



COMUNE DI SANTA FLAVIA

PROVINCIA DI PALERMO

**RELAZIONE GEOLOGICA ED INDAGINI SISMICHE DI SUPERFICIE
MASW IN MERITO ALLA VULNERABILITA' SISMICA RELATIVA
ALLA SCUOLA ELEMENTARE "MARIANO CEFALU'" SITA IN VIA
CONSOLARE**

Francesco Valle geologo



SOMMARIO

1.) INCARICO ED UBICAZIONE.....	3
2.) INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	4
3.) METODOLOGIA INDAGINI MASW.....	10
4.) AZIONE SISMICA	12
5.) MOBELLAZIONE GEOTECNICA MEDIA	14

ALLEGATI

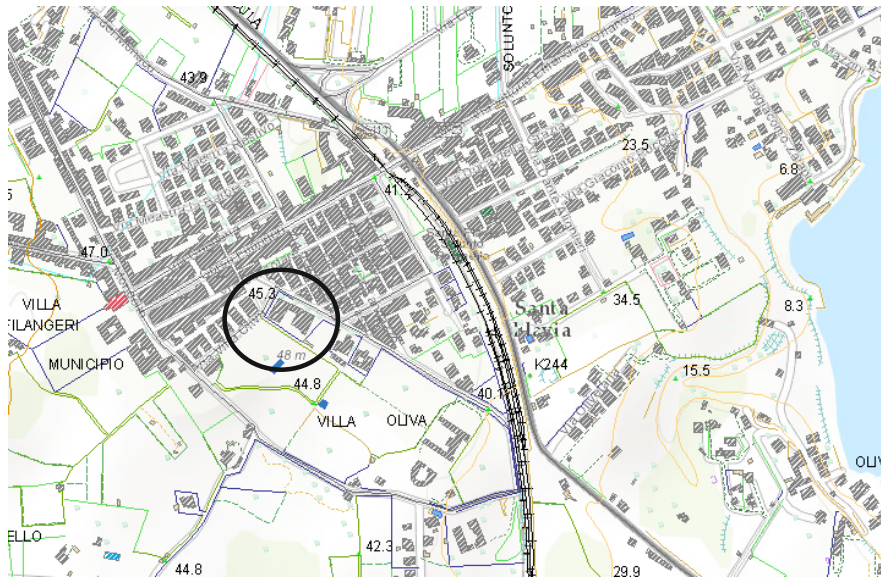
PROVE IN SITO: SISMICHE - RISULTANZE

1.) INCARICO ED UBICAZIONE

La presente relazione riferisce su quanto è emerso dall'indagine eseguita dal sottoscritto dott. Geol. Francesco Valle, iscritto al n° 409 dell'Albo Professionale dell'Ordine Regionale dei Geologi della Liguria, in relazione alla caratterizzazione sismica dell'area di pertinenza della Scuola Elementare “Mariano Cefalù” sita in Via Consolare nel Comune di Santa Flavia (vedi TAVV.1 e 2).



Tav. 1. Localizzazione aree di indagine (da Google Maps non in scala).

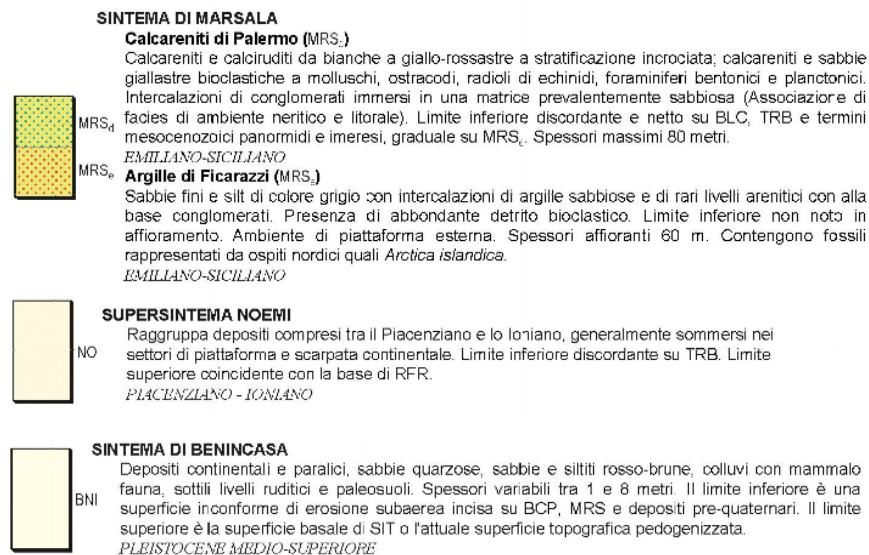
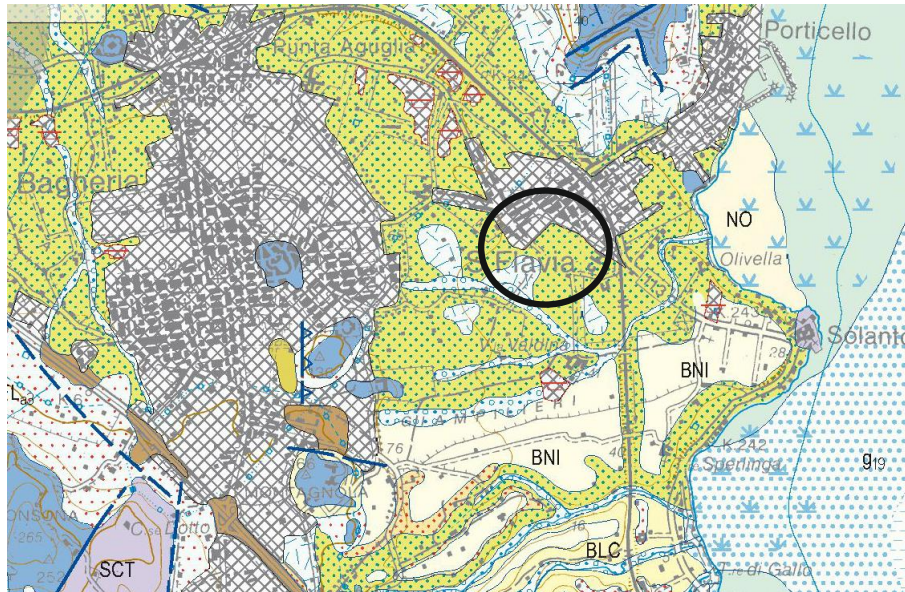


Tav. 2. Localizzazione aree di indagine (CTR non in scala da geoportale regionale).

2.) INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

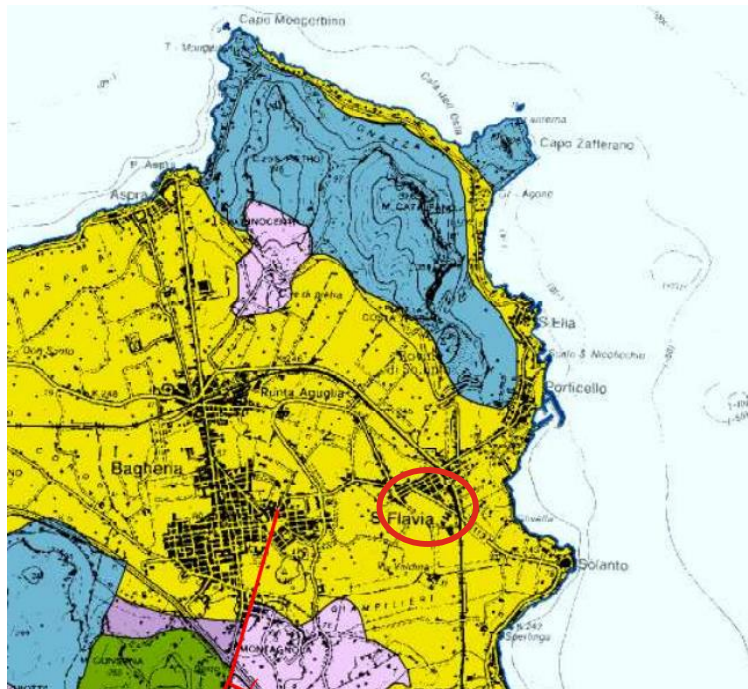
L'area d'indagine è situata sul margine sud - occidentale del territorio comunale di Santa Flavia, al limite dell'area maggiormente urbanizzata (vedi TAVV.1 e 2).

In particolare, il fabbricato oggetto d'indagine è sito sul lato meridionale di Via Consolare, in un contesto morfologico sostanzialmente subpianeggiante, a quota circa + 45m s.l.m.



Tav. 3. Stralcio Carta Geologica (da CARG Foglio Palermo).

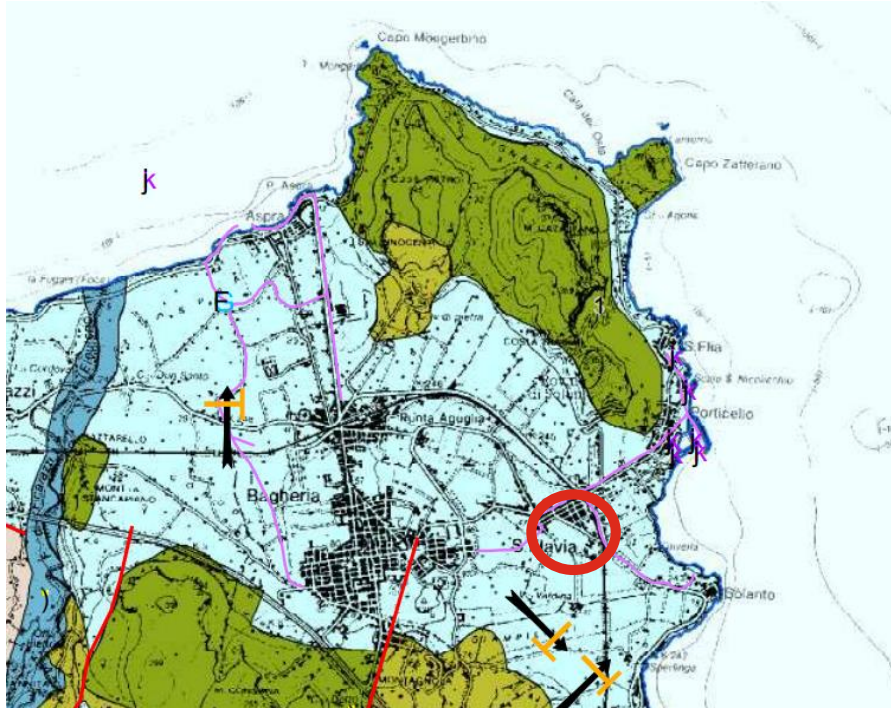
Dal punto di vista geologico la zona è caratterizzata da un substrato costituito da litotipi di calcareniti organogene giallastre, più o meno cementate, con livelli sabbio-limosi e conglomeratici. Si tratta di rocce eterogenee, che oscillano da caratteri di sabbia a sabbia fine con livelli di limo sabbioso, variamente addensata, a quelli di un'arenaria compatta o tenera e friabile o di aspetto vacuolare, a cemento calcitico, fino a quelli di una calcirudite, ad elementi sub-arrotondati o spigolosi, ad elevato grado di cementazione.



Associazioni Litologiche

	Accumuli gravitativi (Frane - Pleistocene sup.-Olocene)
	Detrito di falda (Depositi recenti - Pleistocene superiore - Olocene)
	Coperture fluviali, colluviali ed eluviali (Depositi recenti - Pleistocene sup.-Olocene)
	Sabbie e conglomerati alluvionali, paleosuoli argilloso-sabbiosi, arenarie, travertini (Depositi del Pleistocene medio-sup.)
	Argille e marne (Fm. Ribera - Pleistocene inf.-medio)
	Calcarenititi, sabbie, arenarie (Fm. Ribera - Pleistocene inf.-medio)
	Calcarenititi, arenarie, sabbie, con locali intercalazioni di breccie (Fm. Lascari, Fm. Monte Narbone, Marnoso-arenacea del Belice - Pliocene)
	Argille e marne (Fm. Lascari, Fm. Monte Narbone, Marnoso-arenacea del Belice - Pliocene)
	Calcarei marnosi e marne (Trubi - Pliocene inf.)

Tav. 4. Stralcio Carta Geologica (da Piano Territoriale Provinciale).

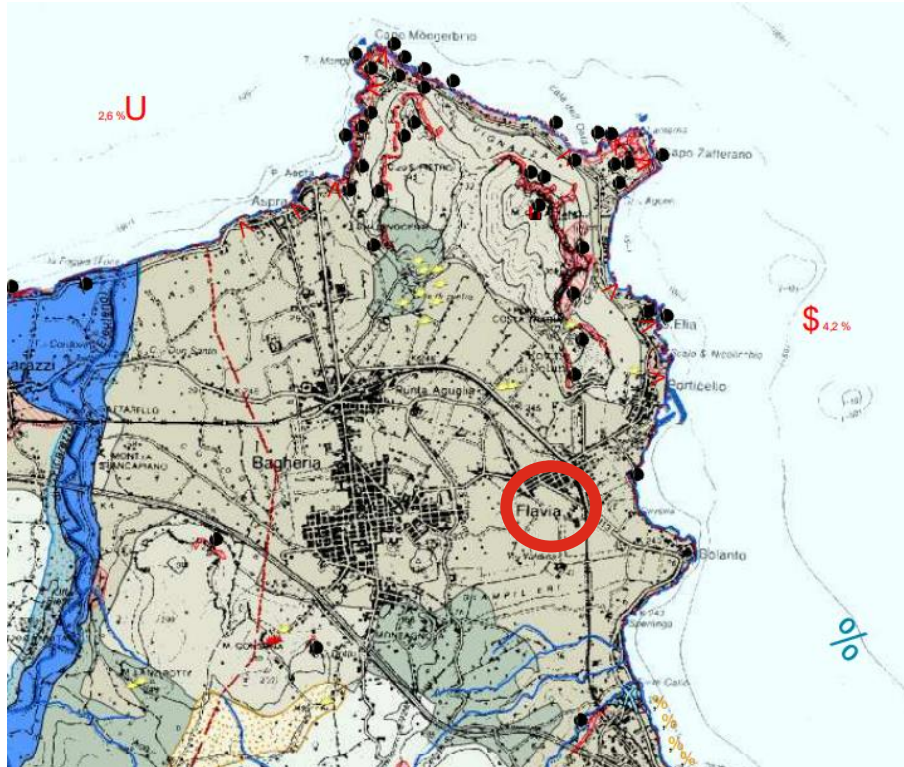


Associazioni idrogeologiche

- Detrito di falda e accumuli gravitativi.
Permeabilità per porosità da media ad elevata, con falda idrica di entità da scarsa a modesta e portate variabili da 0,2 l/s al litro
- Depositi alluvionali, costieri, alluvioni terrazzate, conglomerati, arenarie, sabbie, vulcanoclastiti e cenere (Depositi recenti, Fm. Cozzo Terravecchia, Mamoso-arenacea della Valle del Belice).
Permeabilità per porosità media, che assume valori medio-alti in corrispondenza dei livelli ghiaioso-ciottolosi, con falda idrica di entità da modesta a notevole, sovente in acquiferi multifalda, e portate variabili tra 0,3 l/s a qualche decina di l/s
- Calcarei bioclastici e marne sabbiose, arenarie glauconitiche e quarzose (Depositi pleistocenici, Fm. Corleone e Flysch Numidico). Permeabilità per porosità e fessurazione da media ad elevata, in relazione ai sistemi di discontinuità presenti, con falda idrica di entità modesta e portate talora superiori a qualche l/s
- Calcarei marnosi, evaporitici, organogeni vacuolari, gessi e salgemma (Trubi, Fm. Baucina e Gessoso Solfifera). Permeabilità per porosità, da bassa a media, che tende notevolmente ad aumentare per fessurazione e carsismo (da media ad elevata), con falda idrica di entità modesta e portate generalmente inferiori al l/s
- Argille, marne, argilliti, calcisiltiti e calcilutiti (Fm. Cozzo Terravecchia, Fm. Lascari, Fm. Ribera, Gessoso Solfifera, Flysch Numidico, Argille Varicolori, Tufiti di Tusa, Fm. Gratteri, Marni di San Cipirello, Fm. Hybla, Fm. Mufara e Fm. Lercara). Permeabilità per porosità e fessurazione, da bassa a medio-bassa, nello spessore areato e da nulla a modestissima nello spessore integro, con falda idrica di entità da scarsa a nulla e fortemente dipendente dal regime pluviometrico
- Arenarie quarzose, conglomerati e fanglomerati (Fm. Cozzo Terravecchia, Tufiti di Tusa, Flysch Numidico e Flysch Reitano). Permeabilità per porosità e fessurazione media, che tende a variare notevolmente in relazione ai sistemi di discontinuità presenti, con falda idrica di entità modesta, anche se talora assume valori notevolmente superiori alla decina di l/s
- Megabrecce calcaree, argilliti silicee, marne e vulcaniti, radiolariti, calcilutiti (Scaglia auct., Argille Varicolori, Fm. Caltavuturo, Fm. Crisanti, Fm. Polizzi e Fm. Buccheri). Permeabilità per fessurazione, ed in subordine per porosità, da scarsa a media, con falda idrica, sovente in acquiferi multifalda, di entità da scarsa a modesta e portate variabili fino al l/s
- Calcarei, dolomie, brecce dolomitizzate, calcari organogeni e calcari massivi (Fm. Crisanti, Fm. Caltavuturo, Fm. Taormina, Fm. Gratteri, Fm. Scillato, Fm. Mirabella e Fm. Mufara). Permeabilità per fessurazione e carsismo, ed in subordine per porosità, da media ad alta, con falda idrica di entità da modesta ad elevata, che assume talora valori prossimi a qualche centinaio di l/s

Tav. 5. Stralcio Carta Idrogeologica (da Piano Territoriale Provinciale).

Le Calcareni risultano permeabili per porosità e fessurazione da media ad elevata in relazione ai sistemi di discontinuità presenti.



Associazioni litotecniche

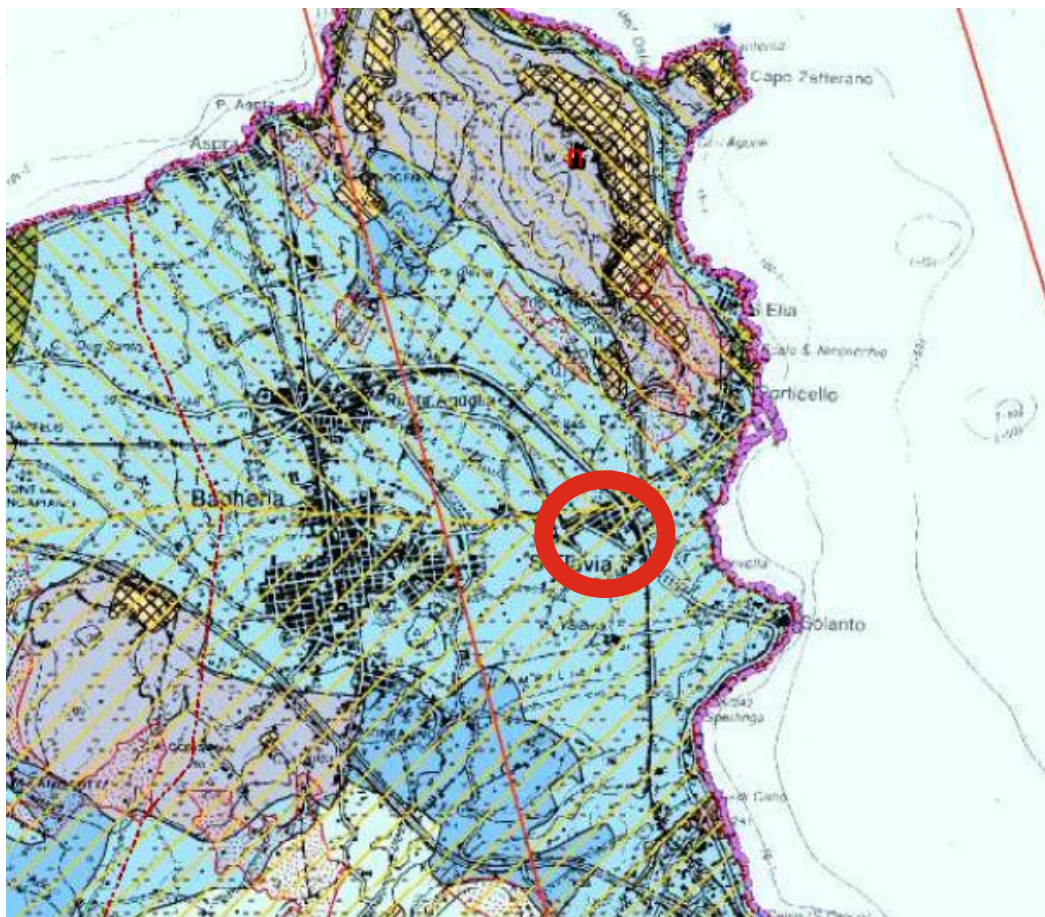
	Depositi da incoerenti a semicoerenti, caratterizzati da erodibilità da alta a medio-alta
	Depositi da incoerenti a semicoerenti a coerenti, caratterizzati da erodibilità da alta a media
	Rocce coerenti tenere, caratterizzate da erodibilità da medio-alta a medio-bassa, che tende ad aumentare allorquando è maggiore la componente pelitica
	Rocce coerenti, caratterizzate da erodibilità media
	Rocce coerenti, caratterizzate da erodibilità bassa ed alterabilità chimica da alta a media (intensi fenomeni micro e macrocarsici)
	Rocce coerenti, caratterizzate da erodibilità da media a medio-bassa
	Rocce da semicoerenti a coerenti, caratterizzate da erodibilità da alta a media ed alterabilità chimica da media ad alta (intensi fenomeni micro e macrocarsici)
	Rocce da semicoerenti a coerenti, caratterizzate da erodibilità media
	Rocce da pseudocoerenti a coerenti, caratterizzate da erodibilità da media a medio-bassa
	Rocce pseudocoerenti, caratterizzate da erodibilità da alta a medio-alta con elevata propensione al dissesto

Suscettibilità aree

Frane tipo colamento di detrito e reptazione, rock glaciers
Erosione di fondo, prevalente, nei tratti medio-alti delle aste fluviali; deposizione ed alluvionamento dei fondi valle; frane di scorrimento rotazionale e colamento nei depositi a prevalente componente pelitica; frane di crollo
Frane di crollo (in corrispondenza delle scarpate) e processi di disaggregazione fisica (processi crioclastici e di nivazione); frane di scorrimento rotazionale e traslativo, associate a concentrati e/o ridotti fenomeni erosivi
Frane di crollo (in corrispondenza delle scarpate) e processi di disaggregazione fisica (processi crioclastici e di nivazione); frane di scorrimento rotazionale e traslativo, associate a ridotti fenomeni erosivi
Frane di crollo in corrispondenza delle scarpate, ribaltamento e scorrimento lungo i giunti di stratificazione e tettonici, processi carsici epigei e ipogei di notevole intensità
Frane di tipo crollo (in corrispondenza delle scarpate) e scorrimento e processi di disaggregazione legati agli agenti esogeni
Frane di scivolamento, colamento e scorrimento rotazionale; diffusi processi carsici epigei e ipogei
Frane di crollo, ribaltamento e scorrimento
Frane complesse del tipo scorrimento-colata, frane di scivolamento
Frane complesse (scorrimento/colata) ed intensa reptazione degli orizzonti alterati; erosione superficiale diffusa (splash e sheet erosion) e concentrata (rilli e gully erosion, calanchi)

Tav. 6. Stralcio Carta Geomorfologica (da Piano Territoriale Provinciale).

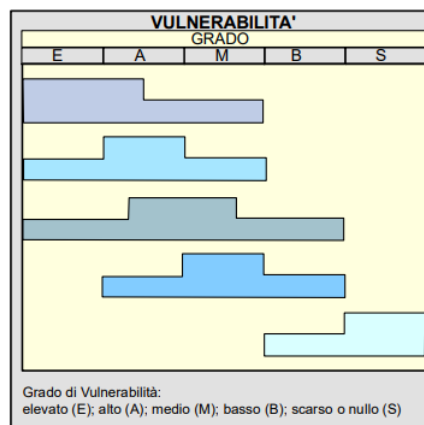
Si tratta di rocce tenere coerenti caratterizzate da un'erodibilità media.



Fragilità idrogeologica

Associazioni litologiche

	Calcarei, dolomie, brecce dolomitizzate, calcari organogeni e calcari massivi
	Detrito di falda, depositi alluvionali, costieri, alluvioni terrazzate, conglomerati, arenarie, sabbie, vulcanoclastiti e ceneri, calcareniti bioclastiche, marne sabbiose, arenarie glauconitiche e quarzose
	Calcarei massivi, evaporitici, organogeni vacuolari, gessi e salgemma (Trubi, Fm. Baucina e Gessoso Solfifera)
	Arenarie quarzose, conglomerati, fanglomerati, megabrecce calcaree, argilliti silicee, marne e vulcaniti, radiolariti, calcilutiti
	Argille, marne, argilliti, calcisiltiti e calcilutiti



Fragilità Sismica

Intensità espresse in scala M.C.S.



Tav. 7. Stralcio Carta delle Fragilità (da Piano Territoriale Provinciale).

Sulla base delle litologie presenti, il sito presenta un grado medio alto di Fragilità idrogeologica e grado VIII di Fragilità sismica.

In sintesi, sulla base del rilevamento geologico, delle indagini sismiche e dei dati bibliografici si è potuto elaborare il seguente modello geologico:

- le coperture sciolte eterogenee che gradualmente passano a materiali più addensati fino alla roccia molto alterata e disarticolata (cappellaccio), sono costituite da riporti antropici e/o coltri detritico eluviali, presentano uno spessore mediamente intorno a $2 \div 3\text{m}$

- al di sotto delle coperture presenza di un substrato costituito da litotipi di calcareniti organogene giallastre, più o meno cementate, con livelli sabbio-limosi e conglomeratici. Si tratta di rocce eterogenee, che oscillano da caratteri di sabbia a sabbia fine con livelli di limo sabbioso, variamente addensata, a quelli di un'arenaria compatta o tenera e friabile o di aspetto vacuolare, a cemento calcitico, fino a quelli di una calcirudite, ad elementi sub-arrotondati o spigolosi, ad elevato grado di cementazione.

E' spesso visibile una stratificazione di tipo sub-orizzontale, frequentemente incrociata o con disposizione lenticolare delle singole facies.

Dal punto di vista geotecnico i livelli presentano caratteristiche meccaniche buone ed in generale variabili con il grado della cementazione, della natura del cemento, del grado di alterazione, della grandezza e natura dei granuli.

3.) METODOLOGIA INDAGINI MASW

La metodologia Masw è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

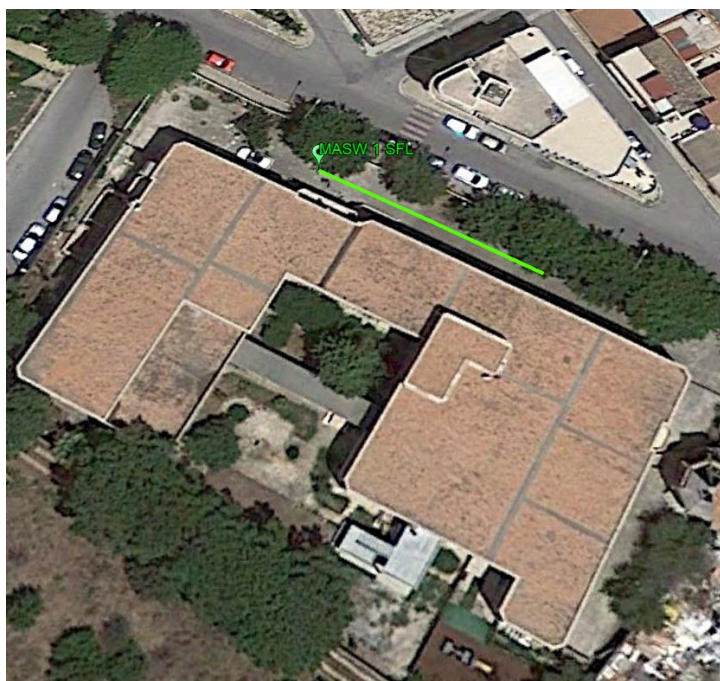
L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi: la prima prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f – numero d'onda K , la seconda nell'individuazione delle coppie f - k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec) – frequenza (lentezza (s/m) – frequenza (Hz), la terza nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, la quarta nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale.

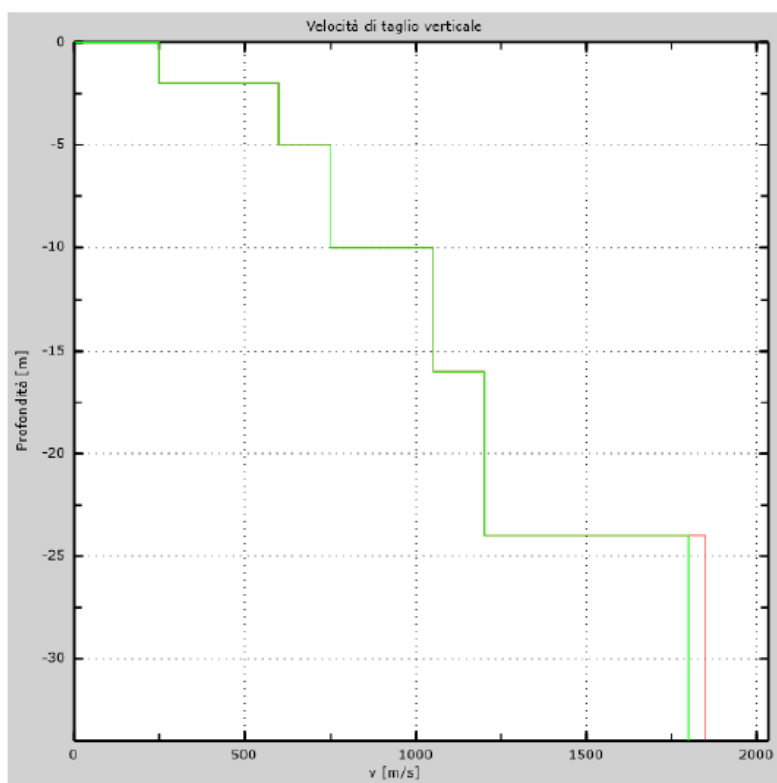
Nell'area in oggetto è stata effettuata una stesa sismica elaborata con metodologia Masw, utilizzando un sismografo Pasi Gea24 (vedere gli allegati per dettagli sui parametri utilizzati).

I risultati che si ottengono da un'indagine di questo tipo sono la velocità media delle onde di taglio calcolata tramite un codice di calcolo e la stratigrafia di massima del suolo.

L'elaborazione delle risultanze delle prove è stata effettuata attraverso lo specifico programma d'interpretazione "MASW" di Vitantonio Roma ha fornito un valore della $V_{S30/eq} \approx 508$ m/s (vedi in dettaglio risultati in allegato).



Tav. 8. Planimetria con ubicazione prova sismica.



Tav. 9. Profilo Vs numerico.

4.) AZIONE SISMICA

In base alla DGR n° 408 del 19/12/2003 (Individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche ed adempimenti connessi al recepimento ed attuazione dell'Ordinanza del Presidente del consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 n. 3274) il comune di Santa Flavia rientra nella zona sismica "2".

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s); per depositi con profondità H del substrato (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s) superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$.

Nel caso in oggetto, risultano sulla base dei sondaggi sismici effettuati valori di $V_{s,eq} \approx 508$ m/s che permettono la collocazione del sito allo stato attuale nella categoria di sottosuolo 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 fra 360 m/s e 800 m/s).

Per quanto riguarda il coeff. topografico ST , ricadendo la zona d'intervento nella categoria T1 "pendii e rilievi con inclinazione media $i < 15^\circ$ ", risulta $ST = 1$.

In merito all'accelerazione orizzontale massima al bedrock a_g , sono attesi valori inferiori a 0.205g, calcolati con una probabilità di superamento del 10% in 475 anni (corrispondente allo stato limite di salvaguardia della vita) ed una $A_{max} = 2,410$

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 38,082641
longitudine: 13,52891
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 45399	Lat: 38,0850	Lon: 13,4908	Distanza: 3343,607
Sito 2	ID: 45400	Lat: 38,0850	Lon: 13,5542	Distanza: 2223,940
Sito 3	ID: 45622	Lat: 38,0350	Lon: 13,5541	Distanza: 5743,661
Sito 4	ID: 45621	Lat: 38,0350	Lon: 13,4908	Distanza: 6263,020

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,058 g
Fo: 2,337
Tc*: 0,251 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,078 g
Fo: 2,316
Tc*: 0,264 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,205 g
Fo: 2,398
Tc*: 0,300 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,261 g
Fo: 2,454
Tc*: 0,312 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,450
St: 1,000
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,687
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,440
St: 1,000
Kh: 0,019
Kv: 0,009
Amax: 0,920
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,400
St: 1,000

Kh: 0,069
 Kv: 0,034
 Amax: 2,410
 Beta: 0,280
 SLC:
 Ss: 1,140
 Cc: 1,390
 St: 1,000
 Kh: 0,083
 Kv: 0,042
 Amax: 2,921
 Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 38.081582

longitudine: 13.528056

5.) MOBELLAZIONE GEOTECNICA MEDIA

In generale i terreni presenti hanno evidenziato un miglioramento delle loro caratteristiche geotecniche geomeccaniche con la profondità, ed una certa variabilità dipendente da cause locali.

E' possibile definire una caratterizzazione di massima dei terreni presenti (valori minimi e medi) in parte attraverso i dati acquisiti dai rilievi e dalle indagini sismiche, in parte sulla base di dati esperienziali e bibliografici.

Caratterizzazione delle coltri detritico – eluviali e riporti

Costituite da riporti e coltri detritiche eluvio-colluviali, quindi materiali estremamente eterogenei, ad esse possono essere attribuiti i seguenti parametri geotecnici di riferimento (minimi e medi) della matrice fine:

angolo d'attrito φ	$25^{\circ} \div 27^{\circ}$
peso di volume γ	$17 \div 19 \text{ kN/m}^3$
Coesione effettiva c'	$5 \div 10 \text{ kPa}$

Substrato roccioso

Per quello che riguarda il substrato calcarenitico, gli possono essere attribuiti i seguenti parametri geotecnici (minimi e medi) di riferimento:

angolo d'attrito φ	$27^{\circ} \div 30^{\circ}$
peso di volume γ	$20 \div 22 \text{ kN/m}^3$
Coesione effettiva c'	$5 \div 10 \text{ kPa}$
Coesione drenata C_u	$10 \div 20 \text{ kPa}$
Resistenza compressione	$2 \div 10 \text{ MPa}$

Savona, Febbraio 2020

Francesco Valle geologo



Allegato: Risultanze analisi sismica Masw

Risultati delle analisi MASW1



Sito: Scuola Elementare "Mariano Cefalù" Via Consolare – Santa Flavia (PA)
Data: Dicembre 2019

Redatto da MASW
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori..... 12
Distanza tra i sensori:.....2m
Numero di campioni temporali8000
Passo temporale di acquisizione 0.25ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999.75ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

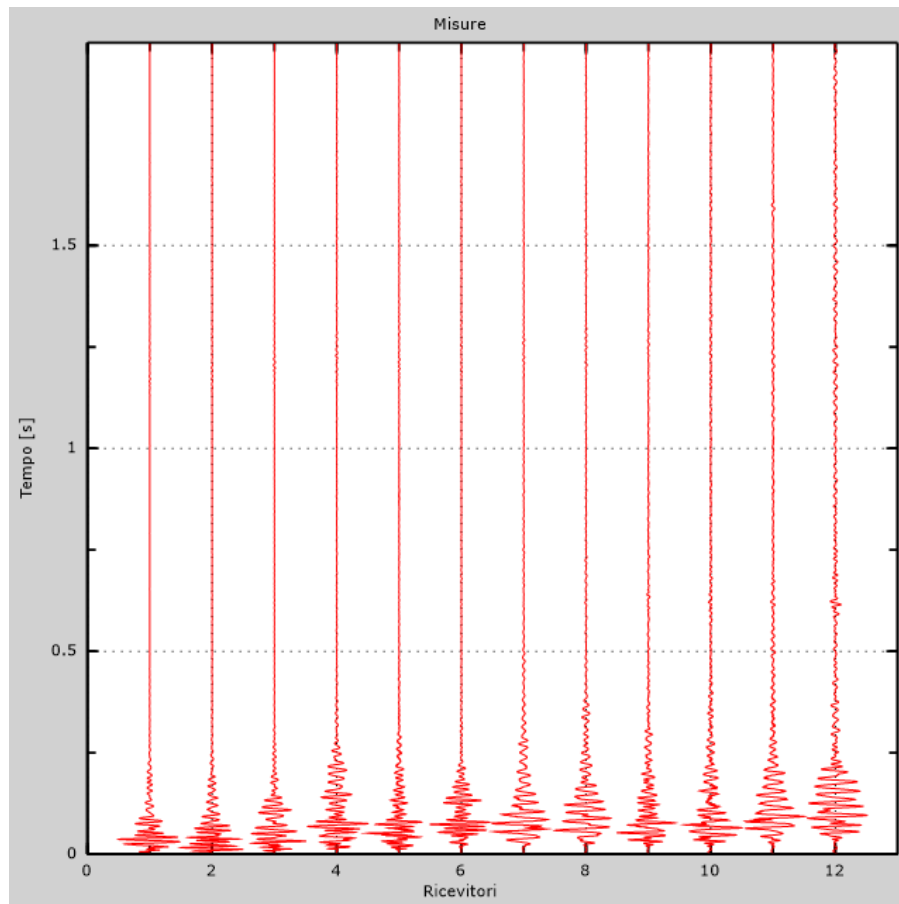


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

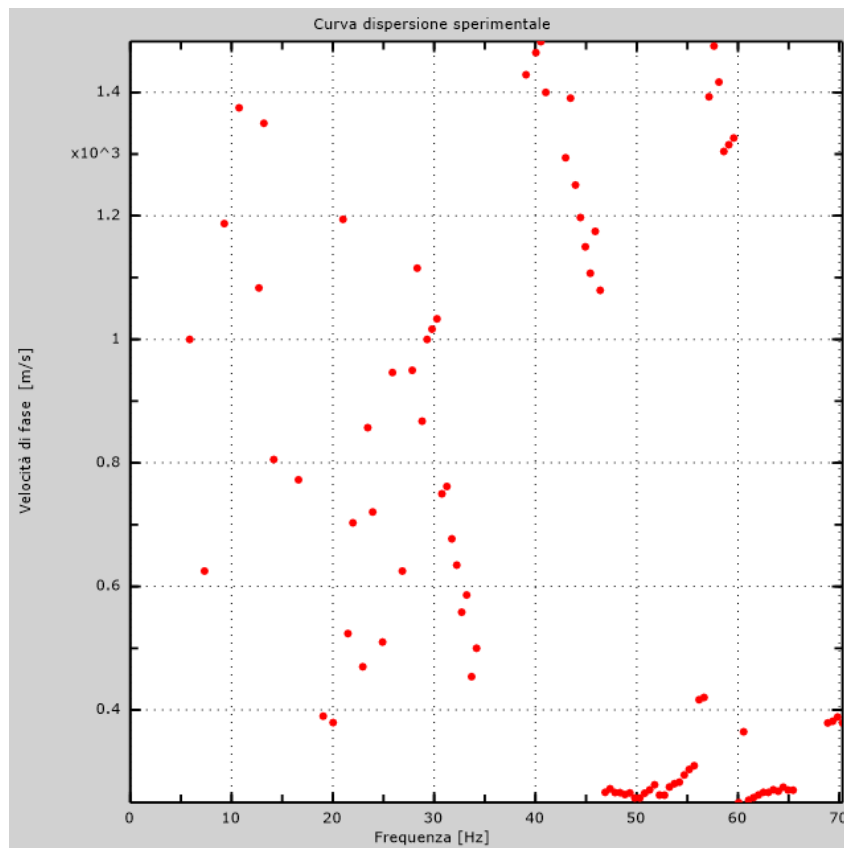


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
12.2803	1490.62	1341.56	1639.69
29.4922	1006.67	906	1107.33
32.9346	570.876	513.789	627.964
50.1465	257.523	231.77	283.275
53.5889	279.272	251.345	307.2
60.4736	347.5	312.75	382.25
63.916	268.682	241.814	295.55

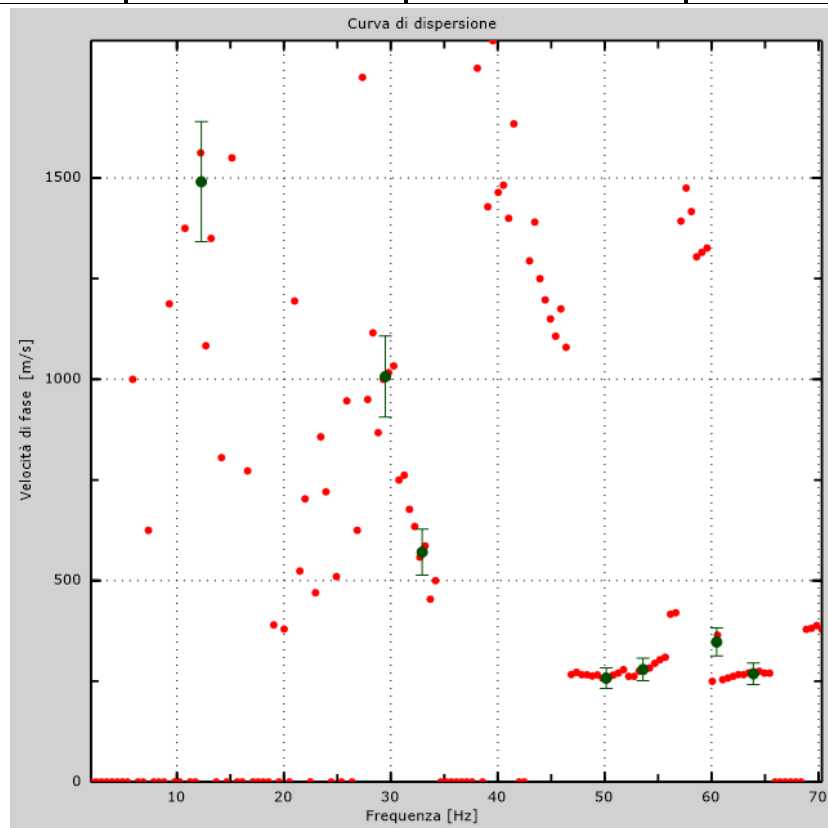


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	6
Spaziatura ricevitori	2m
Numero ricevitori.....	12
Numero modi	4
Numero iterazioni	5
Massimo errore [%]	1.000000e-001
Consenti forti contrasti di rigidezza tra 2 strati consecutivi	

Strato 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Densità [kg/m ³].....	1800
Poisson	0.35
Vs fin.[m/s]	250

Strato 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Densità [kg/m ³].....	2000
Poisson	0.33
.....	600

Strato 3

h [m].....	5
z [m].....	-10
Densità [kg/m ³].....	2200
Poisson	0.33
Vs fin.[m/s]	750

Strato 4

h [m].....	6
z [m].....	-16
Densità [kg/m ³].....	2200
Poisson	0.33
Vs fin.[m/s]	1050

Strato 5

h [m].....	8
z [m].....	-24
Densità [kg/m ³].....	2200

Poisson0.3

Vs fin.[m/s]1200

Strato 6

h [m]0

z [m]-∞

Densità [kg/m³]2200

Poisson0.3

Vs fin.[m/s]1850

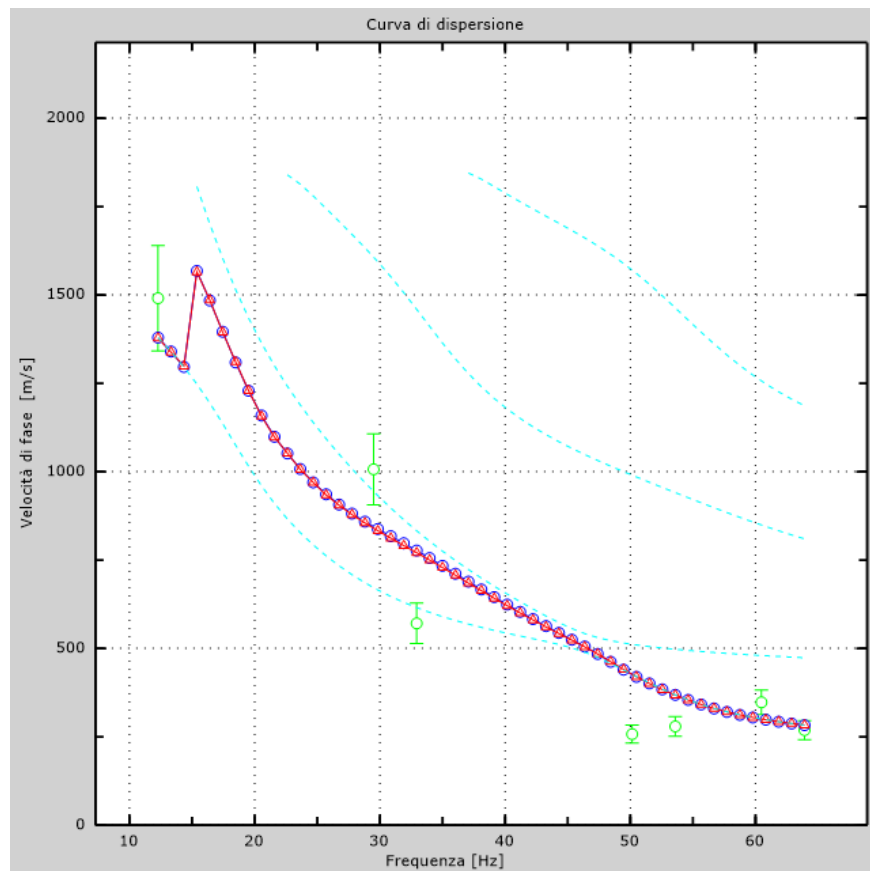


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

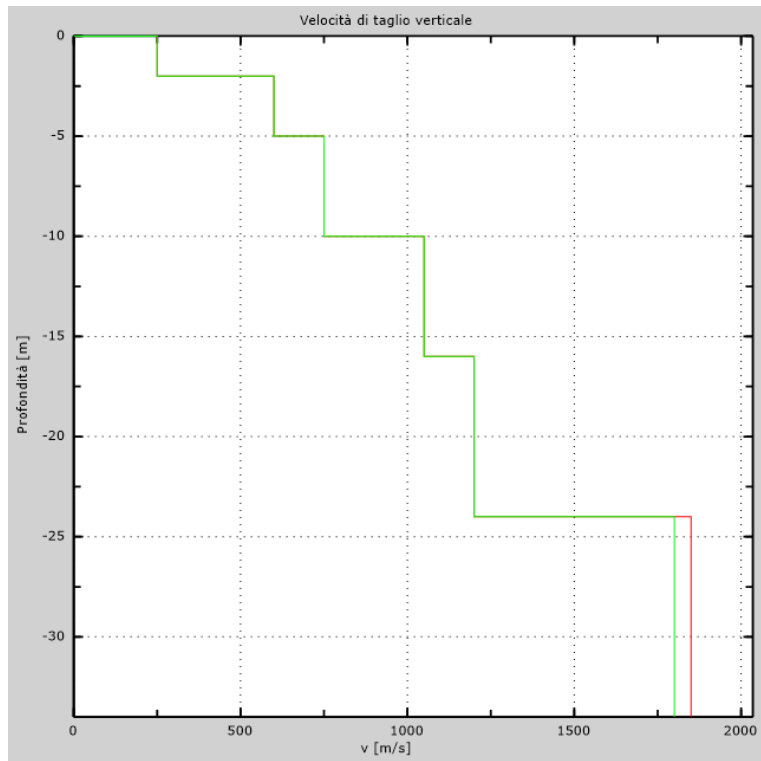


Figura 5: Velocità



5 - Risultati finali

Piano di riferimento $z=0$ [m] 0
VsEq [m/s]..... 508
Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).
Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.
Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità
Tipo di suolo B

Appendice

Tipo di suolo

Tipo 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 $V_{s,30}/V_{sEq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s