PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE VENETO

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

Comune di Cordignano (TV)

Regione	*Provincia*	*Comune*
Veneto	Treviso	Cordignano

Titolo

Studio di Microzonazione Sismica di Secondo Livello con approfondimenti di Terzo Livello

Relazione illustrativa

Committente
Comune di Cordignano

Dr. Geol. Paolo Sivieri – O.R.G.V. n. 169
Dr. Geol. Giovanni Rigatto – O.R.G.V. n. 839
Dr. Geol. Monica Petta – O.R.G.V. n. 843

ADASTRA ENGINEERING
SERVIZI PER LA GEOLOGIA

Data	*Codice Commessa*	*Rev.*	*Documento*
18 marzo 2016	16172	n. 00	16172_20160318_R00_00

ADASTRA ENGINEERING srl - sede legale: v. Xola, 41b 30020 Torre di Mosto (Ve) - sede operativa: v. Confin, 87b 30020 Torre di Mosto (Ve)
tel. 0421-325683 fax 0421-326532 www.adastra.it info@adastra.it - c.f. p. iva - reg. impr. ve 04251560274 - n° rea cciaa VE 378954
AZIENDA CERTIFICATA CON SISTEMA DI QUALITÀ UNI EN ISO 9001/2008

Comune di Cordignano (TV)
Studio di Microzonazione Sismica di Terzo Livello

Relazione illustrativa

Indice

1 Introduzione 5
1.1 Premessa 5
1.2 La Microzonazione Sismica 5
1.3 Metodologia e prescrizioni della Microzonazione di Secondo/Terzo Livello 6
1.4 Riferimenti normativi 7
1.5 Articolazione dello studio 9
2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico 11
3 Inquadramento sismologico 15
3.1 ITHACA - Catalogo delle faglie capaci 15
3.2 Sismicità del comune di Cordignano 16
3.2.1 Zonazione sismica 16
3.2.2 Database Macrosismico Italiano (versione DBMI11). 17
3.2.3 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (versione CPTI11). 19
3.2.4 Database of Individual Seismogenic Sources (DISS. 3.2) 21
4 Indagini geofisiche 23
4.1 Inquadramento 23
4.1.1 Fonti dei dati pregressi 23
4.1.2 Il piano delle misure geofisiche 23
4.1.3 Modello del suolo e del sottosuolo elaborato nello studio di Primo Livello 23
4.2 Tomografie ERT 24
4.2.1 Rete di misura 24
4.2.2 Georesistivimetro IRIS Syscal Pro 25
4.2.3 Modalità di elaborazione dei dati geoelettrici 25
4.2.4 Risultato dell'indagine geoelettrica 26
4.3 Misure HVSR 27
4.4 Misure della Vs 29
4.5 Interpretazioni e incertezze 30
5 Carta delle indagini 32
6 Microzonazione Sismica di Secondo Livello 33
6.1.1 Determinazione dei valori di Fa e Fv 33
6.1.2 Effetti litostratigrafici 34
6.1.3 Effetti topografici 35
6.1.4 Liquefazione 36

7 Approfondimenti analitici di Terzo Livello 38
7.1 Verifica alla liquefazione dei terreni 38
7.1.1 Analisi delle Vs 38
7.1.2 Approccio metodologico 40
7.2 Analisi delle FAC - Faglie attive e capaci 43
7.2.1 La faglie del DB Ithaca nel comune di Cordignano 43
7.2.2 Normativa di riferimento 48
7.2.3 Programma delle indagini 51
7.2.4 Gruppo indagini IND_1: Analisi aerofotogrammetriche e analisi Lidar 51
7.2.5 Gruppo indagini IND_2: rilievi geologici e geomorfologici 52
7.2.6 Gruppo indagini IND_3: indagini geofisiche 53
7.2.7 Gruppo indagini IND_4: paleosismologia 59
7.2.8 Disciplina d'uso del suolo in zone di faglia attiva e capace 63
7.3 Carta della Microzonazione Sismica - Livello II 65
7.4 Commenti finali e criticità 65
8 Bibliografia 67
9 Appendici 69
9.1 La tecnica dei microtremori (Refraction Microtremors – ReMi) 69
9.2 La tecnica HVSR 73
9.2.1 Le vibrazioni del suolo 73
9.3 Il metodo geoelettrico 79
9.4 Glossario 83
9.5 Sigle 85

Elenco delle illustrazioni

Figura 1 – Nella carta estratta per il Comune di Cordignano si osserva la presenza di faglie capaci (DB ITHACA, Portale del Servizio Geologico d'Italia – Ispra). 15
Figura 2 - Mappa di pericolosità sismica con parametro scuotimento espresso in a_g con periodo di ritorno di 50 anni e probabilità di eccedenza del 10%, 50° percentile (tratta da INGV). 17
Figura 3 – Diagramma intensità – tempo dei terremoti avvertiti a Cordignano da DBMI11. 18
Figura 4 - Sorgenti sismogenetiche (DISS Working Group, 2010). Legenda= CS sources = sorgenti composite; IS Sources= sorgenti individuali; DS sources: sorgenti controverse (da Sugan e Peruzza, 2011). 22
Figura 5 - Mesh tetraedrica tridimensionale di ERTLAB 3D. 25
Figura 6 - ERT 1 – Area limosa a est 26
Figura 7 – ERT 7 – Area a ghiaie in destra Meschio (area sud del comune di Cordignano) 27
Figura 8 - Strumentazione per la misura della VS. Sismografo a 24 canali Geometrics GEODE (a sinistra). Schema di accoppiamento dei geofoni su pavimentazione (al centro) o su strada sterrata o in ghiaia (a destra). 29
Figura 9 – Aree a rischio di liquefazione. Elaborazione preliminare ottenuta incrociando le informazioni sulla soggiacena della falda con la granulometria (sabbie e ghiaie superficiali). 37
Figura 10 – Curve di correlazione CSR/V_{S1} secondo Kayle *et al.*, 2013. 39
Figura 11 – Profondità degli orizzonti potenzialmente liquefacibili in presenza di falda freatica e carta della soggiacenza della falda (area nord). 42
Figura 12 – Profondità degli orizzonti potenzialmente liquefacibili in presenza di falda freatica e carta della soggiacenza della falda (area sud). 42
Figura 13 – Faglie desunte dal Data Base Ithaca presenti nel Comune di Cordignano. 43
Figura 14 – Carta estratta per Galadini *et al.*, 2005 44
Figura 15 – Estratto di carta geologica, non in scala (Bondesan, Busoni, Preto, 2013, Sezioni 085010 – Cappella Maggiore - 085020 Sacile Ovest, scala 1:10.00). Si osservino l'ubicazione delle faglie. 45
Figura 16 – Procedure di dimensionamento delle zone di faglia. 50
Figura 17 – Modello Digitale del Terreno e tinte ipsometriche e principali linemaneti morfologici. 51
Figura 18 – Carta geologica di dettaglio del settore di Villa di Villa 52
Figura 19 – Tracciato planimetrico delle linee sismiche BG. 54
Figura 20 – Tracciato ipotetico della faglia del Cansiglio. In verde: tracciato profondo certo; in magenta: tracciato profondo incerto; in blu: tracciato interpolato. In giallo sono indicate le linee ERT, in rosso le linee sismiche a riflessione in onde S. 54
Figura 21 – S1: Sezione sismica a riflessione in onde S 58
Figura 22 – S2: Sezione sismica a riflessione in onde S 58
Figura 23 – Indagini sismiche in corrispondenza di S1 59

Figura 24 – Trincea paleosismologica 59
Figura 25 - Tipico schema di strumentazione per misure SASW con un sistema a due canali di registrazione (tratto da Stokoe et al., 1994). 70
Figura 26 - Tipico spettro p-f di onde di Rayleigh nel quale si osservano un modo fondamentale ed una serie di modi superiori di vibrazione. 71
Figura 27 - Esempio di determinazione (*picking*) della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh. 72
Figura 28 - Esempio di modellazione 1D della V_S. Modello geometrico-acustico del sottosuolo (a sinistra). Confronto tra dati sperimentali (circoli rossi) e curva teorica (linea continua in blu) calcolata dal modello (a destra). 72
Figura 29 – Condizioni di sottosuolo rigido. S_{HS}: spettro dei microtremori alla superficie topografica; S_{HB}: spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico). 74
Figura 30 - Modello geologico di partenza nell'ipotesi di Nakamura (1989). S_{HS}: spettro dei microtremori alla superficie topografica; S_{HB}: spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico).....75
Figura 31 – Rappresentazione schematica di un profilo trasversale ad una valle alpina 76
Figura 32 – Diagramma frequenza/amplificazione 78

Elenco delle tabelle

Tabella 1 - Indagini per lo studio di una FAC, raggruppate per tipologia e significatività (Gruppo Ind_4 massima significatività; Linee Guida FAC, Tabella A2) 10
Tabella 2 - Dati tabellari relativi ai terremoti di Cordignano (CPTI11). 21
Tabella 3 – Relazione codici interni / ID Soft MS 25
Tabella 4 – Valori di H/V e F_0.....28
Tabella 5 – Distribuzione dei valori di Vs_{30}.....30
Tabella 6 – Numero di indagini classificate per tipologia.....32
Tabella 7 – Tabella con valori calcolati di Fa e Fv.....34
Tabella 8 – Distribuzione dei valori di Vs_{30} – approfondimento III° livello 40
Tabella 9 – Distribuzione dei valori di H/V e F° – approfondimento III° livello 40
Tabella 10 – Profondità dei terreni con valore di Vs_{30} < 200 m/s 41
Tabella 11 – Scheda Ithaca della Faglia di Montaner 46
Tabella 12 – Scheda Ithaca della Faglia del Cansiglio.....47
Tabella 13 – Scheda Ithaca della Faglia del Montello 48
Tabella 14 - Categorie descrittive delle faglie attive e capaci e dei fenomeni cosismici (FAC_x).....48
Tabella 15 – Indagini per lo studio di una FAC, raggruppate per tipologia e significatività (Gruppo Ind_4=massima significatività; da tabella A2, Linee Guida FAC, 2015) 50
Tabella 16 – Relazione codici interni / ID Soft MS 53
Tabella 17 – Parametri di acquisizione 57
Tabella 18 – Disciplina d'uso in ZA_{FAC} in aree non edificate o non urbanizzate (Linee Guida FAC, 2015) 64

TAVOLE FUORI TESTO

Codice	*Titolo*	*Rev.*	*Data*
CI_16172_20160318_T01_01	Carta delle Indagini	1	18/03/16
FotoAeree_16172_20160318_T02_00	Foto aeree	0	18/03/16
Lineamenti_16172_20160318_T03_00	Lineamenti morfologoci	0	18/03/16
Geologica_16172_20160318_T04_00	Carta geologica	0	18/03/16
Resistività_16172_20160318_T05_00	Sezioni di resistività elettrica 2D	0	18/03/16
Sismica_16172_20160318_T06_00	Profili sismici a riflessione in onde S	0	18/03/16
Paleosismica_16172_ 20160318_T07_00	Trincea paleosismologica	0	18/03/16
HVSR_16172_20160318_T08_00	Carta delle frequenze fondamentali di risonanza e dell'amplificazione H/V	0	18/03/16
HVSR_INTERPOL_16172_20160318_T09_00	Carta interpolata delle frequenze fondamentali di risonanza	0	18/03/16
VS30_16172_20160318_T10_00	Carta della Vs_{30}	0	18/03/16
VS30_INTERPOL_16172_20160318_T11_00	Carta interpolata della Vs_{30}	0	18/03/16
MS2_16172_ 20160318_T12_00	Carta di microzonazione di secondo livello	0	18/03/16

ALLEGATI FUORI TESTO DIGITALI

Codice	*Titolo*	*Rev.*	*Data*
16172_20160318_ALL01_00	Indagini ReMi	0	18/03/16
16172_20160318_ALL02_00	Indagini HVSR	0	18/03/16
16172_20160318_ALL03_00	Indagini ERT	0	18/03/16
16172_20160318_ALL04_00	Profili sismici a riflessione	0	18/03/16
16172_20160318_ALL05_00	Banca dati Indagini SoftMS	0	18/03/16

EMISSIONI

Rev.	*Codice*	*Data*	*Riesame*		*Verifica*		*Approvazione*	
00	16172_20160318_R00_00	18/03/16	MP		GR		PS	

LISTA DI DISTRIBUZIONE

Nominativo	*Azienda*	*Copie a stampa*	*Copie digitali*
Copia ufficio	Dr. Geol. Paolo Sivieri	=	✓
Copia Ufficio	Adastra srl	=	✓
Geom. Massimo Stefani, Ufficio tecnico	Comune di Cordignano	2	✓
Dr. Geol. Enrico Schiavon, Direzione Difesa del Suolo	Regione del Veneto	1	✓

1 Introduzione

1.1 PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione comunale di Cordignano è stato affidato ad Adastra Engineering srl lo Studio di Microzonazione Sismica di Secondo/Terzo Livello ai sensi dell'OPCM 52 del 20.02.2013 e della DGR n. 1572 del 3.10.2013.

L'incarico professionale è stato svolto dal gruppo di lavoro composto dal Direttore Tecnico Dr. Geol. Paolo Sivieri e dai collaboratori Dr. Geol. Giovanni Rigatto e Dr. Geol. Monica Petta. Si ringrazia la dr.ssa Chiara Levorato per la collaborazione tecnico-cartografica; i proff. Adriano Zanferrari ed Eliana Poli dell'Università di Udine e il prof. Roberto Francese dell'Università di Parma per le proficue discussioni condotte sul campo e per i commenti sugli esiti delle indagini.

In accordo con l'Amministrazione comunale, su indicazione del Dipartimento Difesa del Suolo della Regione, l'approfondimento dello studio al Terzo Livello è stato rivolto alla verifica delle aeree passibili di liquefazione e finalizzato all'individuazione delle faglie attive e capaci (FAC) secondo quanto definito nelle *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0*.

La presente relazione espone le modalità di acquisizione e di elaborazione dei dati geologici, geotecnici, sismici e cartografici adottate nella realizzazione dello studio di Microzonazione Sismica di Secondo e di Terzo Livello.

Gli elaborati sono stati allestiti secondo le indicazioni contenute in Microzonazione Sismica, Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (*Commissione tecnica per la microzonazione sismica, articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13.11.2010, n. 3907, versione 4.0b, Roma, ottobre 2015*) e nelle citate Linee guida (*DGR 1572/2013) della Regione Veneto*.

Le acquisizioni dei dati di campagna e le elaborazioni cartografiche sono state condotte nei mesi di gennaio, febbraio e marzo 2016.

1.2 LA MICROZONAZIONE SISMICA

Secondo quanto ricordato dalla DGR. n. 1572 del 03.09.2013, i numerosi eventi sismici accaduti in Italia negli ultimi anni, hanno reso maggiormente evidente la vulnerabilità sismica del territorio italiano.

L'osservazione degli effetti dei terremoti degli ultimi decenni, ha evidenziato, inoltre, che i danni alle costruzioni a seguito di eventi sismici si manifestano con differenze notevoli in centri abitati posti anche a piccole distanze tra loro. Le cause di queste situazioni, oltre alla differente tipologia costruttiva, vanno ricercate in una diversa pericolosità sismica locale, accentuata dalle differenti modalità di propagazione delle onde sismiche, funzione delle caratteristiche geometriche, elastico-acustiche e di instabilità di suolo e sottosuolo.

Lo studio delle problematiche sopra descritte è oggetto della microzonazione sismica, con la quale ad un primo livello si individuano le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale e le zone soggette ad instabilità (frane, rotture della superficie per faglie, cedimenti e liquefazioni del terreno).

Il miglioramento della conoscenza in materia prodotto dagli studi di microzonazione sismica può contribuire concretamente, insieme a quelli sulla vulnerabilità ed esposizione,

all'ottimizzazione delle risorse rese disponibili per interventi mirati alla mitigazione del rischio sismico.

La Regione Veneto, in una prima fase sperimentale di verifica dell'applicabilità delle linee guida regionali, ha deciso di procedere all'avvio degli Studi di Microzonazione Sismica nei comuni già inseriti in zona sismica 1 e 2 e quelli per cui il territorio è in tutto o in parte caratterizzato da valori di accelerazione sismica massima al suolo superiori a 0,175 g di cui all'OPCM 3519/2006.

Le nuove *Linee Guida per la Microzonazione Sismica (ICMS 2008)* vanno applicate agli studi di microzonazione sismica a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (PAT, PI e loro varianti di cui alla L.R. 11/2004). Anche i Piani Urbanistici Attuativi (PUA), nei Comuni i cui strumenti urbanistici di livello superiore non contengano studi sismici, devono essere dotati di specifici studi di microzonazione sismica.

La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente:

LIVELLO I: si applica in sede di PAT e consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica e di identificare le parti del territorio comunale suscettibili di effetti sismici locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, liquefazione, rottura del terreno, ecc.;

LIVELLO II: si applica in sede di PI a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportano un incremento dei carichi urbanistici/insediativi e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente;

LIVELLO III: si applica in sede di PI per le scelte di trasformazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche, geomorfologiche e geotecniche. Si applica altresì alle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

1.3 METODOLOGIA E PRESCRIZIONI DELLA MICROZONAZIONE DI SECONDO/TERZO LIVELLO

Il presente studio è stato svolto a un Livello Secondo con approfondimenti di Terzo. Le nuove Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica vanno applicate agli studi di MS a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (P.A.T., P.I. e loro varianti di cui alla L.R. 11/2004). Anche i Piani Urbanistici Attuativi (PUA), nei comuni i cui strumenti urbanistici di livello superiore non contengano studi sismici, devono essere dotati di specifici studi di MS.

La metodologia prevede che il Secondo Livello, con approfondimento di Terzo Livello, sia applicato in sede di P.I. a tutte le parti di territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportano un incremento dei carichi urbanistico/insediativi e per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato così come previsti dalla normativa vigente.

L'obiettivo del Secondo/Terzo livello di analisi è di compensare le incertezze del Primo Livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente.

Il risultato fondamentale del Secondo Livello è la Carta di Microzonazione Sismica ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.

Lo studio, oltre alla revisione delle indagini pregresse e all'acquisizione dello studio di MS di primo livello del territorio comunale, ha previsto la realizzazione di nuove indaginigeologiche, geomorfologiche e geofisiche che hanno permesso di caratterizzare ulteriormente i terreni nei confronti dei parametri più importanti dal punto di vista sismico.

1.4 RIFERIMENTI NORMATIVI

Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Legge 10 dicembre 1981, n. 741, Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 11 marzo 1988, Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Legge 24 febbraio 1992, n. 225, Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Decreto del Ministro dell'interno 13 Febbraio 2001, Adozione dei Criteri di massima per l'organizzazione dei soccorsi sanitari nelle catastrofi (G.U. n. 116 del 12 maggio 2001).

Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59.

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.

Legge 9 novembre 2001, n. 401, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 20 marzo 2003, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (pubblicata nel Supplemento n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 del 08/05/2003) modificata con ordinanza 3316 e 3431.

Testo ordinanza in 4 articoli:

- Allegato 1: Criteri per l'individuazione delle zone sismiche - Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- Allegato 2: Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.
- Allegato 3: Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti.
- Allegato 4: Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni.

Legge Regionale 07 novembre 2003 n. 27 art. 66, Indicazioni generali per uniformare le procedure di deposito dei progetti in zona sismica 2 e nei Comuni o parti del loro territorio interessati da opere di consolidamento degli abitati.

Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 2 ottobre 2003. Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 67 del 03 dicembre 2003. Recepisce i criteri generali dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, ed approva la nuova classificazione sismica dei Comuni del Veneto.

Legge 27 luglio 2004, n. 186, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione. Disposizioni per la rideterminazione di deleghe legislative e altre disposizioni connesse.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 3 maggio 2005, n. 3431, Ulteriori modifiche ed integrazioni all'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica».

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519, Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006).

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.

Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008) e relativa Circolare esplicativa. Con la pubblicazione delle NTC08 vengono recepite molte delle indicazioni normative precedenti e riordinate in un unico codice.

Principali Norme Tecniche di riferimento:

- Capitolo 3 Azioni sulle costruzioni, §3.2 Azione sismica.
- Capitolo 8 Costruzioni esistenti, §8.7 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche.
- Allegato A: Pericolosità sismica.
- Allegato B: Tabelle che definiscono l'azione sismica nel territorio italiano.
- Capitolo 7 Progettazione per azioni sismiche (strutture nuove).

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 3308 del 04 novembre2008, Applicazione delle nuove norme tecniche sulle costruzioni in zona sismica. Indicazioni per la redazione e verifica della pianificazione urbanistica.

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 71 del 22 gennaio 2008 "O.P.C.M. 28.4.2006, n. 3519: "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. Direttive per l'applicazione". La Giunta Regionale stabilisce di prendere atto dei criteri generali di classificazione allegati all'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, innovativi rispetto all'OPCM 3274/2003, e della mappa di pericolosità sismica di riferimento, espressa in termini di accelerazione massima al suolo (amax) confermando, comunque, per quanto riguarda gli aspetti amministrativi, la classificazione sismica dei Comuni del Veneto di cui all'Allegato I della deliberazione del Consiglio Regionale n. 67/2003.

Legge 24 giugno 2009, n. 77 Conversione in legge, con modificazioni del decreto legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella Regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.

Decreto n. 69/2010, Linee guida per la realizzazione dello studio di compatibilità sismica per i Piani di Assetto del Territorio Comunali e Intercomunali.

OCDPC n. 52 del 20 febbraio 2013. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2012

DGR n. 1572 del 03 ottobre 2013. Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 52 in data 20 febbraio 2013.

Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 1431 del 15 aprile 2013, pubblicato nella G.U. del 10 luglio 2013 (77/2009, art. 11).

OCDPC n. 171 del 19 giugno 2014: contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2013

DGR n. 1896 del 14 ottobre 2014. Attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24.06.09, n.77. O.C.D.P.C. 171 del 19 giugno 2014 (G.U. n. 145 del 25 giugno 2014). (L. 77/09, art. 11).

DGR n. 598 del 21 aprile 2015. Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 171 in data 19 giugno 2014. Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile del 4 agosto 2014, pubblicato nella G.U. del 6 novembre 2014. (L. 77/2009, art. 11).

1.5 ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

Lo studio è stato organizzato secondo una serie di fasi sequenziali che garantiscono il rispetto delle procedure di acquisizione ed elaborazione dei dati e di restituzione dei risultati.

Il Sistema Informativo Geografico, realizzato secondo gli S*tandard di rappresentazione e archiviazione informatica (versione 4.0b, ottobre 2015),* è servito da collettore di tutte le informazioni esistenti e dei dati di nuova generazione.

Sono state eseguite specifiche misure passive a stazione singola con tecnica H/V e ReMi per gli approfondimenti di Secondo e di Terzo Livello comprendenti anche la verifica delle aeree suscettibili di liquefazione.

Per quanto riguarda la procedura di studio delle faglie potenzialmente attive e capaci nell'ambito dei livelli di approfondimento della MS, sono state eseguite tutte le indagini indicate dalla normativa (Tab. A2 delle *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0*).

ID	Gruppo Indagini	Indagini
Ind_1	Analisi aereofotogrammetriche	Foto aeree, ortofoto, immagini LiDAR, immagini da satellite
Ind_2	Rilievi geologici e geomorfologici	Rilevamenti di campagna e relativa cartografia
Ind_3	Indagini geofisiche e geognostiche	ERT, sismica a riflessione e rifrazione, GPR, sondaggi e saggi

Ind_4	Paleosismologia	Trincee paleosismologiche e datazioni cronometriche dei terreni

Tabella 1 - Indagini per lo studio di una FAC, raggruppate per tipologia e significatività (Gruppo Ind_4 massima significatività; Linee Guida FAC, Tabella A2)

2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico

Nel presente capitolo vengono illustrate le principali caratteristiche geomorfologiche, litologiche e idrogeologiche del territorio comunale, in parte riprese dallo studio di Primo Livello precedentemente condotto al quale si rimanda per gli eventuali approfondimenti.

Il territorio comunale è suddiviso in due comparti geologici distinti. Il primo e più settentrionale caratterizzato dal rilievo montuoso e il secondo dai depositi di alta pianura.

Il settore montuoso occupa parte del grande versante meridionale dell'Altopiano del Cansiglio.

L'Altopiano del Cansiglio è situato nelle Prealpi Carniche a cavallo tra il Veneto e il Friuli Venezia Giulia ed è compreso tra le provincie di Belluno, Treviso e Pordenone. Solamente il settore sud occidentale ricade nel territorio provinciale di Treviso. Il rilievo è delimitato a ovest dalla Val Lapisina e a nord si affaccia sulla conca dell'Alpago; a est si raccorda al Massiccio del Monte Cavallo, mentre il fianco sud-occidentale è rivolto alla pianura veneto-friulana. Il versante si presenta più ripido in corrispondenza della Val Lapisina, dove alcuni tratti sono subverticali, anche a causa della presenza delle nicchie di distacco delle grandi frane che da questo versante hanno avuto origine. Il fianco risulta interessato da una fitta rete di drenaggio effimero. A sud-est il versante è meno ripido e più articolato, in particolare risulta inciso dal profondo solco della Val Salega, che interrompe la continuità della forma.

Le dorsali che racchiudono il bacino, sono interrotte a nord da un ampio varco in località Campon (1045 m s.l.m., fuori carta) ed a sud in località Crosetta (1118 m s.l.m.). Il bacino è occupato per la maggior parte dalla grande depressione del Pian Cansiglio e da altre due depressioni, a nordest, i Piani di Valmenera e Cornesega (fuori carta). La topografia della conca è minutamente articolata, anche per la presenza di doline e conche carsiche complesse, che interessano ampie porzioni del territorio. Tutta la zona del Pian Cansiglio è infatti caratterizzata da fenomeni carsici esemplari sia superficiali che ipogei, con circa 250 cavità e morfologie di superficie diversificate. Questi sono più sviluppati nel lato orientale dove lo spessore delle rocce calcareo-marnose è più limitato e sul pianoro di Cima Burletta. Al mutare del substrato geologico verso termini più calcarei, aumenta sensibilmente il numero delle doline che mostrano uno sviluppo particolarmente diffuso, con diametri elevati e fenomeni di coaelescenza, in corrispondenza del Monte Cavril – Coll'Alto.

Non mancano le incisioni vallive, che tuttavia sono solo raramente interessate da scorrimento superficiale dell'acqua. Tra queste la più importante è il Vallone Vallorch, che dal Monte Pizzoc scende verso nord-est fino al Piano del Cansiglio. Talora i torrenti danno luogo a piccoli coni di deiezione che si formano ai piedi dei declivi periferici. Anche se ancora non sono stati individuati nel dettaglio i percorsi dei circuiti ipogei, è stato riconosciuto che il deflusso sotterraneo converge verso le risorgenze carsiche ai piedi del Massiccio Cansiglio-Cavallo, sul fianco sud-orientale che dà sulla pianura pordenonese, dove nasce il Fiume Livenza.

Le formazioni geologiche (Cancian, 1985) che riguardano il Massiccio del Cansiglio - Cavallo hanno un'età compresa tra il Norico (Triassico superiore) e la fine del Miocene. Per il solo Cansiglio le rocce interessate dal carsismo sono la Scaglia (Grigia e Rossa) e la formazione del Calcare di Monte Cavallo.

La caratteristica tettonica dell'area è costituita da una serie di pieghe con asse in direzione generalmente sudovest-nordest, più o meno asimmetriche, a volte completamente rovesciate verso sud e tali da presentare uno dei fianchi fortemente stirato o addirittura in struttura di faglia. Si possono di conseguenza riconoscere alcuni importanti elementi tettonici (Bozzo e Semenza,

1973) come l'Anticlinale del Cansiglio Meridionale e la Brachisinclinale del Cansiglio, ampia piega con asse orientato NNE-SSO, che corrisponde allo stesso Pian del Cansiglio.

Il Cansiglio si raccorda con la grande pianura alluvionale veneto-friulana attraverso bassi rilievi e piccoli dossi rocciosi, talora interpretati come frane complesse, prevalentemente traslazionali o piccoli DGPV.

La pianura è formata da spessi accumuli di depositi quaternari di origine fluviale e fluvioglaciale, legati ai grandi spandimenti di materiali, originati dalla fronte locale del ghiacciaio plavense e, in piccola parte, dai colluvi alla base dei rilievi prealpini.

Questo tratto di pianura appartiene al sistema di conoidi minori facenti capo al Cervada e al Meschio ed è piuttosto raccorciato rispetto ai vicini megafan del Piave e del Tagliamento. Questo fatto comporta uno spostamento verso monte della fascia delle risorgive. L'unità è racchiusa lateralmente tra i fiumi Livenza e Monticano. Dal punto di vista deposizionale si osserva un'aggradazione recente da parte del sistema a più corsi sub-alpini, che si sovrappone all'antico *sandur* del ghiacciaio del Piave che formava l'anfiteatro di Vittorio Veneto.

Il **substrato geologico** nel territorio comunale di Cordignano è costituito da:

Calcare del Cellina: Calcari micritici (mudstone - wackestone) e rare calcareniti in strati e banchi da decimetrici a metrici, bianchi o nocciola, con giunti ondulati e rare intercalazioni marnose centimetriche verdastre, rossastre e giallastre. Queste ultime possono riempire irregolarità o tasche al tetto degli strati. Facies meno comuni sono orizzonti stromatolitici e brecce intraformazionali. Abbondanti gasteropodi e bivalvi tra cui rudiste in posizione di vita. Localmente, intervalli di calcari in strati laminati centimetrici leggermente bituminosi e calcareniti gradate, con piante, gasteropodi e pesci. Limite inferiore non osservabile; limite laterale eteropico con il Calcare del Fadalto, attraverso una stretta fascia discontinua di calcareniti oolitico-bioclastiche e boundstone massivi o male stratificati. Spessore fino a 850 m, Albiano - ? Oxfordiano; da verificare una estensione al Cenomaniano suggerita dai rapporti stratigrafici di eteropia con il Calcare del Fadalto.

Le fasce cataclastiche e milonitiche del versante inferiore sono sfruttate per la coltivazione di cave subaeree ed in sotterraneo di marmorino. Si tratta di un calcare intensamente fratturato di colore generalmente da bianco a rossastro, spesso milonitizzato.

Conglomerato del Montello: nel settore occidentale compreso tra circa 70 e 200 m s.l.m. circa, all'inizio della parte montana del Comune, sono presenti conglomerati a ciottoli carbonatici in matrice arenacea o siltosa, tondeggianti o appiattiti, con stratificazione incrociata ed embriciature evidenti. Questi si alternano regolarmente con corpi di decine di metri di argille sabbiose e sabbie scarsamente cementate. Talora sono presenti orizzonti di lignite. Nella parte bassa, i conglomerati sono alternati ad areniti litiche. Il limite con l'unità inferiore è graduale per alternanza, collocato alla comparsa dei conglomerati. Lo spessore non è determinabile, ma è comunque maggiore di 1000 m (Messiniano p.p. – Tortoniano?).

Nella relazione del PAT (Tomio, 2004) è indicata la presenza di "rocce tenere con interstrati o bancate resistenti subordinati, costituite prevalentemente da termini argillosi, marnosi e siltosi. Tali orizzonti inglobano a sud alcuni livelli conglomeratici variamente cementati e superiormente alcuni ammassi calcarei. Si tratta di una formazione molto variabile dal punto di vista compositivo, sia verticalmente che lateralmente. La presenza dell'argilla la rende particolarmente vulnerabile all'imbibizione e al rigonfiamento, con relativa caduta delle caratteristiche meccaniche che

altrimenti sarebbero elevate. L'argilla stessa, imbibita, costituisce poi un ottimo piano di scivolamento per le varie zone di frana che si determinano. E' l'ambito litologico più vulnerabile presente in territorio comunale."

La **tipologia dei terreni affioranti** è descritta di seguito.

Materiali a tessitura eterogenea dei depositi di conoide di deiezione torrentizia: è presente un piatto conoide in corrispondenza dell'abitato di Villa di Villa. Si tratta di depositi generati dai materiali alluvionali che scendono dal versante del Cansiglio. La loro granulometria varia dalle ghiaie alle sabbie limose ed argillose, con abbondante matrice fine. Le caratteristiche meccaniche sono in genere variabili, comunque da discrete a buone.

Materiali alluvionali e colluviali a tessitura prevalentemente sabbiosa, olocenici: occupano la porzione nord occidentale dell'alta pianura lungo il margine del territorio comunale, formando una fascia di qualche chilometro, e parte del lembo più orientale. Lo spessore della copertura sabbiosa è limitato ad alcuni metri. Si osserva un aumento della granulometria con la profondità fino a termini ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, talora alternati a livelli argilloso-limosi. Generalmente le sabbie sono abbastanza compatte ed i livelli argillosi consistenti con caratteristiche meccaniche da discrete a buone.

Materiali granulari fluviali, a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa più o meno addensati, pleistocenici: si ritrovano nella porzione meridionale del territorio comunale, oltre la sponda destra del Fiume Meschio. Si tratta di ghiaie sabbioso-ciottolose deposte durante l'ultima glaciazione. Sono frequenti le intercalazioni anche plurimetriche di sedimenti più fini (sabbie, limi e argille). I ciottoli e la ghiaia si presentano debolmente alterati, con limitato grado di ferrettizzazione. Le caratteristiche geomeccaniche sono in genere da buone a ottime.

Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente limosa; occupano il settore centro-orientale del comune. Si tratta di depositi a bassa energia connessi ai corsi d'acqua olocenici, tra i quali il principale è il Fiume Meschio. Formano orizzonti di spessore limitato, dell'ordine di alcuni metri, con sottostanti ghiaie e sabbie. Sono depositi dotati di elevata variabilità granulometrica laterale e verticale, con transizioni frequenti verso termini più fini.

Una sintesi dell'inquadramento **idrografico e idrogeologico** è descritta di seguito.

Il settore montano presenta un assetto idrogeologico tipico delle aree carsiche con circolazione profonda, limitato scorrimento superficiale e presenza di punti di assorbimento dati da doline e valli secche. La circolazione carsica interessa acquiferi profondi con quote di circolazione poste notevolmente al di sotto della superficie dell'alta pianura veneta, contribuendo ad alimentare la falda indifferenziata. Dove i terreni presentano una maggiore permeabilità superficiale è favorita l'infiltrazione, mentre i terreni più fini, presentando una minore permeabilità, consentono un più facile scorrimento delle acque superficiali e l'impostazione di un reticolo superficiale.

Nei settori più prossimi al margine dei rilievi lo spessore delle sabbie e ghiaie è limitato a qualche decina di metri al massimo e l'acquifero è confinato in basso da un bedrock poco permeabile o impermeabile. Lenti isolate di materiale grossolano possono dar luogo a falde sospese, confinate lateralmente.

Con l'approssimarsi alla linea delle risorgive la superficie freatica di avvicina progressivamente alla superficie (per esempio nel settore più orientale di Ponte della Muda).

Le isofreatiche descrivono una superficie freatica alquanto regolare, inclinata verso sud-est, con quote sul livello del mare comprese tra 65 e 25 m circa.

3 Inquadramento sismologico

3.1 ITHACA - CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI

L'Italia è una delle zone più attive del Mediterraneo, in termini di tettonica attiva e sismicità. Molti terremoti storici hanno avuto effetti catastrofici (ad esempio: i terremoti del 1693 in Sicilia orientale, 1783 in Calabria, 1805 a Bojano, 1908 a Messina e 1915 nel Fucino) raggiungendo intensità MCS di XI grado (Magnitudo circa o leggermente superiore a 7). Studi paleosismologici hanno consentito di caratterizzare le faglie responsabili di molti di questi terremoti, dimostrando che le dislocazioni tardo pleistoceniche-oloceniche hanno interessato molte strutture prima considerate silenti.

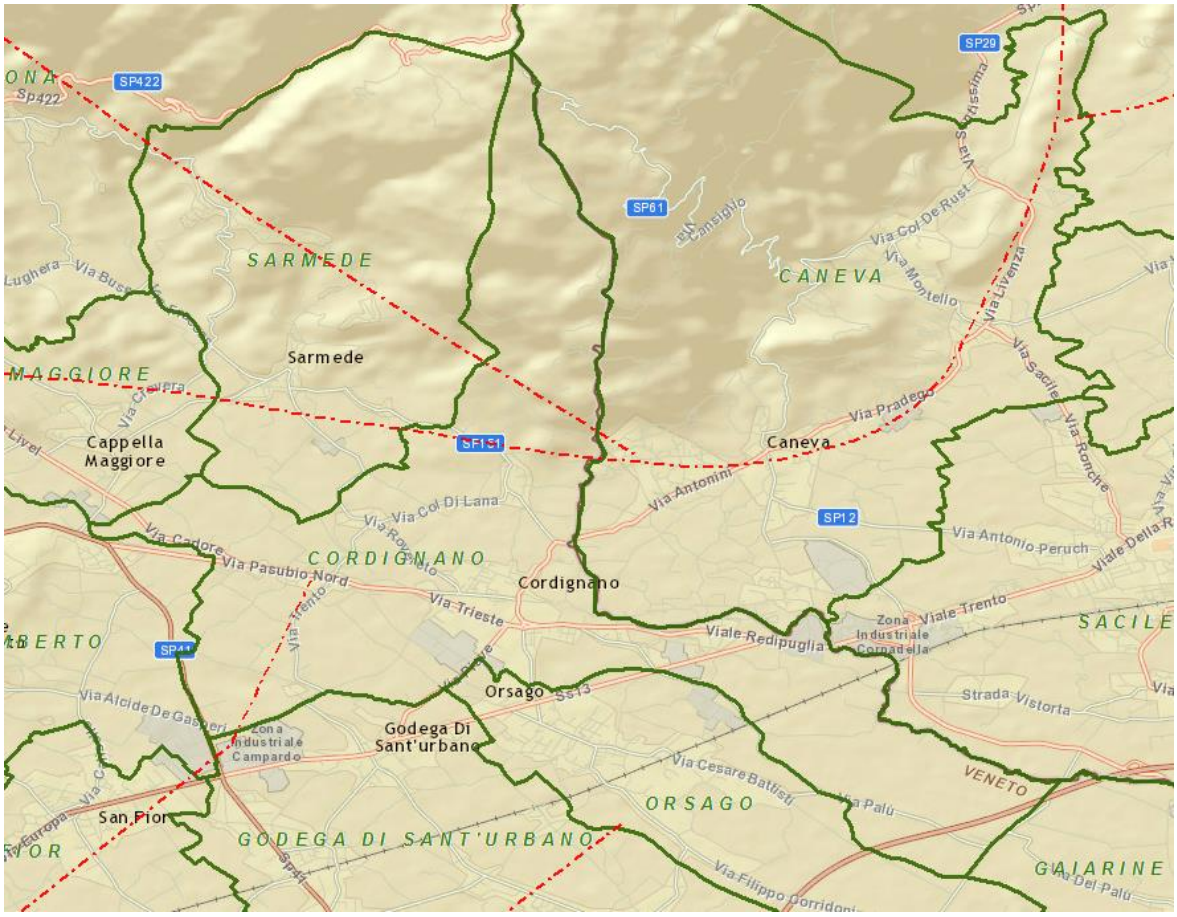

Figura 1 – Nella carta estratta per il Comune di Cordignano si osserva la presenza di faglie capaci (DB ITHACA, Portale del Servizio Geologico d'Italia – Ispra).

Il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (*ITaly HAzard from Capable faults*) che prevede la realizzazione di un database creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le 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 (http://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/suolo-e-territorio).

La sua consultazione all'interno del GeoMap Viewer del geoportale ISPRA avviene attraverso un servizio che permette l'interrogazione della banca dati sia geografica che alfanumerica, mettendo a disposizione dell'utente una serie di schede web.

Nel comune di Cordignano, all'interno del database ITHACA, sono presenti 3 faglie attive capaci, le più settentrionali sono le faglie di Montaner e del Cansiglio, mentre più a meridione viene segnalata l'estremità orientale della linea del Montello.

3.2 SISMICITÀ DEL COMUNE DI CORDIGNANO

3.2.1 Zonazione sismica

Secondo la zonazione sismica del territorio nazionale (OPCM 3519 del 28 aprile 2006), recepita dalla Regione Veneto con la Deliberazione del Consiglio Regionale del Veneto n. 67 del 3 dicembre 2003, il Comune di Cordignano ricade nella seguente zona sismica:

Zona sismica 2	**Zona che può essere soggetta a forti terremoti.**

In base alle diverse proposte di zonazione sismica, il territorio comunale ricade nelle seguenti zone:

Zonazione sismogenetica secondo Slejko et al. 2008	zona 10
Zonazione ZS9 secondo Meletti e Valenzise, 2004	zona 905
Distretti sismo-tettonici secondo Sugan e Peruzza, 2011	A (Alpago-Cansiglio)

Con riferimento alla *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV)* il parametro di scuotimento mostra valori di a_g (accelerazione massima del suolo) compresi tra 0,225 e 0,250 g e 0,200 e 0,225 g considerando un periodo di ritorno di 50 anni ed una probabilità di eccedenza del 10% (50° perc.) riferita a suoli rigidi (Vs30> 800 m/s, cat. A, 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

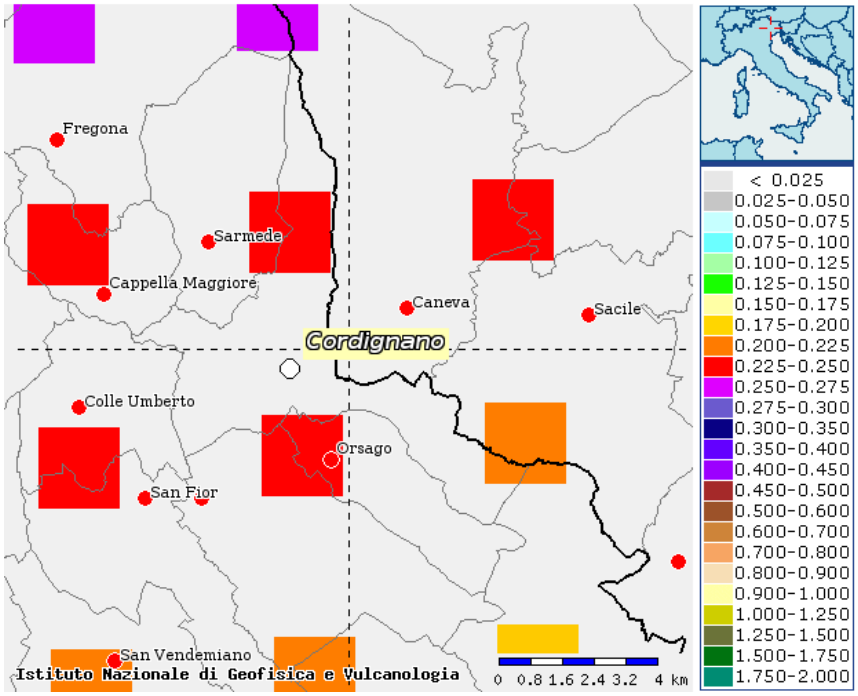

Figura 2 - Mappa di pericolosità sismica con parametro scuotimento espresso in a_g con periodo di ritorno di 50 anni e probabilità di eccedenza del 10%, 50° percentile (tratta da INGV).

3.2.2 Database Macrosismico Italiano (versione DBMI11).

I dati relativi alla sismicità storica di Cordignano fanno riferimento al Database Macrosismico Italiano (versione DBMI11) realizzato a cura dell'INGV. Si tratta della terza versione pubblica che raccoglie le osservazioni emerse nella finestra temporale 1000-2006.

Il database macrosismico DBMI11 riporta per il comune di Cordignano le intensità segnalate in occasione di 11 terremoti. La massima intensità è attribuita al terremoto del Bellunese del 1873 (su base storica e non strumentale). Gli epicentri più prossimi sono riferiti a Orsago, Caneva, Godega di Sant'Urbano e Stevenà.

La massima intensità rilevata da dati storici è pari a 7.

Storia sismica di Cordignano
[45.948, 12.416]

Numero di eventi: 11

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	**Data**	**Ax**	**Np**	**Io**	**Mw**
7	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10	6.32 ±0.11
4-5	1895 02 27 15:38	CLAUT	31	5	4.49 ±0.28
4	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9	6.12 ±0.09
5	1952 01 18 01:36	POLCENIGO	108	5	4.57 ±0.18
NF	1994 04 20 21:25	CADORE	159	5-6	4.15 ±0.09
NF	1996 02 27 11:13	Barcis	150	5	4.48 ±0.11
2-3	1996 04 13 13:00	CLAUT-BARCIS	164	5-6	4.62 ±0.10
NF	1998 04 12 10:55	Slovenia	227		5.66 ±0.09
NF	2001 07 17 15:06	Merano	663	6	4.84 ±0.09
3	2004 07 12 13:04	Alpi Giulie	366		5.19 ±0.09
NF	2004 12 04 22:20	Valle del Piave	115	5	4.18 ±0.14

Tabella 3 – Storia Sismica di Cordignano da DBMI11. Legenda: I=Intensità al sito (MCS); Ax=Area dei maggiori effetti; Np=Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io=Intensità epicentrale (MCS); Mw=Magnitudo.

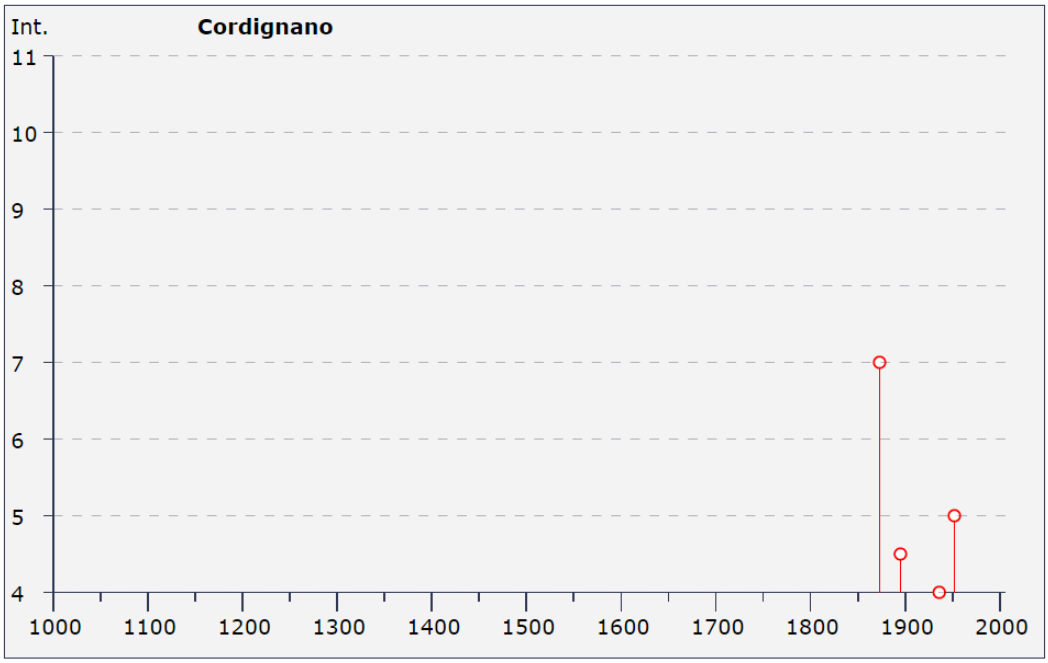

Figura 3 – Diagramma intensità – tempo dei terremoti avvertiti a Cordignano da DBMI11.

Località vicine (within 10km)			
Località	**Stato**	**NMO**	**Distanza**
Caneva	IT	12	3km
Cappella Maggiore	IT	5	5km
Ceneda	IT	3	10km
Codognè	IT	7	9km
Colle Umberto	IT	9	6km
Fregona	IT	11	9km
Gaiarine	IT	5	9km
Godega di Sant'Urbano	IT	8	3km
Montaner	IT	4	6km
Orsago	IT	8	2km
Sacile	IT	20	6km
San Fior (di Sopra)	IT	6	5km
San Vendemiano	IT	6	9km
Sarmede	IT	17	4km
Sarone	IT	3	6km
Stevenà	IT	3	3km
Vittorio Veneto [Vittorio]	IT	29	9km

Tabella 4 – Località entro 10 km da Cordignano (DBMI11)

3.2.3 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (versione CPTI11).

Si tratta della versione più aggiornata del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani realizzato da Rovida et al. (2011). Il data base è stato concepito come catalogo di consenso per unificare e omogeneizzare, attraverso procedure di stima dei parametri uguali per tutti i terremoti, tutte le informazioni disponibili sui terremoti italiani. Il catalogo copre la finestra temporale relativa agli anni 1000-2006.

Di seguito si riportano i dati di dettaglio relativi ai terremoti pertinenti Cordignano, già individuati attraverso il DBMI11.

1873 06 29 03:58 Bellunese									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	46.159	12.383			6.32 ± 0.11	Mdm			
macrosismico	46.159	12.383		9-10	6.32 ± 0.11	Bx	Guidoboni et al., 2007	199	9-10

1895 02 27 15:38 Claut									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	46.100	12.454			4.49 ± 0.28	Mdm			
macrosismico	46.100	12.454		5	4.49 ± 0.28	Bx	Camassi, 2001b	31	6

1936 10 18 03:10:12 Bosco Cansiglio									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	46.089	12.380			6.12 ± 0.09	Wmim			
macrosismico	46.089	12.380		9	6.12 ± 0.09	Bx	Barbano et al., 1986	267	9
strumentale					5.81 ± 0.37	Reg1			

1952 01 18 01:36 Polcenigo									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	45.995	12.542			4.57 ± 0.18	Wmim			
macrosismico	45.995	12.542		5	4.48 ± 0.22	Bx	Iaccarino & Mol., 1978	108	5
strumentale					4.86 ± 0.37	Reg1			

1994 04 20 21:25:26 Cadore									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	46.323	12.580			4.15 ± 0.09	InsO			
macrosismico	46.369	12.507		5-6	4.63 ± 0.12	Bx	Boll. Macro. ING	159	6
strumentale	46.323	12.580	0.00		4.15 ± 0.09	MT	GdL CSTI, 2005		

1996 02 27 11:13:46 Barcis									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	46.313	12.606			4.48 ± 0.11	Wmim			
macrosismico	46.275	12.647		5	4.46 ± 0.13	Bx	Boll. Macro. ING	150	5-6
strumentale	46.313	12.606	9.00		4.53 ± 0.22	Wmi	GdL CSTI, 2005		

1996 04 13 13:00:23 Claut-Barcis									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	46.316	12.592			4.62 ± 0.10	Wmim			
macrosismico	46.306	12.546		5-6	4.60 ± 0.11	Bx	Boll. Macro. ING	164	5-6
strumentale	46.316	12.592	2.00		4.70 ± 0.22	Wmi	GdL CSTI, 2005		

1998 04 12 10:55:32 Slovenia									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)

CPTI11	46.310	13.630			5.66 ± 0.09	InsO			
strumentale	46.310	13.630	8.00		5.66 ± 0.09	MT	Cecic et al., 1999		

2001 07 17 15:06:15 Merano									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	46.697	11.074			4.84 ± 0.09	InsO			
macrosismico	46.642	11.153		6	5.04 ± 0.09	Bx	Boll. Macro. INGV	663	6-7
strumentale	46.697	11.074			4.84 ± 0.09	MT	Castello et al., 2006		

2004 07 12 13:04:06 Alpi Giulie									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	46.310	13.620			5.19 ± 0.09	InsO			
strumentale	46.310	13.620	11.00		5.19 ± 0.09	MT	Cecic et al., 2005		

2004 12 04 22:20:50 Valle del Piave									
	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	TMw	Rt	Np	Imax (MCS)
CPTI11	45.942	11.996			4.18 ± 0.14	Wmim			
macrosismico	45.878	11.890		5	4.35 ± 0.17	Bx	Boll. Macro. INGV	115	5-6
strumentale	45.942	11.996	5.00		3.82 ± 0.25	Reg2	Boll. Strum. INGV		

Tabella 2 - Dati tabellari relativi ai terremoti di Cordignano (CPTI11).

3.2.4 Database of Individual Seismogenic Sources (DISS. 3.2)

Questo catalogo, pubblicato on line nella sua versione 3.2., raccoglie le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane, suddividendole in *zone sismogenetiche* che abbiano omogeneità dal punto di vista sismico e tettonico.

Il data base fa riferimento a Basili et al. (2008) e al DISS Working Group (2010).

Il DISS 3.2. individua nel distretto Alpago-Cansiglio la porzione orientale della sorgente sismogenetica composita ITCS060 Montebelluna-Montereale che si estende dallo sbocco in pianura del fiume Piave a quello del torrente Cellina; di questa struttura composita fanno parte le sorgenti individuali del Cansiglio (ITIS124), cui è stato associato il terremoto del Cansiglio del 18 ottobre 1936, M_W=5,9, e la sorgente individuale di Polcenigo-Montereale (ITIS125), cui è stato associato il terremoto del Bellunese del 1873, M_W=6,33.

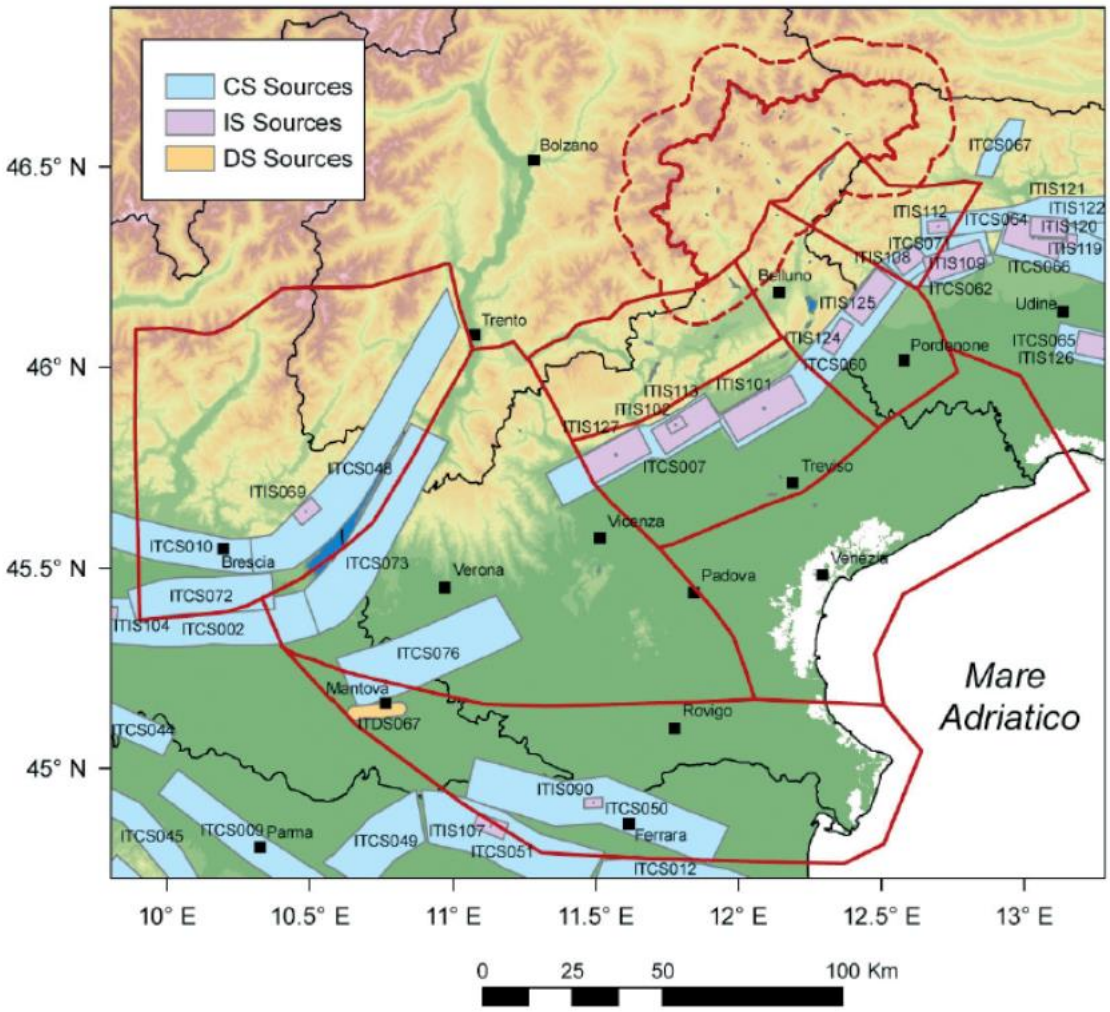

Figura 4 - Sorgenti sismogenetiche (DISS Working Group, 2010). Legenda= CS sources = sorgenti composite; IS Sources= sorgenti individuali; DS sources: sorgenti controverse (da Sugan e Peruzza, 2011).

4 Indagini geofisiche

4.1 INQUADRAMENTO

4.1.1 Fonti dei dati pregressi

Al fine di delineare il quadro geologico complessivo, sottoposto ad integrazione con ulteriori indagini geofisiche dedicate, sono state raccolte, esaminate e rielaborate in chiave sismica tutte le informazioni fornite dal PAT, utilizzando in particolare la carta geo-litologica, geomorfologica e idrogeologica e la relazione geologica descrittiva ripresa anche nella Relazione di Microzonazione Sismica di Primo Livello. Quest'ultima ha inoltre fornito informazioni relativamente all'identificazione delle Faglie Attive e Capaci (data base ITHACA, ITaly HAzard from Capable faults) e delle sorgenti sismogenetiche (DISS 3.1.1, Database of Individual Seismogenic Sources – DISS Version 3). Ai fini dello studio delle FAC è stata utilizzata la Carta Geologica della Provincia di Treviso alla scala 1:10.000 e la sottotesi di laurea inedita in Scienze geologiche dell' Università di Padova redatta da Zaia Giorgio (1984) - *Rilevamento geologico del settore meridionale del Cansiglio*.

È stata inoltre consultata tutta la bibliografia edita e i materiali inediti disponibili e utilizzati i dati reperibili nelle banche dati dei portali web regionali e nazionali.

4.1.2 Il piano delle misure geofisiche

Sono state condotte nella fase di studio di Secondo Livello 20 misure ReMi, 34 misure HVSR e 12 tomografie elettriche. La scelta dei punti d'indagine è stata operata con l'obiettivo di definire al meglio le condizioni stratigrafiche e la potenziale amplificazione sismica locale dovuta alle coperture e ai depositi. Attraverso le misure geofisiche è stato possibile estendere il quadro conoscitivo alle aree non coperte da altre indagini, al fine di stimare, entro i limiti metodologici, la profondità del bedrock sismico e le possibili discontinuità legate a corpi profondi con elevato contrasto di velocità.

Le misure sono state distribuite in modo da caratterizzare al meglio i corpi deposizionali, garantendo per quanto possibile, le condizioni di uniformità che stanno alla base dei metodi sismici. Le indagini in tomografia ERT hanno permesso di investigare porzioni di sottosuolo non pienamente rappresentate dalle indagini geognostiche disponibili.

4.1.3 Modello del suolo e del sottosuolo elaborato nello studio di Primo Livello

Il quadro conoscitivo ottenuto durante lo studio di Primo Livello (Studio di Microzonazione Sismica di Primo Livello, Relazione illustrativa, doc. 15131_20151028_R00_00) ha permesso di costruire un modello geologico del sottosuolo che si è basato sulla raccolta dei dati pregressi integrata dalle nuove indagini condotte.

La base informativa sulla quale si è fondato lo studio si stata ricavata dalla cartografia geologica e geomorfologica provinciale e dalle carte allegate allo strumento urbanistico vigente (PAT), dalla relazione geologica e dal complesso di informazioni di natura geologico-geotecnica dedotte dalla documentazione fornita dall'Amministrazione comunale e dalle banche dati geognostiche e cartografiche disponibili, compresi i dati inediti e i rilievi di campo condotti.

Particolare attenzione è stata dedicata alla ricostruzione dei caratteri geotecnici e sismici dei depositi di copertura e delle principali morfologie, e all'individuazione del substrato sismico.

La stratigrafia, in chiave lito-stratigrafica e sismica, dei terreni di pianura è stata ricostruita attraverso il set di penetrometrie, carotaggi e indagini geofisiche disponibili e di nuova acquisizione. Le misurazioni di Vs e di frequenza di amplificazione hanno permesso inoltre di delineare un quadro sismo-stratigrafico sufficientemente accurato.

Lo studio ha permesso di evidenziare quanto segue:

Aree di pianura: il contatto tra le coperture quaternarie e il substrato è spesso individuato da picchi di frequenza (che non sempre corrispondono alla massima amplificazione H/V); talora si riconoscono effetti di bordo, con risonanza delle onde elastiche. I picchi multipli di frequenza individuati in corrispondenza delle amplificazioni secondarie possono essere generati sia da livelli rigidi intermedi, in grado di determinare contrasti dell'impedenza acustica, e sia da focalizzazioni dovute all'irregolarità del substrato e alla morfologia sepolta. Talora si tratta di contributi connessi a sorgenti antropiche.

Aree di versante: esistono diverse tipologie di coperture, su substrati diversi (detrito di falda, depositi colluviali, depositi di frana e coltri di alterazione). Data l'estrema variabilità dei depositi e la presenza di contatti spesso eteropici e non facilmente riconoscibili dal telerilevamento e dall'analisi sul campo, non tutte le coperture sono individuate e descritte in dettaglio nella cartografia disponibile. Il modello geologico ottenuto può pertanto risultare irregolare, specialmente nei versanti di raccordo con la pianura.

4.2 TOMOGRAFIE ERT

4.2.1 Rete di misura

Il territorio comunale è stato rilevato attraverso l'esecuzione di 12 tomografie elettriche di resistività in corrente continua con spaziatura interelettrodica a passo variabile. Gli elettrodi sono stati infissi sino alla profondità di circa 30 cm dal p.c. per assicurare il miglior contatto galvanico con il terreno; il substrato è risultato essere costituito da prato erboso o da terreno agrario. L'accoppiamento è stato garantito attraverso la saturazione del terreno nei punti di contatto con una soluzione acquosa di cloruro di sodio.

Le misure sono state eseguite adottando una configurazione Wenner Alpha.

Sono state realizzate 8 acquisizioni con passo interelettrodico pari a 2 m e profondità di investigazione 15 m e 4 tomografie con passo interelettrodico pari a 5 m e profondità di investigazione pari a circa 40 m.

ID Soft MS	Codice interno
026022L29	1
026022L30	2
026022L31	3
026022L32	4
026022L33	5
026022L34	6
026022L35	7
026022L36	8
026022L37	9
026022L38	10

026022L39	11
026022L40	12

Tabella 3 – Relazione codici interni / ID Soft MS

4.2.2 Georesistivimetro IRIS Syscal Pro

La strumentazione impiegata per l'esecuzione dei profili ERT consiste in un georesistivimetro a 48 elettrodi IRIS Syscal Pro. Lo strumento è di moderna generazione ed unico nel suo genere per la qualità e la quantità delle misure acquisite nonché per la celerità delle operazioni di campo.

Il sistema integra un'unità di energizzazione (capace di una tensione massima di 800 V), una matrice di commutazione per l'indirizzamento dei quadripoli elettrodici, un canale di lettura e un'unità di misura delle tensioni e delle correnti.

4.2.3 Modalità di elaborazione dei dati geoelettrici

Il campo di resistività apparente è stato analizzato effettuando una pre-elaborazione statistica per identificare eventuali valori anomali da rimuovere dall'insieme prima dell'inversione e per l'inserimento delle geometrie. Tali valori sono stati quindi filtrati in modo blando per ridurre gli artefatti numerici causati da forti gradienti di campo. L'elaborazione è stata condotta con il codice ERTLab (Geostudi Astier & Multi-Phase Technologies). Questo programma si avvale di un algoritmo di modellazione diretta (*forward modeling*) agli Elementi Finiti Tetraedrici che consente di modellare la distribuzione del potenziale elettrico nel sottosuolo tenendo conto anche delle caratteristiche morfologiche dello stesso.

La *mesh* è composta da una zona di *foreground* (di massima risoluzione) nella quale i tetraedri hanno una dimensione media pari al 50% della spaziatura di superficie e di una zona di *background* nella quale i tetraedri hanno una dimensione maggiore. All'esterno della mesh vi è poi una fascia di *padding* +/- nelle tre dimensioni X, Y e Z che consente di ottenere una maggiore stabilità numerica del processo di inversione. La *mesh* di tetraedri è di tipo tri-dimensionale anche nel caso di elaborazione di linee 2D nel senso che essa è composta da una doppia fascia di elementi sui due fianchi della linea 2D. Il modello di partenza ha un valore di resistività che è pari alla media della resistività apparente delle misure di campo.

Il codice ERTLAB consente di modellare anche le deformazioni del campo elettrico dovute alle irregolarità della superficie topografica.

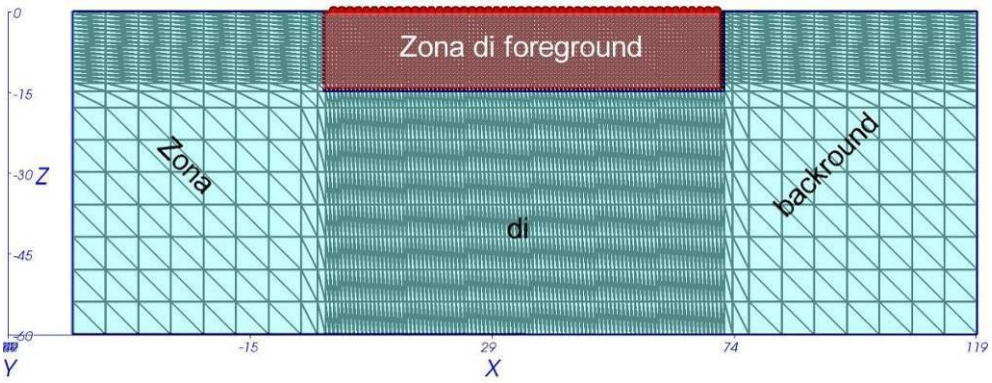

Figura 5 - Mesh tetraedrica tridimensionale di ERTLAB 3D.

4.2.4 Risultato dell'indagine geoelettrica

I dati elettrici sono risultati di buona qualità con valori nel complesso scarsamente deviati sia in senso orizzontale che in senso verticale. La profondità di inversione è pari rispettivamente a 15 e a 40 m.

I risultati della modellazione 2D sono rappresentati nell'allegato 16172_20160318_ALL03_00 attraverso sezioni verticali di resistività. I valori di ρ sono compresi tra pochi Ωm e 200 Ωm circa (con alcuni settori a ghiaie che presentano valori superiori). Nelle immagini alle tavole allegate i valori di fondo scala sono variabili per poter evidenziare opportunamente i contrasti di resistività dei volumi indagati.

Si tenga presente come avvertenza importante che benché la modellazione sia stata eseguita su una sezione rettangolare (piano xz), tuttavia il campo dei valori di resistività è limitato agli archi centrali sottesi dallo stendimento. Pertanto agli estremi i dati sono meno affidabili, mancando per essi i relativi punti misura.

Si osserva una buona corrispondenza tra distribuzione dei sedimenti superficiali e valori di ρ. I limi mostrano valori di ρ compresi tra circa 10 e 50 Ωm, le sabbie hanno valori compresi all'incirca tra 50 e 100-150 Ωm, mentre le ghiaie mostrano valori superiori, anche fino a 500-600 m.

Le coperture fini, date da valori di ρ che raggiungono al massimo i 50 Ωm arrivano allo spessore di 8 - 10 m, con valori medi oscillanti da 1,5 a 5 m.

Si osserva in generale un aumento della resistività con la profondità al quale corrisponde un equivalente aumento in granulometria.

La tomografia ERT condotta sul conoide (ERT 9) mostra una copertura medio-fine di 5-8 m sovrastante probabili ghiaie fino a fondo indagine (40 m), con valori superiori a 400 Ωm.

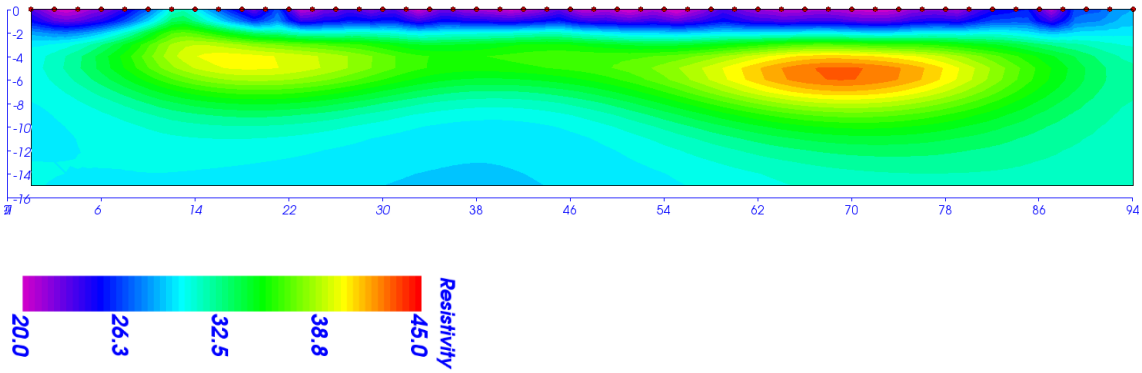

Figura 6 - ERT 1 – Area limosa a est

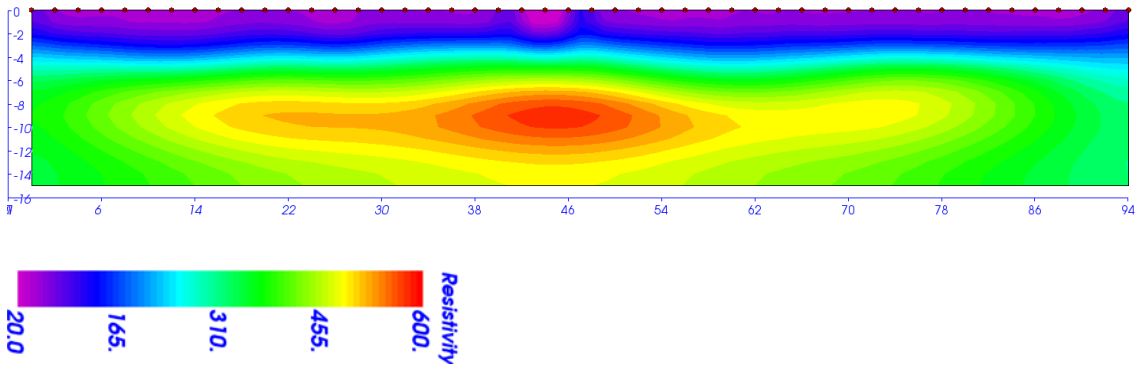

Figura 7 – ERT 7 – Area a ghiaie in destra Meschio (area sud del comune di Cordignano)

4.3 MISURE HVSR

La strumentazione a disposizione per la misura della frequenza fondamentale è stata la seguente:

- una stazione sismica Dymas 24 a 6 canali dotata di GPS per il timing.
- Un sismometro a periodo T di 1 s, linearizzato elettronicamente, con dinamica superiore a 130dB.

Questa strumentazione è di classe superiore rispetto ai normali tromografi disponibili in commercio in virtù della maggiore affidabilità dei segnali nel segmento di bassa frequenza dello spettro di ampiezza (che è poi quello tipico dei microtremori).

Per l'elaborazione dei dati geofisici è stata seguita la procedura consigliata nelle linee guida del SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations), un progetto di ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di microzonazione sismica attraverso le misure del rumore ambientale. Preliminarmente alla procedura di analisi dei rapporti spettrali, le tracce sismiche registrate sono state verificate eliminando i disturbi transienti e quelle parti di registrazioni non adatte all'analisi. Una volta selezionata la parte di segnale stabile sono state calcolate, per ognuna delle tre componenti del moto, le ampiezze spettrali e gli spettri di potenza del "noise", procedendo successivamente, per il "rumore naturale", alla valutazione della distribuzione energetica in frequenza.

È stata inoltre eseguita la verifica dei criteri che permettono di definire il livello di affidabilità della misura e di identificare il picco significativo attraverso l'uso di test statistici opportuni.

Gli esiti delle indagini HVSR sono riportati nelle schede agli allegati 16172_20160318_ALL02_00 (HVSR) e alle tavole HVSR_16172_20160318_T08_00 e HVSR_INTERPOL_16172_20160318_T09_00 ai quali si rimanda per una descrizione puntuale dei siti.

Per quanto riguarda le frequenze fondamentali e la relativa ampiezza del rapporto H/V la situazione è piuttosto complessa com'era comunque prevedibile in un contesto geologico qual è quello di un territorio pedecollinare. Alcune misure di frequenza fondamentale sono state

contaminate da sorgenti polarizzate di rumore coerente e hanno richiesto un'analisi approfondita per l'estrazione della componente geologica dal segnale registrato.

Esempi in questo senso sono presenti in diverse punti del territorio comunale dove è probabile che la presenza di siti produttivi abbia generato una maggiore probabilità di presenza di rumore polarizzato.

Codice	H/V	F_0
HV_CO_01	3.44	7.75
HV_CO_02	1.36	1.049
HV_CO_03	1.86	5.7
HV_CO_04	1.78	1.103
HV_CO_05	2	6
HV_CO_06	1.66	7.41
HV_CO_07	1.54	8.02
HV_CO_08	1.63	1.034
HV_CO_09	1.68	7.2
HV_CO_10	1.78	8.35
HV_CO_11	1.87	8.4
HV_CO_12	2.54	8.5
HV_CO_13	1.92	3.29
HV_CO_14	2	5.75
HV_CO_15	3.79	1.114
HV_CO_16	1.52	0.78
HV_CO_17	1.71	3.79
HV_CO_18	3.74	5.75
HV_CO_19	2.22	0.88
HV_CO_20	3.15	6.08
HV_CO_21	1.38	0.65
HV_CO_22	1.74	1.33
HV_CO_23	1.38	1.49
HV_CO_24	3.59	8.04
HV_CO_25	3.05	6.08
HV_CO_26	1.22	6.66
HV_CO_27	1.9	9.69
HV_CO_28	3.22	1.177
HV_CO_29	1.45	2.29
HV_CO_30	1.62	8.5
HV_CO_31	1.31	1.04
HV_CO_32	2.26	1.134
HV_CO_33	1.62	3.2
HV_CO_34	2.06	0.63

Tabella 4 – Valori di H/V e F_0

Manca l'evidenza, anche negli spettri a picchi multipli, di una chiara firma spettrale del sottostante substrato.

In generale i picchi, qualora non determinati da sorgenti polarizzate, sono da attribuire alla presenza di interfacce elastico-acustiche che non hanno carattere di ubiquitarietà e che possono essere correlate solo su piccole distanze. I valori di ampiezza del rapporto H/V, fatta salva qualche situazione locale, sono modesti e questo è probabilmente ascrivibile al ridotto contrasto di impedenza acustica tra substrato e coperture in virtù dell'interposizione di un substrato con caratteristiche intermedie di densità e di velocità. Si rileva inoltre come il rapporto H/V per circa due terzi dei siti analizzati sia inferiore a 2 e quindi, almeno secondo le indicazioni del progetto Sesame, poco significativo in termini di amplificazione; il rimanente terzo mostra valori compresi tra 2 e 3.79.

4.4 MISURE DELLA VS

Per la misura della Vs con tecnica Remi è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 canali e 24 bit nella conversione A/D equipaggiato con sensori Oyo GEOSPACE a frequenza naturale di 4.5 Hz.

I geofoni sono stati stesi su terreno con spaziatura variabile da 2 m a 3 m e sono state effettuate sessioni di misura del rumore della durata di 30 s avvalendosi anche di una parziale energizzazione.

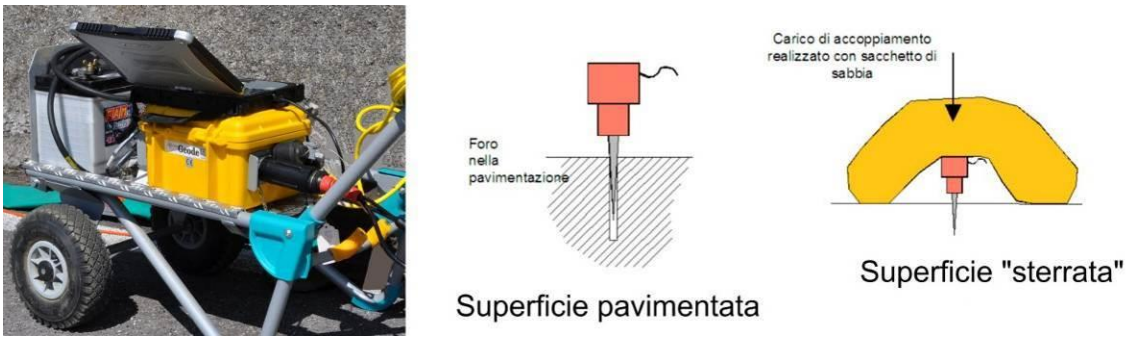

Figura 8 - Strumentazione per la misura della VS. Sismografo a 24 canali Geometrics GEODE (a sinistra). Schema di accoppiamento dei geofoni su pavimentazione (al centro) o su strada sterrata o in ghiaia (a destra).

Gli esiti delle indagini ReMi sono riportati nelle schede dell'allegato 16172_20160318_ALL01_00 (Vs-ReMi) ai quali si rimanda per una descrizione puntuale dei siti.

I valori sono descritti nella Carta delle Vs_{30} (VS30_16172_20160318_T10_00) e nella relativa versione a curve interpolate (VS30_INTERPOL_16172_20160318_T11_00).

L'analisi della distribuzione della velocità delle onde di taglio indica, per il territorio comunale in esame, una situazione abbastanza variegata. Questa differenziazione nella risposta sismica altro non è che l'immagine dell'assetto geologico stratigrafico del sito caratterizzato dalla presenza di spessori variabili dei depositi di pianura.

La Vs_{30} e più in generale la Vs varia da 222 m/s a 689 m/s. I suoli di fondazione, secondo i dettami delle NTC 2008, ricadono quindi in prevalenza nella classe B con qualche subordinata situazione locale dove la Vs scende al di sotto dei 360 m/s con l'attribuzione del sedime alla classe C.

La distribuzione dei valori di Vs_{30} trova un buon accordo con la geologia superficiale, con valori di Vs più elevati in corrispondenza delle ghiaie pleistoceniche e valori più bassi lungo le direttrici a

terreni fini. Le sabbie mostrano conseguentemente valori intermedi. Solo alcuni punti lungo la transizione tra una categoria di suoli e l'altra alcuni valori sembrano discostarsi leggermente, testimoniando con ogni probabilità la presenza di un assetto stratigrafico diverso.

Codice	VS30
026022L12	689
026022L4	375
026022L21	242
026022L11	344
026022L22	463
026022L1	417
026022L3	312
026022L13	278
026022L14	444
026022L6	491
026022L23	386
026022L24	575
026022L2	416
026022L26	420
026022L5	571
026022L10	602
026022L25	547
026022L8	489
026022L7	665
026022L17	321
026022L27	390
026022L16	396
026022L15	551
026022L9	395
026022L18	353
026022L28	450
026022L20	222
026022L19	241

Tabella 5 – Distribuzione dei valori di Vs_{30}

4.5 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

La ricostruzione del modello geologico locale, realizzato con il contributo di tutte le informazioni di carattere geologico e geofisico acquisite, è giocoforza dipendente dalla qualità e dalla quantità dei dati disponibili.

Nelle aree di rilievo si tenga conto della sovrapposizione potenziale di effetti di amplificazione topografici e stratigrafici. Tale condizione è verificata sia in presenza di coperture alloctone che di materiali di alterazione o condizioni di particolare fratturazione del substrato lapideo.

Lo spessore dei depositi di versante, dei colluvi e dei corpi di frana è difficilmente definibile con precisione mancando indagini dirette in molti punti. Opportune analisi di dettaglio dovranno essere condotte ogni qualvolta si intendano avviare interventi di qualunque natura sulle aree del rilievo (opere, infrastrutture, scavi, variazioni morfologiche, ecc.).

I valori di Vs e di H/V misurati nei versanti sono legati alle condizioni specifiche e estremamente localizzate del punto di misura; l'adozione dei valori misurati è da attuare con cautela, non essendo rispettate le condizioni di unidimensionalità e potendosi verificare variazioni repentine anche a pochissima distanza dalla stazione di misura.

La geometria del substrato sismico dell'alta pianura non è nota, anche se è probabile che l'immersione degli strati sia comparabile con le giaciture superficiali, anche al di sotto del materasso alluvionale, specie in prossimità del rilievo. Mancano carotaggi, penetrometrie o prove geofisiche che abbiano intercettato il bedrock. La stratigrafia dei terreni quaternari è riferibile in larga parte a depositi alluvionali e fluvioglaciali con termini che vanno dalle ghiaie con ciottoli ai limi argillosi. L'ambiente continentale di deposizione determina frequenti variazioni granulometriche sia in verticale che in orizzontale, mentre a luoghi sono frequenti le alternanze dovute a variazioni nell'energia di trasporto.

Non è sufficientemente noto l'assetto stratigrafico del blando conoide di Villa di Villa che allargandosi verso la pianura potrebbe formare contatti eteropici con le alluvioni. La possibile variazione tessiturale dovuta ad una classazione granulometrica longitudinale lungo l'asse deposizionale contribuisce ad aumentare la complessità del quadro geologico. Le penetrometrie e le trincee disponibili mostrano una prevalenza di fini nei primi metri di sottosuolo.

Per quanto invece riguarda le frequenze fondamentali e la relativa ampiezza del rapporto H/V la situazione è molto più complessa com'era comunque prevedibile in un contesto geologico qual è quello di un territorio pedecollinare. In generale i picchi, qualora non determinati da sorgenti polarizzate, sono da attribuire alla presenza di interfacce elastico-acustiche che non hanno carattere di ubiquitarietà e che possono essere correlate solo su piccole distanze. Si rileva come il rapporto H/V per due terzi dei siti analizzati sia inferiore a 2 e quindi, almeno secondo le indicazioni del progetto Sesame, poco significativo in termini di amplificazione.

5 Carta delle indagini

La Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica deve contenere l'ubicazione delle indagini preesistenti ed eventualmente di quelle di nuova realizzazione. E' stata quindi aggiornata la Carta delle Indagini di Primo Livello con l'ubicazione delle nuove misure, realizzate sia per gli studi di Secondo Livello che per gli approfondimenti di Terzo Livello.

Nel presente studio le indagini sono state distinte per tipo e profondità raggiunta; a ciascuna indagine è stato assegnato un codice identificativo univoco (Id) e attraverso il set di dati raccolto è stato popolato il data base digitale messo a disposizione dalla Protezione Civile Nazionale (*SoftMS, vers. 4*), secondo codifiche predeterminate. Le indagini pregresse e quelle realizzate ex-novo sono state distinte secondo la data di realizzazione, che è riportata nel data base.

Le indagini sono state rappresentate in forma simbolica secondo quanto previsto dagli *Standard di Rappresentazione informatica (Vers. 4.0b).*

Il complesso di punti di indagine presenti sul territorio è suddiviso tipologicamente come segue:

INDAGINI PUNTUALI

TIPO INDAGINE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE per MS	TOTALE
Geotecnica in sito	CPT	Penetrometrica statica	7
Geologia	S	Sondaggio a carotaggio continuo	20
Geofisica	HVSR	Microtremori a stazione singola	42
Geofisica	SR	Sismica a riflessione	7
Geologia	T	Trincea o pozzetto	27

INDAGINI LINEARI

TIPO INDAGINE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE per MS	TOTALE
Geofisica	REMI	REMI	38
Geoelettrica	ERT	Tomografia elettrica	19
Geofisica	SR	Profilo sismico a riflessione (onde S)	2

Tabella 6 – Numero di indagini classificate per tipologia

6 Microzonazione Sismica di Secondo Livello

Gli studi di microzonazione sismica di Secondo Livello si applicano a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati negli studi di Primo Livello e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio o incremento dei carichi urbanistici, per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato e lungo le fasce delle nuove reti infrastrutturali.

L'obiettivo del Secondo Livello di analisi è di compensare le incertezze del Primo Livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente.

Per quanto concerne il Comune di Cordignano, lo studio di Microzonazione di Secondo Livello è stato effettuato in corrispondenza delle seguenti località:

- Villa di Villa
- Silvello
- Pinidello
- Cordignano (centro)
- Zona Industriale via Piave
- Ponte della Muda.

I siti sono stati perimetrati anche attraverso l'utilizzo del file shape *Perimetrazione Centri Abitati* realizzato dalla Provincia di Treviso a norma del D.Lgs. 285/1992.

Lo studio di approfondimento è stato condotto attraverso una rete di misure HVSR, di Vs con tecnica ReMi, di tomografie elettriche e sismiche. L'obiettivo era la quantificazione numerica degli effetti attraverso la stima dei fattori di amplificazione Fa e Fv. I valori dei fattori di amplificazione consistono nei valori di Fa, fattore di amplificazione a basso periodo, e di Fv, fattore di amplificazione a periodo proprio. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione. Il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

6.1.1 Determinazione dei valori di Fa e Fv

Le misure sismiche sono state distribuite secondo una rete che tenesse conto sia delle caratteristiche del substrato e sia della distribuzione dei centri abitati, in modo da consentire una facile interpolazione e un una buona rappresentatività delle misure; inoltre, ciascun sito è stato integrato da altre misure nell'intorno per definire con maggior accuratezza il campo di velocità delle onde S.

L'ubicazione delle indagini sismiche è riportata nella Carta delle Indagini (CI_16172_ 20160318_T02_00) e i valori di amplificazione nella Carta della Microzonazione Sismica di Secondo Livello (MS2_16172_ 20160318_T09_00).

Il fine dell'approfondimento al Secondo Livello era quello di verificare ed eventualmente applicare la procedura prevista alle *Linee guida nazionali (ICMS 2009)* per fornire una stima della risposta sismica locale in termini di fattori di amplificazione topografia e litostratigrafica. Poiché nel secondo caso la procedura è valida per le modificazioni del moto sismico indotte dalle specifiche

caratteristiche litostratigrafiche locali e non tiene conto degli effetti topografici, degli effetti 2D e di eventuali aggravi del moto dovuti a deformazioni permanenti, non è possibile escludere del tutto, per i settori più prossimi al margine prealpino, la possibile perturbazione indotta da irregolarità morfologiche sepolte, da effetti di valle o da assetti stratigrafici che si discostino dalle condizioni monodimensionali previste dalla teoria. Infatti, gli abachi possono essere impiegati solo in presenza di un'architettura geologica e geotecnica assimilabile a un modello fisico monodimensionale, cioè a n strati piani, orizzontali, paralleli, continui, di estensione infinita, omogenei, a comportamento viscoelastico, con strati che giacciono sul basamento sismico (bedrock).

Id Soft MS	Codice	Vs30	litologia	h/v	f0	H	prof. falda	FA	FV
026022L1	CO_01	417	sabbia	1	7.75	13	10	1.55	1.11
026022L2	CO_02	416	limi	2	10.49	10	10	1.32	1.03
026022L3	CO_03	312	ghiaie (conoide)	3	5.7	14	10	1.93	1.24
026022L4	CO_04	375	ALS	4	11.03	8	ALS		
026022L5	CO_05	571	ghiaia	5	6	24	25	1.21	1.07
026022L6	CO_06	491	sabbia	6	7.41	17	15	1.29	1.04
026022L7	CO_07	665	ghiaia	7	8.02	21	25	1.09	1.03
026022L8	CO_08	489	ghiaia	8	10.34	12	20	1.39	1.12
026022L9	CO_09	395	ghiaia	9	7.2	14	15	1.62	1.18
026022L10	CO_10	602	ghiaia	10	8.35	18	20	1.21	1.07
026022L11	CO_11	344	sabbia	11	8.4	10	5	1.51	1.05
026022L12	CO_12	689	LPS	12	8.5	20	CEDIMENTI		
026022L13	CO_13	278	sabbia	13	0		5	1.77	1.11
026022L14	CO_14	444	limi	14	5.75	19	5	1.25	1.02
026022L15	CO_15	551	limi	15	11.14	12	10	1.01	1
026022L16	CO_16	396	ghiaia	16	0		10	1.51	1.09
026022L17	CO_17	321	limi	17	3.79	21	5	1.63	1.06
026022L18	CO_18	353	sabbia	18	5.75	15	5	1.51	1.05
026022L19	CO_19	241	limi	19	0		5	1.96	1.13
026022L20	CO_20	222	limi	20	6.08	9	5	1.96	1.13
026022L21	CO_21	242	sabbia	0	0		5	1	0
026022L22	CO_22	463	sabbia	8	0		5	1.24	1.03
026022L23	CO_23	386	sabbia	24	8.04	12	10	1.55	1.11
026022L24	CO_24	575	ghiaia	25	6.8	21	15	1.18	1.03
026022L25	CO_25	547	ghiaia	8	10.34	13	25	1.22	1.09
026022L26	CO_26	420	ghiaia	10	8.35	13	20	1.64	1.29
026022L27	CO_27	390	limi	32	11.34	9	5	1.32	1.03
026022L28	CO_28	450	sabbia	18	5.75	20	5	1.26	1.03

Tabella 7 – Tabella con valori calcolati di Fa e Fv

6.1.2 Effetti litostratigrafici

Per l'allestimento della Carta di Microzonazione Sismica di Secondo Livello si sono adottati gli *Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici (livello 2)* previsti dalle ICMS 2008.

Per l'applicazione degli abachi si è proceduto nel modo seguente:

- è stata condotta una stima della profondità del substrato sismico sulla base dei dati ottenuti dalle misure di F_0 attraverso HVSR e dalle misure di Vs_h, interpolando i diversi punti noti. È stata quindi applicata la correzione tabellare ai valori di Vs_{30} (velocità equivalente nei primi 30 m) trasformandoli in Vs_h (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito);
- considerando un profilo di velocità delle onde S variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima, si sono utilizzati gli abachi pertinenti alle ghiaie, sabbie o argille (a seconda dell'area interessata dalle misure), utilizzando valori di accelerazioni di picco al suolo di 0.26g (media sismicità). La scelta del tipo di profilo è stata fatta sulla base delle conoscenze specifiche ottenute con il Secondo Livello e sulla considerazione che in generale quando lo spessore di sottosuolo diventa considerevole (diverse decine di metri), è poco probabile che il profilo di velocità si mantenga costante, ed è quindi preferibile orientarsi verso le tabelle riferite al profilo variabile linearmente con pendenza intermedia;
- si è quindi ottenuta la stima dei fattori di amplificazione Fa e Fv per ciascun settore investigato; si tenga presente che le zone stabili sono caratterizzate sempre da un'amplificazione uguale a 1.0. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono invece caratterizzate da classi di fattori di amplificazione. Se dalle analisi sviluppate con gli abachi o attraverso simulazioni numeriche vengono riscontrate delle deamplificazioni, per convenzione viene attribuito alla microzona un valore uguale a 1.0.
- i valori di Fa sono stati quindi interpolati attraverso una procedura di *Natural Neighbour Interpolation* ed è stata costruita la *Carta della Microzonazione Sismica di Secondo Livello* che interessa tutti i centri abitati del territorio comunale.

Per comprendere anche le limitazioni di tali approccio si tenga conto che gli abachi allegati alle ICMS 2008 sono realizzati sintetizzando i risultati di analisi numeriche mono-dimensionali di propagazione delle onde sismiche di taglio. Tali analisi sono di tipo non lineare equivalente e sono condotte su un modello di sottosuolo costituito da terreni stratificati orizzontalmente, poggianti su un semispazio. Più l'assetto geologico locale si discosta dalle condizioni monodimensionali e minore sarà l'affidabilità delle stime di valore di Fa e Fv.

6.1.3 Effetti topografici

Tenuto conto che sull'abitato di Villa di Villa incombono diverse scarpate con orli di terrazzo morfologico e creste che rientrano nei casi previsti di amplificazione topografica, la carta è stata integrata attraverso l'impiego degli *Abachi di riferimento per gli effetti topografici (livello 2) (ICMS 2008).*

Tali abachi sono utilizzabili per il calcolo di fattori di amplificazione (Fa) per le creste rocciose (bedrock sismico affiorante) caratterizzate da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 15° e per scarpate rocciose caratterizzate da fronti di altezza (H) superiori a 40 m e inclinazione (α) del fronte principale tra 20° e 40° (a ovest) e superiori a 70° (a est). Ai fini del presente studio è stato utilizzato l'*Abaco per scapate rocciose - tabella 3.3.2. (ICMS, 2008).*

Sono state individuate diverse scarpate superiori a 40 m, con una conseguente estensione dell'area di influenza pari ad alcune decine di metri, variabili in dipendenza dell'altezza della

scarpata. I fattori di amplificazione massimi sono rispettivamente Fa 1.2 e Fa 1.1. La fascia di cresta raggiunge il massimo Fa pari a 1.15.

Si osservi che gli Standard di Rappresentazione e Archiviazione informatica stabiliscono che la classe di amplificazione uguale a 1 comprende anche le zone con de-amplificazione e con amplificazioni fino a 1.04. (figura 1.1.4.1-1, Standard 4.0b e nota 13 a pagina 32).

I massimo valore di amplificazione topografica calcolato sulla scorta degli abachi riportati nelle linee guida nazionali per il ciglio della scarpata o per la cresta deve essere scalato fino a raggiungere il valore unitario alla base della scarpata o del versante (Linee guida per l'esecuzione di studi di microzonazione sismica, Regione Veneto, pag. 42). Ne discende che, in assenza di amplificazioni stratigrafiche connesse a pendii in terra, la base del versante sarà contraddistinta da una fascia con parametro di amplificazione pari a 1 (che comprende tutti i valori inferiori o uguale a 1.04).

6.1.4 Liquefazione

Il pericolo di liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di concomitanza di fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) e predisponenti (suscettibilità dei terreni).

Secondo le *Linee Guida (DGR 1572/2013*) della Regione Veneto la suscettibilità del terreno deve essere valutata sulla base di prove in sito (SPT e/o CPT e/o prove geofisiche in foro) investigando un numero di verticali adeguato all'estensione dell'area di indagine. Dovrà essere determinata con appropriate rilevazioni anche l'entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi dovrà essere considerata la condizione meno cautelativa.

Nelle verticali esplorate la stima del potenziale di liquefazione necessita del valore di a_{max} alla superficie del deposito ottenuto mediante analisi della risposta sismica locale. Tuttavia, l'analisi della risposta sismica locale può essere omessa, nella fase di Secondo Livello, utilizzando la pga di sito ottenuta con la procedura di secondo livello per la valutazione degli effetti litologici.

Le linee guida nazionali prevedono che le *zone suscettibili di instabilità* della Carta di MS di Secondo Livello siano la riproduzione fedele di quelle riportate nella Carta delle MOPS ovvero le Zone di Attenzione (ZA), in quanto in questo Livello non si richiedono ulteriori approfondimenti.

Ai fini della delimitazione delle aree suscettibili di liquefazione si è tenuto conto della granulometria prevalente in superficie e della soggiacenza media della falda freatica.

Sono state considerate sia le sabbie che le ghiaie; il settore ghiaioso è formato infatti da un impilamento di alvei braided che potrebbero preservare lenti di sabbia e pertanto si è ritenuto prudente includere anche la fascia ghiaiosa. Gli altri parametri predisponenti sono stati verificati per l'intero territorio comunale (Mw attesa al sito >5 e accelerazioni massime in superficie (pga) > 0.1g).

Data l'estrema eterogeneità vertico-laterale dei terreni si sono considerati a rischio di liquefazione tutti i settori sabbiosi e ghiaioso-sabbiosi con falda inferiore a 17 m. E' stata introdotta infatti una correzione che tenga conto dei recenti aumenti della quota media delle falde nel settore della pianura veneta.

Si tenga inoltre presente che la precisione con cui i confini litologici e tessiturali sono stati tracciati è proporzionale al numero di osservazioni condotte, dipende dalla cartografia tematica disponibile e dalle possibili variazioni in profondità dell'assetto stratigrafico che sempre contraddistingue un ambiente alluvionale. Questo include anche la fascia di terreni limosi, che in talune aree, come dimostrato dalle indagini geoelettriche, sono caratterizzati da spessori anche

considerevoli di termini granulari più grossolani (ghiaie e sabbie) sottostanti un primo orizzonte plurimetrico di limi.

La figura 9 mostra una prima elaborazione dove, incrociando la granulometria a sabbie e ghiaie prevalenti in superficie e la soggiacenza media della falda freatica, sono stati individuati tre settori (indicati in retino grigio nella figura) dove avviare i necessari approfondimenti di Terzo Livello.

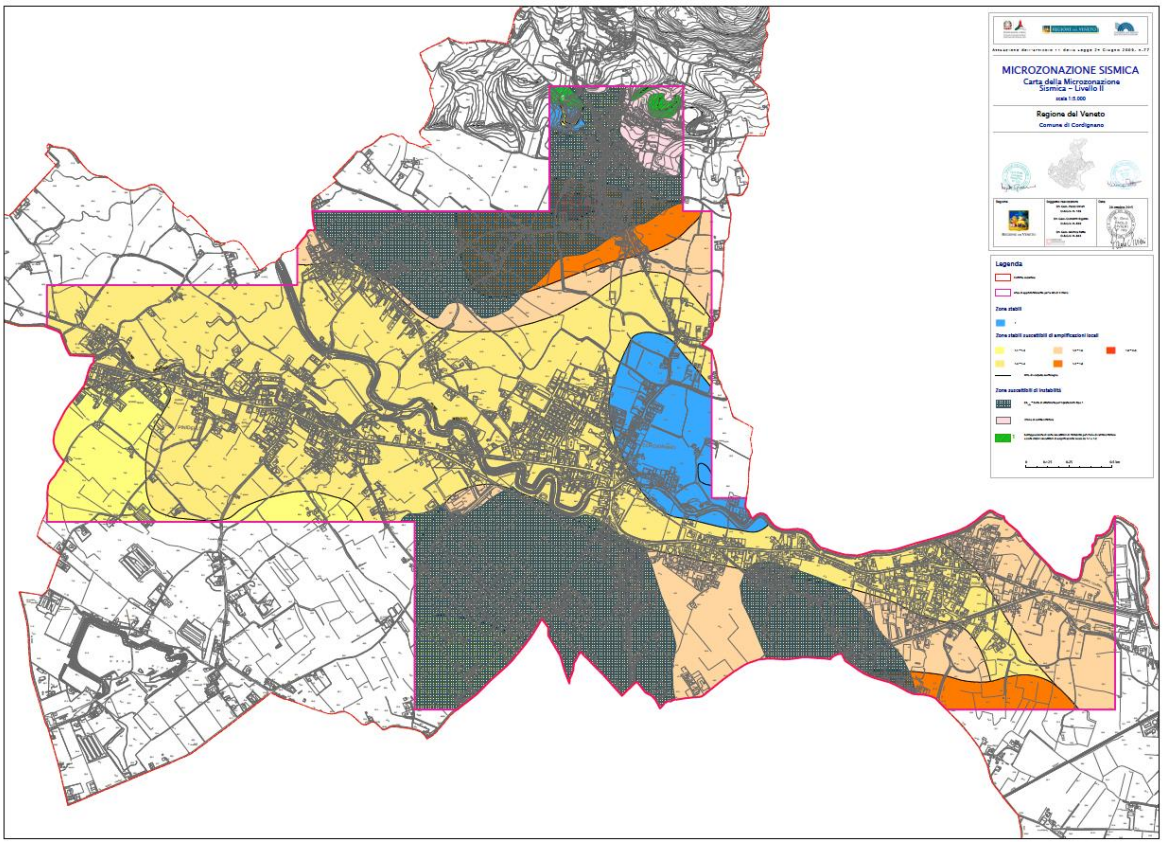

Figura 9 – Aree a rischio di liquefazione. Elaborazione preliminare ottenuta incrociando le informazioni sulla soggiacenza della falda con la granulometria (sabbie e ghiaie superficiali).

7 Approfondimenti analitici di Terzo Livello

Terminata la prima fase di analisi di Secondo Livello sì è verificata la necessità di proseguire con gli approfondimenti al Terzo Livello relativamente alla suscettibilità alla liquefazione. Inoltre, la recente approvazione delle *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0* ha imposto lo studio delle faglie segnalate nel Data Base Ithaca e presenti nella letteratura scientifica corrente.

7.1 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

L'analisi di Terzo Livello è stata condotta in corrispondenza delle aree suscettibili di liquefazione definite in base ai dati relativi alla granulometria prevalente in superficie e alla soggiacenza media della falda freatica. Per la delimitazione preliminare di tali aree erano state considerate sia le sabbie che le ghiaie.

7.1.1 Analisi delle Vs

E stato applicato il metodo di verifica alla liquefazione basato sull'esame della velocità delle onde di taglio (Vs). La validità del metodo è assicurata dal fatto che sia la velocità Vs e sia la resistenza alla liquefazione CRR sono determinate dai medesimi fattori (ad esempio: rapporto dei vuoti, stato di sforzo, storia dello sforzo, età geologica, ecc.). Inoltre, le Vs assicurano ulteriori vantaggi che possono essere così riassunti:

- contrariamente alle CPT, le misure di Vs sono possibili su qualunque tipo di substrato, sia soffice che addensato, sia nei fini che nelle ghiaie;
- la Vs è una proprietà meccanica intrinseca del suolo direttamente correlata al modulo di rigidità;
- la misura di Vs interessa un volume medio di terreno risultando maggiormente rappresentativa del sottosuolo ai fini della pianificazione;
- nella fase di realizzazione dello studio di MS viene solitamente eseguita una campagna di rilievi ReMi/MASW sufficientemente estesa all'intero territorio comunale consentendo un'adeguata rappresentazione dei parametri elastici, mentre di solito non vi è una paragonabile densità di prove geognostiche disponibili.

Sono state proposte numerose procedure semplificate per calcolare la resistenza alla liquefazione di un suolo granulare usando la velocità delle onde di taglio (Robertson *et al.*, 1992; Robertson e Write, 1997; Andrus e Stoke, 1997 e 2000; Andrus *et al.*, 2003 e 2004, Kayen *et al.*, 2013).

Esistono diversi grafici di correlazione CSR/V_{S1} fondate su banche dati che hanno esaminato decine di casi di siti che hanno subito liquefazione.

In tali studi la velocità Vs è corretta dalla sovrapressione usando l'equazione:

$$V_{s1} = V_s C_{Vs} = V_s (P_a/\sigma'_v)^{0.25}$$

Dove

V_{S1}= velocità delle onde di taglio corretta della sovrapressione;

V_S = velocità delle onde di taglio misurate in situ;
P_a = pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa
σ'_v = pressione effettiva alla stessa unità di misura di Pa

(secondo Scora, 1987, Kayen *et al.,* 1992; Robertson *et al.*, 1992; Kayen *et al.,* 2013)

Nella figura seguente il grafico tratto da Kayen *et al.*, 2013 mostra come la V_{S1} cambi in rapporto al CSR per valori variabili di Mw da 5.5 a 8.5.

Da questa figura si evince come, in condizioni predisponenti alla liquefazione (secondo i parametri Mw, granulometria, profondità della falda, ecc.), per valori di V_{S1} >215 m/s non si ha liquefazione (con relativamente bassi valori di CSR). Poiché secondo Kayen *et al.* (2013) per depositi superficiali si stabilisce che C_{VS} sia da considerare al massimo 1,5, ne consegue che il limite inferiore di Vs sia pari a: 143 m/s. Considerando in via cautelativa un C_{VS} pari a 1,1 il valore di Vs risulta comunque inferiore a 200 m/s.

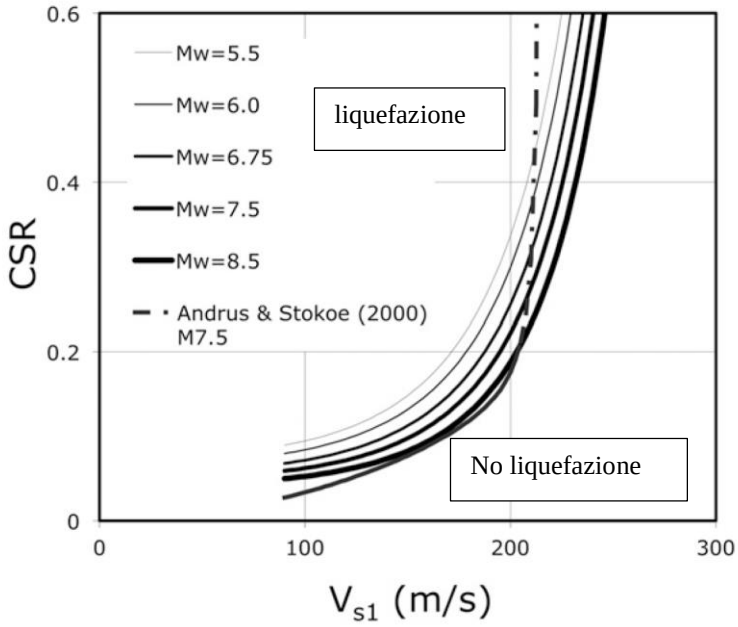

Fig. 6. Correlation curves for magnitudes 5.5–8.5 (P_L = 15%; σ'_{vo} = 100 kPa)

Figura 10 – Curve di correlazione CSR/V_{S1} secondo Kayle *et al.*, 2013.

Al fine di raffittire la rete di misura, per ottenere una sufficiente rappresentatività dei siti da investigare, sono state condotte ulteriori misure geofisiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi, che hanno completato la rete esistente. In particolare, sono state effettuate:

- 8 ulteriori registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) per individuare le frequenze di risonanza dei depositi;
- 10 ulteriori misure sismiche con tecnica ReMi (Refraction Microtremors) per la determinazione del profilo di velocità di propagazione delle onde S.

La scelta dei punti d'indagine è stata operata con l'obiettivo di definire al meglio i caratteri sismici delle coperture nelle aree interessate da possibile instabilità per liquefazione dei terreni.

I profili di Vs sono stati definiti con una scansione di 1 m.

Codice	VS30
026022L48	343
026022L49	282
026022L50	347
026022L51	235
026022L52	234
026022L53	438
026022L54	393
026022L55	444
026022L56	325
026022L57	339

Tabella 8 – Distribuzione dei valori di Vs_{30} – approfondimento III° livello

Codice	H/V	F°
026022P96	1.38	6.42
026022P97	1.16 – 1.14 – 1.03	12.38 – 0.64 – 0.91
026022P98	1.32	8.80
026022P99	-	-
026022P100	1.26 – 1.16 – 1.21 – 1.19 – 1.21	2.48 – 1.29 – 1.68 – 3.21 – 4.29
026022P101	1.12 – 1.03 – 1.05 – 1.09	2.01 – 0.63 – 1.21 – 9.32
026022P102	1.23 - 1.00 – 1.05	1.66- 0.64 - 2.74
026022P103	2.90 – 1.36 – 1.38 – 2.58	14.28 – 1.32 – 1.74 – 11.51

Tabella 9 – Distribuzione dei valori di H/V e F° – approfondimento III° livello

7.1.2 Approccio metodologico

Poiché la definizione dell'indice di liquefazione di un terreno richiede misure puntuali ottenute attraverso indagini geotecniche spinte almeno fino a 15 m di profondità, non disponibili con sufficiente densità per i settori investigati, si è deciso di procedere con un esame preliminare che consentisse una verifica alla liquefazione sulla base del valore di soglia di Vs_{30} pari a 200 m/s.

Dall'analisi dei profili di Vs disponibili per l'area di Cordignano (sia in corrispondenza delle aree di espansione che dei centri abitati) sono stati definiti, per ciascuna verticale di misura, i terreni potenzialmente liquefacibili con valore di Vs<200 m/s ed il loro relativo spessore, escludendo nel contempo i terreni con Vs>200 m/s che non rientrano nel campo della liquefacibilità.

I valori per ciascun ReMi sono riassunti nella tabella seguente.

Id. ReMi	Prof. Terreni < 200 m/s (m)
1	4
2	0
3	2
4	4
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	2
12	0
13	4
14	0
15	2
16	2
17	2
18	6
19	6
20	6
A	0
B	5
C	5
D	4
E	12
F	3
G	2
H	0
I	3
L	0

Tabella 10 – Profondità dei terreni con valore di Vs_{30} < 200 m/s

Sono stati incrociati i valori di profondità di falda con la profondità dei terreni potenzialmente liquefacibili per ciascun punto di indagine, ottenendo le elaborazioni riportate alle figure seguenti.

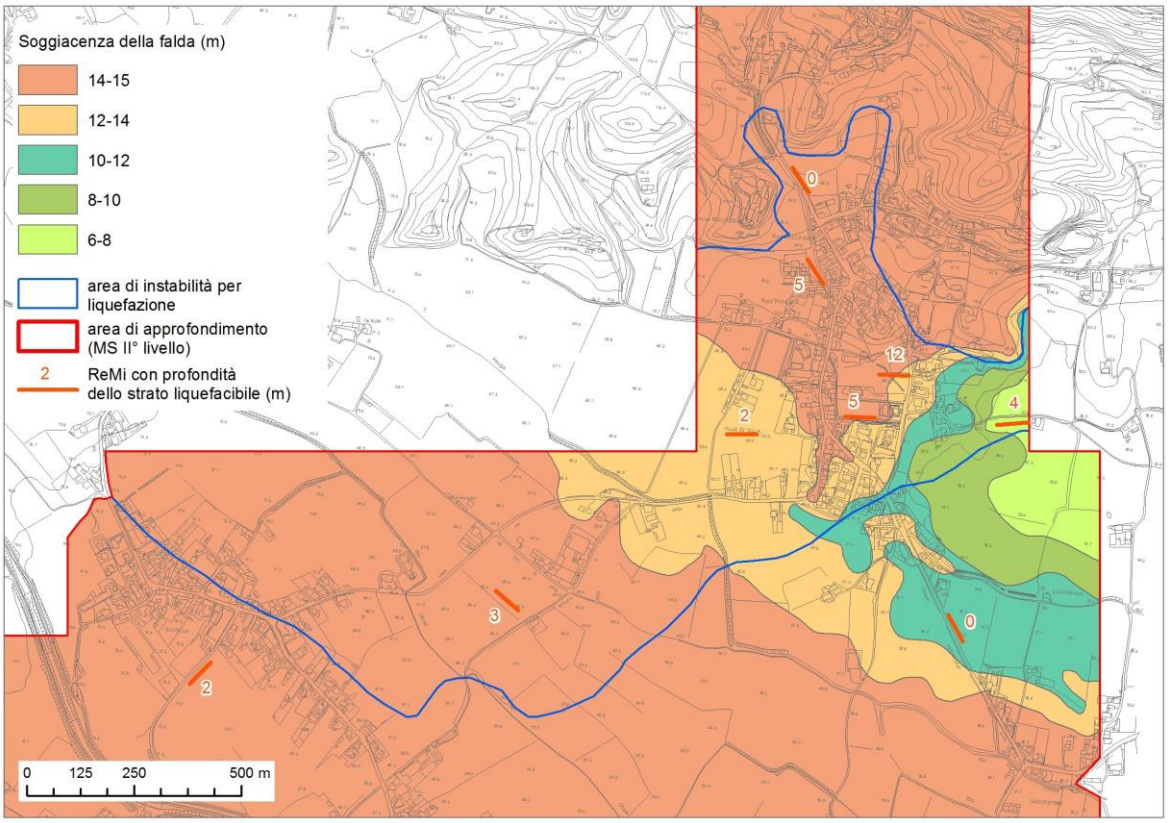

Figura 11 – Profondità degli orizzonti potenzialmente liquefacibili in presenza di falda freatica e carta della soggiacenza della falda (area nord).

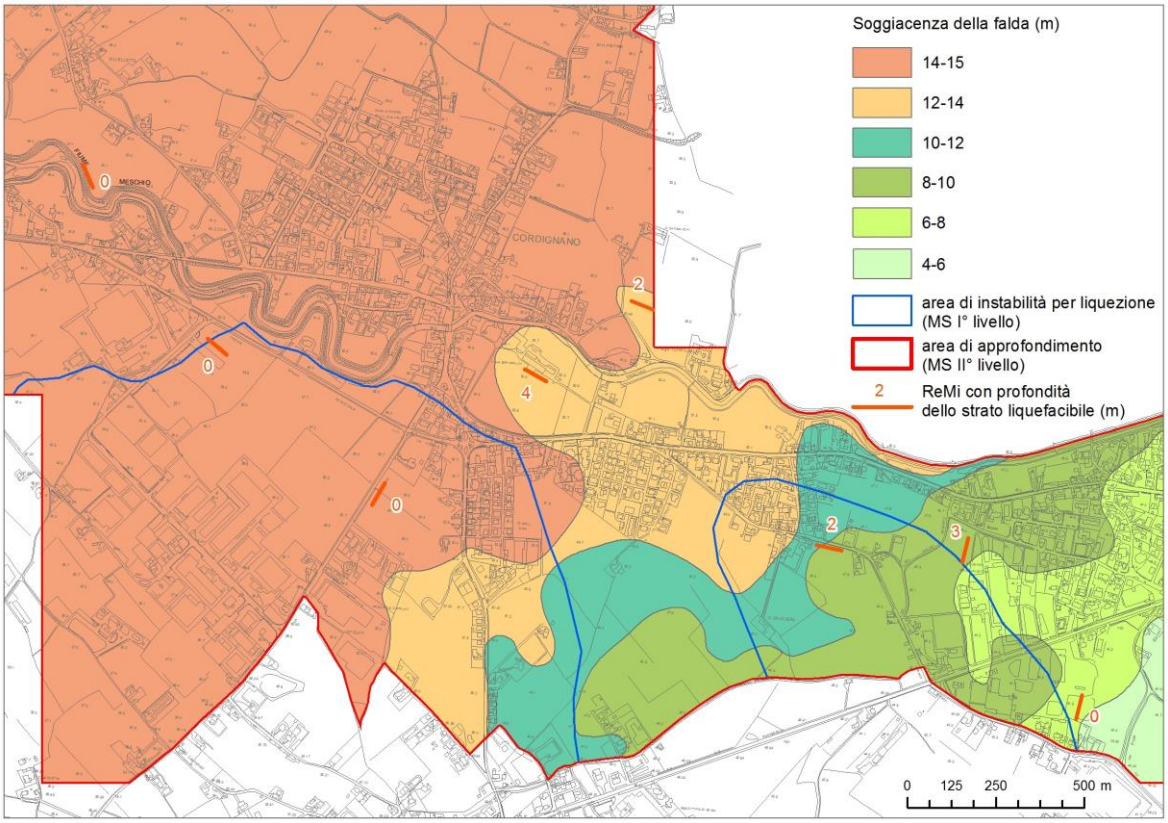

Figura 12 – Profondità degli orizzonti potenzialmente liquefacibili in presenza di falda freatica e carta della soggiacenza della falda (area sud).

I terreni, che in base al valore di Vs_{30} < 200 m/s sono potenzialmente liquefacibili, sono tutti a profondità superiori alla quota di falda.

Tutti i settori esaminati sono pertanto esclusi dal campo di liquefacibilità delle sabbie.

Si ritiene pertanto che i terreni di pianura inclusi nello studio di MS di Secondo Livello non siano liquefacibili.

Limiti e criticità

Si fa osservare come il numero di prove geognostiche disponibili, la loro profondità e distribuzione sia insufficiente a caratterizzare pienamente tutti i terreni di pianura che insistono nel territorio comunale. Inoltre, poiché il settore ghiaioso è formato da un impilamento di alvei braided che generano un'estrema eterogeneità vertico-laterale tipica dei terreni di alta pianura, si potrebbero preservare lenti di sabbia corrispondenti a fasce a minor energia deposizionale.

Si tenga inoltre presente che la precisione con cui i confini litologici e tessiturali sono tracciati è proporzionale al numero di osservazioni condotte, dipende dalla cartografia disponibile e dalle possibili variazioni in profondità dell'assetto stratigrafico che sempre contraddistingue un ambiente alluvionale.

Si raccomanda in fase di progettazione di qualunque opera la verifica alla liquefazione secondo le Norme NTC 2008. Di tale indicazione si dovrà tener conto nelle NTA allegate al PAT che dovranno essere opportunamente aggiornate.

7.2 ANALISI DELLE FAC - FAGLIE ATTIVE E CAPACI

7.2.1 La faglie del DB Ithaca nel comune di Cordignano

Il database ITHACA riporta la presenza, da nord a sud, delle Faglie di Montaner (codice 82300), del Cansiglio (codice 70301) appartenente al sistema della linea di Aviano, e del Montello (codice 70300)

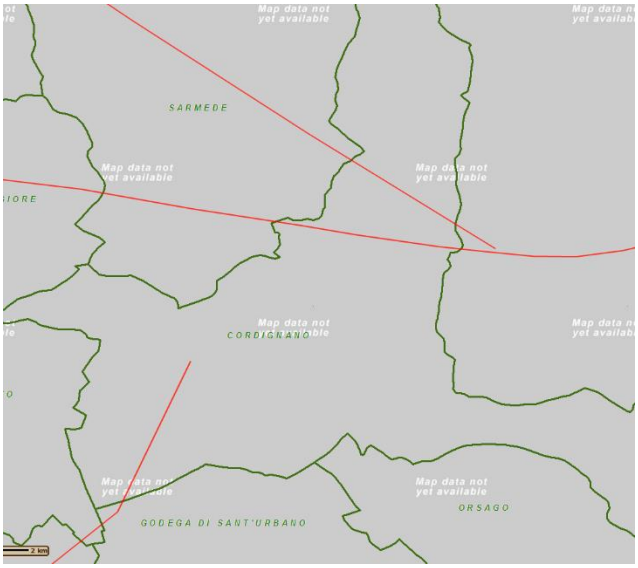

Figura 13 – Faglie desunte dal Data Base Ithaca presenti nel Comune di Cordignano.

La faglia del Montello è riportata in maniera largamente indicativa e interessa prevalentemente il settore sud-occidentale del comune dove non è prevista nuova edificazione.

Le faglie che potenzialmente si è ritenuto potessero interferire con i centri abitati e le aree di nuova edificazione sono pertanto le due poste a nord, e precisamente quella di Montaner e quella del Cansiglio.

L'ubicazione della Faglia di Montaner nel data base Ithaca è indicativa (non viene definita la scala di rappresentazione) e il suo tracciato lineare non pare adattarsi alla morfologia locale.

L'informazione sulla posizione della faglia del Cansiglio (che nel data base è definita come "faglia in corso di definizione") è desunta da Galatini F., Poli M.E., Zanferrari A. (2005) - Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with M > 6 in Eastern Southern Alps (Thiene-Udine Sector, NE Italy), Geophysical Journal International, 161,739-762). Di seguito è riportata la figura estratta dall'articolo.

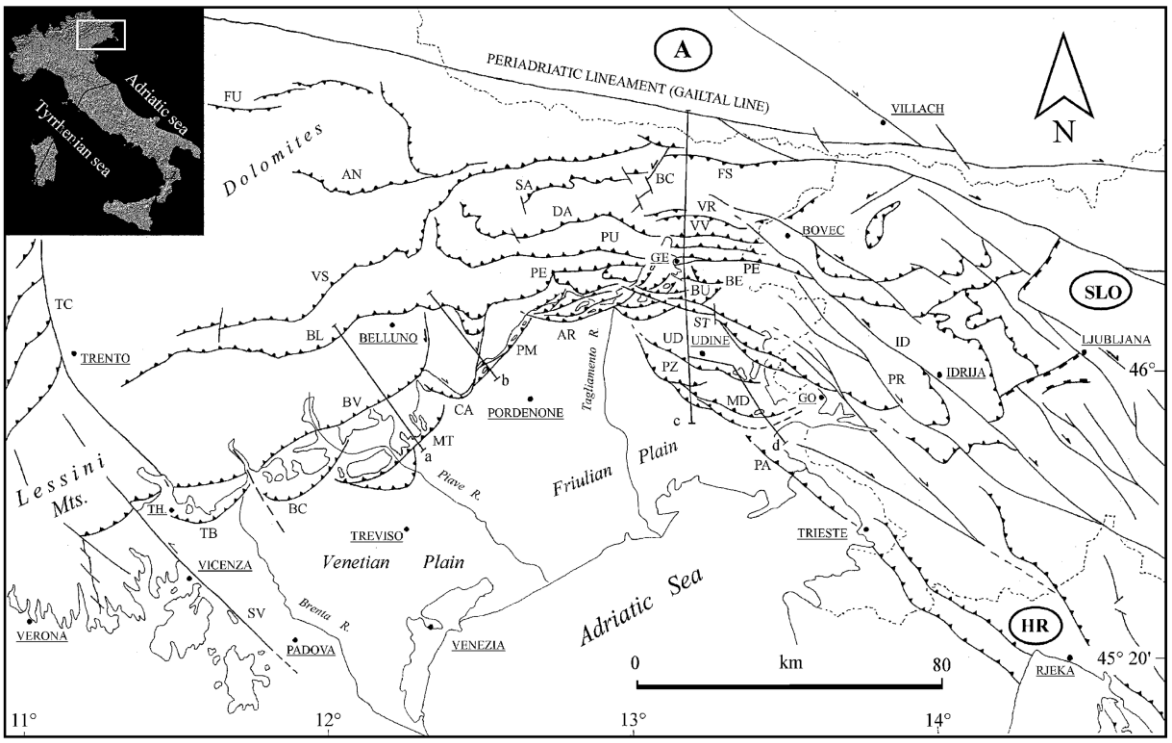

Figure 1. Structural model of NE Italy and W Slovenia. The letters a, b, c and d define the traces of the geological sections reported in Figs 11, 14, 4 and 6, respectively. Legend (towns): TH, Thiene; GE, Gemona; GO, Gorizia. Legend (structures): TC, Trento-Cles fault; SV, Schio-Vicenza fault; TB, Thiene-Bassano fault; BC, Bassano-Cornuda fault; BV, Bassano-Valdobbiadene fault; BL, Belluno fault; VS, Valsugana fault; FU, Funes fault; AN, Antelao fault; MT, Montello fault; CA, Cansiglio fault; PM, Polcenigo-Maniago fault; AR, Arba-Ragogna fault; PE, Periadriatic thrust; PU, Pinedo-Uccea fault; DA, Dof-Auda fault; SA, Sauris fault; BC, But-Chiarsò fault; FS, Fella-Sava fault; VR, Val Resia fault; VV, Val Venzonassa fault; BE, Bernadia fault; BU, Buia fault; ST, Susans-Tricesimo fault; UD, Udine-Buttrio fault; PZ, Pozzuolo fault; MD, Medea fault; PA, Palmanova fault; ID, Idrija fault; PR, Predjama fault.

Figura 14 – Carta estratta per Galadini *et al.*, 2005

Per entrambe le faglie la "location reliability" è pari a zero, manifestando così una scarsa affidabilità nella loro ubicazione.

Le faglie sono riportate nella Carta Geologica della Provincia di Treviso (Bondesan, Busoni, Preto, 2013, Sezioni 085010 - Cordignano - 085020 Sacile Ovest, scala 1:10.000), ma anche in questo caso si tratta di una determinazione sommaria poiché le linee tettoniche erano state tracciate sulla base della bibliografia nota e su base morfologica considerando l'allineamento del margine prealpino rispetto alla piana alluvionale dei Torrenti Friga e Carron.

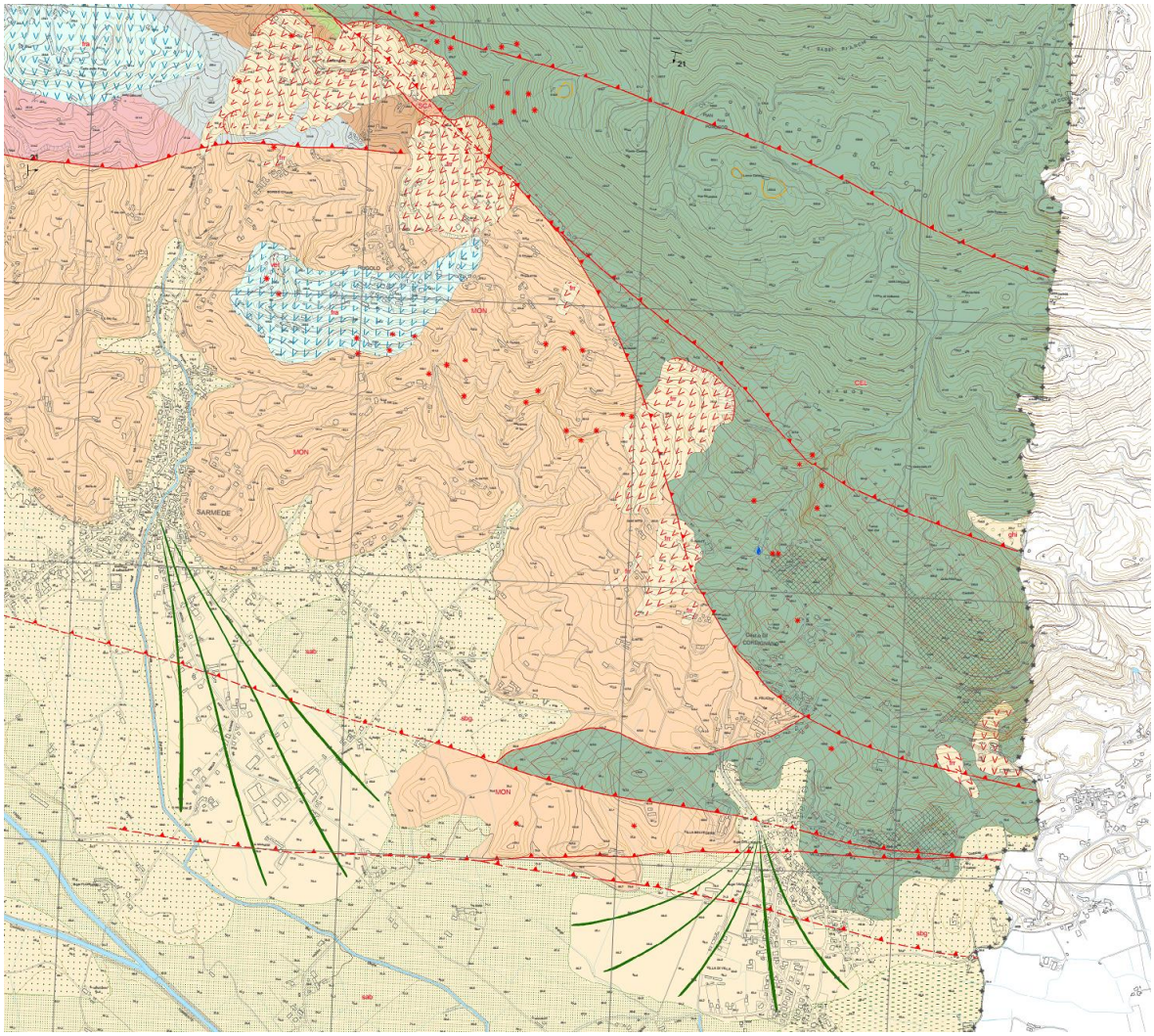

Figura 15 – Estratto di carta geologica, non in scala (Bondesan, Busoni, Preto, 2013, Sezioni 085010 – Cappella Maggiore - 085020 Sacile Ovest, scala 1:10.00). Si osservi l'ubicazione delle faglie.

PHISICAL AND GEOLOGICAL ATTRIBUTES	
GEOLOGIC SETTING	
SYNOPSIS	
FAULT NAME	Montaner
FAULT CODE	82300
MACROZONE	2
REGION NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Montaner
RANK	
AVERAGE STRIKE	120
DIP	0
LENGTH (Km)	10
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY	01:00
(MAPPING SCALE)	

LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)
ACTIVITY RELIABILITY	Low reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

REFERENCES				
FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
82300	CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991
82300	AA.VV.	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	1983
82300	PELLEGRINI G.B. & ZANFERRARI A. (1980)	Inquadramento strutturale ed evoluzione neotettonica dell'area compresa nei fogli 23 Belluno, 22 Feltre (p.p.)	CNR (1980) - Contributi conclusivi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, pubbl. 513 P.F. Geodinamica, Pubbl. 356(1), 359-396	1980
82300	PERUZZA L., ILICETO V. & SLEJKO D. (1989)	Some seismotectonic aspects of the Alpago - Cansiglio area (NE Italy)	Boll. Geof. Teor. Appl., 31, 63-75	1989
82300	SLEJKO D., CARRARO F., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C., ILICETO V., NICOLICH R., REBEZ A., SEMENZA E., ZANFERRARI A. & ZANOLLA C. (1987)	Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale	CNR, GNDT, Rend. 1, 82 pp.	1987
82300	ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDIN D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETTI F. & SAURO U. (1982)	Evoluzione neotettonica dell'Italia Nord-Orientale	Mem. Soc. Geol., 35, 355-376, Padova	1982
82300	ZANFERRARI A., PIANETTI F., MATTANA U., DALL'ARCHE L. & TONIELLO V. (1980)	Evoluzione neotettonica e schema strutturale dell'area compresa nei fogli 38 - Conegliano, 37 - Bassano del Grappa (p.p.) e 39 - Pordenone (p.p.)	CNR (1980) - Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. P.F. Geodinamica, Pubbl. 356 (1), 397-435	1980

Tabella 11 – Scheda Ithaca della Faglia di Montaner

FAGLIA IN CORSO DI DEFINIZIONE	
FAULT NAME	Cansiglio
FAULT CODE	70301
MACROZONE	0
REGION NAME	Friuli
SYSTEM NAME	Aviano line
RANK	
AVERAGE STRIKE	240
DIP	NW
KINEMATICS	REVERSE
LOCATION RELIABILITY	0
SURFACE EVIDENCE	
APPLIED TECHNIQUES	
EVIDENCE FOR CAPABILITY	
LAST ACTIVITY	
ACTIVITY RELIABILITY	
STUDY QUALITY	
REFERENCES	Galadini et al (2005)

Tabella 12 – Scheda Ithaca della Faglia del Cansiglio

GEOLOGIC SETTING	
SYNOPSIS	
FAULT NAME	Montello Line
FAULT CODE	70300
MACROZONE	2
REGION NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Montello Line
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	240
DIP	0
LENGTH (Km)	80
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:500000
LAST ACTIVITY	Holocene generic (<10,000)
ACTIVITY RELIABILITY	Medium reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	750
SLIP-RATE (mm/yr)	1.9
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	1000
MAX CREDIBLE SLIP (m)	2000000
KNOWN SEISMIC EVENTS	Sulla base del catalogo dei terremoti storici nell'area a Nord di Treviso si associano a questo thrust i seguenti sismi, con I>VIII: 778; 1268; 1859 d.C
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	6
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	FAIR
NOTES	La Max Credible Magnitude è ipotizzata da Benedetti et al. (2001)

REFERENCES				
FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
70300	CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991

70300	BENEDETTI L., TAPPONNIER P., KING G., MEYER B., MANIGHETTI I. (2000)	Growth folding and active thrusting in the Montello Region, Veneto, Northern Italy	Journal of Geophysical Research, Vol. 105, NO B1, Pages 739 - 766	2000
70300	CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991
70300	AA.VV.	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	1983
70300	FAVERO V. & GRANDESSO P. (1982)	Nuovi affioramenti di Pliocene marino nei dintorni di Bassano del Grappa (Vicenza)	Mem. Soc. Geol. It., 24, 71-77	1982
70300	OGNIBEN L. (1987)	Modello geodinamico della regione trentina ed aree circostanti	St. Trent. Sc. Nat., 63, 1-165	1987
70300	SLEJKO D., CARRARO F., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C., ILICETO V., NICOLICH R., REBEZ A., SEMENZA E., ZANFERRARI A. & ZANOLLA C. (1987)	Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale	CNR, GNDT, Rend. 1, 82 pp.	1987
70300	ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDIN D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETTI F. & SAURO U. (1982)	Evoluzione neotettonica dell'Italia Nord-Orientale	Mem. Soc. Geol., 35, 355-376, Padova	1982

Tabella 13 – Scheda Ithaca della Faglia del Montello

7.2.2 Normativa di riferimento

Si ritiene opportuno dare la definizione di "Faglia Attiva e Capace di rompere la superficie topografica (FAC)": in accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Le FAC possono essere classificate in due categorie in funzione delle incertezze nella loro identificazione.

Categoria (FAC_x)[1]	Definizione della FAC_x	Note esplicative
FAC_a	Certa e definita	Il piano di rottura principale e fenomeni cosismici ad essa collegati sono riconosciuti con certezza. In questa categoria sono comprese anche le strutture tettoniche secondarie e le zone di trasferimento tra segmenti distinti di una faglia attiva e capace.
FAC_b	Incerta	Gli elementi che compongono una faglia attiva e capace e i fenomeni cosismici collegati non sono cartografabili con certezza e/o dettaglio, per assenza di dati o perché non possono essere identificati (zone di trasferimento, *gap*, erosione, coperture, ecc.).

Tabella 14 - Categorie descrittive delle faglie attive e capaci e dei fenomeni cosismici (FAC_x).

Sulla base delle considerazioni esposte sopra risulta che le faglie presenti nel comune di Cordignano potevano essere classificate come Faglie Potenzialmente Attive e Capaci (FPAC), cioè faglie da sottoporre ai necessari accertamenti sulla geometria e sul grado di attività.

Nelle Zone di FAC è sufficiente che almeno due delle condizioni preliminari di seguito citate risultino verificate, perché sia necessario condurre uno studio di dettaglio (es. interpretazione

aerofotogeologica, rilievo di terreno, analisi geofisiche, analisi paleosismologiche) finalizzato all'individuazione dell'eventuale traccia superficiale di una faglia attiva e capace.

Le condizioni preliminari affinché si debbano eseguire studi di dettaglio sulle FAC sono:

- l'area oggetto di studi di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con Mw>5.5 (cfr CPT11; un'indicazione di massima potrebbe anche venire dalla zona della classificazione sismica nella quale ricade l'area in studio);
- la letteratura scientifica disponibile già riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo pleistoceniche-oloceniche;
- sono segnalate evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico-tecnici per la stesura delle carte di MS.

<u>Nel presente caso di studio sono verificate le prime due condizioni.</u>

Gli elementi generalmente indicativi dell'attività recente di una faglia sono di ordine sia geomorfologico (anomalie nelle forme del paesaggio, diversione di corsi d'acqua o di altri elementi lineari, scarpate di faglia) sia, ovviamente, tettonico (faglie che dislocano terreni tardo pleistocenici-olocenici). Una volta individuato l'andamento della faglia in superficie, al fine di accertarne l'attività recente e di delineare la traccia planoaltimentrica certa, è necessario utilizzare un approccio paleosismologico. Questo consiste nello scavo di trincee seriali attraverso la faglia che permettono lo studio analitico dei depositi fagliati, la scansione degli eventi di fagliazione e l'entità dei rigetti. La datazione dei terreni deve essere condotta tramite datazioni cronometriche (in genere radiometriche) e/o, nel caso, archeologiche. La datazione dei livelli fagliati e di quelli che eventualmente sigillano la deformazione è discriminante per accertare l'attività della faglia.

Se essa è sigillata da depositi più antichi di ~40.000 anni, può verosimilmente considerarsi non attiva, o comunque di bassa pericolosità (a meno che non interferisca con elementi ad alto rischio intrinseco, come centrali nucleari o impianti a rischio industriale rilevante).

Le analisi paleosismologiche possono essere precedute e seguite da analisi geognostiche e stendimenti geofisici. Ad esempio, le tomografie di resistività elettrica (ERT) si sono rivelate spesso utili per l'ubicazione di precisione della traccia della faglia in superficie e quindi per individuare i siti idonei allo scavo di trincee paleosismologiche.

Sulla base di questi elementi le Linee Guida FAC propongono una specifica procedura per lo studio delle faglie attive e capaci nell'ambito dei livelli di approfondimento della MS, definiti negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008).

La raccolta degli elementi informativi specifici per l'identificazione di una FAC_x in uno studio di livello MS3 (Gruppo di lavoro MS, 2008) ha i seguenti obiettivi:

- valutare quanto recente sia la sua attività. In particolare per le faglie potenzialmente attive e capaci, in questo livello di approfondimento si dovranno espletare le indagini necessarie per definire l'intervallo cronologico superiore della loro attività (indagini paleosismologiche e datazioni dei terreni fagliati);
- localizzare de visu (direttamente in trincea e/o su sezioni geofisiche) la traccia in superficie della faglia attiva e capace;
- definire la massima dislocazione attesa in superficie, la magnitudo attesa ed il tempo di ricorrenza della faglia;

- stabilire la geometria della FAC_x, evidenziando eventuali diversi approcci in caso si operi in condizioni post-evento, con riferimento, ad esempio, a sistemi di monitoraggio degli spostamenti/cedimenti differenziali.

La tipologia delle indagini è riportata nella tabella seguente.

ID	Gruppo Indagini	Indagini
Ind_1	Analisi aereofotogrammetriche	Foto aeree, ortofoto, immagini LiDAR, immagini da satellite
Ind_2	Rilievi geologici e geomorfologici	Rilevamenti di campagna e relativa cartografia
Ind_3	Indagini geofisiche e geognostiche	ERT, sismica a riflessione e rifrazione, GPR, sondaggi e saggi
Ind_4	Paleosismologia	Trincee paleosismologiche e datazioni cronometriche dei terreni fagliati

Tabella 15 – Indagini per lo studio di una FAC, raggruppate per tipologia e significatività (Gruppo Ind_4=massima significatività; da tabella A2, Linee Guida FAC, 2015)

Gli approfondimenti devono seguire il diagramma di flusso riportato nella figura seguente.

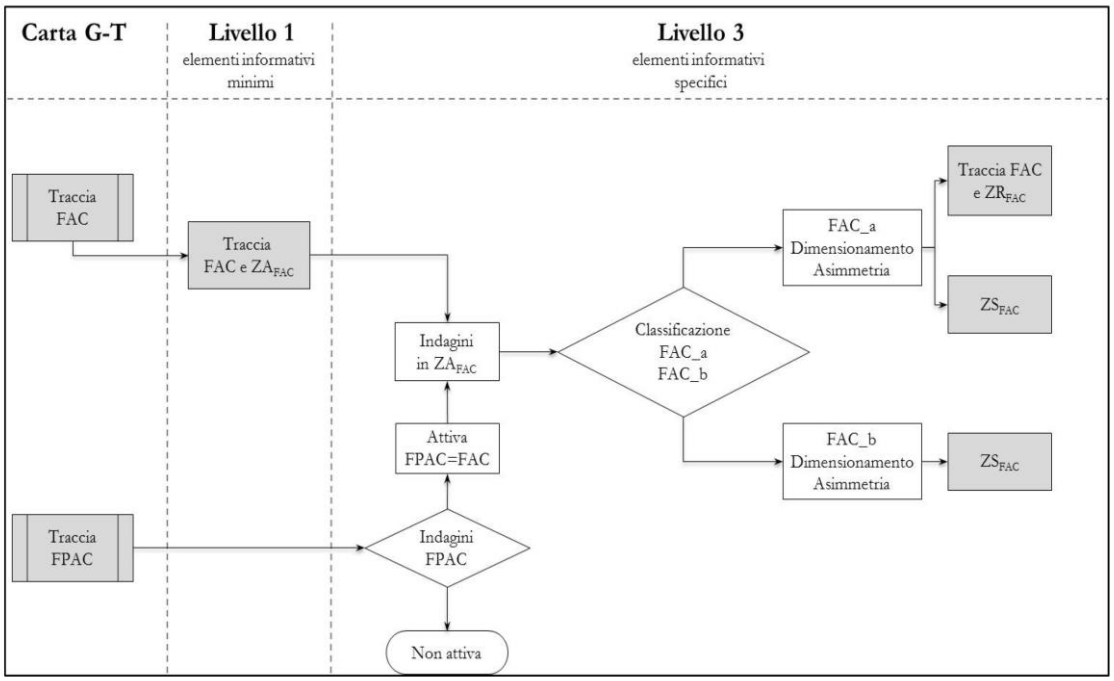

Figura 16 – Procedure di dimensionamento delle zone di faglia.

7.2.3 Programma delle indagini

Sulla scorta delle conoscenza disponibili, della bibliografia e della cartografia edita si è ritenuto che fosse necessario investigare due settori:

1) **la fascia al margine della pianura posta a ovest di Villa di Villa e del borgo di Santa Felicita**, al fine di individuare l'eventuale tracciato della faglia del Cansiglio, e
2) **la scarpata che margina i rilievi mesozoici**, la quale, pur essendo al di fuori della zona di approfondimento di Microzonazione di Secondo Livello avrebbe potuto includere in una eventuale Zona di Suscettibilità (ZS_{FAC}) della faglia di Montaner parte del borgo di Santa Felicita.

7.2.4 Gruppo indagini IND_1: Analisi aerofotogrammetriche e analisi Lidar

L'area di studio relativa alle due possibili FAC è stata analizzata attraverso fotointerpretazione di immagini aeree drappeggiate su modello digitale desunto da LIDAR. Sono state esaminate le serie aerofotografiche disponibili su diverse banche dati e portali cartografici (Portale Cartografico Nazionale, Portale Cartografico della Regione Veneto, Portale Cartografico della Provincia di Treviso, serie di immagini da satellite su piattaforma ArcGisOnline e Google Maps). Due foto aeree sono riportate nella tavola FotoAeree_16172_20160318_T02_00.

Nella tavola Lineamenti_16172_20160318_T03_00 è inoltre rappresentato il modello digitale del terreno con sovrapposti I principali lineamenti morfologici (si veda anche l'immagine seguente).

Figura 17 – Modello Digitale del Terreno e tinte ipsometriche e principali lineamenti morfologici.

Tra le direttrici individuate dal remote sensing si riconoscono alcune tracce legate alle dorsali dei rilievi subalpini, ai rilievi strutturali a hogback e altre connesse a morfologie antropiche (fronti di cava). Questo gruppo di forme non è stato ritenuto significativo ai fini della individuazione di FAC.

Si è ritenuto che le tracce più importanti, anche sulla scorta della bibliografia disponibile, potessero essere individuate nella scarpata che margina i rilievi mesozoici e nella fascia al margine della pianura posta a ovest di Villa di Villa e del borgo di Santa Felicita.

7.2.5 Gruppo indagini IND_2: rilievi geologici e geomorfologici

La seconda fase ha previsto un rilevamento di campagna con la realizzazione della carta geologica riprodotta nella tavola 04 (Geologica_16172_20160318_T04_00).

Per la sua redazione sono stati impiegati in parte i dati rilevati per la Carta Geologica della Provincia di Treviso alla scala 1:10.000 e la sottotesi di laurea inedita in Scienze geologiche dell'Università di Padova redatta da Giorgio Zaia (1984) - Rilevamento geologico del settore meridionale del Cansiglio, integrata da rilievi e osservazioni originali condotti ad hoc.

Figura 18 – Carta geologica di dettaglio del settore di Villa di Villa

Attraverso il rilevamento geologico sono state delimitate le aree caratterizzate da colluvi e da depositi grossolani, spesso in abbondante matrice fine. Le coperture sono particolarmente diffuse mentre gli affioramenti rocciosi sono in genere limitati e maggiormente presente in corrispondenza delle formazioni mesozoiche. E' stato definito con precisione il rilievo a hogback in conglomerato del Montello che segue il margine con la pianura che sembra essere parte di un'anticlinale che si sviluppa più a nord. I rilievi isolati presenti a ovest e a sud delle formazioni carbonatiche mesozoiche sono stati interpretati come antichi blocchi scivolati sulle formazioni argillose cenozoiche. E' stata

definita la posizione (incerta) del sovrascorrimento corrispondente alla linea di Montaner, in parte sepolto da probabili Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV) o frane complesse.

Per quanto riguarda il settore a ovest di Villa di Villa non sono state riconosciute evidenze certe di neotettonica, poiché le coperture interessano quasi tutti i bassi rilievi.

Mancando evidenze morfologiche della presenza di faglie si è deciso quindi di procedere con la terza fase di indagine attraverso una campagna di misure geofisiche (indicate nella carta geologica con apposita simbologia).

7.2.6 Gruppo indagini IND_3: indagini geofisiche

Indagini ERT

Il settore di Villa di Villa è stato rilevato attraverso l'esecuzione di 7 tomografie elettriche di resistività in corrente continua con spaziatura interelettrodica a passo variabile. Gli elettrodi sono stati infissi sino alla profondità di circa 30 cm dal p.c. per assicurare il miglior contatto galvanico con il terreno; il substrato è risultato essere costituito da prato erboso o da terreno agrario. L'accoppiamento è stato garantito attraverso la saturazione del terreno nei punti di contatto con una soluzione acquosa di cloruro di sodio.

Le misure sono state eseguite adottando una configurazione Wenner Alpha, dipolo-dipolo e polo-dipolo.

E' stata realizzata 1 acquisizione con passo interelettrodico pari a 2 m e profondità di investigazione 15 m e 6 tomografie con passo interelettrodico pari a 5 m e profondità di investigazione pari a circa 40 m. Diverse tomografie sono state eseguite in roll al 50%, valle a dire sovrapponendo metà dello stendimento a quello successivo, assicurando una maggior lunghezza dei profili, per un totale di 16 stendimenti (acquisiti con 3 array ciascuno per un totale di 48 sezioni ERT).

ID Soft MS	Codice interno	Roll
026022L41	ERT_L1	3
026022L42	ERT_L2	4
026022L43	ERT_L3	2
026022L44	ERT_L4	=
026022L45	ERT_L5	3
026022L46	ERT_LB	2
026022L47	ERT_LG	2

Tabella 16 – Relazione codici interni / ID Soft MS

Fondamentale punto di partenza per l'ubicazione delle linee geoelettriche è stata la consultazione di sezioni sismiche condotte da British Gas della profondità di alcuni chilometri e la cui ubicazione è riportata nella figura seguente. Esse sono presenti sia a sud-est che a sud-ovest di Villa di Villa.

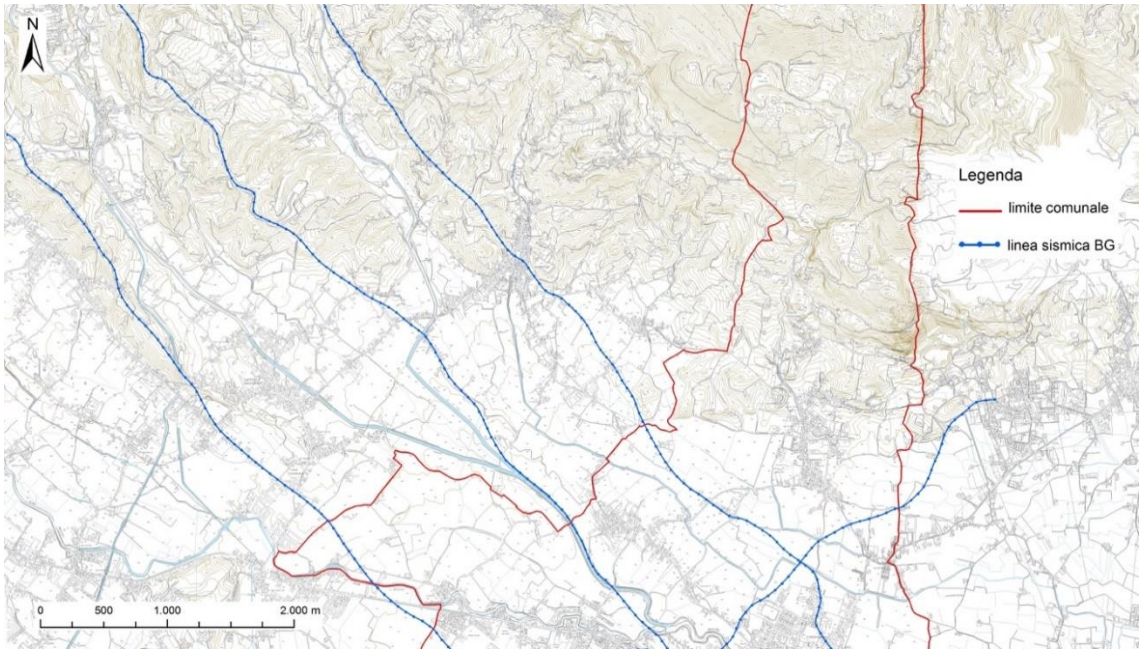

Figura 19 – Tracciato planimetrico delle linee sismiche BG.

In tali sezioni sismiche si manifestava con grande evidenza la presenza della faglia del Cansiglio negli strati più profondi, mentre non era altrettanto chiaro se, ed eventualmente come, la faglia raggiungesse la superficie. Prolungando il piano di faglia fino ad intersecare il suolo, la faglia poteva essere ipoteticamente individuata nel tracciato della figura 20 (linea verde).

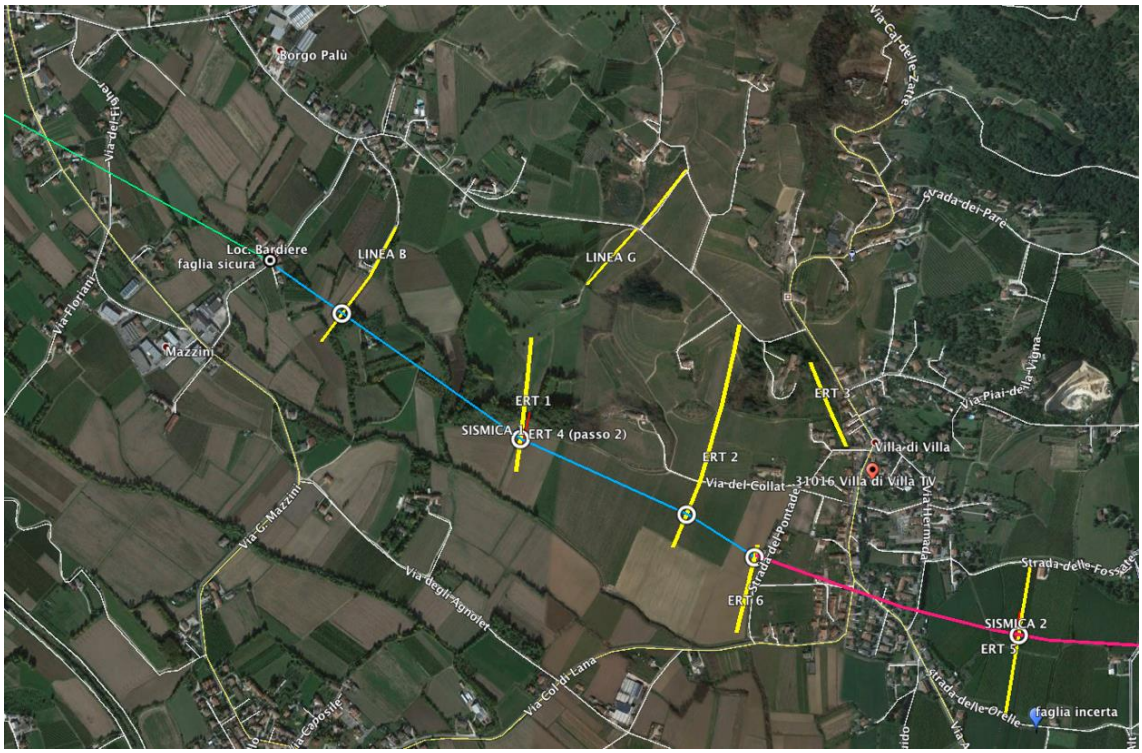

Figura 20 – Tracciato ipotetico della faglia del Cansiglio. In verde: tracciato profondo certo; in magenta: tracciato profondo incerto; in blu: tracciato interpolato. In giallo sono indicate le linee ERT, in rosso le sezioni sismiche a riflessione in onde S.

Anche a ovest di Villa di Villa le sezioni sismiche BG facevano ipotizzare (in modo più incerto), la presenza di una faglia. Anche in questo caso, prolungando il piano fino ad intersecare la superficie topografica era possibile ipotizzare la traccia indicata in colore magenta. Con tali premesse, il piano delle indagini geofisiche è stato mirato a:

1) verificare se lungo il tracciato ipotetico compreso tra le due faglie BG era possibile individuare delle discontinuità in grado di confermare l'ipotesi della presenza della faglia del Cansiglio, e
2) verificare se anche a nord vi fossero evidenze di altre faglie (che erano state ipotizzate dagli studi precedenti, pur senza riscontri diretti sul terreno o dati di sismica industriale).

Le sezioni tomografiche di resistività (ERT) sono riportate alla tavola 05 (Resistività_16172_20160318_T05_00).

L'analisi delle sezioni ERT permette di affermare quanto segue:

1) non vi sono evidenze di discontinuità profonde nelle sezioni che interessano in tutto o in parte il settore settentrionale (Linea B, Linea G, ERT 1, ERT 2, ERT 3) compatibili con la presenza di una faglia.
2) Lungo il tracciato ipotetico di collegamento (linea azzurra in figura 20) le tomografie che intercettano la possibile faglia manifestano terreni relativamente più resistivi a sud e più conduttivi a nord. Tale situazione è probabilmente legata alla deposizione di sedimenti più grossolani nella fascia meridionale e più fini sulla fascia pedemontana (legati ai colluvi e alle formazioni argillose presenti). Tali diverso stile deposizionale potrebbe essere legato alla presenza di una dislocazione che potrebbe aver influenzato sia il deflusso (e le conseguenti deposizioni) dei corsi d'acqua che provenivano da nord-est e sia la deposizione di colluvi ai piedi dei rilievi.

Indagini sismiche

Pur nella consapevolezza che il modello geologico e tettonico proposto presenta diverse incertezze e limitazioni, non avendo riscontrato altri possibili indizi della presenza di un faglia, si è deciso di procedere con un successivo approfondimento attraverso l'esecuzione di due profili sismici a riflessione in onde S. Le misure sono state condotte in corrispondenza delle linea ERT 1 e ERT 5, nei punti dove più evidente era il contrasto di resistività.

Il metodo a riflessione

Il metodo a riflessione prevede lo studio degli arrivi riflessi secondo le classiche tecniche impiegate nelle prospezioni petrolifere che prevedono l'acquisizione in copertura multipla, il filtraggio del rumore coerente ed incoerente, la stima della funzione velocità profondità, la correzione della curvatura degli arrivi riflessi, il sorting dei punti di riflessione comune e quindi la somma degli stessi a costruire un'unica traccia in incidenza pressoché verticale in corrispondenza di ciascun punto di riflessione comune ottenendo una sezione di riflettività.

Cenni sulla sorgente d'energia Vibroseis e confronto con sistemi impulsionali

La metodologia vibroseis è stata inventata da un gruppo di scienziati della Conoco (Continental Oil Company – USA) nel 1954. Con i vibroseis si possono ottenere dati a più alta risoluzione rispetto a sorgenti di tipo impulsionale (ad es. cannoncino sismico, esplosivo, massa battente) perché si può realizzare facilmente e in breve tempo, molti punti d'energizzazione e più ravvicinati fra di loro.

Il vibroseis è una sorgente d'energia a frequenza controllabile mentre le sorgenti impulsionali offrono uno spettro incompleto di frequenze. Siccome il terreno assorbe molte frequenze, il procedimento d'acquisizione dipende quindi dalla tipologia dei terreni presenti nell'area di studio.

La possibilità di disporre di un segnale di riferimento inviato nel terreno chiamato *sweep* e rilevato sulla piastra energizzante tramite i vibroseis, offre un notevole vantaggio in fase di elaborazione dei dati (procedimenti di deconvoluzione dei segnali) perché consente di conoscere esattamente l'ampiezza e la frequenza dei segnali immessi nei terreni e quindi di sapere quali segnali si sono propagati nel sottosuolo.

Il problema che si ha utilizzando una sorgente impulsionale è che non si conosce l'ampiezza dei segnali durante l'energizzazione, in quanto la funzione di trasferimento dell'energia nel terreno dipende dal tipo di terreno in cui avviene lo "scoppio".

Va sottolineato che obiettivi a poca profondità sono ben intercettabili con alte frequenze quindi l'abilità dell'operatore sta nello scegliere la sorgente d'energia che gli permetta d'inviare nel terreno segnali ad alta frequenza. Per obiettivi profondi si dovrebbero usare basse frequenze perché il terreno filtra via quelle alte ma per rilievi a profondità di qualche centinaia di metri diviene molto interessante e importante l'impiego di segnali ad alta frequenza. E' risaputo che se i dati sismici a riflessione sono stati registrati in maniera ottimale, la loro elaborazione e quindi l'interpretazione è decisamente agevolata e completata in tempi abbastanza contenuti.

Sismica a riflessione ad alta risoluzione con mini vibroseis

Questa tecnica adotta tutte le caratteristiche di una sismica a riflessione tradizionale ma i dati sono stati acquisiti ad altissima risoluzione (geofoni posizionati sul terreno ad una distanza massima di 60 cm tra loro).

Le energizzazioni sismiche sono state effettuate ogni due geofoni in modo da avere una copertura del segnale elevata e sono state eseguite mediante una sorgente mini-vibroseis in grado di generare onde sismiche di taglio.

In genere si utilizzano le onde di taglio (Onde S) perché esse consentono di caratterizzare meglio le geometrie del sottosuolo, hanno la capacità di intercettare bassi contrasti di rigidità tra le differenti unità litostratigrafiche ed inoltre presentano una risoluzione maggiore ed un'attenuazione minore rispetto alle onde longitudinali. Con questa tecnica si mantengono tutti i vantaggi della sismica a riflessione tradizionale, ovvero quelli di riuscire ad intercettare inversioni di velocità sismica in profondità (non riscontrabili con la sismica a rifrazione) e di avere una profondità d'indagine teorica circa uguale alla lunghezza dello stendimento dei geofoni. Utilizzando la sorgente vibrazionale si ha inoltre il vantaggio di generare treni di onde sismiche (sweep) a frequenze programmate e non più casuali come con l'utilizzo della massa battente; questo permette di operare in ambienti rumorosi come contesti urbani e elaborare i dati con modalità di filtraggio opportune che consentono di ottenere una elevata qualità del dato ottenuto.

Prima di iniziare la prospezione si eseguono dei test preliminari per valutare le frequenza ottimale del sito in esame e scegliere il range di frequenze opportuno da utilizzare (i.e. 20-160 Hz, lunghezza sweep 10 secondi). I risultati vengono forniti mediante stacks: sismosezioni a riflessione con indicazione dei Common Depth Points in ascisse (distanza) e tempi a/r o profondità in ordinate. Inoltre viene fornito il log di velocita sismiche (Vs) a qualsiasi profilo verticale lungo lo stack sismico.

Acquisizione dati Stendimenti

La sorgente vibratoria utilizzata per le due prospezioni sismiche a riflessione è costituita da un generatore di onde di taglio S polarizzato nei due versi di immissione delle vibrazioni nel terreno (tipo destra e sinistra). Esso funziona imprimendo quindi al terreno sollecitazioni di tipo orizzontale.

I dati sono stati registrati utilizzando sei sismografi Geometrics Geode (132 canali) con capacità di 64.000 campioni per traccia.

I parametri di acquisizione sono stati i seguenti:

Parametro	Valore
Tempo di registrazione	11 secondi
Intervallo di campionamento	1 millisecondo
Filtri	esclusi
Stendimento	2D variabile
Geofoni	n. 132 Orizz. 10Hz spaziati 0.6 m
Energizzatore	Vibroseis ElViS III onde S
Tipo Sweep	20-160 Hz lineare, 10 secondi
Intervallo P.V. (Punti Vibrazione)	1.2 m
Primo P.V.	12 m prima del geofono 1
Ultimo P.V.	12,6 m dopo il geofono 132
Stacks/P.V	1d+1s

Tabella 17 – Parametri di acquisizione

Interpretazione sintetica

I risultati sono rappresentati nella tavola 06 (Sismica_16172_20160318_T06_00) dove le sezioni sismiche sono state poste a confronto con le omologhe linee ERT.

La sezione S1 risulta avere una bassa risoluzione negli orizzonti superficiali. L'esame dei riflettori pare evidenziare una discontinuità, poco evidente, indicata con la linea rossa nella figura 21.

La sezione S2 sembra indicare con maggior evidenza la presenza di interruzioni dei riflettori collegabili ad una faglia, che non si riconoscono negli orizzonti più superficiali.

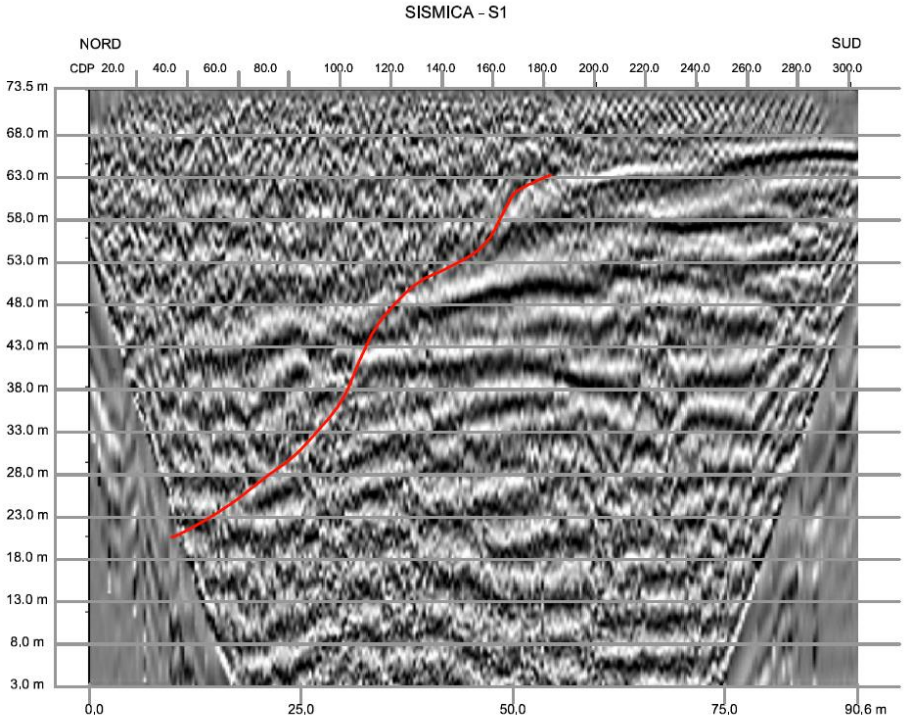

Figura 21 – S1: Sezione sismica a riflessione in onde S

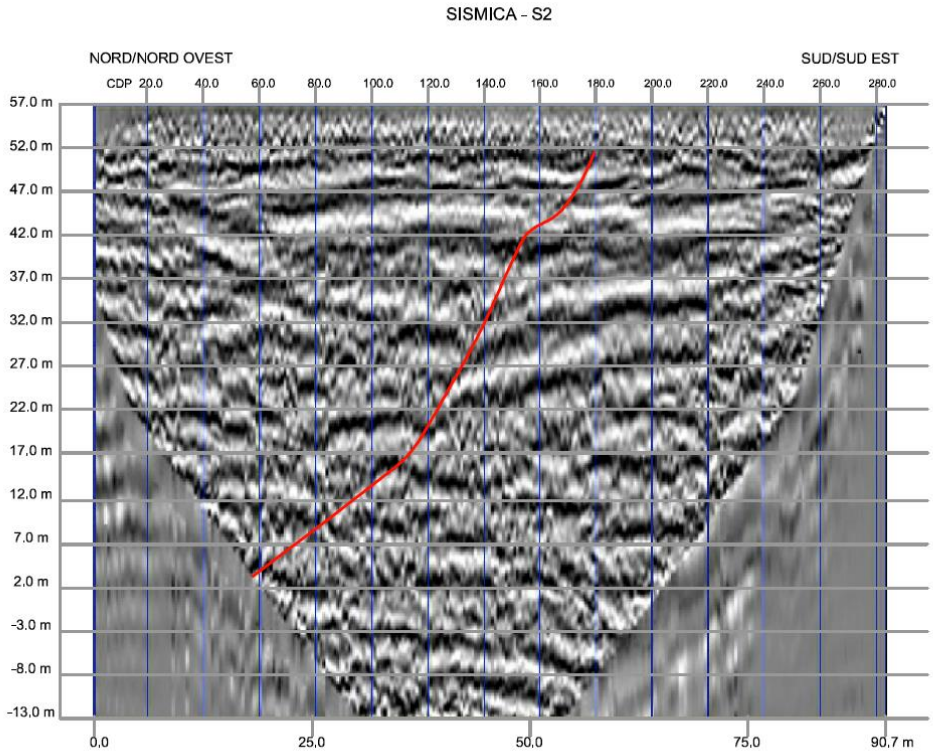

Figura 22 – S2: Sezione sismica a riflessione in onde S

L'indagine sismica, centrata sul possibile tracciato della faglia, ha messo in evidenza un possibile piano di faglia che è stato quindi investigato attraverso l'esecuzione di una trincea paleosismologica.

Figura 23 – Indagini sismiche in corrispondenza di S1

7.2.7 Gruppo indagini IND_4: paleosismologia

E' stata realizzata una trincea paleosismologica in corrispondenza di ERT1/S1. La sezione è stata disegnata e riprodotta nella tavola 07 (Paleosismica_16172_ 20160318_T07_00). La sezione è stata condotta tra i CDP 140 e 240.

Lo scavo è stato approfondito fino a circa 3-3,5 m su una lunghezza di 30 m.

Figura 24 – Trincea paleosismologica

Sono state descritti due tratti che si riferiscono alla parete ovest (settore nord) e alla parete est (settore sud).

Sono state distinte le seguenti unità (si faccia riferimento alla tavola fuori testo 09).

TRINCEA PALEOSISMOLOGICA VILLA DI VILLA (CORDIGNANO)

PARETE OVEST

Unità 1a – ghiaie con ciottoli da sub-arrotondati a sub-angolosi (diametro medio 1-2 cm, max. 3-4 cm) a supporto di matrice. Composizione prevalentemente carbonatica. La matrice è microruditica-sabbiosa.

Presenza di laterizio rosso.

Unità 1b – barre fluviali con alla base una lente pluridecimetrica di peliti sabbiose ciottolose. I ciottoli sono da sub-arrotondati a sub-angolosi con diametro medio da 0,5 a 1 cm; numerosi i chips di peliti grigio-azzurre con diametro di 2-3 cm. Presenza di laterizi , frustoli carboniosi e legno. Al corpo di peliti ciottolose seguono alternanze cm dm di limi e arenarie da grossolane e fini ben stratificate. Le sabbie sono ibride (prevalentemente carbonatiche) con ciottoletti di selce nere e bianche;

Unità 1c - intercalazione di livello ghiaioso grossolano caotico ad alta energia probabilmente (debris?) con base erosiva e clasti a supporto di matrice.

Al di sopra di 1c riprende la sedimentazione sabbiosa grossolana di ambiente fluviale braided (**Unità 1d**).

Unità 2 – corpo colluviale di spessore massimo di 60 cm circa, dato da silt ciottoloso con ciottoli con diametro medio fra i 2-4 cm. (composizione : cgl del Montello; calcari di piattaforma, spesso arenitizzati). La matrice è bruna. Presenza di abbondanti frammenti di laterizi

Unità 3 - sabbie fini, limose, massive. La porzione superiore è maggiormente limoso-argillosa. Diffusa pedogenizzazione (screziature, bioturbazioni), clasti arenitizzati. **L'Unità 3b** rappresenta un corpo detritico derivante dall'erosione laterale della barra.

Unità 4 – colluvio limoso-argilloso con ciottoli abbondanti (diametro medio 1-2 cm) di colore bruno; passante a un corpo limoso-argilloso con ciottoli via via sempre più rari nella porzione terminale (**Unità 4b**).

Presenti lenti di spessore dm di sabbie anche grossolane.

TRINCEA PALEOSISMOLOGICA VILLA DI VILLA (CORDIGNANO)

PARETE EST

Unità 1a – Lente plurimetrica di ghiaia a clasti cm (max 5 cm, rari clasti con L=15 cm) arrotondati e spesso embricati (trasporto verso Est). Sempre abbondante la matrice (matrix supported). Alcuni ciottoli sono improntati. Composizione: prevalentemente carbonatica, rare selci. Nella porzione superiore della lente i clasti carbonatici sono arenitizzati.

Unità 3: sabbie fini, limose, massive, giallastre con diffusa pedogenizzazione (screziature, bioturbazioni). Composizione carbonatica (rx HCl), miche bianche diffuse. Presenza di livello fossilifero a piccoli gasteropodi. Presenti sparsi ciottoletti di peliti azzurre cm e ciottoletti arenitici alterati. Nella porzione superiore le sabbie si fanno più limoso-argillose (lente 2a). Massimo spessore 1,5-2 m circa.

Unità 4: argille siltose massive con abbondanti screziature di colore aranciato fino a marrone scuro. Sparsi ciottoletti di varie dimensioni (da mm a pluricm). La lente è molto ricca di materiale organico dato da carboncini e radici in posizione sia verticale che orizzontale.

Sono presenti diffusi ciottoli profondamente alterati e laterizi mm rossi spesso con cotica bruna.

Nella porzione superiore del livello bioturbato si osserva una lente plurim di argille di colore azzurro (lente 4a).

Unità 5: Al top dell'unità 4 è presente un livello cm-dm ciottoloso a clasti da cm a dm allineati che corre suborizzontale lungo tutta la lunghezza della trincea (lato est). A circa 20 m dall'inizio della trincea, lungo questa superficie è stata rilevata la presenza di un mattone (circa 20-25 cm di lunghezza) a pasta gialla. Si presume quindi che l'allineamento di clasti rappresenti un manufatto antropico (tratturo).

Unità 4b: livello di circa 80 cm di argille siltose di color grigio-marrone.

Unità 6: suolo agrario grigio-scuro.

Considerazioni

La sequenza sedimentaria descritta è compatibile con un'aggradazione fluviale ad energia variabile, con deposito sia di sedimenti fini (argille) che più grossolani (sabbie e ghiaie). Le sequenze fluviali mostrano intercalazioni di colluvi, talora ad alta energia, assimilabili a mud flow/debris flow, provenienti dai vicini versanti, che si osservano solo sul settore nord della trincea.

La sequenza è sigillata da sabbie fluviali e colluvi in giacitura orizzontale per uno spessore superiore ai 2 m.

La presenza di abbondante materiale antropico (laterizi e ceramica) permette di stabilire che la sedimentazione è avvenuta in epoca storica.

Gli orizzonti sedimentari non mostrano evidenze di fagliazione. Gli strati da 1b a 1d e 3b sono arcuati, tuttavia la loro giacitura è compatibile con una normale sequenza di aggradazione in corrispondenza della sponda di un alveo. Non vi sono evidenze certe che siano stati interessati da fenomeni di deformazione tettonica.

Tuttavia, nell'ipotesi (non dimostrabile) che ciò possa essere avvenuto, i movimenti si sarebbero verificati subito dopo la deposizione delle barre (già inclinate per normale aggradazione laterale) e l'eventuale contributo della tettonica non sarebbe distinguibile dalle normali giaciture sin-deposizionali.

Alla luce delle osservazioni svolte si può asserire che:

1) Non vi sono evidenze che sia presente una faglia.
2) Nel caso i depositi di barra (1b, 1c, 1d, 2) e i colluvi (3b) fosse stati interessati da deformazioni indotte dalla presenza di una faglia più profonda, si tratterebbe di una faglia attiva (<40.000 anni).
3) La giacitura orizzontale e l'assenza di deformazioni o piani di faglia nelle unità 3 e 4 che sigillano i depositi sottostanti permette comunque di affermare che l'eventuale faglia non è "capace".

Le indagini realizzate (Ind_01, Ind_02, Ind_03) e le osservazioni condotte in corrispondenza della trincea paleosismologica (ind_04), evidenziano come l'eventuale faglia del Cansiglio ipotizzata lungo il tracciato di figura 20 non sia classificabile a Cordignano come FAC – Attiva e Capace.

Poiché esistono evidenze che non permettono di escludere la sua presenza lungo I settori esaminati, il tracciato della faglia rappresentato nella carta geologica viene considerato **incerto** e la faglia **potenzialmente attiva**. La faglia non viene considerata ai fini della MS di Secondo Livello.

Caratterizzazione della Faglia di Montaner

Relativamente alla faglia di Montaner, il suo tracciato è stato ipotizzato sulla base degli affioramenti e della presenza della scarpata che si sviluppa sulle formazioni mesozoiche. Non sono state riscontrate evidenze superficiali dirette.

Dall'analisi geologica condotta si ritiene che essa possa essere prudenzialmente classificata come Faglia Attiva e Capace Incerta (FAC_b). È stata definita quindi una Zona di Suscettività ZS_{FAC} della dimensione raccomandata di 300 m. Poiché la ZS_{FAC} è asimmetrica rispetto alla traccia del piano principale di rottura della faglia attiva e capace, sono stati differenziate le aree FW e HW con un rapporto 1:2 secondo quanto indicato nella tabella A3 delle Linee guida FAC.

La faglia non attraversa la zona interessata dallo studio di MS di Secondo Livello, tuttavia è stata studiata per verificare se l'eventuale buffer potesse interessare il borgo di Santa Felicita.

Come si evince dalla carta della Microzonazione Sismica di Secondo Livello la ZS_{FAC} non interessa il centro abitato o le zone di espansione.

7.2.8 Disciplina d'uso del suolo in zone di faglia attiva e capace

La pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate dalla presenza di faglie attive e capaci è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana, tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi.

La disciplina di cui alle Linee Guida FAC fa riferimento convenzionalmente a tre categorie di aree urbanistiche:

- aree edificate (recenti o consolidate);
- aree non edificate (con previsione di trasformazione);
- aree non urbanizzate a trasformabilità limitata.

Ciascuna delle tre categorie di aree è definita da specifici caratteri insediativi, infrastrutturali e di destinazione d'uso la cui relazione con la presenza di faglie attive e capaci va sottoposta a specifiche normative.

In particolare le tre categorie di aree urbanistiche possono essere definite nel modo seguente:

Aree edificate (recenti o consolidate)

Aree urbanizzate ed edificate di diverso livello di completamento, consolidamento e stratificazione. Comprendono centri storici, tessuti consolidati, aree in completamento con usi residenziali, produttivi, a servizio o misti.

Aree non edificate (con previsione di trasformazione)

Aree non edificate, parzialmente edificate o con previsione di nuovi insediamenti - residenziali, produttivi, a servizio o misti - di manufatti edilizi, di infrastrutture e reti. Tali aree possono trovarsi sia in adiacenza ad aree edificate, sia in contesti ancora non urbanizzati.

Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata

Aree non edificabili o con limitate previsioni di edificabilità, per destinazione d'uso (aree agricole).

La disciplina degli usi del suolo e delle previsioni di trasformazione nelle zone di faglia attiva e capace viene articolata in due tipi di indicazioni:

- indicazioni urbanistiche, che definiscono possibili regolamentazioni dallo strumento urbanistico anche in termini di categorie di intervento e di destinazioni d'uso e modalità attuative;
- indicazioni edilizie, che definiscono per l'edilizia esistente e di nuova costruzione, con riferimento alla normativa tecnica antisismica, quali categorie di intervento sono possibili e su quali classi d'uso5.

Nelle **Aree non edificate** (con previsione di trasformazione) e nelle **Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata**, ricadenti in ZS_{FAC}, è prevista la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): - interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.
Nuova costruzione	Limitato	E' consentita la nuova edificazione solo per la classe d'uso I.

Tabella 18 – Disciplina d'uso in ZA_{FAC} in aree non edificate o non urbanizzate (Linee Guida FAC, 2015)

7.3 CARTA DELLA MICROZONAZIONE SISMICA - LIVELLO II

La carta è stata costruita sulla base delle misure di Vs_{30}, integrate da altre misure condotte all'intorno del territorio comunale, localizzate fuori carta. La carta ha un buon grado di risoluzione alla scala 1:5.000, tuttavia l'accuratezza cartografica è funzione della densità dei dati e pertanto è consigliabile che in sede di interventi di espansione nelle aree di approfondimento esaminate o di adeguamento nel centro storico siano condotte specifiche e ulteriori indagini e analisi, secondo quanto normato dalle NTC08.

I valori di Fa sono stati calcolati utilizzando i picchi di frequenza del rapporto H/V e il valore di Vs_{30} caratteristico del sito. In questo modo sono state ricavate le profondità dell'interfaccia sismica che può corrispondere al substrato sismico (con Vs>800 m/s) oppure ad un orizzonte in grado di generare un contrasto di impedenza acustica rilevabile, in questo caso anche inferiore a 800 m/s. Tale scelta è stata motivata dalla scarsità di informazioni disponibili sul substrato geologico-sismico. L'eventuale sovrastima delle amplificazioni che ne consegue è stata considerata in termini cautelativi ai fini della microzonazione di Secondo Livello.

L'intervallo dei valori di Fa rappresentati in carta oscilla tra 1.0 e 2.0. I valori massimi sono concentrati nel settore a nord del capoluogo in prossimità di Villa di Villa e in corrispondenza di una piccola area al margine sud-orientale. Per il settore del conoide di Villa di Villa è ipotizzabile la presenza di un substrato prossimo alla superficie che enfatizza gli effetti di risonanza.

I valori di amplificazione sono decrescenti verso il centro del territorio comunale.

A nord-est del capoluogo e in corrispondenza del primo rilievo occidentale (lato nord della carta) sono rappresentate due aree deamplificate (stabili). I valori ottenuti mostrano una generale congruenza con l'assetto geologico superficiale e una buona sovrapposizione della Carta Geologico-Tecnica con la Carta di Microzonazione di Secondo Livello.

Non sono state identificate aree suscettibili di liquefazione.

Non sono state riconosciute faglie attive e capaci all'interno del settore studiato.

In corrispondenza dell'angolo nord-orientale della carta è presente una fascia ZS_{FAC} generata dalla presenza della faglia di Montaner, esterna all'area di studio, classificata come Faglia Attiva e Capace Incerta (FAC_b). Il buffer non interessa in centro abitato di Santa Felicita.

7.4 COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Il territorio comunale presenta una discreta variabilità morfologica e geolitologica. Le coltri sedimentarie sono alquanto differenziate sia nei caratteri tessiturali, che nelle geometrie.

La profondità di investigazione del sottosuolo è generalmente limitata alle prime decine di metri, mentre sono praticamente assenti i dati disponibili alle profondità maggiori e nessun sondaggio intercetta il substrato roccioso che rappresenta poi il bedrock sismico.

Le valutazioni sullo spessore dei sedimenti di pianura sono state condotte attraverso misure geofisiche indirette e pertanto risentono del grado di approssimazione intrinseco ai metodi di misura e di elaborazione impiegati e anche delle semplificazioni suggerite dalle Linee Guida.

Per quanto riguarda le prove eseguite ai margini del rilievo si tenga presente che ci si allontana dalle condizioni di unidimensionalità, e quindi non sono sempre verificate le condizioni teoriche che stanno alla base dei metodi applicati e questo vale in particolare per le misure HVSR.

Nello studio delle FAC sono state condotte numerose indagini geofisiche; le prospezioni hanno consentito di investigare le proprietà geofisiche delle rocce e dei terreni; esse costituiscono delle

indagini indirette, con tutte le intrinseche limitazioni. In assenza di un sufficiente contrasto di resistività o di velocità sismica, le prove possono non individuare eventuali discontinuità presenti nel sottosuolo.

I risultati e le considerazioni espresse nel presente studio sono funzione della densità delle indagini condotte, dei limiti strumentali, delle conoscenze teoriche e del modello geologico elaborato sulla scorta delle informazioni disponibili.

Il presente studio è parte dello strumento urbanistico comunale, ma nel caso di esecuzione di opere o di interventi nel territorio non può in alcun modo sostituire le indagini e le elaborazioni puntuali, esplicitamente previste alle NTC 2008, con le successive modifiche e integrazioni.

8 Bibliografia

Bard, P.Y. and Bouchon, M.; 1985: The 2D resonance of sediment-filled valleys. Soc. Am., 75, 519-541.

Bosellini A. and Doglioni C. (1988): Progradation Geometries of Triassic Carbonate Platforms of the Dolomites, and Their Large-Scale Physical Stratigraphy. AAPG excursion in the Dolomites: Guide book. Mediterranean Basins - Nice Conference, Field Trip n. 6, 1-45.

Bondesan A. e Busoni S.; 2015: Geomorfologia della provincial di Treviso, Grafiche Antiga, 176 pp, due carte allegate in scala 1:250.000.

Bondesan A., Busoni S., Preto N.; 2013: Carta Geologica della Provincia di Treviso. Sezione 085050 Godega di S. Urbano. Scala 1:10.000.

Bondesan A., Busoni S., Preto N.; 2013: Carta Geologica della Provincia di Treviso. Sezione 085010 Cordignano. Scala 1:10.000

Burrato P., Ciucci F. and Valensise G.; 2003: An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northen Italy: Evidence for active blind thrust faulting. Ann. Geophys., 46, pp. 865-882.

Castellarin A.; 2002: The Italian side of the Transalp seismic reflection profile-geological overview. Boll. Soc. Geol. Ital., Spec. Vol. 1, pp. 61-65.

Castellarin A. and Cantelli L.; 2000: Neo-Alpine evolution of the Southern Eastern Alps. J. Geodyn., 30, 251-274.

Dal Piaz G.V., Antonelli R., Barbieri G., Dal Prà A., De Zanche V., Grandesso P., Mietto P., Sedea R., Zanferrari A. and Spagna V.; 1988: Carta Geologica del Veneto Scala 1:250.000. Note illustrative. Servizio Geologico d'Italia and Regione Veneto, SELCA, Firenze, Italy, 31 pp.

Doglioni C.; 1990: Thrust tectonics examples from the Venetian Alps. Studi Geol.

Francese R. (2014, inedito): La tecnica HVSR.

Gruppo di Lavoro MS; 2008: Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome. Dipartimenti della Protezione Civile, Roma "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica".

Loke; 2001: Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies.

Mazzola M.; 2003: Carta Freatimetrica Provinciale – deflussi di magra, rilievi marzo 2002, Provincia di Treviso – Assessorato alle Politiche per l'Ambiente.

Mazzola M.; 2003: Carta della Soggiacenza– Idrogeologia e carta freatimetrica della provincia di Treviso. Provincia di Treviso – Assessorato alle Politiche per l'Ambiente.

Meletti C. and Valensise G.; 2004: Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italy, 38 pp.

Meletti C., Patacca E. and Scandone P.; 2000: Construction of a seismotectonic model: The case of Italy. Pageoph, 157, pp. 11-35.

Nakamura, Y.; 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30, pp. 25–30.

Nakamura, Y.; 2000: Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.

Nogoshi, M. and Igarashi, T.; 1971: On the Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2) (in Japanese with English abstract), Jour. Seism. Soc. Japan, 24, pp. 26-40.

Piano di Assetto del Territorio del comune di Cordignano (TV); 2013: Relazione geologica.

Park, C. B., Xia, J., and Miller, R. D.; 1998: Ground roll as a tool to image near-surface anomaly: 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, pp. 874–877.

Regione del Veneto "Linee guida per l'esecuzione di studi di microzonazione sismica", Allegato A.

Slejko D., Carulli G.B., Carraro F., Castadini D., Cavallin A., Doglioni C., Iliceto V., Nicolich R., Rebez A., Semenza E., Zanferrari A. and Zanolla C.; 1987: Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), Trieste, Italy, 84 pp.

Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Iliceto V., Semenza E. and Zanolla C.; 1989: Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: A review. Boll. Geof. Teor. Appl., 31, pp. 109-136.

Slejko D., Rebez A. and Peruzza L.; 2003: Analisi e studi necessari per la valutazione della pericolosità sismica del territorio veneto. Rel. 2/03-OGA-1, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste, 38 pp.

Stokoe, K. H., II, Wright, G. W., James, A. B., and Jose, M. R.; 1994: Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Woods, R. D., Ed., Geophysical characterization of sites: Oxford Publ.

Sugan M., L.Peruzza; 2011: Distretti sismici del Veneto. Boll. Geof. Teor. Appl., 52, suppl. 4, pp. 3-90.

Tomio E.; 2010: Relazione Geologica del Pat del Comune di Cordignano

Valensise G. and Pantosti D.; 2001: Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy. Ann. Geof., 44, pp. 1-180.

Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton, A., Carulli G. B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza, M., Pellegrini G. B., Pianetti F., Sauro U.; 1982: Evoluzione neotettonica dell' Italia Nord Orientale. Mem. Sc. Geol., 35, pp. 355-376.

9 Appendici

9.1 La tecnica dei microtremori (Refraction Microtremors – ReMi)

Le tecnica di misura dei microtremori (denominata anche degli stendimenti sismici lineari passivi) è una derivazione delle tecniche SASW (*Spectral Analysis of Surface Waves*) e MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) che si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie per la costruzione di un modello verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio.

Il principio ispiratore della tecnica SASW e MASW è il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato. La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze. All'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore. È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. La velocità delle onde di taglio viene ricavata sulla base della seguente equazione:

$$V_S \approx 0.9 V_{RAYLEIGH} \qquad (1);$$

Il coefficiente che lega $V_{RAYLEIGH}$ a V_S presenta una scarsa variabilità al variare del rapporto di Poisson e si considera quindi che il valore di 0.9 possa essere valido nella maggior parte dei casi.

Una volta che la curva di dispersione è stata calcolata dai dati si può impiegare una tecnica di modellazione diretta (*forward modeling*) associata a tecniche di *best fitting* per stimare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs).

I rilievi SASW (Stokoe et al, 1994) consistono nel fare misure di velocità di fase delle onde di superficie a varie lunghezze d'onda ed usare queste misure per calcolare la curva di dispersione del sito. Alla figura seguente compare un tipico schema di un sistema di registrazione per misure SASW. Le velocità di fase sono ricavate per confronto diretto degli spettri di ampiezza e fase di ciascuna coppia di sismometri, ottenuti istantaneamente in sito tramite un oscilloscopio che esegue una trasformata veloce di Fourier.

Tipiche spaziature dei ricevitori, per l'alta risoluzione, sono pari a 2, 3 e 5 m. Queste spaziature consentono di valutare il profilo di molti terreni sino alla profondità di 50-70 m.

La tecnica di rilievo MASW (Park et al., 1998) è stata sviluppata in parte per superare le difficoltà dell'applicazione dei rilievi SASW in ambienti rumorosi. La registrazione simultanea di 12 o più canali fornisce infatti una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase migliorando la qualità del processo analitico. Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di analizzare in post-elaborazione le onde di Rayleigh. Mediante una particolare analisi spettrale (*overtone analysis*) è possibile diagrammare velocità di fase e frequenza. In questo dominio è possibile distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie dal quale stimare la curva di dispersione e successivamente, mediante un processo di inversione, derivare il profilo 1-D della V_S. La ripetizione delle misure lungo un profilo a basi multiple consente di evidenziare le variazioni laterali della V_s.

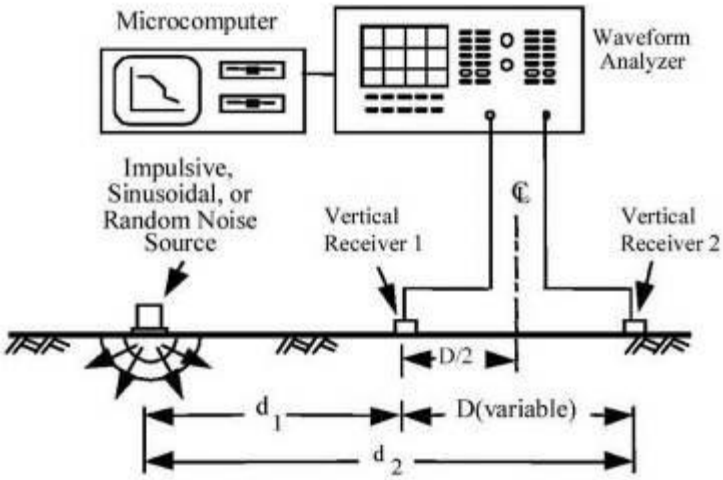

Figura 25 - Tipico schema di strumentazione per misure SASW con un sistema a due canali di registrazione (tratto da Stokoe et al., 1994).

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University. Il metodo combina la semplicità operativa del SASW con l'elevata risoluzione nei terreni più superficiali propria del MASW. I microtremori vengono registrati mediante uno stendimento lineare da 12 o più geofoni a bassa frequenza senza la necessità di dover operare con un sorgente attiva. I dati vengono acquisiti mediante la classica strumentazione impiegata per i rilievi a rifrazione. Generalmente si impiegano geofoni con frequenza compresa nell'intervallo 4-14 Hz e tempi di registrazione di 15-30 s. L'impiego di campionatori di elevata dinamica (i.e. superiori a 144 dB) consente poi di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni. È quindi teoricamente possibile registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza è compreso nell'intervallo tra 2 Hz e 25-30Hz. Questo intervallo, in condizioni ottimali, può consentire di stimare, con buon dettaglio, il profilo della V_S nei primi cento metri di profondità. Il rumore registrato viene convertito dal dominio x-t al dominio *p-f* (*slowness*-frequenza). Il parametro *slowness* (*p*), detto anche parametro di raggio, corrisponde all'inverso della velocità secondo la (2):

$$p\left[s/m\right] = \frac{1}{V_{RAYLEIGH}}; \qquad (2);$$

Un esempio di spettro di potenza (*p-f*) delle onde di superficie (un esempio in tal senso è visibile alla figura seguente).

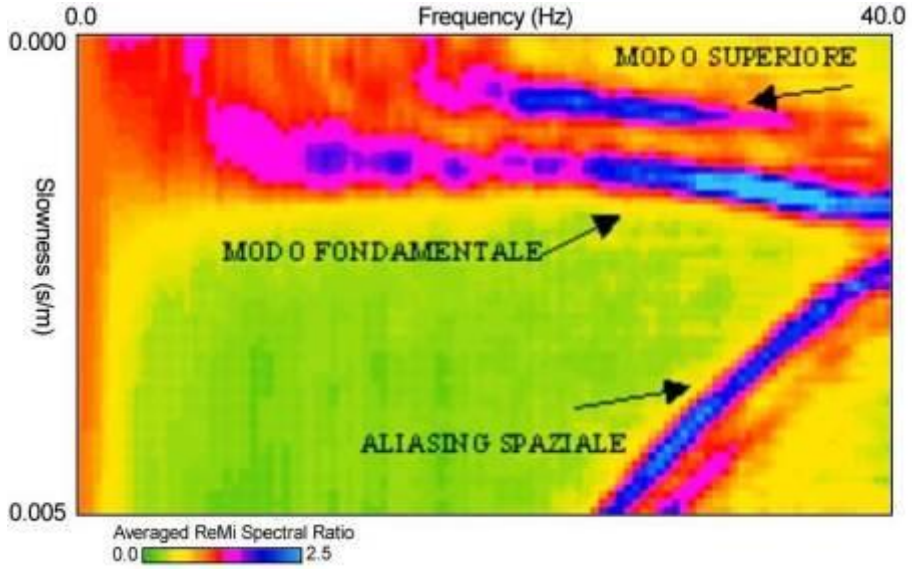

Figura 26 - Tipico spettro p-f di onde di Rayleigh nel quale si osservano un modo fondamentale ed una serie di modi superiori di vibrazione.

Nello spettro *p-f* sono chiaramente visibili una serie di eventi che presentano elevata energia e coerenza di ampiezza e fase. In particolare si distinguono i lobi spettrali del modo fondamentale delle onde di superficie (con carattere tipicamente dispersivo) ed anche di alcuni modi superiori (onde di superficie di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente). In questo dominio viene stimata la curva di dispersione del modo fondamentale. Questa fase di analisi del dato è particolarmente critica in quanto vi possono essere alcuni casi nei quali i rami dei modi superiori sono più energetici di quello del modo fondamentale.

Nel caso del dato ReMi si ipotizza che la posizione della sorgente (rumore ambientale) non sia nota e quindi la velocità spettrale è di una velocità apparente. La curva di dispersione viene quindi individuata nella zona di transizione tra la massima potenza spettrale e la zona dello spettro nella quale il segnale è nullo.

Dopo aver individuato la curva di dispersione si procede con una tecnica di modellazione diretta e cioè si calcola la curva di dispersione teorica a partire da un modello acustico iniziale del sottosuolo. Il modello di sottosuolo viene quindi modificato, in termini di spessori e velocità delle onde S, sino a che la curva calcolata si sovrappone ai dati sperimentali. Lo scarto quadratico medio (errore RMS – *Root Mean Square*) tra misure sperimentali e curva calcolata è il principale indicatore di qualità del processo di modellazione. È evidente che in questo tipo di approccio solutorio non c'è univocità del risultato in quanto alla formazione del parametro fondamentale contribuiscono due variabili: lo spessore dello strato e la velocità e lo stesso valore parametrico può essere con combinazioni delle due variabili. In genere l'ambiguità viene risolta con l'ausilio di vincoli che consentano di "bloccare" una delle due variabili (disponibilità di dati stratigrafici o di altre misure geofisiche, etc.). Nel presente studio il problema dell'equivalenza non si pone in quanto la determinazione della Vs (come richiesto dalla normativa sismica nazionale) è stata fatta su uno spessore medio di 30 m di profondità senza la necessità di risolvere velocità alla scala del singolo strato, se non durante la fase di elaborazione.

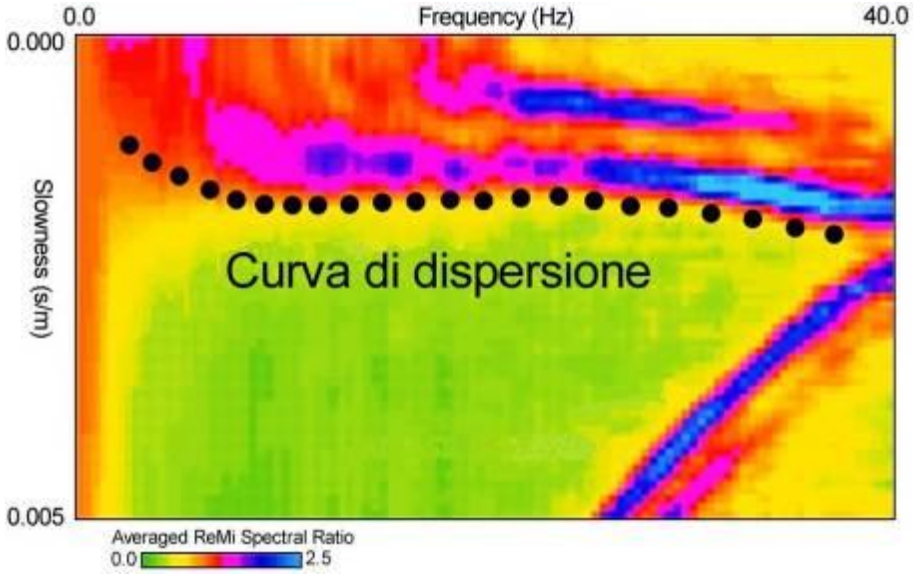

Figura 27 - Esempio di determinazione (*picking*) della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

Il risultato è dato quindi dalla sommatoria dei contributi dei singoli strati secondo la (3):

$$V_S 30 = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_i}}; \qquad (3);$$

dove h_i e V_i rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità dell'i-esimo strato.

Nella formulazione della V_S30 una eventuale stima errata di spessore e/o velocità di uno strato viene forzatamente compensata nella stima di velocità e spessore in un altro segmento della colonna acustico-stratigrafica.

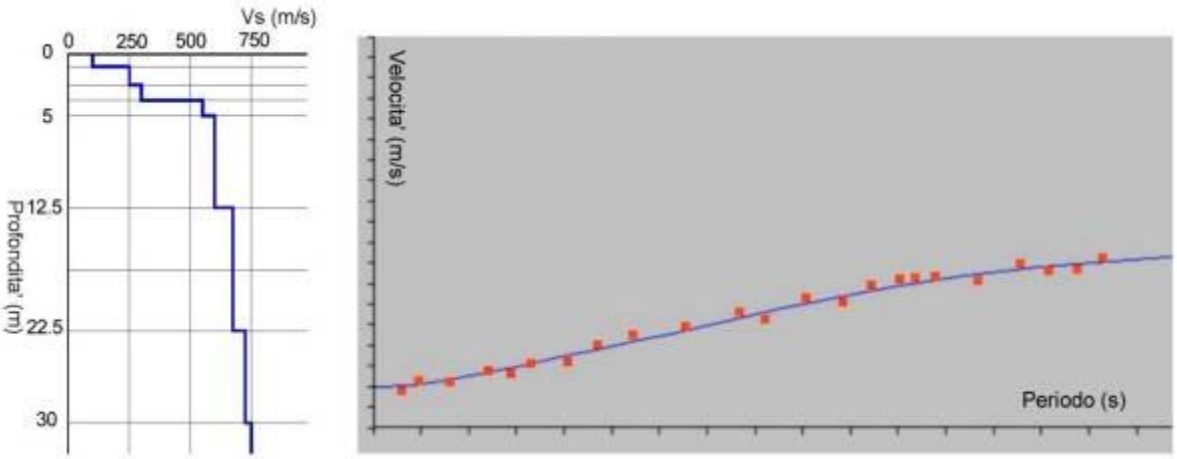

Figura 28 - Esempio di modellazione 1D della V_S. Modello geometrico-acustico del sottosuolo (a sinistra). Confronto tra dati sperimentali (circoli rossi) e curva teorica (linea continua in blu) calcolata dal modello (a destra).

9.2 LA TECNICA HVSR

I testo seguente riprende un testo originale inedito prodotto da R. Francese (2014) che a sua volta si basa su una traduzione di un articolo di Nakamura (1989, 2000).

La tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) detta anche QTS (*Quasi-Transfer Spectra*) ha avuto recentemente molta attenzione in virtù della sua semplicità per identificare alcune importanti caratteristiche dinamiche dei suoli e delle strutture. La tecnica nasce da un'idea iniziale di Nogoshi and Igarashi (1971) ed è stata successivamente perfezionata da Nakamura (1989, 2000).

9.2.1 Le vibrazioni del suolo

La comprensione della natura fisica e della composizione del campo d'onda che produce le vibrazioni del suolo è il primo elemento per comprendere questa tecnica. Il primo aspetto riguarda la sorgente delle vibrazioni ambientali ed il secondo, che comunque dipende dal primo, riguarda invece il modo di vibrazione delle onde che raggiungono la superficie. È poi importante sapere in questo campo d'onda (a) qual è il rapporto tra le onde di corpo (P, S) e le onde di superficie (Rayleigh e Love) e tra le onde superficiali (b) qual è il rapporto tra onde di Rayleigh ed onde di Love e infine, sempre per le onde superficiali, (c) qual è il rapporto tra modo fondamentale e modi superiori. I punti (b) e (c) ad oggi sono ancora da chiarire completamente.

Le vibrazioni del terreno possono essere distinte in due tipi: onde naturali ed onde antropiche e questo molto spesso corrisponde anche ad una differenziazione in termini del contenuto in frequenza (in special modo nelle aree urbane). Le basse frequenze (i.e. inferiori ad 1 Hz) sono prevalentemente di origine naturale e dovute all'azione delle onde marine (che hanno la massima energia intorno a 0.2 Hz). Nelle zone costiere le frequenze possono essere anche più alte (intorno a 0.5 Hz) e sono dovute all'interferenza tra l'onda incidente la costa e quella di ritorno. Frequenze molto basse sono anche quelle dovute ai piccoli movimenti crostali. Nell'ambito delle sorgenti naturali vanno annoverate anche il vento e l'acqua che scorre nel reticolo idrografico tuttavia le frequenze sono generalmente superiori ad 1 Hz.

Le alte frequenze (i.e. superiori ad 1 Hz) sono generalmente legate all'attività antropica (traffico di veicoli, navi e treni, industrie, etc.) e le sorgenti sono tipicamente sulla superficie terrestre (o poco sotto come nel caso delle metropolitane). Queste sorgenti sono cicliche nell'alternanza giorno-notte e festività-lavoro. Ovviamente anche nel caso delle sorgenti non-naturali vi possono essere frequenze più basse, ma sono legate a situazioni locali (grandi motori, dighe, etc.).

Le sorgenti a bassa frequenza più energetiche sono spesso lontane (tipicamente mari ed oceani) e l'energia si propaga sotto forma di onde superficiali guidate nella crosta. La lunghezza d'onda è tale da consentire una grande penetrazione in profondità con associati fenomeni di diffrazione in corrispondenza di importanti discontinuità che localmente possono originare altre onde di superficie, ma anche onde P ed S. L'energia nella banda spettrale compresa tra 0.1 Hz ed 1.0 Hz si attenua via via che le onde penetrano nell'entroterra. In linea di principio c'è quindi più energia dovuta a onde naturali in vicinanza delle coste e meno all'interno dei continenti.

Le sorgenti ad alta frequenza sono generalmente locali ed il campo d'onda è costituito da onde di superficie, ma anche da onde di corpo (P ed S). All'aumentare della distanza le onde superficiali diventano prevalenti.

In letteratura sono disponibili pochi dati sulle proporzioni tra onde di corpo e onde superficiali e soprattutto sulle proporzioni tra onde di Rayleigh e di Love e modi fondamentali e superiori. I microsismi di bassa frequenza sono prevalentemente costituiti da onde di Rayleigh nel modo fondamentale.

Vibrazioni		
	Microsismi	Microtremori
Frequenza	0.1 Hz - 0.5 Hz sino ad 1 Hz	0.5 Hz - 1.0 Hz sino a 10 Hz
Sorgente	Mari ed oceani	Traffico, industria, etc
Campo d'onda	Onde superficiali	Onde superficiali ed onde di corpo
Ampiezza	In relazione alle tempeste	Ciclica giorno-notte festività-riposo
Rayleigh / Love	Campo d'onda incidente prevalentemente Rayleigh	Ampiezze confrontabili. Forse prevalenza delle onde di Love
Modo	Tipicamente fondamentale	Possibilità di modi superiori alle alte frequenze

Tabella 9 – Tipologia di vibrazioni

Le vibrazioni sono quindi abbastanza complesse in particolar modo alle alte frequenze dove il contributo antropico è più importante. Nell'interpretazione di dati HVSR è quindi importante considerare quali siano i contributi prevalenti delle diverse fasi (P, S, Rayleigh, Love) e dei diversi modi.

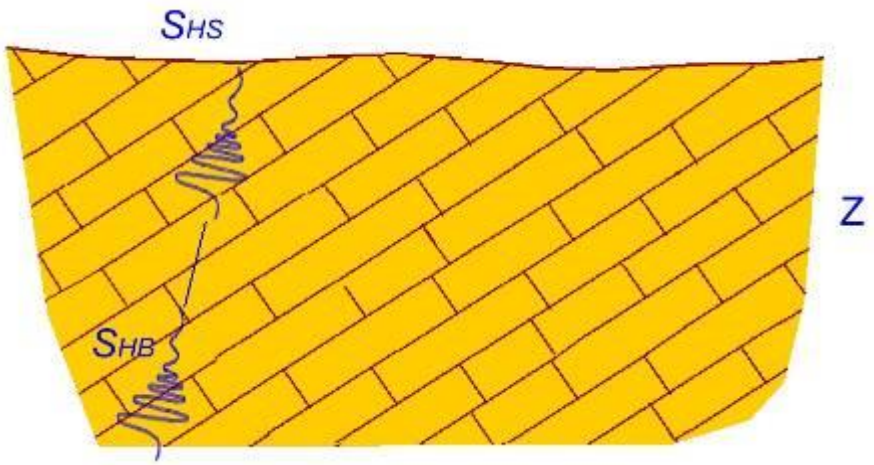

Figura 29 – Condizioni di sottosuolo rigido. S_{HS}: spettro dei microtremori alla superficie topografica; S_{HB}: spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico).

Nakamura osserva che il rapporto tra la vibrazione orizzontale e verticale del terreno durante un terremoto è pari a circa 1 se il suolo è rigido. Secondo questo punto di vista nei suoli compatti non c'è un prevalere in termini di energia di una componente rispetto all'altra, le vibrazioni in senso orizzontale hanno la stessa energia di quelle verticali.

Le vibrazioni, in presenza di suoli poco compatti (tipicamente lenti) vengono invece amplificate. In prima approssimazione si può assumere che la vibrazione orizzontale si amplifichi attraverso la riflessione multipla delle onde di taglio, mentre la vibrazione verticale si amplifichi attraverso le riflessioni multiple delle onde di pressione.

Con le tipiche velocità di propagazione delle onde P (intorno ai 1000 m/s) le vibrazioni di frequenza uguale ed inferiore ai 10 Hz non vengono amplificate in modo significativo attraverso riflessioni multiple dovute a strati superficiali di bassa velocità. Le onde di Rayleigh subiscono invece amplificazioni verticali significative. L'effetto verticale dell'onda di Rayleigh può essere stimato come rapporto tra vibrazione verticale alla superficie e vibrazione verticale al substrato. L'effetto dell'onda di Rayleigh sulla componente verticale si avvicina a 0 quando questo rapporto vale 1.

Nelle ipotesi di Nakamura (1989) Il modello geologico di partenza quindi è quello di un substrato veloce ubicato ad una profondità Z sul quale insiste uno strato superficiale di sedimenti caratterizzati da proprietà elastico-acustiche scadenti (i.e. bassa velocità).

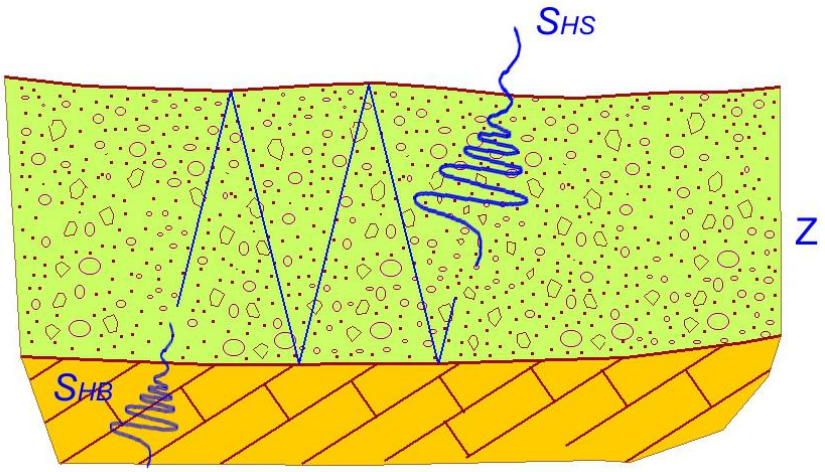

Figura 30 - Modello geologico di partenza nell'ipotesi di Nakamura (1989). S_{HS}: spettro dei microtremori alla superficie topografica; S_{HB}: spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico).

La conoscenza dell'effetto dell'onda di Rayleigh consente di rimuoverla dalla vibrazione e stimare la sola funzione di trasferimento delle onde di taglio.

La funzione di trasferimento (T_F), utilizzando le vibrazioni (microtremori), dell'ampiezza del moto delle onde di taglio che passano da un substrato rigido alla superficie attraversando un mezzo "soffice" si stima secondo la (1).

$$T_F = \frac{S_{HS}}{S_{HB}}; \qquad (1)$$

S_{HS} rappresenta lo spettro dei microtremori alla superficie topografica e S_{HB} rappresenta lo spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico). Come abbiamo visto il microtremore può essere un insieme di onde di corpo (P ed S) e di onde superficiali (Rayleigh e Love) e queste ultime possono essere largamente prevalenti. È quindi necessario sottrarre la componente delle onde superficiali dal termine S_{HS} per ottenere correttamente la funzione di trasferimento.

Nakamura assume che le onde di Rayleigh siano presenti nello spettro verticale alla superficie (S_{VS}) e non nello spettro verticale del base ground (S_{VB}), assumendo ancora che il tremore verticale non è amplificato dagli strati superficiali (più prossimi alla superficie) la quantità E_S rappresenta l'effetto dell'onda di Rayleigh sul tremore verticale.

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}}; \qquad (2)$$

Se non ci sono onde di Rayleigh $E_S=1$ mentre E_S avrà valore più grande di 1 all'aumento dell'effetto delle onde di Rayleigh. Assumendo che l'effetto delle onde di Rayleigh è lo stesso sia per la componente orizzontale che per quella verticale T_F/E_S è sicuramente una più affidabile stima della funzione di trasferimento.

La nuova funzione di trasferimento è data dalla (3):

$$T_{FF} = \frac{T_F}{E_S} = \frac{R_S}{R_B}; \qquad (3)$$

dove $R_S = S_{HS}/S_{VS}$ e $R_B = S_{HB}/S_{VB}$. R_S ed R_B si possono ottenere dividendo lo spettro orizzontale delle vibrazioni per lo spettro verticale delle stesse vibrazioni che corrispondono rispettivamente alle vibrazioni di un terremoto rispettivamente alla superficie ed al bedrock. R_B assume il valore di 1 per un intervallo relativamente ampio di frequenze. Nominalmente sul substrato rigido la propagazione è quasi in tutte le direzioni. Quindi:

$$R_B \approx 1 \rightarrow T_{FF} = R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}}; \qquad (4)$$

questo significa che la funzione di trasferimento può essere stimata esclusivamente dalle vibrazioni misurate alla superficie. In pratica le vibrazioni verticali alla superficie incorporano le vibrazioni orizzontali sul substrato sostituendo quindi le seconde. La presenza dell'onda di Ralyeigh tende a rendere nulla questa sostituzione, ma siccome R_S assume all'incirca il valore di 1 nell'intervallo di frequenza dove l'onda di Rayleigh prevale diventa trascurabile nella stima della funzione trasferimento.

Secondo alcuni altri autori (Bard, 1998) il picco del rapporto H/V dipende dalla presenza di onde di Rayleigh, ma Nakamura (2000) afferma che questo dipende solo dalla similarità dell'andamento del rapporto H/V dei microtremori e dell'H/V del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh.

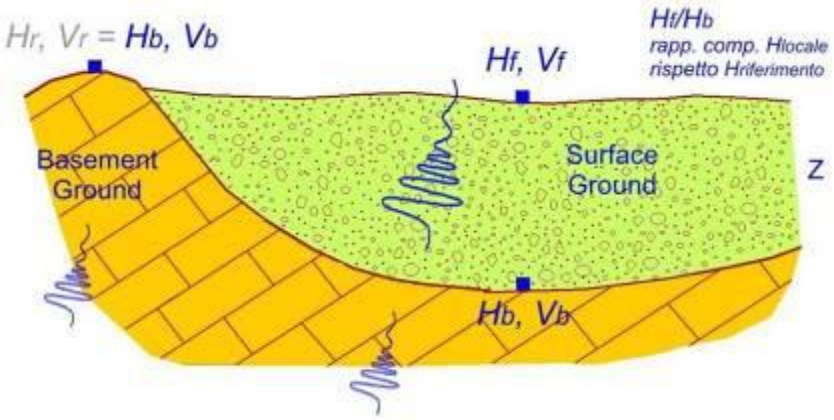

Figura 31 – Rappresentazione schematica di un profilo trasversale ad una valle alpina

Proviamo a spiegare meglio l'assunto di base immaginando di trovarci nelle condizioni della figura che può rappresentare una valle alpina. La vibrazione (microtremore) viene suddivisa in due parte in funzione del fatto che contenga l'onda superficiale (Rayleigh) ed altre onde. Gli spettri orizzontali e verticali sul fondovalle (H_f, V_f) possono essere scritti come segue:

$$H_f = A_h \cdot H_b + H_{rayleigh};$$
$$V_f = A_v \cdot V_b + V_{rayleigh}; \qquad (5)$$

A_h ed A_v sono i fattori di amplificazione orizzontale e verticale di un'onda di corpo (P, S) incidente la superficie. H_b e V_b sono gli spettri orizzontali e verticali della vibrazione delle onde di corpo (P ed S) entro il substrato rigido. $H_{rayleigh}$ e $V_{rayleigh}$ sono invece gli spettri nella direzione orizzontale e verticale dell'onda di Rayleigh.

$$T_h = \frac{H_f}{H_b};$$
$$T_v = \frac{V_f}{V_b}; \qquad (6)$$

T_h e T_b sono le amplificazioni (funzioni di trasferimento) della vibrazione orizzontale (onda S) e di quelle verticali (onda P) alla superficie della valle rispetto al fianco dove il substrato è affiorante. In generale la velocità dell'onda P è molto più elevata (anche di 3 volte) rispetto a quella dell'onda S, in questa situazione stratigrafica la componente verticale, nell'intervallo di frequenza dove la componente orizzontale viene fortemente amplificata, non viene amplificata ($A_v=1$). Se non c'è effetto dell'onda di Rayleigh $V_f \cong V_b$, se invece $V_f > V_b$ questo viene considerato come dovuto alle onde superficiali. Stimando quindi dell'effetto dell'onda di Rayleigh: $V_f/V_b = T_v$ l'amplificazione orizzontale (T^*_h) può essere scritta come:

$$T^*_h = \frac{T_h}{T_v} = \frac{\frac{H_f}{V_f}}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{QTS}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{\left[A_h + \frac{H_{rayleigh}}{H_b}\right]}{\left[A_v + \frac{V_s}{V_b}\right]}; \qquad (7)$$

dove la QTS (Quasi Transfer Function):

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h \cdot H_b + H_{rayleigh}}{A_v \cdot V_b + V_{rayleigh}} = \frac{H_b}{V_b} \cdot \frac{\left[A_h + \frac{H_{rayleigh}}{H_b}\right]}{\left[A_v + \frac{V_{rayleigh}}{V_b}\right]}; \qquad (8)$$

Nell'equazione (8), $H_b/V_b \cong 1$. $H_{rayleigh}/H_b$ e $V_{rayleigh}/V_b$ sono invece associate al percorso dell'energia delle onde di Rayleigh. Quando la quantità delle onde di Rayleigh è elevata il secondo termine diventa dominante e $QTS = H_{rayleigh}/V_{rayleigh}$ e la frequenza più bassa di picco di $H_{rayleigh}/V_{rayleigh}$ è quasi uguale alla frequenza F_0 più bassa di A_h. Intorno alla frequenza fondamentale F_0 l'amplificazione verticale $A_v=1$. La *QTS* evidenzia chiaramente un picco stabile alla frequenza fondamentale F_0. Anche quando l'influenza dell'onda di superficie è significativa il termine $V_{rayleigh}$ diventa piccola (determinando la presenza di un picco nel diagramma $H_{rayleigh}/V_{rayleigh}$) nell'intervallo di frequenza intorno al picco determinato dalla riflessione multipla delle onde Sh (vibrazione orizzontale). $QTS = A_h$ se le vibrazioni del substrato V_b sono molto più energetiche rispetto alle onde di Rayleigh.

Ecco che QTS rappresenta in prima approssimazione la frequenza fondamentale (di risonanza) determinata dalla riflessione multipla delle onde SH nello strato lento superficiale a prescindere dal grado di influenza delle onde di Rayleigh.

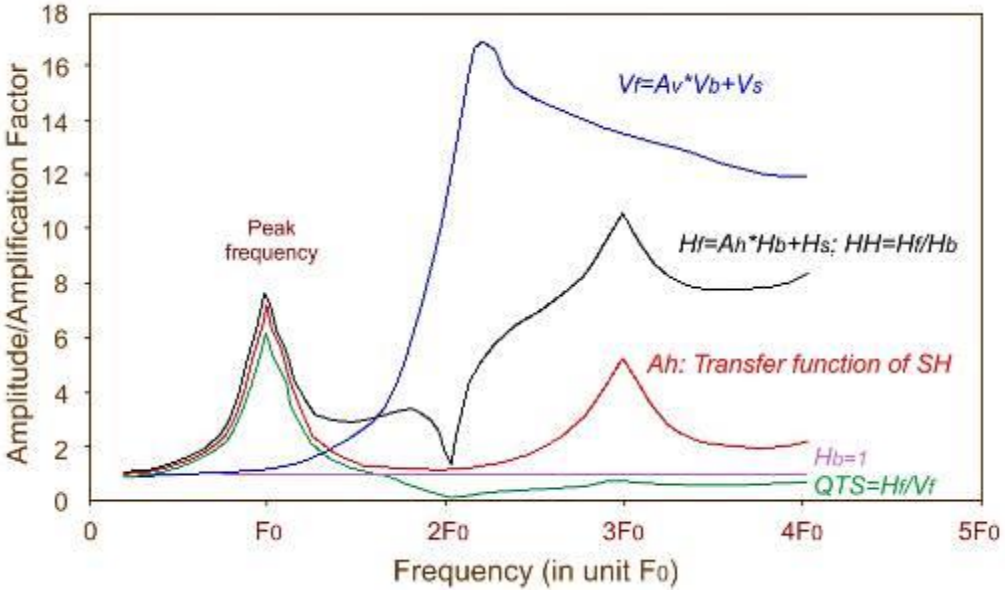

Figura 32 – Diagramma frequenza/amplificazione

Confrontando schematicamente le diverse componenti:

$$V_f \rightarrow Componente_verticale_fondovalle;$$
$$H_f \rightarrow Componente_orizzontale_fondovalle;$$
$$H_b \rightarrow Componente_orizzontale_substrato;$$
$$A_h \rightarrow FunzioneTrasferimento_modoSH(teorica);$$
$$QTS \rightarrow QuasiTransferFunction: \left(H_f / V_f \right);$$

si possono fare alcune considerazioni. Dal momento che H_f contiene il contributo delle onde di Rayleigh H_f/H_b (che è uguale a H_f in quanto H_b =1 essendo il valore di riferimento) è più grande rispetto alla funzione di trasferimento teorica (A_h) delle onde *SH*. Nel caso in cui vi sia grande influenza delle onde di Rayleigh QTS diventa minore di 1 (cresce il moto verticale V_f) in un ampio intervallo di frequenze più elevate comunque di quella fondamentale (o di risonanza) F_0.

Le principali onde che costituiscono le vibrazioni (i microtremori) sono onde di corpo (P ed S) oppure onde di Rayleigh o ancora, in funzione dell'ubicazione e delle condizioni al contorno, può essere una combinazione dei due tipi di onde. Se calcoliamo la QTS essa ci indica correttamente la frequenza fondamentale di risonanza (per effetto della riflessione multipla delle onde SH) ed il fattore di amplificazione.

9.3 IL METODO GEOELETTRICO

Il metodo geoelettrico consiste in una determinazione sperimentale della distribuzione di resistività (ρ) nel sottosuolo effettuando delle misure dalla superficie. Le misure di resistività vengono effettuate iniettando una corrente elettrica nel terreno mediante una coppia di elettrodi (generalmente indicati con A e B) e sulla misura dei potenziali elettrici attraverso una seconda coppia di elettrodi, generalmente indicati come M ed N. Dall'intensità della corrente (I) e della tensione (V) è possibile calcolare il valore della resistività apparente (ρa) secondo la (t1):

$$\rho_a = K \cdot \frac{V}{I}; \textit{ (t1)}$$

dove K è il fattore geometrico che dipende dalla disposizione spaziale del quadripolo di misura. I resistivimetri misurano generalmente un valore di resistenza R = V/I dal quale si calcola la resistività apparente come:

$$\rho_a = K \cdot R; \textit{ (t2)}$$

La resistività così ottenuta non è la vera resistività del sottosuolo ma un valore apparente definito come la resistività di un terreno omogeneo che darà lo stesso valore di resistenza per la medesima disposizione del quadripolo. La relazione tra la resistività apparente e la resistività vera è di tipo complesso. Per determinare la vera resistività è necessario applicare un processo di inversione alle misure di resistività apparente. La distribuzione dei punti di misura nel sottosuolo è in stretta dipendenza con le geometrie del quadripolo di superficie.

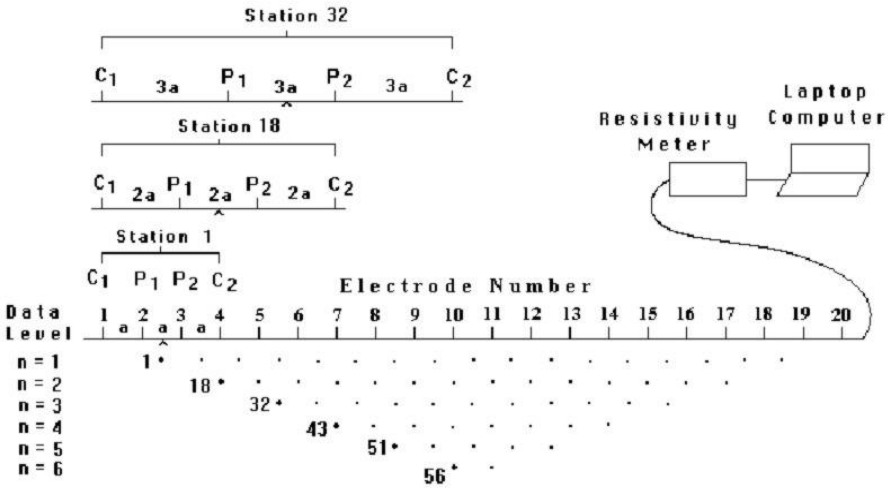

Figura T1: Schema di disposizione elettrodica per l'acquisizione di una tomografia elettrica in configurazione Wenner alpha, Loke (2001).

Il sistema ERT prende spunto dalle convenzionali tecniche 1D di misura della resistività dalle quali era possibile ottenere una sezione per interpolazione dei risultati dei singoli sondaggi verticali. Il vantaggio del sistema ERT consiste in un'acquisizione nativa 2D delle misure, basata sull'impiego di uno svariato numero di elettrodi lungo un singolo stendimento. Gli elettrodi sono collegati, mediante cavi multipolari a bassa impedenza, ad una centralina di commutazione che indirizza i singoli quadripoli (generando tutte le possibili combinazioni di coppie elettrodiche dello stendimento). È in questo modo possibile l'acquisizione in tempi molto brevi di un grandissimo numero di punti-misura che consentono di ottenere un elevato grado di risoluzione e, nel contempo, di ridurre le indeterminazioni legate alla natura bidimensionale delle strutture presenti nel sottosuolo.

Un esempio di configurazione dipolo-dipolo può consentire una migliore comprensione della sequenza di acquisizione delle misure e della loro distribuzione spaziale. Il numero di elettrodi in questo esempio è ridotto a 16 per esigenze grafiche. La configurazione dipolo-dipolo prevede la misura della resistività apparente mediante due dipoli di ugual apertura. Si immagini di scegliere 2 coppie di elettrodi adiacenti in uno stendimento di 16 (Figura T2): la coppia 1-2 e la coppia 5-6.

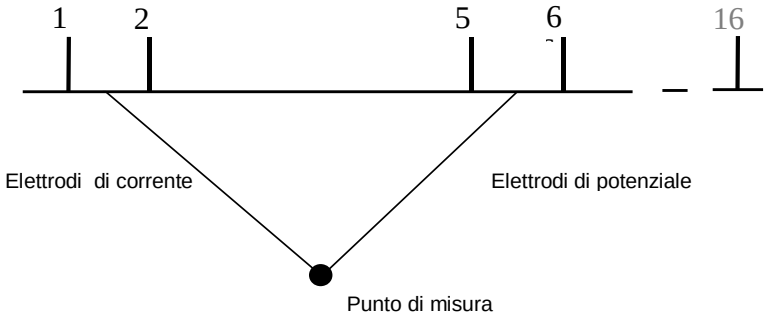

Figura T2: Misura di resistività apparente con configurazione dipolo-dipolo. La coppia 1-2 rappresenta il dipolo di corrente, mentre la coppia 5-6 il dipolo di potenziale. Il punto misura si colloca convenzionalmente all'intersezione di due semirette inclinate di 45 gradi e con origine in corrispondenza dell'asse dei due dipoli.

Il dipolo 1-2 immette corrente e un qualsiasi altro dipolo, in questo esempio il 5-6, misura la d.d.p. e quindi la resistività apparente (ρa). Il punto misura nella pseudosezione viene collocato convenzionalmente all'intersezione di due semirette inclinate di 45 gradi originantisi in corrispondenza dell'asse dei due dipoli.

Il primo ciclo di misura consiste nel mantenere fisso il dipolo di corrente (nel nostro caso 1-2) e di variare il dipolo di potenziale, sino a che tutte le altre coppie dello stendimento, a partire da 3-4 e fino 15-16, agiranno da coppia di misura della d.d.p. (Figura T3). Nel secondo ciclo di misura il dipolo di corrente diventerà 2-3 e tutte le altre coppie da 4-5 a 15-16 misureranno la d.d.p., e così a seguire sino a che tutte le coppie dello stendimento (l'ultima coppia teorica è la 13-14) agiranno da dipoli di corrente.

Si completa così la prima fase delle misure con i dipoli ad apertura minima (pari all'interspaziatura tra 1 e 2). La seconda fase delle misure consiste nel raddoppiare l'apertura del dipolo. Il primo dipolo di energizzazione diventerà 1-3 mentre il primo dipolo di misura sarà 4-6, … e così via.

In genere, per una ragione di tipo teorico, non si supera il quinto o sesto ordine di misura. Con ordine di misura (t3) si intende il rapporto tra la distanza del dipolo di misura con il dipolo di energizzazione e la spaziatura del dipolo.

$$n = \frac{BM}{AB}; \ (t3)$$

Il concetto di inversione in geofisica equivale alla costruzione di un modello fisico che generi un responso simile a quello delle misure. Questo modello sarà costituito da una serie di parametri che sono le quantità fisiche che noi vogliamo stimare dai nostri dati.

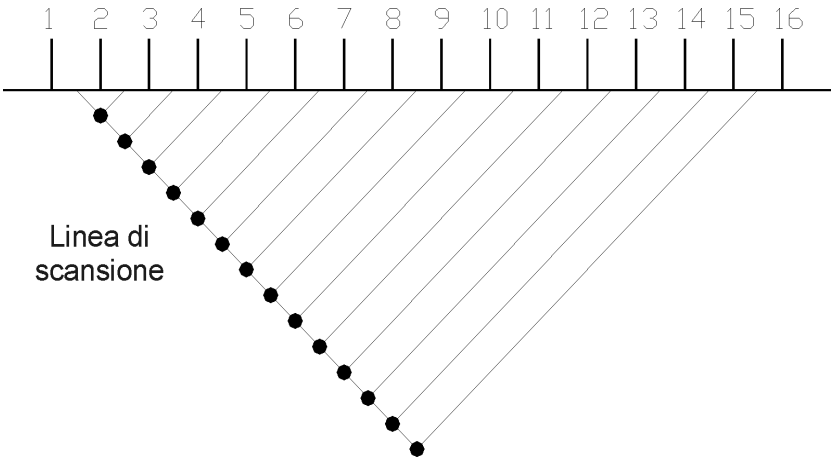

Figura T3: Primo ciclo di misura di un multiarray a 16 elettrodi in configurazione dipolo-dipolo: Il dipolo di corrente è la coppia di elettrodi 1-2, tutte le altre coppie: 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, …, 15-16 misurano la ddp. Il risultato consiste in una prima linea di scansione composta da n-3 punti misura (dove n è il numero di elettrodi dello stendimento).

Il responso del modello altro non è che un dato sintetico calcolato per un certo insieme di questi parametri. In generale tutte le tecniche di inversione tentano di determinare un modello del sottosuolo il cui responso sintetico sia simile ai dati misurati e che sia soggetto a certi requisiti. Nel caso delle tomografie elettriche i parametri del modello sono i valori di resistività delle celle del modello stesso (Figura T4), mentre i dati sono le misure di resistività apparente.

La relazione matematica tra parametri del modello e responso del modello si ottiene mediante tecniche di calcolo numerico basate su codici alle differenze o agli elementi finiti. In tutte le tecniche di ottimizzazione, il modello iniziale viene modificato in modo iterativo in modo che le differenze tra il responso del modello ed i dati misurati siano progressivamente ridotte.

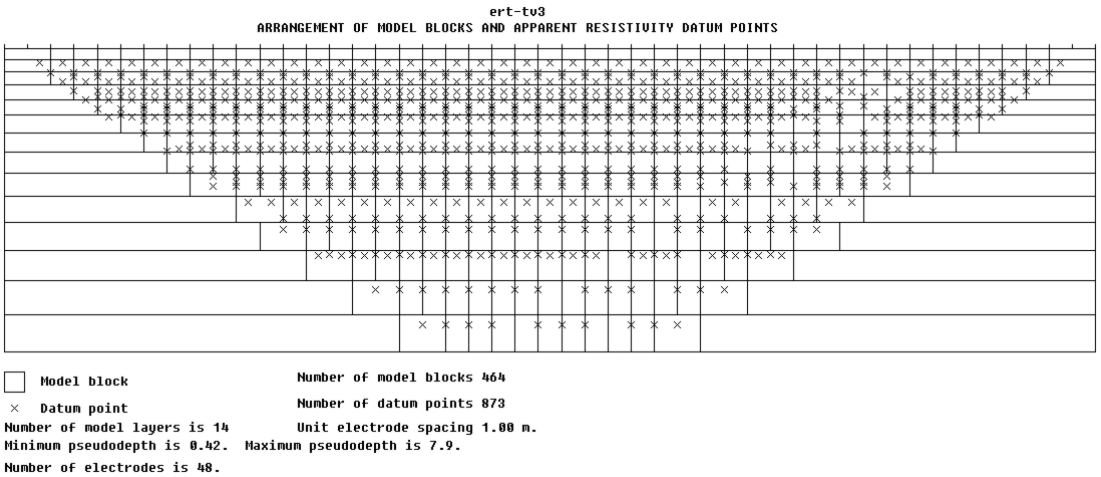

Figura T4: Esempio di modello a celle. Ciascuna cella ha un valore iniziale di resistività. Il responso di questo modello sarà confrontato iterativamente con i dati, imponendo una differenza nulla sino ad ottenere un'adeguata approssimazione.

Indicando con x=(x1,x2,..,xm) il numero dei punti-misura (dati osservati), con y=(y1,y2,..,ym) i punti del responso (dati del modello) e con q=(q1,q2,..,qn) il numero di parametri del modello, la differenza tra dati osservati e responso del modello è data dal vettore:

$$g = x - y; \textit{ (t4)}$$

Nel metodo di ottimizzazione ai minimi quadrati per ogni iterazione il modello iniziale viene modificato in modo che la somma dei quadrati degli errori delle differenze tra il responso del modello e i dati osservati (a5) sia minimizzato.

$$E = g \cdot g^t = \sum_{i=1}^{n} g_i^2 \textit{ ; (t5)}$$

La riduzione dell'errore si ottiene applicando l'equazione di Gauss-Newton.

9.4 GLOSSARIO

Tratto da "Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom" con modifiche

BEDROCK SISMICO : Sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio Vs maggiore od uguale a 800 m/s.

EFFETTI LOCALI (O DI SITO) – Effetti dovuti al comportamento del terreno in caso di evento sismico per la presenza di particolari condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche che determinano amplificazioni locali e fenomeni di instabilità del terreno (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali, ecc…).

ELEMENTI (O BENI) ESPOSTI – Ciò che può essere negativamente affetto da un evento sismico e sul quale viene svolta l'analisi di rischio sismico. È identificabile attraverso categorie omogenee e sistemi che possono subire perdite a seguito di evento sismico. Esempi di categorie e sistemi esposti sono: ambiente, popolazione, attività economiche, servizi pubblici, beni culturali, ecc….

FENOMENI DI INSTABILITA'DEL TERRENO – Modificazioni permanenti del terreno quali fenomeni franosi, fenomeni di liquefazione o densificazione (addensamento), fagliazione superficiale, ecc. dovuti ad un evento sismico.

MICROZONAZIONE SISMICA (MS) – Valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità in caso di terremoto.

PERICOLOSITA'SISMICA – Stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati. Tale stima include le analisi di pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale.

PERICOLOSITA'SISMICA DI BASE - Componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento). La scala di studio è solitamente regionale. Una delle finalità di questi studi è la classificazione sismica a vasta scala del territorio, finalizzata alla programmazione delle attività di prevenzione e alla pianificazione dell'emergenza. Costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica.

PERICOLOSITA'SISMICA LOCALE - Componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali (litostratigrafiche e morfologiche, v. anche effetti locali). Lo studio della pericolosità sismica locale è condotto a scala di dettaglio partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento) e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici del sito; permette di definire le amplificazioni locali e la possibilità di

accadimento di fenomeni di instabilità del terreno. Il prodotto più importante di questo genere di studi è la carta di micro zonazione sismica.

PGA DI BASE (Peak Ground Acceleration) – Accelerazione orizzontale massima nel sito di riferimento rigido con morfologia orizzontale. PGA DI SITO – Accelerazione orizzontale massima nel sito indagato.

RIDUZIONE DEL RISCHIO (O MITIGAZIONE DEL RISCHIO) - Azioni intraprese al fine di ridurre le probabilità, le conseguenza negative, o entrambe, associate al rischio (ISO, Guide 73:2002).

RISCHIO SISMICO - Probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali in un prefissato intervallo di tempo ed in una data area, a causa di un evento sismico.

RISPOSTA SISMICA LOCALE (AMPLIFICAZIONE LOCALE) – Modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni litostratigrafiche e morfologiche di un sito. Si può quantificare mediante il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale. Se questo rapporto è maggiore di 1, si parla di amplificazione locale.

VULNERABILITA'SISMICA – Propensione al danno o alla perdita di un sistema a seguito di un dato evento sismico. La vulnerabilità viene detta primaria se relativa al danno fisico subito dal sistema a seguito del danno fisico. Per ogni sistema, la vulnerabilità può essere espressa in maniera diretta attraverso la definizione della distribuzione del livello di danno o di perdita a seguito di un dato scuotimento o in maniera indiretta attraverso indici di vulnerabilità ai quali correlare danno e scuotimento. La distribuzione del danno apparente agli elementi strutturali o non strutturali di un edificio al variare dello scuotimento sismico fornisce una misura della vulnerabilità primaria. La distribuzione del costo di riparazione di un edificio in relazione al danno apparente o meccanico è una misura di vulnerabilità secondaria.

9.5 SIGLE

CPSL Carta della pericolosità sismica locale ;

CPT (Cone Penetration Test) Prova penetrometrica statica ;

CH Carotaggio sismico in foro secondo la metodologia Cross-Hole ;

DH Carotaggio sismico in foro secondo la metodologia Dow-Hole ;

Fa Fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per

il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione) ;

Fv Fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudo velocità) ;

MS Microzonazione Sismica ;

MOPS Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica ;

PAT Piano di assetto del Territorio (L.R. 11/2004) ;

PATI Piano di assetto del territorio intercomunale (L.R. 11/2004) ;

PI Piano degli interventi (L.R. 11/2004) ;

PSL Pericolosità Sismica Locale ;

PUA Piano Urbanistico Attuativo;

RS Rischio sismico;

RSL Risposta Sismica Locale ;

SDMT Prova dilatometrica con modulo sismico

SPT (Standard Penetration Test) Prova penetrometrica dinamica.

Dr. Geol. Paolo Sivieri *Dr. Geol. Giovanni Rigatto* *Dr.ssa Geol. Monica Petta*