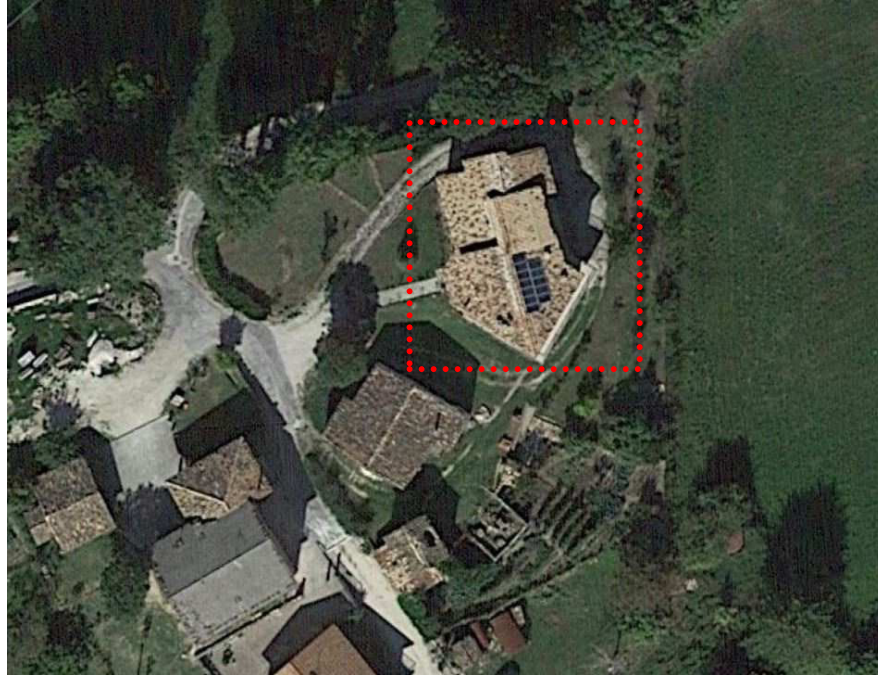




**COMUNE DI SARNANO**  
*Provincia di Macerata*



**INDAGINE GEOLOGICA CON CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE, INDAGINE  
SISMICA DEI TERRENI E ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE RSL**

*PROGETTO DI RIPARAZIONE E MIGLIORAMENTO SISMICO DI UN IMMOBILE DI CIVILE ABITAZIONE  
SITO IN C.DA SAN CASSIANO  
FOGLIO N. 07 – PART. N. 627  
Ordinanza n. 19 e s.m.i. Commissario Straordinario Ricostruzione Sisma 2016*

COMMITTENTE

**SIG. CONTI ADRIANO**

**Il Geologo**

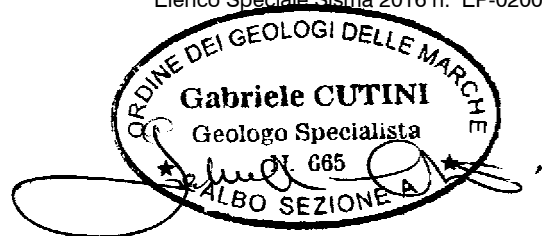
**Dott. Gabriele Cutini**

Ordine dei Geologi delle Marche

Geologo Specialista n° 665

Elenco Speciale Sisma 2016 n. EP-020039-2018

Documento informatico firmato digitalmente ai sensi del D. Lgs. n. 82/2005, mod. ed int. dal D. Lgs. n.235/2010 e dal DPR n. 445/2000 e succ., il quale sostituisce il documento cartaceo e la firma autografa in originale.



Falerone, 26/07/2021

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO - IDROGEOLOGICO .....	3
2.1 Geologia dell'area	6
2.2 Geomorfologia dell'area	9
2.3 Conformità del progetto rispetto al P.A.I.	10
2.4 Microzonazione sismica dell'area – Comune di Sarnano	11
3. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE MEDIE (FM) .....	14
4. AZIONE SISMICA (Modello sismico del sito)	16
4.1 Pericolosità di riferimento per il territorio nazionale e regionale	16
Determinazione della categoria di suolo :	17
Determinazione dell'amplificazione stratigrafica :	17
Determinazione dell'amplificazione topografica :	17
4.2 Definizione della pericolosità sismica di base	18
Sismicità storica dell'area di studio	18
Sismicità recente dell'area di studio	19
Pericolosità sismica di base	20
Determinazione periodo di riferimento PVr:	21
4.3 Modellazione sismica del sito in oggetto	22
4.4 Metodo RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL).	23
4.5 COMPUTAZIONE RAPPRESENTATIVA DELLO SPETTRO elastico di R.S.L.	32
4.6 COMPUTO FREQUENZA DI RISONANZA	32
5. TERRE E ROCCE DA SCAVO .....	34
6. INVARIANZA IDRAULICA .....	34
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	35

Il presente elaborato è composto da n° 36 pagine e dai seguenti elaborati:

### ELABORATI ALLEGATI e/o RICOMPRESI

- All. Planimetria CTR
- All. Cartografia PRG- Cartografia Vincolo PAI-Carta geologica
- All. Planimetrie indagini geognostiche
- All. Sezione litostratigrafica interpretativa
- All. Risultati prove penetrometriche DPSH
- All. Relazione analisi sismica sito – MASW
- All. Relazione risultati sismica a rifrazione SH
- All. Stratigrafie sondaggi reperiti
- All. Analisi di Risposta Sismica Locale (RSL)
- All. Documentazione fotografica indagini

## **1. PREMESSA**

Per conto del Sig. Conti Adriano committente delle opere in progetto ai sensi dell'Ord. 19 del Commissario Straordinario Ricostruzione Sisma 2016, è stata svolta un'indagine geognostica e sismica e redatto il presente elaborato Geologico, a corredo del progetto di miglioramento sismico per il fabbricato sito in San Cassiano nel Comune di Sarnano e distinto alla part. 627 del Foglio 07 del VCEU comunale. La presente relazione, sintesi e compendio dei dati acquisiti durante il rilevamento geologico dell'area e le indagini geognostiche, è finalizzata alla definizione areale dell'assetto geologico, idrogeologico, sismico del sito con particolare riguardo alla definizione delle caratteristiche litostratigrafiche ed alle proprietà fisico meccaniche dei terreni coinvolti dalle opere in progetto, per la valutazione della fattibilità dell'intervento sulla base del modello geologico, geotecnico e sismico dell'area, necessario alla progettazione di ristrutturazione dell'immobile. Per le notizie di carattere geologico generale è stato consultato il documento di pianificazione urbanistica comunale nonché la documentazione geologica generale disponibile in letteratura, gli studi di Microzonazione Sismica del comune di Sarnano integrata da rilievi eseguiti in campagna, basati sull'osservazione delle forme del territorio e delle litologie superficiali, correlati al passato geologico dell'area. Lo studio è stato condotto in ottemperanza alla vigente normativa DM 17/01/2018 " Norme tecniche per le costruzioni" (Cap. 6 - Progettazione geotecnica e Cap. 7 - Progettazione per azioni sismiche) e succ. con il seguente programma di lavoro:

- esame della bibliografia geologica esistente;
- rilevamento geologico e geomorfologico dell'area in esame;
- reperimento documentazione tecnica
- esecuzione di n. 4 indagine tromografica HVSR;
- esecuzione di n. 1 prova sismica MASW;
- esecuzione di n. 1 prova sismica a rifrazione in onde SH
- esecuzione di n. 3 prove penetrometriche DPSH
- elaborazione di tavole e tabelle tecnico esplicative;
- stesura del rapporto conclusivo.

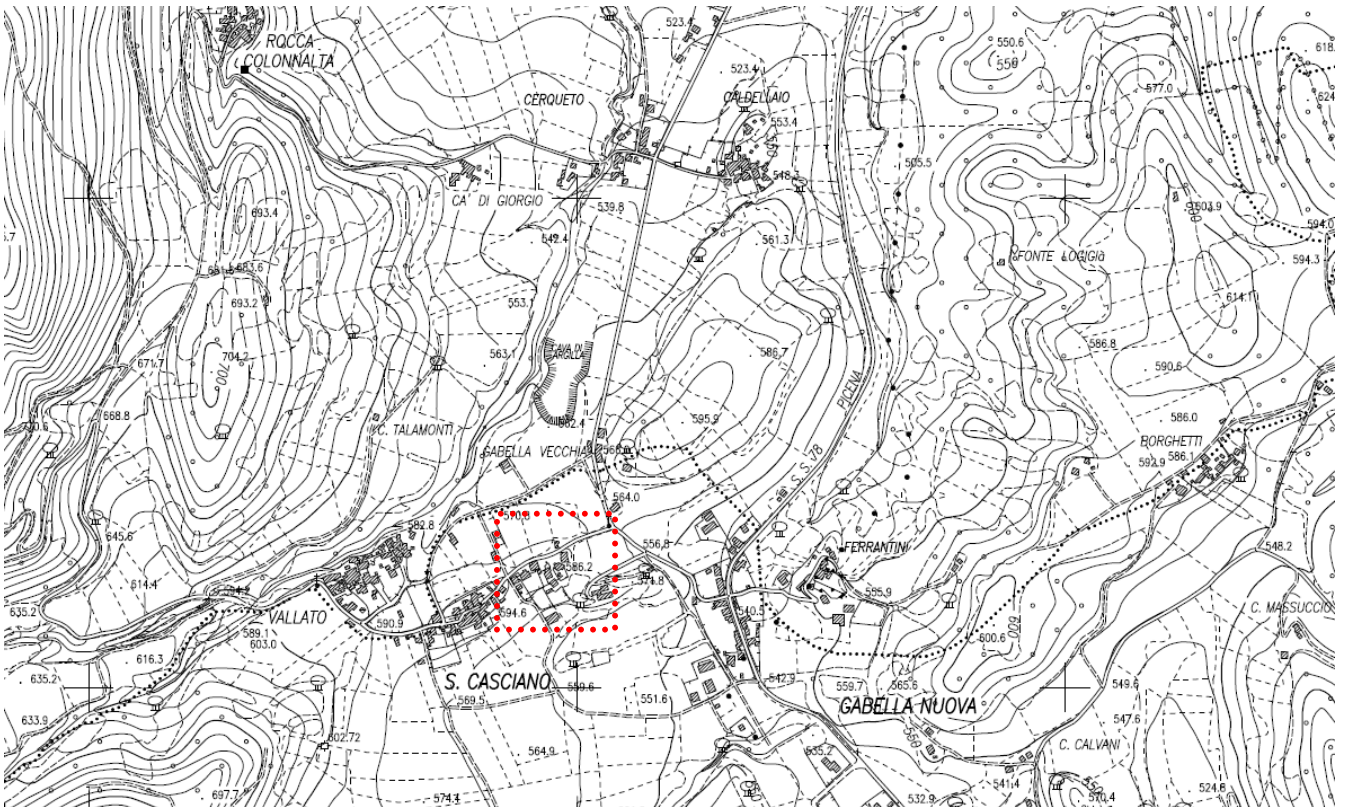
## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO - IDROGEOLOGICO**

La porzione di territorio del Comune di Sarnano in esame rientra topograficamente nella tavoletta I.G.M. alla scala 1:25.000 II° quadrante SE del Foglio n. 124 della Carta Topografica d'Italia IGM alla scala 1:100.000 e nella sezione n° 313120 della Carta Tecnica Regionale CTR alla scala 1:10000. L'area oggetto d'indagine è ubicata in Loc. San Cassiano e si pone nella porzione collinare NW del territorio comunale, ad una quota altimetrica media di circa 585 metri s.l.m..



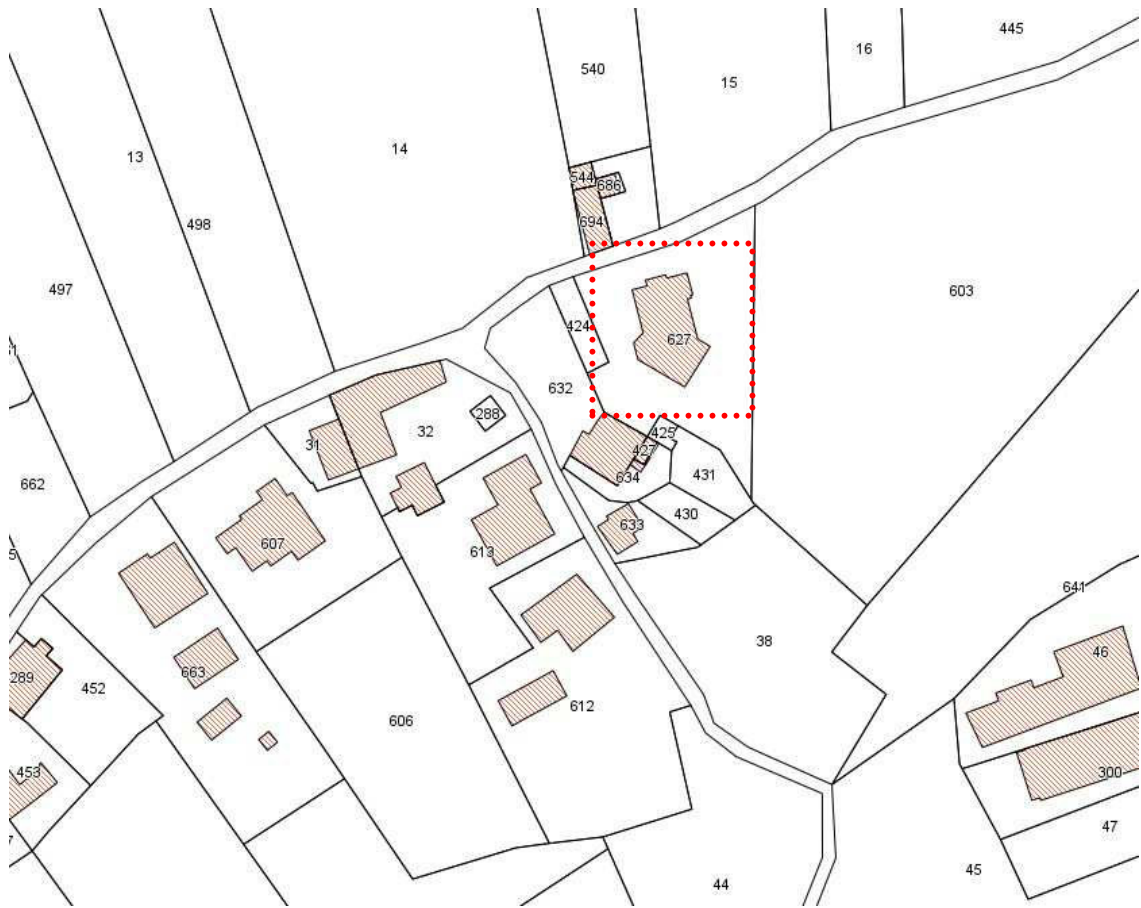


Estratto mappa satellitare



Estratto Carta CTR - 313120

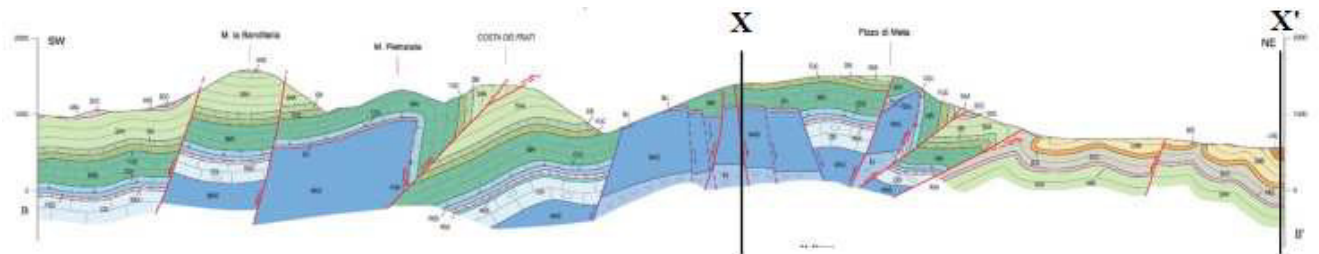
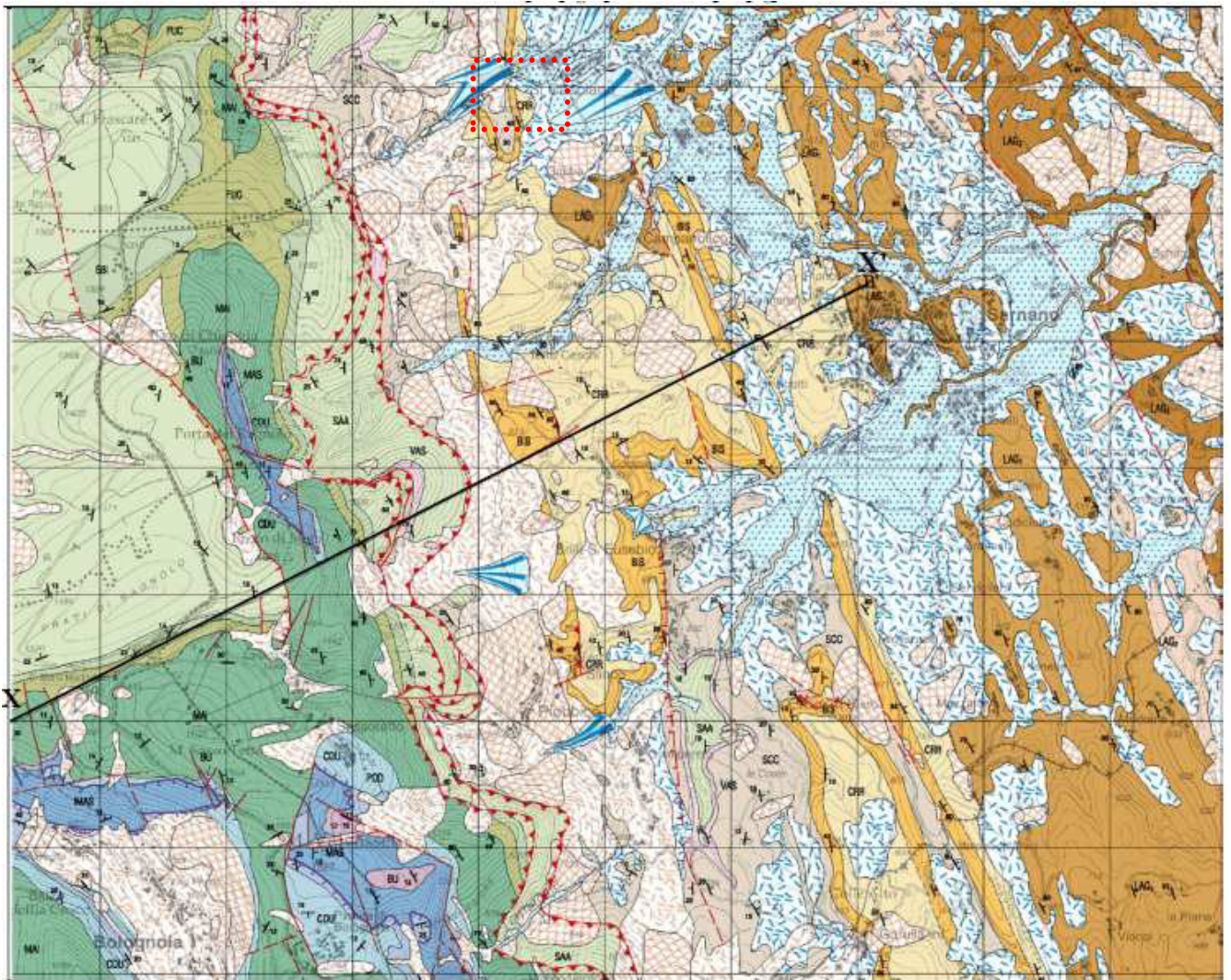




Estratto catastale F. 07 Part. 627



## 2.1 Geologia dell'area



LEGEND			
LAG	Laga Formation	FUC	Marna a Fuscoli
CRN	Marna con Cerrognia - Sorlier	MAU	Melutina
FCU	Camerino Formation	COU	Calcari calcareggiati
SOE	Sorlier	POD	Calcari a Poggioardo
EST	Estere	ROA	Rosso ammonitico
SCC	Sanguia calcarea	MAI	Marna del M. Sarnano
VAS	Sanguia variegata	COU	Conchata
ROA	Sanguia rossa	BU	Buggerone Group
SOE	Sanguia calcarea	COU	Calcari calcareggiati

*Estratto Carta Geologica Strutturale e sez. (Pierantoni 2013)*

L'area in esame appartiene alla propaggine settentrionale del Bacino torbiditico della Laga, in corrispondenza del margine orientale dell'App.no calcareo Umbro-Marchigiano. Nello specifico questa si colloca ad est della



dorsale marchigiana esterna sul fianco orientale sub-verticale e/o rovesciato, dell'anticlinale che porta in affioramento ad ovest i sedimenti delle Marne con Cerroghna e della Scaglia Cinerea. Il rilevamento geologico e la ben nota bibliografia esistente sulla successione litostratigrafica dell'area, hanno permesso di ricostruire la locale successione:

- **Marne con Cerroghna**

Alternanza di marne, marne calcaree ed argillose in strati medi e sottili associate a torbiditi carbonatiche.

- **Marne a Pteropodi**

Costituite da due membri: quello superiore composto da peliti bituminose e strati arenacei fini intercalati; quello inferiore costituito da calcari, calcareniti e marne argillose grigie.

- **Formazione della Laga**

- ⇒ **Ass. Arenacea I**

Questa associazione risulta prevalente sulle altre e risulta composta dalle Facies A1 e B1, in strati da molto spessi a massicci

- ⇒ **Ass. Arenaceo-pelitica I**

In questa associazione prevale le Facies B e C, in strati da spessi a molto spessi con presenta di controimpronte basali; tale associazione risulta intercalata, con spessore da 30 100 m nell'Associazione Arenacea 1.

- **Depositi continentali**

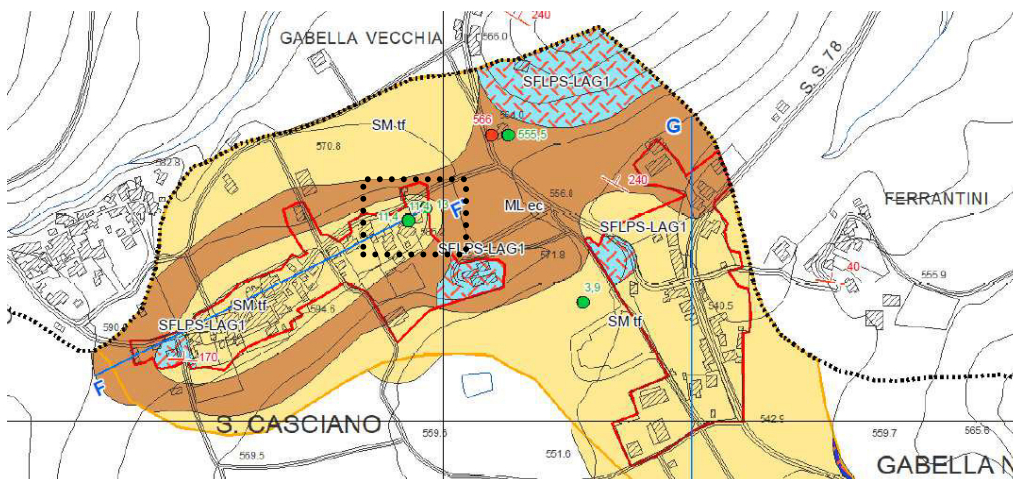
- ⇒ **Depositi alluvionali terrazzati, antichi e recenti**

Depositi costituiti da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie limose posti a quote diverse rispetto al fondovalle con spessori rilevanti anche più di 20 m.

- ⇒ **Depositi eluvio-colluviali**







Depositi costituiti da aggregati limosi, sabbie ed argille con frammenti lapidei; sedimento originatosi dai processi di alterazione ed erosione della roccia madre.

Il territorio comunale in esame nello specifico appartiene alla sequenza deposizionale della Formazione della Laga (Messiniano p.p.). Essa affiora in senso longitudinale nell'estremo settore orientale dell'area, in tutta la fascia immediatamente a sud-est l'abitato di Sarnano. I terreni della Formazione della Laga sono rappresentati dai membri preevaporitico, evaporitico e postevaporitico. In esse sono distinte varie associazioni litologiche sulla base del rapporto sabbia/argilla. Nel caso specifico la struttura abitativa si pone nel settore territoriale dove ritroviamo la facies deposizionale pre-evaporitica della Formazione della Laga. (Lag1)










## Terreni di copertura

	Depositi alluvionali terrazzati recenti e antichi, GM - tf: Ghiaie, ghiaie sabbiose e ghiaie limoso-sabbiose, miscela di ghiaia, sabbia e limo, di terrazzo fluviale.
	Depositi alluvionali terrazzati recenti e antichi, SM - tf: Sabbie limose e limi sabbiosi, miscela di sabbia e limo, di terrazzo fluviale.
	Depositi in falda detritica, GM - fd: Ciottoli, ghiaie e sabbie in percentuale variabile, ad elementi calcarei a spigoli vivi, da sciolti a ben addensati.
	Depositi eluvio-colluviali, SM - ec: Sabbie limose e limi sabbiosi, miscela di sabbia e limo, di eluvi/colluvi.
	Depositi eluvio-colluviali, ML - ec: Limi argillosi e sabbie fini limose, con a luoghi, inclusi arenacei e/o calcarei eterometrici, di eluvi/colluvi.
	Terreni contenenti resti di attività antropica

## Substrato geologico

	Lapideo, stratificato Maiolica: calcari micritici biancastri con liste e noduli di selce nera.
	Lapideo, stratificato Calcari Diasprini: calcari silicei, calcari micritici o diaspri in associazione variabile.
	Lapideo, stratificato fratturato / alterato Scaglia cinerea: calcari marnosi alla base e marne calcaree nella parte alta, di colore costantemente grigio, la stratificazione da sottilie a media alla base, diviene più regolare e sottile nella parte alta.
	Lapideo, stratificato fratturato / alterato -Formazione della Laga (membro pre-evaporitico) (LAG 1 litofacies arenacea): -Litofacies arenacea: torbidity arenacee (talora conglomeratiche) costituita da strati da molto spessi e massicci con base erosiva e frequenti superfici di amalgamazione a spessi e medi, di colore da giallastro a grigio-azzurro.
	Lapideo, stratificato fratturato / alterato -Formazione della Laga (membro evaporitico) (LAG 2 litofacies arenacea): -Litofacies arenacea: torbidity arenacee (talora conglomeratiche) costituita da strati da molto spessi e massicci con base erosiva e frequenti superfici di amalgamazione a spessi e medi, di colore da giallastro a grigio-azzurro, caratterizzata da sporadici livelli gessosi risedimentati.
	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato -Formazione della Laga (membro evaporitico) (LAG 3 litofacies arenacea): -Litofacies arenacea: torbidity arenacee (talora conglomeratiche) costituita da strati da molto spessi e massicci con base erosiva e frequenti superfici di amalgamazione a spessi e medi, di colore da giallastro a grigio-azzurro.
	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato Marne con Cerrogna: marne, marne calcaree, marne argillose grigie e, subordinatamente, di calcari marnosi biancastri, con soventi intercalazioni calcarenitiche.
	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato Marne a Pteropodi: marne argillose scure ricche di Pteropodi
	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato Bisciario: marne silicee e calcari marnosi con liste e noduli di selce nera, ben stratificati, grigio-verdastri, con intercalazioni di vulcanoclastiti (ceneriti).

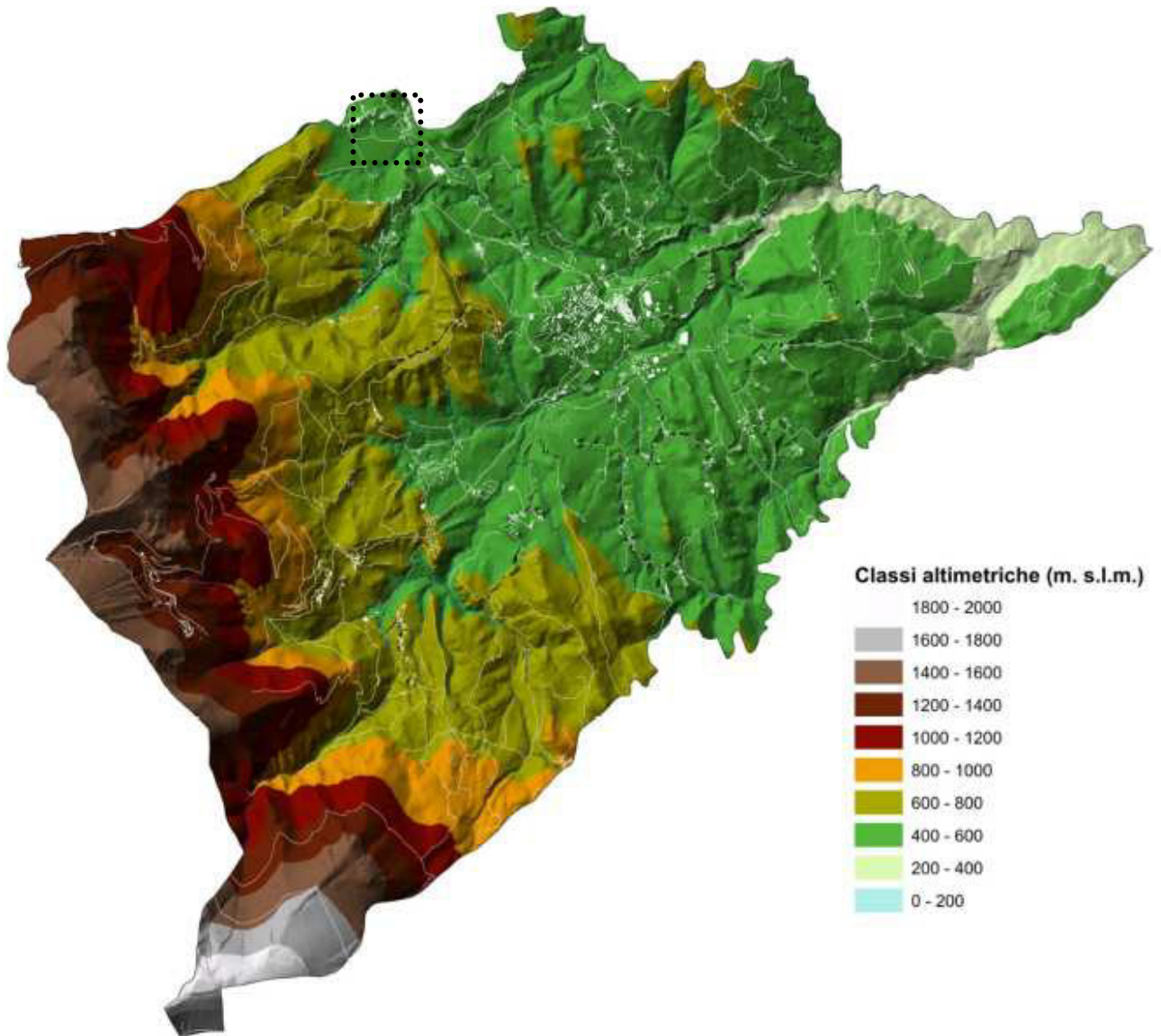
### **Membro pre-evaporitico (LAG1)**

Vi si riconoscono due unità minori, una prevalentemente arenacea e l'altra arenaceo-pelitica. La prima è formata da un'associazione arenacea in strati spessi o massicci, anche di 20 m di spessore, in cui si intercalano, a varie altezze stratigrafiche, orizzonti arenaceo pelitici, in strati sottili e medi.

Essa mostra a luoghi contatti erosivi e a luoghi passaggi graduali, tramite livelli arenaceo-pelitici, con le sottostanti Marne a Pteropodi, tale passaggio è inoltre accompagnato da terminazioni a pinch-out laterali. La seconda unità è costituita prevalentemente da orizzonti di una associazione arenaceo-pelitica talora in strati massicci e amalgamati, intercalati in una associazione pelitico-arenacea. La fascia che costituisce il membro descritto alterna le associazioni in modo ritmico, aumentando la frequenza di affioramento dell'associazione arenaceo-pelitica via via che ci si sposta verso oriente.

## 2.2 Geomorfologia dell'area

Il territorio comunale si estende lungo una fascia orientata E-W caratterizzata morfologicamente dall'interazione progressiva ed a tratti ben evidente tra un sistema montuoso che interessa tutta l'area occidentale allineata intorno ad un'asse NNW-SSE e un sistema alto collinare che si sviluppa prevalentemente nella porzione centro-orientale.



Gli aspetti geomorfologici sono legati alle caratteristiche litostrutturali dei terreni e alla loro storia evolutiva. Le varie formazioni geologiche, tutte di tipo sedimentario, di un'età compresa tra il Triass sup. e l'attuale comprendono terreni calcarei, calcareo-marnosi, marnoso-argillosi arenacei e complessi detritici. Tali elementi si fondono tra loro, modellando alti morfologico-strutturali di tipo anticlinalico e linee vallive impostate su motivi plicativi di minor ordine.

Volendo effettuare un inquadramento più generale sul modellato superficiale, si possono distinguere 2 zone:

- ✓ Una zona montuosa occidentale
- ✓ Una zona alto collinare orientale

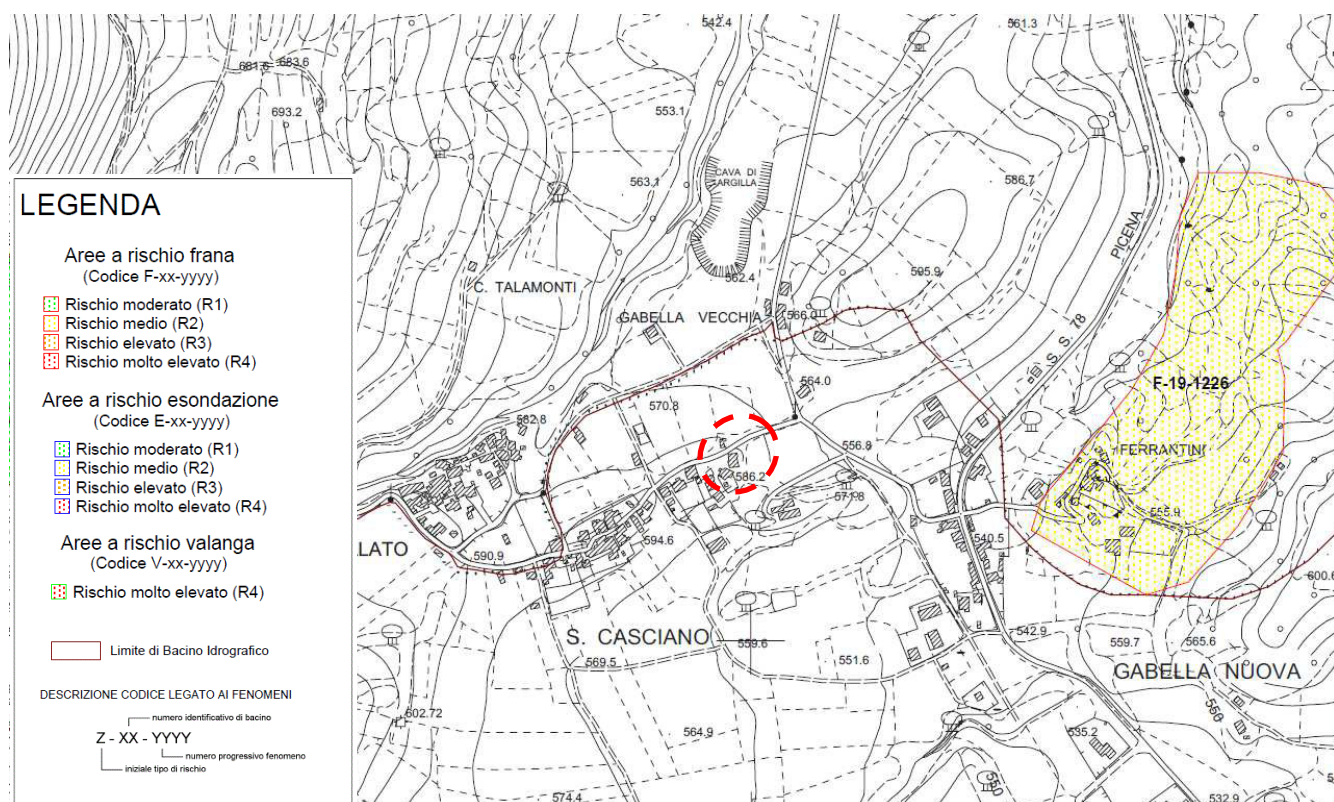
La fascia altimetrica collinare, nella quale si ubica il fabbricato in oggetto, comprende due facies sedimentologiche dominanti. Una prevalentemente pelitica costituita dalle suddette formazioni emipelagiche,

l'altra di tipo clastico rappresentato dal flysch terrigeno. Le differenti caratteristiche geomeccaniche dei diversi litotipi affioranti fa sì che quelli più competenti e resistenti emergano nel paesaggio, viceversa, le litologie tendenzialmente pelitiche, molto sensibili all'azione degli agenti esogeni, danno luogo alla formazione di estese coltri colluviali, che spesso manifestano una marcata propensione al dissesto idrogeologico, in particolare prevalgono fenomeni di erosione diffusa linearmente e moti gravitativi rotazionali e traslazionali più lenti. Le unità morfologiche fondamentali sono costituite pertanto da dorsali, rilievi e vallecole minori incise da un reticolo idrografico ben gerarchizzato, da ridotte superfici sommitali e da versanti blandamente acclivi a diversa pendenza che raccordano le sommità dei rilievi con i locali fondovalle. I versanti si presentano generalmente per mezzo di geometrie convesse, separati da impluvi a morfologia concava dove si ha un maggiore accumulo di depositi colluviali. Dal punto di vista delle caratteristiche geomorfologiche del territorio sono stati consultati i dati presenti nella cartografia PAI e IFFI a cui sono seguiti un controllo ed una validazione dei stessi con osservazione diretta. In particolare sono stati analizzati le forme e i processi geomorfologici legati alla dinamica di versante ed alla dinamica fluviale valutandone lo stato di attività; per le aree di versante si è posta particolare attenzione ai fenomeni di instabilità per frana, nonché a forme di degradazione quali soliflussi e deformazioni superficiali.

### 2.3 Conformità del progetto rispetto al P.A.I.

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Marche, redatto dall'autorità di Bacino Regionale ed approvato con Delibera Consiglio Regionale n° 116 del 21/01/2004 evidenzia tutte le aree con rischio di esondazione e frana nel territorio regionale.

Come si evince dalle tavole di stralcio del piano, l'intera area del sito in oggetto risulta al di fuori di qualsiasi perimetrazione per area esondabile e/o per fenomeni gravitativi di versante. (vd. Carta PAI).



Estratto Carta PAI - Regione Marche tav. RI 64a



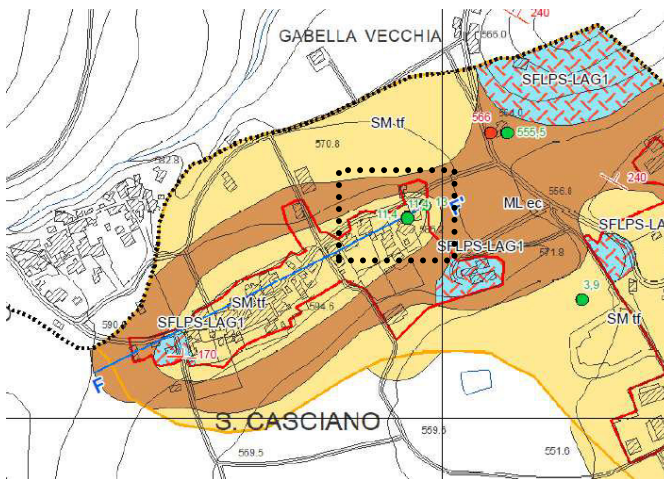
## 2.4 Microzonazione sismica dell'area – Comune di Sarnano

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), costituisce il primo elaborato di sintesi del lavoro di Microzonazione sismica svolto dal Comune di Sarnano.

Tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche idrogeologiche e litotecniche), sono derivate dalle varie carte redatte e assemblate per la definizione del modello di sottosuolo e poter così uniformare e suddividere il territorio investigato in zone omogenee aventi, teoricamente, la stessa risposta sismica locale. Per ogni MOPS viene riportata la sismo-stratigrafia risultante dalla combinazione dei rapporti stratigrafici delle indagini HVSR di riferimento coadiuvate da indagini sismiche (MASW e Down Hole) per la definizione dei range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico.

Si riportano di seguito gli estratti derivati dallo studio di MZS del comune di Sarnano per quanto riguarda la carta geologico tecnica e delle MOPS in riferimento all'area in oggetto e relativi Fa.

### Carta geologico tecnica – MZS Sarnano



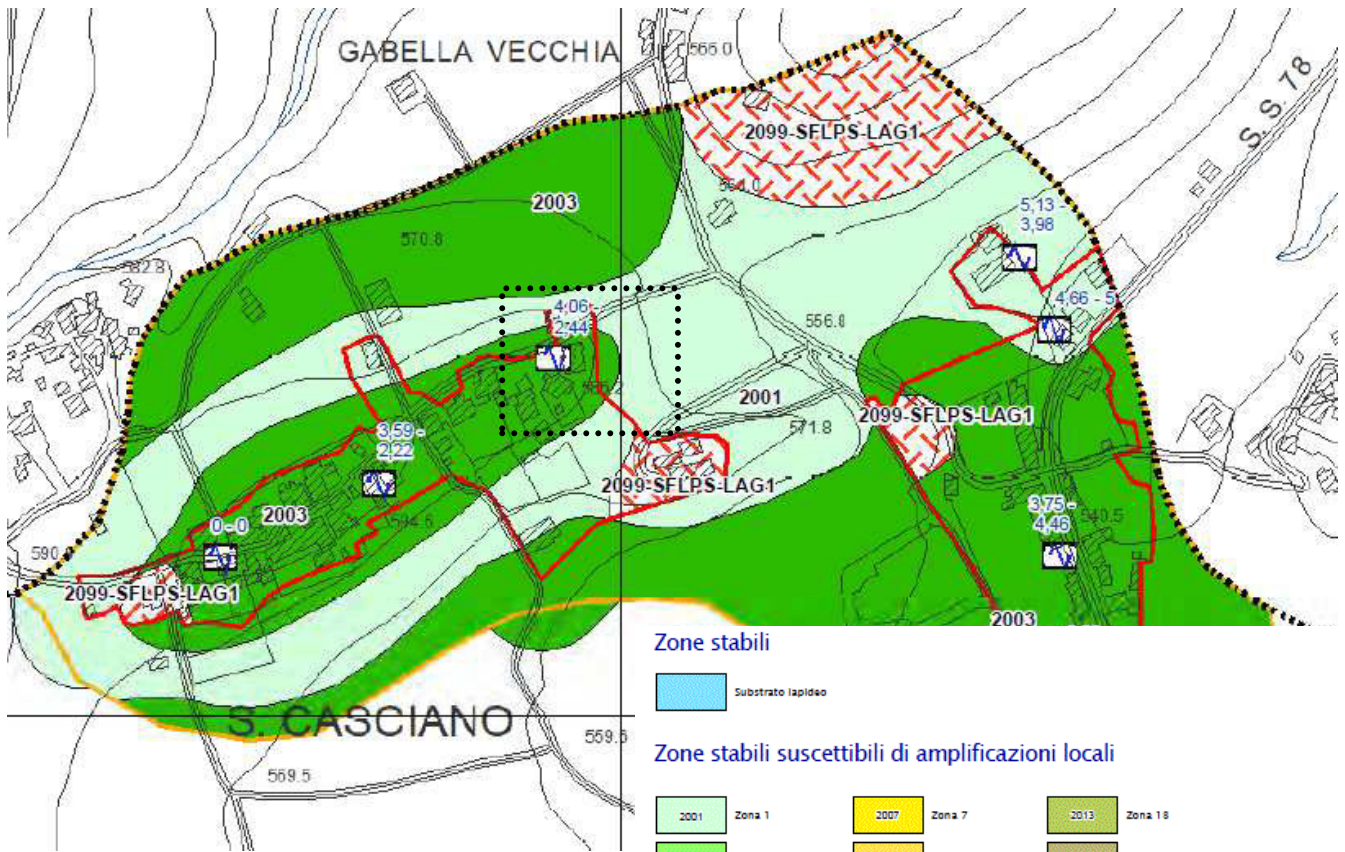
### Legenda

#### Terreni di copertura

- CM-tf** Depositi alluvionali terrazzati recenti e antichi, CM - tf: Ghiaie, ghiaie sabbiose e ghiaie limoso-sabbiose, miscela di ghiaia, sabbia e limo, di terrazzo fluviale.
- SM-tf** Depositi alluvionali terrazzati recenti e antichi, SM - tf: Sabbie limose e limi sabbiosi, miscela di sabbia e limo, di terrazzo fluviale.
- CM-fd** Depositi in falda detritica, CM - fd: Ciottoli, ghiaie e sabbie in percentuale variabile, ad elementi calcarei a spigoli vivi, da sciolti a ben addensati.
- SM-ec** Depositi eluvio-colluviali, SM - ec: Sabbie limose e limi sabbiosi, miscela di sabbia e limo, di eluvi/colluvi.
- ML-ec** Depositi eluvio-colluviali, ML - ec: Limi argillosi e sabbie fini limose, con a luoghi, inclusi arenacei e/o calcarei eterometrici, di eluvi/colluvi.
- Ri-az** Terrani contenenti resti di attività antropica

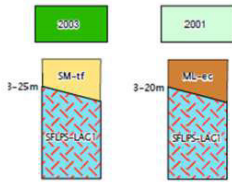
#### Substrato geologico

- LPS-MAI** Lapideo, stratificato  
Maiolica: calcari micritici biancastri con liste e noduli di selce nera.
- LPS-CDU** Lapideo, stratificato  
Calcari Diasprini: calcari silicei, calcari micritici o diaspri in associazione variabile.
- SFLPS-SCC** Lapideo, stratificato fratturato / alterato  
Scaglia cinerea: calcari mamosi alla base e marne calcaree nella parte alta, di colore costantemente grigio, la stratificazione da sottile a media alla base, diviene più regolare e sottile nella parte alta.
- SFLPS-LAG1** Lapideo, stratificato fratturato / alterato  
-Formazione della Laga (membro pre-evaporitico)  
(LAG 1 litofacies arenacea):  
-Litofacies arenacea: torbiditi arenacea (talora conglomeratica) costituita da strati da molto spessi e massicci con base erosiva e frequenti superfici di amalgamazione a spessi e medi, di colore da giallastro a grigio-azzurro.
- SFLPS-LAG2** Lapideo, stratificato fratturato / alterato  
-Formazione della Laga (membro evaporitico)  
(LAG 2 litofacies arenacea):  
-Litofacies arenacea: torbiditi arenacea (talora conglomeratica) costituita da strati da molto spessi e massicci con base erosiva e frequenti superfici di amalgamazione a spessi e medi, di colore da giallastro a grigio-azzurro, caratterizzata da sporadici livelli gassosi risedimentati.
- SFLPS-LAG3** Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato  
-Formazione della Laga (membro evaporitico)  
(LAG 3 litofacies arenacea):  
-Litofacies arenacea: torbiditi arenacea (talora conglomeratica) costituita da strati da molto spessi e massicci con base erosiva e frequenti superfici di amalgamazione a spessi e medi, di colore da giallastro a grigio-azzurro.
- SFLPS-ERR** Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato  
Marna con Cerrognà: marna, marna calcarea, marna argillosa grigie e, subordinatamente, di calcari mamosi biancastri, con soventi intercalazioni calcarenitiche.
- SFLPS-MAP** Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato  
Marna a Pteropodi: marna argillosa scura ricca di Pteropodi
- SFLPS-BIS** Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato  
Bisciaro: marna silicea e calcari mamosi con liste e noduli di selce nera, ben stratificati, grigio-verdastri, con intercalazioni di vulcanoclastiti (ceneriti).



**Carta delle MOPS (2003) – MZS Sarnano**

**San Cassiano**



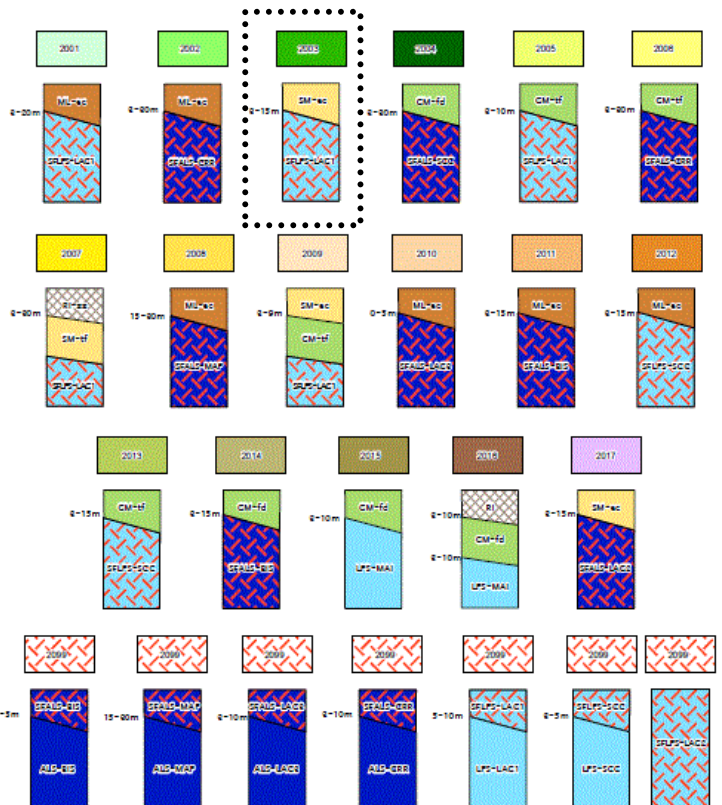
La microzona denominata San Cassiano presenta una configurazione geolitologica composta interamente dalla *Formazione della Laga* (ALS) in facies arenacea. La generale disposizione della stratificazione seppur non identificabile direttamente in sito non dovrebbe comunque differire dal generale trend sub verticale rilevato nelle aree immediate prossime. Pertanto il substrato geologico risulta prevalentemente obliterato da depositi di genesi alluvionale distinguibili una coltre alluvionale a granulometria fine (SM-tf) dello spessore massimo di circa 25 m talvolta sormontato da depositi eluvio-colluviali (ML-ec) di spessore compreso tra 3 - 20m. (Sez. F – F’).

Le proprietà sismostratigrafiche sono visibili negli elaborati delle prove geofisiche MASW (All. 1).

**Zone stabili**

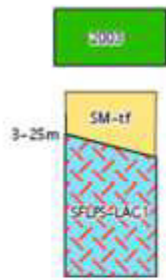


**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**



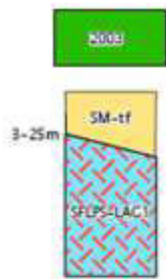
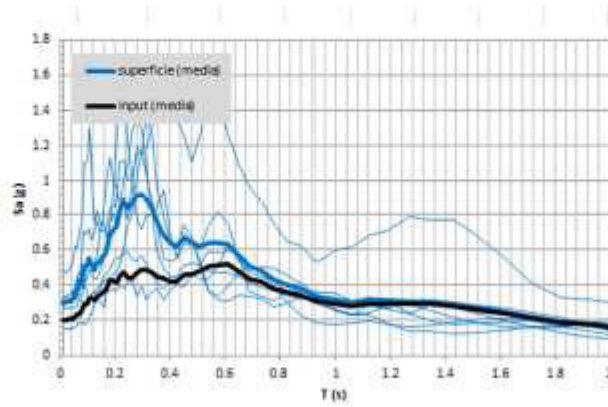
L'area in oggetto è stata ricompresa nella perimetrazione della Microzonazione sismica comunale e risulta caratterizzata come microzona omogenea **“MOPS 2003”**.

I valori di Fa derivati dallo studio di MZS con modellazione 2D risultano pertanto essere per la microzona 2003:



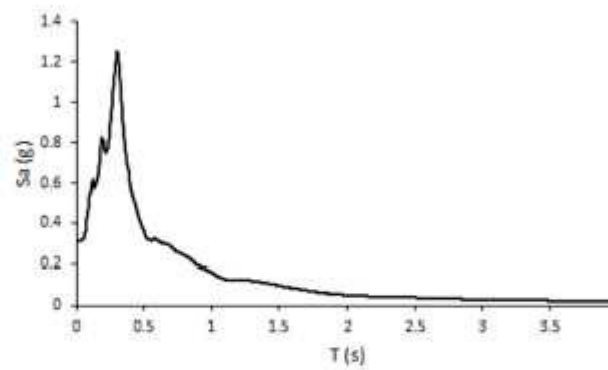
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.64	1.25	1.11



Modellazione 2d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.72	1.09	1.00



La modellazione 2d è stata fornita allo scrivente dal gruppo di supporto Marche 2. Visto il confronto con la modellazione 1d, la modellazione 2d è stata ritenuta più cautelativa e pertanto è stata presa a riferimento nella stesura delle cartografie degli Fa.



### 3. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE MEDIE (F<sub>M</sub>)

La situazione stratigrafica locale è stata ottenuta dall'interpretazione dei dati penetrometrici e dei dati geofisici e dalla visione degli affioramenti presenti nel sito di indagine e nelle immediate vicinanze nonché dall'estrapolazione di n. 2 sondaggi eseguiti per la costruzione della struttura nell'anno 1995 dalla documentazione della Microzonazione sismica di Sarnano. I coefficienti geotecnici di campagna e medi (M) sono stati desunti dall'interpretazione delle prove penetrometriche eseguite (vd. Allegato) e dalla letteratura tecnica esistente.

Dalla sezione litostratigrafica si può osservare la presenza dei seguenti tipi di terreno:

**A – Terreno vegetale e riporto recente** : formato da limo argilloso marroncino ricco di materiale organico con uno spessore massimo di 0.5 m;

**B – Depositi colluviali**: formati da sabbie limoso-argillose poco addensate di colorazione nocciola. Tale litotipo è stato rinvenuto nella porzione di valle, verticale P.1 e P.2, dove mostra uno spessore di 9.80 m in P.1 e 0.80 m in P2; nella porzione di monte, verticale P3 con spessore di 9.40 m.

Le caratteristiche fisicomeccaniche di campagna e medie (M) proposte di tale litotipo possono essere così riassunte:

sabbia limoso argillosa		Parametri di campagna			Parametri medi (M)					
		P.1	P.2	P.3	media (M)	U. M.		U. M.		
Peso Volume	$\gamma$	1,80	1,90	1,80	$\gamma_M$	1,83	g/cm <sup>3</sup>	#	17,98	kN/m <sup>3</sup>
Peso Volume Saturo	$\gamma_{sat}$	1,90	2,00	1,90	$\gamma_{satM}$	1,93	g/cm <sup>3</sup>	#	18,96	kN/m <sup>3</sup>
Coesione non drenata	$c_u$	0,70	0,80	1,00	$c_{uM}$	0,83	kg/cm <sup>2</sup>	#	81,72	kPa
Modulo edometrico	$E_{ed}$	65,0	70,0	85,0	$E_{edM}$	73,3	kg/cm <sup>2</sup>	#	7,19	MPa
Angolo d'attrito	$\varphi'$	25,0	26,0	27,0	$\varphi'_M$	26,0	gradi	#	26,0	gradi
Coesione drenata	$c'$	0,00	0,00	0,00	$c'_M$	0,00	kg/cm <sup>2</sup>	#	0,00	kPa
Modulo di taglio	$G_o$	380	350	420	$G_{oM}$	383	kg/cm <sup>2</sup>	#	37,59	MPa
Coefficiente di Poisson	$\nu$	0,33	0,33	0,33	$\nu$	0,33		#	0,33	

**C - Substrato**: costituito dai depositi dell'Ass. Arenacea della Formazione del Bacino della Laga (Membro pre-evapotitico). La porzione di tetto si presenta molto alterata sotto forma di sabbie molto addensate, in P1 si rinvencono a partire dai 9.80 m, in P2 dai 0.80 m ed in P3 a partire dai 9.40. Le caratteristiche fisico-meccaniche medie (M) proposte di tale litotipo possono essere così riassunte:

sabbia addensata		Parametri di campagna			Parametri medi (M)					
		P.1	P.2	P.3	media (M)		U. M.		U. M.	
Peso Volume	$\gamma$	1,95	1,95	2,00	$\gamma_M$	1,97	g/cm <sup>3</sup>	#	19,29	kN/m <sup>3</sup>
Peso Volume Saturo	$\gamma_{sat}$	2,05	2,05	2,10	$\gamma_{satM}$	2,07	g/cm <sup>3</sup>	#	20,27	kN/m <sup>3</sup>
Coesione non drenata	$c_u$	2,00	0,00	2,00	$c_{uM}$	1,33	kg/cm <sup>2</sup>	#	130,76	kPa
Modulo edometrico	$E_{ed}$	160,0	200,0	260,0	$E_{edM}$	206,7	kg/cm <sup>2</sup>	#	20,27	MPa
Angolo d'attrito	$\varphi'$	28,0	31,0	29,0	$\varphi'_M$	29,3	gradi	#	29,3	gradi
Coesione drenata	$c'$	0,00	0,00	0,00	$c'_M$	0,00	kg/cm <sup>2</sup>	#	0,00	kPa
Modulo di taglio	$G_o$	935	1800	1115	$G_{oM}$	1283	kg/cm <sup>2</sup>	#	125,85	MPa
Coefficiente di Poisson	$\nu$	0,32	0,35	0,40	$\nu$	0,36		#	0,36	

La sottostante porzione integra è assimilabile ad una roccia lapidea tenera rinvenibile in zona a partire dai 11.60 m (sondaggio reperito S1) e 13.00 m in S2 (sondaggio reperito). Le caratteristiche fisico-meccaniche medie (M) proposte di tale litotipo possono essere così riassunte (fonte bibliografica):

arenarie		Parametri di campagna		Parametri medi (M)					
		P.1	P.2	media (M)		U. M.		U. M.	
Peso Volume	$\gamma$	1.90	1.90	$\gamma_M$	1.90	g/cm <sup>3</sup>	#	18.63	kN/m <sup>3</sup>
Peso Volume Saturo	$\gamma_{sat}$	2.18	2.12	$\gamma_{satM}$	2.15	g/cm <sup>3</sup>	#	21.08	kN/m <sup>3</sup>
Coesione non drenata	$c_u$	0.00	0.00	$c_{uM}$	0.00	kg/cm <sup>2</sup>	#	0.00	kPa
Modulo edometrico	$E_{ed}$	242.3	187.2	$E_{edM}$	214.72	kg/cm <sup>2</sup>	#	21.06	MPa
Angolo d'attrito	$\varphi'$	36.6	37.1	$\varphi'_M$	36.8	gradi	#	36.8	gradi
Coesione drenata	$c'$	0.05	0.05	$c'_M$	0.05	kg/cm <sup>2</sup>	#	4.90	kPa
Modulo di taglio	$G_o$	2940	2188	$G_{oM}$	2564	kg/cm <sup>2</sup>	#	251.49	MPa
Coefficiente di Poisson	$\nu$	0.30	0.30	$\nu$	0.30		#	0.30	

### \*k= valori caratteristici

La quantificazione dei parametri caratteristici ( $F_k$ ) dei litotipi rilevati nel sito di progetto, sui quali si applicano i coefficienti di sicurezza parziali (CP) in funzione dello stato limite considerato nelle verifiche allo S.L.U. può essere definita come di seguito partendo dai dati di campagna ( $X_m$ ). L'eurocodice 7 ed il D.M. 17.01.2018 fissano, per i parametri geotecnici del terreno, in particolare di resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore "X" uguale a -1,645. Da cui:

$$\phi' k = \phi' m \cdot (1 + X \cdot V\phi) = \phi' m \cdot (1 - 1,645 \times V\phi^{\circ})$$

$$c' k = c' m \cdot (1 + X \cdot Vc) = c' m \cdot (1 - 1,645 \times Vc^{\circ})$$

( $^{\circ}$ ) = coefficiente di variazione = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori. La deviazione standard si esplicita:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N t_i^2}{N} - \left(\bar{t}\right)^2}$$

I parametri geotecnici caratteristici ( $F_k$ ) possono essere ricavati applicando la deviazione standard partendo dai dati di campagna riportati in allegato

#### 4. AZIONE SISMICA (Modello sismico del sito)

L'azione sismica di progetto si definisce a partire dalla "**Pericolosità Sismica di base**", che rappresenta in senso probabilistico, lo scuotimento atteso in un dato sito, in un dato intervallo di tempo (finestra temporale).

La **Pericolosità Sismica** è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero (field free) su sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale (di categoria A), con prefissate probabilità di eccedenza  $Pv_r$ , nel periodo di riferimento  $V_r$ .

Le forme spettrali, sono definite per ciascuna probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $Pv_r$ , a partire dai seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

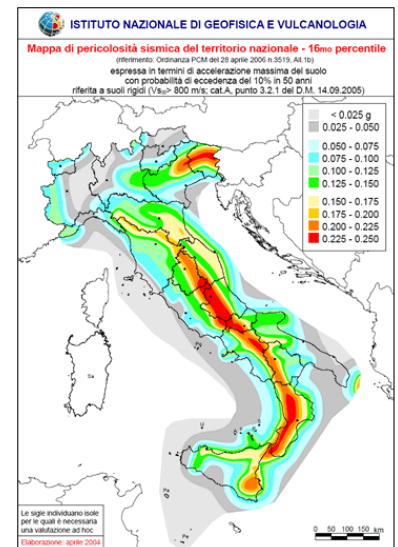
#### 4.1 Pericolosità di riferimento per il territorio nazionale e regionale

- Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 che emana i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche (G.U. n.105 del 08/05/2003).
- Ordinanza del P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006 che emana i "criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006)".

L'emanazione di successive ordinanze (Ordinanza di protezione civile n° 3379 del 05/11/2004, Ordinanza del P.C.M. n° 3431 del 03/05/2005, Ordinanza del P.C.M. n° 3452 del 01/08/2005, legge n. 31/08 del 28/02/2008), hanno preceduto la definitiva obbligatorietà all'applicazione del D.M. 14 gennaio 2008 " Norme Tecniche sulle costruzioni" (cap 3.2 Azione sismica) e succ. D.M. 17 gennaio 2018 per la valutazione della "pericolosità sismica di base" del sito interessato da nuove opere di costruzione. La norma nazionale prevede di definire l'accelerazione sismica al suolo, sulla base di una mappatura del territorio italiano a cura dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), riportante le accelerazioni massime attese al suolo. **La porzione di territorio in cui ricade l'area in studio è definita a MEDIA sismicità, ovvero: Il comune di SARNANO è classificato in zona sismica 2**

Si riporta la tabella che individua ciascuna zona secondo i valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05





### Determinazione della categoria di suolo :

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. Nel presente elaborato è stata valutata la zonazione del sito in prospettiva sismica nonché la caratterizzazione delle Vs in virtù del DM 17/01/2018 in riferimento all'esecuzione di n. 1 prova MASW e di una sismica a rifrazione in SH eseguite in sito (vd. allegati); nello specifico il sito può essere caratterizzato per la definizione dell'azione sismica, con una categoria di sottosuolo di tipo B.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti 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, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Estratto da D.M. 17/01/2018 – Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

### Determinazione dell'amplificazione stratigrafica :

CATEGORIA di SOTTOSUOLO	$S_s$	$C_c$
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_0/g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_0/g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_0/g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_0/g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Estratto da D.M. 14/01/2008 – Tabella 3.2.V

### Determinazione dell'amplificazione topografica :

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 inclin. media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

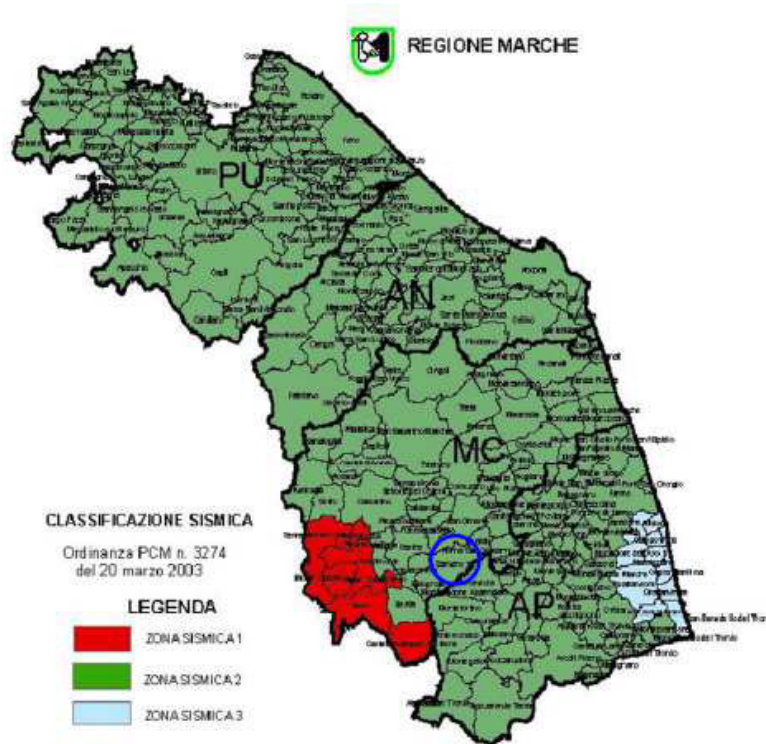
Estratto da D.M. 14/01/2008 – Tabella 3.2.IV

Categoria topografica	$\alpha$ Inclinazione pendio	$S_t$	Ubicazione dell'opera	Altezza >30m
T1	$\alpha$	1.0	-	
T2 Pendii o rilievi isolati	$\alpha > 15$	1.2	In corrispondenza della sommità del pendio	
T3 Rilievo con larghezza alla sommità molto inferiore a quella della base	$15 < \alpha < 30$	1.2	In corrispondenza della cresta del rilievo	
T4	$\alpha > 30$	1.4	In corrispondenza della cresta del rilievo	

Tab.3.2.IV Categorie topografiche



## Sismicità recente dell'area di studio



Nello specifico, tramite applicazione Webgis consultabile on line sul sito dell'I.N.G.V. all'indirizzo: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, è possibile in maniera interattiva esaminare le mappe di pericolosità sismica (Cfr. Fig. della pagina seguente) del territorio nazionale. In particolare, come specificato, per la zona di Sarnano si hanno dei valori di accelerazione del suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) compresi tra  $0.175 \div 0.200$  ag di accelerazione massima del suolo espressa come accelerazione di gravità.



Figura 1 Mappa interattiva di pericolosità sismica per la zona di Sarnano, i colori della legenda indicano le diverse accelerazioni del suolo. <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Ulteriori informazioni, disponibili sul sito dell'INGV sono i valori di disaggregazione di  $a(g)$ , si tratta di un grafico che fornisce indicazioni inerenti la magnitudo e la distanza rispetto alle faglie attive e capaci rispetto al punto selezionato. In tal modo sono desumibili i valori di magnitudo media e il raggio di azione medio di un terremoto dovuto al movimento delle faglie prossime alla zona, nel caso specifico, del Comune di Sarnano. La figura 2 e

la tabella 1 riportano il contributo percentuale alla pericolosità per coppie di valori di magnitudo e distanza epicentrale.

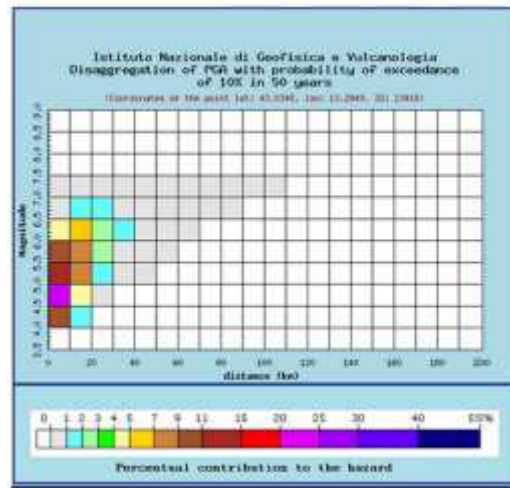


Fig. 2 - Grafico di disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo.

Distanza in km	La disaggregazione della PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Combinata dal punto lat: 43.0345, lon: 13.2848, ID: 23416)										
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0
0-10	0,000	0,070	20,000	14,600	9,940	4,170	0,082	0,033	0,000	0,000	0,000
10-20	0,000	1,101	4,890	7,220	7,900	6,120	1,850	0,837	0,000	0,000	0,000
20-30	0,000	0,000	0,143	1,130	2,420	2,760	1,190	0,743	0,000	0,000	0,000
30-40	0,000	0,000	0,000	0,060	0,610	1,030	0,814	0,475	0,000	0,000	0,000
40-50	0,000	0,000	0,000	0,001	0,113	0,322	0,301	0,282	0,000	0,000	0,000
50-60	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,067	0,142	0,163	0,000	0,000	0,000
60-70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,043	0,080	0,000	0,000	0,000
70-80	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,036	0,000	0,000	0,000
80-90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,013	0,000	0,000	0,000
90-100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
100-110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
110-120	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
120-130	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
130-140	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
140-150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
150-160	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
160-170	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
170-180	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
180-190	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
190-200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Valori medi:											
Grandezza	Distanza	Episodi									
5,390	10,900	0,911									

Tab. 1 - Dati tabellari di disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo.

### Pericolosità sismica di base

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia mette in rete, nell'ambito del Progetto DISS 3, le informazioni (<http://diss.rm.ingv.it>) riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale. Il territorio di Sarnano risulta prossimo alla sorgente sismogenetica composta classificata come ITIS055 Sarnano relativa alla macroarea ITCS027 Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (fig.3).

Qui di seguito si espongono i dati ed i contenuti;





Fig.3 - Localizzazione del territorio comunale rispetto alla sorgente sismogenetica ITIS055 Sarnano collocata nella macroarea ITCS027 censita dal DISS 3.1.1.

Inoltre si riporta di seguito le mappe derivanti da ITHACA - Catalogo delle faglie capaci (Fig. 4)

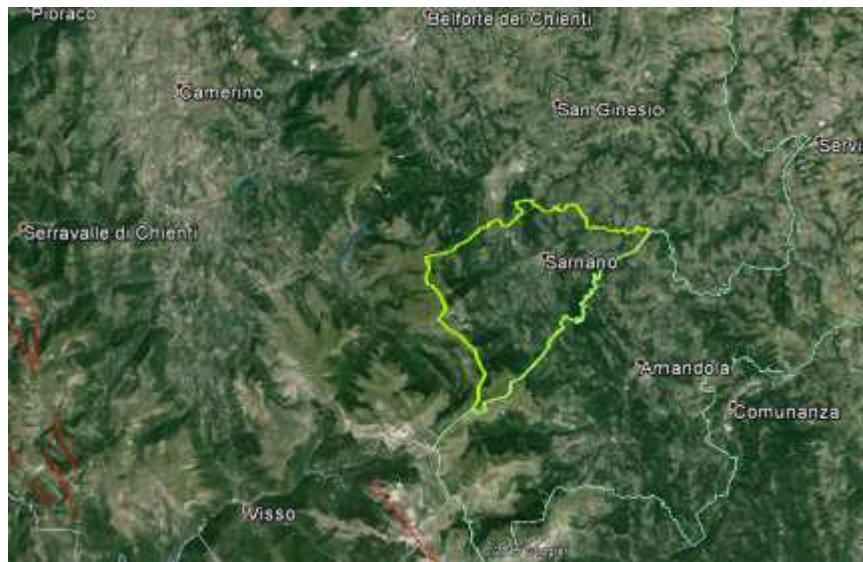


Fig.4 - Localizzazione del territorio comunale rispetto alle faglie attive e capaci del Catalogo ITHACA.

#### Determinazione periodo di riferimento PVr:

La normativa NTC 2018, inoltre, prevede la definizione di un periodo di riferimento VR per le azioni sismiche su ciascuna costruzione ottenibile dalla formula:  $VR = VN \times Cu$

Dove VN è la vita nominale di un'opera strutturale intesa come il numero di anni nel quale la struttura purchè soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Periodo di riferimento per l'azione sismica:  $PV_r = 50$  ; pari a  $V_R = V_N \cdot C_U$

Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1



### 4.3 Modellazione sismica del sito in oggetto

La classificazione sismica della regione MARCHE inserisce il territorio del Comune di SARNANO in **Zona 2**.

I valori dei parametri caratteristici per il calcolo delle azioni sismiche, relativi all'area di verifica, riferiti al suolo **categoria B**, sono quelli di seguito indicati:

**Stati limite:**

Classe Edificio: Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Normale: 50

Interpolazione: Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.062	2.477	0.278
Danno (SLD)	50	0.077	2.467	0.290
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.184	2.511	0.336
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.236	2.548	0.347
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50			

**Coefficienti sismici**

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti:

H (m): 1    us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,16
CC Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,37	1,36
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]: 0,0

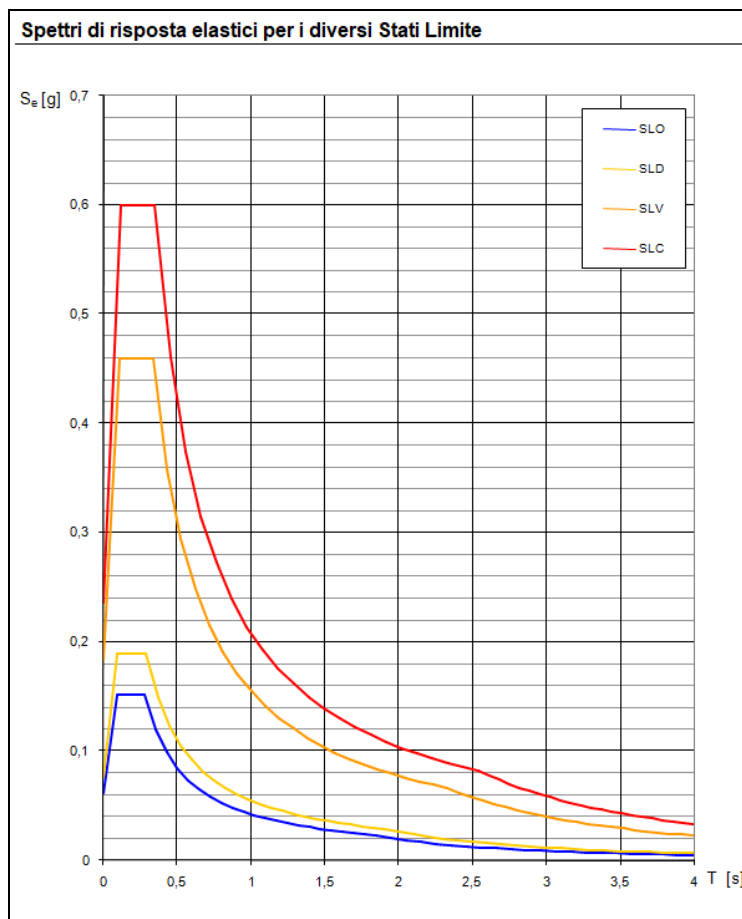
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.018	0.053	0.077
kv	0.007	0.009	0.026	0.038
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.724	0.905	2.165	2.690
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

manufatti	Coordinate	Longitudine	Latitudine
Chiesa Santa Teresa	WGS84	13.268248	43.053870
Chiesa Santa Teresa	ED50	13.269174	43.054828

**Parametri sismici di progetto approccio semplificato NTC2018.** I parametri di progetto, tenendo conto degli effetti di sito "Ss" e "St," risultano pertanto pari a:

Valori elastici parametri sismici associati a ciascuno Stato Limite: NTC 2018

STATO LIMITE	$A_g$ [g]	$S_t$ [-]	$S_s$ [-]	$A_{g-max}$ [g]	$\beta$ [-]	$K_h$ [-]	$K_v$ [s]
SLO	<b>0,073</b>	1,00	1,200	<b>0,07</b>	0,200	<b>0.015</b>	0.007
SLD	<b>0,090</b>	1,00	1,200	<b>0,09</b>	0,200	<b>0.018</b>	0.009
SLV	<b>0,206</b>	1,00	1,200	<b>0,22</b>	0,240	<b>0.053</b>	0.026
SLC	<b>0,263</b>	1,00	1,160	<b>0,27</b>	0,280	<b>0.077</b>	0.038



#### 4.4 Metodo RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL).

Come esposto in precedenza, la valutazione della risposta sismica locale (RSL) mediante analisi accelerometrica è considerata la via ufficiale dalle Norme tecniche per le costruzioni (Cap. 3.2.2 delle NTC2008 e 2018) per la determinazione dell'accelerazione orizzontale massima ( $A_{gmax}$ ) e dello Spettro di risposta. Esistono due diverse metodiche rigorose per la stima dell'amplificazione sismica in superficie tramite Risposta Sismica Locale (RSL):

- Analisi 1D
- Analisi 2D

Le analisi 1D sono basate su modelli numerici di media complessità (Es. Stacec, Rexel, Strata, Deepsoil ecc.). Trattandosi di indagini monodimensionali si ipotizza che gli strati siano piano-paralleli o debolmente inclinati, infinitamente estesi e che la propagazione del sisma si realizzi in modo quasi verticale.

Qualora queste condizioni non fossero corrispondenti ai risultati dell'indagine geologica, si dovrà ricorrere ad analisi bidimensionali 2D. Queste ultime sono basate sull'uso di modelli numerici più sofisticati, che hanno portato allo sviluppo di programmi di calcolo complessi utilizzabili per valutare gli effetti di bidimensionali (es. FLUSH, QUAD4 ecc).

▪ Dalla Modellazione Geologica (Cfr. Prima Parte del presente elaborato) il sito è senz'altro classificabile in un contesto monodimensionale 1D.

La modellazione 1D permette di definire una realistica risposta sismico/stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali (sia sepolte sia topografiche), consentendo in specifici con-testi sismologici, topografici e litostratigrafici, mediante il confronto con la relativa categoria di suolo (Cap. 3.2.2 delle NTC2018), un'analisi più rigorosa e certa rispetto all'approccio semplificato di normativa, poiché identifica amplificazioni per intervalli di periodi più puntuali e specifici rispetto a quelli basati sulle categorie di suolo.

#### **4.4.1 - Sistematica.**

Nel presente elaborato tecnico, l'Azione sismica tramite RSL è stata determinata mediante l'utilizzo di 2 appropriati codici di calcolo, rimandando ai rispettivi Manuali per la letteratura e le specifiche tecniche:

- REXELite (*reluis*)
- STACEC

Le NTC vietano per l'analisi di risposta sismica locale l'utilizzo di accelerogrammi artificiali (come del resto specificato anche nella Circolare applicativa delle NTC2008 al capitolo C7.11.3.1.2.2).

Per il progetto in oggetto, in assenza di circolari esplicative per le NTC2018, si è pertanto fatto riferimento all'utilizzo di accelerogrammi naturali come input per l'esecuzione di analisi di RSL.

Per il loro utilizzo gli accelerogrammi registrati devono avere le seguenti caratteristiche:

- essere rappresentativi della sismicità del sito di progetto (proprietà sismogenetiche sorgente, condizioni del sito di registrazione, Magnitudo, distanza sorgente accelerazione orizzontale di picco attesa al sito);
- gli accelerogrammi registrati devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo dei periodi di interesse per il problema in esame;
- devono utilizzare le condizioni di compatibilità spettrale media definite sia per i segnali artificiali sia per quelli naturali, avendo cura in ogni caso di rispettare le condizioni geologiche di sito e di scegliere accelerogrammi il cui spettro è, per quanto possibile, simile o equiparabile a quello di riferimento;
- gli accelerogrammi possono essere scalati linearmente in ampiezza limitando il fattore di scala nel caso di segnali provenienti da eventi di piccola Magnitudo;
- gli effetti sulla struttura sono rappresentati dai valori medi degli effetti più avversi ottenuti dalle analisi;
- devono essere utilizzati almeno 7 diversi gruppi di accelerogrammi (dai valori più sfavorevoli degli effetti, nel caso si abbiano meno di 7 gruppi);
- in nessun caso si possono adottare meno di tre gruppi di accelerogrammi.

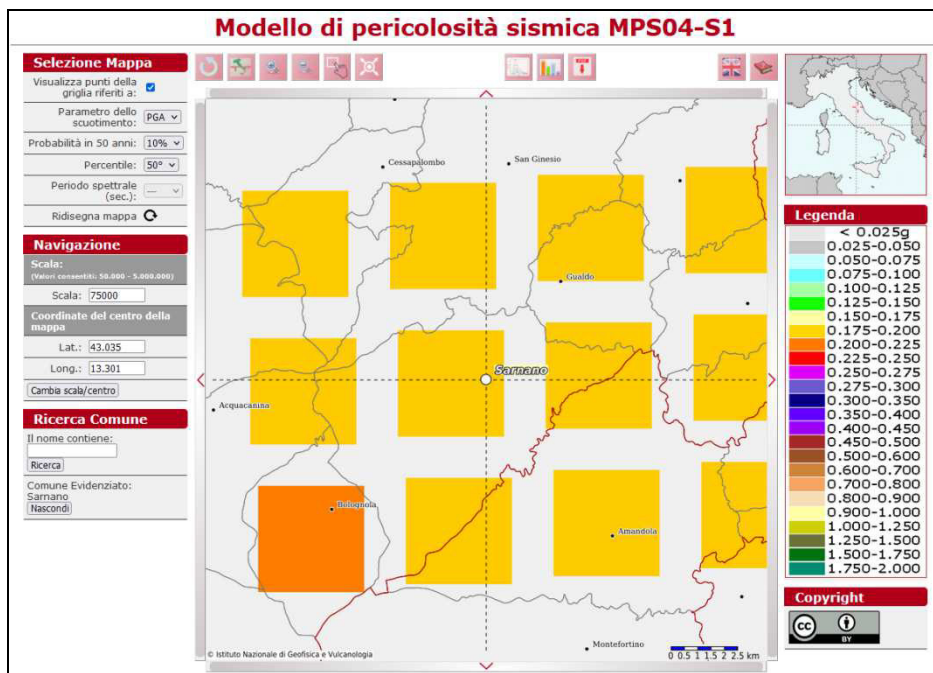
Valutare l'azione sismica mediante analisi di risposta sismica locale (RSL) in campo monodimensionale 1D significa definire la Funzione di trasferimento rappresentativa della situazione geologico/strutturale al di sotto del sito in esame, dedotta da una adeguata campagna multidisciplinare di esplorazione del sottosuolo derivante dall'indagine geologica.

La forma della funzione di Trasferimento si presume, quindi, sia legata alle modalità di trasmissione delle onde sismiche all'interno degli strati superficiali ed in particolare alle interferenze che si generano fra questi e le onde sismiche.

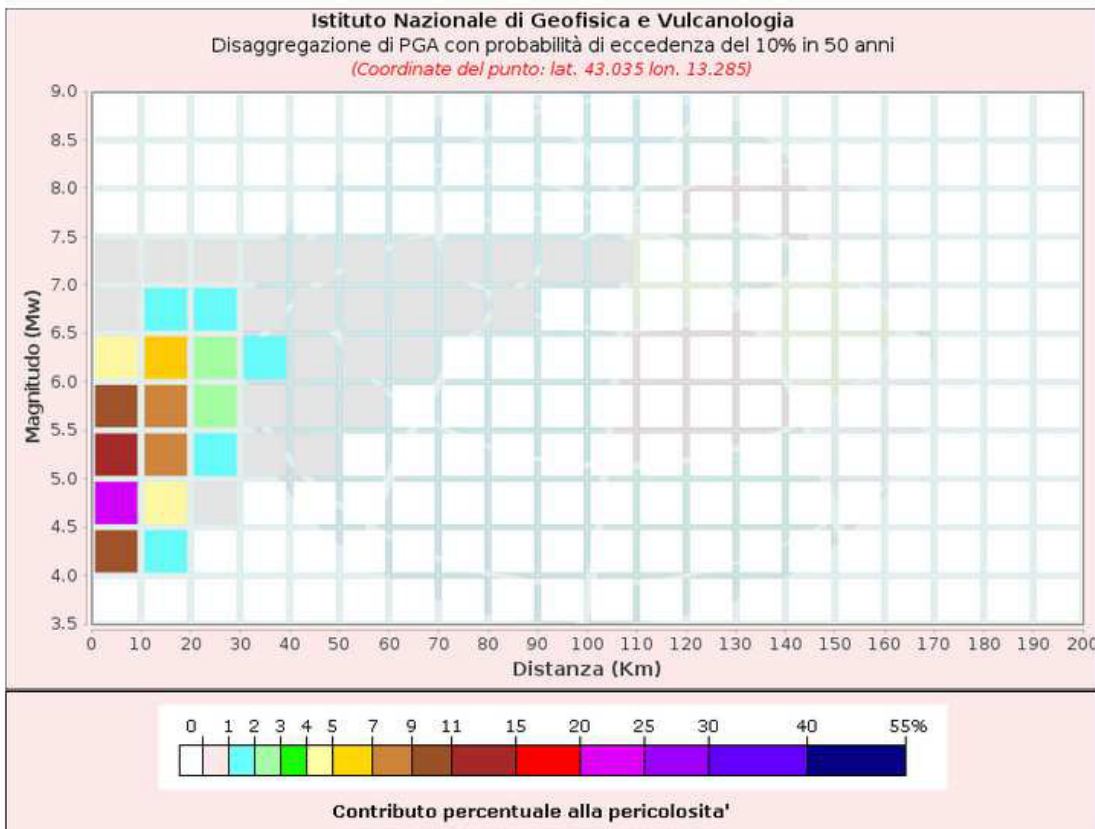
**4.4.2 - Scelta dell'input sismico.** L'estrazione degli accelerogrammi di input sismo-compatibili prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre a quelli precedentemente definiti. In particolare devono essere circoscritti i dati di disaggregazione sismica (variabilità in termini di magnitudo e distanza) ottenuti consultando il database dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it>. Per cui con riferimento alle figure seguenti sono stati determinati i seguenti parametri M –R di disaggregazione:

M (magnitudo) compresa fra M.min.=5.5 e M.max=7.0

R (distanza) compresa fra R.min.=0 e R.max=30







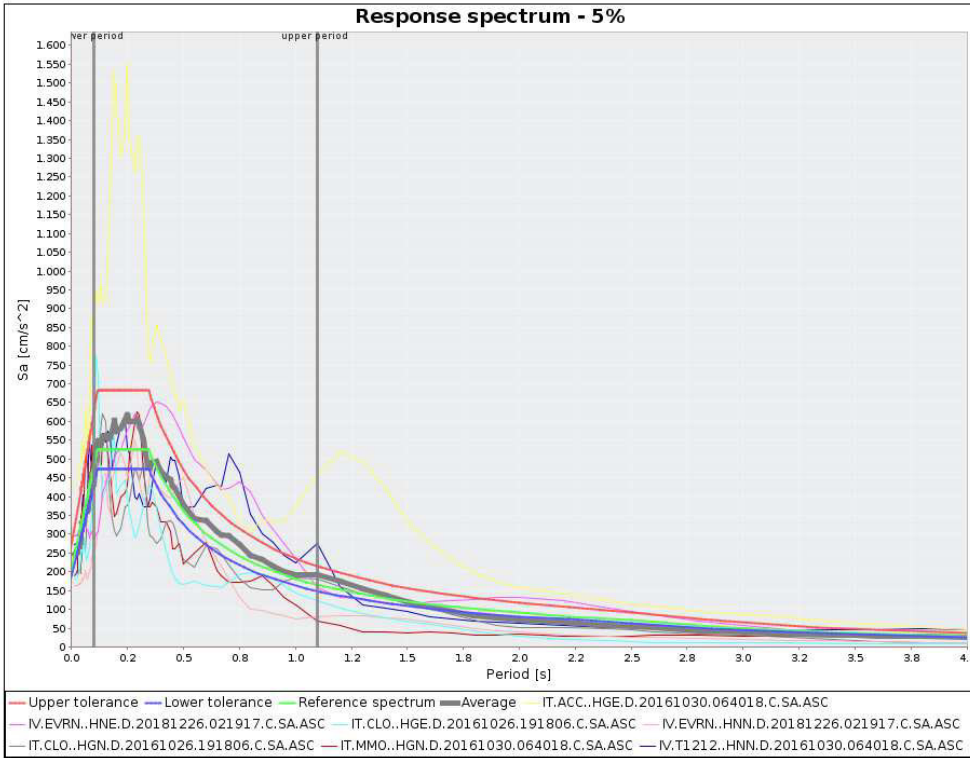
Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
 (Coordinate del punto: lat. 43.035 lon. 13.285)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	9.0700	20.0000	14.6000	9.0600	4.1700	0.0817	0.0329	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	1.1000	4.8900	7.2300	7.9000	6.1200	1.9500	0.9370	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.1430	1.1300	2.4200	2.7600	1.1900	0.7450	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0598	0.6100	1.0300	0.6140	0.4750	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.1120	0.3220	0.3010	0.2820	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0118	0.0671	0.1420	0.1650	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0491	0.0796	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0116	0.0356	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0150	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

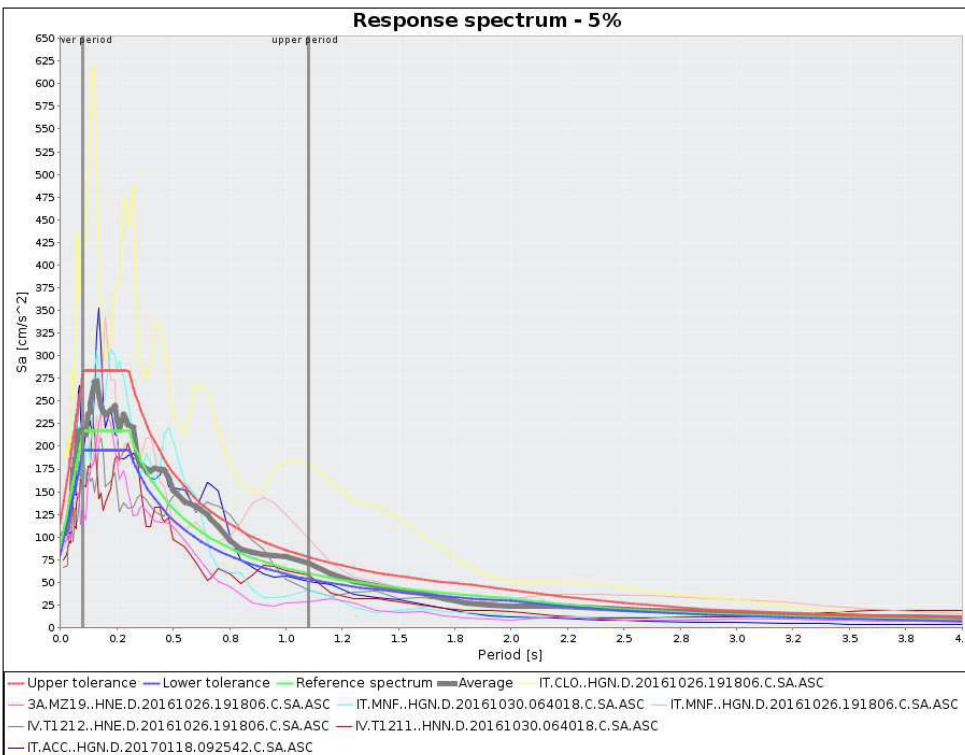
Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.39	10.9	0.911

Sono stati utilizzati come moti di input (applicati al basamento sismico attraverso il codice Stacec) i sette accelerogrammi naturali, opportunamente estratti per il Comune di Sarnano.

Le storie temporali dell'accelerazione sono riportati in Figura (SLV/SLD)



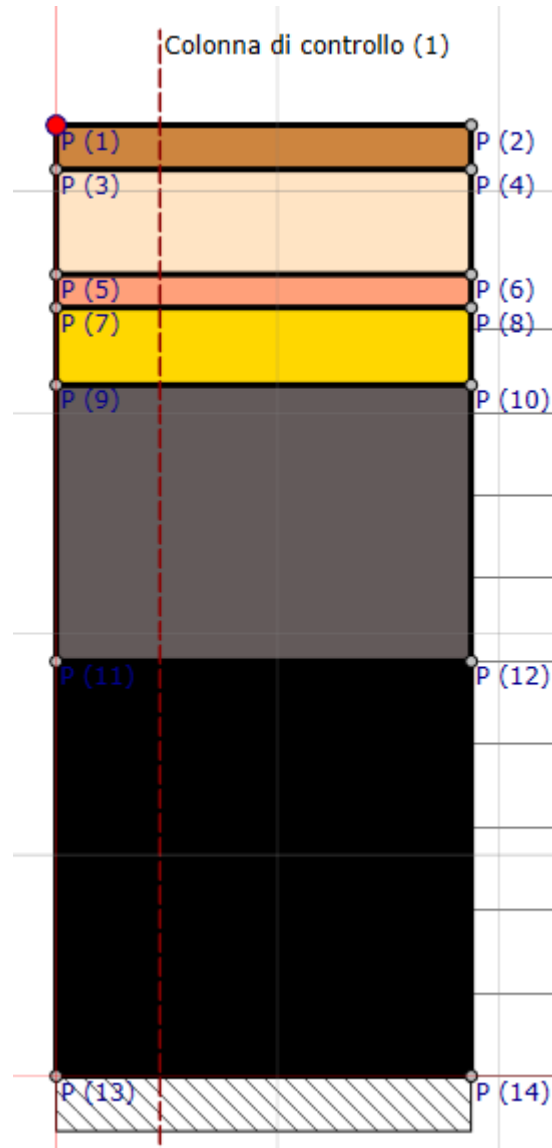
Spettri accelerogrammi sismo-compatibili SLV



Spettri accelerogrammi sismo-compatibili SLD

**4.4.3 - Analisi di risposta sismica locale (RSL).** Definito l'input in termini di eventi sismici da sottoporre a simulazione, bisogna determinare le caratteristiche sismostratigrafiche del volume di terreno d'indagine ed oggetto della probabile amplificazione.

Tale operazione è effettuata tramite il codice del software della STACEC, nell'analisi equivalente lineare (EQL), inserendo nello stesso il profilo sismostratigrafico del terreno, ovvero i differenti sismostrati di cui la campagna di esplorazione geologica e/o geofisica e/o geotecnica del sottosuolo ha discretizzato il sottosuolo dell'area in esame. Nel seguito è restituito il profilo sismogenetico.



Strato	Spessore [m]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Ni	Modello geotecnico	Colore	
1	Argilla limosa	1.60	1800.00	200.00	0.35	SMTf_Sarnano	
2	Limo argilloso sabbioso	3.80	1900.00	250.00	0.35	SMTf_Sarnano	
3	Argilla limosa sabbiosa	1.20	1800.00	280.00	0.35	SMTf_Sarnano	
4	argilla sabbiosa	2.80	1900.00	450.00	0.33	SMTf_Sarnano	
5	bedrock alterato	10.00	2200.00	630.00	0.30	substrato fratturato (lineare)	
6	bedrock alterato	15.00	2200.00	690.00	0.30	substrato fratturato (lineare)	

Poiché il comportamento del terreno non è lineare ma varia al variare della deformazione indotta dal sisma per ogni specifica tipologia di terreno attraversato, è necessario inserire per ciascuno strato la specifica curva di decadimento (G-G0) e smorzamento (D/D0).



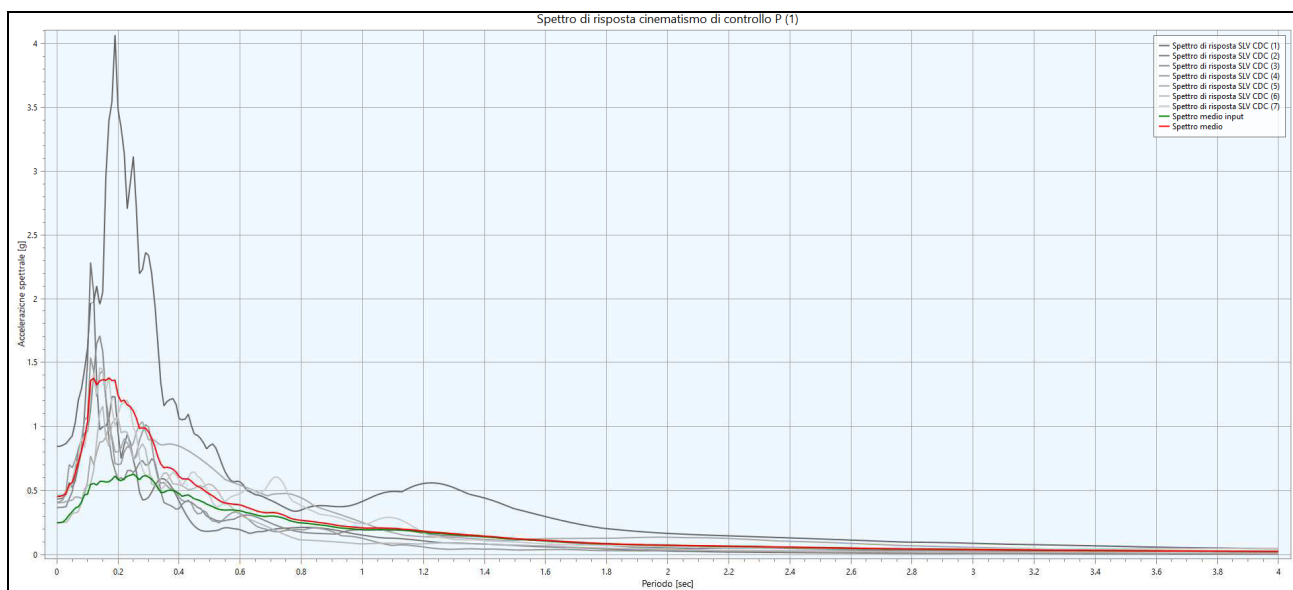
Si fa notare che per descrivere la dipendenza del modulo di taglio e dello smorzamento della deformazione dei litotipi in esame, è stato necessario fare riferimento a curve di decadimento tratte sia dalla letteratura che da curve utilizzate nelle microzonazioni sismiche di 2° e 3° livello del territorio marchigiano.

Secondo le disposizioni di cui alle NTC2018, la campagna d'indagine deve essere spinta sino ad intercettare un substrato sismico dotato di  $V_s > 800$  m/s.

Qualora la campagna d'indagine non ravvisi la presenza di substrato sismico fino a profondità comprese tra 100 e 200 mt dal p.c., è possibile utilizzare il sismostrato di base come punto di generazione degli input sismici, motivando la scelta sulla base del fatto che l'analisi 1D per profondità superiori ai 100 mt tende ad una sottostima dell'azione sismica poiché prevalgono fenomeni dissipativi rispetto a quelli amplificativi.

• Nel sito di progetto si ipotizza; dalle analisi geofisiche effettuate in sito e reperite nella micro zonazione sismica di 3° Livello (effettuata per il Comune di Sarnano) un bedrock sismico con  $V_s > 800$  m/s ad una profondità variabile tra 35 e 40 m.

**4.4.4 - Risultati della risposta sismica locale (RSL) per SLV.** Di seguito sono estrapolabili i risultati di risposta sismica locale per il sito di progetto, con la computazione dei dati per lo stato limite di salvaguardia alla vita (SLV) al punto di controllo P1, riportando per una lettura migliore su foglio di calcolo elettronico:



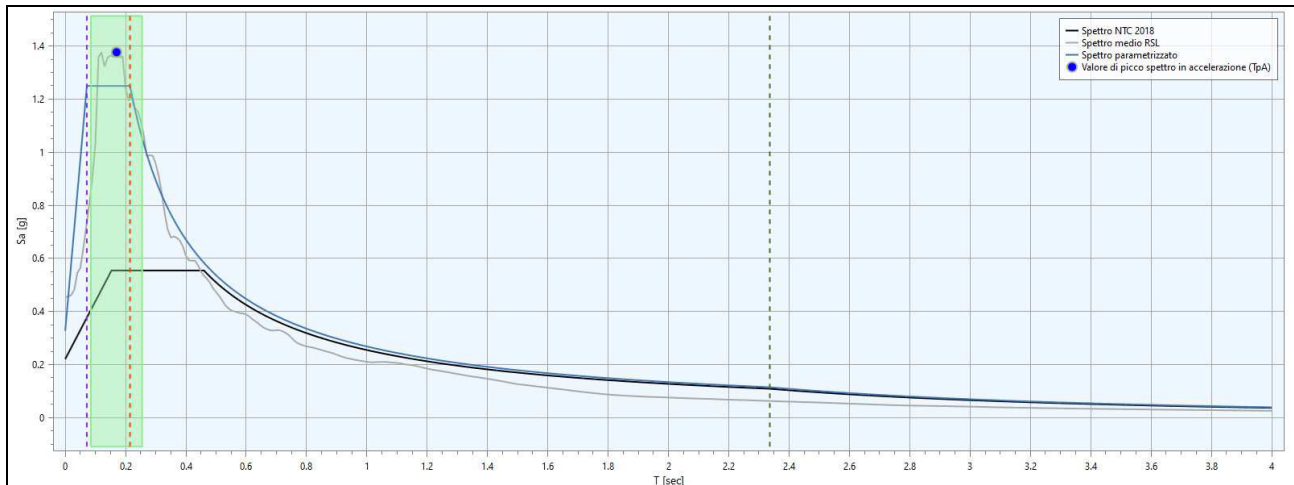
Per il sito di progetto si è ricostruito lo spettro di risposta elastico per SLV al punto di controllo P1.

La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli "indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" (GdL MS – parti I e II – Punto 2.5.4.3.1 pag 92). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede :

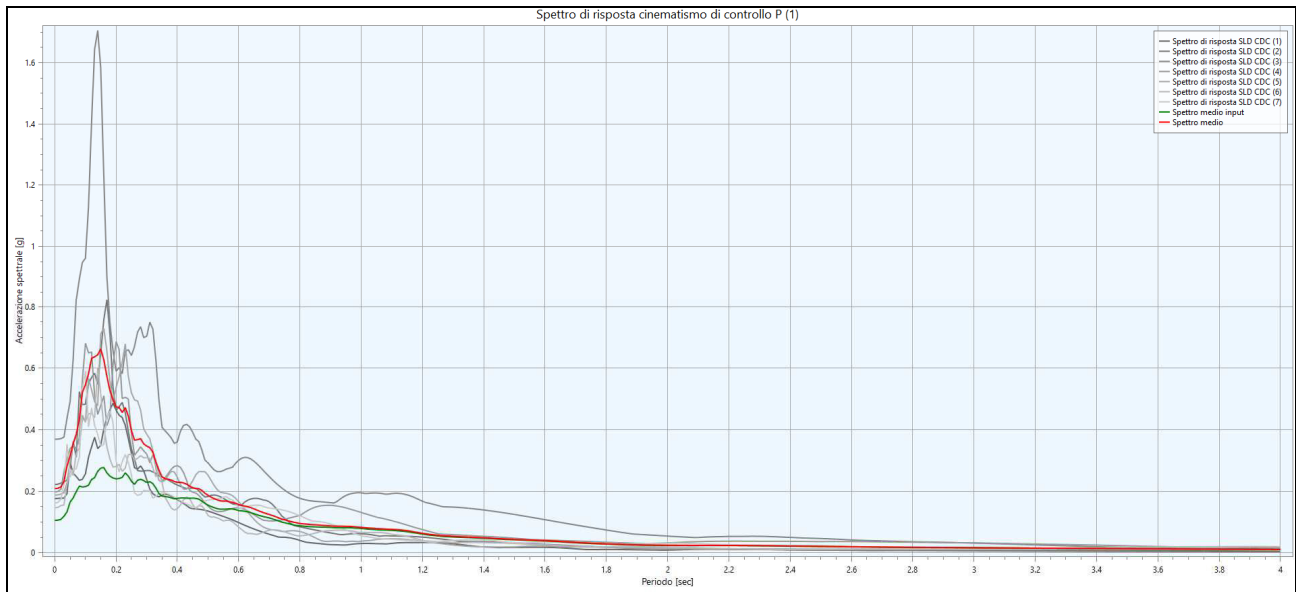
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione ( $TA$ );
- il calcolo del valore medio dello spettro in accelerazione ( $SAm$ ) nell'intorno tra  $0.5 TA - 1.5 TA$  ;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità ( $TV$ );
- il calcolo del valore medio dello spettro in pseudovelocità ( $SVm$ ) nell'intorno tra  $0.8 TV - 1.2 TV$  ;
- il calcolo del valore di  $T_c = 2\pi SV/SA$  ;
- il calcolo del valore  $T_b = 1/3 T_c$  ;
- il calcolo del valore  $T_d = 4 a_g + 1.6$  con  $a_g$  uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra  $T_o, T_b, T_c, T_d$  .

$SAm$ [g] SLV (RSL)	$Ag/g$ [g] SLV (RSL)	$S$ (RSL)
1,249	0,327	1,78

Indipendentemente dalla tecnica di NORMALIZZAZIONE adottata, il risultato finale è rappresentato dalla seguente figura :



**4.4.5 - Risultati della risposta sismica locale (RSL) per SLD.** Di seguito sono estrapolabili i risultati di risposta sismica locale per il sito di progetto, con la computazione dei dati per lo stato limite di salvaguardia del danno (SLD) al punto di controllo P1, riportando per una lettura migliore su foglio di calcolo elettronico:



Per il sito di progetto si è ricostruito lo spettro di risposta elastico per SLD al punto di controllo P1.

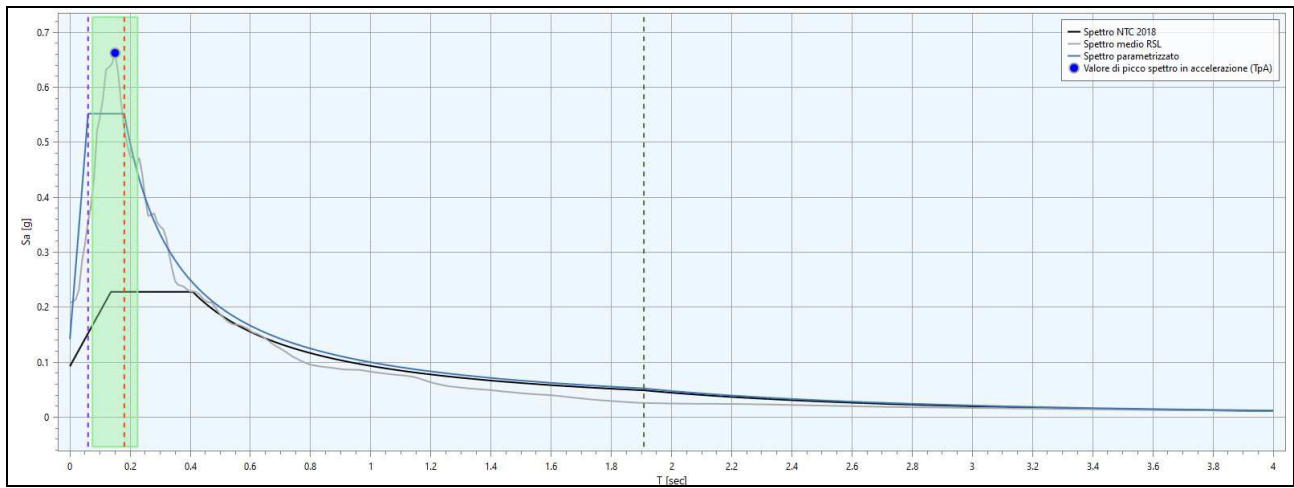
La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli “indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” (*GdL MS – parti I e II – Punto 2.5.4.3.1 pag 92*). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede :

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione ( $TA$ );
- il calcolo del valore medio dello spettro in accelerazione ( $SAm$ ) nell'intorno tra  $0.5 TA - 1.5 TA$  ;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità ( $TV$ );
- il calcolo del valore medio dello spettro in pseudovelocità ( $SVm$ ) nell'intorno tra  $0.8 TV - 1.2 TV$  ;
- il calcolo del valore di  $T_c = 2\pi SV/SA$  ;
- il calcolo del valore  $T_b = 1/3 T_c$  ;
- il calcolo del valore  $T_d = 4 a_g + 1.6$  con  $a_g$  uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra  $T_o, T_b, T_c, T_d$  .

<b><math>SAm</math> [g] SLD (RSL)</b>	<b><math>Ag/g</math> [g] SLD (RSL)</b>	<b><math>S</math> (RSL)</b>
0,552	0,142	1,84

Indipendentemente dalla tecnica di NORMALIZZAZIONE adottata, il risultato finale è rappresentato dalla seguente figura :





#### 4.5 COMPUTAZIONE RAPPRESENTATIVA DELLO SPETTRO elastico di R.S.L.

Ai sensi e per gli effetti del Cap. 3.2.2 delle NTC2018, tramite l'analisi rigorosa 1D di Risposta Sismica Locale (RSL) sono stati computati in condizioni di salvaguardia e di danno (SLV-SLD) agli Stati limite Ultimi (SLU) i fattori sismici del sito di progetto, con relativa costruzione dello Spettro di risposta elastico.

Nel seguito sono tabellati e graficati, per le condizioni di salvaguardia e di danno (SLV-SLD) agli SLU, i computi sismici "rigorosi" di R.S.L. e quelli attesi dalle NTC2018 "semplificati" tramite categorie di suolo.

<b>Parametri sismici elastici associati allo stato limite SLV approccio analitico: RSL</b>										
STATO LIMITE	$A_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]	$S_T$ [-]	$S_S$ [-]	$A_{g/gmax}$ [g]	$S_{Am}$ [ $T_{max}$ ] [g]	$T_B$ [S]	$T_c$ [S]	$T_D$ [S]
<b>R.S.L. P1</b>	<b>0.184</b>	<b>3.816</b>	<b>0.17</b>	<b>1.78</b>		<b>0.327</b>	<b>1.249</b>	<b>0.072</b>	<b>0.215</b>	<b>2.336</b>
N.T.C.18	0.184	2.511	0.336	1.0	1.20	0.22	0.551	0.154	0.461	2.333

<b>Parametri sismici elastici associati allo stato limite SLD approccio analitico: RSL</b>										
STATO LIMITE	$A_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]	$S_T$ [-]	$S_S$ [-]	$A_{g/gmax}$ [g]	$S_{Am}$ [ $T_{max}$ ] [g]	$T_B$ [S]	$T_c$ [S]	$T_D$ [S]
<b>R.S.L. P1</b>	<b>0.077</b>	<b>3.891</b>	<b>0.15</b>	<b>1.842</b>		<b>0.142</b>	<b>0.552</b>	<b>0.060</b>	<b>0.181</b>	<b>1.908</b>
N.T.C.18	0.077	2.467	0.290	1.0	1.20	0.09	0.227	0.136	0.409	1.907

#### 4.6 COMPUTO FREQUENZA DI RISONANZA

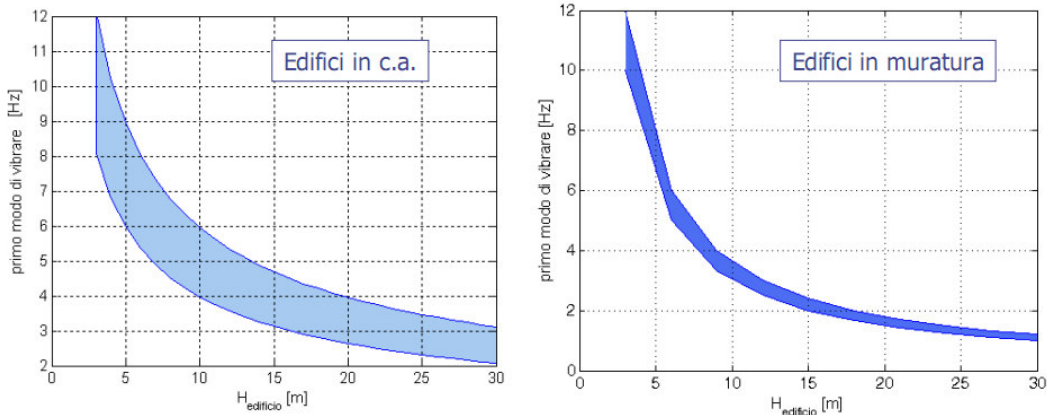
Tramite la strumentazione HVSR, è possibile determinare il rischio di amplificazione degli effetti di un sisma su un fabbricato esistente nonché di progettare in condizioni di maggiore sicurezza la realizzazione di nuove opere. Quanto sopra si ottiene con la determinazione in sito della frequenza fondamentale di risonanza del terreno di fondazione e con la comparazione di questa con la frequenza di risonanza del fabbricato (in opera o da progettare). Quando questi due valori sono simili si ha il rischio del cosiddetto effetto di **“doppia risonanza”**, che si traduce in un aumento considerevole delle sollecitazioni agenti sull'edificio e quindi del danno che quest'ultimo può subire.

Numerosi studi in ambito scientifico hanno dimostrato l'importanza di verificare l'eventuale rischio d'insorgenza dell'effetto di "doppia risonanza", al fine di impostare in maniera corretta la messa in sicurezza del patrimonio edilizio esistente nei confronti dei terremoti, e di progettare i nuovi interventi con criteri davvero antisismici.

Esistono norme empiriche per la stima delle risonanze principali delle strutture.

Queste, contenute nella ISO 4886 "Mechanical Vibration and shock - Vibration of buildings - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings", forniscono indicazioni sui valori attesi in base alla sola altezza della struttura (H) - Cfr. Fig. sotto - e/o il numero di piani equivalenti (N):

$$f_{RIS} = \frac{10 \div 12}{N} \text{ Hz} \qquad f_{RIS} = \frac{46}{H} \text{ Hz}$$



Castellani e Faccioli (2000), definiscono la risonanza delle strutture tramite la seguente relazione empirica:

$$f_s = \frac{B^{0,5}}{C \times H}$$

H = altezza edificio

C = coefficiente dipendente dal materiale e variabile da 0,06÷0,09

B = dimensione maggiore in pianta dell'edificio

Nel caso di edifici in fase di progettazione o di realizzazione la frequenza di risonanza fondamentale dell'opera può essere valutata con altre formule semplificate, quale quella indicata nel D.M. 14.01.2008, in cui C1 è un fattore che dipende dalla tipologia costruttiva.

$$f_s = \frac{1}{C_1 Z^{\frac{3}{4}}}$$

Tipologia	C <sub>1</sub>
Costruzioni con struttura a telaio in acciaio	0,085
Costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato	0,075
Costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura	0,050

La relazione è valida per edifici con "Z" non superiore ai 40 metri e massa distribuita, approssimativamente, in maniera uniforme lungo l'altezza.

■ La tabulazione dei picchi di frequenza di risonanza del terreno di fondazione, sulla base dei computi eseguiti, è restituita nell'Allegato.

**4.6.1 Analisi numerica dei dati.** Dall'analisi dei dati computati, correlati agli spettri di risposta H/V dei picchi risonanza (f) (Cfr. Allegati), in relazione alle dimensioni delle strutture da realizzare, NON si evidenziano picchi stratigrafici significativi nel campo delle frequenze ingegneristiche tali da far ritenere i manufatti di progetto sottesi al rischio di "doppia risonanza" nel caso di evento tellurico, che si tradurrebbe in un aumento significativo delle sollecitazioni agenti sul manufatto, e del danno che questo può subire, in caso di sisma".

**In ogni caso si suggerisce in fase di progettazione e nel calcolo strutturale di tenere in considerazione le misure di frequenze Fo che sono state eseguite nella campagna indagini variabili tra 4.3 Hz (HV1) - 5.19 Hz (HV3) e quelle misurate all'interno del piano sottotetto dell'edificio 5.5 Hz (HV2)**

## **5. TERRE E ROCCE DA SCAVO**

Il suolo ed i materiali scavati nel corso dell'attività di costruzione, anche di gallerie, ottenute quali sottoprodotti, possono essere utilizzati per reinterri, riempimenti, rimodellazioni e rilevati purchè soddisfino tutti i criteri, requisiti e condizioni previste dal D.lgs. 3 aprile 2006, n. 152. Ai sensi della vigente normativa ambientale (DM 161/2012), e succ. DPR n. 120 del 13 giugno 2017, le terre e rocce da scavo sono soggette alla verifica di alcune condizioni tali per cui esse possano essere considerate terre e non rifiuti, compresi gli eventuali riporti antropici. Le terre oggetto di scavo qualora prodotte dovranno essere gestite sulla base della normativa vigente in funzione del loro riutilizzo c/o il sito di produzione o in altro sito e tale attività potrà essere oggetto della procedura semplificata con autodichiarazione della proprietà prevista dalla norma (art. 21 del D.P.R. n. 120 del 13 giugno 2017).

## **6. INVARIANZA IDRAULICA**

L'intervento prevede il recupero della stessa superficie attuale. Pertanto la superficie abitativa è la stessa che dovrà essere recuperata senza variazioni di permeabilità locale delle superfici; pertanto il progetto di recupero in oggetto non risulta soggetto a verifica in base ai criteri stabiliti dalla Giunta Regionale di cui al DGR 53/2014. In conclusione l'intervento proposto non necessita di opere compensative al fine dell'invarianza idraulica e quindi rimangono invariati i criteri di restituzione controllata delle acque di poggia al corpo recettore come di fatto.



## 7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Si ritiene che non sussistano impedimenti di natura geologica e sismica per l'esecuzione dell'intervento in oggetto.

A. la zona in esame è morfologicamente stabile in quanto non sono presenti aree interessate da fenomeni morfogenetici in atto o potenziali;

B. i rilevamenti eseguiti hanno evidenziato che il sito oggetto di studio è caratterizzato dalla presenza di una coltre, con spessore massimo di circa 9.80 in P.1, che ricopre un substrato di natura sabbioso/arenacea appartenente alla Formazione del Bacino della Laga;

C. le opere da realizzare non modificheranno in nessun modo il regime idrogeologico esistente non avendosi alcuna interferenza tra la falda, non rilevata, e le strutture fondali;

Per quanto detto sopra si consiglia:

1. Adottare tutte le prescrizioni previste nella normativa sulla sicurezza nei cantieri;
2. Il sito in oggetto risulta caratterizzato sotto il profilo litostratigrafico e geotecnico da un orizzonte colluviale limoso-argilloso poco addensate di colorazione nocciola. Tale litotipo è stato rinvenuto nella porzione di valle, verticale P.1 e P.2, dove mostra uno spessore di 9.80 m in P.1 e 0.80 m in P2; nella porzione di monte, verticale P3 con spessore di 9.40 m. il substrato risulta costituito dai depositi dell'Ass. Arenacea della Formazione del Bacino della Laga (Membro pre-evapotitico). La porzione di tetto si presenta molto alterata sotto forma di sabbie molto addensate, in P1 si rinvencono a partire dai 9.80 m, in P2 dai 0.80 m ed in P3 a partire dai 9.4. Per le valutazioni geotecniche e relativa parametrizzazione si rimanda al cap. 4.
3. Ai fini delle verifiche sismiche, sulla base dell'assetto morfologico e topografico del sito in oggetto, si ritiene opportuno associare lo stesso ad una categoria topografica di tipo **T1** con coefficiente d'amplificazione topografica **ST=1,0**.
4. In virtù della presa visione dei dati specifici circa le velocità caratteristiche dei terreni investigati nell'area in oggetto, visto il valore di **VSeq=528 m/s** ottenuto a seguito del processing dei dati registrati a seguito di prove Masw in sito e di **Vseq=447 m/s** ottenuto con profilo sismico a rifrazione SH si consiglia l'utilizzo della categoria di suolo **Categoria di suolo B**.
5. L'area in oggetto è stata ricompresa nella perimetrazione della Microzonazione sismica comunale e risulta caratterizzata come microzona omogenea "**MOPS 2003**".
6. Ai sensi e per gli effetti del Cap. 3.2.2 delle NTC2018, tramite l'analisi rigorosa 1D di Risposta Sismica Locale (**RSL**) sono stati computati in condizioni di salvaguardia e di danno (SLV-SLD) agli Stati limite Ultimi (SLU) i fattori sismici del sito di progetto, con relativa costruzione dello Spettro di risposta elastico. Nel seguito sono tabellati e graficati, per le condizioni di salvaguardia e di danno (SLV-SLD) agli SLU, i computi sismici "rigorosi" di R.S.L. e quelli attesi dalle NTC2018 "semplificati" tramite categorie di suolo (vd. allegato di RSL).

<b>Parametri sismici elastici associati allo stato limite SLV approccio analitico: RSL</b>										
STATO LIMITE	$A_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c$ * [s]	$S_T$ [-]	$S_S$ [-]	$A_{g/gmax}$ [g]	$S_{Am}$ [ $T_{max}$ ] [g]	$T_B$ [S]	$T_C$ [S]	$T_D$ [S]
<b>R.S.L. P1</b>	<b>0.184</b>	<b>3.816</b>	<b>0.17</b>	<b>1.78</b>		<b>0.327</b>	<b>1.249</b>	<b>0.072</b>	<b>0.215</b>	<b>2.336</b>
N.T.C.18	0.184	2.511	0.336	1.0	1.20	0.22	0.551	0.154	0.461	2.333

<b>Parametri sismici elastici associati allo stato limite SLD approccio analitico: RSL</b>										
STATO LIMITE	A <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub> [-]	T <sub>c</sub> * [s]	S <sub>T</sub> [-]	S <sub>S</sub> [-]	A <sub>g/gmax</sub> [g]	S <sub>Am</sub> [T <sub>max</sub> ] [g]	T <sub>B</sub> [S]	T <sub>c</sub> [S]	T <sub>D</sub> [S]
<b>R.S.L. P1</b>	<b>0.077</b>	<b>3.891</b>	<b>0.15</b>	<b>1.842</b>		<b>0.142</b>	<b>0.552</b>	<b>0.060</b>	<b>0.181</b>	<b>1.908</b>
N.T.C.18	0.077	2.467	0.290	1.0	1.20	0.09	0.227	0.136	0.409	1.907

7. Si suggerisce in fase di progettazione e nel calcolo strutturale di tenere in considerazione le misure di frequenze Fo che sono state eseguite nella campagna indagini variabili tra 4.3 Hz (HV1) - 5.19 Hz (HV3) e quelle misurate all'interno del piano sottotetto dell'edificio 5.5 Hz (HV2)
8. Si ritiene necessaria nel corso dell'esecuzione delle opere, la direzione dei lavori di carattere geologico al fine di valutare immediatamente e correttamente eventuali difformi scenari geologici che dovessero emergere nel corso dell'esecuzione dei lavori.

Falerone, 26/07/2021

**Il Geologo**  
**Dott. Gabriele Cutini**  
 Ordine dei Geologi delle Marche  
 Geologo Specialista n° 665



Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1

N=-5400

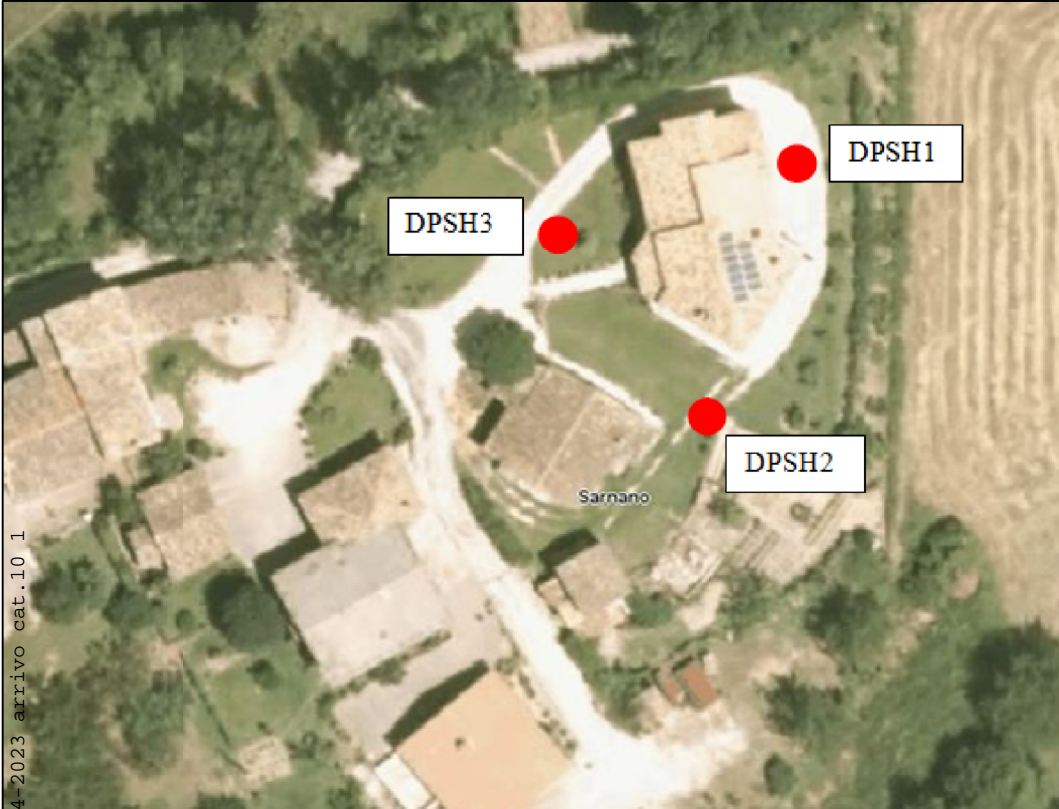
E=30700



1-Apr-2021 11:27:49  
 Prot. n. T132907/2021  
 Scala originale: 1:2000  
 Dimensione cornice: 534.000 x 378.000 metri  
 Comune: SARNANO  
 Foglio: 7

1 Particella: 627

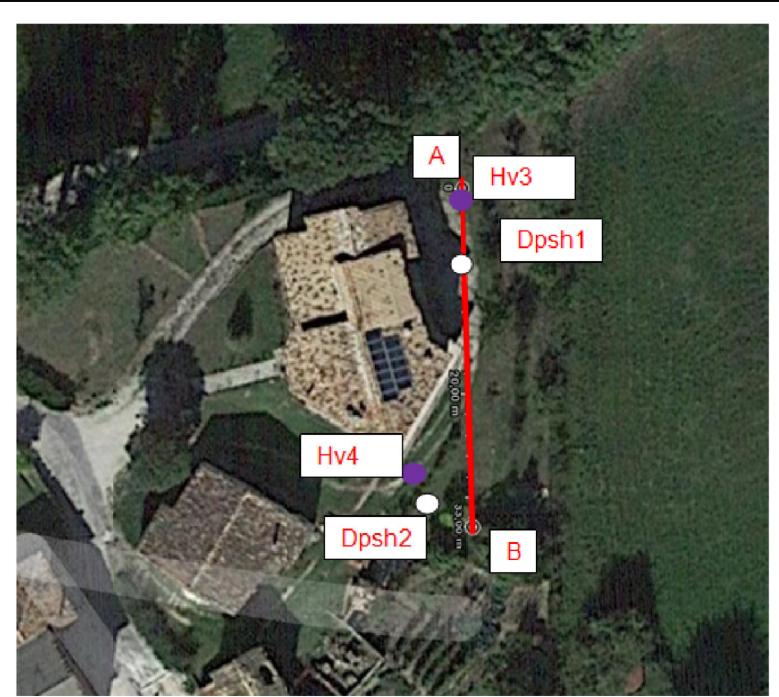




UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE DPSH



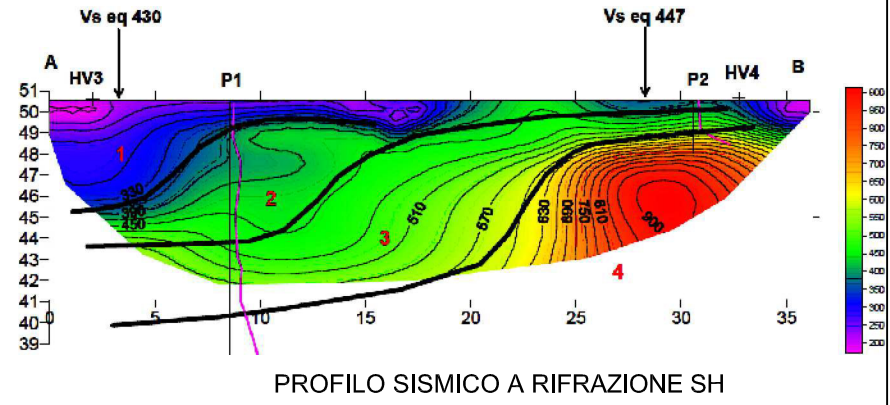
STENDIMENTO SISMICA MASW



Sezione sismica A-B



UBICAZIONE PROVE HV



PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE SH

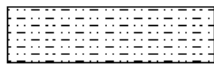
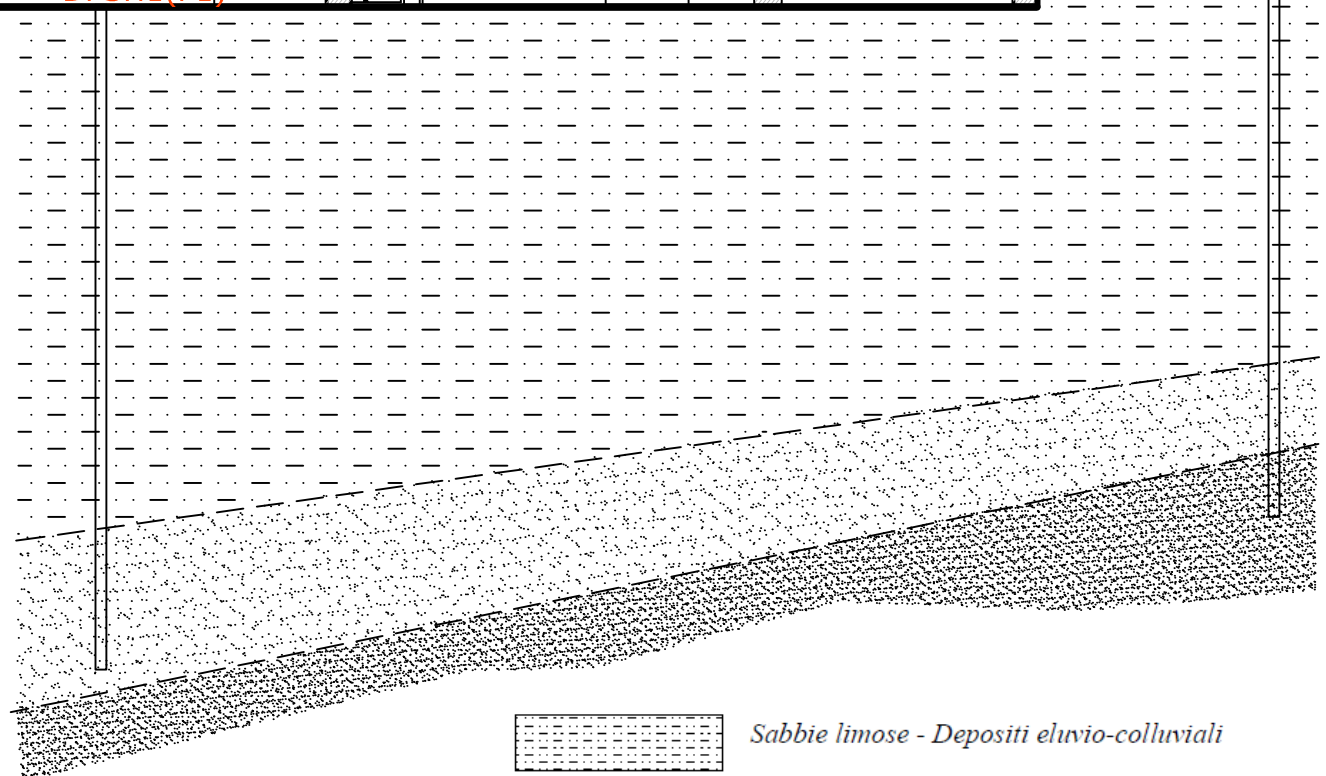
PLANIMETRIE UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE



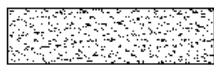
# Sezione Litostratigrafica schematica B-B'



Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2021 arrivo cat.10 1



*Sabbie limose - Depositi eluvio-colluviali*



*Sabbie addensate - Substrato alterato*



*Arenarie a cementazione variabile - Substrato*

PROVINCIA DI MACERATA  
COMUNE DI SARNANO  
Loc. San Cassiano

COMMITTENTE: Sig. Conti Adriano

PROVE PENETROMETRICHE DPSH

COORDINATE GPS PROVA P1:-----  
COORDINATE GPS PROVA P2:-----  
COORDINATE GPS PROVA P3:-----

**Geo-Sondaggi Sas** di MC & C

Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa, 25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) -  
[www.geo-sondaggi.com](http://www.geo-sondaggi.com) - cell. 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax. 0733/4431173

Data: 20 Aprile 2021

## Sommario

<i>PROVA PENETROMETRICA DPSH - CENNI TEORICI</i> .....	3
<i>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA</i> .....	6
<i>LETTURE</i> .....	8
<i>PROPOSTA DI INTERPRETAZIONE DEI DATI</i> .....	12
<i>INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA</i> .....	25

## Allegati

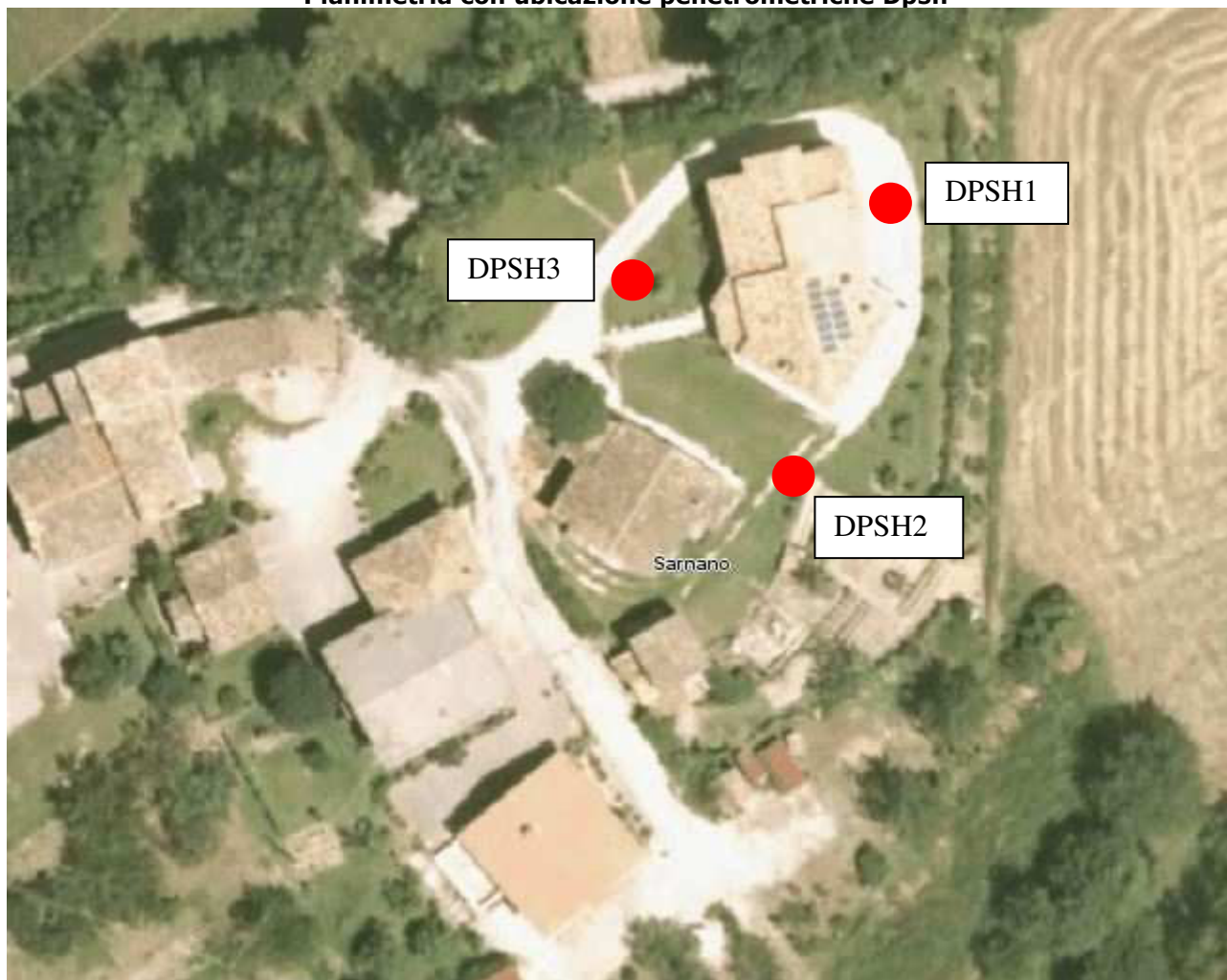
Elaborazione software con tutti gli autori prova penetrometrica P1

Elaborazione software con tutti gli autori prova penetrometrica P2

Elaborazione software con tutti gli autori prova penetrometrica P3



**Planimetria con ubicazione penetrometriche Dpsh**



**PROVA PENETROMETRICA DPSH - CENNI TEORICI**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica misurando il numero di colpi N necessari all'avanzamento per tratti consecutivi di lunghezza standard.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consentono di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo,

che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una parametrizzazione per la caratterizzazione stratigrafica.

Tale parametrizzazione, ricavata da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattata con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche del presente rapporto, è stato utilizzato un penetrometro "PAGANI" TG 63- 200 kN, con le seguenti caratteristiche:

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75m
Peso sistema di battuta	0,63Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura punta	90°
Lunghezza delle aste	1m
Peso aste a metro	6,31Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40m
Avanzamento punta	0,20m
Numero colpi per punta	N <sub>(20)</sub>
Coeff. Correlazione	1,472
Rivestimento/fanghi	No

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>.

Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M peso massa battente.
- M' peso aste.
- H altezza di caduta.
- A area base punta conica.
- d passo di avanzamento.

*Formula Olandesi*

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- R<sub>pd</sub> resistenza dinamica punta (area A).
- e infissione media per colpo (d/N).
- M peso massa battente (altezza caduta H).
- P peso totale aste e sistema battuta

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di

laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta. Le valutazioni statistiche e le correzioni possono essere così distinte:

- **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato il valore della media aritmetica dello strato).

- **Pressione ammissibile**

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione  $d = 1$  m.

La restituzione dei dati di campagna, contempla una prima tabella con indicati la profondità, il numero dei colpi per l'avanzamento caratteristico di 20 cm, il coefficiente di riduzione caratteristico e le relative resistenze dinamiche. Alla tabella numerica segue una parametrizzazione indicativa determinata sulla base di una suddivisione in strati omogenei per numero di colpi sui quali vengono determinati i principali parametri geotecnici.





**Figura 1:** foto penetrometrica dpsh P1



**Figura 2:** foto penetrometrica dpsh P2



**Figura 3:** foto penetrometrica dpsh P3

*LETTURE campagna P1-P2-P3*

Letture penetrometrica P1

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	4	0.855	35.92	42.03	1.80	2.10
0.40	4	0.851	35.76	42.03	1.79	2.10
0.60	5	0.847	40.84	48.22	2.04	2.41
0.80	3	0.843	24.40	28.93	1.22	1.45
1.00	3	0.840	24.29	28.93	1.21	1.45
1.20	3	0.836	24.19	28.93	1.21	1.45
1.40	2	0.833	16.06	19.29	0.80	0.96
1.60	1	0.830	7.39	8.91	0.37	0.45
1.80	3	0.826	22.09	26.73	1.10	1.34
2.00	4	0.823	29.34	35.64	1.47	1.78
2.20	6	0.820	43.85	53.47	2.19	2.67
2.40	6	0.817	43.69	53.47	2.18	2.67
2.60	7	0.814	47.20	57.97	2.36	2.90
2.80	11	0.811	73.92	91.10	3.70	4.55
3.00	7	0.809	46.88	57.97	2.34	2.90
3.20	12	0.806	80.10	99.38	4.01	4.97
3.40	7	0.803	46.57	57.97	2.33	2.90
3.60	6	0.801	37.17	46.41	1.86	2.32
3.80	5	0.798	30.88	38.68	1.54	1.93
4.00	5	0.796	30.79	38.68	1.54	1.93

4.20	7	0.794	42.98	54.15	2.15	2.71
4.40	8	0.791	48.98	61.88	2.45	3.09
4.60	6	0.789	34.36	43.54	1.72	2.18
4.80	6	0.787	34.27	43.54	1.71	2.18
5.00	4	0.785	22.79	29.03	1.14	1.45
5.20	7	0.783	39.78	50.80	1.99	2.54
5.40	5	0.781	28.34	36.28	1.42	1.81
5.60	4	0.779	21.30	27.34	1.06	1.37
5.80	3	0.777	15.94	20.50	0.80	1.03
6.00	4	0.775	21.20	27.34	1.06	1.37
6.20	4	0.774	21.15	27.34	1.06	1.37
6.40	4	0.772	21.10	27.34	1.06	1.37
6.60	4	0.770	19.90	25.83	0.99	1.29
6.80	5	0.769	24.82	32.29	1.24	1.61
7.00	5	0.767	24.77	32.29	1.24	1.61
7.20	6	0.766	29.67	38.75	1.48	1.94
7.40	5	0.764	24.67	32.29	1.23	1.61
7.60	6	0.763	28.01	36.73	1.40	1.84
7.80	8	0.761	37.28	48.97	1.86	2.45
8.00	9	0.760	41.86	55.09	2.09	2.75
8.20	10	0.759	46.43	61.21	2.32	3.06
8.40	9	0.757	41.72	55.09	2.09	2.75
8.60	9	0.756	39.58	52.36	1.98	2.62
8.80	7	0.755	30.73	40.72	1.54	2.04
9.00	7	0.753	30.68	40.72	1.53	2.04
9.20	8	0.752	35.01	46.54	1.75	2.33
9.40	8	0.751	34.96	46.54	1.75	2.33
9.60	8	0.750	33.25	44.34	1.66	2.22
9.80	9	0.749	37.35	49.88	1.87	2.49
10.00	11	0.748	45.58	60.97	2.28	3.05
10.20	12	0.747	49.66	66.51	2.48	3.33
10.40	13	0.696	50.11	72.05	2.51	3.60
10.60	13	0.694	47.78	68.80	2.39	3.44
10.80	14	0.693	51.38	74.09	2.57	3.70
11.00	15	0.692	54.96	79.39	2.75	3.97
11.20	16	0.691	58.54	84.68	2.93	4.23
11.40	17	0.690	62.10	89.97	3.11	4.50
11.60	16	0.689	55.84	81.02	2.79	4.05
11.80	18	0.688	62.73	91.15	3.14	4.56
12.00	19	0.687	66.12	96.21	3.31	4.81
12.20	20	0.686	69.50	101.28	3.47	5.06
12.40	20	0.685	69.39	101.28	3.47	5.06
12.60	21	0.634	64.65	101.94	3.23	5.10
12.80	22	0.633	67.61	106.79	3.38	5.34
13.00	21	0.632	64.44	101.94	3.22	5.10
13.20	23	0.631	70.46	111.65	3.52	5.58

13.40	25	0.630	76.46	121.36	3.82	6.07
13.60	25	0.629	73.30	116.53	3.66	5.83
13.80	26	0.628	76.10	121.20	3.80	6.06

Letture penetrometrica P2

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	3	0.855	26.94	31.52	1.35	1.58
0.40	8	0.851	71.51	84.06	3.58	4.20
0.60	5	0.847	40.84	48.22	2.04	2.41
0.80	13	0.793	99.46	125.36	4.97	6.27
1.00	40	0.640	246.78	385.74	12.34	19.29
1.20	70	0.636	429.51	675.04	21.48	33.75

Letture penetrometrica P3

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	1	0.855	8.98	10.51	0.45	0.53
0.40	1	0.851	8.94	10.51	0.45	0.53
0.60	1	0.847	8.17	9.64	0.41	0.48
0.80	1	0.843	8.13	9.64	0.41	0.48
1.00	2	0.840	16.20	19.29	0.81	0.96
1.20	2	0.836	16.13	19.29	0.81	0.96
1.40	1	0.833	8.03	9.64	0.40	0.48
1.60	1	0.830	7.39	8.91	0.37	0.45
1.80	1	0.826	7.36	8.91	0.37	0.45
2.00	2	0.823	14.67	17.82	0.73	0.89
2.20	3	0.820	21.92	26.73	1.10	1.34
2.40	4	0.817	29.13	35.64	1.46	1.78
2.60	4	0.814	26.97	33.13	1.35	1.66
2.80	5	0.811	33.60	41.41	1.68	2.07
3.00	5	0.809	33.49	41.41	1.67	2.07
3.20	5	0.806	33.38	41.41	1.67	2.07
3.40	6	0.803	39.92	49.69	2.00	2.48
3.60	6	0.801	37.17	46.41	1.86	2.32
3.80	10	0.798	61.76	77.36	3.09	3.87
4.00	7	0.796	43.10	54.15	2.16	2.71



4.20	9	0.794	55.26	69.62	2.76	3.48
4.40	10	0.791	61.22	77.36	3.06	3.87
4.60	9	0.789	51.55	65.31	2.58	3.27
4.80	7	0.787	39.98	50.80	2.00	2.54
5.00	5	0.785	28.48	36.28	1.42	1.81
5.20	5	0.783	28.41	36.28	1.42	1.81
5.40	6	0.781	34.01	43.54	1.70	2.18
5.60	4	0.779	21.30	27.34	1.06	1.37
5.80	3	0.777	15.94	20.50	0.80	1.03
6.00	5	0.775	26.50	34.17	1.32	1.71
6.20	5	0.774	26.44	34.17	1.32	1.71
6.40	5	0.772	26.38	34.17	1.32	1.71
6.60	7	0.770	34.82	45.20	1.74	2.26
6.80	7	0.769	34.75	45.20	1.74	2.26
7.00	9	0.767	44.59	58.12	2.23	2.91
7.20	9	0.766	44.50	58.12	2.22	2.91
7.40	9	0.764	44.41	58.12	2.22	2.91
7.60	9	0.763	42.02	55.09	2.10	2.75
7.80	9	0.761	41.94	55.09	2.10	2.75
8.00	10	0.760	46.51	61.21	2.33	3.06
8.20	11	0.759	51.07	67.33	2.55	3.37
8.40	12	0.757	55.62	73.45	2.78	3.67
8.60	13	0.706	53.39	75.62	2.67	3.78
8.80	14	0.705	57.39	81.44	2.87	4.07
9.00	15	0.703	61.39	87.26	3.07	4.36
9.20	15	0.702	61.28	87.26	3.06	4.36
9.40	16	0.701	65.26	93.08	3.26	4.65
9.60	21	0.650	75.65	116.39	3.78	5.82
9.80	20	0.699	77.46	110.85	3.87	5.54
10.00	21	0.648	75.39	116.39	3.77	5.82
10.20	24	0.647	86.01	133.02	4.30	6.65
10.40	23	0.646	82.29	127.48	4.11	6.37
10.60	23	0.644	78.44	121.72	3.92	6.09
10.80	24	0.643	81.72	127.02	4.09	6.35
11.00	26	0.642	88.39	137.60	4.42	6.88
11.20	25	0.641	84.85	132.31	4.24	6.62
11.40	25	0.640	84.71	132.31	4.24	6.62
11.60	27	0.639	87.40	136.72	4.37	6.84
11.80	27	0.638	87.26	136.72	4.36	6.84
12.00	26	0.637	83.90	131.66	4.19	6.58
12.20	27	0.636	86.98	136.72	4.35	6.84
12.40	28	0.635	90.06	141.79	4.50	7.09

**PROPOSTA DI INTERPRETAZIONE DEI DATI**

I risultati di seguito proposti sono da considerarsi una stima e dovranno essere validati e stimati da parte del tecnico geologo incaricato sulla base delle sue specifiche conoscenze tecniche (geologiche e stratigrafiche)

**Stima parametri geotecnici prova penetrometrica DPSH1**

**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	Sanglerat	0.4-0.55
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	Sanglerat	0.8-1.0
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	Sanglerat	0.5-0.7
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	Sanglerat	0.9-1.1
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	Sanglerat	>2.0

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	Robertson (1983)	9.18
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	Robertson (1983)	18.88
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	Robertson (1983)	11.26
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	Robertson (1983)	21.88
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	Robertson (1983)	53.94

**Modulo Edometrico**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	Stroud e Butler (1975)	25-42
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	Stroud e Butler (1975)	45-70
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	Stroud e Butler (1975)	28-38
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	Buisman-Sanglerat	70-100
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	Buisman-Sanglerat	120-190

**Classificazione AGI**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

**Peso unita' di volume**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	Meyerhof	1.74
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	Meyerhof	1.95
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	Meyerhof	1.79
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	Meyerhof	1.99
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	Meyerhof	2.13

**Peso unita' di volume saturo**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	Meyerhof	1.87	
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	Meyerhof	2.14	
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	Meyerhof	1.88	
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	Meyerhof	2.19	
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	Meyerhof	2.28	

**TERRENI INCOERENTI**
**Densita' relativa**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1)	4.59	0.00-1.60	4.59		

Argilla limoso sabbiosa					
Strato (2)	9.44	1.60-5.40	9.44		
Limo sabbioso					
Strato (3)	5.63	5.40-6.60	5.63		
Limo argilloso sabbioso					
Strato (4)	10.94	6.60-9.80	10.94	Meyerhof (1957)	35-55
Argilla sabbiosa					
Strato (5)	26.97	9.80-13.80	26.97	Meyerhof (1957)	50-70
Argilla sabbiosa					

#### Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	4.59	0.00-1.60	4.59	Shioi-Fukuni (1982)	21-23
Argilla limoso sabbiosa					
Strato (2)	9.44	1.60-5.40	9.44	Shioi-Fukuni (1982)	25-27
Limo sabbioso					
Strato (3)	5.63	5.40-6.60	5.63	Shioi-Fukuni (1982)	23-26
Limo argilloso sabbioso					
Strato (4)	10.94	6.60-9.80	10.94	Meyerhof (1956)	26-29
Argilla sabbiosa					
Strato (5)	26.97	9.80-13.80	26.97	Meyerhof (1956)	27-30
Argilla sabbiosa					

#### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1)	4.59	0.00-1.60	4.59	Schultze-Menzenbach Limo siltoso e sabbia limosa	40-70
Argilla limoso sabbiosa					
Strato (2)	9.44	1.60-5.40	9.44	Schultze-Menzenbach Limo siltoso e sabbia limosa	50-75
Limo sabbioso					
Strato (3)	5.63	5.40-6.60	5.63	Schultze-Menzenbach Limo siltoso e sabbia limosa	50-75
Limo argilloso sabbioso					
Strato (4)	10.94	6.60-9.80	10.94	Schultze-Menzenbach Limo siltoso e sabbia limosa	60-100
Argilla sabbiosa					
Strato (5)	26.97	9.80-13.80	26.97	Schultze-Menzenbach Limo siltoso e sabbia limosa	140-180
Argilla sabbiosa					



Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	4.59	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	9.44	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	5.63	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	10.94	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	26.97	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	4.59	Terzaghi-Peck 1948	1.41
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	9.44	Terzaghi-Peck 1948	1.47
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	5.63	Terzaghi-Peck 1948	1.42
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	10.94	Terzaghi-Peck 1948	1.49
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	26.97	Terzaghi-Peck 1948	1.67

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	4.59	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.88
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	9.44	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	5.63	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.88
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	10.94	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	26.97	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.04

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Argilla limoso	4.59	0.00-1.60	4.59		0.42-0.44

sabbiosa					
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	9.44		0.42-0.44
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	5.63		0.42-0.44
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	10.94		0.41-0.43
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	26.97		0.41-0.43

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	4.59	Robertson e Campanella (1983)	317.16
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	9.44	Robertson e Campanella (1983)	492.74
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	5.63	Robertson e Campanella (1983)	359.31
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	10.94	Robertson e Campanella (1983)	539.2
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	26.97	Robertson e Campanella (1983)	935.79

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	4.59	Navfac 1971-1982	0.89
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	9.44	Navfac 1971-1982	1.98
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	5.63	Navfac 1971-1982	1.13
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	10.94	Navfac 1971-1982	2.30
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	26.97	Navfac 1971-1982	5.18

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60	4.59	Robertson 1983	9.18
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40	9.44	Robertson 1983	18.88
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60	5.63	Robertson 1983	11.26

Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80	10.94	Robertson 1983	21.88
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80	26.97	Robertson 1983	53.94

Velocita' onde di taglio Vs30 (352)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	4.59	0.00-1.60		120
Strato (2) Limo sabbioso	9.44	1.60-5.40		210
Strato (3) Limo argilloso sabbioso	5.63	5.40-6.60		220
Strato (4) Argilla sabbiosa	10.94	6.60-9.80		400
Strato (5) Argilla sabbiosa	26.97	9.80-13.80		500

## Stima parametri geotecnici prova penetrometrica DPSH2

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.00-0.80	Sanglerat	0.8-1.0

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.00-0.80	Robertson (1983)	21.32

#### Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.00-0.80	Stroud e Butler (1975)	40-75

#### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.00-0.80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

#### Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.00-0.80	Meyerhof	1.99

#### Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.00-0.80	Meyerhof	2.19

### TERRENI INCOERENTI

#### Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	Meyerhof (1957)	90-110

#### Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
-------------	------	------------------	------------	--------------	----------------------

Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	Meyerhof (1965)	29-32
-----------------------------------	-------	-----------	-------	-----------------	-------

#### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	Bowles (1982) Sabbia Media	250-380

#### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	Classificazione A.G.I.	MOLTO ADDENSATO

#### Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	Terzaghi-Peck 1948	1.96

#### Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	Terzaghi-Peck 1948	2.22

#### Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	(A.G.I.)	0.4-0.42

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	Robertson e Campanella (1983)	1830.22

#### Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	Navfac 1971-1982	11.93

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Sabbia (Substrato?)	80.85	0.80-1.20	80.85	Robertson 1983	161.70



**Stima parametri geotecnici prova penetrometrica DPSH3**

**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	Sanglerat	0.16-0.2
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	Sanglerat	0.8-1.0
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	Sanglerat	0.65-0.8
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	Terzaghi-Peck	1.1-1.3
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	Terzaghi-Peck	>2.0

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	Robertson (1983)	3.58
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	Robertson (1983)	18.02
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	Robertson (1983)	13.96
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	Robertson (1983)	32.34
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	Robertson (1983)	71.94

**Modulo Edometrico**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	Stroud e Butler (1975)	10-20
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	Stroud e Butler (1975)	40-70
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	Stroud e Butler (1975)	35-60
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	Buisman-Sanglerat	100-150
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	Buisman-Sanglerat	200-300

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	Meyerhof	1.55
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	Meyerhof	1.94
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	Meyerhof	1.86
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	Meyerhof	2.08
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	Meyerhof	2.32

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	Meyerhof	1.85
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	Meyerhof	2.13
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	Meyerhof	1.90
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	Meyerhof	2.29
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	Meyerhof	2.35

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)

Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17	Meyerhof (1957)	40-70
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97	Meyerhof (1957)	60-90

#### Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	1.79	Shioi-Fukuni (1982)	19-21
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	9.01	Shioi-Fukuni (1982)	25-27
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	6.98	Shioi-Fukuni (1982)	24-26
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17	Malcev (1964)	27-29
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97	Malcev (1964)	28-31

#### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	1.79	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	9.01	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	6.98	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17	Schultze-Menzenbach Limo siltoso e sabbia limosa	90-1209
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97	Schultze-Menzenbach Limo siltoso e sabbia limosa	170-270

#### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	1.79	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	9.01	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	6.98	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17	Classificazione A.G.I	MODERATAMEN TE ADDENSATO
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	1.79	Terzaghi-Peck 1948	1.37
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	9.01	Terzaghi-Peck 1948	1.46
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	6.98	Terzaghi-Peck 1948	1.44
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17	Terzaghi-Peck 1948	1.55
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97	Terzaghi-Peck 1948	1.75

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	1.79	Terzaghi-Peck 1948	1.85
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	9.01	Terzaghi-Peck 1948	1.91
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	6.98	Terzaghi-Peck 1948	1.90
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17	Terzaghi-Peck 1948	1.97
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97	Terzaghi-Peck 1948	2.09

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	1.79		0.42-0.44
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	9.01		0.42-0.44
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	6.98		0.42-0.44
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17		0.4-0.42
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97		0.4-0.42



Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	1.79	Robertson e Campanella (1983)	178.4
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	9.01	Robertson e Campanella (1983)	478.9
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	6.98	Robertson e Campanella (1983)	409.74
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17	Robertson e Campanella (1983)	684.59
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97	Robertson e Campanella (1983)	1115.81

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	1.79	Navfac 1971-1982	0.22
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	9.01	Navfac 1971-1982	1.89
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	6.98	Navfac 1971-1982	1.44
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17	Navfac 1971-1982	3.35
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97	Navfac 1971-1982	6.39

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Argilla limosa	1.79	0.00-1.80	1.79	Robertson 1983	3.58
Strato (2) Limo Argilloso sabbioso	9.01	1.80-4.80	9.01	Robertson 1983	18.02
Strato (3) Argilla-limoso sabbioso	6.98	4.80-6.40	6.98	Robertson 1983	13.96
Strato (4) Argilla sabbiosa	16.17	6.40-9.40	16.17	Robertson 1983	32.34
Strato (5) Argilla sabbiosa	35.97	9.40-12.40	35.97	Robertson 1983	71.94

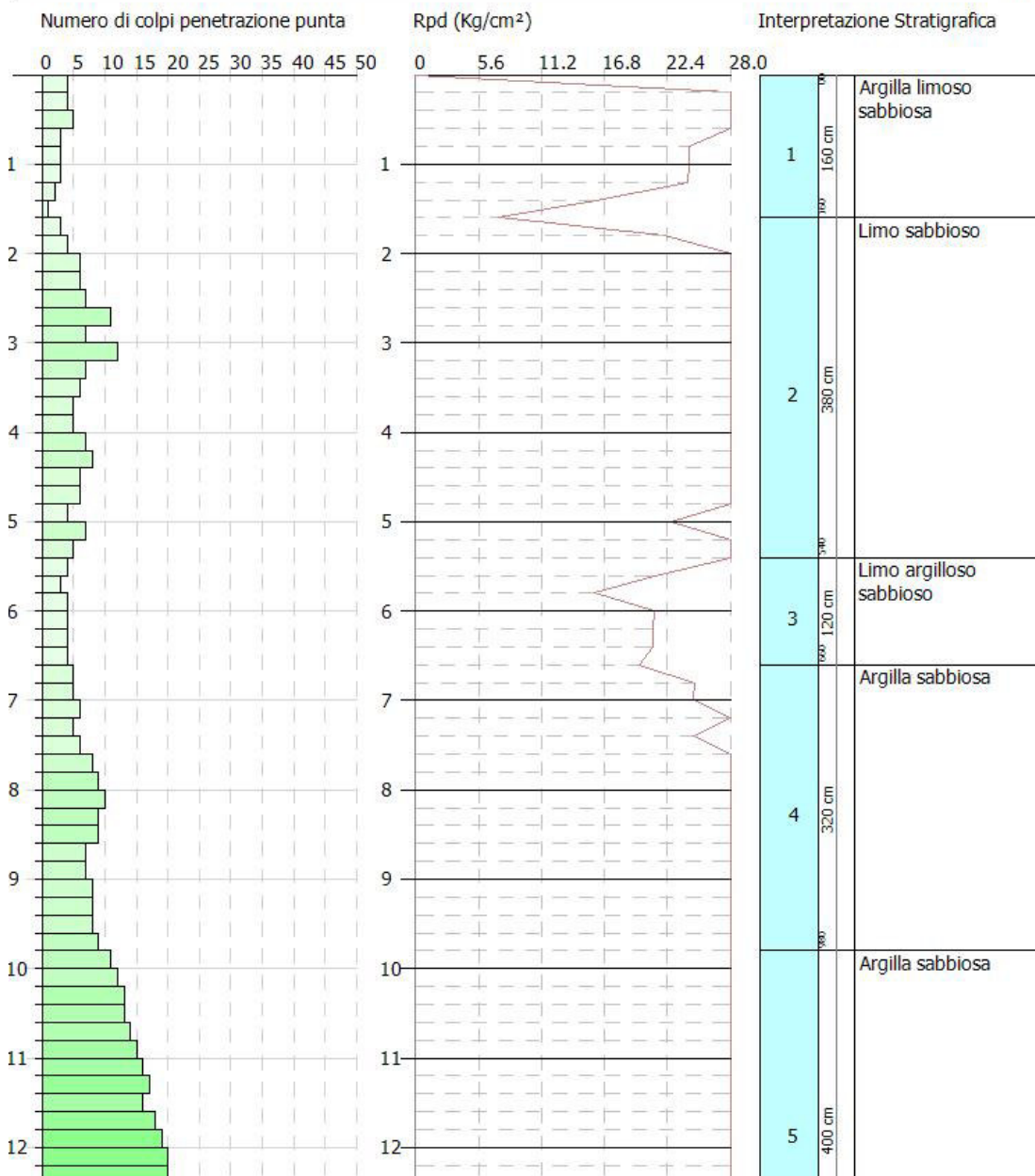
**Interpretazione stratigrafica penetrometrica DPSH1**

Geo-sondaggi SAS  
Via Campiglia 25 - Monte San Giusto  
Cell. 3202055106  
.....

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Conti Adriano  
Descrizione: Dpsh  
Localita': San Liberato - Sarnano (MC)

Scala 1:66



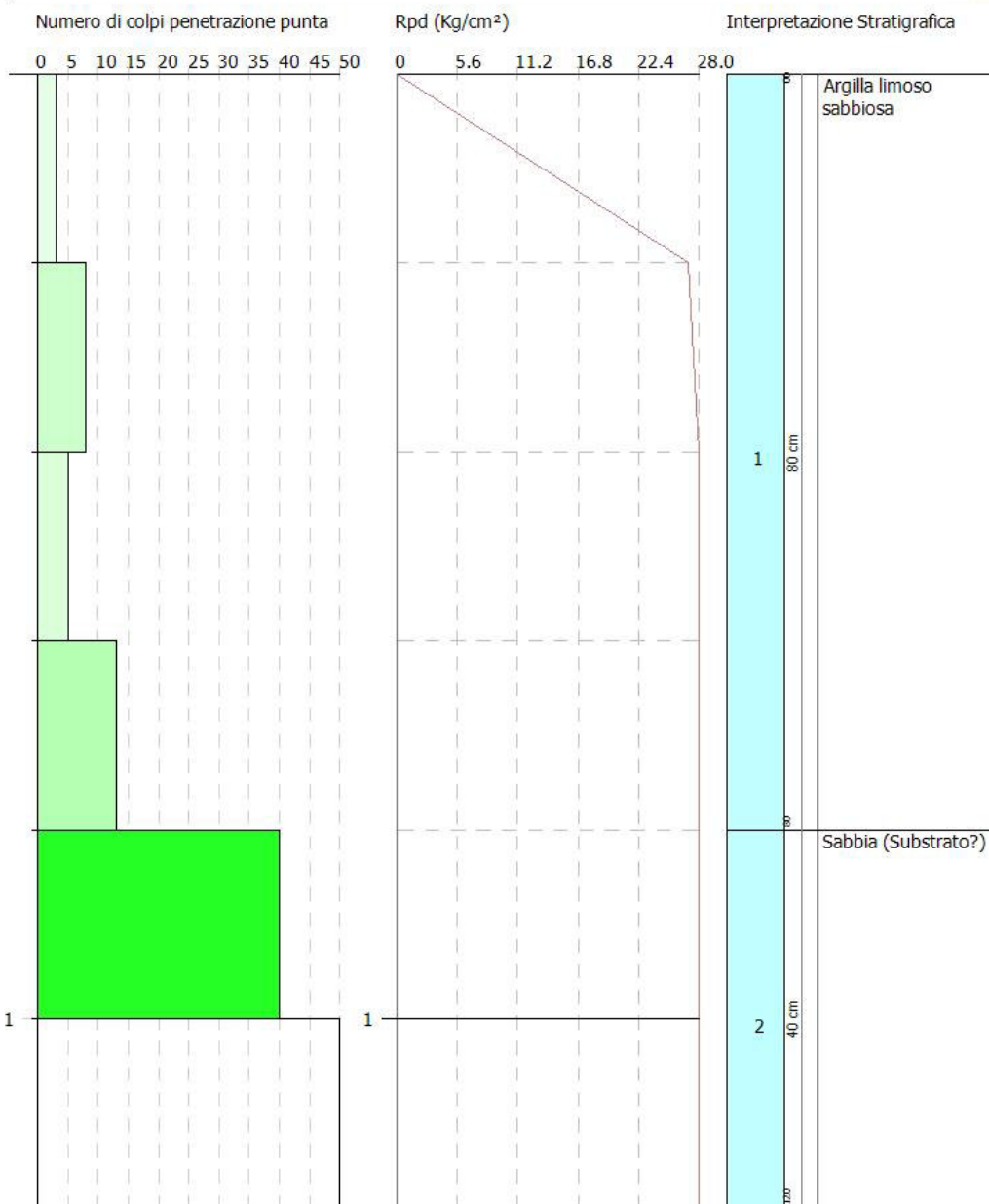
Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1

Geo-sondaggi SAS  
 Via Campiglia 25 - Monte San Giusto  
 Cell. 3202055106  
 .....

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Conti Adriano  
 Descrizione: Dpsh  
 Localita': San Liberato - Sarnano (MC)

Scala 1:6

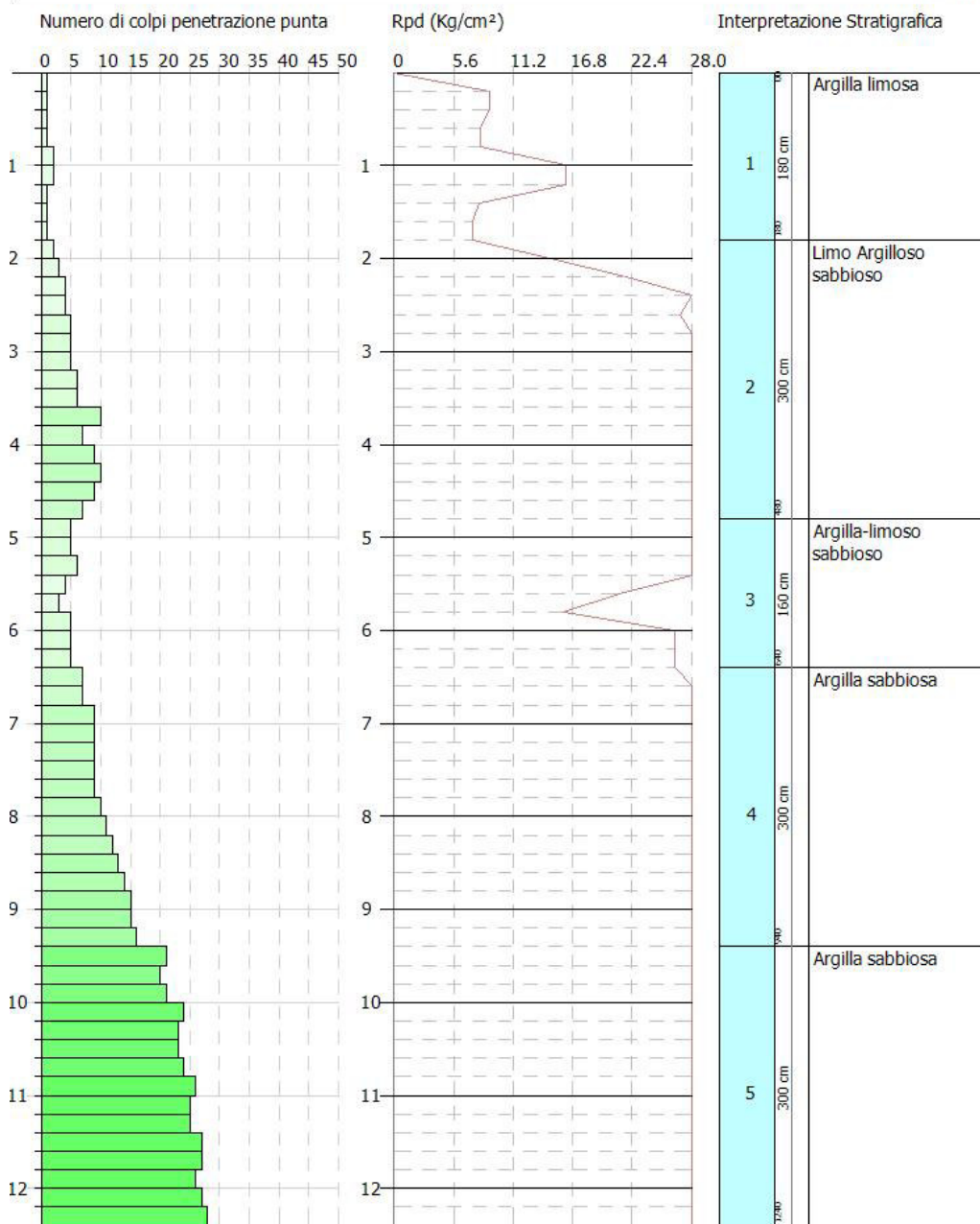


Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3  
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Conti Adriano  
 Descrizione: Dpsh  
 Localita': San Liberato - Sarnano (MC)

Scala 1:60



Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1



ALLEGATI (Tutti gli Autori)

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1**

**TERRENI COESIVI**

**Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D. M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	0.29	0.57	0.00	0.19	0.45	0.93	0.42	0.78	0.23	0.62	0.57
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	0.64	1.18	0.00	0.38	0.93	1.54	0.84	1.15	0.47	0.93	1.18
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	0.35	0.70	0.00	0.23	0.55	0.78	0.51	0.85	0.28	0.16	0.70
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	0.74	1.37	0.00	0.44	1.08	1.34	0.97	1.28	0.55	0.56	1.37
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	1.82	3.37	0.00	1.02	2.68	2.77	2.22	2.77	1.35	2.72	3.37

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	Robertson (1983)	9.18
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	Robertson (1983)	18.88
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	Robertson (1983)	11.26
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	Robertson (1983)	21.88
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	Robertson (1983)	53.94

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	21.06	68.85	48.61	57.38
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	43.31	--	98.07	118.00

[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	25.83	84.45	59.22	70.38
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	50.19	--	113.37	109.40
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	123.74	--	276.87	269.70

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	32.39	45.90
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	88.16	94.40
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	44.35	56.30
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	105.41	109.40
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	289.76	269.70

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

#### Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	Meyerhof	1.74
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	Meyerhof	1.95
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	Meyerhof	1.79
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	Meyerhof	1.99
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	Meyerhof	2.13

#### Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	Meyerhof	1.87
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	Meyerhof	2.14
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	Meyerhof	1.88
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	Meyerhof	2.19
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	Meyerhof	2.28

#### Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato	Correlazione	Velocita' onde di taglio
--	------	--------------	--------------	--------------------------

		(m)		(m/s)
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60		0
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40		0
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60		0
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80		0
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80		0

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	22.53	49.11	59.44	19.73
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	28.01	55.55	56.06	31.74
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	13.52	36.87	37.89	22.49
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	21.32	46.28	47.86	35.03
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	33.03	63	66.49	60.27

##### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owaski & Iwasaki
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	28.31	21.31	29.29	31.75	31.5	0	<30	23.3	28.38	24.25	24.58
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	29.7	22.7	30.64	29.58	33.46	0	<30	26.9	29.83	25.05	28.74
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	28.61	21.61	29.58	27.54	31.93	0	<30	24.19	28.69	21.27	25.61
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	30.13	23.13	31.06	27.92	34.02	34.48	<30	27.81	30.28	22.17	29.79

sa														
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97	34.71	27.71	35.55	28.53	38.97	36.82	32-35	35.11	35.09	22.76	38.22

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertman (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolloni ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	---	36.72	---	---	---
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	---	75.52	112.09	---	---
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	---	45.04	---	---	---
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	236.09	87.52	129.79	262.05	129.70
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97	370.69	215.76	318.95	382.27	209.85

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	---	36.89	32.59	58.47
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	---	46.85	67.02	80.10
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	---	39.03	39.97	63.11
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	65.64	49.94	77.67	86.79
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97	161.82	82.86	191.49	158.29

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	Terzaghi-Peck 1948	1.41
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	Terzaghi-Peck 1948	1.47
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	Terzaghi-Peck 1948	1.42
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	Terzaghi-Peck 1948	1.49
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97	Terzaghi-Peck 1948	1.67

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	Terzaghi-Peck 1948	1.92
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	Terzaghi-Peck 1948	1.93
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97	Terzaghi-Peck 1948	2.04

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	(A.G.I.)	0.34
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	(A.G.I.)	0.34
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	(A.G.I.)	0.34
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	(A.G.I.)	0.33
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97	(A.G.I.)	0.3

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	272.28	317.16
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	536.27	492.74
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	329.91	359.31
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	616.01	539.20
[5] - Argilla	26.97	13.80	26.97	1438.60	935.79



sabbiosa					
----------	--	--	--	--	--

#### Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	Ohta & Goto (1978) Limi	85.29
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	Ohta & Goto (1978) Limi	128.47
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	Ohta & Goto (1978) Limi	130.36
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	Ohta & Goto (1978) Limi	155.32
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97	Ohta & Goto (1978) Limi	194.78

#### Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63	Seed e Idriss (1971)	--
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94	Seed e Idriss (1971)	--
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97	Seed e Idriss (1971)	--

#### Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59		---
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44		---
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63		---
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94		---
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97		---

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Argilla limoso sabbiosa	4.59	1.60	4.59		---
[2] - Limo sabbioso	9.44	5.40	9.44		---
[3] - Limo argilloso sabbioso	5.63	6.60	5.63		---
[4] - Argilla sabbiosa	10.94	9.80	10.94		---
[5] - Argilla sabbiosa	26.97	13.80	26.97		---

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2**
**TERRENI COESIVI**
**Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D. M.S.M	Schmertmann 1975	SUND A (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.80	0.72	1.33	0.00	0.43	1.05	2.17	0.94	1.25	0.53	1.79	1.33

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.80	Robertson (1983)	21.32

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.80	48.91	--	110.52	106.60

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.80	102.19	106.60

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

**Peso unita' di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.80	Meyerhof	1.99

**Peso unita' di volume saturo**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.80	Meyerhof	2.19

**Velocita' onde di taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Argilla limoso sabbiosa	10.66	0.80		0

**TERRENI INCOERENTI**
**Densita' relativa**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	93.61	100	100	100

**Angolo di resistenza al taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japane se National Railway	De Mello	Owasa ki & Iwasaki
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	50.1	43.1	50.64	35.51	40.51	42	>38	49.82	51.26	34.86	55.21

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolloni ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	641.82	646.80	954.73	786.38	479.25

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	485.10	193.53	574.03	398.59

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

**Peso unita' di volume**

	NSPT	Prof. Strato	Nspt corretto per	Correlazione	Peso Unità' di
--	------	--------------	-------------------	--------------	----------------

35

# Geo-Sondaggi Sas

di MC &amp; C

 Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa,25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) - [www.geo-sondaggi.com](http://www.geo-sondaggi.com) - cell.3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

		(m)	presenza falda		Volume (t/m <sup>3</sup> )
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	Terzaghi-Peck 1948	1.96

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	Terzaghi-Peck 1948	2.22

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	(A.G.I.)	0.19

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	4037.69	1830.22

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	Ohta & Goto (1978) Limi	146.27

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85		---

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[2] - Sabbia (Substrato?)	80.85	1.20	80.85		---

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3**

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D. M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	0.11	0.22	0.00	0.07	0.17	0.36	0.16	0.57	0.09	0.12	0.22
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	0.61	1.13	0.00	0.36	0.88	1.46	0.80	1.12	0.45	0.94	1.13
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	0.44	0.87	0.00	0.28	0.68	1.00	0.63	0.96	0.35	0.40	0.87
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	1.09	2.02	0.00	0.63	1.60	2.00	1.39	1.73	0.81	1.49	2.02
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	2.43	4.50	0.00	1.32	3.58	3.88	2.84	3.75	1.80	4.37	4.50

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	Robertson (1983)	3.58
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	Robertson (1983)	18.02
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	Robertson (1983)	13.96
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	Robertson (1983)	32.34
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	Robertson (1983)	71.94

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	8.21	26.85	20.05	22.38
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	41.34	--	93.69	112.63
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	32.02	--	72.98	87.25
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	74.19	--	166.72	161.70
[5] - Argilla	35.97	12.40	165.03	--	368.66	359.70



sabbiosa					
----------	--	--	--	--	--

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	0.19	17.90
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	83.22	90.10
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	59.87	69.80
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	165.56	161.70
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	393.26	359.70

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

#### Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	Meyerhof	1.55
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	Meyerhof	1.94
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	Meyerhof	1.86
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	Meyerhof	2.08
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	Meyerhof	2.32

#### Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	Meyerhof	1.85
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	Meyerhof	2.13
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	Meyerhof	1.90
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	Meyerhof	2.29
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	Meyerhof	2.50

#### Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80		0
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80		0

[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40		0
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40		0
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40		0

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	6.96	30.66	37.88	11.76
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	28.2	55.93	56.72	30.76
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	18.24	42.43	43.22	25.92
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	29.43	57.32	58.52	45.09
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	40.5	74.86	77.82	69.04

##### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornbourn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owaski & Iwasaki
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	27.51	20.51	28.5	30.22	30.28	0	<30	20.18	27.54	20.68	20.98
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	29.57	22.57	30.52	29.78	33.29	0	<30	26.63	29.7	25.17	28.42
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	28.99	21.99	29.95	28.13	32.49	0	<30	25.23	29.09	22.53	26.82
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	31.62	24.62	32.53	28.67	35.86	36.02	30-32	30.57	31.85	23.96	32.98
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	37.28	30.28	38.07	29.16	40.84	38.48	32-35	38.23	37.79	24.49	41.82

sa																			
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertman n (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolloni a ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	---	14.32	---	---	---
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	---	72.08	107.02	---	---
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	---	55.84	---	---	---
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	287.03	129.36	191.51	301.27	155.85
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	428.10	287.76	425.15	449.78	254.85

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	---	31.14	12.71	45.98
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	---	45.97	63.97	78.18
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	---	41.80	49.56	69.13
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	97.02	60.68	114.81	110.12
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	215.82	101.35	255.39	198.43

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

**Peso unita' di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )

40

# Geo-Sondaggi Sas

di MC &amp; C

Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa,25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) -  
 www.geo-sondaggi.com - cell.3293126576 - 3292955106 -Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	Terzaghi-Peck 1948	1.37
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	Terzaghi-Peck 1948	1.46
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	Terzaghi-Peck 1948	1.44
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	Terzaghi-Peck 1948	1.55
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	Terzaghi-Peck 1948	1.75

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	Terzaghi-Peck 1948	1.85
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	Terzaghi-Peck 1948	1.91
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	Terzaghi-Peck 1948	1.90
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	Terzaghi-Peck 1948	1.97
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	Terzaghi-Peck 1948	2.09

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	(A.G.I.)	0.35
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	(A.G.I.)	0.34
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	(A.G.I.)	0.34
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	(A.G.I.)	0.32
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	(A.G.I.)	0.28

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	112.36	178.40
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	513.28	478.90
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	403.77	409.74
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	889.41	684.59
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	1885.81	1115.81

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato	Nspt corretto per	Correlazione	Velocita' onde di
--	------	--------------	-------------------	--------------	-------------------

		(m)	presenza falda		taglio (m/s)
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	Ohta & Goto (1978) Limi	74.14
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	Ohta & Goto (1978) Limi	126
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	Ohta & Goto (1978) Limi	133.51
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	Ohta & Goto (1978) Limi	164.99
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	Ohta & Goto (1978) Limi	201.61

#### Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98	Seed e Idriss (1971)	--
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17	Seed e Idriss (1971)	--
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97	Seed e Idriss (1971)	--

#### Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79		---
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01		---
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98		---
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17		---
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97		---

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Argilla limosa	1.79	1.80	1.79		---
[2] - Limo Argilloso sabbioso	9.01	4.80	9.01		---
[3] - Argilla-limoso sabbioso	6.98	6.40	6.98		---
[4] - Argilla sabbiosa	16.17	9.40	16.17		---
[5] - Argilla sabbiosa	35.97	12.40	35.97		---

Monte San Giusto, Aprile 2021

Dott. Geol. *Geo Sondaggi s.r.l.*

**Geo Sondaggi s.r.l.**  
di C.M. & C.  
Indagini Geognostiche e Prospezioni Sismiche  
Sede: Via Campiglia, 25  
62015 MONTE SAN GIUSTO (MC)

**Geo-Sondaggi Sas** di MC s.r.l.

Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa, 25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) - [www.geo-sondaggi.com](http://www.geo-sondaggi.com) - cell. 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax. 0733/4431173



**DOTT. PAOLO TIBERI**  
geologo

STUDIO DI  
GEOLOGIA APPLICATA  
GEOLOGIA TECNICA  
GEOLOGIA AMBIENTALE  
IDROGEOLOGIA

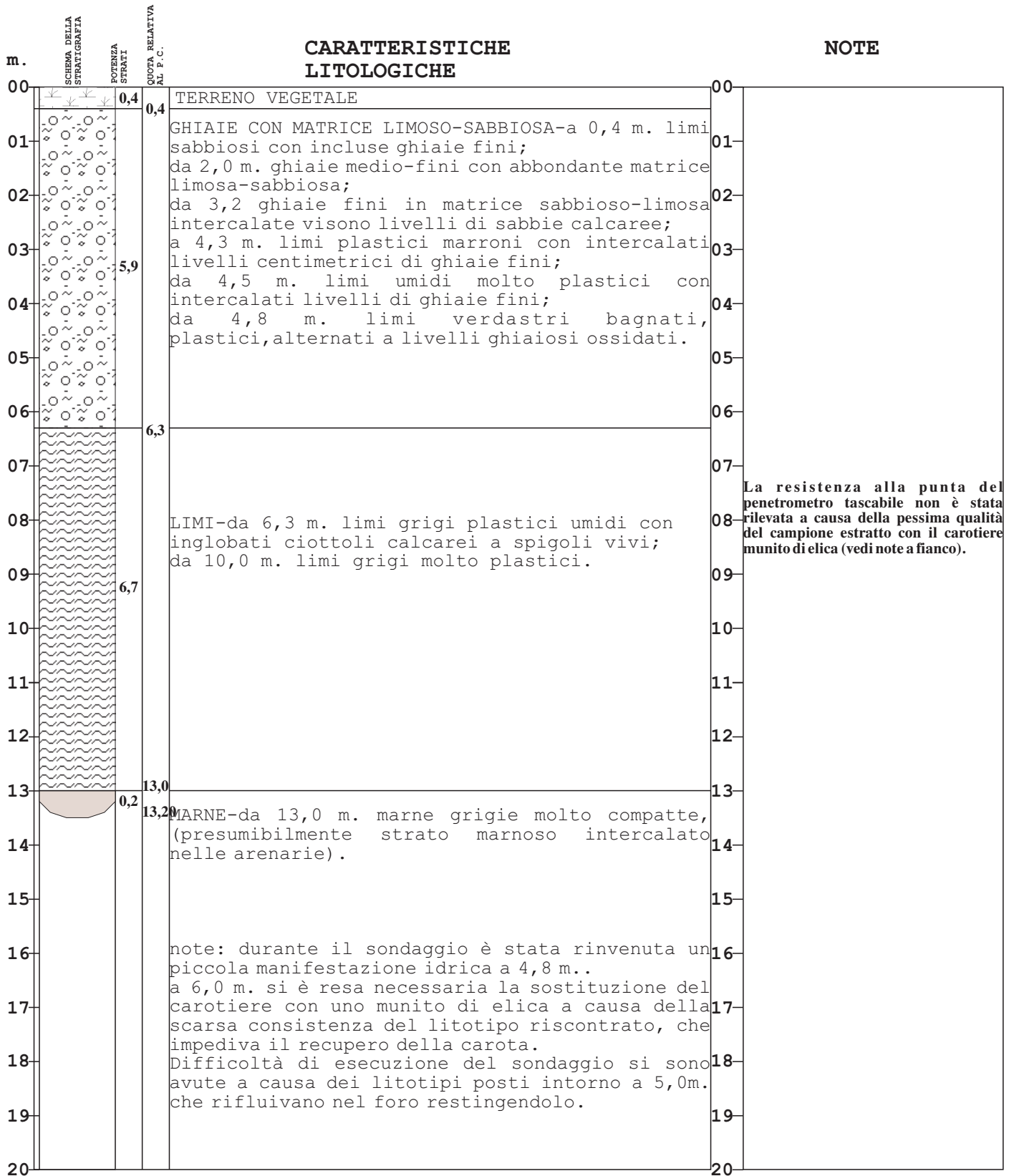
V.le Rimembranza, 43  
62028 SARNANO  
Tel. 0733/658063  
P.I 01182000438

**COMMITTENTE: Sig.ri Conti A. Venanzi A.**

**SONDAGGIO N° .2**

**LOCALITA': San Casciano Comune di Sarnano**

**data: 10/02/95**



**DOTT. PAOLO TIBERI**  
geologo

STUDIO DI  
GEOLOGIA APPLICATA  
GEOLOGIA TECNICA  
GEOLOGIA AMBIENTALE  
IDROGEOLOGIA

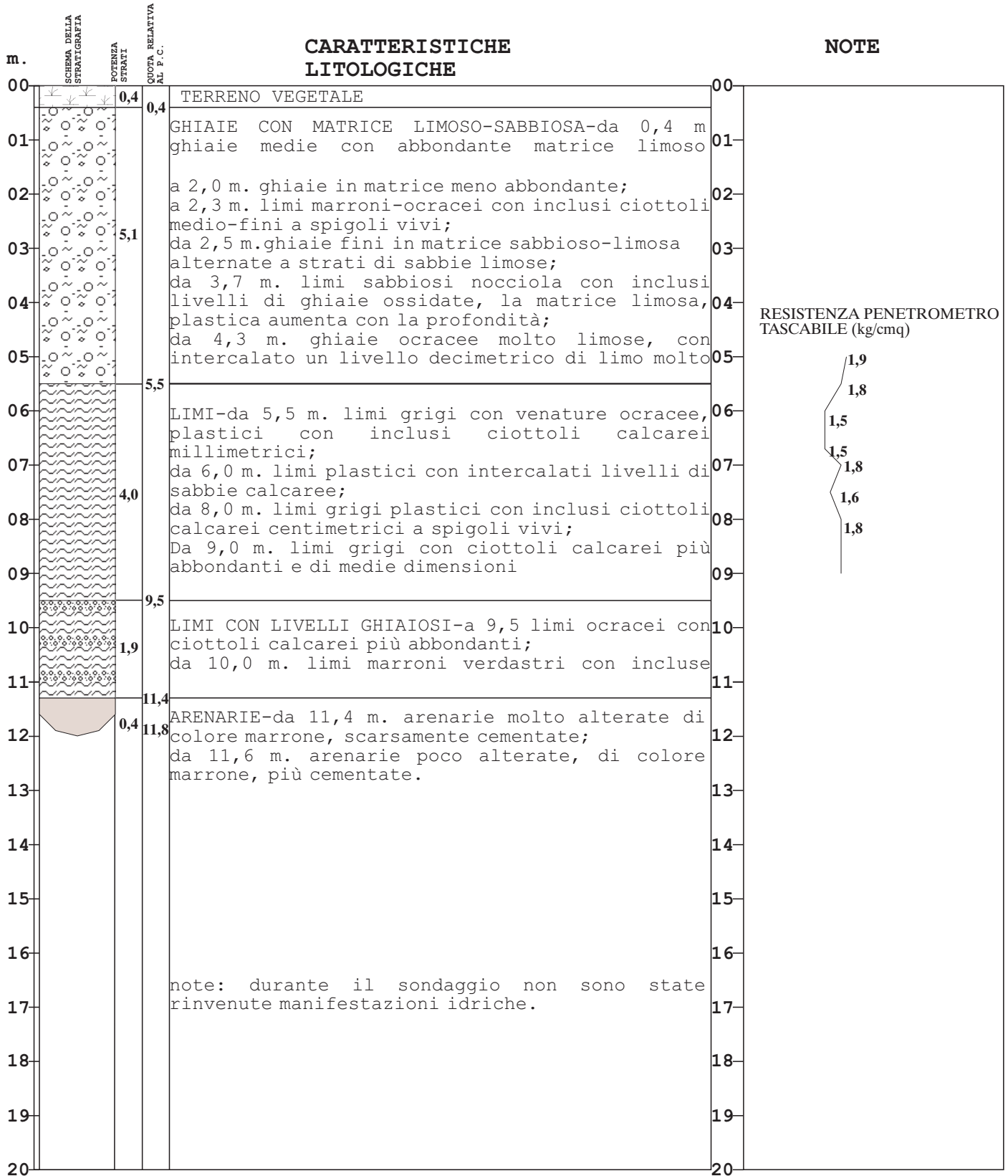
V.le Rimembranza, 43  
62028 SARNANO  
Tel. 0733/658063  
P.I 01182000438

COMMITTENTE: Sig.ri Conti A. Venanzi A.

SONDAGGIO N° .1

LOCALITA': San Casciano Comune di Sarnano

data: 10/02/95



Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1

**PROVINCIA DI MACERATA  
COMUNE DI SARNANO  
SAN CASSIANO (MC)**

**COMMITTENTE: Conti Adriano**

**INDAGINI GEOFISICHE CON METODOLOGIA HVSR 1 - 2 - 3 - 4**

**COORDINATE GPS1 hv1: .....**

**COORDINATE GPS hv 2: .....**

**COORDINATE GPS hv3: .....**

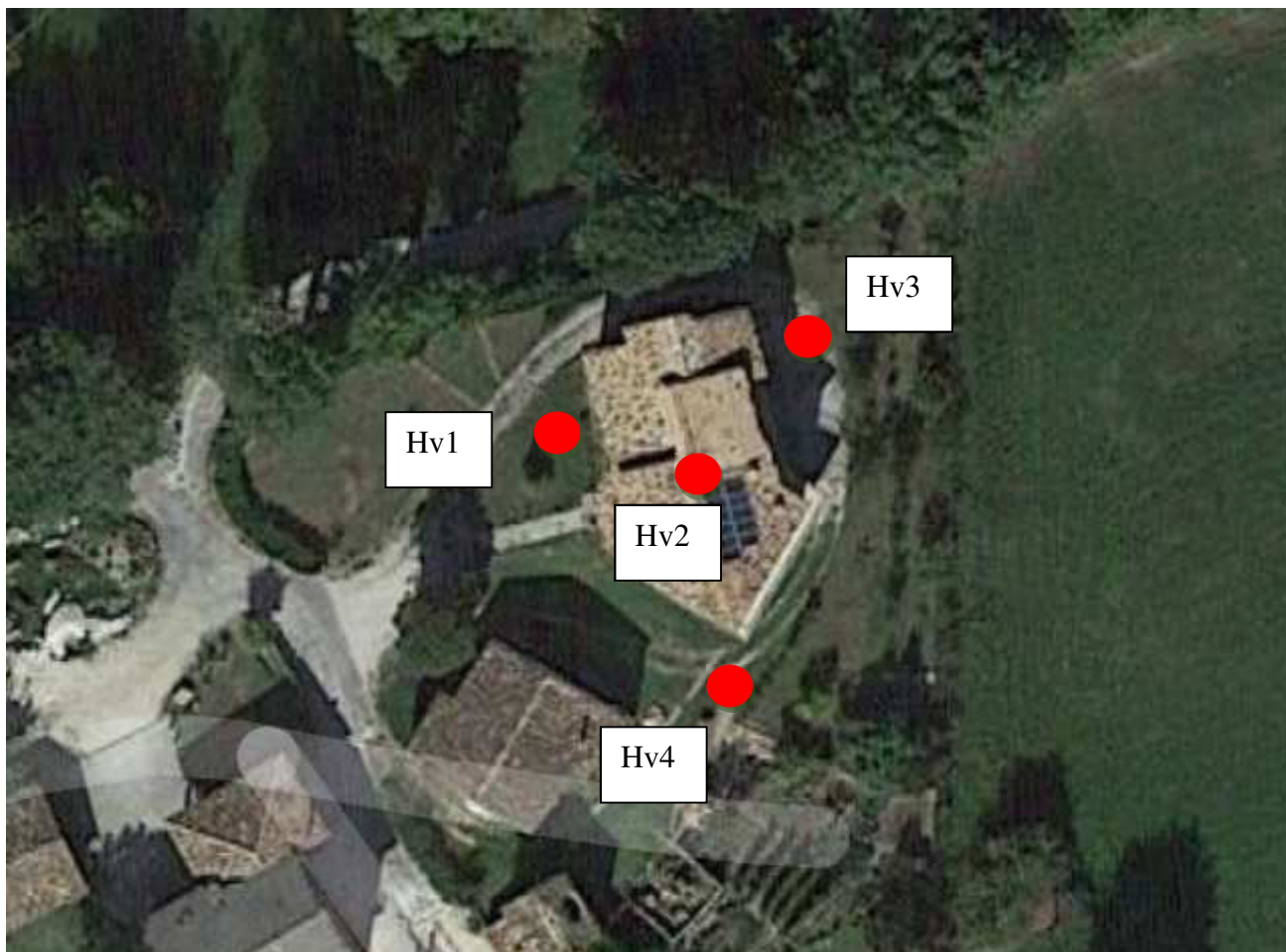
**COORDINATE GPS hv4: .....**

Data: 26 Aprile 2021

## Sommario

<b>INDAGINE PASSIVA HVSR - CENNI TEORICI .....</b>	<b>4</b>
<b>SPECIFICHE TECNICHE CENTRALINA DI ACQUISIZIONE .....</b>	<b>6</b>
<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....</b>	<b>7</b>
<b>ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>8</b>

**Planimetria con ubicazione indagine hvsr**



Ubicazione indagine  
HVSR

Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1



### INDAGINE PASSIVA HVSR - CENNI TEORICI

La tecnica HVSR (o di Nakamura) è una tecnica sperimentale che consente di valutare alcune caratteristiche di depositi sedimentari (suoli); sia per quel che riguarda le registrazioni in sito, che per quel che riguarda le analisi cui i dati vengono sottoposti.

Si sottolinea da subito però che l'analisi del rapporto spettrale H/V non è, da sola, sufficiente a caratterizzare la complessità degli effetti di sito e soprattutto non è in grado di determinare, da sola, il valore assoluto dell'amplificazione sismica. Il metodo ha comunque dimostrato di essere idoneo per valutare il periodo fondamentale di depositi sedimentari (in modo particolare quando l'impedenza di questi è in grande contrasto con l'impedenza del bedrock). La principale applicazione della tecnica del rapporto spettrale H/V è quindi quella di consentire in modo semplice e veloce l'identificazione della frequenza fondamentale  $f_0$  di diverse zone.

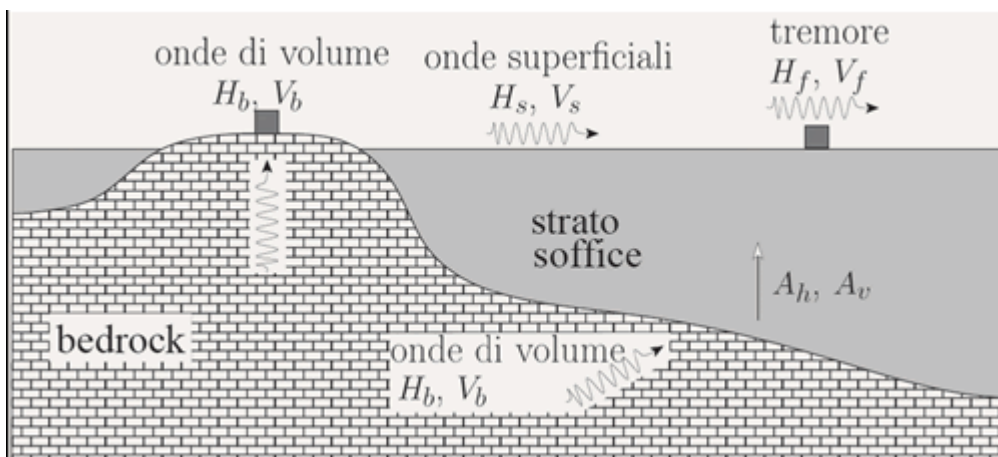


Fig.1

La tecnica HVSR consente quindi di valutare la frequenza fondamentale di risonanza di uno strato sofficie a partire dalle sole registrazioni del rumore in superficie. Se si considera la struttura geologica tipica di un deposito sedimentario (fig.1), si vede come il tremore registrato in superficie si possa considerare come composto da onde superficiali e da onde di volume. Tali onde verranno modificate dall'azione filtrante dello strato sofficie. Si possono definire due spettri relativi alle misure del moto

superficiale orizzontale ( $H_f$ ) e verticale ( $V_f$ ); tali spettri sono legati agli spettri delle onde di volume e di quelle di superficie dalle seguenti formule:

$$\begin{cases} H_f = A_h \cdot H_b + H_s \\ V_f = A_v \cdot V_b + V_s \end{cases}$$

dove  $A_h$  e  $A_v$  sono i fattori di amplificazione del moto orizzontale e verticale delle onde di volume;  $H_b$  e  $V_b$  sono gli spettri orizzontale e verticale del moto nel *bedrock* e  $H_s$  e  $V_s$  sono gli spettri del moto orizzontale e verticale delle onde di superficie.

Nakamura ha quindi definito il rapporto QTS come:

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{H_b}{V_b} \cdot \frac{A_h + \frac{H_s}{H_b}}{A_v + \frac{V_s}{V_b}}$$

Per basse frequenze ( $f < (2-3)f_0$ ) non c'è amplificazione significativa del moto verticale; inoltre, gli spettri  $H_b$  e  $V_b$  nel *bedrock* non hanno ancora ricevuto alcuna rilevante amplificazione. Con l'ulteriore ipotesi di predominanza delle onde provenienti dal *bedrock* su quelle superficiali si può dimostrare che il QTS è una approssimazione per difetto del fattore di amplificazione orizzontale  $A_h$  cercato (fig. 2).

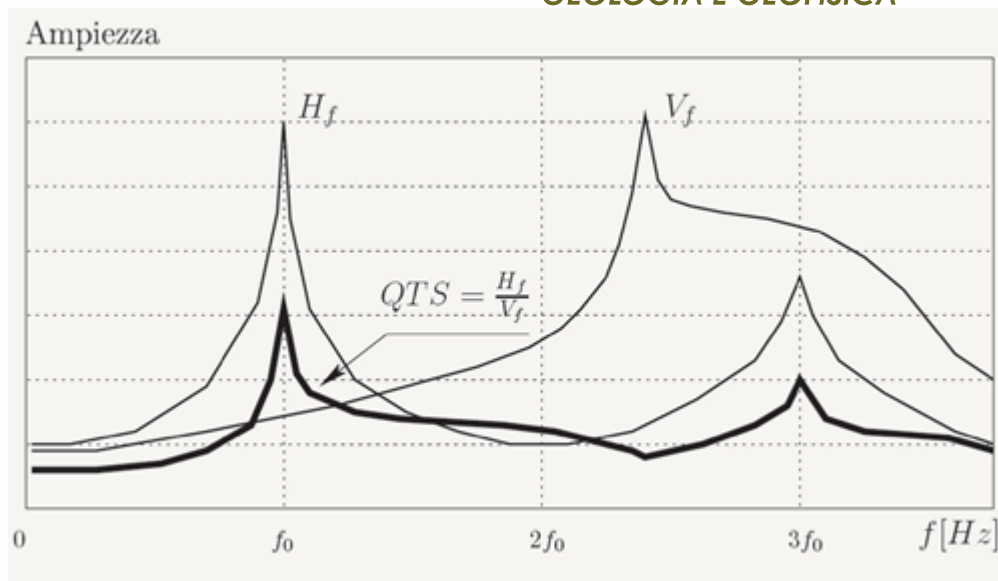


Fig.2

## SPECIFICHE TECNICHE CENTRALINA DI ACQUISIZIONE

### Centralina d'acquisizione PASI GEA 24

**Numero di canali:** 24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.

**Conversione Dati:** Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)

**Intervallo Campionamento:** Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.

**Lunghezza Acquisizione:** 27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue

**Guadagno Preamp.:** 0/52 dB, selezionabile via software

**Stacking:** Numero di stacking illimitato

**Impedenza di ingresso:** 2M $\Omega$  // 22nF

**Range Dinamico:** 144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1ksps)

**Distorsione:** 0.007% @16kHz

**Largh.Banda:** -3dB

**Largh.Banda:** +/- 0.1dB 6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps 3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps

**Geo-Sondaggi Sas** di MC & C

Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa,25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) - [www.geo-sondaggi.com](http://www.geo-sondaggi.com) - cell.3293126576 - 3292955106 -Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

**Filtri Passa Basso:** 125-200-500-1000Hz **Passa Alto:** 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz

**Filtri "Notch":** 50-60Hz + armoniche

**Trigger:** Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software

**Visualizzazione Tracce:** Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile

**Noise-monitor:** Tutti i canali + trigger

**Canale AUX (ausiliario):** 1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)

**Interfaccia comunicazione:** 1x USB 2.0 per PC esterno

**Formato Dati:** SEG2, SAF

**Alimentazione:** 5VDC da USB, 0.25A

**Temp.operativa/stoccaggio:** -30°C to +80°C

**Umidità:** 80% umidità relativa, non condensante

**Dimensioni:** 24cm x19.5cm x11cm

**Peso:** 2 Kg

### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



**Figura 1:** foto indagine HVSr 1

**Geo-Sondaggi Sas** di MC & C

Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa, 25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) - [www.geo-sondaggi.com](http://www.geo-sondaggi.com) - cell. 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax. 0733/4431173



**Figura 2:** foto indagine HVSR 2



**Figura 3:** foto indagine HVSR 3

**Geo-Sondaggi Sas** di MC & C

Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa, 25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) -  
[www.geo-sondaggi.com](http://www.geo-sondaggi.com) - cell. 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax. 0733/4431173





**Figura 4:** foto indagine HVSR 4

DATA PROCESSING

Date: 26 4 2021

Time: 10 0

Sampling frequency (Hz): 64

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 20.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

**F1**

##### SESAME criteria #####

In the following the results considering the data in the 2.0-20.0Hz frequency range

**Peak frequency (Hz): 4.3 (+/- 2.5)**

**Peak HVSR value: 2.7 (+/- 0.4)**

=== Criteria for a reliable H/V curve ===

#1. [f0 > 10/Lw]: 4.348 > 0.5 (OK)

#2. [nc > 200]: 9479 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ===

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 1.3Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)

#3. [A0 > 2]: 2.7 > 2 (OK)

#4. [fpeak[Ah/v(f) a sigmaA(f)] = f0 a 5%]: (NO)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 2.526 > 0.217 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 1.159 < 1.58 (OK)

**F0**

##### SESAME criteria #####

In the following the results considering the data in the 0.5-2.0Hz frequency range

**Peak frequency (Hz): 1.2 (+/- 0.4)**

**Peak HVSR value: 3.5 (+/- 1.0)**

=== Criteria for a reliable H/V curve ===

#1. [f0 > 10/Lw]: 1.189 > 0.5 (OK)

#2. [nc > 200]: 2591 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ===

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.3Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)

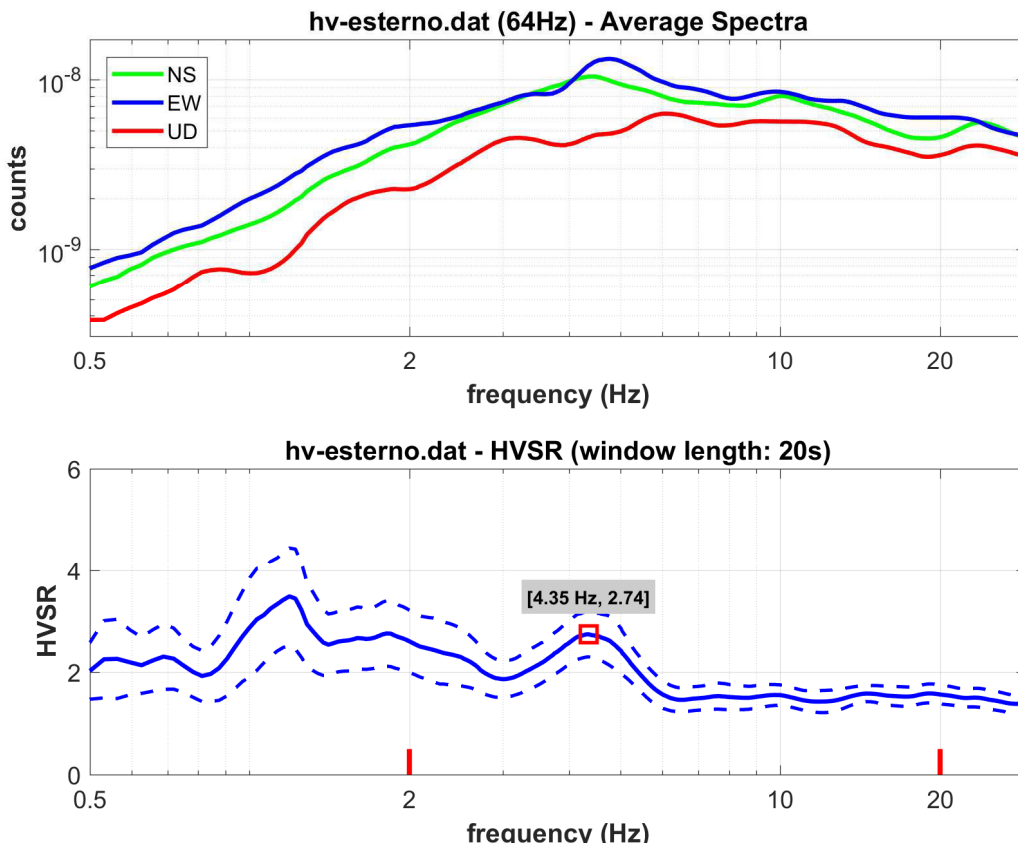
#3. [A0 > 2]: 3.5 > 2 (OK)

#4. [fpeak[Ah/v(f) a sigmaA(f)] = f0 a 5%]: (OK)

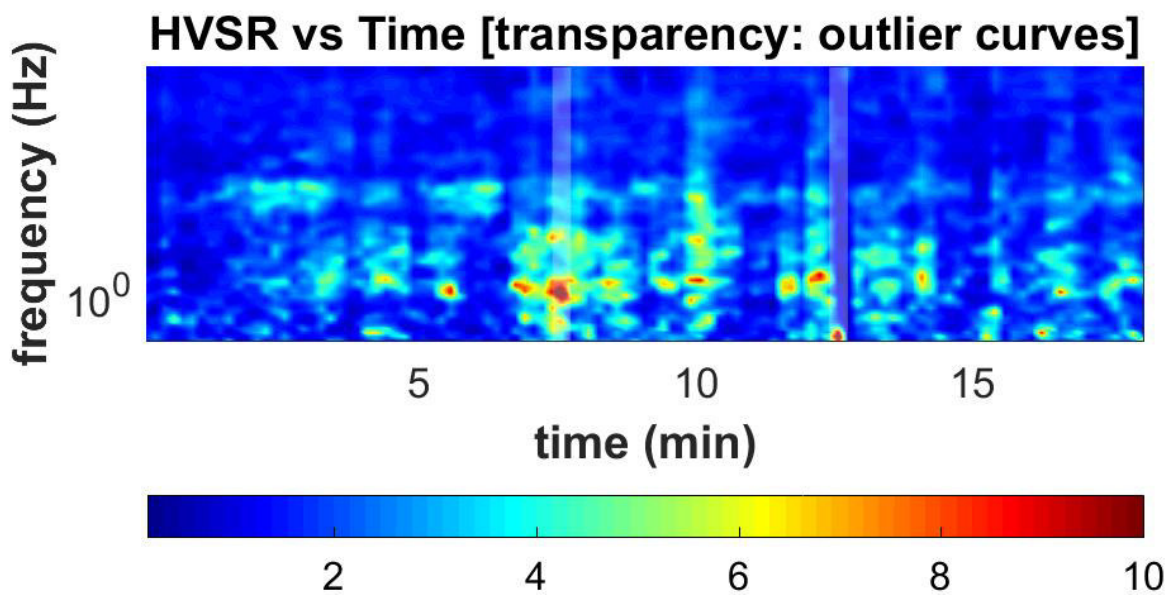
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 0.382 > 0.119 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 1.225 < 1.78 (OK)

## Curva hv



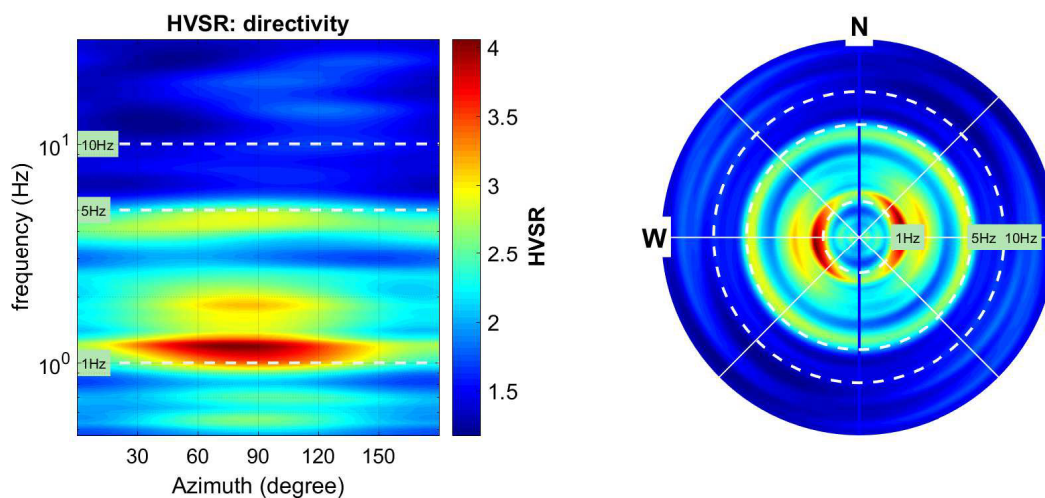
## Stazionarietà



**Geo-Sondaggi Sas** di MC & C

Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa, 25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) - [www.geo-sondaggi.com](http://www.geo-sondaggi.com) - cell.3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

## Direttività



### ELABORAZIONE DATI hv2 interno all'edificio

#### DATA PROCESSING

Date: 26 4 2021

Time: 13 22

Sampling frequency (Hz): 64

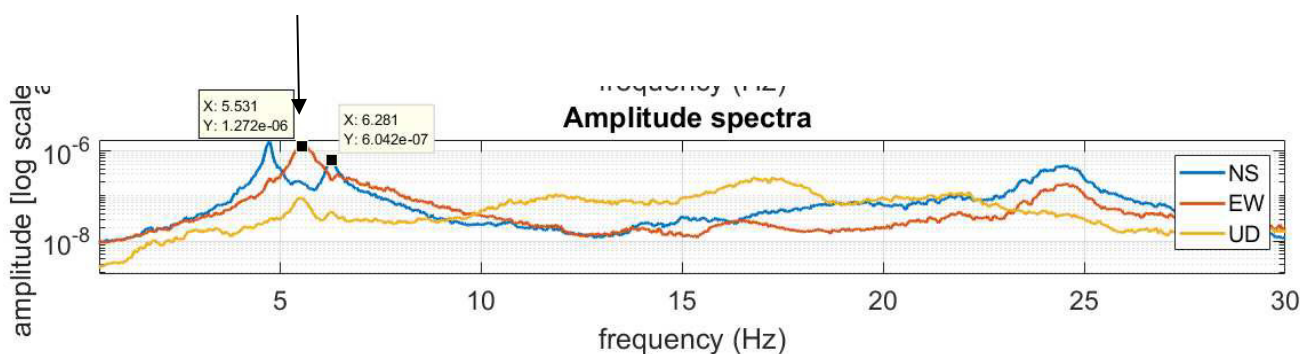
Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 20.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15



ELABORAZIONE DATI hv3

DATA PROCESSING

Date: 10 6 2021

Time: 19 22

Sampling frequency (Hz): 64

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 20.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

##### SESAME criteria #####

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

**Peak frequency (Hz): 5.2 (+/-3.6)**

**Peak HVSR value: 2.8 (+/-0.4)**

=== Criteria for a reliable H/V curve ===

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 5.193 > 0.5 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 10697 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ===

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.0Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.8 > 2 (OK)

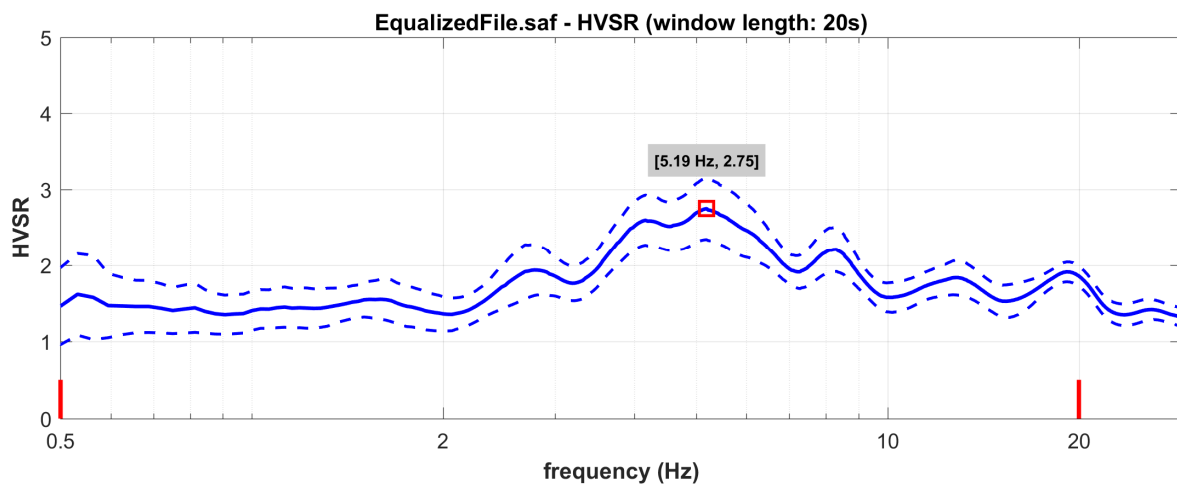
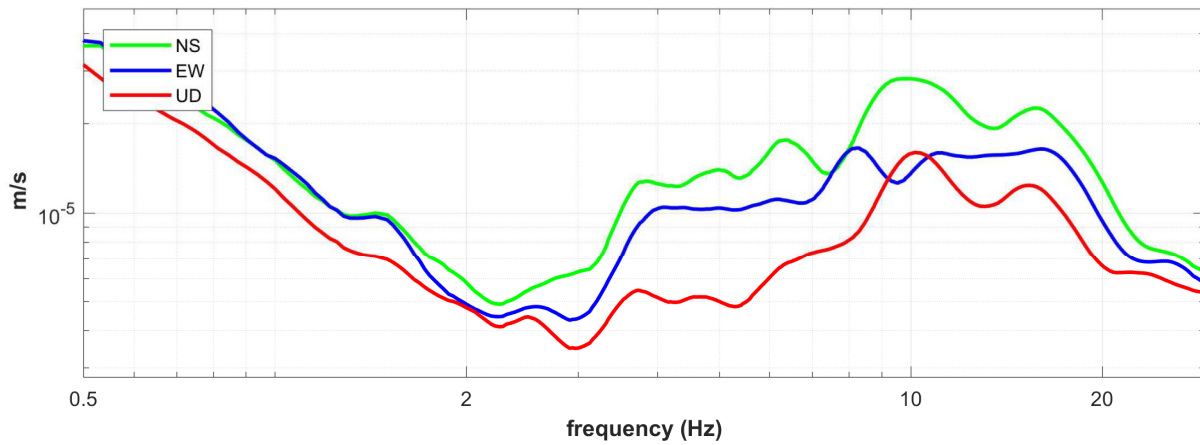
#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \text{ a } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ a } 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 3.575 > 0.260 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.677 < 1.58 (OK)

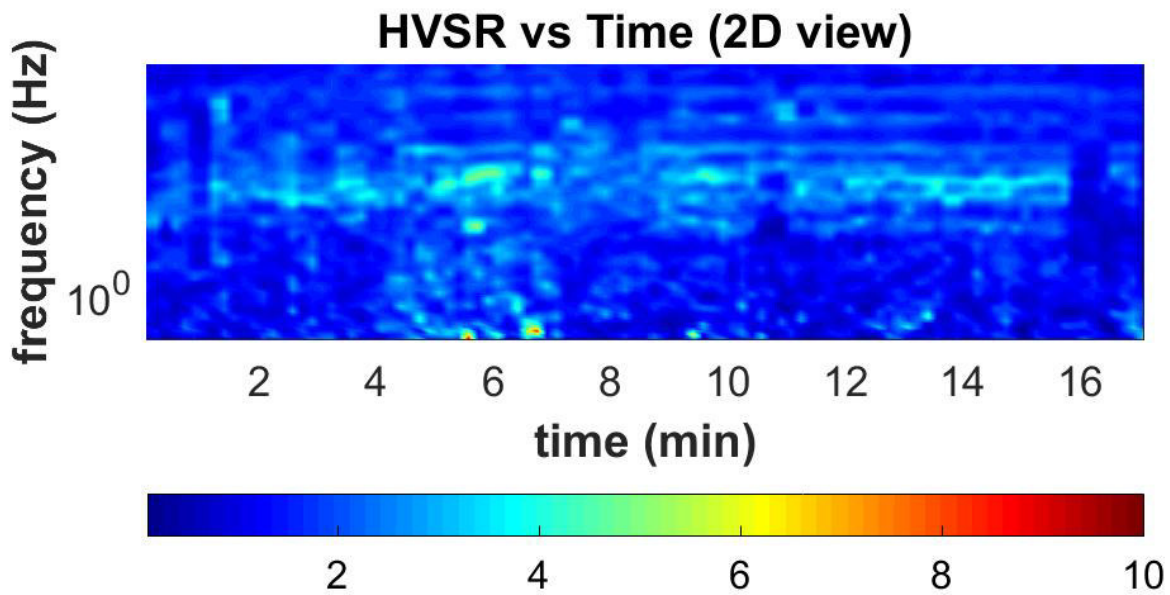


## Curva hv

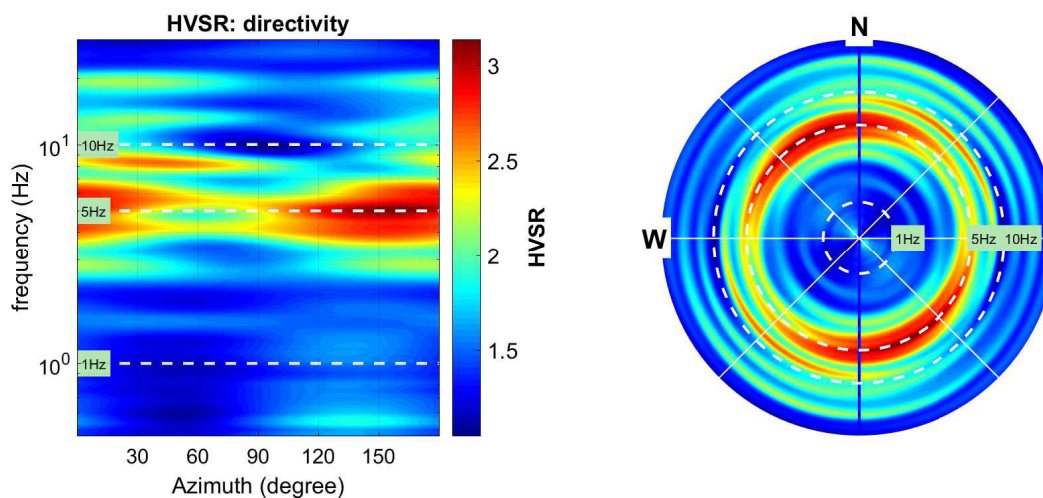


Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1

## Stazionarietà



## Direttività



DATA PROCESSING

Date: 10 6 2021  
Time: 19 27  
Sampling frequency (Hz): 64  
Window length (sec): 20  
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz  
Length of analysed dataset (min): 20.0  
Tapering (%): 5  
Smoothing (%): 15

##### SESAME criteria #####

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

**Peak frequency (Hz): 2.8 (+/- 2.1)**

**Peak HVSR value: 2.5 (+/- 0.5)**

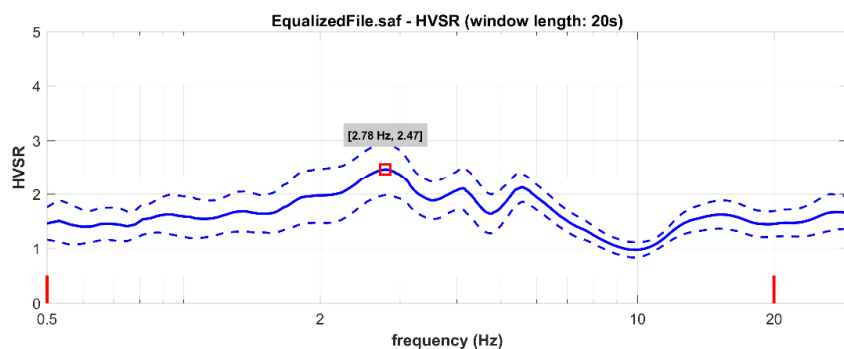
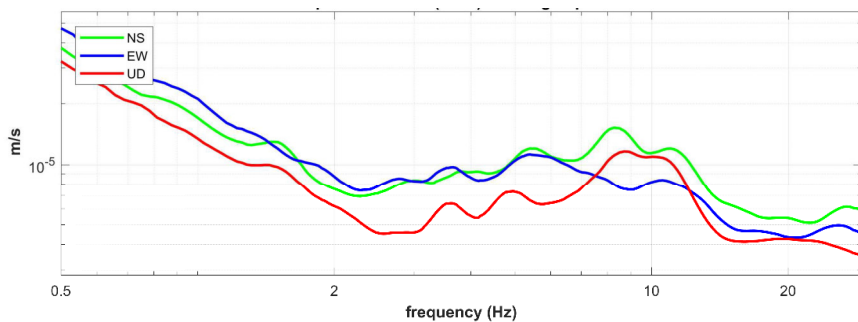
=== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [f0 > 10/Lw]: 2.784 > 0.5 (OK)
- #2. [nc > 200]: 5958 > 200 (OK)
- #3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

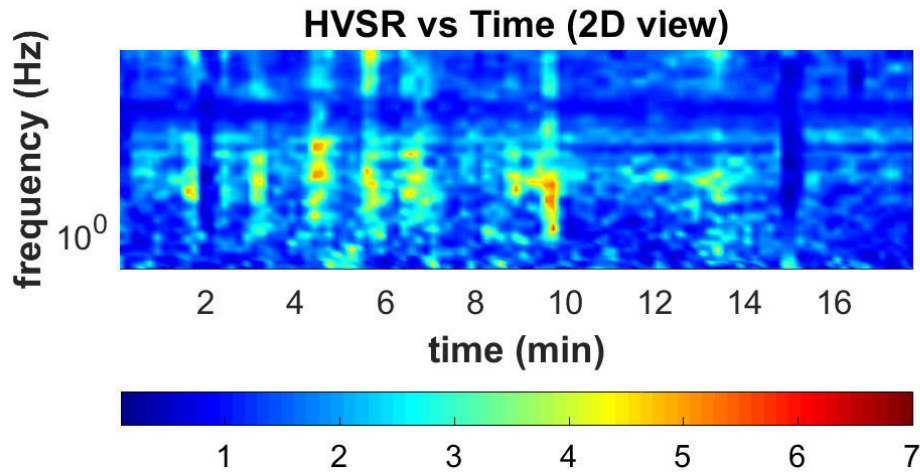
=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.7Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 8.1Hz (OK)
- #3. [A0 > 2]: 2.5 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) a sigmaA(f)] = f0 a 5%]: (NO)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 2.099 > 0.139 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.997 < 1.58 (OK)

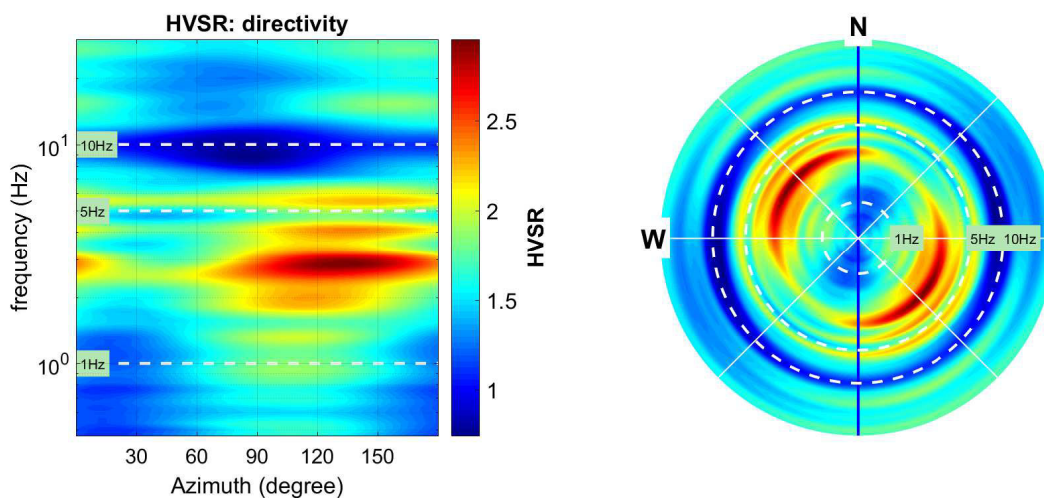
**Curva hv**



## Stazionarietà



## Direttività



## Considerazioni

Nella curva hv1 è presente un picco a 4.3 hz dovuto ad un contrasto (coltre – substrato) posto a circa 6-8 m di profondità. E' presente un picco a 1.2 Hz probabilmente dovuto a un contrasto di impedenza più profondo. Quest'ultimo è incerto e necessita di più misure hv per essere confermato.

La curva hv3 presenta un picco a 5.2 Hz lo stesso dovuto ad un contrasto (coltre – substrato) tra 6 e 8 m di profondità.

La curva hv4 non presenta picchi distinguibili tra 4 e 6 Hz poiché il substrato è superficiale, mentre è visibile un picco a 2.8 Hz dovuto ad un contrasto più profondo.

L'hv 2, effettuato all'interno dell'edificio, per valutare il periodo di vibrazione dell'edificio, mostra un picco per tutte e 3 le componenti nord-est-ovest 5.5 hz, a cui corrisponde un periodo T di 0.18 s. Altro picco, meno evidente, è presente a 6.3 Hz (T=0.15 s). Per questo tipo di misure, **è importante**, valutare anche il periodo di vibrazione teorico per paragonarlo con quello misurato e soprattutto occorre effettuare altre misure per confermare i dati acquisiti.

Monte San Giusto, aprile 2021

Dott. Geol. Carlo Gualtieri

**Geo-Sondaggi s.a.s**  
di C.M. & C.  
Indagini Geognostiche e Prospezioni Sismiche  
Sede: Via Campiglia, 25  
62015 MONTE SAN GIUSTO (MC)



PROVINCIA DI MACERATA  
COMUNE DI SARNANO  
LOC. SAN CASSIANO (MC)

COMMITTENTE: Conti Adriano

INDAGINI GEOFISICHE CON METODOLOGIA **MASW**

COORDINATE GPS G1:-----  
COORDINATE GPS G24:-----

Data: 26 Aprile 2021

**Geo-Sondaggi Sas** di MC & C

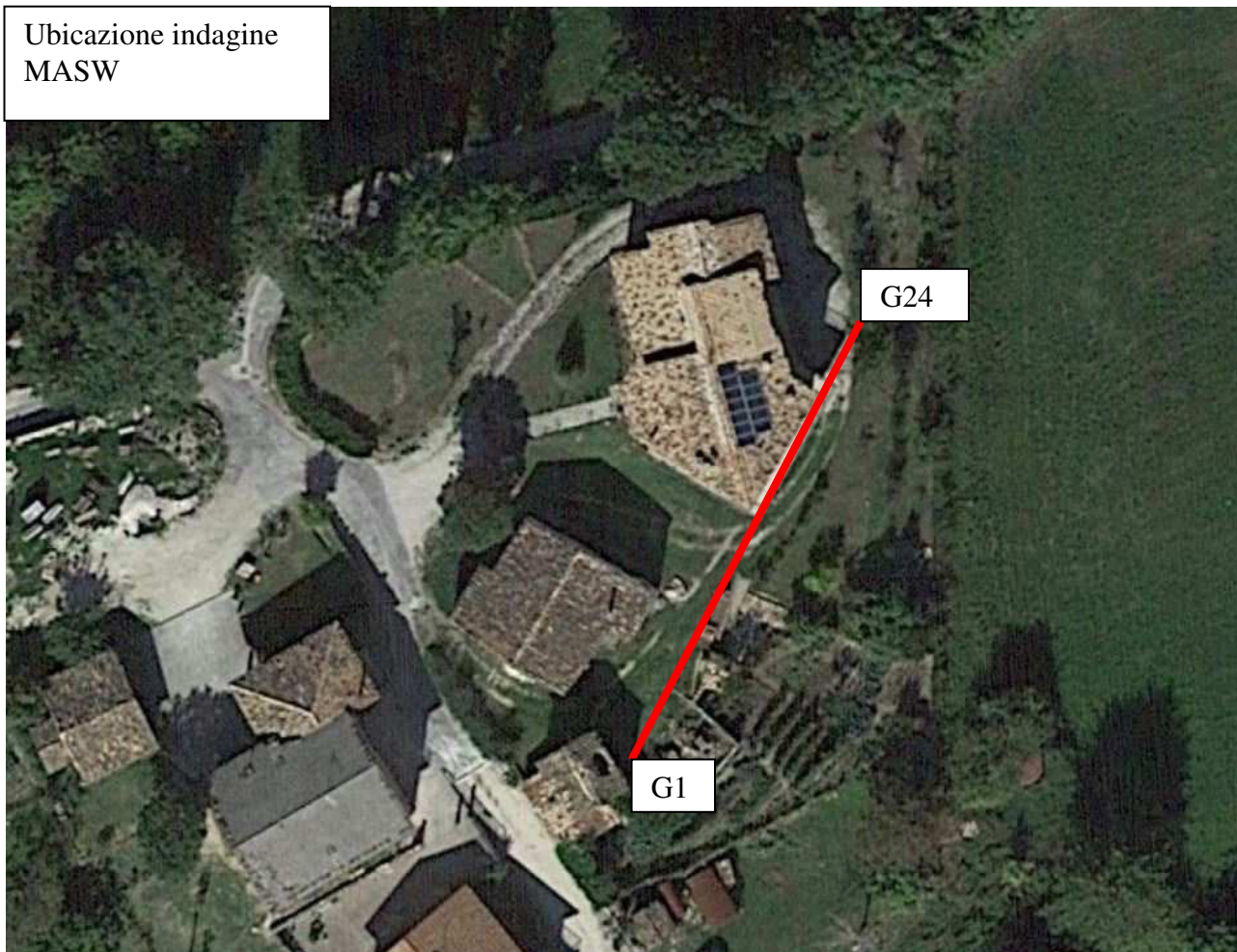
Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa,25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) -  
[www.geo-sondaggi.com](http://www.geo-sondaggi.com) - cell.3293126576 - 3292955106 -Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

## Sommario

<i>INDAGINE MASW - CENNI TEORICI</i> .....	3
<i>SPECIFICHE TECNICHE CENTRALINA DI ACQUISIZIONE</i> .....	7
<i>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA</i> .....	8
<i>ELABORAZIONE DATI</i> .....	9

**Planimetria con ubicazione indagine geofisica**

Ubicazione indagine  
MASW



**INDAGINE MASW - CENNI TEORICI**

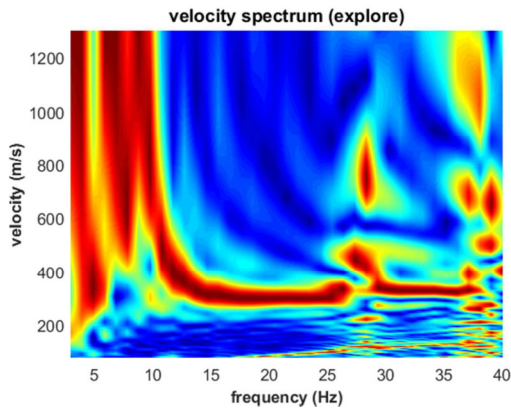
L'acronimo masw (Multichannel Analysis of Surface Waves) è l'analisi della dispersione delle onde di superficie nel sottosuolo, da cui si vuole ottenere il profilo Vs.

L'analisi si sviluppa in due passaggi fondamentali:

- Determinazione dello spettro di velocità
- Inversione delle curve di dispersione

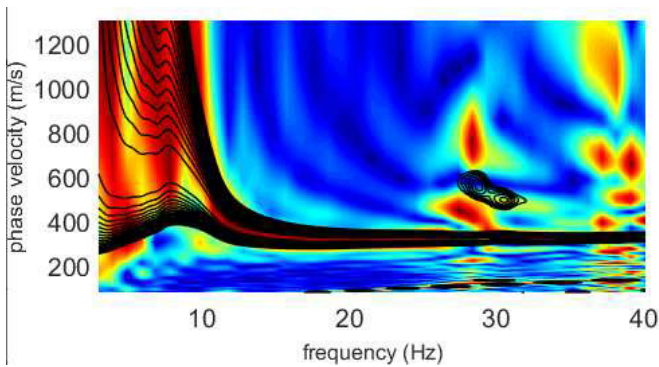
Per la determinazione dello spettro, i dati vengono acquisiti nel dominio del tempo (offset-tempo) per poi essere trasposti nel dominio frequenza velocità. In questo modo è possibile determinare la velocità di ciascuna componente in frequenza.

Esempio di spettro:



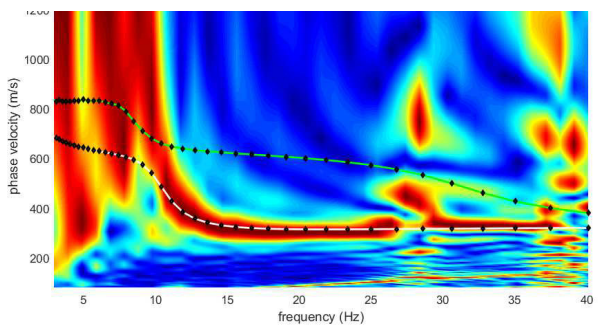
Per quanto riguarda l'inversione, da cui si otterrà il profilo delle Vs con la profondità, si effettua l'inversione totale dello spettro per cui si genereranno dei sismogrammi sintetici, dai quali uno spettro di velocità sintetico e di conseguenza il calcolo dell'errore tra lo spettro misurato e quello sintetico.

Esempio di spettro sintetico.



Lo spettro sintetico si traduce in una distribuzione dei modi non determinata manualmente in base alla sola osservazione della curva di dispersione, ma in base al dato reale misurato. Ovviamente quest'ultimo dovrà essere ripulito da disturbi ed essere un segnale che caratterizza veramente la dispersione delle onde di superficie, tralasciando porzioni dello spettro caratterizzate da fenomeni di altra natura.

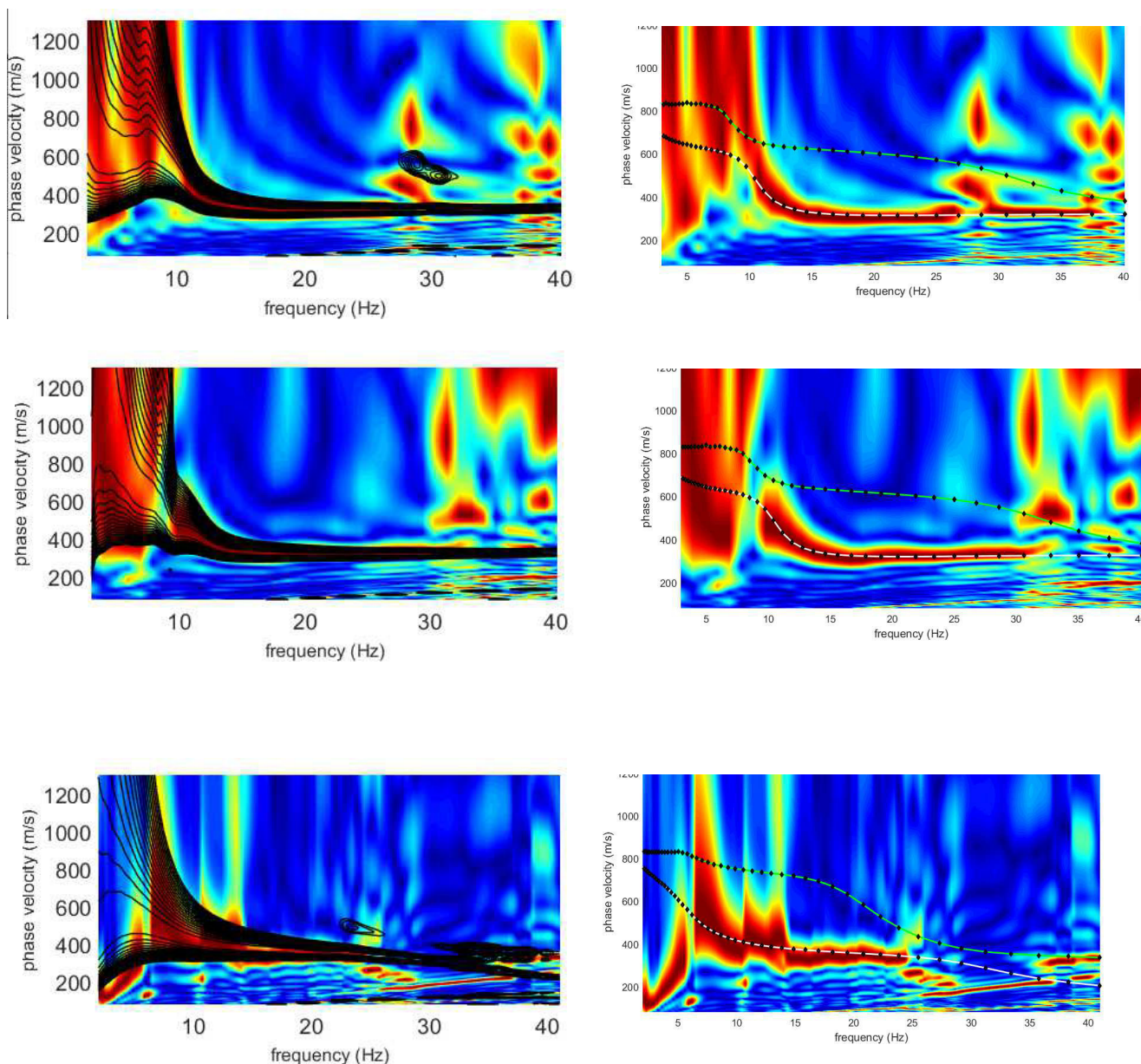
Esempio di distribuzione dei modi.





L'analisi delle onde di superficie possono essere fatte per varie componenti; Verticale, Orizzontale o Radiale, e i loro spettri possono essere invertiti congiuntamente per avere un modello più vincolato e più realistico.

Esempio di analisi congiunta tra spettri relativi a componenti, verticale, radiale, orizzontale.

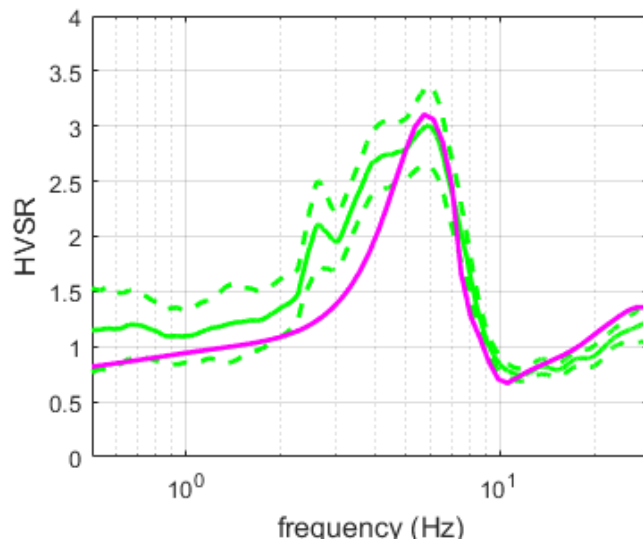


Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10.1

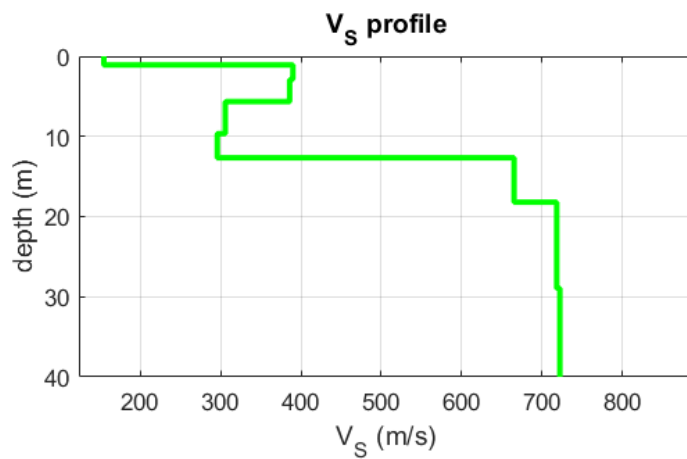


L'analisi congiunta può essere fatta anche con le curve hvsr scaturite da misure passive.

Esempio:



Il risultato finale di tale analisi sarà un profilo Vs del sottosuolo:



## *SPECIFICHE TECNICHE CENTRALINA DI ACQUISIZIONE*

### **Centralina d'acquisizione PASI GEA 24**

**Numero di canali:** 24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.

**Conversione Dati:** Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)

**Intervallo Campionamento:** Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.

**Lunghezza Acquisizione:** 27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux)  
Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue

**Guadagno Preamp.:** 0/52 dB, selezionabile via software

**Stacking:** Numero di stacking illimitato

**Impedenza di ingresso:** 2M $\Omega$  // 22nF

**Range Dinamico:** 144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1ksps)

**Distorsione:** 0.007% @16kHz

**Largh.Banda:** -3dB

**Largh.Banda:** +/- 0.1dB 6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps 3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps

**Filtri Passa Basso:**125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz

**Filtri "Notch":** 50-60Hz + armoniche

**Trigger:** Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software

**Visualizzazione Tracce:** Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile

**Noise-monitor:** Tutti i canali + trigger

**Canale AUX (ausiliario):** 1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)

**Interfaccia comunicazione:** 1x USB 2.0 per PC esterno

**Formato Dati:** SEG2, SAF

**Alimentazione:** 5VDC da USB, 0.25A

**Temp.operativa/stoccaggio:** -30°C to +80°C

**Umidità:** 80% umidità relativa, non condensante

**Dimensioni:** 24cm x19.5cm x11cm

**Peso:** 2 Kg

### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

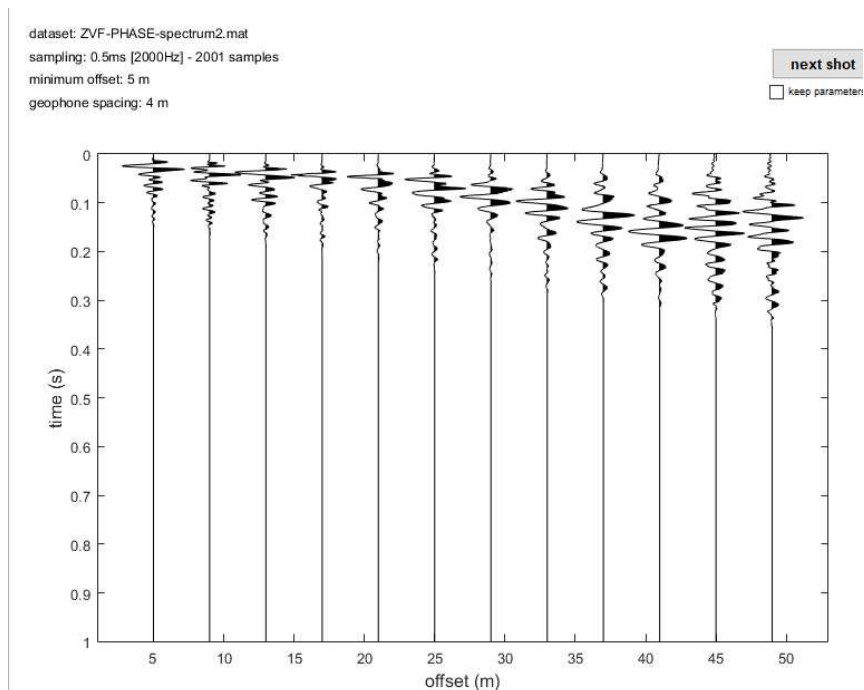


**Figura 2:** foto indagine MASW

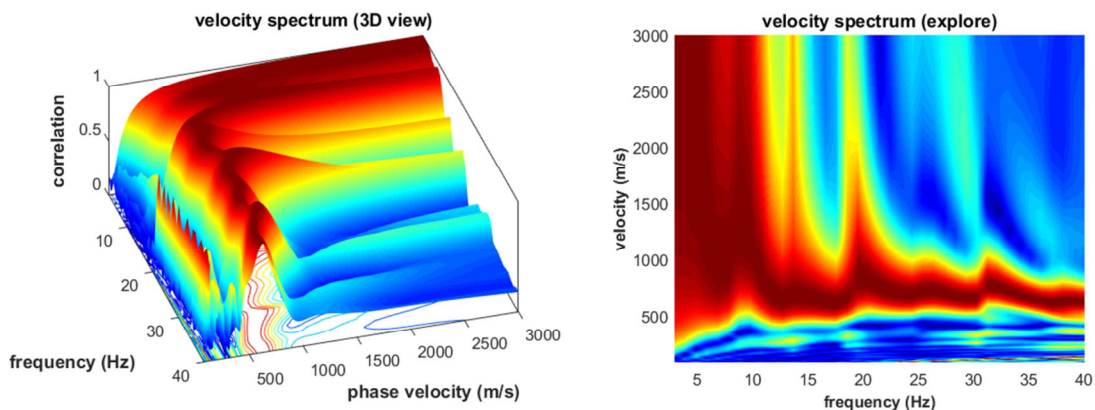
**Geo-Sondaggi Sas** di MC & C

Geosondaggi.n.c. - C.da Campiglia Bassa,25 - 62015 Monte San Giusto (MC) email: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it) -  
[www.geo-sondaggi.com](http://www.geo-sondaggi.com) - cell.3293126576 - 3292955106 -Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

ELABORAZIONE DATI

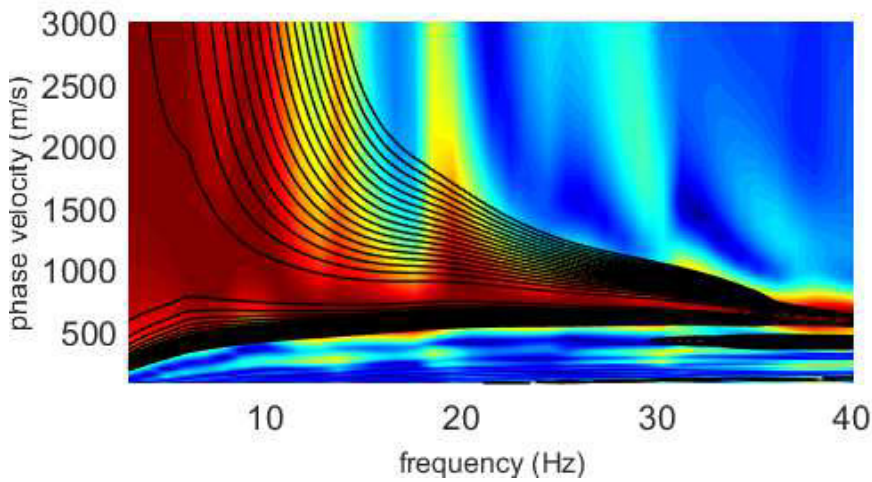


Curva di dispersione sperimentale

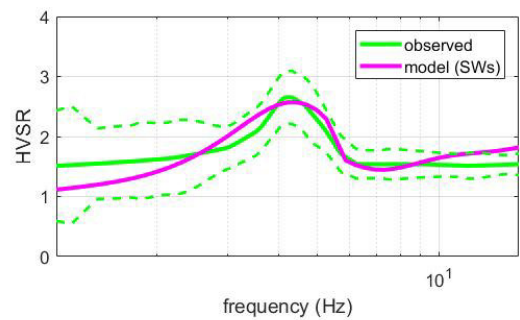
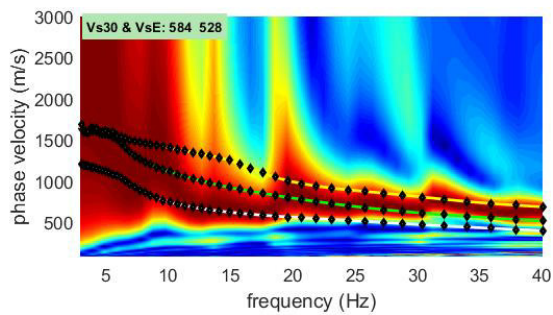
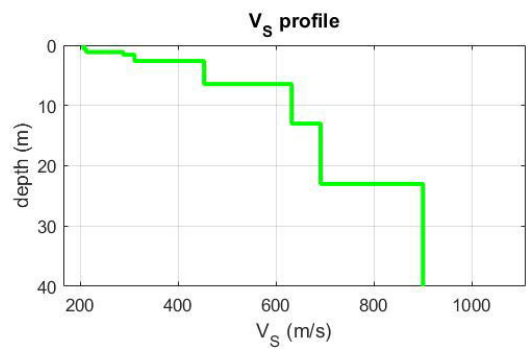


Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1

Inversione congiunta componente ZVF-HVSR



[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)



Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10 1



Profilo di velocità

**Vs model (Vs30 & VsE: 584 528 m/s)**

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	207	0.6000	0.6000
2	212	0.5200	1.1200
3	288	0.4600	1.5800
4	311	1.0500	2.6300
5	453	3.8300	6.4600
6	632	6.5400	13
7	691	10	23
8	900	17.6600	40.6600
9	955	12.2100	52.8700
10	1406	260.3000	313.1700
11	1588	2.8638e...	3.1770e...

Monte San Giusto, aprile 2021

Dott. Geol. Carlo Gualtieri

**Geo-Sondaggi**

Sas di C.M. & C.

**Indagini geofisiche e  
geotecniche in situ**

Monte San Giusto (MC) – Via Campiglia 25  
Tel.0733/53663 – 3292955106  
Fax 0733/4431173  
e-mail: [geosondaggi@yahoo.it](mailto:geosondaggi@yahoo.it)

Lavoro:

**INDAGINE SISMICA MEDIANTE SISMICA A RIFRAZIONE IN  
ONDE SH PER LA RICOSTRUZIONE DELLA STRATIGRAFIA IN  
LOCALITA' SAN CASSIANO – COMUNE DI SARNANO (MC)**

Geologo responsabile: *Gabriele Cutini*

Data di consegna: 10 Giugno 2021

**Geo-Sondaggi s.A.s**  
di C.M. & C.  
Indagini Geofisiche e Prospezioni Sismiche  
Sede: Via Campiglia, 25  
62015 MONTE SAN GIUSTO (MC)

Esecuzione ed  
Elaborazione: **Dott. Geol. Carlo Gualtieri**

## **INDICE**

1. Introduzione.....	pag.	3.
2. Cenni teorici e metodologie di elaborazione.....	pag.	7.
3. Metodologia.....	pag.	14.
4. Interpretazione delle indagini – SISMOSTRATI –.....	pag.	15.

### **Appendice**

Dromocrone  
Sismogrammi

### **Allegato**

Sezione sismica SH

## 1. INTRODUZIONE

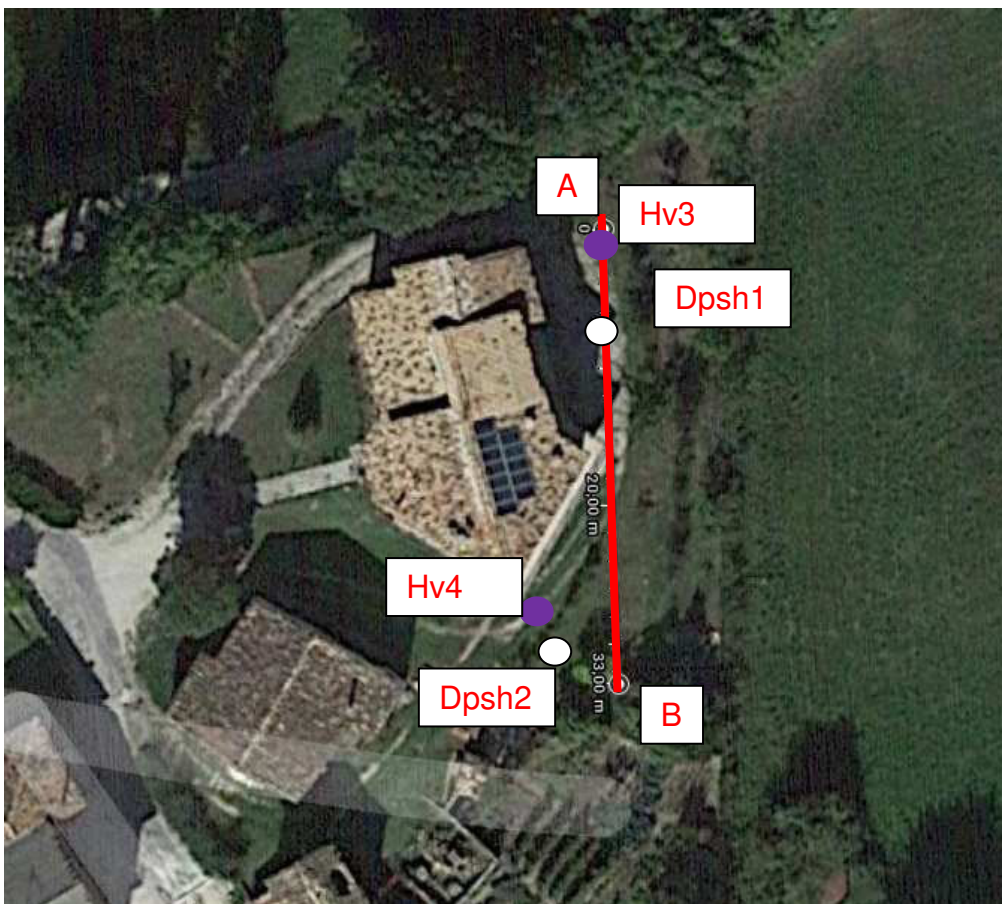
Su incarico del Geologo Gabriele Cutini, la ditta Geo-sondaggi Sas è stata incaricata di effettuare un'indagine di sismica a rifrazione in onde SH per ricostruire l'andamento della stratigrafia in edificio di civile abitazione in località San Cassiano nel Comune di Sarnano (MC).

Lo scopo delle indagini è definire il modello sismico del sottosuolo, mediante sezione sismo-stratigrafica interpretativa.

L'indagine sismica è stata realizzata utilizzando la seguente metodologia:

- Stendimento di sismica a rifrazione in onde SH ed elaborazione con tecnica tomografica.

Il profilo sismico è stato ubicato come da Planimetria (Figura sotto).



---

### Sezione sismica A-B

## **Documentazione fotografica**



Si è utilizzato un sismografo Pasi 16S a 12-24 canali ad accumulabilità di impulsi e registrazione digitale.

Le energizzazioni di taglio sono state prodotte battendo con una mazza da 10 Kg sugli estremi di una trave ancorata al terreno con una massa di circa 1,5 tonnellate.

L'indagine ad onde SH è consistita nell'esecuzione di 1 stendimento sismico della lunghezza di 34.5 m (spaziatura intergeofonica 3 m) secondo la direttrice A G1 - B G24.

Le modalità d'esecuzione dell'indagine ed i risultati ottenuti sono descritti nei paragrafi seguenti.

La sezione sismostratigrafica è riportata in appendice.



## 2. CENNI TEORICI e METODOLOGIE DI ELABORAZIONE

L'indagine mediante sismica a rifrazione si basa sul principio della rifrazione delle onde elastiche longitudinali P o di compressione, generate da una qualsiasi sorgente. Nel momento in cui un'onda sismica incontra una superficie di separazione tra due corpi con differenti proprietà elastiche, la sua energia è parzialmente riflessa e parzialmente rifratta nel secondo mezzo. In sintesi tale metodologia è basata sulla misurazione dei tempi di arrivo delle onde P che sono registrati da appositi sensori (geofoni) posti a distanze note sulla superficie del suolo. L'istante di tempo in cui avviene l'energizzazione è il tempo 0, più precisamente il tempo in cui parte l'intera registrazione. Per calcolare le velocità e le profondità dei sismostrati dove le onde sono rifratte si utilizzano differenti metodologie di elaborazione, ciascuna delle quali interpreta alla propria maniera i valori dei sismogrammi ottenuti.

I concetti base che governano la rifrazione delle onde sismiche sono gli stessi dell'ottica geometrica e, a grande distanza dalla sorgente, l'approssimazione dei percorsi dei raggi dell'onda è ugualmente valida. La sismica a rifrazione è regolata dalla legge generale di Snell:

$$\sin i/V_{p,s} = \sin r/V_{p1,s1}, \text{ con}$$

$i$  = angolo del raggio incidente

$i_c$  = angolo del raggio incidente critico

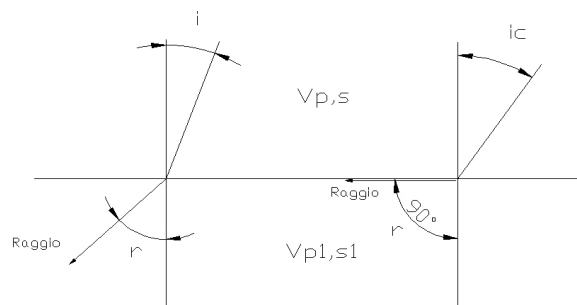
$r$  = angolo del raggio rifratto

$V_{p,s}$  = velocità dell'onda P o S nel primo mezzo

$V_{p1,s1}$  = velocità dell'onda P o S nel secondo mezzo

L'incidenza critica accade quando  $r=90^\circ$ ,  $\sin i_c = V_{p,s}/V_{p1,s1}$ .

Come caposaldo inoltre si stabilisce che nella porzione di terreno da indagare i parametri elastici del sottosuolo sono sufficientemente diversi tra loro e che le velocità delle onde siano sempre crescenti con la profondità.



## Metodo delle intercette

Consideriamo il caso più semplice di due strati con velocità dell'onda  $V_1$  e  $V_2$ , ( $V_2 > V_1$ ), separati da un'interfaccia orizzontale alla profondità  $h_1$ . Partendo da una sorgente  $S$  l'onda sismica si muoverà in tutte le direzioni. Tra le varie onde ce n'è una che incontrerà l'interfaccia con un angolo critico  $i_c$ , dato da  $\sin^{-1}(V_1/V_2)$ ; l'onda viaggerà con velocità  $V_2$  lungo la superficie di separazione tra i due strati per poi emergere verso la superficie, sempre con lo stesso angolo di incidenza  $i_c$ .

Sulla base di tale principio si può applicare alla pratica quanto illustrato finora: su un grafico distanza ( $x$ ) - tempo ( $y$ ) si proiettano i primi arrivi delle onde rifratte, misurati su ciascun geofono disposto lungo lo stendimento sismico. Come illustrato nel grafico (figura 1), i primi arrivi delle onde dirette saranno rappresentati da una linea retta con pendenza  $1/V_1$ , mentre quelli provenienti dallo strato 2, saranno anche loro linee dritta ma con pendenza  $1/V_2$ .

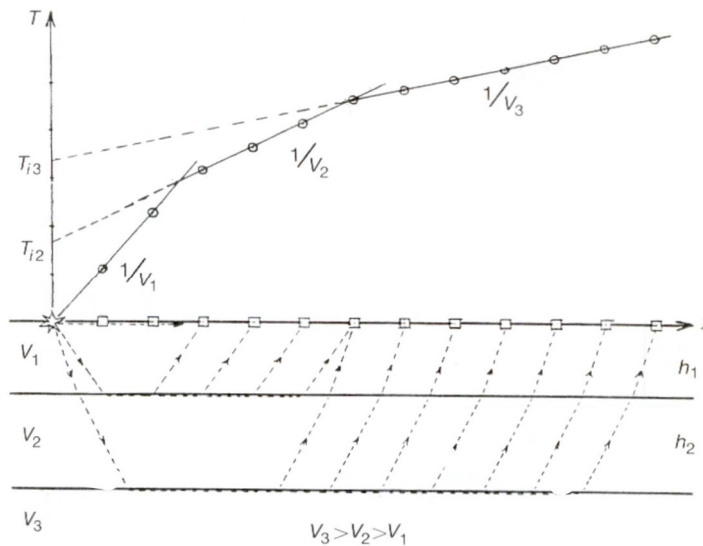


Figura 1

Ciascuna retta prolungata intercetterà, nell'asse dei tempi, un tempo  $T_i$  detto tempo intercetta. Dal grafico è possibile, tramite l'analisi delle rette tempo/distanza e dei tempi intercetta  $T_i$  di ogni strato, calcolare le profondità  $h$  dell'interfaccia sotto ogni punto di scoppio secondo la seguente equazione:

$$h = T_i / 1/2\sqrt{(V_2^2 - V_1^2)}/V_1V_2$$

La profondità può essere anche calcolata mediante la distanza di crossover: essa è lo spazio lineare sul profilo che intercorre tra il punto di scoppio e il punto in cui il primo arrivo dato dal raggio dell'interfaccia intercettata con velocità  $V_2$  risale in superficie. Tale metodo può essere esteso alle situazioni multistrato, assumendo sempre velocità crescenti verso il basso. Si può valutare inoltre l'inclinazione degli strati effettuando spari opposti e intermedi allo stendimento (figura 2).

Questo è un metodo che viene utilizzato per semplici geometrie degli strati, interfacce orizzontali o debolmente inclinate, con cui viene data una prima approssimazione delle geometrie dei vari rifrattori.

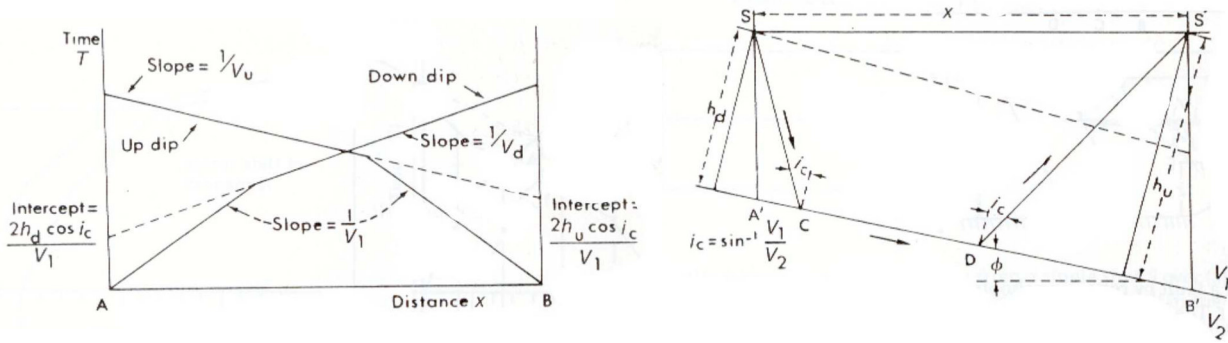


Figura 2

Oltre a questa metodologia ve ne sono altre più complesse, descritte brevemente di seguito, che sono utilizzate per ottenere un maggior dettaglio e precisione e per ricostruzioni dei rifrattori con morfologie più articolate.

### Metodi reciproci

Quando si procede alla mappatura di rifrattori inclinati o irregolari con pendenze non uniformi, le linee (dromocrone) tempo-distanza non saranno più dritte ma curve, per questo si procede al metodo della separazione dei tempi di ritardo (metodo plus-minus). Questa tecnica rende più efficace la determinazione della profondità, della forma del rifrattore e migliora la determinazione della sua velocità. L'uso di questo metodo richiede l'utilizzo di almeno due spari contigui, posti alle estremità di uno stendimento lineare di geofoni i cui tratti di dromocrona determinati risultino provenire dallo stesso rifrattore. Questi metodi possono essere utilizzati anche nei casi multistrato facendo attenzione a scindere i primi arrivi provenienti da un rifrattore rispetto a quelli che provengono da altri.

**Metodo plus-minus (t+, t-):** Per mezzo di due o più energizzazioni esterne, si ottengono una curva Plus e una curva Minus date da:

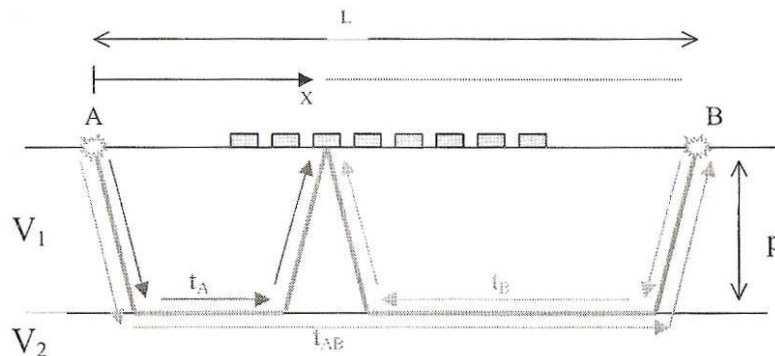
$$T(+) = t_a + t_b - t_{ab} = 2p \cos(ic) / V_1$$

$$T(-) = t_a - t_b - t_{ab} = k + 2x / V_2$$

p; spessore del primo strato che si ricava una volta trovato il termine plus,  
 $p = T(+) V_1 / 2 \cos(ic)$ .

V<sub>1</sub>; velocità del nel primo strato calcolato con gli arrivi diretti.

ic; angolo critico calcolato secondo la legge di snell ( $ic = \arcsen(V_1/V_2)$ ).



In pratica il termine plus ha lo stesso significato fisico del tempo intercetta e permette di stimare la forma e la profondità del rifratte mentre il coefficiente angolare della retta che unisce i tempi minus serve per ricavare la velocità  $V_2$  del sismostrato intercettato. Nel caso di variazioni laterali di velocità nel rifratte, la curva minus plottata per posizioni successive dei geofoni può mostrare pendenze differenti, da esse possono essere calcolate le velocità locali del rifratte corrispondente ad ogni intervallo  $\Delta x$ .

**Il metodo GRM**, sviluppato da Palmer nel 1980 – 1981, è un procedimento flessibile e potente nell'interpretazione della rifrazione sismica che ben studia le configurazioni irregolari del rifratte e le sue variazioni laterali delle velocità. Il punto di forza di questa tecnica sta proprio nelle variazioni laterali delle velocità. Il metodo utilizza una coppia di geofoni che capta i raggi provenienti dagli spari posti alle estremità lontane degli stendimenti.

Si prendono in esame due geofoni in posizioni  $x$  e  $y$  e a distanza  $xy$  e le due curve:

$$T_1 = \frac{1}{2} (t_{ay} + t_{bx} - t_{ab} - xy/V_2); \quad T_1 = p \cos(i_c)/V_1$$

$$T_2 = \frac{1}{2} (t_{ay} - t_{bx} + t_{ab})$$

Si considera la distanza  $y$  come somma di  $x$  e  $xy$  e si riscrivono i tempi rifratti in funzione della variabile  $x$  e  $V_2$ :

$$t_{ay} = k_1 + x/V_2$$

$$t_{bx} = k_2 - x/V_2$$

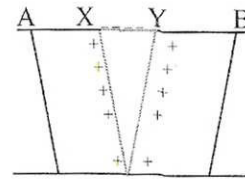
$$t_{ab} = k_3$$

segue: '0o.

$$T_2 = k_4 + x/V_2$$

$P = T_1 V_1 / \cos(i_c)$  spessore del primo strato che si ricava una volta trovato il termine  $T_1$ .

Se si tiene conto di un valore di  $xy$  ottimo oltre a calcolare  $p$ , l'equazione  $T_2$  è una retta con pendenza  $m=1/V_2$  e da cui si ricava  $V_2$  (velocità del secondo strato).



Il principale vantaggio di questo metodo è che dà la possibilità di scegliere un valore opportuno di  $xy$  in grado di diminuire le incertezze nel caso di irregolarità del rifratte. Si cerca quindi, studiando le curve  $T_1$  e  $T_2$ , di prendere l' $xy$  ottimale per il quale i primi arrivi considerati sono relativi a raggi provenienti dallo stesso punto del rifratte o da una zona localizzata al massimo delle possibilità.

## Metodo di ottimizzazione per le inversioni dei tempi di primo arrivo.

La rifrazione tomografica è un'altra tecnica di interpretazione di dati sismici a rifrazione. In questo metodo si usa una griglia di celle e ad ognuna di esse, attraverso calcoli di inversione dei primi arrivi, viene attribuito un valore di velocità; la distribuzione di tali velocità crea un profilo bidimensionale del sottosuolo. Questo specifico calcolo tomografico è stato

effettuato con il software seisoft2D. Il programma di elaborazione consente di ottenere un modello di velocità ottimizzato, utilizzando soltanto i primi tempi di arrivo delle onde e la geometria dello stendimento sismico e, a differenza di altri, non necessita, come informazione iniziale, di una prima ipotesi di struttura del sottosuolo. Il procedimento è utilizzato, oltre che per esplorazioni petrolifere e minerarie, per studiare frane, per valutare la rippabilità delle rocce e per scopi geotecnici. Il procedimento dell'elaborazione informatica è basato su uno schema detto "generalized simulated annealing optimization". L'algoritmo esegue e migliora ripetute modellazioni del terreno che sono accettate o respinte sulla base del criterio delle probabilità. Questo presupposto dà la possibilità all'algoritmo di svincolarsi da una non unica soluzione del tempo minimo di viaggio dell'onda e di raggiungere un unico modello ottimizzato della struttura del sottosuolo, basato sulle velocità delle onde. L'algoritmo non fa assunzioni sulla struttura del sottosuolo, può identificare strutture verticali e forti gradienti laterali di velocità, se presenti, e di rilevare situazioni in cui ci sono aumenti graduali di velocità con la profondità.

Il procedimento risulta essere ideale in aree in cui sono presenti variazioni consistenti di velocità e dove la topografia del rifrattore e della superficie topografica è molto irregolare e/o sono presenti strutture articolate in prossimità del piano di campagna. La metodologia assume un carattere determinante soprattutto nei casi in cui non si conosce il modello geologico di partenza. L'utilizzo di dati aggiuntivi non può che migliorare ulteriormente il modello finale calcolato, rendendolo più robusto, se si vuole si può quindi intervenire manualmente nel programma inserendo vincoli precisi.

Lo schema statistico di ottimizzazione, detto "Monte Carlo", a differenza della sismica a rifrazione classica, effettuata in genere con un numero limitato di scoppi (generalmente da 5 a 7), necessita di un maggiore numero di punti di energizzazione coniugati, così da avere un'alta molteplicità nei punti della griglia di calcolo che saranno così densi di dati (Common Depth Point). In tal modo si è in grado di ottenere un'immagine ad alta risoluzione dell'immediato sottosuolo. Il calcolo base utilizza una sicura soluzione alle differenze finite dell'equazione eikonale che trasforma i tempi di arrivo in modelli di velocità.

Di seguito si descrive brevemente il metodo di ottimizzazione:

- 1- Calcolo dei i tempi di arrivo verso un modello iniziale. Determinazione dell'errore quadratico minimo  $E_0$ . Per ogni iterazione  $i$  si definisce un errore quadratico minimo, l'errore è dato da una funzione detta "funzione obiettivo":

$$E_i = (1/n)(\sum (t_j^{obs} - t_j^{cal})^2)$$

n: numero di dati osservati

$t_j^{obs}$ : tempi osservati

$t_j^{cal}$ : tempi calcolati

la somma va da  $j=1$  a  $j=n$ .



2- Creazione di una perturbazione delle velocità nel modello aggiungendo box con velocità casuali ma costanti, seguite da una lisciatura (*smoothing*) attraverso una mediazione tra celle adiacenti. Durante l'ottimizzazione le celle possono assumere nell'intero modello qualsiasi velocità tra due valori massimo e minimo fissati inizialmente dall'operatore. I limiti scelti a priori costituiscono l'informazione che rende più stabile e robusta l'ottimizzazione. Ulteriori informazioni o vincoli miglioreranno ulteriormente tale stabilità.

3- Il nuovo modello è accettato incondizionatamente se l'errore è più piccolo ( $E_1 \leq E_0$ ), ed è nel contempo subordinato a una probabilità data da:

$$P_c = \exp(-(E_{\min} - E_1)^q DE/T) \text{ quando } E_1 > E_0.$$

$$DE = E_0 - E_1$$

T = fattore temperatura

q = parametro empirico

$E_{\min}$  = è il valore della funzione obiettivo al minimo globale

L'accettazione subordinata a modelli con un più grande errore minimo quadratico, consente all'algoritmo di uscire dalla situazione di minimo locale e di continuare la ricerca del minimo globale. Man mano che l'inversione si appresta a raggiungere il suo minimo globale, il fattore  $(E_{\min} - E_1)^q$  rende la probabilità di accettare che si cada erroneamente verso un minimo locale tendente a zero.

4- Il criterio di convergenza richiede che ci sia, tra elaborazioni successive, differenza tra errori quadratici e che la probabilità di accettare nuovi modelli con errore più grande diventi via via piccolissima. Quest'ultima condizione si ottiene nel momento in cui si raggiunge un grande numero di iterazioni (50.000 o più).

L'*Annealing* provvede a cercare un gruppo di modelli finali con un errore tra loro comparabile. Questo fa sì che si può scegliere il modello che meglio rappresenta la geologia del sito. Questa proprietà è importante per calcolare le incertezze associate con i modelli di velocità finali. Esperimenti fatti con questo metodo su modelli sintetici hanno mostrato una precisa corrispondenza.

Altra prerogativa importante è che in base ai risultati si tracciano le traiettorie dei raggi, così da separare zone del sottosuolo che sono ben coperte da essi da altre che non lo sono.

Un vantaggio dell'utilizzo dei raggi è che la quota minima raggiunta dai loro percorsi definisce la massima profondità di indagine, mentre con i metodi tradizionali si ha solo una stima di essa. Nei casi in cui ci sono dati insufficienti l'inversione tomografica può generare falsi modelli, per questo si ha bisogno di molteplici spari per avere l'accuratezza del modello.

L'elaborazione tomografica per questo tipo di indagine è stata effettuata con risoluzione media per avere un'idea delle fattezze geologiche principali. Essa è stata poi confrontata con le altre metodologie.

### **3. METODOLOGIA**

#### **Sismica a rifrazione**

La prospezione è stata realizzata con un SISMOGRAFO PASI 16S a 24 canali ad accumulabilità di impulsi, con la registrazione dei sismogrammi in forma digitale ed utilizzando geofoni da 10.0 Hz a componente orizzontale. L'istante di tempo zero, cioè il segnale di inizio registrazione, è stato inviato allo strumento dal trigger posto in corrispondenza dell'energizzazione

Per l'indagine è stata realizzata una traccia rettilinea da 12 Geofoni posizionati come segue:

#### **L1**

Geofoni disposti a 3 m di distanza l'uno dall'altro, per una lunghezza complessiva di 34.5 m.

Le energizzazioni in SH sono state prodotte nelle modalità indicate di seguito:

offset1 a 1.5 metri dal geofono 1 (A)

endshot2 a 1.5 m dal geofono 24 (B)

energizzazione tra i geofoni 5-6

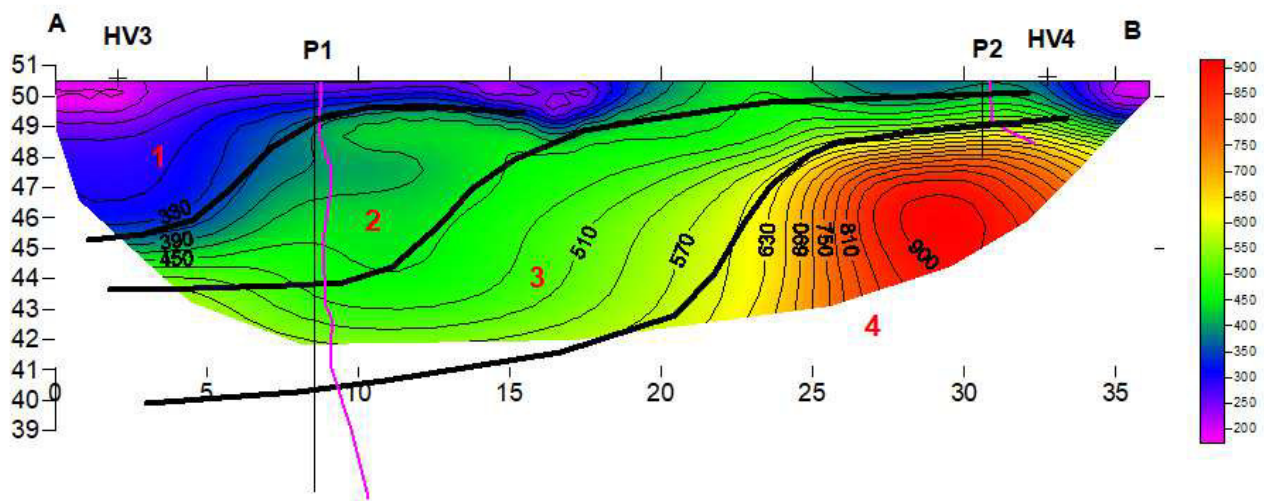
## 4. INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI

### 4.1 - SISMOSTRATIGRAFIA ONDE SH

La figura 1 mostra i risultati dell'elaborazione, dove viene riportata la sezione VSH elaborata.

Figura 1

### Sezione SH (A-B) m/s



Si evidenzia un abbassamento delle Vs da progressiva 22 m fino a progressiva 0 m. Si passa quindi da substrato sub superficiale a substrato con profondità di circa 10 m.

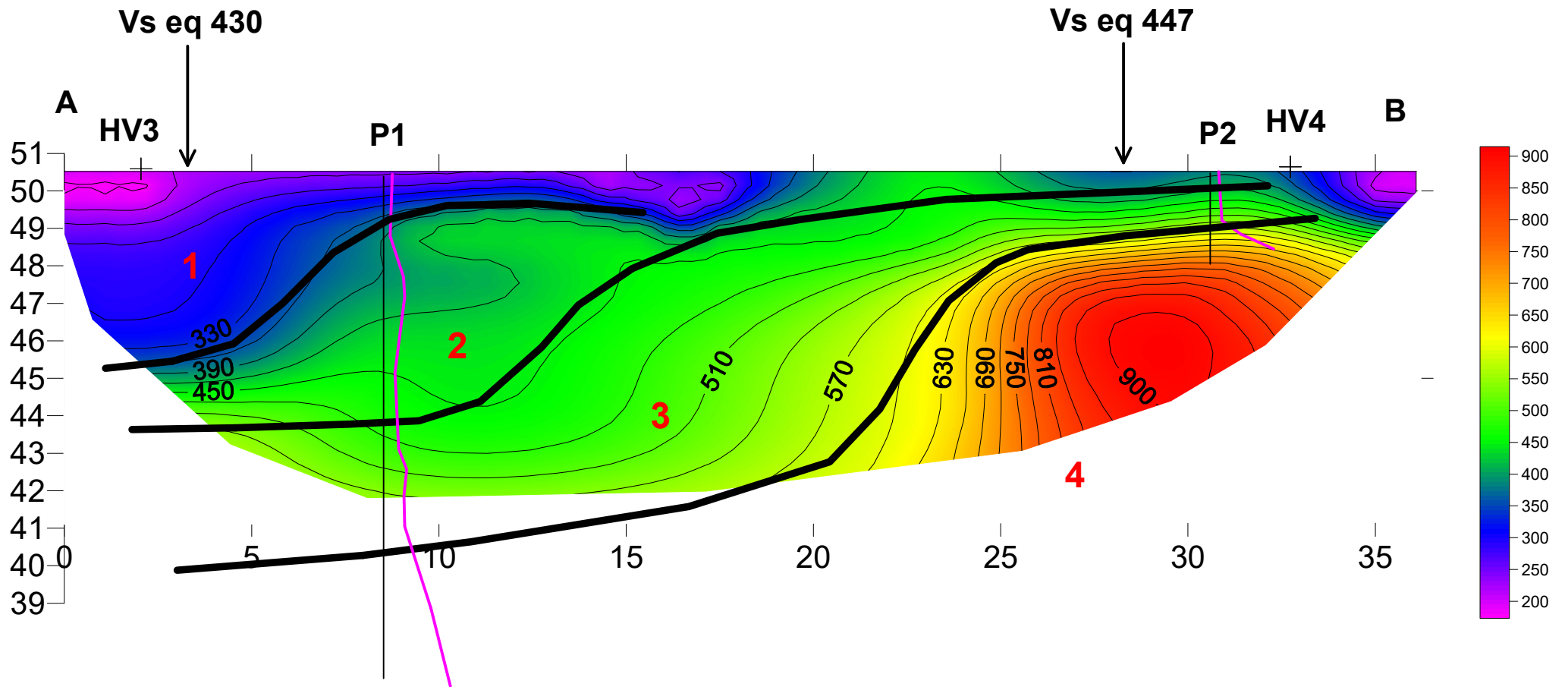
Il sismostrato 1 con velocità inferiori a 300 m/s è relativo alla coltre colluviale. Il sismostrato 2 è attribuibile sempre alla coltre con alternanze di materiali più duri e più veloci. I sismostrati 3 e 4 sono riferiti al substrato da alterato ad integro.

Giugno 2021

Esecuzione ed  
Elaborazione: **Dott. Geol. Carlo Gualtieri**

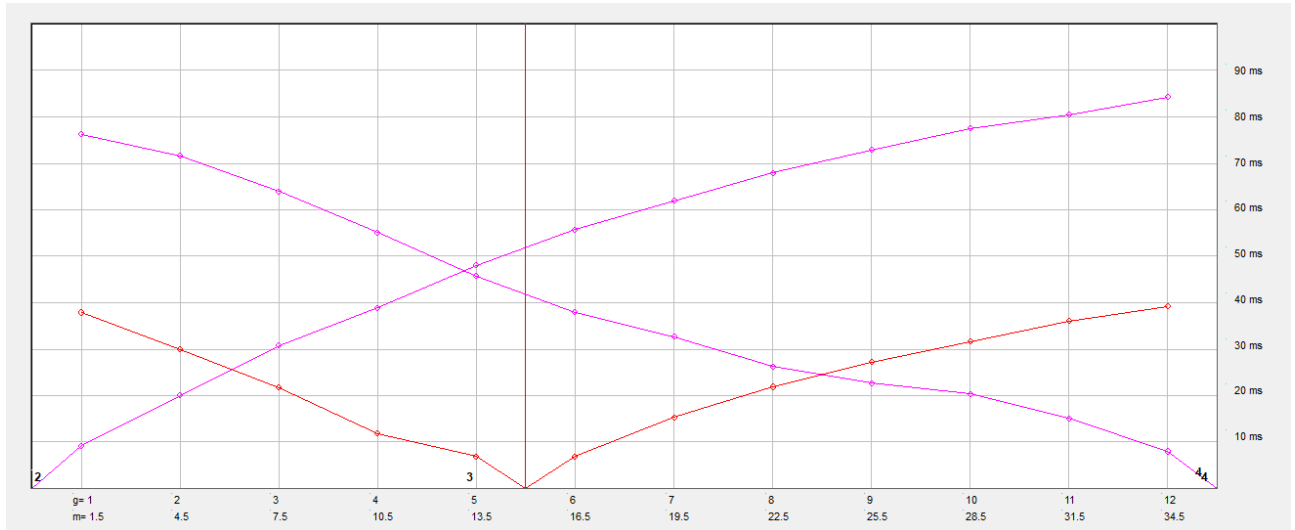
**GEO-SONDAGGI**  
di Gualtieri Carlo e Venanzi Sandro S.n.c.  
C.da Campiglia Bassa, 25  
62015 Monte San Giusto - MC  
P.IVA 01738660438

# Sezione SH (A-B) m/s



## APPENDICE

### DROMOCRONE SH

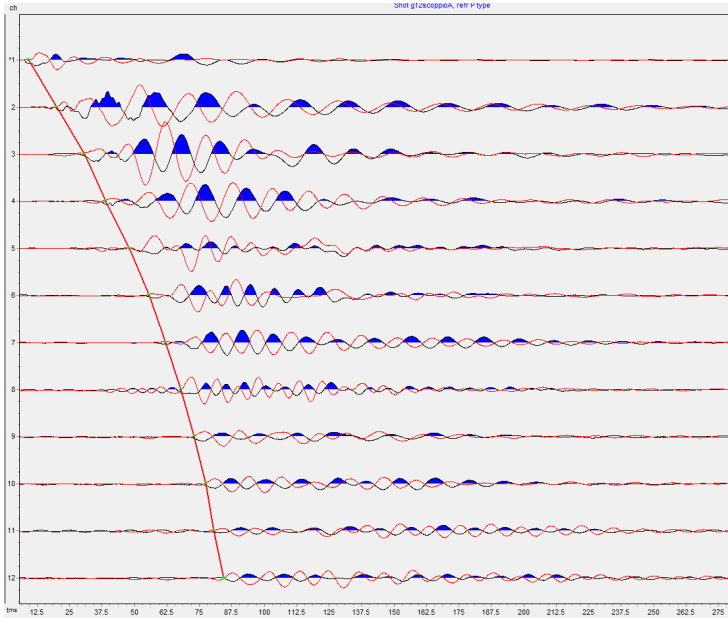


Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10.1

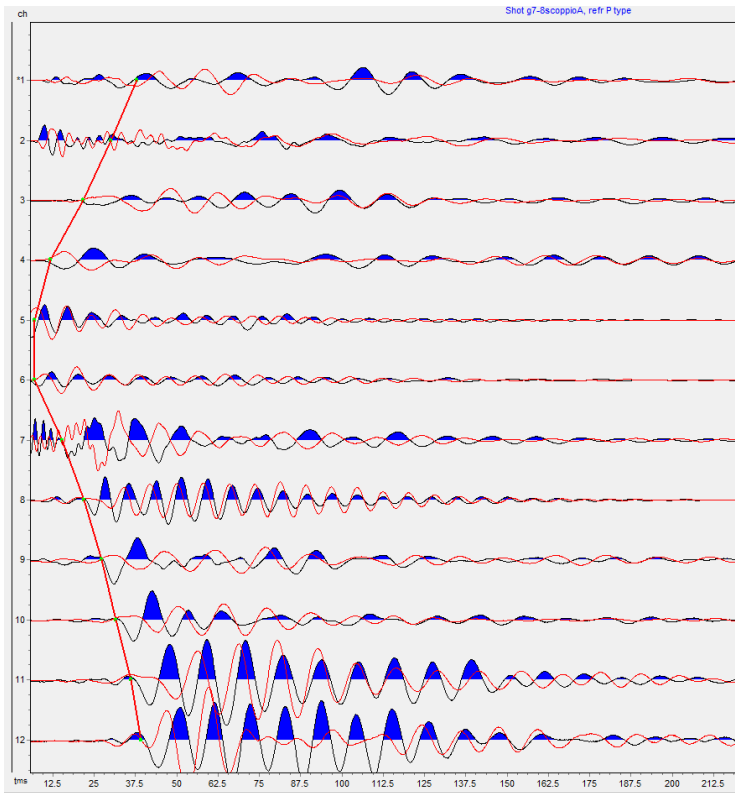


## SISMOGRAMMI SH

Endshot1

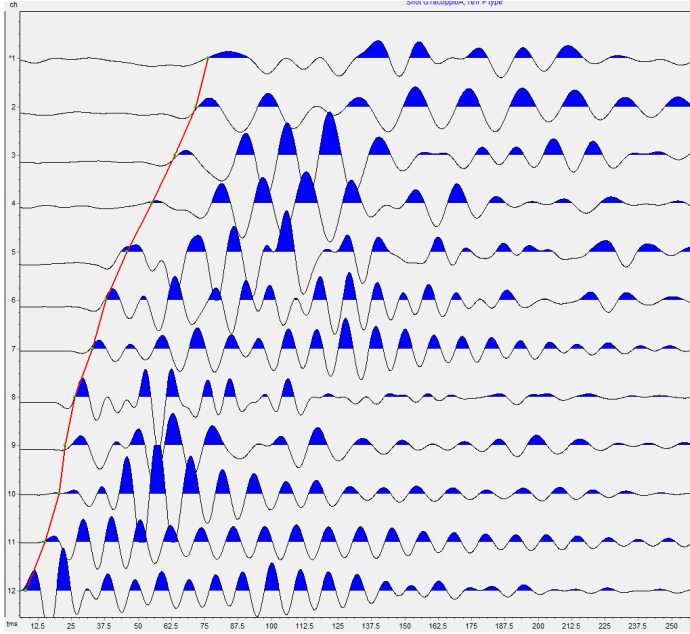


5-6



Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10.1

Endshot1



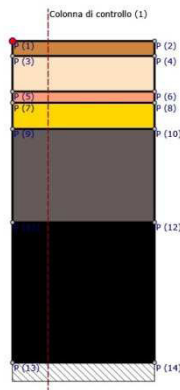
Comune di Sarnano Prot.n.0004191 del 06-04-2023 arrivo cat.10.1

Ubicazione sito: Sarnano (MC) Loc. San Cassiano

Coordinate (datum WGS84): 13.268248 lat. 43.053870

## RELAZIONE DI CALCOLO

# ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE



Data : 01/07/2021

Oggetto:

Committente

CONTI ADRIANO

Progettista



## 1. AZIONE SISMICA (NTC2018)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (T.U. Norme tecniche per costruzioni 2018), si è provveduto alla caratterizzazione delle diverse categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, a partire dal piano di posa, tramite il discriminare delle differenti "Vs".

Allo scopo sono state effettuate nel sito di progetto delle "prospezioni geofisiche" sia con il metodo a stazione singola HVSR di tipo passivo (Nakamura), sia di tipo attivo MASW.

Lo strumento usato per la stazione singola, è Geofono Tridimensionale Tromino (Moho)- 4.5 hz..

Nello specifico, tale metodo si basa sulla misurazione ed analisi del rumore sismico ambientale (microtremori) nell'intervallo di frequenze d'interesse assoluto (0÷64 Hz) e ingegneristico (0÷20 Hz), corrispondenti alle frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture, in un semispazio stratificato e che consente la caratterizzazione delle diverse categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione e discriminare delle "Vs". Le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto vengono analizzate secondo procedure spettrali di vario tipo (FFT, wavelet, ecc.) fino alla produzione delle curve H/V, dove H è la media di due componenti spettrali orizzontali ortogonali. Si rimanda a *SESAME (Site EffectS Assessment using AMBient Excitations, 2005)* per esempi di protocollo di analisi.

Lo strumento usato per la sismica attiva è PASI GEA 24 canali con geofoni da 4,5 Hz verticali (Cfr. Allegato 2).

La MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, 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.

Di seguito sono ricapitolati i valori prossimali delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio "Vs" per i vari litotipi rilevati, restituiti nel Prg. 3.

	Velocità onde di taglio (m/sec)	Velocità onde di taglio (m/sec)
	"Vseq"	"Vs30"
Velocità MASW-1::	528	584

## 1.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO

Per classificare un sito da un punto di vista sismico è necessario conoscere le caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo dell'area indagata. Nello specifico devono essere noti:

1. il numero e lo spessore degli strati di copertura, cioè dei livelli sovrastanti il *bedrock* o il *bedrock-like*, intendendo con questi termini l'eventuale substrato roccioso (*bedrock*) o uno strato sciolto (*bedrock-like*) con velocità delle onde S nettamente maggiori ai livelli sovrastanti (in genere  $V_s > 500$  m/s);
2. la velocità delle onde S negli strati di copertura;

La caratterizzazione può essere effettuata, utilizzando prove penetrometriche dinamiche o statiche conformabili all'SPT o attraverso la sismica a rifrazione.

L'Ordinanza della P.C.M. n. 3274 del 25 marzo 2003, le NTC2008 e le NTC2018, hanno aggiornato la normativa sismica vigente con l'attribuzione alle diverse località del territorio nazionale di un valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini d'incremento dell'accelerazione al suolo e propone una classificazione di un sito basata sulle tipologie di suolo del profilo stratigrafico che vengono individuate in relazione ai parametri di velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ) mediate sui primi 30 metri di terreno.

Le tipologie, ai sensi delle NTC2018, sono:

- A. Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi** caratterizzati da valori di  $V_{s30} \geq 800$  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 geomeccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 e 800 m/s;
- C. Depositati 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  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s;
- D. Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti**, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.;
- E. Terreni** con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m. (con  $V_{s30} > 800$  m/s).

*Per le suddette categorie di sottosuolo le azioni sismiche sono definite dalle NTC2018 attraverso opportuni coefficienti da utilizzare per la determinazione degli spettri di risposta. In particolare in base alla categoria di sottosuolo si definiscono i coefficienti  $S_s$  (coefficiente di amplificazione stratigrafica) e  $C_c$ , che per sottosuolo di categoria A valgono 1, mentre per le altre categorie si calcolano in funzione dei parametri forniti in base alle coordinate geografiche del sito ( $A_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ ).*

*Il fenomeno d'amplificazione sismica si accentua al decrescere di "Vs" alla stessa profondità.*

In relazione alle puntuali indagini effettuate sul terreno, secondo la parametrizzazione di cui al Capitolo 4, con una velocità mediata delle onde di taglio pari a:  $V_{seq} = 528$  m/sec, discerniamo una categoria di suolo: "B", ai sensi delle NTC2018.



## 2. VALORI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Le NTC2018 definiscono i valori standard di salvaguardia  $A(g)$  (SLV) e relative variabili: operatività (SLO), danno (SLD) e collasso (SLC) calcolati su griglia con passo  $0,02^\circ$ , in relazione alle coordinate geografiche dell'area di riferimento (latitudine e longitudine) su base in scala 1:10.000.

Di seguito sono restituiti i valori specifici per il "sito di progetto" (Cfr. sotto - Computo parametri Stati Limite Sisma):

**Stati limite**

Classe Edificio: II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.062	2.477	0.278
Danno (SLD)	50	0.077	2.467	0.290
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.184	2.511	0.336
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.236	2.548	0.347
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

**Coefficienti sismici**

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 | us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,16
CC Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,37	1,36
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.018	0.053	0.077
kv	0.007	0.009	0.026	0.038
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.724	0.905	2.165	2.690
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

manufatti	Coordinate	Longitudine	Latitudine
<b>Chiesa Santa Teresa</b>	<b>WGS84</b>	<b>13.268248</b>	<b>43.053870</b>
<b>Chiesa Santa Teresa</b>	<b>ED50</b>	<b>13.269174</b>	<b>43.054828</b>

STATO LIMITE	$A_g$	$F_o$	$T_c^*$
	[g]	[-]	[s]
SLO	0,062	2,477	0,278
SLD	0,077	2,467	0,290
SLV	0,184	2,511	0,336
SLC	0,236	2,548	0,347

### 3. ACCELERAZIONE MASSIMA IN SUPERFICIE

L'accelerazione usata nell'analisi quantitativa delle verifiche è l'accelerazione orizzontale massima ( $A_{gmax}$ ) su suolo rigido di categoria "A", corretta dalle amplificazioni locali.

Essa può essere determinata attraverso 3 differenti metodo:

- APPROCCIO SEMPLIFICATO tramite le Categorie di suolo, attraverso la relazione proposta dalle NTC2018.
- APPROCCIO RIGOROSO tramite la valutazione della Risposta sismica locale (RSL), attraverso l'uso di accelerogrammi naturali normalizzati al sito di riferimento. Tale approccio è ritenuto la via ufficiale dalle Norme tecniche per le costruzioni.
- APPROCCIO INTERMEDIO, tramite metodologie analitico/speditive basate sulle caratteristiche topografiche, lito-stratigrafiche, idrogeologiche del sito e sulla stima della velocità delle onde S nei livelli di copertura. Si tratta di metodi di analisi di livello 2, secondo la definizione data nel Manuale Internazionale TC4, collaudati ed ampiamente dimostrati in letteratura, ma non "ufficializzati dalla normativa vigente.

Data la persistenza del manufatto nella "area di cratere" definito dalla normativa a seguito del sisma dell'ottobre 2016, nel presente elaborato sono stati utilizzati sia il primo metodo (approccio semplificato) sia il secondo metodo (approccio rigoroso).

**3.1 METODO SEMPLIFICATO DELLE NTC.** L'accelerazione di picco al suolo dell'approccio semplificato è espressa dalla relazione:

$$A_{g_{max}} = A_g \times S = A_g \times (S_s \times S_T)$$




Con

"S" coefficiente che comprende l'effetto d'amplificazione stratigrafica

( $S_s$ ) e d'amplificazione topografica ( $S_T$ ),

$A_g$  è l'accelerazione attesa su sito rigido.

**6.1.1 - Amplificazione Topografica.** Le NTC prevedono che nei siti suscettibili di amplificazione topografica venga introdotto un coefficiente moltiplicativo ( $FT \geq 1$ ) per l'accelerazione massima orizzontale di progetto  $A_{gmax}$ , che tenga conto di tale caratteristica morfologica:

MORFOLOGIA		Pendenza media $\alpha$	Categoria	$F_T$
Superficie pianeggiante		$< 15^\circ$	$T_1$	1
Pendii scoscesi isolati		$> 15^\circ$	$T_2$	1.2
Larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base		$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$T_3$	1.2
		$> 30^\circ$	$T_4$	1.4

Per le NTC2018 abbiamo:

**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 $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Sulla base dei riscontri di sito ci troviamo in zona di alto strutturale di cresta con pendenza inferiore a  $15^\circ$ , pertanto sulla base della classificazione semplificata prevista nella Tabella 3.2.V delle NTC2018 l'area di progetto ricade in una categoria topografica: **T1**.

$S_t$
1,0

**3.1.2 - Amplificazione Stratigrafica.** Le NTC prevedono che nei siti suscettibili di amplificazione stratigrafica venga invece introdotto un coefficiente ( $S_s$ ) per l'accelerazione massima orizzontale di progetto, che tenga conto di tale caratteristica morfologica.

Il fattore di amplificazione stratigrafica  $S_s$ , può essere calcolato in funzione dei valori di  $F_0$  e  $A(g)/g$  mediante le espressioni fornite nella tabella sottostante nelle quali:

$F_0$  = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito rigido orizzontale di riferimento.

$A(g)$  = accelerazione orizzontale massima al suolo riscontrabile su sito di riferimento rigido orizzontale

$g$  = accelerazione di gravità

Categoria suolo	$S_s$
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 \times a_g/g \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 \times a_g/g \leq 1,50$
D	$1,00 \leq 2,40 - 1,50 F_0 \times a_g/g \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 \times a_g/g \leq 1,60$

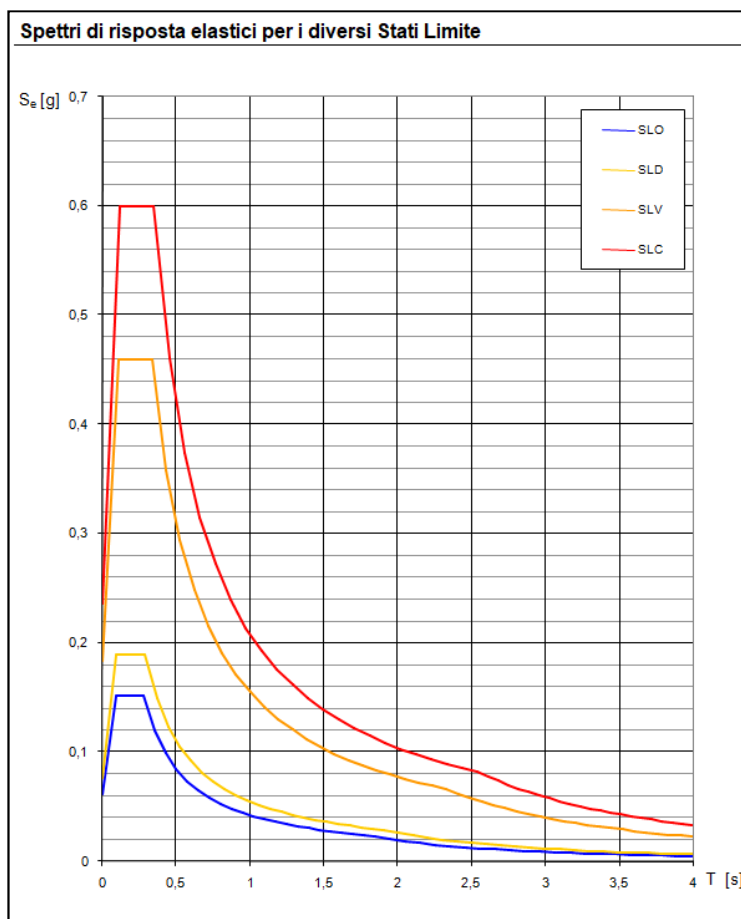
Le NTC prevedono infine che i valori di accelerazione  $A(g)$  cambino con la destinazione d'uso degli edifici (Cfr. Prg. III), ovvero in base al loro grado d'affollamento.

Le opere in oggetto ricadono in classe II ("Grado di affollamento normale..."). Per l'area di progetto, con una categoria di suolo "C", abbiamo:

"Ss"			
Ss (SLO)	Ss (SLD)	Ss (SLV)	Ss (SLC)
1,200	1,200	1,200	1,160

**3.1.3 - Parametri sismici di progetto approccio semplificato NTC2018.** I parametri di progetto, tenendo conto degli effetti di sito "Ss" e "St," risultano pertanto pari a:

Valori elastici parametri sismici associati a ciascuno Stato Limite: NTC 2018							
STATO LIMITE	$A_g$	$St$	$Ss$	$A_{g-max}$	$\theta$	$Kh$	$Kv$
	[g]	[-]	[-]	[g]	[-]	[-]	[s]
SLO	<b>0,073</b>	1,00	1,200	<b>0,07</b>	0,200	<b>0.015</b>	0.007
SLD	<b>0,090</b>	1,00	1,200	<b>0,09</b>	0,200	<b>0.018</b>	0.009
SLV	<b>0,206</b>	1,00	1,200	<b>0,22</b>	0,240	<b>0.053</b>	0.026
SLC	<b>0,263</b>	1,00	1,160	<b>0,27</b>	0,280	<b>0.077</b>	0.038



**3.2 METODO RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL).** Come esposto in precedenza, la valutazione della risposta sismica locale (RSL) mediante analisi accelerometrica è considerata la via ufficiale dalle Norme tecniche per le costruzioni (Cap. 3.2.2 delle NTC2008 e 2018) per la determinazione dell'accelerazione orizzontale massima ( $A_{gmax}$ ) e dello Spettro di risposta.

Esistono due diverse metodiche rigorose per la stima dell'amplificazione sismica in superficie tramite Risposta Sismica Locale (RSL):

- **Analisi 1D**

- **Analisi 2D**

Le analisi **1D** sono basate su modelli numerici di media complessità (Es. Stacec, Rexel, Strata, Deepsoil ecc.). Trattandosi di indagini monodimensionali si ipotizza che gli strati siano piano-paralleli o debolmente inclinati, infinitamente estesi e che la propagazione del sisma si realizzi in modo quasi verticale.

Qualora queste condizioni non fossero corrispondenti ai risultati dell'indagine geologica, si dovrà ricorrere ad analisi bidimensionali **2D**. Queste ultime sono basate sull'uso di modelli numerici più sofisticati, che hanno portato allo sviluppo di programmi di calcolo complessi utilizzabili per valutare gli effetti di bidimensionali (es. FLUSH, QUAD4 ecc).

▪ Dalla Modellazione Geologica (Cfr. Prima Parte del presente elaborato) il sito è senz'altro classificabile in un contesto monodimensionale **1D**.

La modellazione **1D** permette di definire una realistica risposta sismico/stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali (sia sepolte sia topografiche), consentendo in specifici contesti sismologici, topografici e litostratigrafici, mediante il confronto con la relativa categoria di suolo (Cap. 3.2.2 delle NTC2018), un'analisi più rigorosa e certa rispetto all'approccio semplificato di normativa, poiché identifica amplificazioni per intervalli di periodi più puntuali e specifici rispetto a quelli basati sulle categorie di suolo.

**3.2.1 - Sistemica.** Nel presente elaborato tecnico, l'Azione sismica tramite RSL è stata determinata mediante l'utilizzo di 2 appropriati codici di calcolo, rimandando ai rispettivi Manuali per la letteratura e le specifiche tecniche:

- **REXELite** (*reluis*)

- **STACEC**

Le NTC vietano per l'analisi di risposta sismica locale l'utilizzo di accelerogrammi artificiali (come del resto specificato anche nella Circolare applicativa delle NTC2008 al capitolo C7.11.3.1.2.2).

Per il progetto in oggetto, in assenza di circolari esplicative per le NTC2018, si è pertanto fatto riferimento all'utilizzo di accelerogrammi naturali come input per l'esecuzione di analisi di RSL.

Per il loro utilizzo gli accelerogrammi registrati devono avere le seguenti caratteristiche:

- essere rappresentativi della sismicità del sito di progetto (proprietà sismogenetiche sorgente, condizioni del sito di registrazione, Magnitudo, distanza sorgente accelerazione orizzontale di picco attesa al sito);
- gli accelerogrammi registrati devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo dei periodi di interesse per il problema in esame;



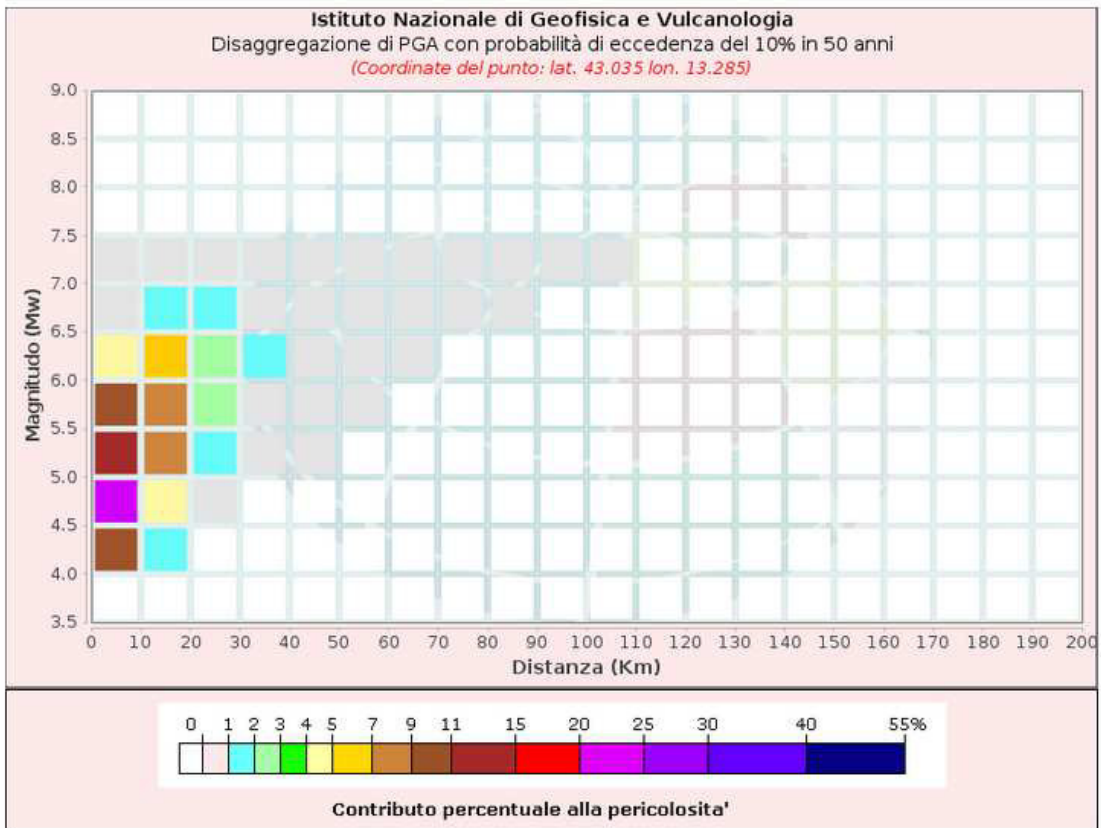
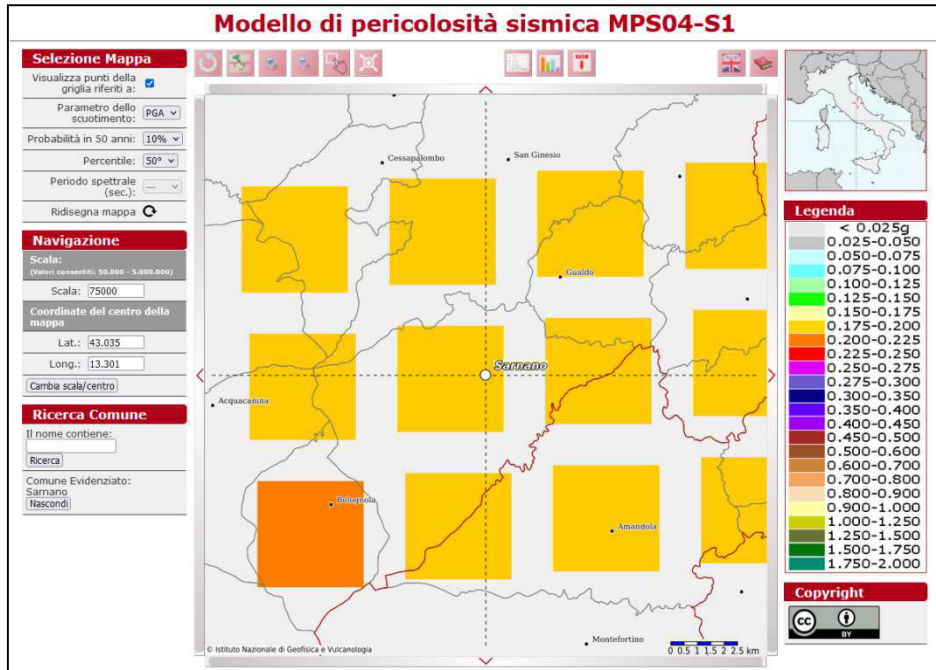
- devono utilizzare le condizioni di compatibilità spettrale media definite sia per i segnali artificiali sia per quelli naturali, avendo cura in ogni caso di rispettare le condizioni geologiche di sito e di scegliere accelerogrammi il cui spettro è, per quanto possibile, simile o equiparabile a quello di riferimento;
- gli accelerogrammi possono essere scalati linearmente in ampiezza limitando il fattore di scala nel caso di segnali provenienti da eventi di piccola Magnitudo;
- gli effetti sulla struttura sono rappresentati dai valori medi degli effetti più avversi ottenuti dalle analisi;
- devono essere utilizzati almeno 7 diversi gruppi di accelerogrammi (dai valori più sfavorevoli degli effetti, nel caso si abbiano meno di 7 gruppi);
- in nessun caso si possono adottare meno di tre gruppi di accelerogrammi.

Valutare l'azione sismica mediante analisi di risposta sismica locale (RSL) in campo monodimensionale 1D significa definire la Funzione di trasferimento rappresentativa della situazione geologico/strutturale al di sotto del sito in esame, dedotta da una adeguata campagna multidisciplinare di esplorazione del sottosuolo derivante dall'indagine geologica.

La forma della funzione di Trasferimento si presume, quindi, sia legata alle modalità di trasmissione delle onde sismiche all'interno degli strati superficiali ed in particolare alle interferenze che si generano fra questi e le onde sismiche.

**3.2.2 - Scelta dell'input sismico.** L'estrazione degli accelerogrammi di input sismo-compatibili prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre a quelli precedentemente definiti. In particolare devono essere circoscritti i dati di disaggregazione sismica (variabilità in termini di magnitudo e distanza) ottenuti consultando il database dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it> . Per cui con riferimento alle figure seguenti sono stati determinati i seguenti parametri M –R di disaggregazione:

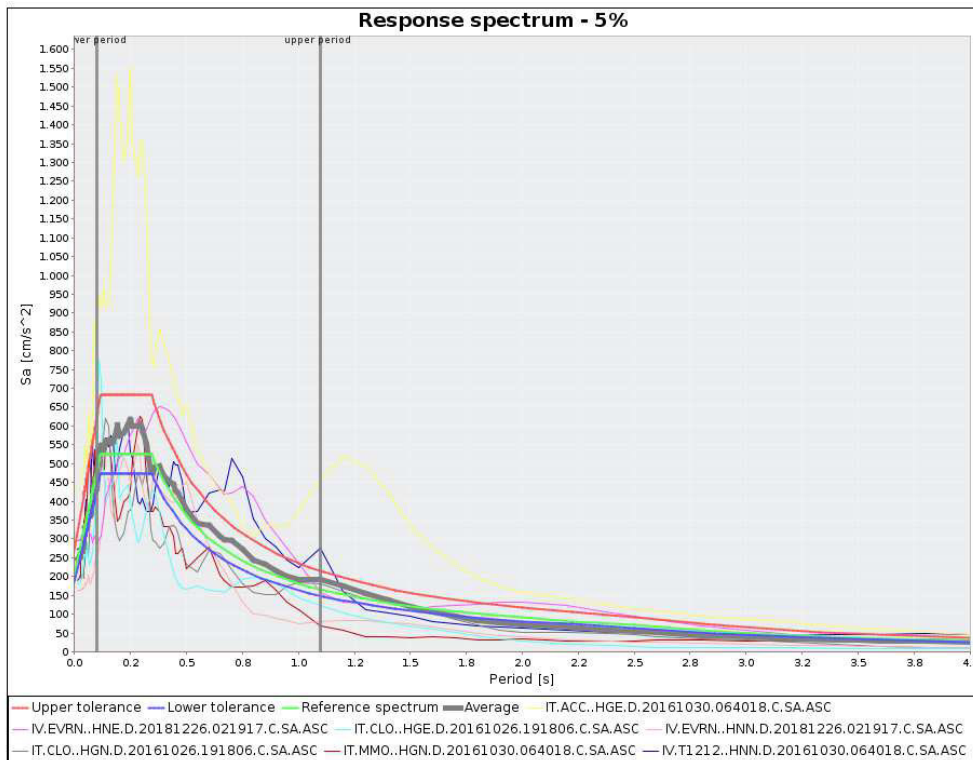
M (magnitudo) compresa fra M.min.=5.5 e M.max=7.0
R (distanza) compresa fra R.min.=0 e R.max=30



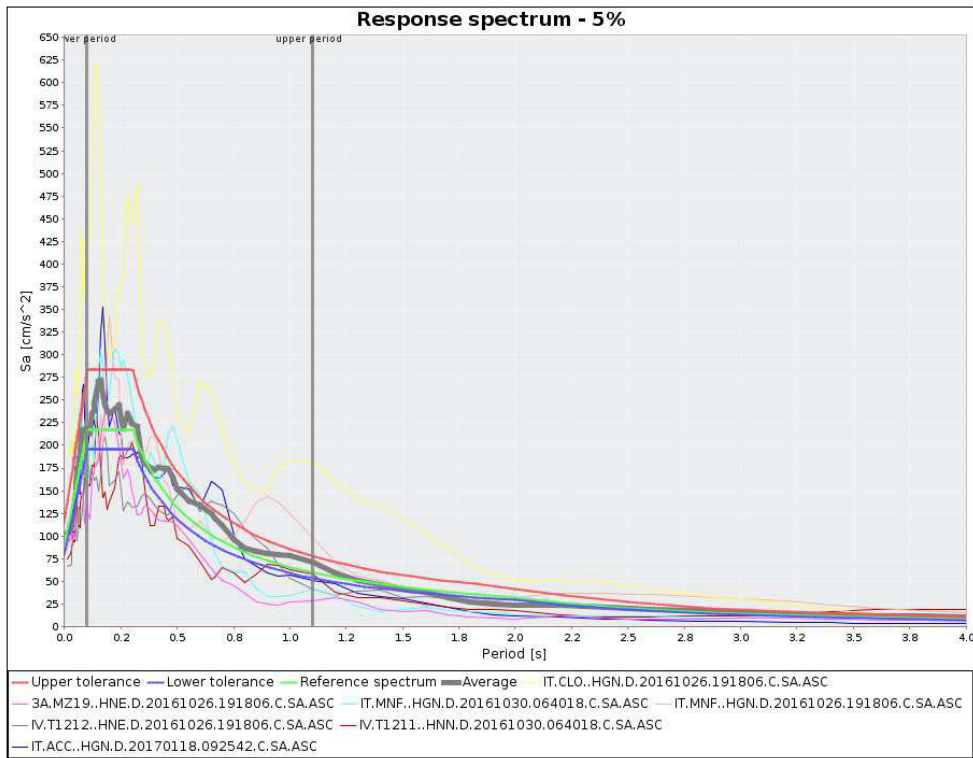
Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.035 lon. 13.285)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	9.0700	20.0000	14.6000	9.0600	4.1700	0.0817	0.0329	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	1.1000	4.8900	7.2300	7.9000	6.1200	1.9500	0.9370	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.1430	1.1300	2.4200	2.7600	1.1900	0.7450	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0598	0.6100	1.0300	0.6140	0.4750	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.1120	0.3220	0.3010	0.2820	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0118	0.0671	0.1420	0.1650	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0491	0.0796	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0116	0.0356	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0150	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.39	10.9	0.911

Sono stati utilizzati come moti di input (applicati al basamento sismico attraverso il codice Stacec) i sette accelerogrammi naturali, opportunamente estratti per il Comune di Sarnano. Le storie temporali dell'accelerazione sono riportati in Figura (SLV/SLD)



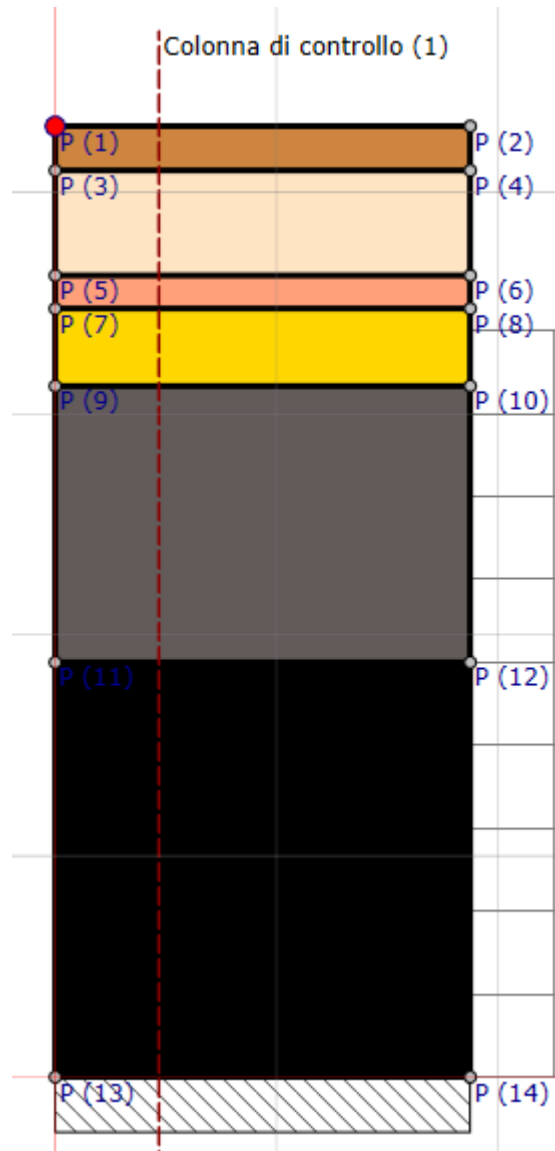
Spettri accelerogrammi sismo-compatibili SLV



*Spettri accelerogrammi sismo-compatibili SLD*

**3.2.3 - Analisi di risposta sismica locale (RSL).** Definito l'input in termini di eventi sismici da sottoporre a simulazione, bisogna determinare le caratteristiche sismostratigrafiche del volume di terreno d'indagine ed oggetto della probabile amplificazione.

Tale operazione è effettuata tramite il codice del software della STACEC, nell'analisi equivalente lineare (EQL), inserendo nello stesso il profilo sismostratigrafico del terreno, ovvero i differenti sismostrati di cui la campagna di esplorazione geologica e/o geofisica e/o geotecnica del sottosuolo ha discretizzato il sottosuolo dell'area in esame. Nel seguito è restituito il profilo sismogenetico.



	Strato	Spessore [m]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Ni	Modello geotecnico	Colore
1	Argilla limosa	1.60	1800.00	200.00	0.35	SMTf_Sarnano	
2	Limo argilloso sabbioso	3.80	1900.00	250.00	0.35	SMTf_Sarnano	
3	Argilla limoso sabbiosa	1.20	1800.00	280.00	0.35	SMTf_Sarnano	
4	argilla sabbiosa	2.80	1900.00	450.00	0.33	SMTf_Sarnano	
5	bedrock alterato	10.00	2200.00	630.00	0.30	substrato fratturato (lineare)	
6	bedrock alterato	15.00	2200.00	690.00	0.30	substrato fratturato (lineare)	

Poiché il comportamento del terreno non è lineare ma varia al variare della deformazione indotta dal sisma per ogni specifica tipologia di terreno attraversato, è necessario inserire per ciascuno strato la specifica curva di decadimento (G-G<sub>0</sub>) e smorzamento (D/D<sub>0</sub>).

Si fa notare che per descrivere la dipendenza del modulo di taglio e dello smorzamento della deformazione dei litotipi in esame, è stato necessario fare riferimento a curve di decadimento tratte sia dalla letteratura che da curve utilizzate nelle microzonazioni sismiche di 2° e 3° livello del territorio marchigiano.

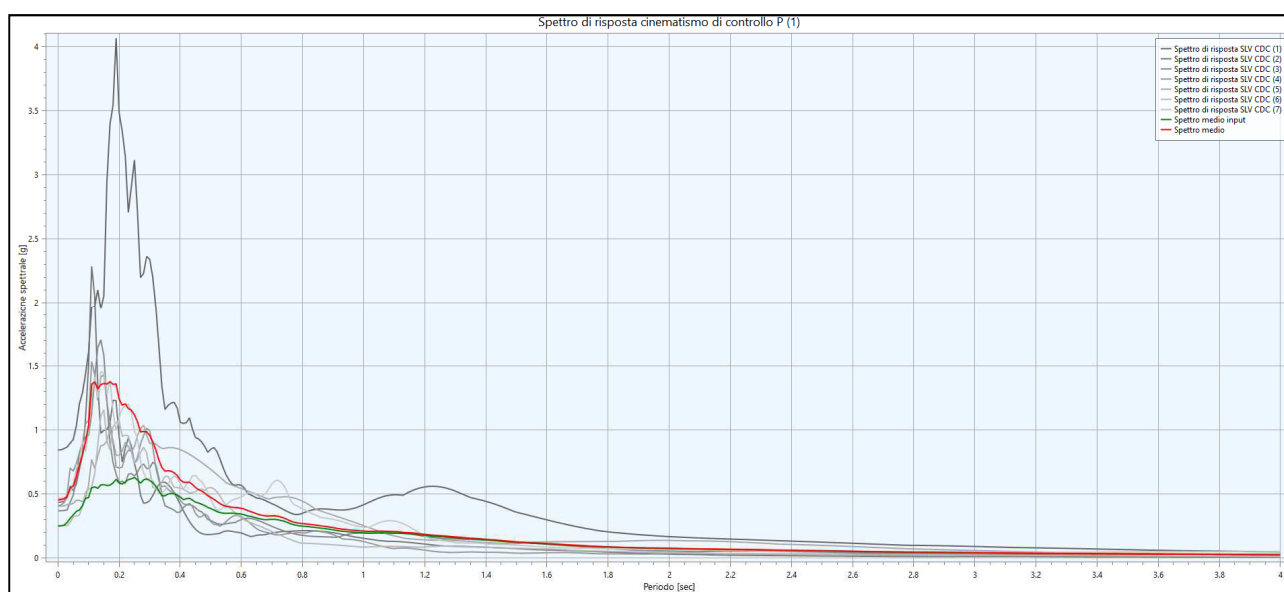


Secondo le disposizioni di cui alle NTC2018, la campagna d'indagine deve essere spinta sino ad intercettare un substrato sismico dotato di  $V_s > 800$  m/s.

Qualora la campagna d'indagine non ravvisi la presenza di substrato sismico fino a profondità comprese tra 100 e 200 mt dal p.c., è possibile utilizzare il sismostrato di base come punto di generazione degli input sismici, motivando la scelta sulla base del fatto che l'analisi 1D per profondità superiori ai 100 mt tende ad una sottostima dell'azione sismica poiché prevalgono fenomeni dissipativi rispetto a quelli amplificativi.

• Nel sito di progetto si ipotizza: dalle analisi geofisiche effettuate in sito e reperite nella micro zonazione sismica di 3° Livello (effettuata per il Comune di Sarnano) un bedrock sismico con  $V_s > 800$  m/s ad una profondità variabile tra 35 e 40 m.

**3.2.4 - Risultati della risposta sismica locale (RSL) per SLV.** Di seguito sono estrapolabili i risultati di risposta sismica locale per il sito di progetto, con la computazione dei dati per lo stato limite di salvaguardia alla vita (SLV) al punto di controllo P1, riportando per una lettura migliore su foglio di calcolo elettronico:



Per il sito di progetto si è ricostruito lo spettro di risposta elastico per SLV al punto di controllo P1.

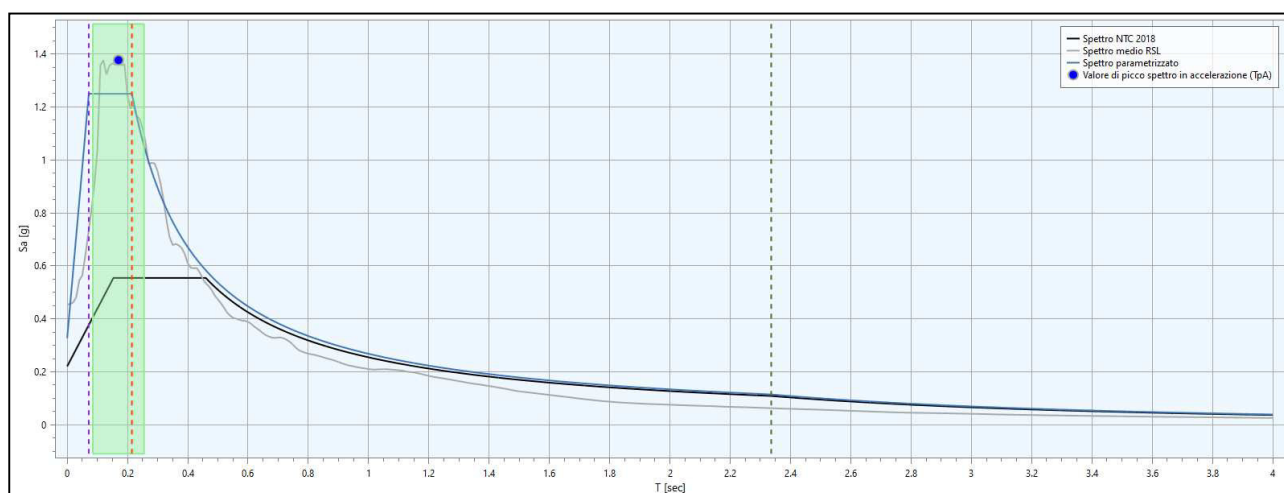
La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli "indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" (*GdL MS - parti I e II - Punto 2.5.4.3.1 pag 92*). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede :

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione ( $TA$ );
- il calcolo del valore medio dello spettro in accelerazione ( $SAm$ ) nell'intorno tra  $0.5 TA - 1.5 TA$  ;

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità ( $T_V$ );
- il calcolo del valore medio dello spettro in pseudovelocità ( $SV_m$ ) nell'intorno tra  $0.8 T_V - 1.2 T_V$ ;
- il calcolo del valore di  $T_c = 2\pi SV/SA$ ;
- il calcolo del valore  $T_b = 1/3 T_c$ ;
- il calcolo del valore  $T_d = 4 a_g + 1.6$  con  $a_g$  uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra  $T_o, T_b, T_c, T_d$ .

$S_{Am}$ [g] SLV (RSL)	$A_g/g$ [g] SLV (RSL)	S (RSL)
<b>1,249</b>	<b>0,327</b>	<b>1,78</b>

Indipendentemente dalla tecnica di NORMALIZZAZIONE adottata, il risultato finale è rappresentato dalla seguente figura :



**3.2.5 - Risultati della risposta sismica locale (RSL) per SLD.** Di seguito sono estrapolabili i risultati di risposta sismica locale per il sito di progetto, con la computazione dei dati per lo stato limite di salvaguardia del danno (SLD) al punto di controllo P1, riportando per una lettura migliore su foglio di calcolo elettronico:



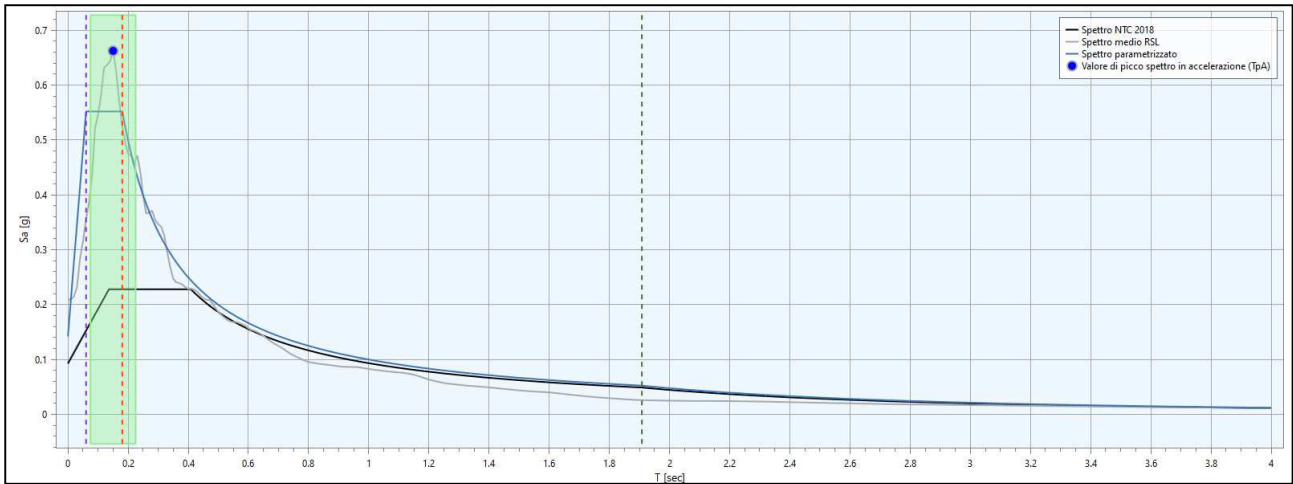
Per il sito di progetto si è ricostruito lo spettro di risposta elastico per SLD al punto di controllo P1.

La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli “indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” (*GdL MS - parti I e II - Punto 2.5.4.3.1 pag 92*). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede :

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione ( $T_A$ );
- il calcolo del valore medio dello spettro in accelerazione ( $S_{Am}$ ) nell'intorno tra  $0.5 T_A - 1.5 T_A$  ;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità ( $T_V$ );
- il calcolo del valore medio dello spettro in pseudovelocità ( $S_{Vm}$ ) nell'intorno tra  $0.8 T_V - 1.2 T_V$  ;
- il calcolo del valore di  $T_c = 2\pi S_V / S_A$  ;
- il calcolo del valore  $T_b = 1/3 T_c$  ;
- il calcolo del valore  $T_d = 4 a_g + 1.6$  con  $a_g$  uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra  $T_o, T_b, T_c, T_d$  .

$S_{Am} [g]$ SLV (RSL)	$A_g/g [g]$ SLV (RSL)	S (RSL)
<b>0,552</b>	<b>0,142</b>	<b>1,84</b>

Indipendentemente dalla tecnica di NORMALIZZAZIONE adottata, il risultato finale è rappresentato dalla seguente figura :



**3.3 COMPUTAZIONE RAPPRESENTATIVA DELLO SPETTRO ELASTICO DI R.S.L.** Ai sensi e per gli effetti del Cap. 3.2.2 delle NTC2018, tramite l'analisi rigorosa 1D di Risposta Sismica Locale (RSL) sono stati computati in condizioni di salvaguardia e di danno (SLV-SLD) agli Stati limite Ultimi (SLU) i fattori sismici del sito di progetto, con relativa costruzione dello Spettro di risposta elastico.

Nel seguito sono tabellati e graficati, per le condizioni di salvaguardia e di danno (SLV-SLD) agli SLU, i computi sismici "rigorosi" di R.S.L. e quelli attesi dalle NTC2018 "semplificati" tramite categorie di suolo.

<b>Parametri sismici elastici associati allo stato limite SLV approccio analitico: RSL</b>										
STATO LIMITE	$A_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]	$S_T$ [-]	$S_S$ [-]	$A_{g/gmax}$ [g]	$S_{Am}$ [ $T_{max}$ ] [g]	$T_B$ [S]	$T_C$ [S]	$T_D$ [S]
<b>R.S.L. P1</b>	<b>0.184</b>	<b>3.816</b>	<b>0.17</b>	<b>1.78</b>		<b>0.327</b>	<b>1.249</b>	<b>0.072</b>	<b>0.215</b>	<b>2.336</b>
N.T.C.18	0.184	2.511	0.336	1.0	1.20	0.22	0.551	0.154	0.461	2.333

<b>Parametri sismici elastici associati allo stato limite SLD approccio analitico: RSL</b>										
STATO LIMITE	$A_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]	$S_T$ [-]	$S_S$ [-]	$A_{g/gmax}$ [g]	$S_{Am}$ [ $T_{max}$ ] [g]	$T_B$ [S]	$T_C$ [S]	$T_D$ [S]
<b>R.S.L. P1</b>	<b>0.077</b>	<b>3.891</b>	<b>0.15</b>	<b>1.842</b>		<b>0.142</b>	<b>0.552</b>	<b>0.060</b>	<b>0.181</b>	<b>1.908</b>
N.T.C.18	0.077	2.467	0.290	1.0	1.20	0.09	0.227	0.136	0.409	1.907

### 3.4 COMPUTO FREQUENZA DI RISONANZA

Tramite la strumentazione HVSR, è possibile determinare il rischio di amplificazione degli effetti di un sisma su un fabbricato esistente nonché di progettare in condizioni di maggiore sicurezza la realizzazione di nuove opere.

Quanto sopra si ottiene con la determinazione in sito della frequenza fondamentale di risonanza del terreno di fondazione e con la comparazione di questa con la frequenza di risonanza del fabbricato (in

opera o da progettare). Quando questi due valori sono simili si ha il rischio del cosiddetto effetto di “**doppia risonanza**”, che si traduce in un aumento considerevole delle sollecitazioni agenti sull’edificio e quindi del danno che quest’ultimo può subire.

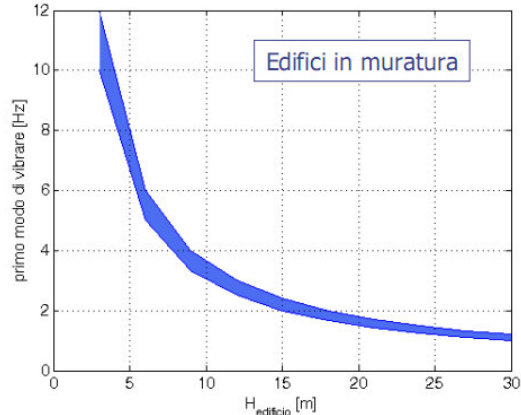
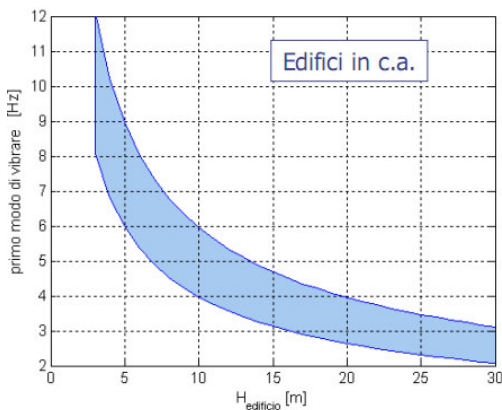
Numerosi studi in ambito scientifico hanno dimostrato l’importanza di verificare l’eventuale rischio d’insorgenza dell’effetto di “**doppia risonanza**”, al fine di impostare in maniera corretta la messa in sicurezza del patrimonio edilizio esistente nei confronti dei terremoti, e di progettare i nuovi interventi con criteri davvero antisismici.

Esistono norme empiriche per la stima delle risonanze principali delle strutture.

Queste, contenute nella ISO 4886 “*Mechanical Vibration and shock - Vibration of buildings - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings*”, forniscono indicazioni sui valori attesi in base alla sola altezza della struttura (H) - Cfr. Fig. sotto - e/o il numero di piani equivalenti (N):

$$f_{RIS} = \frac{10 \div 12}{N} \text{ Hz}$$

$$f_{RIS} = \frac{46}{H} \text{ Hz}$$



Castellani e Faccioli (2000), definiscono la risonanza delle strutture tramite la seguente relazione empirica:

$$f_s = \frac{B^{0,5}}{C \times H}$$

H = altezza edificio

C = coefficiente dipendente dal materiale e variabile da 0,06÷0,09

B = dimensione maggiore in pianta dell'edificio

Nel caso di edifici in fase di progettazione o di realizzazione la frequenza di risonanza fondamentale dell’opera può essere valutata con altre formule semplificate, quale quella indicata nel D.M. 14.01.2008, in cui C1 è un fattore che dipende dalla tipologia costruttiva.

$$f_s = \frac{1}{C_1 Z^{\frac{3}{4}}}$$

Tipologia	C <sub>1</sub>
Costruzioni con struttura a telaio in acciaio	0,085
Costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato	0,075
Costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura	0,050

La relazione è valida per edifici con "Z" non superiore ai 40 metri e massa distribuita, approssimativamente, in maniera uniforme lungo l'altezza.

■ La tabulazione dei picchi di frequenza di risonanza del terreno di fondazione, sulla base dei computi eseguiti, è restituita nell'Allegato.

**3.4.1 Analisi numerica dei dati.** Dall'analisi dei dati computati, correlati agli spettri di risposta H/V dei picchi risonanza (f) (Cfr. Allegati), in relazione alle dimensioni delle strutture da realizzare, NON si evidenziano picchi stratigrafici significativi nel campo delle frequenze ingegneristiche tali da far ritenere i manufatti di progetto sottesi al rischio di "doppia risonanza" nel caso di evento tellurico, che si tradurrebbe in un aumento significativo delle sollecitazioni agenti sul manufatto, e del danno che questo può subire, in caso di sisma".

In ogni caso si suggerisce in fase di progettazione e nel calcolo strutturale di tenere in considerazione le misure di frequenze Fo che sono state eseguite nella campagna indagini variabili tra 4.3 Hz (HV1) - 5.19 Hz (HV3) e quelle misurate all'interno del piano sottotetto dell'edificio 5.5 Hz (HV2)

Falerone li, 02/07/2021

il geologo

dott. Gabriele Cutini

