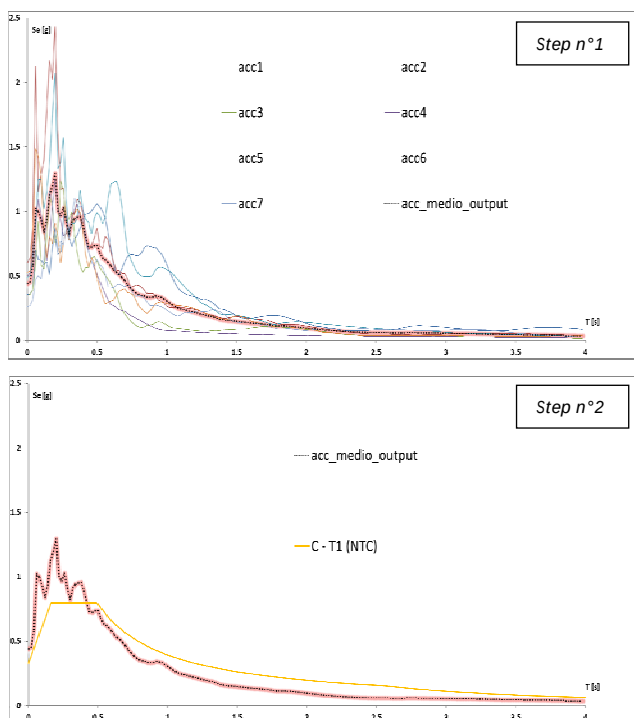
In particolare, i sette accelerogrammi sono stati ricavati tramite l'utilizzo del portale SEISM - HOME creato dall'EUCENTRE di Pavia, che seleziona gli input con il massimo rigore, da parte di operatori esperti, evitando in particolare di inserire più di una registrazione proveniente dallo stesso evento o dalla stessa stazione. Tramite una procedura ottimizzata (Corigliano et al, 2012) è stato selezionato l'insieme migliore di accelerogrammi spettro - compatibili registrati su sottosuolo roccioso di Categoria A e disponibili nelle principali banche dati accelerometriche mondiali accreditate.

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) confrontabile con gli spettri di normativa provenienti dall'approccio semplificato.

Tutte le *history* ottenute sono state successivamente plottate in uno spettro di risposta elastico e mediate in una curva rappresentativa (*Step n°1*), confrontabile con gli spettri di normativa provenienti dall'approccio semplificato (*Step n°2*).

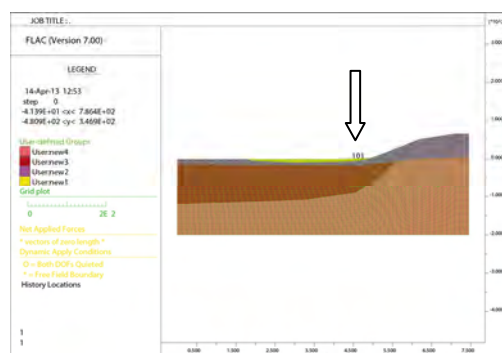
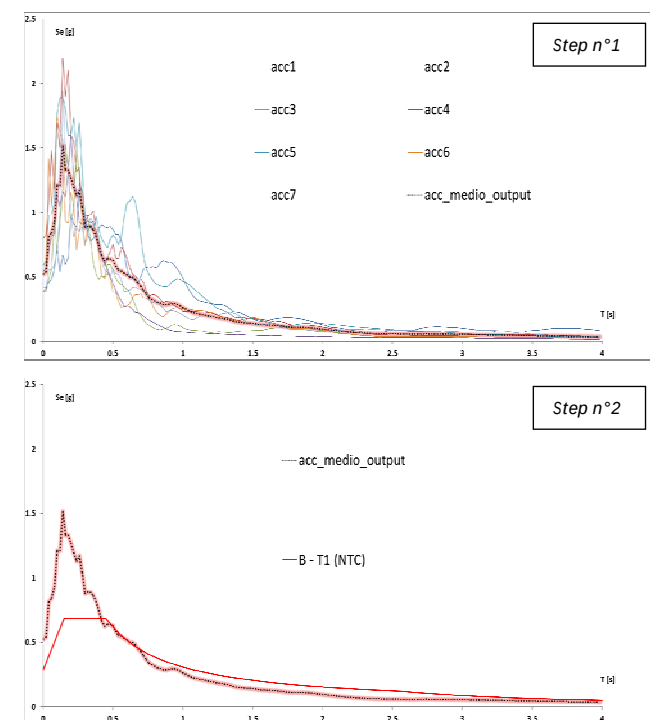
Infine, per calcolare il fattore di amplificazione FA si è confrontato lo spettro medio in ingresso con quello in uscita calcolando il rapporto dell'intensità di Housner per un periodo T compreso tra 0,1s e 0,5s poiché, in tale intervallo, si ha la massima risposta in accelerazione (*Step n°3*).

Sezione n°1. Anzano – Istituto scolastico



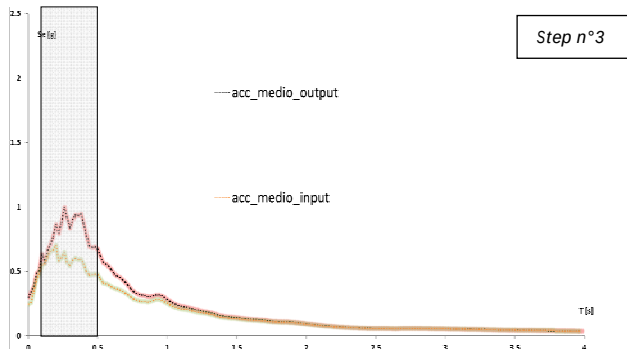
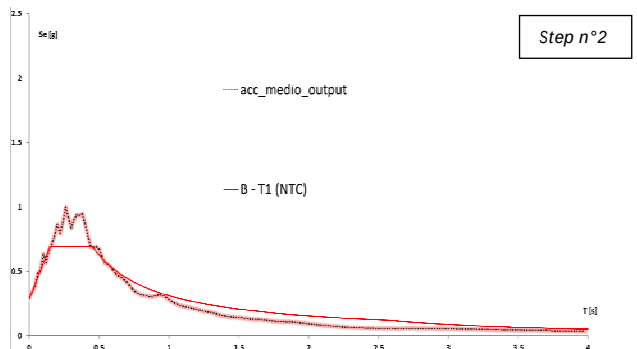
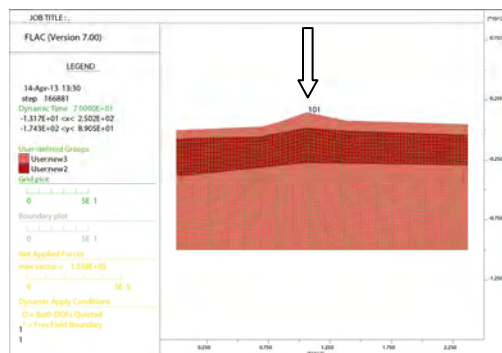
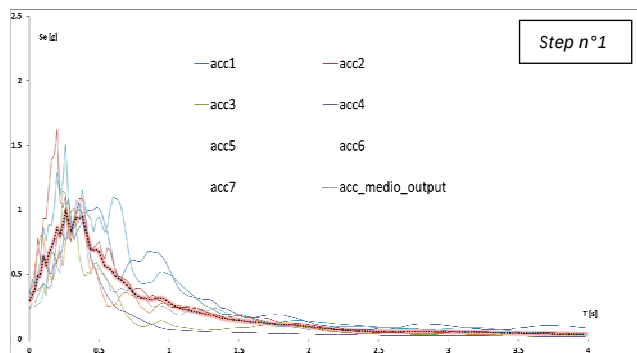
La Categoria C - T1 (NTC - 2008), quella a cui la zona indagata appartiene, riesce a quantificare correttamente la risposta sismica di sito per periodi superiori a circa 0,42 s, mentre la sottostima per periodi inferiori. Il fattore di amplificazione nell'intervallo considerato $FA_{0.1-0.5s}$ è risultato di circa 1,6.

Sezione n°2. Borgo Gobbi – Istituto scolastico



La Categoria B - T1 (NTC - 2008), quella a cui la zona indagata appartiene, riesce a quantificare correttamente la risposta sismica di sito per periodi superiori a circa 0,38 s, mentre la sottostima per periodi inferiori. Il fattore di amplificazione nell'intervallo considerato $FA_{0.1-0.5s}$ è risultato di circa 1,7.

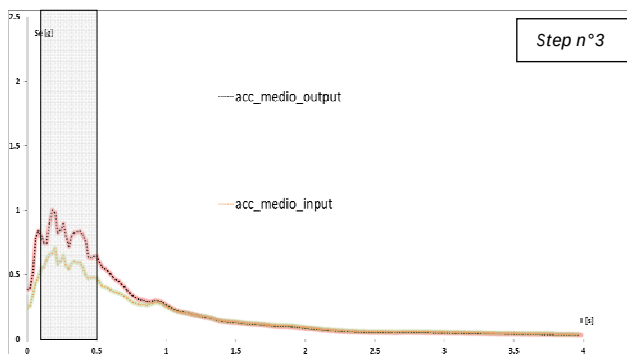
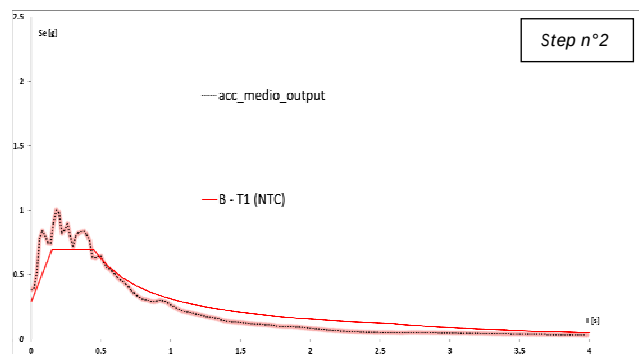
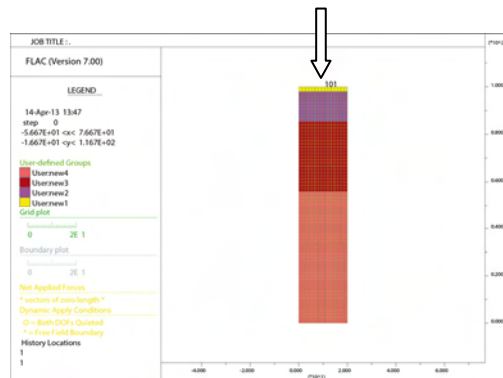
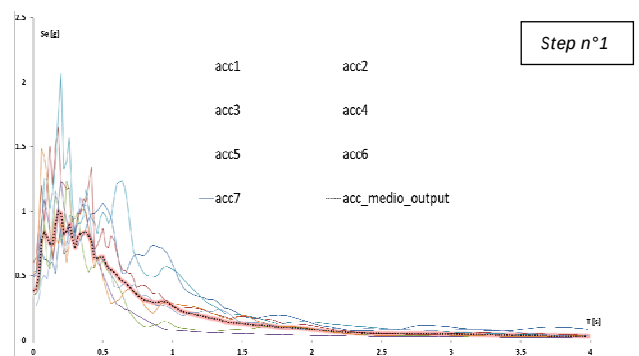
Sezione n°3. Località Mattarella - Istituto scolastico



La Categoria B - T1 (NTC - 2008), quella a cui la zona indagata appartiene, sottostima la risposta sismica di sito per periodi compresi tra 0,14 s e 0,45 s, mentre appare corretta per agli alti e bassi periodi. Il fattore di amplificazione nell'intervallo considerato $FA_{0.1-0.5s}$ è risultato di circa 1,4.

Modellazione monodimensionale. Palazzo Comunale

66



La Categoria B - T1 (NTC - 2008), quella a cui la zona indagata appartiene, riesce a quantificare correttamente la risposta sismica di sito per periodi superiori a circa 0,45 s, mentre la sottostima per periodi inferiori. Il fattore di amplificazione nell'intervallo considerato $FA_{0.1-0.5s}$ è risultato di circa 1,4.

9.3 Commenti finali e criticità

I capitoli precedenti hanno evidenziato chiaramente la complessità geologica del Comune di Cappella Maggiore che, vista in chiave sismica, dimostra una risposta locale continuamente variabile e denota una certa difficoltà nel ricostruire microzone con risposte omogenee.

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

Del resto, l'adeguamento del livello di approfondimento va misurato con le risorse e con i tempi disponibili, nonché con la destinazione d'uso del territorio.

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

- individuare e perimetrare le aree più abitate, i centri di futura urbanizzazione e le zone che comprendono gli edifici ritenuti strategici o importanti ai fini della Protezione Civile;
- eseguire un rilievo geologico – geomorfologico di dettaglio per ogni area individuata, prendendo in considerazione le caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche e geotecniche delle diverse zone, integrandole con i dati pregressi già raccolti ed interpretandoli appositamente;
- ricostruire con dettaglio la topografia delle aree indagate, inquadrando con precisione nella morfologia generale;
- definire eventuali indagini dirette per determinare le caratteristiche geotecniche locali e verificare la necessità di integrare le indagini geofisiche già eseguite;
- le aree potenzialmente instabili già individuate in questa fase (aree di frana) dovranno essere analizzate in maniera approfondita, una volta verificata la “pericolosità” in relazione alla “vulnerabilità” del sito in cui sviluppano, e sulla base dei rapporti intercorrenti con l'ente responsabile dello studio dei dissesti e del controllo dell'attività di cava;
- dovrà essere valutata approfonditamente la necessità di “vincolare” alcune aree in relazione al pericolo di liquefazione dei terreni: tale considerazione potrà essere sviluppata solo dopo aver raccolto ulteriori informazioni derivabili esclusivamente da indagini dirette, per cui si rimanda al successivo Livello II di approfondimento;
- individuare le zone che necessitano di essere analizzate fino al Livello III di approfondimento.

67

L'utilizzo di abachi per la realizzazione del Livello II dovrà essere subordinata alla presenza di assetti stratigrafici rigorosamente monodimensionali. Qualora tale condizione non fosse verificata, sarà necessario utilizzare un'analisi bidimensionale e, quindi, passare di fatto ad un livello di approfondimento maggiore (Livello III), nel quale dovranno essere stimati i fattori di amplificazione (F.A.) in termini di P.G.A. e intensità spettrale in pseudo – velocità e/o pseudo – accelerazione, nell'intervallo $0,1 < T_0 < 0,5$ s e $0,5 < T_0 < 1,0$ s.

Eventuali abachi impiegati per stimare quantitativamente l'amplificazione sismica dovranno essere quelli che verranno predisposti dalla Regione Veneto, avendone naturalmente valutata l'applicabilità al proprio contesto territoriale, per cui l'adozione del Livello II dipenderà dalla verifica di tali risposdenze.

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

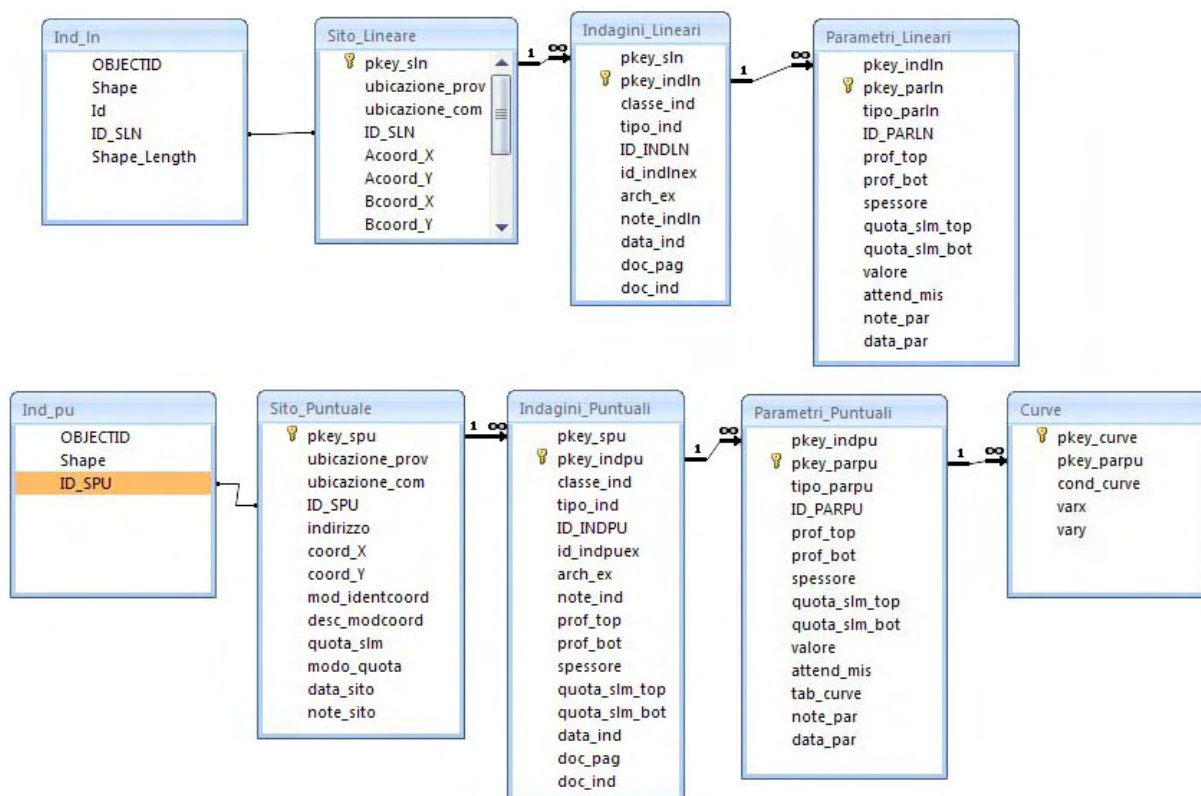
10 REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE

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 2.0 - emanati dalla "Commissione tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica" nel giugno 2012. Gli standard sopracitati definiscono le specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della MS.

Per quanto riguarda la **rappresentazione cartografica**, anch'essa è stata realizzata utilizzando le vestiture previste dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - versione 2.0.

Il contenuto informativo della "*Carta delle indagini*" si esplica attraverso la relazione tra gli shapefile (*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 shapefile
 (Figura 2.1-2 "Standard di Rappresentazione e archiviazione informatica" - versione 2.0)

Lo shapefile *Ind_pu* rappresenta la primitiva puntuale che posiziona spazialmente il relativo punto d'indagine, identificato univocamente nel campo ID_SPU; quest'ultimo costituisce la chiave di collegamento (join) alla tabella **Sito_Puntuale**, destinata all'archiviazione dei parametri di georeferenziazione dei punti d'indagine.

La tabella **Indagini_Puntuali** descrive le tipologie d'indagine eseguite e le informazioni necessarie alla tracciabilità, mediante collegamento esterno con la relativa documentazione in formato pdf. Infine, nella tabella **Parametri_Puntuali** sono archiviati i parametri associati alle prove descritte nella tabella *Indagini_Puntuali*.

Lo shapefile *Ind_In* costituisce la primitiva lineare che posiziona spazialmente le indagini lineari, identificati univocamente nel campo ID_SLN; quest'ultimo rappresenta la chiave di collegamento alla tabella **Sito_Lineare**, nella quale vengono archiviate le codifiche del tracciato. La tabella **Indagini_Lineari** definisce la tipologia d'indagine eseguita e le informazioni necessarie alla sua tracciabilità, tramite un collegamento esterno con documentazione corrispondente, in formato pdf. Infine, la tabella **Parametri_Lineari** contiene i parametri definiti dalle prove descritte nella tabella **Indagini_Lineari**.

Il contenuto informativo riportato nella "Carta delle frequenze" è definito dal campo VALORE della tabella **Parametri_Puntuali**, dove viene specificato il valore della frequenza di risonanza espresso in Hertz (Hz) nell'intervallo compreso tra 0,1 Hz e 20,0 Hz. La restituzione grafica dei valori di frequenza si riferisce a quanto proposto per la "Carta delle frequenze di risonanza" negli "STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA. SPECIFICHE TECNICHE PER LA REDAZIONE DEGLI ELABORATI CARTOGRAFICI ED INFORMATICI RELATIVI AL PRIMO LIVELLO DELLE ATTIVITÀ DI MICROZONAZIONE SISMICA - Versione 1.2" (2012) della Regione Abruzzo.

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

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

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

La "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" contiene i seguenti layers informativi, inseriti all'interno della cartella che definisce i parametri di MS di Livello I (**MS I**).

Nome file	Tipo shapefile	Descrizione
<i>Stabl</i>	Poligonale	Zone stabili e zone stabili suscettibili di amplificazione
<i>Instabl</i>	Poligonale	Zone instabili

La cartografia di base utilizzata per l'elaborazione dello studio è la C.T.R. del Veneto, le cui coordinate piane sono espresse in Gauss - Boaga (fuso Ovest).

All'interno della cartella BasiDati sono state inserite le seguenti sezioni raster geoferenziate della C.T.R. scala 1:10.000 prodotte dalla Regione Veneto, che sottendono l'intero territorio comunale:

063160	San Floriano
064130	Fregona - Mezzavilla
084040	Vittorio Veneto
085010	Cappella Maggiore

Comunque è stato creato anche un unico raster comprendente le suddette sezioni alla scala 1:10.000 in formato WGS84 UTM33N.

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

11 ANALISI PER LA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA (C.L.E.)

L'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) è parte integrante dello studio di Microzonazione Sismica richiesto dal Comune di Cappella Maggiore. Essa è stata realizzata coinvolgendo più figure professionali (Ingegneri, Geologi), in virtù del carattere di multidisciplinarietà che riveste tale tipo di analisi.

A livello nazionale, per consentire una catalogazione uniforme ed omogenea degli elementi facenti parte l'analisi per la CLE di ogni singolo Comune, sono state concepite delle indicazioni / linee guida standardizzate ed una specifica modulistica predisposta dalla Commissione Tecnica di cui all'articolo 5 commi 7 e 8 dell'O.P.C.M. del 13 novembre 2010, n°390, emanata con apposito decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, con cui sono stati anche definiti gli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica.

L'analisi della CLE è stata realizzata esaminando, in primo luogo, il Piano di Protezione Civile Comunale redatto nel mese di aprile 2010 (in sostituzione del piano del mese di maggio 2008) ad opera delle società "GAM Informatica S.r.l." e "GEB S.r.l. - Strategie per il territorio", nelle persone di Ing. A. Ghizzo e Dott. Geol. R. Cavazzana; a seguire, per la realizzazione e l'archiviazione dello studio si sono utilizzate le *"Istruzioni per la compilazione delle schede (versione 1.0)"* e servendosi del programma informatico *"SoftCLE (software per l'archiviazione dati - versione 1.2)"*.

Come definito dalle *"Istruzioni per la compilazione delle schede (versione 1.0)"*, partendo dalle mappe cartografiche della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) e dal succitato Piano di Protezione Civile Comunale (PPCC), la procedura per l'analisi della CLE è stata strutturata secondo le sottostanti fasi:

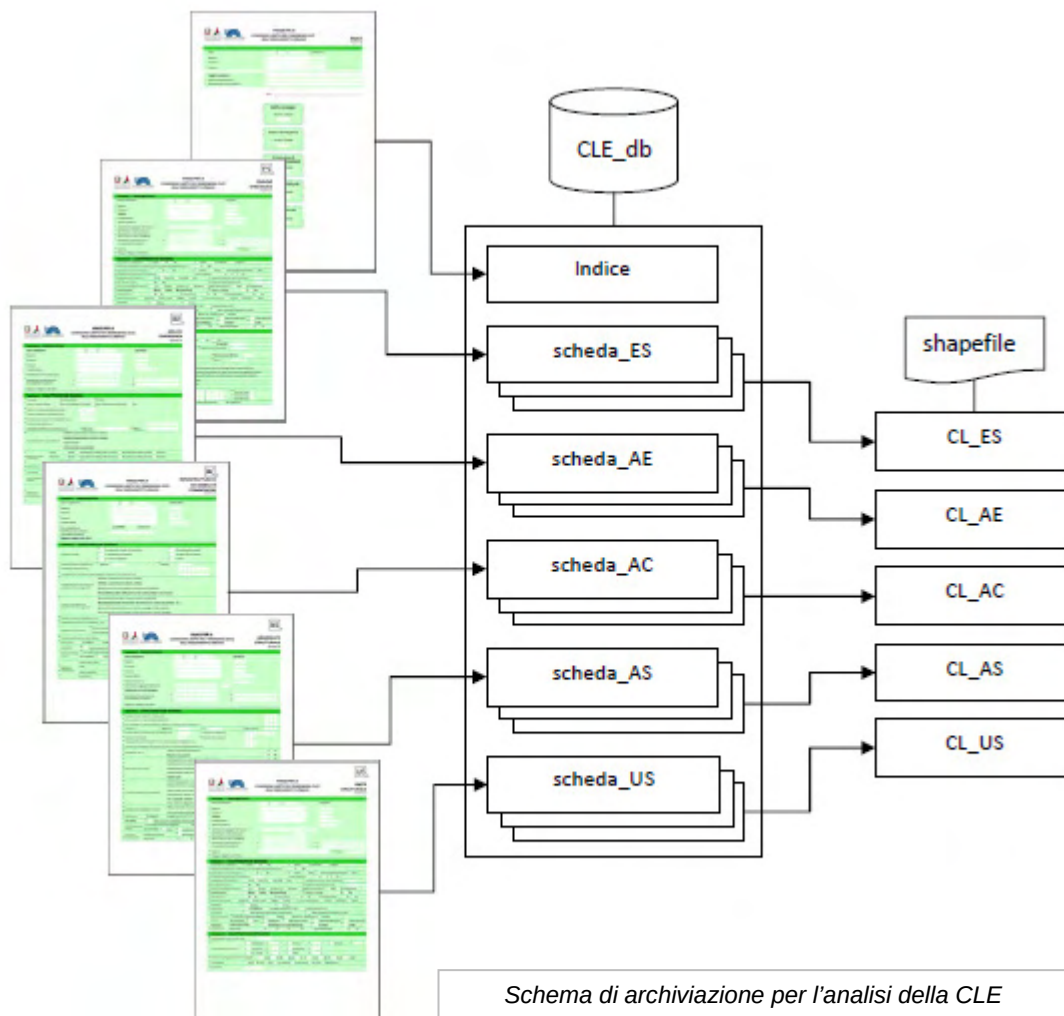
- individuazione delle funzioni strategiche ritenute essenziali in caso di emergenza e degli edifici in cui esse si svolgono, come definito dal Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n°3685 del 21/10/2003;
- individuazione degli eventuali aggregati strutturali di appartenenza degli edifici strategici individuati nel punto precedente;
- individuazione delle aree di emergenza di ricovero della popolazione e di ammassamento dei soccorritori e dei materiali, desunte dal PPCC;
- individuazione delle strade di connessione fra gli edifici strategici e le aree di emergenza;
- individuazione delle infrastrutture stradali che garantiscono l'accessibilità al sistema degli elementi del PPCC;
- individuazione degli aggregati, o dei singoli manufatti isolati, interferenti con le infrastrutture stradali o le aree di emergenza;
- compilazione sul posto delle schede specifiche per ogni elemento identificato, quale facente parte del sistema di gestione dell'emergenza;
- informatizzazione dei dati raccolti nelle schede con l'ausilio del software di inserimento dati "SoftCLE" ed informatizzazione dei dati cartografici.

Seguendo le fasi sopra riportate, l'insediamento urbano del Comune di Cappella Maggiore è stato analizzato sul posto nel mese di aprile 2013, eseguendo i sopralluoghi necessari per l'acquisizione dei dati per la compilazione delle schede, cui è successivamente seguita l'informatizzazione delle stesse.

Infine, è stata realizzata la carta degli elementi per l'analisi della CLE alla scala 1:10.000, che individua nell'ambito dell'insediamento urbano, il sistema di gestione dell'emergenza, composto da edifici e infrastrutture utili ad analizzare la CLE.

I contenuti dell'analisi della CLE sono stati informatizzati secondo le specifiche "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - versione 1.0 - emanati dalla "Commissione tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica" nel giugno 2012.

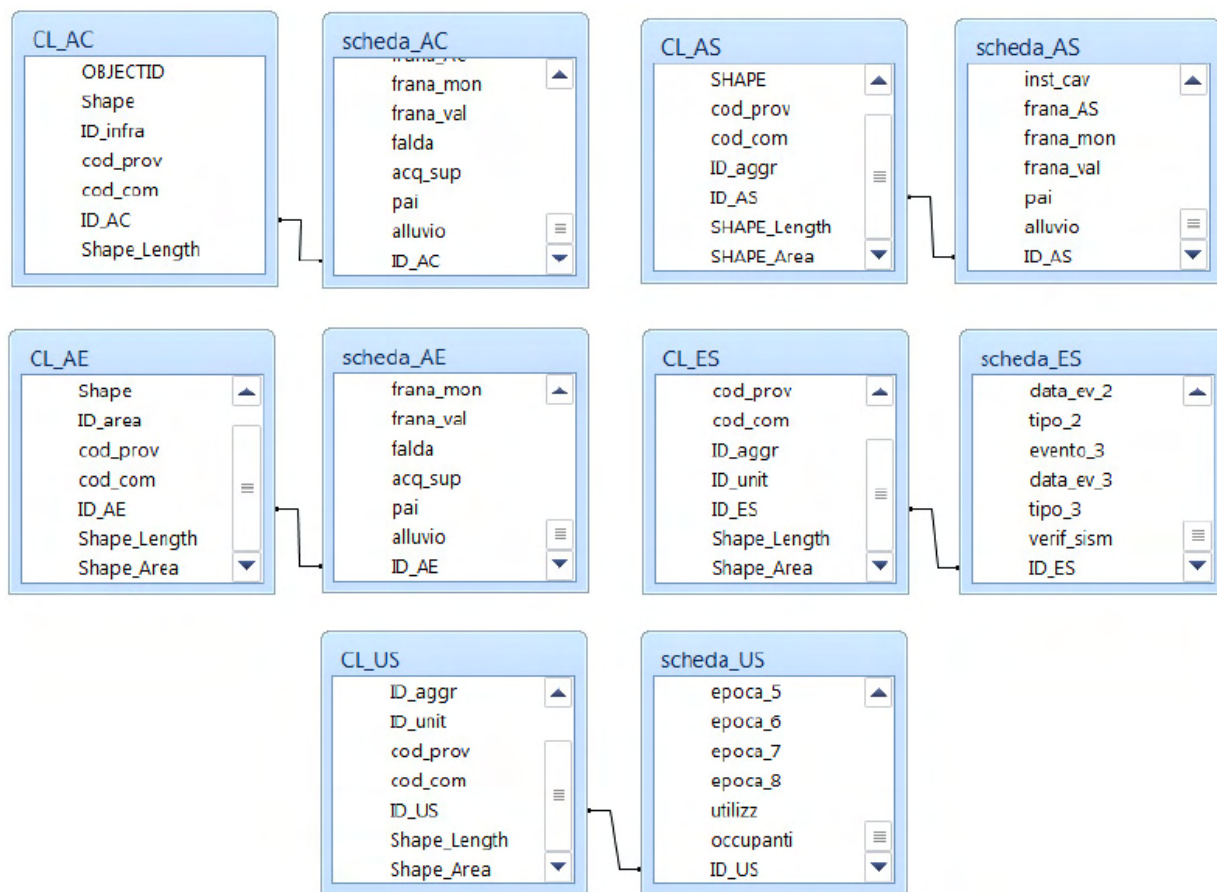
In queste specifiche vengono definite inoltre le modalità per la predisposizione della carta degli elementi per l'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE), per la quale dovranno essere archiviati i dati alfanumerici nelle seguenti tabelle, corrispondenti alle schede precedentemente citate.



I dati cartografici dovranno essere archiviati nei seguenti shapefile:

Nome file	Tipo shapefile	Descrizione
CL_ES	Poligonale	Edifici strategici
CL_AE	Poligonale	Aree di emergenza
CL_AC	Lineare	Infrastrutture di accessibilità / connessione
CL_AS	Poligonale	Aggregati strutturali
CL_US	Poligonale	Unità strutturali

Il contenuto informativo della carta degli elementi per l'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza si esplica attraverso la relazione tra i suddetti shapefile e le tabelle ad essi collegate. La relazione con gli shapefile è stabilita attraverso i campi ID_ES (tabella scheda_ES), ID_AE (tabella scheda_AE), ID_AC (tabella scheda_AC), ID_AS (tabella scheda_AS), ID_US (tabella scheda_US).



Relazione fra le tabelle delle schede e i relativi campi degli shapefile

La cartografia di base utilizzata per l'elaborazione dello studio è la C.T.R. del Veneto, le cui coordinate piane sono espresse in Gauss - Boaga (fuso Ovest).

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

12 BIBLIOGRAFIA

- ✚ 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
- ✚ Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta – Bacchiglione. Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Livenza (P.A.I.L.).
- ✚ C. Braitenberg, B. Grillo, I. Nagy, S. Zidarich, A. Piccin (2007) – La stazione geodetico-geofisica ipogea del Bus De La Genziana - Pian Cansiglio. Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan" pp. 105 – 120
- ✚ 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
- ✚ Castellaro S., Albarello D. (2011). Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. Ingegneria sismica, pp. 32 – 62
- ✚ Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L. (2005). Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. Geologia tecnica & ambiente, pp. 77 – 102
- ✚ CERl Centro di ricerca "Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici" (2004) – La microzonazione sismica. Metodi, esperienze e normativa
- ✚ Chopra L. (1995). Dynamic of Structures: theory and applications to earthquake engineering. Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics. Prentice – Hall
- ✚ Dey A. and Morrison H.F. (1979) – Resistivity modelling for arbitrary shaped two-dimensional structures. Geophysical Prospecting, 27, 1020-1036
- ✚ F. Galadini, P. Galli, A. Cittadini, B. Gioacchino (2001) – Late Quaternary fault movements in the Mt. Baldo – Lessini Mts. Sector of the Southalpine area (northern Italy)
- ✚ 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
- ✚ Geotomo Software, Res2DinvX64 ver. 4.01 (2012) – Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method
- ✚ 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
- ✚ 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
- ✚ Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2009) – REXEL: computer aided record selection for code – based seismic structural analysis – Bulletin of Earthquake Engineering, 8: 339 – 362
- ✚ Itasca (2011). FLAC Fast Lagrangian Analysis of Continua. v.7.0. User's Manual
- ✚ Loke M.H., Barker R.D. (1996) – Rapid lest-square inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method., Geophysical Prospecting, 44, pp. 131-152
- ✚ Loke M.H. and Barker R.D. (1996) – Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. Geophysical Prospecting, 44, pp. 499-523
- ✚ 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
- ✚ Lanzo G., Pagliaroli A., D'Elia B. (2003). Numerical study on the frequency-dependent viscous damping in dynamic response analyses of ground. In Latini & Brebbia (eds), Earthquake Resistant Engineering Structures, WIT Press, Southampton, Boston, pp. 315-324
- ✚ 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
- ✚ Lanzo G., Silvestri F. (1999) – Risposta Sismica Locale. Hevelius Ed.
- ✚ Louie, J. N. (2001). Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, Bull. Seism. Soc. Am., 91, 347-364
- ✚ M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- ✚ 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
- ✚ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R. (2006) – Comparison between V_{s30} and other estimates of site amplification in Italy – Conf. Eartq. Eng. And Seismol., Ginevra, 3 - 8 Sept. no 270
- ✚ Mucciarelli M (2011) – Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici – Progetto ricerca 2007PTRC4C – Aracne editrice
- ✚ Panizza M., Slejko D. et al. (1981) – Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa
- ✚ 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
- ✚ SESAME Project (2005) – "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations"
- ✚ Silvester P.P. and Rinaldi R.L. (1990) – Finite elements for electrical engineers (2 nd ed.) Cambridge University Press.
- ✚ Slejko D. et al (1987) – Modello sismotettonico dell'Italia Nord – Orientale. CNR
- ✚ 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>

13 ALLEGATI FUORI TESTO

- | | |
|--|----------------|
| ✚ Carta delle indagini | Scala 1:10.000 |
| ✚ Carta geologico – tecnica | Scala 1:10.000 |
| ✚ Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica | Scala 1:10.000 |
| ✚ Carta delle frequenze | Scala 1:10.000 |
| ✚ Carta dell'analisi della condizione limite per l'emergenza (CLE) | Scala 1:10.000 |
| ✚ Schede delle indagini | |
| ✚ CD contenente i file pdf dello studio e le basi informative | |

