



REGIONE VENETO



COMUNE DI VESTENANOVA



PROVINCIA DI VERONA

PRC - Piano Regolatore Comunale

MICROZONAZIONE SISMICA COMUNALE DI 2° - 3° LIVELLO



Lunetta e architrave del portale dell'Abbazia di Nonantola (Modena) con l'iscrizione relativa al rifacimento dell'edificio avvenuto in seguito al terremoto del 1117.



36025 NOVENTA VICENTINA (VI)
3032 FIESSO D'ARTICO (VE)
45021 BADIA POLESINE (RO)
vox 0425 59.48.42
web site: www.hgeo.it
email: hgeo@hgeo.it



Baratto Filippo
geologo

Studio di Microzonazione sismica delle aree comprese nei perimetri della possibile futura urbanizzazione

Data: Febbraio 2023

Cod. 1111-23 E

Rev. 00

INDICE

1	PREMESSA E SCOPO	1
2	PIANIFICAZIONE COMUNALE	1
3	OBIETTIVI E CONTENUTI DEL FUTURO P.I.	1
4	CARATTERI DEL TERRITORIO COMUNALE	2
4.1	INQUADRAMENTO	2
4.2	CONDIZIONI MORFOLOGICHE LOCALI	3
4.3	LITOLOGIA	4
4.3.1	LITOLOGIE PREQUATERNARIE	4
4.3.2	LITOLOGIE QUATERNARIE	4
4.4	CENNI DI IDROGEOLOGIA	5
4.4.1	RETE IDRICA SUPERFICIALE	5
4.4.2	ASSETTO IDROGEOLOGICO	6
4.4.3	CRITICITA' DEL TERRITORIO	8
5	CARATTERI SIMO-TETTONICI DEL TERRITORIO	10
5.1	CENNI DI TETTONICA DELL'AREA	10
5.2	DISTRETTO SISMICO	12
5.2.1	SIMICITA' STORICA DEL DISTRETTO	13
5.2.2	SIMICITA' STRUMENTALE DEL DISTRETTO	14
5.2.3	NEOTETTONICA - SORGENTI ATTIVE	15
5.3	SORGENTI SIMOGENETICHE	16
5.4	FAGLIE ATTIVE E CAPACI	17
5.5	SIMICITA' STORICA DEL TERRITORIO COMUNALE	18
5.6	PERICOLOSITA' SISMICA DI RIFERIMENTO	19
5.6.1	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	19
5.6.2	PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO - PRINCIPI	21
5.6.3	ASPETTI NORMATIVI-AMMINISTRATIVI	24
6	PROCEDURE NORMATIVE	25
7	SINTESI DEGLI ELABORATI APPROVATI	27
7.1	CARTA DELLE INDAGINI DEL 1° LIVELLO	27
7.2	CARTA GEOLOGICO-TECNICA (CGT)	27
7.3	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)	28
8	PRECISAZIONI PRELIMINARI	30
9	ATTIVITA' SVOLTA IN SITU E IN STUDIO	30
9.1	INDAGINI IN SITU	30
9.2	ANALISI DEGLI ELABORATI	31
9.3	CARTA DELLE INDAGINI AGGIORNATA (CI)	31
10	"SPECIFICITA' SISMICHE" DEL TERRITORIO	33
10.1	ZONE STABILI	33
10.1.1	ZONE STABILI NON SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA	33
10.1.2	ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA	33
10.2	ZONE INSTABILI PER AZIONE SISMICA	35
10.2.1	FENOMENO DI LIQUEFAZIONE	36
10.2.2	FAGLIE ATTIVE E CAPACI	37
10.2.3	INSTABILITA' DI VERSANTE	39
11	METODOLOGIE D'ELABORAZIONE E RISULTATI	45
11.1	AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA	45
11.1.1	OSSERVAZIONI SULLE MISURE HVSR A STAZIONE SINGOLA	50
11.1.2	FREQUENZA E STRUTTURE	50
11.2	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	51
11.2.1	VALUTAZIONI PER CRESTA ROCCIOSA O COCUZZOLO - METODO	52
11.2.2	VALUTAZIONI PER LE SCARPATE - METODO	54
11.2.1	VALUTAZIONI PER ELEMENTI TOPOGRAFICI IN RILIEVO	56
11.2.2	ZONA DI FONDOVALLE - METODO	58
11.2.3	VALUTAZIONI DI 3° LIVELLO PER LA VALLE D'ALPONE	59
11.2.4	INSTABILITA' DI VERSANTE	63

11.2.5 INSTABILITA' DI VERSANTE E CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ.....	66
11.3 PERICOLO DI LIQUEFAZIONE	67
11.4 FAGLI ATTIVE E CAPACI - FAC.....	70
11.5 ZONA CON CAVITÀ SOTTERRANEE.....	70
11.6 SINTESI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI E VERIFICHE.....	70
12 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	71
13 CARTE TEMATICHE MS DI 2°-3° LIVELLO.....	71
13.1 CARTA MS - STIMA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE ICMS E CARTA FS.....	72
14 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	75
15 RACCOMANDAZIONI PER LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA.....	77
15.1 AREE STABILI SUSCETTIBILI AD AMPLIFICAZIONE SISMICA - GENERALITA'	77
15.2 CLASSI D'USO EDILIZIO IN AREE STABILI (AMPLIFICABILI O MENO)	78
15.3 AREE INSTABILI	79
15.3.1 ZONE D'ATTENZIONE PER FRANE SISMOINDOTTE ZA _{FR}	80
15.3.2 ZONE D'ATTENZIONE PER CEDIMENTI DIFFERENZIALI ZA _{ID}	83
15.3.3 ZONE D'ATTENZIONE ZA _{LQ}	84
16 CONCLUSIONI.....	87

ALLEGATI E = Tomografie geoelettriche ERT eseguite
 H = Indagini geofisiche HVSR eseguite
 M = Indagini geofisiche MASW eseguite.

CARTE: Carta Indagini aggiornata (**CI**)
 Carta di Microzonazione (**MS**)
 Carta suscettibilità alle frane sismo-indotte (**FS**)

1 PREMESSA E SCOPO

La presente Relazione viene prodotta ai sensi delle vigenti disposizioni regionali in materia di Microzonazione sismica di supporto allo strumento urbanistico, che costituisce il Piano degli Interventi del Comune di Vestenanova (VR).

In particolare, si valutano i possibili effetti sul suolo per gli interventi che prevedono modifiche d'uso del territorio e/o variazioni di carichi edilizi sul suolo. Pertanto, si analizzano e si elaborano gli effetti e le soluzioni per siti, sulla base delle indicazioni di Piano ricevute.

Le analisi tengono conto delle prescrizioni dettate dalla Delibera della Giunta n. 1572/2013. Infatti, con la DGR 1572/2013, la Regione Veneto ha ritenuto di integrare la documentazione da allegare alla pianificazione urbanistica con lo "studio di Microzonazione sismica", il quale deve fornire un supporto sulle modalità costruttive degli interventi, in modo da garantire un'adeguata sicurezza degli insediamenti e delle infrastrutture, divenendone uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato.

A questa sono seguite ulteriori Deliberazioni regionali atte a chiarire e/o a definire le azioni da seguire negli studi di microzonazione sismica. In sintesi sono: DGR 3645/2003, DGR 1572/2013, DGR n. 1389/2018, DGR n. 950/2019, DGR n. 899/2019, DGR n. 939/2021, DGRV 899/2019, DGR 244/2019, DGR 1826/2020, DGR 1855/2020, DGRV 1381/2021, DGR 378/2021, alle quali si rimanda per una loro esaustiva lettura.

2 PIANIFICAZIONE COMUNALE

L'Amministrazione comunale ha già prodotto e approvato gli studi di Microzonazione sismica di 1° livello e delle analisi CLE del territorio.

Codesto scritto deriva dall'affidamento del servizio per la redazione dello studio di Microzonazione Sismica di 2/3 livello ai sensi delle DGR vigenti sopra citate.

Quindi, per non ripetere pedissequamente quanto già fatto e scritto, nei lavori precedenti, si rimanda alla lettura degli stessi.

Si precisa che la valutazione di congruità sismica del territorio non sostituisce ulteriori studi e atti istruttori di qualunque tipo richiesti al soggetto promotore dalla normativa statale e regionale, in quanto applicabili.

3 OBIETTIVI E CONTENUTI DEL FUTURO P.I.

Il futuro PI interesserà modifiche puntuali proposte dai cittadini in seguito alla presentazione ed alla pubblicazione del Documento Programmatico Preliminare, valutate dall'Amministrazione Comunale in linea con gli obiettivi contenuti nel documento di programmazione fissati dalla stessa Amministrazione. Riguarderanno anche elaborati di piano sia dal punto di vista cartografico, sia normativo.

Si rimanda, comunque, alla Relazione tecnica, che sarà redatta dal Pianificatore.

SEZIONE GEOLOGIA

4 CARATTERI DEL TERRITORIO COMUNALE

4.1 INQUADRAMENTO

Il Comune di Vestenanova è ubicato a Nord-Est della Provincia di Verona ed occupa la parte porzione più a Nord e di "testata" della Valle d'Alpone, corso d'acqua che ha la propria sorgente nel medesimo Comune.

La superficie comunale è di 24.18 Km². L'altitudine media è di 510 m slm, anche se le quote oscillano tra i ~300 m slm alle estremità del territorio sia verso la Val di Chiampo, sia verso S. Giovanni I. e ~900 m slm (925 m slm per il monte Purga di Bolca e 943 m slm per il Monte Pergo).

Il territorio di Vestenanova ha caratteristiche prettamente collinari e montuose. I rilievi sono delimitati da Torrenti "di confine", come il T. Corbiolo a NW e il T. Chiampo, ma ha un valore significativo per tutti gli aspetti di gestione territoriale il Torrente Alpone che con direzione NNW ÷ SSE raccoglie gli afflussi delle vallate minori (es. Dei Gaggi, Motto Lungo, Paretto, Dei Galli, etc.); mentre altri solchi hanno una direzione divergente da esso indirizzandosi verso l'esterno (es. Tellari, Giacomazzi, Massanghella, Covale, etc.).

Solo poca superficie risulta pianeggiante e corrisponde alla fascia terminale del T. Alpone in ambito comunale. Si veda la **Figura 1** per l'inquadramento territoriale.

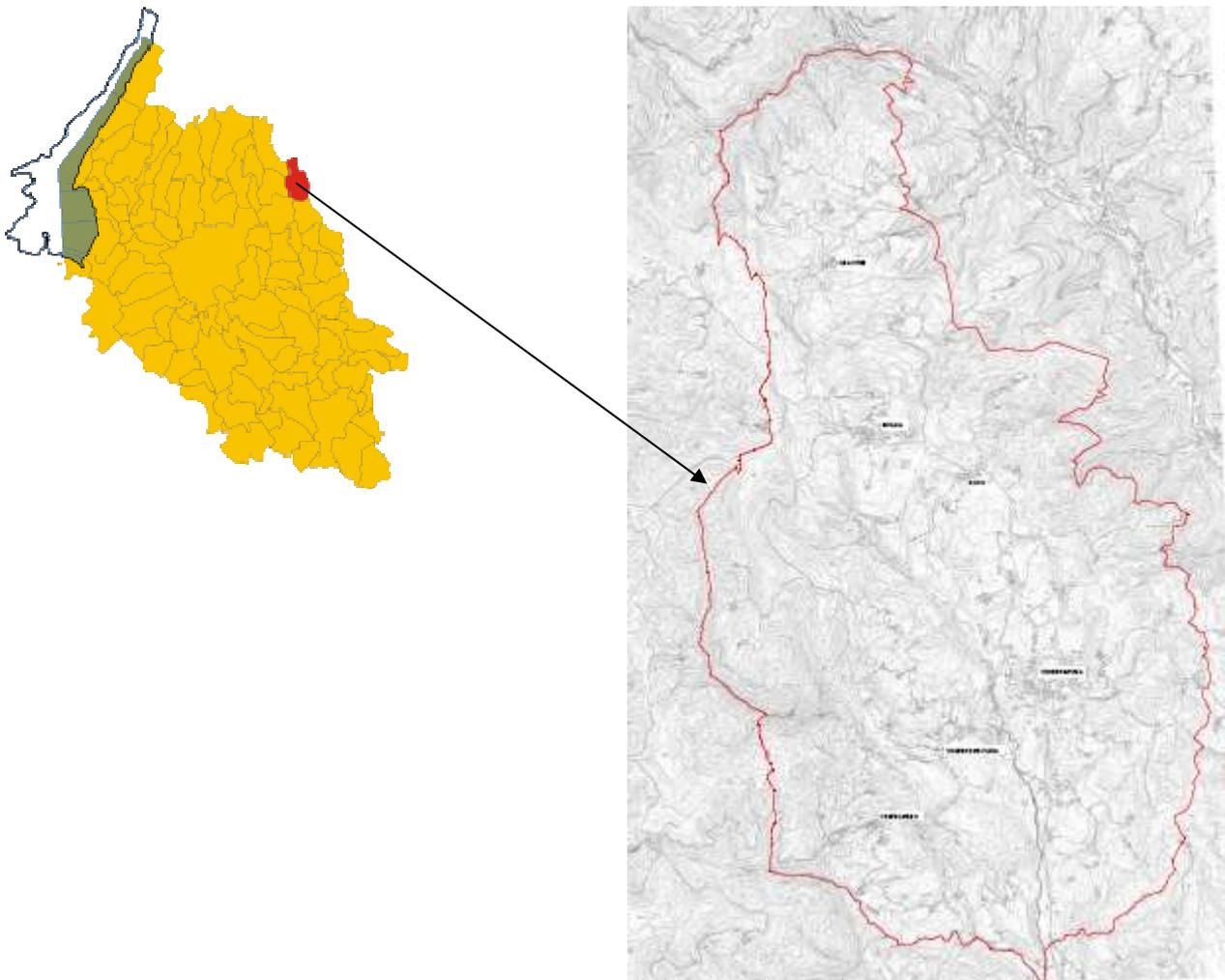


Figura 1. Territorio comunale in studio

4.2 CONDIZIONI MORFOLOGICHE LOCALI

Il contrasto litologico tra la porzione Est e la porzione Ovest rispetto alla Faglia di Castelvero si riflette in una diversa morfologia del territorio che è riscontrabile all'interno del territorio comunale.

Infatti i rilievi carbonatici si presentano come alti strutturali, con versanti vallivi scoscesi e variamente articolati, mentre, in corrispondenza del substrato vulcanico, la morfologia diviene dolcemente ondulata e modellata. La presenza, infatti, di una spessa copertura d'alterazione del substrato vulcanico predispone il territorio al modellamento degli agenti esogeni, dando poi luogo a fenomeni gravitativi diffusi.

I rilievi presentano morfologie dolci ed ondulate e sono racchiusi tra torrenti che incidono le valli in maniera molto marcata sin dall'inizio del loro corso, prendendo poi vie differenziali lungo faglie o incidendo terreni meno competenti.

La quota più elevata è rappresentata dal Monte Pergo (945 m slm), mentre le zone più depresse sono situate nella contrada dei Sanzini (353 m slm).

Un aspetto particolare del paesaggio è dato dalle "purghe", forme coniche che sporgono dalle dorsali arrotondate.

La più importante di queste è la Purga di Bolca. Essa è un camino di magma vulcanico messo a nudo dall'erosione selettiva delle rocce. Infatti, l'elevata compattezza e la modesta predisposizione all'alterazione del magma dei camini, ha permesso alle "purghe" di rimanere in rilievo rispetto alle altre rocce vulcaniche o alle rocce sedimentarie fittamente stratificate in cui si sono iniettate. Per una lettura delle altre forme del territorio si rimanda alla lettura della cartografia geomorfologica costituente il PATI. Si veda la **Figura 2**.

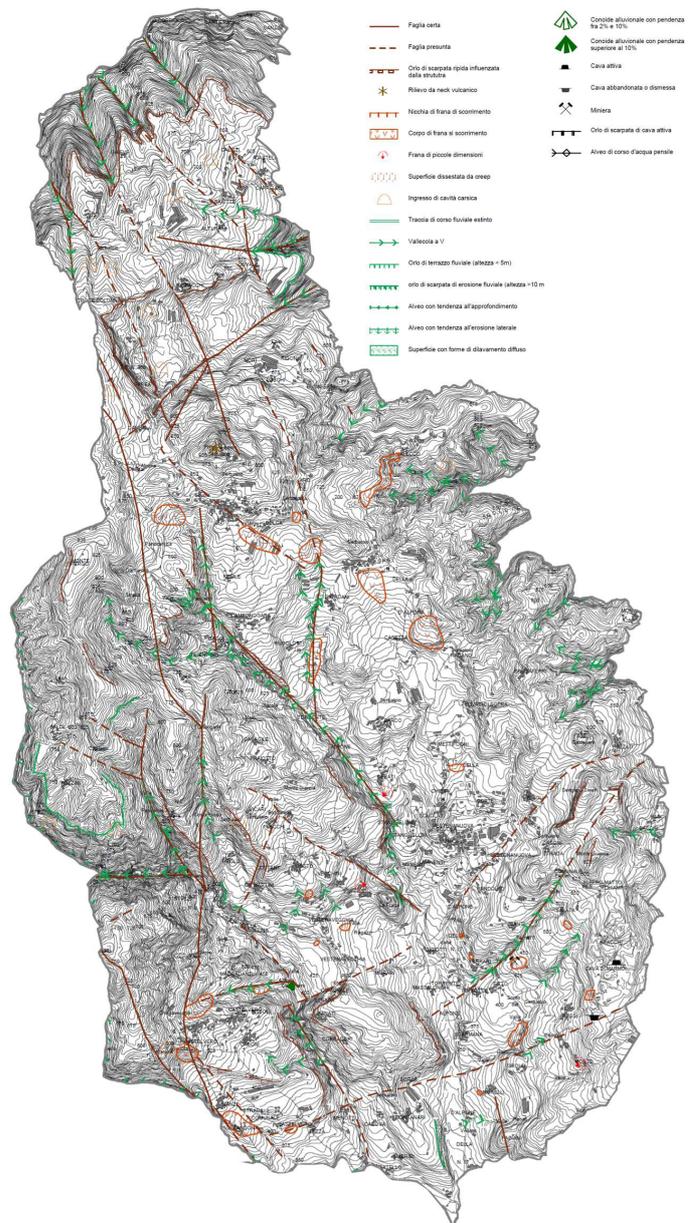


Figura 2. Unità morfologiche (da PATI)

4.3 LITOLOGIA

Sulla base della storia geologica locale ora sinteticamente descrittasi possono evidenziare i due principali complessi deposizionali che caratterizzano il territorio comunale. Osservando la Figura 2 si nota la netta separazione tra i corpi carbonatici caratteristici della parte occidentale del Comune, nettamente separati da quelli vulcanici della parte centro orientale del territorio. Per i motivi strutturali e tettonici presenti. In primis la Linea di Castelvero.

4.3.1 LITOLOGIE PREQUATERNARIE

Come detto, dal punto di vista geologico, il territorio della Val d'Alpone e, quindi, di Vestenanova, può essere suddiviso in due domini dalla Linea di Castelvero: rocce carbonatiche dei Lessini centrali, ad ovest della faglia, e vulcaniti dei Lessini orientali ad est del lineamento stesso.

Le litologie prequaternarie che caratterizzano l'area possono essere riassunte in:

- **Dolomie e Calcari dolomitici, giallastri o rosa-violacei**, mal stratificati in eteropia alla formazioni cretacico-inferiori e giurassiche - Giurassico inf.. Sono evidenziabili sul Monte Pecora ed a Ovest del Capoluogo.
- **Calcari marnosi grigio-verdi** con intercalazioni argillose, talvolta selciferi - Biancone - Cretacico inf. presenti sulla porzione occidentale del territorio, alle quote inferiori dei rilievi.
- **Calcari marnosi**, fittamente stratificati rosati; Calcari rosei lastriformi - Scaglia Rossa - Cretacico sup..
- **Complesso vulcanico** Terziario costituito da Basalti colonnari, compatti o bollosi delle colate dei camini vulcanici (Cretacico sup. - Miocene Inf.). Tufi e ialoclastici varicolori, spesso gradati, talora fossiliferi e rimaneggiati (Cretacico sup. - Oligocene). Tufi e ialoclastici basaltici degli accumuli sottomarini ed aerei (Cretacico sup. - Oligocene).

Questi dati sono utili per conoscere il grado di amplificazione sismica di tipo topografico dei siti in questione, come dettato dalla normativa regionale e nazionale vigente.

4.3.2 LITOLOGIE QUATERNARIE

Tra i materiali quaternari che caratterizzano il territorio di Vestenanova ci sono:

Depositi detritici eluviali e colluviali costituiti da materia a pezzatura medie e piccola prevalentemente pur con motrice fine. Si trovano alle quote maggiore settentrionali dove la pendenza è relativamente minore e nel settore carbonatico.

Depositi detritici limoso-argillosi con, in subordine, inclusioni sabbioso-ghiaiose. Essi caratterizzano la quasi totalità del territorio comunale alle quote medie e basse ove non sia presenti gli affioramenti roccioso. Si tratta generalmente del prodotto di alterazione del sottostante substrato vulcanico.

Depositi alluvionali a tessitura prevalente sabbiosa. Caratterizzano il fondovalle del T. Alpone dal Capoluogo al confine meridionale del Comune.

Infine non mancano Depositi legati a fenomeni gravitativi distribuiti sul territorio comunale soprattutto nei Depositi di alterazione vulcanica e sono di tipo vario: scoscendimenti in blocco, scorrimento in matrice fine o colata.

Si veda la **Figura 3**.

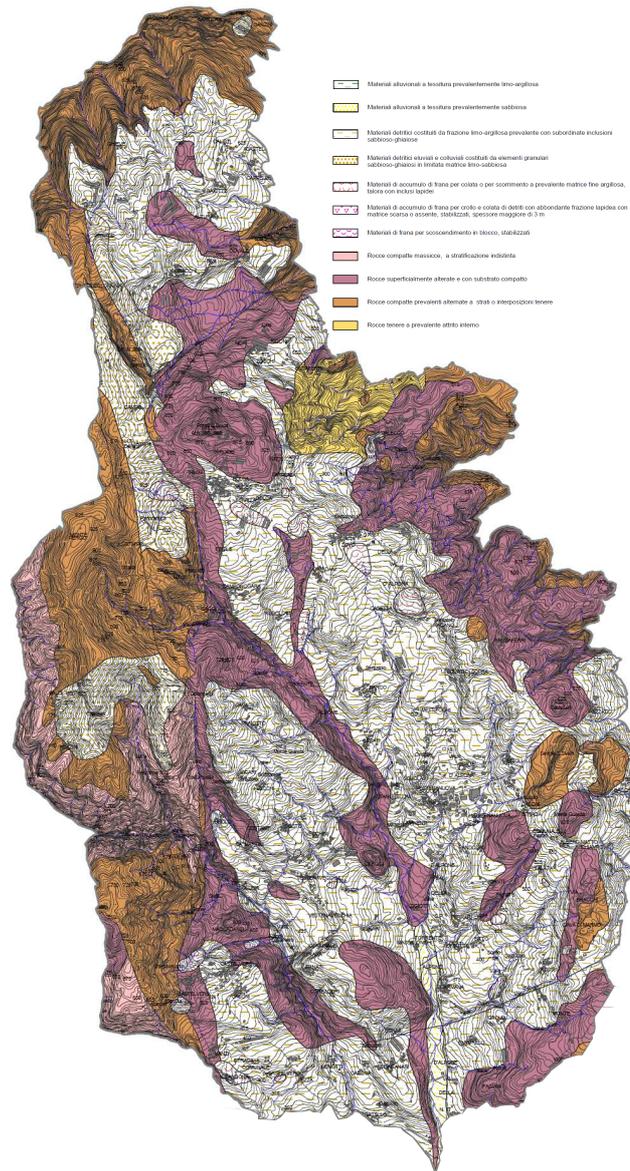


Figura 3. Litologie superficiali (da PATI)

4.4 CENNI DI IDROGEOLOGIA

4.4.1 RETE IDRICA SUPERFICIALE

Il territorio di Vestenanova è caratterizzato da una modesta rete idrografica di grado superiore al primo, formata essenzialmente dal Torrente Alpone che da sotto Bolca taglia in due il territorio comunale sino al confine meridionale .

Subparallelo ad esso e suo immissario è il Rio Bagattel-Castelvero. Completa il quadro idrico il Torrente Corbiolo, che funge anche da limite comunale settentrionale e che si getta, poi, nel Torrente Chiampo, dove confluisce anche il Torrente Massanghella.

Si tratta di aste a regime torrentizio strettamente legati alle precipitazioni stagionali e, quindi, con una portata variabile, anche elevata per particolari eventi meteorici di piovosità diffusa e prolungata per parecchi giorni. I tratti superiori sono spesso secchi in condizioni di stagionalità poco piovose.

Del resto sono aste che risentono anche dell'azione di raccolta e trasferimento attraverso il sottosuolo da parte del corpo carbonatico carsificato che caratterizza la porzione occidentale comunale, oppure dal rilascio delle componenti vulcaniche \pm fratturate o porose.

Oltre a queste Torrenti si riscontra una rete non estesa e non numerosa di solchi e vallecole a V (ordine di gerarchizzazione ≤ 1 secondo Strahler) che alimentano direttamente le principali aste.

Le principali aste idriche mostrano direzioni prevalenti (NNW-SSE) indicando così un controllo strutturale da parte delle faglie (evidenti o mascherate) e delle fratture. Si veda la **Figura 4**.



Figura 4. Rete idrica principale)

Per quanto riguarda le criticità di tipo idraulico, il Comune non è interessato dal rischio idraulico, come emerge dagli elaborati vigenti del PGRA.

4.4.2 ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'attività tettonica con i suoi movimenti ha impostato l'attuale assetto stratigrafico e ha prodotto una significativa fratturazione degli ammassi rocciosi soprattutto carbonatici, mentre i corpi vulcanici più rigidi, come i basalti, presentano una fessurazione "genetica". Tutto ciò comporta una circolazione idrica di tipo fessurativo che alimenta soprattutto gli acquiferi di base dei due complessi litoidi.

Non manca però e seppur in modo minore una circolazione intragranulare nei corpi di alterazione vulcanici e localmente anche nei livelli incoerenti quaternari, seppure la copertura quaternaria sia generalmente caratterizzata da litotipo coesivi (limi e argille) derivanti da alterazione del sottostante substrato vulcanico.

Inoltre, i corpi sciolti detritico-colluviali, hanno un modesto spessore e non contengono falde idriche significative né in rete né sospese.

Più importante, relativamente, è il materasso materasso alluvionale di fondovalle sia per il suo spessore, sia perché costituisce il livello di base relativo del locale sistema idrogeologico.

Può esistere, nei termini più grossolani del terreno prossimo alle aste torrentizie, una falda freatica di subalveo.

Da quanto detto sinora, la soggiacenza della tavola d'acqua di base è di parecchie decine di metri; mentre quella superficiale di fondovalle può assestarsi a qualche metro nella fascia più meridionale. Qui la soggiacenza oscilla tra zero e pochi metri. Questo induce ad un rischio di esondazione di alcune porzioni di fondovalle in concomitanza con i periodi piovosi più importanti.

Le limitate falde sospese sono talora riscontrabili anche a quote altimetriche significative, soprattutto nei corpi vulcanici alterati.

In sintesi, le formazioni litoidi e i depositi quaternari sopra citati e che caratterizzano il territorio comunale possono essere classificati dal punto di vista idrogeologico in **Unità idrogeologiche**, sulla base del tipo di permeabilità.

- **Rocce molto permeabili** per fessurazione e carsismo: sono rappresentati dalla formazione compatta del complesso dolomitico indifferenziato.
- **Rocce mediamente permeabili** per fessurazione e carsismo: sono rappresentate dalla formazioni calcareo marnose
- **Rocce poco permeabili** per fessurazione e carsismo: sono stati classificati in questo modo i basalti, ialoclastiti e tufi. La permeabilità del basalto cambia comunque in funzione del grado di alterazione e di fratturazione in cui si presenta l'ammasso.
- **Depositi mediamente permeabili** per porosità: sono rappresentati dai depositi alluvionali prevalentemente sabbioso-ghiaiosi che caratterizzano la parte settentrionale del fondovalle.
- **Depositi poco permeabili** per porosità: sono rappresentati dai depositi colluviali

Tutto ciò serve, ai fini della microzonazione, per stabilire se, con le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche emerse, possono esistere pericoli di liquefazioni in ambito comunale.

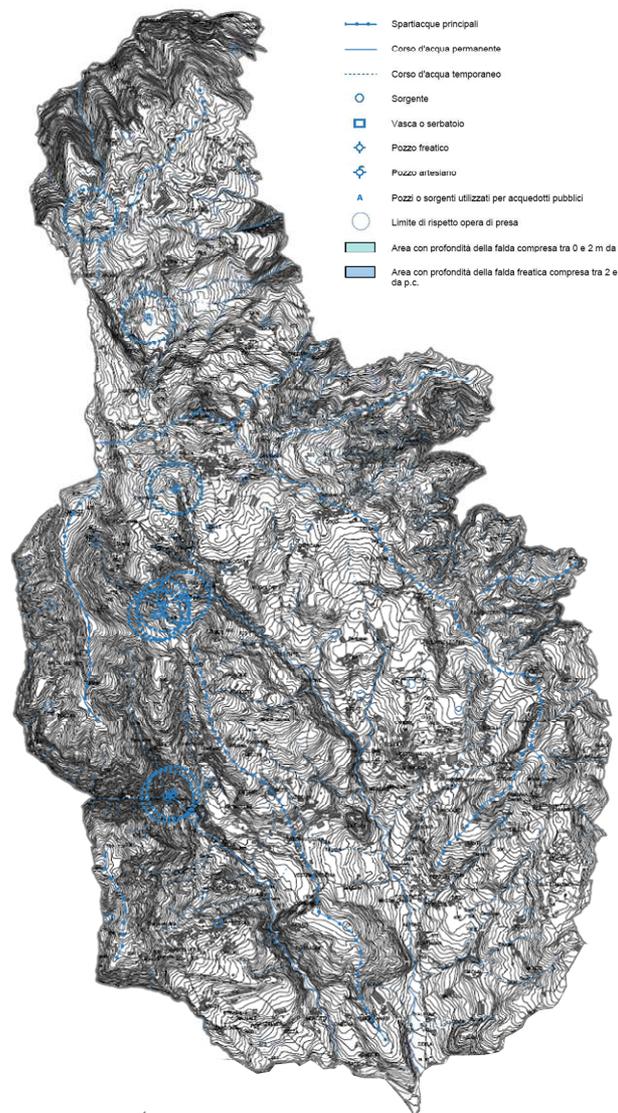


Figura 5. Carta Idrogeologica(da PATI)

4.4.3 CRITICITA' DEL TERRITORIO

Come si è visto, l'ente gestore del rischio idraulico non evidenzia nel territorio comunale zone soggette a tale criticità.

Più palesi sono, invece, le criticità idrogeologiche contenute nel catasto IFFI dell'ISPRA, dove sono segnalate 230 fenomeni franosi di differente tipologia e dimensione. Infatti, si contano 9 frane di tipo crollo/ribaltamento; 168 di scivolamento rotazionale/traslativo; 6 di colamento lento e 34 di colamento rapido, oltre a 8 di tipo complesso ed altre aree con frane a carattere diffuso. Si veda la **Figura 6** e, più avanti, la **Tabella 3**.

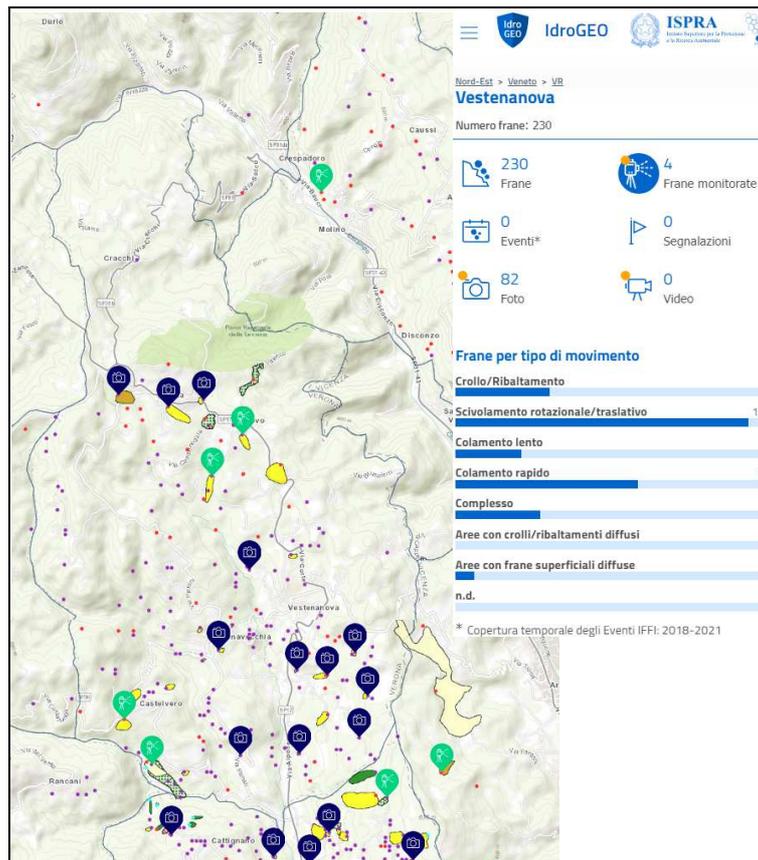


Figura 6. Fenomeni franosi censiti in IFFI

Tra questi dissesti censiti, lo studio in oggetto ha fatto eseguire delle indagini di tomografia geoelettrica (ERT) per la ricostruzione stratigrafica e idrica del singolo sito, il quale è stato scelto in quanto prospiciente/limitrofo a nuclei abitati, quindi più suscettibili a fenomeni gravitativi sismoindotti in caso di terremoto.

Gli **Allegati "E"** mostrano le sezioni ERT ottenute con gli stendimenti geoelettrici. Sinteticamente, si può individuare che:

- nell'indagine 023093L45 (ERT01), riferita alla frana IFFI 0230070300, i terreni con qualità geologiche minori e/o scendenti si approfondiscono da circa -5 m sino a circa -20 metri salendo verso Bolca.
- nell'indagine 023093L46 (ERT02), riferita alla frana IFFI 0230049800, i terreni con qualità geologiche minori e/o scendenti oscillano tra circa -5 m sino a circa -15 metri andando verso WSW.
- nell'indagine 023093L47 (ERT03), riferita alla frana IFFI 0230048600, i terreni con qualità geologiche minori e/o scendenti oscillano tra circa -5 m sino a circa -10 metri andando verso WSW.
- nell'indagine 023093L48 (ERT04), riferita alla frana IFFI 0230052801, i terreni con qualità geologiche minori e/o scendenti caratterizzano circa i primi 15.

- nell'indagine 023093L49 (ERT05), riferita alla frana IFFI 0230052701, i terreni con qualità geologiche minori e/o scadenti oscillano tra circa - 6 m sino a circa -8 metri nella mezzeria della valle.
- nell'indagine 023093L32 (MASW08), riferita alla frana IFFI 0230046200, i terreni con qualità geologiche minori si riscontrano entro i primi 5-7 metri da p.c..

SEZIONE TETTONICO-SISMICA

5 CARATTERI SISMO-TETTONICI DEL TERRITORIO

5.1 CENNI DI TETTONICA DELL'AREA

Per ciò che riguarda i Monti Lessini, essi sono una monoclinale triangolare leggermente inclinata verso Sud che occupa circa 800 km² nel Veneto Occidentale. Questo triangolo è delimitato a NW dalla Linea delle Giudicarie, a NE dalla Linea Schio-Vicenza e a Sud dalla Pianura Padana.

L'evoluzione tettonica dei monti Lessini è caratterizzata da ripetuti episodi deformativi che iniziano col rifting Mesozoico: questa iniziale fase estensionale è legata allo sviluppo del margine passivo della microplacca Adria. Ciò permette l'ampliamento verso Est del bacino Lombardo e sviluppa delle faglie sinsedimentarie con direzione N-NNE, parallele al margine occidentale della Piattaforma di Trento (Castellarin, 1982; Castellarin & Picotti, 1990; Zampieri, 2000) - **Figura 7**.

E' durante il Miocene che i monti Lessini subiscono un importante sollevamento, tanto che nel Pliocene, la Piattaforma Lessinea è completamente emersa, e le zone costiere si trovano lungo l'attuale bordo della Pianura Padana (Dondi, 1985).

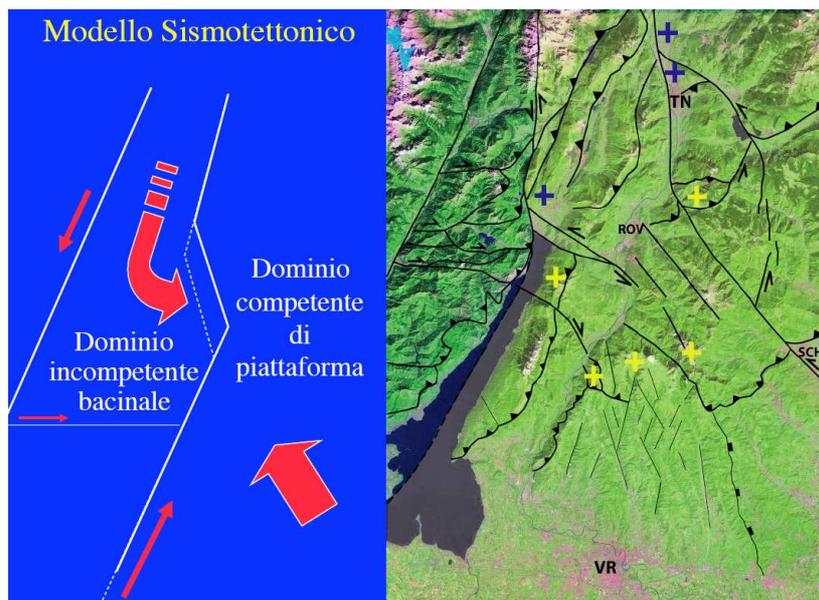


Figura 7. Modello sismotettonico (da Zampieri e Massironi, 2008)

È da ricordare che durante il Pliocene avviene anche il tilting verso sud della Piattaforma Lessinea (Zanferrari et alii, 1982), provocato dalla rotazione di larghi blocchi verso Est; quest'ultimo movimento è da ricondurre probabilmente alle deformazioni del margine prealpino che, rispetto all'avanfossa appenninica, è una rampa di avanpaese (Castellarin et al, 1982; Doglioni, 1993) - **Figura 8**.

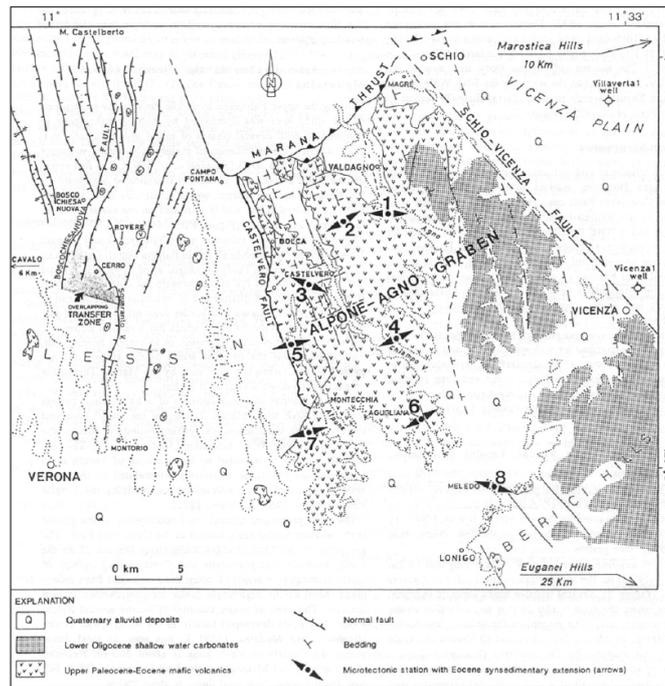


Figura 8. Mappa tettonica semplificata dei Monti Lessini tra Verona e Vicenza.

Durante il Pliocene avviene anche il tilting verso Sud della Piattaforma Lessinea (Zanferrari et Alii, 1982) provocato dalla rotazione di larghi blocchi verso Est. Anche nel Quaternario l'area dei Monti Lessini è soggetta a sollevamenti differenziali, in linea con il trend deformativo del Sudalpino orientale. Tali movimenti sono ancora in atto e hanno probabilmente provocato i forti terremoti registrati nell'area negli ultimi mille anni. A questi movimenti neotettonici possono essere connesse alcune faglie che mostrano superfici molto fresche (es: scarpate tettoniche del graben di Orsara; Sauro, 1978).

In particolare, le faglie N-S presenti nei Monti Lessini con movimento verticale nel Paleocene-Eocene, vengono riutilizzate nel Neogene come faglie trascorrenti: le faglie con trend N-NE assumono movimento sinistro, mentre quelle con direzione N-NNW assumono un movimento destro (Artori & Rebesco, 1989).

Passando al Pleistocene sup.-Olocene, ad un sollevamento continuo si accompagnano movimenti differenziali e di basculamento dei blocchi con caratteri morfo-strutturali tipo "horst", "graben" e di monoclinale con rigetti che nel post glaciale superano localmente i 2 m.

Nei Lessini gli elementi strutturali più significativi sono rappresentati da faglie di direzione giudicariense e scledense e in corrispondenza delle principali faglie si hanno scarpate interpretabili di origine tettonica (Sauro, 1978).

Dopo questa sintetica cronologia geologica locale si evidenziano i seguenti punti:

- Sul lato occidentale due sistemi di graben (NNW-SSE e NNE-SSW) sono chiaramente riconoscibili. Vicino a Cerro un'estesa zona di trasferimento accomoda il cambiamento di immersione delle faglie all'interno del sistema NNE.
- Sul lato orientale, un graben principale (Alpone-Agno Graben - AAG) affiora tra la faglia normale di Castelvenero e la faglia di Schio-Vicenza. Quest'ultima tronca il bordo orientale del graben, attualmente sepolto sotto il thrust sudalpino (Marana thrust) a Nord di Schio e dei Monti Berici settentrionali (Zampieri, 1995).
- L'area è fortemente interessata da disturbi tettonici, come del resto l'intero complesso lessineo. In particolare, due di queste linee tettoniche durante il Terziario suddividono il rilievo lessineo influenzando la flessura nella sua formazione e nel suo sviluppo. Esse sono la Faglia di Castelvenero e la Faglia dell'Agno.
- La Linea di Castelvenero fu attiva durante il Paleocene e l'Eocene in concomitanza con le prime fasi eruttive del vulcanismo basico del Veneto occidentale (Barbieri 1972, De Zanche e Conterno 1972).

Ben riconoscibile tra Campofontana e la pianura veneta, essa si presenta subverticale con immersione tendente ad oriente e con direzione variabile tra NNW-SSE e N-S. Si veda la Figura 8.

- Il rigetto è valutabile in alcune centinaia di metri con abbassamento relativo del settore orientale. A nord di Campofontana sono presenti alcune faglie con direzione analoga che mostrano dislocazione in senso opposto.
- Tale inversione di rigetto si riscontra in particolare a nord dell'intersezione tra la Faglia di Castelvero e la Linea Marana-Piovene. Ciò può far pensare che la Linea di Castelvero si estendesse col suo rigetto naturale anche più a nord e che, in conseguenza del forte innalzamento relativo del Recoarese, nel suo tratto settentrionale abbia subito un movimento opposto a quello originario.
- Il rigetto della Faglia di Castelvero misurabile a nord di Campofontana è di entità pari alla differenza tra il dislivello generato dalla flessura e il rigetto che si riscontra lungo il tratto meridionale di tale faglia.
- La flessura pedemontana si riconosce solo a oriente della Faglia di Castelvero, ad occidente invece non c'è traccia di tale imponente elemento strutturale. E presumibile che la Faglia di Castelvero si sia comportata da superficie di separazione tra due regioni che si deformarono in modo e in misura completamente diversi.

Per le principali Linee locali si veda anche la **Figura 9**.

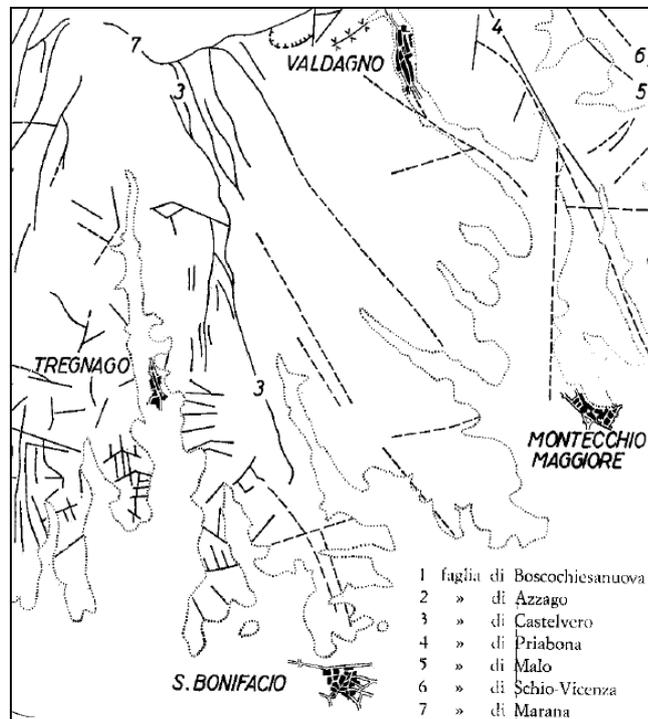


Figura 9. Tettonica dell'area lessinea (tratta da A. Castellarin)

5.2 DISTRETTO SISMICO

Il Veneto in un recente studio¹ da parte dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), che fornisce il Servizio di monitoraggio e allarme sismico alla Protezione Civile Regionale, è stato suddiviso in 9 "distretti sismici" sulla base di dati sismologici, elementi geologico-strutturali e informazioni relative alla cinematica e alla tettonica attiva. Viene definito distretto sismico "un'area all'interno della quale si ritiene che i terremoti possano essere identificati da alcuni elementi sismogenetici comuni". I distretti sismici veneti sono i seguenti:

Il territorio di Vestenanova ricade nel **distretto Lessini-Schio (L)**.

¹ M. Sugam, L. Peruzza "Distretti sismici del Veneto" – Centro Ricerche sismologiche, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale Cussignacco (UD) e Sgonico (Ts) - pubbl. su Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 52 n.4 supplement, Dicembre 2011

1	Giudicarie (G)	4	Pedemontana Nord (PN)	7	Alto Bellunese-Dolomiti (B)
2	Lessini-Schio (L)	5	Alpago-Cansiglio (A)	8	Pianura Veneta Est (PVE)
3	Pedemontana Sud (PS)	6	Claut (C)	9	Pianura Veneta Ovest (PVO)

Il Distretto "L" si estende dai fronti di accavallamento più esterni del sistema delle Giudicarie Meridionali ad ovest, fino alla Flessura Pedemontana ad est e comprende i Monti Lessini, la fascia della Linea Schio-Vicenza (SCHV), e i rilievi dei Monti Berici e dei Colli Euganei. La transizione dal dominio pede-alpino a quello pede-appenninico avviene nella pianura padana; il limite meridionale del poligono è stato tracciato in modo arbitrario laddove la sismicità nota risulta minima - **Figura 10**.

L'area è interessata da faglie prevalentemente trascorrenti, disposte NW÷SE. Sono mappati anche alcuni elementi tettonici ad andamento ENE-WSW, quali il sovrascorrimento di Cima Marana o il klippen di Castel Malera. La fascia Schio-Vicenza separa strutture plicative ad Est, dai Lessini posti ad Ovest.

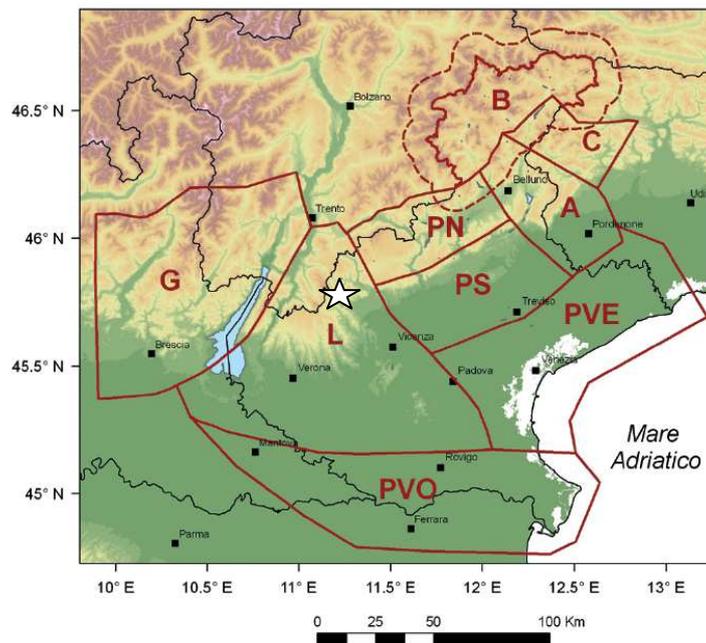
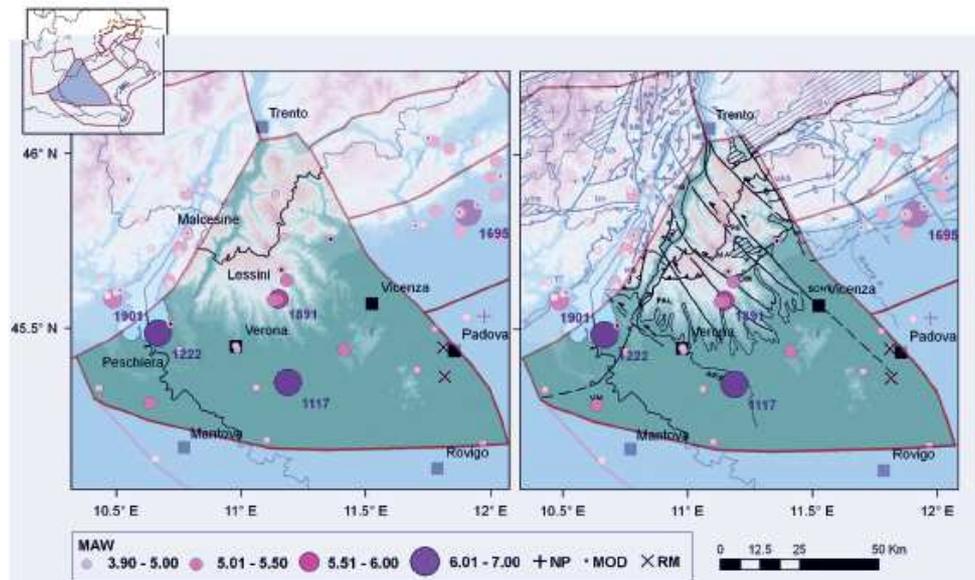


Figura 10. Distretti sismici del Veneto (stella = sito in studio)

5.2.1 SIMICITA' STORICA DEL DISTRETTO

Il distretto dei Lessini è una zona potenzialmente interessata da due forti eventi medioevali, e alcuni eventi che hanno superato la soglia del danno (I0=VI MCS), ben documentati nel Rinascimento e dalla fine dell'Ottocento. In quest'area ricadono graficamente gli epicentri derivati da informazioni macrosismiche, dei disastrosi eventi di Verona del 3 gennaio 1117 (MW=6,49, I0=IX-X MCS) e del Basso Bresciano del 25 dicembre 1222 (MW=6,05, I0=VIII-IX MCS).

Si veda la **Figura 11**.



Mappa della sismicità storica del distretto Lessini-Schio (L); fonte dati CPTI04 criticamente rivisto Molin et al.(2008). Visualizzazione su DEM in scala cromatica (sn) e su DEM integrato con modello strutturale tratto da Castellarin et al.(1998b) (dx). In legenda: Maw indica la magnitudo equivalente a Mw riportata in CPTI Working Group, 2004; i sovrassegni indicano eventi revisionati, rispettivamente come non parametrizzati 'NP', modificati 'MOD' o rimossi 'RM'.

Figura 11. Sismicità storica del Distretto L

Nella sottostante **Figura 12** è riportato un grafico che illustra la relazione tra Intensità, scossa, effetti e magnitudo di un sisma, per comprendere i valori dei terremoti sopra elencati.

La conversione fra magnitudo di durata (M_D), e magnitudo momento (M_W o M_{aw}) che possono essere utilizzate passano attraverso il termine di magnitudo locale (M_L), e in dettaglio:

$$M_L = 1,508 MD - 1,743 \text{ con } \sigma=0,35$$

relazione tarata nell'analisi specifica condotta a livello regionale per i dati 1977-2007 (Gentili et al., 2011), che viene applicata solo agli eventi post 1994 e con $MD < 3,5$.

Intensità I_{MCS}	Scossa	Effetti	MAW - MD
I	strumentale		≤ 2.6 – 2.3
II	leggerissima		3.0 – 2.7
III	leggera		3.4 – 3.0
IV	mediocre	Percezione	3.9 – 3.4
V	forte		4.3 – 3.9
VI	molto forte		4.8 – 4.5
VII	fortissima	Danno	5.1 – 4.9
VIII	rovinosa		5.5
IX	disastrosa		5.9
X	disastrosissima	Distruzione	6.5
XI	catastrofica		7.0
XII	grande catastrofe		> 7.3

Figura 12: Relazione orientativa tra intensità macrosismica, effetti e magnitudo strumentale

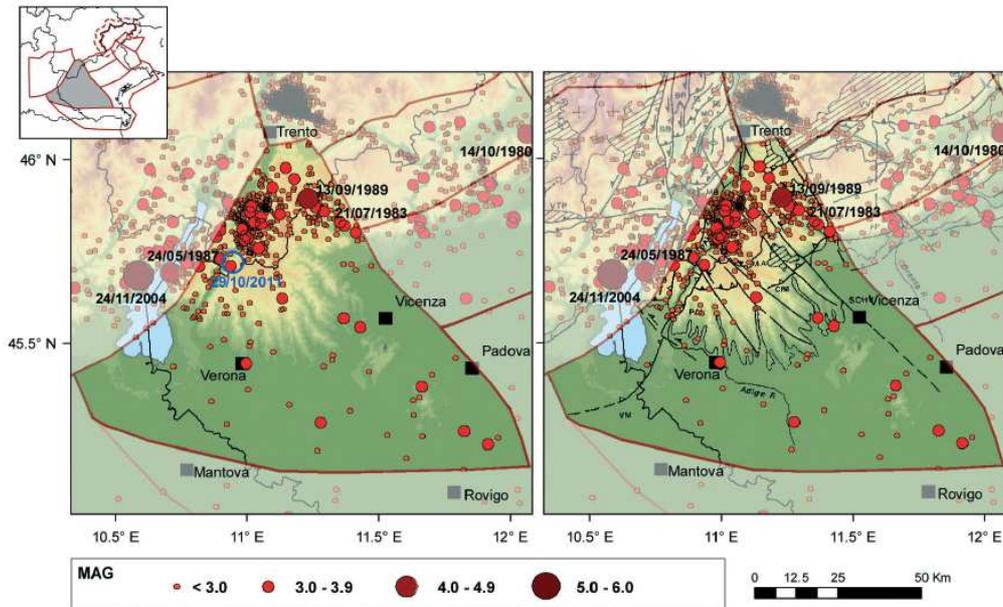
5.2.2 SISMICITA' STRUMENTALE DEL DISTRETTO

Le registrazioni strumentali dal 1977 in poi indicano per il **distretto L** un solo evento rilevante, e si concentra nella regione montuosa, entro i 20-25 km di profondità. Il 29 ottobre 2011, un terremoto ($M_L=4,4$, $M_W=4,0$) nella zona di Ala-Avio, ha dato inizio ad una sequenza di piccoli eventi periodicamente attivi.

I terremoti con magnitudo superiore a 3 sono localizzati nella porzione settentrionale della Lessinia, e verso la pianura in una fascia delimitata dalla "Schio-Vicenza" a Est e il fiume Adige a Ovest.

In epoca strumentale il terremoto più forte si è verificato il 13 settembre 1989, nell'area di Pasubio ($M_D=4,7$, profondità: 9-10 km). Sempre nella stessa area si nota l'evento del 21 luglio 1983 di $M_D=3,8$. A NW dell'epicentro del 1989, un evento avvenuto il 24 ottobre 1994 [$M_D=3,5$ secondo dati OGS e in Viganò et al. (2008)] viene riportato con magnitudo sensibilmente superiore nel catalogo CSI 1.1 ($MAG=4,3$). L'evento del 24 maggio 1987 ($M_D=4,2$) è stato recentemente spostato nel distretto dei Lessini e rivalutato in termini energetici [$M_L=4,4$, $M_W=4,8$; Eva e Solarino (1992), Eva e Pastore (1993)].

I meccanismi focali degli eventi del 2011 aggiungono un ulteriore elemento di complessità, riguardo l'assetto strutturale degli elementi sismogenici di quest'area, con soluzioni di tipo dip-slip su piani orientati ENE-WSW, o, subordinatamente, transpressive (Garbin et al., 2011, <http://rts.crs.inogs.it/it/detail.html?id=2012>) - **Figura 13**.

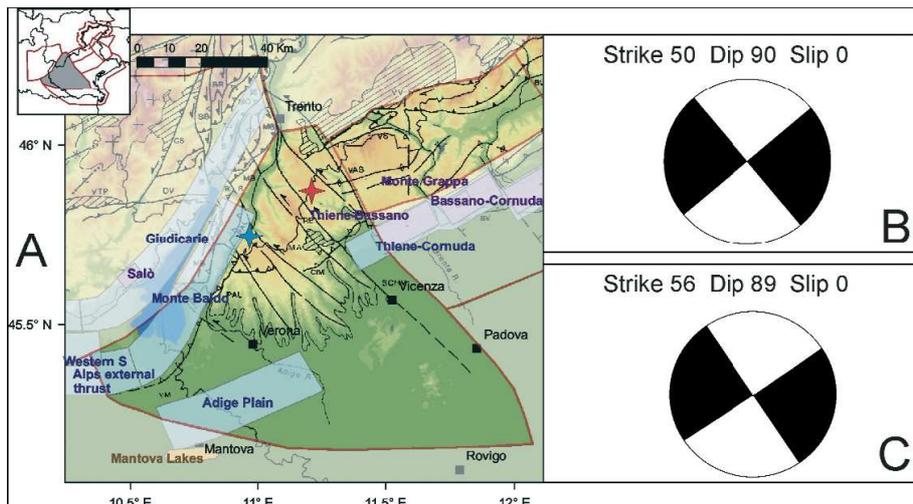


Mappa della sismicità strumentale del distretto Lessini-Schio (L); fonte dati OGS (vedi Tabella 3.1). Visualizzazione su DEM in scala cromatica (sn) e su DEM integrato con modello strutturale tratto da Castellarin et al. (1998b) (dx). In blu nella mappa di sinistra è riportata la localizzazione dell'ultimo evento significativo, avvenuto nella zona di Ala-Avio il 29 ottobre 2011 ($M_L=4,4$, $M_W=4,0$).

Figura 13. Sismicità strumentale nel Distretto L

5.2.3 NEOTETTONICA - SORGENTI ATTIVE

Dal punto di vista della neotettonica è in atto un processo di sollevamento articolato dell'area, che la suddivide in piccoli blocchi soggetti sia a sollevamenti differenziali sia a basculamenti ad opera di faglie subverticali, appartenenti ai sistemi giudicariense NNE-SSO, scledense NO-SE e della Valsugana OSO-ENE (Zanferrari et al., 1982). L'intensità del sollevamento aumenta da Sud verso Nord. La zona dei Lessini orientali, Berici e Euganei è interessata da un movimento di inarcamento anticlinale, con asse circa OSO-ENE collocabile in corrispondenza dei Berici, mentre i Lessini occidentali sono prevalentemente caratterizzati da basculamenti con abbassamento della porzione occidentale dei blocchi. A tensioni secondarie normali all'asse dell'anticlinale berico-euganea sono imputabili i modesti collassi locali con la formazione di depressioni tettoniche (p. es. graben Vicenza-Montecchio e graben Berici ed Euganei). Evidenze di fagliazione recente nell'area dei Lessini e nel settore sudorientale del Monte Baldo sono state proposte da Sauro e Zampieri (2001). Si veda la **Figura 14**.



Sorgenti sismogeniche per il distretto Lessini-Schio (L). A) DISS versione 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) su DEM e modello strutturale da Castellarin et al. (1998b); codici sorgente e legenda in Fig. 2.4; le soluzioni del meccanismo focale per l'evento del 13.9.1989 (stella rossa) sono rispettivamente B) da polarità del primo impulso (Viganò et al., 2008), e C) da inversione del tensore momento (Pondrelli et al., 2006). La stella azzurra indica l'epicentro dell'evento del 29 ottobre 2011.

Figura 14. Sorgenti sismogenetiche nel Distretto L

5.3 SORVENTI SISMOGENETICHE

La classificazione sismogenetica nazionale (ZS9) fa ricadere il Veneto nelle zone 905 e 906 (Figura sotto). La zona 905 comprende la fascia pedemontana tra Bassano del Grappa e il confine con il Friuli-Venezia Giulia. La zona 906 si estende lungo la fascia pedemontana da Bassano fino al Lago di Garda. Il tipo di fagliazione, alla quale imputare i terremoti verificatisi in queste due aree, è quello di faglia inversa, dovuta a movimento compressivo legato alla convergenza tra placca adriatica ed europea, con profondità ipocentrale media stimata di 8 Km. Il Comune ricade entro la **ZS 906** (Figura 15).

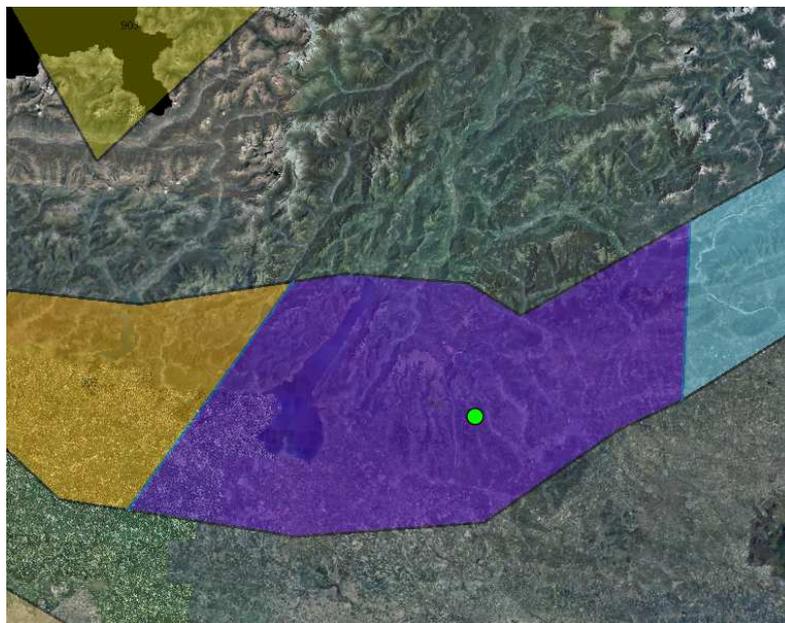


Figura 15. Zone sismogenetiche del NE d'Italia (da INGV)

Altra fonte di dati per quanto riguarda le sorgenti sismogenetiche, ossia le strutture responsabili dei vari terremoti, è costituita dal **DISS** (Database of Individual Seismogenic Sources), redatto da ricercatori dell'INGV a partire dagli anni '90. In tale database sono individuate sorgenti individuali (IS), composite (CS) o dibattute (DS). Tale database, aggiornato ed evoluto nel tempo, costituisce uno strumento per lo sviluppo di

modelli di pericolosità sismica ed è ritenuto a tutt'oggi il più avanzato archivio di sorgenti sismogenetiche in ambito europeo.

Le sorgenti individuali (IS) rappresentano una struttura certa o presunta, associata ad almeno un evento sismico significativo ($M > 5.5$) riportato nel database o riconosciuto tramite indagini paleosismologiche.

Le sorgenti composite (CS) invece rappresentano un'area di inviluppo che può comprendere le località di più eventi significativi del passato o di possibili eventi in futuro.

Le sorgenti dibattute (DS) comprendono aree su cui non c'è ancora concordanza interpretativa.

Il Comune in studio si colloca tra la sorgente ITCS114 "Solferino" caratterizzata da una magnitudo M_w pari a 6.4 (ER = Empirical Relationship), la ITCS073 "Monte Baldo" con $M_w = 6.7$, la ITCS175 "Schio-Vicenza" con $M_w = 7.3$ e la ITCS "Piana dell'Adige" con $M_w = 7.2$. Si veda la **Figura 16**.

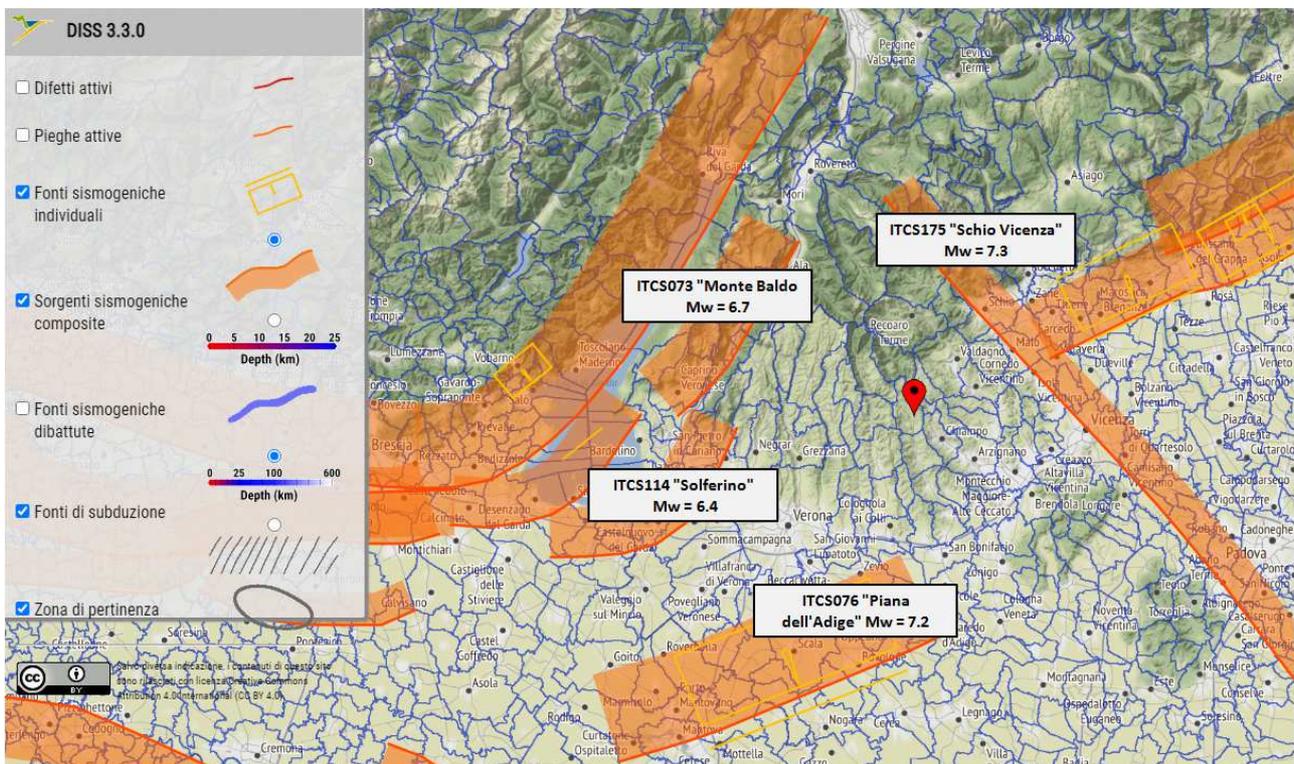


Figura 16. Zone sismogenetiche dell'area in studio (da DISS 3.3.0)

5.4 FAGLIE ATTIVE E CAPACI

Il Comune **NON** è interessato da faglie classificate attive e capaci (FAC) del catasto ITHACA, dove una faglia è definita *<capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa. La deformazione attesa può essere sia una dislocazione ben definita lungo un piano di rottura (fault displacement/offset) che una deformazione distribuita (warping). La riattivazione attesa viene definita in funzione del regime tettonico in atto, rispetto al quale deve essere compatibile. Elementi secondari possono però mostrare rotture "anomale", ad esempio movimenti compressivi in un ambiente distensivo, a causa di geometrie locali delle strutture riattivate>*.

In ogni caso, si da la descrizione di una FAC, la quale può determinare un significativo pericolo di danneggiamento di strutture antropiche. La pericolosità può essere caratterizzata in termini di Probabilistic Fault Displacement Hazard o Deterministic Fault Displacement Hazard.

L'età dell'ultimo evento di attivazione di una faglia (last activity) è uno degli elementi discriminanti nella valutazione della "capacità" della struttura. L'analisi considera intervalli temporali di osservazione diversi, in funzione dell'ambiente tettonico (IAEA, 2010) e dei tassi di deformazione:

- **Interplacca** (margini di placca):
 - < 125 ka (Pleistocene Superiore) : Faglia capace.
 - 125 ka ≤ ultimo movimento accertato ≤ 2,58 Ma : Faglia da investigare con indagini appropriate
- **Intraplacca** (aree cratoniche):
 - 1 ≤ 780 ka (Pleistocene medio) : Faglia capace.
 - Quaternario (2.58 Ma) : Faglia da indagare

Le definizioni sopra riportate considerano diverse finestre temporali a seconda che l'area di indagine sia in zona *Interplacca* o *Intraplacca*. L'intervallo temporale più ampio, e quindi più cautelativo, previsto per le zone Intraplacca (movimenti entro il Pleistocene medio) è applicabile, in Italia, al solo settore sardo, ritenuto un'area intraplacca (microcontinente), sebbene sia bordato da bacini in estensione (Bacini Balearico e Tirrenico) e, quindi, sia prossimo ad una situazione di interplacca.

Pertanto, nella versione ultima di ITHACA viene introdotta la distinzione tra *faglia capace* e *faglia quaternaria da indagare*:

1. **faglia capace**: faglia che sicuramente ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa, nell'intervallo Pleistocene superiore - Presente;
2. **faglia quaternaria da indagare**: faglia che ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa nel corso del Quaternario anteriormente al Pleistocene superiore (Pleistocene medio per le aree cratoniche), per la quale non si può escludere a priori una riattivazione all'interno del contesto geodinamico attuale in assenza di ulteriori indagini specifiche.

Nel Catalogo ITHACA² l'intervallo considerato per le strutture capaci è più esteso (< 125'000 anni) di quello di 40'000 anni considerato negli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica* (Dipartimento Protezione Civile, 2008) redatti dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC) e poi nelle Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC).

Di seguito, si mostrano, dopo l'aggiornamento fatto da ITHACA nel gennaio 2020, le caratteristiche delle FAC presenti nel territorio comunale, il loro sviluppo e la descrizione.

5.5 SISMICITA' STORICA DEL TERRITORIO COMUNALE

La ricostruzione storica degli eventi sismici che hanno caratterizzato il territorio comunale è stata fatta utilizzando il database macrosismico italiano DBMI15 rel. v1.5 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, DBMI15 release v.1.5 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>).

Il DBMI15 rappresenta l'integrazione e l'aggiornamento del DBMI11, per cui è stato consultato per estrarre le seguenti informazioni.

In particolare, il Comune di Vestenanova è inserito nel catasto ora citato dove sono riportati 9 eventi sismici.

Nella **Figura 17** sono elencati i vari eventi risentiti nel Comune con indicazione della data (Anno, Mese, Giorno, Ora, Minuto) in cui si è verificato l'evento Ax, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw)³.

² ITHACA Working Group (2019). *ITHACA* (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019m. SPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>

³ Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7-8	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
3	1892	01	05				Garda occidentale	93	6-7	4.96
6	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
5	1894	02	09	12	48	0	Valle d'Illasi	116	6	4.74
3	1897	01	27	01	35		Prealpi Vicentine	16	4-5	4.11
5-6	1908	03	15	07	38	3	Valle d'Illasi	28	5-6	4.91
NF	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4-5	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
3	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6	4.78

Figura 17. Storia sismica di Vestenanova (tratto da Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015)

A questi, contenuti nel Catalogo DBMI15, si possono aggiungere quelli avvenuti precedentemente, che sono, per l'area veronese, nel DBMI04:

03/01/1117 area epicentrale Veronese
04/12/1334 area epicentrale Verona
21/09/1365 area epicentrale Verona
1402 area epicentrale Verona
17/01/1403 area epicentrale Verona

10/06/1410 area epicentrale Verona
06/04/1465 area epicentrale Verona
21/03/1445 area epicentrale Verona
21/01/1491 area epicentrale Verona

Da tutto ciò emerge che l'area lessinea orientale è caratterizzata da una attività sismica frequente e con valori di intensità talora elevati. Lo si vede sia dalla Figura 11, che sintetizza graficamente le località e l'intensità storica dei sismi (cerchiata Vestenanova), sia dalla Tabella 3 che elenca i terremoti avvenuti dal 217 d.C. sino ai giorni nostri in un range di 3÷4 fino a 11 lo.

5.6 PERICOLOSITA' SISMICA DI RIFERIMENTO

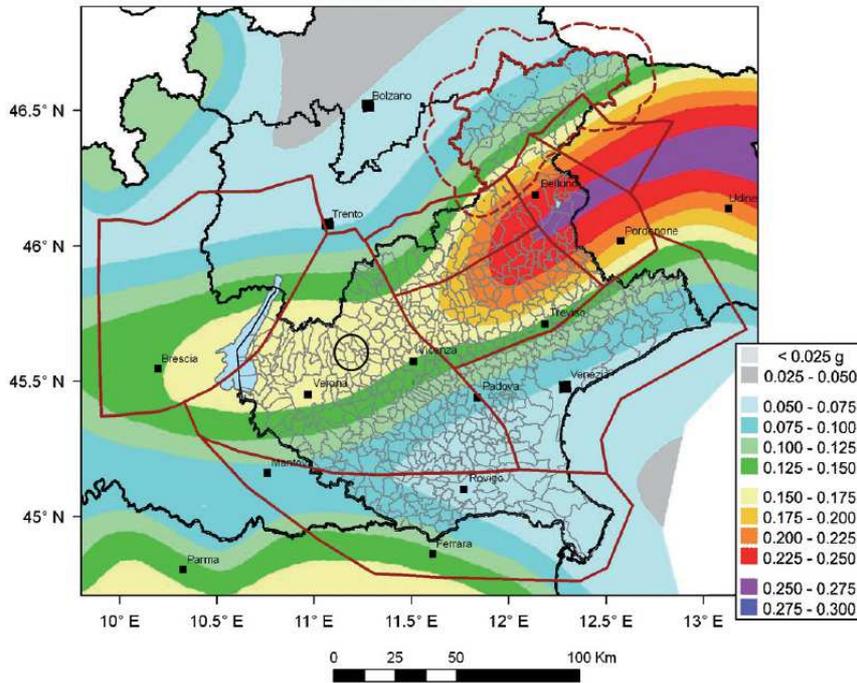
La distribuzione e la caratterizzazione delle zone sismogenetiche finora riconosciute è stata tradotta in una carta di pericolosità sismica, valida su tutto il territorio nazionale ed entrata in vigore con l'O.P.C.M. n.3519 del 28 Aprile 2006.

5.6.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e deve essere descritta con un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.

Essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

Nella "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e recepita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3519 del 28.04.2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", il Comune risulta caratterizzato da un valore di a_g , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi di Cat. A caratterizzati da $V_s > 800$ m/s, compreso tra 0.150g e 0.175g. Si veda la **Figura 18**.



Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (MPS Working Group, 2004 entrata in vigore con l'Ord. PCM 3519/2006) e distretti sismici del Veneto; la scala cromatica rappresenta valori di accelerazione orizzontale di picco (g), attesa di non essere superata al 90% di probabilità in 50 anni.

Figura 18 – Pericolosità sismica di base (tratto INGV)

In ultima, si riporta il calcolo della disaggregazione della pericolosità sismica dedotta dai dati INGV. Questa ha lo scopo di individuare il maggior contributo alla pericolosità del sito in termini di magnitudo ÷ distanza di un evento (**Figura 19**).

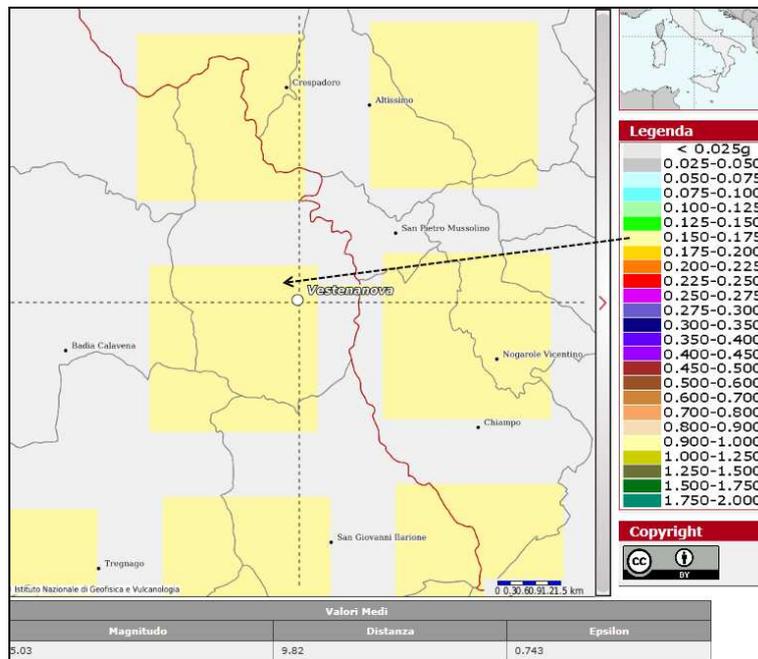


Figura 19 – Disgregazione Disaggregazione della griglia PGA (tratto INGV)

I dati riportati nella **Figura 19** sono stati desunti dalle “Mappe interattive di pericolosità sismica” dell’INGV e sono relativi ai punti della griglia evidenziati. I terremoti che potranno interessare il territorio comunale con

maggior probabilità potranno avere una magnitudo (M) di ~5.02 a distanza compresa tra 9.8 km dal concentrico del Comune.

Da tutto ciò emerge che l'area è caratterizzata da una attività sismica frequente e con valori di intensità medio-alti. Lo si vede sia dalla **Figura 20**, che sintetizza graficamente le località e l'intensità storica dei sismi.

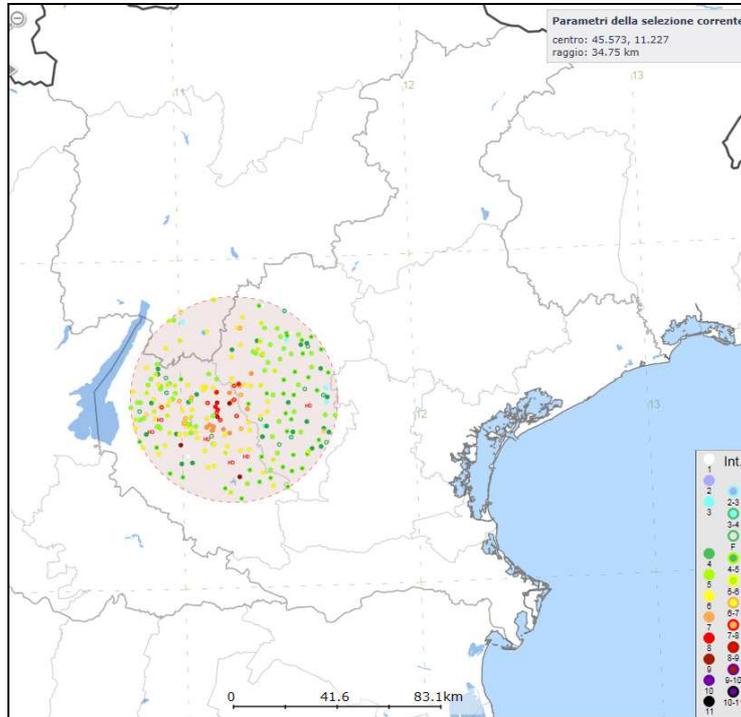


Figura 20 – Terremoti storici attorno a Vestenanova (da INGV)

Infine, si fa presente che, come tutte le zone sismogenetiche del territorio italiano, anche quella contrassegnata al n. 906 e precedentemente descritta viene considerata omogenea ai fini della probabilità di accadimento degli eventi sismici, ovvero si ritiene che tutti i punti in essa contenuti abbiano la stessa probabilità di essere sede di eventi sismici e, in rapporto agli epicentri noti, non esiste quindi l'effetto distanza. Secondo il § 2.8 degli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica", per alcune tipologie di verifiche si potrebbe assumere come valore di magnitudo attesa quella massima della zona sismogenetica di appartenenza, che per la Zona 906 in cui afferisce il territorio comunale vale $M_{wmax} = 6,60$ (**Tabella 1**).

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

Tabella 1: Valori M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (Gruppo di lavoro 2004)

5.6.2 PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO - PRINCIPI

Partendo dalle caratteristiche sismo-tettoniche complessive della zona e delle principali manifestazioni sismiche, sia epicentrali, sia di risentimento dalle altre zone sismo-genetiche presenti nella zona, la pericolosità sismica del territorio comunale viene approfondita in relazione alle condizioni geologiche e morfologiche locali.

Le caratteristiche sismiche di un'area sono definite dalle sorgenti sismo-genetiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti. Questi aspetti sono comunemente indicati come "pericolosità sismica di base" e sono quelli considerati per la classificazione sismica, come visto sopra.

Da queste caratteristiche deriva il moto di input atteso, per il calcolo del quale non sono considerate le caratteristiche locali ed il territorio è trattato come se fosse uniforme ed omogeneo cioè pianeggiante e costituito da suolo rigido in cui la velocità di propagazione delle onde S (V_s) è maggiore di 800 m/s (suolo A dell'Eurocodice 8 -parte 1, EN 1998-1, 2003, dell'OPCM 3274/2003, del DM 17.01.2018 e Circ. 7/2019).

Il moto sismico può essere, però, modificato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali. Alcuni depositi e forme del paesaggio possono amplificare il moto sismico in superficie e favorire fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione. Queste modificazioni dovute alle caratteristiche locali sono comunemente definite "**effetti locali**".

Si veda un esempio nella **Figura 21**.

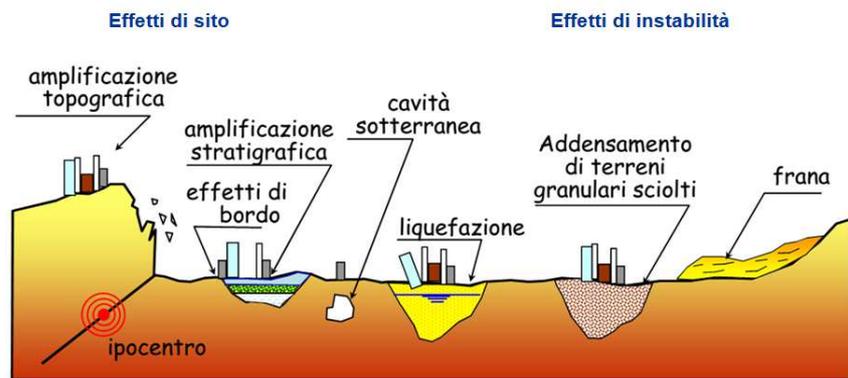


Figura 21. Possibili effetti locali prodotti da un sisma

La conoscenza delle condizioni topografiche, stratigrafiche e tettoniche dei siti, come esemplificate nella **Figura 21**, permette di capire se le modificazioni che il moto sismico subisce nell'attraversare i depositi e gli ammassi rocciosi superficiali rispetto al moto, che si avrebbe su sottosuolo di categoria "A" con superficie orizzontale, possono dar luogo a **effetti stratigrafici**, prevalentemente a carattere monodimensionale 1D; effetti di valle con carattere bi-tridimensionale (2D-3D) e ad **effetti topografici** (bi-tridimensionali 2D-3D). Si veda anche la **Figura 22**.

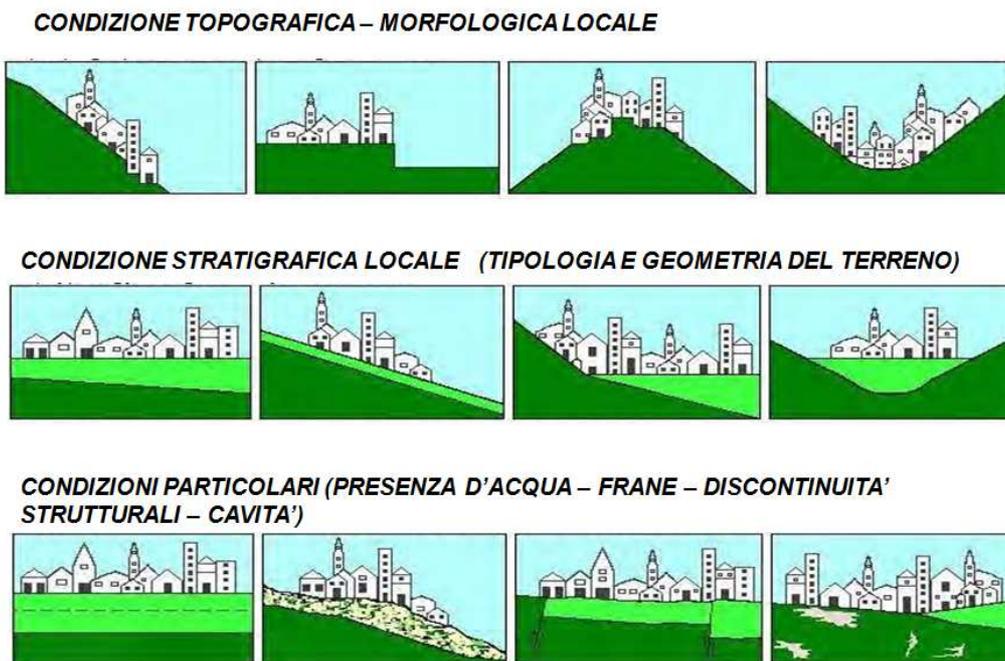


Figura 22. Condizioni locali interferenti con un sisma

Come esempio si riportano nella **Figura 23**, i differenti effetti dei siti durante la sequenza sismica umbro-marchigiana del 1997 nella Località di Cesi (Terni):

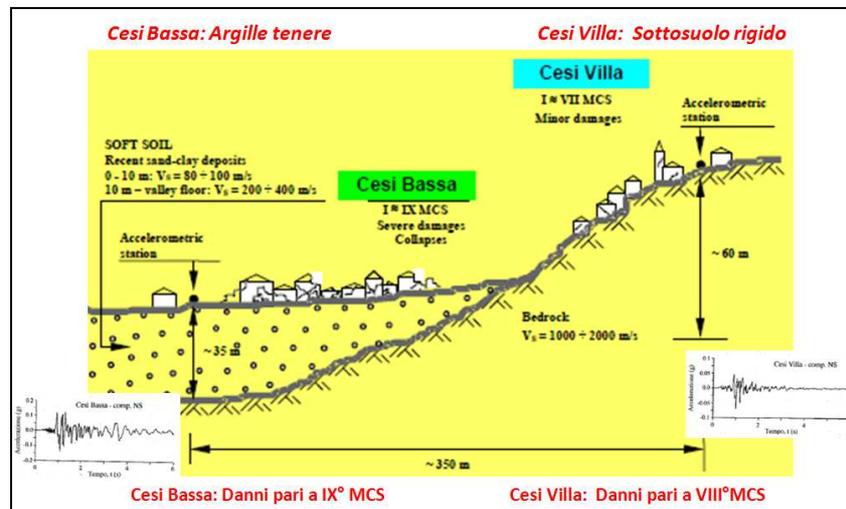


Figura 23. Effetti locali prodotti dal sisma umbro-marchigiano 1997 a Cesi

La zonazione del territorio sulla base della risposta sismica del terreno (RSL) è, perciò, uno dei più efficaci strumenti per rappresentare la pericolosità sismica e, quindi, per prevenire e ridurre il rischio sismico, poiché fornisce un contributo essenziale per l'individuazione delle aree a maggiore pericolosità sismica e agevola la scelta delle aree urbanizzabili con minor rischio e la definizione degli interventi ammissibili.

Tale studio deve essere redatto in conformità agli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica" del Dipartimento della Protezione Civile nazionale, ripresi anche nell'Allegato "A" della DGR 1572/2013, come anche dalle successive prescrizioni: DGR 899/2019, DGR 939/2021, DGR 1381/2021, Circ. 71886/2022.

A completamento dei caratteri sismici locali, qui si sintetizza dicendo che

- La suddivisione del territorio, in sottozona a diversa pericolosità sismica locale si basa sia sulla sismicità di base cioè la distanza dalle sorgenti sismogenetiche e l'energia, frequenza e tipologia dei terremoti attesi; sia sull'amplificazione locale collegata alle caratteristiche topografiche, geomorfologiche, geolitologiche e idrogeologiche del sito.
- L'azione sismica sulle costruzioni è, di norma, valutata a partire da una "sismica di base" in condizioni teoriche di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.
- La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e deve essere descritta con un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.
- I risultati dello studio di pericolosità sono forniti in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno (T_r).
- L'azione sismica definita deve tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche del sottosuolo presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la Risposta Sismica Locale (RSL).

5.6.3 ASPETTI NORMATIVI-AMMINISTRATIVI

Per gli aspetti amministrativi con uno sguardo a fini edificatori, il Comune rientra nell'elenco di aggiornamento della zonizzazione sismica deliberato con la DGR n. 244 del 09.03.2021.

Alla luce di tale provvedimento il Comune entra nella Zona 2 della DCR 67 del 03.12.2003, con una pericolosità sismica avente un grado di accelerazione orizzontale al suolo (α_g) compresa nell'intervallo $0.150g \div 0.175g$.

La DGR 1572/2013 e le successive indicate sopra hanno indicato le metodologie teoriche e sperimentali per la redazione di uno studio di microzonazione sismica di differente livello di approfondimento a supporto della pianificazione urbanistica. Come illustrato nel prossimo capitolo.

Si veda la **Figura 24**.

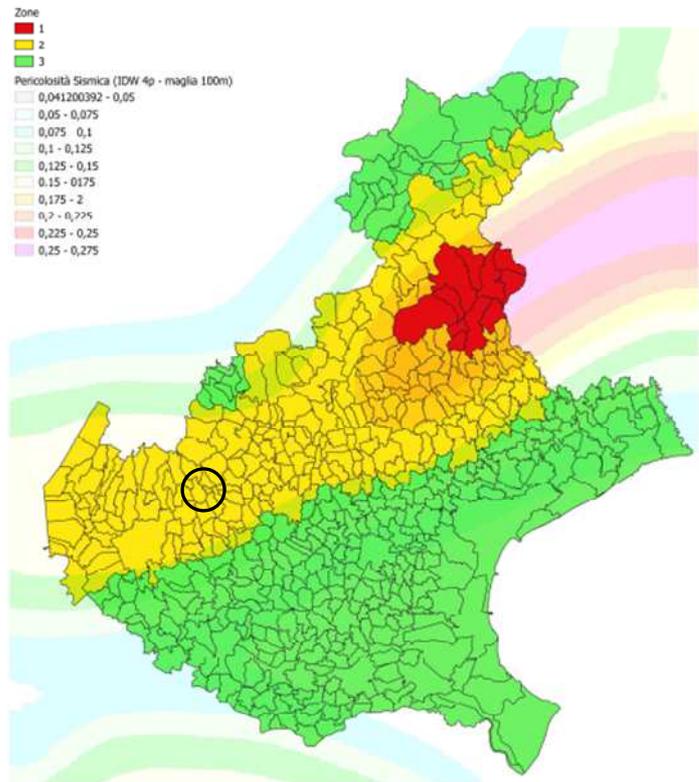


Figura 24. Classificazione sismica del Veneto (DGR 244/2021)

SEZIONE MICROZONAZIONE SISMICA

6 PROCEDURE NORMATIVE

La microzonazione sismica (MS) permette di ottenere una suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e di valutare i possibili effetti indotti dallo scuotimento. Essa è uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e applicato già in fase di pianificazione territoriale l.s..

Essa costituisce, quindi, un supporto fondamentale agli strumenti di pianificazione urbanistica comunale per indirizzare le scelte urbanistiche verso quelle aree a minore pericolosità sismica.

La normativa vigente in materia prevede l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nella pianificazione del territorio. Vengono codificate a livello procedurale secondo 3 distinti livelli, con grado di dettaglio crescente.

Non si illustrano, qui, le metodologie e le analisi dettagliate fatte, né gli specifici elaborati redatti. Si dà, invece, un quadro sintetico delle condizioni sismiche alla luce di codesti studi.

1° LIVELLO: si applica in sede di P.A.T. consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica ed identifica, nella carta MOPS, le parti del territorio comunale suscettibili di effetti locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, liquefazione, rottura del terreno, ecc. Questo livello è già stato eseguito.

2° LIVELLO: si applica in sede di redazione di studi per gli strumenti urbanistici che individuano e disciplinano gli interventi sul territorio (strumenti urbanistici comunali generali ed attuativi) in tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica, come individuate nel 1° Livello, in cui si prevedono trasformazioni urbanistico-edilizie ed incremento dei carichi urbanistici/insediativi. Il 2° Livello deve essere applicato anche a tutti gli ambiti di urbanizzazione consolidata, di edificazione diffusa, nelle zone a servizi di interesse intercomunale e in quelle oggetto di accordi di programma con previsioni insediative o infrastrutturali.

3° LIVELLO: si applica in concomitanza con il 2° Livello nelle aree caratterizzate da potenziali effetti di instabilità (di versante, per cedimento/liquefazione, per presenza di faglie attive e capaci) e quando le procedure semplificate per la stima dell'amplificazione sismica utilizzate nel 2° Livello (fattori di amplificazione derivati dagli abachi) si dimostrano inadeguate per l'applicazione delle norme tecniche di cui al D.M. 17/1/2018.

Nel 3° Livello, la verifica sismica può essere limitata all'area interessata dalle previsioni urbanistiche nel caso in cui il fenomeno di instabilità sia dovuto a liquefazione, densificazione di terreni insaturi e comportamenti differenziali in zone di contatto stratigrafico/tettonico tra litotipi con caratteristiche fisicomeccaniche molto diverse.

Nel caso, invece, di fenomeni di instabilità per frana e per cedimento carsico, è necessario procedere ad uno studio esteso ad un adeguato intorno dell'area di interesse, per verificare l'interferenza con l'intero fenomeno di instabilità presente.

I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione urbanistica, mentre il terzo livello di approfondimento diviene obbligatorio per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da potenziali effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione, FAC e quando con le risultanze del 2° livello si dimostra l'inadeguatezza delle procedure semplificate per la stima dell'amplificazione previste dalle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 17/1/2018) .

Nel caso di opere con rilevante interesse pubblico si procederà sempre fino a raggiungere il 3° livello di approfondimento che potranno essere suddivise con il 1° e 2° livello di MS nell'ambito del progetto preliminare ed il 3° livello di approfondimento nell'ambito del progetto definitivo

Si veda la **Figura 25**.

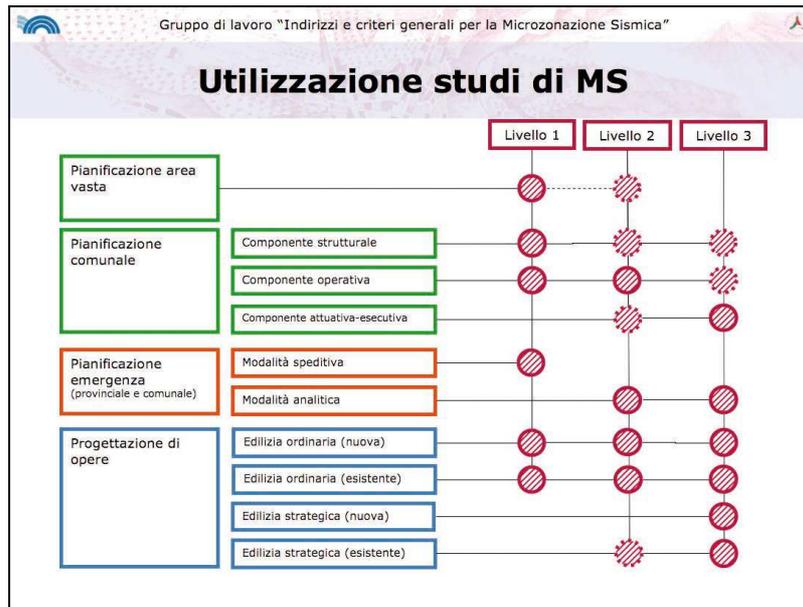


Figura 25. Tipologia ed utilizzo degli studi MS

Si veda anche la **Tabella 2**, tratta dall'Allegato A della DGR 1572/2013, che evidenzia il grado di approfondimento in relazione allo scenario di pericolosità sismica locale.

PROCEDURA DI MICROZONAZIONE SISMICA								
SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Verifica di assoggettabilità	(soglia)	1°livello	(soglia)	2°livello	(soglia)	3°livello
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi				cartografia			Analisi stabilità
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti				cartografia			Analisi stabilità
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana				cartografia	Analisi di stabilità	Fs prossimo a 1	Analisi stabilità
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN.* Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN.* Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Liquefazione
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN.* Cedimenti	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc..)				H=10 m, a>15°	Effetti topografici		
P3b	Zona di cresta e/o oculo: appuntita - arrotondata				h=1/3H; a e a2>15°	Effetti topografici		
P4a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi				Vs30<800m/s; C<0,25 Vs30<800m/s; C<0,25	Effetti litologici	h/1>0,65(√Vv-1)	Effetti lito-geometrici
P4b	Zona di fondovalle stretta (C>0,25) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale				Vs30<800m/s- C>0,25			Effetti lito-geometrici
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide delizio-lacustre				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse				cartografia	Comportamenti differenziali		
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole				cartografia			Comportamenti differenziali

ABITATI* = centri abitati esistenti
PREV.URBAN.* = esistenza di previsioni urbanistiche espansive

Tabella 2: Schema procedurale associato ai 3 livelli di studio di microzonazione per differenti scenari di pericolosità sismica locale. (tratta da Allegato A DGR 1572/2013 Regione Veneto).

MICROZONAZIONE SISMICA DI 1° LIVELLO

7 SINTESI DEGLI ELABORATI APPROVATI

Come anticipato, in questo capitolo si riportano le Tavole redatte per i livelli MS precedenti, rimandando la loro illustrazione agli elaborati consegnati dal professionista e poi approvati dagli enti preposti. Nel capitolo riguardante il 2° e 3° livello, oggetto di codesto lavoro, sarà eventualmente accennato se e quanto è stato modificato di queste Tavole.

7.1 CARTA DELLE INDAGINI DEL 1° LIVELLO

Si rimanda alla *Carta delle indagini*, che contiene sia le indagini pregresse sia quelle eseguite dal professionista incaricato per il livello 1 MS.

Esse sono in totale **133** cos' suddivise per tipologia suddivise come di seguito:

- nr. 02 Prove penetrometriche statiche (CPT);
- nr. 10 Prove penetrometriche dinamiche leggere (DL);
- nr. 06 Prove penetrometriche dinamiche medie (DPM);
- nr. 14 Prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH);
- nr. 06 Trincee esplorative (T);
- nr. 01 Sondaggio geognostico (S);
- nr. 01 Sismica a rifrazione (SR);
- nr. 08 Stratigrafie zone MOPS (teoriche) (SMS)
- nr. 61 Tromografie a stazione singola (HVSR), delle quali nr. 31 nuove;
- nr. 01 ReMi (RM);
- nr. 23 MASW (MW), delle quali nr. 22 eseguite per lo studio MS1.

7.2 CARTA GEOLOGICO-TECNICA (CGT)

I contenuti della Carta Geologico Tecnica sono, normalmente:

- Terreni di copertura (spessore > 3 m) e/o Substrato geologico;
- Forme di superficie e sepolte (conoide alluvionale, falda detritica, cavità sepolte, scarpate con $h \geq 10$ m, scarpate sepolte, orli di terrazzo, dorsali o creste, assi vallivi sepolti, cavità o picchi isolati);
- Elementi tettonico strutturali (faglie, assi di pieghe), tracce delle sezioni geologiche o topografiche;
- Elementi geologici e idrogeologici (sondaggi o pozzi che hanno raggiunto o non raggiunto il substrato geologico; profondità falda in sabbie /ghiaie).

Nella **Figura 26**. si riporta la Carta CGT.

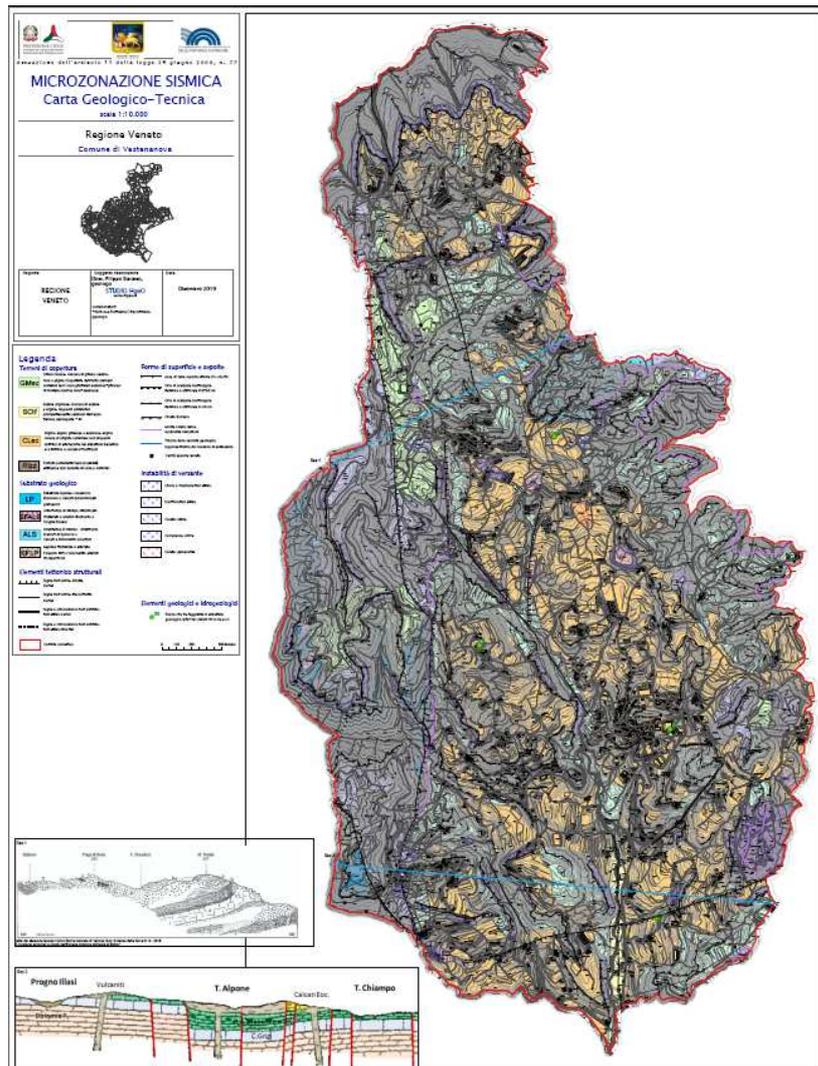


Figura 26 – Carta Geologico-tecnica (tratto da MS1)

7.3 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

La Carta MOPS approvata contiene le seguenti aree, classificate in base alla suscettibilità delle singole condizioni stratigrafiche del territorio:

- aree stabili non suscettibili di amplificazione sismica;
- aree stabili suscettibili di amplificazione sismica;
- aree instabili per azione sismica.

Si veda la **Figura 27**.

MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO SUPERIORE

8 PRECISAZIONI PRELIMINARI

L'incarico ricevuto dall'Amministrazione comunale riguarda le analisi e la valutazione in chiave sismica di approfondimento di 2° e 3° livello del territorio comunale. Lo studio è di supporto all'azione di urbanizzazione legata all'azione del Piano degli Interventi.

In particolare, basandosi sulle disposizioni della DGR 899/2019 si sono caratterizzate le zone comunali precedentemente non interessate dagli studi di pianificazione urbanistica nelle differenti e successive varianti. Codesta integrazione ha permesso, quindi, di completare il quadro di suscettibilità sismica del territorio rientrando nei confini dell'edificato consolidato e diffuso e individuabile dal perimetro verde nella Carta MS2, ma anche "sconfinando in zone attualmente esterne a tale perimetri.

In precedenza, si sono elencate e spiegate le fasi dei differenti livelli di studio ed il loro contenuto finalizzate a conoscere la risposta che un territorio come quello in oggetto può avere in occasione di un terremoto.

Il territorio comunale è caratterizzato da elementi delicati a livello sismico e cioè:

- Presenza di dissesti morfologici compresi nel catasto IFFI dell'ISPRA.
- Presenza di morfologie locali quali creste, dorsali e valli, che possono dare una risposta sismica del sottosuolo sollecitato da un sisma

Si sono caratterizzate le "aree urbanizzate", come indicato dalla normativa regionale vigente, estendendo anche fuori i relativi perimetri la valutazione della suscettibilità sismica del territorio in caso di sisma.

In tal senso, la definizione del grado di amplificazione sismica è stata fatta su base topografica, zonizzando tali fasce morfologiche, se interferenti o potenzialmente interferenti con i nuclei abitati e/o infrastrutturali.

9 ATTIVITA' SVOLTA IN SITU E IN STUDIO

Le azioni intraprese per arrivare ad una adeguata caratterizzazione sismica del territorio si è basata sia su azioni di tipo analitico in studio, sia con attività d'indagine in situ.

Inizialmente, si sono analizzati i dati misurati con le indagini appartenenti alle precedenti fasi di studio al fine di ottenere un quadro verosimilmente completo delle condizioni di pericolo sismico deducibile dagli elaborati stessi approvati dagli organi competenti. Sono state acquisite le indagini disponibili presso il Comune di Vestenanova, che ha messo a disposizione 57 Relazioni geologico-tecniche-sismiche distribuite nell'intero territorio e in un periodo temporale di circa 10 anni.

Codesta attività di analisi e di elaborazione è stata fatta, quando possibile, per le 133 indagini pregresse ed elencate precedentemente.

Ogni elaborazione è stata fatta mediante opportuni codici di calcolo basandosi sulle indagini in situ pregresse o attuali.

9.1 INDAGINI IN SITU

Oltre alle indagini sismiche pregresse eseguite in occasione dello studio MS1 e costituite da n. 22 MASW e n.31 registrazioni di microtremori in campo libero a stazione singola (HVSR) sono state incrementate dalle seguenti indagini nuove, al fine di completare la copertura delle osservazioni in chiave sismica:

- **nr. 20 misurazioni sismiche attive "MASW" (Allegato "M")**. Queste sono state distribuite sul territorio edificato come nucleo abitativo/produttivo e come edificazione consolidata e diffusa, come indicato dalla normativa recente. Queste indagini permettono di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs nel sottosuolo e di stimare:
 - il tipo di suolo sismico (A, B, C, D, E), come da NTC2018;
 - il modulo di rigidezza del terreno;
 - la profondità del bedrock sismico;
 - la frequenza caratteristica di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale.
 - la velocità media equivalente delle onde di taglio Vs nei primi 30 metri, calcolata tramite un apposito codice numerico. Da notare che per l'affidabilità del risultato, è conveniente conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V;
 - la stratigrafia sismica del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.
- **nr. 5 misurazioni tomografiche geofisiche tipo ERT (Allegato "E")**, che hanno permesso di ricostruire le sezioni bidimensionali di resistività del sottosuolo delle aree definite franose e prospicienti ai nuclei abitati significativi.
- **Sopralluoghi e rilievi in situ**.

9.2 ANALISI DEGLI ELABORATI

Come già detto sopra, si sono analizzate tutte i dati e gli elaborati relativi e di pianificazione l.s. esistenti (PRG, PATI, PI e varianti, MS nei differenti livelli. Inoltre:

- **Fotografie aeree** di differenti annate al fine di valutare i caratteri morfologici ed urbanistici del territorio e le sue modificazione negli anni. Esse sono:
 - 1983 Reven Verona ovest
 - 1983 Reven Verona sud
 - 1997 Reven Verona nord
 - 205-06 Reven Isola Vicentina
 - 2009 Reven Verona nord BIMA
 - 2010 Reven Vicenza sud
- **DB del Catasto IFFI** dell'ISPRA e localizzazione in carta degli elementi segnalati.
- Utilizzo delle immagini del *Modello digitale del terreno (DTM)* derivante da scansione **LiDAR** regionale per meglio descrivere la morfologia del terreno con tutte le sue variazioni e particolarità locali, riportandole, nel caso della FAC alla loro coesistenza attuale e passata.

Non si illustrano, qui le metodiche esecutive e/o di analisi delle indagini e delle analisi eseguite per non gravare il testo di notizie facilmente reperibili nella bibliografia scientifico-tecnica.

Si sottolinea solo che l'esecuzione delle differenti indagini ha permesso di definire la classe di sottosuolo come da NTC/2018 (**CL**), la velocità delle onde secondarie nei primi 30 metri di profondità (**V_{s,eq}**), la profondità del substrato sismico (**Ss**), il valore di frequenza di risonanza del sottosuolo (**Fo**), i fattori di amplificazione **Fa** ed **Fv** e gli altri parametri utili per indirizzare l'urbanizzazione verso scelte adeguate per il "minor rischio sismico".

9.3 CARTA DELLE INDAGINI AGGIORNATA (CI)

La Carta **CI** contiene sia le indagini di diversa tipologia pregresse, sia le indagini eseguite per codesto studio.

Come già detto., in questo studio, sono state rielaborate le citate indagini lineari pregresse utilizzando i metodi di calcolo più appropriati della letteratura scientifica, per ottenere anche parametri utili per la classificazione del sottosuolo in chiave sismica e permettendo, così, di migliorare i risultati presentati con gli studi precedenti. Tutte queste indagini sono riportate nella **Carta delle Indagini aggiornata (CI)**, allegata a questo lavoro, ma qui sintetizzata (**Figura 28**).

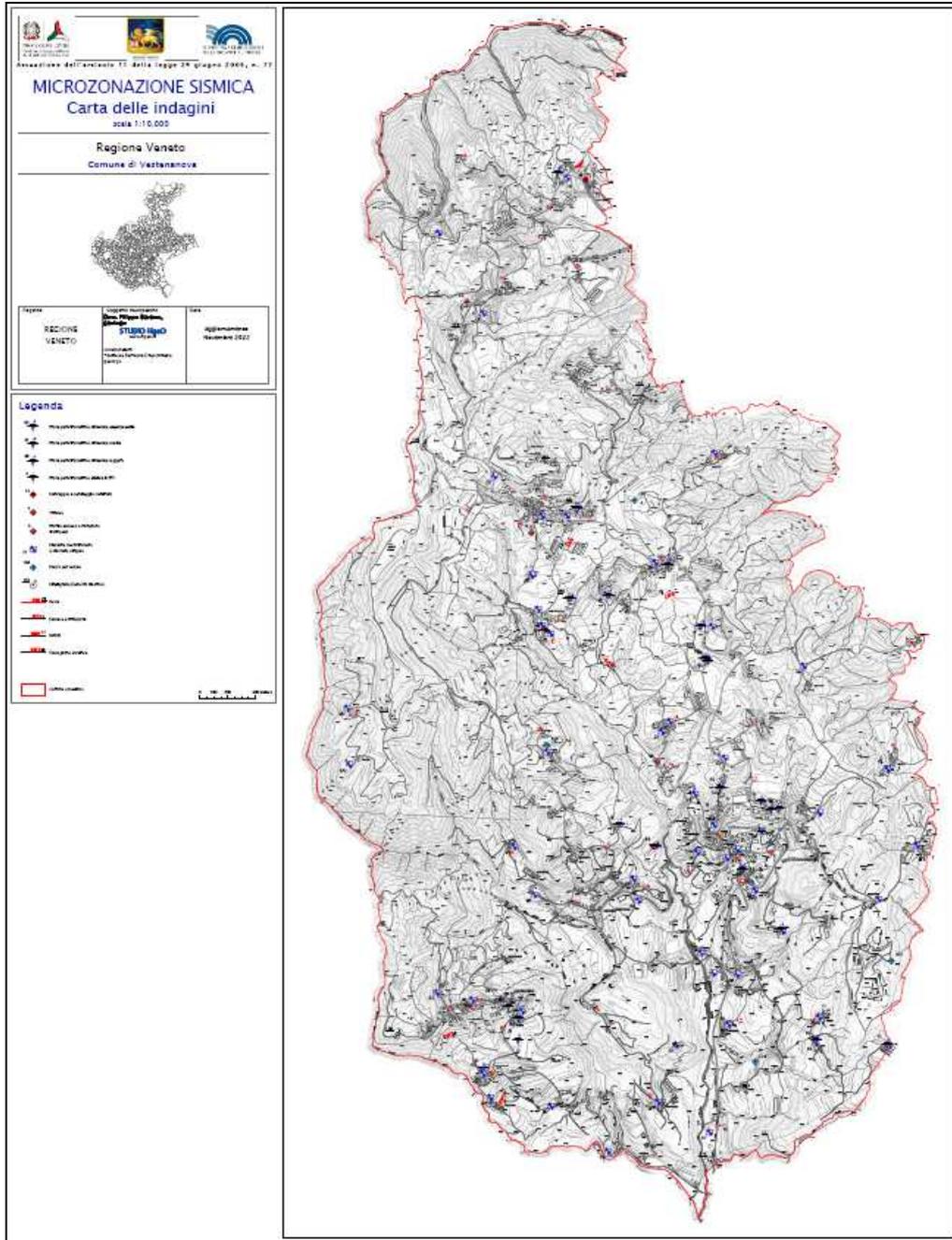


Figura 28 – Carta delle Indagini aggiornata 2022 (CI)

Gli elaborati prodotti e conformi a quanto disposto nelle DGRV citate sopra e nelle Linee Guida vigenti in materia, sono stati forniti in versione cartacea e digitale; anche in formato vettoriale (shapefile).

Per l'elaborazione si è adottato le piattaforme GIS ArcGis e QGis, utilizzando gli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica promulgate dalla "Commissione Tecnica nazionale per la Microzonazione Sismica" e il software SoftMS vers.4.2.

10 “SPECIFICITA’ SISMICHE” DEL TERRITORIO

L’aggiornamento, la revisione e l’implementazione degli elaborati si sono basati sulle peculiarità territoriali e sulla loro possibile risposta in caso di terremoto.

In particolare, qui si illustra quanto esaminato nelle cartografie pregresse e in quelle da ora redatte in termini “amplificazione stratigrafica” e di “amplificazione morfologica” del territorio.

Successivamente, si discuterà degli elementi generatori di instabilità nel territorio.

10.1 ZONE STABILI

Queste zone, che suddividono il territorio in base alla suscettività intrinseca quando avviene un terremoto possono essere:

- *Zone stabili non suscettibili di amplificazione sismica.*
- *Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica.*

10.1.1 ZONE STABILI NON SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

Si tratta di zone caratterizzate da morfologia sub-pianeggiante ($<15^\circ$) o, comunque, con pendenza regolare; sono suoli di tipo A, cioè non amplificabili ($V_{seq} > 800$ m/s); sono prive di elementi che possono risentire di amplificazione topografica e sono prive di fenomeni di instabilità quali: frane di vario tipo, cedimenti legati a collasso di cavità sotterranee o densificazione di terreni insaturi o liquefazione di terreni saturi e non sono soggette a rischio di rotture della superficie topografica per riattivazione di faglie capaci.

In queste zone la risposta sismica è quella attesa, ossia non si ipotizzano effetti di alcuna natura se non lo scuotimento, che è funzione della magnitudo e della distanza ipocentrale del terremoto.

Nel territorio considerato mancano.

10.1.2 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

Queste sono zone non sono soggette a fenomeni di instabilità quali: frane di vario tipo, cedimenti legati a collasso di cavità sotterranee e/o a densificazione di terreni insaturi; oppure a liquefazione di terreni saturi. Parimenti, non sono soggette a rischio di rotture della superficie topografica per riattivazione di faglie attive e capaci.

Tali zone, tuttavia, presentano caratteristiche litologiche, che le rendono soggette a possibile amplificazione stratigrafica (suoli \neq A) e/o elementi morfologici, che possono produrre effetti di amplificazione topografica (creste, dorsali, scarpate, etc.).

La suscettibilità locale del territorio legata all’evento sismico può essere associata alle caratteristiche **1)** stratigrafiche; a quelle **2)** topografiche; **3)** oppure ad entrambe. Gli effetti possono essere di Amplificazione o di Instabilità.

Per il primo caso si possono indicare le seguenti tipologie:

AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA:

Essa è legata alla tipologia litologica, allo spessore dei materiali sciolti di copertura, al grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, al grado di consolidamento dei depositi sciolti, al contatto tra litologie molto differenti e alla presenza di acqua nei terreni sotto forma di falda freatica o artesiani. Tali amplificazioni si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie caratterizzate da differente risposta sismica. Queste condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse, fenomeni di risonanza e di doppia risonanza.

Gli elementi che possono comportare o meno amplificazione sismica di tipo "stratigrafico" sono:

Suoli: Nel valutare l'amplificazione stratigrafica si suddividono i terreni in due categorie in funzione del valore V_s (m/s) ossia della velocità di propagazione delle onde di taglio nei terreni stessi. Per la risposta sismica si suddividono i terreni in *suoli A*, non amplificabili, con $V_s > 800$ m/s, e *suoli diversi da A*, con $V_s < 800$ m/s.

Sulla base delle analisi dei dati acquisiti, nella classe di aree stabili suscettibili di amplificazione sismica, ricade l'intero territorio poiché le indagini geofisiche hanno dato, generalmente, valori di V_{seq} inferiori a 800 m/s.

Forme di superficie e sepolte: Si considerano le morfologie che in presenza di scosse sismiche danno luogo ad amplificazione per concentrazione delle onde sismiche stesse in corrispondenza delle superfici di tali forme. Esse possono dare effetti amplificativi sia di tipo litologico sia geometrico.

Codeste tipologie costituiscono la classe **P4(a+e)** nell'Allegato A della DGR 1572/2013 per quanto riguarda la pericolosità sismica locale ed i suoi effetti.

P4a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.	<i>Amplificazioni litologiche e geometriche</i>
P4b	Zona di fondovalle stretta ($C > 0.25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale	
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio - lacustre	
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loess)	
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	

Nel territorio comunale, si riscontrano, distribuite nel Comune, tutte le classi P4. La norma prescrive che per le aree individuate come P4c, P4d, P4 e si procederà con il 2° livello di approfondimento. Per le aree Pb con il 3° livello.

Cedimenti differenziali: I tipi di cedimenti legati all'azione sismica sono quelli dovuti a densificazione di terreni insaturi, quelli dovuti a liquefazione dei terreni saturi e quelli dovuti a collasso di cavità sotterranee. La densificazione in condizioni insature è un tipo di cedimento, anche differenziale, che può avvenire nei terreni sabbioso-limosi, sia naturali che di riporto, messi in posto piuttosto recentemente. Cedimenti per densificazione possono avvenire in corrispondenza di limiti tra terreni a caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse. Per avere indicazioni sulla granulometria e lo stato di addensamento dei terreni è necessario avere almeno dati di indagini in situ (es. prove penetrometriche, SPT, etc) o in laboratorio. Codeste tipologie costituiscono le classi **P5a** e **P5b** per quanto riguarda la pericolosità sismica locale ed i suoi effetti:

P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	<i>Comportamenti differenziali</i>
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole	

Nel Comune si riscontrano cavità sotterranee naturali (P5b) nel Complesso carbonatico.

Si sono classificate come zone a cedimenti differenziali gli imbocchi delle grotte, gli imbocchi delle cave sotterranee e le aree caratterizzate da sedimenti residuali presenti sul fondo delle valli carsiche/ campi di doline/ singole doline. Nel territorio, rientra in classe 5a anche la fascia a cavallo della Linea di Castelvero (faglia non attiva certa, da INGV).

Per la zona P5a si potrà effettuare lo studio di 2° livello in quanto non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisicomeccaniche molto diverse.

Da segnalare che la densificazione di terreni insaturi presente solitamente sulle aree di riporto segnalati

nella Carta CGT del 1°MS, non vengono trattate poiché, anche dal punto di vista geotecnico, non sono destinate a carichi edilizi.

AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA:

Essa è dovuta alla concentrazione delle onde sismiche in corrispondenza di particolari forme territoriali quali: creste, cime isolate, orli di scarpata o di terrazzo, conoidi e falde detritiche. Tale amplificazione è condizionata dalle caratteristiche geometriche del rilievo che devono essere tali per cui la lunghezza d'onda incidente λ sia comparabile con la semilarghezza $L/2$ della base dell'irregolarità. Lungo i fianchi del rilievo l'interazione tra onde incidenti e onde diffratte produce rapide variazioni in ampiezza e frequenza delle onde sismiche generando un campo di spostamenti complessi con alternanza di amplificazioni ed attenuazioni che possono dare luogo a marcati movimenti differenziali quando vi sia la presenza di terreno al di sopra del bedrock.

Qui si sono considerati i seguenti elementi:

Le **Scarpate**, che comprendono sia quelle di tipo strutturale che di erosione o degradazione che i pendii in genere, nonché le pareti di cave e di dighe in terra, vengono considerate, per scopi sismici, se hanno altezza superiore a 10 m e pendenza superiore a 15°. Inoltre, sono considerate sia le scarpate superficiali che quelle sepolte.

Per i **Terrazzi** l'altezza minima è 10 m, come per le scarpate. Si devono considerare sia i terrazzi naturali, quali quelli fluviali o fluvioglaciali; sia quelli artificiali in terreni riportati o nell'ambito di cave.

Per quanto riguarda le **Creste** e le **Dorsali**, per essere significative ai fini dell'amplificazione devono avere larghezza della sommità sensibilmente inferiore rispetto alla base.

Si evidenzia che la stima di amplificazione deducibile è la risposta dello scenario considerato nel caso peggiore cioè nel caso in cui l'incidenza del treno d'onde avvenga perpendicolarmente alla direzione di allungamento della cresta o della scarpata.

In tutti i casi in cui il treno d'onde associato al movimento sismico non sia perpendicolare allo sviluppo della cresta o della scarpata, è lecito attendersi effetti di amplificazione morfologica attenuati.

Codeste tipologie costituiscono le classi P3a e P3b per quanto riguarda la pericolosità sismica locale ed i suoi effetti:

P3a	Linea di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc..)	Amplificazioni topografiche
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata	

Nel Comune sono presenti molte forme di scarpata naturale (P3a), specie nei litotipi carbonatici; ma anche come creste e cocuzzoli (classe P3b), ad esempio a Nord di Cracchi, le creste prossime a Baldi o a Ovest di Camponogara, Lovati e Montanari, etc.

10.2 ZONE INSTABILI PER AZIONE SISMICA

Le zone instabili per azione sismica possono essere soggette, in seguito ad un sisma, a: **1)** instabilità di versante quali frane di crollo, colate, scivolamenti; **2)** cedimenti per liquefazione di terreni saturi o per densificazione di terreni insaturi; **3)** cedimenti per crollo di cavità sotterranee; **4)** rotture in superficie per riattivazione di faglie capaci.

Di seguito si definiscono, come indicato dalle Normative vigenti in materia e dalle Linee Guida nazionali e regionali, le zone con le quali caratterizza il territorio in relazione alla pericolosità o meno di amplificazione sismica.

10.2.1 FENOMENO DI LIQUEFAZIONE

Per liquefazione si intende l'annullamento di resistenza al taglio di terreni granulari saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche. In queste condizioni il terreno raggiunge uno stato di fluidità pari a quella di un liquido viscoso.

Durante lo scuotimento sismico ed immediatamente dopo il terremoto, si verificano degli effetti molto vistosi e, spesso, più devastanti dell'onda sismica, che sono tra le cause più importanti di vittime e danni. Sono gli effetti locali, che possono amplificare notevolmente le sollecitazioni nelle strutture (di entità tale da portarle fino al collasso) od essere rappresentati da rotture del terreno, movimenti franosi, elevati cedimenti nei terreni soffici, liquefazione dei terreni incoerenti saturi. La **Figura 29** mostra un esempio del fenomeno avvenuto nel 2012 in Emilia.



Figura 29. Frattura nel suolo a causa di liquefazione

La normativa vigente (NTC2018 §7.11.3.4.2) indica che la verifica della liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella **Figura 30(a)** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in **Figura 30(b)** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$

La liquefazione può interessare terreni incoerenti sciolti o poco addensati, saturi d'acqua, per temporanea perdita della resistenza al taglio dovuta all'incremento della pressione interstiziale al momento dello scuotimento.

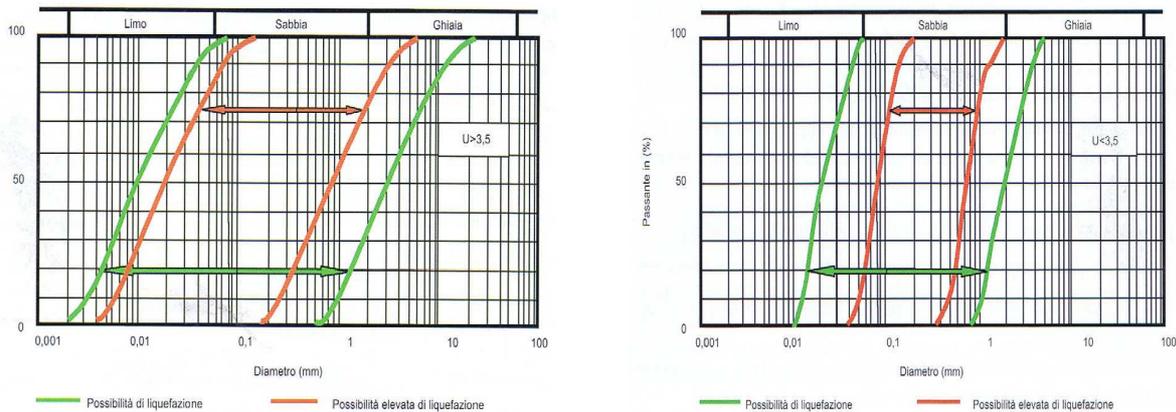


Figura 30. Fasce granulometriche critiche in funzione del coefficiente di uniformità ($a=U>3.5$) e ($b=U<3.5$)

Dalle analisi fatte sulla documentazione tecnica del precedente studio MS, degli elaborati in corso di redazione del PAT, dei dati ottenuti dalla bibliografia pubblicata emerge che la tavola d'acqua si posiziona a parecchie decine di metri dal piano campagna attuale, piano riferito alla porzione "pianeggiante" del territorio. Sulla base di tali riscontri, si può, ragionevolmente, dire che la possibilità di processi di liquefazione in occasione di sismi sia molto remota.

10.2.2 FAGLIE ATTIVE E CAPACI

E' 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 terreno⁴.

Il Comune **NON** è interessato direttamente da una faglia attiva e capace (FAC), come classificata da ISPRA - Progetto ITHACA. Si rimanda al §5.4 per la corretta definizione del fenomeno e dello sviluppo lineare della medesima.

Di seguito, si riporta, comunque, quanto descritto per questo elemento nelle Linee Guida nazionali.

"ZONA DI ATTENZIONE (ZAFAC NEL LIVELLO 1)

La microzona omogenea sarà costruita in modo da comprendere la supposta traccia del piano di rottura principale e i probabili fenomeni deformativi del terreno correlati al piano di rottura principale.

Questa zona sarà denominata ZAFAC (Zona di Attenzione) e rimanderà obbligatoriamente a livelli di approfondimento specifici, propri del livello 3.

Si considerano elementi informativi minimi per l'identificazione di una ZAFAC nel livello 1:

- segnalazioni e studi geologici eseguiti da esperti del settore e riportati nella letteratura scientifica, ma non sufficientemente approfonditi (ad esempio in termini di scala di rappresentazione delle informazioni) per poter essere classificati come "elementi informativi specifici";
- elementi geologici e/o geomorfologici rilevati sul campo da geologi, durante i rilievi geologicotecnici per la stesura delle carte di MS. Tali elementi dovranno comunque essere validati da esperti nel campo della tettonica attiva.

Per l'identificazione di una ZAFAC almeno uno degli elementi informativi minimi deve essere verificato.

⁴ Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), vers. 1, Roma 2016

ZONA DI SUSCETTIBILITÀ E ZONA DI RISPETTO (ZS_{FAC} E ZR_{FAC} NEL LIVELLO 3)

Le microzone omogenee delle FAC possono essere di due tipi:

➤ **Zona di Suscettibilità di una FAC x (ZS_{FAC})**

Area nella quale sono localizzate la traccia del piano di rottura principale della faglia attiva e capace e altre possibili strutture tettoniche secondarie associate al piano di rottura principale, e le zone di trasferimento tra segmenti distinti della faglia. Occorre precisare che tale zona dovrà essere definita per quelle faglie attive e capaci le cui informazioni disponibili, sia pregresse che acquisite appositamente, non permettano di definire con chiarezza la traccia principale della faglia e gli elementi secondari ad essa associati. La ZS_{FAC} sarà tracciata sia per la FAC_a che per la FAC_b . L'area può essere asimmetrica rispetto alla traccia (footwall e hanging wall della faglia).

➤ **Zona di Rispetto di una FAC x (ZR_{FAC})**

Area individuata intorno alla traccia del piano di rottura principale della faglia attiva e capace, identificata con certezza; la ZR_{FAC} può essere quindi tracciata esclusivamente per la FAC_a . L'area può essere asimmetrica rispetto alla traccia (footwall e hanging wall della faglia). La ZR_{FAC} è contenuta nella ZS_{FAC} , ma tra le due zone non c'è sovrapposizione. L'assunzione iniziale, imprescindibile, è che le future rotture ricorreranno su FAC preesistenti. Si definiscono 4 gruppi di indagini necessarie per questo livello di approfondimento (Tab. A2). Queste indagini, nel corso degli studi, hanno una sequenzialità temporale. I gruppi di indagini hanno una significatività crescente passando dal primo al quarto. Idealmente la sequenza completa fornisce il quadro più dettagliato e certo dell'assetto geologico, strutturale e geometrico della FAC_x . Per le faglie potenzialmente attive e capaci è indispensabile arrivare ad espletare le indagini del gruppo Ind_4". Vedasi la **Figura 31**.

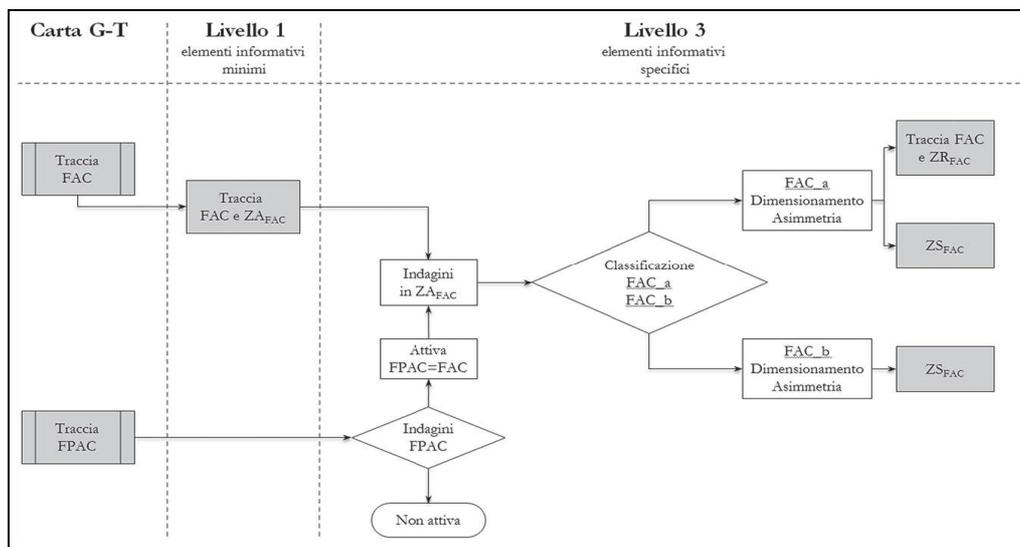


Figura 31: Diagramma di flusso che illustra il percorso metodologico (attraverso i livelli di MS) per la definizione delle zone di faglia.

In funzione della tipologia, del numero e della ubicazione sul terreno (rispetto alla traccia della faglia) delle indagini, realizzate nel corso degli studi di livello 3, la ZS_{FAC} può essere ridotta rispetto alle dimensioni raccomandate definite nei punti precedenti fino ad un valore minimo ammissibile pari a 160 m nel caso di FAC_b e pari a 0 nel caso di FAC_a .

La ZS_{FAC} può essere asimmetrica rispetto alla traccia del piano principale di rottura della faglia attiva e capace, ovvero la ZS_{FAC} può "coprire" in maniera differenziata FW e HW..... (omissis). Solo per le FAC_a , a cavallo del piano di rottura principale, si costruisce obbligatoriamente la Zona di Rispetto (ZR_{FAC}) con una larghezza di 30 m. La ZR_{FAC} può essere contenuta nella ZS_{FAC} , ma tra le due zone non

c'è sovrapposizione. La ZR_{FAC} , inoltre, può essere asimmetrica secondo gli stessi principi della ZS_{FAC} . Nella **Figura 32** viene riportata una sintesi delle dimensioni delle zone.

LIVELLI DI MS	LIVELLO 1	LIVELLO 3		
CATEGORIA (FAC_x)	ZA_{FAC}	$ZS_{FAC\ RACC}$	$ZS_{FAC\ MIN}$	ZR_{FAC}
FAC_a	400	160	0	30
FAC_b	400	300	160	n.d.

Dimensioni raccomandate e minime in metri per le zone di faglia negli studi di MS ($ZS_{FAC\ RACC}$ = Valore raccomandato; n.d. = non definita).

Figura 32: Dimensione delle zone per le differenti FAC e livelli di approfondimento.

La ZS_{FAC} può essere asimmetrica rispetto alla traccia del piano principale di rottura della faglia attiva e capace, ovvero la ZS_{FAC} può "coprire" in maniera differenziata FW e HW. Valori indicativi del rapporto tra le aree di FW e HW che compongono la zona sono riportati nella **Figura 33**.

TIPO DI FAGLIA	RAPPORTO FW:HW
Faglia normale	1:4
Faglia inversa	1:2
Faglia trascorrente	1:1

Figura 33: Rapporti indicativi tra aree di FW e HW in caso di asimmetria della ZS_{FAC} .

10.2.3 INSTABILITA' DI VERSANTE

L'incremento della pericolosità sismica locale può derivare dalla attivazione di movimenti franosi o dalla riattivazione di fenomeni quiescenti. Qualora la resistenza al taglio globale di un pendio sia stata parzialmente mobilizzata oppure qualora la situazione generale di stabilità sia già limitata, le deformazioni a taglio generate durante il sisma possono provocare una rottura generalizzata e conseguentemente produrre un movimento franoso (*frane sismoindotte*).

Normalmente, un sisma può alterare la stabilità di un pendio determinando sia un aumento delle forze di taglio agenti, sia una riduzione della resistenza al taglio del materiale. I fattori in gioco sono molteplici: l'assetto geologico generale, le proprietà meccaniche e lo stato tensionale dei diversi materiali, la situazione idraulica ed idrogeologica del versante; ma anche le caratteristiche spettrali del terremoto come ampiezza d'onda, contenuto spettrale, numero e direzione delle vibrazioni e forme d'onda.

Infine, la caduta di una frana oltre agli effetti diretti può provocare anche l'innescare di una sequenza di eventi come l'ostruzione di fiumi e torrenti con la conseguente formazione di laghi e la loro esondazione.

La **Figura 34** mostra le *Curve di Keefe*, che indicano il rapporto tra intensità del sisma e distanza dall'epicentro dove si possono innescare movimenti franosi.

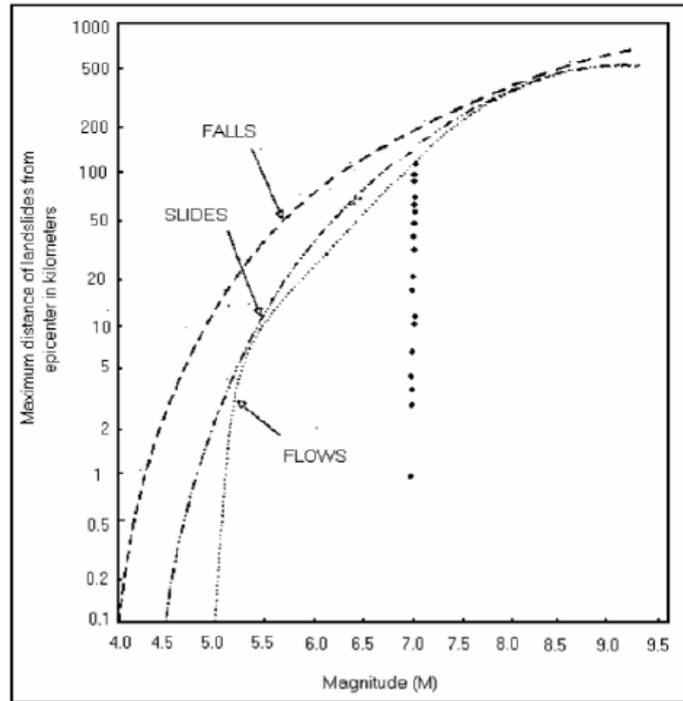


Figura 34. Curve di Keefer per varie tipologie di movimenti franosi (da Chiodo et al, 18° Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, 2007)

Infine, un ulteriore aggravamento della pericolosità locale può derivare dalla combinazione di eventi illustrati nei precedenti casi.

Codesta tipologia costituisce la **classe 1** (a-b-c) per quanto riguarda la pericolosità sismica locale ed i suoi effetti:

P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità per frana
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	

Il territorio comunale, come è emerso dalle ricerche bibliografiche e storiche (es. Catasto IFFI, PAI, etc.), è caratterizzato da fenomeni franosi di varia magnitudo.

Il Catasto PAI della competente Autorità di Bacino⁵, basandosi su quanto censito da IFFI, individua n°230 frane di differente tipologia, come illustrato nella **Figura 35**. La maggior parte sono puntuali e non cartografabili.

Per la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone P1) si procederà con il 3° livello o la RSL al fine di ottenere una caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi.

Nelle aree individuate come P1c si deve procedere con il 2° livello di approfondimento, che interessano aree di trasformazione urbanistica e/o abitati esistenti.

Infine, si precisa che i risultati ottenuti con gli approfondimenti citati hanno solo valore comparativo e non possono essere esportati alla scala di manufatto.

Data la particolare morfologia del territorio in esame e gli eventi franosi in essere, specie a ridosso dei nuclei abitati, occorrerà valutare attentamente ogni singola situazione. Per una caratterizzazione specifica dei singoli casi si rimanda agli studi da eseguire in fase progettuale d'intervento.

⁵ Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige, Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico, da frana e da colata detritica, 1 Variante al PAI, Del. 2/2010.

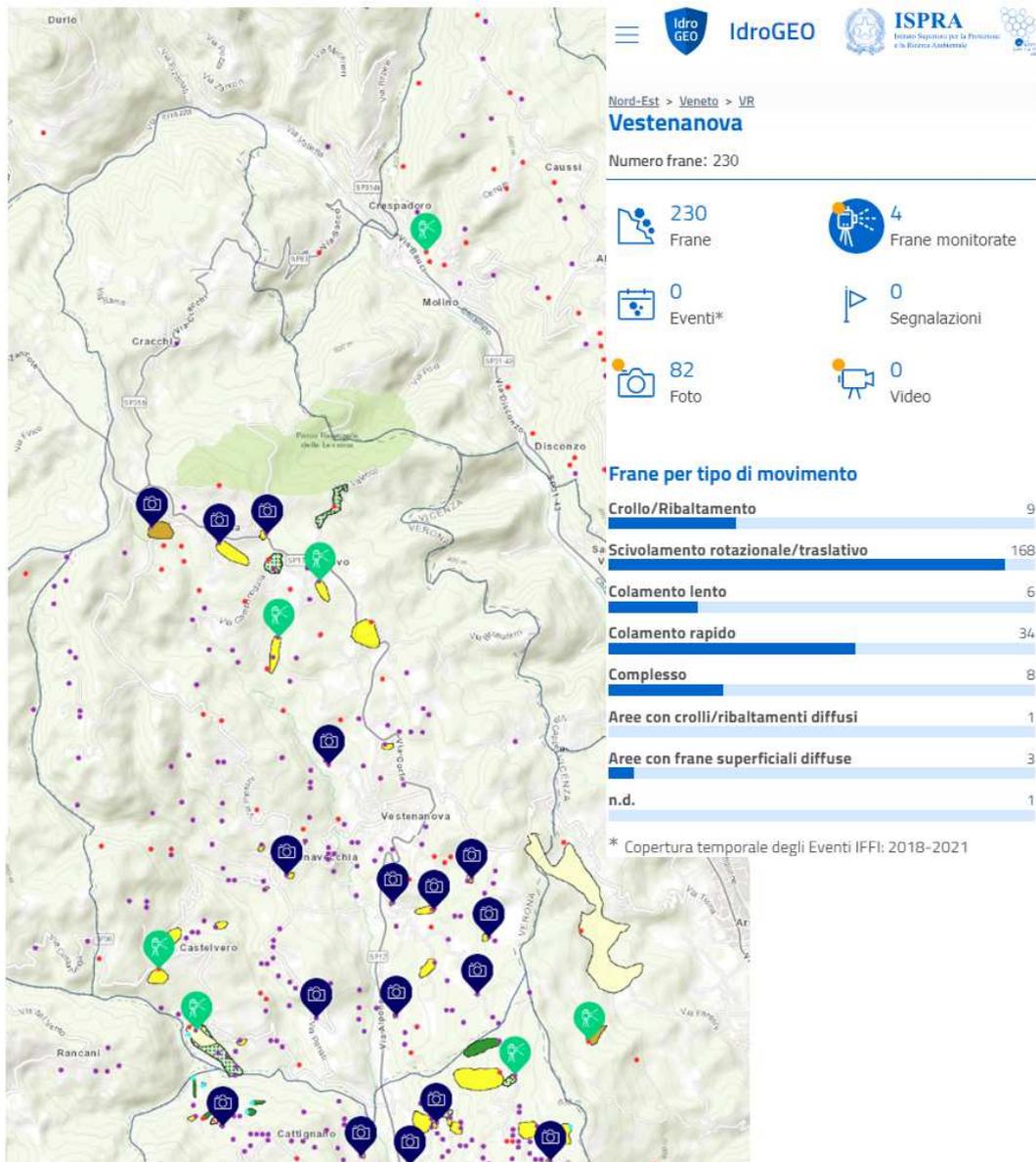


Figura 35. Distribuzione dei dissesti censiti da IFFI

La **Tabella 3**, invece, elenca e descrive i 6 dissesti cartografabili e che possono interferire con i principali nuclei abitativi. Su questi elementi sono state eseguite delle tomografie geoelettriche (ERT) per definirne litologie, spessori e caratteri idrogeologici. Si veda oltre.

Codice IFFI	Livello scheda	Località	Tipo di movimento	Superficie interessata	Descrizione
0230070300	3° livello	Bolca	Scivolamento rotazionale lento (<13 m/mese)	27'243 m ²	Piano di scivolamento con direzione SE. Precipitazioni brevi e intense. Uso a prato e pascolo. Segnali: fenditure, rigonfiamenti.
0230049800	3° livello	Zovo	Scivolamento rotazionale lento (<13 m/mese)	12'426 m ²	Terreno: Detrito. Attivazione nel 1959. Uso suolo: prato e pascolo e nucleo rurale. Volume: 20000 mc. Spessore: 1.0 m. Esposizione: Sud. Terreni argillosi con ruscellamento diffuso. Segnali: inclinazione pali o alberi, rigonfiamenti, contropendenze. Interventi:

					piezometri, dreni, inclinometro.
0230048600	3° livello	M. Poia	Scivolamento rotazionale molto lento (<1.6 m/mese)	19'182 m ²	<p>Attivazione nel 1992. Danni a strade, infrastrutture, acquedotto, colture specializzate. Volume 100'000 mc. Spessore: 5 m. Depositi eluviali e colluviali e rocce effusive laviche acide degradate. Segnali: rigonfiamenti, contropendenze, inclinazione pali o alberi, fenditure, fratture. Interventi: riprofilatura, gradonatura, dreni suborizzontali, briglie o soglie, piezometro, inclinometro.</p> <p>NOTA CNR dissesto nr. 4931 - id_evento: 40383. NoteE.:Ultimo evento.. Descr.Danno:Il materiale ha invaso il torrente. Danno Grado:lieve. Danno Strutture: Corsi d'acqua. Aggiornamento da db eventi F54; 0001E92. scivolamento rotazionale con superficie di movimento a circa 5 m da piano campagna. Attivo a memoria d'uomo, ha subito negli anni '90 alcune attivazioni significative ed è tutt'ora attivo.Tipo Movim.:scivolamento rotazionale Velocità:Rapida Attendibilità Velocità:dedotta Attività:attiva.</p>
0230052801	3° livello	Zandonai	Aree con frane diffuse. Colamento molto lento (< 16 mm/anno)	<p>65'764 m²</p> <p>Dislivello: 35 m.</p> <p>Lunghezza: 190 m.</p> <p>Spessore: 2 m.</p>	<p>NOTA CNR dissesto nr. 3046 - id_evento: 40539. Danno Grado:medio. Danno Strutture:Prato o pascolo. Aggiornamento da studio catchrisk, area franosa F59 di cui esiste un evento perimetrato 0001E98. Segue: descrizione dell'evento: scivolamento nella coltre superficiale di detrito al di sopra del substrato vulcanoclastico che coinvolge la parte sudest della contrada di Zandonai. Principalmente hanno subito lesioni le due case più a SE, anche se alcune piccole crepe sono visibili in altri edifici. Si tratta di un lento movimento di cui si ha notizia da almeno una ventina d'anni.. Tipo Movim.: colamento. Velocità:Lenta. Attendibilità Velocità:stima. Attività:attiva. Si trattava di evento cnr segnalato come colata lenta, in seguito ripresa come area franosa vista l'estensione della perimetrazione. L'evento segnalato dal catchrisk si riferisce ad un movimento di tipo scivolamento. Danni: strade, terreno agricolo, nucleo abitato minore. Terreno: coltre colluviale fine con clasti più o meno abbondanti di basalto. Substrato:rocce effusive laviche basiche, degradate, con ruscellamento diffuso e una sorgente. Segnali: fenditure, fratture, cedimenti, lesioni dei</p>

					manufatti. Interventi: canalette superficiali, muri, trincee drenanti. piezometro, inclinometro.
0230052701	3° livello	Giacomi	Scivolamento rotazionale molto lento (<16 mm /anno)	16'954 m ² Quota corona: 565 m. Lunghezza: 150 m. Spessore: 4 m. Volume 50'000 mc.	NOTA CNR dissesto nr. 2993 - id_evento: 40486. danni lievi a sagrato, strada comunale e scalinata cimitero. danno medio a cimitero, chiesa e strada comunale . Interventi eseguiti: trincee drenanti, . consolidamenti facciata chiesa, . captazione acque disperdenti. Aggiornamento da dbeventi F58; 0001E97. esteso fenomeno di scivolamento nel detrito sovrastante le vulcaniti, nel pendio sottostante la chiesa di Castelvero. Il dissesto coinvolge il piazzale della chiesa, la scalinata che porta al cimitero e il pendio sottostante la chiesa. I primi movimenti risalgono al 1982, e nonostante numerosi interventi di consolidamento si sono registrate numerose altre riattivazioni, principalmente nel 1997 e nel 1998. Attualmente si nota uno sprofondamento nel piazzale antistante la chiesa, lesione in alcuni muri, nel tratto basso della scalinata per il cimitero. Danni a strutture, strade, servizi, terreno agricolo. Esposizione SE. Suolo seminativo arborato. Substrato: rocce effusive laviche basiche. Detrito colluviale argilloso con rari elementi ghiaiosi basaltici inclusi. Danni: lesioni dei manufatti, inclinazione pali o alberi, cedimenti, rigonfiamenti. Piogge prolungate e diffuse, ruscellamento concentrato. Interventi: monitoraggio topografico (stazione totale, GNSS), piezometro, altro.
0230046200	3° livello	Bolca	Scivolamento rotazionale molto lento (<1.6 m/mese)	24'990 m ² Quota corona: 795 m. Lunghezza: 8 m. Dislivello 5 m.	NOTA CNR dissesto nr. 4917 - id_evento: 40368. Descr.Danno: Strada comunale . Danno Grado:medio. Danno Strutture:Strada comunale . Danno Grado:medio. Danno Strutture:Prato o pascolo. Dati e perimetrazione dal progetto Catchrisk (0001E6; scheda F21). TipoMovim.:complesso Velocità:Rapida Attendibilità Velocità:dedotta. Attività:quiescente. Danno: strade, terreno agricolo. Depositi eluviali e colluviali. Materiale colluviale costituito superiormente da materiale fine, inferiormente aumentano i blocchi basaltici e vulcanoclastici anche delle dimensioni di qualche decimetro di qualche decimetro cubo.

Tabella 3: Movimenti franosi significativi nel territorio comunale (da DB IFFI)

La **Figura 36**, mostra su base Ortofotopiano le distribuzioni dei dissesti IFFI.

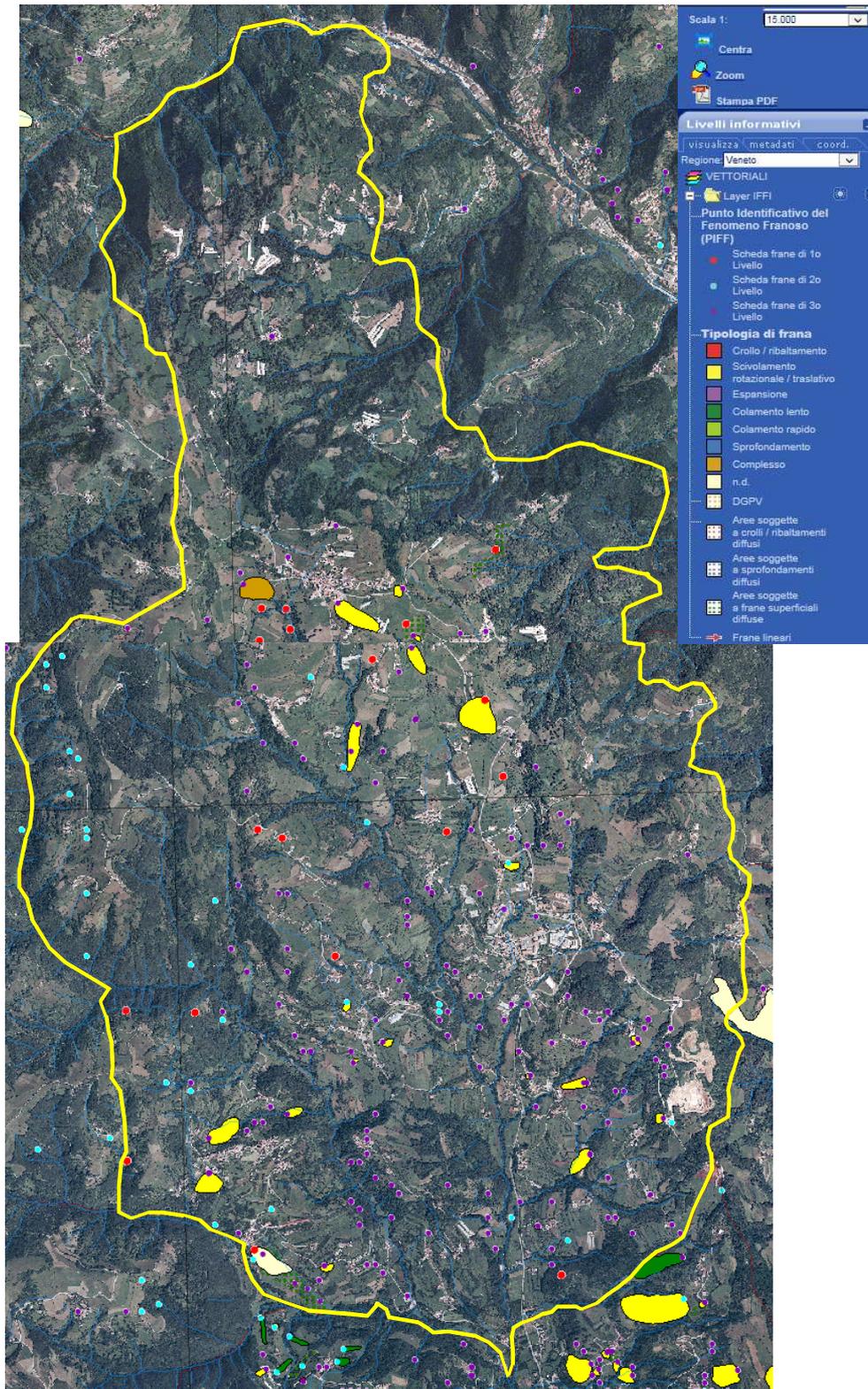


Figura 36. Frane a differente entità e pericolosità (da IFFI)

11 METODOLOGIE D'ELABORAZIONE E RISULTATI

11.1 AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Relativamente alle possibili amplificazioni sismiche su base litologica, la procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (F_a). Gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e geometriche e sono utilizzati per "zonizzare" l'area di studio in funzione del valore di F_a .

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia dei materiali presenti nel sito (litologie ghiaiose e litologie argilloso limose);
- stratigrafia del sito;
- andamento con la profondità delle V_s fino a valori pari o superiori a 800 m/s; in mancanza del raggiungimento del bedrock ($V_s \geq 800$ m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di V_s con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s.
- spessore, peso di volume e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Questa procedura semplificata prevede l'impiego di abachi di riferimento formulati dal Dipartimento di Protezione Civile - ICMS 2008 - reperibili nel Volume III degli "Indirizzi ...".

Gli ICMS (2008) definiscono, nell'ambito degli studi di Livello 2, una serie di abachi finalizzati all'individuazione di un valore che caratterizzi le microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali in termini di fattori di amplificazione.

A differenza degli aspetti morfologici dove la procedura di 2° Livello fornisce valori di F_a solo per l'intervallo $0.1 < T_0 < 0.5$ s, a causa di codici di calcolo bidimensionale che sono influenzabili da moto di input nel periodo $0.5 < T_0 < 1.1$ s; per gli effetti litologici la procedura dà valori di F_a per entrambi gli intervalli di periodo considerati.

Le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici sono espresse con due fattori numerici (**F_a** e **F_v**) da applicare alle ordinate spettrali a basso periodo (F_a) e alto periodo (F_v).

L'uso degli abachi, vista la localizzazione delle indagini e la litostratigrafia locale desunta da dati in situ permette di supporre la loro compatibilità per la definizione degli indici di amplificazione sismica locale.⁶

Gli abachi forniscono due valori di amplificazione sismica **F_a** ed **F_v** così definiti

- **F_a** : fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione);
- **F_v** : fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

Per la valutazione di F_a ed F_v è necessario conoscere la litologia prevalente del sottosuolo nel sito considerato, l'andamento della velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità e la profondità del bedrock sismico. Gli abachi sono costruiti per tre diversi profili di velocità nel sottosuolo:

- Profilo 1: velocità costante (VSH) lungo tutto lo spessore del deposito
- Profilo 2: velocità crescente con la profondità con il gradiente massimo
- Profilo 3: profilo di velocità crescente con la profondità con gradiente intermedio tra i due precedenti

Sulla base delle conoscenze geologiche e geofisiche dell'area si deve scegliere quale profilo è più idoneo a rappresentare la situazione in esame. Per il territorio studiato in questo studio è stato utilizzato il profilo con gradiente medio ed accelerazione al bedrock di classe α_g pari a quella ricavata in ogni punto investigato..

⁶ Vedasi: Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida pubblicato nella Rivista GNGTS 2015 - Sessione 2.2, dal titolo "Applicabilità degli abachi per la microzonazione sismica di livello 2", redatto dal Gruppo di Lavoro "Abachi".

Come detto, si sono utilizzati gli abachi degli ICMS (2008) mancando quelli definiti a scala regionale, che dovrebbero rappresentare la situazione sismotettonica regionale a seconda delle caratteristiche peculiari degli ambienti che le caratterizzano.

Pertanto, l'attribuzione di F_a e F_v è stata raggiunta utilizzando il software "SICodes" della Ditta Progamgeo[®], secondo il metodo ICMS2008.

Tutte le elaborazioni effettuate prevedono, da norma, la presenza di un bedrock sismico avente $V_s = 800$ m/s al di sotto della profondità H . Si sottolinea, qui, che la condizione $V_s \geq 800$ m/s è alquanto ottimistica per gran parte delle rocce del substrato roccioso italiano. Infatti, generalmente, i litotipi italiani pur avendo un comportamento classificabile come suolo di classe A, presentano una $V_s < 800$ m/s. L'applicazione rigida della norma porterebbe a non classificare in classe A buona parte del territorio italiano, sia con rocce sedimentarie ma anche ignee e metamorfiche. Su tale base si è considerato bedrock sismico anche i terreni che presentassero V_s leggermente inferiori a 800 m/s (da 700 m/s in su).

Le Tabelle ICMS 2008 contenute nelle Linee Guida nazionali sono ordinate per litotipo (Argille, Sabbie e Ghiaie) e, all'interno di ciascun litotipo, per tipo di profilo di velocità assunto (costante, variabile linearmente con la massima pendenza compatibile con il valore di V_s/H , e variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima).

La scelta del tipo di profilo va fatta sulla base delle conoscenze specifiche ottenute con il Livello 2: 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. Il profilo con pendenza massima fornisce in genere risultati più cautelativi e andrebbe utilizzato quando si può effettivamente ipotizzare che ci siano gradienti molto accentuati con la profondità.

I dati relativi a spessori H molto elevati (da 50 a 150 metri) sono inseriti per consentire di riferirsi a situazioni in cui è prevedibile che le proprietà dei terreni siano gradualmente crescenti con la profondità, senza contrasti di impedenza evidenti

Il valore di F_a determinato deve essere approssimato alla prima cifra decimale ed utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

Si precisa che la scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di V_s , utilizzati nella procedura di 2° Livello è stata motivata ed a ciascun parametro utilizzato è stato assegnato un grado di attendibilità, secondo il seguente schema (**Tabella 4**):

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (V_s)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Tabella 4: Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati

Si ribadisce, come riportato nel paragrafo 2.4.1 degli ICMS (2008), che le geometrie delle zone stabili e stabili suscettibili di amplificazioni locali, definite nel Livello 1, nella stesura delle Carte di microzonazione sismica di Livello 2 e 3, possono essere modificate.

Di seguito si riportano in forma tabellare i valori di $V_{s_{eq}}$ ricavati dalle 20 misure in situ MASW, che si sommano alle 24 MASW eseguite precedentemente per un totale di 44 MASW distribuite nel territorio così da coprire e parametrizzarlo in più possibile.

Per completezza a queste segue la Tabella riferita alle pregresse indagini HVSR, rielaborate per l'occasione aventi lo scopo di infittire le informazioni sismo-territoriali.

In ogni caso, tutte indagini esistenti sono visibili nella **Carta delle Indagini aggiornata (CI)**.

Le **Tabelle 5** sintetizza i risultati ottenuti elaborando con il codice SICodes della Programgeo®, le registrazioni MASW e quelle precedenti, nonché le HVSR.

Oltre ai fattori amplificativi Fa e Fv, vengono illustrati, in sintesi, i valori di To (sec), quelli di frequenza Fo (Hz), le accelerazioni di base per ciascun sito investigato e quella massima in superficie, la Classe di appartenenza del suolo come da NTC2018, i fattori Ss e St legati alla stratigrafia ed alla topografia.

Committente: Comune di Vestenanova
Oggetto: Studio di Microzonazione sismica di 2° Livello e 3°
Data: 2022
Indagini analizzate: MASW 2019 (1-22)+ 2022 (25-44)

Nr° MASW	Cod. MASW	Coordinate WGS84		Dati da misure MASW			Calcoli dei parametri con codice SICodes software								
		Lat	Long	To (s)	Fo (Hz)	Bedrock (m)	Acc. Suolo (ag)	Fo	Acc max (amax)	Vseq (m/s)	Classe Ntc 18	Ss Ntc 18	Fa (SsxSt)	Fv (SsxSt)	
1 2019	023093L1	45.6166038	11.2107218	0.28	3.6	30	0.1667	2.43	0.2914	358	C	1.46	1.98	2.12	
2 2019	023093L2	45.6148403	11.2089194	0.30	3.3	30	0.1667	2.43	0.2915	326	C	1.46	2.02	2.36	
3 2019	023093L3	45.6092866	11.2045635	0.39	2.5	40	0.1667	2.43	0.2915	298	C	1.46	2.06	2.59	
4 2019	023093L4	45.6025164	11.2134470	0.41	2.5	42	0.1668	2.43	0.2917	311	C	1.46	2.03	2.50	
5 2019	023093L5	45.5954000	11.2057437	0.37	2.7	37	0.1673	2.43	0.2923	311	C	1.46	2.04	2.53	
6 2019	023093L6	45.5951223	11.2090696	0.22	4.6	24	0.1668	2.43	0.2402	401	B	1.20	1.92	1.85	
7 2019	023093L7	45.5939361	11.2139619	0.20	4.9	24	0.1668	2.43	0.2403	446	B	1.20	1.80	1.68	
8 2019	023093L8	45.5908880	11.2199486	0.18	5.6	23	0.1668	2.43	0.2403	462	B	1.20	1.76	1.63	
9 2019	023093L9	45.5874118	11.2095309	0.36	2.8	36	0.1668	2.43	0.2403	302	C	1.46	2.06	2.54	
10 2019	023093L10	45.5850242	11.2135435	0.40	2.5	42	0.1668	2.43	0.2430	324	C	1.46	1.68	1.99	
11 2019	023093L11	45.5811796	11.2294866	0.52	1.9	46	0.1668	2.43	0.2430	254	C	1.46	2.02	2.99	
12 2019	023093L12	45.5777929	11.2211610	0.57	1.8	51	0.1669	2.43	0.2917	260	C	1.46	2.02	2.90	
13 2019	023093L13	45.5774475	11.2293149	0.48	2.1	40	0.1669	2.43	0.2931	242	C	1.46	1.86	2.61	
14 2019	023093L14	45.5736100	11.2271370	0.32	3.2	30	0.1669	2.43	0.2931	327	C	1.46	1.68	1.98	
15 2019	023093L15	45.5727951	11.2309457	0.51	2.0	50	0.1669	2.43	0.2931	291	C	1.46	1.70	2.23	
16 2019	023093L16	45.5710978	11.2284351	0.33	3.0	36	0.1669	2.43	0.2917	341	C	1.46	2.00	2.26	
17 2019	023093L17	45.5669706	11.2165369	0.22	4.5	26	0.1669	2.43	0.2403	434	B	1.20	1.82	1.74	
18 2019	023093L18	45.5687883	11.2136186	0.26	3.9	27	0.1668	2.43	0.2403	369	B	1.20	1.96	2.06	
19 2019	023093L19	45.5678644	11.2280382	0.33	3.10	32	0.1669	2.43	0.2431	302	C	1.46	1.71	2.12	
20 2019	023093L20	45.5608639	11.2079753	0.38	2.70	40	0.1657	2.43	0.2900	331	C	1.46	2.02	2.34	
21 2019	023093L21	45.5616226	11.2024714	0.23	4.40	26	0.1670	2.43	0.2404	401	B	1.20	1.92	1.84	
22 2019	023093L22	45.5575360	11.2065805	0.34	3.00	36	0.1664	2.43	0.2909	334	C	1.46	2.00	2.32	
23 2019	023093L23	45.5656224	11.2268044	0.08	12.97	63	0.1669	2.43	0.2917	330	C	1.20	1.42	1.88	
24 2019	023093L24	45.5807516	11.2216867	0.23	4.32	26	0.1669	2.43	0.2403	411	B	1.20	1.88	1.84	
1 2022	023093L25	45.6170391	11.1997570	0.10	10.0	13	0.1670	2.44	0.2405	434	B	1.20	1.82	1.74	
2 2022	023093L26	45.6140073	11.2084044	0.22	4.5	26	0.1670	2.43	0.2400	430	B	1.20	1.84	1.75	
3 2022	023093L27	45.6102398	11.2110973	0.23	4.3	24	0.1668	2.43	0.2002	364	B	1.20	1.64	1.75	
4 2022	023093L28	45.5983128	11.2251307	0.17	6.0	24	0.1669	2.43	0.2403	537	B	1.20	1.61	1.46	
5 2022	023093L29	45.5936659	11.2070740	0.24	4.2	22	0.1668	2.43	0.2402	417	B	1.20	1.87	1.81	
6 2022	023093L30	45.5868337	11.2440349	0.10	11.0	14	0.1669	2.43	0.2403	530	B	1.20	1.34	1.22	
7 2022	023093L31	45.5860979	11.2097884	0.21	4.7	22	0.1668	2.43	0.2002	371	B	1.20	1.63	1.71	
8 2022	023093L32	45.5943640	11.2024714	0.20	5.0	22	0.1677	2.43	0.2012	423	B	1.20	1.55	1.49	
9 2022	023093L33	45.5797979	11.2425436	0.25	4.1	26	0.1670	2.43	0.2432	349	C	1.46	1.69	1.80	
10 2022	023093L34	45.5714170	11.2242509	0.29	3.5	34	0.1669	2.43	0.2403	403	B	1.20	1.91	1.85	
11 2022	023093L35	45.5799031	11.2098099	0.13	7.8	19	0.1668	2.43	0.2402	591	B	1.20	1.49	1.36	
12 2022	023093L36	45.5805263	11.1923648	0.16	6.4	21	0.1677	2.43	0.2415	503	B	1.20	1.61	1.46	
13 2022	023093L37	45.5723407	11.2073637	0.28	3.5	34	0.1665	2.43	0.2398	403	B	1.20	1.91	1.85	
14 2022	023093L38	45.5702453	11.2187577	0.32	3.1	34	0.1669	2.43	0.2917	333	B	1.46	2.00	2.32	
15 2022	023093L39	45.5722731	11.2283708	0.27	3.7	30	0.1669	2.43	0.2403	373	B	1.20	1.96	2.04	
16 2022	023093L40	45.5620582	11.2366963	0.13	7.5	20	0.1650	2.43	0.2377	534	B	1.20	1.60	1.46	
17 2022	023093L41	45.5550419	11.2278987	0.27	3.7	34	0.1650	2.43	0.2376	418	B	1.20	1.86	1.81	
18 2022	023093L42	45.5563341	11.2215043	0.18	5.7	22	0.1650	2.43	0.2376	456	B	1.20	1.78	1.64	
19 2022	023093L43	45.5620883	11.2051750	0.22	4.5	31	0.1675	2.43	0.2412	497	B	1.60	1.64	1.58	
20 2022	023093L44	45.5623887	11.2151743	0.24	4.1	27	0.1658	2.43	0.2388	414	B	1.20	1.87	1.82	
				Medie Mw	0.28	4.44	31	0.167	2.43	0.2540	385	B= 59%	1.82	1.97	
												C= 41%			
				Medie Hvrs						357	B= 45%	1.60	1.97		
												C= 55%			

Tabella 5: Parametri sismici MASW

La Figura 37 mostra l'andamento delle V_{seq} misurate nelle 44 MASW.

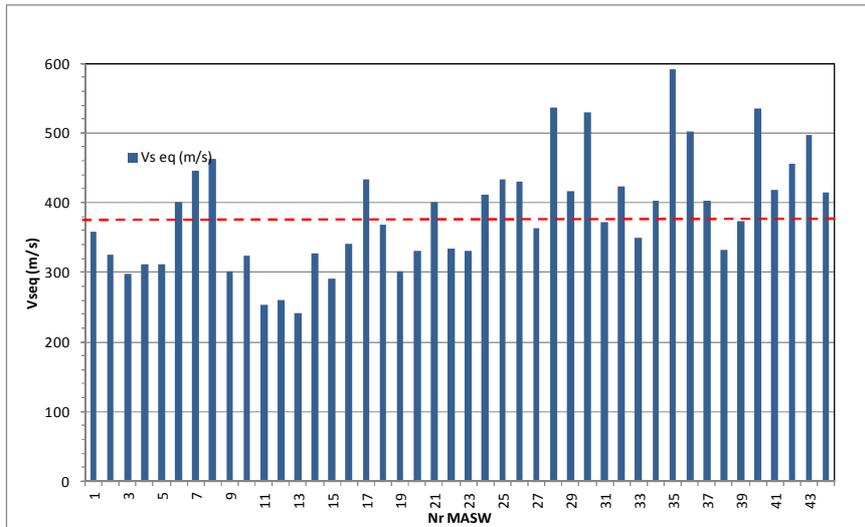


Figura 37. Grafico delle Vs registrate nelle 44 MASW

Le Tabelle 6 sintetizza i risultati ottenuti elaborando con il codice SICodes della Programgeo®, le registrazioni HVSR.

Nr° HVSR	Cod. MASW	Coordinate WGS84		Dati da HVSR			Calcoli dei parametri con codice SICodes software						
		Lat	Long	Fo (Hz)	Bedrock (m)	Acc. Suolo (ag)	Fo	Acc max (amax)	Vseq (m/s)	Classe Ntc 18	Ss Ntc 18	Fa (SsxSt)	Fv (SsxSt)
1 2019	023093P71	45.5743534	11.2259568	1.2	14	0.1669	2.43	0.2917	312	C	1.20	1.44	1.94
2 2019	023093P72	45.6163637	11.2096919	>20	20	0.1667	2.43	0.2914	346	C	1.46	2.00	2.21
3 2019	023093P73	45.6119960	11.1975468	3.9	70	0.1672	2.44	0.2921	266	C	1.46	1.49	2.02
4 2019	023093P74	45.6068924	11.2024392	5.0	114	0.1676	2.43	0.2927	285	C	1.20	1.39	1.93
5 2019	023093P75	45.5957379	11.2043489	3.9	30	0.1669	2.43	0.2918	328	C	1.46	2.02	2.36
6 2019	023093P76	45.5938160	11.2091125	4.5	31	0.1668	2.43	0.2916	328	C	1.46	2.02	2.36
7 2019	023093P77	45.5875245	11.2097777	12.6	38	0.1668	2.43	0.2916	311	C	1.20	1.34	1.66
8 2019	023093P78	45.5911733	11.2199486	7.8	9	0.1669	2.43	0.2403	422	B	1.60	1.44	1.70
9 2019	023093P79	45.5841907	11.2337030	2.4	43	0.1669	2.43	0.2918	325	C	1.20	1.36	1.69
10 2019	023093P80	45.5785439	11.2266434	4.1	21	0.1669	2.43	0.2917	301	C	1.20	2.06	2.53
11 2019	023093P81	45.5752997	11.2351836	10.7	35	0.1669	2.43	0.2918	324	C	1.20	1.69	2.22
12 2019	023093P82	45.5699749	11.2407626	7.4	41	0.1669	2.43	0.2404	395	B	1.20	1.34	1.61
13 2019	023093P83	45.5739254	11.2459982	>20	17	0.1670	2.43	0.2404	391	B	1.20	1.44	1.61
14 2019	023093P84	45.5701928	11.2294544	8.3	12	0.1669	2.43	0.2403	417	B	1.20	1.84	1.76
15 2019	023093P85	45.5622761	11.2371148	10.0	9	0.1659	2.43	0.2389	526	B	1.20	1.40	1.46
16 2019	023093P86	45.5648750	11.2292183	>20	25	0.1669	2.43	0.2404	414	B	1.20	1.38	1.67
17 2019	023093P87	45.5545836	11.2273944	10.8	31	0.1650	2.43	0.198	430	B	1.20	1.28	1.52
18 2019	023093P88	45.5741582	11.2303556	5.0	15	0.1669	2.43	0.2417	263	C	1.60	2.02	2.90
19 2019	023093P89	45.5529909	11.2185539	13.2	34	0.1650	2.43	0.2376	455	B	1.20	1.33	1.58
20 2019	023093P90	45.5554701	11.2137903	4.4	15	0.1650	2.43	0.2989	343	C	1.20	1.52	1.90
21 2019	023093P91	45.5556955	11.2069024	10.5	36	0.1664	2.43	0.2910	341	C	1.20	1.43	1.79
22 2019	023093P92	45.5620958	11.2046064	>20	33	0.1680	2.44	0.2419	371	B	1.20	1.39	1.68
23 2019	023093P93	45.5628019	11.2016238	10.9	37	0.1679	2.43	0.2418	394	B	1.20	1.61	2.02
24 2019	023093P94	45.5559660	11.2221588	4.3	19	0.1650	2.43	0.2376	362	B	1.20	1.97	2.11
25 2019	023093P95	45.5703129	11.2179960	10.6	10	0.1669	2.43	0.2403	451	B	1.20	1.45	1.73
26 2019	023093P96	45.5694417	11.2102283	3.9	17	0.1668	2.43	0.2916	252	C	1.60	2.03	3.00
27 2019	023093P97	45.5726562	11.2076319	4.4	22	0.1665	2.43	0.2912	328	C	1.60	1.39	1.73
28 2019	023093P98	45.5785449	11.2108009	7.4	12	0.1668	2.43	0.2402	397	B	1.20	1.55	1.86
29 2019	023093P99	45.5807526	11.1922615	12.3	18	0.1677	2.43	0.2415	395	B	1.20	1.72	2.03
30 2019	023093P100	45.5776287	11.1932485	2.0	50	0.1677	2.43	0.2928	297	C	1.20	1.60	2.09
31 2019	023093P101	45.5860689	11.2093633	7.4	12	0.1668	2.43	0.2916	285	C	1.20	1.56	2.40

Medie Hvrs	6.99	29	0.1667	2.43	0.2657	357	B= 45%
							C= 55%

1.60	1.97
------	------

Tabella 6: Parametri sismici HVSR

La **Tabella 7** mostra le categorie del sottosuolo basate sui valori di $V_{s_{eq}}$ e reperibili nelle NTC2018.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 7: Categorie di suolo (NTC 2018)

Infine, in base alle frequenze di risonanza registrate nelle MASW è possibile avere una stima degli spessori (h) delle coperture responsabili dei possibili fenomeni di risonanza provocati dal contatto bedrock-copertura (**Tabella 8**).

Risulta che il 5% del territorio investigato presenta uno spessore >100 m; pur un 5% è compreso tra 50 e 100 metri ed ancora per il 5% il materasso è poco profondo (5-10 m). Il 18% presenta una coltre di almeno 30-50 m ed il 16% tra il 10 e il 20%. La maggior parte del territorio, però, è caratterizzato da materiale sciolto, depositato, alterato etc. con spessori di 20-30 metri (55%).

F_0 (Hz)	h (m)
<1	>100
1 - 2	50 - 100
2 - 3	30 - 50
3 - 5	20 - 30
5 - 8	10 - 20
8 - 20	5 - 10
>20	<5

Tabella 8: Stima dello spessore delle coperture (h) vs frequenza di risonanza (F_0) (Albarelo e Castellaro 2011)

Da evidenziare che la definizione di “*bedrock sismico*” può variare a seconda del contesto ambientale e geodinamico analizzato. In ogni caso si può definire:

Copertura: la successione litostratigrafica è costituita da rocce alterate e/o sedimenti sciolti o poco addensati, quali detriti di versante non cementati, alluvioni recenti (es.<1M.a.), colluvium, etc. Generalmente questi terreni sono caratterizzati da bassi valori di V_s (<400m/s).

Substrato geologico: è la successione litostratigrafica generalmente costituita da rocce compatte (diagenizzate/consolidate) non alterate/fratturate, che costituisce la base dei terreni di copertura; può essere affiorante o sub-affiorante (spessore di copertura <3m).

Bedrock sismico: è la successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido, ovvero da valori di V_s significativamente maggiori di quelli delle coperture localmente presenti. Nella letteratura tecnica e scientifica internazionale il bedrock sismico è generalmente considerato la roccia caratterizzata da $V_s > 800$ m/s. Tuttavia, il substrato può manifestare comportamento da bedrock sismico anche in caso di $V_s < 800$ m/s purché il contrasto di impedenza sismica tra substrato e copertura sia significativo (>2).

Come detto sopra, le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici sono date da due fattori numerici (F_a e F_v) da applicare alle ordinate spettrali a basso periodo (F_a) e alto periodo (F_v).

11.1.1 OSSERVAZIONI SULLE MISURE HVSR A STAZIONE SINGOLA

Si evidenzia che, se opportunamente agganciata, l'indagine sismica passiva (HVSR), ad altre indagini risulta simile a quella ottenuta con le MASW. Come più volte indicato da illustri esperti in materia.

A tale riguardo si è voluto, però, ampliare le conoscenze del sottosuolo rielaborando le indagini eseguite nello studio precedente e basate sull'acquisizione del rumore sismico mediante tomografo. Ciò al fine di capire se i risultati acquisiti con le specifiche indagini sopra elencate potevano essere confermati / ampliati al restante territorio.

Il numero complessivo delle indagini HVSR è di 19. Si è consci che l'utilizzo di tale strumentazione risulta sicuramente utile per la definizione della frequenza di risonanza del sottosuolo, ma se idoneamente agganciato alle discontinuità stratigrafiche acquisite in loco con altre indagini, tra l'altro qui numerose, si può arrivare a definire le Vs ed di altri indici del sottosuolo investigato.

La letteratura scientifica internazionale è piena di esempi. A tal riguardo si riportano i risultati di uno studio (vedasi sotto) eseguito dal Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida pubblicato nella Rivista GNGTS 2015 - Sessione 2.2, dal titolo "Applicabilità degli abachi per la microzonazione sismica di livello 2", redatto dal Gruppo di Lavoro "Abachi" di cui fanno parte:

- Dario Albarello, *Università di Siena - Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*
- Massimo Baglione, *Regione Toscana - Settore Sismica*
- Simone Barani, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*
- Daniele Bottero, *Regione Liguria - Settore Assetto del Territorio*
- Sergio Castenetto, *DPC - Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico*
- Antonio Colombi, *Regione Lazio – Agenzia Regionale di Protezione Civile*
- Massimo Compagnoni, *Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale*
- Vittorio D'Intinosante, *Regione Toscana – Settore Sismica*
- Roberto De Ferrari, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*
- Eugenio Di Loreto, *Regione Lazio - Direzione Regionale Infrastrutture, Ambiente e Politiche Abitative*
- Pierangelo Fabbroni, *Regione Toscana - Settore Sismica*
- Gabriele Ferretti, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*
- Luca Martelli, *Regione Emilia-Romagna - Servizio geologico, sismico e dei suoli*
- Giuseppe Naso, *DPC - Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico*
- Floriana Pergalani, *Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale*
- Giacomo Peruzzi, *Università di Siena - Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*
- Daniele Spallarossa, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*
- Alberto Tento, *CNR – Istituto per le Dinamica dei Processi Ambientali.*

11.1.2 FREQUENZA E STRUTTURE

Si fa cenno, qui, alle applicazioni che la metodologia d'indagine usata (HVSR) ed i parametri da essa derivati possono avere in relazione ai problemi di vibrazione delle strutture.

E' stato dimostrato che la vulnerabilità agli eventi sismici di un edificio di costruzione relativamente recente è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive dello stesso. Molto più gravoso è l'effetto dell'amplificazione sismica locale, che tende ad aumentare in maniera importante l'intensità delle forze sismiche agenti sulla struttura.

In particolare se la frequenza di risonanza dell'edificio è confrontabile con quella dei terreni di fondazione si verifica il fenomeno della risonanza accoppiata che comporta un'amplificazione delle sollecitazioni sismiche sull'opera.

Al fine di valutare tale rischio è, pertanto, necessario considerare se la frequenza di risonanza fondamentale dell'edificio corrisponde con uno dei picchi di risonanza del terreno di fondazione evidenziati con l'indagine HVSR.

E' risaputo che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere o calcolata secondo la formula seguente:

$$f_{\text{frequenza naturale dell'edificio}} \approx 10\text{Hz}/\text{numero di piani}$$

È la risonanza tra terreno e struttura data dalla relazione:

frequenza naturale dell'edificio \approx frequenza naturale della copertura di terreno

ad essere pericolosa perché induce alla massima amplificazione.

La combinazione delle due espressioni ora scritte porta alla relazione:

$$10\text{Hz}/\text{numero di piani} \approx V_s/4H$$

dalla quale si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi.

Si veda anche la **Figura 38**.

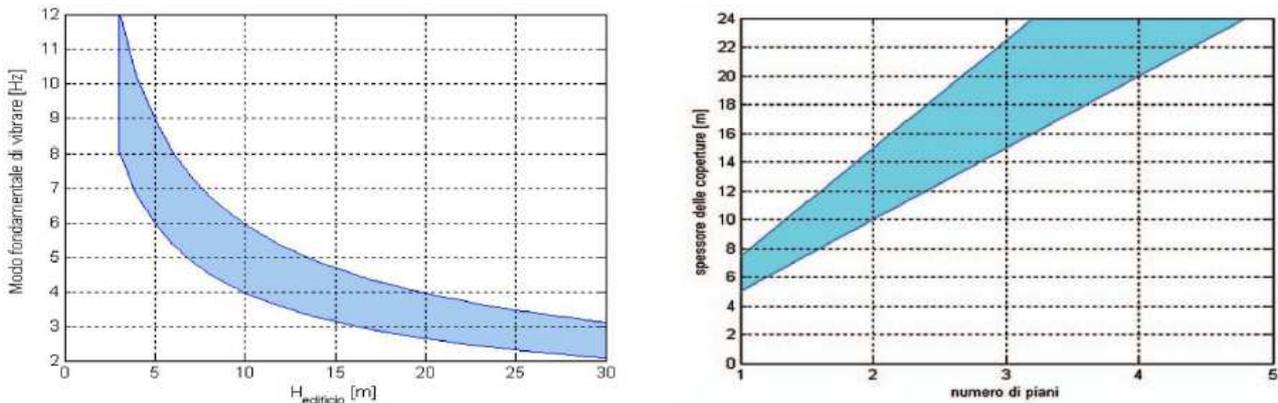


Figura 38: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato. La zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

Nel Comune le strutture edilizie sono prevalentemente regolari, abbastanza rigide e relativamente basse, normalmente non si superano i 5 piani abitativi, rientrando nell'intervallo di oscillazione di $0,1 \div 0,5$ s; mentre nel secondo intervallo tra $0,5-1,5$ s rientrano le strutture più alte e flessibili.

Detto ciò, osservando il grafico di **Figura 38** si può valutare, da parte dei tecnici, la possibilità o meno di fenomeni di doppia risonanza degli edifici.

Ad esempio, tornando a quanto scritto circa le frequenze di picco risultanti un po' per tutte i siti di territorio investigato si può ragionevolmente evidenziare che picchi di frequenza oscillano tra 3 Hz e 5 Hz, soltanto nel sito SAV10 sia arriva a valori di 10 Hz e in SAV3 maggiori di 10 Hz. Ciò portano a dire che sono gli edifici di altezza pari a $6 \div 10$ metri quelli soggetti a doppia risonanza.

In fase di progettazione esecutiva pertanto si dovrà aver cura di verificare che a tali picchi non corrisponda la frequenza di risonanza fondamentale degli edifici.

11.2 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Si premette che, essendo il territorio comunale sub-pianeggiante con pendenze minori di 15° , il fattore di amplificazione topografica "**St**" risulta generalmente pari a 1.0, come da norma, ad eccezione dei rilievi collinari posti nella parte NW del territorio, dove si misurano pendenze tra $\sim 10^\circ$ e $\sim 42^\circ$.

La normativa prevede che le possibili zone di amplificazione morfologica vengano valutate per mezzo di procedure semplificate con l'impiego di abachi o schede che si riferiscono a diverse situazioni tipo.

Gli abachi forniscono stime del valore del Fattore di amplificazione (**Fa**) su base statistica, anche se gli effetti di amplificazione morfologica risentono fortemente della direzionalità degli impulsi sismici.

La stima è la risposta dello scenario considerato, nel caso peggiore, cioè nel caso in cui l'incidenza del treno d'onde avvenga perpendicolarmente alla direzione di allungamento della cresta o della scarpata. In tutti i casi in cui il treno d'onde associato al movimento sismico non sia perpendicolare allo sviluppo della cresta o della scarpata, è lecito attendersi effetti di amplificazione morfologica attenuati rispetto a quanto riportato più avanti.

La valutazione del grado di protezione per le situazioni morfologiche (scarpata e cresta rocciosa e/o cocuzzolo), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di F_a ottenuti dalle Schede di valutazione con il valore di S_t delle Norme Tecniche per le Costruzioni, che si riporta nella **Tabella 9**.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 9: Categorie topografiche (da NTC 2018)

Il valore S_t è il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

11.2.1 VALUTAZIONI PER CRESTA ROCCIOSA O COCUZZOLO - METODO

Si sono considerate zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo quelle formate da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 15°. Il rilievo è stato fatto basandosi sulla base di cartografie (CTRN). La larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche.

La normativa (vedasi Linee Guida del Dipartimento di Protezione Civile e quelle regionali) indica che sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H).

Per quanto riguarda le creste, si distinguono due condizioni:

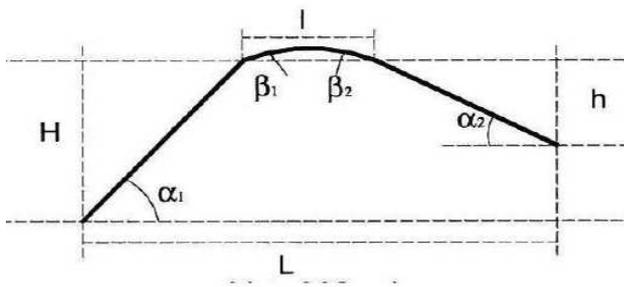
- rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta (l) molto inferiore alla larghezza alla base (L) (cresta appuntita);
- rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta paragonabile alla larghezza alla base, ovvero pari ad almeno 1/3 della larghezza alla base; la zona di cresta è pianeggiante o sub-pianeggiante con inclinazioni inferiori a 10° (cresta arrotondata).

Inoltre, è necessari conoscere la larghezza alla base del rilievo (L); la larghezza in cresta del rilievo (l); dislivello altimetrico massimo (H); il dislivello altimetrico minimo (h) dei versanti ed il coefficiente di forma (H/L).

Definiti tali parametri, per la metodologia di calcolo si sono utilizzati gli abachi messi a disposizione nell'Allegato A della DGR1572/2013 che riprendono quelli delle Linee Guida del Dipartimento di Protezione Civile nazionale.

In tal modo si valuta se la cresta è piatta o appuntita e il relativo F_a . Il valore di F_a determinato viene approssimato alla prima cifra decimale. Questo permette di valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

Sotto è riportato lo schema (**Figura 39**) per la valutazione dei parametri morfologici di riconoscimento di un cocuzzolo e/o cresta suscettibili di amplificazione topografica.



Altezza H	Valori di l
H fino a 20 m	1,5 H
H tra 20 e 40 m	1,2 H
H oltre 40 m	1,0 H

$$h \geq 1/3H$$

$$\alpha \text{ e } \alpha_2 \geq 15^\circ$$

Figura 39: Abaco per la definizione di Fa (0.1-0.5s) da LG DGR 1572/13

In funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s, in base al valore del coefficiente di forma H/L (**Tabella 10**).

	L > 350	250 < L < 350	150 < L < 250	L < 150
Creste Appuntite	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$
Creste Arrotondate	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$			

Tabella 10: Formule per il calcolo di Fa per diverse tipologie di cresta

Una volta valutato Fa lo si confronta con il corrispondente valore di soglia, considerando una incertezza di $\pm 0,1$ che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

La valutazione del grado di protezione per le situazioni morfologiche ora trattate (scarpata e cresta rocciosa e/o cucuzzolo), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di Fa ottenuti dalle Schede di valutazione con il valore di St delle Norme Tecniche per le Costruzioni, che si riporta nella **Tabella 11**.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 11: Categorie topografiche (da NTC 2018)

Il valore St è il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Valutato Fa con la scheda lo si confronta con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di $\pm 0,1$ che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare due risultati:

- il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- il valore di Fa è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° Livello) in fase di progettazione edilizia.

Come prescritto dalle L.G., il valore degli effetti morfologici deve essere "sommato" a quello degli effetti litologici ottenuto con le indagini in situ: $Fa = Fa_{\text{morfologico}} \times Fa_{\text{litologico}}$.

11.2.2 VALUTAZIONI PER LE SCARPATE - METODO

Il territorio montano comunale nella porzione settentrionale si presenta, come ampiamente già detto, molto frastagliato morfologicamente parlando e ciò sia per cause naturali (lito-strutturali), sia per azioni antropiche che hanno rimodellato i versanti per renderli "più abitabili", ma talora più a rischio.

Si sono considerati fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10°.

In funzione della tipologia del fronte superiore si distinguono, di norma:

- Scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
- Scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso senso del fronte principale;
- Scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nel senso opposto a quello del fronte principale.

Si riporta lo schema delle situazioni di scarpata (**Figura 40**):

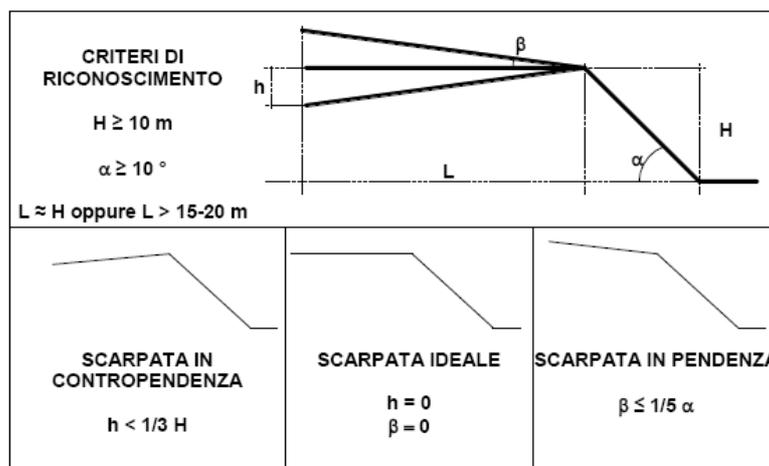


Figura 40: Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento

La misura dell'altezza H è la distanza verticale dal piede sino al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è da definire come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15-20 metri;
- l'inclinazione (β) del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione (α) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per $\beta > 1/5\alpha$ la situazione è da considerarsi pendio);
- il dislivello altimetrico minimo (h) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq 1/3H$ la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

Si sono, poi, assunte le classi altimetriche della **Tabella 12** dove viene definito il valore di F_a caratteristico per ogni tipologia di scarpata individuata e la relativa estensione della relativa area di influenza (A_i).

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_{a_{0.1-0.5}}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Tabella 12: - Scenari di pericolosità sismica locale

Il valore di F_a determinato è assegnato al ciglio del fronte principale; il valore è scalato in modo lineare nell'area di influenza e lungo il pendio fino al raggiungimento del valore unitario alla base.

La **Figura 41** esemplifica quanto detto.

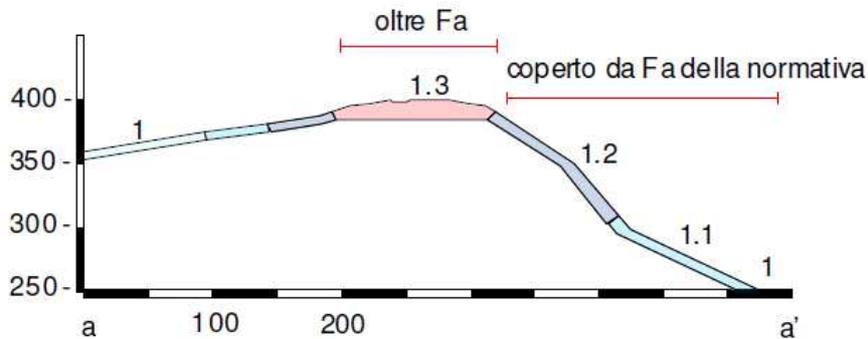


Figura 41: Relazione orientativa tra intensità macrosismica, effetti e magnitudo strumentali

Definiti tali parametri, per la metodologia di calcolo si utilizzano gli abacchi messi a disposizione nell'Allegato A della DGR1572/2013 che riprendono quelli delle Linee Guida del Dipartimento di Protezione Civile nazionale. Per le scarpate si è utilizzato l'abaco di **Figura 42**, tratto sempre delle Linee Guida nazionali.

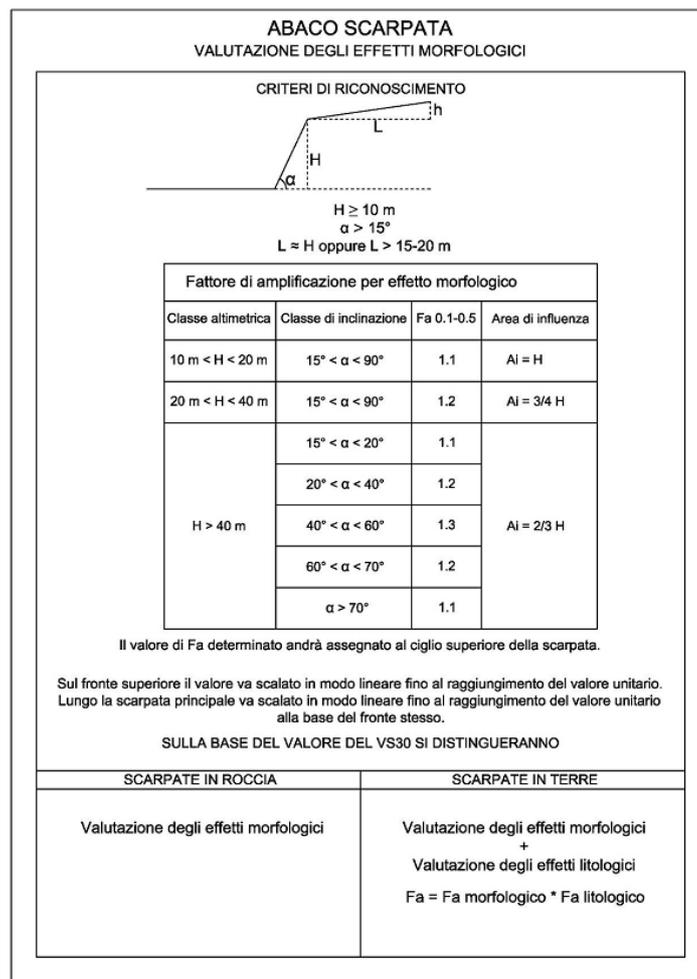


Figura 42: Abaco per la definizione di F_a (0.1-0.5s) per scarpate - da LG DGR 1572/13

11.2.1 VALUTAZIONI PER ELEMENTI TOPOGRAFICI IN RILIEVO

Si sono valutate le sezioni topografiche appartenenti rispettivamente versanti rivolti su nuclei abitati, tralasciando le morfologie ubicate su aree con poche o nulle abitazioni. In particolare, sono:

- Sezione A: Dosso Castelvero.
- Sezione B: Scarpata Panati.
- Sezione C: Versante "sotto Pozzini".
- Sezione D. Versante "sotto Baldi".
- Sezione E. Scarpata Maccadanzi.
- Sezione F. Dosso "La Fratta".
- Sezione G. Scarpata "sotto scuole".
- Sezione H. Scarpata bigoli.
- Sezione I. Dosso presso Zovo.
- Sezione L. Scarpata Ovest Camponogara.
- Sezione M. Scarpata a Nord di Bolca.
- Sezione N. Scarpata Cracchi.
- Sezione O. Versante Nord di Chieve.

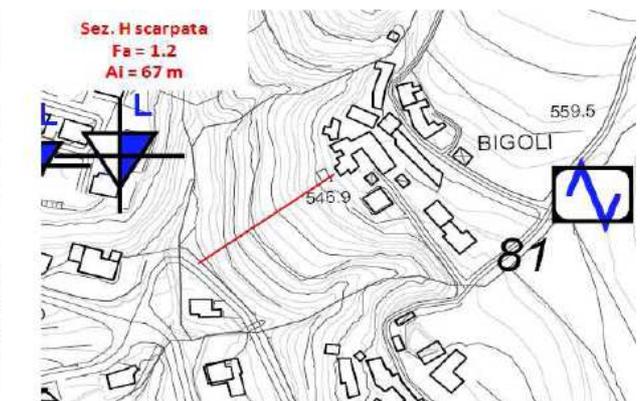
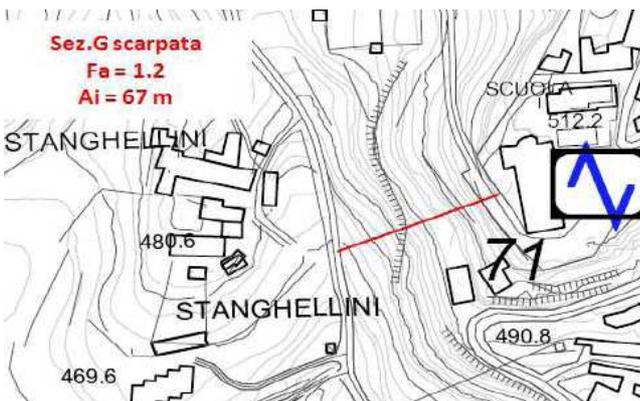
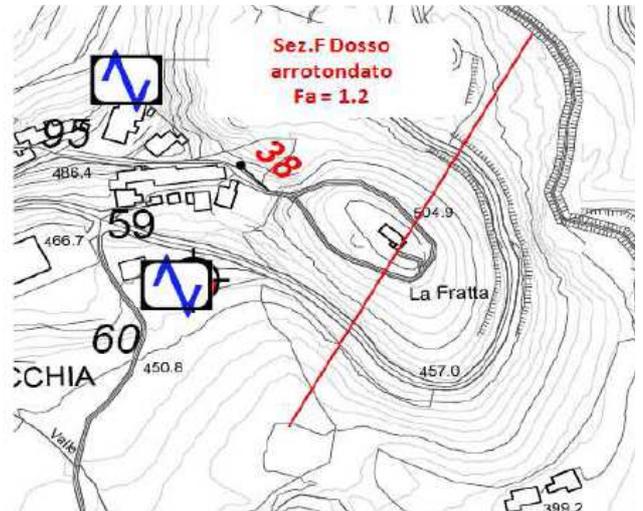
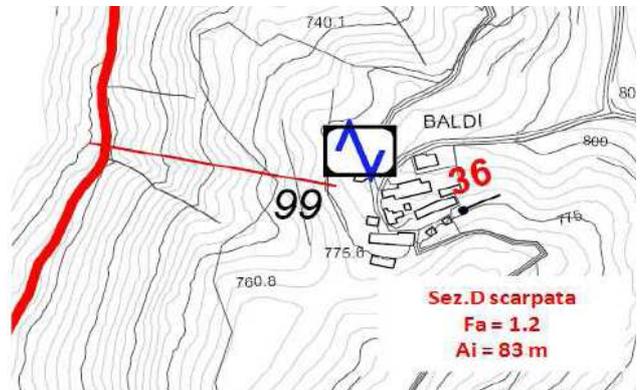
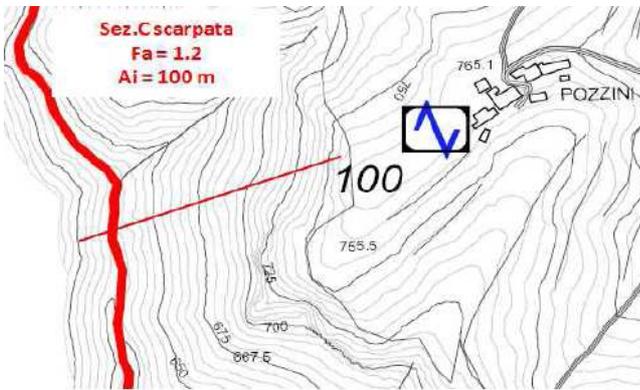
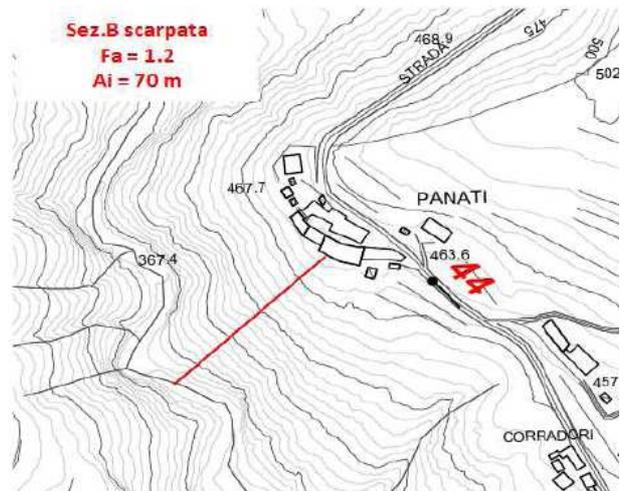
Le sezioni sono state valutate secondo gli abachi presenti nell'Allegato A della DGR 1572/2013.

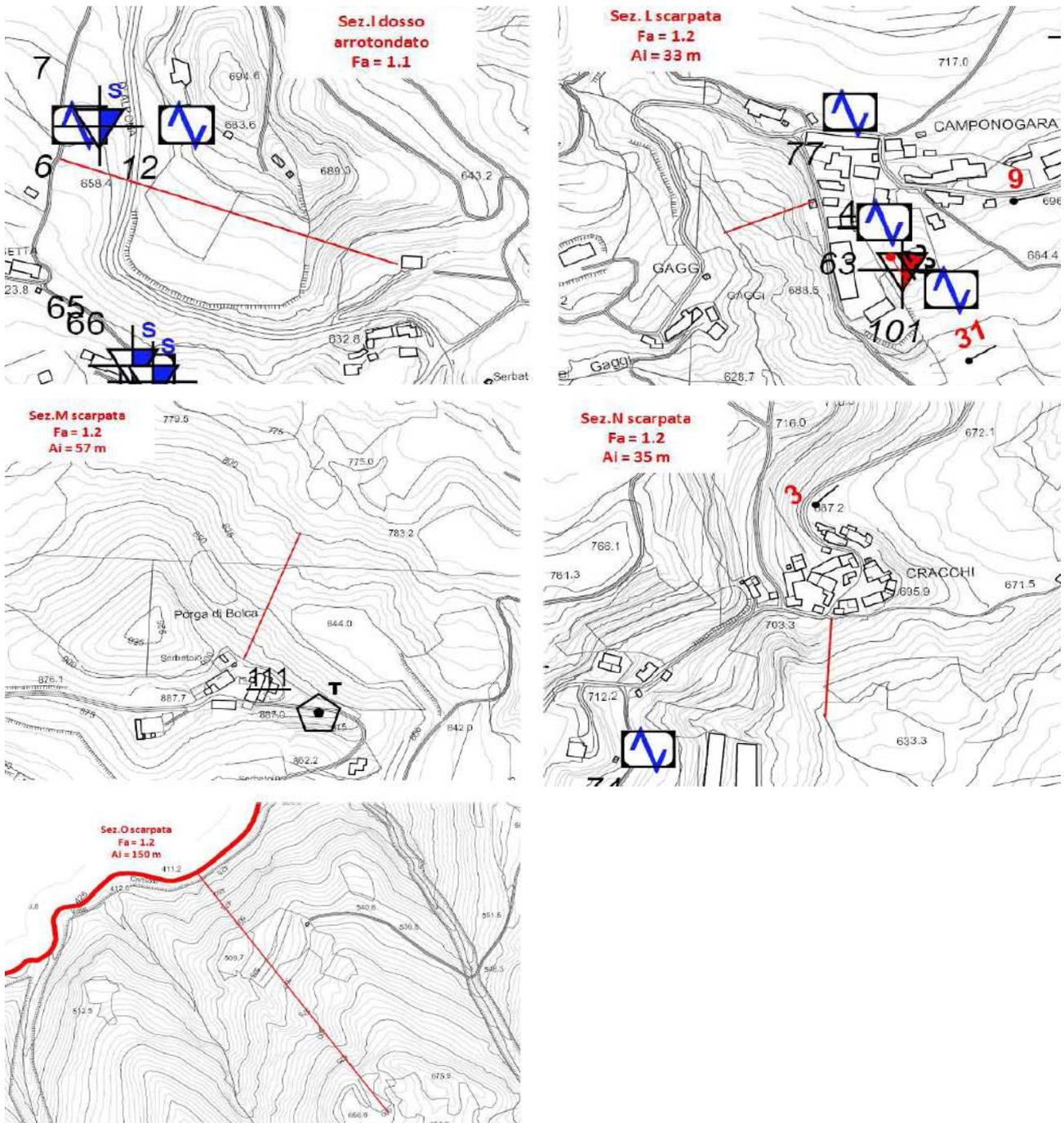
La **Tabella 13** mostra i dati sintetici degli elementi analizzati ed i relativi fattori di amplificazione ottenuti.

Elemento	Morfologia	Classe	Inclinazione °	Ai	Fa 0.1-0.5	Tipo Cresta
A	Cresta	$h > 1/3H$	27		1.1	Arrotondata
B	Scarpata	$H > 40$ m	35	70	1.2	
C	Scarpata	$H > 40$ m	37	100	1.2	
D	Scarpata	$H > 40$ m	37	83	1.2	
E	Scarpata	$20 < H < 40$ m	15	15	1.2	
F	Cresta	$h < 1/3H$	27		1.2	Appuntita
G	Scarpata	$H > 40$ m	52	67	1.2	
H	Scarpata	$H > 40$ m	34	67	1.2	
I	Cresta	$h > 1/3H$	15		1.1	Arrotondata
L	Scarpata	$H > 40$ m	34	33	1.2	
M	Scarpata	$H > 40$ m	27	57	1.2	
N	Scarpata	$H > 40$ m	34	34	1.2	
O	Scarpata	$H > 40$ m	28	150	1.2	

Tabella 13: Dati degli elementi topografici analizzati

Le Figure seguenti mostrano, invece, l'ubicazione delle sezioni.





11.2.2 ZONA DI FONDOVALLE - METODO

Le zone di fondovalle possono dare origine ad amplificazioni anche significative del moto sismico.

Seguendo le indicazioni dell'Allegato A DGR 1572/2013 e riprese nell'Abaco di **Figura 42**, si è ricavato il coefficiente di forma **C** dato dal rapporto h/l , dove h = spessore della coltre alluvionale e l = semiampiezza della valle.

- Se $C < 0.25$ allora la valle si può considerare larga e gli effetti di amplificazione si possono configurare come litostratigrafici.
- Se $C > 0.25$ allora la valle si deve considerare stretta e si devono considerare gli approfondimenti di 3° livello.

Secondo l'Allegato A deve essere verificato anche il rapporto tra il Coefficiente di Forma **C** ed il coefficiente **Cv** che rappresenta il rapporto tra la velocità Vs del substrato e quella dei terreni di copertura.

La formula che deve essere verificata è la seguente.

$$C > \frac{0,65}{\sqrt{Cv - 1}}$$

con:

$$C = h/l$$

$$Cv = Vs_{sub}/Vs_{cop}$$

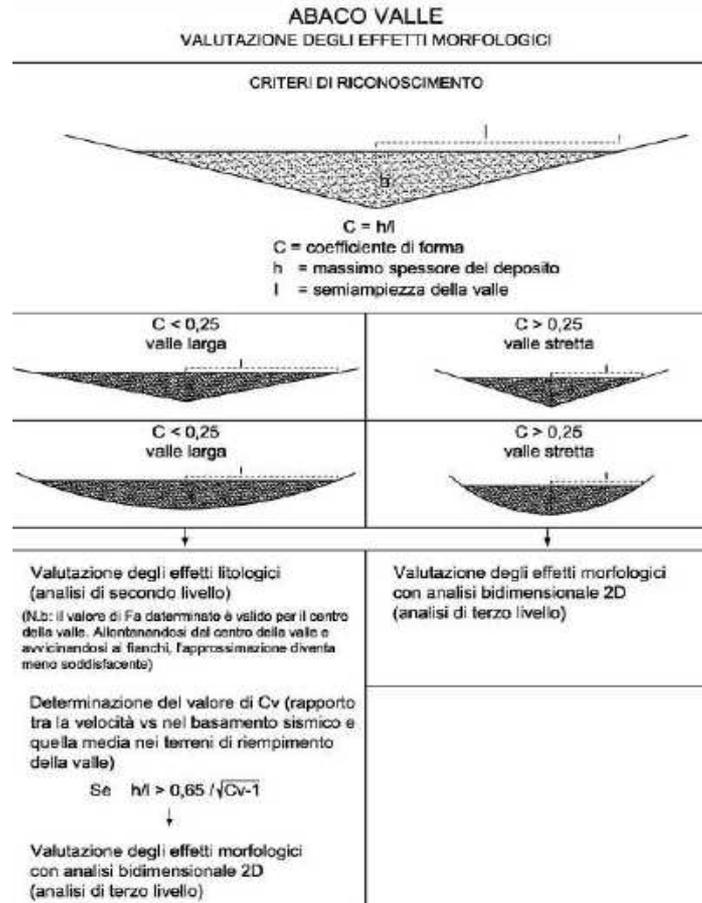


Figura 43. Valutazione morfologica delle valli (da all. A DGR1572/2013).

Seguendo le indicazioni dell'Allegato A DGR 1572/2013 si ottiene un coefficiente $C > 0.25$, da cui emerge che la valle è da considerare stretta e si devono valutare gli approfondimenti di 3° livello.

11.2.3 VALUTAZIONI DI 3° LIVELLO PER LA VALLE D'ALPONE

GENERALITA'

Come già detto per la Sezione "Valle dell'Agno", che caratterizza l'ingresso verso il Capoluogo comunale (SP17) i valori ottenuti per la definizione del livello sismico da adottare indicano un approccio del 3° livello.

E' risaputo, che le condizioni geologiche e morfologiche di un sito sono responsabili di alterazioni delle onde sismiche che si propagano nel sottosuolo; tali alterazioni hanno un peso estremamente rilevante sull'entità dei danni subiti dalle costruzioni a seguito di un evento sismico.

Con lo studio di microzonazione sismica del 2° Livello e con l'elaborazione delle indagini sismiche eseguite si è ricavato il fattore di amplificazione sismica (Fa) basandosi sui Criteri di analisi dell'ICMS 2008 e delle NTC 2018.

Pertanto, per affinare la classificazione della zona indicata, oltre alle metodologie semiquantitative citate sopra, si è valutata la condizione sismica anche utilizzando un approccio di tipo quantitativo in cui la valutazione della pericolosità sismica locale è stata effettuata ricorrendo a metodologia che può essere classificata come numerica.

La metodologia numerica consiste nella modellazione di situazioni reali mediante un'appropriata e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica del sito e nella valutazione della risposta sismica locale tramite codici di calcolo matematico più o meno sofisticati.

Le normative nazionali e regionali propongono un approccio numerico (monodimensionale o bidimensionale a seconda dei casi) per la valutazione della reale Risposta Sismica Locale (RSL) del terreno alla scala del singolo sistema geologico.

L'analisi numerica per la valutazione della risposta sismica locale, oltre ad essere più accurata rispetto all'approccio semplificato descritto dalle NTC2018 (categorie di sottosuolo), consente di identificare l'amplificazione stratigrafica nel caso specifico, individuando intervalli di periodo più limitati rispetto a quelli di normativa e di conseguenza ottenere dimensionamento strutturale più economico.

L'elaborazione ha permesso di valutare l'amplificazione dell'impulso sismico al suolo e di quantificare gli spettri di risposta sulla base di terremoti di riferimento (TR 475 anni con smorzamento pari al 5%).

Si è eseguita la valutazione della risposta sismica locale (RSL) mediante codice numerico che, oltre ad essere più accurata rispetto all'approccio semplificato descritto dall'NTC2018 (categorie di sottosuolo), consente di identificare l'amplificazione stratigrafica nel sito specifico. Il codice numerico utilizzato è LSR2D vers.5.0.7 della Ditta Stacec.

Il software LSR2D (Local Seismic Response 2D), alla stregua di software ben noti dalla comunità scientifica (es. QUAD4 e QUAD4M), consente di effettuare una modellazione monodimensionale e bidimensionale mediante un approccio agli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando un modello meccanico di sottosuolo alla Kelvin-Voigt.

Si è implementato il codice assumendo la stratigrafia emersa con le indagini; le curve di decadimento considerando le variazioni del modulo di taglio G e del rapporto di smorzamento viscoso D, data la non linearità dei materiali con il livello deformativo; il γ del terreno. Vista la topografia e la litologia del sito, si è assunto un modello bidimensionale (2D).

L'analisi è stata fatta sulla base di 7 accelerogrammi ricavati con il software SEISM-HOME, che permette di ottenere l'input sismico da utilizzare per analisi dinamiche non lineari, per un qualsiasi sito del territorio italiano e per il periodo di ritorno di 475 anni. L'input sismico è definito in termini di un gruppo di sette accelerogrammi reali.⁷

Gli accelerogrammi possono essere usati direttamente per analisi di sistemi strutturali o geotecnici posti su terreno roccioso, o come input per analisi di risposta sismica locale in caso di terreno non roccioso.

Si veda la **Tabella 14**.

Waveform ID	Earthquake I	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mecha	Epicentral D	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
281	71	PSC	VAL COMINO EARTHQUAKE	11/05/1984	5.5	Normal	9.0799	0.1826	0.17795	0.013152	0.0095707	7.8709	8.7618	0.86381	0.75022	A
461	114	CSC	APP. UMBRO-MARCHIGIANO	12/10/1997	5.2	Normal	22.1558	0.25877	0.1869	0.015434	0.010561	5.5486	6.7297	0.58006	0.81742	A
103	28	SRCO	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976	5.9	Thrust	16.4207	1.2852	2.449	0.10752	0.20528	4.2894	3.1488	0.65334	0.55895	A
290	73	ATR	MASSICCIO META	11/05/1984	4.1	n/a	10.7741	0.12974	0.18497	0.0053312	0.010701	11.1313	4.9624	0.63312	0.63104	A
103	28	SRCO	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976	5.9	Thrust	16.4207	1.2852	2.449	0.10752	0.20528	4.2894	3.1488	0.65334	0.55895	A
90	25	SRCO	FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK	15/09/1976	5.9	Thrust	16.8908	0.58724	1.3207	0.047931	0.077	7.281	5.398	0.87284	0.646	A
488	118	CSC	UMBRIA-MARCHE 3RD SHOCK	14/10/1997	5.6	Normal	22.0159	0.52517	0.62086	0.050845	0.052094	7.1682	7.6614	0.60151	0.64487	A
mean:					5.4428571		16.251129	0.6076874	1.0556114	0.0496765	0.081497	6.7969714	5.6872714	0.6940022	0.6582067	

Tabella 14: 7 accelerogrammi di input

Il modello di Risposta Sismica Locale (RSL), implementato mediante il codice di calcolo **LSR2D** vers. 5.8. Tale codice, prodotto dalla ditta Stacec srl, consente di effettuare un'analisi di Risposta Sismica Locale di tipo monodimensionale o bidimensionale, lineare equivalente, con il metodo agli elementi finiti.

Il deposito viene discretizzato in una mesh di elementi di forma triangolare o quadrangolare, consentendo

⁷ Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.

una efficace modellazione della variazione geometrica del contatto deposito-basamento, così come delle irregolarità della superficie topografica e dei contatti stratigrafici.

La verifica dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo di LSR2D si compone di due fasi: 1) elaborazione del modello e 2) simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto. La prima fase consiste nel costruire il profilo topografico e la stratigrafia del sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (V_s). Il modello geologico è basato sugli esiti delle indagini sismiche eseguite per codesto lavoro (MASW "agganciata" alla stratigrafia locale).

Dall'implementazione del modello all'interno del codice di calcolo, si ottengono diverse informazioni relative ad alcuni parametri fondamentali quali: pseudo-accelerazione spettrale (**PSA**), pseudovelocità spettrale (**PSV**), spostamento spettrale (**SD**).

Si rammenta che la PSA è utilizzata nella modellazione per diversi valori di periodo, da 0 a 4 secondi (valori equiparabili ad edifici di altezza variabile da un piano fino a torri molto alte).

La PSV, compresa tra 0 e 4 secondi, nei diversi strati della colonna litologica è utilizzabile per il calcolo del fattore **SI**, Intensità Spettrale di Housner.

L'intensità di Housner (SI) è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze. Questa grandezza è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto, e quindi espressione del possibile grado di danneggiamento subito dagli edifici.

Infatti, lungo la sezione di analisi si sono ricavati sul punto di controllo presso il sito investigato (vedasi in sintesi la Figura sotto):

- i fattori di amplificazione (FH) ottenuti dal rapporto dell'intensità di Housner tra il bedrock ed i terreni in superficie per tempi $0.1 \div 0.5$ sec e $0.1 \div 1.0$ sec basati sul fattore velocità e
- i fattori F_a , basati sulle accelerazioni, per intervalli di tempo $0.1 \div 0.5$ sec, $0.4 \div 0.8$ sec e $0.7 \div 1.1$ sec..

RISULTATI

Si è costruito il modello ed assegnate le condizioni al contorno al fine di ottenere gli spostamenti in corrispondenza delle frontiere laterali del modello uguali a quelli di una colonna di terreno isolata in condizioni di campo libero (**Figura 44**).

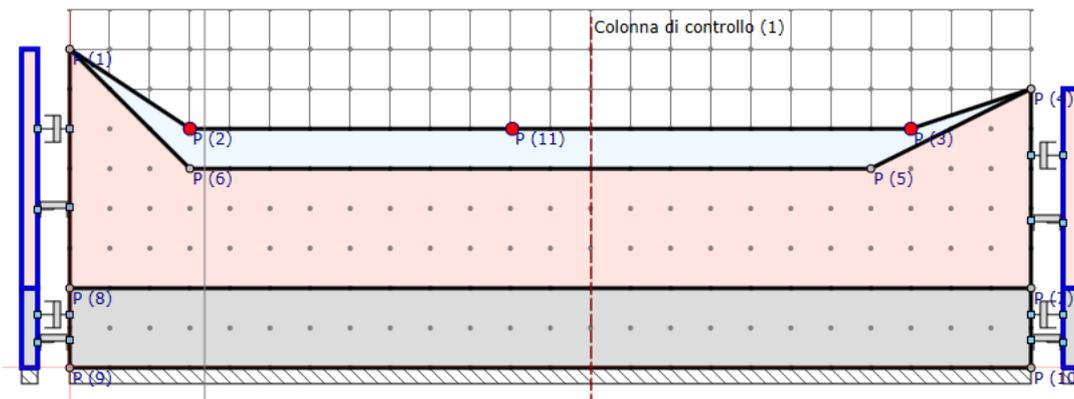


Figura 44. Modello numerico assunto per la Sez. Val Alpone

In sintesi, senza illustrare tutti i passaggi fatti, la costruzione della mesh, i calcoli iterativi eseguiti, qui, si illustrano i risultati ottenuti.

Si mostra nella **Figura 45** l'andamento dell'accelerazione massima a_{max} , la quale caratterizza il sito in valle con valori $\sim 4 \text{ m/s}^2$.

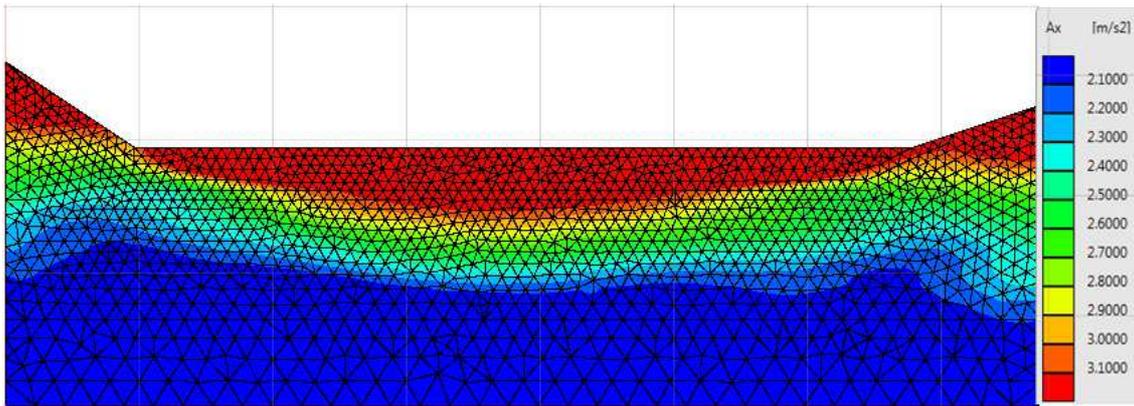


Figura 45. Distribuzione dell'accelerazione sismica lungo la sezione della valle

La **Figura 46** mostra, invece, gli spostamenti orizzontali attesi in caso di un sisma di progetto (vedasi sopra), lungo la colonna di controllo baricentrica alla valle, che risultano di ~40 mm in superficie.

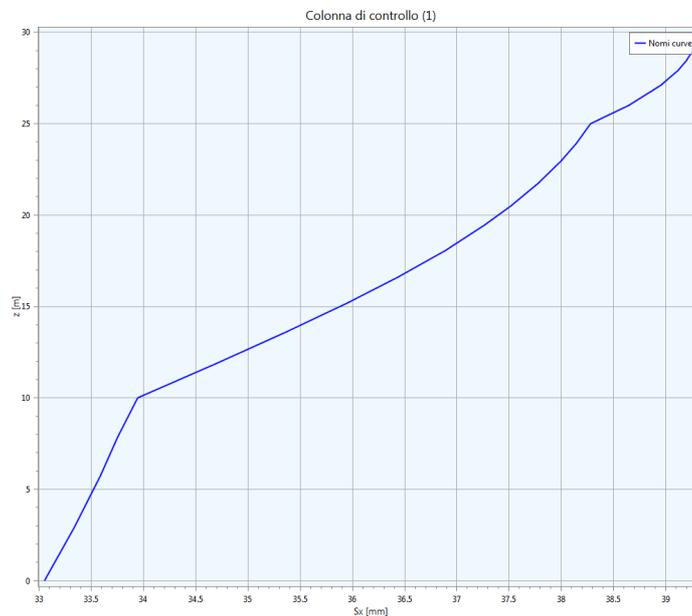


Figura 46. Distribuzione degli spostamenti orizzontali

I valori di F_a per tre intervalli di tempo $01 \div 05$, $04 \div 0.8$ e $0.7 \div 1.1$ alle differenti posizioni di controllo (si veda la Figura 44) sono riassunti nella **Figura 47** e tabellati nella **Tabella 15**. Sono riportati anche i valori dei fattori di amplificazione calcolato in termini di PGA/PGA_0 .

Da notare che il primo intervallo pari a $0.1 \div 0.5$ secondi è significativo per le strutture più rigide a basso periodo proprio.

I rimanenti periodi $04 \div 0.8$ sec e $0.7 \div 1.1$ sec sono significativi per strutture più flessibili ed elevato periodo proprio.

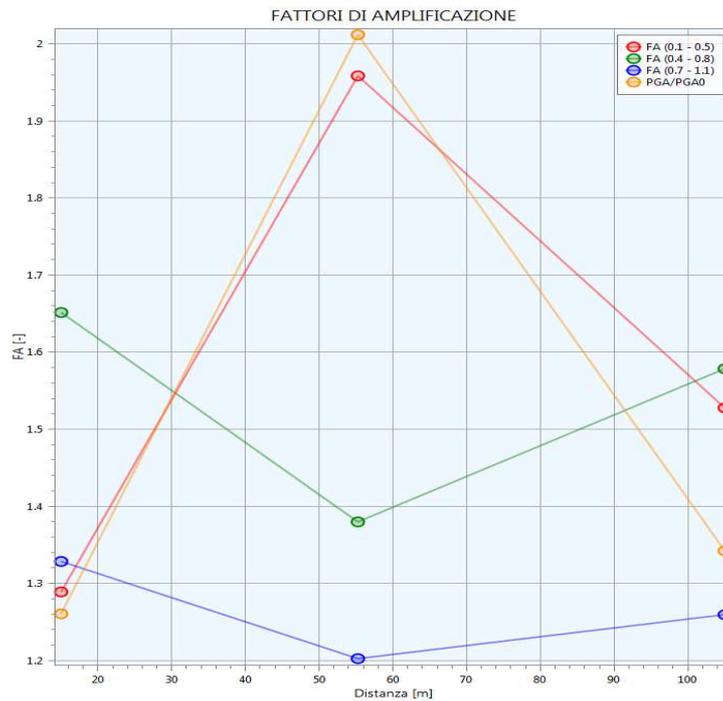


Figura 47. Valori di Fa per differenti periodi alle diverse distanze di controllo

		Distanza dallo "0" sezione		
		P2 15 m	P11 55 m	P3 105 m
Fa	01÷05	1.29	1.96	1.53
Fa	04÷08	1.65	1.38	1.58
Fa	07÷1.1	1.33	1.20	1.26
PGA/PGAØ		1.26	2.01	1.34

Tabella 15: Valori di Fa per differenti periodi alle diverse distanze di controllo

Il fattore di amplificazione come intensità di Housner in pseudo-accelerazione, nell'intervallo di integrazione 0.1÷0.5 secondi, per i punti sopra indicati assume il valore di 1.35 - 1.94 - 1.64 rispettivamente; valori congrui con quanto ottenuto.

11.2.4 INSTABILITA' DI VERSANTE

Il Comune nella sua porzione montuosa presenta alcuni fenomeni gravitativi, che si manifestano soprattutto in concomitanza con gli eventi meteorologici significativi.

Il catasto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) dell'ISPRA (**Figura 35**), ne censisce 230. Si tratta, comunque, di dissesti puntuali e/o di limitata superficie, che possono lambire la viabilità e/o i nuclei abitati.

Si precisa che le aree franose attive e/o quiescenti definite e classificate nel catasto IFFI dell'ISPRA e/o quelle segnalate nell'ambito del redigendo PAT, non possono essere soggette a previsioni urbanistiche che ne incrementino il "carico". Nei casi in cui l'area individuata interessi zone urbanizzate /urbanizzabili o con modifiche e adeguamenti o ristrutturazione degli edifici esistenti si dovrà procedere con l'analisi di Risposta Sismica Locale.

Inoltre, dato che il territorio comunale è caratterizzato da rilievi, si è proceduto all'analisi e alla mappatura delle zone potenzialmente interessate da frane sismoindotte attraverso una specifica elaborazione seguendo il Metodo messo a punto da Rampolla (vedasi).

SUSCETTIBILITA' ALLA FRANOSITA' SISMOIDOTTA- METODO

L'azione sismica costituisce una delle principali cause di innesco dei fenomeni franosi, oltre che di predisposizione e di riattivazione dei fenomeni stessi. E in alcuni casi i danni prodotti dalle frane sulla popolazione e sulle proprietà hanno superato quelli legati alla sola azione di scuotimento (Jibson et al., 2000).

Queste considerazioni fanno capire come “la valutazione della stabilità dei versanti in funzione dell'azione sismica rappresenti una delle maggiori problematiche nello studio della pericolosità sismica di un'area” (Rapolla A., 2012).

Essendo il territorio caratterizzato da ampi versanti, è stata condotta sull'intero territorio comunale montuoso un'analisi della suscettibilità alla franosità sismo-indotta proposta dall'ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering) e rivista da Rapolla et al., 2010.

Tale metodologia di studio tiene conto delle caratteristiche litologiche, geomorfologiche e sismologiche dell'area in esame. La scala di dettaglio impiegata per definire queste tre condizioni dipende dal livello di studio a cui si sta sottoponendo il territorio in esame.

Gli Studi di II° e III° Livello “*si basano su informazioni topografiche, geologiche, geotecniche e meteorologiche via via più dettagliate*”⁸.

La scala di dettaglio dell'analisi di suscettibilità può essere adattata, scegliendo opportunamente di volta in volta, il grado di dettaglio dei dati territoriali da acquisire.

Questa metodologia è stata applicata, con buoni risultati, sia a scala regionale che a scala più locale.

La considerazione fondamentale per lo sviluppo e l'applicazione di tale metodologia è che essa deve essere semplice, ma significativa, e quindi deve basarsi su pochi parametri, fondamentali per l'instabilità di un pendio.

La metodologia di Rapolla et al., 2010 impiega tre parametri.

I primi due sono fondamentali nel predisporre l'instabilità di un pendio e si tratta **A)** delle caratteristiche dei suoli e delle rocce affioranti lungo il versante coinvolto nell'instabilità e **B)** della pendenza del pendio.

Il terzo parametro (**C**) è la forza che innesca i fenomeni franosi sismo-indotti, cioè l'azione sismica stessa.

Questi fattori vengono espressi sotto forma di “Significatività” (Significances) da 0% a 100%, o come “Indici” (da 0 a 1), e sono messi in relazione tramite la formula di seguito riportata, che calcola l'influenza che essi esercitano sull'instabilità dei versanti:

$$SI(\%) = \left[\frac{(SA + SB)}{2} \right] \times \frac{SC}{100}$$

con:

- *SI che rappresenta il livello di suscettibilità in %;*
- *SA è la Significatività del parametro A (caratteristiche Litologiche);*
- *SB è la Significatività del parametro B (Pendenza del terreno);*
- *SC è la significatività del parametro C (azione sismica).*

Il parametro A, che rappresenta meglio le caratteristiche geolitologiche, geofisiche e geotecniche e quindi la risposta dei terreni all'azione sismica è il modulo di taglio, espresso attraverso la velocità delle onde trasversali Vs (km/s) delle varie litologie.

⁸ Rapolla A., “La franosità sismoindotta in prospettiva sismica”; Ventennale dell'ordine dei Geologi della Campania, 14/12/2012

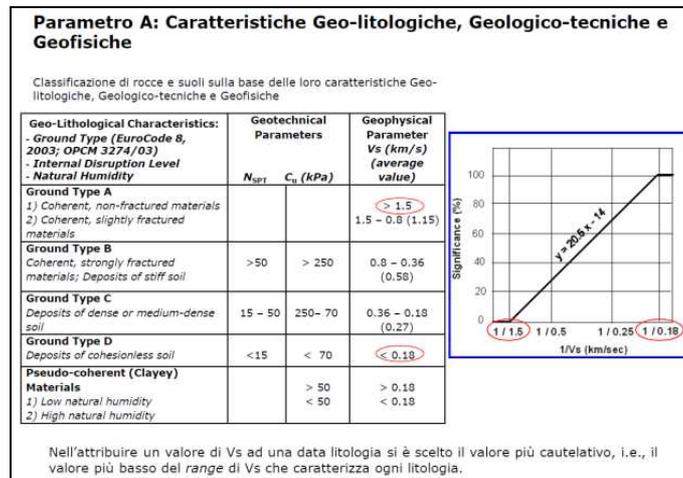


Figura 48: Significatività del parametro A

Dal grafico riportato in **Figura 48** si ricava la Significatività del parametro A in funzione della Vs caratteristica. La Significatività di A aumenta con il diminuire di Vs, quindi è bassa o nulla per litologie compatte e non fratturate che hanno Vs elevata ($>1,5$ Km/s), mentre è elevata fino a 100% per litologie sciolte con Vs bassa ($<0,18$ Km/s).

La significatività della pendenza dei versanti viene distinta in funzione di terreni sciolti e di terreni coerenti (rocce) e quindi sono state costruite due leggi - **Figura 49**.

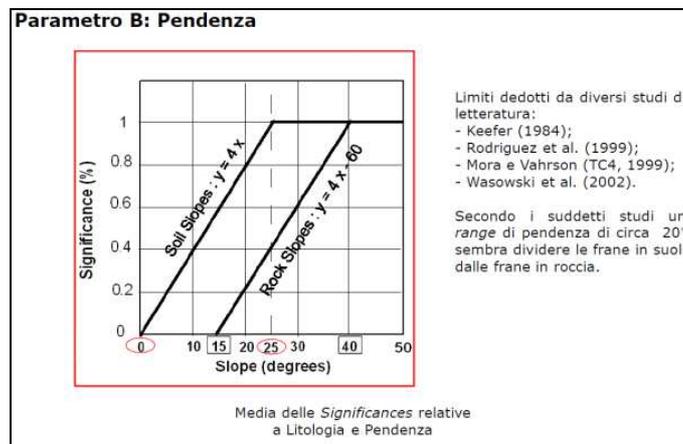


Figura 49: Significatività del parametro B

Dal grafico di **Figura 49** si ricava che per pendii in depositi sciolti la Significatività è direttamente proporzionale alla pendenza (0%÷100%) per angoli tra 0° e 25°; oltre tale valore essa è sempre pari al 100%.

Per pendii in roccia la Significatività è pari a 0% per angoli $<15^\circ$, mentre è direttamente proporzionale alla pendenza per angoli tra 15° e 40°, oltre i quali è sempre pari al 100%.

Tali valori limite sono stati fissati in base a studi su una certa casistica di frane di varie tipologie e sui diversi materiali, sia sciolti che coerenti.

Le caratteristiche litologiche e la pendenza costituiscono i **Fattori Predisponenti** per le frane sismo indotte.

Tali fattori sono sensibili alle precipitazioni ed eventi meteorologici in generale (il contenuto d'acqua dei materiali influisce sul loro modulo di taglio), per cui la loro Significatività può variare in funzione al periodo piovoso o al periodo secco.

Il terzo parametro (**C**), che regola la Suscettibilità all'innesco di fenomeni franosi, è l'intensità dell'azione sismica.

Da studi su frane storiche si è ricavato che incominciano ad aversi fenomeni di instabilità per eventi sismici con intensità pari almeno al V grado MCS (**Figura 50**).

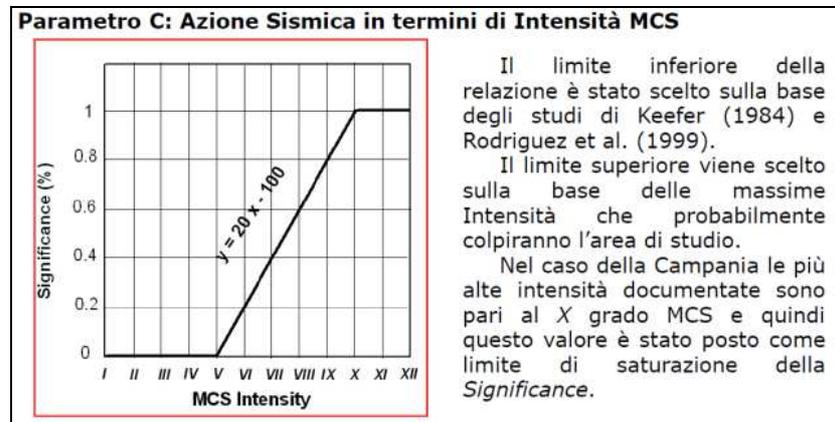


Figura 50: Significatività del parametro C

Una volta definite le Significatività dei tre parametri e moltiplicandole secondo la formula su esposta si ottiene la **Suscettibilità dell'area in studio alla franosità sismoindotta (SI)** - **Figura 51**.

Prodotto tra la media delle Significances relative ai primi due Parametri per la Significance dell'Azione Sismica =

$$SI(\%) = \left[\frac{(SA + SB)}{2} \right] \times \frac{SC}{100}$$

Mappa del Livello di Suscettibilità alla franosità sismo-indotta (in %).

Figura 51: Calcolo della suscettibilità alla franosità sismoindotta

11.2.5 INSTABILITÀ DI VERSANTE E CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ

Come anticipato, per il Comune di Vestenanocva è stata determinata la Suscettibilità dell'intero territorio comunale montuoso.

I valori di Suscettività dei parametri A, B e C e il risultato finale della Suscettibilità (SI) del Comune sono stati riportati nella **Carta di Suscettività alla franosità sismoindotta (FS)**, che si va ora a descrivere.

Il **Fattore "A"**, che tiene conto delle caratteristiche litologiche del territorio, è stato definito in base ai valori di Vs che caratterizzano i vari terreni misurati. Tale parametro è stato identificato attraverso le indagini geofisiche sia attuali per codesto studio di Microzonazione sismica, sia pregresse.

Dall'elaborazione delle Vs misurate, oscillanti tra 0.24 e 0.59 km/s, applicando la formula riportata in §11.2.3, si sono ottenuti i valori percentuali di significatività **SA** per litotipi presenti.

Il **Fattore "B"** che rappresenta la pendenza del territorio, è stato calcolato dal modello digitale del terreno (DEM) regionale.

Il valore della Suscettività **SB**, legata alla pendenza delle superfici, è stato distinto in funzione anche della natura dei terreni affioranti in superficie: sciolti o rocciosi. In generale, i valori di SB sono da medi a alti denotando pendenze di 20°÷25° nei terreni sciolti e di 35°>40° in quelli rocciosi. Da qui i valori di SB oscillano tra 80% e 100%.

Il **Fattore "C"** che rappresenta l'Intensità sismica caratteristica dell'area è stato dedotto da valutazioni regionali e nazionali. Il massimo grado atteso per la zona veneto-friulana, in base ai terremoti storici catalogati, è il X della scala MCS. Per il Comune di Vestenanova si fa riferimento anche al terremoto del 1891 caratterizzato da intensità IX gradi della scala MCS. Quindi la significatività **SC** risulta pari a 80%.

Una volta ricavati i valori delle tre Suscettività sul territorio montano del Comune, si è applicata la formula per il calcolo della Suscettibilità alla franosità sismo indotta ottenendo il grado di **SI**. La gamma di valori ottenuti sono stati poi suddivisi in quattro classi (bassa, media, alta e molto alta), come proposto dalla metodologia ISSGE e Rapolla et al. 2010, applicata dallo stesso autore nei differenti livelli di approfondimento.

Il territorio analizzato ricade in 5 Indici di Suscettibilità (%):

- 1÷15 molto basso;
- 16÷30 basso;
- 31÷45 medio;
- 46÷60 alto;
- 61÷75 molto alto;
- 76÷100 elevatissimo

Le zone con Suscettibilità elevatissima corrispondono a terreni di riporto o rimaneggiati in zone di cave o ex cave. L'indice SI alto e molto alto nei depositi di versante prevalentemente vulcanici e/o di frana; nonché su versanti ad elevata pendenza (scarpate morfologiche naturali).

Il confronto delle aree delle frane storiche sismo-indotte derivate dalle Carte inventario dei fenomeni franosi delle Autorità di Bacino e del Progetto IFFI con questa si evidenzia una buona efficacia del metodo, poiché i dissesti IFFI occupano le zone caratterizzate da SI molto alta.

11.3 PERICOLO DI LIQUEFAZIONE

Una prima valutazione, seppur generica, è che l'area comunale rientra tra le aree classificate a nullo potenziale rischio liquefazione sulla base dei terremoti storici. Come mostra la **Figura 52**.

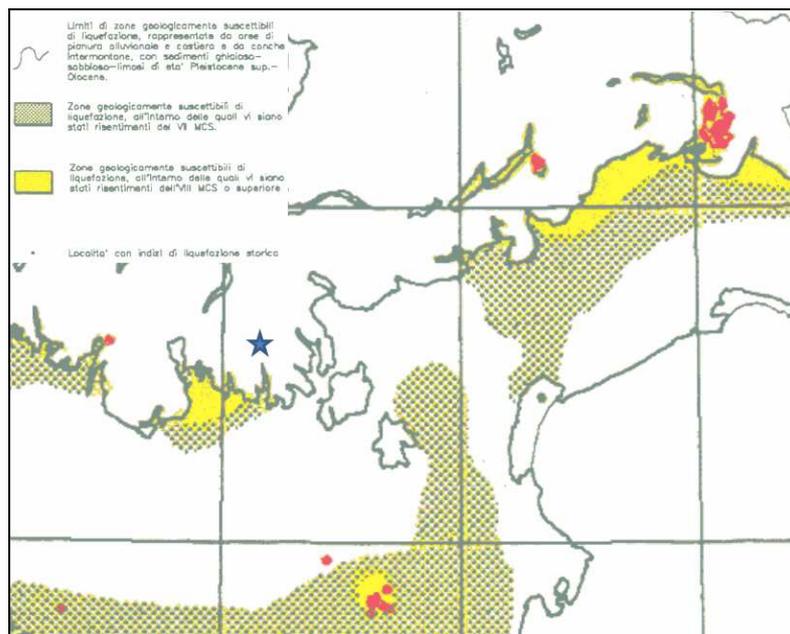


Figura 52. Aree suscettibili di liquefazione su dati storici (da Galli e Meloni, 1993 - ISMES)

Pur con queste premesse, si è valutato il possibile fenomeno di liquefazione mediante i metodi "empirici". Tra i metodi empirici si sono utilizzati quello di Ambraseys (1991) e quello di Galli (2000), che correlano la distanza epicentrale del sito in studio con la magnitudo di soglia del sisma, cioè con quella magnitudo che può indurre fenomeni di liquefazione in terreni suscettibili. La relazione di Ambraseys (1991) è la seguente:

$$M_c = -0.31 + 2.65 \times 10^{-8} \times dist \times 100000 + 0.99 \text{Log}_{10}(dist \times 100000)$$

quella di Galli (2000)

$$M_c = 0.67[1.0 + 3.0 \times \text{Log}_{10}(dist)] + 2.07$$

dove dist è la distanza epicentrale espressa in km.

ricavando la grandezza rd attraverso la correlazione di Liao & Whitman (1986).

Il calcolo della resistenza al taglio mobilitata (CRR) è stata valutata mediante la relazione di Andrus e Stokoe (1997), basata sulla velocità delle onde S misurate, secondo la formula:

$$R = 0.03 \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{0.9}{V_{s1c} - V_{s1}} - \frac{0.9}{V_{s1}}$$

dove

V_{s1} (m/s) = velocità delle onde S nello strato corretta = $V_s \left(\frac{1}{\sigma_{v0}'} \right)^{0.25}$, dove

V_s è la velocità misurata e σ_{v0}' (kg/cmq) è la pressione verticale efficace a metà strato;

V_{s1c} (m/s) = valore critico delle onde S nel deposito, ricavabile attraverso il seguente schema:

V_{s1c} (m/s)=220 se la percentuale di fine(FC)<5%;

V_{s1c} (m/s)=210 se FC=20%;

V_{s1c} (m/s)=200 se FC>35%;

interpolando per valori intermedi di FC.

I valori della percentuale di fine FC da inserire nei calcoli, quando non sono stati ricavati dalle indagini geognostiche e dalle analisi di laboratorio (Granulometrie), sono stati dedotti dall'elaborazione delle indagini sismiche, applicando metodi basati sulle Vs, qui sinteticamente riportati sottoforma di grafici.

Da evidenziare che i valori di I_c consentono di distinguere i terreni a comportamento granulare da quelli a comportamento coesivo ($I_c > 2,6$) e di procedere ad una preliminare classificazione granulometrica e alla stima del contenuto di fine (FC = % passante al setaccio 0,074 mm) secondo la correlazione di Robertson e Fear (1995), praticamente uguale a quella riportata da Davies (1999)⁹ nella seguente forma:

$$FC (\%) = 42,4179xI_c - 54,8574$$

In sintesi (Figura 54 e 55):

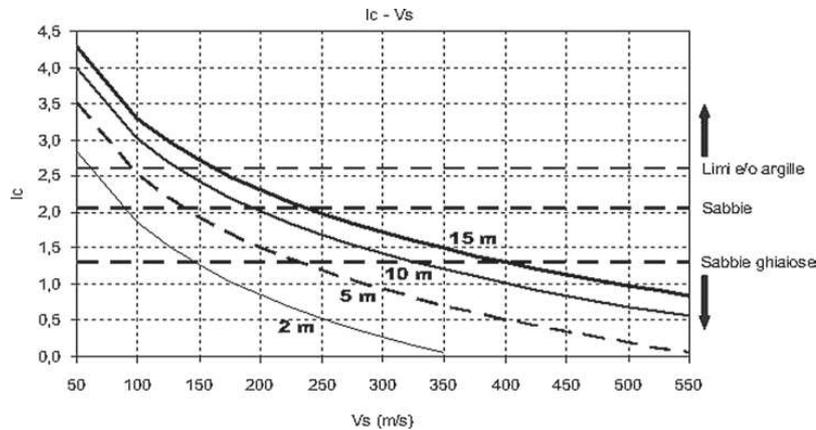


Figura 54. Correlazione Vs - Ic

e poi:

⁹ Davies M.P. (1999), *Piezocone technology for the geoenvironmental characterization of mine tailings*. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, Vancouver

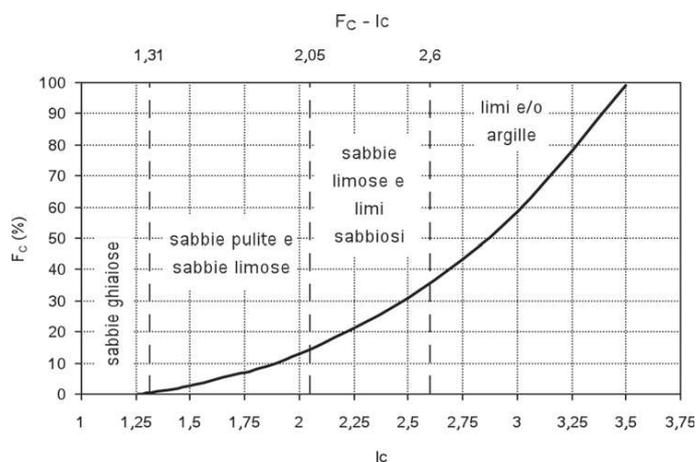


Figura 55. Correlazione Ic - FC

Premesso ciò, per la valutazione di un possibile manifestarsi di tale fenomeno, utilizzando le indagini geologico-sismiche ubicate nella Valle dell'Agno, si è utilizzato il software *LiqSVs 2.0.1.6* della Ditta Geologismiki®, che ha permesso di calcolare se esiste un potenziale pericolo di liquefazione dei terreni investigati. Si è imposto una $M_w = 6.6$, caratteristica della ZS, una tavola d'acqua a piano campagna in occasione di un sisma ed una accelerazione massima α_{max} di 0.24g. I risultati di calcolo, eseguiti con metodi restrittivi come il Metodo di Kayen 2013, portano ad un valore IL nullo.

11.4 FAGLI ATTIVE E CAPACI - FAC

Si è già detto che il Comune **NON** è interessato da “faglie attive e capaci” come definite dal progetto ITHACA, pertanto non si illustrano né i caratteri né i pericoli derivanti dalla loro presenza nel territorio, né, tantomeno, i vincoli da esse derivanti nell'uso del suolo.

11.5 ZONA CON CAVITÀ SOTTERRANEE

Il territorio di Vestenanova è caratterizzato nella sua porzione carbonatica da cavità sepolte isolate. Si ritiene che il censimento e la valutazione di tali fenomeni sia prettamente di carattere geologico-geofisico, ma di complessa determinazione. E' da fare con adeguate e specifiche indagini geognostiche e geofisiche, le quali oltre ad essere particolarmente costose, sono finalizzate a caratterizzare un'area puntuale.

Pertanto, tali studi devono essere attuati nella fase di progetto dell'intervento edilizio, permettendo così di adeguare sia in termini di fattibilità, sia di vincolistica la struttura in progetto, previo, nello specifico, un adeguato studio di 3° livello o della Risposta Sismica Locale (RSL.).

11.6 SINTESI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI E VERIFICHE

Volendo fare una sintesi dei risultati ottenuti con le diverse indagini si può ragionevolmente dire che:

- L'elaborazione mediante codice numerico LiqSVS delle verticali MASW ha permesso di verificare che l'area della Valle della Alpone non presenta suscettibilità di liquefazione. Si rammenta che le verifiche di liquefacibilità hanno considerato esclusivamente le condizioni sito “**free field**”, pertanto non sono considerate le possibili quote di movimento terra in riporto o scavo, i carichi di progetto, fattori questi, che possono contribuire alla resistenza per la liquefazione. *Queste ultime verifiche saranno da svolgere in fase di progettazione esecutiva edilizia, come richiede la normativa vigente.*
- L'applicazione del Metodo di Rapolla, valido anche per livelli di microzonazione superiore al 1°, qui applicato per il Comune, ha permesso di classificare il territorio in sei classi di suscettibilità per frane sismo-indotte, confermando una buona efficacia del metodo con il catasto IFFI.

- La valutazione per il possibile pericolo della liquefazione ha dato conferma della bassa/nulla possibilità poiché la tavola d'acqua è riscontrabile, attraverso le numerose indagini geognostiche pregresse, ad una soggiacenza generalmente di almeno 20 metri dal piano campagna, quindi al di sotto delle prescrizioni normative. Ed anche quando è ipotizzabile a minor profondità, come la parte Sud della Valle d'Alpone, le caratteristiche lito-stratigrafiche non la inducono.
- Infine, l'esecuzione di tomografie elettriche tipo ERT ha permesso di valutare le geometrie e i caratteri del sottosuolo coinvolto nei movimenti franosi censiti IFFI posti a ridosso dei nuclei abitati interessati.

Detto ciò di seguito si illustrerà la Carta di microzonazione sismica di 2°-3° livello, che accompagna questo scritto.

12 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

I dati analizzati hanno permesso di caratterizzare la porzione superficiale delle unità geologiche presenti nel territorio Comunale interesse per questo studio.

Le indagini fornite hanno permesso di ottenere un quadro geologico locale verosimile. L'aver "agganciato" le indagini geofisiche MASW alle verticali stratigrafiche (Sondaggi, Trincee, Prove penetrometriche, etc.) ha permesso una loro più corretta interpretazione complessiva.

Lo studio è basato su un significativo numero di indagini di diversa tipologia, che hanno permesso di avere una buona definizione del sottosuolo e delle tematiche relative.

I risultati relativi al rischio "liquefazione" mostrano che le condizioni lito-stratigrafiche e, soprattutto, idrogeologiche inducono ad ottenere risultati che inficiano tale fenomeno, anche se può essere sempre presente puntuale variabilità spaziale delle caratteristiche lito-stratigrafiche recanti conseguenti implicazioni di suscettibilità alla liquefazione.

Infine, come si evince dalle Tabelle 5 e 6, l'esatta e lineare profondità del bedrock sismico è risultata di non facile definizione.

Pur avendo investigato il territorio edificato sia come singolo nucleo abitativo, sia come edificato consolidato e diffuso, rimangono, com'è naturale dei punti dove il quadro geologico-sismico è meno investigato. Del resto, o per fortuna, non tutto il territorio comunale è ad oggi urbanizzato e probabilmente non lo sarà neppure in futuro, vista la localizzazione delle aree non investigate. E' pure vero che, in ogni caso, le indagini prodotte a prescindere dalla loro tipologia, rimangono di tipo puntuale, caratterizzando quel sito unicamente anche se poi la consultazione e l'elaborazione di altri parametri fisici del territorio hanno permesso di ottenere un quadro geologico-sismico verosimile e di tipo areale.

13 CARTE TEMATICHE MS DI 2°-3° LIVELLO

Il Livello di analisi di tipo 2°-3° fa riferimento alle Linee Guida Regionali (Allegato A) della DGR 1572/2013 e della DGR 899/2019 ed è stato applicato per le Varianti al Piano degli Interventi facente parte del Piano Regolatore Comunale (PRC) a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nelle precedenti fasi e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente.

Come previsto dalla normativa vigente, e già descritto nel capitolo precedente, la procedura di secondo livello è obbligatoria, per le zone suscettibili di effetti di 1) *amplificazione morfologica* e 2) *amplificazione litostratigrafica*.

I parametri e i metodi utilizzati per definire il grado di amplificazione delle aree sono stati sinteticamente decritti precedentemente sia per gli aspetti morfologici, sia per quelli litostratigrafici, entrambi in chiave sismica.

Qui, si sottolinea che relativamente alle possibili amplificazioni sismiche su base litologica, la procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (**Fa**). Gli studi sono condotti con metodi quantitativi

semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e geometriche e sono utilizzati per "zonizzare" l'area di studio in funzione del valore di Fa.

Per la descrizione e le metodologie adottate per la definizione della Carta di Microzonazione sismica si rimanda ai Capitoli precedenti.

Della Carta delle Indagini aggiornata con le nuove indagini (**CI**) si è già detto precedentemente.

Qui si illustrano i dati della Carta di Microzonazione sismica (**MS**) e della Carta della suscettibilità a frane sismoindotte (**FS**).

13.1 CARTA MS - STIMA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE ICMS E CARTA FS

La **Carta di Microzonazione sismica MS** sintetizza le valutazioni fatte in chiave sismica sugli elementi territoriali di carattere litologico, idrogeologico e geomorfologico, suddividendo la superficie comunale con i Fattori di amplificazione (Fa) seguendo le indicazioni del Manuale "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, vers. 4.2". La **Figura 61** mostra la Carta MS ricavata. La **Figura 62**, invece, mostra il grado e la distribuzione areale delle zone suscettibili alla franosità sismoindotta.

Si premette che pur non elencata tra gli elaborati richiesti dalla normativa, alla Carta di Microzonazione sismica -(MS) del territorio in studio è associata la Carta della suscettività sismo-indotta.

Circa la Carta MS, si possono fare le seguenti osservazioni:

- A. Come già indicato, la Carta MS illustra le condizioni geologico-sismiche sia per i nuclei abitati, sia per quelli con edificato consolidato e/o diffuso, in ottemperanza alle normative regionali vigenti.
- B. L'analisi, in chiave sismica, della risposta del sottosuolo valutata con misure in campo e, poi, mediante software dedicati, ha confermato le condizioni generali di "stabilità suscettibile di amplificazione", che caratterizzano buona parte del territorio, ad esclusione delle aree di "instabilità", in parte già emerse in precedenza, ma approfondite e ridefinite in codesto studio.
- C. Il territorio comunale è caratterizzato da ampie zone a differente indice di amplificazione (Fa), prodotto dei caratteri locali litologici e morfologici.
- D. Di seguito si sintetizza la distribuzione di tali aree differenziate amplificabili:
 - **Classe Fa=1.3÷1.4:** Bacchi, Albero Matto, Ferrari, Lovati,
 - **Classe Fa=1.5÷1.6:** Contrà Rama, Covale, Valecco, Bolca Ovest, Camponogara Sud, Cavagile, Rossi, Zandonai, Castelvero Chiesavecchia, Pozzini.
 - **Classe Fa=1.7÷1.8:** Chieve, Bolca Est, Zovo, Giordani, Barco, Bigoli, Vestenanova Est, Pezzati, Scarmana, Montanari, Costo, Baldi.
 - **Classe Fa=1.9÷2.0:** Rigoni, Loschi, Brusafarro, Calisti, Gaiotte, Bolca, Vestenanova, Val d'Alpone, Vanzi, Castelvero, Vestenavecchia.
 - **Classe Fa=2.1÷2.2:** Cracchi, Camponogara.
 - **Classe topografica Fa=1.2:** sugli elementi morfologici pertinenti a Cracchi, Bolca, Chieve e Contrà Rama, Camponogara, Vestenanova, Dosso di Ragano, Vestenavecchia, Maccadanzi, Castelvero.
- E. A questa classificazione di base, nella Carta MS, è sovrapposto, poi, l'elemento di "instabilità" di versante censito nel catasto IFFI.

Tutti questi particolari caratteri comportano un diverso approccio urbanistico del territorio, come spiegato più avanti. Infatti, sempre più avanti verranno riportate le prescrizioni dettate dalle Linee Guida nazionali in riferimento al territorio in rapporto alla proprie criticità rilevate.

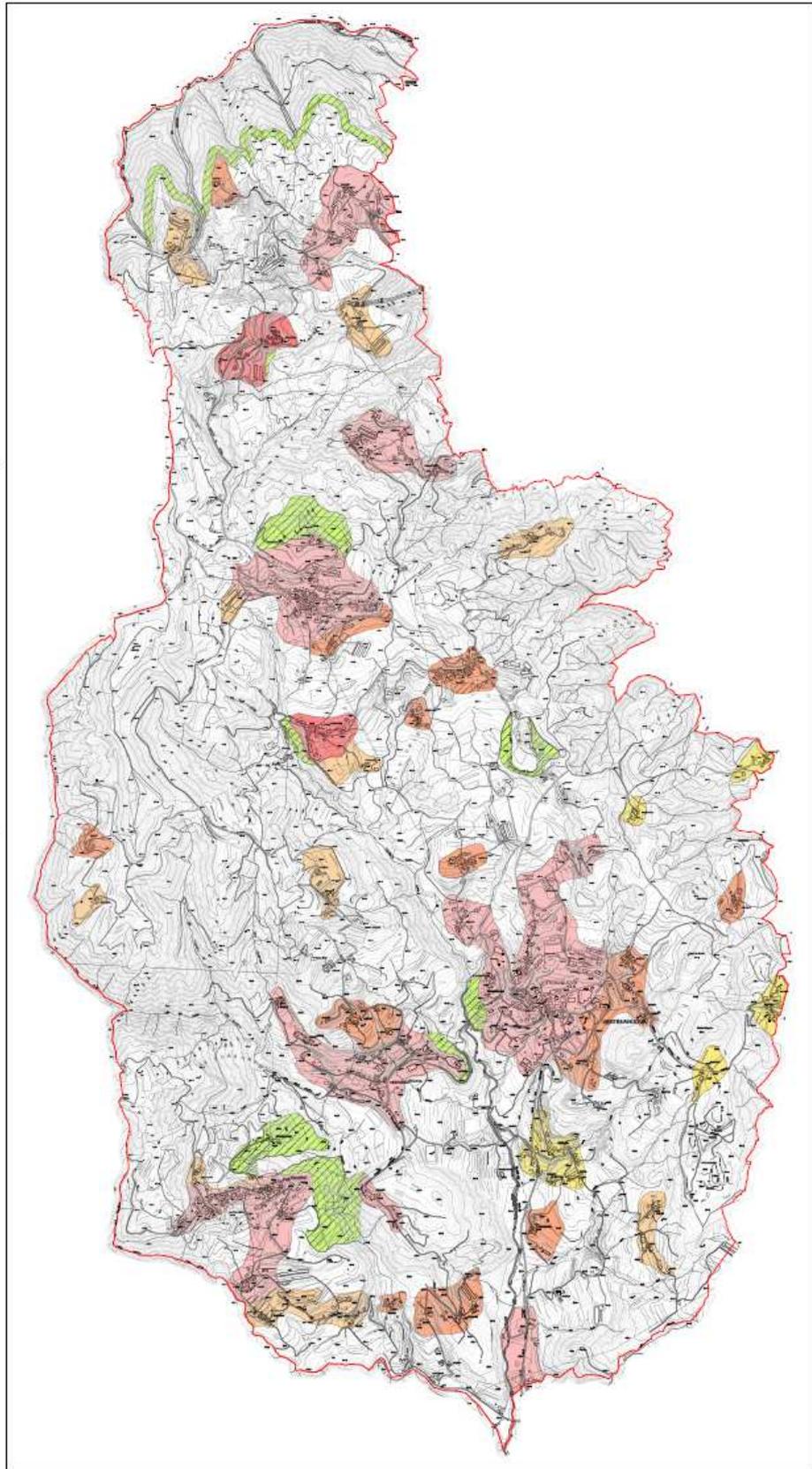
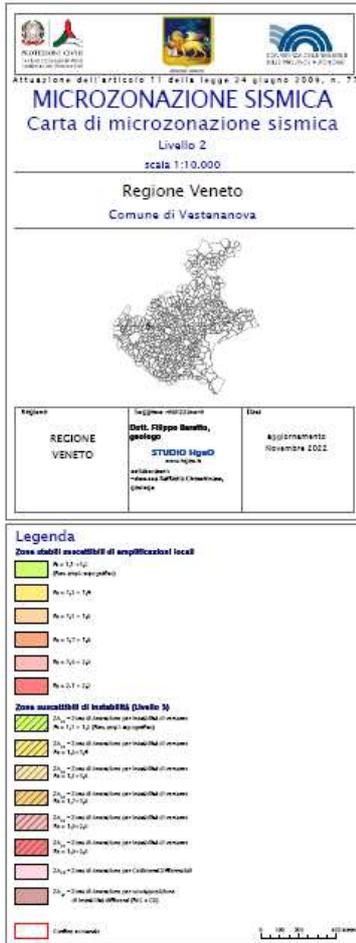


Figura 56 – Carta di Microzonazione Sismica - MS

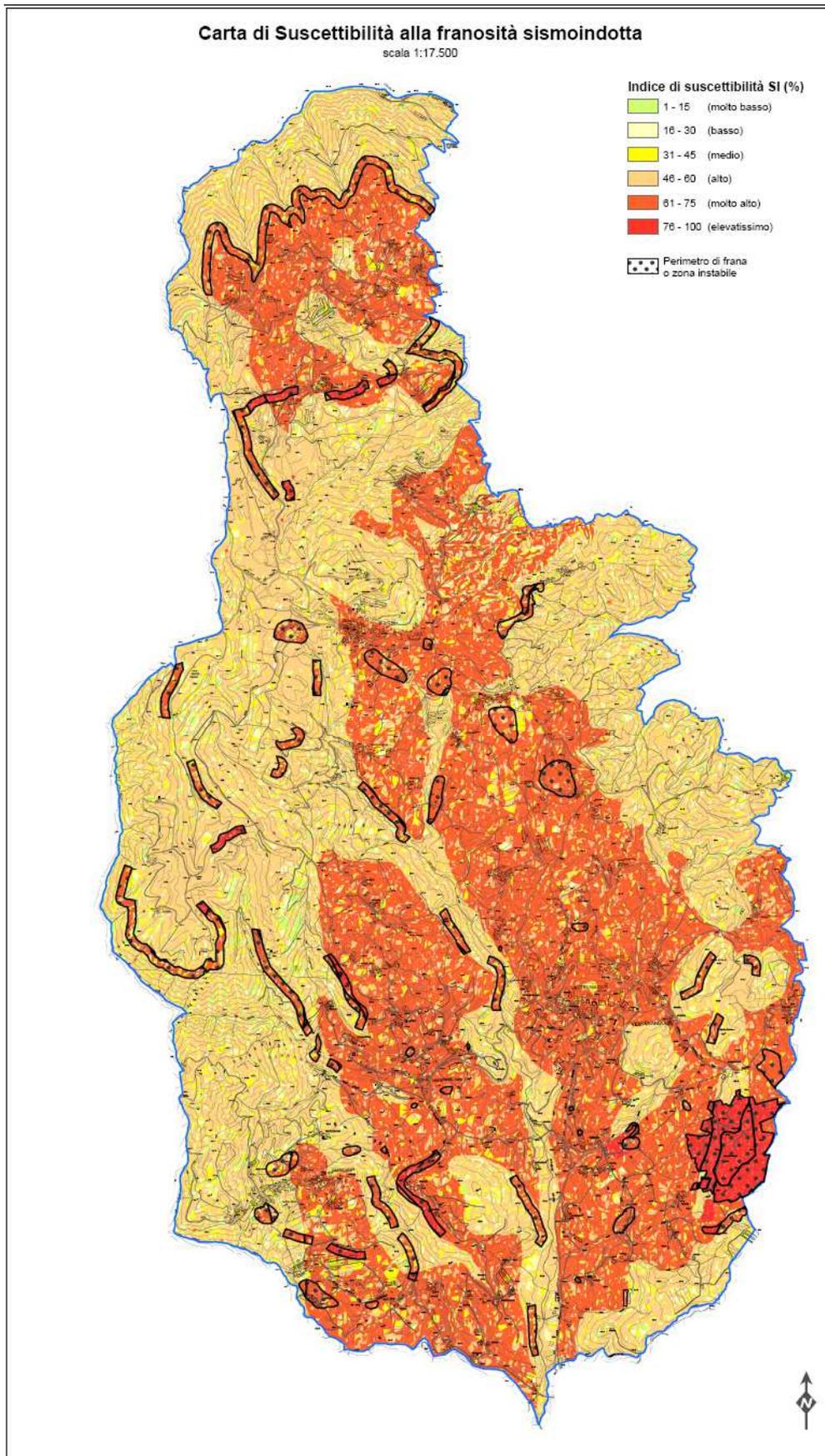


Figura 57 – Carta di Suscettibilità alle frane sismoindotte (FS)

14 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

La storia sismica del territorio di San Vendemiano e del territorio limitrofo è stata illustrata nel Capitolo 5, dove sono riportate le condizioni simiche dell'area.

Qui si riportano in sintesi i principali eventi sismici che hanno interessato il Comune. Consultando il DBMI15, versione 2015 del Data Base Macrosismico Italiano i terremoti che hanno interessato l'area lessinea sono riportati nella **Tabella 16**.

File downloaded from CPT15-DBMI15 v4.0
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Listed entries 236

PlaceID	Place Name	Lat	Lon	Prov	I _{max}	EQs	PlaceID	Place Name	Lat	Lon	Prov	I _{max}	EQs
IT 22196	Affi	45.52	10.772	VR	5-6	7	IT 22890	Mezzane di Sotto	45.481	11.128	VR	7	6
IT 16816	Agneto	45.613	10.508	BS	7	1	IT 23622	Mizzole	45.477	11.059	VR	6	3
IT 21098	Aja	45.757	11.001	TN	5-6	30	IT 15899	Mocassina	45.530	10.439	BS	5	1
IT 22586	Albaré Stazione	45.571	10.758	VR	6	2	IT 17085	Moglia	45.658	10.471	BS	5-6	1
IT 23515	Albinato	45.611	10.703	VR	7-8	2	IT 22651	Molina	45.611	10.912	VR	5	1
IT 17035	Arno	45.771	10.595	BS	5	1	IT 21613	Molina di Ledro	45.700	10.723	TN	7	5
IT 22347	Assenza	45.726	10.781	VR	6	3	IT 16429	Moniga del Garda	45.527	10.535	BS	6-7	4
IT 22726	Avesa	45.474	10.887	VR	6	2	IT 23678	Montorio	45.459	11.066	VR	6	5
IT 21143	Avio	45.734	10.939	TN	6	16	IT 19781	Monzambano	45.386	10.693	MN	4	6
IT 22690	Azzop	45.546	11.046	VR	6	1	IT 22309	Morgnaga	45.620	10.553	BS	7	1
IT 22243	Badia Calavena	45.565	11.154	VR	8-9	13	IT 16503	Morsone	45.558	10.470	BS	6-7	1
IT 16875	Barbarano Gardone Riviera	45.615	10.553	BS	6	3	IT 23639	Murru	45.517	11.109	VR	6	1
IT 22559	Bardolino	45.548	10.721	VR	6	27	IT 16782	Mura	45.563	10.508	BS	6	2
IT 22340	Belluno Veronese	45.686	10.900	VR	5	4	IT 16508	Muscoline (Chiesa)	45.563	10.461	BS	6-7	8
IT 22304	Belluno	45.675	10.652	BS	5-6	2	IT 16481	Muslone	45.711	10.693	BS	5-6	1
IT 22281	Belluno	45.566	10.847	VR	4	3	IT 23517	Nave	45.684	10.735	VR	6	2
IT 22305	Bosco Chiesanuova	45.621	11.029	VR	6	11	IT 22861	Navene	45.799	10.839	VR	7	2
IT 72283	Bostone	45.597	10.450	BS	5	1	IT 23321	Negrarine	45.497	10.894	VR	5	1
IT 22342	Brentino	45.642	10.873	VR	5	7	IT 22939	Negrar	45.530	10.939	VR	5-6	9
IT 22343	Brentino Belluno (Rivalta)	45.655	10.893	VR	5-6	5	IT 23728	Noviglio	45.672	11.039	VR	6	1
IT 21228	Brentonico	45.817	10.956	TN	5-6	12	IT 22602	Ossenigo	45.672	10.904	VR	4	1
IT 22354	Brenzone (Magagnano-Marniga)	45.705	10.766	VR	6-7	10	IT 22789	Pacengo	45.466	10.720	VR	5	1
IT 22639	Brenon	45.624	10.905	VR	6	4	IT 16590	Padenghe sul Garda	45.506	10.508	BS	6	6
IT 22365	Bussolengo	45.474	10.847	VR	4	3	IT 22601	Parona	45.652	10.725	VR	7	1
IT 23661	Ca' di David	45.382	10.996	VR	4	1	IT 23466	Palazzo	45.452	10.818	VR	4-5	2
IT 17007	Cadignano	45.765	10.735	BS	4-5	1	IT 23689	Parona	45.477	10.947	VR	5-6	3
IT 22269	Calmasino	45.521	10.753	VR	5	1	IT 23009	Pastrengo	45.492	10.801	VR	6	7
IT 15893	Calvane della Riviera	45.641	10.677	BS	7	1	IT 22604	Pavone	45.651	10.437	VR	4	2
IT 70042	Campazzi	45.533	10.733	VR	5-6	1	IT 22601	Peri	45.656	10.903	VR	4	4
IT 16999	Campione	45.754	10.750	BS	5	1	IT 17038	Persone	45.773	10.575	BS	5	1
IT 23393	Campofontana	45.637	11.155	VR	5	3	IT 23020	Pescantina	45.481	10.868	VR	HD	9
IT 16876	Campoverde	45.606	10.778	VR	7-8	3	IT 16429	Polpenazze del Garda	45.527	10.535	BS	6	18
IT 15911	Capovalle	45.753	10.545	BS	6	6	IT 22424	Pesina	45.599	10.756	VR	6	3
IT 22405	Caprino Veronese	45.605	10.795	VR	6	27	IT 22868	Pezza	45.558	10.911	VR	6	1
IT 17090	Carpeneda	45.649	10.472	BS	6-7	1	IT 23624	Pigozzo	45.495	11.060	VR	5	1
IT 15896	Carzano Riviera	45.625	10.975	VR	5-6	3	IT 45472	Pisone	45.472	10.916	VR	6	2
IT 22892	Casale	45.482	11.134	VR	6-7	1	IT 16700	Polpenazze del Garda	45.551	10.507	BS	7	4
IT 23435	Caselle	45.414	10.898	VR	6	1	IT 17089	Pompegnino	45.631	10.498	BS	7-8	2
IT 22852	Cassone	45.734	10.790	VR	7-8	11	IT 19864	Ponti sul Mincio	45.411	10.686	MN	5-6	5
IT 22882	Castagnè	45.491	11.106	VR	7	1	IT 22882	Postumano	45.498	11.119	VR	7	1
IT 22459	Castel d'Azzano (Castello)	45.353	10.945	VR	4-5	3	IT 23062	Povegliano Veronese	45.347	10.881	VR	4	6
IT 22344	Castelletto di Brenzone	45.686	10.750	VR	7	5	IT 22885	Postumano	45.498	11.119	VR	7	1
IT 16509	Castello	45.560	10.464	BS	7	2	IT 23062	Povegliano Veronese	45.347	10.881	VR	4	6
IT 22464	Castello Nuovo del Garda	45.440	10.764	VR	6	2	IT 22885	Postumano	45.498	11.119	VR	7	1
IT 23319	Castelrotto	45.497	10.902	VR	5	1	IT 72312	Pradaglio	45.618	10.471	BS	6-7	1
IT 22593	Castion Veronese	45.606	10.727	VR	4	2	IT 22341	Preabocco	45.624	10.860	VR	5	1
IT 16500	Castrezzone	45.548	10.469	BS	5-6	1	IT 22957	Prun	45.575	10.951	VR	6	1
IT 22488	Cavallaro Veronese	45.539	10.774	VR	5	7	IT 70046	Quanzano sul Garda (Castello)	45.567	10.910	VR	6	1
IT 22642	Cavato	45.569	10.872	VR	4	1	IT 23607	Purga	45.615	11.095	VR	6	1
IT 23522	Centro	45.525	11.134	VR	5	1	IT 16195	Quarena	45.603	10.442	BS	6	1
IT 22599	Ceraino	45.571	10.826	VR	5	2	IT 23735	Quinto	45.497	11.017	VR	6	1
IT 23364	Ceredo	45.620	10.975	VR	5-6	3	IT 22604	Quanzano Veronese	45.651	10.976	VR	4	3
IT 23355	Cerna	45.599	10.938	VR	3-4	1	IT 16784	Raffa	45.569	10.531	BS	5-6	3
IT 22544	Cerro Veronese	45.574	11.042	VR	5	6	IT 23080	Rivoli Veronese	45.571	10.812	VR	5	3
IT 16884	Cisano	45.595	10.537	BS	5-6	2	IT 72307	Rivolletta	45.459	10.570	BS	5	2
IT 72155	Civiglio	45.531	11.028	VR	5-6	3	IT 16823	Roe Volciano (Roe)	45.623	10.493	BS	5	1
IT 16863	Clibbio	45.637	10.457	BS	7-8	1	IT 22704	Romagnano	45.524	11.041	VR	5-6	1
IT 22197	Cocche	45.556	10.783	VR	5	1	IT 71982	Ronchi	45.627	10.511	BS	5	1
IT 23524	Cogollo	45.544	11.156	VR	8	4	IT 23348	Roverè Veronese	45.592	11.067	VR	4	5
IT 22771	Cola	45.472	10.743	VR	5-6	3	IT 16874	Saià	45.606	10.522	BS	7	81
IT 17087	Collio	45.639	10.509	BS	6-7	1	IT 16198	San Biagio	45.588	10.463	BS	5-6	1
IT 16202	Colombaro	45.578	10.479	BS	4-5	1	IT 16883	San Felice del Benaco	45.584	10.548	BS	7	3
IT 23373	Cona	45.622	10.943	VR	5-6	1	IT 23328	San Fioriano	45.517	10.909	VR	HD	1
IT 22593	Contra	45.613	11.109	VR	6	1	IT 16203	San Giacomo	45.594	10.479	BS	5-6	1
IT 16175	Costa	45.733	10.641	BS	5	1	IT 23347	San Giorgio di Valpolicella	45.534	10.850	VR	D	1
IT 22596	Costermano	45.587	10.744	VR	6-7	10	IT 17081	San Martino	45.681	10.506	BS	5-6	1
IT 21227	Crosano	45.819	10.976	TN	5	1	IT 16125	San Martino della Battaglia	45.438	10.603	BS	6	1
IT 22439	Curtatone	45.375	10.976	VR	5	1	IT 23288	San Mauro di Saline	45.565	11.113	VR	7-8	1
IT 22695	Cuzzano	45.511	11.013	VR	6	1	IT 23331	San Pietro in Cariano	45.520	10.887	VR	6	20
IT 16132	Desenzano del Garda	45.471	10.537	BS	6-7	30	IT 23384	San Zeno	45.630	10.724	VR	5-6	2
IT 22600	Delcè	45.600	10.853	VR	5-6	13	IT 16320	San Zeno	45.473	10.478	BS	NF	1
IT 22336	Delegliara	45.519	10.928	VR	5-6	3	IT 23348	San Zeno di Montagna (Ca' Montagna)	45.638	10.723	VR	5-6	1
IT 17080	Eno	45.705	10.508	BS	4-5	1	IT 23348	San'Amrogio di Valpolicella	45.523	10.837	VR	5	5
IT 22625	Erbezzo	45.639	11.002	VR	4-5	9	IT 22252	Sant'Andrea	45.594	11.151	VR	6	1
IT 22935	Fane	45.580	10.965	VR	5	1	IT 23375	Sant'Anna d'Alfaedo	45.627	10.952	VR	5	9
IT 70030	Favaro del Garda	45.628	10.853	VR	6	2	IT 22252	Sant'Anna d'Alfaedo	45.627	10.952	VR	5	9
IT 22629	Ferrara di Monte Baldo	45.676	10.854	VR	6	20	IT 72237	Santi Benigno e Caro	45.724	10.808	VR	7	2
IT 16701	Fontanelle	45.553	10.500	BS	7	1	IT 23330	Sausto	45.491	10.907	VR	5	1
IT 23357	Fosse	45.644	10.937	VR	F	2	IT 23523	Scorgnano	45.534	11.151	VR	7-8	1
IT 22647	Fumane	45.542	10.882	VR	5-6	9	IT 23490	Serravalle	45.490	10.803	VR	5-6	2
IT 16991	Gaino	45.654	10.614	BS	4-5	2	IT 23410	Selva di Progno	45.611	11.139	VR	6	6
IT 22652	Garda	45.576	10.709	VR	6-7	20	IT 23713	Seminario	45.439	10.926	VR	6	1
IT 16165	Gardone Riviera	45.622	10.566	BS	6-7	12	IT 17008	Sermerio	45.774	10.725	BS	5	1
IT 16177	Gargano	45.689	10.664	BS	6	24	IT 21114	Serravalle	45.812	11.014	TN	3	1
IT 23664	Garofolo	45.404	11.024	VR	NF	1	IT 23742	Sezano	45.503	11.029	VR	5	1
IT 16187	Gavardo	45.583	10.439	BS	6-7	14	IT 16935	Sirmione	45.489	10.609	BS	6	11
IT 16824	Gazzane	45.621	10.504	BS	7	2	IT 16944	Soiano del Lago	45.539	10.514	BS	6-7	3
IT 23362	Giare	45.597	10.976	VR	5	1	IT 23457	Sommacampagna	45.407	10.844	VR	HD	12
IT 23397	Giazza	45.653	11.122	VR	5	1	IT 23481	Sona	45.433	10.832	VR	6	5
IT 22310	Gonzi	45.583	11.044	VR	6-7	1	IT 16190	Sopraponte	45.597	10.440	BS	6	2
IT 22638	Gorgussello	45.619	10.915	VR	5	1	IT 70031	Soprazocco	45.583	10.467	BS	7	2
IT 22696	Grizzana	45.520	11.017	VR	6-7	10	IT 23457	Stallavena	45.545	11.003	VR	6	1
IT 23470	Guastalla Nuova	45.404	10.793	VR	4-5	2	IT 17086	Teglie	45.663	10.463	BS	5	

Il territorio comunale ricade in una zona interessata da terremoti con significativi risentimenti in termini di intensità macrosismica (**Figura 58**).

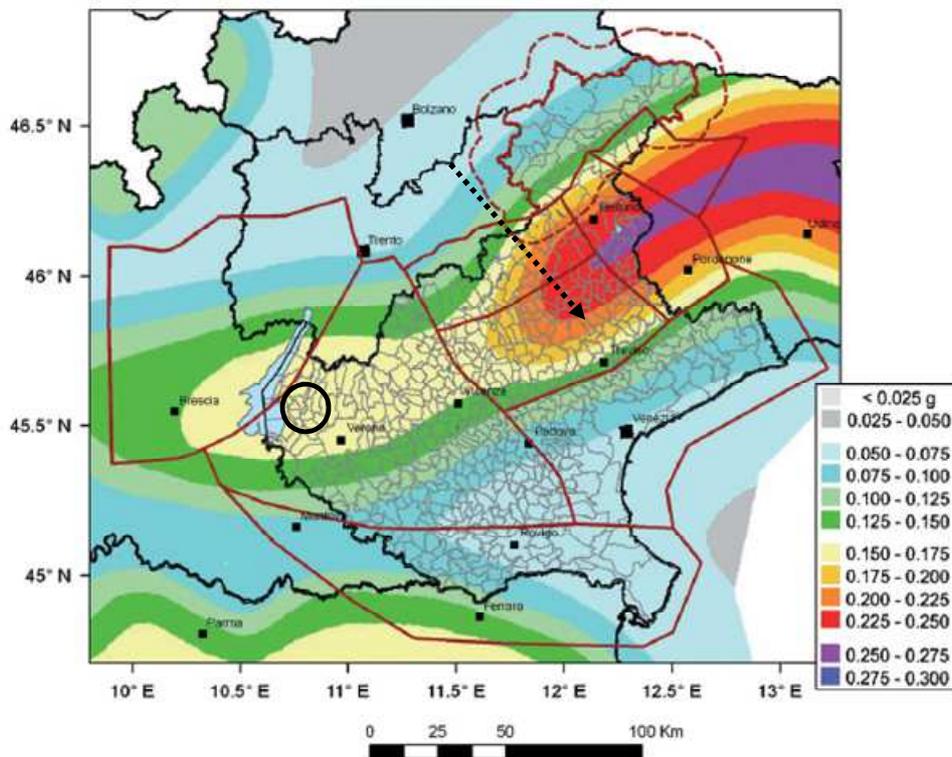


Figura 58: Massima intensità osservata al di sopra della soglia di primo danno (V-VI MCS) DBMI04 (Stucchi et Alii 2007)

Il distretto dei Lessini è una zona potenzialmente interessata da due forti eventi medioevali, e alcuni eventi che hanno superato la soglia del danno (I0=VI MCS), ben documentati nel Rinascimento e dalla fine dell'Ottocento.

In quest'area ricadono graficamente gli epicentri derivati da informazioni macrosismiche, dei disastrosi eventi di Verona del 3 gennaio 1117 (MW=6,49, I0=IX-X MCS) e del Basso Bresciano del 25 dicembre 1222 (MW=6,05, I0=VIII-IX MCS). Nonostante accurate ricerche (vedi ad es. Galadiniet al., 2001b; Galli, 2005; Stucchi et al., 2008), l'evento del 1117 rimane in Pianura Padana uno dei casi più problematici, poiché sia la localizzazione, sia la stima degli effetti è molto incerta. Guidoboni et al.(2005) posizionano l'epicentro nel Veronese, a sud dei Monti Lessini, mentre Galadini et al.(2005), sulla base di recenti studi geologici, paleosismologici e storici, associano l'evento alla sorgente sismogenica denominata Thiene-Bassano, posta ad est del distretto dei Lessini. Per il terremoto del 1222, già menzionato nel distretto Giudicarie, le ipotesi più recenti lo attribuiscono a strutture sepolte nelle Prealpi Bresciane (Livio et al., 2008, 2009).

Due eventi minori (1691, 1756), localizzati in prossimità di Padova, sono stati recentemente cancellati da Molinet al.(2008) e la revisione ha portato alla riparametrizzazione di altri 4 eventi (1815, 1895, 1936, e 1968, il più recente dei quali con la rilocalizzazione in Val Lagarina si posiziona ora sul confine, nell'adiacente distretto G.

Negli ultimi due secoli, l'evento del 7 giugno 1891, localizzato nella Valle d'Illassi, ha causato forti danni (I0=VIII-IX MCS, MW=5,71) in prossimità dell'epicentro, e ha fatto registrare effetti al di sopra della soglia del danno in gran parte della Lessinia. Da notare che pochi giorni dopo, il 15 giugno, sono ben documentati anche gli effetti di un evento riferito a Peschiera (I0=VI, MW=4,83); analoghe attivazioni ravvicinate nel tempo e nello spazio sono avvenute nel 1895 (12 ottobre, Malcesine in distretto G, 2 novembre, Valle d'Illassi, distretto L).

Sempre nella Valle d'Illassi sono stati localizzati altri tre eventi che hanno raggiunto o superato la soglia del danno, (9 agosto 1892 MW=5,17; 9 febbraio 1894 MW=5,17; 15 marzo 1908 MW=5,01). Anche l'area di Recoaro-Pasubio è stata interessata da eventi in epoca storica (ad es. I0=V-VI avvenuto il 27 gennaio 1897), e strumentale (massimo evento registrato avvenuto il 13 settembre 1989, I0=VI, MW=4,96; MAG=4,7).

15 RACCOMANDAZIONI PER LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA

Si premette che per ogni intervento in progetto ricadente delle diverse zone perimetrate e classificate in chiave sismica del territorio comunale si dovranno adottare le procedure di indagine previste alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.17.01.2018) del Ministero delle Infrastrutture.

In particolare, si dovrà fare riferimento alle seguenti paragrafi e/o capitoli: Capitolo 3: Azioni sulle costruzioni, §3.2 Azione sismica; Capitolo 7: Progettazione per azioni sismiche; Capitolo 8: Costruzioni esistenti, §8.7 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche.

La classe di suolo dovrà essere definita preferibilmente attraverso la misura diretta dei parametri sismici del sottosuolo in numero adeguato alle caratteristiche dell'opera.

15.1 AREE STABILI SUSCETTIBILI AD AMPLIFICAZIONE SISMICA - GENERALITA'

In queste aree, dove si preveda di eseguire ristrutturazioni con modifiche strutturali, ampliamenti, nuove costruzioni ed opere infrastrutturali, si dovrà, oltre alle indicazioni normative citate sopra:

- A. Eseguire, in sede di P.I. e successive Varianti, uno studio di 2° per le zone dove si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici. Questo Livello è richiesto e ritenuto sufficiente nelle aree prive di particolari complicazioni, nelle quali sono attesi solo effetti di amplificazione (P3, P4c, P4d, P4e; P1c, P2, P4a - Allegato A della DGR 1572/2013).
- B. Caratterizzare il terreno mediante indagini geologiche e geofisiche spinte fino a profondità tali da qualificare il volume significativo influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.
- C. Valutare l'effetto della risposta sismica locale (RSL) mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento. Il D.M. 17.01.2018 raccomanda la misura diretta delle velocità di propagazione delle onde di taglio V_s e, per Categorie di Sottosuolo speciali o nel caso di specifiche analisi di risposta sismica locale, impone di approfondire le conoscenze del sottosuolo mediante specifiche indagini in sito e prove di laboratorio.
- D. Produrre uno studio finalizzato alla determinazione della profondità del bedrock sismico in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo.
- E. Valutare, sulla base delle cartografie redatte con il 1° e con il successivo 2°- 3° Livello di studio microsismico, la scelta di eventuali approfondimenti da effettuare per l'identificazione delle categorie di sottosuolo. Tali risultati possono essere utilizzati per la progettazione se il sito interessato dalla costruzione presenta caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate all'elaborazione degli abachi di calcolo stessi: il sottosuolo deve essere assimilabile ad una successione di strati approssimativamente piano paralleli, con modeste irregolarità morfologiche. A partire dal confronto tra l'azione sismica ricavata dagli abachi con quella che si ottiene utilizzando la categoria del sottosuolo e lo spettro per essa previsto dalla normativa è possibile: **1)** utilizzare l'azione più gravosa tra le due; **2)** demandare al progettista la scelta o richiedere ulteriori approfondimenti.
- F. Evitare, d'accordo con il progettista, l'effetto di doppia risonanza suolo=struttura. Infatti, è ormai consolidata la tesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella dell'edificio.
- G. Valutare le amplificazioni locali di carattere litostratigrafico qualora il bedrock sia a profondità superiore ai 3 metri. L'amplificazione potrà essere determinata come indicato dall'Eurocodice 8 (vedasi anche Indirizzi e criteri di microzonazione sismica – Febbraio 2008 – conferenza Stato e Regioni). Parimenti sono da applicare le prescrizioni per gli effetti morfologici del sito.
- H. Nelle fasce di contatto tra litologie con caratteristiche elastiche molto diverse tra loro, oltre a quanto detto ora si dovrà verificare, attraverso prove in sito, se i contatti tra queste formazioni possono causare cedimenti differenziali. Si dovrà, anche, evitare di porre le fondazioni dei fabbricati "a cavallo" di litologie con caratteristiche marcatamente diverse.

15.2 CLASSI D'USO EDILIZIO IN AREE STABILI (AMPLIFICABILI O MENO)

In riferimento alla NTC2018, su tutto il territorio comunale dovranno essere effettuate le indagini e gli studi indicati sopra ed afferenti anche alle classi d'uso edilizie.

<p>Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.</p>	<p>Per queste costruzioni, in funzione dell'ubicazione e della tipologia, potranno essere utilizzati i dati e le informazioni sismiche contenuti in codesto studio. Diversamente potranno essere eseguite indagini come illustrato per gli edifici in classe II, a discrezione del progettista.</p>
<p>Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.</p>	<p>Per queste costruzioni si prevede l'esame dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nel presente studio e, quindi, l'applicazione di metodi semplificati per valutare l'amplificazione sismica locale. Per l'applicazione dei metodi semplificati si riporta quanto indicato dal D.M. 17.01.2018: <i>"ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, bisogna valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3, in assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (tabelle 3.2.II e 3.2.III)."</i></p> <p>Per la determinazione della velocità delle onde di taglio V_{seq}, si dovranno eseguire indagini sismiche, in foro (cross-hole, down-hole) o in superficie (MASW, Re.Mi., ESAC, sismica a rifrazione). Per le indagini in superficie sarà preferibile abbinare l'uso di tecniche attive e passive.</p> <p>Oltre alla definizione di V_s si dovranno eseguire anche misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (HVSR), così da stabilire la frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni (o il periodo proprio), da confrontare con le frequenze proprie degli edifici.</p> <p>Per questa classe di edifici, particolare attenzione dovrà essere posta nell'analizzare le situazioni ricadenti nelle zone con valori di $F_a > 2$. Infatti, l'assetto litostratigrafico del sottosuolo, può generare amplificazioni sismiche notevoli. Qualora l'opera in progetto sia strutturalmente rilevante, si consiglia di procedere, anche in questo caso, con l'analisi di Risposta Sismica Locale mediante modellazione numerica.</p>
<p>Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.</p>	<p>Per le classi III e IV si deve eseguire l'analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) come indicato nel DM 17.01.2018. Per l'analisi di RSL dovranno essere acquisiti i parametri necessari alla ricostruzione del modello geotecnico e sismostratigrafico del sottosuolo, con particolare attenzione alla ricostruzione della profondità e della morfologia del substrato rigido o di un deposito ad esso assimilabile. L'analisi di RSL, condotta usando codici di calcolo monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali, in funzione dell'assetto strutturale del sottosuolo, dovrà articolarsi secondo quanto indicato nel DM stesso. Oltre a ciò si consiglia di eseguire le seguenti indagini per una corretta modellazione:</p> <ul style="list-style-type: none">• Esecuzione di sondaggi geognostici definendo la successione sismostratigrafica e le diverse "unità" geotecniche.• Prove sismiche in foro (cross hole, down hole,) finalizzate

	<p>alla conoscenza della velocità delle onde di taglio fino ad una idonea profondità, in funzione dell'opera in progetto e, comunque, se possibile, fino a raggiungere il "bedrock sismico".</p> <ul style="list-style-type: none">• Prelievo di campioni di terreno e successive analisi di laboratorio per valutare la dipendenza della rigidità e dello smorzamento dal livello deformativo, e per la determinazione, in dipendenza del legame costitutivo adottato per i terreni, dei parametri di ingresso necessari alle analisi. Le prove di laboratorio possono consistere in prove cicliche di taglio torsionale o di taglio semplice, prove di colonna risonante, prove triassiali cicliche ecc.• Relazione illustrativa delle indagini contenente anche i grafici delle misure effettuate e la loro interpretazione.
<p>Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.</p>	<p>Idem c.s.</p>

Da evidenziare che le analisi di **Risposta Sismica Locale** dovranno essere eseguite anche per gli edifici e le opere elencati nella **DGRV n. 3645** del 28 novembre 2003, Allegati A e B e nel Decreto del capo della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 (edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso).

Per le aree dove non sia stato possibile determinare i valori di Fa ed Fv valgono le medesime norme sopra esposte.

15.3 AREE INSTABILI

Per i siti ricadenti in zone classificate sismicamente instabili la normativa vigente prescrive lo studio di approfondimento di tipo Livello 3 con le più adatte verifiche in situ e in laboratorio e con modellazione adeguata del sottosuolo per la Risposta Sismica Locale (RSL).

Lo stesso approfondimento sarà da eseguire, come citato, per le opere strategiche per fini di protezione civile o rilevanti, come da allegato A e B della DGRV 3645/2003.

Rimane chiaro che, come indicato dalle L.G. nazionali, con il 2° Livello di approfondimento si arriva a semplici indicatori di danno dei manufatti, poiché le analisi si basano su metodi dinamici semplificati. Si deduce che ai fini urbanistici e pianificatori le zone devono essere studiate con il 3° Livello di approfondimento.

Il territorio comunale, nello specifico, presenta "zone di attenzione" l.s. quindi "suscettibili d'instabilità". Si danno le seguenti prescrizioni minime sotto gli aspetti di caratterizzazione sismica del sito, rimandando, comunque, a tutte le disposizioni normative inerenti le costruzioni come elencate all'inizio del capitolo,

nonché come indicato nelle Linee Guida nazionali e regionali di indirizzo per gli studi di microzonazione sismica. In particolare, si fa riferimento e si raccomanda di assumere nella pianificazione e progettazione futura quanto disposto dalle Linee Guida:

- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) Vers. 1.0 Roma 2017.
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte FRG) Vers. 1.0 Roma 2017.
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC) Vers. 1.0 Roma 2016.
- Linee Guida per l'esecuzione di studi di microzonazione sismica (Allegato A DGR 1572/2013).
- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (parti 1-2-3) D.P.C. Roma 2008.

La pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate dalla presenza di ZA 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.

Le Linee Guida fanno riferimento convenzionalmente a 3 categorie di aree urbanistiche:

1. **Aree edificate** (recenti o consolidate).
2. **Aree non edificate** (con previsione di trasformazione).
3. **Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata.**

"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).

Queste tre categorie vanno riferite alle previsioni dello strumento di piano vigente e alle sue effettive condizioni di attuazione. Per quanto riguarda le specifiche articolazioni della normativa urbanistica nelle suddette aree, ogni Regione potrà predisporre opportune corrispondenze tra le tre categorie urbanistiche e le zone omogenee individuate dai rispettivi strumenti di pianificazione urbanistica."

15.3.1 ZONE D'ATTENZIONE PER FRANE SISMOINDOTTE Z_{AFR}

Nel territorio in studio possono presentarsi aree suscettibili ad instabilità" per potenziali *smottamenti e/o frane sismo-indotte* (Z_{AFR}) sui pendii naturali dei due rilievi presenti, magari per magnitudo maggiori di quella sinora calcolata. Qui, oltre alle normali indagini e studi indicati da normativa, si provvederà a:

- Caratterizzare il sottosuolo con la misura delle $V_{s_{eq}}$, come previsto da DM 17.01.2018. Le misure dovranno essere eseguite almeno fino a profondità prevista dalle NTC vigenti. E' consigliabile acquisire i valori V_s da misure dirette e non da quelle indirette (es. prove penetrometriche o SPT). Si dovrà anche produrre uno studio finalizzato alla determinazione della profondità del bedrock sismico in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo.
- Valutare le amplificazioni locali di carattere litostratigrafico, se il bedrock si trova a profondità superiore ai 3 metri, e topografico. L'amplificazione topografica potrà essere determinata come previsto dall'Eurocodice 8 e/o utilizzando quanto disposto negli "Indirizzi e criteri di microzonazione sismica 2008".
- Eseguire i calcoli stabilità del pendio a seguito dell'azione sismica, attraverso una specifica analisi dinamica. In alternativa, potranno essere utilizzati appositi abachi, purché il sito d'intervento presenti caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate per l'elaborazione degli abachi stessi.

- Definita la tipologia del fenomeno fisico delle instabilità di versante per le frane in terra e per le frane di crollo, valutandone le forme e dimensioni delle zone investite dal fenomeno, come indicato nella Parte Prima delle Linee Guida FR, si deve tener conto degli usi del suolo nelle zone investite dal fenomeno, sia dal punto di vista urbanistico che dal punto di vista delle classi d'uso dei manufatti (vedasi la parte seconda delle L.G.). Si rammenta che la metodologia generale, adottata nelle L.G., si basa su procedure di screening successivi che, partendo da tutte le instabilità di versante segnalate in documentazione pregressa e in database (PAI, IFFI,...), consentono di individuare le frane attivabili con una forzante sismica e che interessano le aree urbanizzate e urbanizzabili (**Figura 59**).

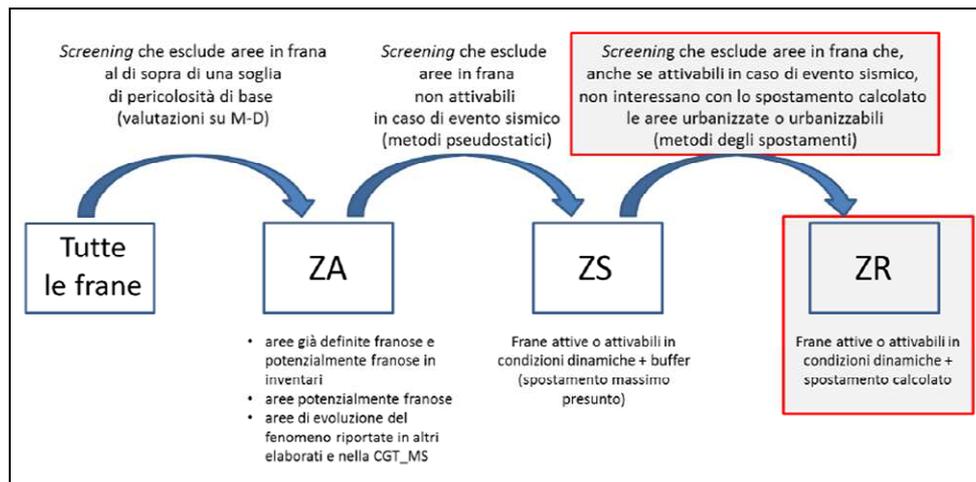


Figura 59. Metodologia generale di individuazione delle ZA, ZS e ZR per instabilità di versante (da LG)

Le fasi di screening saranno:

- Uno screening preliminare escluderà, solo sulla base della pericolosità sismica di base, le aree che, pur essendo in frana, non saranno soggette a forzante sismica tale da provocarne l'attivazione.
- Uno secondo screening, applicando metodi pseudostatistici che considerano dati geologici e geotecnici, consentirà di escludere altre aree.
- Il terzo e ultimo screening permetterà di definire solo le frane che potenzialmente possono interessare le aree urbanizzate e urbanizzabili, valutando e calcolando gli spostamenti.

I livelli di approfondimento delle ZA, ZS e ZR per le instabilità di versante (frane) e le carte per l'individuazione delle instabilità di versante, descritti nelle L.G. "FR", sono sintetizzati nelle **Figure 60-61-62**.

Livello di MS	Carta	Zone di instabilità di versante	Elementi informativi	Analisi e metodi
1	MOPS	Zone di Attenzione (Z _A FR)	Minimi Dati pregressi	-
2	MS	Zone di Attenzione (Z _A FR)	-	Non si effettuano studi sulle instabilità di versante
3	MS	Zone di Suscettibilità (Z _S FR)	Specifici	Semplificate (sensu AGI, 2005) Metodi pseudostatici per frane in terra Metodi semplificati per definire la suscettibilità e la runout distance per frane di crollo
3	MS	Zone di Rispetto (Z _R FR)	Specifici	Dinamiche semplificate o avanzate (sensu AGI, 2005). Metodi degli spostamenti e calcolo runout distance

Figura 60. Livelli, carte e corrispondenti tipi di zone di instabilità di versante (da LG)

e nello specifico:

Metodi	Parametro	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Analisi inventari		Z _{AFR} (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Non si effettuano studi sulle instabilità		Z _{AFR} (Zona di Attenzione)	MS	2
Valutaz. attività Pseudostatici Buffer	FR _{att} K _c <K _{h,eq} area	Z _{SFR} (Zona di Suscettibilità)	MS	3
Spostamenti	FRT	Z _{RFR} (Zona di Rispetto)	MS	3

Figura 61. Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone per le frane in terra.

Metodi	Parametro	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Analisi inventari	R _{smont distance}	Z _{AFR} (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Metodi empirici		Z _{AFR} (Zona di Attenzione)	MS	2
Non si effettuano studi sulle instabilità		Z _{AFR} (Zona di Attenzione)	MS	2
Valutaz. attività RHAP-MS	FR _{att} Soglia	Z _{SFR} (Zona di Suscettibilità)	MS	3
Metodi empirici	R _{smont distance}			
Spostamenti	R _{smont distance} FRR	Z _{RFR} (Zona di Rispetto)	MS	3

Figura 62. Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone per le frane di crollo.

AREE URBANISTICHE INTERESSATE DA Z_{AFR}

I criteri definiti per indirizzare la disciplina d'uso del suolo in zone interessate da instabilità di versante sismoindotte devono tener conto di alcuni fattori:

- per le instabilità di versante sismoindotte l'area di studio da considerare **non** è solo quella che riguarda la parte urbanizzata e urbanizzabile, ma include anche quella a monte e a valle del centro abitato, interessata dal fenomeno.
- a differenza di altre forme di instabilità (es. FAC) è possibile mettere in atto opere di riduzione della pericolosità, attraverso interventi di stabilizzazione del suolo (cfr. NTC 2018).
- a differenza delle altre forme di instabilità (es. FAC e Liquefazione), la disciplina urbanistica per le aree sottoposte a instabilità di versante (non sismoindotta) può essere già stata individuata in alcuni strumenti di pianificazione territoriale di settore (Piani di Assetto Idrogeologico - PAI) o dalla normativa regionale.

Si fa riferimento, quindi, alle normative già esistenti e agli orientamenti generali della disciplina.

Con riferimento alle tre categorie di aree urbanistiche sopra definite e alle zone interessate da instabilità di versante sismoindotte dove esse ricadono, viene proposto un abaco di diverse tipologie di indirizzi. Nella **Figura 63** viene riportata anche una colonna relativa alle infrastrutture, come ambito distinto e in questa sede non approfondito. Uno schema sintetico con le indicazioni urbanistiche (fra parentesi i paragrafi nelle L.G.) è:

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone instabilità di versante	Z _{AFR}	Obbligo di approfondimento (6.1.1)	Obbligo di approfondimento (6.2.1)		Programma Infrastrutture (6.3)
	Z _{SFR}	Programma Zone Instabili (6.1.2)	Intervento limitato (6.2.2)		
	Z _{RFR}				

Figura 63. Indicazioni urbanistiche

Nel caso di $Z_{A_{FR}}$, nelle **Aree edificate** (recenti o consolidate), per interventi di nuova edificazione (nei lotti vuoti) e per interventi sull'edificato esistente, devono essere espletati i necessari approfondimenti geologici e geotecnici, propri del Livello 3 di MS al fine di individuare le ZS_{FR} e le ZR_{FR} , oppure, per interventi puntuali, gli approfondimenti previsti dalla normativa tecnica vigente. E' prerogativa delle Regioni definire eventuali limiti temporali, in ragione delle risorse disponibili, per l'espletamento dei suddetti approfondimenti.

L'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso - **Figura 64**.

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione

Figura 64. Disciplina d'uso per aree edificate (da L.G.)

L'amministrazione locale nell'ambito dei propri strumenti di pianificazione urbanistica e secondo le prescrizioni e gli indirizzi dei soggetti sovra-ordinati, individua e persegue uno o più obiettivi per il **Programma Zone Instabili (PZI)**, assumendone i contenuti nelle forme opportune, al fine di mitigare le condizioni di rischio. Si vedano le citate Linee Guida "FR".

Il PZI rappresenta un programma d'intervento complesso in cui vengono definiti obiettivi e ambiti di intervento, fattibilità e modalità attuative. Il PZI riguarda più in generale tutte le aree suscettibili di instabilità, fra cui anche quelle interessate da faglie attive e capaci (FAC) e liquefazione (LQ).

Le **Aree non edificate** (con previsione di trasformazione) e le **Aree non urbanizzate** a trasformabilità limitata, ricadenti in $Z_{A_{FR}}$, sono soggette ad un regime di limitazione di edificabilità che **non** autorizza alcun intervento di trasformazione, fintantoché non vengano effettuati i necessari approfondimenti al fine di individuare le ZS_{FR} e le ZR_{FR} .

E' ammessa in tali aree la sistemazione di spazi aperti, senza realizzazione di volumetrie, a servizio delle funzioni e delle attività presenti nelle aree limitrofe, insediate e urbanizzate, o per incrementare la dotazione urbana di aree verdi, spazi pubblici e verde privato attrezzato. Pertanto, l'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso - **Figura 65**:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

Figura 65. Disciplina d'uso per aree non edificate (da L.G.)

15.3.2 ZONE D'ATTENZIONE PER CEDIMENTI DIFFERENZIALI $Z_{A_{ID}}$

Nelle aree suscettibili ad instabilità" per *cedimenti differenziali* si provvederà a caratterizzare il sottosuolo mediante adeguate indagini geognostiche e geofisiche in situ e in laboratorio al fine di esplorare la variabilità spaziale dei caratteri stratigrafici e meccanici delle aree; nonché dei parametri sismici con la profondità. E' consigliabile, come suggerito dalle NTC2018, acquisire i valori Vs_{eq} da misure dirette e non da quelle indirette.

15.3.3 ZONE D'ATTENZIONE Z_{ALQ}

Il territorio comunale **non** risulta interessato da aree a *potenziale cedimento per liquefazione di terreni saturi* (Z_{ALQ}). Si espongono, comunque, qui, gli Indirizzi ed i criteri di microzonazione sismica contenuti nel rapporto finale del Febbraio 2008 – conferenza Stato e Regioni, dove si prevede che possa essere omessa tale verifica solo quando si presenta almeno una delle seguenti condizioni:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella **Figura 66(a)** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in **Figura 66(b)** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

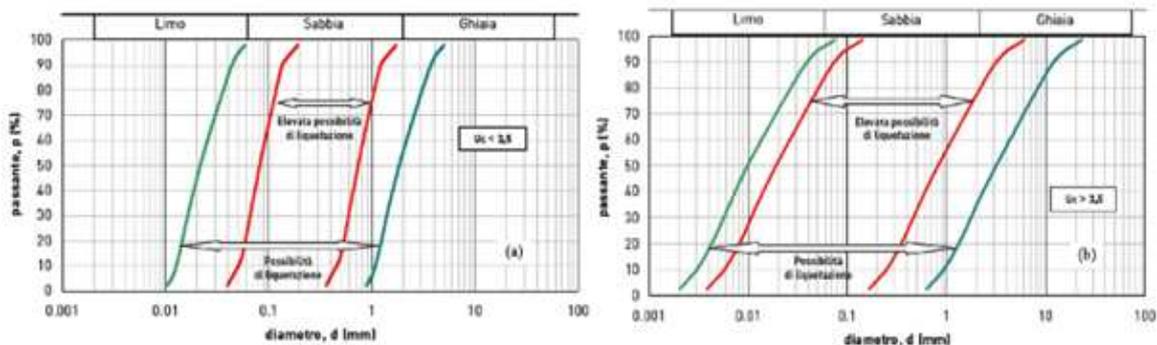


Figura 66: Fusi granulometrici per la liquefazione

Di seguito, invece, si riportano, a titolo conoscitivo, le prescrizioni normative vigenti da ottemperare in fase di urbanizzazione nelle aree classificate potenzialmente liquefacibili.

Per superfici pianeggianti gli effetti sono trascurabili se lo spessore dello strato più superficiale "non liquefacibile" è maggiore dello spessore del sottostante strato "liquefacibile".

Inoltre, le stesse Linee Guida LQ raccomandano di:

- evitare che negli studi di MS si individuino zone suscettibili di liquefazione quando non siano stati raccolti dati sufficientemente affidabili;
- definire procedure standard per l'individuazione delle zone di liquefazione in funzione della tipologia, della qualità delle indagini svolte e dei metodi di analisi;
- specificare il grado di incertezza dei risultati;
- definire il sistema di rappresentazione delle zone di liquefazione.

I livelli di approfondimento per l'individuazione delle zone potenzialmente interessate da liquefazione, descritti nel presente documento, sono (già citati sopra):

- livello 1** (Carta delle MOPS) per l'individuazione di Zone di Attenzione per la liquefazione (Z_{ALQ}), nel quale vengono utilizzati elementi informativi minimi (litostratigrafia, profondità della falda, elementi paleogeografici, ecc.);
- livello 3** (Carta di MS) nel quale vengono distinte due modalità di approfondimento delle analisi in funzione di due tipologie di zone previste:
 - Zone Suscettibili di liquefazione (ZS_{LQ}), da identificare con elementi informativi specifici e metodi di calcolo semplificati;
 - Zone di Rispetto per la liquefazione (ZR_{LQ}), da identificare con elementi informativi specifici e metodi di calcolo avanzati.

La stima dell'Indice del potenziale di Liquefazione medio della zona (**IL**) sarà sviluppata nel Livello MS3. Questo parametro richiede, infatti, specifiche analisi e indagini più approfondite. I risultati degli studi con approfondimenti di Livello 1, ma soprattutto 2 (abachi), in particolari condizioni di assetto geologico del sottosuolo, possono invece essere utilizzati limitatamente al calcolo dell'accelerazione massima in superficie (a_{max}) e saranno utilizzati nelle Carte di MS per la caratterizzazione delle ZS_{LQ} e delle ZR_{LQ} (**Figura 67**):

Livello di MS	Carta	Zone di liquefazione	Elementi informativi	Metodi
1	MOPS	Zone di Attenzione (ZA_{LQ})	Minimi	-
3	MS	Zone di Suscettibilità (ZS_{LQ})	Specifici	Semplificati (<i>sensu</i> AGI, 2005)
3	MS	Zone di Rispetto (ZR_{LQ})	Specifici	Avanzati (<i>sensu</i> AGI, 2005)

Figura 67. Livelli, carte e corrispondenti tipi di zone di liquefazione (da LG)

AREE URBANISTICHE INTERESSATE DA ZA_{LQ}

I criteri definiti per indirizzare la disciplina d'uso del suolo in zone suscettibili alla liquefazione devono tener conto di due fattori (**Figura 68**):

1. l'instabilità da liquefazione può interessare aree relativamente vaste del territorio (interessando talvolta anche il territorio di un intero comune);
2. a differenza di altre forme di instabilità è possibile mettere in atto interventi puntuali di riduzione della pericolosità, attraverso interventi diretti sul suolo, e della vulnerabilità, attraverso interventi sull'edificio.

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	ZA_{LQ}	Obbligo di approfondimento (5.1.1)	Obbligo di approfondimento (5.2.1)		Programma Infrastrutture (5.3)
	ZS_{LQ}	Programma Zone Instabili (5.1.2)	Intervento limitato (5.2.2)		
	ZR_{LQ}				

Figura 68. Indicazione urbanistiche per le zone di liquefazione

Nel caso di **Aree edificate e non edificate**, come anche per le **Infrastrutture**, valgono le prescrizioni elencate nelle Linee Guida LQ, alle quali si rimanda.

In definitiva, operativamente, pur esulando tali criteri dal principio di pianificazione, se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede, comunque, la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Si ribadisce ancora la necessità di effettuare, in fase progettuale, le opportune indagini ed analisi finalizzate al dimensionamento dei sistemi fondali e all'elaborazione delle verifiche geotecniche in funzione delle effettive caratteristiche prestazionali delle strutture da edificare.

Di seguito, si riporta lo schema sintetico delle azioni fattibili o meno per l'urbanizzazione in aree soggette al fenomeno di liquefacibilità (tratta da App. B2 delle LG) - **Figura 69**.

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	ZALQ	Obbligo di approfondimento (5.1.1)	Obbligo di approfondimento (5.2.1)		Programma Infrastrutture (5.3)
	ZSLQ	Programma Zone Instabili (5.1.2)	Intervento limitato (5.2.2)		
	ZRLQ				

Tabella B2.1 - Indicazioni urbanistiche

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	ZALQ	EL-NI	EL-NI		Programma Infrastrutture
	ZSLQ	EL-NI (EL-NL) (EO-NL)	EL-NL		
	ZRLQ	(EO-NI) (ED-NI)			

Tabella B2.2 – Indicazioni sulle tipologie di intervento per l’edilizia esistente e per la nuova edificazione.

Legenda

Sigla	Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
EL	Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento o di adeguamento e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
EO	Esistente	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.
ED	Esistente	Delocalizzazione	Non è consentito alcun intervento sull’edilizia esistente, perché oggetto di delocalizzazione obbligatoria.
NL	Nuova costruzione	Limitato	E’ consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
NI	Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

Figura 69. Indicazione urbanistiche (da L.G.)

16 CONCLUSIONI

Codesta Relazione illustra le modalità ed i risultati ottenuti con lo studio di Microzonazione sismica comunale di Livello 2.

Lo studio è stato articolato descrivendo le condizioni generali in chiave sismica del territorio, le criticità che caratterizzano il medesimo e dando, al termine, le indicazioni per le differenti fasi di pianificazione urbanistico-territoriale successive, soprattutto in relazione al contesto di "stabilità" o "instabilità" dell'edificato, esistente e futuro.

In realtà, il 3° livello MS sarà da eseguire per le opere strategiche per fini di protezione civile o rilevanti, come da allegato A e B della DGRV 3645/2003.

Particolare attenzione è stata posta nello studio della FAC, che interessa l'abitato del Capoluogo. Ciò perché influirà, con i "vincoli" dettati dalla normativa vigente, nelle azioni di urbanizzazione future.

Si ricorda che i risultati ottenuti, hanno, infatti, valore significativo per la pianificazione di urbanistica perché vincolano o determinano gli approcci di sviluppo urbanistico in funzione del carattere sismico dell'area territoriale interessata, ma si tratta sempre di risultati basati su dati relativi ad aree estese.

Questo principio deve essere sempre tenuto presente da parte di chi andrà poi a "progettare" strutture o infrastrutture nel territorio.

Infatti, le NTC 2018 si riferiscono ad una specifica e "localizzata" struttura con limitata estensione planimetrica, diversamente dallo studio di Microzonazione sismica, che opera su scala territoriale e che non può dare informazioni puntuali.

Infine, non trascurabile diversa è la responsabilità civile tra chi cartografa zone sismicamente omogenee per criticità o meno e chi definisce il modello geotecnico del sottosuolo interessato dall'opera scegliendone il modello ed il metodo di calcolo, come indicato dalle NTC/2018.

con la collaborazione di Checchinato Raffaella, geologo.



Filippo Baratto

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. Seismogenetic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the Southern Alps (Thiene – Udine sector, NE Italy)” *Geophysical Journal International* (2005).
- AA.VV. “Modello sismotettonico dell'Italia Nord Orientale”, C.N.R., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Rendiconto N. 1, Trieste, 1987.
- Barbieri G., Zampieri D. (1992), Deformazioni sinsedimentarie Eoceniche con stile a domino nel semigraben Alpone-Agno e relativo campo di paleostress (Monti Lessini orientali - Prealpi Venete), *Atti Tic. Sc. Terra*, 35: 25-31
- Castaldini, D. & Panizza, M., 1991. Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale), *Il Quaternario*, 4, 333–410.
- Cstellarin e Vai (1982), Guida alla geologia del Sudalpino centro - orientale. Guide geologiche regionali della S.G.I., Bologna.
- Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L. (2005): Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata veloce ed economica. *Geologia Tecnica & Ambientale*, n. 3, pp. 76÷102.
- D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise: Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani. GNDT. ING, SSN – 1996
- Ferrarese, F., Sauro, U. & Tonello, C., 1998. The Montello Plateau. Karst evolution of an alpine neotectonic morphostructure, *Zeit. für Geomorph.*, N.F. Suppl.÷Bd., 109, 41–62.
- Galadini, F., Poli, M. E., Zanferrari, A., 2005. Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene÷Udine sector, NE Italy). *Geophys. J. Int.*, 161, 739÷762.
- Galadini, F., Meletti, C. & Vittori, E., 2001b. Major active faults in Italy: available surficial data, *Geol. en Mijn.* (Netherlands Journal of Geosciences), 80, 273–296.
- Meletti, C., Galadini, F., Valensise, G., Stucchi, M., Basili, R., Barba, S., Vannucci, G., Boschi, E., 2007. The ZS9 seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*.
- Peruzza, L., Poli, M.E., Rebez, A., Renner, G., Rogledi, S., Slejko, D. & Zanferrari, A., 2002. The 1976–1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects, *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 391–400
- Piccoli G. (1965), Rapporto tra gli allineamenti dei centri vulcanici paleogenici e le strutture tettoniche attuali nei Lessini, *Boll. Soc. Geol. It.*, 84: 141-157.
- Poli M.E., P. Burrato, F. Galadini e A. Zanferrari, 2008 Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in north÷eastern Italy , INGV Roma
- Sirovich, L., Pettenati, F. & Bobbio, M., 2000. Inversione di intensità macro-sismiche per le faglie di terremoti storici, in *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996–1999)*, pp. 237–245, eds Galadini, F., Meletti, C. & Rebez, A., CNR—Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, Italy.
- M. Sugan e L. Peruzza, Distretti Sismici del Veneto in *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata* Vol. 52 n. 4 supplement., dicembre 2011
- Valensise, G., Pantosti, D. (Eds.), 2001a. Database of potential sources for earthquakes larger than $M 5.5$ in Italy. *Annali di Geofisica*, 44(4), Suppl., 797–964, with CD÷ROM.
- Zampieri D. (1992), Extensional mesostructures in the Cretaceous limestones of Paleogene Alpone-Agnohalf-graben (Eastern Lessini Mountains, Northern Italy), *Studi Trent. Sc. Naturali*, 67: 75-85

Cataloghi sismici riportati nel testo:

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani

CPTI15, a cura A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Lolli, P. Gasperini, Release v1.5, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>

DOM4.1 ÷ Monachesi G. e Stucchi M.: “DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno”

DBMI04 ÷ Stucchi et alii. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/> Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38.

DBMI15 ÷ M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2016..

Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.4: A compilation of potential sources for earthquakes larger than $M 5,5$ in Italy and surrounding areas, in I. N. d. G. e Vulcanologia, ed., <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.

ALLEGATI:

- "E" = ERT - TOMOGRAFIE GEOELETTRICHE anno 2022
- "H" = INDAGINI GEOFISICHE HVSR anno 2020
- "M" = INDAGINI GEOFISICHE MASW - anno 2020 - 2022

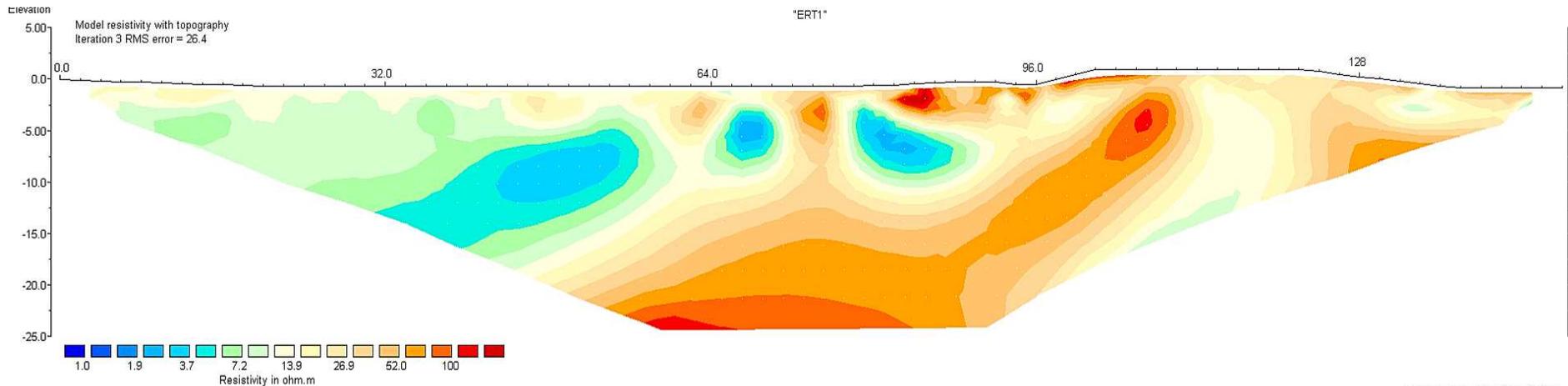
(PER LE INDAGINI PREGRESSE ANALIZZATE ANCHE PER CODESTO STUDIO SI RIMANDA AI LAVORI VISIONATI E DEPOSITATI NELL'ARCHIVIO COMUNALE)

CARTOGRAFIE:

- CARTA DELLE INDAGINI AGGIORNATA (**CI**)
- CARTA DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2 E 3 (**MS**)
- CARTA DELLA FRANOSITA' SISMO-INDOTTA (**CF**)

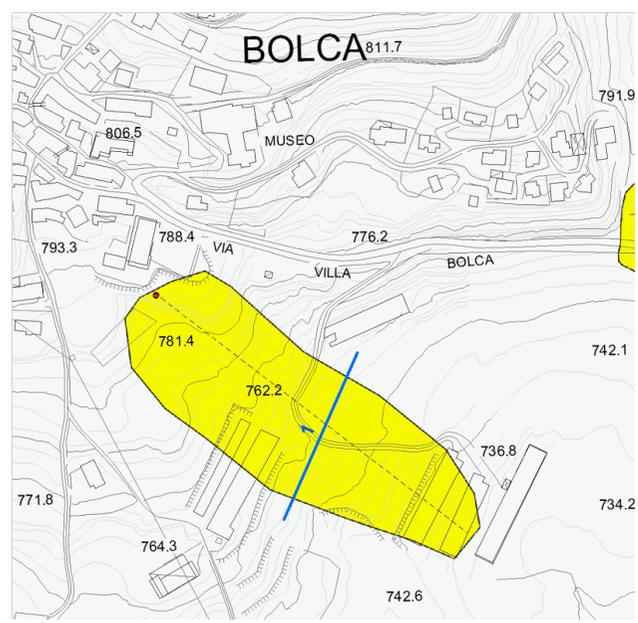
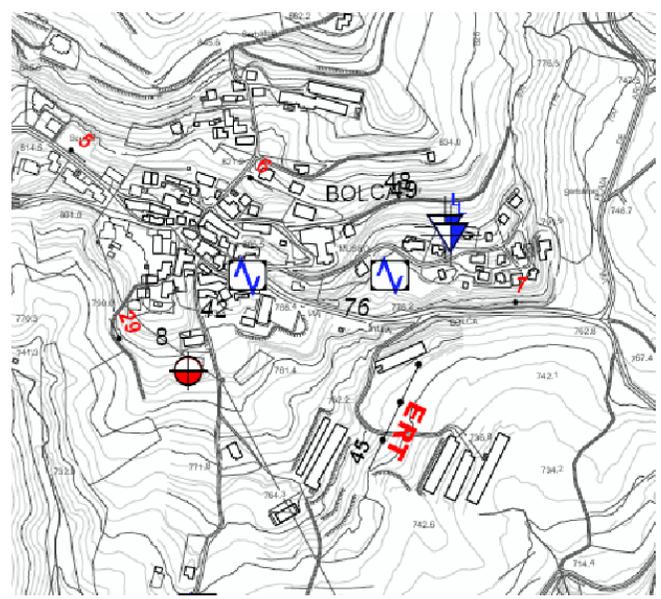
ALLEGATO E

(TOMOGRAFIE GEOELETTRICHE ERT)

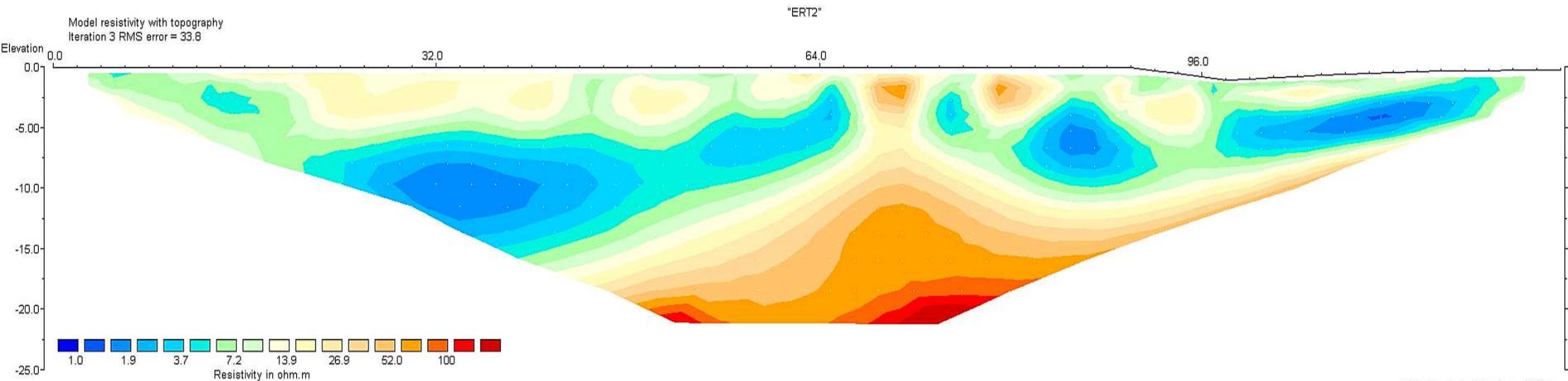


Horizontal scale is 24.84 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00
 First electrode is located at 0.0 m.
 Last electrode is located at 148.0 m.

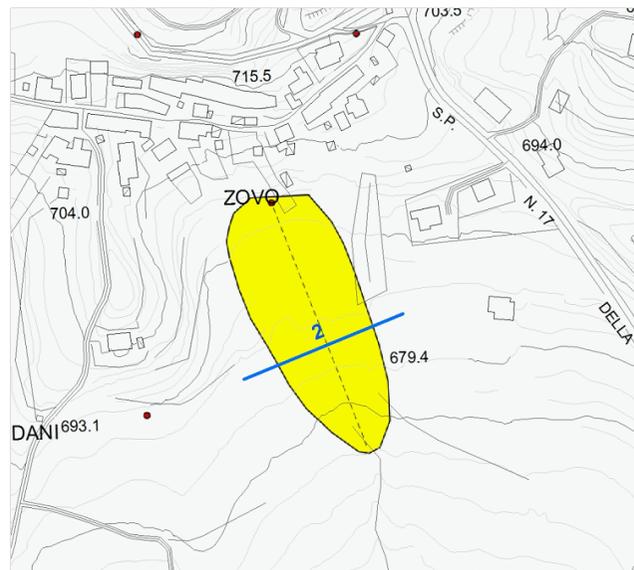
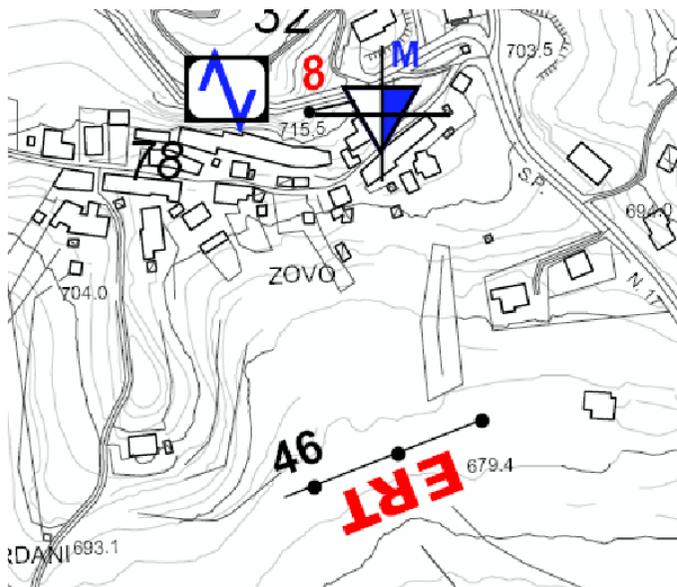
Unit Electrode Spacing = 2.00 m.



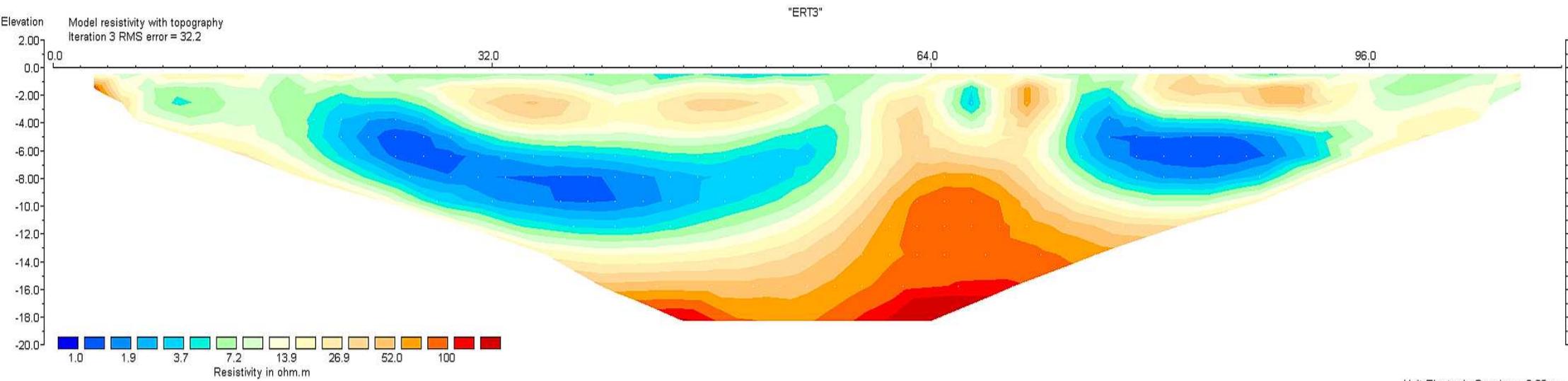
PRIMO LIVELLO	
Tipo Movimento:	Scivolamento rotazionale/traslativo
SECONDO LIVELLO	
Tipo Movimento:	1° ordine: scivolamento rotazionale
Velocità	1° ordine: lento (< 13 metri/mese)
Materiale:	1° ordine: detrito



Horizontal scale is 29.02 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.00
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 126.0 m.

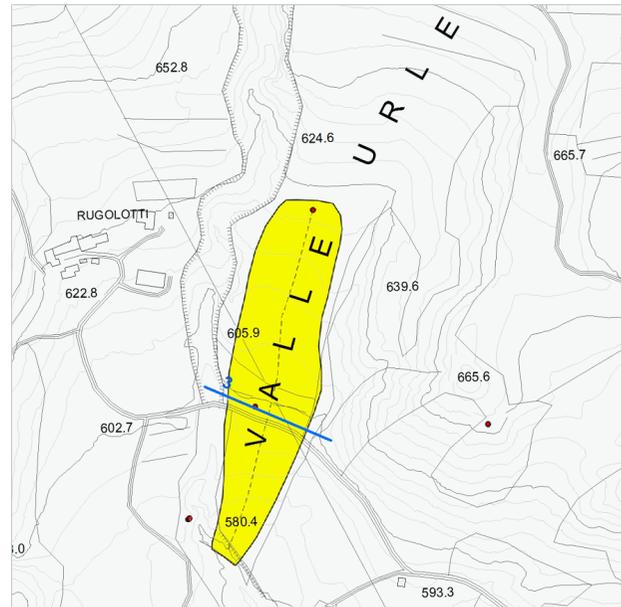
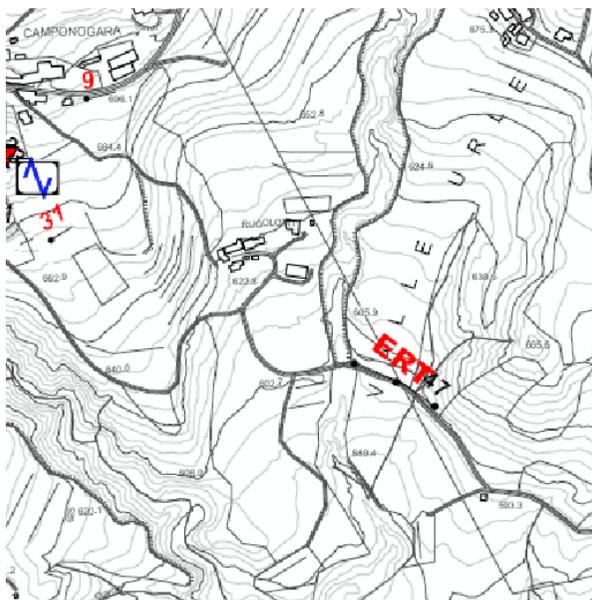


PRIMO LIVELLO	
Tipo Movimento:	Scivolamento rotazionale/traslattivo
SECONDO LIVELLO	
Tipo Movimento:	1° ordine: scivolamento rotazionale
Velocità	1° ordine: lento (< 13 metri/mese)
Materiale:	1° ordine: detrito



Unit Electrode Spacing = 2.00 m.

Horizontal scale is 33.24 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.00
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 110.0 m.



PRIMO LIVELLO

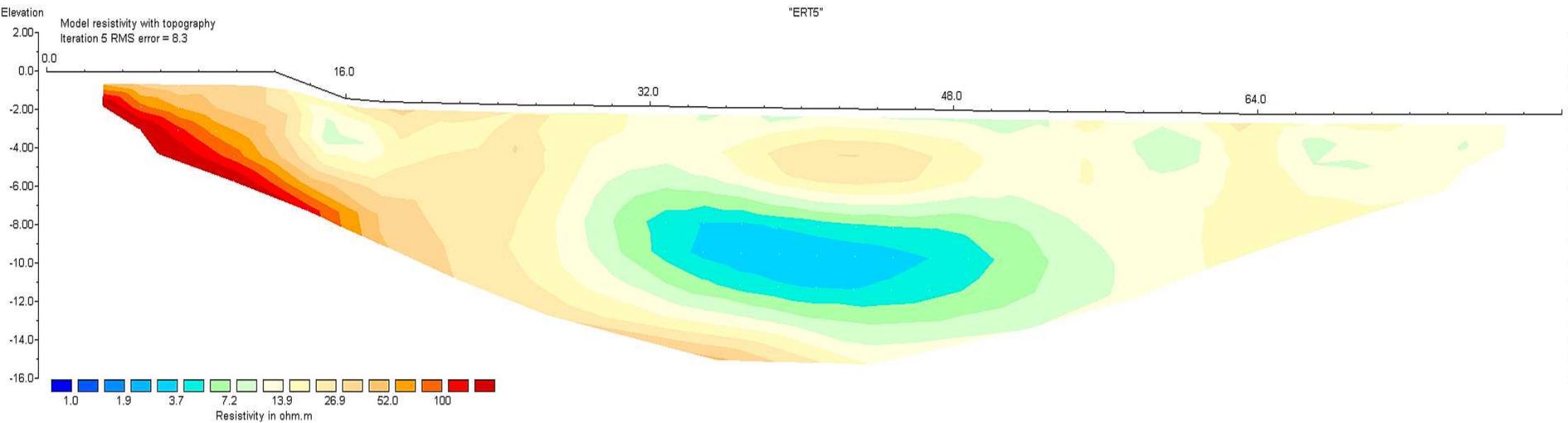
Tipo Movimento: Scivolamento rotazionale/traslattivo

SECONDO LIVELLO

Tipo Movimento: 1° ordine:
scivolamento rotazionale

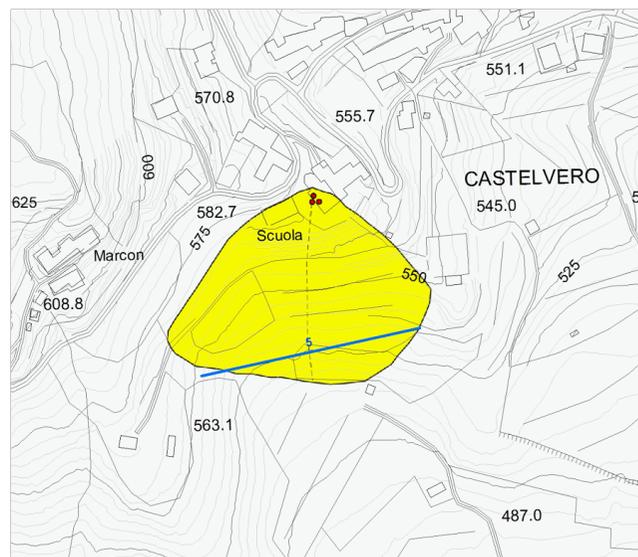
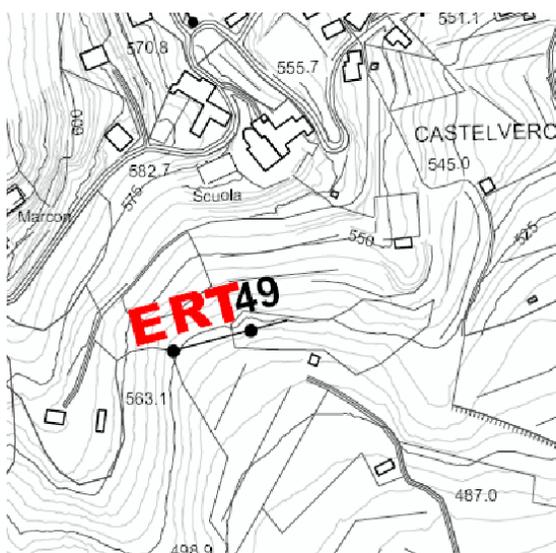
Velocità: 1° ordine:
molto lento (< 1,6 m/anno)

Materiale: 1° ordine:
detrito



Unit Electrode Spacing = 2.00 m.

Horizontal scale is 45.97 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.00
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 80.0 m.



PRIMO LIVELLO

Tipo Movimento: Scivolamento rotazionale/traslattivo

SECONDO LIVELLO

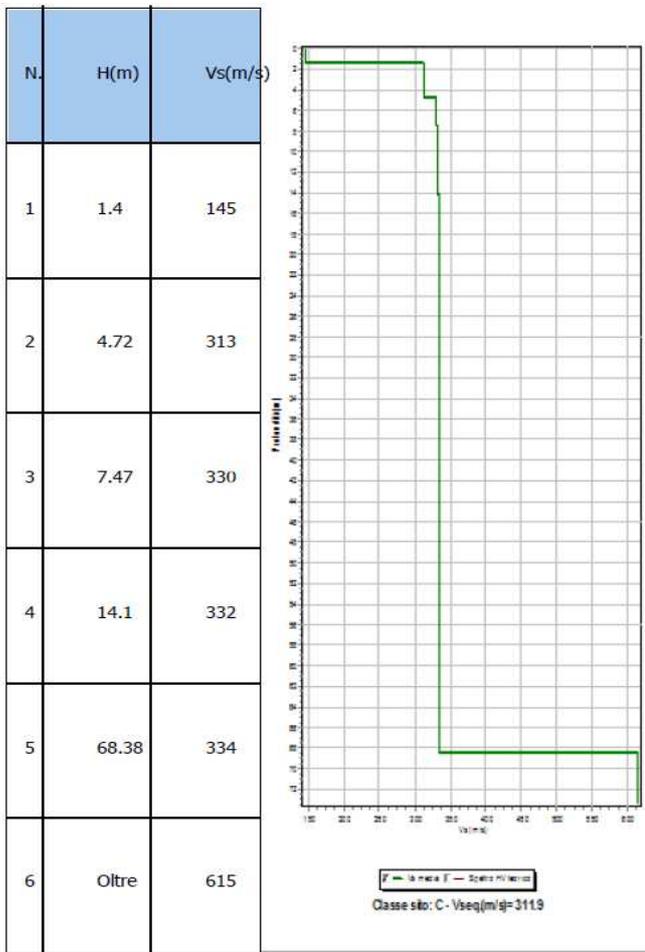
Tipo Movimento: 1° ordine: scivolamento rotazionale

Velocità: 1° ordine: estremamente lento (< 16 mm/anno)

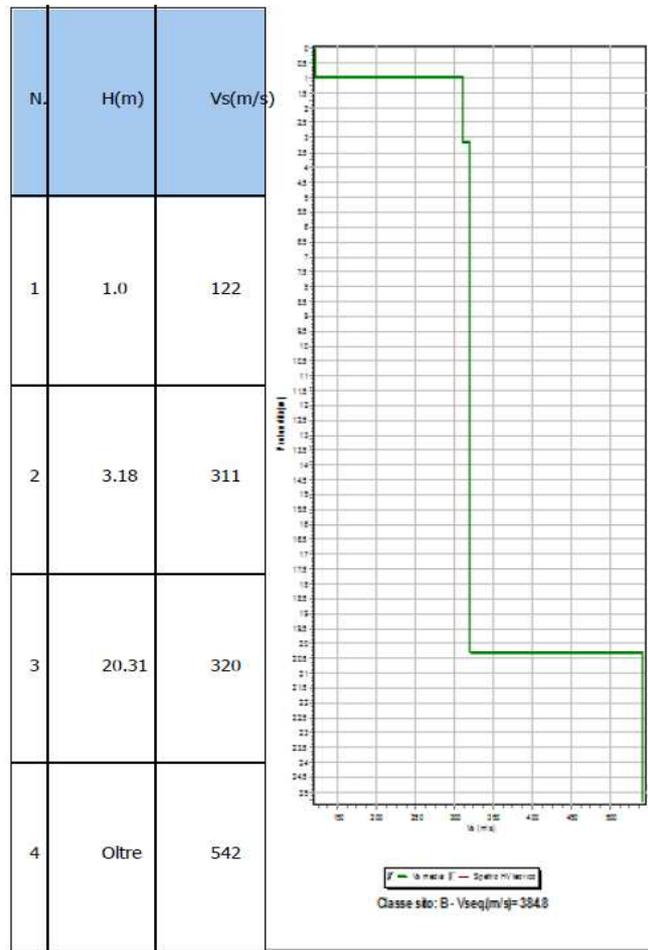
Materiale: 1° ordine: detrito

ALLEGATO H

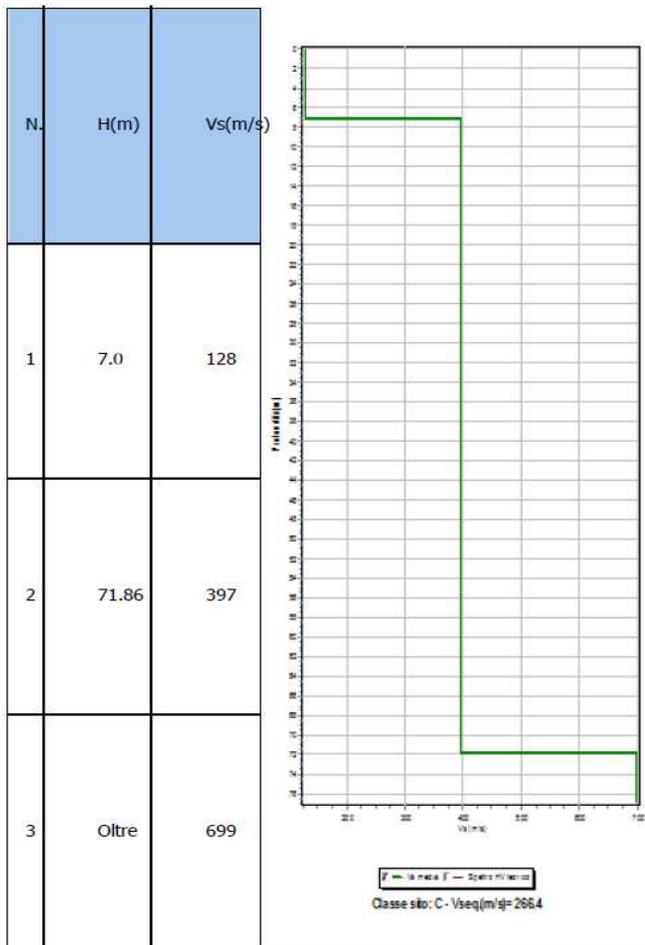
(INDAGINI GEOFISICHE HVSR)



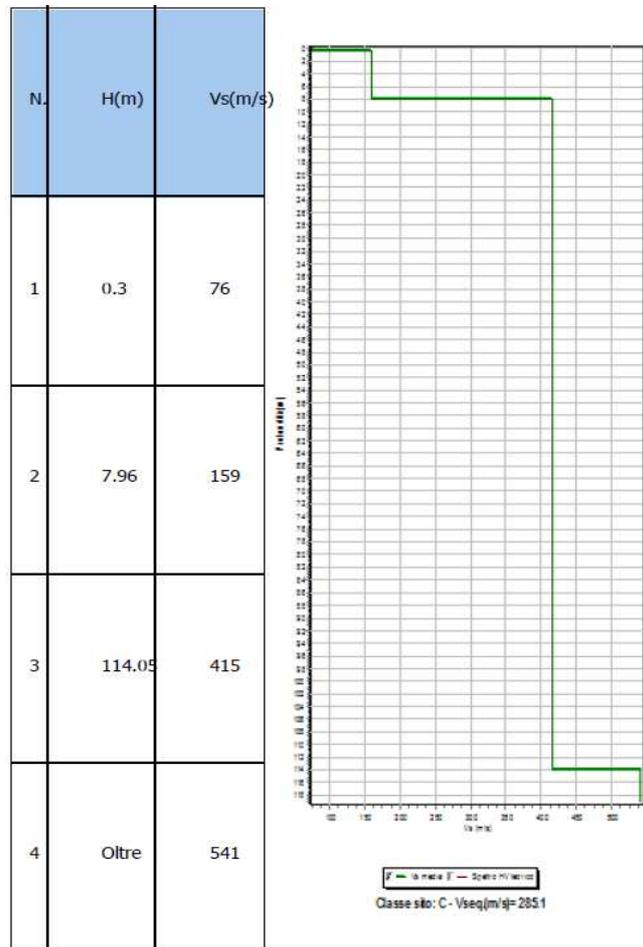
P71 (VN001)



P72 (VN002)

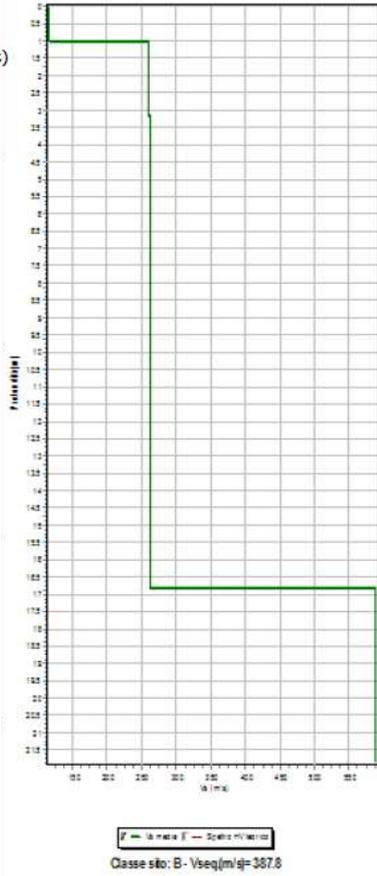


P73 (VN003)



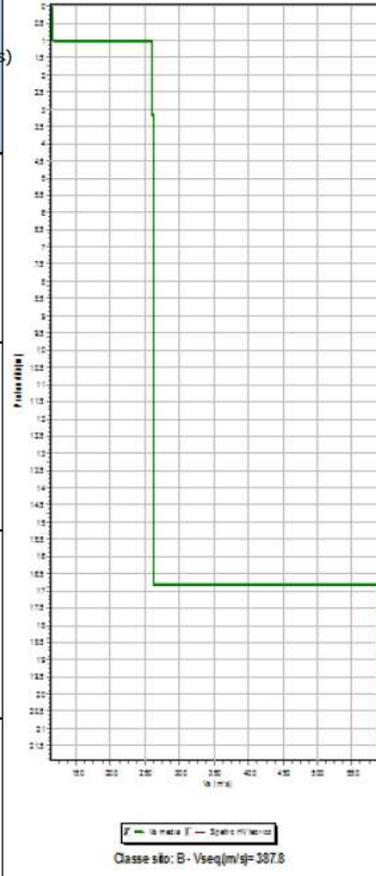
P74 (VN004)

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.0	116
2	3.18	261
3	16.83	263
4	Oltre	589



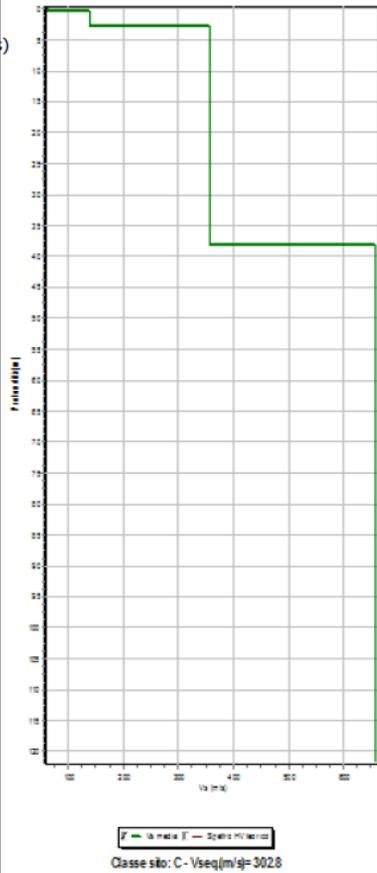
P75 (VN005)

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.0	116
2	3.18	261
3	16.83	263
4	Oltre	589



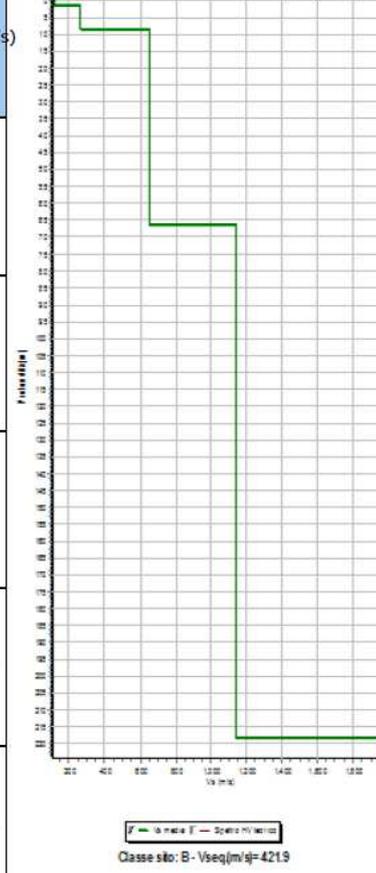
P76 (VN006)

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.3	63
2	2.75	138
3	38.08	356
4	116.57	657
5	Oltre	659

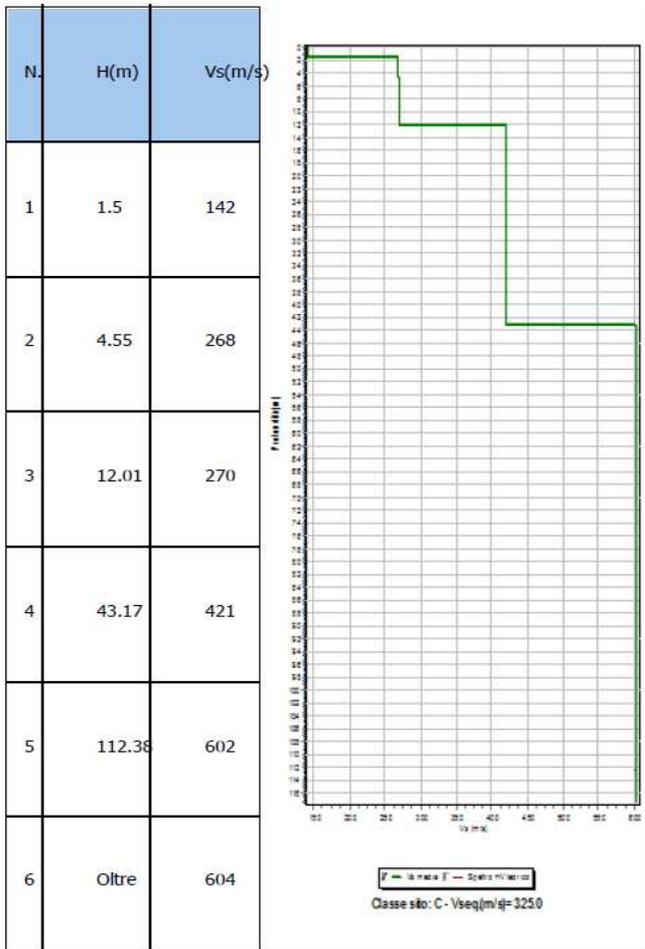


P77 (VN007)

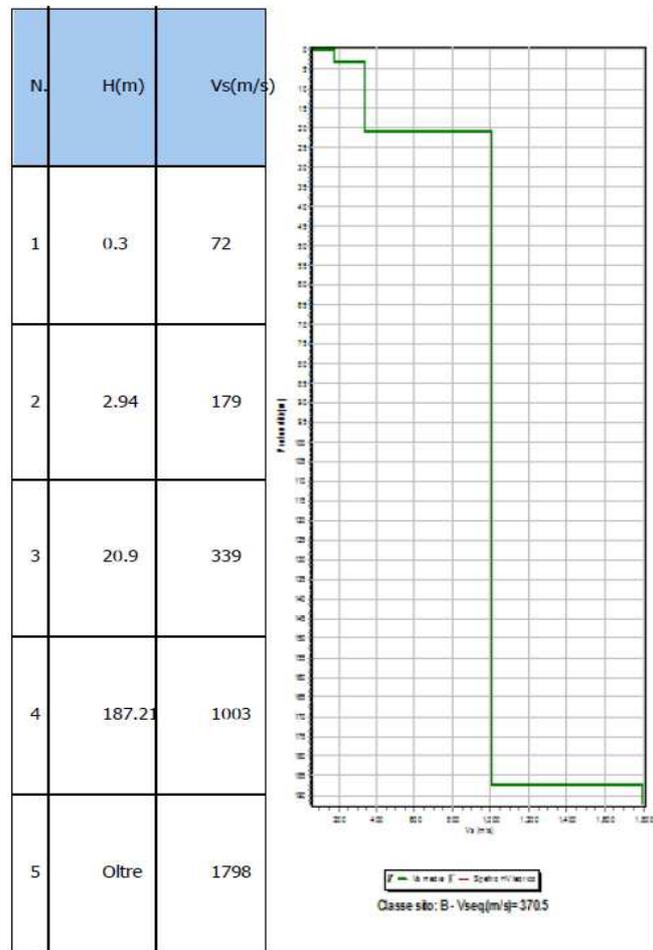
N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.3	119
2	8.49	264
3	66.12	653
4	218.37	1144
5	Oltre	1974



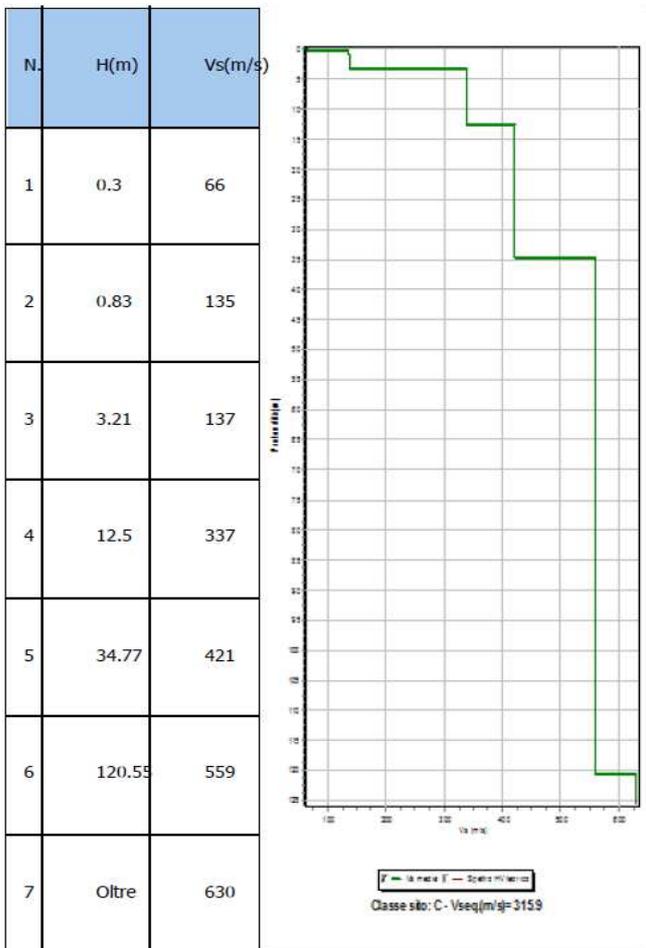
P78 (VN008)



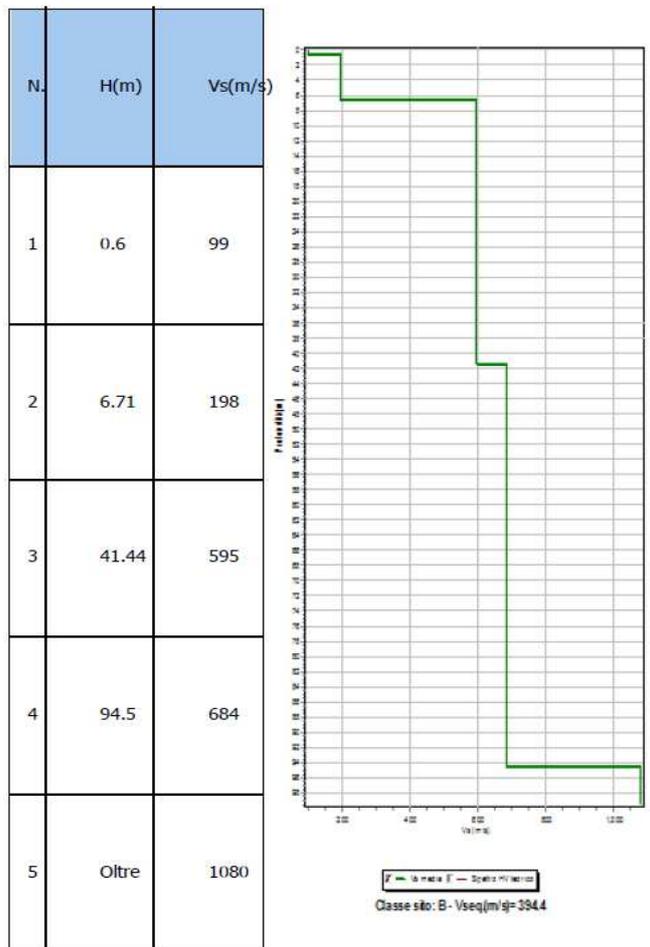
P79 (VN009)



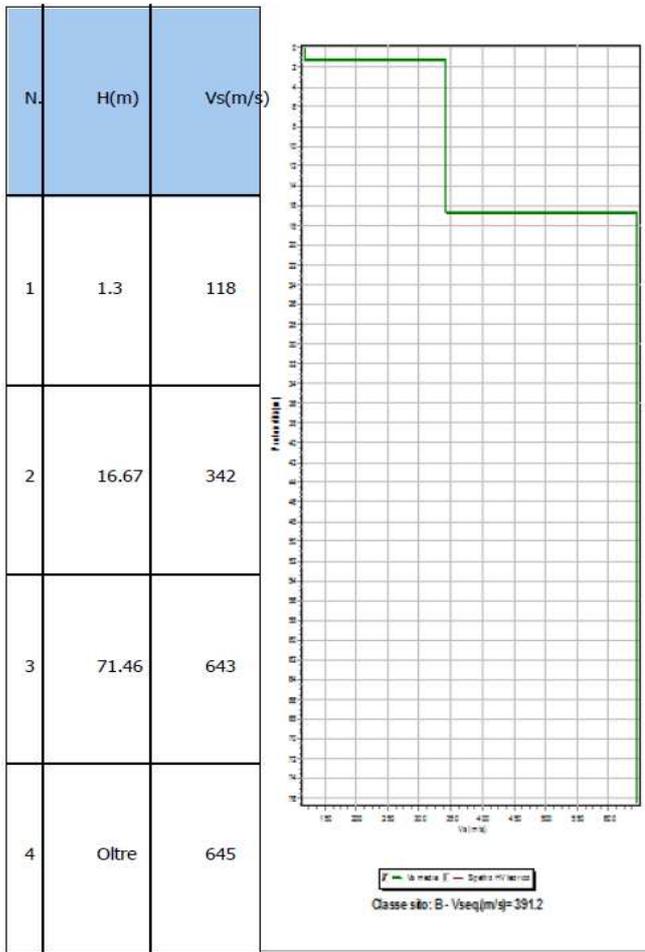
P80 (VN010)



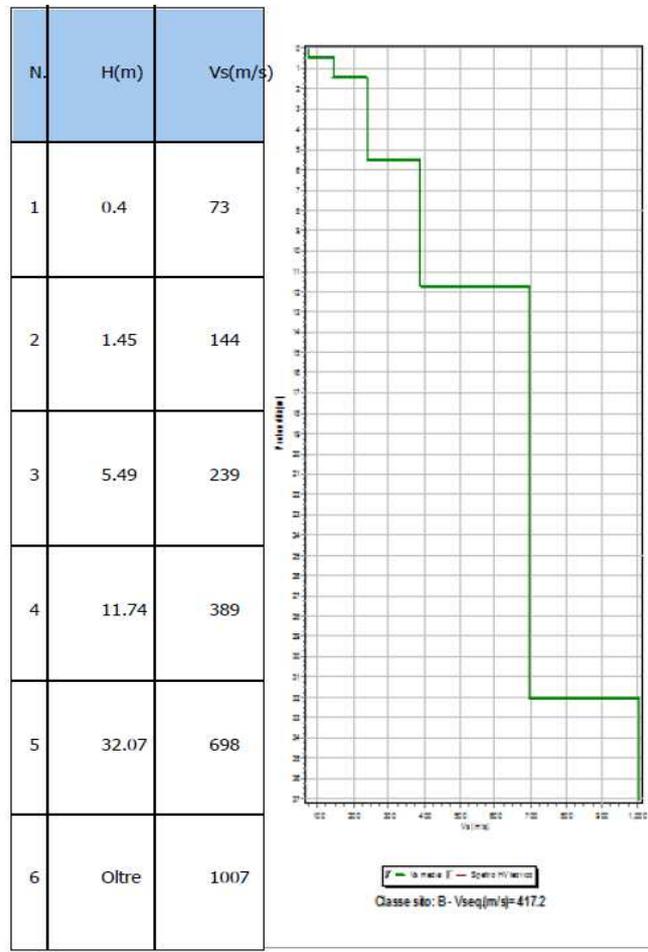
P81 (VN011)



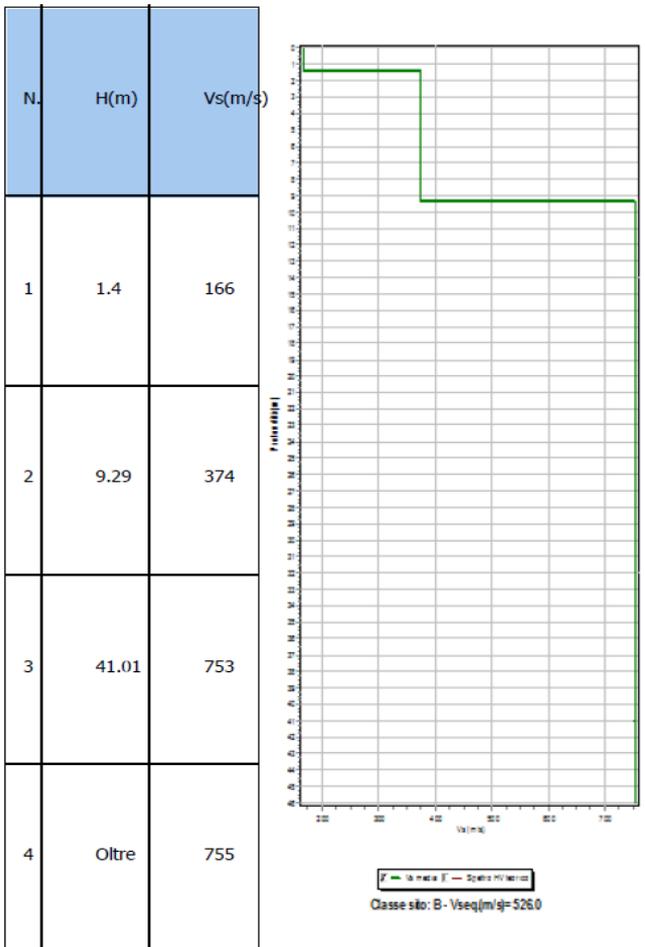
P82 (VN012)



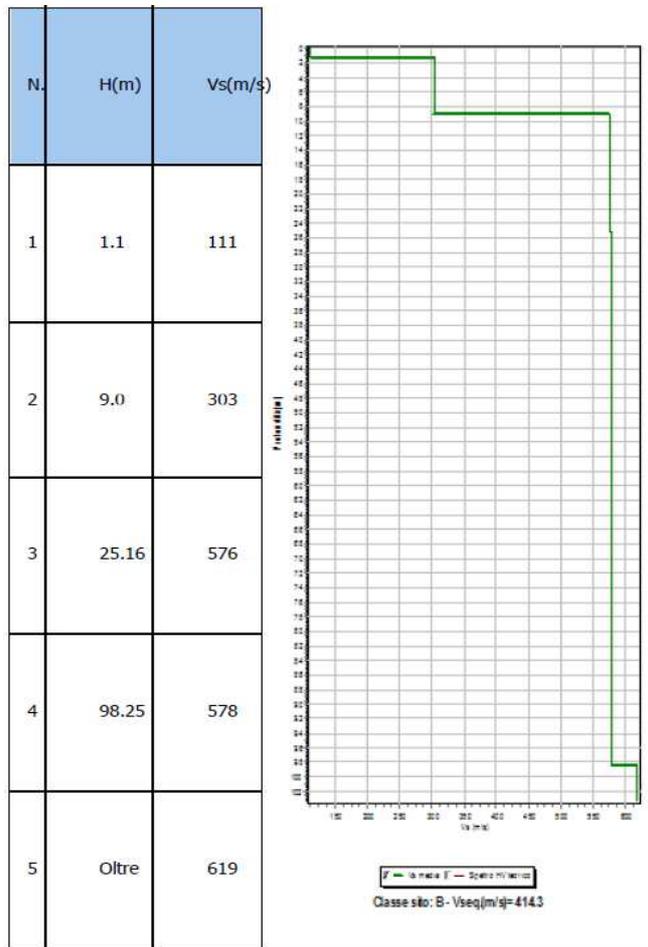
P83 (VN013)



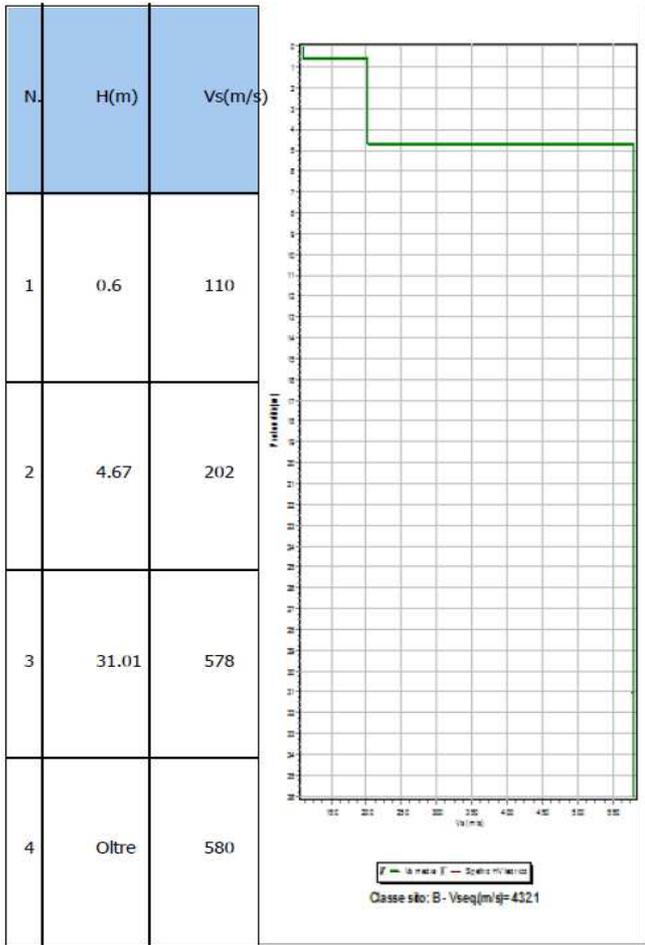
P84 (VN014)



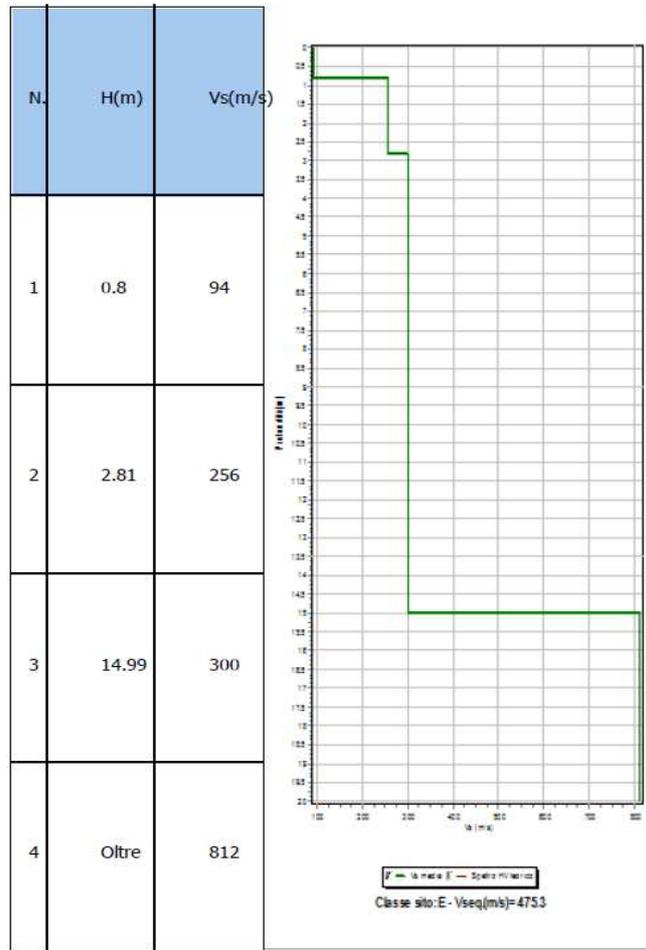
P85 (VN015)



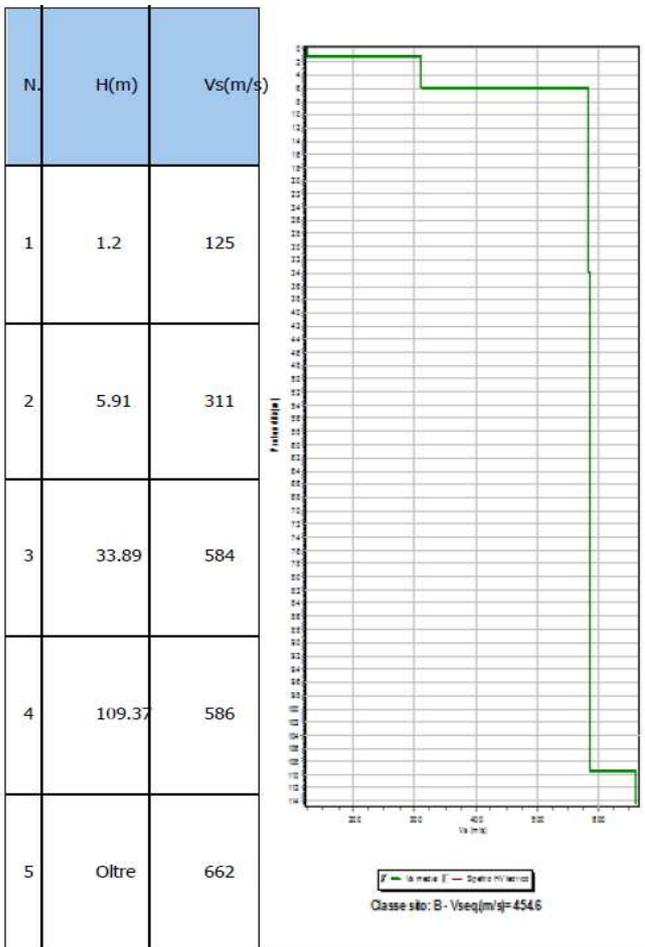
P86 (VN016)



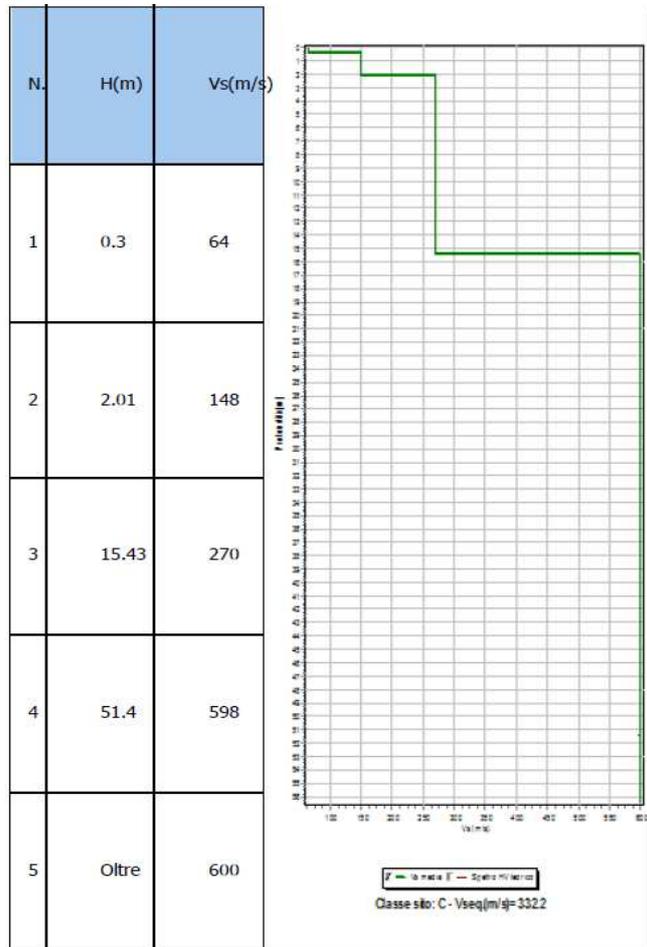
P87 (VN017)



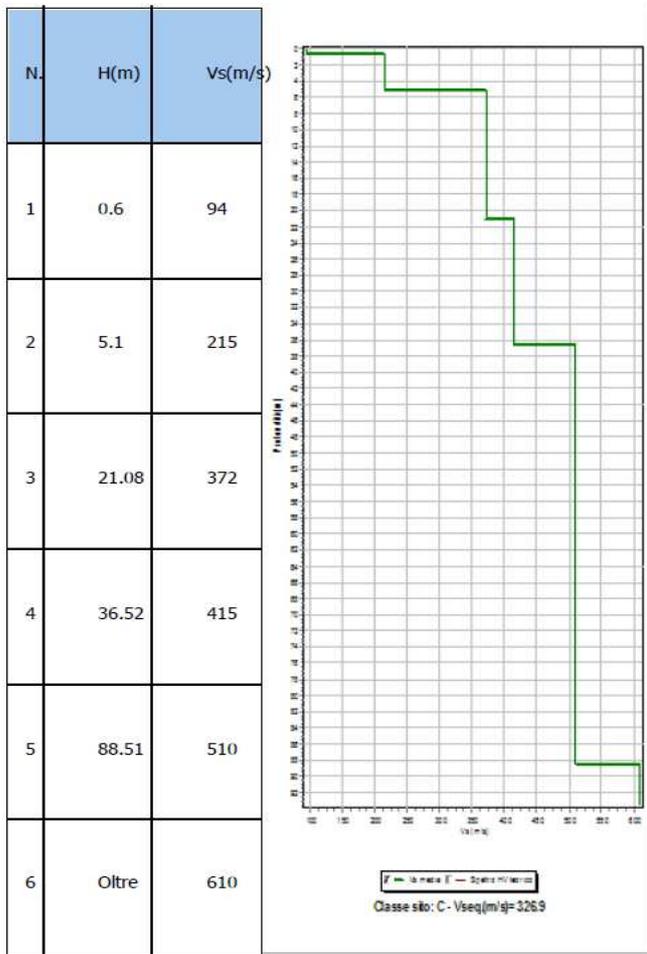
P88 (VN018)



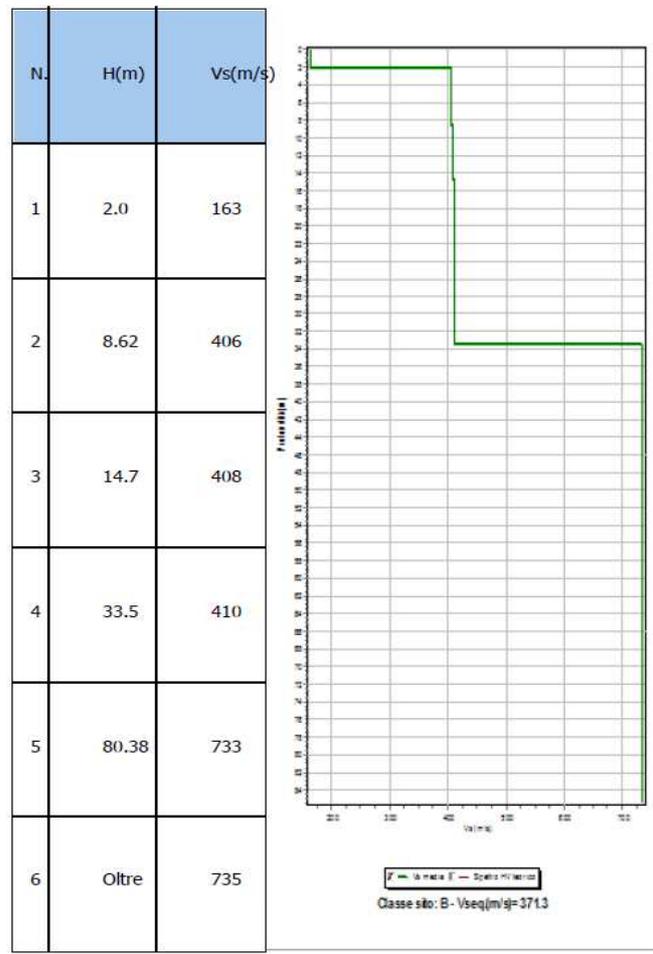
P89 (VN019)



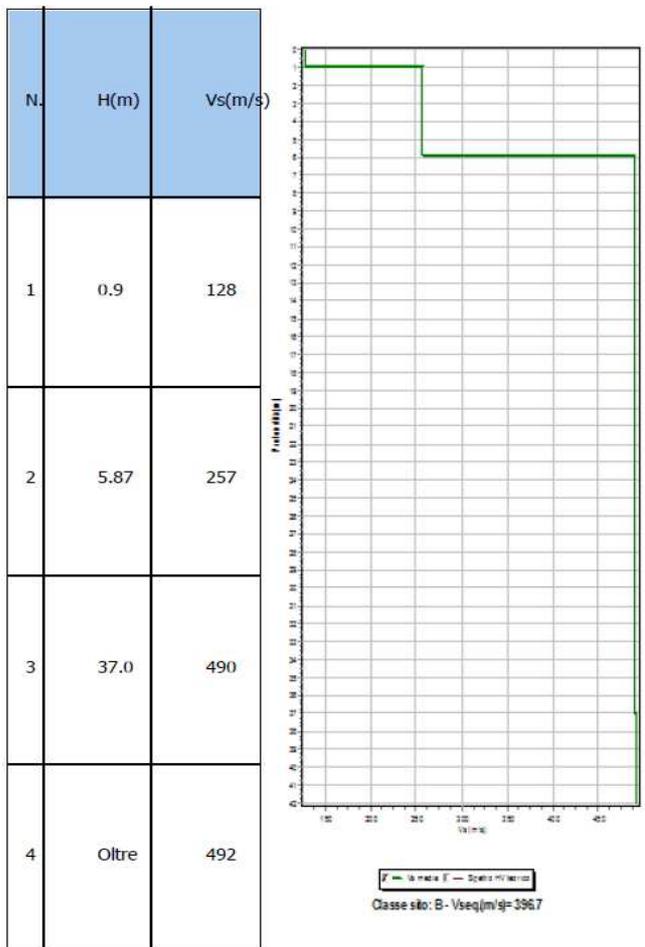
P90 (VN020)



P91 (VN021)



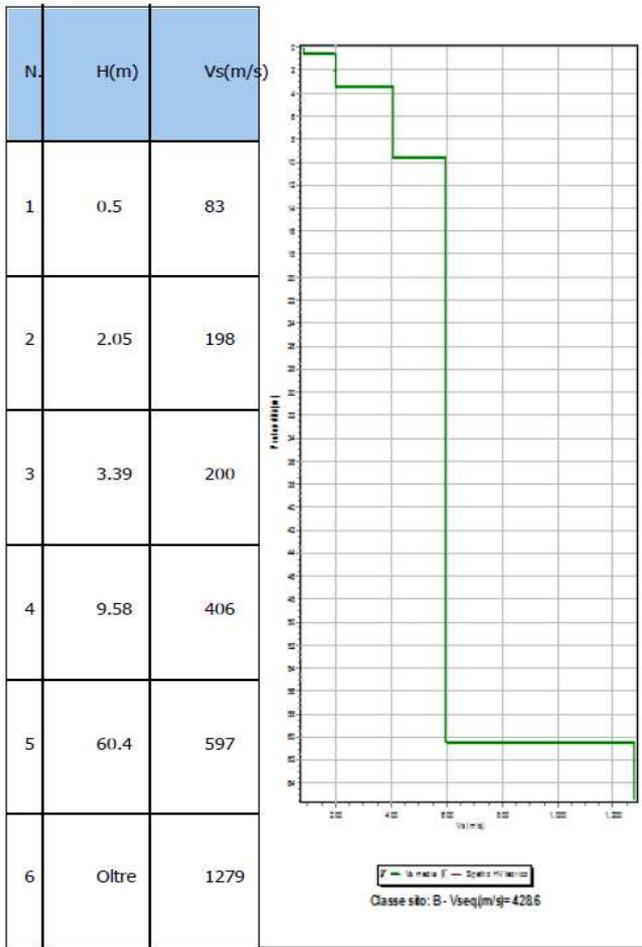
P92 (VN022)



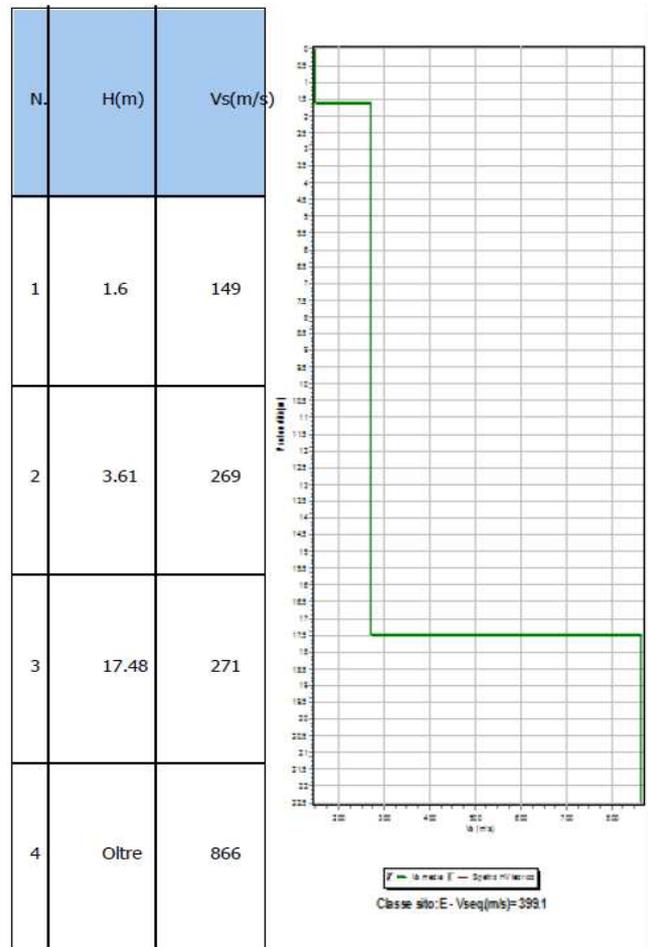
P93 (VN023)



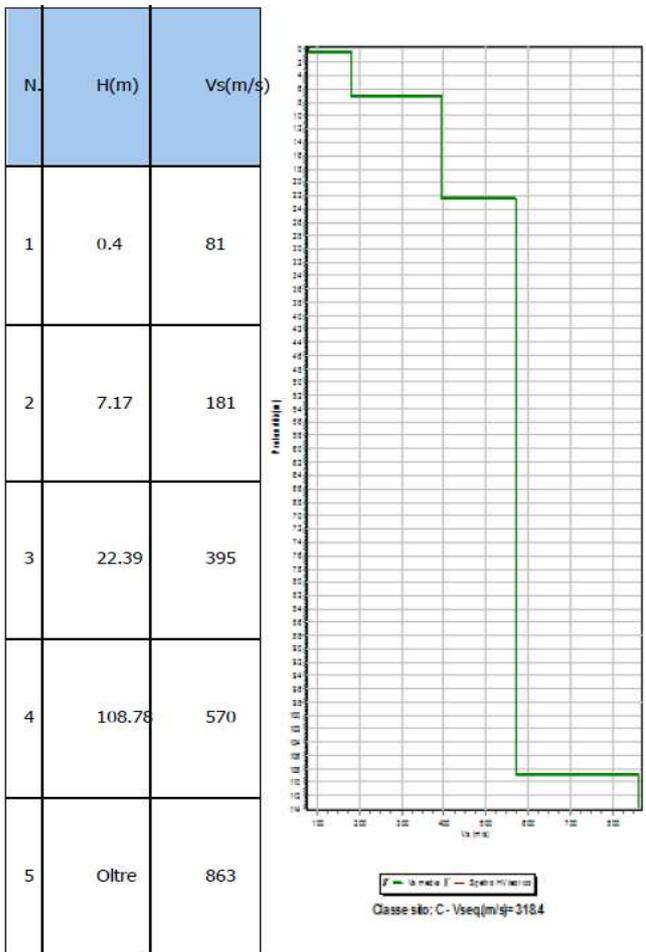
P94 (VN024)



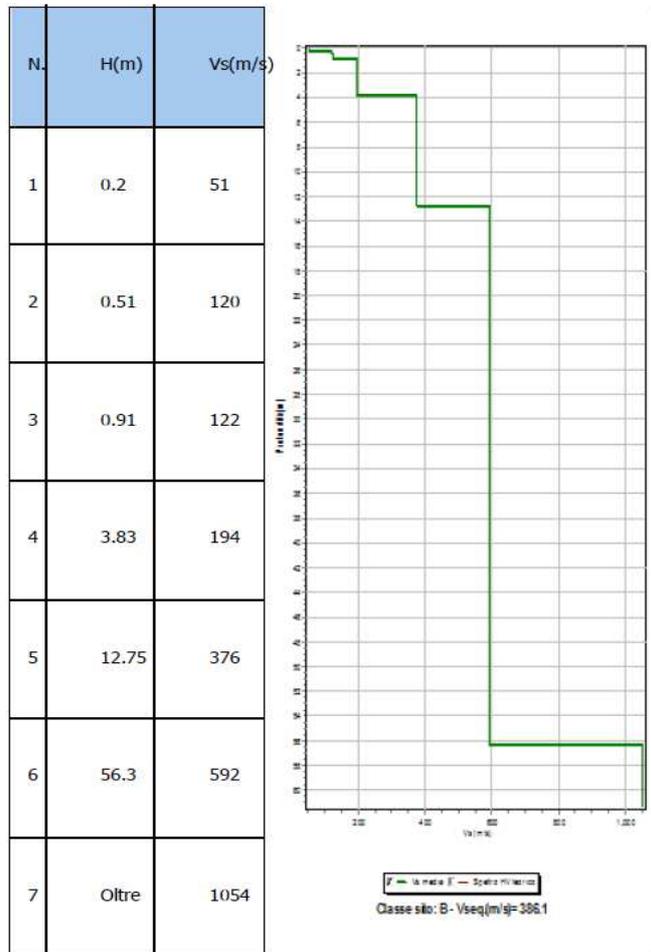
P95 (VN025)



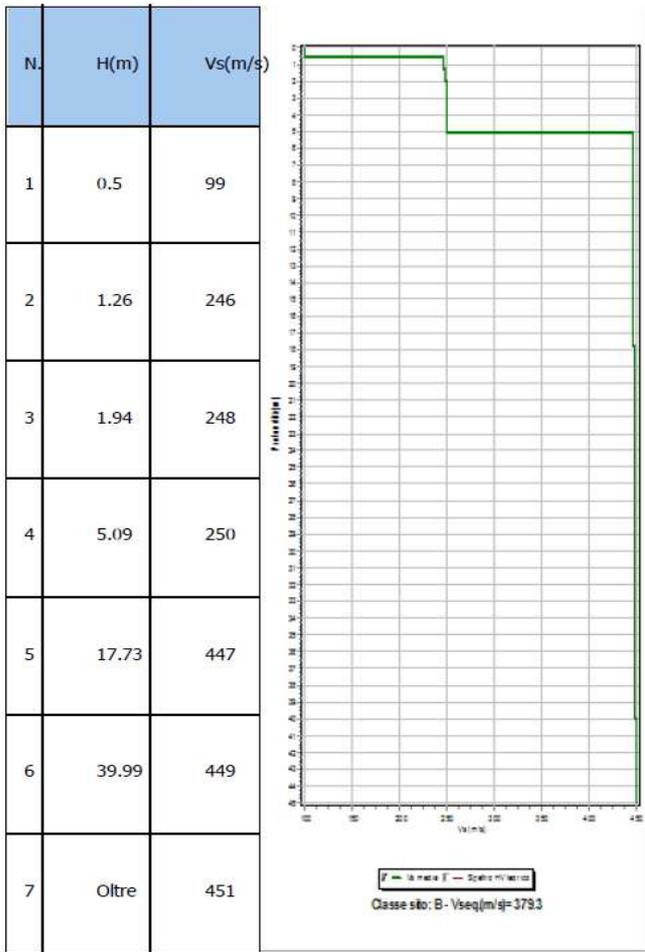
P96 (VN026)



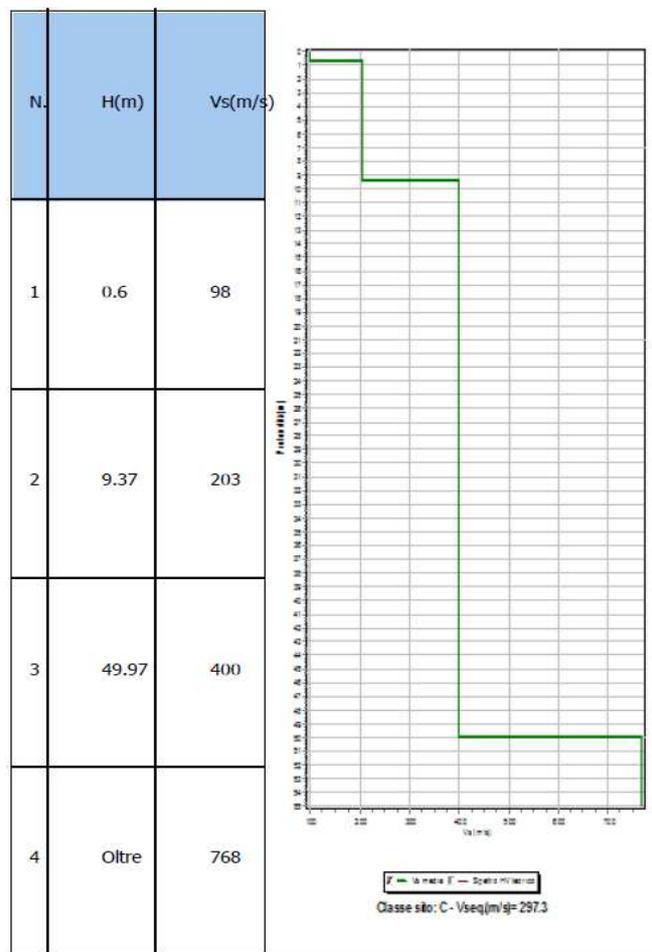
P97 (VN027)



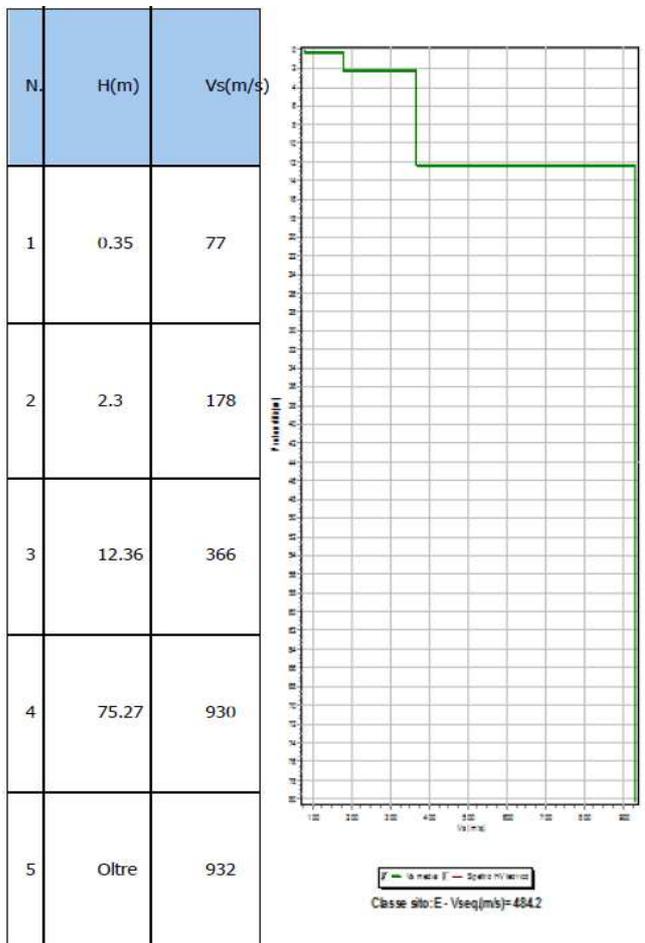
P98 (VN028)



P99 (VN029)



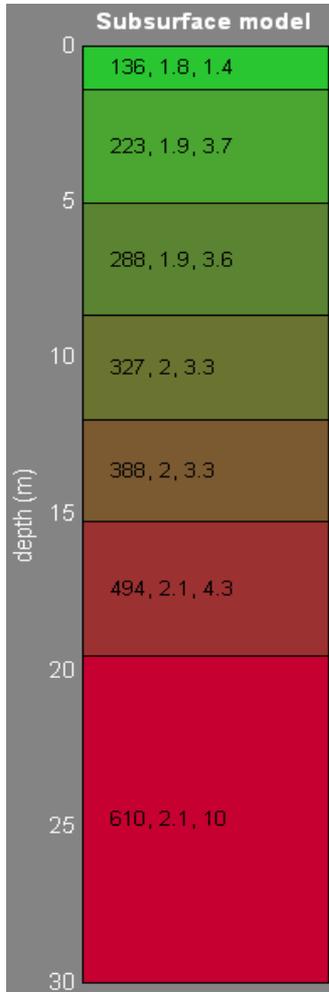
P100 (VN030)



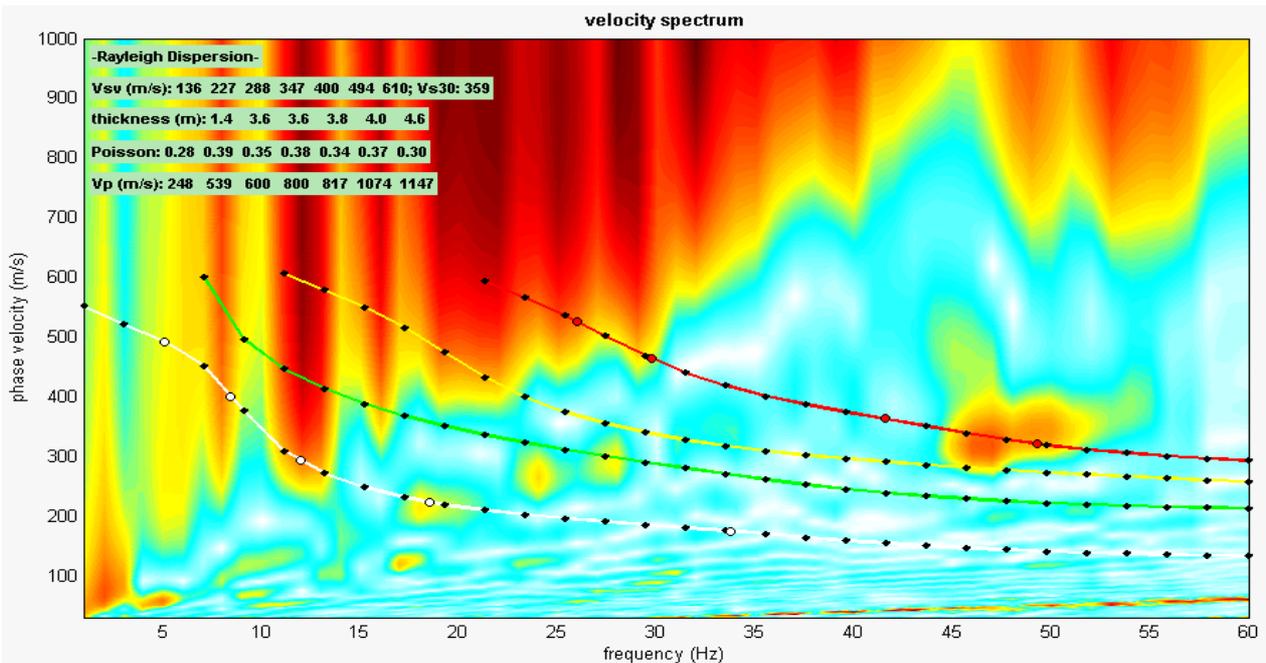
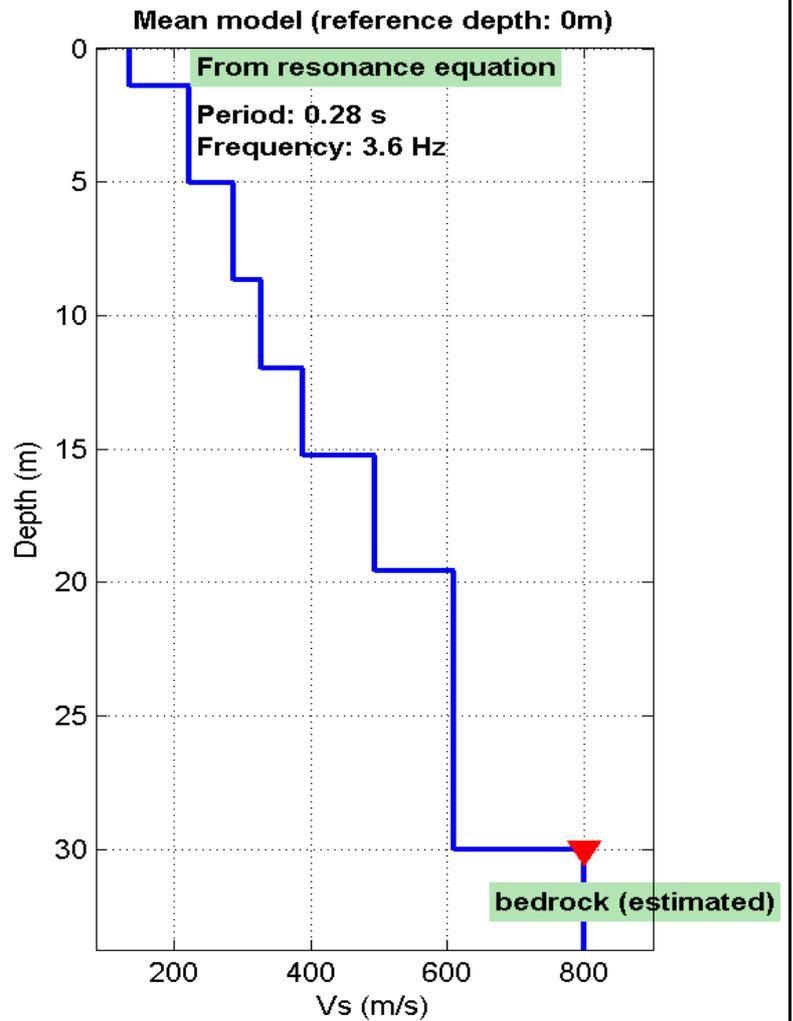
P101 (VN031)

ALLEGATO M

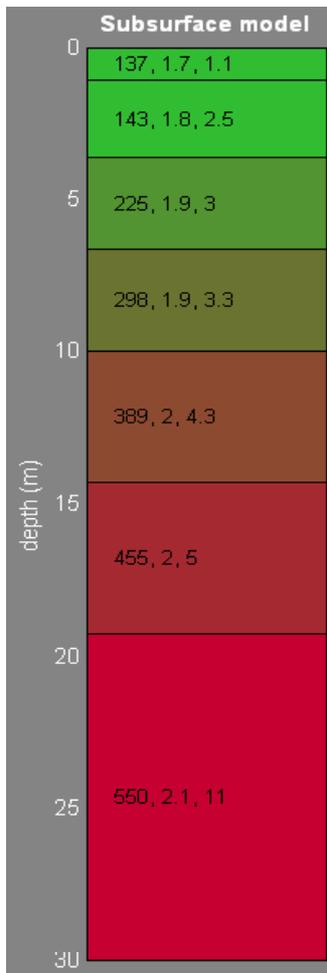
(INDAGINI GEOFISICHE MASW)



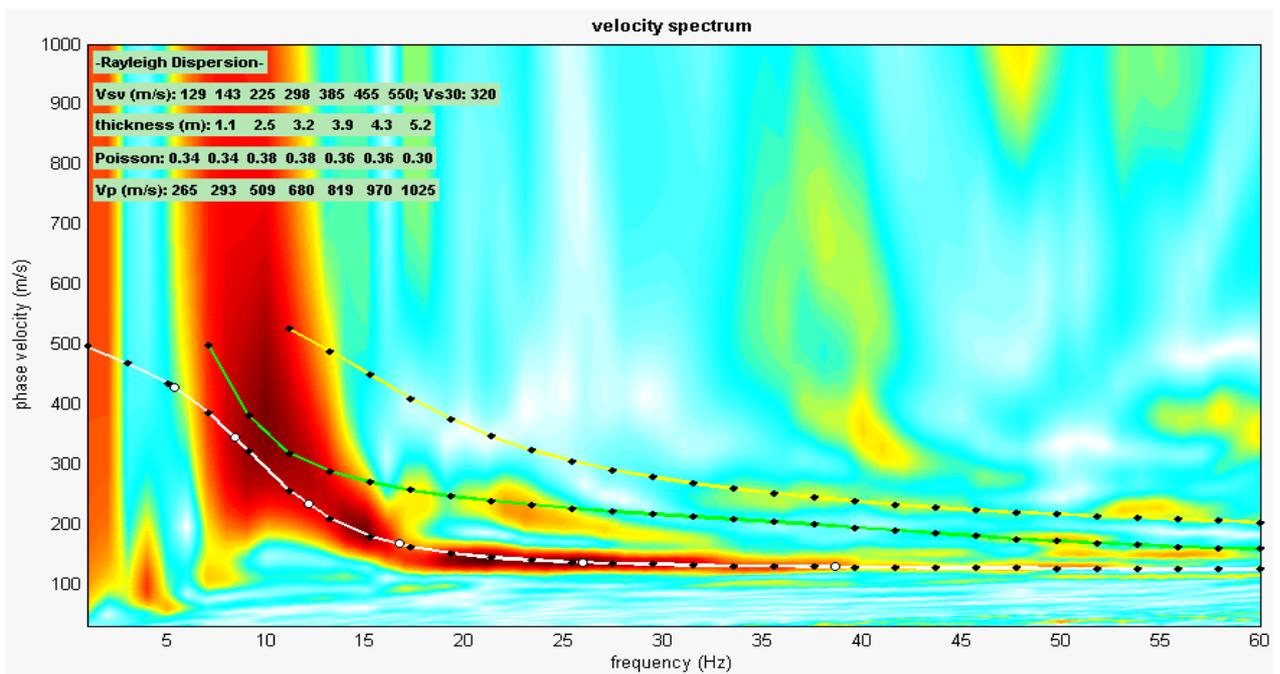
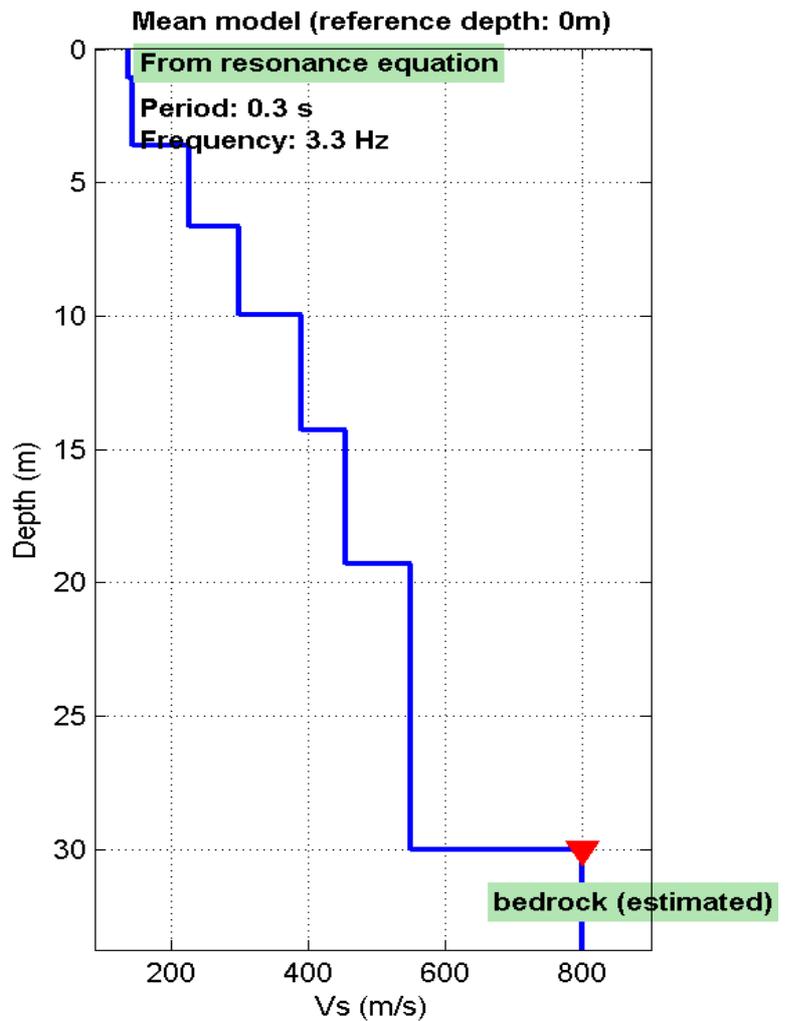
Vs eq = 359 m/s
 Classe NTC2018 = B-C



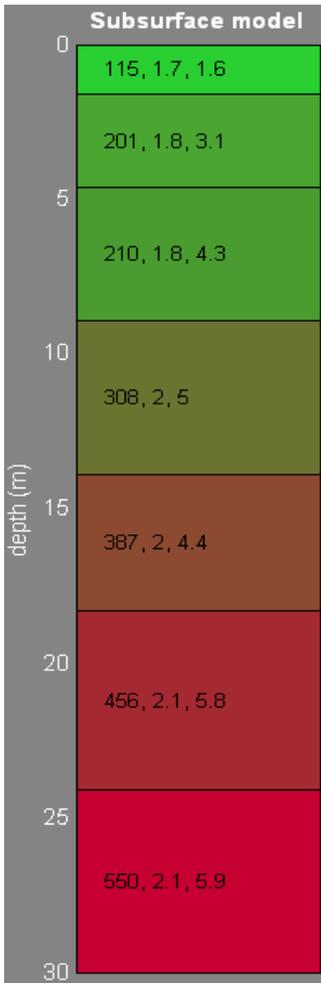
Allegato Mw 01



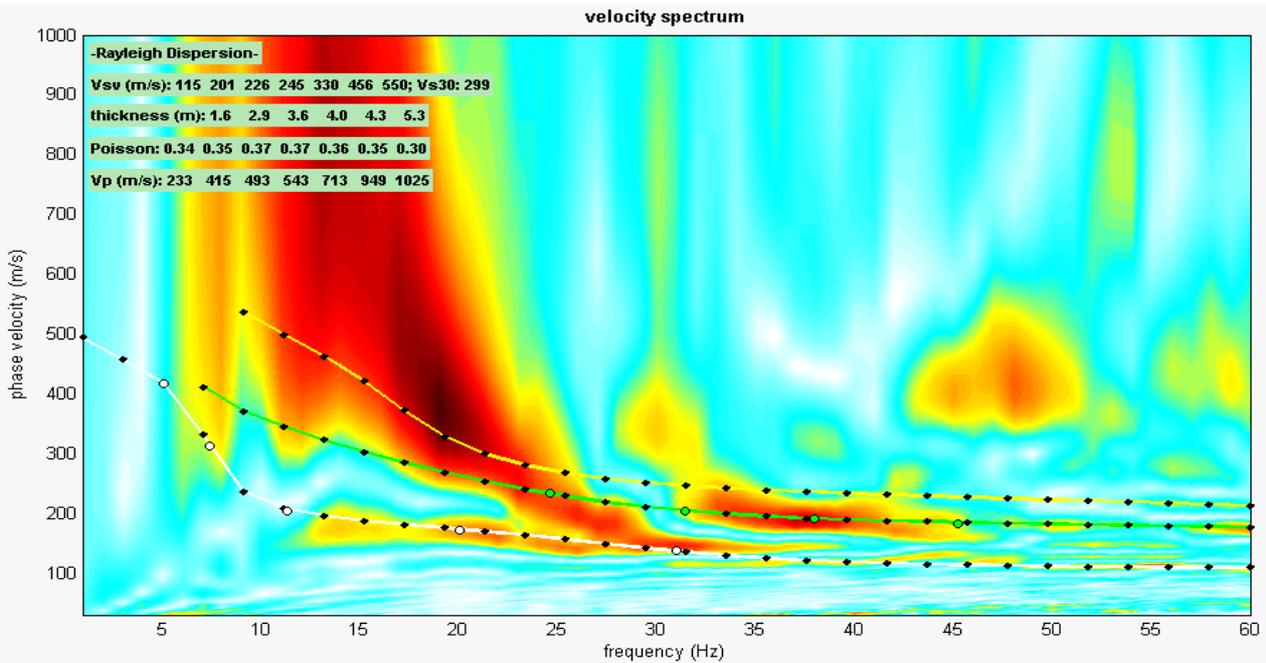
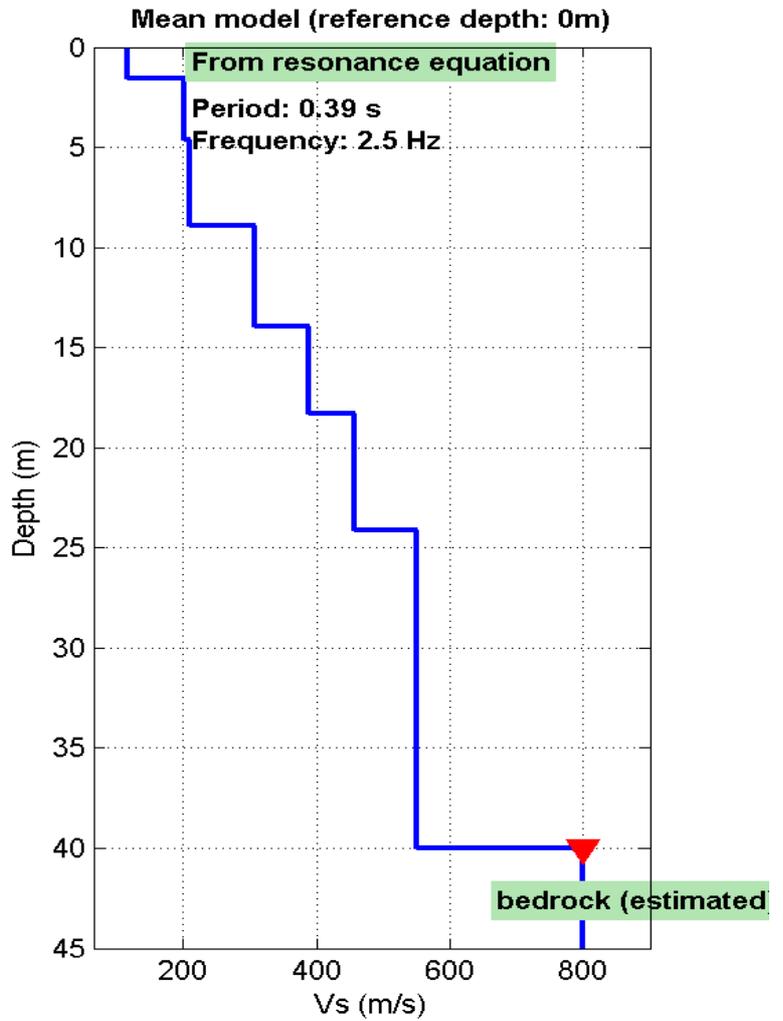
Vs eq = 326 m/s
 Classe NTC2018 = C

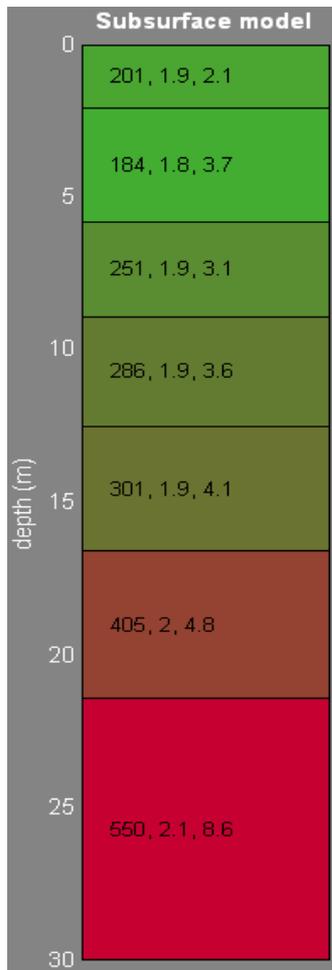


Allegato Mw 02

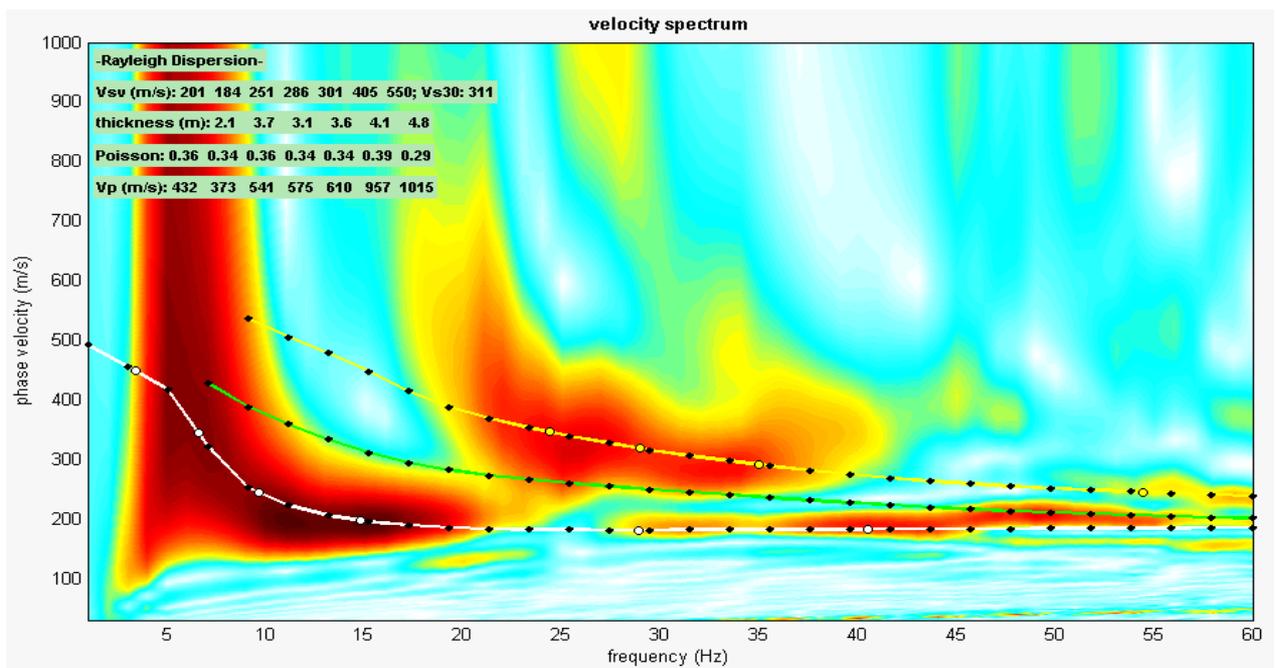
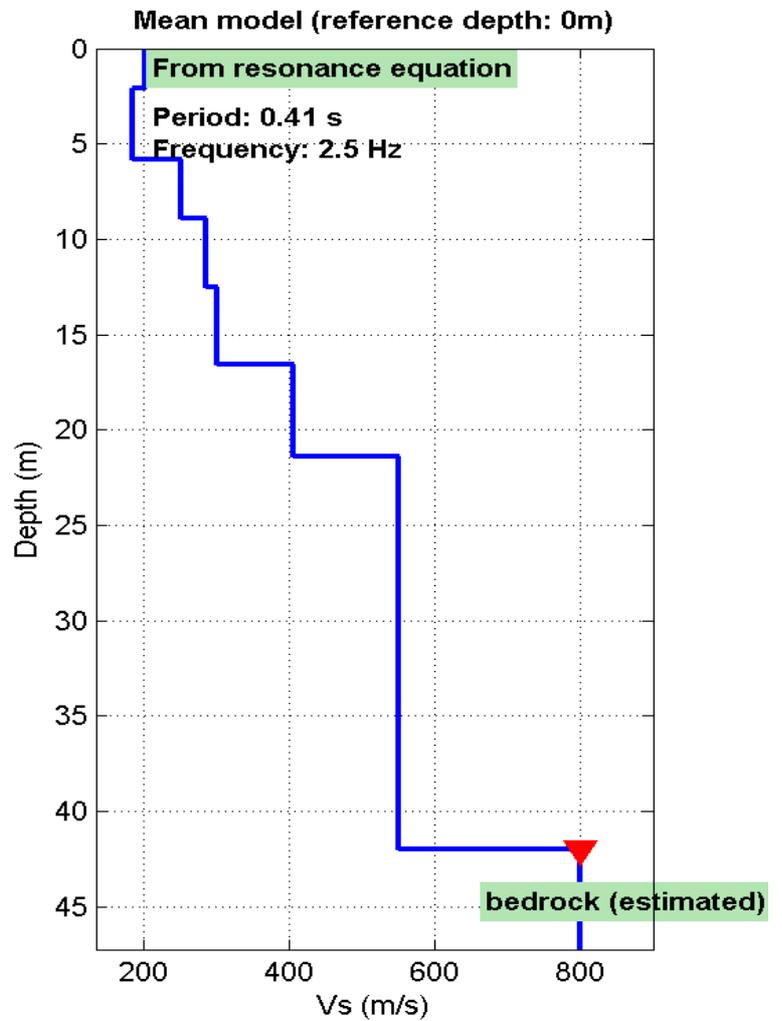


Vs eq = 299 m/s
 Classe NTC2018 = C

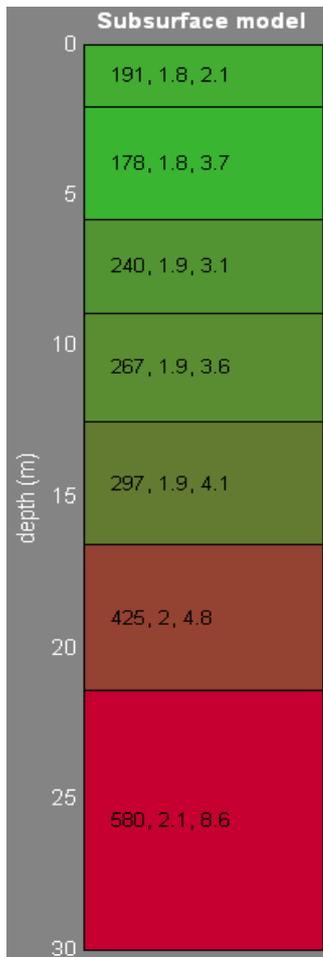




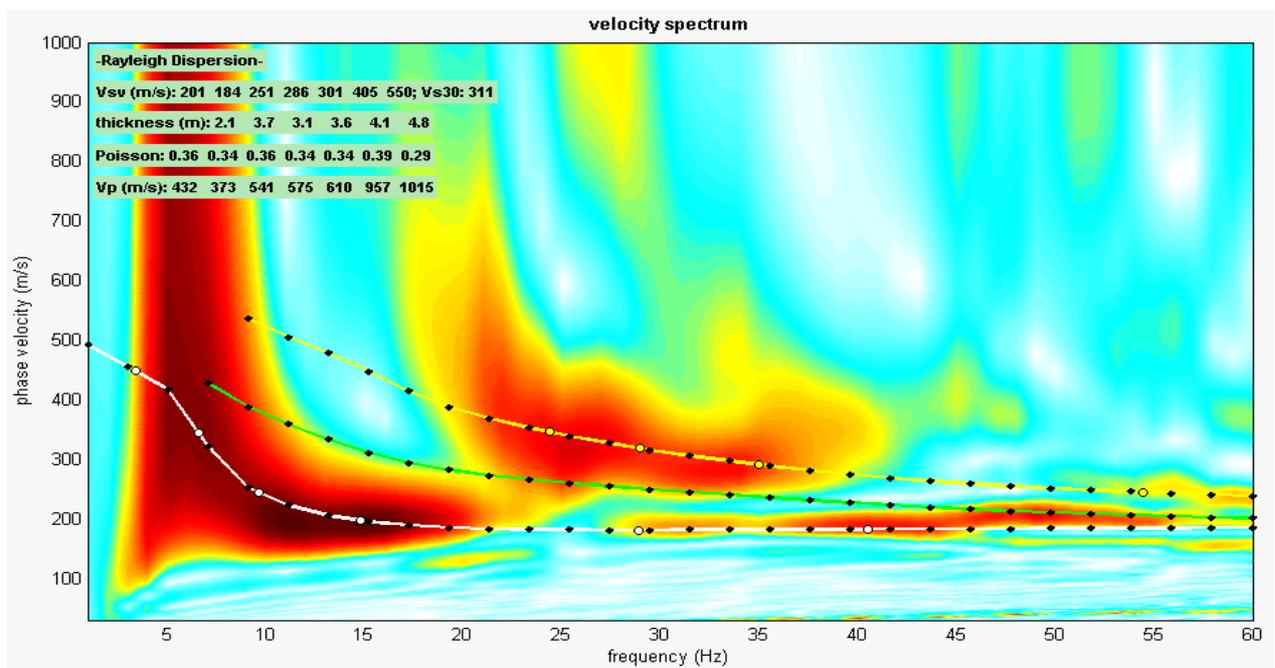
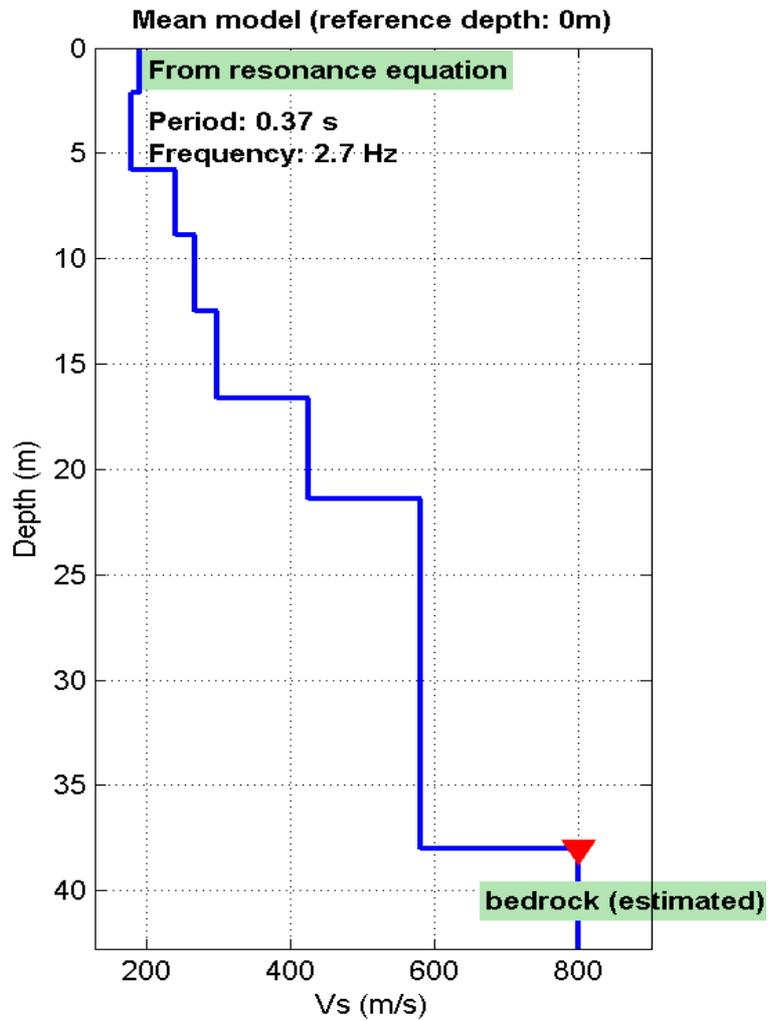
Vs eq = 311 m/s
 Classe NTC2018 = C



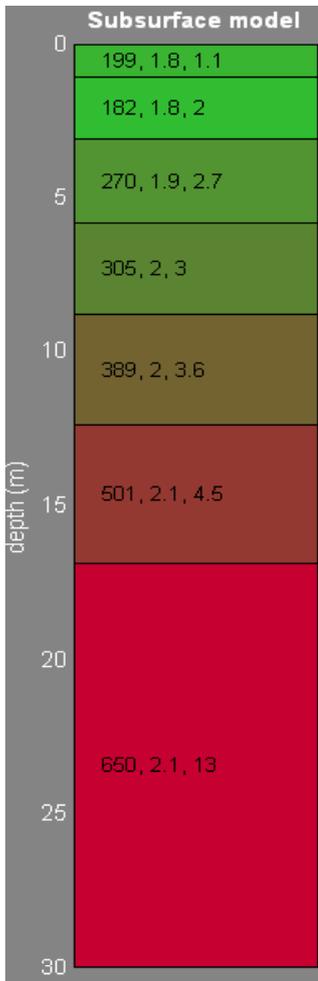
Allegato Mw 04



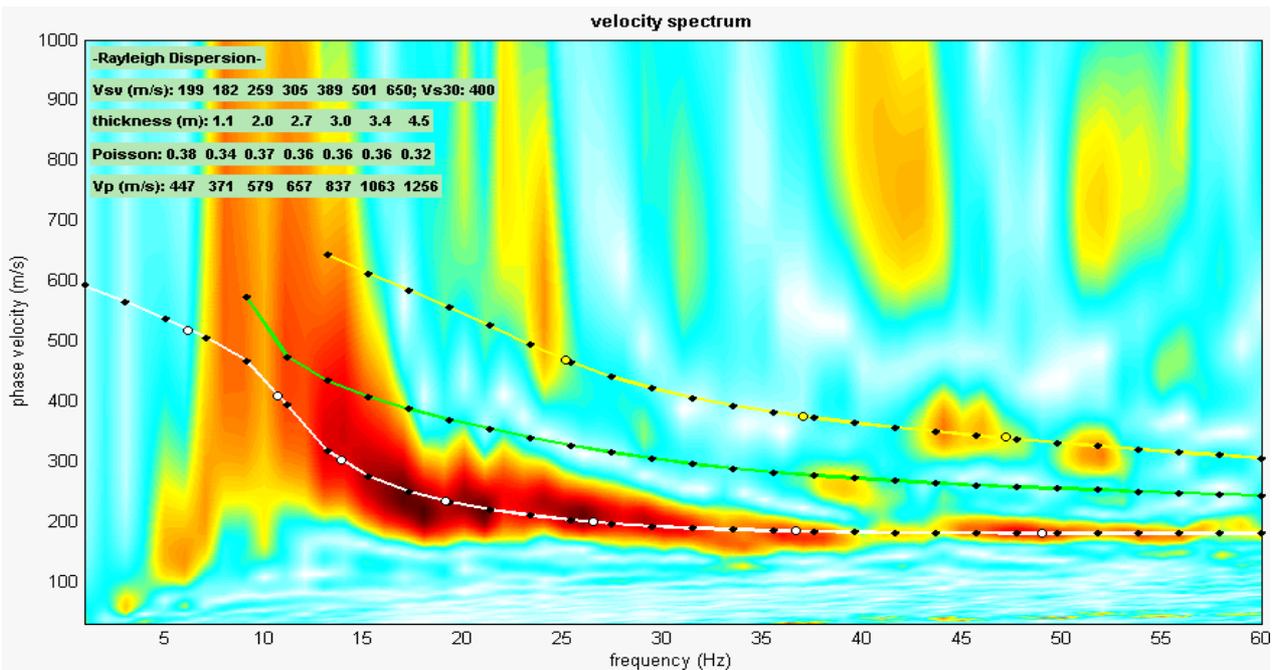
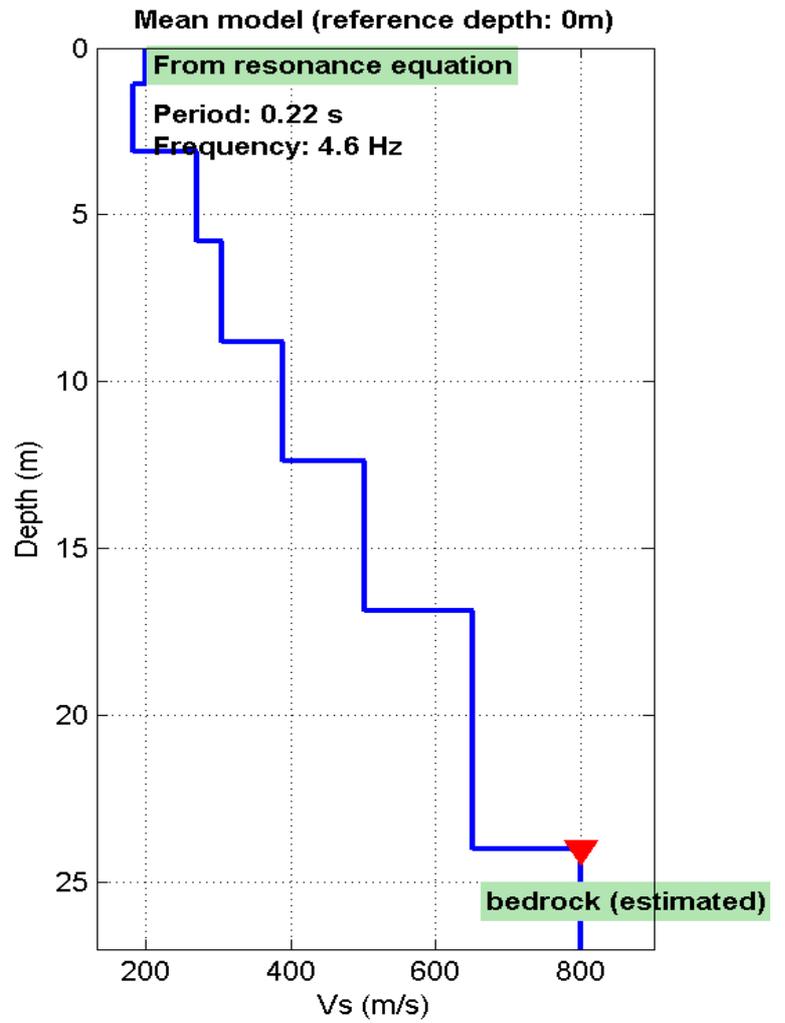
Vs eq = 311 m/s
 Classe NTC2018 = C



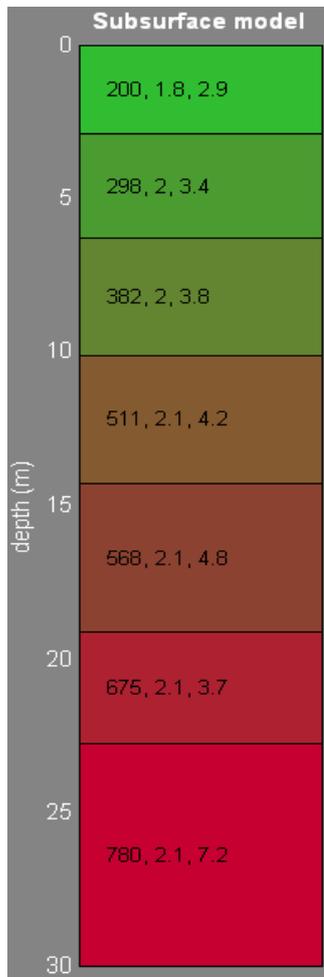
Allegato Mw 05



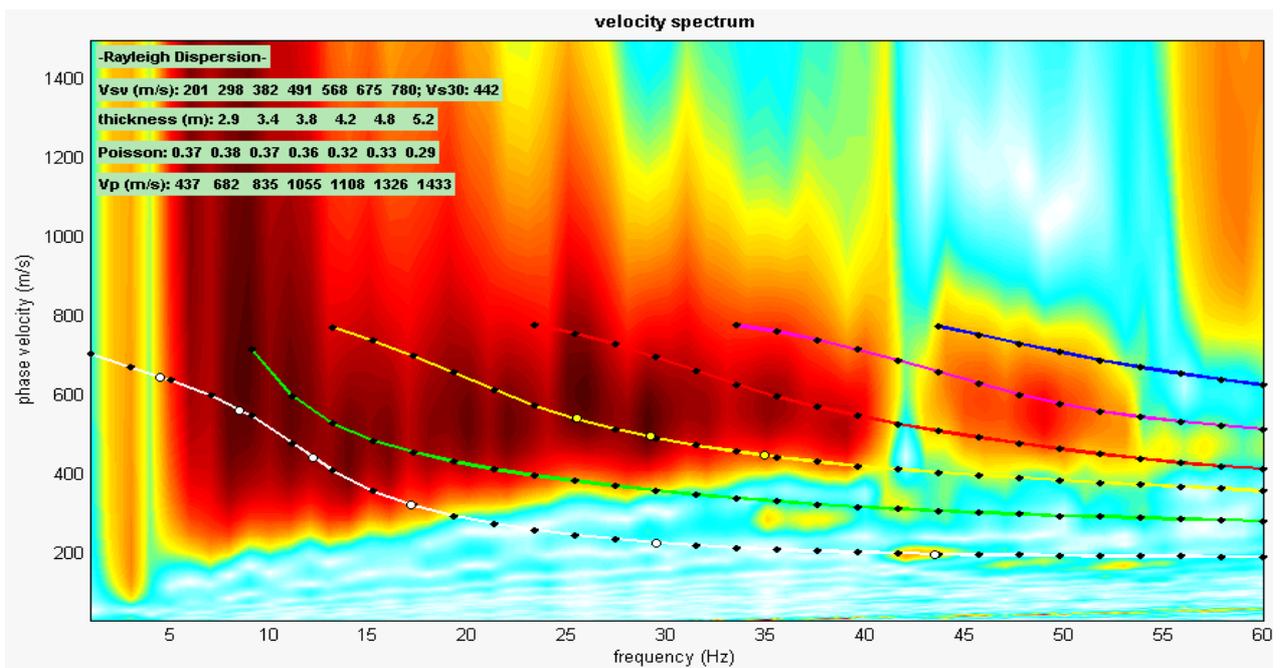
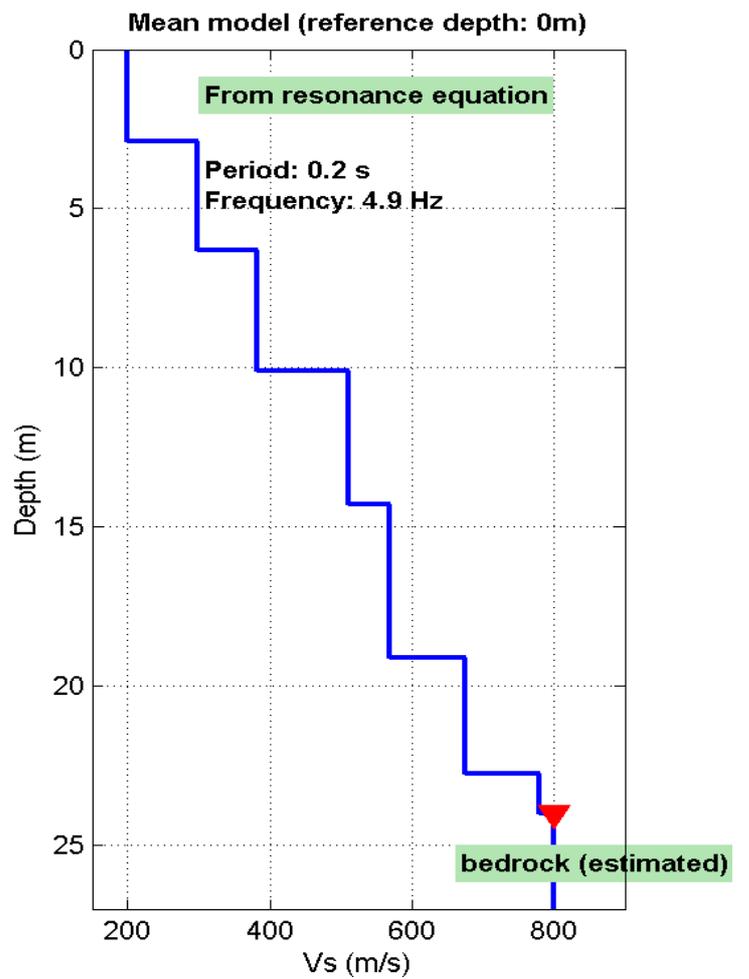
Vs eq = 400 m/s
 Classe NTC2018 = B



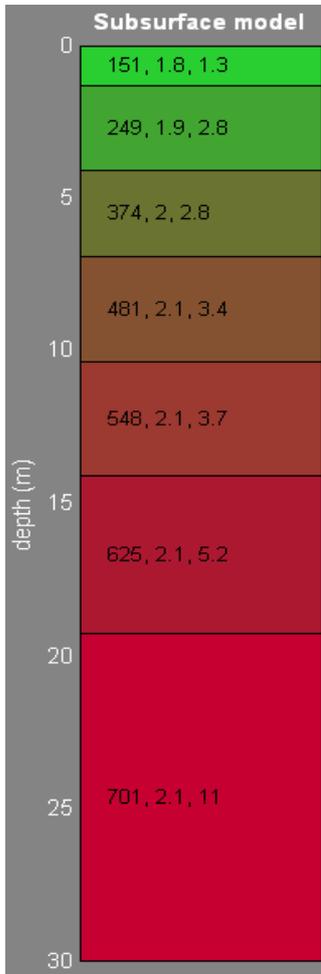
Allegato Mw 06



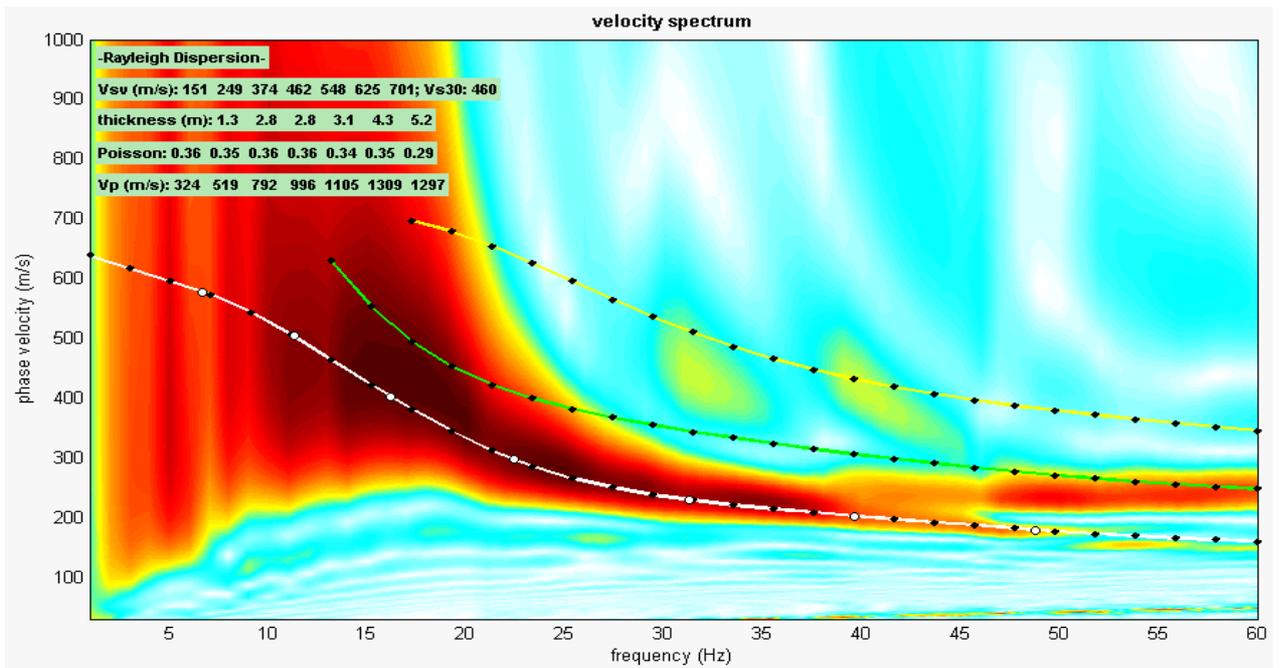
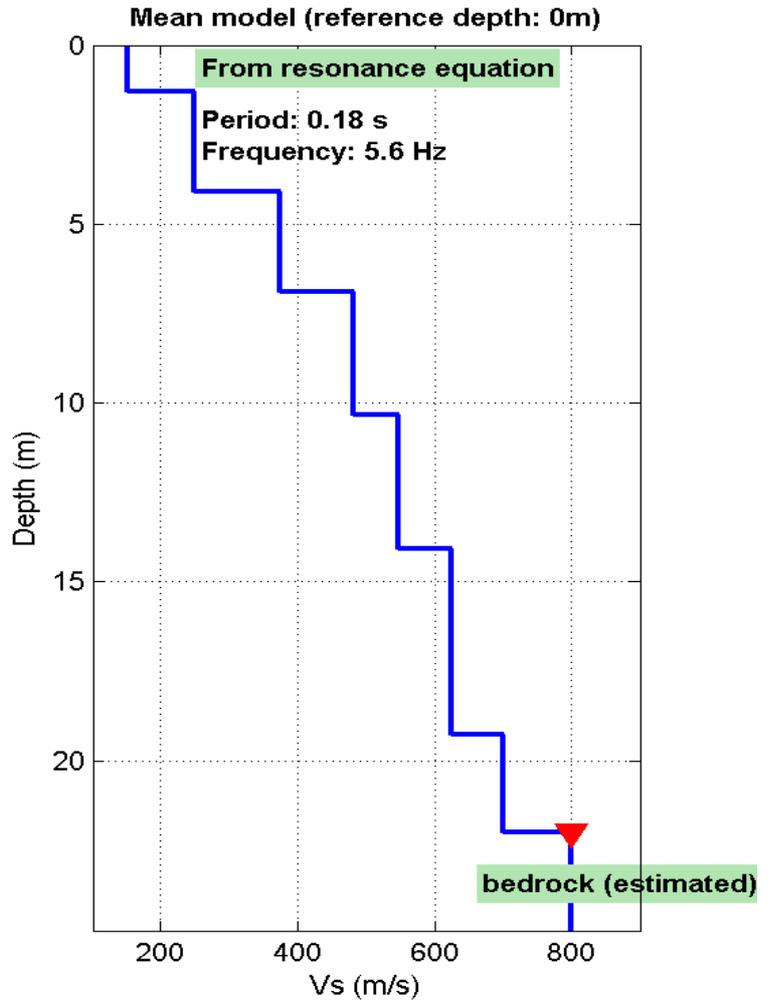
Vs eq = 442 m/s
 Classe NTC2018 = B



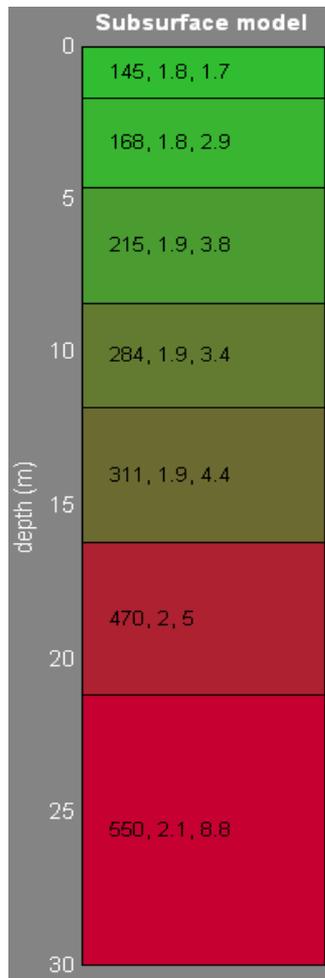
Allegato Mw 07



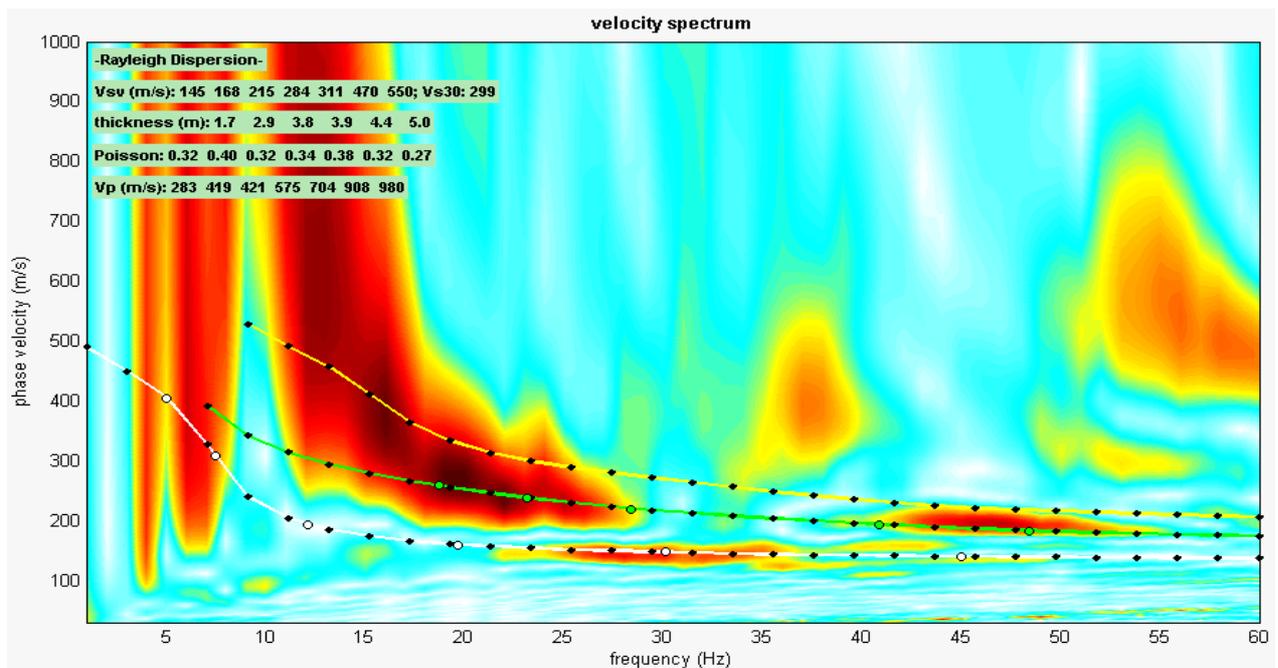
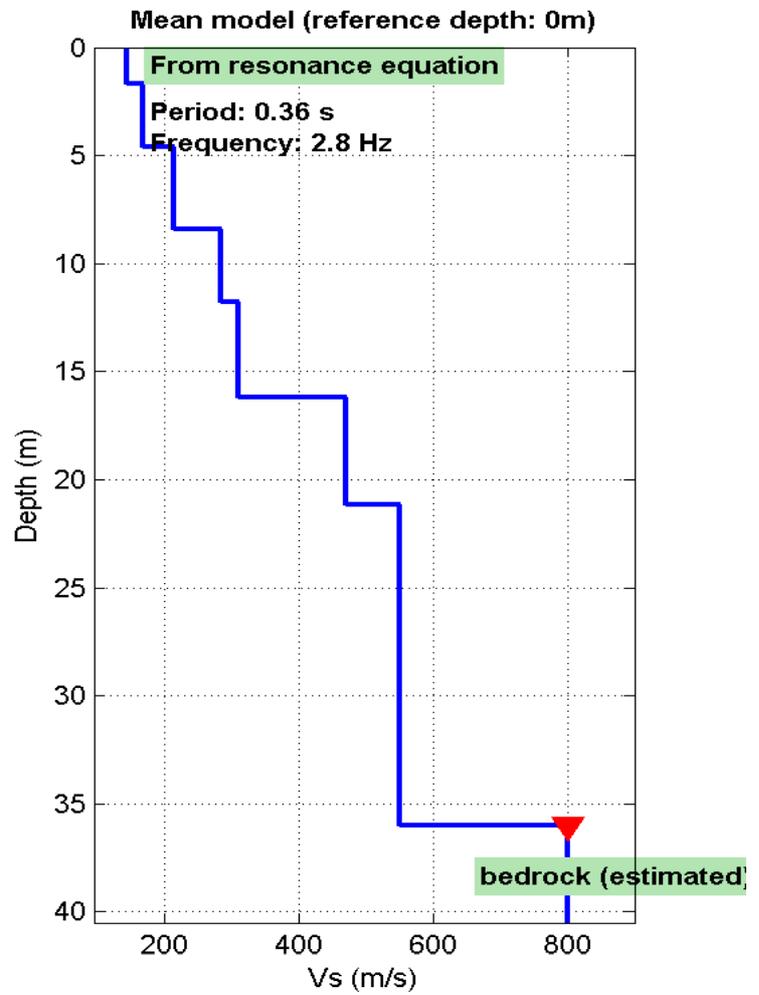
Vs eq = 460 m/s
 Classe NTC2018 = B

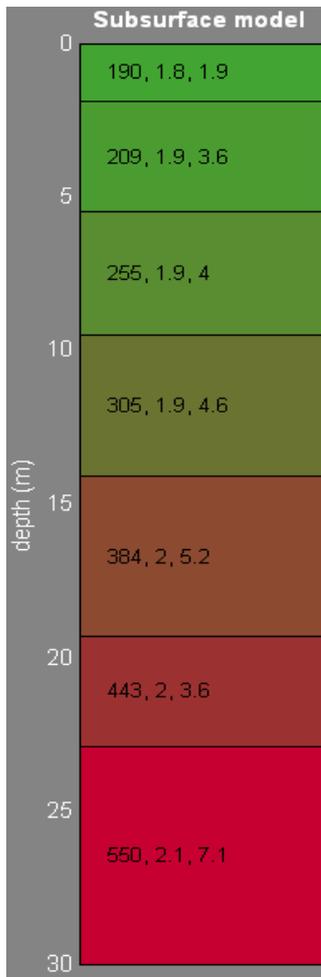


Allegato Mw 08

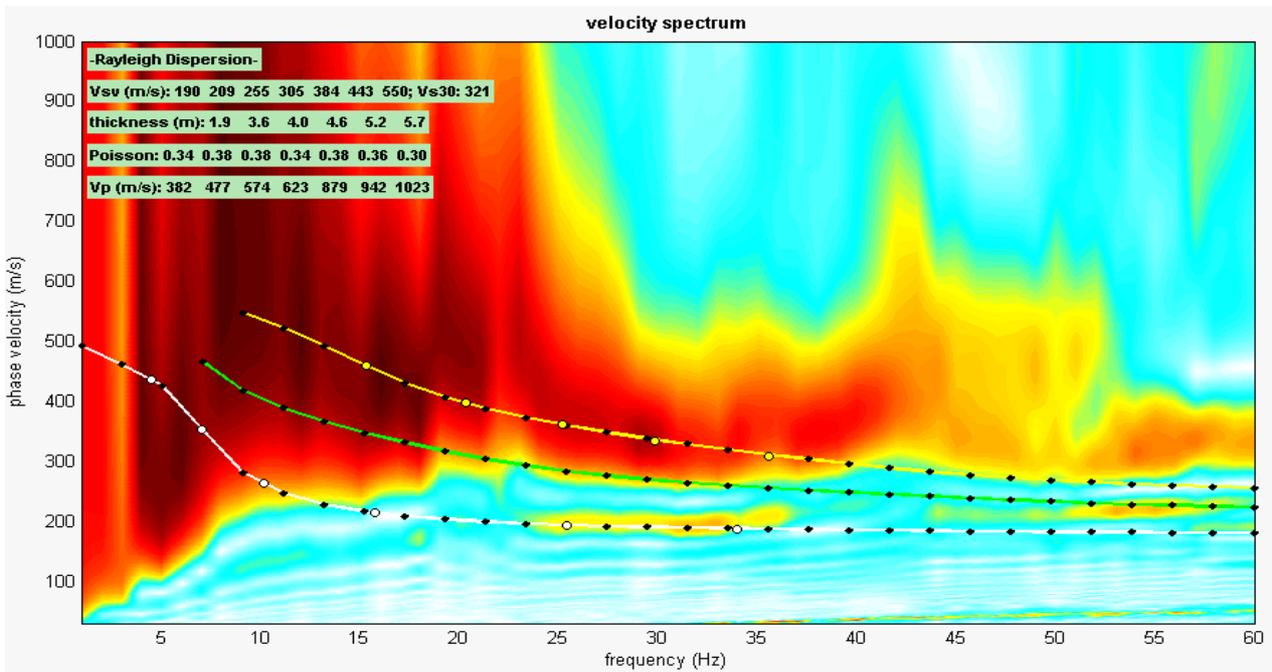
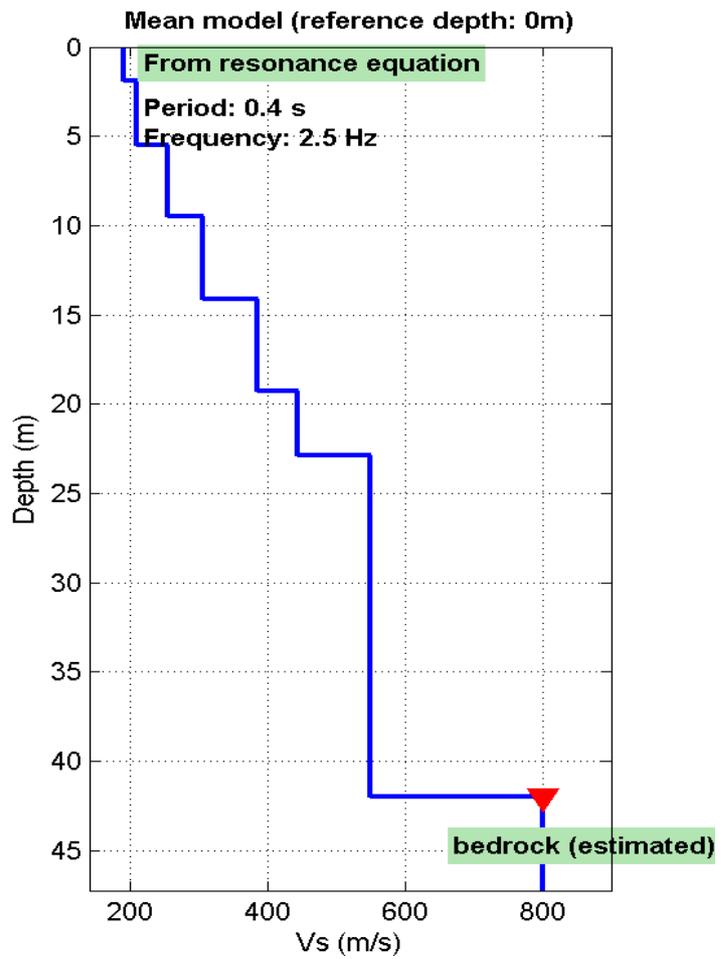


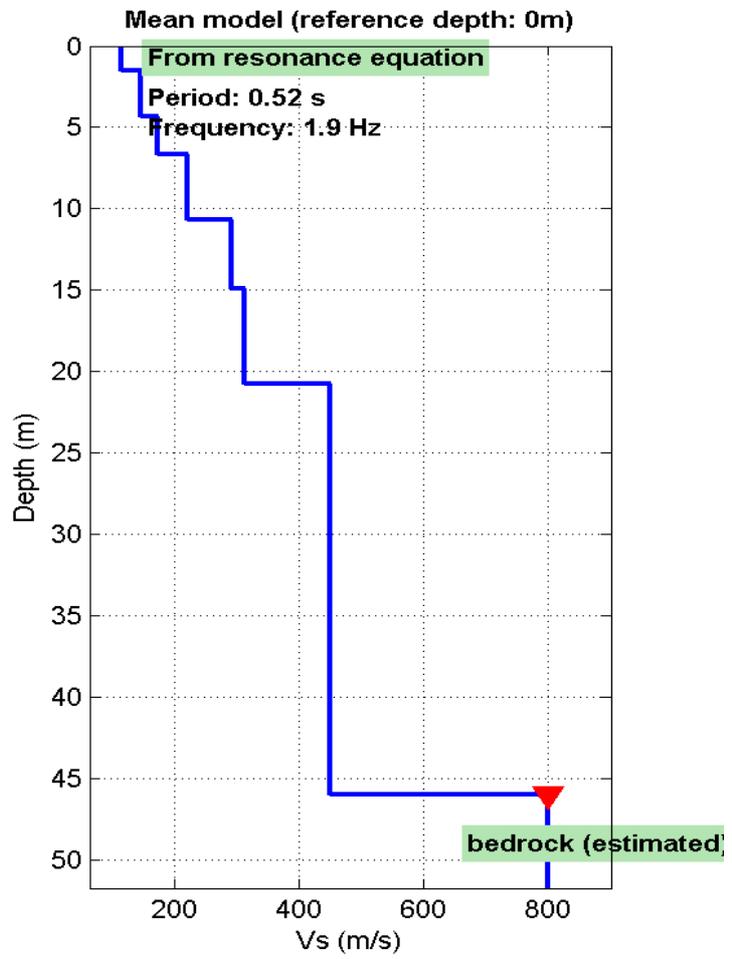
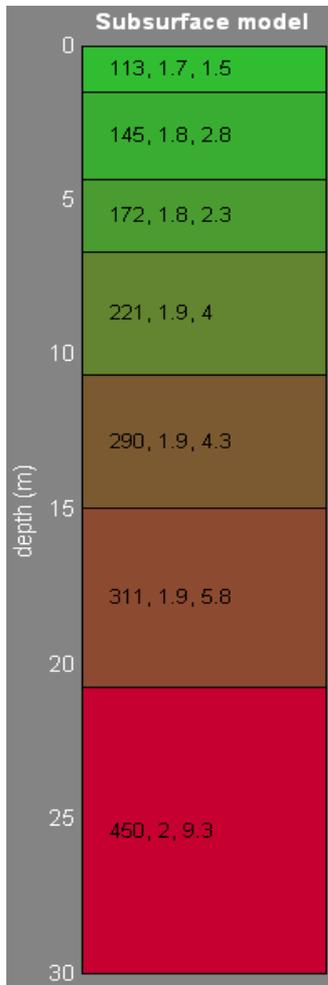
Vs eq = 299 m/s
 Classe NTC2018 = C



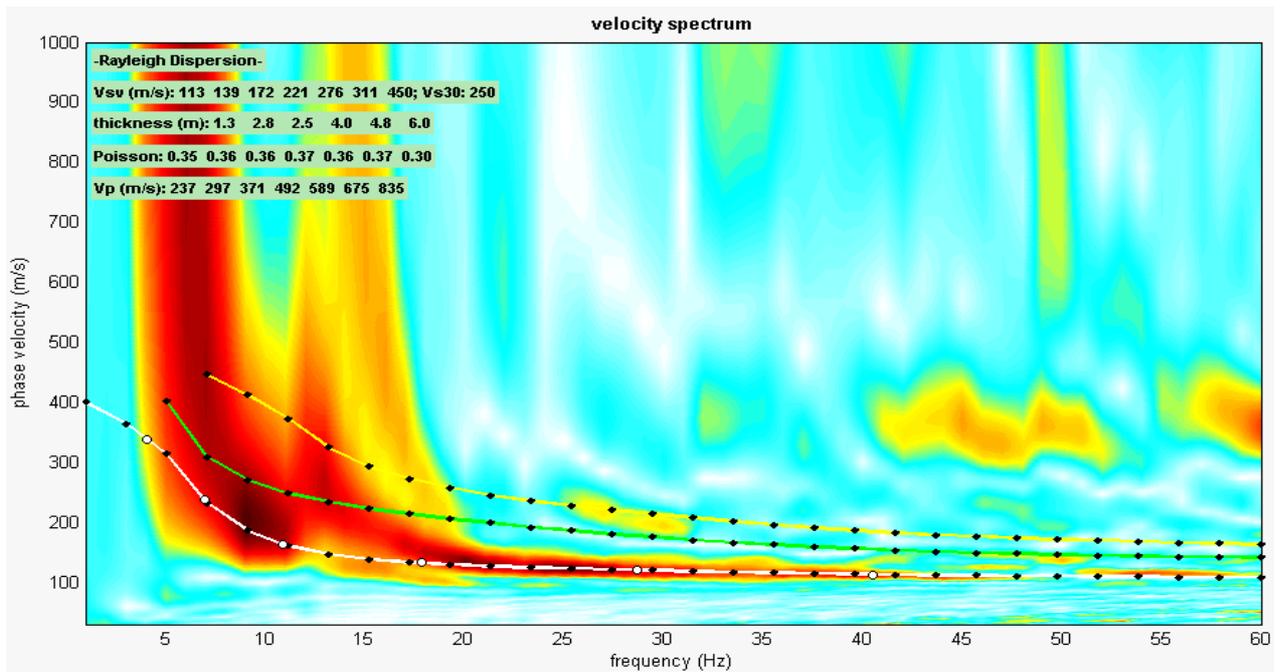


Vs eq = 321 m/s
 Classe NTC2018 = C

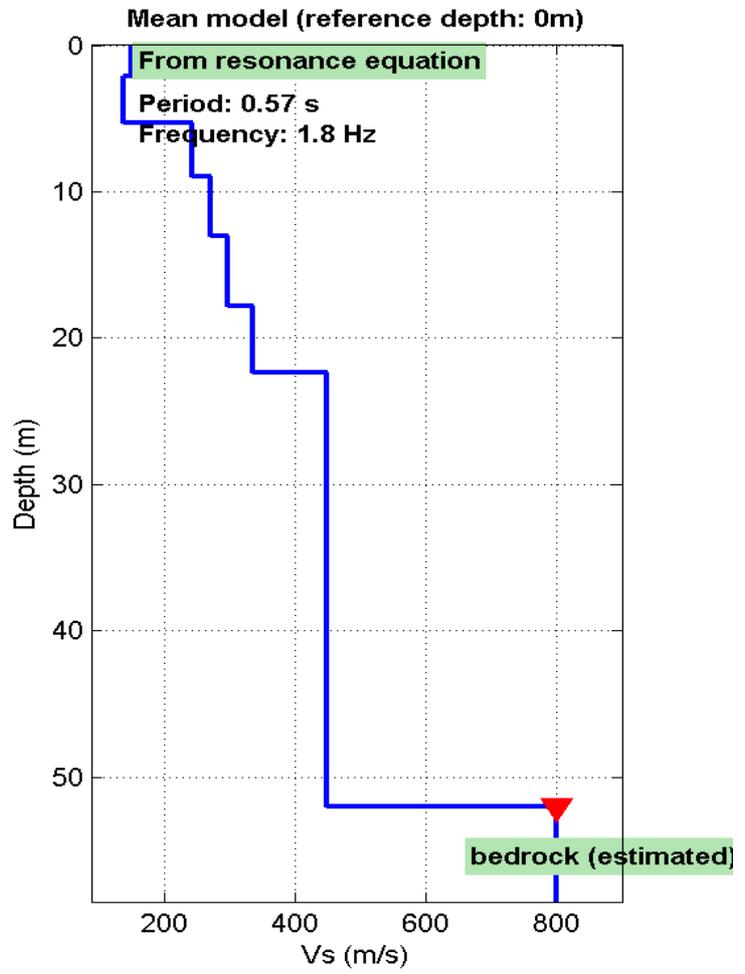
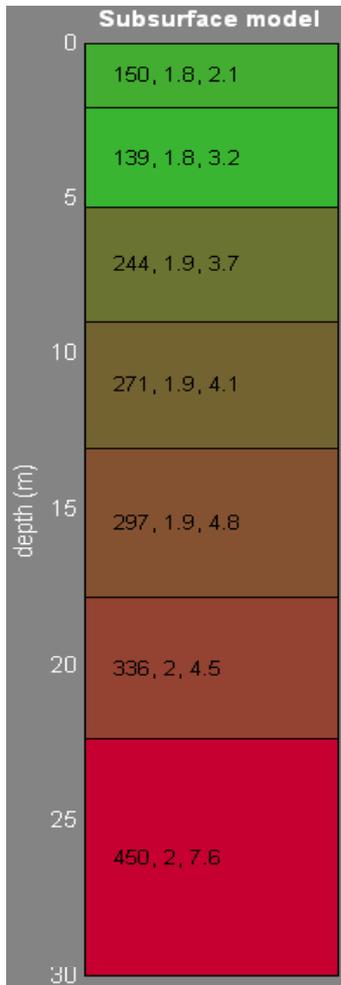




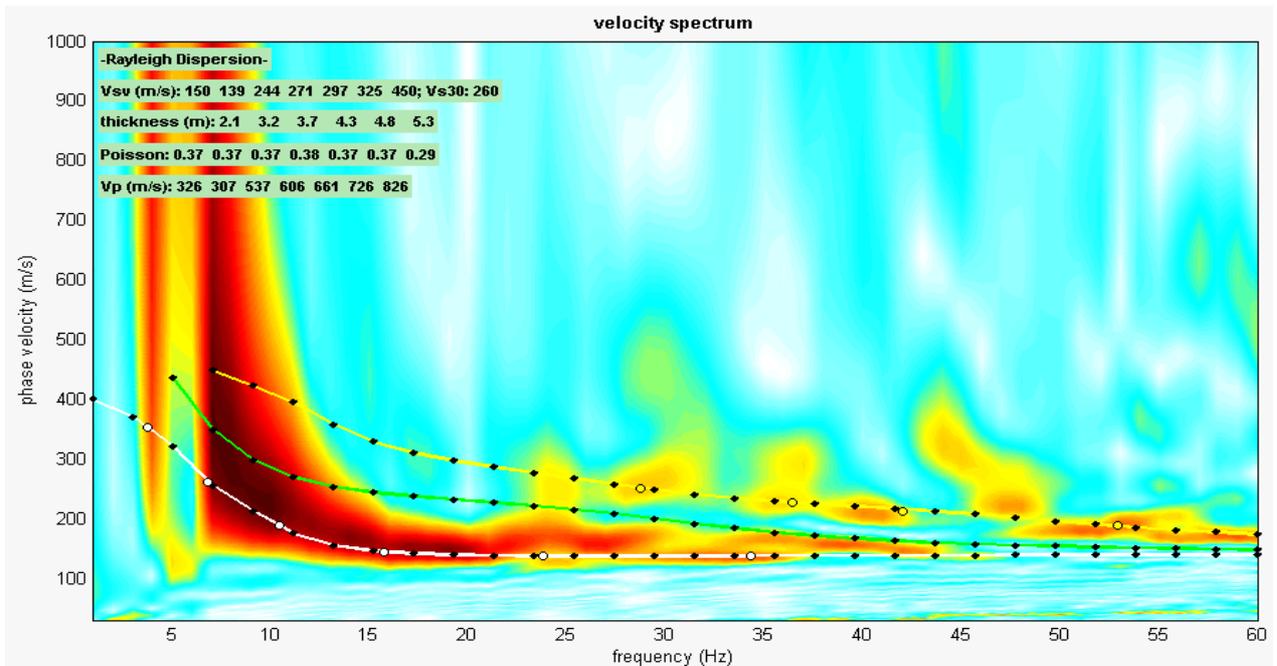
Vs eq = 250 m/s
 Classe NTC2018 = C

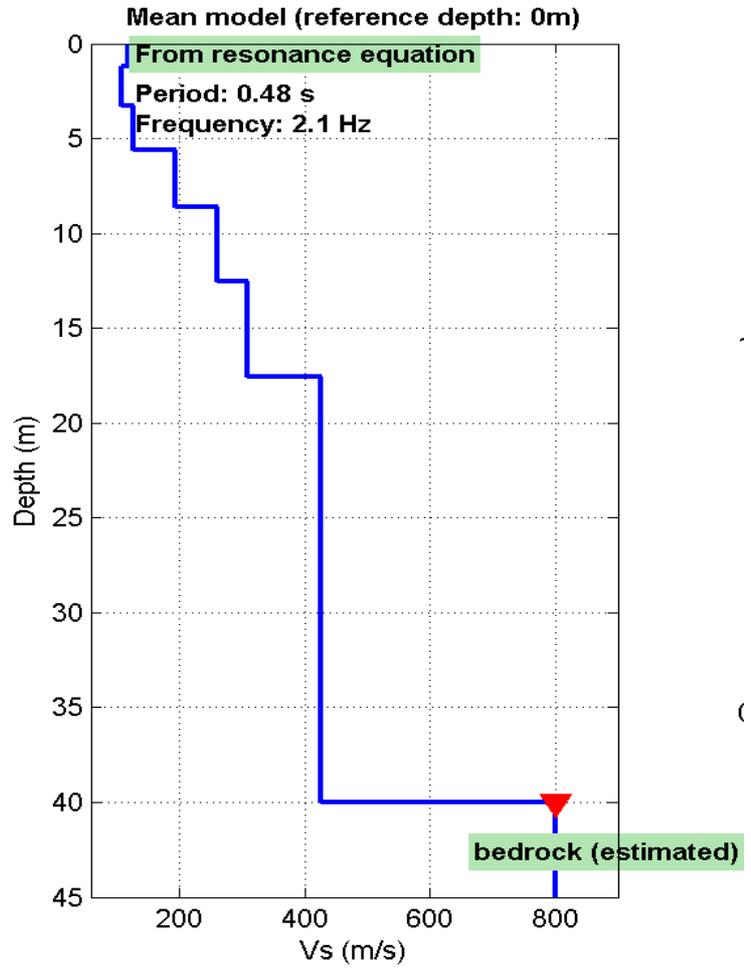
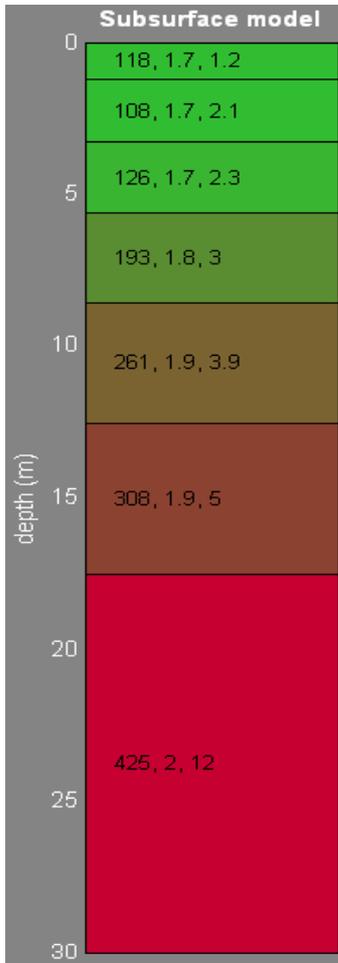


Allegato Mw 11

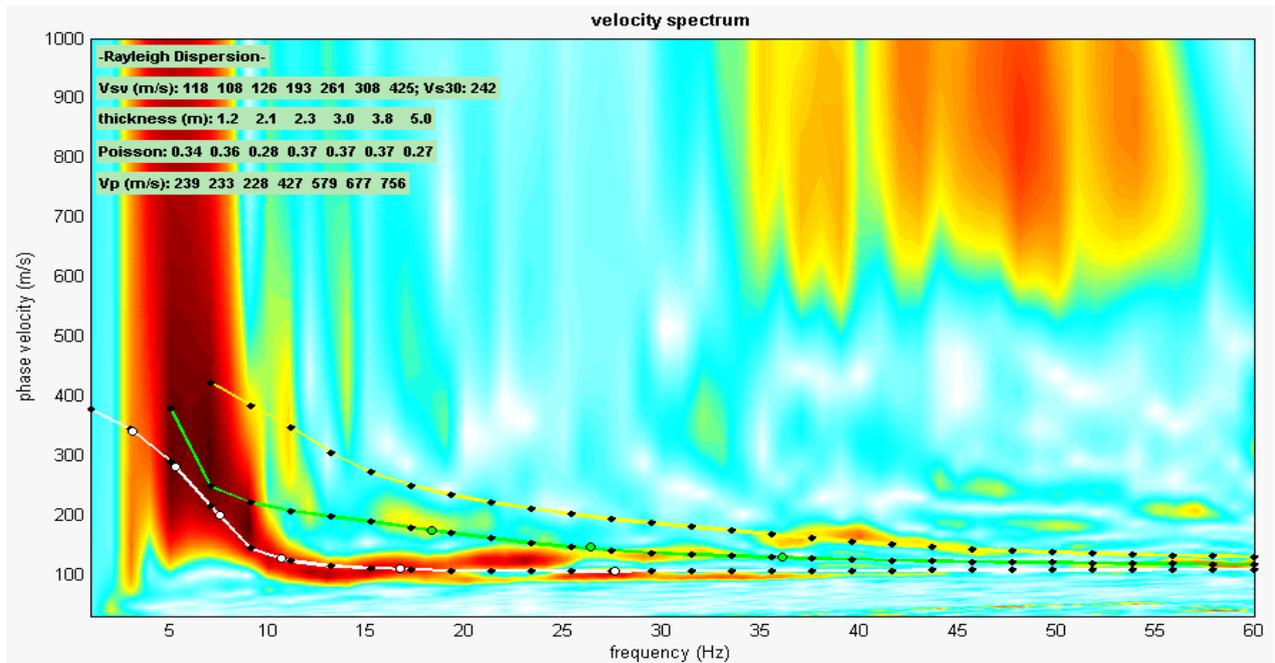


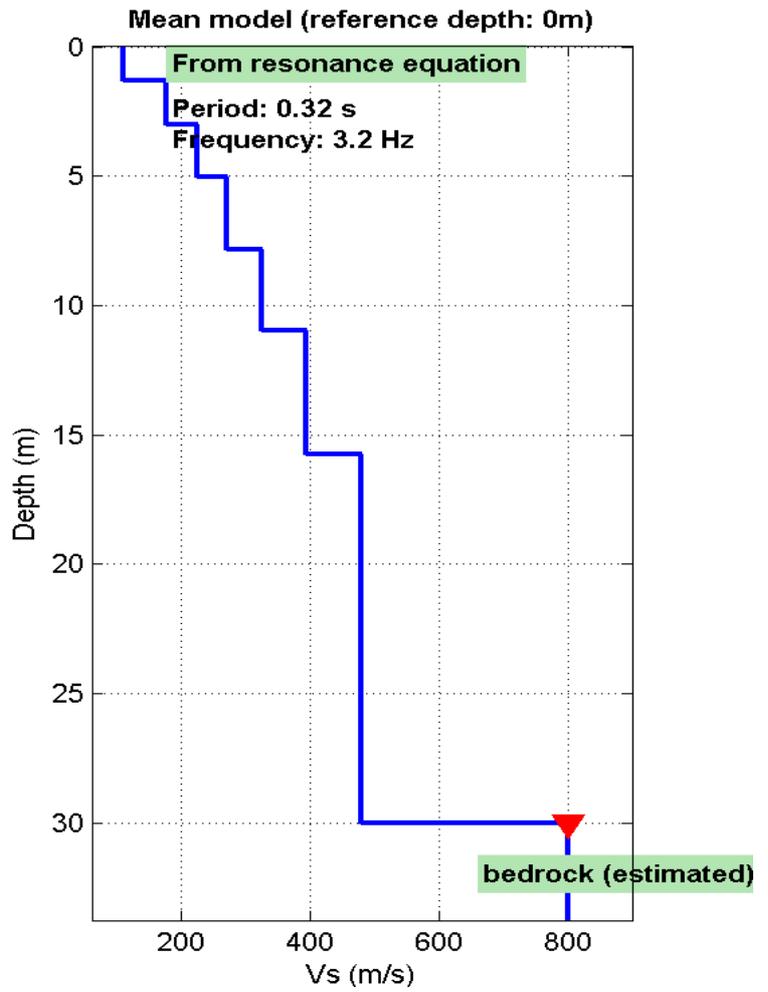
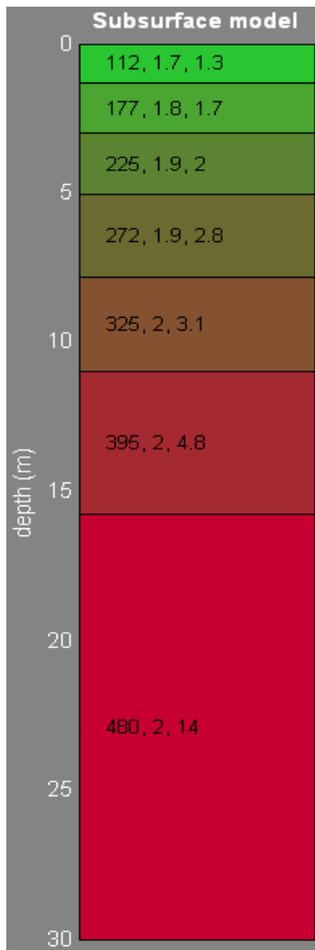
Vs eq = 260 m/s
 Classe NTC2018 = C



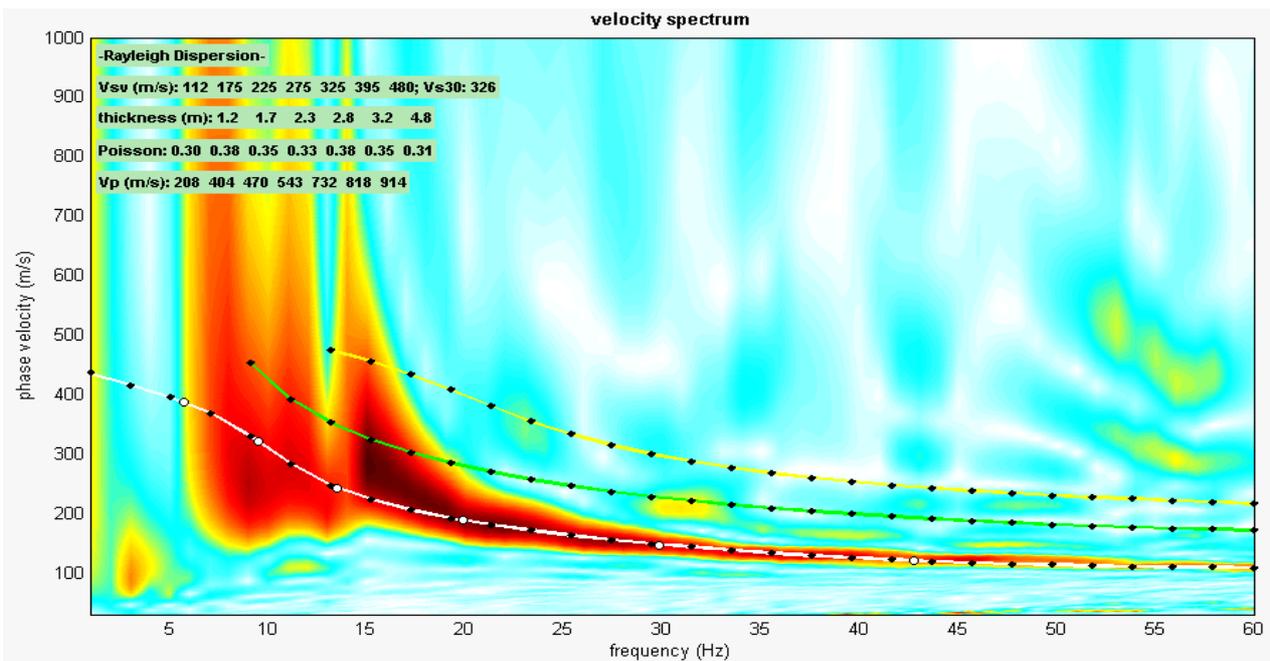


Vs eq = 242 m/s
 Classe NTC2018 = C

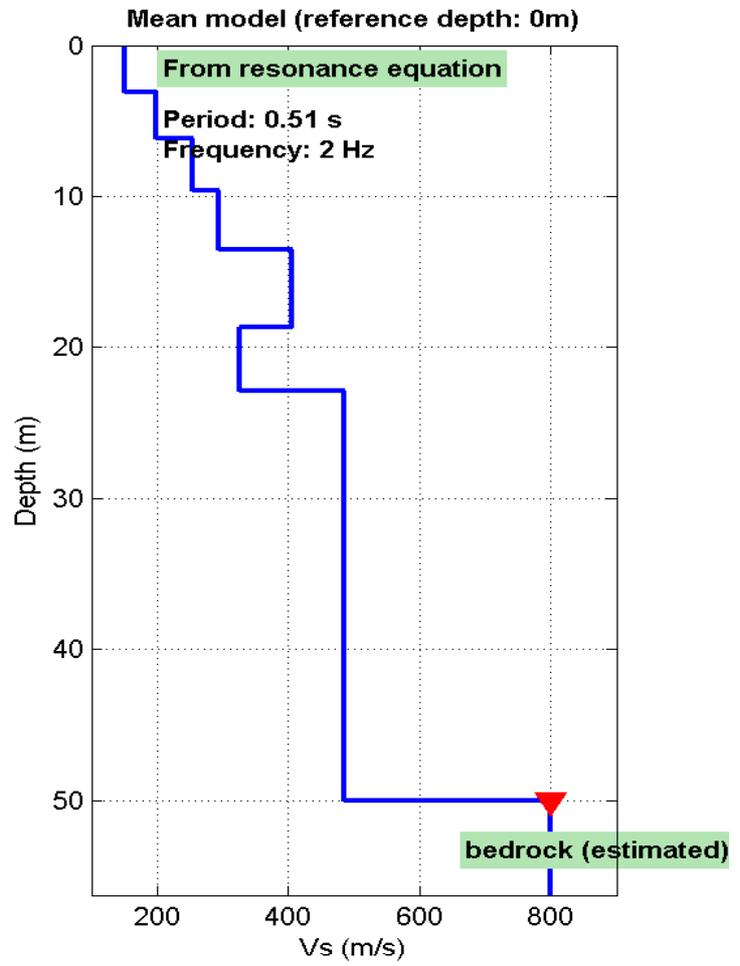
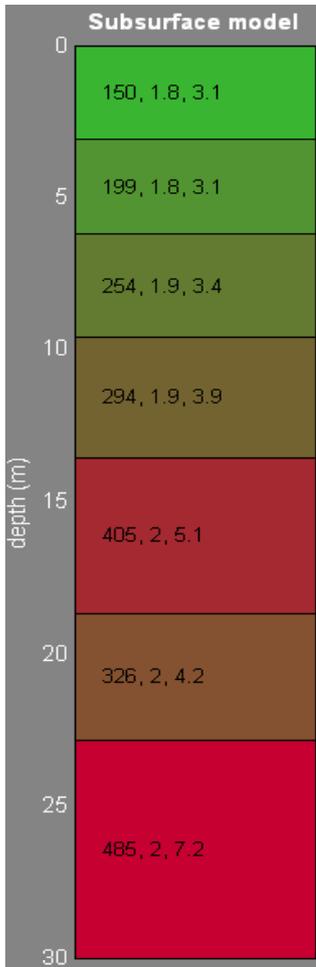




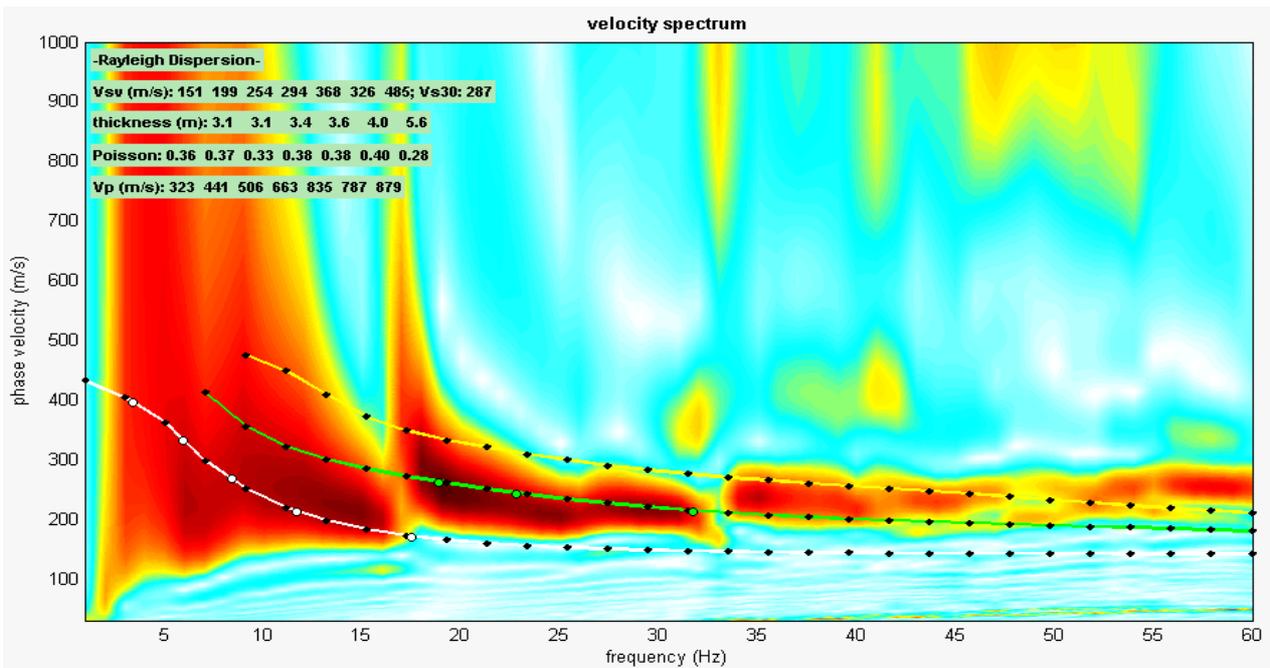
Vs eq = 326 m/s
 Classe NTC2018 = C

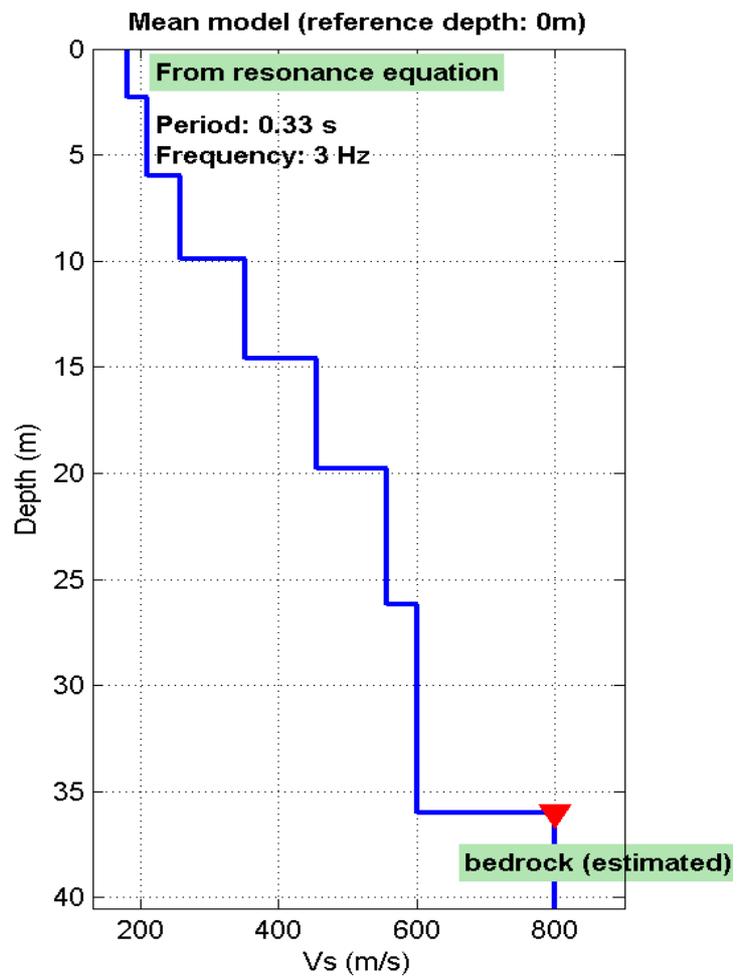
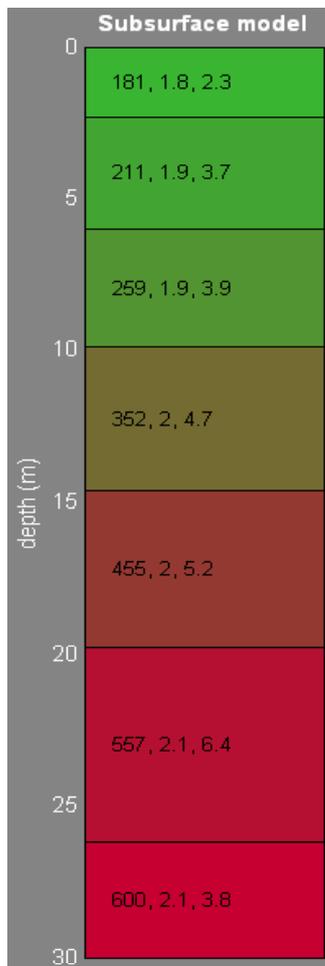


Allegato Mw 14

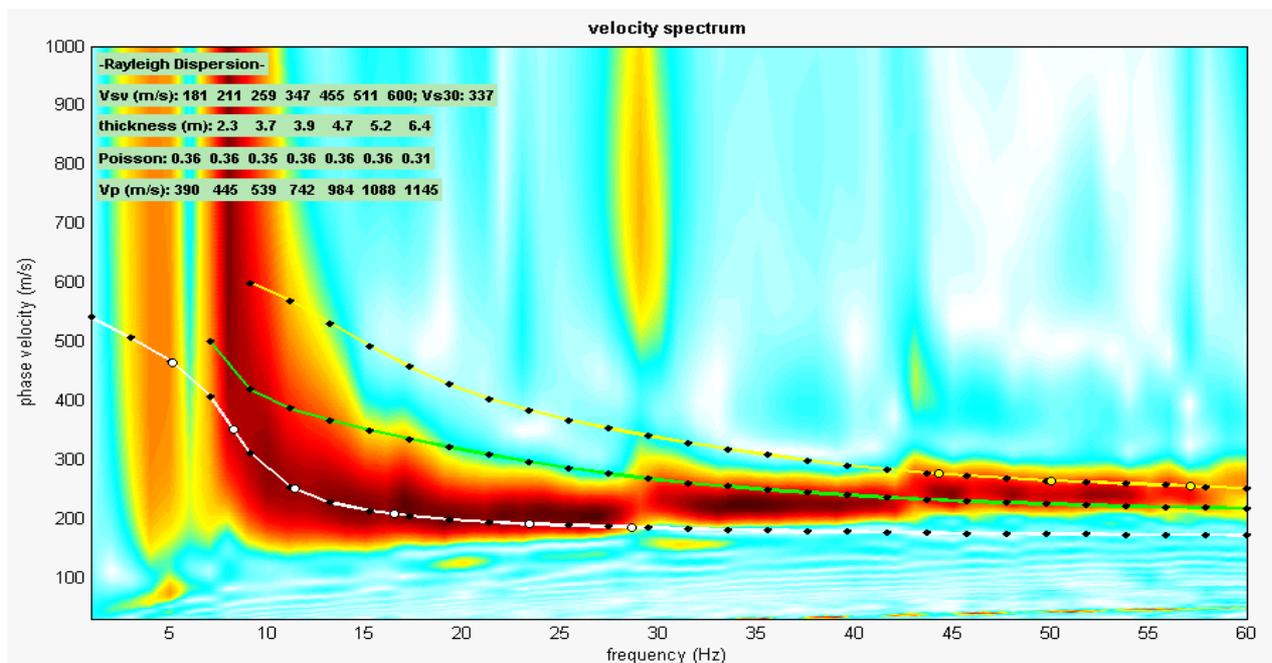


Vs eq = 287 m/s
 Classe NTC2018 = C

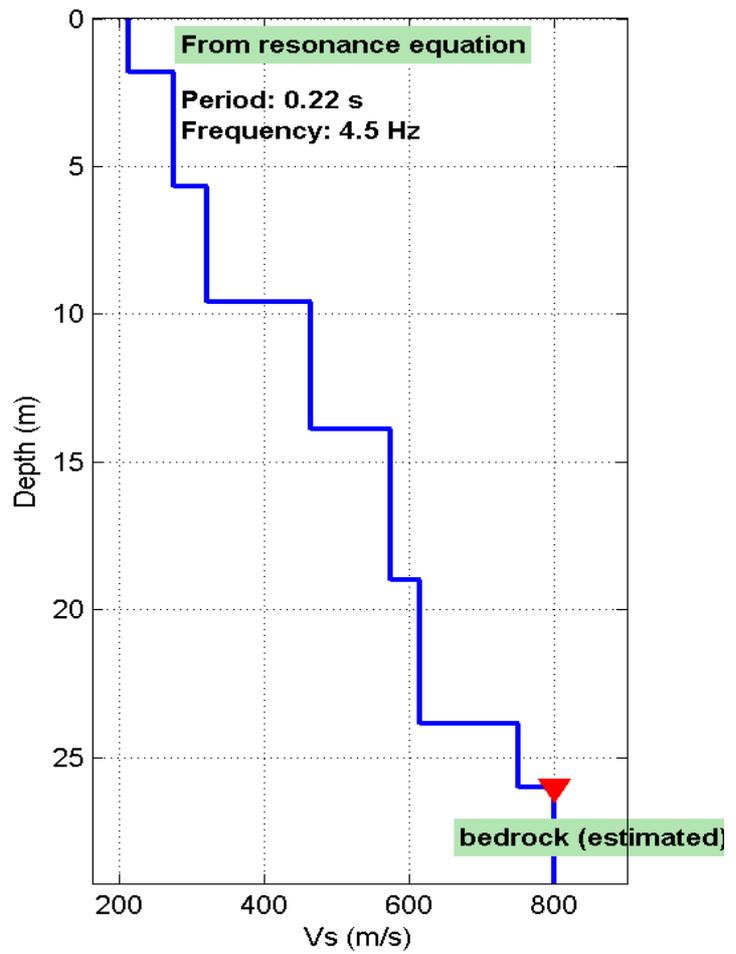
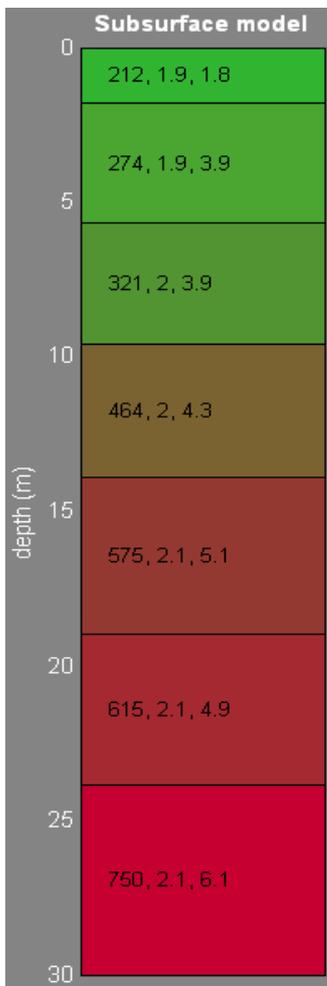




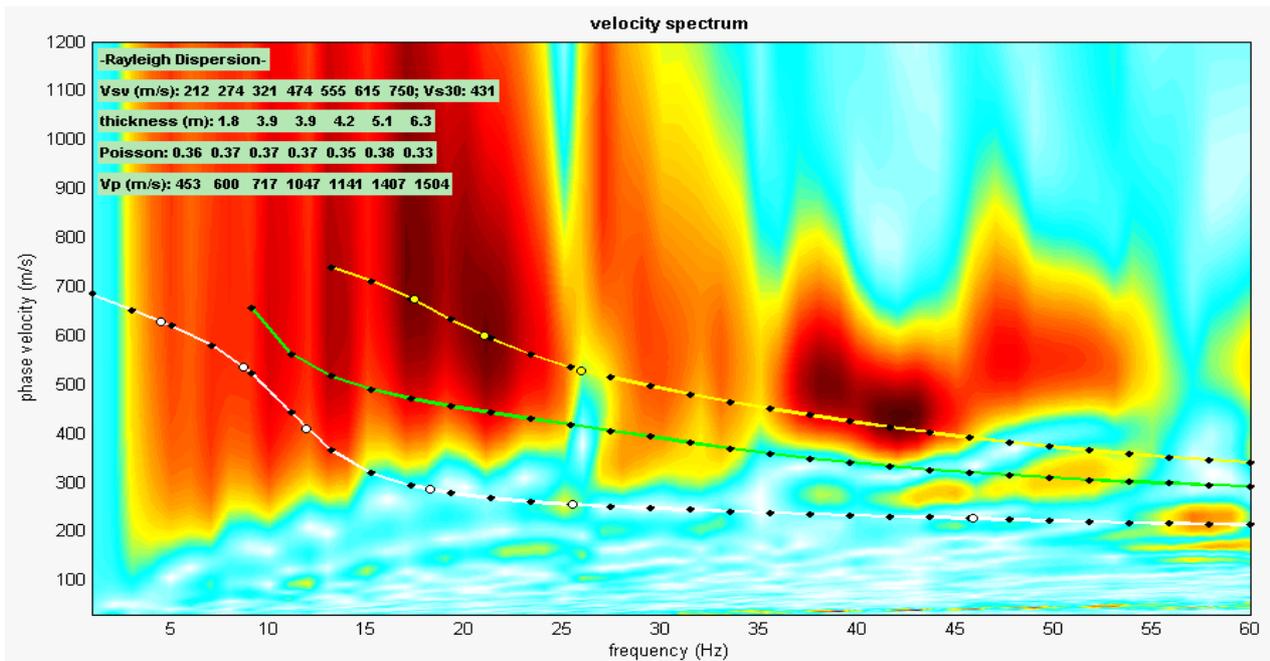
Vs eq = 337 m/s
 Classe NTC2018 = C



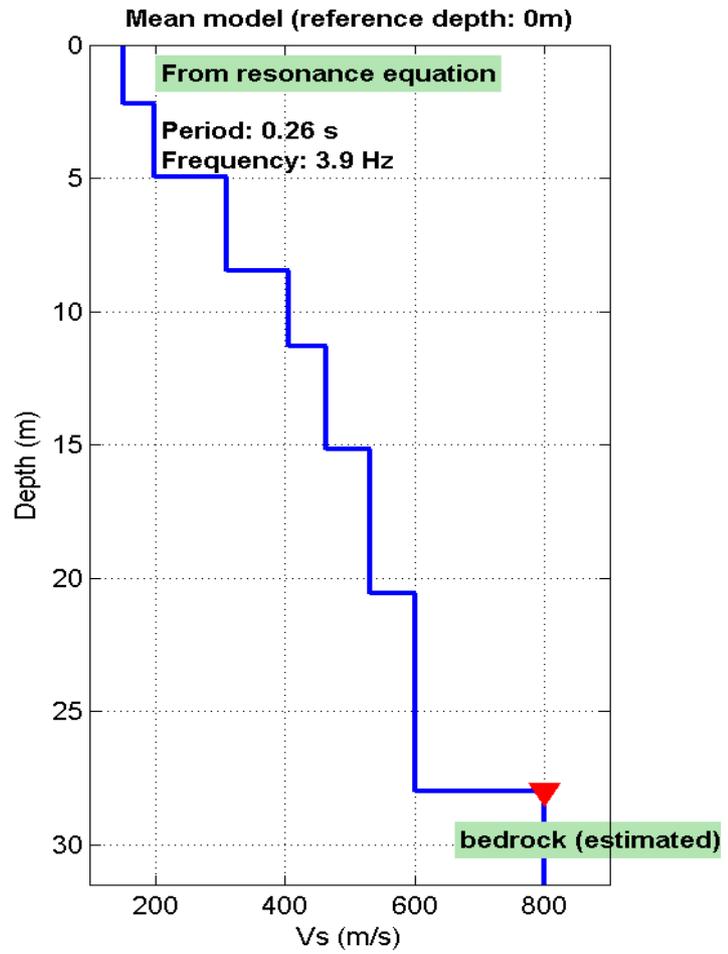
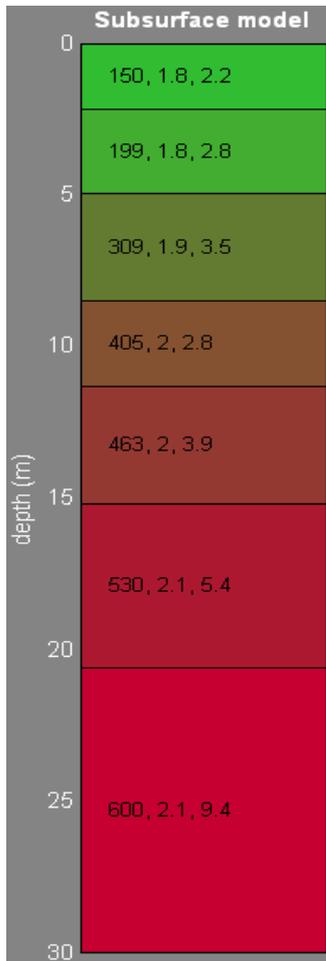
Allegato Mw 16



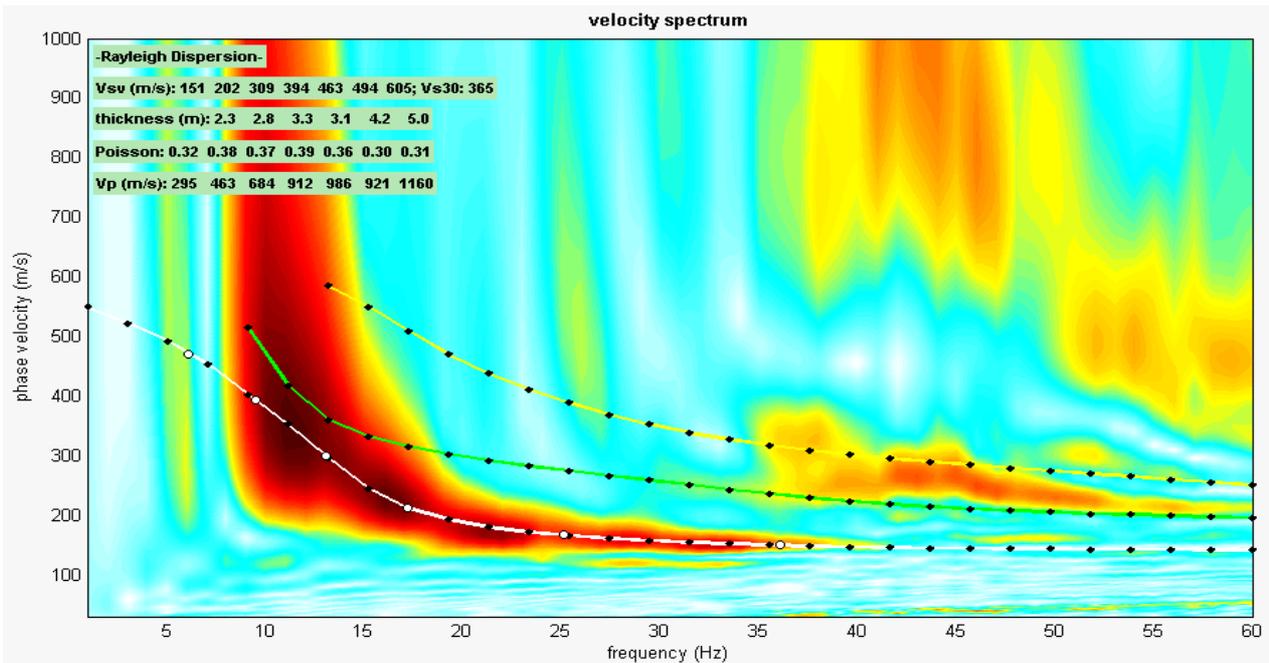
Vs eq = 431 m/s
 Classe NTC2018 = B



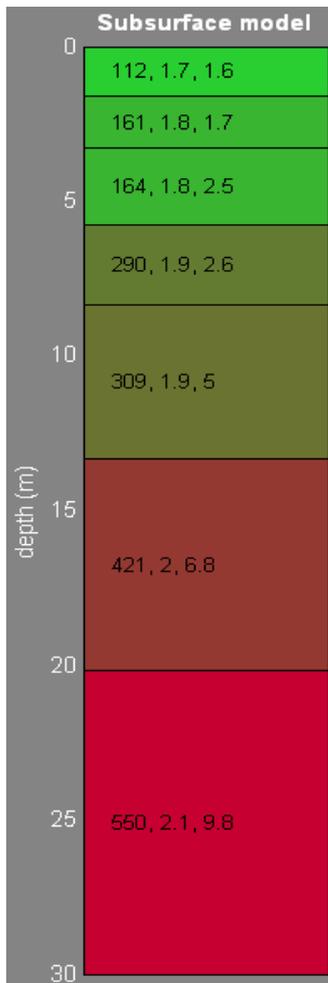
Allegato Mw 17



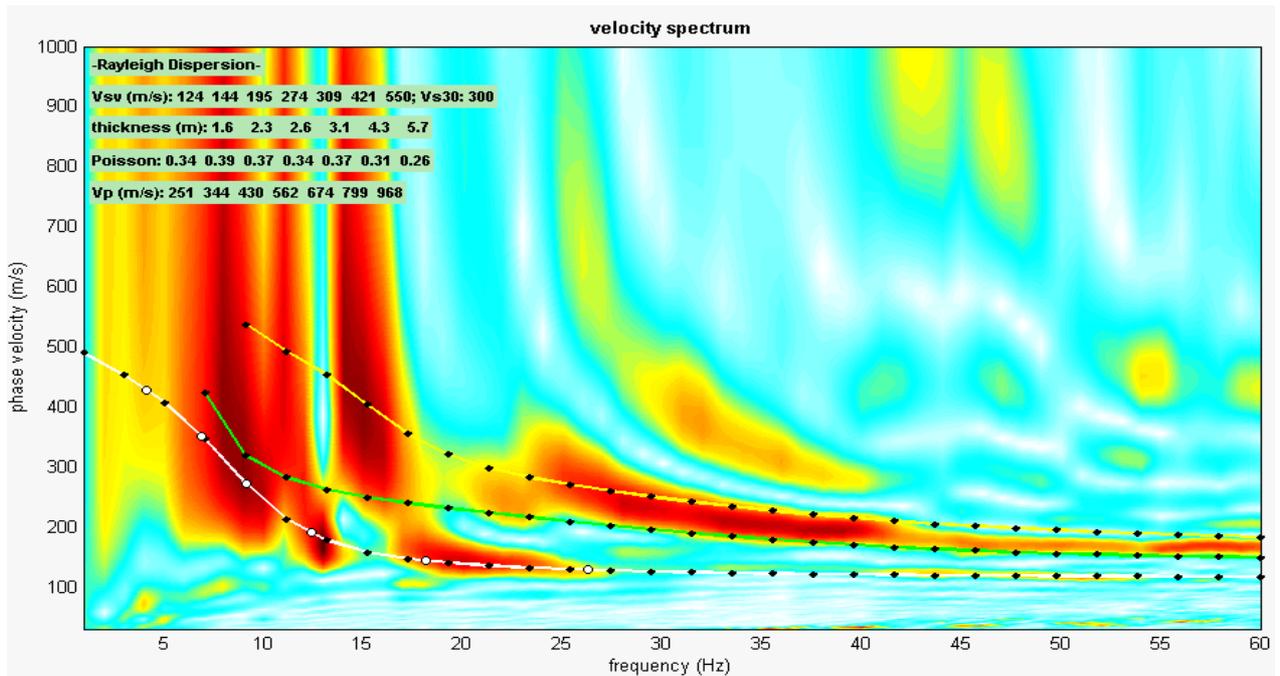
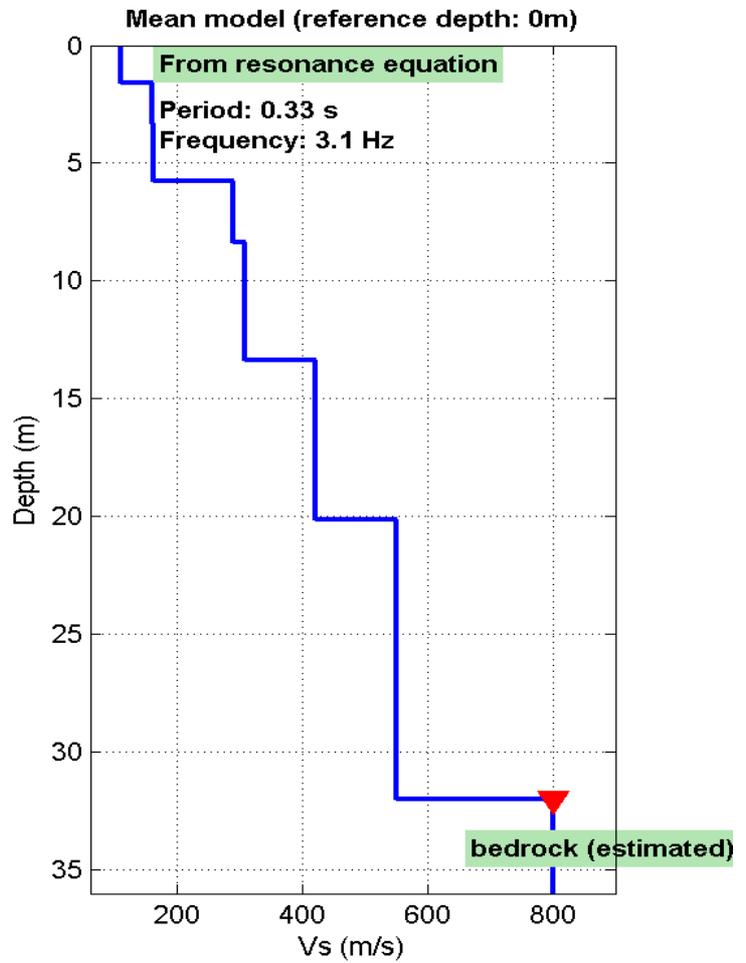
Vs eq = 365 m/s
 Classe NTC2018 = B



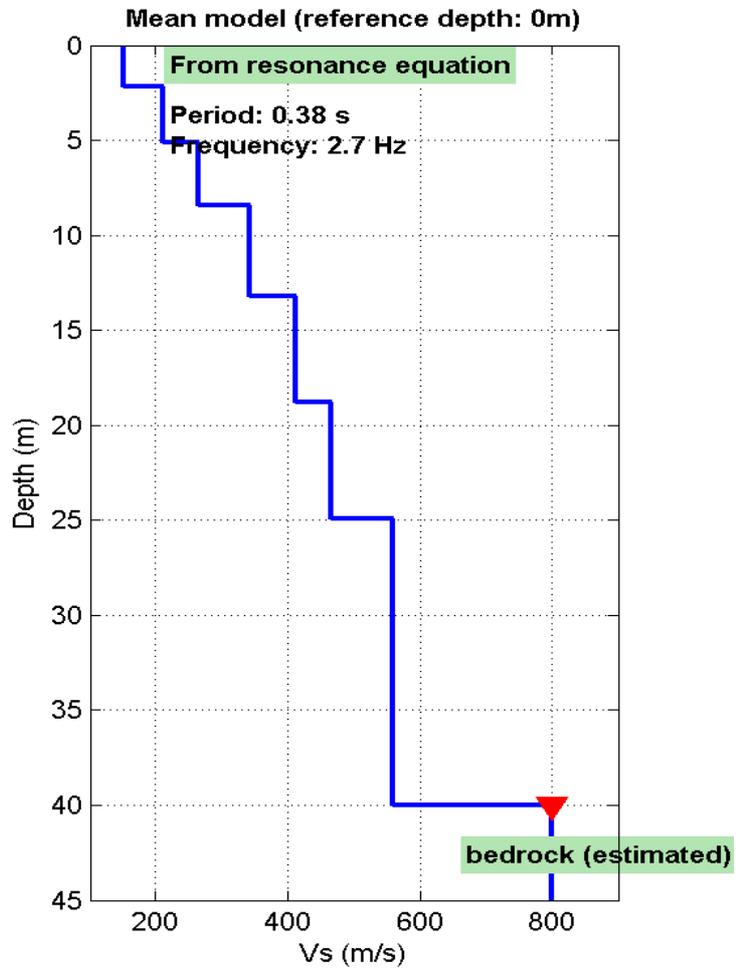
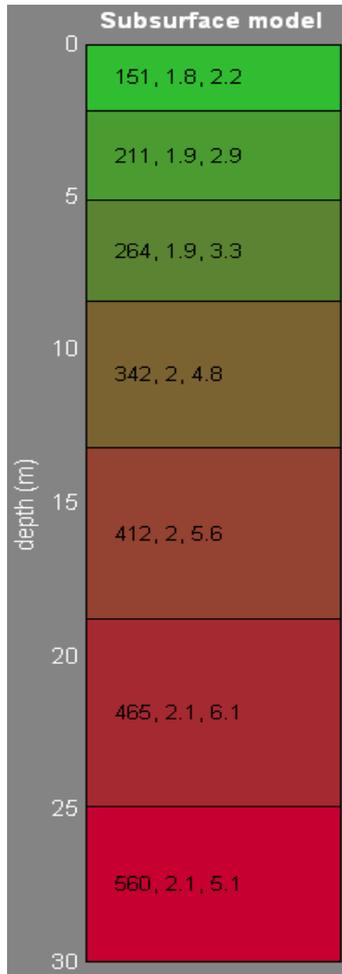
Allegato Mw 18



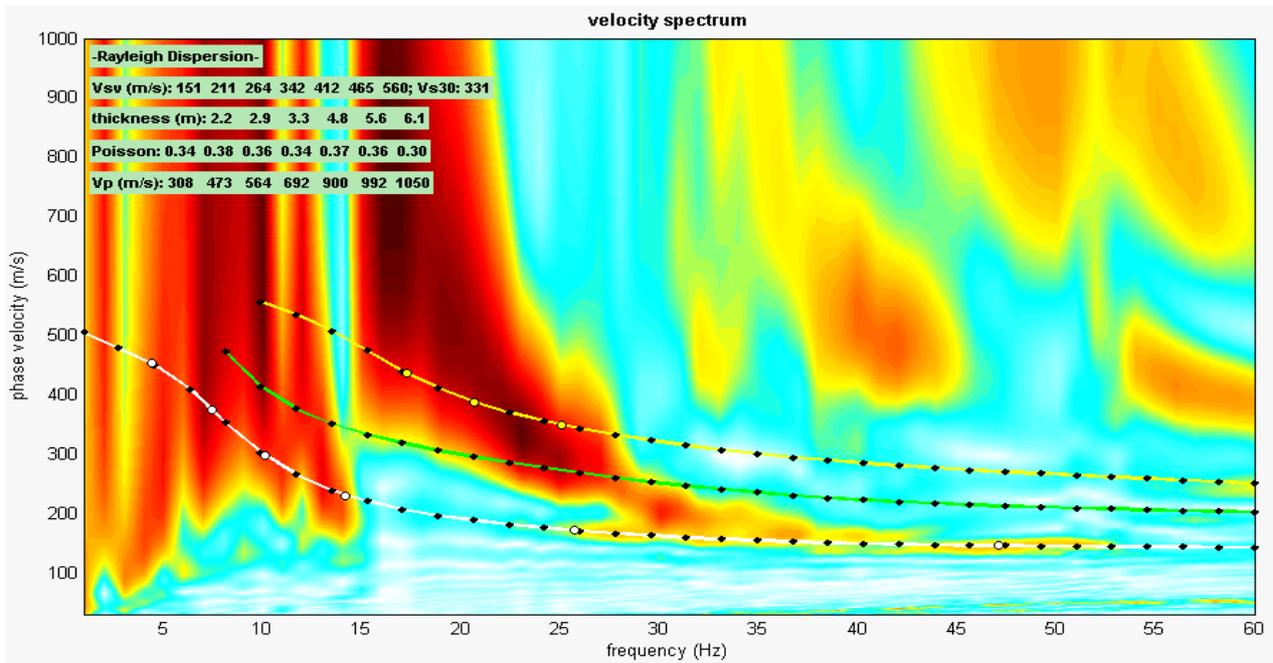
Vs eq = 300 m/s
 Classe NTC2018 = C



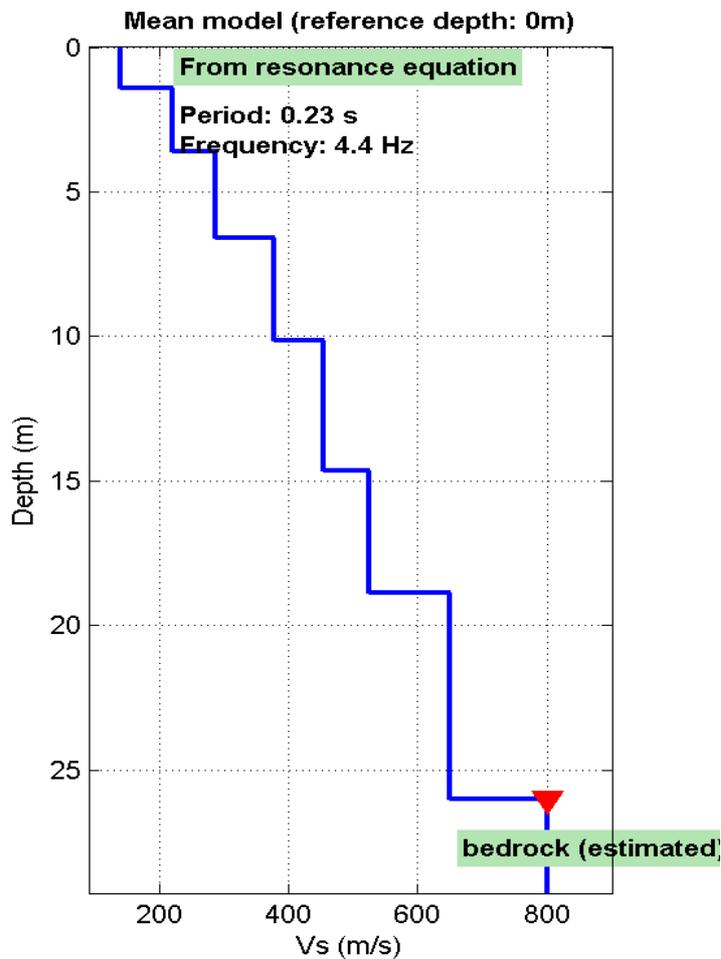
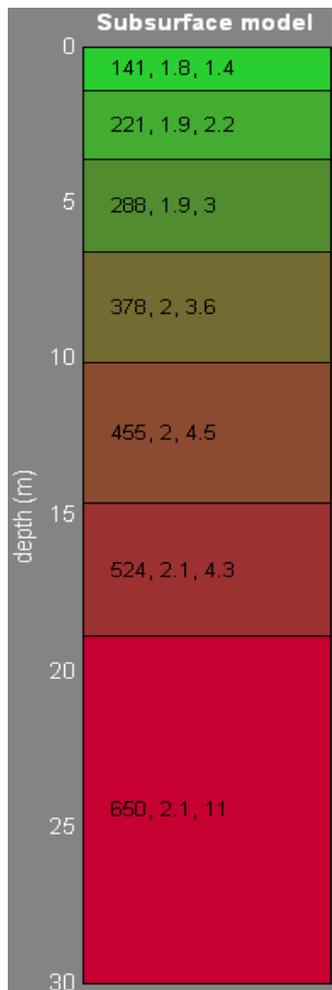
Allegato Mw 19



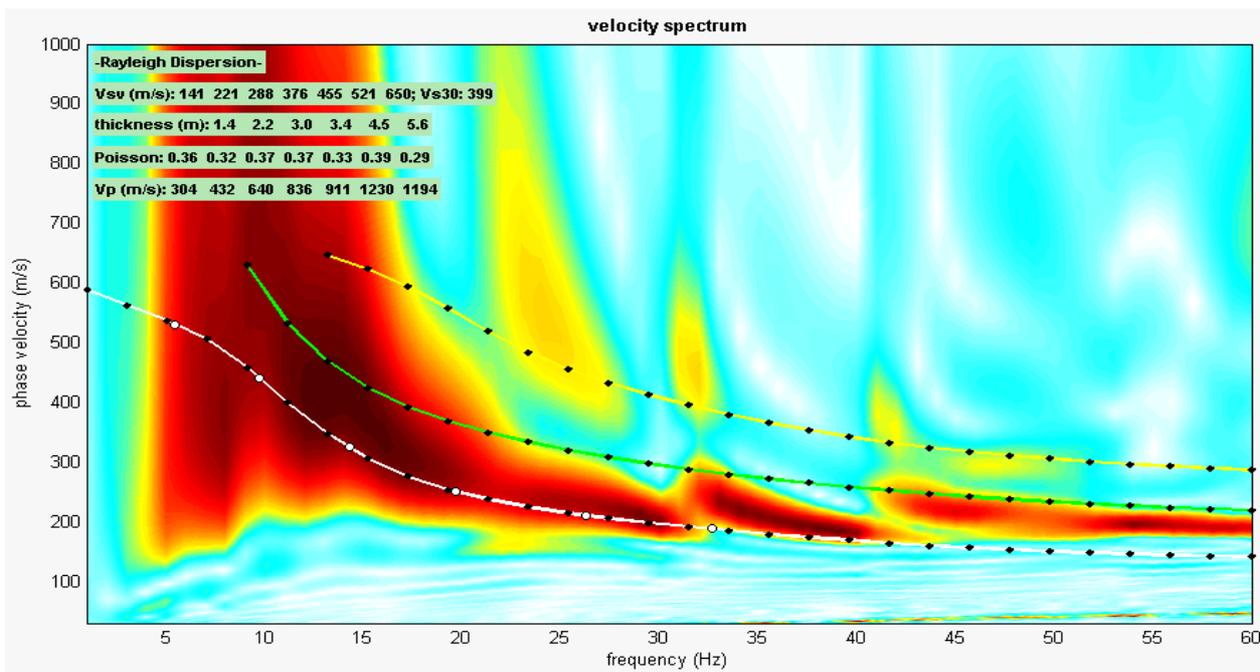
Vs eq = 331 m/s
 Classe NTC2018 = C



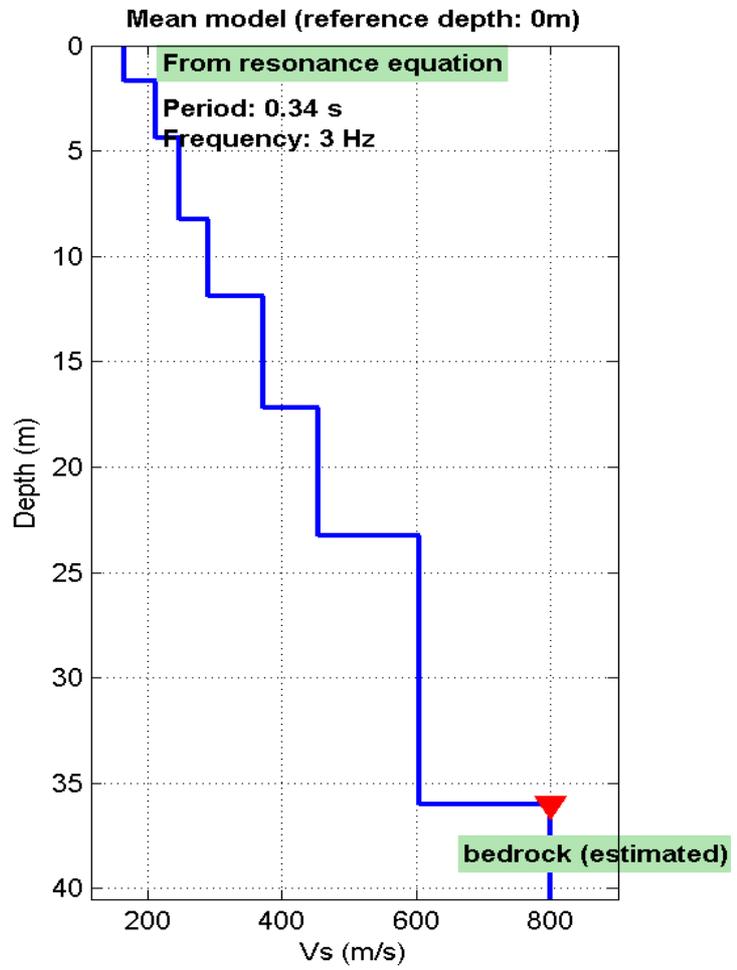
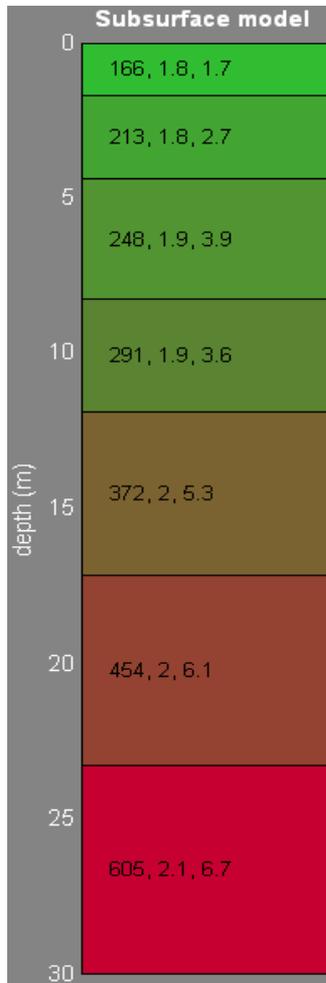
Allegato Mw 20



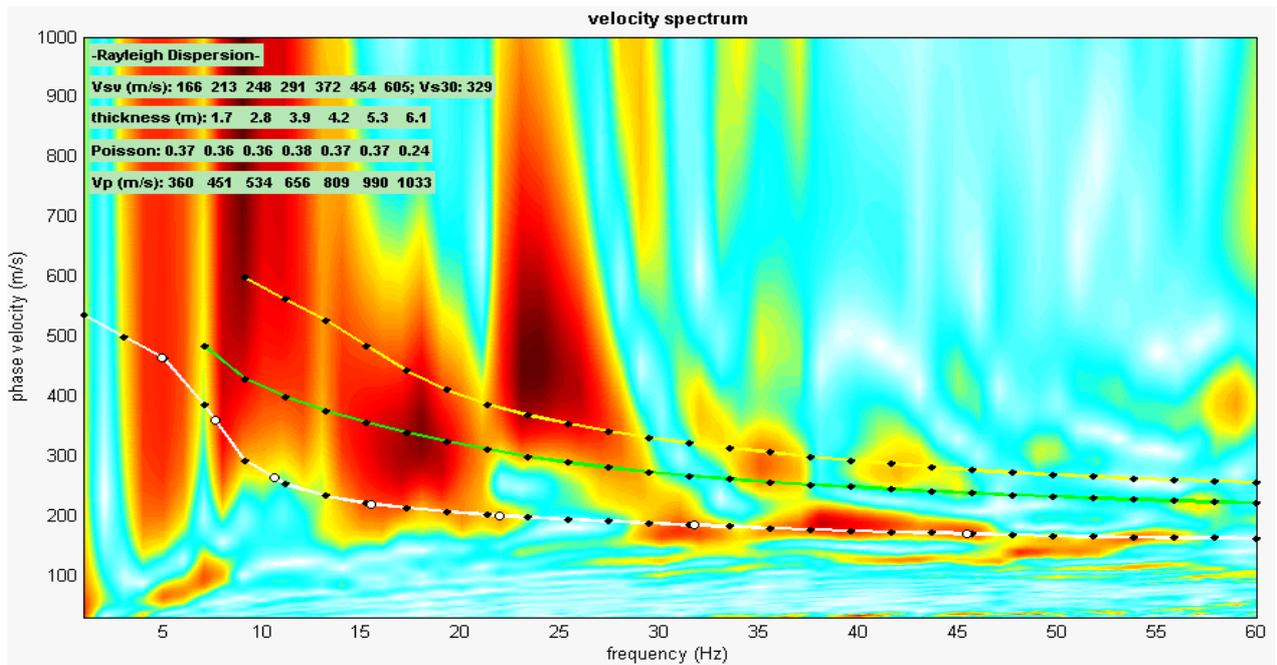
Vs eq = 399 m/s
 Classe NTC2018 = B



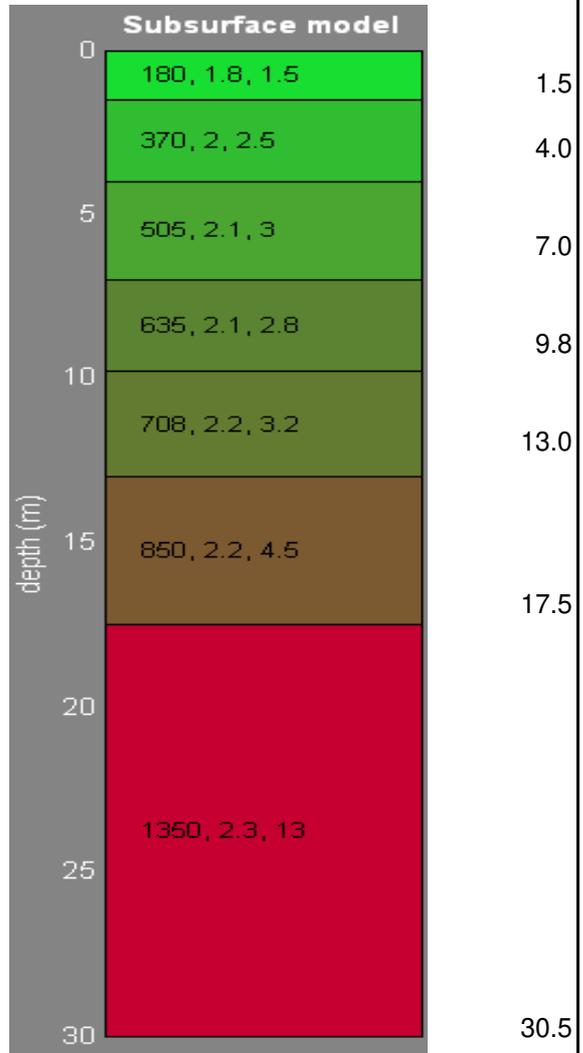
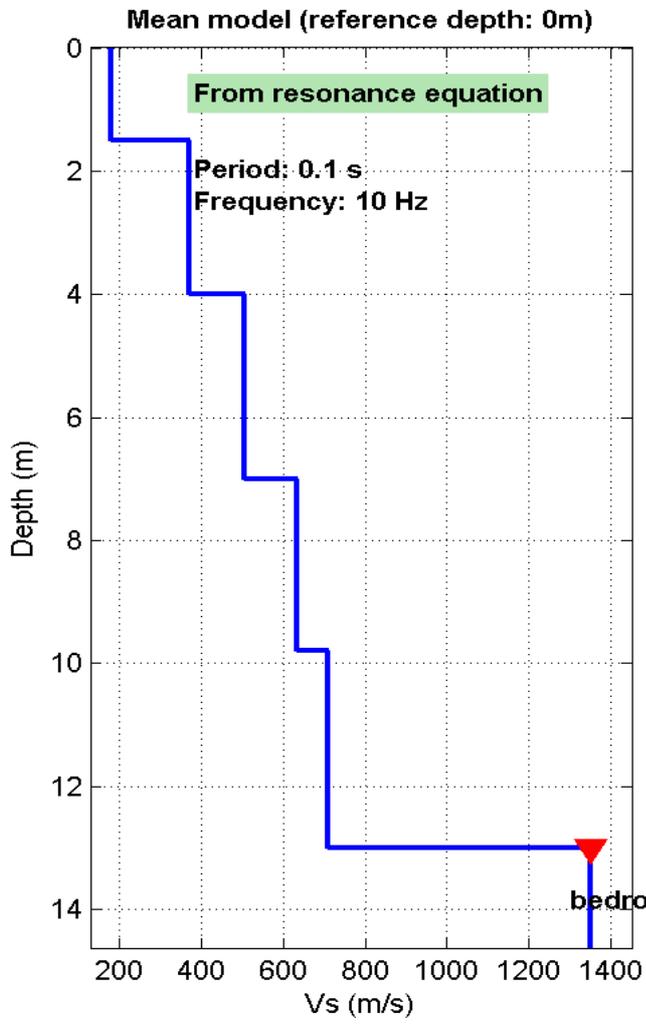
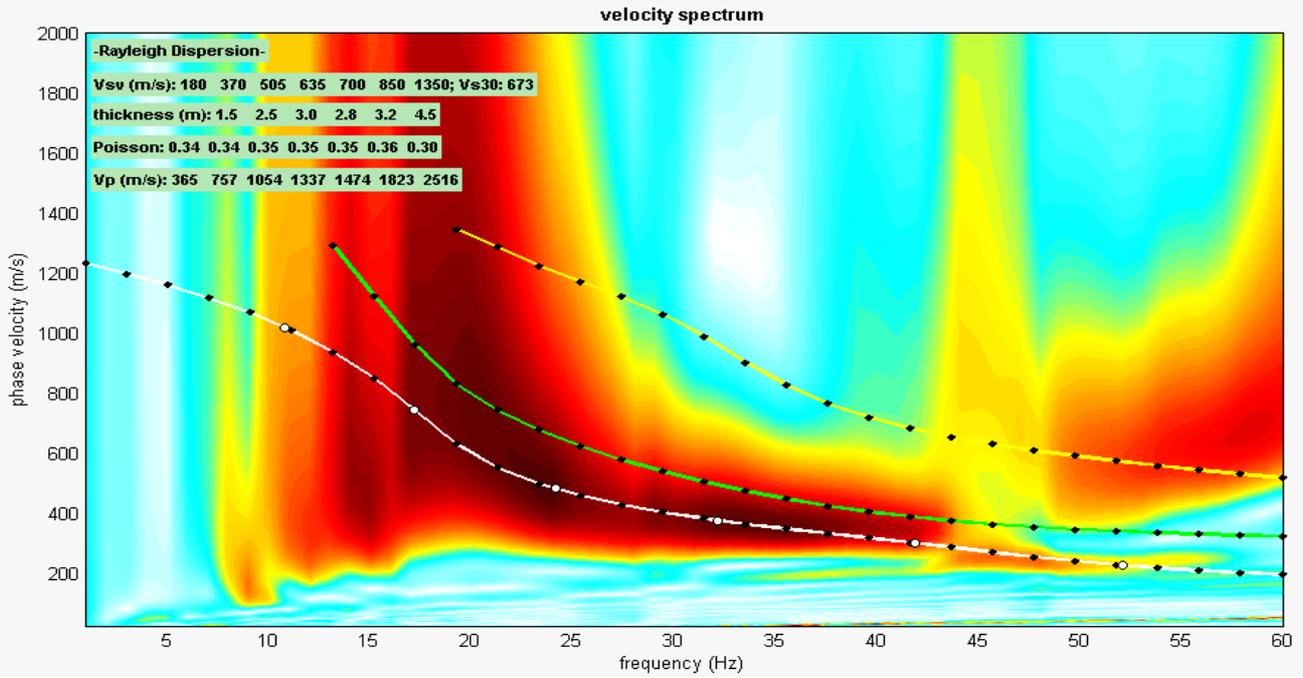
Allegato Mw 21



Vs eq = 329 m/s
 Classe NTC2018 = C

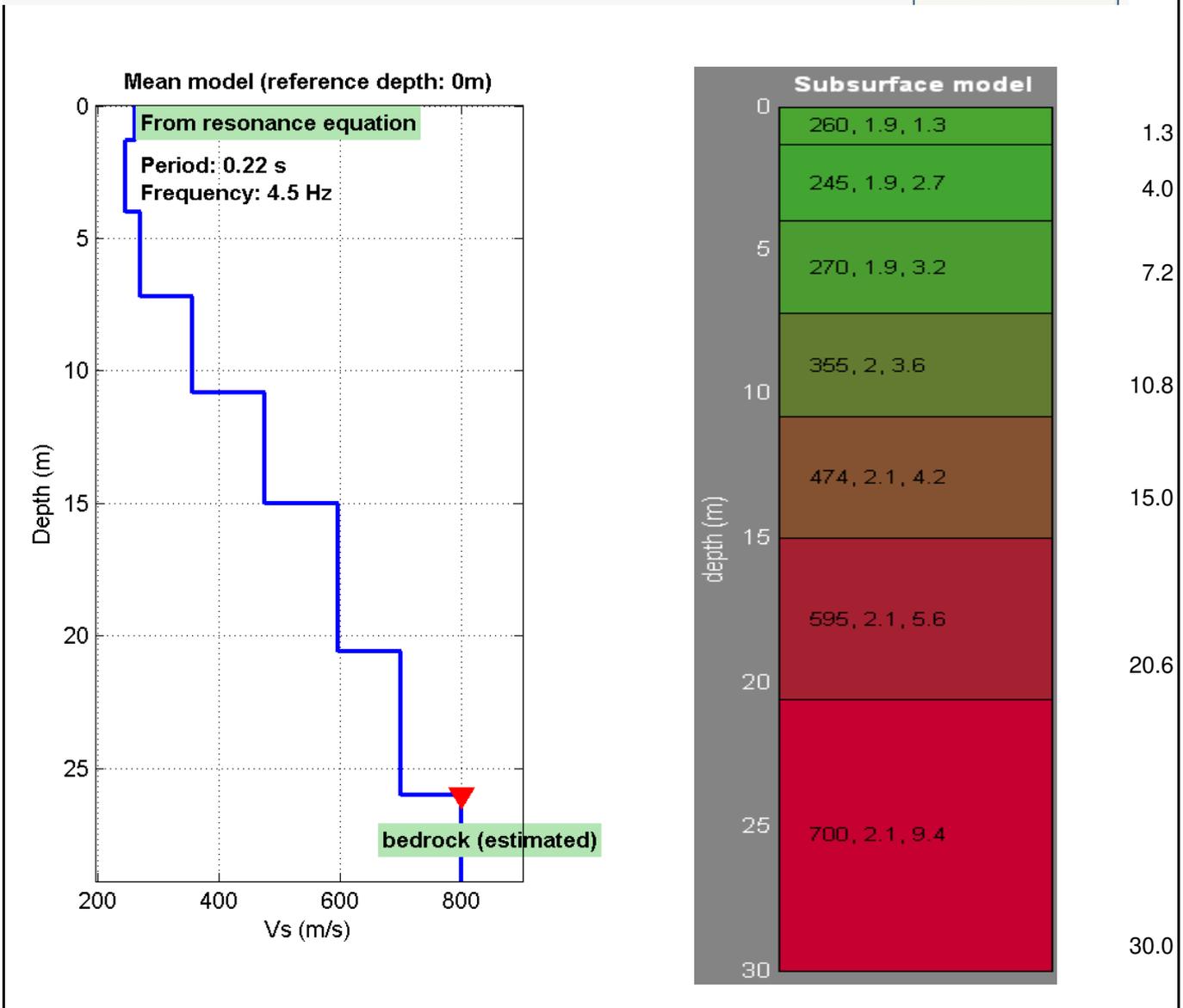
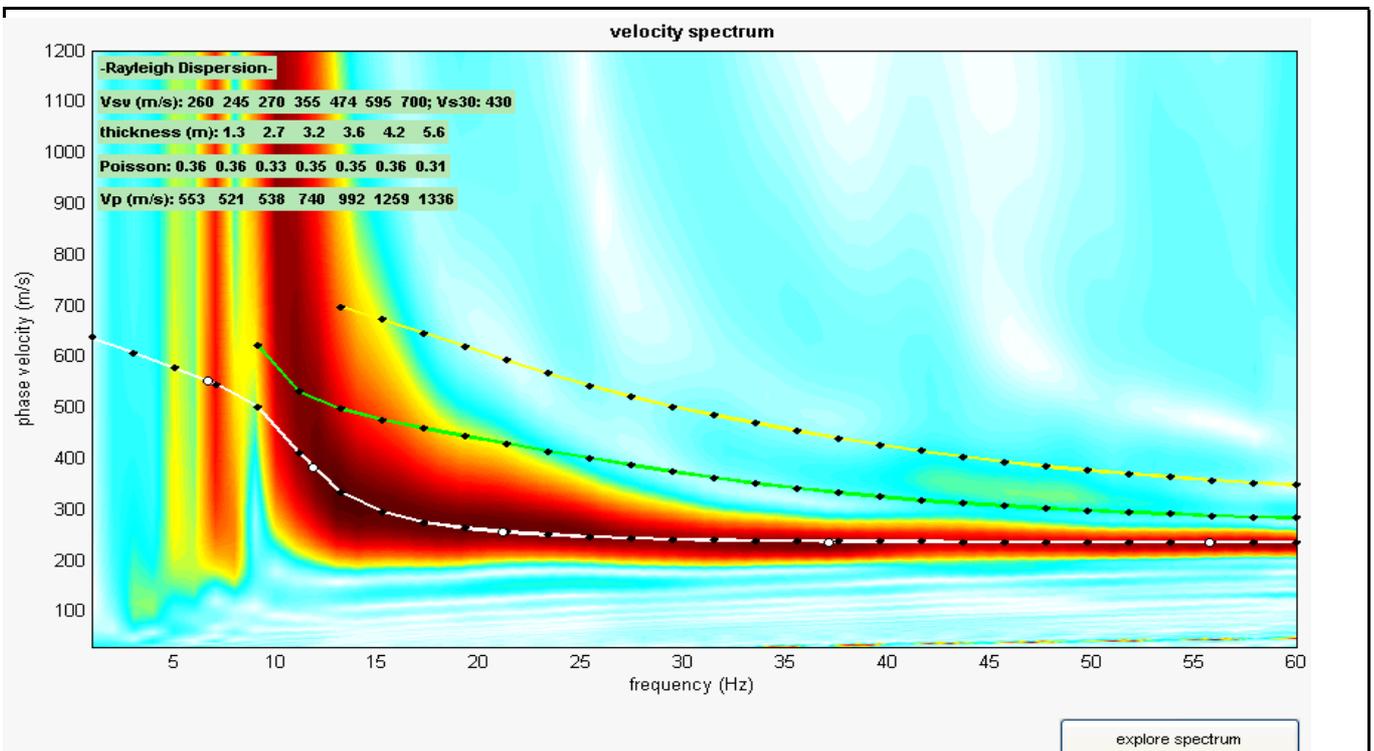


Allegato Mw 22



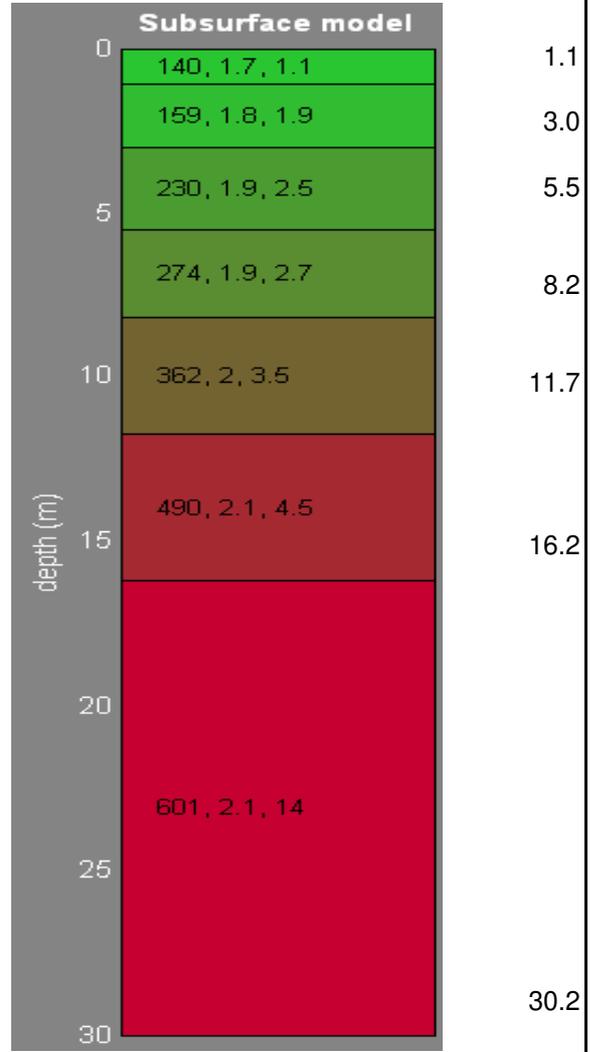
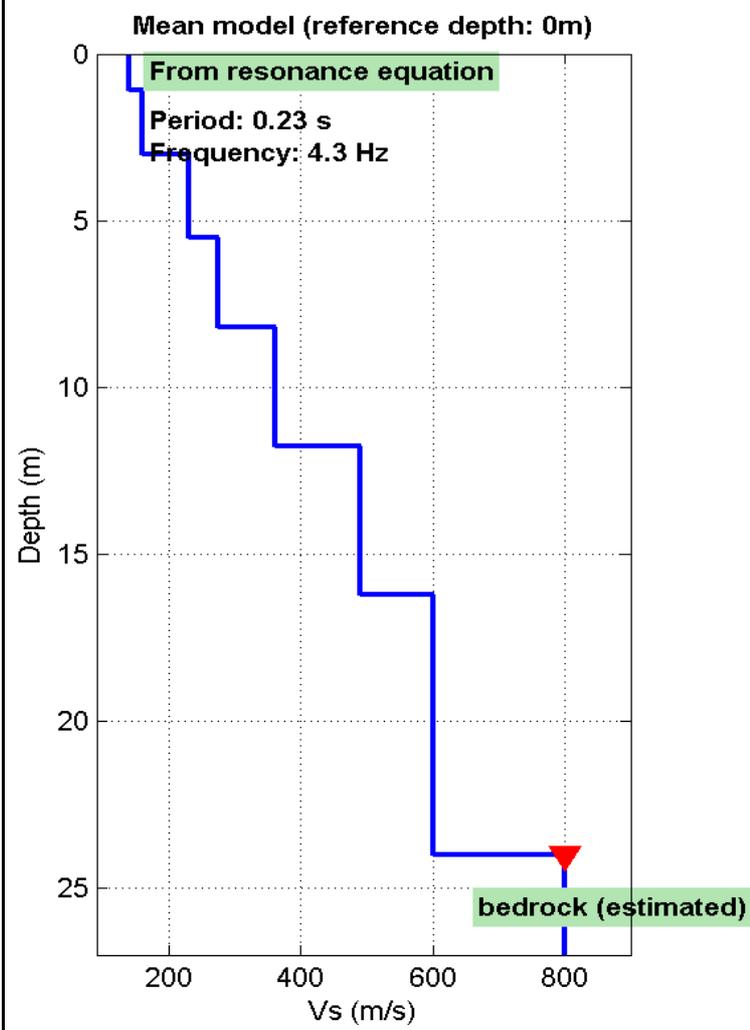
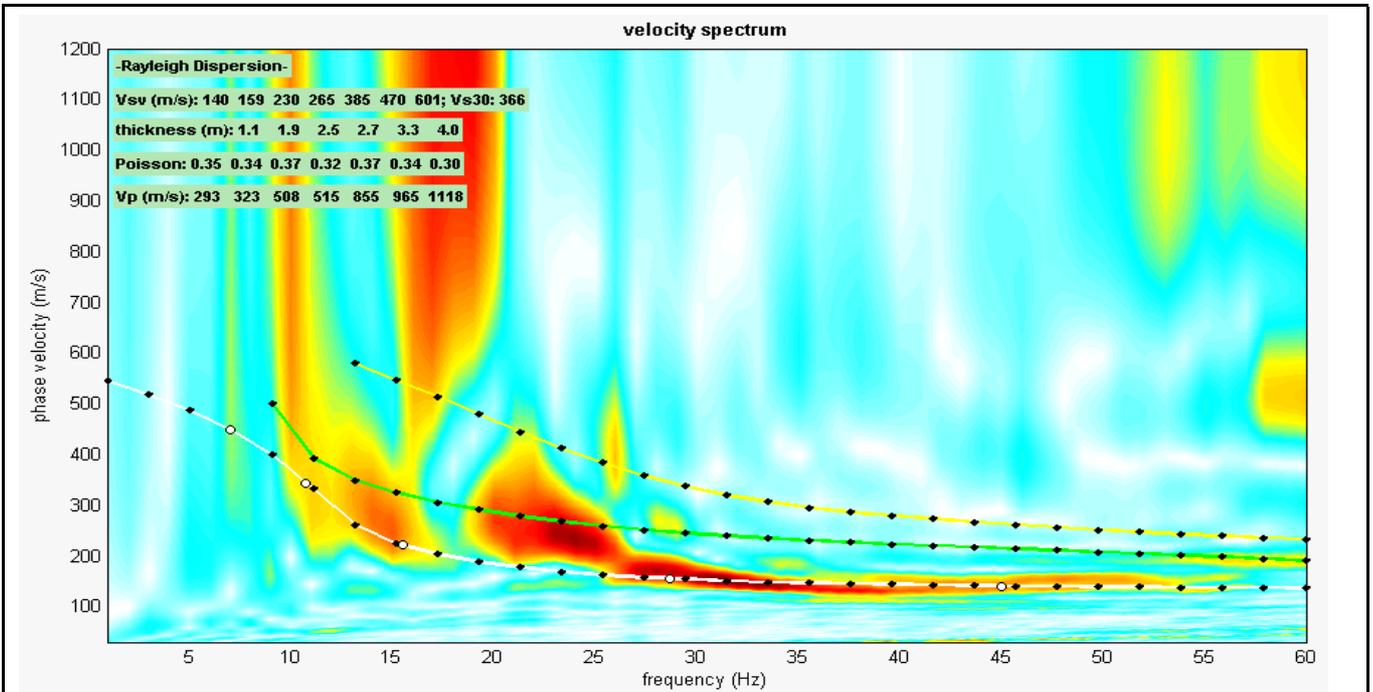
Vestenanova Masw 01-2022

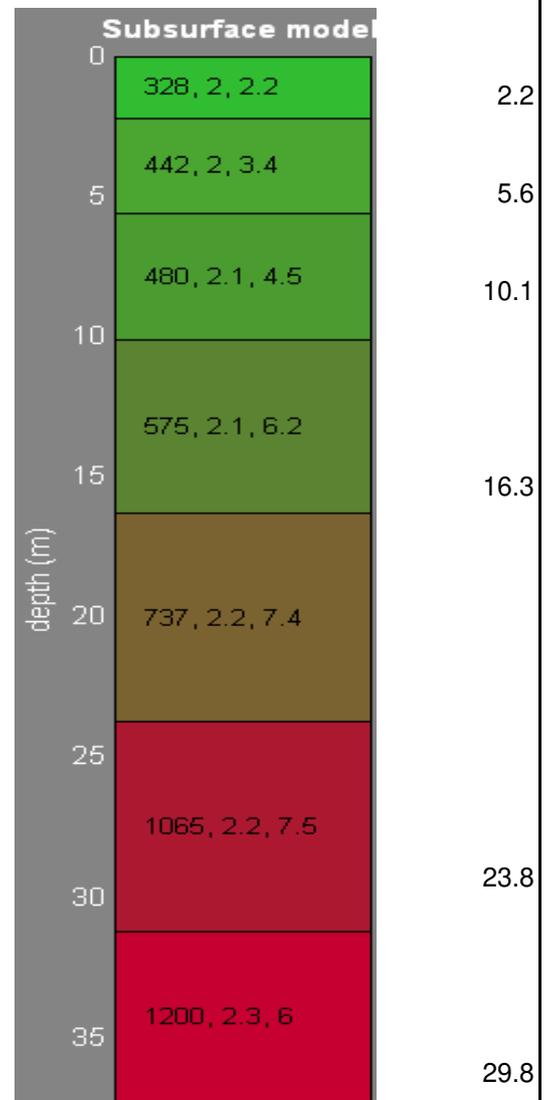
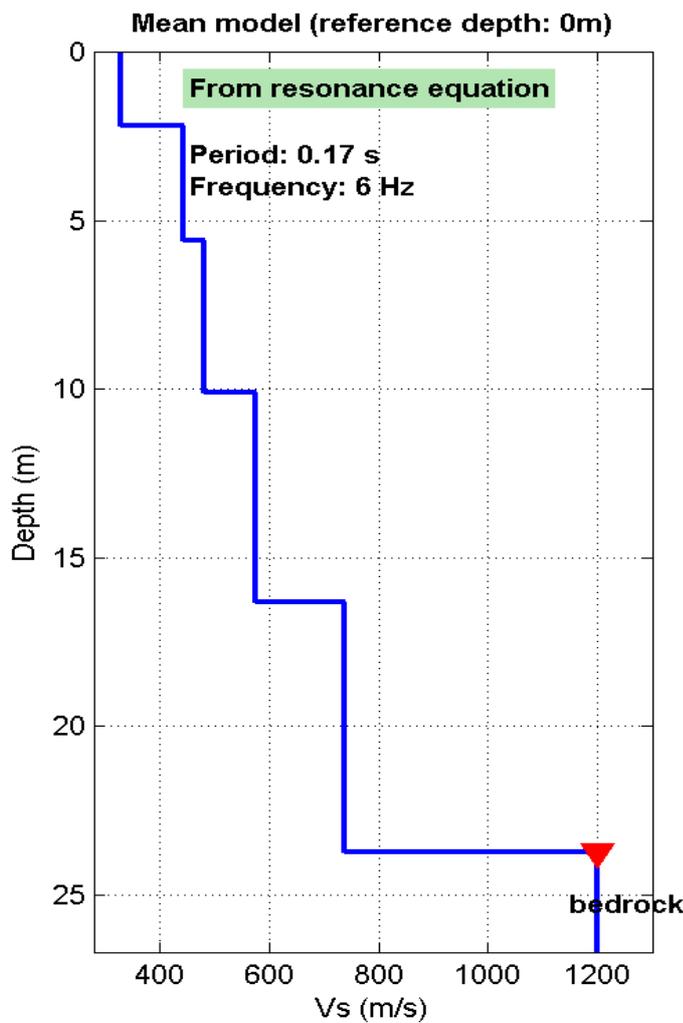
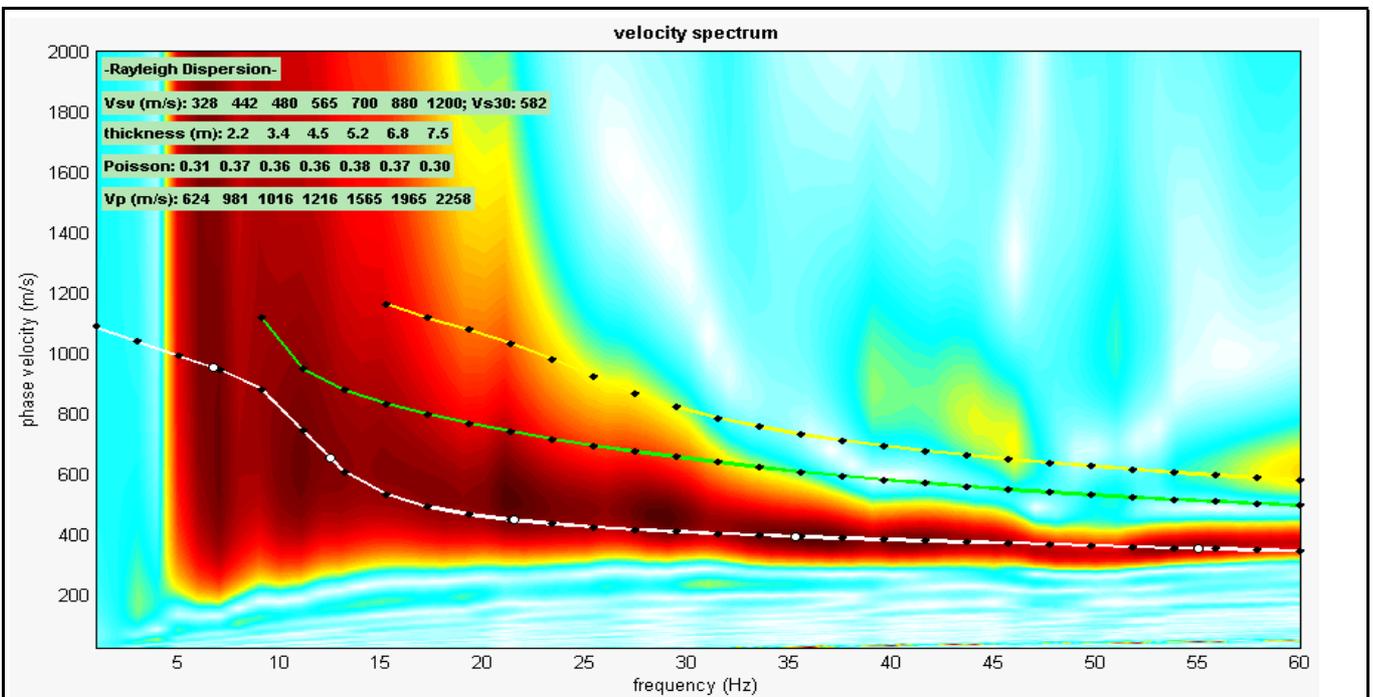
023093L25



Vestenanova Masw 02-2022

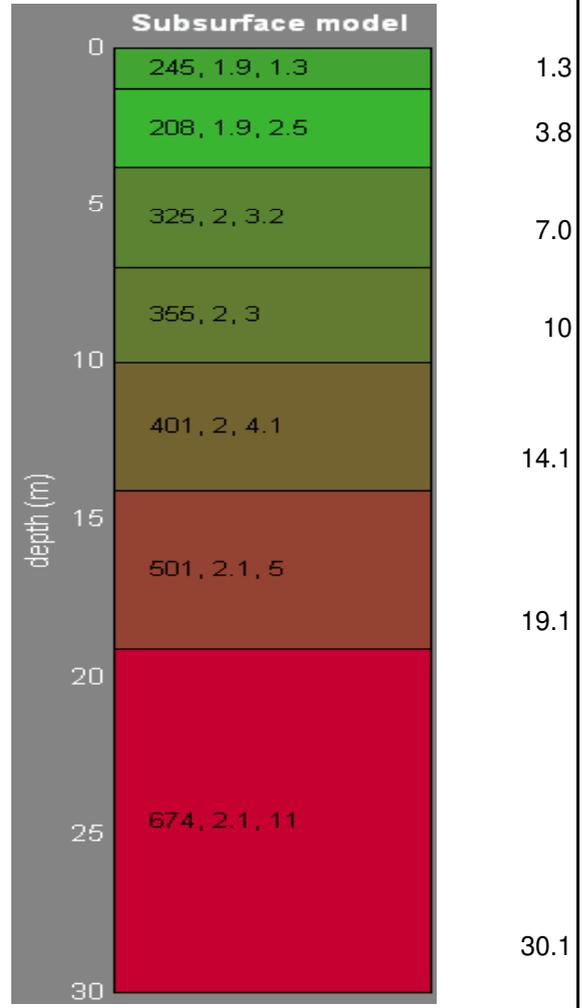
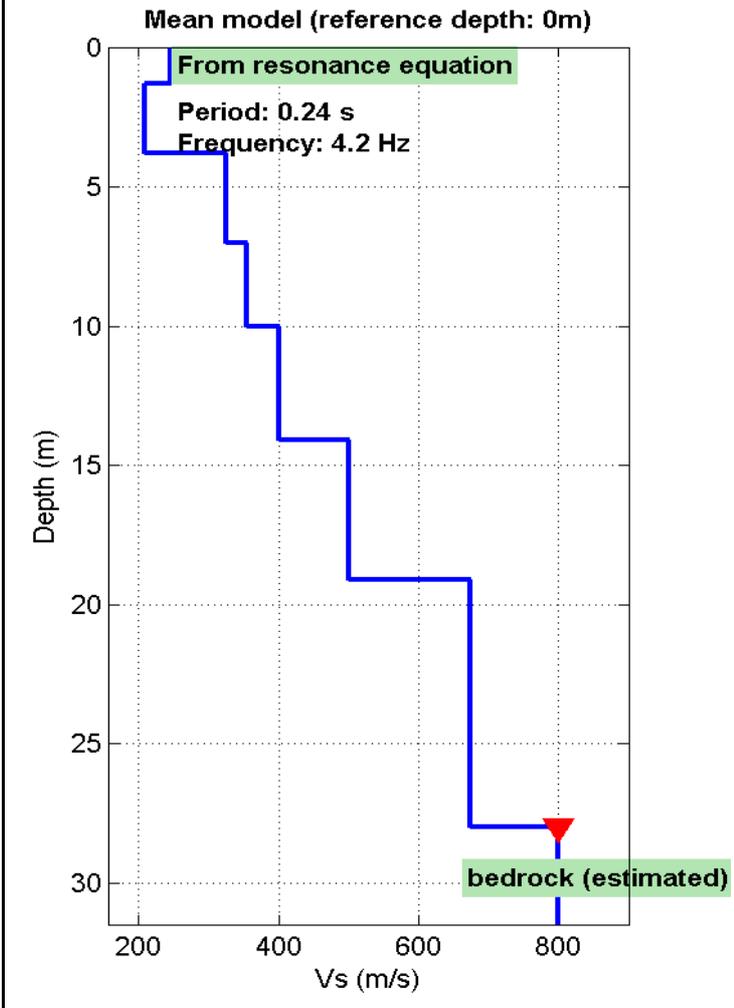
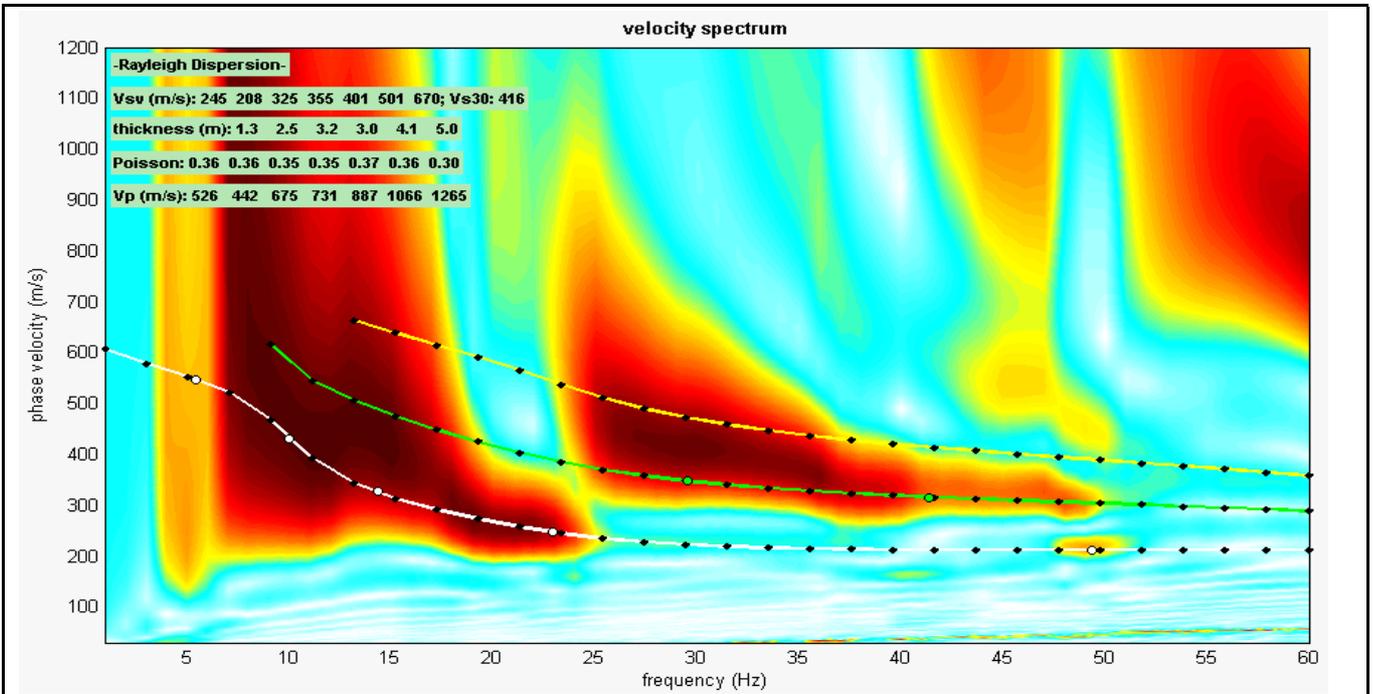
023093L26

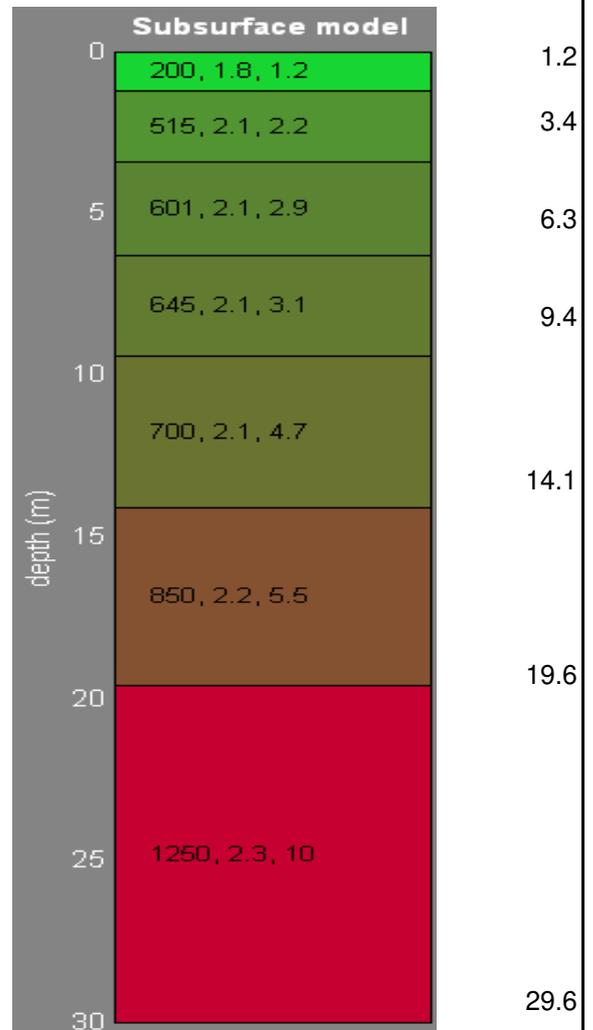
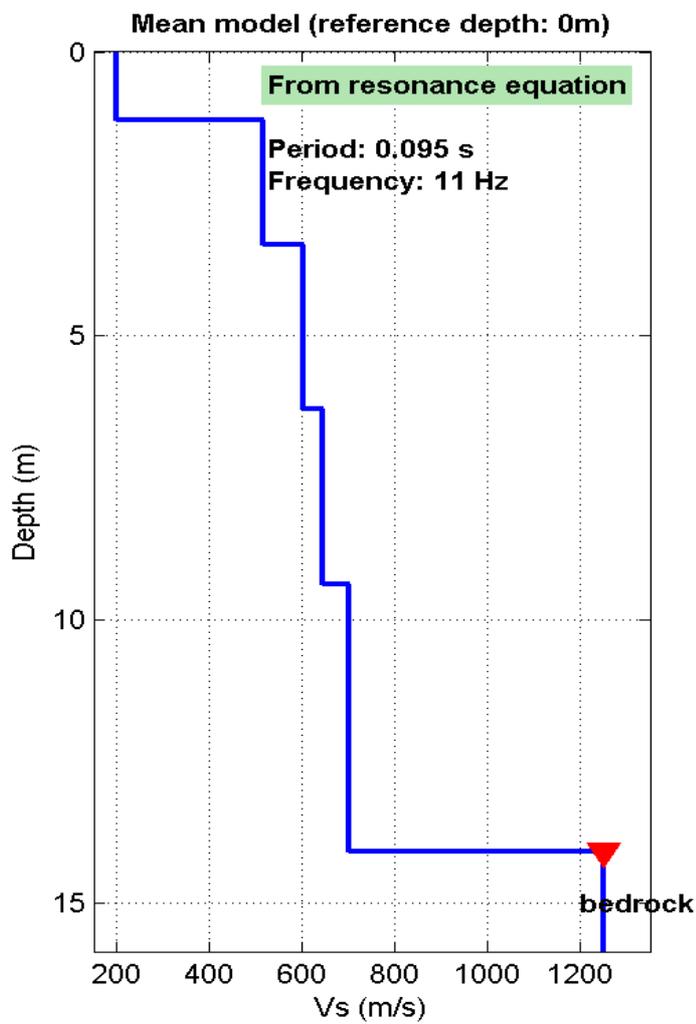
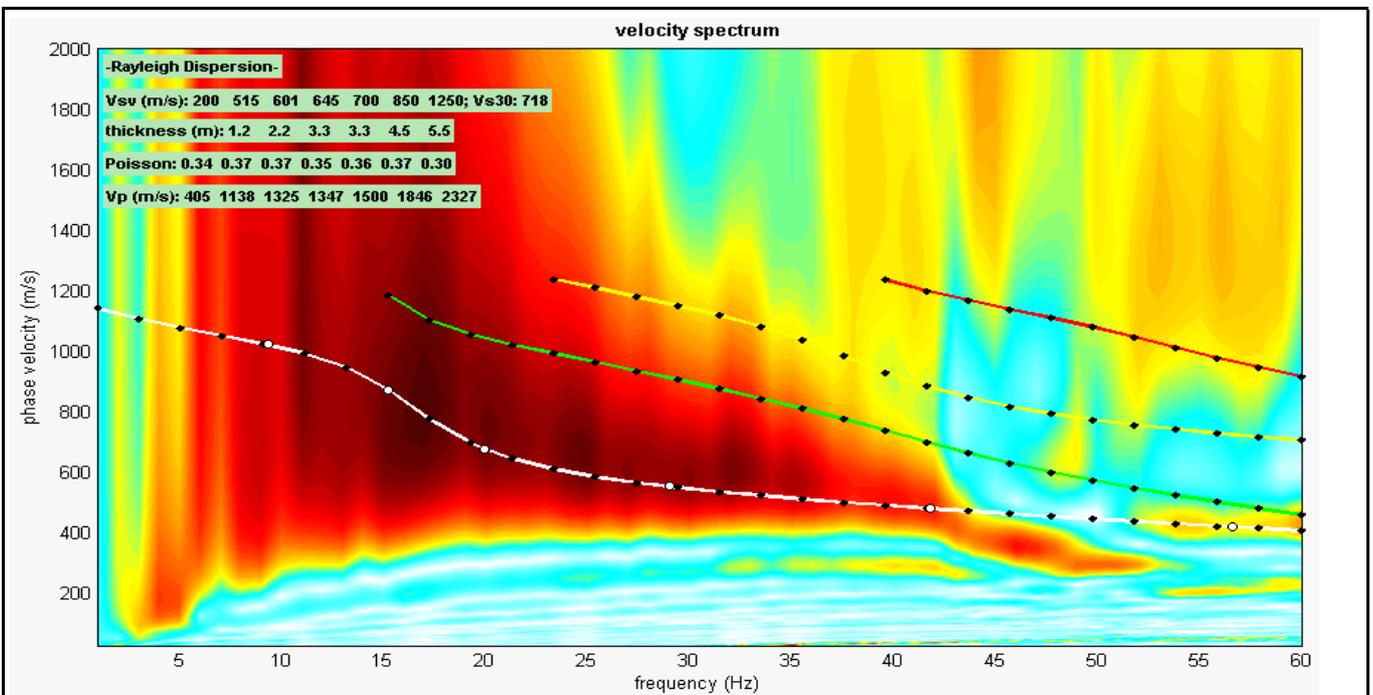




Vestenanova Masw 04-2022

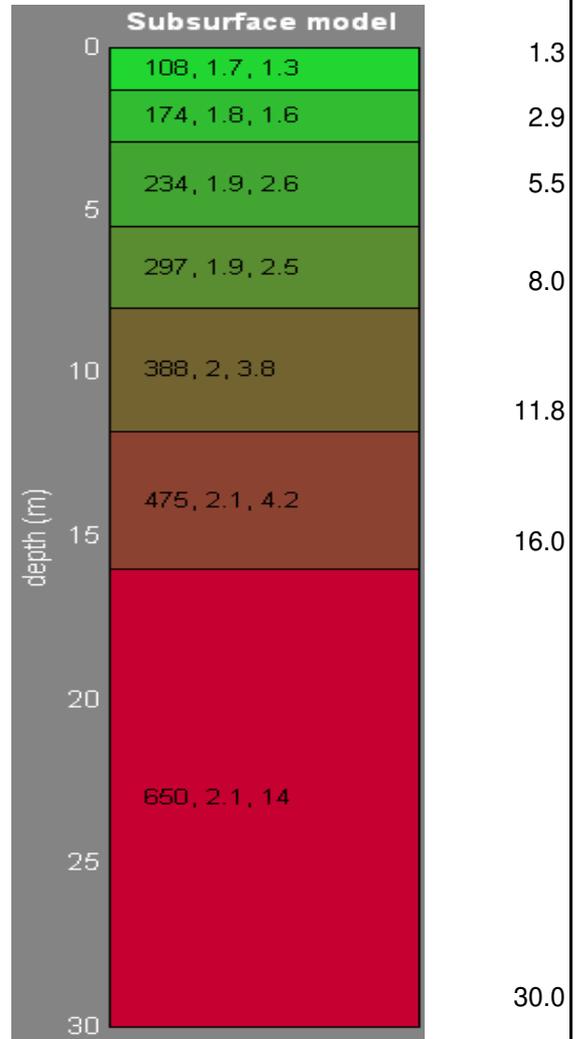
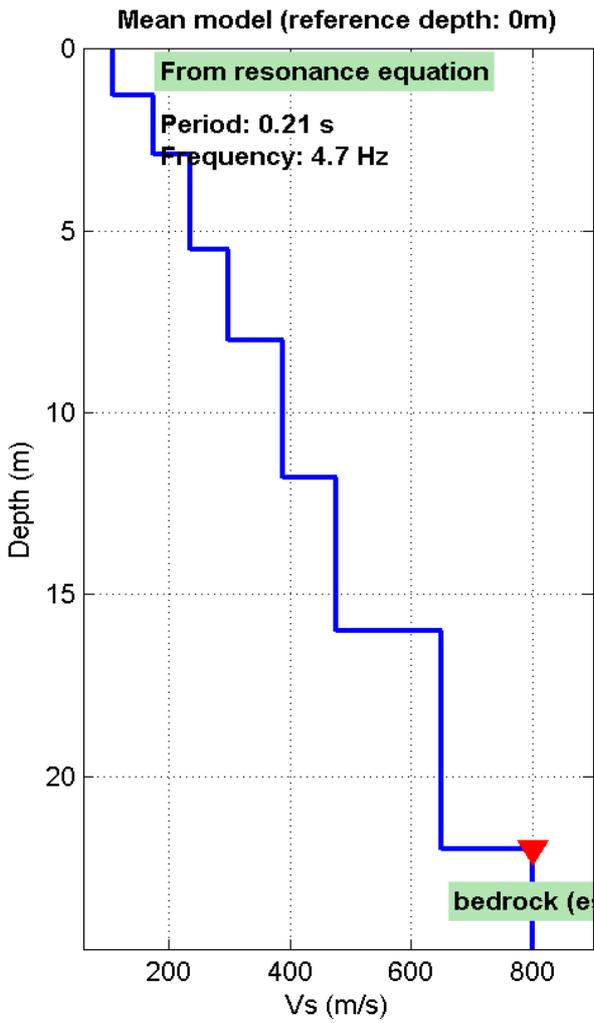
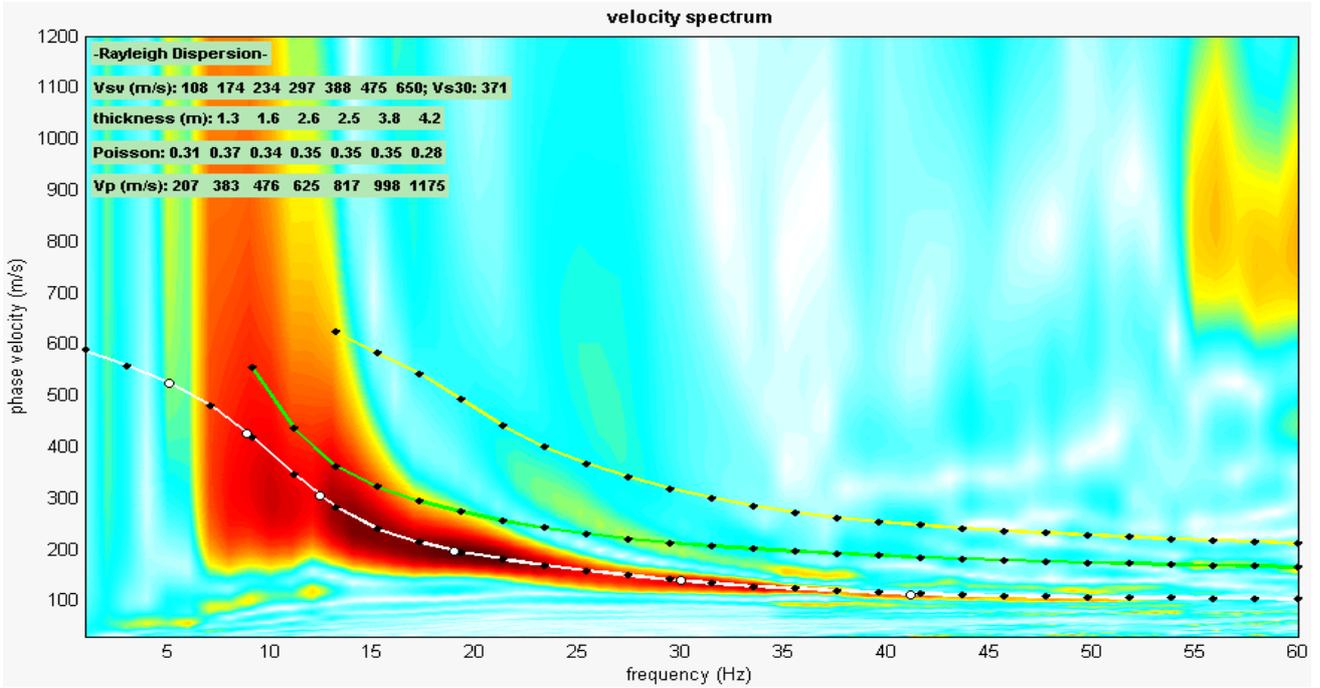
023093L28





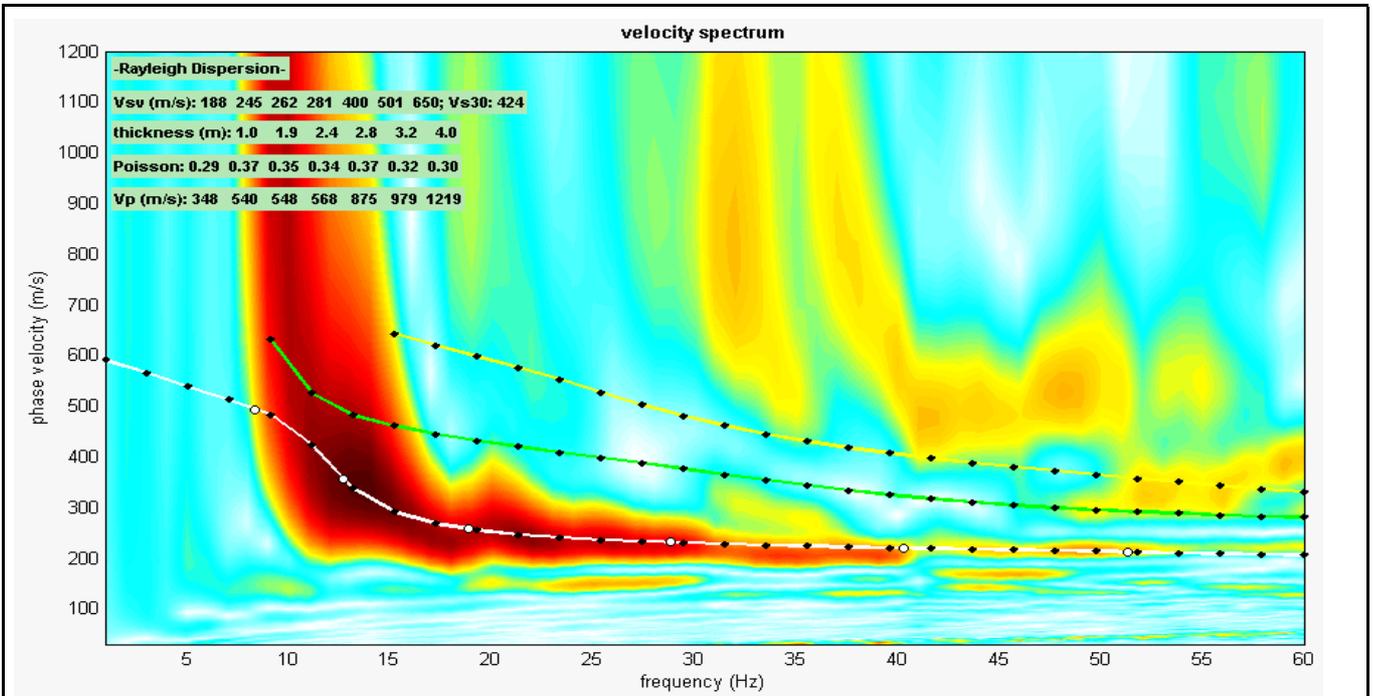
Vestenanova Masw 06-2022

023093L30

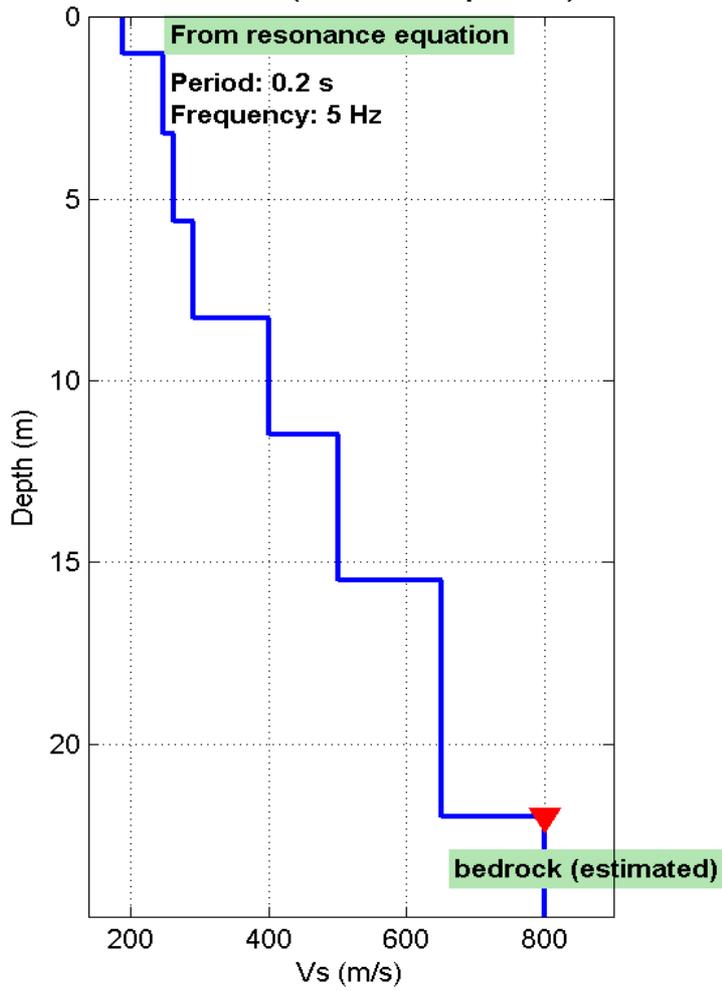


Vestenanova Masw 07-2022

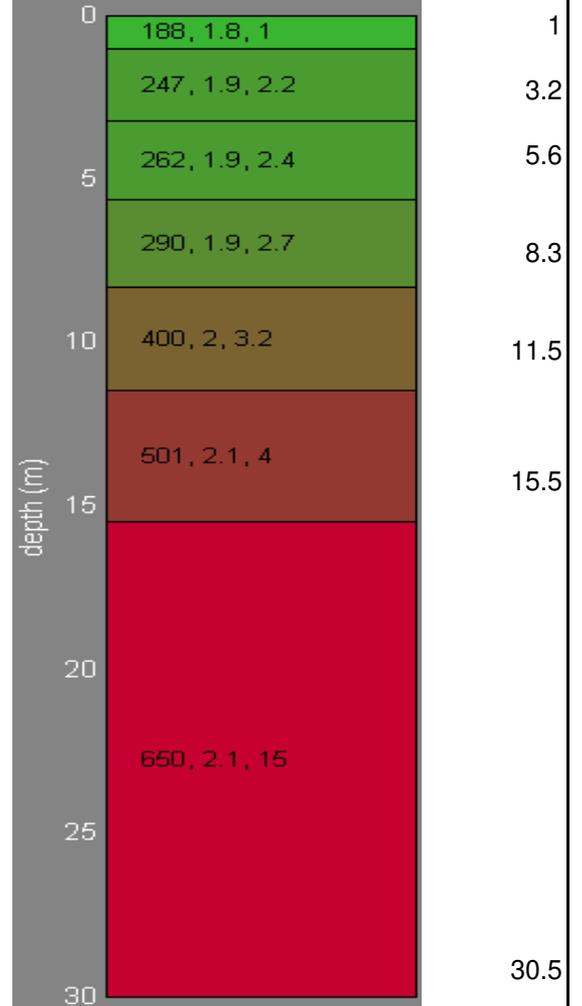
023093L31



Mean model (reference depth: 0m)

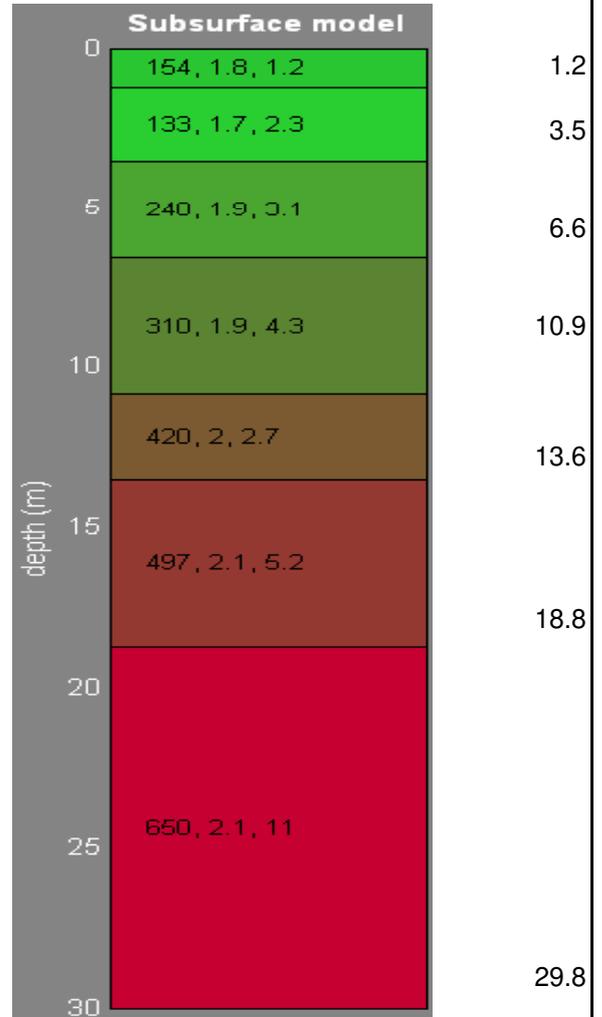
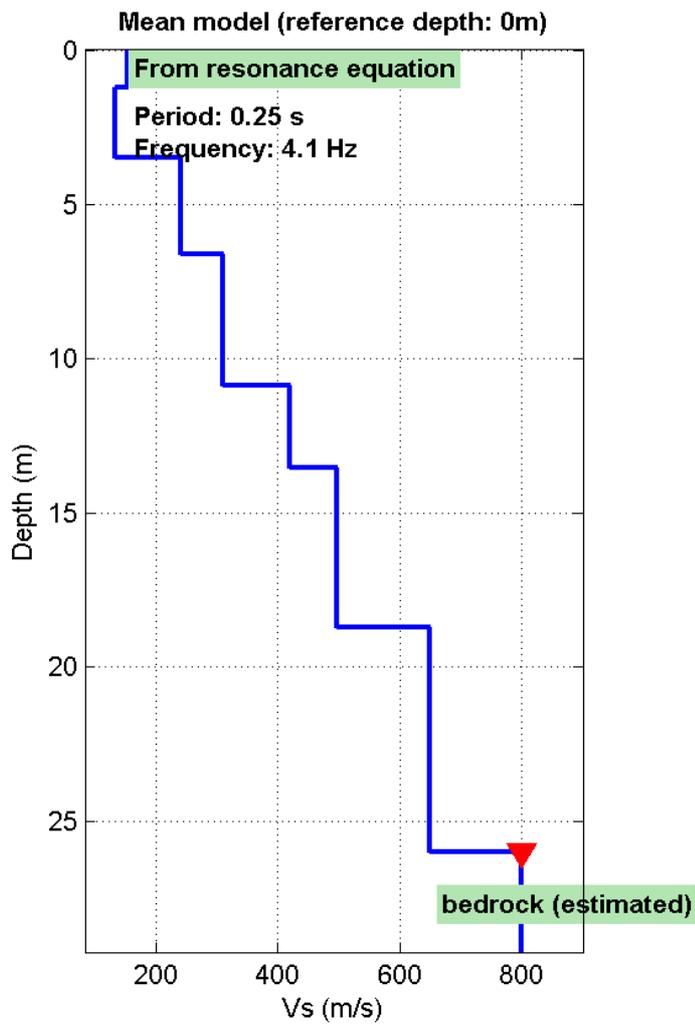
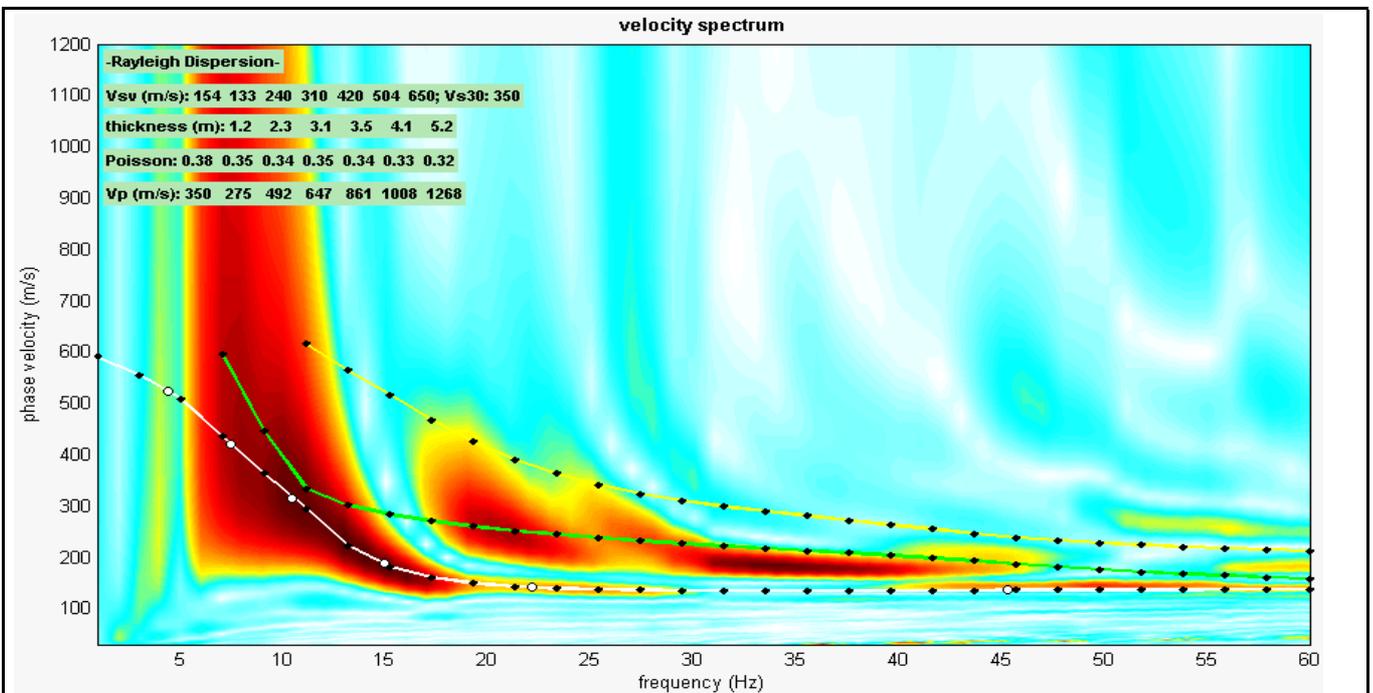


Subsurface model



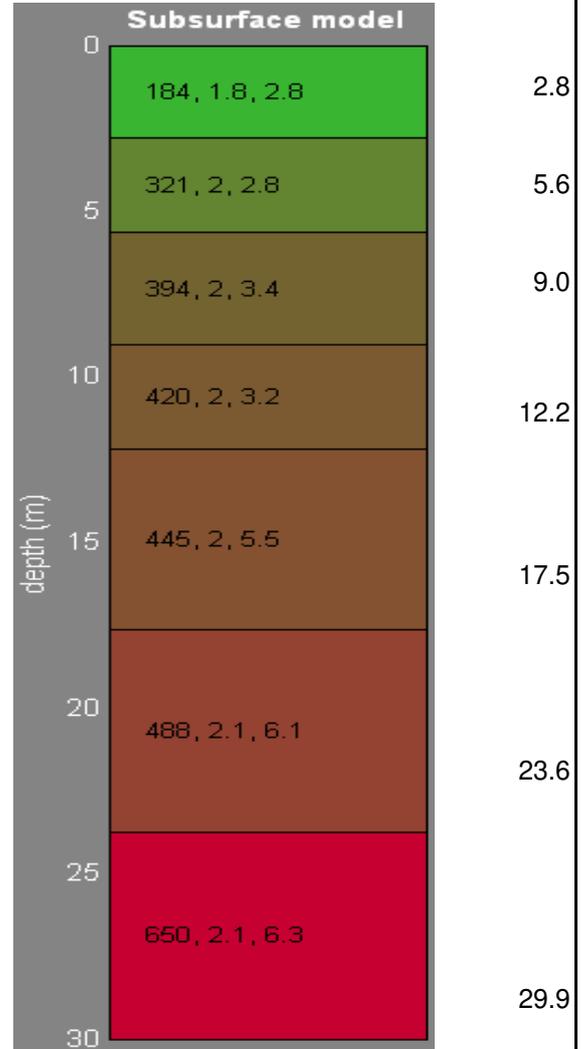
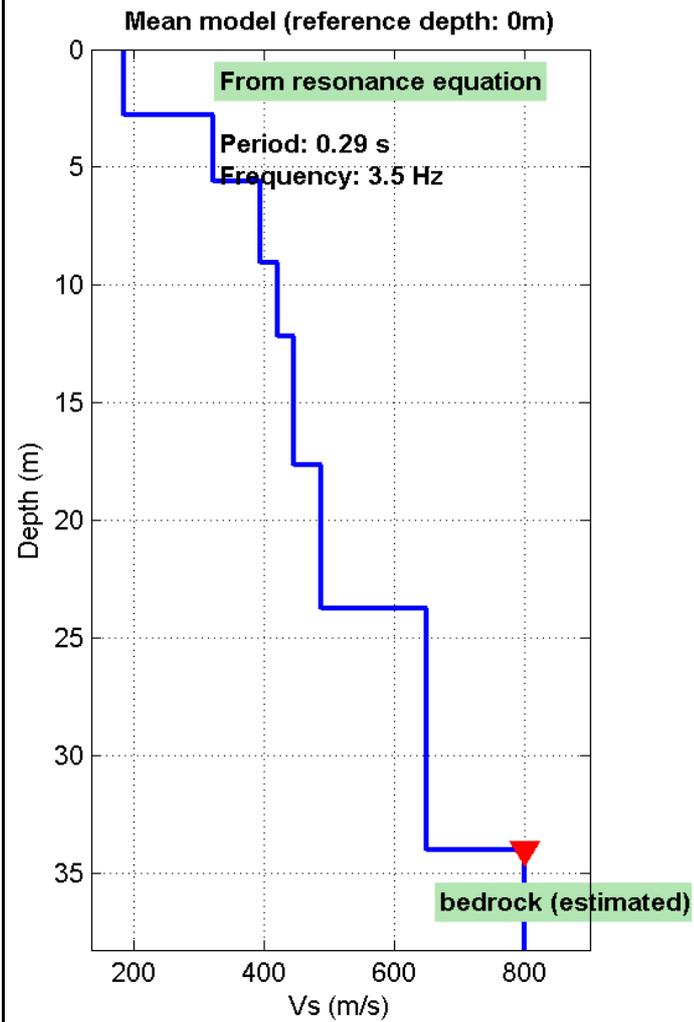
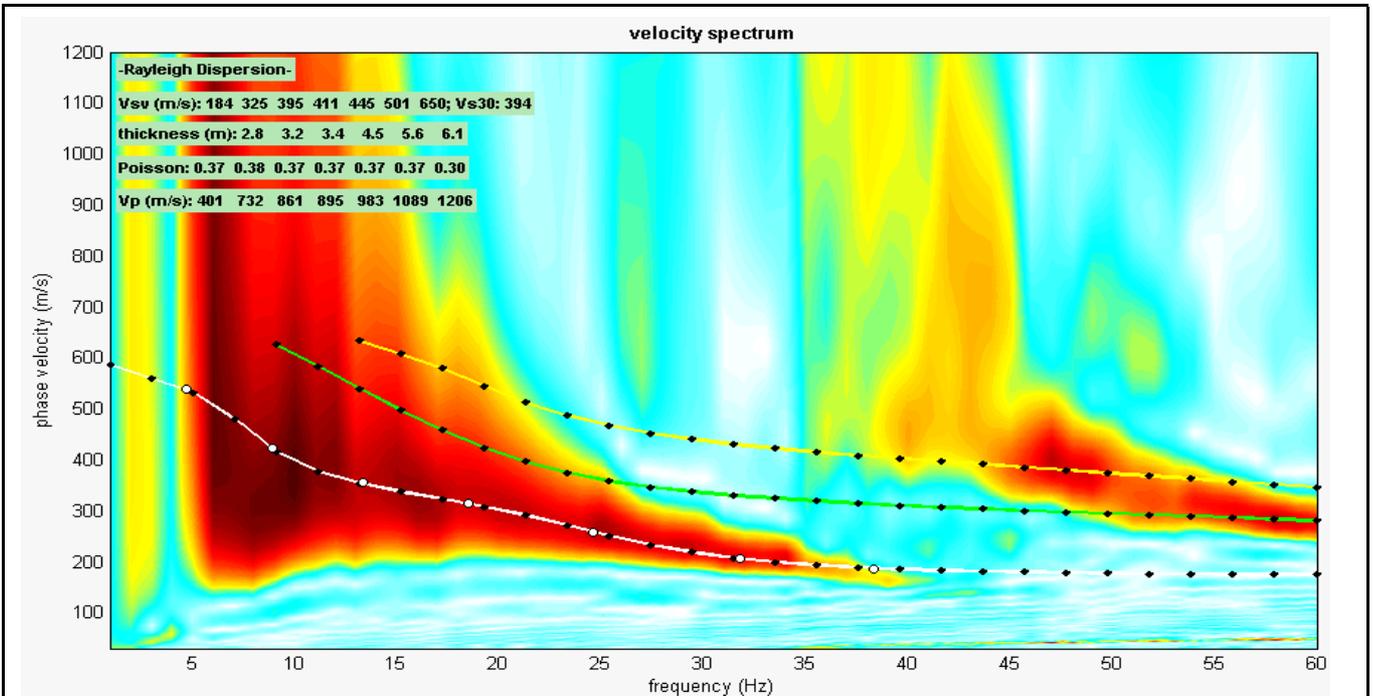
Vestenanova Masw 08-2022

023093L32



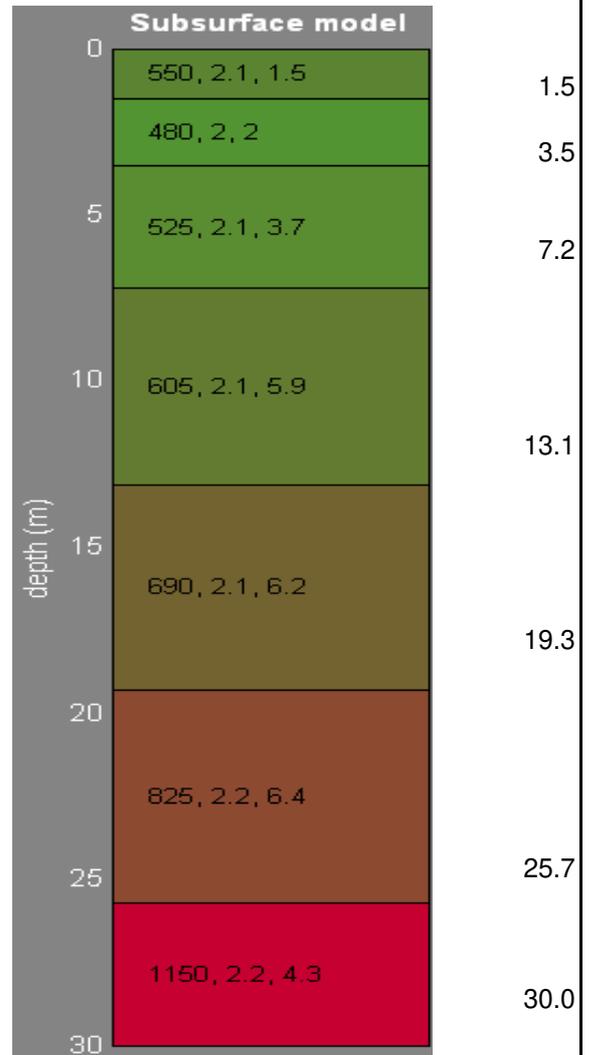
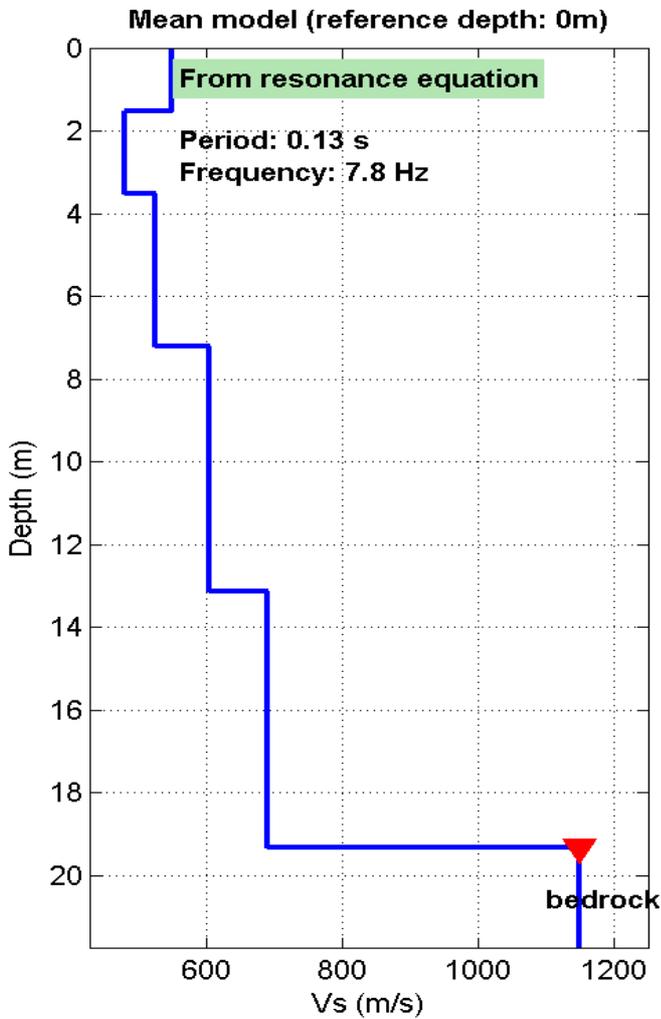
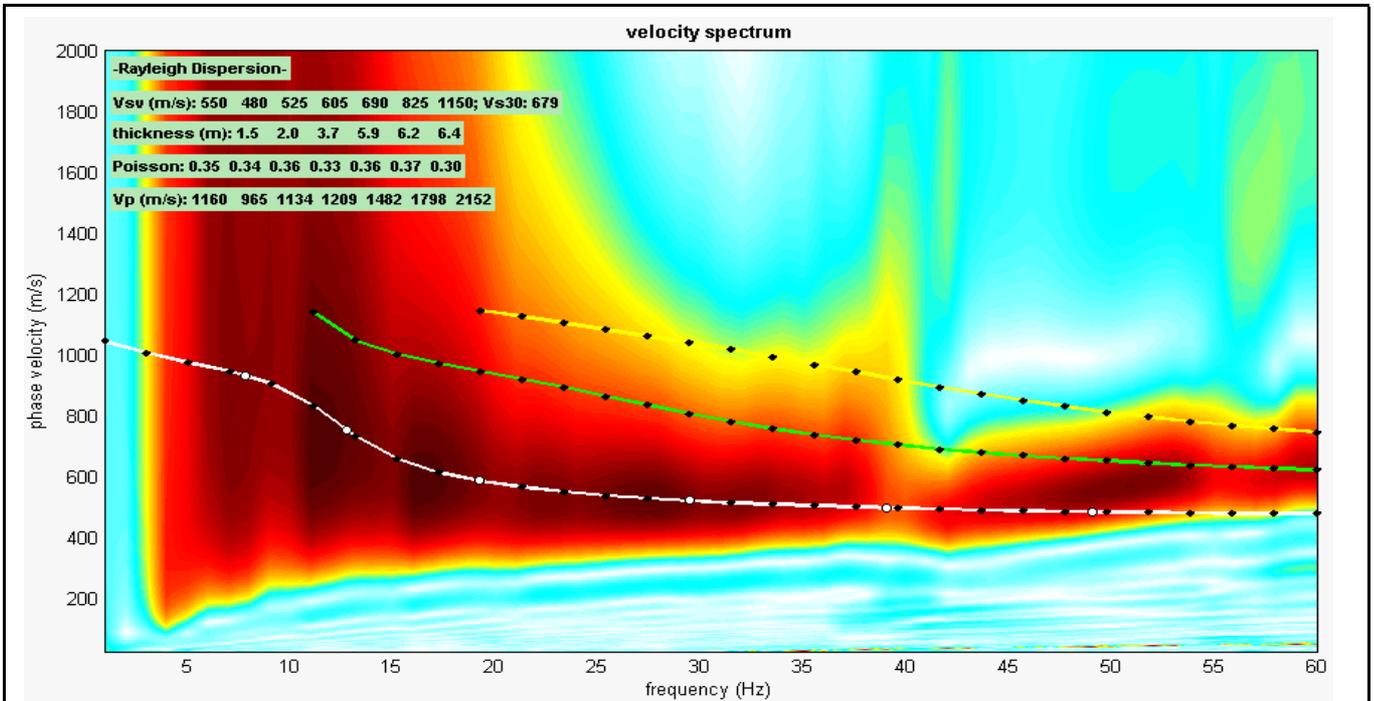
Vestenanova Masw 09-2022

023093L33



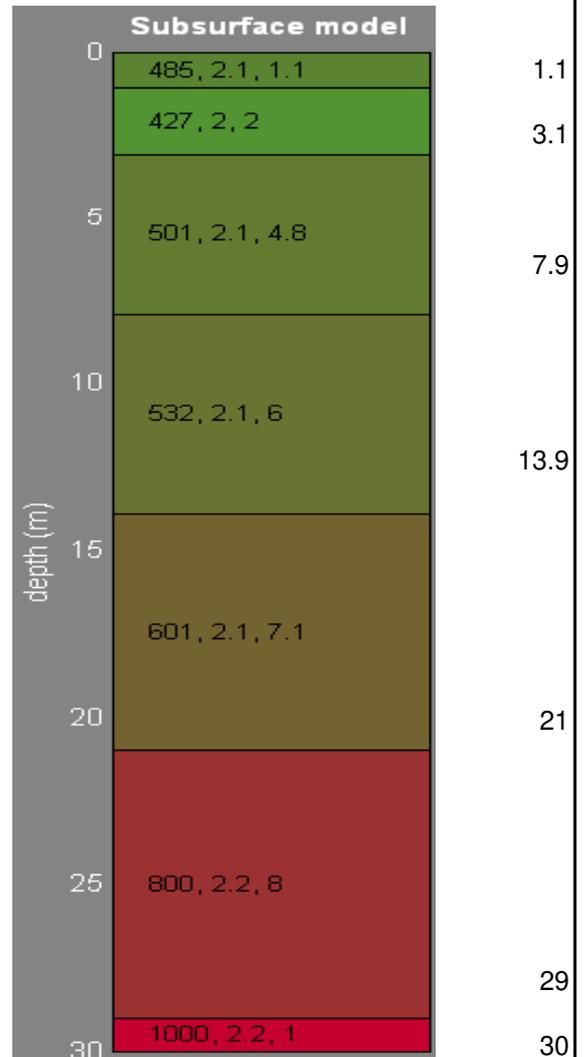
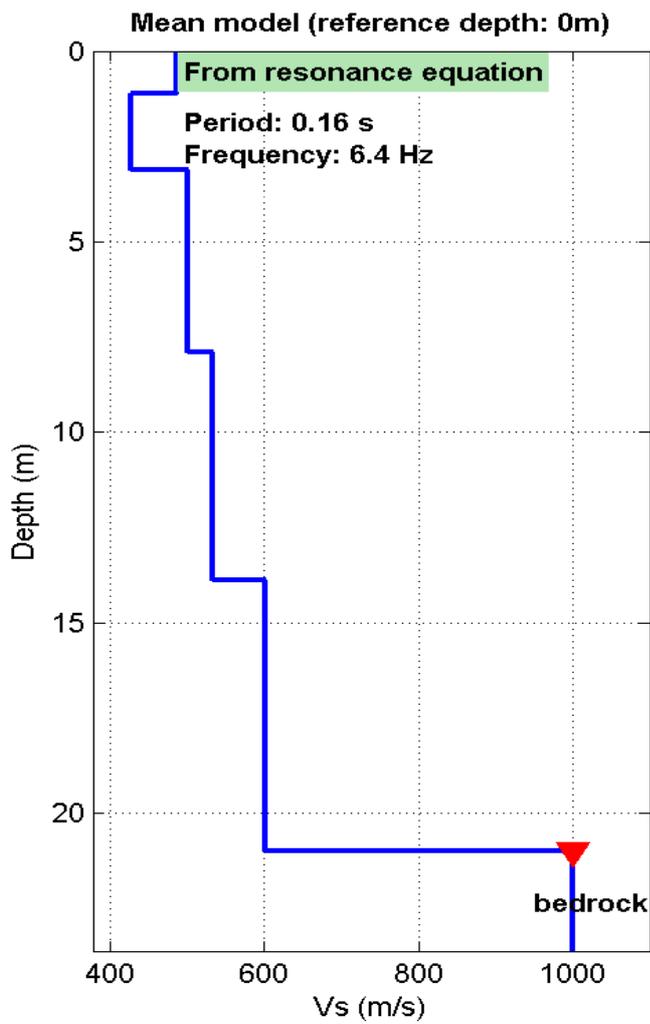
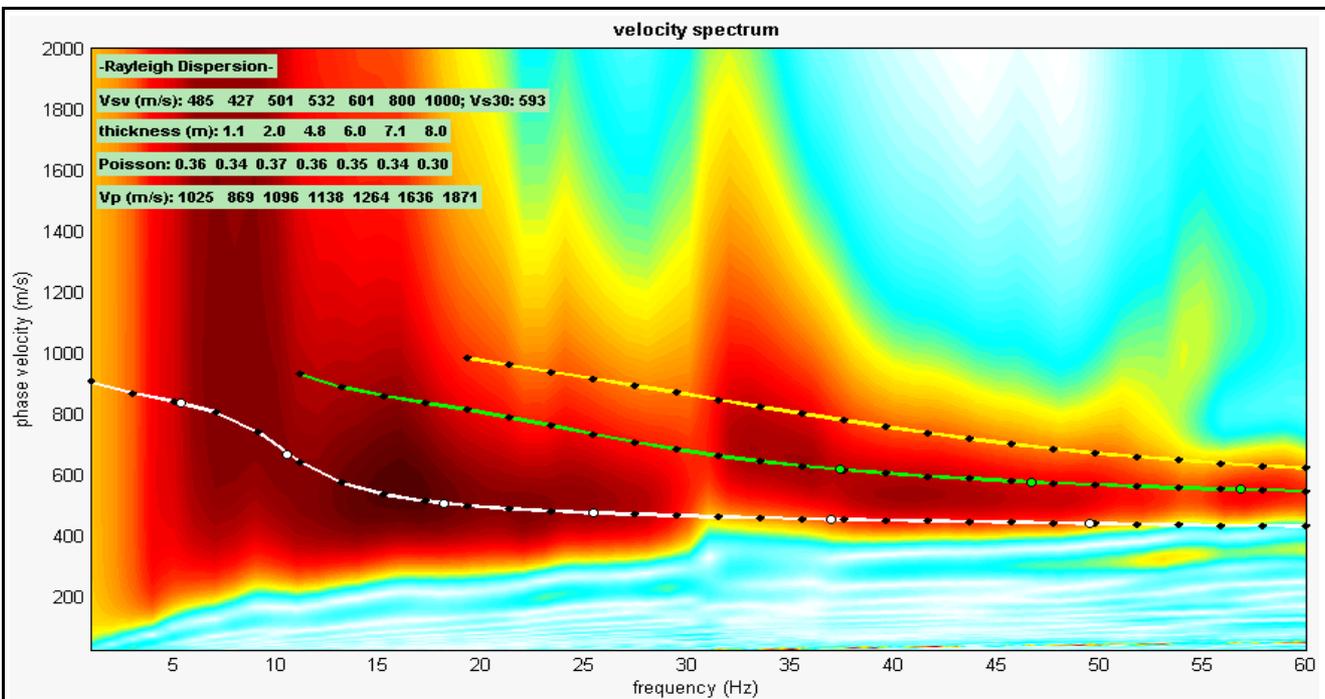
Vestenanova Masw 10-2022

023093L34



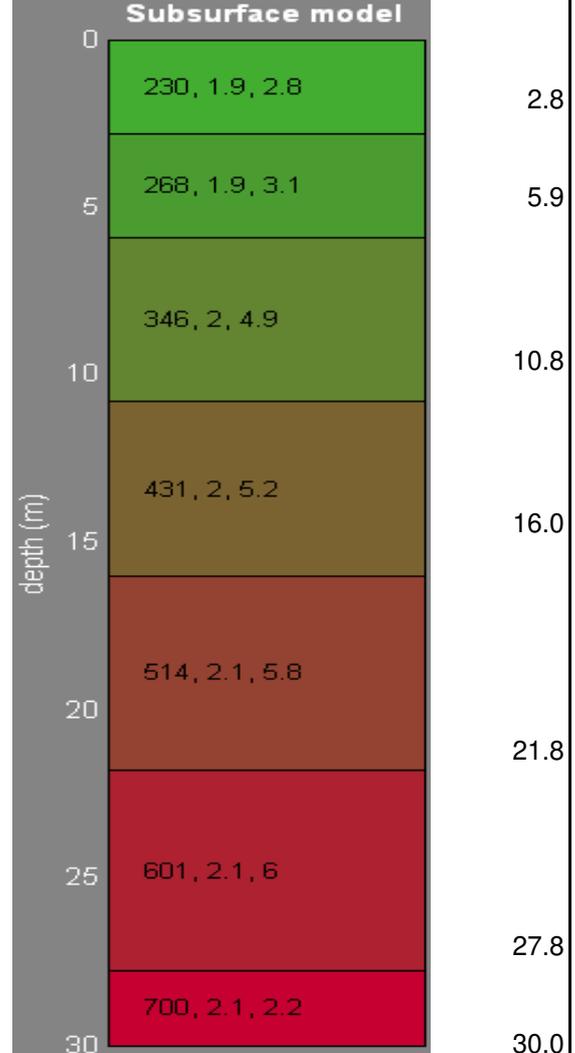
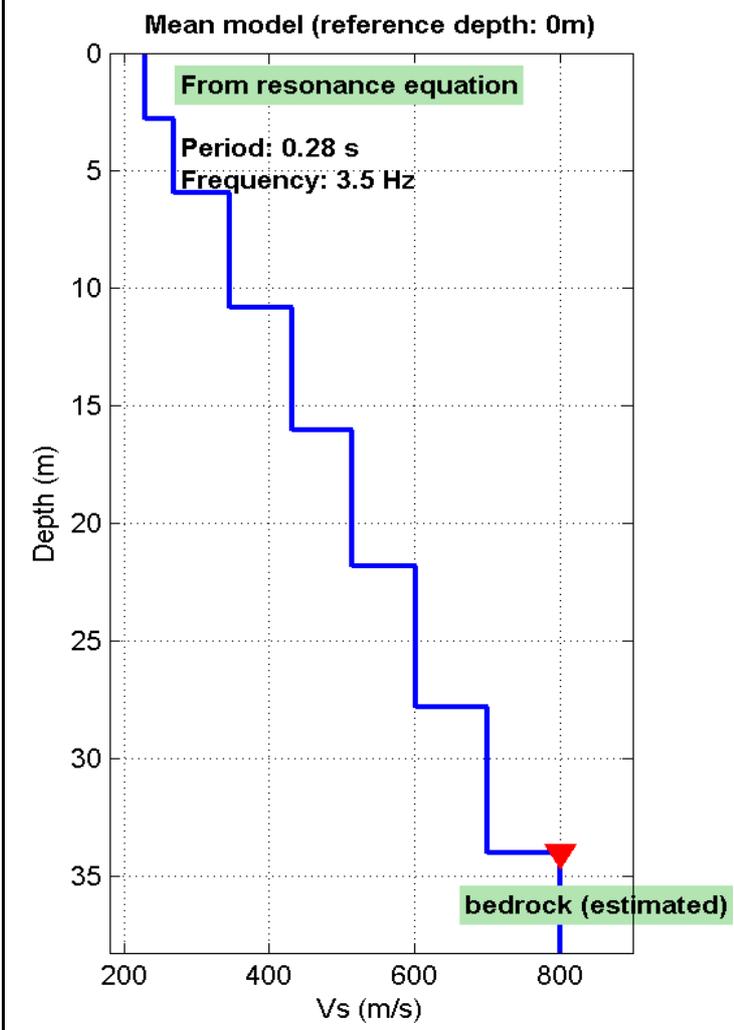
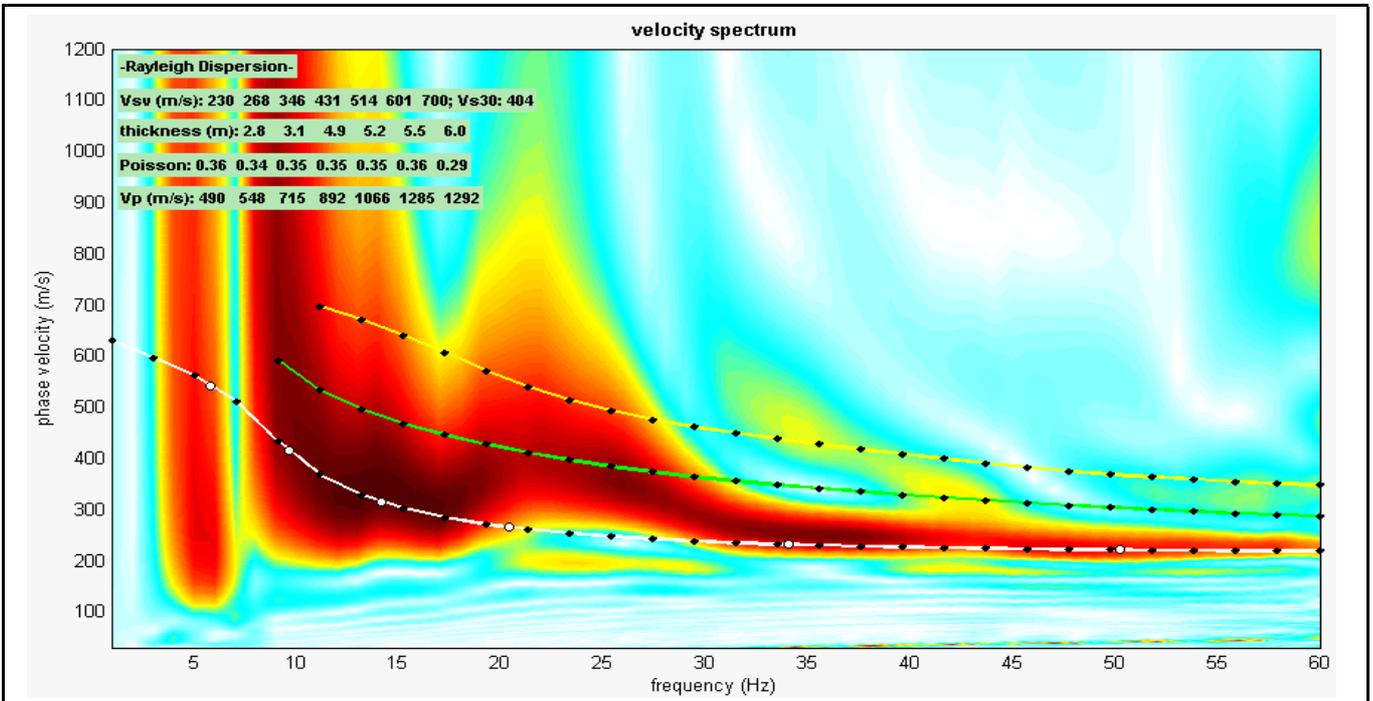
Vestenanova Masw 11-2022

023093L35

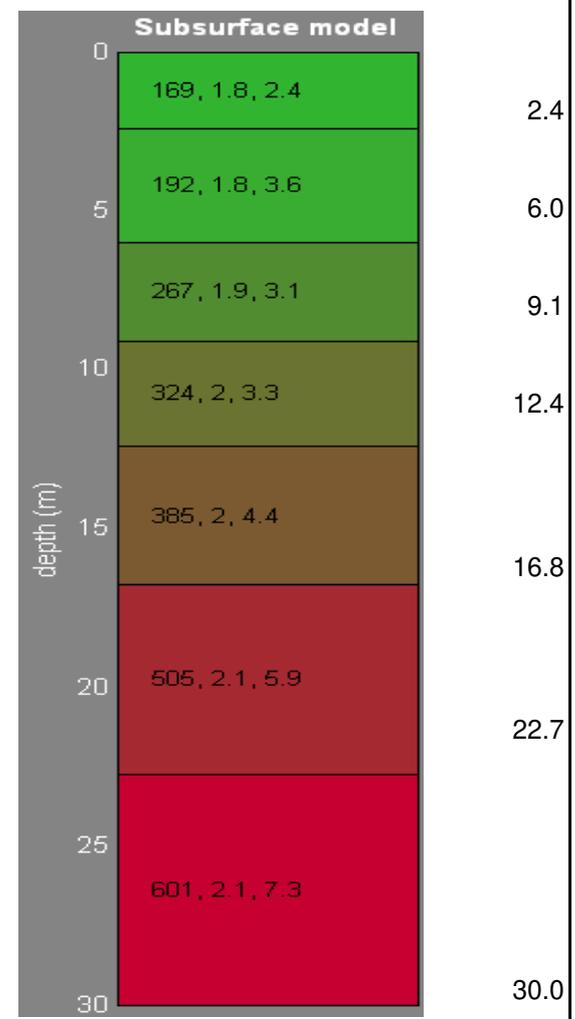
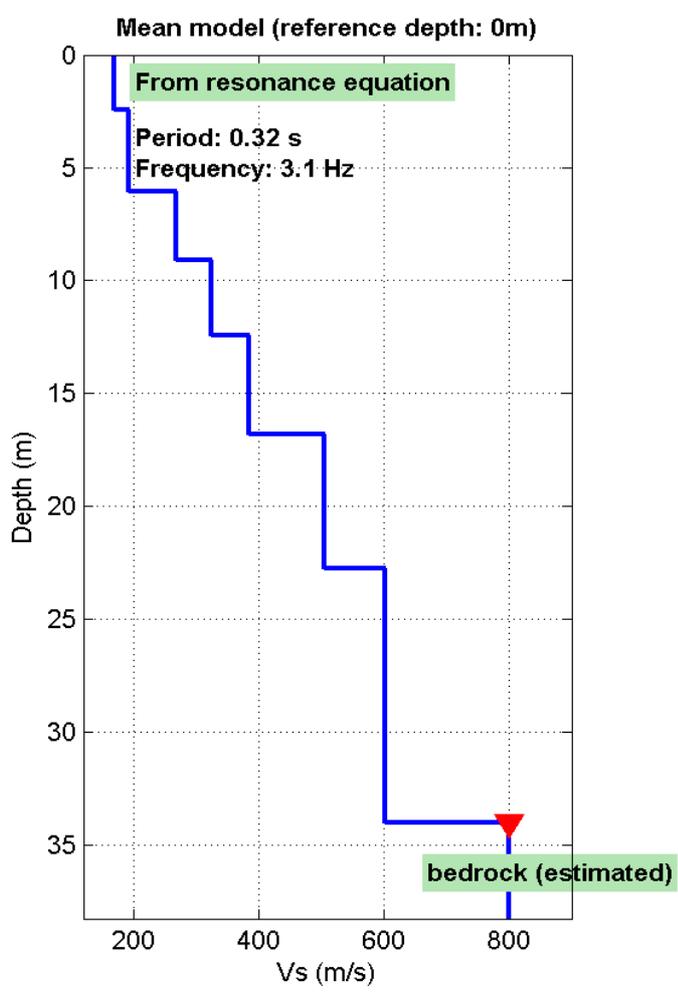
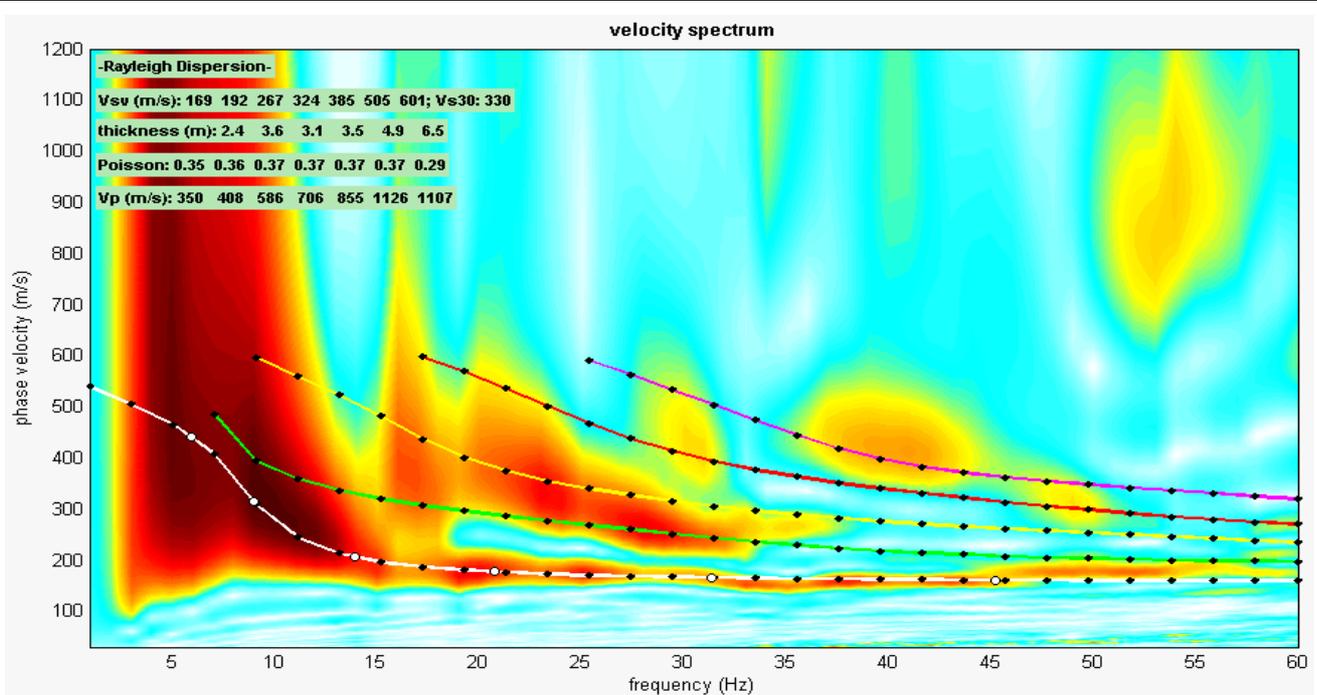


Vestenanova Masw 12-2022

023093L36

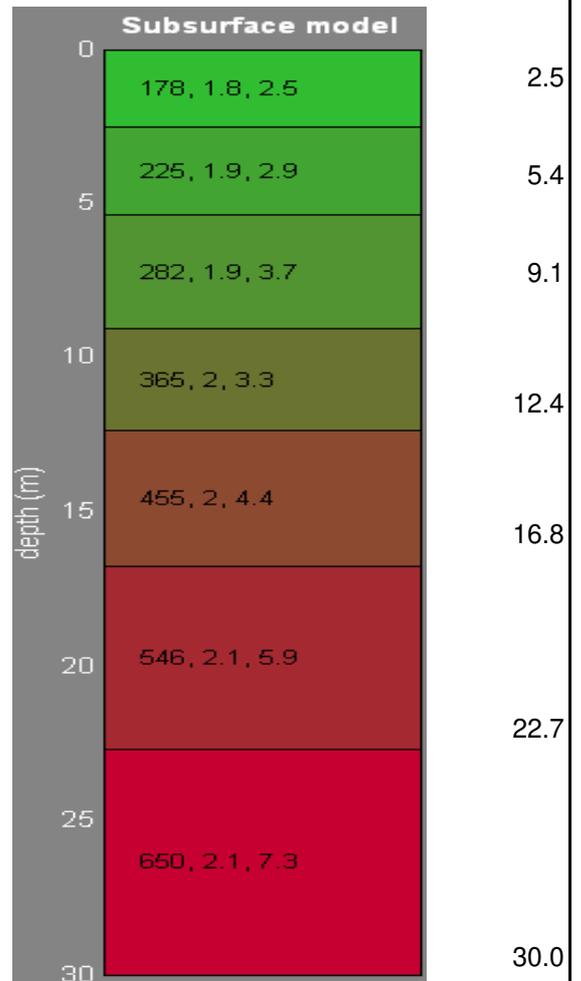
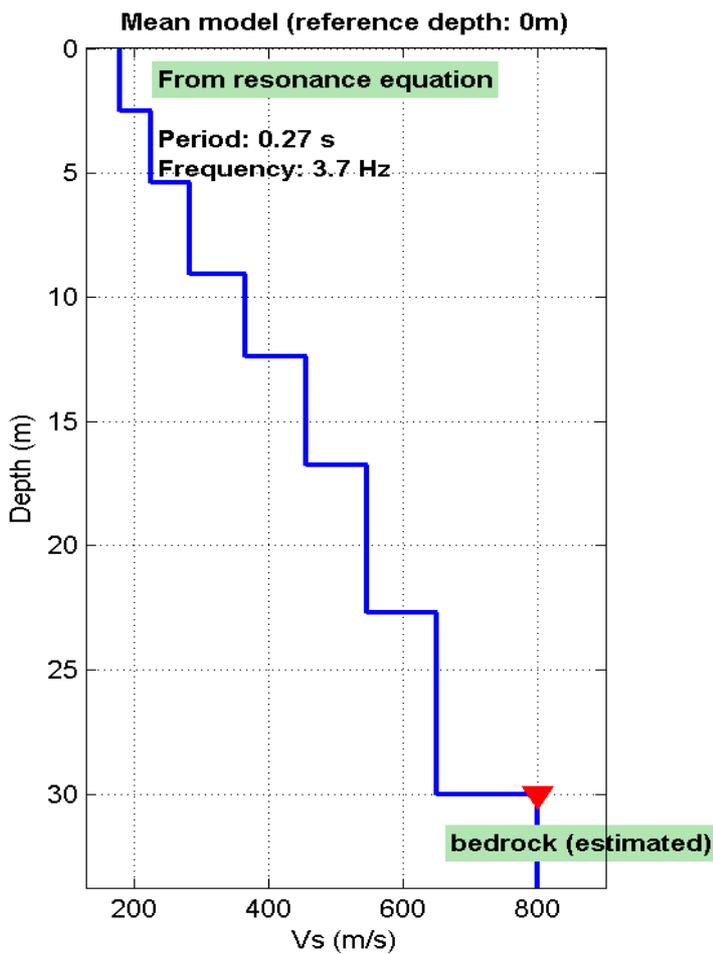
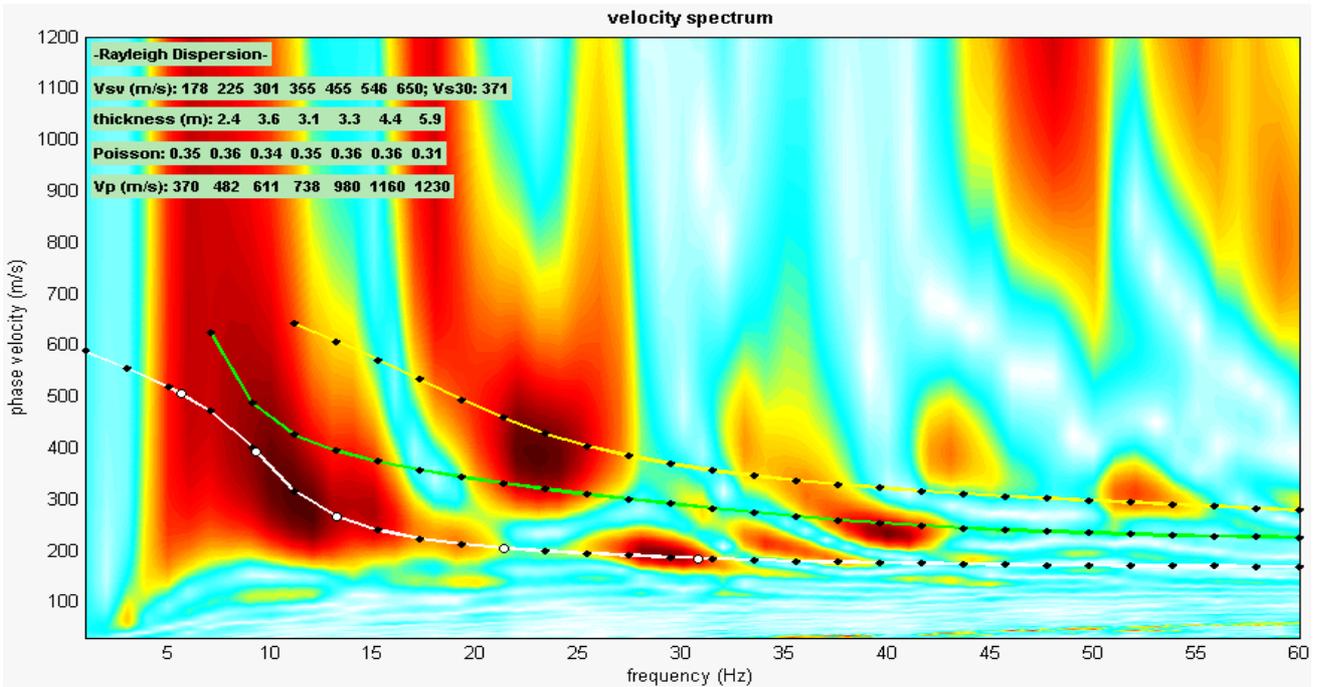


Vestenanova Masw 13-2022
023093L37



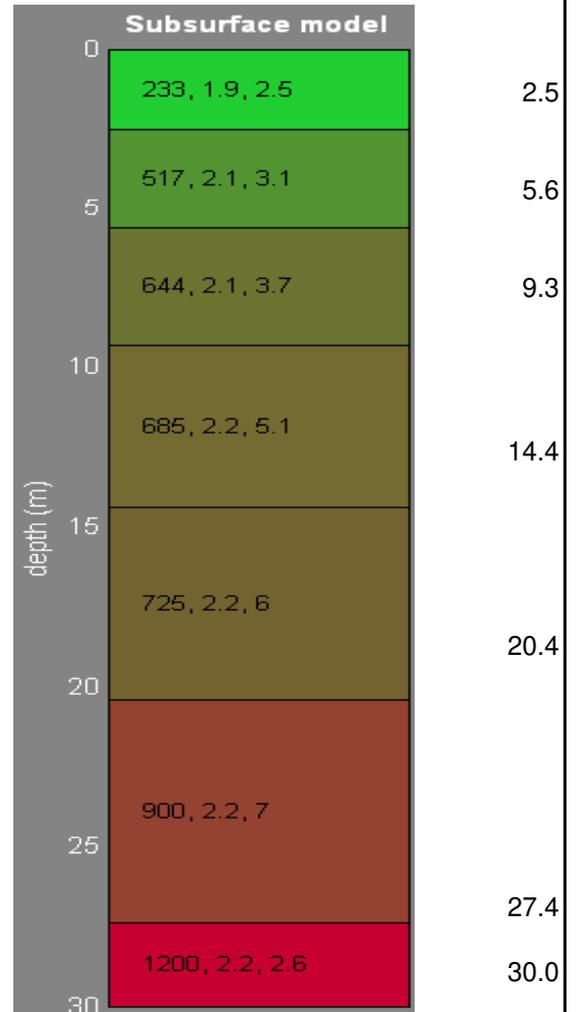
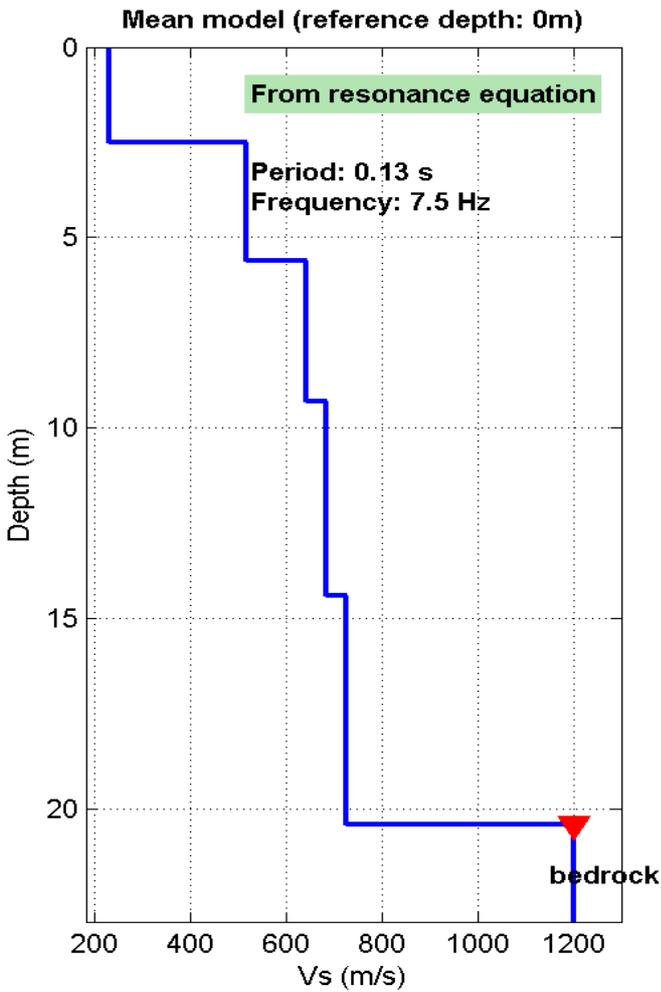
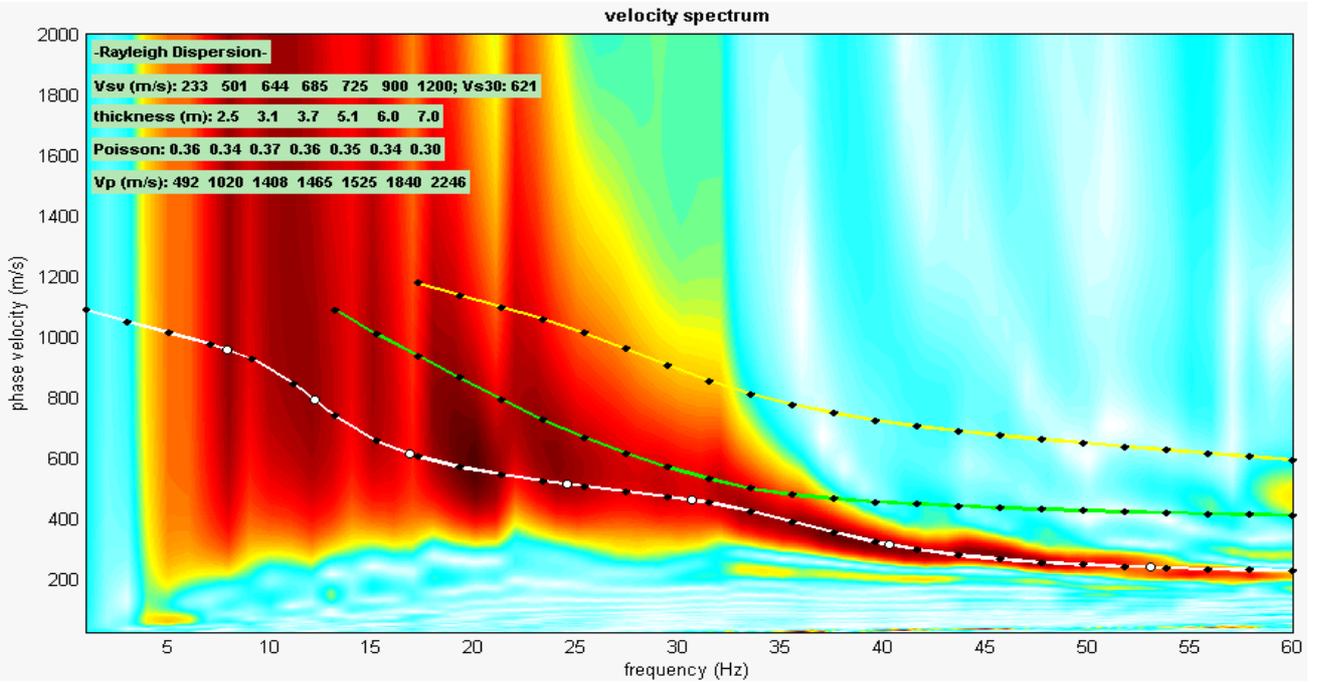
Vestenanova Masw 14-2022

023093L38



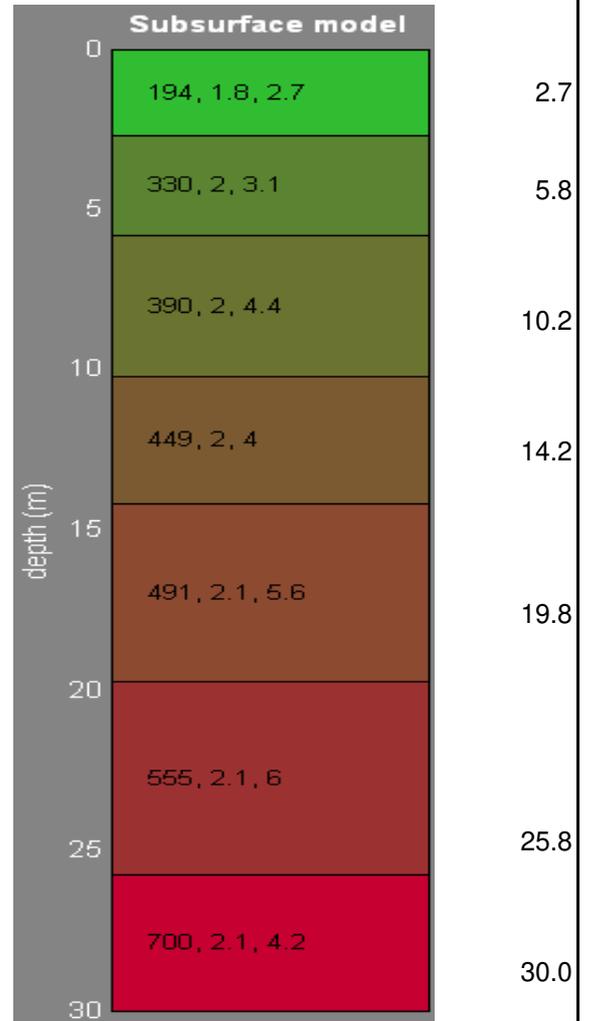
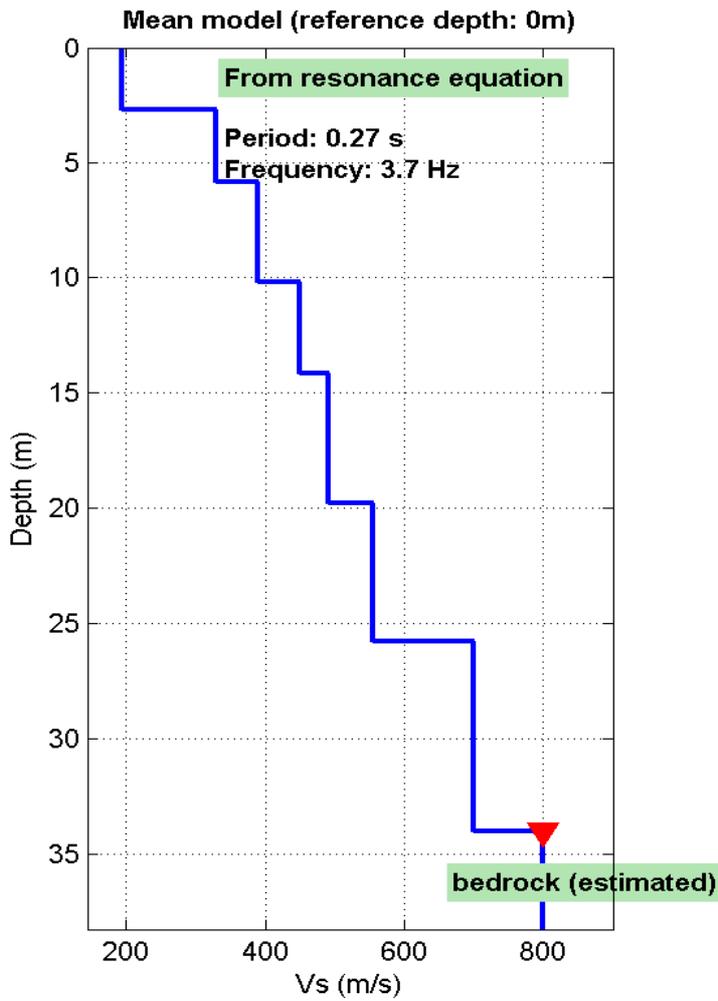
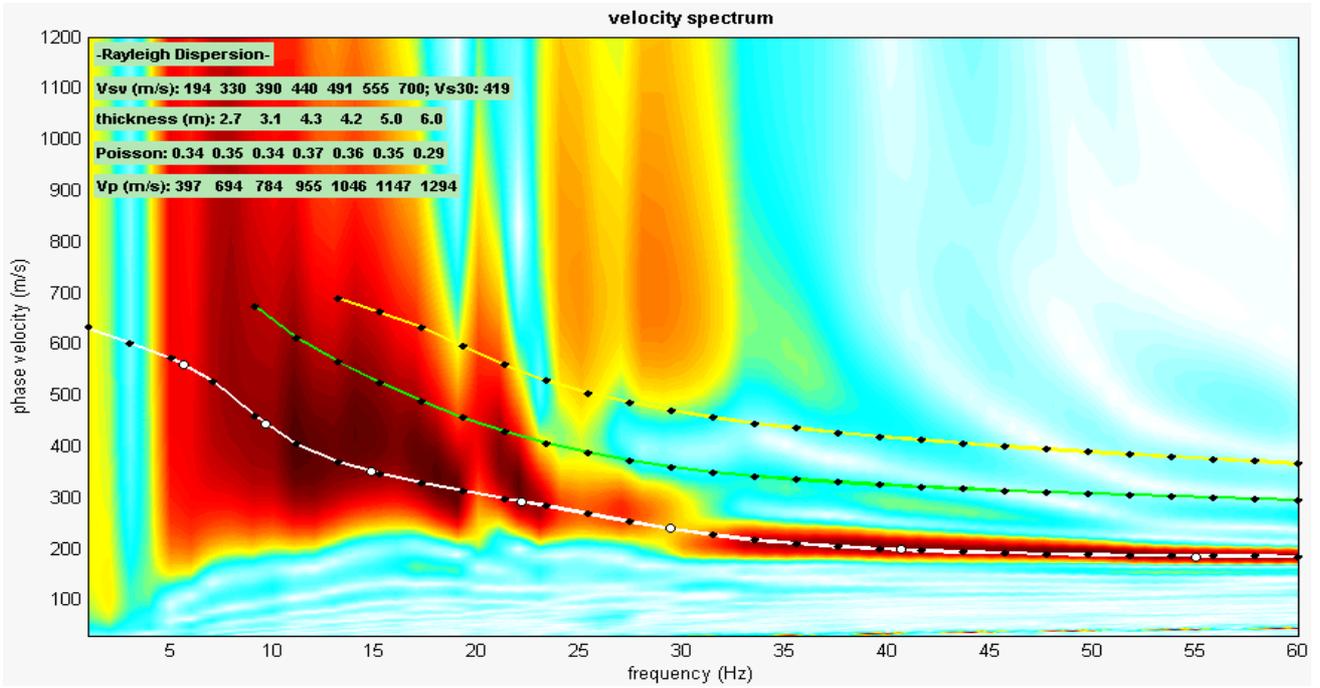
Vestenanova Masw 15-2022

023093L39



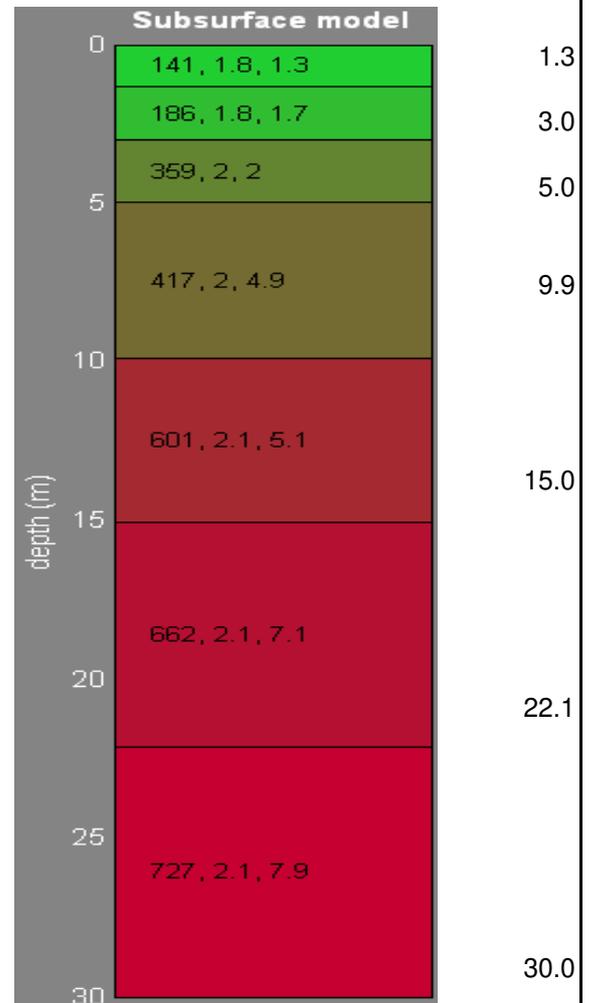
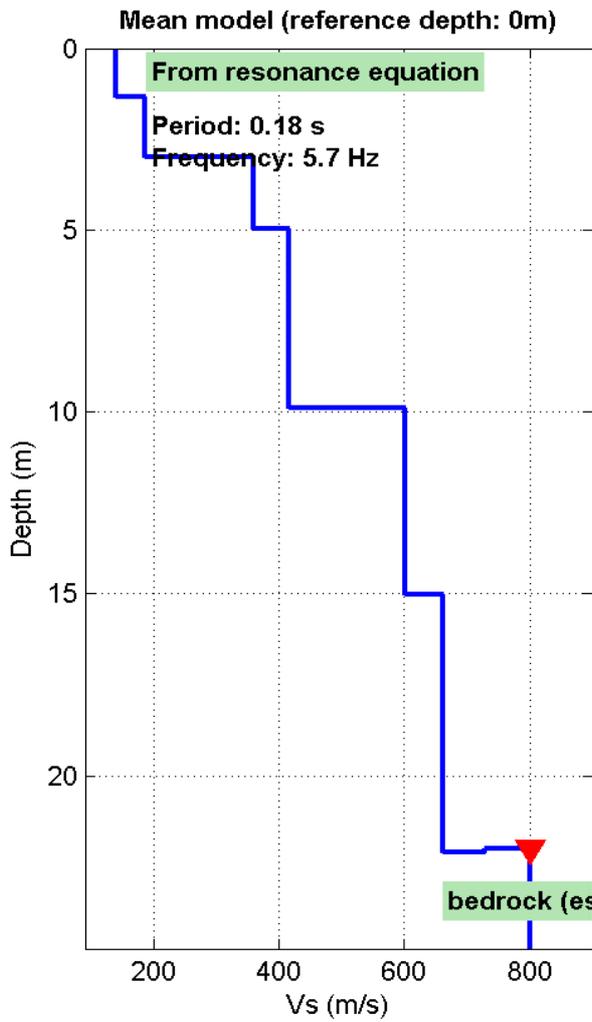
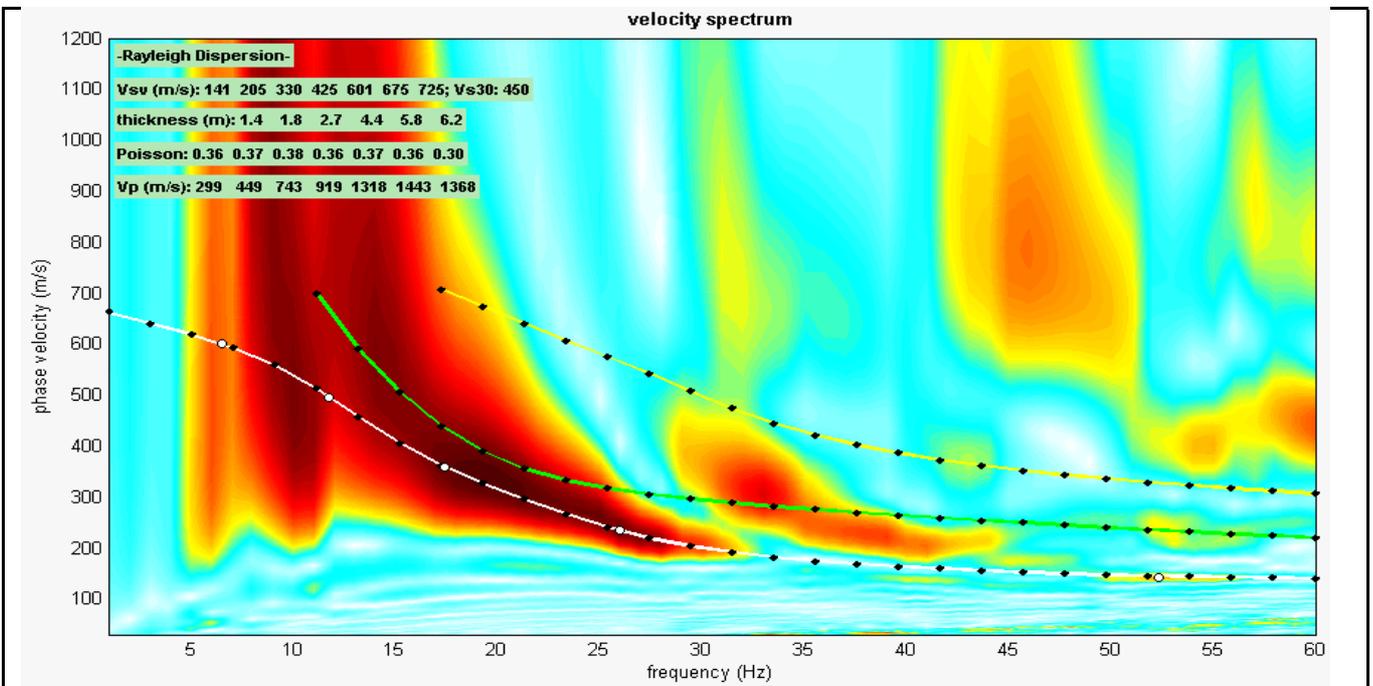
Vestenanova Masw 16-2022

023093L40



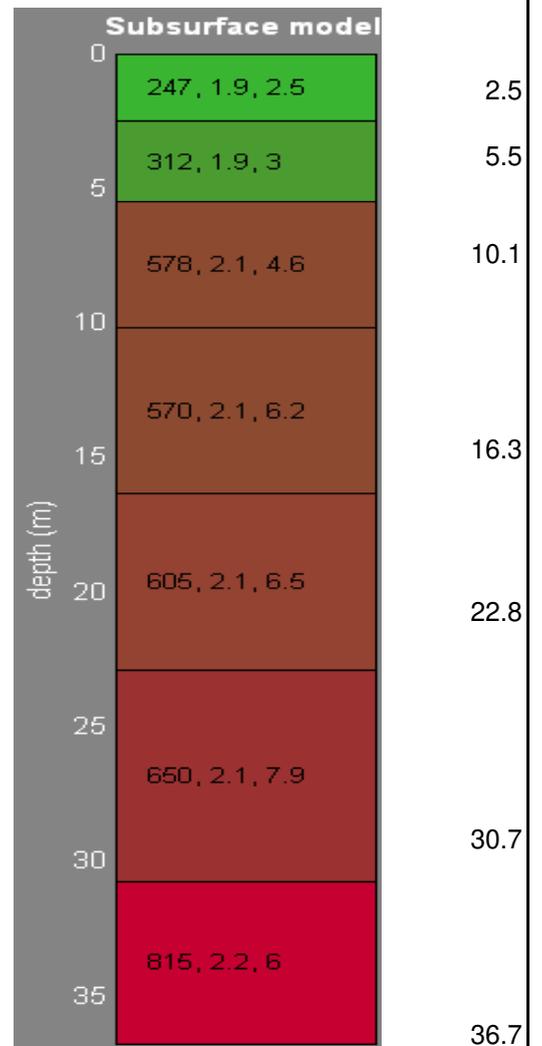
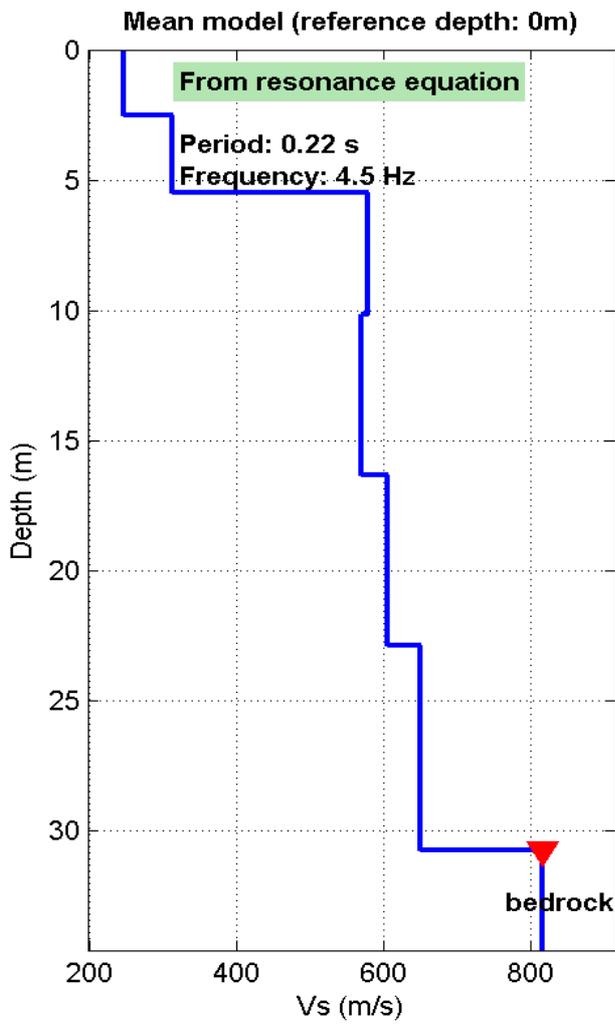
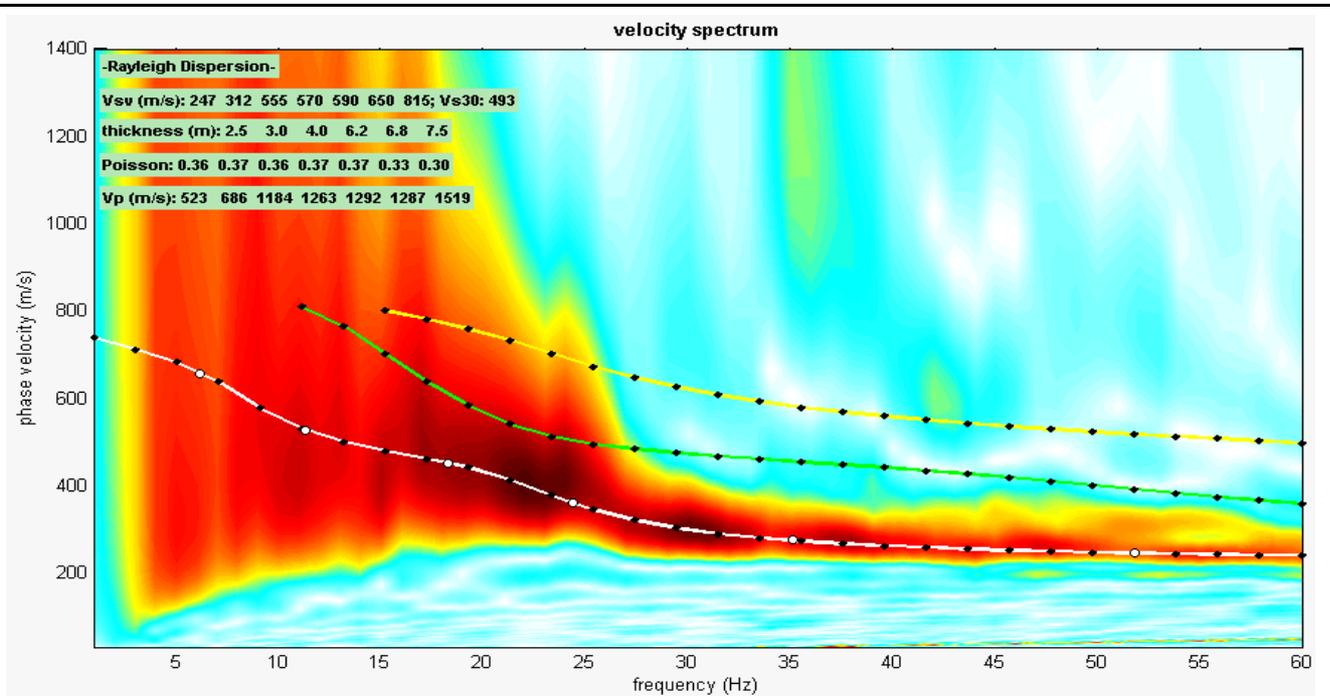
Vestenanova Masw 17-2022

023093L41



Vestenanova Masw 18-2022

023093L42



Vestenanova Masw 19-2022

023093L43

